ANALYSE AV LUKKA OPPDRETT AV LAKS – LANDBASERT OG I SJØ: PRODUKSJON, ØKONOMI OG RISIKO

SLUTTRAPPORT

FHF PROSJEKT 901442

SEPTEMBER 2018

Trond Bjørndal Even Ambros Holte Øyvind Hilmarsen Amalie Tusvik

NTNU-Ålesund SINTEF OCEAN SNF

Innleiing

Dette er sluttrapport for FHF prosjekt 901441 *Analyse av landbasert oppdrett av laks: produksjon, økonomi og risiko* som har vore gjennomført av NTNU Ålesund i samarbeid med SINTEF Ocean og SNF. Prosjektet har hatt ei økonomisk rame på i underkant av 2,4 mill. kr. Offisiell oppstart var seinhaustes 2017 og vart avslutta i slutten av august.

Prosjektet omfattar analyser av moglege konsekvensar ved å flytte eksisterande og framtidig produksjon av laks til lukka landbaserte system, samt ved utbygging av kapasitet for storsmoltproduksjon til påvekst i sjø. Resultata skal gje eit fagleg grunnlag til debatten om oppdrett i lukka system og framtidig utvikling av næringa.

Rapporten består av to hovuddelar: Del I inneheld primært teknisk og biologisk analyse med SINTEF Ocean som hovudansvarleg. Del II presenterer økonomiske analysar med NTNU Ålesund og SNF som hovudansvarlege.

Det har vore nedsett ei referansegruppe for prosjektet. Medlemer har vore Bendik Fyhn Terjesen (Cermaq Group AS), Per Gunnar Kvenseth (Smøla klekkeri og lakseavl), Trond Rosten (Marine Harvest), Ole Gabriel Kverneland (AKVA Group), Bjørn Myrseth (Vitamar), Bjørn Finnøy (Artec Aqua), Harald Sveier (Lerøy SFG), Eirik Welde (Nordlaks) og Stein Halstensen (Grieg Seafood), med Kjell Maroni som representant for FHF.

Det har vore fire møte i referansegruppa for drøfting av resultat og prosjektutkast. I tillegg har det vore bilaterale samtalar med mange av medlemene. Me vil takke alle medlemene i referansegruppa for deira interesse for og positive medverknad til prosjektet. I tillegg har det vore kontakt med mange andre representantar for næringa som har kome med viktige innspel undervegs. Det rettes en stor takk ogso til desse.

Me vonar mange lesarar vil finne rapporten interessant!

20. september 2018

Trond Bjørndal Even Ambros Holte Øyvind Hilmarsen Amalie Tusvik

SAMANDRAG

Denne rapporten er resultat av eit forskingsprosjekt utført på oppdrag for Fiskeri og Havbruksnæringas Forskningsfond (FHF). Hovudformålet har vore å analysere mogelege konsekvensar av å flytte all produksjon av atlantisk laks, både matfisk og storsmolt, over i lukka landbaserte system. I tillegg er sjøfase for post-smolt både i opne og lukka merdanlegg analysert. Konsekvensanalysane omfattar arealbehov, vassforbruk, logistikk, energiforbruk, klimaavtrykk, slam, krav til utslepp og produksjonskostnader. Tekniske og biologiske risikofaktorar er også vurdert. Hovudfokus når det gjeld teknologi har vore på resirkuleringsanlegg (RAS), men vurderingar knytta til gjennomstrøymingsanlegg med gjenbruk er også utført for enkelte faktorar.

I eit nasjonalt perspektiv er det stor interesse for landbasert oppdrett, særleg knytta til oppdrett av settefisk (smolt og post-smolt), men også for oppdrett av matfisk. Per i dag har omlag seks selskap fått løyve til landbasert produksjon av matfisk og mange andre er interessert. Det er store utfordringar når det gjeld finansiering, ettersom tilgang på investeringsvillig kapital er avgrensa.

Ved full overgang til landbasert **oppdrett av matfisk**, inkludert framtidig vekst, viser konsekvensanalysen at ein med utgangspunkt i RAS teknologi vil legge beslag på eit betydeleg landareal. Dersom alle anlegg vert bygd med årleg produksjonskapasitet på 10 000 tonn vil det vere behov for 130 anlegg og eit estimert bruttoareal på 11 700 mål. Arealbeslag for denne anleggstypen er estimert til 90 mål per anlegg, medan eit anlegg basert på gjennomstrøymingsteknologi med gjenbruk vil kreve nærare 64 mål. Til samanlikning kan nemnast at Tromsø-øya er 21 700 mål, noko som inneber at en full dekning av landbasert verksemd for dagens produksjon ved bruk av RAS vil kreve om lag 54% av Tromsø-øya sitt landareal. Med utgangspunkt i eit årleg energiforbruk per kg produsert laks på 6 kWh vil overgang til landbasert verksemd vil medføre eit estimert energiforbruk på 7,8 TWh. Til samanlikning var energiforbruk for metallindustrien i 2017 omlag 33 TWh. I tillegg til eit betydeleg vassforbruk, estimert til ca. 0,520 og 33,7 milliardar m^3 per år for høvesvis RAS og gjennomstrøyming med gjenbruk, vil storstilt landbasert verksemd også medføre produksjon av ei vesentleg mengde slam (estimert til 238 333 tonn slam med 90 % tørrstoff), og som det enno ikkje er utvikla gode kommersielle løysinger for med tanke på bærekrafitg utnytting og avhending. Klimarekneskapen viser at laks produsert i landbaserte oppdrettsanlegg kan ha eit klimaspor på ca. 5,1 kg CO_2 ekvivalentar per kg matfisk produsert. Ein konkluderer vidare med at det enno er store manglar knytta til vitskaplege dokumenterte data for produksjon av matfisk for laks på land.

Kostnadsanalysen for landbasert oppdrett av matfisk tek utgangspunktet i eit anlegg med produksjonskapasitet på 6 000 tonn. Analysen er basert på ein likevektssituasjon der produksjonen skjer utan vidare uhell. Dette som ein viktig føresetnad for å analysere om produksjonskonseptet kan vere konkurransedyktig i marknaden. Produksjonskostnad er estimert til kr 43,60 per kg, noko som er monaleg meir enn i sjøbasert oppdrett der siste estimat frå Fiskeridirektoratet er på kr 30,60 for 2016. Sensitivitetsanalysar tyder på at produksjonskostnaden vil kunne variere aller mest ved monalege endringar i svinn og kapasitetsutnytting der slike avvik ikkje kan kompenserast for t.d. ved utsetting av meir smolt.

I analysen er det understreka at det er grunnleggjande uvisse når det gjeld mange relasjonar innan landbasert oppdrett og at risikoen er stor. Som ei tilnæring til dette har ein gjort ein enkel analyse av uvisse og risiko i landbasert RAS. Med RAS kan ein ved eit uhell i anlegget risikere at all fisk i alle avdelingar går tapt. I analysen har ein skissert eit slikt uhell der all fisk dør. Dette inneber heile 20 månader utan slakt, gitt at anlegget må fyllast opp att ved hjelp av eigen produksjon, noko som vil medføre store tap og i verste fall føre til at bedrifta vil gå

konkurs. Alternativt ser ein på eit scenario der anlegget er delt inn i fem smittesoner, og ein føreset at uhellet vert avgrensa til berre êin modul. Dette ville medføre mykje mindre tap. På den andre sida vil fem smittesoner innebere større investeringar og høgare produksjonskostnader, slik at redusert risiko kjem til ein viss pris. Risikoanalysen viser at suksess innan landbasert oppdrett kjem an på ein god koordinasjon mellom biologi, teknologi, kjemi og økonomi.

Når det gjeld **settefiskproduksjon (smolt og post-smolt)**, viser industrien aukande interesse for å produsere post-smolt på opp til 1 000 gram, noko som viser seg gjennom store investeringar i slike anlegg. Denne utviklinga ser i stor grad ut til å vere driven av forventingar knytta til m.a. meir effektiv utnytting av MTB, kortare produksjonstid i sjø som vil føre til redusert lusepress, samt raskare vekst og betre fiskevelferd. Ved eventuell full overgang til landbasert post-smolt produksjon vil det vere behov for relativt få, men store RAS-anlegg, so sant alle anlegg vert bygd med produksjonskapasitet på 3 000 tonn. Med utgangspunkt i dagens produksjon av settefisk (340 mill.), og at all fisk vert produsert med ei snittvekt på 0,5 kg, vil det vere behov for omtrent 57 RAS-anlegg med eit estimert arealbehov på 612 mål. Dersom energiforbruket aukar til 5 kWh/kg fisk vil det totale energiforbruket for same produksjon auke til 1,5 TWh. Ved dobling av produksjonen vert estimert totalt energiforbruk for same vektklasse 1,0 TWh og 3,1 TWh, med energiforbruk per kilo produsert settefisk på høvesvis 3 kWh og 5kWh. Tala viser dermed at ein auke i kWh/kg settefisk produsert frå 3 kWh til 5 kWh gjev relativt store utslag for det totale forbruket (estimert til ei tredobling), noko som igjen understrekar kor viktig det er å utvikle meir energieffektive løysingar for RAS-anlegg. Den samla klimarekneskapen vert 4,1 kg CO_2e/kg smolt. Estimat for slam viser at ved å overføre dagens produksjon av all settefisk til landbaserte anlegg, med snittvekt på 0,5 kg, vil det gje ein total produksjon av slam med 90% tørrstoff på 28 050 tonn. Fordelt på 57 anlegg inneber det at kvart anlegg årleg vil produsere om lag 492 tonn slam.

Analysen av stor settefisk på land ser på produksjonskostnad per settefisk som under gitte føresetnader er estimert til kr 26,20 og kr 45,80 per stk. for høvesvis 500-grams og 1 000-grams fisk. Denne kostnaden vert brukt vidare som utgangspunkt for kostnadsanalysen av påvekst i sjø. Sensitivitetsanalysar viser at konsekvensane for produksjonskostnaden er størst ved endringar i parametrar som har å gjere med kapasitetsutnytting i anlegget – særleg når det er tale om monaleg svinn. Ved tolking av tap og konsekvensar ved uhell i settefiskproduksjon må ein elles hugse å ta omsyn til den vidare påvekstdelen, og om eit eventuelt uventa svinn i produksjonen kan verte erstatta med alternative forsyningskjelder til påvekst i sjø.

I analysen av **påvekst i opne merdar** er det fyrst og fremst kostnaden per kg slakteklar fisk som er av interesse, og interessa for stor settefisk har grunnlag i eit ynskje om å betre produksjonen samla sett, anten ved å adressere flaskehalsar eller ved å redusere risiko, produksjonsutfordringar og kostnader.

Påvekstanalysen er delt inn i to delar, utan og deretter med lusekostnader, der ein tek utgangspunkt i ein bedriftsstruktur og produksjonsplan som er lik ved påvekstsscenario for både 100-grams, 500-grams og 1 000-grams settefisk. Når det gjeld bruk av ulike innsatsfaktorar er det verdt å merke seg skilnader mellom alternative produksjonsmodellar. Skilnaden i lengda på produksjonssyklusen inneber at stor settefisk kan gje høve til produksjon av eit visst kvantum fisk med mindre beslag på areal/lokalitetar samanlikna med liten settefisk. Dette viser seg tydeleg i produksjonskvantum per lokalitet som varierar frå 1 783,9 tonn ved 100-grams settefisk på åtte lokalitetar, samanlikna med 3 161,4 tonn per lokalitet over fem lokalitetar (her må ein korrigere for utsettsstorleik dersom fokus er på tilveksten og eventuelt utsleppet som skjer ved lokaliteten).

Den andre delen av kostnadsanalysen av påvekst i sjø tek utgangspunkt i same investeringar og produksjonsplan, men med introduksjon av behandlingskostnader, svinn og veksttap ved ulike avlusingsscenario. For påvekst av 100-grams smolt er produksjonskostnaden

for rund fisk estimert til kr 28,00/kg under det ein føreset som «normale/friske tilhøve» og inga avlusing. Ved fem lusebehandlingar aukar dette til kr 31,30, og ved 10 behandlingar til kr 33,80 ved ein avlusingspris på kr 0,50 per kg biomasse til behandling. Ved bruk av 500 g settefisk, er produksjonskostnad utan avlusing kr 28,90/kg, noko som aukar til kr 30,70 ved tre avlusingar. For 1 000 g settefisk er produksjonskostnad utan avlusing kr 30,80/kg, noko som aukar til kr 32,40 ved to avlusingar.

I tillegg til verknad på produksjonskostnaden vert det gjort ei drøfting av potensielt inntektstap på bedriftsnivå ved nedklassing av kvalitet og pris som fylgje av røff handsaming og redusert helsetilstand for den behandla fisken. Ved bruk at 100 g settefisk er potensielt tap ved nedklassing estimert i storleiksorden 4 - 12,8 mill. kr ved fem avlusingar og 7,3 - 17,5 mill kr ved 10 avlusingar. Dette er eit stort inntektstap.

Prisen på lusebehandlingar har og ein viktig innverknad på produksjonskostnadene. Dersom denne prisen aukar frå kr 0,50 til kr 1,00 per kg, vil produksjonskostnaden per kg rund fisk for påvekst av 100 g smolt auke frå kr 33,80 til kr 36,90 ved 10 behandlingar, dvs ein auke på knapt 10%. Dette illustrerer at både talet på behandlingar og kostnad per behandling har stor innverknad på kostnadene.

Lukka eller semi-lukka oppdrettsanlegg er definert ved at dei har ei tett eller bortimot tett fysisk barriere mellom vassmiljøet til fisken og det omliggjande miljøet. Å skilje det ytre miljøet frå det interne i oppdrettsanlegget vert i aukande grad sett som ein fordel for laksevelferd, fiskehelse og oppdrettsøkonomi parallelt med aukande fiskehelse- og luseproblem i opne merdar.

I analysen av oppdrett i lukka anlegg ser ein på påvekst av 100-grams settefisk i lukka anlegg heilt fram til slakt, samt på ei todelt påvekstfase i lukka og opne merdar. Resultata av kostnadsanalysen for lukka oppdrett tyder på at lukka produksjon gjev høgare produksjonskostnad enn tradisjonelt oppdrett som fylgje av store investeringar og auka driftskostnader. Med dei føresetnadene om investeringar som vert lagt til grunn for full produksjonssyklus i lukka anlegg finn ein at det vil vere vanskeleg å forsvare skilnaden i investeringsbeløp, med mindre ein opplever heilt spesielt krevjande utfordringar som ein kan addressere ved overgang til lukka produksjon. For lukka merdanlegg med full syklus kjem ein fram til ein produksjonskostnad på kr. 37,90/kg. Med utsett av 100-grams settefisk til ei lukka eining og vidare påvekst fram til slakt vert syklusen for lang og snittvekta/snitt-tettleik per eining for låg til at dette er økonomisk. Ein vil difor truleg vurdere andre produksjonsmodellar ved bruk av denne typen anlegg – anten med utsett av større settefisk eller eventuelt som mellomstasjon for produksjon av postsmolt til vidare påvekst opne merdar. I eit scenario som er analysert med kombinert lukka og open produksjon finn ein at produksjonskostnaden vert kr 32,60/kg som er monaleg lågare enn for full syklus i lukka anlegg (også her er kapasitetsutnytting eit problem, ettersom anlegget ikkje har fisk mykje av tida).

Det står att å sjå om lukka einingar i sjø vil verte tekne i bruk kommersielt og finne sin plass i oppdrettsselskapa sine produksjonsplanar. Potensielt kan lukka anlegg opne for betre høve til å levere settefisk av ønska storleik til ønska tid, å korte ned eksponeringstida i opne anlegg og å auke utnytting og omlaupssnøggleiken ved matfisklokalitetane

Med omsyn til **teknologisk og biologisk risiko** drøftar rapporten risikoelement og reduserande tiltak knytta til generell kompetanse, funksjons- og driftsvenlegheit, prosjektering og bygging, tettleik, vekstsnøggleik og svinn, samt sjukdom, parasittar og bakteriell kontroll. Det generelle biletet er komplekst og samansett, og det er mange fellesnemnarar mellom landbasert oppdrett av matfisk og settefisk. For å lukkast med landbasert oppdrett (matfisk og settefisk), er det naudsynt å sikre eit kompetent og ikkje minst tverrfagleg miljø, særleg ettersom aktivitetar er knytta til m.a. biologi, vasskjemi, teknologi, elektrisitet, ventilasjon, prosjektering, byggeprosessar og generell røktarkompetanse. Dette gjeld heilt frå design av anlegg til bygging og oppstart av produksjon, og ikkje minst ved dagleg drift og periodisk vedlikehald. Herunder

også tiltak og løysingar for redusert risiko, og kanskje særleg ein monaleg auka innsats innanfor det biologiske fagfeltet. Dette betyr at kompetanse knytta til røkting og teknologi må hevast gjennom ein samla innsats frå heile næringa. Dette vert spesielt viktig ettersom RAS og landbasert oppdrett generelt er inne i ei fase der utviklinga går svært raskt

Hovudfunn

- Det er mangel på dokumenterte data for produksjon av laks på land, og erfaringsgrunnlaget er førebels spreidd på få internasjonale produsentar med relativt kort historikk.
- Ved ein anleggsstorleik på 10 000 tonn per år vil ein full overgang av dagens produksjon av matfisk (1,3 mill. tonn) til landbasert RAS verksemd ha fylgjande konsekvensar: 130 anlegg, arealbehov på land – 11 700 mål, arealbehov i sjø – 4 238 km2, vassforbruk - 0,520 milliardar m3/år, energiforbruk - 7,8 TWh, slamproduksjon - 238 233 tonn (90% tørrstoff) og klimaspor – 5,1 kg CO_2-ekvivalenter per kg.
- Kostnadsanalysen har som føremål å analysere om landbasert oppdrett kan vere konkurransedyktig i marknaden. Produksjonskostnad er estimert til kr 43,60 per kg, monaleg meir enn i sjøbasert oppdrett (kr 30,60). Produksjonskostnaden er mest sensitiv til endringar i svinn og kapasitetsutnytting.
- Risiko innan landbasert oppdrett er stor. Tiltak for å redusere risiko vil innebere større investeringar og høgare produksjonskostnader..
- Ved overføring av dagens produksjon av settefisk (340 mill. stk.), med all fisk produsert med ei snittvekt på 0,5 kg i RAS-anlegg med årleg kapasitet på 3 000 tonn, vil det vere behov for 57 RAS-anlegg med eit estimert totalt arealbehov på land på 612 mål, eit arealbehov i sjø 1 148 km^2, totalt vassforbruk på 68 millioner m3/år, energiforbruk på 0,5 TWh og eit klimaspor på 4,1 kg CO_2 ekvivalentar per kg smolt selt. Slamproduksjon 28 050 tonn med 90% tørrstoff.
- For påvekst av 100-grams smolt er produksjonskostnaden for rund fisk estimert til kr 28,00/kg ved inga avlusing. Ved 10 behandlingar aukar dette til kr 33,80. For 1000 g settefisk er produksjonskostnad utan avlusing kr 30,80/kg og kr 32,40 ved to avlusingar.
- I tillegg til verknad på produksjonskostnaden vil lus gje eit monaleg inntektstap ved nedklassing av kvalitet og pris som fylgje av røff handsaming og redusert helsetilstand.
- For lukka merdanlegg med full syklus vert produksjonskostnaden på kr. 37,90/kg som neppe er økonomisk. Ein må difor vurdere andre produksjonsmodellar ved denne typen anlegg.
- Av tekniske og biologiske risikofaktorar i RAS vert vedvarande utfordringar knytta til handtering av H_2S problematikk, risiko for tidleg kjønsmodning, samt realisering av planlagt vekstkurve for fisk over 1,5 kg framheva.

ENGLISH SUMMARY

This report is a result of a research project funded by The Norwegian Seafood Research Fund (FHF). The main objective is to analyse possible consequences related to shifting the total production of Atlantic salmon from traditional sea-based production to land-based production. Both for grow-out and post-smolt. In addition, sea-based production of post-smolt has been analysed for production in open and closed systems. The consequences analysed are land use, water consumption, logistics, energy consumption, carbon footprint, sludge, discharge requirements and cost of production. Technical and biological risk factors have also been discussed and evaluated. The main focus is on Recirculating Aquaculture Systems (RAS), but evaluations regarding flow-through systems with recycling have been undertaken also for some of the variables.

In a national and international perspective, land-based farming of salmon is of great interest and has received much attention, especially relating to the production of post-smolts, but also for grow-out facilities. As of today, about six companies have receive permission for land-based production in Norway, and many others are interested. However, access to capital and the willingness to invest appears to be rather limited.

Given a full transfer to land-based farming of **grow-out** salmon, the analysis shows that if this is to be done by utilising RAS technology, it will occupy a considerable amount of land. If all facilities are built with a yearly production capacity of 10 000 tones, 130 facilities will be required, occupying an estimated 11.7 km^2. Land-use for one such facility is estimated to cover 9 ha, while a flow-through facility with recycling will occupy close to 6.4 ha. In comparison Tromsø-island is 21.7km^2, meaning that a complete transfer of the current Norwegian production volume of Atlantic salmon will occupy approximately 54% of its available land area, given that all facilities are based on RAS technology. Further, based on a yearly energy consumption of 6 kWh per kg produced grow-out salmon, the total energy requirement for today's production is estimated to be 7.8 TWh, considered relatively equal for both RAS and flow-through with recycling. In contrast, the total energy consumed by the metal processing industry was estimated at 33 TWh in 2017. In addition to a considerable amount of water consumption, estimated at a total of approximately 0.052 and 33.7 billion m^3 per annum for RAS and flow-through with recycling respectively, a large-scale transfer to land-based operations will also result in the production of a significant amount of sludge (estimated at 238 333 tones sludge with 90% dry substance). Few sustainable commercial solutions are available for sludge. The carbon footprint for salmon produced in land-based facilities is estimated at 5.1 kg CO_2 equivalents per kg grow-out salmon produced. Moreover, a key observation is that currently there are significant gaps and shortcomings in documented data for land-based production of grow-out salmon.

The cost analysis for land-based salmon farming is based on a facility with a production capacity of 6 000 tonnes. A steady state situation is considered, which is important for analysing whether this concept is competitive in the market. Cost of production is estimated at NOK 43.60/kg, which is considerably more than for sea-based farming – the most recent estimate from the Directorate of Fisheries is NOK 30.60 for 2016. Sensitivity analyses suggest that cost of production will vary the most with substantial changes in mortality and capacity utilisation where such changes cannot be compensated for, e.g. with the release of more smolts.

The analysis emphasises that there is fundamental uncertainty relating to a number of relationships in land-based farming and that the risk is considerable. This issue has been approached by a simple analysis of uncertainty and risk in a land-based RAS system. With RAS it is conceivable that all fish in all departments are lost due to a single accident. In the analysis an accident of this nature is considered. This implies 20 months without harvesting, assuming the facility must be restocked with its own production, which may result in great losses and possibly even bankruptcy. An alternative scenario is also considered: the farm is

divided into five separate departments, with the accident contained in only one department,. This will involve a much lower loss. On the other hand, five departments imply larger investments and production costs so that the reduction in risk comes at a price. The risk analysis shows that success in land-based farming depends on good coordination between biology, technology, chemistry and economics.

With regards to the juvenile production of **smolt and post-smolt,** the industry is showing an increasing interest in producing post-smolts up to 1 000 g, which is reflected in increased investments in appropriate facilities. To a large extent, this "evolution" is driven by, among other things, expectations for more efficient use of available Maximum Permitted Biomass (MTB), shorter production time in sea – leading to reduced pressure from sea-lice, in addition to higher growth and improved fish welfare. Given a full change-over to land-based juvenile production, fewer but bigger facilities are required, given that all facilities are based on RAS technology with a total yearly production capacity of 3 000 tones. Based on today's production of smolt and post-smolt (340 million) and given that all fish is produced up to 500 g, there will be a need for building 57 RAS-facilities occupying an estimated 0.612 km^2 of land. Assuming that number of fish produced is doubled, this requires a doubling both in the number of facilities and amount of land-use. Looking at water consumption for RAS facilities and the production of today's number of juveniles, the estimates show a yearly consumption of 20.4 million m^3 – given that all fish are produced up to 150 g. If the same volume of fish is produced up to 500 g the total water consumption will increase to approximately 68 million m^3 per annum. Further, based on a yearly energy consumption of 3 kWh per kg produced juvenile fish, the total energy requirement for today's production is estimated at 0.5 TWh, assuming all fish are produced in RAS facilities up to 500 g. However, given a situation where energy consumption per kg juvenile fish increases to 5 kWh, the total demand for energy will increase to 1.5 TWh. Doubling the production of the same fish size shows an estimated total energy consumption of 1,0 TWh and 3.1 TWh, given an energy need per kg juvenile of 3 kWh and 5 kWh respectively. The numbers show that an increase in kWh/kg juvenile fish produced from 3 kWh to 5 kWh has a relatively large effect on total electricity consumption. This clearly underlines the importance of developing more energy efficient solutions for land-based farming. The carbon footprint for juvenile production in land-based facilities is estimated at 4.1 kg CO_2 equivalents per kg fish sold. Estimates for sludge shows that producing all fish up to 500 g, a total of 28 050 tonnes of sludge with 90% dry substance will be produced yearly. Distributed evenly across all the required 57 facilities, each one will annually produce 492 tonnes.

The analysis of land-based production of large smolts considers cost of production per smolt which under given assumptions is estimated at NOK 26.20 and NOK 46.80 per 500 g and 1000 g smolts, respectively. This cost will be used in the analysis of sea-based on-growing. Sensitivity analyses show that changes in cost of production are largest for changes in parameters related to capacity utilisation, in particular that of high mortality. When considering losses and mishaps in smolt production, it is also necessary to consider grow-out and whether unexpected mortality in production can be compensated by alternative supplies for on-growing in sea.

In the analysis of **grow-out in open pens** the interest is primarily in cost of production for farmed fish. The interest in large smolts (post-smolts) is based on a desire to improve production, either by addressing bottlenecks or reducing risk, production challenges and costs.

The analysis of grow-out is done in two parts, with and without lice costs, where the point of departure is a company structure and production plan that is the same for on-growing of 100 g, 500 g and 1,000 g smolts. It is important to note differences between the three production models when it comes to the use of factors of production. The difference in the length of the production cycle implies that large smolts will enable production of a certain quantity of fish with lower use of area/locations compared with small smolts. This is clearly

illustrated as production quantity per location varies from 1 783.9 tones with the use of 100 g smolts and eight locations compared with 3 161.4 tones with the use of 1,000 g smolts and five locations (in this case release size must be corrected for if focus is on on-growing and potential discharges at the site).

The other part of the cost analysis of sea-based on-growing is based on the same investments and production plan, but with consideration of treatment costs, mortality and weight loss for different delicing scenarios. For on-growing of 100 g smolts, cost of production is estimated at NOK 28.00/kg under "normal" conditions and no lice problems. With five lice treatments this increases to NOK 31.30, and with 10 treatments to NOK 33.80, assuming a delicing cost of NOK 0.50 per kg biomass treated. With 500 g smolts, cost of production is NOK 28.90/kg without delicing, which increases to NOK 30.70 with three lice treatments. For 1,000 g smolts cost of production without delicing is NOK 30.80/kg, increasing to NOK 32.40 with two lice treatments.

In addition to the impact on cost of production, the consequences of lower classification of quality and price due to rough treatment and reduced health conditions for the treated fish are considered. With the use of 100 g smolts, potential loss due to declassification is in the range NOK 4-12.8 million with five treatments and NOK 7.3-17.5 million with 10 treatments, which represents a considerable income loss.

The price of lice treatments also has an important impact on cost of production. If this price doubles from NOK 0.50 to NOK 1.00 per kg, the cost of production for on-growing of 100 g smolts will increase from NOK 33.80/kg to NOK 36.90 with 10 treatments, i.e., an increase of almost 10%. This illustrates that both the number of treatments and the cost per treatment has a substantial impact on costs.

Closed or semi-closed farms are defined as having a dense or almost dense barrier between the water environment of the fish and the surrounding environment. The separation of the external from the internal environment of the farm is increasingly considered an advantage for fish welfare; health and farming costs parallel with increasing fish health and lice problems in open pens.

In the analysis of farming in closed pens, on-growing of 100 g smolts up to harvesting is considered as well as combining on-growing in closed and open pens. The results show that farming in closed pens has a higher cost of production than traditional farming due to large investments and higher operating costs. This indicates that this mode of production may not be competitive unless there are particularly demanding challenges that can be addressed by using closed pens. For closed pen production cost of production is estimated at NOK 37.90/kg which is not economical. Accordingly, other modes of production may be considered for this type of facility – either with release of larger smolts or possibly for production of large smolts with further on-growing in open pens. One scenario with combined closed and open production results in a cost of production of NOK 32.60/kg which is considerably less than for full cycle in closed pens.

It remains to be seen if closed pens in sea will be put into commercial use. Closed pens may allow for a supply of smolts of the required size at the desired time, reducing the exposure in open pens and increasing the capacity utilisation of sites.

With regards to **technical and biological risk** the report evaluates and discusses different risk related elements such as overall competence, operations, design and construction, fish density, growth-rate, losses, disease, parasites and bacterial control. The overall picture is complex, and there are several commonalities between land-based production of grow-out and juvenile fish. In order to succeed with land-based salmon farming in general, it is necessary to secure a high competence and interdisciplinary involvement, especially since key activities are connected to biology, water chemistry, technology, electricity, ventilation, project management, building and construction, and overall high fish farming competence. Securing

this interdisciplinary involvement is essential in the process of designing the facility, but also during daily operation and periodical maintenance. The report also provides measures and solutions for reducing related risks factors, particularly those related to biology. This means that competence related to fish farming and technology must be elevated through a common effort from a unified seafood industry. This becomes particularly important considering that RAS and land-based farming of Atlantic salmon in general is experiencing a period of fast development and expansion.

Key findings

- There is a general lack of documented data for land-based production of salmon with the experience distributed across a limited number of international producers.
- Given a land-based facility with a 10,000 tonne production, a full transfer from today's production (1,3 mill tonnes) to land-based RAS farms will require 130 facilities occupying 11.7 km^2 of land and 4 238 km^2 of sea, a total yearly water consumption of 0.520 billion m^3, energy consumption of 7,8 TWh, a carbon footprint of 5,1 kg CO_2 equivalents per kg produced fish, and sludge production of 283 333 tonnes with 90% dry substance.
- The purpose of the analysis of cost of production is to analyse if land-based salmon farming can be competitive in the market. Cost of production is estimated at NOK 43.60/kg, substantially higher than in sea-based farming (NOK 30.60/kg). Cost of production is primarily sensitive to changes in mortality and capacity utilization.
- The risk in land-based farming is substantial. Attempts to reduce risk will imply larger investments and higher cost of production.
- Given a complete change-over of today's juvenile production (340 million) and all fish produced at 500 g in RAS facilities with a yearly capacity of 3 000 tones there will be a need for 57 facilities which will occupy 0.612 km^2 of land and 1 148 km^2 of sea, have a total yearly water consumption of 68 million m^3, energy consumption of 0,5 TWh, a carbon footprint of 4,1 kg CO_2 equivalents per smolt sold, and a sludge production of 28 050 tonnes.
- For grow-out of 100 g smolts, cost of production is estimated at NOK 28.00/kg under “normal” conditions with no lice treatment. With 10 lice treatments this increases to NOK 33.80. For grow-out of 1000 g smolts, cost of production with no treatment is NOK 30.80/kg, increasing to NOK 32.40 with two treatments.
- Lice treatments will lead to a reduction in income due to lower classification of quality and reduced price due to rough treatment and reduced health conditions for the treated fish.
- For closed pen production, cost of production is estimated at NOK 37.90/kg which is hardly competitive so that other modes of production may be considered for this type of facility.
- Regarding technical and biological risk factors in RAS, the risk of early maturation and the persistent challenges related to handling problems with respect to H_2S are emphasised in addition to realisation of planned growth-curve for fish larger than 1,5 kg.

INNHALD

DEL I. KONSEKVENSANALYSE AV LANDBASERT OPPDRETT AV LAKS – MATFISK OG POST-SMOLT.

Kapitteloversikt:

1 Samandrag
2 Innleiing
3 Metode
4 Utvikling og fremtidsutsikter
5 Resirkuleringsanlegg kontra gjennomstrøymingsanlegg med gjenbruk
6 Dimensjonerande kriterium
7 Konsekvensanalyse – landbasert matfiskoppdrett
8 Konsekvensanalyse – landbasert settefiskoppdrett (smolt og post-smolt)
9 Teknologisk og biologisk risikoanalyse for landbasert post-smolt- og matfiskoppdrett
10 Konklusjon og punkt til vidare arbeid

DEL II. ØKONOMISKE ANALYSAR

Kapitteloversikt:

0. Innleiing
1. Økonomisk analyse av landbasert oppdrett av laks.
2. Økonomisk analyse av produksjon av storsmolt.
3. Økonomisk analyse av påvekst i opne merdanlegg.
4. Økonomisk analyse av påvekst i lukka sjøanlegg.
5. Oppsummering.

b OC2018 A-033 – Unrestricted

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)

SINTEF Ocean AS

SINTEF Ocean AS

SINTEF

SINTEF Ocean AS
Postadresse:
Postboks 4762 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 46415000

Foretaksregister:
NO 937 357 370 MVA

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)

OPPDRAGSGIVER(E)
FHF – Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond

OPPDRAGSGIVERS REF.
Kjell Maroni

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
86 + vedlegg

GRADERING	GRADERING DENNE SIDE	ISBN
Unrestricted	Unrestriced	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 gjennomstrømmingsanlegg med gjenbruk er også utført enkeltvis.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATION
DNV·GL
ISO 9001 = ISO 14001
OHSAS 18001

PROSJEKTLEDER	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV
Even Ambros Holte	Ulf Winther	Arne Fredheim

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
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

SINTEF

Innholdsfortegnelse

1 Sammendrag 5

2 Innledning 8

3 Metode 9

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

4 Utvikling og fremtidsutsikter 16

4.1 Matfisk 16

4.2 Settefisk (smolt og post-smolt) 18

5 Resirkuleringsanlegg kontra gjennomstrømmingsanlegg med gjenbruk 21

6 Dimensjonerende kriterier 21

6.1 Dimensjonerende kriterier – matfisk 21

6.2 Dimensjonerende kriterier – post-smolt 22

7 Konsekvensanalyse – landbasert matfiskoppdrett 23

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– gjennomstrømmingsanlegg med gjenbruk 34

7.4 Energiforbruk – landbasert matfisk 35

7.4.1 Energiforbruk landbasert matfisk – RAS 35

7.4.2 Energiforbruk matfisk - gjennomstrømmingsanlegg 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

8 Konsekvensanalyse – landbasert settefiskoppdrett (smolt og post-smolt) ... 48
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

9 Teknologisk og biologisk risikoanalyse for landbasert post-smolt- og matfiskoppdrett ... 54
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

10 Konklusjon og punkter til videre arbeid ... 74

11 Takk til ... 76

12 Referanser ... 77

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 gjennomstrømmingsanlegg 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. Likefult 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 m2, mens et anlegg basert på gjennomstrømmingsteknologi med gjenbruk vil kreve nærmere 64 000 m2. 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 Tromsøøya 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 m3 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_2e/kg matfisk produsert. Dette intervallet kommer av spennet i viktige parameter som økonomisk fôrfaktor energiforbruk, arealbruk og fabrikkens levetid. Et scenario satt opp med parameter antatt som mest sannsynlig resulterte i et klimaspor på 5,1 kg CO_2e/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_2e/kg kjøtt), og svin (3,5 - 11 kg CO_2e/kg kjøtt). Og med god margin under rødt kjøtt (14-30 kg CO_2e/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 forventinger 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 612 mål. En dobling av produsert biomasse gir en tilnærmet dobling av antall anlegg, (113), og et totalt arealbehov tilnærmet 1 224 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 m3 per år. Dersom fisken produseres med en snittvekt på 0,5 kg vil vannforbruket øke til 68 millioner m3 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_2e/kg smolt solgt. Ved endring av dagens produksjon av settefiskfisk 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 fellesnevnere 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 prosessteknologi 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 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_2-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 blir 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_2. 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 avsperret 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 Styrt inntak av vann Styrt avløp av vann	Som Kat.1 med tillegg av; Dobbel rømmingssikring Fjerning av lakseluslarver fra avløp med filter Rensing av slam med filter	Som Kat.2 med tillegg av ; Fjerning av fiskepatogener fra inntaksvann (UV)	Som Kat. 1-3 med tillegg av; RAS – systemer for å redusere vannforbruk

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[1], Salmon Evolution[2] og Hjelvik Matfisk AS[3]). Det er også flere prosjekt med gjennomstrømmingsanlegg under utvikling og prosjektering. I lys av overnevnte vil det derfor være både relevant og interessant å diskutere gjennomstrømmingsanlegg 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.

[1] https://www.nrk.no/sognogfjordane/slik-vil-det-sja-ut-nar-dei-produserer-laks-pa-land-1.13709350
[2] https://ilaks.no/fylket-gir-salmon-evolution-tilsagn-om-landbasert-oppdrett-blir-det-storste-anlegget-i-europa/
[3] 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. Ettersom 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.

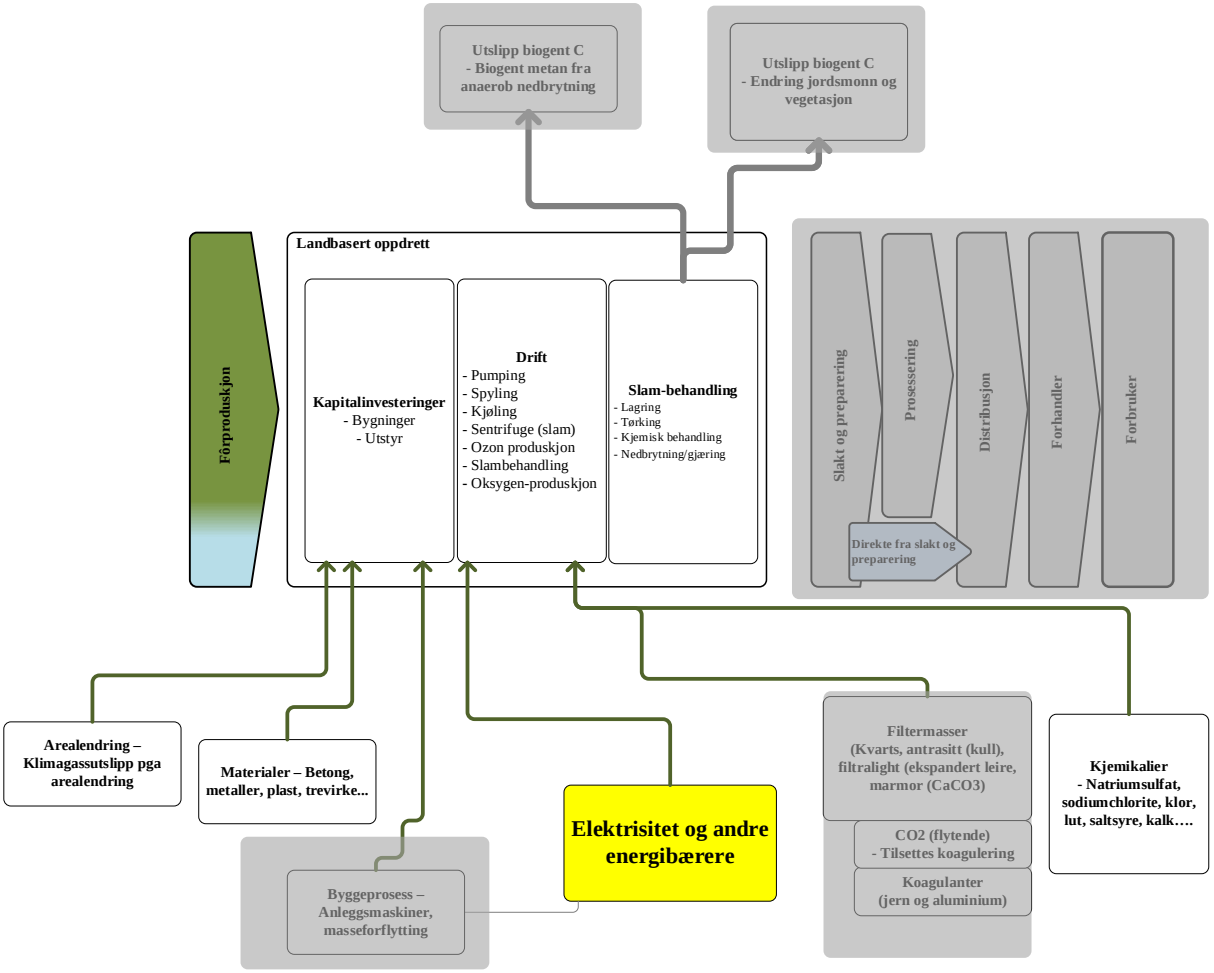
Klimaregnskapet er gjennomført med metodikk for livløpsregnskap (Life Cycle Assessment, LCA), (ISO, 2006a; ISO 2000; ISO, 2006b).

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 fôreffektivitet 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, avgreninger 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 fôret 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 eksiterende produkter.
- **Systemgrenser**: Analysen inkluderer livsløpet til laksen fra fôrproduksjon 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 klimaaspekt 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 klimaaspekt 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

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_2e/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_2e/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_2e/m2. 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 O2/ kg fôr Post-smolt: 0,5- 0,7 kg flytende O2/ 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 m2 per tonn årlig produksjon Post-smolt: 2-3 m2 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.

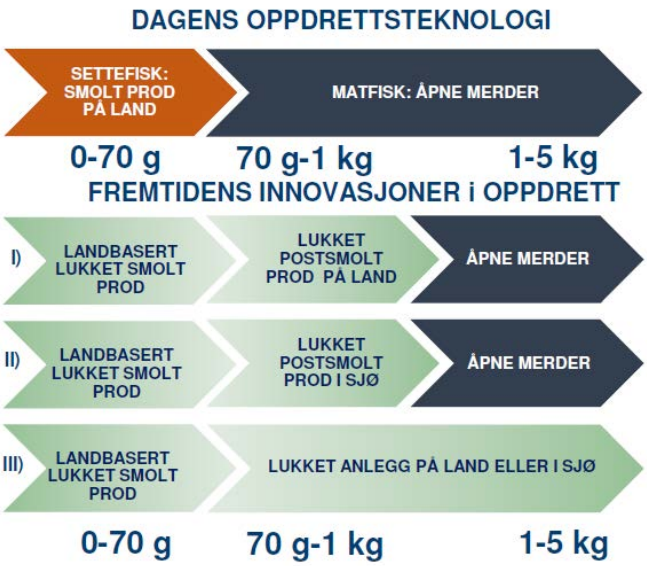
4 Utvikling og fremtidsutsikter

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 utstyrsleverandører. 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 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 likefult 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[4]	Nei	RAS	Øygarden	8 000
Kobbervik og Furuholmen Oppdrett AS[5]	Nei	RAS	Årskog i Fitjar	10 000
Green Seafood Group[6]	Nei	Ikke kjent	Tjuin (Verran Kommune)	4 800
Losna Seafoods[7]	Nei	RAS	Averøy og Losna	Ikke kjent
Salmo Evolution[8]	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

[4] https://www.kyst.no/article/slik-vil-salmo-terra-produsere-laks-paa-land/
[5] https://www.kyst.no/article/foerste-soeknad-om-landbasert-matfisk-i-hordaland-gaar-for-10-000-tonn/
[6] https://ilaks.no/venter-pa-forskriftsendring-for-a-kunne-bygge-landbasert-oppdrettsanlegg-i-verran/
[7] https://ilaks.no/geir-nordahl-pedersen-jeg-vil-ikke-gi-deg-hele-oppskriften/
[8] 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 sikte 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 gjennomstrømmings-anlegg. 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: Gjennomstrømmingsanlegg 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 at et økende fokus på vannkvalitet og produksjonseffektivitet.
- Endringer i nasjonale regelverk for nasjonal settefiskproduksjon, hvor begrensingen 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 re-formuleres. Kort oppsummert antas det at produksjon og utsett av post-smolt vil medføre (Terjesen, 2017; Holm, et. al., 2015):

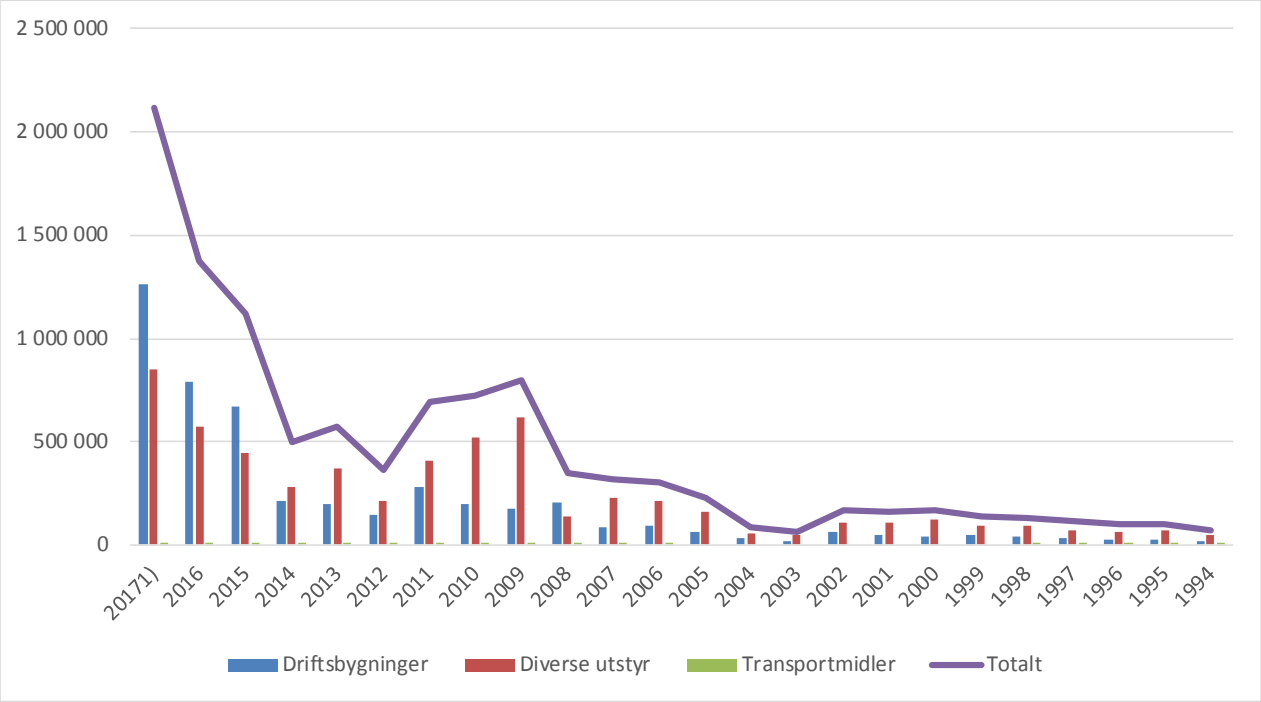
- Vekst i norsk lakseproduksjon gjennom økt mulighet for mer effektiv utnyttelse av tilgjengelig MTB.
- Kortere produksjonstid i sjø som bl.a. vil medføre redusert lusepress.
- Økt kontroll på ulike produksjonsparameter og dermed redusert risiko.
- Økt overlevelse gjennom utsett av større og mer robust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

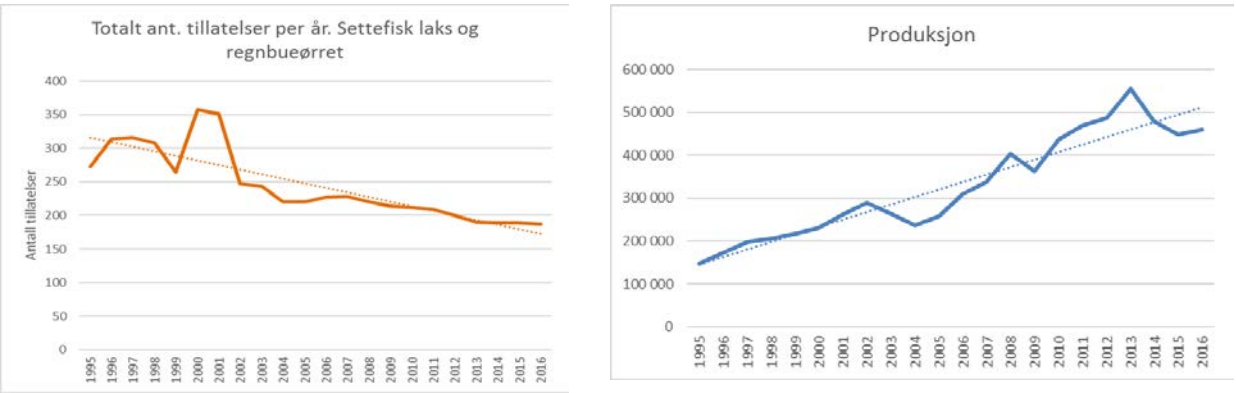
Tabell 3: Smolt og post-smolt anlegg bygget i nyere tid (etter 2015), (Kilde: Krüger Kaldnes Referanseliste, 2017; Billund Aquakulturservice AS, 2018).

Produsent	Produksjonskapasitet per år	Teknologi- leverandør og type
Marine Harvest, Steinsvik	7,5 mill. post-smolt (á 250g)	Krüger Kaldnes, RAS
Helgeland Smolt,	4,0 mill. post-smolt (á 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 (á 250g)	Krüger Kaldnes, RAS
SalMar Tromsø	15 mill. smolt	Billund Aquakulturservice, RAS
Smoltanlegget Salangsverket	6,0 mill. post-smolt (á 250g)	Krüger Kaldnes, RAS
Astafjord smolt	3,0 mill pot-smolt (á 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/yngel 1.000 stk. (laks og regnbueørret) (Tabell 08967, www.ssb.no; Tabell A.05.003, www.fiskdir.no)

Tatt i betrakting 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 gjennomstrømmingsanlegg 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 gjennomstrømmingsanlegg. 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 utstyrsprodusenter, anlegg under utvikling, og driftserfaring fra oppdrettere, har prosjektet definert er 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 tonns 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 fôrfaktor (økonomisk)	1,15
Fisketetthet (kg/m3)	65 kg
Arealbehov (m2/kg fisk produsert)	6 m2
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 O2

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 fôrfaktor (økonomisk)	1,0
Fisketetthet (kg/m3)	65 kg
Arealbehov (m2/kg fisk produsert)	2-3 m2
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 O2

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.

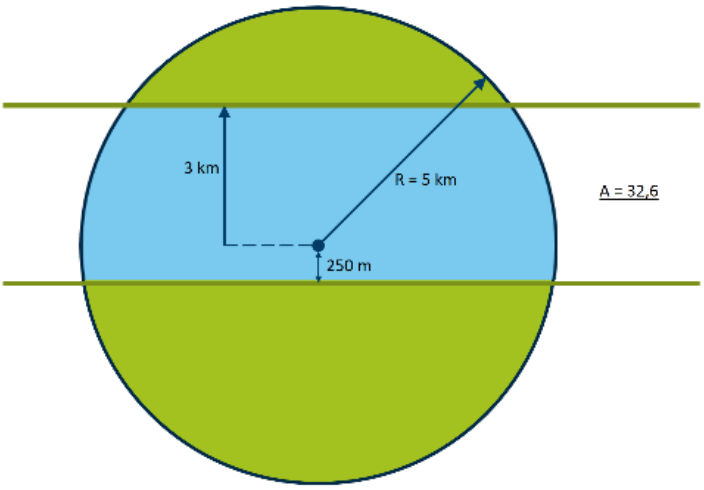
I denne analysen er det beregnet hvor mye areal på land som en flytting av all norsk lakse- og ørretproduksjon vil legge beslag på, både i ren bygningsmasse og totalt landareal inklusiv omkringliggende areal (brutto areal). Det er også beregnet hvor mye sjøareal landbasert oppdrett vil beslaglegge med 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^2, 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 overlappe 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^2.



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 (km2)**	**Ant. anlegg**	**Areal (km2)**	**Ant. anlegg**	**Areal (km2)**
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 km2.

Gitt at alle anlegg etableres i kystsonen, kan man fra tabellen lese at det er behov for 260 landbaserte oppdrettsanlegg med er årlig produksjonskapasitet 5 000 tonn for å dekke dagens lakse- og ørretproduksjon i Norge. Dette vil kreve et teoretisk samlet sjøareal på ca. 8 500 km2. 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 km2.

Fastlands-Norges indre sjøareal (innenfor grunnlinja) er på 89 091 km2 (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 km2, 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 gjennomstrømmingsanlegg 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 gjennomstrømmingsanlegg 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^2 per kilo 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^2 per kg 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^2. Sistnevnte er antatt lavere ettersom en viss skalaeffekt kan forventes (Tabell 7).

Tabell 7: Estimert arealbehov per anlegg for ulike anleggstørrelser - RAS

Arealbehov på land per anlegg basert på produksjon per år i tonn			
Årlig anleggskapasitet i tonn	**2 000**	**5 000**	**10 000**
Netto arealbehov i m2 (bygningsmasse)	12 000	30 000	60 000
Tilleggsfaktor areal i m2 (vei, tomt, etc.)	2	1,5	1,5
Brutto arealbehov per anlegg (m2)	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 m2/kg av Billund Akvakultur. Med utgangspunkt i 6 m2/kg vil et anlegg med en produksjonskapasitet på 2 000 tonn per år kreve et netto bygningsareal på 12 000 m2. En fotballbane med internasjonale mål har et areal på litt over 7 000 m2, 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 gjennomstrømmingsanlegg med gjenbruk vil disse måtte etableres i kystsonen, og en kan derfor forvente en viss grad av interessekonflikt (nedbygging av strandsone, ivaretakelse av biologisk mangfold, byggeforbud i 100-metersbeltet, etc.). Innsamlet data har avdekket at et gjennomstrømmingsanlegg har et dimensjonerende arealbehov i området 2,5 til 6 m2 per kg fisk produsert. For de utførte beregningene er det derfor tatt utgangspunkt i et dimensjonerende arealbehov på 4,25 m2 per kg produsert fisk (Tabell 9).

Tabell 9: Estimert arealbehov per anlegg for ulike anleggstørrelser - 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 m2	8 500	21 250	42 500
Tilleggsfaktor m2	2	1,5	1,5
Brutto arealbehov per anlegg (m2)	17 000	31 875	63 750

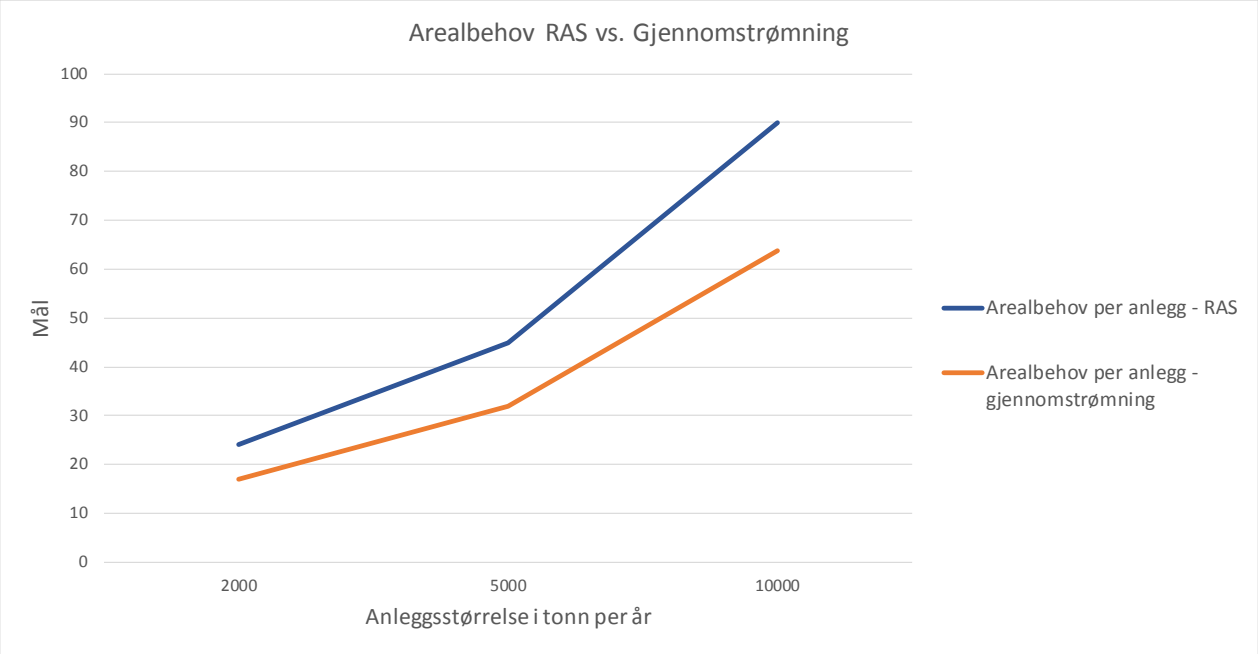
Estimatene viser at et anlegg med en produksjonskapasitet på 2 000 tonn per år kreve et netto bygningsareal på ca. 8 500 m2, mens et for 10 000 tonn vil kreve et netto areal på ca. 42 500 m2.

Med utgangpunkt i gjennomstrømmingsanlegg 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 gjennomstrømmingsanlegg 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 utgangpunkt 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 likefult 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
Totalt	**1 829 236**	**1 708 912**	**1 746 451**	**1 742 417**	**1 624 410**	**1 663 894**	**1 509 211**

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
Totalt	**1 829 236**	**914 618**	**457 309**	**48 138**	**24 069**

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 kystsone 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_2 og ammoniakk. Ved beregning av vannbehov for landbasert matfiskoppdrett er det derfor naturlig å

beregne vannbehovet både ved bruk av RAS og gjennomstrømmings-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_2, 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 spedevannsbehov 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. Likefult 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 brakkvannsproduksjon 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 (m3/år)	Vannforbruk brakkvann RAS (m3/år)	
Vann	N/A	Saltvann	Ferskvann	Saltvann
Produksjon 2017	1 300 000	520 000 000	343 200 000	176 800 000
Dobling av dagens produksjon	2 600 000	1 040 000 000	686 400 000	353 600 000
Femdobling av dagens produksjon	6 500 000	2 600 000 000	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, brakkvannskilder 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.

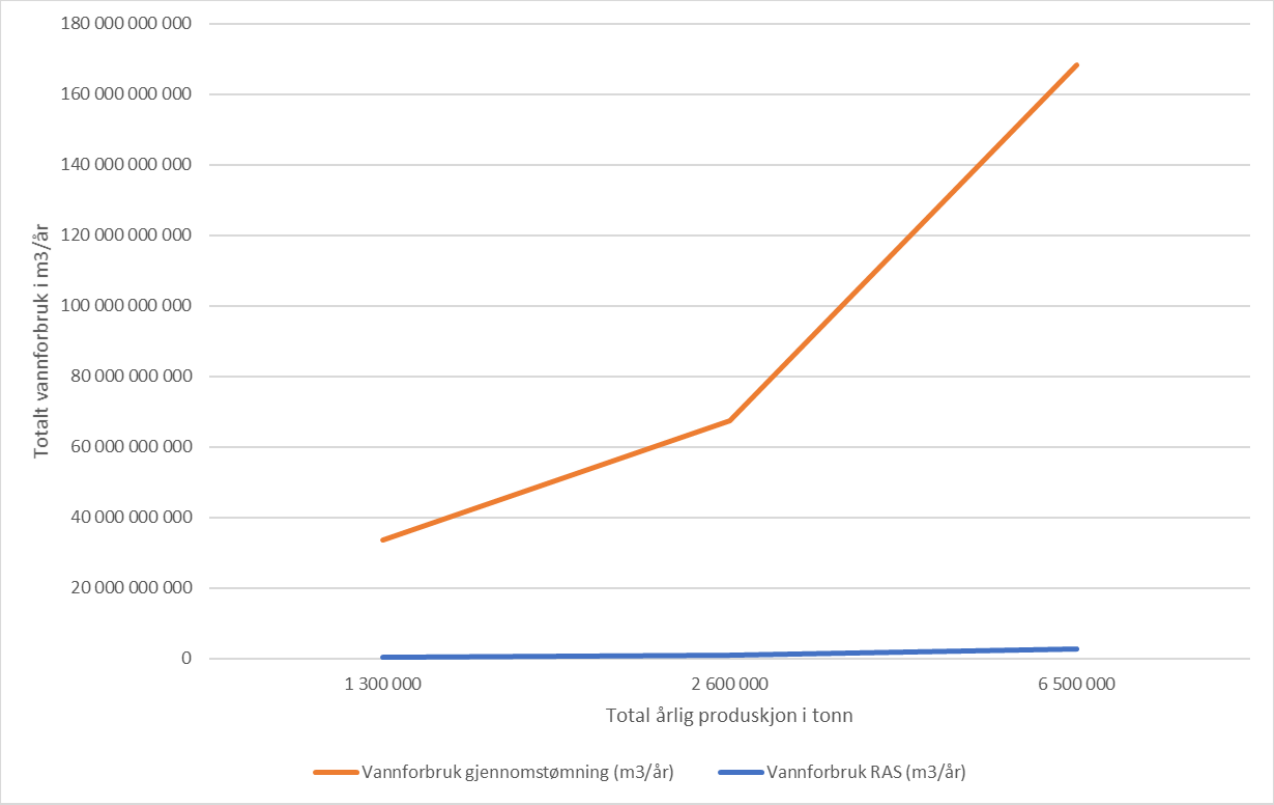
7.3.2 Vannforbruk landbasert matfisk– gjennomstrømmingsanlegg med gjenbruk

Ved bruk av tradisjonell gjennomstrømmingsteknologi 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 gjennomstrømmingsanlegg 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 gjennomstrømmingsanlegg 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 gjennomstrømmingsanlegg med gjenbruk.

Produksjon laks og regnbueørret	Produksjon per år (tonn)	Gj. snitt stående biomasse (kg)	Vannforbruk (m3/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 gjennomstrømming 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 m3 (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 (norskvann.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_2-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 utgangpunkt 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 - gjennomstrømmingsanlegg

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

Hva gjelder energiforbruk for gjennomstrømmingsanlegg 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 gjennomstrømmingsanlegg 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_2e/kg matfisk produsert**. Dette intervallet kommer av spennet i viktige parameter som økonomisk fôrfaktor energiforbruk, arealbruk og fabrikkens levetid. Et scenario satt opp med utgangspunkt i de dimensjonerende kriteriene resulterte i et klimaspor på **5,1 kg CO_2e/kg matfisk produsert på land.** Tilsvarende for produksjon av post-smolt ga et klimaspor på **4,1 kg CO_2e/kg produsert.**

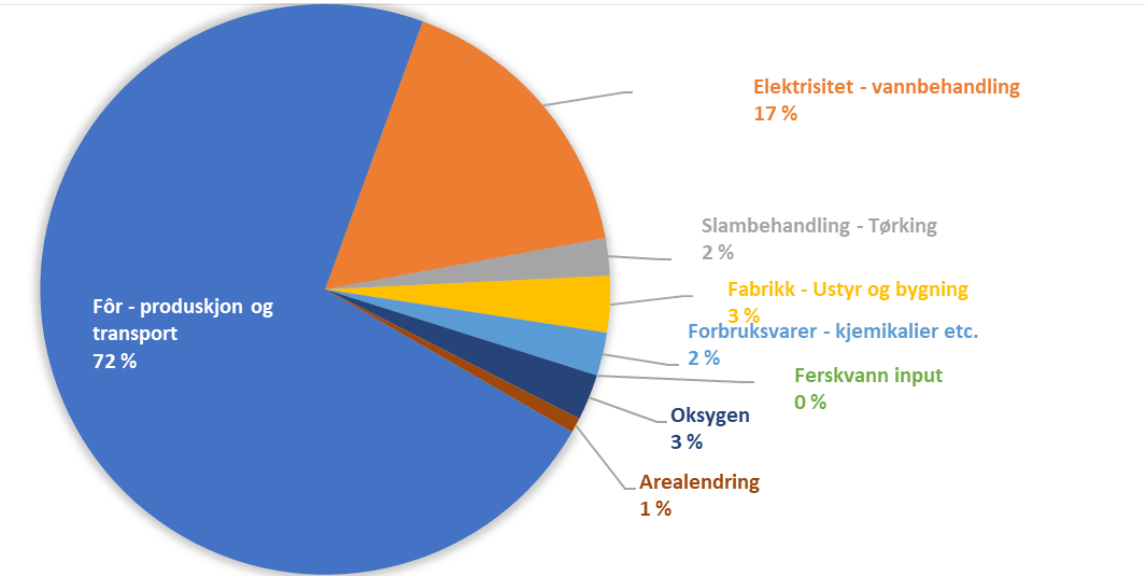
De viktigste klimaaspektene i landbasert oppdrett er fôreffektiviteten og hvor mye energi som brukes i vannbehandlingen. I tillegg viser analysen at også utstyr, bygninger, andre forbruksvarer og arealendring står for nesten 10% av klimaregnskapet. Altså er det mer enn bare fôreffektivitet og energibruk 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 fôrfaktor på 1,15 har et klimaspor som er 28% høyere enn fisk fra oppdrett i åpen merd i sjø med en økonomisk fôrfaktor på 1,25. I en slik sammenligning er det viktig å legge merke til at det er stor variasjon i den økonomiske fôrfaktoren i den norske havbruksnæringen. I dag kan mange som driver oppdrett i åpen merd i sjø ha en økonomisk fôrfaktor så høy som 1,6 og da kan en landbasert produksjon med lavere fôrfaktor oppnå et lavere klimaspor.

7.5.1 Resultat landbasert oppdrett av matfisk

Klimasporet per kilo matfisk produsert ble **5,1 kg CO_2e/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.



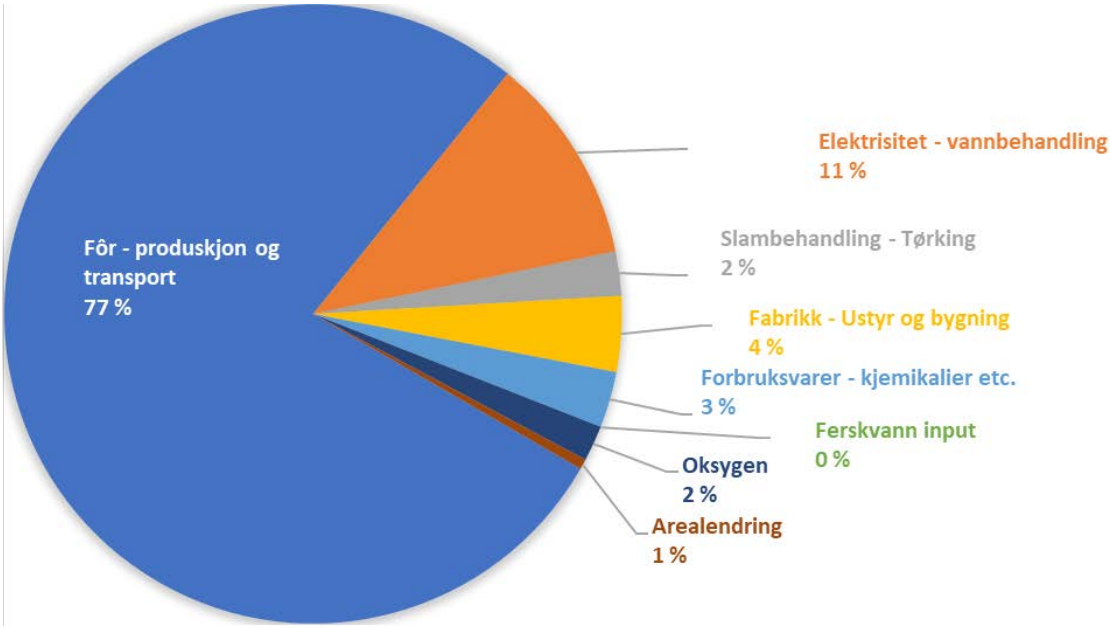
Figur 11: Fordeling av klimasporet til matfisk produsert i RAS anlegg

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 m2/per tonn årlig produksjon.
- Produksjonskapasitet for anlegget 3 000 tonn/år.

Det samlede klimaregnskapet ble **4,1 kg CO_2e/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.



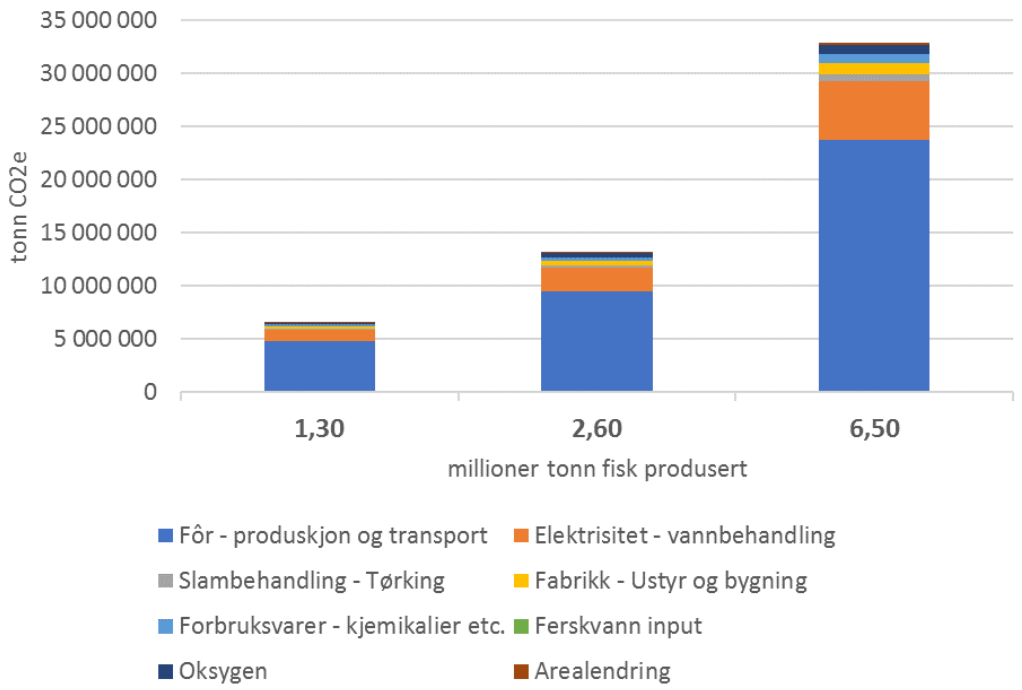
Figur 12: Resultat klimaregnskap for smoltproduksjon

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_2e. 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_2e betyr kan man gjøre følgende sammenligninger:

- Samlet utslipp fra norsk territorium (inkludert sokkelen) var i 2016 på 53,3 millioner tonn CO_2 ekvivalenter[9]. 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_2e[10] tilbake i 2004.
- Sektoren «olje og gassutvinning» stod for et utslipp på ca. 15 millioner tonn CO_2e i 2016. Igjen kun direkte utslipp innenfor norsk sektor.



Figur 13: Samlet klimaregnskap ved storskala landbasert oppdrett

7.5.4 Sensitivitetsanalyser

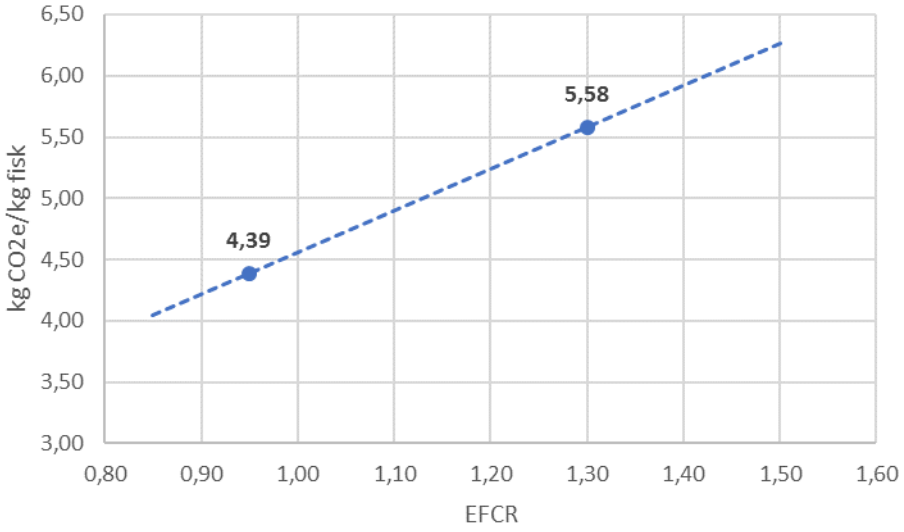
Det følgende viser hvordan klimasporet endrer seg med variasjon i noen utvalgte parameter. Parameterne er valgt ut basert på hvor viktige de er for det totale klimasporet og ren nysgjerrighet.

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

[9] https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn/aar-endelige
[10] http://carbonfootprintofnations.com/content/environmental_footprint_of_nations/

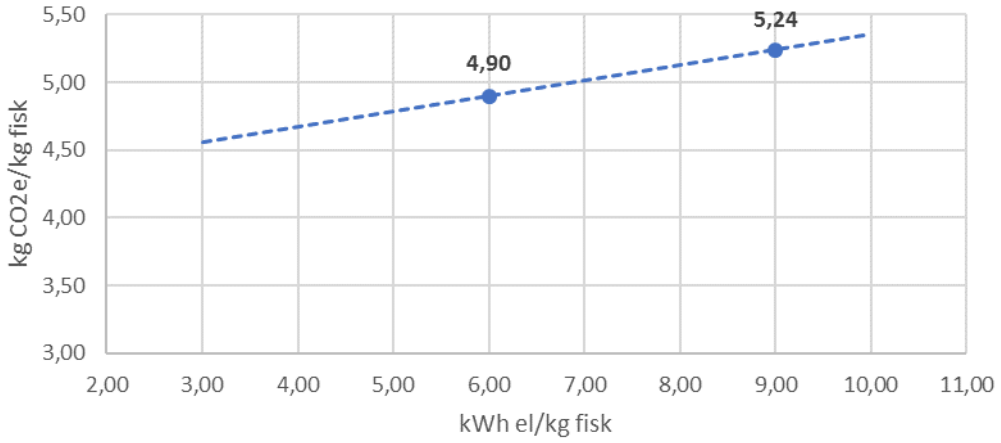
holdt likt. Dette bekrefter tydelig at fôreffektiviteten er den dominerende parameteren i klimaregnskapet til oppdrettslaks også i en landbasert produksjon.



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 hodes 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.

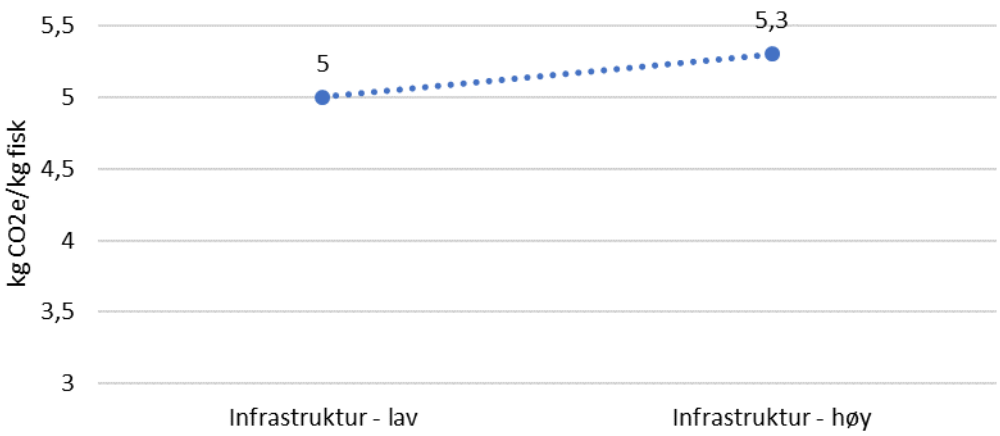


Figur 15: Endring i elforbruk per kg fisk vs. endring i klimasporet til produktet

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 m2/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.

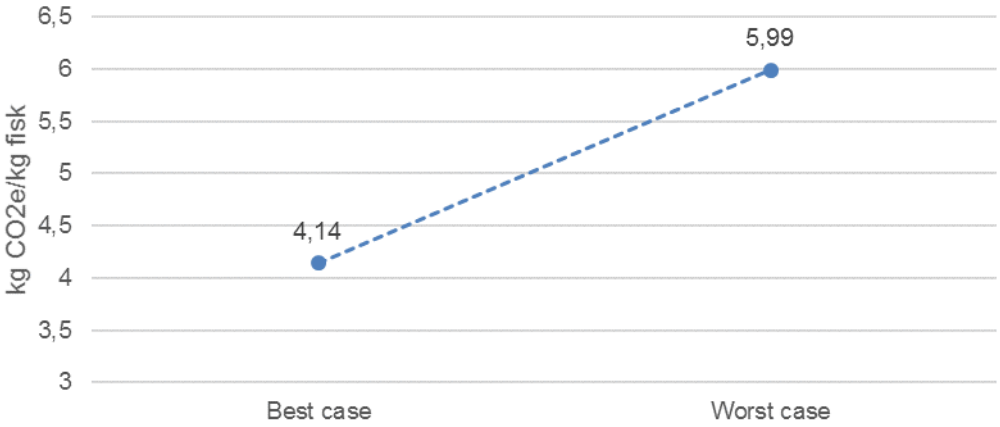


Figur 16: Endring i antagelser om infrastruktur vs. endring i klimasporet til produktet

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 m2 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 m2 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_2e/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_2e/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 fôrfaktoren på 1,25, men det er høy variasjon bak dette snittet. I følge Fiskeridirektoratets «Lønnsomhetsundersøkelser for laks og regnbueørret»[11] har mange selskap en økonomisk fôrfaktor 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 fôrfaktor på 1,6 så blir klimasporet for åpent oppdrett i sjø nærmere 5,3 kg CO_2/kg fisk til menneskelig konsum[12]. 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_2e/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_2e/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_2e /kg fisk levert til kai (Ziegler, et al. 2012).

Her gjengis noen verdier fra analyser av populære kjøttprodukter:

- Storfekjøtt 14-30 kg CO_2e/kg kjøtt (van Oort and Andrew 2016; Hognes, et al., 2011; Blonk, 2014; Fremtiden i våre hender, 2018).
- Kylling 2 - 6 kg CO_2e/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_2e/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

[11] https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Statistiske-publikasjoner/Loennsomhetsundersoekelser-for-laks-og-regnbueoerret

[12] Mer detaljer om sammenligningen: I analysen fra 2012 utgjorde fôr 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_2/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 rensekrav 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 utslippsreduserende 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 gjennomstrømmingsanlegg 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_2 /l ved utslipp, og
- KOFcr -mengden i avløpsvannet reduseres med minst 75% av det som blir tilført renseanlegget, eller ikke overstiger 125 mg O_2 /l ved utslipp.

7.7 Slam fra landbasert – matfisk

Sett bort i fra noen få pilot-prosjekter (Skretting[13], Smøla Klekkeri og Settefiskanlegg[14]), 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

[13] https://ilaks.no/nytt-prosjekt-gjenvinner-slam-fra-landbasert-oppdrettsanlegg-til-verdifull-gjodsel/
[14] https://ilaks.no/smola-produserer-300-000-kwh-per-ar-med-biogass-fra-fiskeslam/

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).

Tabell 18: Teoretisk estimerte total årlig slamproduksjon.

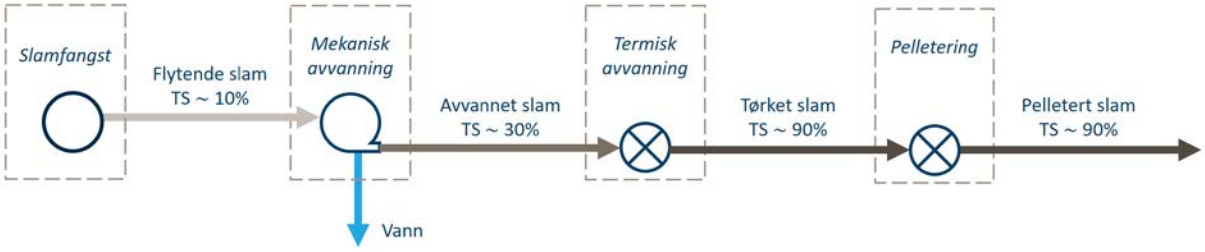
Produksjon laks og regnbueørret	Biomasse (tonn)	Slam (10 % TS, tonn)	Slam (90 % TS, tonn)
Produksjon 2017	1 300 000	2 145 000	238 333
Dobling av dagens produksjon	2 600 000	4 290 000	476 667
Femdobling av dagens produksjon	6 500 000	10 725 000	1 191 667

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

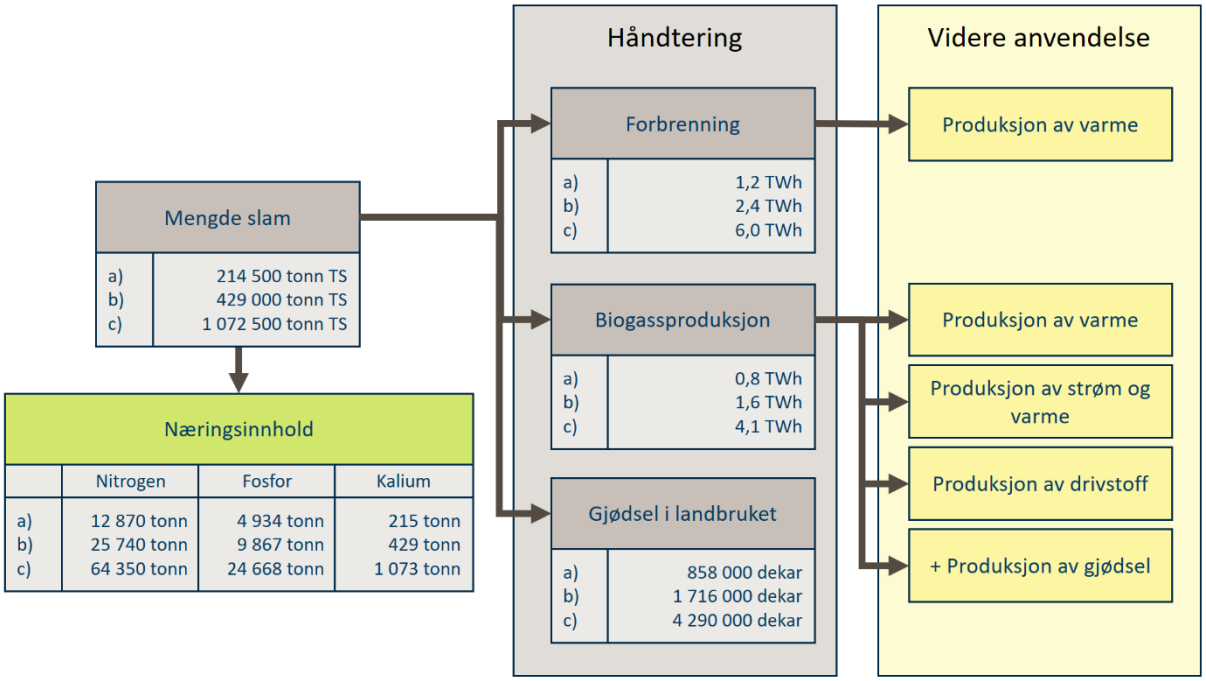
Anlegg (årlig prod. kap)	Slam per anlegg (10% tørrstoff)	Slam per anlegg (90% tørrstoff)
2 000 tonn	3 300	330
5 000 tonn	8 250	825
10 000 tonn	16 500	1 650

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 pelleteres 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 scenarioer 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^3/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 gjødselforsøk 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 fôres 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 likefult 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.

	Biomasse (tonn)		
Antall settefisk	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 håndter 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. Estimat for antall anlegg og tilhørende beslaglagt areal i sjø for ulik produksjon av biomasse og nevnte vektklasser (0,15, 0,5 og 1,0), er gjengitt i tabellen nedenfor (Tabell 21).

Tabell 21: Estimert antall km^2 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 (km2)
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^2 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^2, da gitt at all fisk produseres ved anlegg med årlig produksjonskapasitet på 3 000 tonn. En dobling av produksjon vil beslaglegge 3695 km^2 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 8000-12000 m2 netto bygningsareal, og en produksjonskapasitet på 2000-3000 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 gjennomstrømmingsanlegg. 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^2 er benyttet for å estimere brutto arealbehov.

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	612
Produksjon 2017	340 Mill fisk a 0,5 kg	170 000	57	2 040
Produksjon 2017	340 Mill fisk a 1,0 kg	340 000	113	4 080
Dobling av dagens produksjon	680 Mill fisk a 0,15 kg	102 000	34	1 224
Dobling av dagens produksjon	680 Mill fisk a 0,5 kg	340 000	113	4 080
Dobling av dagens produksjon	680 Mill fisk a 1,0 kg	680 000	227	8 160
Femdobling av dagens produksjon	1 700 Mill fisk a 0,15 kg	255 000	85	3 060
Femdobling av dagens produksjon	1 700 Mill fisk a 0,5 kg	850 000	283	10 200
Femdobling av dagens produksjon	1 700 Mill fisk a 1,0 kg	1 700 000	567	20 400

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 2 040 mål. En dobling av kapasitet ved produksjon av samme snittvekt innebærer et behov for 113 anlegg, med et totalt arealbehov på 4 080 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_2 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 filtrene 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 (m3/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 m3 per år. Dersom fisken produseres opp til 0,5 kg vil vannforbruket øke til 68 millioner m3 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_2-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 fellesnevnere 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. Kapittelet 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 risikomatrise.

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, 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 ettersom RAS medfører et stort behov for å forstå samspillet mellom prosessteknologi 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 rekrutering. 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 Sunndalsøra, 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 gjennomstrømmingsanlegg kan ansees som et relativt passivt system, hvor vannutskifting skjer ved selvfall. 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_2. 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. Gjennomstrømmingsanlegg har også flere verifiserte parameter 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 bakteriekolonnier 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, pumpesumper 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.

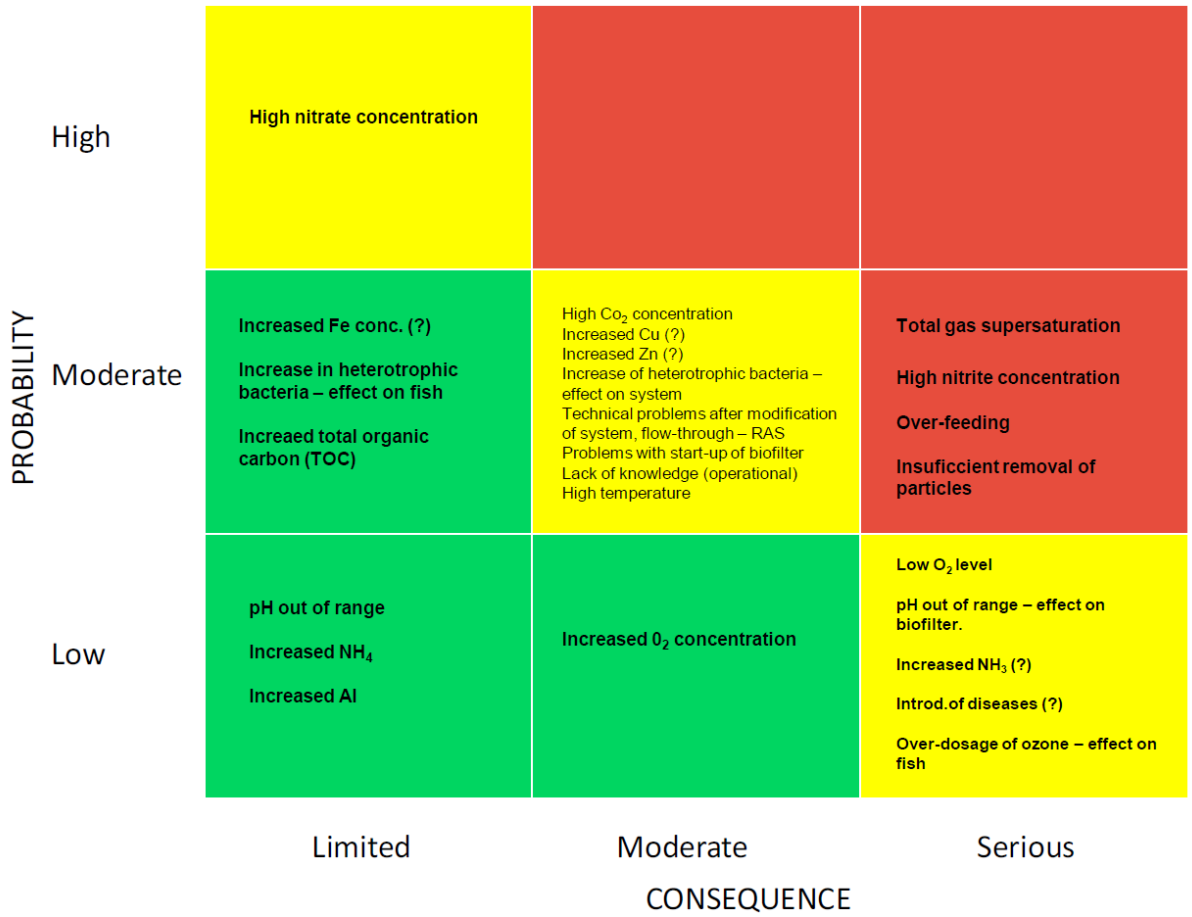
Øvrige prosesstekniske utfordringer som det ofte henvises til er nitrogenovermetning og CO_2-forgiftning. Av risikoreduserende tiltak vises det særlig til designfasen, hvor design av rørsystemer, pumpesumper og vannbehandlingsanlegg må forhindre dødsoner (stillestående vann), sedimentering av partikulært materiale, eller dårlig gjennomstrømming i vannforsyningssystemet. 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. Likefult, 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_2S-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 risikoreduserende 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 gjennomstrømmingsanlegg kreves større vannmengder sammenlignet med RAS for å kontinuerlig sørge for tilstrekkelig vannutskifting. Sikkerheten omkring vannforsyningssystemene må likefult 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 risikomatrise, 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 gjennomstrømmingsanlegg 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 ± SD (n = 4 kar for hvert produksjonssystem) (Noble, et al., 2017, s. 154).

Vannkvalitetsparameter	Produksjonssystem	
	GS	RAS
pH	6,68 ± 1,16	7,28 ± 0,12
ΔH^+ (µmoL/L)	0,15 ± 0,09	0,04 ± 0,02
Alkalinitet (mg/L)	17,0 ± 1,7	48,0 ± 6,6
CO_2 (mg/L)	4,8 ± 1,3	4,6 ± 1,2
TSS (mg/L)	0,7 ± 0,3	3,4 ± 1,2
Turbiditet (NTU)	0,42 ± 0,18	1,38 ± 0,43
TAN (mg/L)	0,2 ± 0,0	0,3 ± 0,1
NO_2-N (mg/L)	0,01 ± 0,00	0,06 ± 0,04
NO_3-N (mg/L)	0,46 ± 0,04	22,73 ± 3,43

Håndboken fremstår derfor som det ett av de mest oppdaterte dokumentene for risikostyring ved RAS- og gjennomstrømmingsanlegg. 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 gjennomstrømmingsanlegg, og det er derfor et behov for å verifisere optimale nivåer av NH3-N for RAS.
- CO_2: Samtlige studier er så langt utført i gjennomstrømmingsanlegg, og det er behov for å verifisere optimale nivåer av CO_2 i RAS-miljøer.

Hovedutfordringen knyttet til risiko for dårlig vannkvalitet er forgiftning knyttet til H_2S 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.

H_2S-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 H_2S med påfølgende dødelighet som resultat. H_2S 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 H_2S, unngå slamtepper og bio-fouling. Tiltak for å redusere risiko for H_2S-forgiftning er å overvåke redox-potensialet, sikre god gjennomstrømming, måle H_2S og ha nitrat stående for tilsetting 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 risikoreduserende tiltak trådde 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 produksjonsparameter 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.

Risikoelement: • Rømming fra settefiskanlegg og matfiskanlegg på land. • Massedød knyttet til f.eks. H_2S og gassovermetning, men også uklar(e) årsaksforhold. • Utbrudd av sykdom, og tilbakevennende tilfeller. • Oppnåelse av tilstrekkelig desinfisering av anlegg etter desinfisering og re-etablering av bio-filter. • Soner med stillestående vann, utilstrekkelig sirkulering. • Realisering av planlagt vekstrate fra 1,5 til 5 kilo. • Tidlig kjønnsmodning.
Risikoreduserende tiltak: • Flere barrierer mot rømming. • Utvikle verifiserte vannkvalitetsparameter spesifikt for RAS, både for ferskvann og brakkvann. • Utvikle design og driftsprotokoller knyttet til H_2S-problematikken. • Etablering av åpent tilgjengelig database for dokumentering av negative driftserfaringer, samt effekten av iverksatte (risikoreduserende) tiltak. Fokus på årsaks- og virkningsforhold. • 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. • Sikre optimal lysstyring og vanntemperatur for redusert sannsynlighet for kjønnsmodning.

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
Dagens prod. kap	Tot ant. anlegg	260	130	260	130	260	130
	anlegg per år	15	15	20	20	25	25
	Antall år før full dekning	*17*	*9*	*13*	*7*	*10*	*5*
	Antall år for 50% dekning	*9*	*4*	*7*	*3*	*5*	*3*
Dobbling av dagens prod. kap	Tot ant. anlegg	520	260	520	260	520	260
	Anlegg per år	15	15	20	20	25	25
	Antall år før full dekning	*35*	*17*	*26*	*13*	*21*	*10*
	Antall år for 50% dekning	*17*	*9*	*13*	*7*	*10*	*5*

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 gjennomstrømmingsanlegg 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, okysgeneringsanlegg, 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 kontraktsmessig.

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.

Risikoelement: • Kapasitetsutfordringer vedrørende design og bygging av RAS-anlegg, både med tanke på settefisk- og matfiskanlegg. • Involvering av flere områder som krever spisskompetanse innen mange fagfelt kan gå ut over "helhetsbildet", og særlig samspillet mellom biologi og teknologi. • Riktig dimensjonering og design ved store matfiskanlegg (10 000 tonn <).
Risikoreduserende tiltak: • Gradvis utbygging av landanlegg kombinert med dokumentering av erfaringer. • Dokumentering og formidling av "negative" og positive erfaringer for felles kompetanseheving, og som underlag for mer optimalt anleggs-design. • Tverrfaglig samarbeid ved kobling av produksjons (inkludert økonomisk) - og biologisk kompetanse. • Økt erfaringsutveksling mellom produsent og leverandører vedrørende design men også bygging og bygge-strategi, både positive og negative.

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/m3 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/m3, men tettheter på 100 kg/m3 og 125 kg/m3 gir negative effekter på vekst, stress og finneslitasje (Calabrese et al., 2017). Aktuelle risikoelement vedrørende for høy fisketetthet er oppsummert nedenfor, inkludert risikoreduserende tiltak.

Risikoelement: • Redusert tilvekst • Slitasje på finner og hud • Redusert andel "optimal" fisk • Sårdannelse
Risikoreduserende tiltak: • Redusere tetthet i kar

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 gjennomstrømmingsanlegg 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.

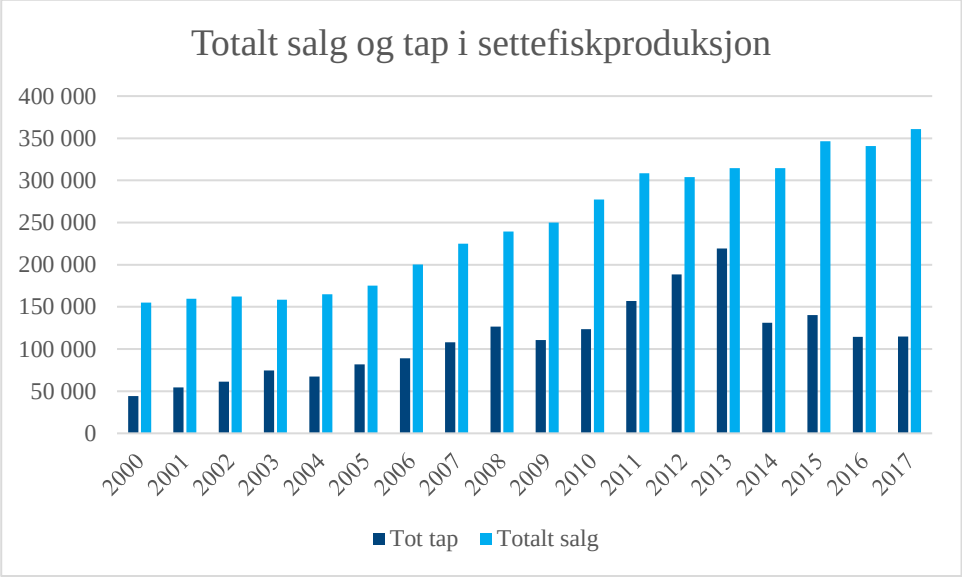
Risikoelement: • Redusert tilvekst.
Risikoreduserende tiltak: • Redusere tetthet. • Redusere konsentrasjoner av vannkvalitetsparametere som CO_2, TAN, mfl. • Redusere resirkuleringsgrad og dermed øke vannutskifting. • Redusere håndtering i anlegget gjennom livssyklusen. • Økt fokus på genetikk da dagens 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_2. Det er således behov for et eget genetikkprogram for landbasert, et område hvor det foreligger mye arbeid.

Svinn og dødelighet

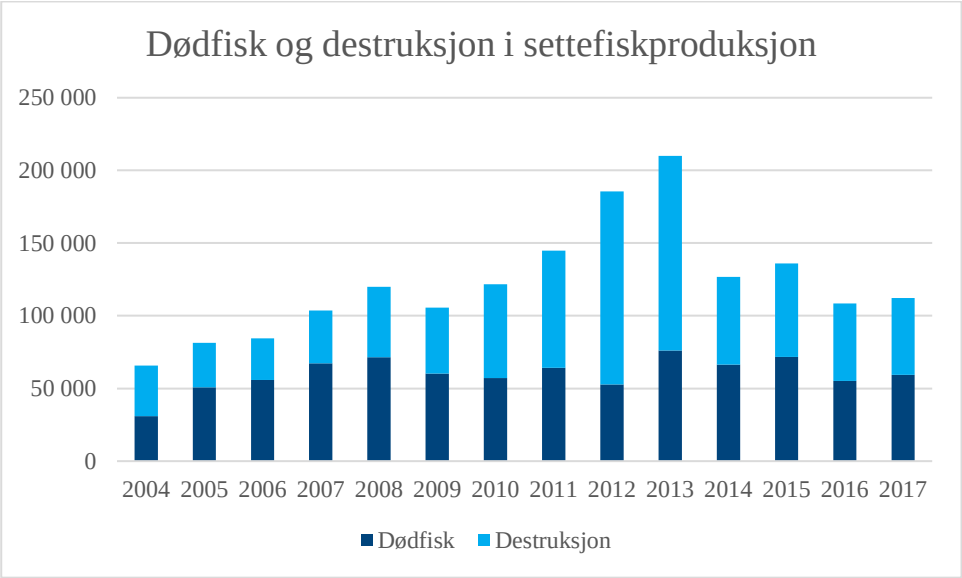
Prosjektet har forsøkt å etablere et datamateriale omkring dødelighet og svinn for postsmoltproduksjon i RAS-anlegg, relatert til destruksjon, sykdom og hendelser med høy akutt dødelighet. Ettersom Fiskeridirektoratet ikke oppgir data spesifikt for RAS-anlegg eller postsmoltproduksjon for settefiskproduksjon 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 settefisklokaliteter 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 løsning, 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 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 gjennomstrømmingsanlegg 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 (gjennomstrømmingsanlegg) viser et totalt smoltutbytte på 93-95,4% i årene 2014-215 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/yngel, små fisk/tapere, utkast vaksinering og destruering.

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.

Risikoelement: • Høyere daglig dødelighet enn beregnet. • Økt andel tapere som må destrueres. • Akutt dødelighet pga. uhell.
Risikoreduserende tiltak: • Gradvis utbygging av landanlegg. • Øke sikkerhetsnivå på teknisk drift og biologiske prosedyrer. • Økt kompetanse og erfaring på drift av landbaserte RAS-anlegg. • 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.

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 ekstern leverandør 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 smittemulighetene reduseres og kun sykdommer som kan smitte vertikalt vil kunne bringes inn i anlegget.

I et RAS-anlegg er det et stort mangfold av bakerier. For å oppnå gode miljøforhold er det viktig å ha riktig bakteriell sammensetning på de rette steder gjennom hele vannforsyningssystemet. 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 Fiskehelserapporten (Hjeltnes, et al., 2018), viser til et klart kunnskapshull vedrørende risikoreduserende 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 gjennomstrømmingsanlegg (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

redusert fiskevelferd (Toften et al. 2011). Selv om dette er å anse som "gamle" erfaringer, utgjør de likefult 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_2. Dette problemet er noe større i anlegg med innblandet sjøvann, da løseligheten for CO_2 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_2-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.
Risikoreduserende 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_2 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 gjennomstrømmingsanlegg 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 risikomatrisene for RAS-anlegg og gjennomstrømmingsanlegg med gjenbruk (Tabell 29 og Tabell 30).

Tabell 29: Risikomatrise 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 **- matfisk**	Høy	Redusert produksjon, slaktevolum og lavere slaktevekt.	• Redusere fisketetthet i kar. • Øke vannforbruk (økt spedevannsforbruk). • Sikre optimal vannkvalitet og stabil sirkulasjon gjennom planlegging og design av anlegg. Avgjørende å sikre nødvendig kapasitet på system for vannbehandling. • Øke kapasitet i vannbehandlingssystem, f.eks. CO_2 og partikulært materiale. • Tillate tilstrekkelig tid for å modne biologisk filter ved oppstart og/eller sanering/ desinfisering.
Svinn/ akutt dødelighet – **matfisk og post-smolt**	Middels	Redusert produksjon. Økt andel "tapere" som destrueres.	• Redusere fisketetthet i kar. • Økt overvåking av aktuelle vannkvalitetsparameter. • Analysere RAS-enhet for stillestående vann og sedimentering. • Redusere antall håndteringer. • Øke sikkerhetsnivå på teknisk drift og biologiske prosedyrer. • Økt overføring av erfaringsbasert kompetanse på tvers av produsenter og RAS-anlegg. • Ved meldepliktig svinn og dødelighet bør årsaksforhold, produksjonsteknologi, saltholdighet, vannforbruk avdekkes og rapporteres sammen med tapt biomasse.
Sykdom, parasitter og bakterier – **matfisk og post-smolt**	Lav	Redusert produksjon.	• Analysere lokasjon og design av vanninntak. • Gjennomgå rutiner/ tiltak for desinfisering av vann. • Integrering av eget klekkeri og egenproduksjon av settefisk ved matfiskanlegget for redusert smitterisiko. • Øke vannbehandlingen av inntaksvann med mekanisk- og membranfiltrering for å redusere inntak av bakterier, virus eller parasitter. • Ved meldepliktig svinn og dødelighet bør årsaksforhold, produksjonsteknologi, saltholdighet og vannforbruk rapporteres inn sammen med tapt biomasse.
Redusert kvalitet – **matfisk**	Lav	Redusert andel superior fisk.	• Øke tiden fisken går i "smaksfjerning". • Sikre optimal lysstyring og vanntemperatur for redusert sannsynlighet for kjønnsmodning.

Tabell 30: Risikomatrise for gjennomstrømmingsanlegg 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 - **matfisk**	Høy	Redusert produksjon, slaktevolum og lavere slaktevekt.	• Redusere fisketetthet i kar. • Øke vannforbruk. • Sikre optimal vannkvalitet og stabil sirkulasjon gjennom planlegging og design av anlegg. • Øke kapasitet i vannbehandlingssystem, f.eks. CO_2.
Svinn/ akutt dødelighet – **matfisk og post-smolt**	Lav	Redusert produksjon. Økt andel "tapere" som destrueres.	• Redusere fisketetthet i kar. • Økt overvåking av aktuelle vannkvalitetsparameter. • Redusere antall håndteringer. • Øke sikkerhetsnivå på teknisk drift og biologiske prosedyrer. • Økt overføring av erfaringsbasert kompetanse på tvers av produsenter og gjennomstrømmingsanlegg. • Ved meldepliktig svinn og dødelighet bør årsaksforhold, produksjonsteknologi, saltholdighet, vannforbruk avdekkes og rapporteres sammen med tapt biomasse.
Sykdom, parasitter og bakterier – **matfisk og post-smolt**	Middels	Redusert produksjon.	• Øke vannbehandlingen av inntaksvann med mekanisk- og membranfiltrering for å redusere inntak av bakterier, virus eller parasitter. • Øke antall rensetrinn og barrierer for inntaksvann, både via design av system for vannrensing, samt sikre optimal lokasjon og design av vanninntak. • Integrering av eget klekkeri og egenproduksjon av settefisk. • Ved meldepliktig svinn og dødelighet bør årsaksforhold, produksjonsteknologi, saltholdighet og vannforbruk rapporteres inn sammen med tapt biomasse.
Redusert kvalitet – **matfisk**	Lav	Redusert andel superior fisk.	• Sikre optimal lysstyring og vanntemperatur for redusert sannsynlighet for kjønnsmodning.

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^2, vannforbruk - 0,520 milliarder m^3/år, energiforbruk - 7,8 TWh, slamproduksjon - 238 233 tonn/år (90% tørrstoff) og klimaspor - 5,1 kg CO_2-ekvivalenter per kg.
  - **Gjennomstrømming med gjenbruk:** 130 anlegg, arealbehov på land - 8 288 mål, arealbehov i sjø - 2 438 km^2, vannforbruk - 33,7 milliarder m^3/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 - 612 mål, arealbehov i sjø - 1 148 km2, vannforbruk - 68 millioner m3/år, energiforbruk - 0,5 TWh, slamproduksjon – 28 050 tonn/år (90% tørrstoff) og klimaavtrykk på 4,1 kg CO2 ekvivalenter per kg settefisk solgt.
- Vedrørende tekniske og biologiske risikofaktorer fremheves vedvarende utfordringer knyttet til håndtering av H_2S-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 punktvis 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 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 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_2-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 avløpsslam fra settefiskanlegg i Nordland,* SINTEF Fiskeri og havbruk.

Attramadal, K., (2018), *Førerkort 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. (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, 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 Foucs 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) Fiskehelserapporten 2015, Veterinærinstituttet 2016.

Hjeltnes B., Bang Jensen B., Bornø G., Haukaas A., (2018), Walde C. S. (red) Fiskehelserapporten 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.h-avis.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, (207), *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/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, (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://norskvann.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, (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 havbruksnæringens 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), Arealtall 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, 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.

DEL II

ØKONOMISKE ANALYSAR

Av

Trond Bjørndal og Amalie Tusvik
NTNU-Ålesund og SNF ved NHH

Innhald.

0. Innleing **S. 3.**
1. Økonomisk analyse av landbasert oppdrett av laks. **S. 5.**
2. Økonomisk analse av produksjon av storsmolt. **S. 32.**
3. Økonomisk analyse av påvekst i opne merdanlegg. **S. 51**
4. Økonomisk analyse av påvekst i lukka sjøanlegg. **S. 74**
5. Oppsummering. **S. 88**

Innhald

KAPITTEL 0. INTRODUKSJON TIL ØKONOMISKE ANALYSAR 4
KAPITTEL 1. ØKONOMISK ANALYSE AV LANDBASERT OPPDRETT AV LAKS 6
1. Innleiing 6
2. Landbasert oppdrettsteknologi 7
3. Økonomisk analyse: Landbasert oppdrett av matfisk 7
3.1 Investering 7
3.2 Produksjonsplan 10
3.3 Produksjonskostnader 14
3.4 Sensitivitetsanalyser – endring i variablar enkeltvis. 18
3.5 Teknologisk og biologisk risiko i RAS – omsyn, kontroll og førebygging 23
4. Oppsummering – matfisk på land 32
KAPITTEL 2. ØKONOMISK ANALYSE AV PRODUKSJON AV STORSMOLT 34
1. Innleiing 34
2. Investering – 3 000-tonns landbasert settefiskanlegg 34
2.1 500-grams settefisk 35
2.2 Produksjonskostnad 37
2.3 Sensitivitetsanalyser – kostnad per 500-grams settefisk 40
3. 1 000-grams settefisk 44
3.1 Produksjonsplan 44
3.2 Produksjonskostnad – 1 000-grams settefisk 45
3.3 Sensitivitetsanalyser – kostnad per 1 000-grams settefisk 47
4. Oppsummering – stor settefisk på land 50
KAPITTEL 3. ØKONOMISK ANALYSE AV PÅVEKST I OPNE MERDANLEGG 51
1. Innleiing 51
2. Føresetnader for analysen 51
2.1 Produksjonsplan 52
2.2 Investering i sjøbasert påvekstanlegg 52
2.3 Produksjonskostnader 53
2.4 Lusekostnader 54
3. Påvekst av 500-grams settefisk 54
3.1 Produksjonsplan 54
3.2 Investeringar 59
3.3 Produksjonskostnader 60
4. Påvekst av 1 000-grams settefisk 61
4.1 Produksjonsplan 61
4.2 Investeringar 62

4.3 Produksjonskostnader 62
5. Påvekst av 100-grams settefisk 63
5.1 Produksjonsplan 63
5.2 Investeringar 63
5.3 Produksjonskostnader 64
5.4 Oppsummering – påvekst av stor settefisk 64
6. Biologisk risiko: Lus og behandlingar – konsekvensar for produksjonskvantum, kvalitet og nedklassing 65
6.1 Avlusing av 100-grams settefisk 67
6.2 Avlusing av 500-grams og 1 000-grams settefisk 69
6.3 Oppsummering og drøfting: Avlusing av 100-grams, 500-grams og 1 000-grams settefisk 70
6.4 Inntektsvariablar, føresetnad om behandlingskostnad og andre omsyn 72
KAPITTEL 4. ØKONOMISK ANALYSE AV PÅVEKST I LUKKA SJØANLEGG 74
1.Innleiing 74
2. Tildelte utviklingsløyve til oppdrett i lukka anlegg 76
3. Analyse av oppdrett i lukka anlegg 79
3.1 Føresetnader 80
4. Oppsummering og diskusjon 86
KAPITTEL 5. OPPSUMMERING 88
VEDLEGG 96

KAPITTEL 0. INTRODUKSJON TIL ØKONOMISKE ANALYSAR

Dei økonomiske analysene i denne delen av rapporten vil ta føre seg fleire alternative produksjonsmodellar for oppdrett av laks, med fokus på produksjonskostnader. Analysene vil vidareføre enkelte av dei tekniske og biologiske problemstillingane som var tema for del I og i tillegg ta opp nye problemstillingar. Ein vil sjå på tre ulike produksjonsmodellar og presentere Økonomisk analyse av landbasert oppdrett av laks (kap 1), Økonomisk analyse av produksjon av storsmolt (kap 2), Økonomisk analyse av påvekst i opne merdanlegg (kap 3) og Økonomisk analyse av påvekst i lukka sjøanlegg (kap 4). Resultata vert oppsummert i eit sluttkapittel (kap 5).

For dei ulike produksjonssystema vil ein i hovudsak leggje til grunn same analysemetode. Ein vil typisk sjå på naudsynte investeringar, deretter etablere ein produksjonsplan, og so analysere produksjonskostnad. I analysen vil ein leggje likevektsproduksjon til grunn, dvs. den forventa situasjonen der ei bedrift har kome i full drift og opererer utan særskilde uhell. Denne analysen er tufta på Asche og Bjørndal (2011). Hovudføremålet med dette er å analysere om eit produksjonssystem vil kunne vere konkurransedyktig i marknaden etter at det har kome i «normal» drift.

Separate oversikter over investeringsbeløp, produksjonsplan og driftskostnader for kvar av dei ulike produksjonsmodellane skal kunne hjelpe lesaren til å samanlikne og vurdere dei ulike faktorane sine bidrag til produksjonskostnader og kostnadsstruktur. Investeringar i eit visst oppdrettsvolum vil variere avhengig av produksjonsteknologi, utstyrsnivå og lokalisering, mm. Vidare vil eit gjeve oppdrettsvolum ved ulike produksjonsmetodar og utstyrsnivå kunne gje grunnlag for ulik produksjon per kubikk, grunna ulike biologiske tilhøve som vasskvalitet, temperatur, straumforhold, oksygen- og lystilhøve, med meir (inkludert operasjonelle faktorar, som god drift av anlegget). Dess større investeringa er per kubikk vassvolum, dess meir avgjerande vil det vere å ha ei god kapasitetsutnytting i form av produksjon per kubikk. Til slutt vil ein vente å ha ulike driftskostnader per år ved dei ulike produksjonsformene. I sum vil alle desse tre områda vere viktige suksessfaktorar for ein konkurransedyktig kostnadsstruktur – med balanse mellom investeringsnivå, kapasitetsutnytting og driftskostnader.

Til analysen av både opne (kapittel 3) og lukka (kapittel 4) anlegg er det definert eit «basis-oppsett» for eit sett av føresetnader og ein selskapsstruktur som kan brukast i varierte driftsscenario, både for påvekst i opne og lukka merdar. Tanken bak å presentere eit slikt utgangspunkt er at det kan illustrere på ein handfast måte korleis settefiskstorleiken og teknologiske konsept i seg sjølv har betydning for selskapet – når det gjeld kostnadsstruktur, tilpassing av lokalitetar, investeringar og utfordringar med MTB («alt anna likt»). Det uheldige ved valet av faste føresetnader er at ein gjerne eigentleg ikkje vil gjere ting heilt likt under ulike driftsscenario, slik som å nytte same tal utsett per år og same tal fisk i kvart utsett ved 100-grams settefisk som ved bruk av 1 000-grams settefisk, eller likt svinn og vekst i lukka og opne anlegg.

Utover produksjonskostnadene er det naturlegvis ogso andre økonomiske problemstillingar av interesse. Her skal ein nemne berre to. Den eine er investeringsanalyse, som ein har sett bort frå her både av tidsomsyn og grunna dei produksjonssytema ein ser på. Medan det er rimeleg rett fram å sjå på investeringsanalyse for fullskala lakseproduksjon på land (kapittel 1), er det meir krevande å gjere det for produksjon av storsmolt og påvekst i opne merdar. Dette fordi dei to sistnemnde aktivitetane som regel vert gjennomført i integrerte bedrifter, som gjer det mindre naturleg med separate investeringsanalysar for dei to delaktivitetane. Eit anna tema ein ser bort frå er likviditetsbudsjettering. Dette er svært aktuelt for nystarta bedrifter, og kanskje særleg for ein del av dei problemstillingane som vert analysert her. For fullskala landbasert produksjon er tilgang på kapital ei stor utfordring. For fleire av systema kan uhell i produksjonen, t.d. uventa bortfall av ein heil generasjon, føre til store

problem for likviditeten og i verste fall trong for refinansiering av bedrifta eller jamvel konkurs. Sjølv om dette er interessante og viktige problemstillingar, fell dei utanfor rama for denne rapporten.

I dei økonomiske analysane vil ein spesifikt vurdere risiko, eit tema som går igjen fleire gonger i denne rapporten (sjå Del I Sintef rapport). Det er difor naturleg å starte med ei kort avklaring av omgrep – risiko og uvisse («uncertainty»). Sjølv om desse omgrepa er relaterte, er dei konseptuelt ulike. Risiko kan definerast som målbart sannsyn for framtidige hendingar. Ofte kan risiko estimerast ved å observere frekvensen på ulike utfall og på det grunnlag kan kan ein kome fram til ei sannsyns- eller frekvensfordeling. Uvisse derimot kan ein ikkje kvantifisere fordi ein ikkje kan predikere framtidige hendingar – noko som typisk vil vere tilfellet når ein ikkje har historiske observasjonar som kan nyttast til å etablere ei frekvensfordeling. Uvisse referer og til situasjonar der ein manglar grunnleggjande kunnskap om dei aktuelle samanhengane.

Når det gjeld risiko i lakseoppdrett kan ein nemne døme som sjukdom, tidleg kjønsmodning, luseutbrot og ulike typar svinn. Ein kan og ha marknadsrisiko. I denne rapporten vert det sett på ulike produksjonsmodellar, inkludert «nye» teknologiar som til dels ikkje er utprøvd i stor skala eller der ein har avgrensa erfaring. Her vil det vere skilnader i risikoprofil mellom ulike konsept, men ein har framleis begrensa kunnskap om desse skilnadene. Biologisk og teknisk uvisse gjer at det ikkje er mogeleg å etablere frekvensfordelingar for viktige variablar.

For ein oppdrettar og for næringa er det svært forskjellig korleis ein kan tilpasse seg risiko og uvisse. Det er verdt å merke seg at over tid, med meir erfaring og læring, vil uvisse i alle fall for ein del variablar sitt vedkomande i større grad kunne kvantifiserast. Forsking er og viktig særleg der ein ikkje fullt ut kjenner til eller forstår samanhengar mellom variablar. I økonomisk samanheng vil sensitivitetsanalysar og kunne vere nyttige for å kaste lys over ein del relasjonar der det råder uvisse, sjølv om ein ikkje kan kvantifisere frekvensfordelingar og risiko. I denne analysen vil sensitivitetsanalyser verte nytta særleg når det gjeld økonomisk analyse av landbasert oppdrett. Utover dette vert det gjort meir kvalitative drøftingar av teknologisk og biologisk uvisse der risikoen er svært vanskeleg å kvantifisere.

KAPITTEL 1. ØKONOMISK ANALYSE AV LANDBASERT OPPDRETT AV LAKS

1. Innleiing

I dette kapittelet vil ein gjennomføre økonomiske analysar av landbasert lakseoppdrett i Noreg. Målet med analysen er å gje grunnlag for å vurdere rolla denne teknologien kan ha for den norske oppdrettsnæringa si vekst og utvikling framover.

Sidan Nærings- og fiskeridepartementet fastsette nye tildelingsreglar for landbasert akvakultur med laks, aure og regnbogeaure 1. juni 2016 har ein sett ein straum av søknader og prosjektskisser for etablering av lakseoppdrett på land i Noreg. Etter at endringane i forskriftene[1] vart fastsett, er det opna for fortlaupande og vederlagsfri tildeling av løyve til landbasert oppdrett med laks, aure og regnbogeaure. Ettersom det har vore utlyst svært få nye løyve til tradisjonell merdbasert oppdrett i sjø dei siste åra, viser det seg at interessa for alternative produksjonsformer – inkludert landbasert – er stor. Frå fastsettinga av ny tildelingsforskrift i juni 2016 og fram til inngangen av mars 2018 var det sju bedrifter som hadde fått løyve til å etablere landbasert matfiskoppdrett av laksefisk i Noreg (sjå Sintef delrapport I, tabell 1). I tillegg er fleire søknader under handsaming i fleire fylke.

Sjølv om ein har lite erfaring med matfiskoppdrett av laks i landbaserte anlegg, er bruk av landbasert produksjonsteknologi ikkje ukjent for næringa. Stamfisk, klekkeri og smoltproduksjon har vore drive i landbaserte anlegg i mange tiår. Både teknologisk utvikling og læring i skjeringspunktet mellom biologi og teknologi er truleg ein viktig del av grunnlaget for den aukande interessa ein no ser for landbasert lakseoppdrett. Avgrensa høve til ekspansjon av tradisjonelt matfiskoppdrett kombinert med reguleringar, konsesjonsfritak og god lønsemd dei seinare åra har gjeve insentiv til å utvikle alternative måtar å ekspandere, der landbasert matfiskoppdrett er éi av løysingane som vert vurdert.

Den største utbygginga av landbaserte anlegg i Noreg skjer likevel innan settefiskoppdrett. Oppdrettarar søkjer i aukande grad å halde smolten på land for ei lengre periode, med mål om å korte ned på produksjonstida i sjø og verte mindre eksponert for smittefare, parasittar og lusebehandling. For settefisk innebar forskriftsendringar i 2016 at den tidlegare vektavgrensinga på 250 gram før utsett av smolt til sjø vart oppheva. Frå 1. juni 2016 var det dermed ikkje lengre noko øvre vektgrense for settefisk (ein kan likevel ikkje slakte direkte til konsum/matfisk ved eit settefiskløyve).

Ei sentral utvikling innan landbasert oppdrettsteknologi gjeld gjenbruk av vatn, inkludert RAS (resirkuleringsanlegg) – noko som gjev lågare vassbehov. Tilgang til vassmengder vert dermed av mindre betyding som ein avgrensande faktor for landbasert oppdrett, og ein ser i dag at anlegg vert bygd med aukande kapasitet og kompleksitet. Teknologi, innovasjon og ekspansjon i oppdretts- og utstyrsindustri globalt medverkar vidare til at investeringskostnader går ned medan produksjonskonsepta vert betre.

Framvekst av landbasert matfiskoppdrett har kome lengre i mange andre land enn i Noreg. Når det gjeld laks, er landbasert produksjon starta i Danmark, Canada, Polen og Sveits, medan anlegg er planlagd og til dels under utbygging i fleire land inkludert USA, Kina og Sør Afrika. Også andre artar vert oppdretta i landanlegg, m.a. røye (særeg på Island), sjøtunge i

[1] Laksetildelingsforskrifta, Akvakulturdriftsforskrifta og Forskrift om løyve til akvakultur av andre artar enn laks, aure og regnbogeaure.

Spania og Portugal[2], piggvar i Frankrike og Portugal[3], ål i Kina og reker i hyperintensiv produksjon i Japan[4]. Ulike teknologiar vert brukt for desse oppdrettsartane.

2. Landbasert oppdrettsteknologi

Type landbasert konsept og utstyrsnivå vil kunne ha betydning både for investeringsbeløp og driftsmessig funksjon. Som utgangspunkt har denne rapporten fokus på RAS-anlegg, det vil seie landbaserte anlegg der over 90% av vatnet vert resirkulert. Dette gjeld både for landbasert matfisk og for oppdrett av stor settefisk. Vasskjelder samt tidspunkt og andre omsyn rundt smoltifisering vert ikkje diskutert her. I oppsummeringa av kapitlet vil det verte gjeve ei risikoanalyse med drøfting av teknologisk og biologisk risiko. For definisjonar av ulike typar landbaserte anlegg og utdjupande informasjon om produksjonsteknologi vert det vist til delrapport I.

3. Økonomisk analyse: Landbasert oppdrett av matfisk

I dette kapittelet skal me gjennomføre økonomiske analyser av fullskala produksjon av laks. Teknologien som vert lagt til grunn er resirkulering (RAS), som definert i teknisk rapport. Det stiller seg stor uvisse om føresetnadene i analysen, ettersom konseptet og teknologien framleis er under utprøving når det gjeld oppdrett av matfisk – og det er enno ingen som har oppnådd ein produksjonsskala tilsvarande utgangspunktet for denne analysen. Følgjeleg er det mangelfullt datagrunnlag for å estimere både vekst, overleving, mannskapsbehov og kostnader. Det følgjer og ein ekstra risiko i investeringa, ettersom utvikling og læring går fort framover – med sjanse for at det kan verte trong for å endre på eller oppdatere komponentar og installasjonar.

Som utgangspunkt for analysen ser ein på eit anlegg med produksjonskapasitet på 5-6 000 tonn laks per år. Det vert presentert investeringar, produksjonsplan og føresetnader om driftskostnader for anlegget, og på det grunnlaget vert produksjonskostnaden per kg slakteklar laks estimert. Både investeringar, produksjonsplan og driftskostnader vil kunne variere som følgje av teknologival, automasjonsnivå, lokalisering og ikkje minst leiing og drift av anlegget. Slike variasjonar er det mest uråd å ta omsyn til med det kunnskaps- og erfaringsgrunnlaget ein har i dag. Ein vil difor å ta opp enkelte relevante punkt undervegs, og elles utføre sensitivitetsanalysar med mål om å kaste lys på viktige fokusområde som |risiko og kostnadskontroll.

Kostnadsanalysen er konsentrert om produksjonskostnad ved «farm gate», det vil seie før kostnader til slakt, sal, frakt, avgifter og liknande.

3.1 Investering

Trass stor interesse for etablering av landbaserte matfiskanlegg for laks, er det i praksis stort sett snakk om anlegg i ein tidleg planleggingsfase. Det er få anlegg som er ferdigstilte og endå færre i drift. Landbaserte anlegg er heller ikkje ei hyllevare, men ei betydeleg entreprise utforma med omsyn til den enkelte kunden sine krav og den spesifikke lokaliteten. Investeringssummen vil kunne spegle både lokale tilhøve, teknologileverandøren og den enkelte kunden sine val når det gjeld bygg og anlegg – til dømes vasskjelder,

[2] Sjå Bjørndal, T., Guillen, J. and Imsland, A. (2016). The potential of aquaculture sole production in Europe: Production costs and markets. *Aquaculture Economics & Management*, 20(1): 109–129. http://dx.doi.org/10.1080/13657305.2016.1124939.

[3] Bjørndal, T. and Øiestad, V. (2010). The Development of a New Farmed Species – Production Technology and Markets for Turbot. SNF Working Paper No. 51/10. SNF, Institute for Research in Economics and Business Administration, Norway.

[4] Sjå Shinji, J., Nohara, S., Yagi, N. og Wilder, M. (2018). Prediction of future problems and improved management plans on bioeconomic analysis of super-intensive closed shrimp farming: a case study in Japan. *Aquaculture* (i kjømda).

resirkuleringsgrad, automasjonsnivå, vedlikehaldsutstyr (reinseanlegg el.l.) og utstyr relatert til driftstryggleik (back-up i energitilførsel, knappleik eller margin i dimensjonering, løysingar for smittereduksjon og biotryggleik, samt gjennomtenkte system for jamn og stabil filtrering og sirkulering, etc.).

Ettersom landbaserte anlegg utgjer store, samansette prosjekt heller enn eit standard produkt, kan det vere utfordrande å samanlikne ulike prosjekt direkte. I tillegg vil ulike leverandørar kunne ha ulike kontraktsformat, inkludere eller ekskludere ulike ting frå overslaget (til dømes tomteutbygging, røropplegg, vassinntak- og uttak, osv.), ha ulik erfaring med å levere til tid og på budsjett, samt ulik praksis med å tilby opplæring, oppstartsstøtte og vidare oppfølgjing av kunden i ettertid. Når det er snakk om prosjekt i slik skala og omfang som dette kan desse punkta vere av stor betydning, men er vanskeleg å ta omsyn til i ei generell analyse. Elles vil skilnader i anleggsinvesteringar kunne ha direkte følgjer for driftskostnadene – noko som heller ikkje vert spegla i ei «generell» analyse – som til dømes ein auke i investeringar i automatisert reinhald, med tilhøyrande reduksjon i drift- og vedlikehaldskostnader.

Tabell 1 viser investeringar i RAS-anlegg med estimert årleg produksjonskapasitet frå 1 200 til 6 000 tonn levande vekt (kun bygg og anlegg, ikkje tomt). Estimata kjem frå Billund Aquaculture Services AS, ei av bedriftene med størst erfaring innan leveranse av landbaserte RAS-anlegg[5]. Samla investeringar aukar frå 120 mill. kr. for eit 1 000-tonns anlegg til 580 mill. kr. for eit 6 000-tonns anlegg. Når ein ser på investeringar per kg produksjonskapasitet, er desse fallande frå kr 125.00 per kg kapasitet for 1 200-tonns anlegget til kr 99,00 per kg ved 3 600-tonns og kr. 97,00 per kg for både 4 800-tonns og 6 000-tonns anlegg. Dette er ein indikasjon på stordriftsfordelar i produksjonen for volum opp til 4 800 tonn, men utflating deretter.

Når det gjeld automasjon- og utstyrsnivå vil desse estimata kunne inkludere Scada system med automatisert kontroll av pumper, trommelfilter mm., samt reinhaldssystem for biofilter og ph, salinitet- og temperaturkontroll. Skal ein i tillegg ha ulike løysingar for produksjonslinjer og integrering av viktige prosessar utanom sjølve RAS-systemet – som sortering og flytting av fisk, fôrsystem, innlaupssystem, slam og utlaup, temperaturstyring osv. – vil nok dette kome i tillegg[6]. Det er gjeve antyding om at skilnaden mellom det mest og minst avanserte utstyrsnivået kan vere om lag 20%.

For 6 000-tonns anlegget utgjer kostnaden for bygning 159,7 mill. kr. eller 27,5% av investeringane. RAS-utstyret er 246,9 mill. kr, tilsvarande heile 42,5% av investeringane. Investeringane inkluderer klekkeri, men ikkje slakteri.

Tabell 1: Investeringar i landbasert RAS anlegg for ein estimert produksjonskapasitet på 1,200-6,000 tonn levande vekt. NOK '000

	Investeringar, NOK[a), b)]				
Produksjonsmål (tonn)	**1 200**	**2 400**	**3 600**	**4 800**	**6 000**
Tankvolum (m3)	**9 000**	**18 000**	**27 000**	**36 000**	**45 000**
Bygg total:					
Bygning	41 590	66 484	86 963	113 887	159 699
Elektriske installasjonar	9 249	17 069	20 250	26 519	31 679
Andre inst. (ventilasjon etc.)	7 676	13 991	15 013	19 661	22 220
Betongarbeid (filter og	19 379	63 105	70 660	92 536	109 043

[5] Billund har over 30 års erfaring innan design, installasjon, drift og service av RAS. Prosjektreferansar inkluderer 500 RAS (125 prosjekt) i 28 ulike land. Medan selskapet har leveransar av RAS til over 25 ulike salt- og ferskvassartar, er 90 % av noverande inntekter relatert til laksenæringa.

[6] I dei tidlege systema som er tekne i bruk har det gjerne ikkje vore etablert automatisering av slike prosessar.

fisketankar)					
Sum bygg	77 894	160 648	192 886	252 604	322 641
Vassbehandling og div. utstyr:					
Vassbehandling	67 448	110 690	157 022	205 636	246 886
Ymse	5 034	5 596	6 983	9 145	10 863
Sum vassbehandling/div. utstyr	72 482	116 287	164 005	214 780	257 749
Sum investering	150 375	276 935	356 891	467 384	580 391
Investering, NOK per kg levende vekt	125	115	99	97	97
Investering, NOK per m^3 karvolum	16 708	15 385	13 218	12 983	12 898

a) Investeringane er opprinneleg gjevne i Euro (€) og har vorte rekna om til NOK ved bruk av gjennomsnittsleg NOK/EUR vekslingskurs i 2017: 9,3271 (Norges Bank, 2018).

Kjelde: Billund Aquaculture Service A/S. Sjå presentasjon av Bjarne Hald Olsen (daglig leiar), ved TEKSET – Innovasjon for settefisk, 15. Februar 2017: http://tekset.no/wp-content/uploads/2017/02/25-Olsen.pdf.

Som vist i tabell 1, vil investeringane i dei ulike anlegga gje eit oppdrettsvolum som varierar frå 9 000 m^3 til 45 000 m^3. I kvart tilfelle inneber dette ein årleg produksjon på om lag 111,1 kg levande vekt per m^3 produksjonkapasitet per år. Dette svarar til om lag 0,30 kg per m^3 per døgn. Den faktiske produksjonen ein greier å oppnå per m^3 i anlegget kjem an på både svinn, tilvekst og fisketettleik, som igjen kjem an på vasskvalitet, biologi, fiskehelse og trivsel, anleggsdesign, produksjonsplanlegging og god drift. Det er uvisse når det gjeld mange av desse faktorane, noko ein vil kome tilbake til under produksjonsplan og risikoanalyse.

Per i dag er det rapportert at prestasjonen i enkelte RAS-anlegg i drift ser ut til å kunne indikere ein produksjon på rundt 0,35 kg per m^3 per døgn, ei betring på 40% frå nivå på rundt 0,25 kg for 1-2 år sidan. Dersom produksjonen kunne verte betra tilsvarande som dei beste generasjonane som har vorte oppnådd til no, kan ein sjå føre seg eit mål om 0,5 kg per m^3 per dag. Det som er viktig å notere seg i ein budsjetterings- og planleggingsfase er at produksjonskapasitet i landbaserte anlegg er eit estimat, og ein vil ha risiko for avvik frå dette estimatet. Forventningsnivået ein set for produksjonen vil vidare sette eit utgangspunkt for eksponering til avvik på oppsida eller nedsida.

Investeringane som skildra over er basert på eit RAS-anlegg med sentralisert vassbehandlingssystem, dvs. eitt RAS. Det vil innebere at vatnet i dei ulike tankane vert reinsa og resirkulert i same filtreringssystem før det går tilbake til fisketankane igjen. Med tanke på utbrot av bakteriar og smitte i systemet vil dette vere ein risiko, ettersom bakteriar vil verte sirkulert i eit sams vassystem for heile anlegget. Sjukdomsutbrot vil dermed kunne føre til store tap av fisk, samt nedetid i heile produksjonsanlegget dersom nedvask og desinfisering vert naudsynt. Ein investor som ynskjer å etablere kapasitet for å produsere eit visst kvantum vil dermed måtte gjere ei avveging mellom investeringssum og risikoprofil i utforminga av eit slikt anlegg. Dette temaet vil ein kome tilbake til i risikoanalysen.

Med utgangspunkt i investeringsanslaget for eit 6,000-tonns RAS-anlegg som presentert ovanfor, vil me sjå på årlege kapitalkostnader. For å kunne kalkulere kapitalkostnadene, må ein og ta omsyn til investering i tomt og rentefot. Her legg ein fylgjande føresetnader til grunn:

-Tomt 54 mål.
-Pris kr. 500.000,00 per mål.
-Rentefot: 4% p.a.

Når det gjeld arealbruk, legg ein til grunn eit arealbehov for bygningsmasse på 6 m^2 per tonn produksjonskapasitet samt ein faktor på 1,5 for totalt arealbehov inkludert infrastruktur (sjå dimensjonerande kriterium i tabell 3, SINTEF-rapport). For eit 6 000-tonns anlegg gjev

dette eit arealbehov på 54 mål. Tomtepris vil variere svært mykje frå plass til plass. Pris per mål vert sett til kr 500 000, men tomteprisen på kr. 27 mill. er likevel berre eit anslag på denne kostnaden. Når det gjeld rente, legg ein til grunn ei *realrente* på 4%[7]. I sensitivitetsanalysane vil ein vurdere konsekvensane av ei høgare rente. Ettersom ein skal vurdere prosjektet over ei rimeleg lang levetid, er det naudsynt å operere med realverdiar.

Tabell 2 gjev årlege kostnader til rente og avskrivingar. Ein har her lagt til grunn annuitetsprinsippet slik at sum rente og avskriving er det same frå år til år.

Tabell 2. Investering og årleg rente og avskriving for eit 6,000-tonns RAS anlegg.

INVESTERINGAR	Investeringsbeløp 6 000 tonn	Levetid	Årleg rente- og avskrivningskost
Tomt	27 000 000	-	1 080 000
Bygg:			
Bygning	159 698 606	20	11 750 903
Elektriske installasjonar	31 679 495	15	2 849 289
Andre installasjonar i (ventilasjon etc.)	22 219 950	15	1 998 487
Betongarbeid (filter og fisketankar)	109 043 126	20	8 023 584
Sum bygg	322 641 178		24 622 262
Vassbehandling og div. Utstyr			
Vassbehandling	246 886 472	20	18 166 339
Ymse	10 863 003	10	1 339 310
Sum vassbehandling/div. Utstyr	257 749 474		19 505 649
Sum investering	607 390 652		45 207 911
NOK per kg prod.kapasitet (levande vekt)	101.2		7.5
NOK per kg tankvolum (m3)	13 498		1 005

a) Det er inga avskriving av verdi på tomta, berre rente.

Økonomisk levetid for dei ulike komponentane av investeringane er gjeve i tabell 2. Det er ikkje avskriving på tomta. Levetida for dei ulike komponentane varierer mellom 10-20 år. Sjølv om den tekniske levetida vil kunne vere lenger, er den teknologiske utviklinga slik at økonomiske levetid vert kortare. For det aktuelle anlegget vil årleg rente og avskriving utgjere kr. 44,7 millionar. Dette tilsvarar kr 7,50 per kg produksjonskapasitet (levande vekt).

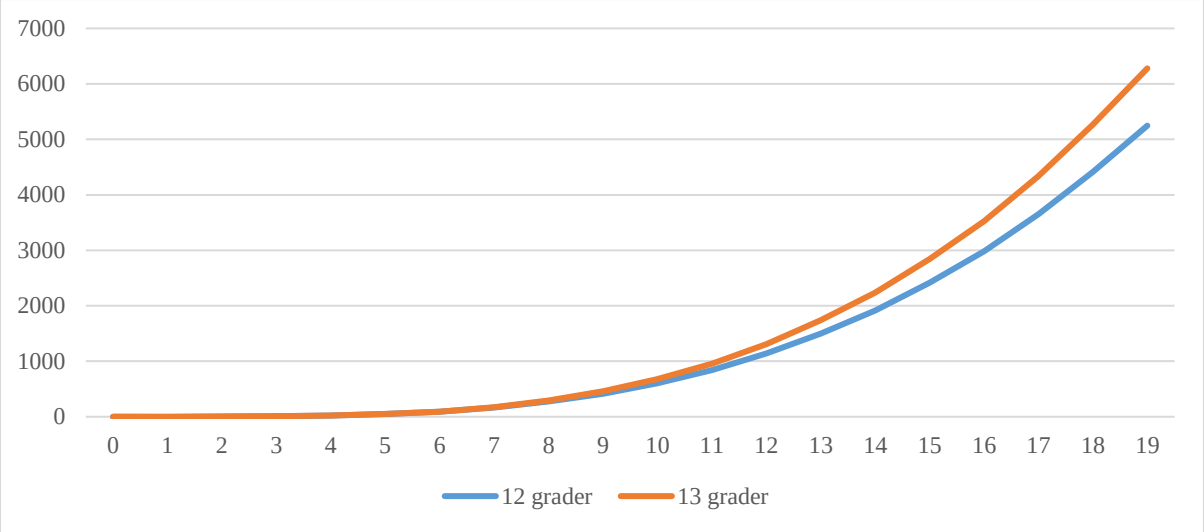
Me går no vidare med å utarbeide ein produksjonsplan og driftskostnader for dette eksempel-anlegget.

3.2 Produksjonsplan

I lakseoppdrett er det den biologiske prosessen med å fôre opp fisk frå rogn til slakteklar storleik som er kjerneverksemda for bedrifta. Produksjonsplanen består difor av variablar som innlegging av rogn, fôring, vekstrate, fiskedød og slakt – som igjen er grunnlag for produksjonskostnader og lønsemd.

Med store investeringar i utstyr og anlegg er det sentralt å utnytte kapasiteten i produksjonsanlegget så godt som råd. For anlegget på 6 000-tonn har ein teke utgangspunkt i utsett og slakt av fire generasjonar fisk per år. På grunn av lite erfaringsdata er det vanskeleg å vite kor fort laksen vil vekse under dei veksttilhøva ein har i landbasert oppdrett. Figur 2 viser ei vektkurve som per i dag kanskje er litt «optimistisk», med ei vekstperiode på 19 månader frå 0,2 gram til 5 kg ved ein temperatur på 12 grader. Den estimerte vekstkurva ved ein temperatur på 13 grader er også vist til samanlikning (det er antatt at ein temperatur på 12 grader er meir på den sikre sida med tanke på biologisk risiko, til dømes for tidleg kjønnsmodning).

[7] Dette inneber at ved inflasjon på t.d. 3%, vil nominell rente vere 7%.



Figur 1. Vektkurve for laks – vekt i gram per fisk. Månad 0-19 (startvekt 0,2 gram).

Vekstkurver i produksjonsplanlegging vert gjerne estimert som ein funksjon av temperatur og vekstrate (vekstfaktorar) eller veksttabell. Eit eksempel på dette er TGC, *thermal growth factor*, som er lagt til grunn for å estimere vekst i denne analysen. Vekstkurvene i figuren over er utrekna ut frå ein TGC på 2.7 frå ca. 100 gram og oppover (som er vanleg å oppnå i sjø), samt ein vasstemperatur på høvesvis 12 og 13 grader heile året. Vekstprofilen til laks er svært avhengig av temperatur, og ein ser dermed monalege variasjonar i vekst mellom vinter og sommar for laks som står i sjø. Ein fordel i landbasert er at ein kan ha kontroll med viktige veksttilhøve som temperatur og lys, noko som gjer at ein kan vente å oppnå kortare produksjonssyklus i landbaserte anlegg.

Om ein skulle basere seg på erfaringar i RAS-anlegg så langt, burde ein kanskje leggje til grunn ei vekstperiode på nokre månader lengre, og/eller slakt ved ei lågare vekt enn 5 kg. Ei antyding kunne vere i overkant av 21 månader frå startfôr til slakt, som er lengre enn det som gjerne har vore «budsjettert» med i kalkylar for landbasert laks, inkludert i grafen ovanfor. Det er elles rapportert å vere betydeleg variasjon i vekstkurver, slaktestorleik og tid fram til slaktevekt for kvar generasjon[8]. Potensialet som ligg i å ha stor kontroll med vassinntak (smittekjelder), temperaturstyring og diverse veksttilhøve er dermed enno ikkje demonstrert på konsistent basis i kommersiell produksjon, så vidt me veit.

For oppdrett av laks fram til 100 gram har ein betre erfaringsgrunnlag for vekst og overleving i landbaserte anlegg. I denne fasen av vekstsyklusen har ein lagt til grunn ei vekstkurve frå startfôr fram til 92 gram som vist under. Det er her estimert at laksen vil vekse frå yngel på 0.2 gram til smolt på 92 gram i laupet av seks månader (Tabell 3).

Tabell 3. Vektutvikling frå startfôr fram til 92 g.

Månad (start)	Vekt (g) per fisk
0	0.2
1	0.8
2	3.1
3	8

[8] Vekstutfordringar ser ut til å kome særleg frå ein storleik på 1,5 kg og oppover, ettersom fisken på dette stadiet verkar meir følsam for miljø, vasskvalitet og endringar (til dømes relatert til fôr) samanlikna med smolt og post-smolt.

4	24
5	50
6	92

Tabell 4 viser vidare føresetnader for produksjonsplanen. Det er lagt opp til fire mottak av rogn per år, med 432 874 egg per levering. Det vil seie at ein over tid også vil slakte fire generasjonar per år. Over perioden frå utsett av rogn til slakt er det estimert eit svinn på 30 prosent, målt i tal individ[9]. Som vist i tabellen vert det teke utgangspunkt i eit svinn på 5% frå rogn til 0.2 g; deretter 5% per månad i dei tre fyrste månadene på startfôr. Vidare er det lagt til grunn 1% månadleg svinn fram til vaksinering. Desse fiskane døyr naturleg eller vert sortert ut etter kvart som ein ser levedugleiken til fisken. I vaksineringsmånaden er det gjerne igjen litt høgare svinn; 5% døyr eller vert sortert ut grunna dårleg helse. Vidare er det rekna med at den fisken som er igjen vil vere sterke og greie seg godt, og ein går ut frå svinn på 0.5% per månad fram til slakt.

Tabell 4. Føresetnader for produksjonsplan.

Produksjonsperiode	Klekkeri: 6-10 veker til 0,2 g. Startfôring og påvekst: Utsett 0.2-g yngel i månad 0 med slakting over tre månader (månad 17-19).
Rogn per utsett	432 874 egg
Svinn (i stk fisk)	Klekkeri (frå egg til 0,2 g): 5% Tre fyrste månader på startfôr: 5% per månad Vidare 1% månadleg fram til vaksinering I vaksineringsmånaden 5% svinn Vidare 0.5% dødelegheit per månad fram til slakt. Over livssyklusen gjev dette eit totalt svinn på 30% (inkludert rognstadium), med mesteparten av tapet i tal fisk tapt i dei fyrste månadene.
Vaksinering	Vaksinering i månad 5, med startvekt 50 g.
Årleg produksjon	6,000 tonn
Slakting	Månadleg slakt er ca 102 781 fisk, med slakt over tre månader per generasjon (fyrste slakt frå anlegget skjer fyrst i driftsår nummer to).
Slaktevekt	Snittvekt 4,9 kg (frå 3,7-6,2 kg frå starten av månad 17 til slutten av månad 19).
Biologisk fôrfaktor (FCR)	0.9 i månader 0-11 (800 g), deretter 1.15
Årleg forkvantum	6 801 tonn
Vekstfaktor (TGC) og vasstemperatur	TGC 2.7 (frå 92 gram) og vasstemperatur 13 grader.

At produksjonsplanen vert realisert er avgjerande på mange måtar – den vil bestemme salskvantum, realisert kapasitetsutnytting i anlegget og kostnad per kg produsert. Ved oppstart av eit nytt anlegg er det spesielt krevjande å predikere både overleving og vekst.

[9] Denne produksjonsstrategien inneber at ein tek ut dei individa som ikkje viser optimal vekst og utvikling tidleg i produksjonsfasen. Dette vil i så fall vere venta å redusere smitterisiko frå mindre friske individ, samt legge til rette for best mogeleg vekst totalt sett, med lågt svinn blant stor fisk.

Produksjonstida er lang – det vil kunne vere nær to år mellom tidspunktet ein kjøper inn rogn til tidspunktet ein har slakteklar fisk i siste produksjonsavdeling i anlegget. Utforming av produksjonsplan og dimensjonering av anlegg vil vere gjort basert på venta vekstkurve og fastsette tettleiksgrenser i kvar avdeling og vekstfase. Eit døme på inndeling av eit RAS-anlegg i ulike avdelingar er vist i tabell.

Tabell 5. Døme på avdelingar i eit RAS-anlegg.

Avdeling	Vekt (g/fisk)	Tettleik (kg/m3)
Starforing	2	22
Yngel	10	35
Pre-smolt	50	60
Smolt	100	50
Uvekst/postsmolt	400	65
Påvekst 2	2 000	70-90 [a)]
Påvekst 3	5 000	70-90 [a), b)]

a) Tettleik for stor fisk er uttalt å vere svært avhengig av systemdesign. Ved til dømes eitt vassutbytte per time bør ein truleg ikkje overstige 60 kg/m^3, medan det er venta at to vassutbytte per time potensielt kan tillate 90 kg/m^3.
b) Det er antyda èi påvekstavdeling per 1 000 tonn produksjonskapasitet.

Med vekst og svinn som stipulert vil ein nå planlagt maksimum tettleik i ei avdeling etter ei viss tid, og fisken vil gå over i neste avdeling, osv. Ved avvik frå stipulert vekst vil dette kunne verte eit problem. I eksisterande anlegg har ein til dømes hatt problem med at den største fisken ikkje har nådd slaktevekt til planlagt tid, og som konsekvens vert produksjonslinja forstyrra, med overfylte smoltavdelingar (der fisken har hatt god vekst), og stor fisk i den andre enden av anlegget som ikkje har vorte slakteklar innan nye settefisk skal inn i dei aktuelle påvekstavdelingane.

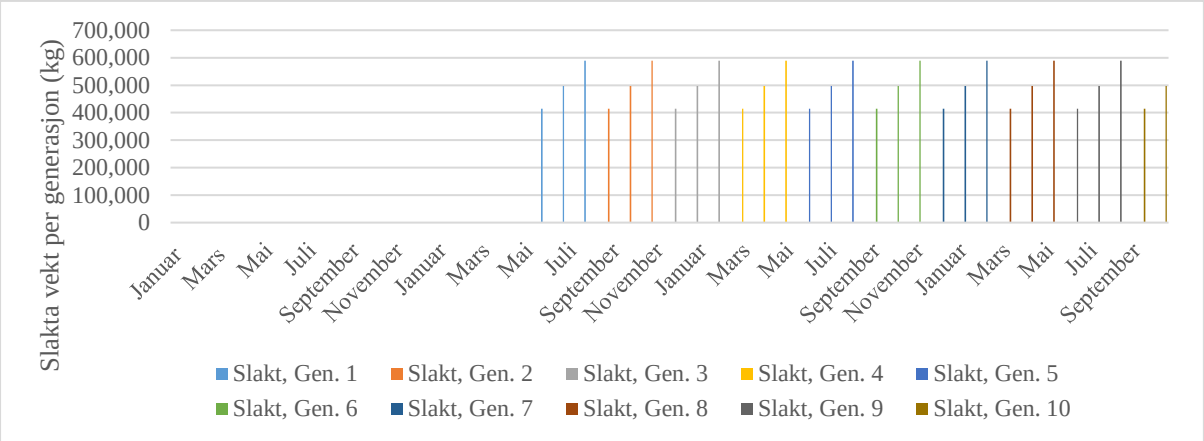
Slaktestrategien til det enkelte anlegget vil variere alt ettersom ein har eige slakteri eller leverer fisken til slakt eksternt. Her kjem det inn kapasitetsomsyn både i produksjonen og i slakteriet dersom ein har eige slakteri på huset. Anleggsutforming og logistikk vil nok vere svært viktig også i denne samanhengen, men i denne analysen vert det ikkje gått nærare inn på dette. I tillegg avgrensar ein detaljnivået til månadlege tal, noko som gjer at analysen vert simplifisert samanlikna med behovet for planlegging ved etablering av ei reell bedrift og produksjonslinjer. Desse forenklingane, saman med at ein ikkje har detaljert anleggsinndeling og dimensjonering på avdelingsnivå, gjer også at ein i realiteten ikkje har kartlagt tettleiksgrensene som vil gjere seg gjeldande i koplinga mellom produksjonsplanen og produksjonsanlegget i eksempelet.

Dømet under skisserer ein situasjon med slakt kvar månad – noko som i så fall inneber at kvar generasjon vert slakta over ein periode på tre månader (månad 17 til og med 19) for å ha kontinuerleg slakting kvar månad. Slaktevekta vert då i snitt 4.9 kg, men med stor variasjon frå starten til slutten av slakteperioda som vist i Tabell 6. Som produksjonsplanen viser er det lagt opp til at ein slaktar ut like mange fisk per dag over tre månader for kvar generasjon. Slaktevekta per fisk aukar då frå eit snitt på 4,0 kg i fyrste slaktemånad til 4,8 kg i andre månad og 5,7 kg i månad tre (minimum ca 3.6 kg, maksimum ca 6,2 kg). Månadleg slaktekvantum aukar då frå 414,6 tonn i månad èin til 588,8 tonn i månad tre. Til saman får ein dermed eit estimert slaktekvantum på 1 500 tonn per generasjon, og 6 000 tonn totalt for fire generasjonar per år. Slakting per generasjon er vist i Tabell 6.

Tabell 6. Slakt per generasjon.

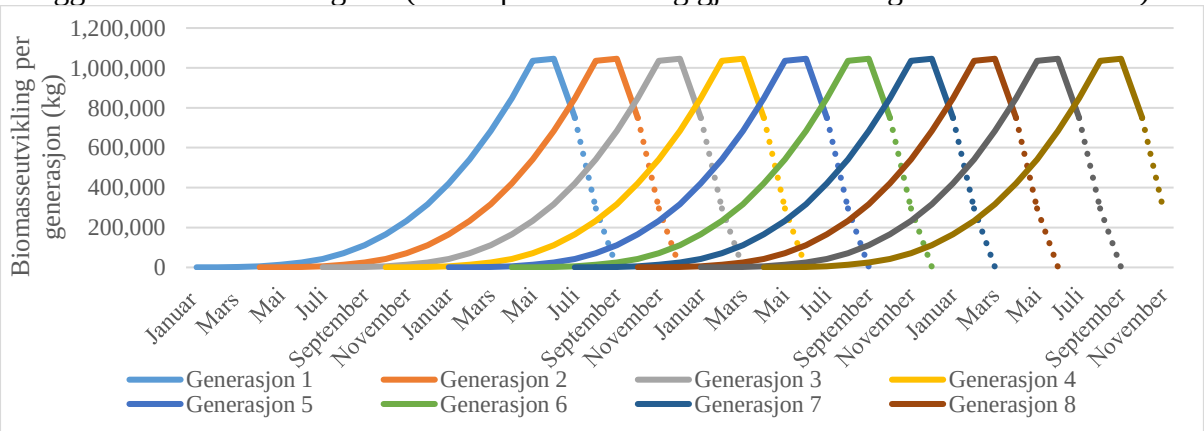
	Snittvekt	Tal fisk (snitt)	Total slaktevekt (tonn)	Tonn per dag (snitt)	# per dag (30 dagar drift)
Mnd 1	4.0	102 782	414.6	13.8	3 426
Mnd 2	4.8	102 782	496.6	16.6	3 426
Mnd 3	5.7	102 782	588.8	19.6	3 426
Per generasjon, sum:	4.9	308 345	1 500		

Over tid vil ein då ha ein slakteplan som skissert i figur 2. Som figuren viser vil slakt målt i vekt – og dermed månadleg inntekt – variere ein god del frå månad til månad under denne strategien, medan talet fisk slakta per dag er sett likt. Trass variasjonar i slakta volum vil bedrifta kunne ha rimeleg jamn levering frå anlegget. I praksis vil både skala, logistikk, eventuelle vekstutfordringar og marknadspreferansar (pris på ulike storleikar av fisk og prisvariasjonar over tid) vere av betydning for bedrifta sin optimale slaktestrategi.



Figur 2: Slakteplan fire fyrste år.

Under desse føresetnadene kjem ein fram til ei biomasseutvikling per generasjon i anlegget som illustrert i figur 3 (basert på snittvekt og gjennomsnittleg tal fisk i månaden).



Figur 3: Biomasseutvikling per generasjon

3.3 Produksjonskostnader

Variable kostnader

Føresetnader for variable driftskostnader er gjeve i Tabell 7. Ein reknar med 22 tilsette som vil gje 11 tilsette per skift. Årleg lønskostnad inkludert sosiale kostnader er sett til kr. 641.000,00. Det er i tillegg eit årsverk for førefallande arbeidsoppgåver som er løna noko mindre. Som tabellen viser, vil ein del kostnadsartar som fôr, oksygen og slamkvantum vere direkte relatert til produsert kvantum. Andre kostnader, t.d. lønskostnader, administrasjon og elektrisitet, vil derimot ikkje variere direkte med produsert kvantum. Det er difor avgjernade å oppnå god kapasitetsutnytting for å redusere gjennomsnittskostnaden per kg produsert.

Med utgangspunkt i produksjonsplanen kan me estimere eit årleg fôrkvantum på 6,743.6 tonn, som gjev ein økonomisk fôrfaktor på 1.12. Med ein fôrkostnad på 14 kr per kg vert den årlege fôrkostnaden kr 94.4 millionar.

Tabell 7. Føresetnader – variable kostnadar.

Tilsette i produksjon	22 tilsette (som gjev 11 tilsette per skift). Lønskost kr 640.900 per årsverk, inkl. 30% sosiale kostnader. Årsløn basert på SSB (201 6) kategori 6221 akvakulturarbeidar, fulltid, privat sektor. Tal for 2015, justert til 2017-nivå (KPI 2015 = 100, januar 2017 = 104.2).
Evt. andre tilsette, t.d. reinhald (ikkje akvakultur-/produksjonsmedarb.)	1 person Lønskost kr 455,000 per årsverk, inkl. 30% sosiale kostnader
Pris på rogn	Kr 1.50 per egg (kr 1-1.6 avhengig av genetikk) Innkjøp ca 1 731 496 stk. egg per år
Pris på fôr	Kr 14 per kg Forbruk ca 6 800,9 tonn per år
Pris på vaksine	Kr 1.8 per vaksine (kr 1.5-2.0 per vaksine avhengig av innhald). Innkjøp ca 1 385 714 stk vaksiner per år.
Straum[a)]	NOK 0.80 per kwh. (inkludert nettleige) Forbruk 6 kwh per kg produksjonskapasitet
Oksygen	NOK 2.60 per kg Forbruk 0.9 kg per kg realisert produksjon (fôring)
Slamhandtering/avhending	NOK 800 per tonn (variasjonsområde kr. 130-2000). Kvantum 1.5 kg slam (før tørking) per kg fôring, totalt ca 9,000 tonn slam per år
Trygding biomasse	2,5% av påkomne variable kostnader. *Det er viktig å påpeike at det her er stor uvisse og at dette ikkje er tufta på realisert trygdekostnad i landbasert matfisk. Det er døme på trygdelag som førebels ikkje vil trygde matfisk i RAS, og ein har difor ikkje reelle tal for faktisk forsikringspremie i landbasert matfiskoppdrett.*
Andre kostnader	
Lut/bikarbonat/PH-justering	Kr 1.7 per kg

	Forbruk 0,1 kg per kg realisert produksjon (fôring)
Medisin, laboratorium, veterinærtenester	Kr 500 000
Diverse kostnader (trivsel/hushald/anna)	Kr 500 000

a) Straumforbruk er her sett som bestemt av produksjonskapasitet og er dermed rekna som ein indirekte kostnad. Forbruk av oksygen, lut og slamhandtering er sett som bestemt av realisert produksjon, uttrykt ved fôrkvantum, og er dermed rekna som ein direkte kostnad. Ved avvik frå planlagt produksjonskvantum (sjå sensitivitetsanalyser) vil direkte kostnader som fôr, oksygen, lut og slambehandling samvariere med produksjonsavvik, medan indirekte og faste kostnader på kort sikt ikkje vil gjere dette.

Faste kostnader

Leiing av bedrifta vert rekna som ein fast kostnad her. Ein har fem personar i leiarstilling med lønskostnad kr. 975.000,- per årsverk inkludert sosiale utgifter (Tabell 8).

Estimat på vedlikeholdsutgifter er 1,5% av investeringskost per år over anlegget si levetid for å halde det i god stand[10]. Det bør i praksis vere relativt lite vedlikehald tidleg i perioden, men behovet aukar etter kvart med slitasjen.

Rente og avskrivingar er klart viktigaste komponent av faste kostnader. For arbeidskapitalen er det brukt ei rente på 4% - den same renta som er brukt på investeringa. Trygdekostnad for biomassen er estimert ut frå ein sats på 2.5%, med variable produksjonskostnader som forsikringsgrunnlag. Denne satsen vil truleg kunne vise seg urealistisk, ettersom den er gjeve med tanke på settefisk og ikkje tek høgde for auka teknologisk og biologisk uvisse. Satsen føreset ein eigendel på 20%. Ein eventuell auke i eigendelen til 30% ville gje 15-20% lågare forsikringskostnad.

For bygg er trygdesatsen 0.6 promille, og for maskiner og prosessutstyr 2.5 promille. Både når det gjeld fisk, bygg og anlegg er det viktig å notere at trygdepremien kan variere monaleg frå bedrift til bedrift, alt etter tidlegare hendingar og utbetalingar, samt lokalisering, type bygg og anlegg og andre faktorar som kan påverke vurderinga av risikoprofil. Ein viktig merknad når det gjeld forsikring er at tala her er basert på informasjon om forsikring av landbasert settefiskoppdrett. Det er grunn til å tru at desse forsikringstilbyderane ikkje vil vere villige til å forsikre matfiskoppdrett til vilkår som dette, og faktisk har nokon uttrykt skepsis til å forsikre slik drift i det heile på dette stadiet (sjå risikoanalyse avslutningsvis i dette kapitlet).

Tabell 8. Føresetnader – faste kostnader

Leiing	5 leiarar Lønnskost kr 975.000 per år, inkl. 30% sosiale kostnader
Vedlikehald/service	Årleg kostnad 1.5% av opprinneleg investeringsbeløp.
Trygding bygg og anlegg per år:	Bygg: 0.6 promille Maskiner og prosessutstyr: 2.5 promille. Sum kr 840 658

Produksjonskostnader per kg

[10] Vedlikehald er prinsipielt sett ein variabel kostnad, men vert her rekna som fast.

Ein kan no estimere samla produksjonstkostnader per år (Tabell 9). Dette er gjort etter at bedrifta har kome i full drift og er i ein «likevektssituasjon». Det vil ta tid å nå ein slik situasjon, og i denne perioden kan behovet for driftskapital vere stort, særleg dersom ting ikkje utviklar seg som planlagt. Dette er forhold ein ser bort frå i denne delen av analysen, og føreset at produksjonen skjer utan vesentlige uhell slik at kapasisteten vert fult utnytta. I sensistivitetsanalysane vil ein sjå på tilfelle der dette ikkje skjer.

Tabell 9. Totale produksjonskostnader per år og gjennomsnittskostnad per kg levande vekt

	Kostnad per år	%	Kr/kg levande	Kr/kg WFE
Rogn	2 597 244	1 %	0.4	0.5
Fôr	95 212 747	39 %	15.9	16.9
Vaksiner	2 494 284	1 %	0.4	0.4
Lønskostnad	14 099 801	6 %	2.3	2.5
Energikostnad	28 800 000	12 %	4.8	5.1
Oksygen	15 914 131	6 %	2.7	2.8
Slambehandling	8 161 093	3 %	1.4	1.5
Andre variable kostnadar	4 156 155	2 %	0.7	0.7
Trygding biomasse	4 235 886	2 %	0.7	0.8
Rente på arbeidskapital	7 699 914	3 %	1.3	1.4
Sum variable kostnader	183 371 256	75 %	30.6	32.6
Leiing (løn)	4 875 000	2 %	0.8	0.9
Diverse kontorhald, administrasjon og rapportering	2 000 000	1 %	0.3	0.4
Trygding bygg og anlegg	840 658	0 %	0.1	0.1
Vedlikehald/service	9 110 860	4 %	1.5	1.6
Avskrivingar og rentekostnad på investering/fast kapital	45 207 911	18 %	7.5	8.0
Sum faste kostnader	62 034 429	25 %	10.3	11.0
Totale produksjonskostnader	245 405 685	100 %	40.9	43.6

Produksjonskostnad utgjer kr. 40.30/kg levande vekt, noko som tilsvarar kr. 43.00/kg WFE (omrekningsfaktor 1,067). Faste kostnader utgjer heile 25% av dette, med avskrivingar og rente 18%. Variable kostnader utgjer 75%. Fôr er klart viktigaste kostnadsart (39%). Andre viktige kostnadsartar er energi (12%), løn (6%) og oksygen (7%).

Til samanlikning gjev Tabell 10 gjennomsnittleg produksjonskostnad i norsk oppdrett for 2016 basert på Fiskeridirektoratet sine undersøkingar. I 2016 er produksjonskostnaden kr. 30,60/kg WFE, dvs. kr. 12,40 lågare per kg enn i det landbaserte anlegget.

Her må ein ta omsyn til at tala til Fiskeridirektoratet er basert på rekneskapsdata. Netto rentekostnader i Tabell 10 er null - eit resultat av svært stor soliditet i oppdrettsbedriftene. Verdi av løyve (”konsesjon”) er heller ikkje teke med. Dersom ein set verdi per løyve til 90 mill. kr[11] og eit løyve gjev grunnlag for produksjon på ca. 1 300 tonn[12], vil rente på løyve utgjere kr. 2,8/kg. Rentekostnadene ville auke endå meir dersom ein rekna alternativkostnad og på annan kapital investert i bedrifta. Det er og rimeleg å tru at renter og avskrivingar på alternativkostnad

[11] Estimat basert på vederlagsbeløpet ved tilbod om produksjonsauke i sjøbasert oppdrett, der prisen er sett til kr 120 000 per tonn løyvet vert utvida med. For eit løyve på 780 tonn vil dette svare til kr 93 600 000.

[12] Basert på samla slakt på 1 299.8 tonn WFE fordelt på 1 015 løyve var snittproduksjon per løyve på 1 281 tonn i 2017 (tal for laks og aure).

ville vere høgare enn det som er presentert i tabellen. Dette vil medvirke til å redusere skilnaden mellom dei to alternative produksjonsformene.

Tabell 10. Produksjonskostnad per kg WFE. 2016.

	Kr/kg WFE, 2016
Smoltkostnad pr. kg	3.2
Fôrkostnad pr. kg	14.6
Forsikringskostnad pr. kg	0.1
Lønnskostnad pr. kg	2.3
Avskrivingar per kilo	1.8
Annan driftskostnad pr. kg	8.7
Netto finanskostnad pr. kg	0.0
Produksjonskostnad pr. kg	**30.6**

Kjelde: Fiskeridirektoratet.

Risiko- og sensitivitetsanalyse

Ei rekkje føresetnader ligg til grunn for kostnadsanalysen og mange av dei er usikre. Oppdrett er risikabelt av natur grunna biologiske prosessar med oppfôring, vekst og til tider tap av levande fisk. Ein manglar kunnskap på mange område – det er tale om uvisse om samanhengar mellom sentrale variablar, som omtalt i innleiinga.

Grunna usikre estimat er det nyttig å gjere sensitivitetsanalysar rundt viktige variablar som vekst, svinn og andre føresetnader for å undersøke den økonomiske konsekvensen av ulike variasjonar. I det følgjande vil ein fyrst presentere utslag av endringar i utvalde sentrale variablar enkeltvis. Deretter vert det gjort ei noko utvida analyse der ein går litt vidare og diskuterar risikofaktorar i skjeringspunktet mellom teknologi og biologi. Grunna uvisse er det vanskeleg å identifisere (og dess mindre å kvantifisere) frekvensen av ulike typar hendingar, årsakssamanhengane som ligg bak og konsekvensen/skadeomfanget. Difor vil framstilling og formulering av døme vere hypotetisk av natur. Over tid vil denne uvissa kunne reduserast, ettersom erfaringsgrunnlaget aukar og det vert utført meir forsking på sentrale samanhengar.

3.4 Sensitivitetsanalyser – endring i variablar enkeltvis.

Dette vert gjort her for å undersøke effekten på kostnad og produksjon av følgjande endringar:

- Endring i investeringsbeløp (+/- 30%)
- Auke i realrente til 7% (frå 4%)
- Energi- oksygen og slambehandlingskostnad +/- 30%
- Endring i fôrkostnader:
  1) Fôrpris +/- 30%
  2) Biologisk fôrfaktor 1.0 for fisk større enn 1 kg (ned frå 1.15 i basis-scenario)

Med fokus på kapasitetsutnytting ser ein i tillegg på følgjande scenario:

- Svinn auka til høvesvis 1% og 2% per månad etter vaksinering (gjeld for 12-14 månader før slakt)
- 10%, 20 og 30% svinn i sein syklus
- Endring i vekst og kapasitetsutnytting (+/- 30%)

Ein viktig skilnad mellom dei ulike døma på redusert kapasitetsutnytting er at når ein ser på verknaden av svinn, så vil utslaget ha ein effekt på fôrfaktor i tillegg til produksjonskvantum og kapasitetsutnytting. Ved redusert vekst vert til samanlikning

fôrfaktoren upåverka, medan tettleiken i anlegget vert lågare gjennom heile vekstsyklusen. Resultata er presentert i Tabell 11 og Tabell 12.

Tabell 11. Produksjonskostnad per kg WFE. Sensitivitetsanalyse.

Scenario		Redusert kostnad	Basis-tilfelle. Kr/kg	Større kostnad
Sum investering +/- 30%	WFE	40.7	**43.6**	46.6
	Endring %	-6.8 %		6.8 %
Realrente 7%	WFE	-	**43.6**	46.9
	Endring %			7.6 %
Energikostnad +/- 30 %	WFE	42.0	**43.6**	45.2
	Endring %	-3.7 %		3.7 %
Oksygenkostnad +/- 30 %	WFE	42.8	**43.6**	44.5
	Endring %	-2.0 %		2.0 %
Slambehandling +/- 30%	WFE	43.2	**43.6**	44.1
	Endring %	-1.0 %		1.0 %
Fôrpris +/- 30%	WFE	38.2	**43.6**	49.1
	Endring %	-12.3 %		12.4 %
Biologisk fôrfaktor 1.0 frå 1 kg	WFE	41.1	**43.6**	-
	Endring %	-5.8 %		

Endring i investeringsbeløp (+/- 30%)
Sensitivitetsanalysane viser at ei endring i investeringskostnadene på +/- 30% medfører ei endring i produksjonskosnaden på +/- 6,8%. Ei endring i totale investeringar gjev utslag i årlege avskrivingar og rente (kapitalkostnad) samt forsikringskostnad bygg og anlegg. I dette tilfellet påverkar endringa også årleg service- og vedlikehaldskostnad, ettersom denne vert estimert relativt til investeringssummen (sats 1,5%).

Auke i realrente til 7% (frå 4%)
Dersom ein legg til grunn ei realrente på 7% heller enn 4% aukar produksjonskostnad per kg med 7.6%. Renta påverkar både komponenten avskriving og rente, samt renter på arbeidskapitalen. Som ein ser er produksjonskostnaden relativt sensitiv til føresetnaden om rentenivå.

Energi-, oksygen- og slambehandlingskostnader +/- 30%
Når det gjeld høvesvis energi-, og oksygen- og slambehandlingskostnader, er det sett på ei 30% endring i den totale kostnaden per år. Når det gjeld energi og oksygen kan dette kome som følgje av endring i både forbruk og pris. Kostnadskomponentane energi, oksygen og slam utgjer som andel av totalkostnaden 3% for slam, 6% for oksygen og 12% for energi. Som vist i tabellen vil ei 30% endring i respektive kostnader medføre ei endring i totale produksjonskostnader per kg på høvesvis 1%, 2% og 3,7%. Kapitalbinding og arbeidskapital vil og verte påverka av auka/redusert kapitalbehov.

Fôrkostnader:

1) Fôrpris +/- 30%:

Utslaget på produksjonskostnaden ved ei 30% auke i prisen per kg fôr (frå kr 14 til kr 18,2) er berekna til ei endring på 12,4% i produksjonskostnaden, til kr 49,1 per kg. Ved ein tilsvarande reduksjon i prisen (til kr 9,8) vert produksjonskostnaden 38,2 per kg.

2) Biologisk fôrfaktor 1.0 og 0,95 (ned frå 1.15 i basis-scenario):

I dette tilfellet ser me på effekta av ein lågare biologisk fôrfaktor for fisk frå 1 kg og oppover – med fôrfaktor 1.0 i staden for 1.15 som føresett i basis-scenario. Potensielt lågare fôrfaktor er èin av dei potensielle fortrinna ein reknar med det kan vere ved landbasert oppdrett. Effekta vert i dette tilfellet ein reduksjon på 5.8% i produksjonskostnaden, til kr 41.1 per kg. Den økonomiske fôrfaktoren vert redusert til 1.01 (ned frå 1.13 i basis-scenario). Tilsvarande ved ein biologisk fôrfaktor på 0,95 vert kr 40,2 per kg og økonomisk fôrfaktor på 0,96.

Endra kapasitetsutnytting – variasjon i vekst og svinn

Analysene av avvik frå forventa kapasitetsutnytting i det landbaserte anlegget tek føre seg variasjonar i vekst og svinn. Når det gjeld svinn ser ein både på ein jamn auke i månadleg svinn for alle storleikar av fisk i tillegg til å sjå på tap av ein betydeleg del av fisken seint i produksjonssyklusen.

Resultata er framstilt i Tabell 12.

Tabell 12. Sensitivitetsanalyser for endra kapasitetsutnytting – variasjon i vekst og svinn.

Scenario		Redusert kostnad	**Basis-tilfelle. Kr/kg**	Større kostnad
Svinn 1% per månad etter vaksineringsmånad (dobling frå 0.5)	WFE	-	**43.6**	45.6
	Endring %			4.5 %
Svinn 2% per månad etter vaksineringsmånad	WFE	-	**43.6**	49.9
	Endring %			14.3 %
10% svinn i sein syklus	WFE	-	**43.6**	47.5
	Endring %			8.8 %
20% svinn i sein syklus	WFE	-	**43.6**	52.5
	Endring %			20.2 %
30% svinn i sein syklus	WFE	-	**43.6**	58.9
	Endring %			35.0 %
10% +/- i vekst og årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	WFE	41.7	**43.6**	46.0
	Endring %	-4.3 %		5.3 %
20% +/- i vekst og årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	WFE	40.2	**43.6**	48.8
	Endring %	-7.9 %		11.9 %
30% +/- i vekst og årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	WFE	38.8	**43.6**	52.6
	Endring %	-11.0 %		20.4 %

Svinn 1% per månad etter vaksinering

Basis-scenario i dette kapitlet tek utgangspunkt i stort svinn og utsortering tidleg i syklusen for å stå att med best mogeleg utgangspunkt for overleving og smittemotstand for biomassen som går vidare til påvekst. Siste betydelege svinn- og utsorteringsmånad er sett til månad fem

(startvekt 50 g), der fisken vert vaksinert. Deretter er utgangspunktet eit månadleg svinn på 0.5% over 13 månader før siste slakt.

Denne sensitivitetsanalysen ser på ei auka svinnrate frå 0.5% til 1% i dei 14 månadane etter vaksineringmånaden (frå og med 92-grams fisk). Utslaget på produksjonskostnaden er ein auke på 4.5% til kr 45.6/kg. Svinnet i tal fisk aukar til 35% (frå egg til utsett), opp frå 30% i utgangspunktet. Totalt svinn vert 71.6 tonn per generasjon (286,6 tonn per år), opp frå 38,2 tonn per generasjon i basis-scenario. Realisert produksjon vert ca 5 620 tonn. Det vert altså ikkje kompensert med fleire fisk til utsett her, og i tillegg til kostnadsauken per kg har ein dermed eit inntektstap grunna lågare sal, som ikkje vert spegla i analysen av produksjonskostnader. Økonomisk fôrfaktor vert 1,16, opp frå 1,13 i basis-scenario.

Månadleg svinn (etter vaksinering)	**Basis 0,5%**	**1%**	**2%**
Produksjonskostnad per kg (kr)	43,6	45,6	49,9
Realisert produksjon (tonn)	6 000	5 620	4 925
Svinn totalt	30%	35%	44%
Økonomisk fôrfaktor	1,13	1,16	1,22

<u>Svinn 2% per månad etter vaksinering</u>

Dette scenarioet tilsvarar analysen ovanfor, men no med eit svinn på 2% per månad (mot 0,5% i basis-scenario). Produksjonskostnaden aukar som følgje av dette med 14.3% til kr 49.9/kg. Svinnet i tal settefisk aukar til 44% (frå egg til utsett), med totalt svinn på 129,6 tonn per generasjon (518,6 tonn per år). Realisert produksjon vert ca 4 925 tonn. Økonomisk fôrfaktor vert 1,22.

<u>10%, 20% og 30% svinn seint i syklus</u>

Dette scenarioet ser på verknaden av eit større svinn på høvesvis 10%, 30% og 50% av talet fisk. Utgangspunktet er at svinnet skjer i månad 16, der fiskane har ei startvekt på 3 kg. Som nemnt tidlegare er analysen av produksjonskostnader over tid basert på «steady state», med jamn produksjon generasjon etter generasjon og år etter år. Når det vert lagt inn føresetnad om svinn gjeld dette dermed ikkje berre for ei enkelthending – det gjentek seg for alle dei fire generasjonane ein produserer i laupet av året. Det vert ikkje kompensert for tapet ved å auke talet fisk til utsett over tid, slik at ein får redusert kapasitetsutnytting i anlegget og i tillegg lågare sal og inntekt enn ein ville budsjettert med utan dette tapet. Marginen vert pressa både av auka kostnad og redusert inntekt.

Tapsscenario (mnd. 16)	**Basis**	**10%**	**20%**	**30%**
Produksjonskostnad per stk (kr)	43,6	47,5	52,5	58,9
Realisert produksjon (tonn)	6 000	5 427	4 824	4 221
Svinn totalt	30%	38%	45%	53%
Økonomisk fôrfaktor	1,13	1,21	1,32	1,46

1) <u>10% svinn:</u>

Effekt på produksjonskostnaden per fisk i dette tilfellet vert ein auke på 8,8% til kr 47,5 per kg. Den realiserte produksjonen vert ca. 5 427 tonn. Svinn vert i alt 38% av talet egg, som utgjer 135.5 tonn per generasjon og ca 542 tonn per år, medan økonomisk fôrfaktor aukar til 1.21 (frå 1.13 i basis-scenario).

2) <u>20% svinn:</u>

Produksjonskostnaden per fisk i dette tilfellet vert ein auke på 20,2% til kr 52,5 per kg. Den realiserte produksjonen vert ca. 4 824 tonn. Svinn vert i alt 45% av talet egg, som utgjer 238 tonn per generasjon og ca. 952 tonn per år, medan økonomisk fôrfaktor aukar til 1,32.

3) 30% svinn:

Produksjonskostnaden per fisk i dette tilfellet vert ein auke på 35,0% til kr 58,9 per kg. Den realiserte produksjonen vert ca. 4 221 tonn. Svinn vert i alt 53% av talet egg, som utgjer 340,4 tonn per generasjon og ca. 1 361,6 tonn per år, medan økonomisk fôrfaktor aukar til 1,46.

Som ein ser har desse produksjonsutfalla heilt klart den største effekten på produksjonskostnaden. Tapet av ein betydeleg del av talet fisk gjer at det vert færre kg å fordele dei faste kostnadane på. I tillegg må det reduserte talet av overlevande fisk bere dei variable kostnadene som gjekk med til å produsere den omkomne fisken (fôr, oksygen, vaksiner, osv.) fram til svinnet inntraff.

Endring i vekst, produksjon og kapasitetsutnytting (+/- 10%, 20% og 30%)

Dette scenarioet ser på verknaden av ein lågare/høgare utnyttingsgrad i anlegget, som kan skje ved avvik frå forventa vekstkurve. Føresetnader om tal fisk til utsett, overleving og slaktetidspunkt er som før, medan månadleg individuell fiskevekt vert justert. Dette inneber at ein opererer med ein lågare (eller alternativt greier å fungere med ein høgare) fisketettleik enn opprinneleg budsjettert for å oppnå ein viss vekst/fiskehelse/vasskvalitet[13].

Lågare utnyttingsgrad	**Basis**	**10%**	**20%**	**30%**
Produksjonskostnad per kg (kr)	43,6	46,0	48,8	52,2
Realisert produksjon (tonn)	6 000	5 400	4 800	4 200
Slaktevekt (snitt)	4,9	4,4	3,9	3,4

1) Lågare utnyttingsgrad - reduksjon på 10% i vekst

Utslaget på kostnaden per kg er estimert til ein auke på 5,3% til kr 46.0 per kg som fylgje av ein reduksjon i vekst og utnyttingsgrad på 10%. Realisert produksjon per år vert 5 400 tonn, basert på ei slaktevekt på 4,4 kg i snitt (dermed og redusert inntekt).

2) Lågare utnyttingsgrad - reduksjon på 20% i vekst

Ved 20% reduksjon i vekst og utnyttingsgrad vert kostnaden per kg estimert til kr 48.8 per kg, ein auke på 11,9%. Realisert produksjon vert 4 800 tonn, slaktevekt 3,9 kg.

3) Lågare utnyttingsgrad - reduksjon på 30% i vekst

Ved 30% reduksjon i vekst og utnyttingsgrad vert kostnaden per kg estimert til kr 52,2 per kg, ein auke på 20,4%. Realisert produksjon vert 4 200 tonn, slaktevekt 3,4 kg.

Høgare utnyttingsgrad	**Basis**	**10%**	**20%**	**30%**
Produksjonskostnad per kg (kr)	43,6	41,7	40,2	38,8
Realisert produksjon (tonn)	6 000	6 600	7 200	7 800
Slaktevekt (snitt)	4,9	5,4	5,8	6,3

4) Høgare utnyttingsgrad - auke på 10% i vekst

Ved ein auke i utnyttingsgraden på 10% er effekta estimert til ein reduksjon på 4.1% i kostnaden per kg, til kr 41,7. Realisert produksjon per år vert 6 600 tonn, basert på ei slaktevekt på 5,4 kg i snitt (auka inntekt).

5) Høgare utnyttingsgrad - auke på 20% i vekst

Ved 20% auke i vekst og utnyttingsgrad vert kostnaden per kg estimert til kr 40,2 per kg, ein reduksjon på 7,9%. Realisert produksjon vert 7 200 tonn, slaktevekt 5,8 kg.

6) Høgare utnyttingsgrad - auke på 30% i vekst

[13] Tilsvarande analyse ville vere at vektkurva var uendra medan talet fisk til innsett og uttak redusert/auka med 10%, 20% eller 30%.

Ved 30% auke i vekst og utnyttingsgrad vert kostnaden per kg estimert til kr 38,8 per kg, ein reduksjon på 11,0%. Realisert produksjon vert 7 800 tonn, slaktevekt 6,3 kg.

Oppsummering av sensitivitetsanalyser

I dei fleste alternativ over, ligg produksjonskostnaden per kg i området kr. 40-47, dvs. pluss/minus 4-8.5% rundt basisestimatet på kr. 43 per kg WFE. Dette indikerer noko avgrensa sensitivitet til endringar i parameterverdiar. Når det er sagt er det her berre sett på endring i ein og ein parameter. Dersom fleire skulle slå ut samstundes i negativ retning, vil det ha større konsekvensar for produksjonskostnaden. Unntaka her er fôrpris, samt betydelege endringar i kapasitetsutnytting – i sær som følgje av svinn – som vil ha betydeleg innverkand på produksjonskostnaden. Det er igjen verdt å streke under at ein her ser på likevektsproduksjon.

I tillegg er det verdt å merke seg at endringar som slår ut på produksjonskvantum vil ha større effekt på resultatet til bedrifta enn det som vert reflektert i analysen av produksjonskostnad per kg, grunna bortfall av planlagt/budsjettert inntekt.

3.5 Teknologisk og biologisk risiko i RAS – omsyn, kontroll og førebygging[14]

Ein del av risikobiletet som ein har observert i landbaserte RAS-prosjekt så langt vert ikkje godt spegla av sensitivitetsanalysene over. Dette gjeld særleg for «ekstraordinære» hendingar, dvs. grunnleggjande uvisse, som bakterieutbrot eller vasskjemiske reaksjonar som hydrogensulfid (H2S), med momentan og total død som ein mogeleg konsekvens ved dei produksjonseiningane som vert råka.

For å vurdere risiko for skader, sjukdom og nedsett fiskehelse i settefiskanlegg med minimal vassutskifting (resirkuleringsanlegg) vart det for fleire år sidan utarbeidd ein omfattande rapport om risikofaktorar i RAS av Vitskapskomiteen for mattryggleik (VKM) på anmodning av mattilsynet (sjå VKM 2012)[15]. I rapporten vert det understreka at resirkuleringsanlegg er meir kompliserte enn gjennomstrøymingsanlegg og krev stor grad av overvaking og kunnskap.

Samtalar med forsikringstilbydarar til norsk settefisknæring i dag støttar opp om at nivået av kompleksitet og uvisse har auka ved overgang til meir og meir RAS, og at ein på generell basis enno ikkje har oppnådd den naudsynte kontrollen for å bygge og drive desse anlegga med konsistent tilfredsstillande suksess. Når det gjeld årsaker og bakgrunn for dei uhella ein ser kan det vere mange faktorar som ligg bak, og i mange tilfelle kan det vere vanskeleg å bestemme nøyaktig kva som har vore avgjerande og utløysande for det enkelte utfallet. I Gjensidige (privat kommunikasjon) vert det på overordna nivå vist til tre ulike typar skade og tap, som igjen kan ha ulike årsaker og forklaringar:

- Teknisk svikt: Reint teknisk ser ein døme på mange ulike typar svikt. Havari, feilmontasje, straumstans, pumper som stoppar, og problem med ventilar, vass-innlaup, m.m. Ved teknisk svikt vil ein gjerne sjå at all fisken går tapt innan 30 min. (i heile eller deler av anlegget, dvs. enten det aktuelle karet, RAS-eininga e.l., alt etter kva som sviktar og korleis anlegget er inndelt)[16].
- Smitte, biologi, kjemi: Inkluderer hendingar som bakteriar og H2S: Å få bakterie inn i anlegget medfører store utfordringar, og ein vil slite med resirkulering av bakterien i

[14] Diskusjonen i denne delen er i stor grad aktuell og sams både for matfisk og settefisk. I neste kapittel om settefisk vil omtalen av teknologisk og biologisk risiko difor verte meir avgrensa. Sjå elles Sintef teknisk rapport for utfyllande omtale av ulike fokusområde for teknologisk og biologisk risiko i RAS.

[15] Sjå: VKM (2012). Risk Assessment of Recirculation Systems in Salmonid Hatcheries. Tilgjengeleg via: https://vkm.no/download/18.3a33d0ea16122420c393dc33/1516971511354/Risk%20Assessment%20of%20Recirculation%20Systems%20in%20Salmonid%20Hatcheries.pdf

[16] Dette gjeld innrapporterte uhell. Det må typisk vere meir enn 20-30% tap før forsikringsselskapet vert varsla, som følgje av eigenandelen.

den aktuelle avdelinga. H2S kan vere eit anna døme på stor, momentan død som følgje av forgifting i vatn.

- Eksterne risiki: Ekstern risiko gjeld, i motsetnad til annan risiko, ting som ikkje kan kontrollerast av selskapet; naturgjevne ting som rasfare eller hendingar i miljøet som til dømes ureining eller andre problem med vasskjelder (dette ser ein bort frå her).

Både teknisk svikt og utfordringar med å tilpasse vasskvalitet og biologi kan truleg henge saman med avgrensa erfaring og kompetanse, enten det er i design og konstruksjon eller i drift. Rett dimensjonering av anlegget i høve til biomassen er viktig, og ettersom overfôring og feces ureinar vatnet er det naudsynt med tilstrekkeleg, rask og effektiv partikkelfjerning (VKM 2012). God drift av biofilteret er avgjerande for eit stabilt vassmiljø, og trygg drift (og truleg også design) av resirkuleringsanlegg krev god kjennskap til vasskjemi og dei potensielle truslane for dyrevelferd som kan gjere seg gjeldande i lukka system (VKM 2012). H2S kan til dømes verte danna som følgje av akkumulering av biologisk materiale i anlegget og kan ha samanheng med både fôringsrutiner og anleggsdesign, inkludert biofilter, reingjering, sedimentasjon og partikkelfjerning og eventuell eksistens av soner for opphoping av avfallsstoff, medan giftigheita varierer i med salinitet, pH og temperatur (Per Anton Sæther, 2018) [17]. Ved uhell som følgje av forgifting vil ein i tillegg til tapet av fisk kunne risikere nedetid til avdekking av årsakssamanhengar, korrigerande tiltak som endring av rutiner, etablering av overvakingssystem og/eller tekniske installasjonar (t.d. modifisering av biofilter, eller utbetringar av reinsesystem for filter og anna).

Bakterieutbrot vil og kunne medføre nedetid i anlegget, ettersom slik smitte kan føre til at total desinfeksjon vert naudsynt/pålagt. Næringsstoff i vatnet frå fôrrestar og avføring påverkar danninga av biofilm, eit overflatebelegg der smittestoff kan overleve i lang tid (Hjeltnes, 2012). Dette gjev andre og nye utfordringar enn ein er vant til frå tradisjonelle gjennomstrøymingsanlegg på land og merdar i sjø, og det er observert utbrot av både bakterie- og virussjukdomar i resirkuleringsanlegg. Smitten kan etablere seg i filter eller i andre område som er lite tilgjengeleg for rengjering og desinfisering[18]. Eventuell desinfeksjon av anlegget vil vidare kunne gå utover stabiliteten av biofilteret, som kan vere spesielt sårbart i oppstartsfasen, før bakteriekulturen har stabilisert seg (Hjeltnes, 2012). Ifølgje trygdelag har ein i samband med bakterieutbrot opplevd at eit heilt års settefiskproduksjon kan gå tapt (sjølve nedvasken vil kunne vere overstått på ei veke, men grunna utfordringar med til dømes oppstart og gjenoppbygging av bakteriekultur kan nedetid likevel verte monaleg).

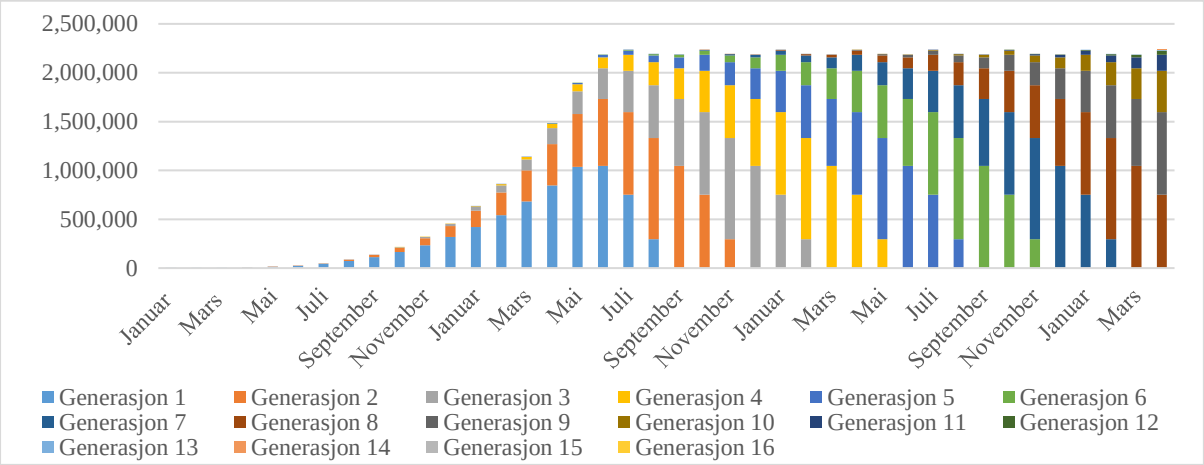
For å reflektere vidare rundt potensielle økonomiske utfall ved betydelege hendingar som massedød i eit anlegg, vil det i det følgjande bli presentert nokre hypotetiske døme på denne typen situasjonar. Ettersom ein i dette kapitlet har sett på eit investeringscase med sentralisert RAS kan ein i verste fall sjå føre seg tap av all biomasse i anlegget dersom det skulle oppstå forgifting (t.d. H2S) eller bakterieutbrot i vatnet (dette såg ein døme på i matfiskoppdrett då ein fekk H2S-forgifting ved Langsand i juli 2017 (Atlantic Sapphire, 2018)).

Med produksjonsplan som skissert tidlegare i kapitlet ville ein ved normal oppstart og drift kunne sjå føre seg ei biomasse i anlegget som vist i figur 4. Kvar stolpe i figuren viser den totale biomassen i anlegget ved starten av den aktuelle månaden, fordelt på generasjonar (utsett). Det er vanskeleg å sjå generasjonane med lågast biomasse i kvar enkelt månad, men med produksjonsplan som skissert ovanfor vil kvar stolpe (månad) ha seks til sju generasjonar i ulike stadium frå startfôr til slaktefisk. Ved utbrot av bakteriesmitte eller H2S vil ein risikere at heile stolpen – all fisk i alle avdelingar – går tapt i den aktuelle månaden, og ein må byggje

[17] Sjå: http://tekset.no/wp-content/uploads/2018/02/3-Per-Anton-S%C3%A6ther.pdf

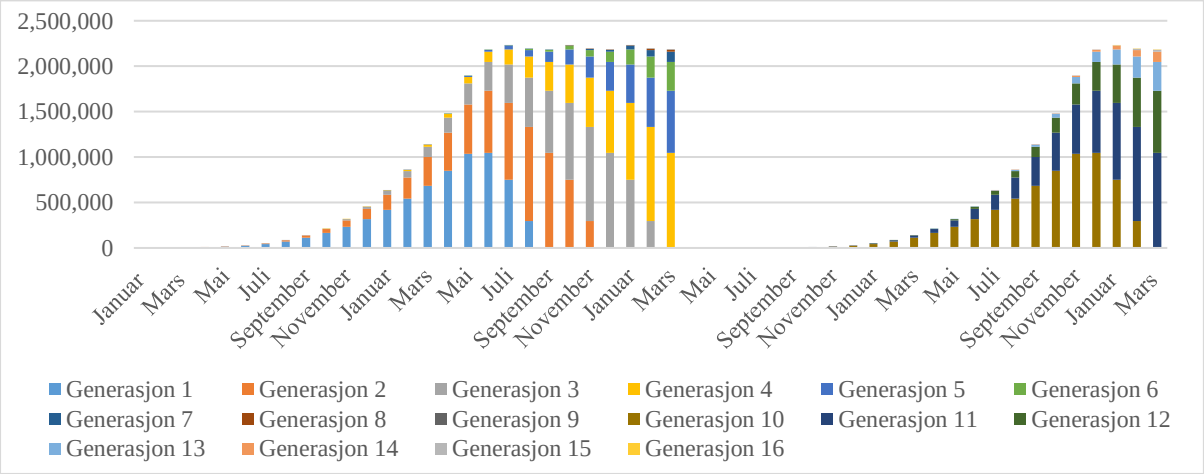
[18] Fagdirektør Brit Hjeltnes ved Veterinærinstituttet, via ilaks.no: https://ilaks.no/det-fundamentale-fettet/.

opp att biomassen frå starten av, noko som i matfiskproduksjon vil innebere ei svært betydeleg gjenoppbyggingstid (sjå til venstre i grafen for illustrasjon av oppbyggingstida av biomasse).



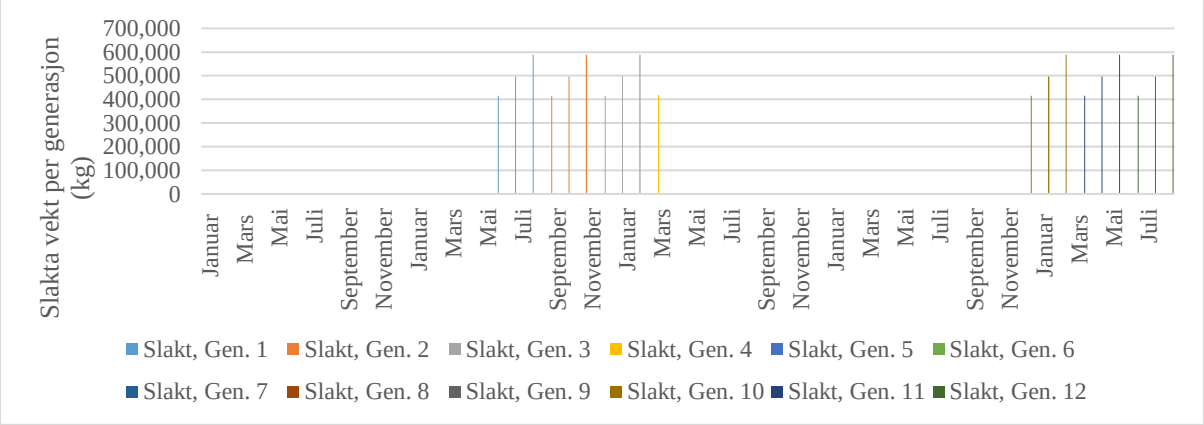
Figur 4. Biomasseutvikling.

Ei økonomisk analyse av eit scenario der bedrifta sin produksjon for året vert redusert til null frå og med den dagen eit uhell inntreff er truleg best illustrert ved analyse av likviditet og noverdi over ei prosjektperiode over fleire år, ettersom ei kostnadsanalyse med fokus på produksjonskostnad per kg i ein likevektssituasjon vil verte kunstig i denne samanheng avdi ein ikkje ville ha ein produksjon å fordele kostnadene mellom på eit meiningsfult vis (Asche og Bjørndal, 2011). Figur 5 viser døme på ei slik hending, der det er skissert momentan død for all fisk i april år 3. I dette dømet har ein deretter skissert gjenoppstart med fyrste batch av yngel til startfôr i juli, nokre månader seinare (som truleg kan vere meir eller mindre optimistisk avhengig av den aktuelle situasjonen). Dersom ein kjøper inn større fisk til anlegget eksternt ville nok biomasseoppbygginga kunne skje raskare.



Figur 5. Biomasseutvikling ved momentan død av all fisk i april år 3, med nedetid av anlegget fram til og med juni.

Verknaden av ei slik produksjonsforstyrring på slakt og dermed produksjonskvantum er vist i figur 6. Ikkje før desember år fire vert det slakt frå anlegget igjen. Dette inneber heile 20 månader utan slakt, gitt at anlegget må fyllast opp att ved hjelp av eigen produksjon (ingen slakt i uhellsmånaden april, deretter tre månader nedetid og 17 månader vekst for fyrste generasjon etter oppstart.). Planlagt slakt i denne perioden ville elles vore på 10 085,4 tonn.



Figur 6. Slakteplan ved momentan død av all fisk i april år 3, med nedetid av anlegget fram til og med juni.

Biotryggleik – hypotetisk døme med fem RAS-modular

Ein måte å redusere risikoen for og konsekvensen av hendingar som dette kunne vere å investere i fleire separate resirkuleringssystem (RAS) for å etablere atskilde smittesoner. Dersom ein går tilbake til tabellen som vart presentert innleiingsvis (gjengjeve under), vil ytterpunktet vere å etablere fleire heilt separate mindre anlegg (t.d. to 3 000-tonns anlegg eller fem 1 200-tonns anlegg, tilsvarande 6 000 tonn), inkludert multiplisering av bygg, røropplegg og alt, sjå Tabell 13. I eit slikt ytterpunkt vil nok dette innebere multiplisert bemanning i tillegg, med drift, overvåking og tilsyn av fleire system. Eit spørsmål er om fordelen med å strekkje seg så langt vil forsvare både investeringsauken og kostnadsauke i drift. Ein mellomting kunne vere at bygg er felles, med eigne RAS for vasstilførsel per modul (eventuelt avdelingsvis) i anlegget. Bemanninga ville nok uansett måtte aukast for å halde tilsyn og kontroll med kvart system.

Når det gjeld nytte vil totalt separate bygg og driftspersonale truleg kunne redusere enkelte formar for smitterisiko mellom kvar RAS-modul. For danning av H2S eller bakteriar i den enkelte modulen kan ein på den andre sida tenkje seg at separate RAS-system i eit felles bygg ville gjere om lag same nytte som totalt åtskilde fasilitetar når det gjeld å redusere risiko for at alle produksjonslinjer vert H2S-forgifta til same tid. I tabell 13 har ein sett opp eit tenkt døme på investering dersom ein 6 000-tonns produksjon skal etablerast gjennom fem 1 200-tonns modular (bygg er redusert med 20% basert på at ein ikkje treng å femdoble denne investeringskomponenten). Igjen er dette eit hypotetisk døme, med ei skissert modul-løysing basert på tabell 1.

Tabell 13. Investeringar i 6 000 tonn anlegg – basis og 5x1200 tonn anlegg – med årlege renter og avskrivingar.

	Investeringar, NOK			
Produksjonsmål (tonn)	6 000 (basis-døme)	Årleg avskr.&r (basis-døme)	6 000 (5-modul)	Årleg avskr.&r (5-modul)
Tankvolum (m3)	45 000		5 x 9 000	
Tomt	27 000	1 080	27 000	1 080
Bygg total:				
Bygning	159 699	11 751	166 358[a)]	12 241
Elektriske installasjonar	31 679	2 849	46 246	4 159
Andre inst. (ventilasjon etc.)	22 220	1 998	38 381	3 452

Betongarbeid (filter og fisketankar)	109 043	8 024	96 895	7 130
Sum bygg	322 641	24 622	347 880	26 982
Vassbehandling og div. utstyr:				
Vassbehandling	246 886	18 166	337 240	24 815
Ymse	10 863	1 339	25 168	3 103
Sum vassbehandling/div. Utstyr	257 749	19 506	362 408	27 918
Sum investering	607 391	45 208	737 287	55 980
NOK per kg prod.kapasitet (levande vekt)	101,2	7.5	122.9	9.3
NOK per m^3 karvolum	13 498	1 005	16 384	1 244

a) Det er lagt til grunn ein reduksjon i bygg-komponenten på 20% i forhold til bygging av fem 1 200-tonns anlegg. Det vil seie at investeringa i bygg her er sett til 80% av det ein får ved å multiplisere bygg-kostnaden for 1 200-tonns anlegget i tabell 1 med fem.

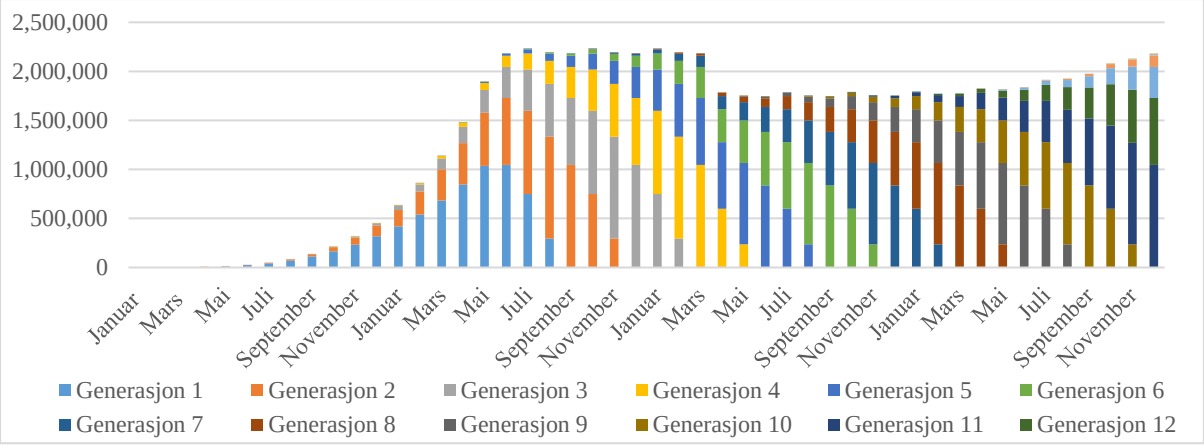
Eit sentralt poeng når det gjeld risikoreduserande og førebyggande tiltak er relasjonen mellom risikofaktor, konsekvens og førebyggande tiltak. Sjølv om separate RAS i seg sjølv burde innebere auka biotryggleik, så er det ikkje garantert at frekvensen og konsekvensen av uhell vert redusert tilsvarande som følgje av eit slikt anleggsdesign. Dersom årsaka til uhell i utgangspunktet er at ein har designsvikt, avgrensa kunnskap eller utilstrekkeleg kontroll og oversikt over vassparameter, så vert det ikkje automatisk enklare å halde oversikt over kritiske mål og følgje opp eventuelle avvik i fem individuelle system[19] (kanskje særleg relevant dersom ein i utgangspunktet har avgrensa praktisk driftserfaring å bygge på). I verste fall kan ein risikere suboptimal drift eller tekniske utfordringar med fleire system parallelt. Det er dermed mange omsyn å balansere. Produksjonsskala totalt sett og per modul vil nok og vere sentralt i denne vurderinga.

Medan investeringane i utgangspunktet var vel 607 mill kr, aukar dei til 737 mill kr når utbygginga skjer i fem modular som skissert. Årlege renter og avskrivingar aukar frå 45 til knapt 56 mill kr. Investeringane i produksjonskapasitet aukar frå kr 101,20/kg til kr 122,90/kg, ein auke på 21%.

Under det nye oppsettet med fem modular ser me føre oss at selskapet har parallelle produksjonslinjer med separate resirkuleringssystem. Ein tenkjer seg dermed at talet fisk i kvart utsett er fordelt over fem uavhengige produksjonslinjer/modular[20]. Kvar modul har dermed ein femtedel av biomassen på generasjonsnivå. Ved tilsvarande uhell som over i ein av dei fem modulane kan ein sjå føre seg biomassetap som illustrert i figur 7**.** Den aktuelle modulen taper biomassen i april år 3, tilsvarande som ovanfor. Etter uhellet vert neste utsett av yngel til startfôr gjort i juli. I desember i år fire er anlegget tilbake til «normal» slakt.

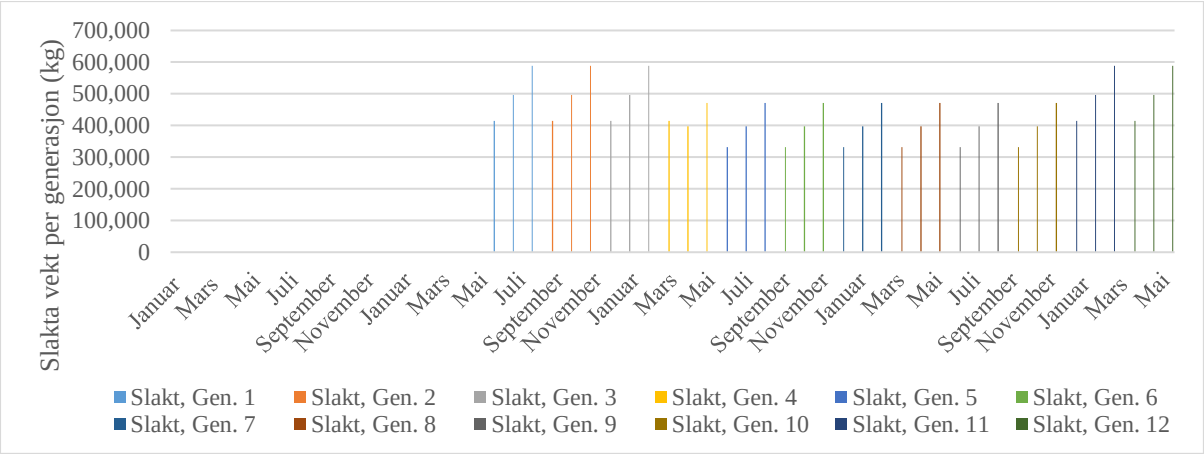
[19] Frå VKM (2012): Rutinemessig overvakning av viktige vasskvalitetsparametre (som t.d. oksygen, pH/CO2, TAN (NH4 + + NH3), nitritt (NO2 -), totalt gassmetning og temperatur) er naudsynt for å sikre dyrevelferd. Analysemetodane for måling av desse vasskvalitetsparameterne må vere underlagt god kvalitetssikring (hyppig kontroll av at måleinstrumenta faktisk viser rette verdiar). I tillegg må fisken si atferd, morfologi (eksempelvis finnar, gjellar og skinn), produksjonsdata (eksempelvis tilvekst og fôrfaktor) og svinnrate vurderast fortlaupande.

[20] Ein har ikkje sett seg grundig inn i korleis slik inndeling i smittesoner vil gjerast i praksis, men har utarbeidd eit døme her basert på tabell 1, utan å innhente ytterlegare informasjon om alternativ for anleggsdesign og investeringsanslag.



Figur 7. Biomasseutvikling ved momentan død av all fisk i èin modul i april år 3, med nedetid av anlegget fram til og med juni.

Konsekvensen på slaktekvantum er illustrert i figur 8. Slakt over den aktuelle perioden med redusert drift er redusert til 8 068,3 tonn, samanlikna med 10 085,4 tonn dersom ein hadde full drift. Over tid er det vanskeleg å vite kor ofte ein må rekne med å ha uhell av denne typen i ein eller fleire av modulane, og kor stor skilnad det vil vere for selskapet og bemanninga å halde kontroll og tilsyn med vasskvalitet og drift i dei ulike vassbehandlingssystema, samanlikna med eit sentralisert anlegg.



Figur 8. Slakteplan ved momentan død av all fisk i ein modul i april år 3, med nedetid av anlegget fram til og med juni.

Dei to alternative utformingane av eit 6 000-tonns/45 000 m^3 RAS-anlegg er samanlikna i Tabell 13, med ei oppsummering av investeringar og tapsscenario som skissert ovanfor. Som alt nemnt, er investeringane større ved 5 x 1200 tonn enn ved 6 000 tonn. Det er i tillegg gjort ein freistnad på ei skjønsmessig estimering av produksjonskostnad per kg ved fem-moduls løysinga. Avskrivingar og rente er som gitt i tabell 13. Ein føreset at alle variable kostnader utanom løn er uendra. Som drøfta ovanfor, er det grunn til å rekne med at fem system vil medføre behov for å auke bemanninga. Ut frå skjøn reknar ein med at bemanninga aukar med 10%. Trygding bygg og anlegg og vedlikehald er justert utfrå skilnaden i investeringsbeløp. Dette gjev opphav til ein produksjonskostnad på kr 46,10/kg, kr. 2,50 meir per kg enn i utgangspunktet. Vel to tredelar av skilnaden skuldast auke i avskrivingar og

rentekostnad. Det skal nemnast at fleire potensielt kostnader også kan verte påverka av at ein har fem avdelingar heller enn ei. I tilfelle er det som vert presentert her eit nedre anslag.

Tabell 14. Samanlikning 6 000 tonn og 5 x 1200 tonn anlegg.

	Eitt 6 000-tonns anlegg	Fem 1 200-tonns modular
Investeringar	607.4 mill kr	737.3 mill kr
Produksjonskostnad (WFE)[a)]	kr 43,60	kr 46,10
Tap ved uhell	10 085,4 tonn	2 017,1 tonn

a) Estimert basiskostnad, utan særskilde uhell.

Tap ved uhell - oppsummering

Ovanfor ser ein på situasjonen der det skjer eit uhell i april år tre med den konsekvens at all fisken i den aktuelle produksjonseininga dør (sjå Tabell 13). Under dei føresetnadene som er gjort, vil tapet ved eitt stort RAS anlegg vere fem gonger større enn dersom ein har fem modular kvar på 1 200 tonn. Ein avgjerande føresetnad i andre alternativ er at uhellet skjer i berre ein av modulane.

Det er ikkje meiningsfullt å estimere produksjonstkostnader for desse to alternativa, ettersom ingen av dei representerer ein likevektssituasjon. Det som derimot er meiningsfullt er å sjå på inntektstapet. I analysen her har ein ikkje lagt prisar til grunn, men inntektstapet ved 6 000-tonns anlegg vil vere svært stort. Vidare vil situasjonen vere slik at ein er utan inntekt i 20 månader slik at drifta ikkje kan finansierast i det heile av salsinntekt. Dette vil sette likviditeten på sterk prøve og kunne føre til konkurs, sjølv om bedrifta kan vere levedyktig på lang sikt.

Ved å gå frå ein modul på 6 000 tonn til fem 1 200-tonns modular, aukar investeringane frå 607,4 mill kr til 737,3 mill kr. I ein likevektsstuasjon aukar då produksjonskostnadene med kr 2,50/kg eller 5,7%. Dersom det er ein korrekt føresetnad at fleire modular i praksis reduserer risikoen for uhell (i dette tilfellet proporsjonalt med mengda fisk per smitteeining), vil ei investering som illustrert i dømet her kunne føre til ein monaleg reduksjon i risiko. Enkelt sagt er det i så måte tale om ei avveging mellom større investeringar og driftskostnader som gjev høgare kostnader per kg, men med redusert risiko. Eit stort spørsmål er likevel kva risikoen eller uhellsfrekvensen per modul vil vere når det kjem til stykket. Vel å merke har ein no fem komplekse system å overvake og halde kontroll med i staden for eitt.

Kontroll, førebygging og risikoreduksjon

Erfaring med kommersiell lakseoppdrett i RAS er avgrensa, og ein kan truleg karakterisere systema som vert bygd i dag som ein «ung teknologi», iallfall når det gjeld RAS i lakseoppdrett til stor settefisk og matfisk i stor skala. Av dette følgjer det at ein del relasjonar i kryssingspunktet mellom teknologi, biologi og vassmiljø er uvisse. Basert på den erfaringa som fins synes det å vere døme på både lovande og krevjande utsikter. Når ein høyrer om ulike uhell inkludert tekniske problem, H2S, bakterieutfordringar og momentan massedød er inntrykket at ein del årsakssamanhengar ikkje er godt forstått, eller i det minste at kunnskapen om dei ikkje er tilstrekkeleg kjend til at ein har kunne bygd og drive anlegg konsistent på ein god måte. Dette speglar seg mellom anna i utsagn frå trygdelag om at ein vurderer innstramming i trygdevilkår for nybygde RAS-anlegg i settefiskoppdrett som følgje av for mykje tap. Når det gjeld matfisk vil uvisse og risiko vere minst like stor.

Tidlege erfaringar med matfiskoppdrett er rapportert å ha hatt utfordringar med vekst m.a. som fylgje av låg forståing av CO_2, fôring, turbiditet og tidleg kjønnsmodning[21]. Ein fekk

[21] Referanse når det gjeld produksjonserfaringar med matfisk er personleg kommunikasjon med industrikjelder.

vidare problem i produkjsonsplanleggingа med overfylte smoltavdelingar, ettersom storfisk ikkje nådde målsett vekt innan planlagt tid[22]. Slaktevekter under desse tilhøva er rapportert å variere frå 0,5 til 5 kg, med ein produksjon i anlegget på 0,25 kg per m^3 per dag. Fiskehelseproblem har særleg gjort seg gjeldande for stor fisk, der ein har sett mellom anna dårleg vekst og synsproblem/grå stær, forverra gjennom dårlege fôringsrutiner, uklart vatn (turbiditet) og CO_2-nivå. Det er likevel rapportert at ein med aukande erfaring har oppnådd monaleg betring i laupet av dei siste par åra, slik at produksjonsytinga er antyda å kunne liggje på om lag 0,35 kg/m3/dag, ei betring på 40% over dei 1-2 siste åra. Betringane reflekterer truleg både utvikling av teknologiske konsept, samt kunnskap og driftsbetring gjennom rutiner og god produksjonspraksis. Fisken vert stort sett slakta ved 3-4 kg, grunna mangel på økonomisk nytte per i dag ved å halde fisken i anlegget utover dette. Same industrikjelde viser elles til forventningar om at dagens produksjonsyting potensielt kan betrast til ein produksjon på 0,5 kg/m^3/dag på sikt dersom produksjonen vert «optimalisert» tilsvarande dei beste generasjonane ein har sett så langt. Dette vil i så fall utgjere ei 30% betring frå dagens antyda nivå.

Tabell 15 oppsummerer ein del risikofaktorar og kontrollparameter som ein vil ynskje å tenkje på under konstruksjonsfasen samt vidare å halde kontroll med for å drive produksjonen optimalt og unngå uhell, veksttap og svinn. Oversikta kjem i hovudsak frå Atlantic Sapphire, men med enkelte tilleggspunkt som har kome fram av anna materiale og samtalar med kjelder frå næringa. Dette er dermed ei liste som er ufullstendig, men som likevel kan spegle noko av dei områda ein har fokus på i dei anlegga som er i drift i dag. Lista vil nok elles innehalde overlapp mellom variablar, kontrollparameter og risikofaktorar. Ein vel å presentere lista her, med reservasjon om at den omhandlar relasjonar som er uvisse, samt strengt tatt går utover kompetanseområdet til forfattarane (med fokus på produksjonsøkonomi). Det vert likevel vurdert slik at lesaren kan ha nytte og interesse av dette stoffet, og ikkje minst at potensielle investorar og andre involverte i landbaserte anlegg kan gjere seg opp ei meining om kva for risikoområde og variablar ein vil gå vidare å lære meir om undervegs i avgjerdsprosessen, samt eventuelt som støtte i utforminga av plan og strategiar for handtering og førebygging av risiko. For vidare fordjuping vert det igjen vist til Vitenskapskomiteen for mattrygghet (VKM 2012) sin rapport «Risk Assessment of Recirculation Systems in Salmonid Hatcheries», som gjev ei langt meir utfyllande skildring og analyse av både typar risiko, erfaringar, kontrollparameter og eksisterande kunnskap om toleransegrenser og til dels mogelege risikoreduserande tiltak.

Tabell 15. Døme på biologisk-teknologisk driftsrisiko i landbasert oppdrett av laks

Variabel	Risikoområde/ kontrollparameter	Måling	RAS eller generell risiko
Inntaksvatn	Smitterisiko, salinitet (fiskevelferd, samt kan ha samanheng med H2S-risiko i RAS)	ppt, micron meters, cfu	Generell (men risiko ved salinitet større i RAS; vassmengd og smittefare større i gj.str.)
Oksygen	Biologi/fiskehelse	% saturation	Generell
Karbondioksid	Alkalinitet, fiskehelse	mg/litre	
Nitritt / Nitrat	Biofiltrering, fiskehelse	NO2 mg/litre, NO3 mg/litre	RAS
Vasskvalitet	Klarheit, partikulært materiale, alkalinitet, geosmin/MIB	UVT, ph, TAN, oC	RAS

[22] Fisk under 1 kg er rapportert å ha vist god overleving og vekst sjølv under svært suboptimale tilhøve (150kg/m3, CO2 > 20 etc.). Til samanlikning ser ein teikn til at stor fisk er meir sensitiv enn smolt til gode veksttilhøve.

Vasskvalitet (meir)	Bakteriar, algevekst, temperaturkontroll		Generell
Fôringsregime	Type fôr (konsistens, partikkelstorleik, etc), fôrmengde, akkumulering/fjerning av partiklar frå vatn og anlegg		Generell (risiko truleg ulik i RAS)
Vassfiltrering og sirkulering	Fjerning av partiklar, bakteriar og gass/biprodukt. Biofilm, sedimentasjon	TSS mg/litre, cfu	RAS
Design	Dimensjonering, funksjonalitet, hygiene og velferd		
Bismak	Høgt innhald av Geosmin i kjøt – sjå og vasskvalitet. Bruk av «reinsetank» med gj.straum før slakt		RAS
Tidleg kjønnsmodning	Lys, salinitet, temperatur og "mykje meir"		
Smittesoner	Anleggsdesign, produksjonsrisiko – tal RAS (smittesoner) per anlegg		RAS (større utfordring i RAS)
Fisketettleik	Fiskeatferd og velferd, systemrisiko	kg / m3	Generell, men toleransegrenser potensielt ulikt (avh. av vasskvalitet)
Sortering (grading)	Fiskehelse, unngå aggressiv atferd	Str./fisk	Generell
Tryggleiksmargin og back-up i system	Sikring mot straumstans, knapp eller romsleg dimensjonering og sikker vassforsyning.		Generell

Kjelde: Atlantic Sapphire (2018), samt referansegruppe og andre kjelder (VKM 2012; Sæther, 2018).

Risiko i RAS samanlikna med andre landbaserte vassbehandlingskonsept

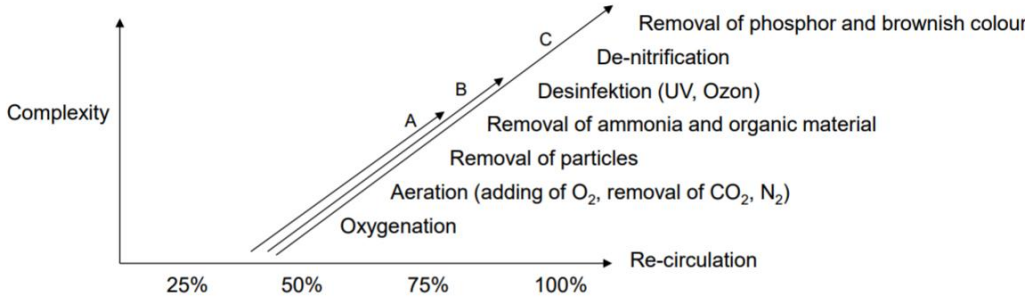
Som det framgår av risikoanalysen, og som vist i tabellen over, ser ein at enkelte risikofaktorar har å gjere med RAS-system spesielt (heller enn landbaserte anlegg generelt), noko som kan kome av at ein framleis har ein del å lære om anleggsdesign, drift, vasskjemi og laksebiologi ved filtrering og resirkulering av så mykje som opp mot 99% av oppdrettsvatnet. Høgare grad av resirkulering medfører auka kompleksitet når det gjeld teknologi, biologi og kjemi. Som nemnt vert dette også illustrert gjennom merknader frå forsikringsselskap om høgare frekvens av uhell og erstatningskrav frå nybygde RAS-anlegg (og særleg med bruk av saltvatn i tillegg).

I samband med risikoanalysen kan det difor vere på sin plass å nemne at ikkje alle landbaserte anlegg, verken eksisterande eller under utbygging, er intensive RAS-anlegg. Ein del eksisterande anlegg er tufta på gjennomstrauming, og det vert elles bygd anlegg med eit visst gjenbruk av vatn, men utan så høg resirkuleringsgrad at det vert behov for partikkelfjerning og biologisk filtrering (omtalt mellom anna som «Semi-RAS», dels resirkulering eller gjenbruksanlegg (GB).

Gjenbruksløysingar (dels resirkulering) gjer det mogeleg å redusere vassforbruk og auke fisketettleik uten bruk av biofiltrering for å oksydere ammonium/ammoniakk til nitrat (IRIS, 2012). Kun ved å tilsette oksygen og fjerne karbondioksid, kan opptil 70% av det totale vassbehovet verte resirkulert i anlegg basert på sjøvatn[23] (Yngve Ulgenes, SINTEF. Referert i IRIS (2012)). Dette vil og motverke potensielle negative effekter på fisken ved brå endringar i

[23] Det eksisterar i dag fleire ulike metodar for å tilsette oksygen og fjerne C02 frå oppdrettskar basert på mekanisk lufting og fjerning av metabolske gassar. Vanlege teknologiar er ifølge IRIS (2012) bruk av airlifts, ejektorteknologi eller venturibaserte luftepumper.

sjøtemperatur (råvatn) før oppvarming. Vidare vil teknologien potensielt kunne bidra til å stabilisere vasskvalitet i oppdrettskar, noko som igjen gjer det mogeleg å halde høgare tettleik av fisk (IRIS, 2012). Figur 9 illustrerer skilnaden i kompleksitet i vassbehandlinga over aukande gjenbruksgrad, frå rein gjennomstrauming av vatn (til venstre i grafen) til aukande intensive RAS-anlegg med fleire og fleire steg i vassbehandlingsprosessen (mot høgre i grafen). Sjå elles rapport del I for skildring av ulik vassbehandlingsteknologi i landbasert oppdrett.



Figur 9. Grad av kompleksitet i landbasert vassbehandlingsteknologi for ulik resirkuleringsgrad av vatn.
Kjelde. Billund Aquaculture Services.

Som det går fram av figuren, har RAS-anlegg fleire steg i vassbehandlingsprosessen dess høgare resirkuleringsgrad, og bruk av biofilter gjer at ein ikkje berre må røkte fisk, men og bakteriekultur. Kravet til kompetanse i drift av RAS-teknologi vert dermed større. Samstundes kan sentralisert vassbehandling og avgrensa høve til reinsing av filter innebere større konsekvensar ved smitte enn øvrige teknologiske løysingar.

Når det gjeld val av landbasert teknologi og resirkuleringsgrad vil dermed gjerne fleire faktorar spele inn. Lokalisering, tilgjengelege vasskjelder og tilgjengeleg kompetanse for den enkelte bedrifta vil kunne vere avgjerande. RAS kan vere naudsynt av omsyn til vassbehov, spesielt i ferskvassfasen. Større resirkuleringsgrad opnar for eit større utfallsrom når det gjeld lokalisering, og for ein større samla produksjon gitt ei viss mengde vatn. Med tanke på risiko og drift kan på den andre sida ei lågare resirkuleringsgrad potensielt vere aktuelt å vurdere der vasskjeldene tillet dette, ut frå omsynet til lågare kompleksitet og kompetansebehov[24]. Risikoprofil, fordelar og ulemper med alternative teknologiar for vassbehandling i landbaserte anlegg ser ut til å vere eit viktig område for vidare forsking og utgreiing. Det same gjeld forhold mellom teknologi, vasskjelder (salinitet) og biologisk risiko i landbaserte anlegg.

4. Oppsummering – matfisk på land

I dette kapittelet er det gjennomført økonomiske analysar av landbasert oppdrett av laks. Utgangspunktet har vore eit anlegg med produksjonskapasitet på 6 000 tonn. Etter etablering av ein produksjonsplan og med føresetnader om både variable og faste kostnader, vert produksjonskostnad estimert. Det er i tillegg gjennomført sensitivitetsanalysar for endringar i ulike parametrar. For dei fleste av desse er det slik at ei (mindre) endring vil ha relativt lite utslag på produksjonskostnaden. Unntaket er ved relativt store endringar i svinn og kapasitetsutnyting der desse ikkje kan kompenserast for t.d. ved utsetjing av meir smolt.

[24] Sjå omtale av gjennomstrøymingsanlegg i rapport del I. Når det gjeld investeringar er det antyda at dei totale investeringane i eit RAS-anlegg kan vere noko høgare enn ved GB med tilsvarande utstyrsnivå, sjølv om ein diverre har avgrensa informasjon om dette. Det som taler til fordel for lågare investering ved gjenbruk gjeld særleg grunnarbeid, betong og areal. På den andre sida vil røropplegg for inntak og uttak av vatn kunne krevje mindre dimensjonar ved RAS enn ved GB, som følgje av lågare vassinntak.

Sensitivitetsanalysane er gjennomført for ein paramterer om gongen. Sjølv om verknaden av kvar enkelt kan vere liten, vil ein situasjon der fleire samtundes endrar seg i negativ lei kunne ha eit monaleg utslag på produksjonkostnaden.

Utgangspunktet for analysen er ein likevektssituasjon der produksjonen skjer utan vidare uhell og føremålet er å analysere om produksjonskonseptet kan vere konkurransedyktig i markanden. I kapittellet er det understreka at det gjer seg gjendalde grunnleggjande uvisse når det gjeld mange relasjonar innan landbasert oppdrett og at risikoen er stor. Som ei tilnæring til dette har ein sett på situasjonen der ein investerer i fem produksjonslinjer a 1 200 tonn heller enn eit enkelt anlegg med 6 000 tonn. Det vil medføre større investeringar og ein høgare produksjonskostnad per kg, men vil under gjevne tilhøve kunne medføre redusert risiko for tap i ein uventa uhellssituasjon.

KAPITTEL 2. ØKONOMISK ANALYSE AV PRODUKSJON AV STORSMOLT

1. Innleiing

Dette kapittelet tek føre seg økonomisk analyse av produksjon av stor settefisk frå landbaserte anlegg. Analysen konsentrerer seg om produksjonskostnader i landbasert settefiskoppdrett, medan ein seinare går vidare med analyse av påvekst i sjø, der settefisken frå land vert ein innsatsfaktor i sjøbasert matfiskoppdrett (kapittel 3 og 4).

Bruk av storsmolt i kombinasjon med påvekst i sjø vert sett på som ein måte å redusere produksjonsrisiko. Større settefisk vil korte ned lengda på sjøfasen, noko som gjev mindre eksponering mot lakselus, behandlingsbehov og sjukdomssmitte. Ein sentralmotivator for investeringar i landbaserte anlegg for stor settefisk å unngå utfordringar og kostnader knytta til lakselus, fiskehelse, avlusingsbehandlingar, veksttap og svinn i sjøbasert oppdrett. Dette medfører store kostnader for bedriftene, og gjev i tillegg opphav til tap av stor fisk og dermed bortfall av betydeleg inntektspotensiale. Ved å utvide den delen av vekstfasen og livslaupet som vert gjort i kontrollerte forhold i landbaserte anlegg har ein mål om å redusere desse risiko- og tapsfaktorane. Med større kontroll over sentrale produksjonsparametrar som vassinntak, temperatur og lys i dei tidlege stadia av laksen sin livssyklus, kan ein potensielt oppnå meir optimale vekstforhold på land i denne fasen, noko som vil kunne korte ned også på den totale varigheita av ein syklus.

Spørsmålet for ein lakseoppdrettar er om gevinsten ved stor settefisk – det vil seie betre vekst og overleving i sjø, samt lågare kostnader til behandling mot lus – er tilstrekkeleg stor til å forsvare investering og drift av relativt kostbare landbaserte oppdrettsanlegg. Som utgangspunkt for analyser av produksjonskostnader for stor settefisk i landbaserte anlegg vil ein her ta utgangspunkt i settefisk på høvesvis 500 og 1 000 gram ved overføring til sjø. I begge tilfelle ser ein på eit anlegg med kapasitet til å produsere 3 000 tonn per år.

Dette kapittelet er organisert som fylgjer: Ein vil ta føre seg investeringar i eit 3.000-tonns anlegg for produksjon av 500-grams settefisk eller 1 000-grams settefisk, respektivt. Vidare definerer me produksjonsplan og driftskostnader for kvart av dei to settefisk-konsepta og estimerar ut frå dette produksjonskostnaden per settefisk.

2. Investering – 3 000-tonns landbasert settefiskanlegg

Når det gjeld produksjonsteknologi for settefisk, synest det å vere ein klar trend mot produksjon av større smolt i større anlegg med resirkulering og gjenbruk av vatn, med ein overgang til fleire RAS-anlegg (sjå kapittel 1). Likevel ser det framleis ut vil å vere skilnad i dei praktiske løysingane ved ulike smoltanlegg. Dette kan m.a. variere ut frå tilgjenge til vasskjelder (både når det gjeld sjøvatn og ferskvatn), kor store desse er, og i tillegg annan infrastruktur.

Ifylgje industrikjelder, kan ein føresetje at investeringar i eit smoltanlegg av denne dimensjonen – komplett med klekkeri – vil kome på kr 30 000 per m^3 produksjonskapasitet, men grunna skilnader i produksjonskonsept, lokale tilhøve og teknologi er det vanskeleg å samanlikne og gje klare konklusjonar (personleg kommunikasjon). Likevel – investeringar per kg produksjonskapasitet varierer noko med storleiken på smolt ein vil produsere. Ifylgje eitt estimat, vil investeringar per kg kunne vere so høge som kr 4-500/kg produksjonskapasitet frå rogn og opp til ein storleik på 100 g, medan dette kan vere redusert til kr 60-94/kg produksjonskapasitet for vidare vekst frå 100 til 500 g. Stordriftsfordelar i investeringane gjeld gjerne opptil eit visst punkt og viser deretter ei utflating ved 3 000 – 5 000 tonn – slik at det er lite eller ingen ting å hente ved storleik utover dette.

Me vil her sjå på investeringar i eit anlegg med åreg produksjonskapasitet på 3 000 tonn, både for settefiskstorleik på 1 000 gram og 500 gram. I det eine tilfellet vil ein kunne produsere om lag 3 millionar settefisk på 1 kg, medan ein i det andre tilfellet vil kunne produsere om lag 6 millionar 500-grams settefisk. I begge tilfelle tek me utgangspunkt i fire

innsett/uttak per år. I praksis kan det og hende at ei integrert settefisk- og sjøbasert matfiskbedrift vil ynskje ulik settefiskstorleik på ulike årstider, tilpassa både lokale sesongvariasjonar i veksttilhøve i sjø samt den enkelte bedrifta si MTB-utnytting på sjøsida.

Investeringane er gjevne i Tabell 16. For eit slikt anlegg går ein ut frå at det trengst ei tomt på 15 mål. Tomtekostnaden er sett til kr 500 000 per mål. Samla investeringar utgjer knapt 500 mill. kr. Største posten er bygg, konstruksjon og prosjektrelaterte kostnader med 240 mill kr. eller knapt 48% av totalen. Deretter kjem akvakultursystem med 175 mill kr, eller knapt 35% av totalen.

Tabell 16. Investeringar i settefiskanlegg med 3.000 tonn kapasitet – 500-grams settefisk.

Investering	Kr	Økonomisk levetid	Årleg rente- og avskrivningskost
Bygg, konstruksjon og prosjekt-relaterte kostnader	240 000 000	20	17 659 620
Akvakultur-utstyr (resirkulering, pumping, rør, filter, anna vassbehandling og elektrisk)	179 100 000	20	12 876 806
Fisketankar og utstyr	30 000 000	20	2 207 453
Ymse utstyr (automasjon og overvåking, sortering og handtering, vaksinasjon, reinhald, ensilasje, truck)	16 900 000	10	2 083 617
Klekkeri, slamhandtering, fôring	26 500 000	10	3 267 210
Tomt	7 500 000	-	300 000
Samla investering	**500 000 000**		**kr 38 394 706**

Når det gjeld arealbruk, legg ein til grunn eit arealbehov for bygningsmasse på 2,5 m^2 per tonn produksjonskapasitet samt ein faktor på 2 for totalt arealbehov inkludert infrastruktur (sjå dimensjonerande kriterium i SINTEF-rapport). For eit 3 000-tonns anlegg gjev dette eit arealbehov på 15 mål. Pris per mål vert som tidlegare sett til kr 500 000. Årleg rente og avskrivingskostnad er utrekna til 38,4 mill kr. Også her er realrente på 4% lagt til grunn og avskrivingane er rekna ut etter annuitetsprinsippet. Avskrivingstida varierer mellom 10 og 20 år.

Settefiskanlegget vil vere dimensjonert ut frå maksimal biomasse i anlegget, og investeringssummen er anslått å vere rimeleg lik enten settefiskstorleiken er 500 gram med eit stort tal fisk eller den dobbelte storleik med halvparten så mange fisk per år. Sistenemnde anlegg med produksjon av 1 000-g smolt kan likevel verte noko rimelegare – ifylgje industrikjelder kan investeringssummen vere opptil 10% lågare samanlikna med 500-grams anlegget til rundt kr 500 millionar, dvs. ein investeringskostnad på omlag 450 mill. kr.

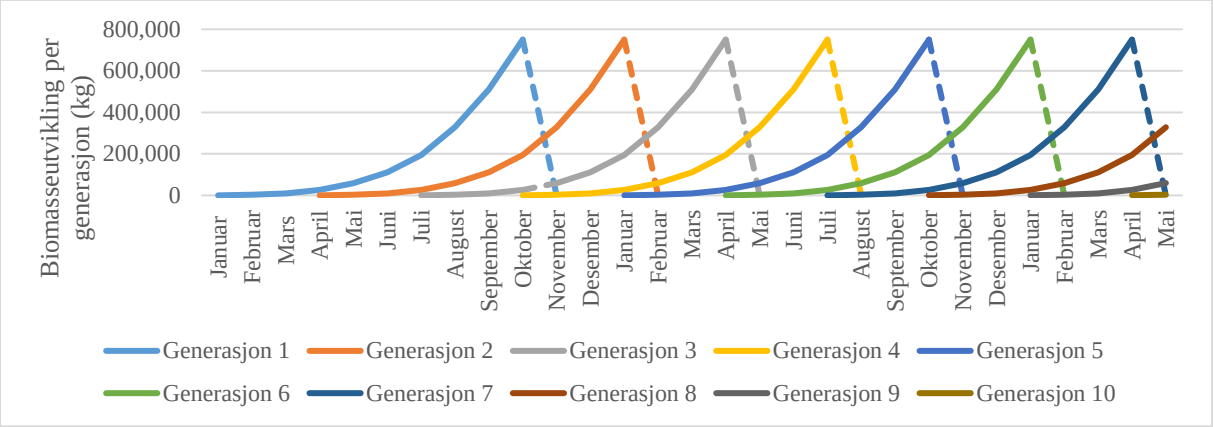
2.1 500-grams settefisk

Produksjonsplan

Produksjonsplanen for settefiskanlegget har mykje til felles med produksjonsplanen for matfiskanlegget som presentert tidlegare (kapittel 1). Syklusen per generasjon i eit settefiskanlegg er derimot langt kortare – om lag ni og ein halv månad[25] etter innsett av 0.2-grams yngel i anlegget vert settefisk på 500 gram levert til sjø. Anlegget legg inn rogn fire gongar i året og leverer fire generasjonar 500-grams settefisk til sjø per år. Gitt føresetnader

[25] Ei periode på 6-10 veker i klekkeriet er ikkje rekna med her.

om vekst og død som presentert i Tabell 2 under får me ei biomasseutvikling i settefiskanlegget som vist i figur 1.



Figur 1. Biomasseutvikling per generasjon i anlegget over tid (kg) – fire utsett per år.

Som figur 10 illustrerer vil ein ha eit anlegg som ganske raskt er i full drift – allereie frå andre driftsår (ei periode på 6-10 veker i klekkeriet er ikkje rekna med i figuren). Fyrste inntekt frå drifta kjem allereie fyrste driftsår, noko som gjer at kapitalbindinga er mindre krevande enn i fullsyklus matfiskoppdrett, der ein fyrst får inntekt frå sal av fisk etter minimum 19 månader.

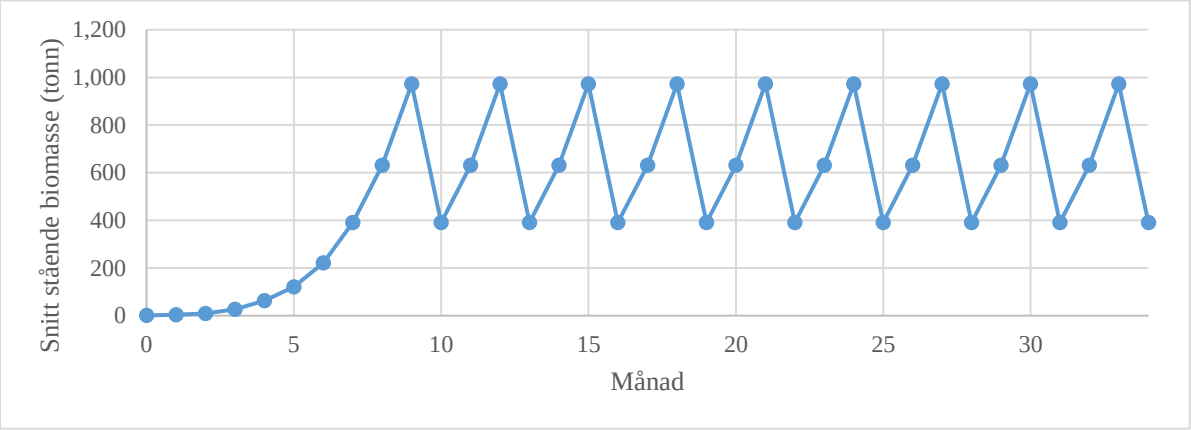
Produksjonsflyten som kjem fram i figuren gjev og ein indikasjon på kapasitetsutfordringa (utnyttingsgrad) i landbasert oppdrett med ei biomasse som utviklar seg eksponentielt per generasjon. I tillegg vil eit integrert oppdrettsselskap sjå på settefiskstrategien som ein del av produksjonsstrategien i sjøbasert påvekst, der optimal utnytting av MTB-kapasiteten gjerne vil utgjere ein viktig avgrensande faktor. Eit slikt integrert selskap vil til dømes kunne ynskje 470-grams settefisk i fyrste levering, 340-grams settefisk i andre levering, 740-grams i tredje, osv. Ein slik produksjonsplan i det landbaserte anlegget kunne følgjast ved å justere tal fisk per generasjon (fleire fisk ved storleik mindre enn 500 gram; færre ved storleik større enn 500 gram) for å halde seg innanfor den maksimale stående biomassen som anlegget er dimensjonert for. Alternativt kunne ein under-utnytte kapasiteten i anlegget ved redusert settefiskstorleik, og i tilfellet med større settefisk til dømes ta ut enkelte fisk tidlegare og i fleire omgangar når biomassetoppen nærmar seg. Føresetnadene for produksjonsplanen er oppsummert i Tabell 2.

Tabell 2. Føresetnader for produksjonsplan.

Produksjonsperiode	Klekkeri: 6-10 veker til 0,2 g. Startfôring og påvekst: Utsett yngel i månad 0 med levering av 500-g settefisk ca midt i månad 9.
Rogn per utsett	2,001,300 egg
Svinn (i stk fisk)	Klekkeri (frå egg til 0,2 g): 5% Tre fyrste månader på startfôr: 5% per månad Vidare 1% månadleg fram til vaksinering I vaksineringsmånaden 5% svinn Vidare 0.5% dødelegheit per månad fram til levering i sjø.

	Over livssyklusen gjev dette eit totalt svinn på 27% (inkludert rognstadium), med mesteparten av tapet i tal fisk tapt i dei fyrste månadene.
Vaksinering	Vaksinering i månad 5, med startvekt 50 g.
Årleg produksjon	3,000 tonn
Levering	Fire leveransar per år, med 1.495 millionar settefisk per levering, til saman ca. 5.980 millionar settefisk per år
Biologisk fôrfaktor (FCR)	FCR 0.9 (gjev her økonomisk fôrfaktor 0.92)
Vekstfaktor (TGC) og vasstemperatur	TGC 2.7 (frå 92 gram) og vasstemperatur 12 grader.

Figur 2 viser ei forenkla framstilling av utviklinga av biomassen i anlegget over tid, basert på gjennomsnittet i kvar månad (inkludert maksimal biomasse i den månaden 500-grams settefisk vert levert til sjø). Som ein ser varierer biomassen ein del, og anlegget må dermed vere dimensjonert for ei maksimal biomasse som er ein god del større enn gjennomsnittsbiomassen i anlegget over tid.



Figur 2. Utvikling i stående biomasse over tid (vekt i tonn).

2.2 Produksjonskostnad

Variable kostnader

Føresetnader for variable driftskostnader er gjeve i Tabell 3. Ein reknar med 15 tilsette som vil gje 7-8 tilsette per skift. Årleg lønskostnad inkludert sosiale kostnader er sett til kr. 641.000,00, det same som i kapittel 1. Det er ein tillegg ein «alt mogeleg person» for førefallande arbeidsoppgåvar som er løna noko mindre.

Tabell 3. Føresetnader – variable kostnadar.

Tilsette i produksjon	15 tilsette (som gjev 7-8 tilsette per skift). Lønskost kr 640,900 per årsverk, inkl. 30% sosiale kostnader.
Andre tilsette, t.d. reinhald og forefallande oppgåver (ikkje akvakultur-/produksjonsmedarb.)	1 person Lønskost kr 455,000 per årsverk, inkl. 30% sosiale kostnader
Pris på rogn	Kr 1.50 per egg (kr 1-1.6 avhengig av genetikk) Innkjøp ca 8 005 200 stk egg per år
Pris på fôr	Kr 15 per kg

	Forbruk 2 802,6 tonn
Pris på vaksine	Kr 2 per vaksine (kr 1.5-2.0 per vaksine avhengig av innhald). Innkjøp ca 6 406 548 stk vaksiner per år.
Straum[a)]	NOK 0.80 per kwh. (inkludert nettleige) Forbruk 5 kwh per kg produksjonskapasitet
Oksygen	NOK 2.60 per kg Forbruk 0.7 kg per kg realisert produksjon (fôr)
Slamhandtering/avhending	NOK 800 per tonn (variasjonsområde kr. 130-2000). Kvantum 1.5 kg slam (før tørking) per kg fôring, totalt ca 4,126 tonn slam per år
Trygding biomasse	2,5% av variable kostnader
Andre kostnader	
Evt. lut/bikarbonat/PH-justering	Kr 1.70 per kg Forbruk 0,1 kg per kg fôr (realisert produksjon)
Medisin, laboratorium, veterinærtenester	kr 500 000
Diverse kostnader (trivsel/hushald/anna)	Kr 500 000
Rente på arbeidskapital	4%

a) Straumforbruk er her sett som bestemt av produksjonskapasitet og er dermed rekna som ein indirekte kostnad. Forbruk av oksygen, lut og slamhandtering er sett som bestemt av realisert produksjon, uttrykt ved fôrkvantum, og er dermed rekna som ein direkte kostnad. Ved avvik frå planlagt produksjonskvantum (sjå sensitivitetsanalyser) vil direkte kostnader som fôr, oksygen, lut og slambehandling samvariere med produksjonsavvik, medan indirekte og faste kostnader på kort sikt ikkje vil gjere dette.

Med utgangspunkt i produksjonsplanen vert årleg fôrkvantum på 2 750,6 tonn, som gjev ein økonomisk fôrfaktor på 0.92. Med ein fôrkostnad på 15 kr per kg vert den årlege fôrkostnaden kr 41.3 millionar.

Trygding av biomassen er estimert ut frå ein sats på 2.5%, med variable produksjonskostnader som forsikringsgrunnlag. Satsen føreset ein eigendel på 20%. Ein eventuell auke i eigendelen til 30% ville gje 15-20% lågare forsikringskostnad.

Faste kostnader

Leiing av bedrift vert rekna som ein fast kostnad. Ein har 4 personar i leiarstilling med lønskostnad kr. 975.000,- per årsverk inkludert sosiale utgifter (Tabell 17).

Estimat på vedlikeholdsutgifter er 1,5% av investeringskost per år over anlegget si levetid for å halde det i god stand[26]. Det vil vere relativt lite vedlikehald tidleg i perioden, men behovet aukar etter kvart med slitasjen.

For bygg er trygdepremien 0.6 promille, og for maskiner og prosessutstyr 2.5 promille. Både når det gjeld fisk, bygg og anlegg er det viktig å notere at trygdepremien kan variere betydeleg frå bedrift til bedrift, avhengig av tidlegare hendingar og utbetalingar, samt lokalisering, type bygg og anlegg og andre faktorar som kan påverke vurderinga av risikoprofil

Rente og avskrivingar er klart viktigaste komponent av faste kostnader.

[26] Vedlikehald er prinsipielt sett ein variabel kostnad, men vert her rekna som fast.

Tabell 17. Føresetnader – faste kostnader

Leiing	4 leiarar Lønnskost kr 975.000 per år, inkl. 30% sosiale kostnader
Diverse kontorhald, rapportering etc.	1 000 000
Vedlikehald/service	Årleg kostnad 1.5% av opprinneleg investeringsbeløp..
Sum trygding bygg og anlegg per år	Bygg: 0.6 promille Maskiner og prosessutstyr: 2.5 promille. Sum kr 765 000

Ut frå desse føresetnadene kan me no estimere både totale kostnader per år, og dermed kostnaden per settefisk som vist i Tabell . I motsetnad til matfiskoppdrett der pris og kostnad vert gitt per kilo, vert settefisk omsett og prissett per fisk. Kostnaden per år og per fisk er basert på full produksjon og drift, det vil seie ein «likevektssituasjon» over tid. Som vist i figurane over vil bedrifta nå dette fyrst i år nummer to.

Tabell 5. Samla produksjonskostnad 500-grams settefisk. Per år og per fisk.

	Kostnad per år	**%**	**Kr/stk**
Rogn	kr 12 007 800	8 %	kr 2.0
Fôr	kr 42 039 037	27 %	kr 7.0
Vaksiner	kr 12 813 096	8 %	kr 2.1
Lønnskostnad	kr 9 613 501	6 %	kr 1.6
Energikostnad	kr 12 000 000	8 %	kr 2.0
Oksygen	kr 5 100 737	3 %	kr 0.9
Slambehandling	kr 3 363 123	2 %	kr 0.6
Andre variable kostnader	kr 1 476 442	1 %	kr 0.2
Forsikring biomasse	kr 2 460 343	2 %	kr 0.4
Rente på arbeidskapital	kr 4 559 103	3 %	kr 0.8
Sum variable kostnader	**kr 105 433 183**	**67 %**	**kr 17.6**
Leiing (løn)	kr 3 900 000	2 %	kr 0.7
Diverse kontorhald, administrasjon og rapportering	kr 1 000 000	1 %	kr 0.2
Forsikring bygg og anlegg	kr 765 000	0 %	kr 0.1
Vedlikehald/service	kr 7 438 500	5 %	kr 1.2
Avskrivingar og rentekostnad på investering/fast kapital	kr 38 394 706	24 %	kr 6.4
Sum faste kostnader	**kr 51 498 206**	**33 %**	**kr 8.6**
Sum produksjonskostnader	**kr 156 931 389**	**100 %**	**kr 26.2**

Når anlegget er kome i full drift, vil årlege produksjonskostnader utgjere ca 157 mill. kr. Av det er 67% variable og 33% faste. Det er viktig å vere merksam på at dette føreset at produksjonen skjer utan uhell av noko slag. Produksjonskostnad per settefisk vert kr. 26,2. Fôr er største kostnadsart med kr. 7,0 eller 27% av produksjonskostnaden. Deretter kjem rente og avskriving med kr. 6,4 (24%) og vaksiner, rogn og energi med kr. 2-2,1 (8%).

Til orientering gjev Tabell 6 kostnad per settefisk for 2016 utifrå Fiskeridirektoratet si lønsemdsundersøking. Det er viktig å peike på at det her er tale om smolt som truleg i gjennomsnitt er omlag 100 gram og oppover (snittstorleik per fisk vert ikkje oppgitt). Kostnaden er estimert til kr. 10,20 per stk. Ein noterer seg at netto rentekostnad er kr. 0,3 per settefisk. Som for matfiskanlegg er dette ein indikasjon på god soliditet og at kapitalkostnadene og dermed produksjonskostnadene er undervurderte.

Tabell 6. Fiskeridirektoratet si lønsemdsundersøking - Kostnader per settefisk

	2016	%
Rogn og yngelkostnad pr. stk	1.8	16 %
Fôrkostnad pr. Stk	1.8	17 %
Forsikringskostnad pr. stk	0.1	1 %
Vaksinasjonskostnad pr. stk	1.4	13 %
Lønnskostnad pr. Stk	1.9	17 %
Avskrivingar pr. Stk	1.1	10 %
Elektrisitetskostnad pr. stk	0.5	4 %
Annen driftskostnad pr. stk	2.0	19 %
Netto rentekostnad pr. stk	0.3	2 %
Produksjonskostnad pr.stk	10.9	100 %

2.3 Sensitivitetsanalyser – kostnad per 500-grams settefisk

Medan ein har mykje erfaring med settefiskoppdrett på land fram til 100-150 gram er det framleis få settefiskanlegg i ein så stor skala som dette, med RAS som produksjonsteknologi og med produksjon av så stor settefisk over tid. Det er difor uvisse rundt både biologiske og teknologiske variablar, samt drift og samhandling mellom desse faktorane. Oppdrett er elles ibuande risikabelt grunna samanhengen av biologiske prosessar med oppfôring, vekst og til tider tap av levande fisk. Som følgje av dette er det nyttig å gjere sensitivitetsanalysar rundt viktige variablar og føresetnader for å undersøke den økonomiske konsekvensen av ulike variasjonar. Sensitivitetsanalyser er gjennomført for fylgjande variablar og føresetnader, tilsvarande som for matfisk:

- Endring i investeringsbeløp (+/- 30%)
- Auke i realrente til 7% (frå 4%)
- Energi-, oksygen- og slambehandlingskostnad +/- 30%
- Fôrpris +/- 30%

I tillegg vert det gjort fylgjande sensitivitetsanalyser med fokus på kapasitetsutnyttng:

- Svinn på 1% og 2% per månad etter vaksinering (gjeld for 3.5 månader før utsett til sjø)
- Svinn på 10, 20 og 30% i sein produksjonssyklus
- Endring i årleg produksjon og kapasitetsutnytting (+/- 30%).

Resultata er presentert i Tabell 7 og Tabell.

Tabell 7. Produksjonskostnad per 500-grams settefisk. Sensitivitetsanalyse.

Scenario		**Redusert kostnad**	**Basis-tilfelle. Kr/stk**	**Større kostnad**
Sum investering +/- 30%	Per fisk	23.9	**26.2**	28.6
	Endring %	-9 %		9 %
Realrente 7%	Per fisk	-	**26.2**	28.5
	Endring %			9 %

Energikostnad +/- 30 %	Per fisk	25.6	**26.2**	26.9
	Endring %	-2 %		2 %
Oksygenkostnad +/- 30%	Per fisk	26.0	**26.2**	26.5
	Endring %	-1 %		1 %
Slambehandling +/- 30%	Per fisk	26.1	**26.2**	26.4
	Endring %	-1 %		1 %
Fôrpris +/- 30%	Per fisk	24.0	**26.2**	28.5
	Endring %	-9 %		9 %

Endring i investeringsbeløp (+/- 30%)
Ei endring i investeringskostnadene på +/- 30% medfører ei endring i produksjonskosnaden på +/- 9% (tabell 7). Ei endring i totale investeringar gjev utslag i årlege avskrivingar og rente (kapitalkostnad) samt trygdekostnad bygg og anlegg og årleg service- og vedlikehaldskostnad, ettersom denne vert estimert relativt til investeringssummen (sats 1.5%).

Auke i realrente til 7% (frå 4%)
Dersom ein legg til grunn ei realrente på 7% heller enn 4% aukar produksjonskostnad per kg med 9%. Renta påverkar både komponenten avskriving og rente, samt renter på arbeidskapitalen. Som ein ser er produksjonskostnaden relativt sensitiv for føresetnaden om rentenivå.

Endring i energi-, oksygen- og slambehandlingskostnad +/- 30%
Når det gjeld energi og oksygen vil ei 30% endring i den totale kostnaden per år kunne kome som følgje av både endring av forbruk og av pris. For energi vil ei slik endring medføre ei endring i produksjonskostnad på omlag 2%. Energikomponenten utgjer 8% av totale kostnader, om lag same del av totalen som både vaksiner og rogn er estimert å utgjere. Tilsvarande endringar i desse kostnadskomponentane vil dermed ha tilsvarande effekt. Når det gjeld oksygen og slam er desse komponentane ein mindre del av totalkostnaden, og ei 30% endring vil medføre ei effekt på totalkostnaden på berre ca. 1%.

Fôrpris +/- 30%
Utslaget på produksjonskostnaden ved ei 30% auke i prisen per kg fôr (frå kr 15 til kr 19,5) er berekna til ei endring på 9% i produksjonskostnaden, til kr 28,5 per stk. Ved ein tilsvarande reduksjon i prisen (til kr 10,5) vert produksjonskostnaden kr 24,0 per stk.

Endra kapasitetsutnytting – variasjon i vekst og svinn
Ved sensitivitetsanalyser for avvik frå forventa kapasitetsutnytting ser ein igjen på variasjonar i produksjonskvantum og svinn (tilsvarande som kap. 1). Medan ein for matfisk såg på avvik frå forventa vekst vert kapasitetsutnytting i dette tilfellet analysert ved å justere talet settefisk produsert, representert ved talet yngel til startfôr. Dette fordi kostnaden (og inntekta) for settefisk er på per stk-basis. Ved å gjere sensitivitetsanalyse for vekst i tilfellet med settefisk ville resultatet vise kostnaden per stk. for ein større/mindre settefisk, og ein vil til dømes kunne risikere å mistyde eit negativt vekstavvik som positivt, ettersom talet settefisk er det same, medan kostnaden per settefisk går ned som følgje av lågare direkte kostnader som fôr, lut, oksygen, slambehandling, forsikring og arbeidskapital.

Tabell 8. Sensitivitetsanalyser for endra kapasitetsutnytting – variasjon i vekst og svinn.

Scenario	Redusert kostnad	Basis-tilfelle. Kr/stk	Større kostnad

Svinn 1% per månad etter vaksinering (dobling frå 0.5%)	Per fisk Endring %	-	**26.2**	26.6 1 %
Svinn 2% per månad etter vaksinering (dobling frå 0.5%)	Per fisk Endring %	-	**26.2**	27.4 5 %
10% svinn i sein syklus	Per fisk Endring %	-	**26.2**	28.5 8 %
20% svinn i sein syklus	Per fisk Endring %	-	**26.2**	31.4 20 %
30% svinn i sein syklus	Per fisk Endring %	-	**26.2**	35.1 34 %
10% +/- i årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	Per fisk Endring %	25.1 -4 %	**26.2**	27.7 5 %
20% +/- i årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	Per fisk Endring %	24.1 -8 %	**26.2**	29.4 12 %
30% +/- i årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	Per fisk Endring %	23.3 -11 %	**26.2**	31.7 21 %

Svinn 1% per månad etter vaksinering

Basis-scenario for produksjon og produksjonskostnader per kg tek utgangspunkt i stort svinn og utsortering tidleg i syklusen, til og med månad fem (startvekt 50 g), der fisken også vert vaksinert. Deretter er utgangspunktet eit månadleg svinn på 0.5% i tre og ein halv månad før leveringstidspunktet til sjø.

Dette scenarioet ser på ei auka svinnrate frå 0.5% til 1% i dei 3.5 månadane etter vaksineringmånaden og fram til utsett. Utslaget på produksjonskostnaden er ei auke på 1% til kr 26,6/stk. Svinnet i tal settefisk aukar til 29% (frå egg til utsett), opp frå 27% i utgangspunktet. Totalt totalt svinn vert 25 tonn per generasjon, opp frå 16.3 tonn per generasjon i basis-scenario. Realisert produksjon vert ca 5 875 927 settefisk per år, samanlikna med ca 5 980 395 settefisk i basis-scenario[27]. Det vert altså ikkje kompensert med fleire fisk til utsett her, og i tillegg til kostnadsauken per fisk har ein dermed eit inntekts-/margintap grunna lågare sal, som ikkje vert spegla i produksjonskostnaden. Økonomisk fôrfaktor er i dette scenarioet estimert til 0.93, opp frå 0.92 i basis-scenario.

Månadleg svinn (etter vaksinering)	**0,5% (basis)**	**1%**	**2%**
Produksjonskostnad per stk (kr)	26,2	26,6	27,4
Realisert produksjon (tal settefisk)	5 980 395	5 875 927	5 671 019
Svinn totalt	27%	29%	32%
Økonomisk fôrfaktor	0,92	0,93	0,94

Svinn 2% per månad etter vaksinering

Tilsvarande effekt ved eit svinn på 2% per månad vert ei auke i produksjonskostnaden på 5% til kr 27,4/stk. Svinnet i tal settefisk aukar til 32% (frå egg til utsett), med totalt svinn på 42 tonn per generasjon. Realisert produksjon vert ca. 5 671 019 stk. settefisk. Økonomisk fôrfaktor vert 0,94.

Svinn seint i produksjonssyklusen

[27] Dette inneber ein reduksjon på knapt 105,000 settefisk, eit potensielt inntektstap i storleiksorden 2,5-3,0 mill.kr. dersom prisen er i storleiksorden 25-27 kr. per smolt.

Dette scenarioet ser på effekten av eit større tap av talet settefisk. Utgangspunktet er at svinnet skjer i månad 7, der fiskane har ei startvekt på 165 g. Som nemnt tidlegare er analysen av produksjonskostnader over tid basert på «steady state», med jamn produksjon generasjon etter generasjon og år etter år. Når det vert lagt inn føresetnad om eit visst svinn gjeld dette ikkje berre for ei enkelthending – det gjentek seg likt for alle dei fire generasjonane ein produserar i laupet av året.

Tapsscenario (mnd. 7)	**Basis**	**10%**	**20%**	**30%**
Produksjonskostnad per stk (kr)	26,2	28,5	31,4	35,1
Realisert produksjon (tal settefisk)	5 980 395	5 409 402	4 808 358	4 207 313
Svinn totalt	27%	34%	42%	50%
Økonomisk fôrfaktor	0,92	0,96	1,01	1,09

1) Svinn på 10% av talet settefisk

Effekta på produksjonskostnaden per fisk i dette tilfellet vert ei auke på 8% til kr kr 28.5 per settefisk. Den realiserte produksjonen vert ca. 5 409 402 settefisk per år. Altså er det ikkje kompensert for tapet ved å auke talet fisk utsett over tid, slik at ein dermed får ei redusert kapasitetsutnytting i anlegget og eit inntektstap grunna lågare sal. Svinn vert i alt 34% av talet egg, som utgjer 47 tonn per generasjon eller 189 tonn per år, medan økonomisk fôrfaktor aukar til 0,96 (frå 0.92 i basis-scenario).

2) Svinn på 20% av talet settefisk

Produksjonskostnaden aukar med 20% til kr 31,4 per settefisk. Den realiserte produksjonen vert ca. 4 808 358 settefisk per år[28]. Svinn vert i alt 42% av talet egg, som utgjer 80 tonn per generasjon eller 319 tonn per år, medan økonomisk fôrfaktor aukar til 1.01

3) Svinn på 30% av talet settefisk

Produksjonskostnaden aukar med 34% til kr 35,1 per settefisk. Den realiserte produksjonen vert ca. 4 207 313 settefisk per år. Svinn vert i alt 50% av talet egg, som utgjer 112 tonn per generasjon eller 449 tonn per år, medan økonomisk fôrfaktor aukar til 1.09

Som ein igjen ser i tabellen har desse scenarioa den største effekta på produksjonskostnaden. Tapet av ein betydeleg del av talet fisk gjer at det vert færre individ å fordele dei faste kostnadane på. I tillegg må dette reduserte talet av overlevande fisk bere dei variable kostnadene som gjekk med til å produsere den omkomne fisken (fôr, oksygen, vaksiner, osv.) fram til svinnet inntraff. Vidare vil som sagt konsekvensar kunne ramme påvekstfasen i sjø, dersom den aktuelle bedrifta ikkje er i stand til å erstatte planlagde leveransar av settefisk.

Endring i årleg produksjon og kapasitetsutnytting (+/- 30%)

Dette scenarioet ser på effekten av ein lågare/høgare utnyttingsgrad i anlegget, der talet fisk til innsett og uttak er redusert/auka med ein viss prosent. Føresetnader om overleving og vekstkurve er som planlagt, men ein må til dømes basere seg på ein lågare (eller alternativt greier å fungere med ein høgare) fisketettleik enn tiltenkt for å oppnå tilstrekkeleg vekst/fiskehelse/vasskvalitet. Svinn i prosent og fôrfaktor er uendra.

Lågare utnyttingsgrad	**Basis**	**10%**	**20%**	**30%**
Produksjonskostnad per stk (kr)	26,2	27,7	29,4	31,7
Realisert produksjon (tal settefisk)	5 980 395	5 382 355	4 784 316	4 186 276

[28] Dette inneber ein reduksjon på knapt 1,2 mill settefisk, eit potensielt inntektstap i storleiksorden 31-32 mill.kr. med pris på 25-27 kr per smolt.

1) Lågare utnyttingsgrad - reduksjon på 10% i tal individ til innsett og uttak:
Utslaget på kostnaden per settefisk er estimert til ei auke på 5% til kr kr 27.7 per fisk som følgje av ein reduksjon i utnyttingsgrad på 10%. Realisert produksjon per år vert ca 5 382 355 settefisk.

2) Lågare utnyttingsgrad - reduksjon på 20% i tal individ til innsett og uttak:
Ved ein reduksjon i utnyttingsgrad på 10% vert kostnaden per settefisk auka med 12% til kr kr 29.4 per fisk. Realisert produksjon per år vert 4 784 316 settefisk.

3) Lågare utnyttingsgrad - reduksjon på 30% i tal individ til innsett og uttak:
Ein 30% reduksjon i utnyttingsgraden gjev kostnadsauke på 21% til kr 31.7 per settefisk. Produksjon vert 4 186 276 settefisk.

Høgare utnyttingsgrad	**Basis**	**10%**	**20%**	**30%**
Produksjonskostnad per stk (kr)	26,2	25,1	24,1	23,3
Realisert produksjon (tal settefisk)	5 980 395	6 578 434	7 176 474	7 774 513

4) Høgare utnyttingsgrad - auke på 10% i tal individ til innsett og uttak:
Ved ei auke i utnyttingsgraden på 10% er verknaden estimert til ein reduksjon på 4% i kostnaden per settefisk til kr 25,1. Realisert produksjon vert ca 6 578 434 settefisk i året.

5) Høgare utnyttingsgrad - auke på 20% i tal individ til innsett og uttak:
Ved ei auke i utnyttingsgraden på 20% vert kostnaden per settefisk redusert med 8% til kr 24,1. Produksjon vert 7 176 474 settefisk.

6) Høgare utnyttingsgrad - auke på 30% i tal individ til innsett og uttak:
Ei 30% betring i utnyttingsgraden gjev kostnadsreduksjon på 11% til kr 23,3 per settefisk. Produksjon vert 7 774 513 settefisk.

Oppsummering av sensitivitetsanalyser
I dei fleste alternativa ein har sett på, ligg produksjonskostnaden per smolt i området kr. 23,9 – 25,6 ved ei endring i enkeltvariabler på 30%, dvs. +/- 9% rundt basisestimatet på kr. 26,20. Dette indikerer noko avgrensa sensitivitet til endringar i parameterverdiar enkeltvis. Dersom fleire variablar skulle slå ut samstundes i negativ retning, vil dette naturlegvis ha større konsekvensar for produksjonskostnaden. Meir sensitive er scenario for endra kapasitetsutnytting, og særleg ved større tap av fisk. Som i kapittel 1, er det slik at stor auke i svinn eller stor endring i kapasitetsutnytting vil ha større innverknad på produksjonskostnaden, og ein vil ha eit mindre kvantum å fordele faste og indirekte kostnader på. Desse utfalla vil i tillegg ha betydeleg effekt på inntekta.

På sett og vis kan tap og produksjonsavvik i settefiskanlegget i fyrste omgang framstå mindre dramatisk enn i matfiskproduksjon, særleg med omsyn til biomasse og med tanke på inntektstap. I den samanheng kan det vere høveleg å nemne potensielle vidare konsekvensar ved større, uventa tap i settefiskanlegg – nemleg produksjonsforstyrringar i den sjøbaserte påvekstdelen som eventuelt skulle ha motteke settefisken frå det aktuelle anlegget. Desse problemstillingane kjem ikkje fram gjennom sensitivitetsanalysene, men er ikkje dess mindre aktuelle av den grunn (sjå kapittel 2.5 «Teknologisk og biologisk risiko i RAS», samt Sintef teknisk rapport for refleksjonar om uvisse og risiko i landbasert oppdrett). Dette er eit viktige tema for vidare utgreiing.

3. 1 000-grams settefisk

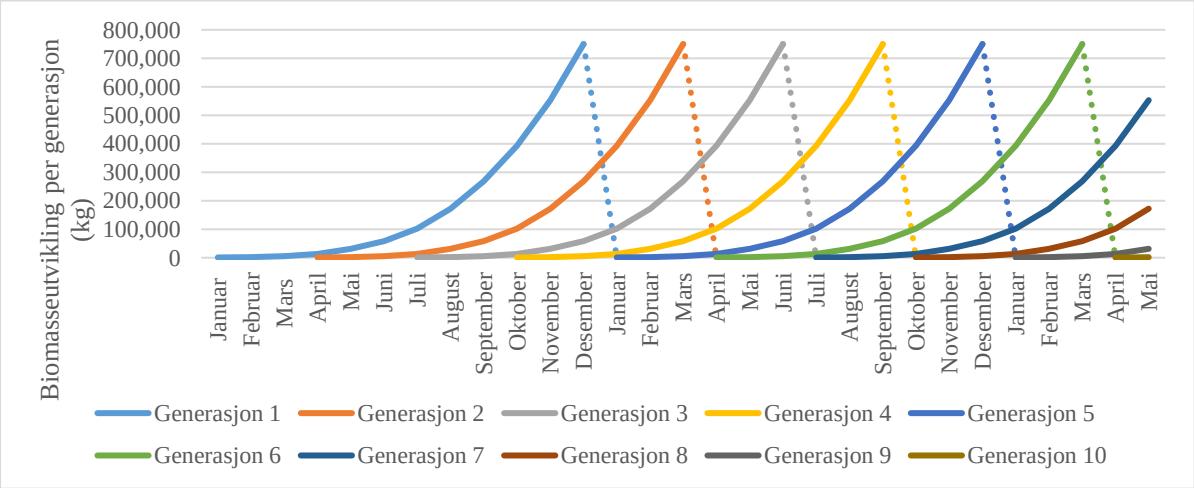
3.1 Produksjonsplan

Når det gjeld produksjonsplanen for 1 000-grams settefisk er føresetnadene i hovudsak som for 500-grams fisk – med unntak for tal egg per utsett og per år, samt tal fisk som leverast til sjø og storleiken ved utsett. Produksjonsplanen for 1 000-grams settefisk er presentert i Tabell 9.

Tabell 9. Føresetnader for produksjonsplan.

Produksjonsperiode	Klekkeri: 6-10 veker til 0,2 g. Startfôring og påvekst: Utsett 0.2-g yngel i månad 0 med levering av settefisk ca midt i månad 11, med ein storleik estimert til om lag 966 gram
Rogn per utsett	1 050,000 egg
Svinn (i stk fisk)	Klekkeri (frå egg til 0,2 g): 5% Tre fyrste månader på startfôr: 5% per månad Vidare 1% månadleg fram til vaksinering I vaksineringsmånaden 5% svinn Vidare 0.5% dødelegheit per månad fram til levering i sjø. Over livssyklusen gjev dette eit totalt svinn på 28% (inkludert rognstadium), med mesteparten av tapet i tal fisk tapt i dei fyrste månadene.
Vaksinering	Vaksinering i månad 5, med startvekt 50 g.
Årleg produksjon	3,000 tonn
Levering	Fire leveransar per år, med ca 776 592 settefisk per levering, til saman ca. 3.106 millionar settefisk per år
Biologisk fôrfaktor (FCR)	FCR 0.9 (gjev økonomisk fôrfaktor 0.92)
Årleg fôrkvantum	2 815 tonn
Vekstfaktor (TGC) og vasstemperatur	TGC 2.7 (frå 92 gram) og vasstemperatur 12 grader.

Ut frå denne produksjonsplanen kan me skissere ei forenkla biomasseutvikling som vist i figur 3. Som figuren viser har dette tilfellet ei lengre produksjonstid per syklus, og kapitalbindinga i produksjonen er dermed også større enn ved 500-grams smolt. Ved oppstart må kostnadene for dei fire fyrste utsetta dekkjast inn utan inntekter frå produksjonen før i den tolvte månaden etter innsett av fyrste 0.2-grams yngel. Dette inneber at bedrifta treng stor driftskapital under oppstarten.



Figur 3. Biomasseutvikling per generasjon i anlegget over tid (kg) – fire utsett per år.

3.2 Produksjonskostnad – 1 000-grams settefisk

Investering

Som diskutert under del 2 Investering ovanfor er det estimert at investeringar og dimensjonering av 3 000-tonns anlegg for 1 000-grams settefisk vil vere svært likt som eit tilsvarande settefiskanlegg utforma for 500-grams settefisk. Investeringssummen vil jamvel kunne vere noko lågare ved produksjon av færre, men større fisk – opptil ein 10% skilnad. Som utgangspunkt for investeringar i dette tilfellet går me difor ut frå ein reduksjon i den totale investeringa på 5% samanlikna med 500-grams anlegget av same skala (med unntak av tomtekostnad, som er uendra).

Oversikt over investeringar er gjeve i Tabell 10. Totalinvesteringar er estimert til 471,5 mill kr., som er 24,4 mill. kr lågare enn i tilfellet med produksjon av 500 g smolt. Årlege rente- og avskrivingskostnader er estimert til 36,5 mill. kr.

Tabell 10. Investeringar i settefiskanlegg med 3.000 tonn kapasitet – 1 000-grams settefisk.

Investering	NOK[a]	Økonomisk levetid	Årleg rente- og avskrivningskost
Bygg, konstruksjon og prosjekt-relaterte kostnader	228 000 000	20	16 776 639
Akvakultur-utstyr (resirkulering, pumping, rør, filter, anna vassbehandling og elektrisk)	166 250 000	20	12 232 966
Fisketankar og utstyr	28 500 000	20	2 097 080
Ymse utstyr (automasjon og overvåking, sortering og handtering, vaksinasjon, reinhald, ensilasje, truck)	16 055 000	10	1 979 436
Klekkeri, slamhandtering, fôring	25 175 000	10	3 103 850
Tomt	7 500 000	-	300 000
Total investering	471 480 000		kr 36 489 971

[a] Komponentar og sum er redusert med 5% samanlikna med investeringane presentert for anlegget av tilsvarande skala for produksjon av 500-grams settefisk.

Variable og faste kostnader

For variable kostnader er ingen endringar gjort samanlikna med føresetnadene gitt tidlegare for produksjon av 500-grams settefisk. Alle skilnader i variable kostnader kjem dermed som følgje av endringane i produksjonsplanen. Når det gjeld faste kostnader er det heller ikkje gjort endringar i føresetnadene. Det er likevel skilnader i vedlikehald og forsikring som følgje av at investeringane er redusert med 5%. Med desse føresetnadene får me totale kostnader per år og kostnader per fisk som i tabell 11.

Tabell 11. Samla produksjonskostnad 1 000-grams settefisk. Per år og per fisk.

	Kostnad per år	%	Kr/stk
Rogn	kr 6 300 000	4 %	kr 2.0
Fôr	kr 42 226 343	30 %	kr 13.6
Vaksiner	kr 6 722 506	5 %	kr 2.2
Lønnskostnad	kr 9 613 501	7 %	kr 3.1
Energikostnad	kr 12 000 000	8 %	kr 3.9
Oksygen	kr 5 123 463	4 %	kr 1.6

Slambehandling	kr 3 378 107	2 %	kr 1.1
Andre variable kostnader	kr 1 478 565	1 %	kr 0.5
Forsikring biomasse	kr 2 171 062	2 %	kr 0.7
Rente på arbeidskapital	kr 4 068 500	3 %	kr 1.3
Sum variable kostnader	**kr 93 082 048**	**65 %**	**kr 30.0**
Leiing (løn)	kr 3 900 000	3 %	kr 1.3
Diverse kontorhald, administrasjon og rapportering	kr 1 000 000	1 %	kr 0.3
Forsikring bygg og anlegg	kr 726 750	1 %	kr 0.2
Vedlikehald/service	kr 7 072 200	5 %	kr 2.3
Avskrivingar og rentekostnad på investering/fast kapital	kr 36 489 971	26 %	kr 11.7
Sum faste kostnader	**kr 49 188 921**	**35 %**	**kr 15.8**
Totale produksjonskostnader	**kr 142 270 969**	**100 %**	**kr 45.8**

Som Tabell viser, vil årlege produksjonskostnader når anlegget er kome i full drift utgjere 142,3 mill. kr. Kostnadene fordelar seg med ca. 1/3 faste og 2/3 variable. Til samanlikning var årleg produksjonskostnad kr 156,9 mill. ved produksjon av 500-grams settefisk – ein differanse på nærare kr 15 mill. Av dette utgjer innkjøp av rogn og vaksiner ca 11.8 mill (ettersom talet fisk produsert er større (dobbelt) ved 500-grams settefisk). Skilnad i avskriving og renter som følgje av lågare investeringsbeløp i 1 000-grams anlegget utgjer ca kr 1.9 mill.

Produksjonskostnad per 1.000 g smolt utgjer kr. 45,8. Skilnaden i kostnad per fisk mellom 500-grams- og 1 000-grams settefisk er dermed kr 19,6 per stk.

3.3 Sensitivitetsanalyser – kostnad per 1 000-grams settefisk

På same måte som for 500-grams settefisk har ein undersøkt effektane på produksjonskostnaden ved endringar i føresetnader for 1 000-grams fisk. Resultata er vist i Tabell 118.

Tabell 118. Produksjonskostnad per 1 000-grams settefisk. Sensitivitetsanalyse.

Scenario		**Redusert kostnad**	**Basis-tilfelle. Kr/stk**	**Større kostnad**
Sum investering +/- 20%	Per fisk Endring %	43.0 -6 %	**45.8**	48.6 6 %
Realrente 7%	Per fisk Endring %	-	**45.8**	49.9 9 %
Energikostnad +/- 30 %	Per fisk Endring %	44.6 -3 %	**45.8**	47.0 3 %
Oksygenkostnad +/- 30%	Per fisk Endring %	45.3 -1 %	**45.8**	46.3 1 %
Slambehandling +/- 30%	Per fisk Endring %	45.5 -1 %	**45.8**	46.1 1 %
Fôrpris +/- 30%	Per fisk Endring %	41.5 -9 %	**45.8**	50.1 9 %

Endring i investeringsbeløp (+/- 30%)

Ei endring i investeringskostnadene på +/- 30% medfører ei endring i produksjonskosnaden på +/- 9% (tabell 7). Ei endring i totale investeringar gjev utslag i årlege avskrivingar og rente

(kapitalkostnad) samt trygdekostnad bygg og anlegg og årleg service- og vedlikehaldskostnad, ettersom denne vert estimert relativt til investeringssummen (sats 1.5%).

Auke i realrente til 7% (frå 4%)
Dersom ein legg til grunn ei realrente på 7% heller enn 4% aukar produksjonskostnad per kg med 9%. Renta påverkar både komponenten avskriving og rente, samt renter på arbeidskapitalen. Som ein ser er produksjonskostnaden relativt sensitiv for føresetnaden om rentenivå.

Endring i energi-, oksygen- og slambehandlingskostnad +/- 30%
Når det gjeld energi og oksygen vil ei 30% endring i den totale kostnaden per år kunne kome som følgje av både endring av forbruk og av pris. For energi vil ei slik endring medføre ei endring i produksjonskostnad på 3%. Oksygen og slam utgjer ein mindre delar av totalkostnaden per fisk, og ei 30% endring enkeltvis i kvar av desse vil medføre ei effekt på totalkostnaden på ca. 1%.

Fôrpris +/- 30%
Utslaget på produksjonskostnaden ved ei 30% auke i prisen per kg fôr (frå kr 15 til kr 19,5) er berekna til ei endring på 9% i produksjonskostnaden, til kr 50,1 per stk. Ved ein tilsvarande reduksjon i prisen (til kr 10,5) vert produksjonskostnaden kr 41,5 per stk.

Deretter ser me på sensitivitetsanalysar for endra kapasitetsutnytting i form av varisjon i vekst og svinn.

Tabell 13. Sensitivitetsanalyser for endra kapasitetsutnytting – variasjon i vekst og svinn.

Scenario		Redusert kostnad	Basis-tilfelle. Kr/stk	Større kostnad
Svinn 1% per månad etter vaksinering (dobling frå 0.5%)	Per fisk Endring %	-	**45.8**	46.8 2 %
Svinn 2% per månad etter vaksinering (dobling frå 0.5%)	Per fisk Endring %	-	**45.8**	48.9 7 %
10% svinn i sein syklus	Per fisk Endring %	-	**45.8**	49.2 7 %
20% svinn i sein syklus	Per fisk Endring %	-	**45.8**	53.7 17 %
30% svinn i sein syklus	Per fisk Endring %	-	**45.8**	59.4 30 %
10% +/- i årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	Per fisk Endring %	43.6 -5 %	**45.8**	48.4 6 %
20% +/- i årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	Per fisk Endring %	41.8 -9 %	**45.8**	51.7 13 %
30% +/- i årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	Per fisk Endring %	40.3 -12 %	**45.8**	56.0 22 %

Svinn 1% per månad etter vaksinering
Som følgje av ei auke i månadleg svinn frå 0.5% til 1% over dei siste 5.5 mnd. før utsett vert effekten ein 2% auke i kostnaden per 1 000-g settefisk til kr 46.8. Realisert produksjon vert

redusert til ca. 3 021 509 settefisk per år, med årleg svinn ca 105,1 tonn og økonomisk fôrfaktor 0.93. Svinn totalt i stk. fisk frå egg til levering vert 30% per generasjon. Som i døma ovanfor vert det i tilfella som vert vurdert her ogso tale om eit inntektstap som kan verte monaleg.

Månadleg svinn (etter vaksinering)	**0,5% (basis)**	**1%**	**2%**
Produksjonskostnad per stk (kr)	45,8	46,8	48,9
Realisert produksjon (tal settefisk)	3 106 369	3 021 509	2 857 527
Svinn totalt	28%	30%	35%
Økonomisk fôrfaktor	0,92	0,93	0,95

Svinn 2% per månad etter vaksinering
Tilsvarande effekt ved eit svinn på 2% per månad vert ei auke i produksjonskostnaden på 7% til kr 48.9 /stk. Svinnet i tal settefisk aukar til 35% (frå egg til utsett), med totalt svinn på 189 tonn per år. Realisert produksjon vert ca. 2 857 527 stk. settefisk. Økonomisk fôrfaktor vert 0,95.

Svinn midt/seint i produksjonssyklusen
Eit betydeleg svinn av stor fisk har det største utslaget på produksjon og kostnader per fisk. Utgangspunktet er som før at svinnet skjer i månad sju, der fiskane har ei startvekt på 165 g (som i 500-g analysen tidlegare).

Tapsscenario (mnd. 7)	**Basis**	**10%**	**20%**	**30%**
Produksjonskostnad per stk (kr)	45,8	49,2	53,7	59,4
Realisert produksjon (tal settefisk)	3 106 369	2 809 781	2 497 583	2 185 386
Svinn totalt	28%	35%	43%	51%
Økonomisk fôrfaktor	0,92	0,94	0,97	1,0

1) Svinn på 10% av talet settefisk

Verknaden av eit svinn på 10% av talet settefisk i månad sju vert ei auke på 7% i kostnaden per settefisk til kr 49,2. Realisert produksjon vert då ca. 2 809 781 settefisk per år, med totalt svinn om lag 123 tonn per år, 35% av talet settefisk frå egg til utsett. Økonomisk fôrfaktor vert 0.94.

2) Svinn på 20% av talet settefisk

Produksjonskostnaden aukar med 17% til kr 53,7 per settefisk. Den realiserte produksjonen vert ca. 2 497 583 settefisk per år. Svinn vert i alt 43% av talet egg, som utgjer 189 tonn per år, medan økonomisk fôrfaktor aukar til 0,97.

3) Svinn på 30% av talet settefisk

Produksjonskostnaden aukar med 30% til kr 59,4 per settefisk. Den realiserte produksjonen vert ca. 2 185 386 settefisk per år. Svinn vert i alt 51% av talet egg, som utgjer 255 tonn per år, medan økonomisk fôrfaktor aukar til 1.0

Endring i årleg produksjon og kapasitetsutnytting (+/- 30%)
Tilsvarande som for 500-gram ser dette scenarioet på effekten av ein lågare/høgare utnyttingsgrad i anlegget, der talet yngel til innsett vert redusert/auka med ein viss prosent.

Lågare utnyttingsgrad	**Basis**	**10%**	**20%**	**30%**
Produksjonskostnad per stk (kr)	45,8	48,4	51,7	56
Realisert produksjon (tal settefisk)	3 106 369	2 795 733	2 485 096	2 174 459

1) Lågare utnyttingsgrad - reduksjon på 10% i tal individ til innsett og uttak:
Utslaget på kostnaden per settefisk er estimert til ei auke på 6% til kr 48,4 per fisk som følgje av ein reduksjon i utnyttingsgrad på 10%. Realisert produksjon per år vert ca. 2 795 733 settefisk.

2) Lågare utnyttingsgrad - reduksjon på 20% i tal individ til innsett og uttak:
Ved ein reduksjon i utnyttingsgrad på 10% vert kostnaden per settefisk auka med 13% til kr 51,7 per fisk. Realisert produksjon per år vert 2 485 096 settefisk.

3) Lågare utnyttingsgrad - reduksjon på 30% i tal individ til innsett og uttak:
Ein 30% reduksjon i utnyttingsgraden gjev kostnadsauke på 22% til kr 56 per settefisk. Produksjon vert 2 174 459 settefisk.

Høgare utnyttingsgrad	**Basis**	**10%**	**20%**	**30%**
Produksjonskostnad per stk (kr)	45,8	43,6	41,8	40,3
Realisert produksjon (tal settefisk)	3 106 369	3 417 006	3 727 643	4 038 280

4) Høgare utnyttingsgrad - auke på 10% i tal individ til innsett og uttak:
Ved ei auke i utnyttingsgraden på 10% er verknaden estimert til ein reduksjon på 5% i kostnaden per settefisk til kr 43,6. Realisert produksjon vert ca 3 417 006 settefisk i året.

5) Høgare utnyttingsgrad - auke på 20% i tal individ til innsett og uttak:
Ved ei auke i utnyttingsgraden på 20% vert kostnaden per settefisk redusert med 9% til kr 41,8. Produksjon vert 3 727 643 settefisk.

6) Høgare utnyttingsgrad - auke på 30% i tal individ til innsett og uttak:
Ei 30% betring i utnyttingsgraden gjev kostnadsreduksjon på 12% til kr 40,3 per settefisk. Produksjon vert 4 038 280 settefisk.

Oppsummering av sensitivitetsanalyser
I dei fleste tilfella utan avvik i kapasitetsutnytting varierer produksjonskostnaden mellom kr. 43,00 – 48,60, dvs. om lag +/- 6% rundt estimatet på kr 45,8. Det indikerer moderat sensitivitet til endringar i parametrar (ein må igjen understreke at ein her berre har sett på endring i ein parameter om gongen).

Sensitiviteten er elles større når ein ser på døma med betydelege produksjonsavvik, der utslaga er betydelege særleg ved svinn eller produksjonsreduksjon på 20% og oppover. I desse døma må faste kostnader dermed fordelast på mindre kvantum. Igjen er det slik at stor endring i svinn og utnyttingsgrad ikkje berre har større innverknad på produksjonskostnad, men i tillegg vil ha ei inntektseffekt via redusert kvantum.

4. Oppsummering – stor settefisk på land

I dette kapittelet er det gjennomført økonomisk analysar av produksjon av stor settefisk frå landbaserte anlegg. Analysen konsentrerer seg om produksjonskostnader i ein likevektssituasjon, men det er gjennomført ei rekkje sensititivetsanalysar for å finne ut kor robuste estimate er til endringar i viktige parametrar. Analysane av 500 og 1000 grams setjefisk er samanlikna med produksjon av «tradisjonell» settefisk på 100 g. Resultata frå landbasert settefiskoppdrett er utgangspunkt for vidare analyse av påvekst i sjø, der settefisken frå land vert ein innsatsfaktor i sjøbasert matfiskoppdrett (kapittel 3 og 4). Dette er neste tema.

KAPITTEL 3. ØKONOMISK ANALYSE AV PÅVEKST I OPNE MERDANLEGG

1. Innleiing

Dette kapittelet tek føre seg økonomisk analyse av stor settefisk i tradisjonelle, sjøbaserte påvekstanlegg, nemleg produksjonskostnader for slakteklar laks (ca 5 kg), med bruk av høvesvis 500-grams og 1000-grams settefisk frå landbaserte settefiskanlegg (sjå kapittel 2). Bruk av større settefisk vert sett på som ein måte å redusere produksjonsrisiko gjennom kortare sjøfase, noko som gjev lågare eksponering mot lakselus og sjukdomssmitte.

Kostnadsanalysen vert gjort med utgangspunkt i etablering av eit sjøbasert oppdrettsanlegg med 9 oppdrettsløyve, lik 7 020 tonn MTB. For dette anlegget utarbeidar ein investeringsanslag, produksjonsplan og kostnadsbudsjett for påvekst av settefisk på høvesvis 500 gram og 1,000 gram.

Ved utforming av ein produksjonsplan er det svært mange omsyn som går inn i analysen. Dette gjeld både bedrifts- og lokalitetsspesifikke tilhøve – som til dømes den enkelte bedrifta sine tilgjengelege løyve, lokalitetar og slaktekapasitet, samt lokale sesongvariasjonar i sjø, inkludert straum-, temperatur- og smitterisikoprofil over året.

Eit viktig mål for produksjonsplanen til den enkelte bedrifta er å utnytte produksjonskapasiteten maksimalt. Med ein laksemarknad der tilbodssida har vore knapp, lakseprisane høge og marginane gode har hovudfokus vore på å få størst mogeleg produksjon per løyve, gitt dei føresetnadene og avgrensingane den enkelte bedrifta står overfor. I den samanhengen kjem større settefisk gjerne inn i biletet i hovudsak i to samanhengar: å redusere tap i produksjonen (dvs. veksttap og svinn av stor fisk i sjø), samt i nokre tilfelle å skape større fleksibilitet dersom til dømes tilgjenge til lokalitetar eller koordinerte brakkleggingsperiodar utgjer ein avgrensande faktor for MTB-utnytting.

Gitt at avgrensande faktorar og produksjonstilhøve varierar for ulike oppdrettarar kan det vere krevjande å definere gode føresetnader og utgangspunkt for produksjonsplanlegging på generelt nivå. Det vil også vere fleire måtar å formulere ei slik analyse, alt etter om ein ynskjer å sjå på produksjons- eller profittmaksimering for èi enkelt bedrift under aktuelle føresetnader og avgrensingar – eller om ein vil vektlegge å sjå på konsekvensar av ulike produksjonsstrategiar for bruk av innsatsfaktorar og areal. Eit døme på dette er bruk av sjøareal (lokalitetar) og landareal. Ei produksjonsanalyse på bedriftsnivå kan definere løyvd MTB som ein avgrensande faktor, og «optimalisere» produksjonsstrategien gitt ein føresetnad om tilgjengeleg areal. Både omfanget av tilgjengeleg areal, samt lokalitetsspesifikke tilhøve (temperatur, lokalitets-MTB, straumtilhøve, smitteprofil, eventuelle tidspunkt for koordinerte brakkleggingar, osv.) vil i så fall variere frå bedrift til bedrift og vere av betyding for optimal strategi i det enkelte tilfelle. Samstundes kan ein alternativt stille spørsmål om bruk av sjøareal og landareal på eit meir generelt og mindre bedriftsspesifikt nivå, der ein til dømes snur om perspektivet frå å definere bedrifta sitt tilgjengelege areal til å undersøke *behov* for areal under ulike produksjonsstrategiar. Vidare kan ein analysere dette ut frå eit samfunnsøkonomisk perspektiv der føremålet vil vere å utnytte aktuelle ressursar på ein måte som gjev størst nettoverdiar for samfunnet.

Luseproblem representerer ei form for produksjonsrisiko og er ein viktig grunn for utvikling mot bruk av større settefisk. Dette vil verte gjort til gjenstand for særskild analyse i dette kapittelet.

2. Føresetnader for analysen

Denne analysen vil samanlikne produksjonsplanlegging i sjø med høvesvis 100-grams, 500-grams og 1 000-grams settefisk. Føresetnadene for analysen er som sagt ei bedrift med ni oppdrettsløyve, lik 7 020 tonn MTB. Det vert og fastsett bestemte månader for utsett av

settefisk. Utover dette vert det ikkje lagt vekt på å definere vidare bedriftsspesifikke eller lokale avgrensande faktorar for produksjonen. For eksempelbedrifta utarbeidar ein investeringsanslag, produksjonsplan og kostnadsbudsjett for påvekst av settefisk der det vert teke utgangspunkt i fire settefiskutsett per år, med gitte utsettmånader i januar, april, juli og oktober.

2.1 Produksjonsplan

Viktige føresetnader for produksjonsplanen er oppsummert i tabell 1. Estimering av vekst og vektutvikling er basert på temperaturprofilen ved Bud på Vestlandet, målt ved ei måledjupne på 5 meter.

Tabell 1: Føresetnader for analysen.

MTB Løyve	9 løyve på 780 tonn per stk, til saman 7 020 tonn MTB
Tal utsett per år	4 utsett, 775 000 settefisk per utsett
Månader for utsett	Januar, april, juli og oktober
Normalt svinn	0,75% per månad
Ekstra svinn ved lusebehandling	0,5 % i månader med lusebehandling
Vekstfaktor	Fyrste månad i sjø: TGC= 2,2 Deretter TGC = 2,7
Temperatur	Frå målestasjon Bud, 5 meter djup (Havforskingsinstituttet). Sjå vedlegg A1.

Produksjonsplanen tek utgangspunkt i eit mål om å produsere om lag to gongar MTB. Med 9 løyve og 7 020 tonn MTB selskapsnivå kan me dermed sette eit mål om å produsere om lag 14-15 000 tonn per år. Dersom svinnet i sjø er på 8% over ein syklus vil bedrifta måtte sette ut rundt 3,1 millionar settefisk i året for å nå dette målet gitt ein slaktestorleik på 5 kg. Med fire utsett per år vert talet settefisk per utsett dermed rundt 775 000 fisk[29].

Som tabell 1 viser er det teke føresetnad om utsett ved faste tidspunkt og intervall over året, medan uttaksmønsteret kjem som ein konsekvens av desse vala. Slaktekvantum vert på den måten bestemt ut frå stående biomasse og løyvd MTB. Ein vil til ei kvar tid halde ei stående biomasse mest mogeleg lik MTB, med kontinuerlig uttak av månadleg tilvekst – noko som vil verte skildra nærare i det følgjande under produksjonsplanar.

Når det gjeld føresetnaden om dei gitte årlege utsettstidspunkta er det viktig å merke at på grunn av både variasjonar i lengda på vekstsyklusen, temperatur og tilvekst gjennom året og smitteprofil/risiko i sjøen, vil det i praksis vere grunnlag for ei enkeltbedrift å justere både utsettstidspunkt, settefiskstorleik og tal fisk per utsett ut frå ulike omsyn – inkludert maksimal nettotilvekst, ønska uttaksmønster og uttakstidspunkt, samt eventuelle avgrensingar i forhold til slaktekapasitet og tilgjenge til settefisk.

Analysen vert gjennomført ulike alternativ for storleik på settefisk under same sett av føresetnader. Felles føresetnader for investeringar i sjøbaserte anlegg vert presentert i det følgjande, før ein ser på produksjonsplanlegging og tilhøyrande kostnader separat.

2.2 Investering i sjøbasert påvekstanlegg

[29] Modellen er formulert med eit gitt svinn per månad, der svinnet er gitt som ein prosentdel av talet fisk per lokalitet. Som følgje av dette vil ein tape fleire stk fisk i sjøfasen ved utsett av mindre settefisk, ettersom desse står lenger i sjø (medan større settefisk til samanlikning har hatt fleire månader med svinn i landfasen). Eit naturleg spørsmål som følgje av denne føresetnaden vert dermed om ein skal kompensere med å sette ut fleire fisk ved bruk av mindre settefisk, for å ta omsyn til at fleire fell bort før slakt. I dette dømet vert det sett ut like mange fisk i kvart alternativ, men det kan diskuterast om dette er den beste måten å samanlikne dei ulike alternativa på.

Investeringar i sjøbaserte påvekstanlegg er anslått som vist i tabell 2. Informasjonen er i hovudsak henta frå Akva Group og oppdrettarar. I tillegg er nokre estimat som tomt- og kaiområde, landstraum og kontorbygg henta frå medieoppslag og offentlege skriv om transaksjonar.

Ein del investeringar er per lokalitet, medan ein del er for selskapet som heilskap. Med føresetnader som over, er det venta at talet lokalitetar ein vil trenge ved bruk av høvesvis 100, 500 og 1000-grams settefisk vil variere. Tabellen viser difor berre sum per lokalitet, medan totalen vil variere mellom ulike scenario alt etter estimert behov for lokalitetar. Kvar lokalitet er i dette tilfellet utstyrt med 130-metringar med oppdrettsvolum på ca. 25 000 m^3 per merd. Kvar merd er forankra og utstyrt med notpose, belysning, noko sensorikk og fôrslange. Me let talet på merdar stå opent for å tillate variasjon i naudsynt oppdrettsvolum per lokalitet mellom ulike scenario slik dei er definert gjennom føresetnadene over. I tillegg har kvar lokalitet ein fôrflåte og ein liten arbeidsbåt. Selskapet har og ein stor arbeidsbåt, og ein reknar med at denne kan delast mellom lokalitetane og at den tidsplan fordelinga av krevjande operasjonar mellom anlegga vil tillate dette.

Elles har selskapet investeringar knytta til eit kontorbygg, tomt- og kaiområde og infrastruktur til straum. Den største investeringa er likevel dei ni produksjonsløyva. Som tabellen viser er desse høgt verdsett – her til prisen på vekst gjennom det nye produksjonsreguleringsregimet (kr 120 000 per tonn MTB).

Tabell 2. Investeringar i sjøbaserte påvekstanlegg.

Per lokalitet	Stk.	Pris	Levetid
Merdar, 130-metring (inkl. oppankring)	X	1 375 000	8
Notpose	X	300 000	3
Belysning, sensorikk, fôrslange	X	157 500	3
Fôrflåte	1	20 000 000	10
Arbeidsbåt – liten	1	450 000	10
Sum per lokalitet			
Sum alle lokalitetar i selskapet	*Y*		
Arbeidsbåt – stor	1	3 000 000	10
Kontorbygg	1	15 000 000	20
Total investering utstyr og produksjonsfasilitetar			
Tomt og kaiområde	1	20 000 000	-
Straum (landstraum)	1	20 000 000	-
Produksjonsløyve	9	93 600 000	-
Total tomt og infrastruktur			

2.3 Produksjonskostnader

Dei to neste tabellane gjev føresetnader for enkelte variable og faste kostnader. Desse føresetnadene er sams for all analysane.

Tabell 3. Føresetnader – variable kostnadar.

Kostnad per årsverk	Årsløn basert på SSB (2016) kategori 6221 akvakulturarbeidar, fulltid, privat sektor. Tal for 2015, justert til 2017-nivå (KPI 2015 = 100, januar 2017 = 104.2).
Pris på fôr	Kr 12 per kg

Straum	Kr 0.80 per kwh. (inkludert nettleige) Elektrisk kraft (sjø og adm.): 51 kwh per tonn fôr.
Diesel	Kr 10 per liter. Dieselforbruk sjøanlegg (utan brønnbåt): 21 liter per tonn fôr.
Service og vedlikehald	5% av investering i anleggsutstyr
Andre kostnader	
Medisin, laboratorium, veterinærtenester	Kr 2 500 000
Diverse kostnader	Kr 1 000 000
Trygding biomasse	2,5% av variable kostnader
Rente på arbeidskapital	4%

Tabell 4. Føresetnader – faste kostnader

Leiing	5 leiarar Lønnskost kr 975.000 per år, inkl. 30% sosiale kostnader
Sum trygding bygg og anlegg per år:	For bygg er trygdepremien 0.6 promille, og for maskiner og prosessutstyr 2.5 promille.
Rente	4% rente for all kapital

2.4 Lusekostnader

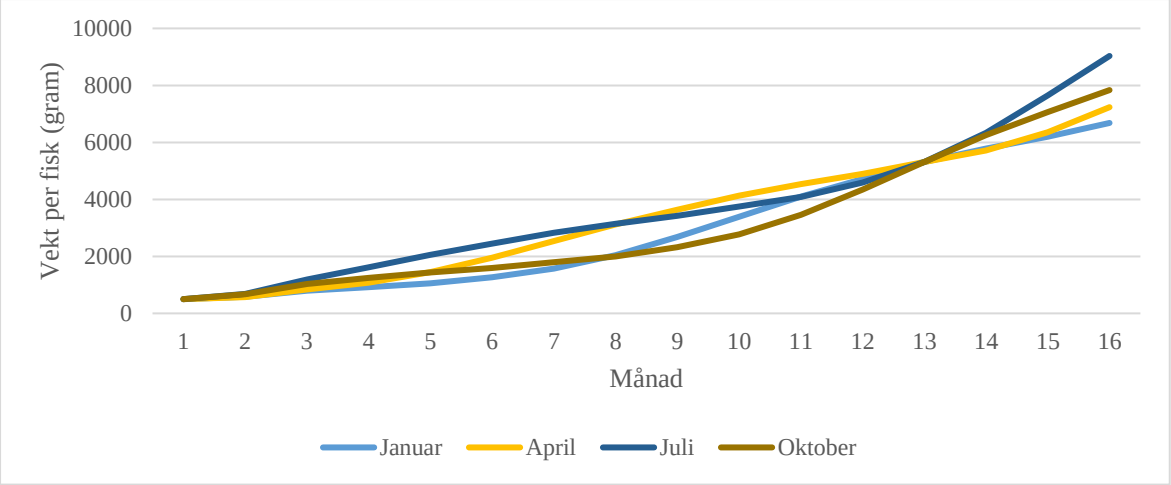
Produksjonsplanar og kostnadsanalyse vert fyrst presentert utan omsyn til avlusing. Føresetnader for og utslag i produksjonskostnader som følgje av ulikt behov for avlusing vert presentert i eigen seksjon til slutt. Ei utfordring er at «basisanalysene» potensielt kan innehalde kostnadsestimat som i realiteten inneber luserelaterte kostnader, som til dømes kan vere tilfellet med talet tilsette (henta frå Fiskeridirektoratet sin statistikk for 2016), og elles det noko høge utgangspunktet for svinn, som er sett til 0,75% av talet fisk per månad.

3. Påvekst av 500-grams settefisk

Me har no sett på investeringar i den aktuelle bedrifta og sentrale føresetnader for produksjonsplanen. Me går vidare og ser på påvekst av 500-grams settefisk.

3.1 Produksjonsplan

Produksjonsplanen ved utsett av 500-grams settefisk er tufta på føresetnader som gjeve i tabell 1. Dermed ser ein føre seg eit sjøbasert anlegg med 9 MTB-løyve, på til saman 7 020 tonn stående biomasse. Det er fire utsett per år, med 775 000 settefisk per utsett. Tida det tek for kvar generasjon å nå ei individvekt på 5 kg vil variere avhengig av utsett-tidspunkt og startvekt. Figur 1 viser den venta vektutviklinga ved utsett av 500-grams settefisk i høvesvis januar, april, juli og oktober.



Figur 1. Vekstkurver for 500 grams smolt.

Som figuren viser konvergerer vekstkurvene etter 12 månader i sjø (dvs. ved byrjinga av månad 13, då fisken, utan omsyn til utsettstidspunkt, har stått i sjøen alle årstider. I dette punktet har fisken nådd ein storleik på 5,3 kg. Det er viktig å merke seg at vekstformelen tek omsyn berre til temperatur, og ikkje smitterisiko, parasittar eller andre relevante veksttilhøve.

Kvart av dei fire utsetta treng dermed i underkant av 12 månader på lokaliteten for å nå ein estimert storleik på rundt 5 kg. Kvar sjølokalitet må deretter ligge brakk i minimum 2 månader, slik at ein må rekne med minimum 14 månader per generasjon ved ein lokalitet. For ein lokalitet som har utsett i januar i eitt år vil det dermed bli knapt å sette ut fisk i april neste år. Som utgangspunkt set me derfor utsett i januar fyrste år, juli andre år, januar tredje år, osv. Gitt ein slik utsettsplan med fire utsett à 775 000 settefisk, vil selskapet dermed trenge seks lokalitetar.

Tabell 4 viser uttsettsplan og vektutvikling for dei to fyrste åra. Selskapet vil etter planen nå full produksjon allereie i andre driftsåret.

Tabell 4. Utsettsprogram og vektutvikling (gram per fisk ved starten av månaden).

Månad	Lokalitet 1	Lokalitet 2	Lokalitet 3	Lokalitet 4	Lokalitet 5	Lokalitet 6
Januar	500					
Februar	581					
Mars	797					
April	924	500				
Mai	1056	571				
Juni	1267	838				
Juli	1576	1076	500			
August	2048	1446	682			
September	2684	1955	1193			
Oktober	3390	2532	1614	500		
November	4102	3122	2056	668		
Desember	4713	3633	2446	1027		
Januar	5307	4134	2834	1248	500	
Februar	5779	4535	3146	1431	581	
Mars	6197	4892	3427	1598	797	
April	6682	5307	3755	1798	924	500
Mai	7164	5721	4085	2001	1056	571

Juni		6356	4594	2321	1267	838
Juli	500	7236	5307	2778	1576	1076
August	682	8494	6336	3457	2048	1446
September	1193		7647	4345	2684	1955
Oktober	1614	500	9033	5307	3390	2532
November	2056	668	10378	6258	4102	3122
Desember	2446	1027		7062	4713	3633

Medan tabell 4 viser den etimerte utviklinga i fiskestorleik per lokalitet, viser tabell 5 utviklinga i talet fisk per lokalitet, under føresetnad av eit månadleg svinn på 0,75% av talet fisk per månad.

Tabell 5: Utsettsprogram og utvikling i tal fisk per lokalitet over tid (tal fisk ved starten av månaden gitt 0,75% månadleg svinn.

Månad	Lokalitet 1	Lokalitet 2	Lokalitet 3	Lokalitet 4	Lokalitet 5	Lokalitet 6
Januar	775000					
Februar	769188					
Mars	763419					
April	757693	775000				
Mai	752010	769188				
Juni	746370	763419				
Juli	740772	757693	775000			
August	735217	752010	769188			
September	729702	746370	763419			
Oktober	724230	740772	757693	775000		
November	718798	735217	752010	769188		
Desember	713407	729702	746370	763419		
Januar	708056	724230	740772	757693	775000	
Februar	702746	718798	735217	752010	769188	
Mars	697475	713407	729702	746370	763419	
April	692244	708056	724230	740772	757693	775000
Mai	687053	702746	718798	735217	752010	769188
Juni		697475	713407	729702	746370	763419
Juli	775000	692244	708056	724230	740772	757693
August	769188	687053	702746	718798	735217	752010
September	763419		697475	713407	729702	746370
Oktober	757693	775000	692244	708056	724230	740772
November	752010	769188	687053	702746	718798	735217
Desember	746370	763419		697475	713407	729702

Utviklinga i vekt per fisk og tal fisk per lokalitet gjev grunnlag for å estimere biomasseutvikling på lokalitets- og selskapsnivå, som er gjort i tabell 6. Dette vil gje grunnlag for å fastsetje ein slakteplan. Ettersom selskapet har ein MTB på 7 020 tonn stående biomasse, må slakteplanen utformast slik at den samla stående biomassen til ei kvar tid er innanfor denne grensa. Som tabell 6 viser vil dette innebere at selskapet må starte å slakte i oktober i år 1, for å unngå at MTB vert overskriden ved inngangen til november, ettersom biomassen då utan slakting ville vere meir enn 7 300 tonn (sjå november, siste kolonne).

Tabell 6. Estimert potensiell biomasse basert på tabell 1 og 2 – før slakt og MTB-tilpassing.

Månad	Lokalitet 1	Lokalitet 2	Lokalitet 3	Lokalitet 4	Lokalitet 5	Lokalitet 6	Potensiell biomasse (kg)
Januar	387 500	-	-	-	-	-	387 500
Februar	447 252	-	-	-	-	-	447 252
Mars	608 556	-	-	-	-	-	608 556
April	699 952	387 500	-	-	-	-	1 087 452
Mai	793 820	439 457	-	-	-	-	1 233 278
Juni	945 481	639 654	-	-	-	-	1 585 135
Juli	1 167 777	814 919	387 500	-	-	-	2 370 196
August	1 506 001	1 087 177	524 544	-	-	-	3 117 723
September	1 958 622	1 459 418	910 693	-	-	-	4 328 733
Oktober	2 455 263	1 875 636	1 223 086	387 500	-	-	5 941 486
November	2 948 627	2 295 310	1 546 310	513 543	-	-	7 303 791
Desember	3 362 180	2 651 202	1 825 812	784 227	-	-	8 623 421
Januar	3 757 427	2 994 209	2 099 003	945 635	387 500	-	10 183 774
Februar	4 061 009	3 259 780	2 313 225	1 076 218	447 252	-	11 157 483
Mars	4 322 318	3 489 739	2 500 478	1 192 987	608 556	-	12 114 078
April	4 625 579	3 757 427	2 719 622	1 331 695	699 952	387 500	13 521 774
Mai	4 922 312	4 020 504	2 936 523	1 471 411	793 820	439 457	14 584 027
Juni	-	4 432 898	3 277 646	1 693 653	945 481	639 654	10 989 332
Juli	387 500	5 008 815	3 757 427	2 012 247	1 167 777	814 919	13 148 684
August	524 544	5 835 595	4 452 470	2 484 633	1 506 001	1 087 177	15 890 421
September	910 693	-	5 333 707	3 099 520	1 958 622	1 459 418	12 761 961
Oktober	1 223 086	387 500	6 253 318	3 757 427	2 455 263	1 875 636	15 952 230
November	1 546 310	513 543	7 129 897	4 397 798	2 948 627	2 295 310	18 831 485
Desember	1 825 812	784 227	-	4 925 822	3 362 180	2 651 202	13 549 243

Slakting i oktober månad vert bestemt ut frå den potensielle biomassa per 1. november, som er estimert til 7 303,8 tonn dersom ingen fisk vert slakta ut. Dette er 283,8 tonn meir enn løyvd MTB på 7 020 tonn. Gitt ei individvekt per 1. november på 4,1 kg ved lokalitet 1 (der fisken er størst), må ein dermed ta ut om lag 69 200 fisk for å halde seg på MTB per 1. november (283,8 tonn/4,1 kg). Slakting vert deretter fastsett på tilsvarande vis for kvar månad, slik at biomassen ved starten av kvar månad er 7 020 tonn for selskapet som heilskap. Med slakt inkludert i modellen vert dermed utviklinga i biomasse som vist i tabell 7.

Tabell 7. Utvikling i biomasse per lokalitet og totalt over tid – tilpassa MTB på selskapsnivå.

Månad	Lokalitet 1	Lokalitet 2	Lokalitet 3	Lokalitet 4	Lokalitet 5	Lokalitet 6	Sum biomasse
Januar	387 500	-	-	-	-	-	387 500
Februar	447 252	-	-	-	-	-	447 252
Mars	608 556	-	-	-	-	-	608 556
April	699 952	387 500	-	-	-	-	1 087 452
Mai	793 820	439 457	-	-	-	-	1 233 278
Juni	945 481	639 654	-	-	-	-	1 585 135
Juli	1 167 777	814 919	387 500	-	-	-	2 370 196
August	1 506 001	1 087 177	524 544	-	-	-	3 117 723

September	1 958 622	1 459 418	910 693	-	-	-	4 328 733
Oktober	2 455 263	1 875 636	1 223 086	387 500	-	-	5 941 486
November	**2 664 836**	2 295 310	1 546 310	513 543	-	-	7 020 000
Desember	1 758 759	2 651 202	1 825 812	784 227	-	-	7 020 000
Januar	593 653	2 994 209	2 099 003	945 635	387 500	-	7 020 000
Februar	-	**3 183 305**	2 313 225	1 076 218	447 252	-	7 020 000
Mars	-	2 717 979	2 500 478	1 192 987	608 556	-	7 020 000
April	-	1 881 232	2 719 622	1 331 695	699 952	387 500	7 020 000
Mai	-	1 378 788	2 936 523	1 471 411	793 820	439 457	7 020 000
Juni	-	463 567	**3 277 646**	1 693 653	945 481	639 654	7 020 000
Juli	387 500	-	2 637 557	2 012 247	1 167 777	814 919	7 020 000
August	524 544	-	1 417 645	2 484 633	1 506 001	1 087 177	7 020 000
September	910 693	-	-	**2 691 267**	1 958 622	1 459 418	7 020 000
Oktober	1 223 086	387 500	-	1 078 514	2 455 263	1 875 636	7 020 000
November	1 546 310	513 543	-	-	**2 664 836**	2 295 310	7 020 000
Desember	1 825 812	784 227	-	-	1 758 759	2 651 202	7 020 000

Maksimal biomasse per lokalitet varierer frå 2 664,8 tonn (lokalitet ein) til 3 277,6 tonn (lokalitet tre), som vist i tabell 7. Planlagt uttak i tal fisk er som vist i tabell 8 (berre fisk som vil overleve til neste månad kan verte slakta i denne modellen).

Tabell 8. Uttaksprogram i tal fisk per lokalitet, gitt ei planlagt ståande biomasse på 7 020 tonn ved starten av kvar månad («steady state» frå og med år 2).

Månad	Lokalitet 1	Lokalitet 2	Lokalitet 3	Lokalitet 4	Lokalitet 5	Lokalitet 6
Januar - September						
Oktober	69181					
November	271561					
Desember	258516					
Januar	111030	16863				
Februar		141034				
Mars		196966				
April		110845				
Mai		166254				
Juni		72391	211030			
Juli			269548			
August			222073	93966		
September				411558		
Oktober				201713	69181	
November					271561	
Desember					258516	

Ved å gjere føresetnader om korleis uttaket fordeler seg gjennom månaden kan ein estimere slaktekvantumet målt i vekt. Dette er gjort i tabell 9 der ein tek som utgangspunkt at slaktevekta er lik snittvekta per fisk per månad ved kvar enkelt lokalitet[30].

[30] I månader med uttak frå fleire lokalitetar kan dette potensielt innebere at vekta i siste slaktemånad på kvar enkelt lokalitet vert overvurdert, ettersom ein truleg vil slakte ut denne fisken tidleg i denne månaden, før slakting tek til frå neste lokalitet i same månad.

Tabell 9. Slakta biomasse per lokalitet og totalt per månad – basert på månadleg snittvekt. Kg.

Månad	Lokalitet 1	Lokalitet 2	Lokalitet 3	Lokalitet 4	Lokalitet 5	Lokalitet 6	Slakt (snittvekt)
Januar	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
September	-	-	-	-	-	-	-
Oktober	259 162	-	-	-	-	-	259 162
November	1 196 908	-	-	-	-	-	1 196 908
Desember	1 295 103	-	-	-	-	-	1 295 103
Januar	615 409	73 096	-	-	-	-	688 505
Februar	-	664 743	-	-	-	-	664 743
Mars	-	1 004 362	-	-	-	-	1 004 362
April	-	611 188	-	-	-	-	611 188
Mai	-	1 003 904	-	-	-	-	1 003 904
Juni	-	491 941	1 044 709	-	-	-	1 536 650
Juli	-	-	1 569 103	-	-	-	1 569 103
August	-	-	1 552 619	366 531	-	-	1 919 151
September	-	-	-	1 986 043	-	-	1 986 043
Oktober	-	-	-	1 166 375	259 162	-	1 425 537
November	-	-	-	-	1 196 908	-	1 196 908
Desember	-	-	-	-	1 295 103	-	1 295 103

Ved å summere siste kolonne i tabell 9 for år 2 finn ein årleg produksjon, gitt føresetnadene over. For år 1 utgjer slaktekvantum 2 751,2 tonn. Ein når likevektsproduksjon i år 2 med slakta biomasse på 14 901,2 tonn per år, med ei snittvekt per fisk på 5,28 kg. Dette er oppsummert i tabell 10.

Tabell 10. Årleg likevektsproduksjon

Slakta biomasse per år	14 901,2 tonn
Snittvekt	5,28 kg
Tal fisk	2 824 528 (91,1% av utsett)
Produksjon per MTB	2,12 kg per kg MTB
Produksjon per lokalitet	2 483,5 tonn

3.2 Investeringar

Som produksjonsplanen viste vil ein her ta utgangspunkt i å nytte seks lokalitetar til påvekst av 500-grams fisk. Den maksimale biomassen ved ein enkelt lokalitet var anslått til 3 277,6 tonn. Med maksimal tettleik på 25 kg per m^3 vil det vere behov for oppdrettsvolum per lokalitet på rundt 131 100 m^3 som eit minimum. Gitt 130-metringar med volum per stk. på rundt 25 000 kubikk tek me utgangspunkt i seks merdar per lokalitet. Dette gjev samla investeringar som vist i tabell 11.

Tabell 11. Investeringar i sjøbasert anlegg (påvekst av 500-grams settefisk).

Per lokalitet	Stk	Pris	Sum	Levetid	Årleg avskr. og rente
Merdar, 130-metring (inkl. oppankring)	6	1 375 000	8 250 000	8	1 225 355
Notpose	6	300 000	1 800 000	3	648 627
Belysning, sensorikk, fôrslange	6	157500	945 000	3	340 529
Fôrflåte	1	20 000 000	20 000 000	10	2 465 819
Arbeidsbåt – liten	1	450 000	450 000	10	55 481
Sum per lokalitet			31 445 000		4 735 811
Sum alle lokalitetar i selskapet	6	31 445 000	188 670 000		28 414 867

Arbeidsbåt – stor	1	3 000 000	3 000 000	10	369 873
Kontorbygg	1	15 000 000	15 000 000	20	1 103 726
Total investering utstyr og produksjonsfasilitetar			206 670 000		29 888 466
Tomt og kaiområde	1	20 000 000	20 000 000	-	800 000
Straum (landstraum)	1	20 000 000	20 000 000	-	800 000
Produksjonsløyve	9	93 600 000	842 400 000	-	33 696 000
Total tomt, løyve og infrastruktur			882 400 000		35 296 000
Sum, heile selskapet			1 089 070 000		65 184 466
Investering per m3			1 210		72

Investeringar vert til saman kr 1,089 mrd., og av dette er 882,4 mill. utgjort av verdien av ni produksjonsløyve. Fire prosent rente er nytta for all oppbunden kapital. Avskrivingar på utstyr og produksjonsfasilitetar er utrekna som ein annuitet (likt årleg beløp). Med dette vert årleg avskriving og rente på 65,2 millionar.

3.3 Produksjonskostnader

Føresetnader for variable driftskostnader er gjeve i tabell 12, og under felles føresetnader for analysen i del 2.3. Ein reknar med 38 tilsette, basert på gjennomsnittleg tal årsverk per løyve i 2016 frå Fiskeridirektoratet. I tillegg reknar vi med 5 leiarar/administrativt tilsette[31]. Årleg lønskostnad inkludert sosiale kostnader er sett til kr. 641.000,00, det same som i landbasert matfisk.

Tabell 12. Føresetnader – variable kostnadar.

Tilsette i produksjon	4,2 tilsette per løyve: 9*4,2 = 38 tilsette (sjå vedlegg A3).
Pris på settefisk	Kr 27,4 per stk. (frå rapport II Landbasert settefisk)
Fôrbehov	15 443,9 tonn (sjå vedlegg A2).

På dette grunnlaget kan ein sette opp kostnader per år og per kg fisk (tabell 13). Totale kostnader utgjer 404 mill. kr. når anlegget er i likevektsproduksjon med høvesvis 83% og 17% variable og faste. Produksjonskostnaden er kr. 28,990 per kg rund fisk.

Tabell 13. Totale kostnader per år og per kg. 500-grams settefisk.

	Kostnad	**Per kg (levande)**	**Per kg (rund,WFE)**	**Prosent av tot.**
Settefisk	84 940 000	5.7	6.1	21 %
Fôr	185 326 963	12.4	13.3	46 %
Lønnskostnad	24 354 200	1.6	1.7	6 %
Energi (elektrisk kraft)	635 228	0.0	0.05	0 %
Diesel	3 316 769	0.2	0.2	1 %
Service/vedlikehald	10 333 500	0.7	0.7	3 %
Andre variable driftskostnader	3 500 000	0.2	0.3	1 %
Forsikring biomasse	7 810 167	0.5	0.6	2 %
Rente på arbeidskapital	13 007 478	0.9	0.9	3 %
Sum variable kostnader	333 224 304	22.4	23.9	83 %
Leiing	4 875 000	0.3	0.3	1 %
Forsikring bygg og anlegg	95 113	0.0	0.0	0 %

[31] Som i kapittel 1 vert dette rekna som ein fast kostnad til kr. 975,000 per årsverk.

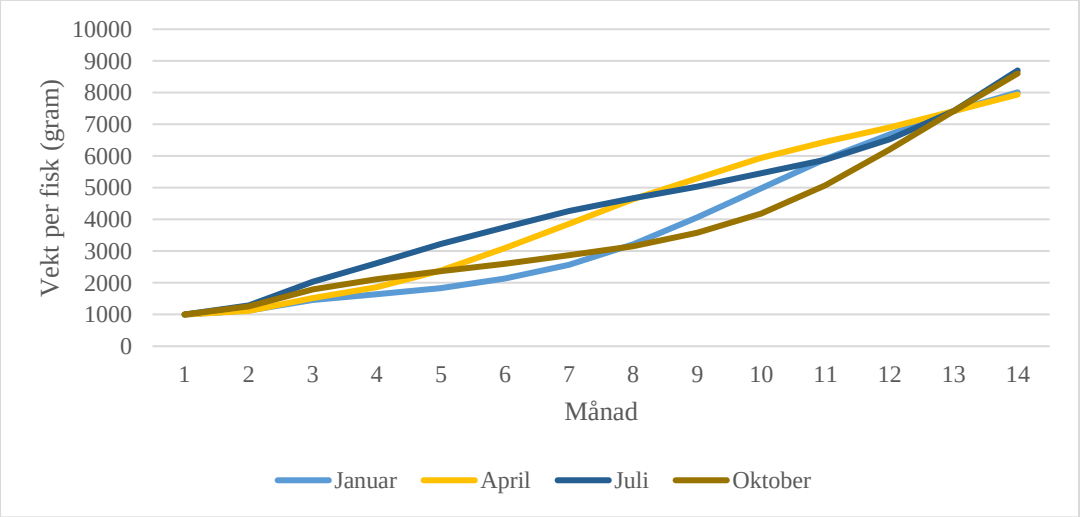
Avskrivning og rentekostnad på investering	65 184 466	4.4	4.7	16 %
Sum faste kostnader	70 154 579	4.7	5.0	17 %
Produksjonskostnader pr. kg	403 378 883	27.1	28.9	100 %

4. Påvekst av 1 000-grams settefisk

Me går no vidare og ser på utsett av 1000 g settefisk etter same metode som for 500 g settefisk.

4.1 Produksjonsplan

Figur 2 viser den forventa vektutviklinga ved utsett av 1 000-grams settefisk i høvesvis januar, april, juli og oktober. Alle fire utsettstidspunkt gje slakteklar fisk på under eitt år i sjøen. Ein ser og at etter 12 månader i sjøen – når fisken har vore eksponert for alle årstider uavhengig av utsettstidspunkt – konvergerer vektkurvene med ei fiskevekt på rundt 7,4 kg. Ettersom me tek utgangspunkt i ei slaktevekt på omlag 5 kg, vil ein difor setje i gong med slakting etter mindre enn eitt år i sjøen. Det vil dermed vere ein viss skilnad mellom dei ulike utsetta i kor stor fisken er blitt etter eit visst tal månader i sjøen. Ein ser til dømes at etter 10 månader i sjøen (dvs. i starten av månad 11 i figuren) vil januar-utsettet ha nådd ei vekt på 5,9 kg, april-utsettet 6,5 kg, juli-utsettet 5,9 kg og oktober-utsettet 5,1 kg (sjå og tabell X nedanfor).



Figur 2. Vekstkurver for 1000 g smolt.

Dei fire ulike utsetta treng frå åtte til 10 månader før fisken når 5 kg. I tillegg må kvar syklus avsluttast med ei brakklegging av lokaliteten etter utslakt før neste generasjon kan verte sett ut. Kvar generasjon vil dermed legge beslag på ein lokalitet i omlag eit år. For å kunne ha fire utsett per år vil ein dermed trenge 5 lokalitetar (ettersom lokalitet/utsett nummer ein i januar vil gje for lite tid til brakklegging til å sette ut fisk allereie i januar neste år). Med desse føresetnadene tek me som utgangspunkt at lokalitet 1 får utsett nr. 1 i januar fyrste året, neste år utsett nr 2 i april, deretter utsett nr 3 i juli, osv. Likeeins får lokalitet 2 utsett nr. 2 i april i år, utsett nr 3 i juli neste år, osv. Vidare analyse er gjennomført etter same metode som for 500 g (sjå vedlegg for detaljert gjennomgang[32]).

Likevektsproduksjon med årleg slakt på 15 807 tonn vert oppnådd frå og med år to, med månadleg slakt som varierar frå 580 tonn i april til 2 224 tonn i september. Snittvekta er 5,5 kg (tabell 14).

[32] Vedlegg med utdjupande informasjon om produksjonsplanane er tilgjengeleg frå forfattarane.

Tabell 14. Årleg produksjon

Slakta biomasse per år	15 807,1 tonn
Snittvekt	5,5 kg
Tal fisk	2 875 490 (92,8% av utsett)
Produksjon per MTB	2,25 kg per kg MTB
Produksjon per lokalitet	3 161,4 tonn

Likevektsproduksjonen ved utsett av 1 000-g smolt (15 807 tonn) er 905,8 tonn eller 6 % større enn ved produksjon tufta på 500-g smolt (14 901,2 tonn). Sjølv om utsetta er like ved dei to alternativa, slaktar ein fleire fisk med 1 000-grams smolt (2 875 490) enn ved 500-grams (2 824 528) grunna mindre svinn fordi sjøfasen er kortare. Dette gjev 50 962 fleire slaktefisk med ei slaktevekt på vel 280,3 tonn. Resten av differansen består av at slaktevekta er større ved 1 000-grams smolt (sjå tabell).

Skilnaden er eit resultat av føresetnader som er lagt til grunn for analysen. I begge tilfelle står biomassebeholdninga på 7 020 tonn ved starten av kvar månad. Slaktekvantumet utgjer den nettotilveksten som ein er i stand til å ta ut kvar månad. I denne modellen vert det påverka av sesongmessig slakteprofil, temperaturprofilen og vekstformelen som er lagt til grunn, samt fordeling og utvikling i tal fisk gjennom året. Skilnader i kvantum mellom ulike settefisk-scenario kjem truleg i hovudsak av at *talet fisk til utsett er sett likt* i alle døme, medan talet månader med svinn er ulikt. Dermed vert talet fisk ved slakt ulikt. I tillegg er *tidspunkta for utsett sett likt* i alle døme, noko som ved ulik settefiskstorleik og vekstperiode gjer at den temperatur- og sesongmessige eksponeringa, og derigjennom tilvekstprofilen, vert ulik for ulike scenario i analysen.

4.2 Investeringar

Medan seks lokalitetar var utgangspunktet for 500-grams settefisk, baserer produksjonsplanen med 1 000-grams settefisk seg på fem lokalitetar. Den maksimale biomassen ved ein enkelt lokalitet er anslått til 3 673,8 tonn. Med maksimal tettleik på 25 kg per m^3 vil det vere behov for oppdrettsvolum per lokalitet på rundt 147 000 m^3 som eit minimum. Gitt 130-metringar med volum per stk. på rundt 25 000 kubikk kan ein dermed framleis ta utgangspunkt i seks merdar per lokalitet, sjølv om det kan hende ein oppdrettar vil velje å leggje opp til lågare tettleik av omsyn til fisken (opne merdar i sjø gjev rimeleg oppdrettsvolum og utslaget på totalinvestering og kapitalkostnader er lite, så ein vil truleg ikkje «spare» på dette området så lenge det kan vere biologisk vinst å hente ved lågare tettleik). Dette gjev samla investeringar på 882,4 mill. kr. (sjå vedlegg). Årlege avskrivingar og rente er estimert til kr. 60 448 655, samanlikna med 62 469 449 i tilfellet med 500-grams settefisk.

4.3 Produksjonskostnader

For produksjonskostnader ved påvekst av 1 000-grams settefisk vert dei same føresetnadene lagt til grunn som ved utsett av 500-grams settefisk. Ettersom investeringar, storleik på smolt, tilvekst og produsert kvantum vil vere noko forskjellig, vil kostnadene likevel vere noko ulike. Tabell 15 gjev ein del føresetnader for variable kostnader.

Tabell 15. Føresetnader – variable kostnadar.

Tilsette i produksjon	4,2 tilsette per løyve: 9*4,2 = 38 tilsette (sjå statistikk i vedlegg).
Pris på settefisk	Kr 48 per stk (frå rapport II Landbasert settefisk)
Fôrbehov	14 732,9 tonn

Med desse føresetnadene, vert kostnaden per år i likevektsproduksjon og per kilo estimert som i tabell 16. Årlege kostnader utgjer vel 456 mill. kr., av det 86% variable og 14 faste. Produksjonskostnad per kg rund fisk er kr. 30,80.

Tabell 16. Totale kostnader per år og per kg. 1 000-grams settefisk

	Kostnad	Kostnad per kg (levande)	Kostnad per kg (rund,WFE)	Prosent av tot. kost.
Settefisk	148 800 000	9.4	10.0	33 %
Fôr	176 794 815	11.2	11.9	39 %
Lønnskostnad	24 354 200	1.5	1.6	5 %
Energi (elektrisk kraft)	605 983	0.04	0.04	0 %
Diesel	3 164 070	0.2	0.2	1 %
Service/vedlikehald	8 761 250	0.6	0.6	2 %
Andre variable driftskostnader	3 500 000	0.2	0.2	1 %
Forsikring biomasse	9 149 508	0.6	0.6	2 %
Rente på arbeidskapital	15 218 196	1.0	1.0	3 %
Sum variable kostnader	390 348 022	24.7	26.3	86 %
Leiing	4 875 000	0.3	0.3	1 %
Forsikring bygg og anlegg	450 063	0.03	0.03	0 %
Avskrivning og rentekostnad på investering	60 448 655	3.8	4.1	13 %
Sum faste kostnader	65 773 717	4.2	4.4	14 %
Produksjonskostnader pr. Kg	456 121 739	28.9	30.8	100 %

5. Påvekst av 100-grams settefisk

Som referanse og samanlikningsgrunnlag vil ein og presentere produksjonsplanen og investeringane for 100-grams settefisk under tilsvarande føresetnader som over.

5.1 Produksjonsplan

Med fire utsett i året som før, samt lengre vekstperiode, er det trong for åtte lokalitetar for å gjennomføre same produksjonsplan med 100-grams utsett. Meir informasjon om produksjonsplanene er gjeve i vedlegg. Årleg likevektsproduksjon vert 14 271 tonn med ei gjennomsnittleg slaktevekt på 5,32 kg, sjå tabell 17.

Tabell 17. Årleg likevektsproduksjon

Slakta biomasse per år	14 271,3 tonn
Snittvekt	5,32 kg
Tal fisk	2 683 890 (86,6% av utsett)
Produksjon per MTB	2,03 kg per kg MTB
Produksjon per lokalitet	1 783,9 tonn

5.2 Investeringar

Den maksimale biomassen ved ein enkelt lokalitet er anslått til 3 080 tonn. Med maksimal tettleik på 25 kg per m^3 vil det vere behov for oppdrettsvolum per lokalitet på rundt 123 200 m^3 som eit minimum. Gitt 130-metringar med volum per stk. på rundt 25 000 kubikk vil ein berre heilt knapt kunne ta utgangspunkt i fem merdar per lokalitet, så me let seks merdar stå som utgangspunkt her og. Investeringar og årlege kapitalkostnader vert dermed som vist i tabell

19. Sum investeringar utgjer 1 152 mill. kr., noko som gjev opphav til årlege renter og avskrivingar på 74,7 mill. kr. (sjå vedlegg).

5.3 Produksjonskostnader

Føresetnader når det gjeld produksjonskostnader er gjeve i tabell 18 og elles som innleiingsvis.

Tabell 18. Føresetnader – variable kostnadar.

Tilsette i produksjon	4,2 tilsette per løyve: 9*4,2 = 38 tilsette.
Pris på settefisk	Kr 12 per stk
Fôrbehov	16 117,4 tonn.

Med dette vert produksjonskostnader totalt per år og per kg som i tabell 19 (minner om slaktekvantumet som vart bestemt gjennom produksjonsplanen og som er lågare enn ved større settefisk grunna fleire månader med svinn og likt tal fisk til utsett). Samla produksjonskostnader per år vert 375 mill. kr., med høvesvis 79% og 21% variable og faste. Produksjonskostnad per kg rund fisk vert kr 28,00.

Tabell 19. Totale kostnader per år og per kg. 100-grams settefisk.

	Kostnad	**Kostnad per kg (levande)**	**Kostnad per kg (rund,WFE)**	**Prosent av tot. kost.**
Settefisk	37 200 000	2.6	2.8	10 %
Fôr	193 409 026	13.6	14.5	52 %
Lønnskostnad	24 354 200	1.7	1.8	6 %
Energi (elektrisk kraft)	662 930	0.0	0.05	0 %
Diesel	3 461 412	0.2	0.3	1 %
Service/vedlikehald	13 478 000	0.9	1.0	4 %
Andre variable driftskostnader	3 500 000	0.2	0.3	1 %
Forsikring biomasse	6 901 639	0.5	0.5	2 %
Rente på arbeidskapital	11 541 004	0.8	0.9	3 %
Sum variable kostnader	294 508 212	20.6	22.0	79 %
Leiing	4 875 000	0.3	0.4	1 %
Forsikring bygg og anlegg	682 900	0.0	0.05	0 %
Avskrivning og rentekostnad på investering	74 656 088	5.2	5.6	20 %
Sum faste kostnader	80 213 988	5.6	6.0	21 %
Produksjonskostnader pr. Kg	374 722 201	26.3	28.0	100 %

5.4 Oppsummering – påvekst av stor settefisk

Analysen av påvekst av 100, 500 og 1 000-grams settefisk i sjø viste at ein del av den høgare kostnaden per settefisk vert motverka av fôrkostnaden (redusert del av tilveksten skjer i sjø) samt redusert behov for investeringar grunna bruk av færre lokalitetar samanlikna med liten settefisk. Ein del resultat er oppsummert i tabell 20. Produksjonskostnaden for det tre ulike settefisk-alternativa var estimert til høvesvis 28 kr, 28,9 kr og 30,8 kr per kg rund vekt (WFE). Ein merknad når det gjeld produksjonskostnad per kilo er at smoltkostnaden og alle andre kostnader per kg er estimert med basis i slaktekvantum, utan å korrigere for inngangsvekta til settefisken (dvs. basis i *produsert* kvantum per fisk *i sjø*, som til dømes ville vere 4,9 kilo for

ein 5-kg slaktefisk med utsettsvekt på 100 gram – eller 4,0 kilo for ein 5-kg slaktefisk med utsettsvekt på 1 000 gram).

Tabell 20: Årleg likevektsproduksjon, påvekst av 100 stk 100-grams, 500-grams og 1 000-grams settefisk i opne merdar. Utan avlusing.

	100-grams settefisk	**500-grams settefisk**	**1 000-grams settefisk**
Produksjonskostnad per kg (rund, WFE)	28 kr	28,9 kr	30,8 kr
Slakta biomasse	14 271,3 tonn	14 901,2 tonn	15 807,1 tonn
Snittvekt (kg)	5,32	5,28	5,5
Tal fisk	2 683 890 (86,6%)	2 824 528 (91,1%)	2 875 490 (92,8%)
Produksjon (kg) per kg MTB	2,03	2,12	2,25
Produksjon (kg) per m^3	11,9	16,6	21,1
Tal på lokalitetar	8	6	5
Slakt per lokalitet	1 783,9 tonn	2 483,5 tonn	3 161,4 tonn
Svinn biomasse	690,9 tonn	688,7 tonn	686,5 tonn

Ein vidare interessant observasjon ved samanlikning av dei ulike produksjonsmodellane er bruken av areal og lokalitetar. Skilnaden i lengda på produksjonssyklusen gjer at stor settefisk kan gje høve til produksjon av ei viss mengde fisk med mindre beslag av areal/lokalitetar samanlikna med liten settefisk. Dette kjem fram i produksjonskvantum per lokalitet (tabell 20) som varierar frå 1 783,9 tonn ved 100-grams settefisk på åtte lokalitetar, samanlikna med 3 161,4 tonn per lokalitet over fem lokalitetar (her må ein eventuelt korrigere for storleiken ved utsett dersom fokus er på tilveksten som skjer ved lokaliteten). I dette dømet er utsettmønsteret identisk, med fire utsett per år i same fire utsettsmånader. Potensielt kan skilnaden vere endå større dersom ein til dømes har ekstra beskrankingar på utsettvindauge ved bruk av 100-grams settefisk – som kan vere tilfelle dersom utsettstemperatur hindrar utsett i vintermånadene (som føresett gjennomført her i januar).

Når det gjeld bruken av areal vil større produksjon per lokalitet i utgangspunktet vere ein føremon frå eit økonomisk perspektiv. Dette gjeld både bedriftsøkonomisk, med omsyn til investeringar, og for næringa, der større samla produksjon kan verte realisert på dei lokalitetene landet som heilskap har til rådvelde. Frå eit miljøperspektiv er skilnaden også interessant: på den eine sida vil brakklegging kunne skje med kortare mellomrom, noko som er fordelaktiv med tanke på smitte og reingjering av sjøbotnen. På den andre sida vil intensiv omlaupssnøggleik og auka produksjon per lokalitet innebere at mengda utslepp per lokalitet over tid kan verte større.

6. Biologisk risiko: Lus og behandlingar – konsekvensar for produksjonskvantum, kvalitet og nedklassing

Lus representerer ei form for biologisk risiko. Dette medfører ei rekkje kostnader grunna behandling, redusert vekst og auka svinn. Lusebehandling kan og medføre nedklassing av fisken. Det er omfanget av og tidspunkt for luseutbrot som vil avgjere kor store desse kostnadene er.

Produksjonskostnadene vil vere påverka m.a. av større svinn grunna lus. Nedklassing er derimot ein verknad på inntekts- heller enn kostsnadssida. Det er likevel fullt mogeleg å gjere estimat av desse konsekvensane. Dette inntektstapet er enklast å analysere på bedriftsnivå under føresetnad om ein bestemt laksepris. På industrinivå er inntektstapet litt meir

problematisk å talfeste, ettersom biomassetapet kan påverke samla inntekt i næringa gjennom ein høgare laksepris som fylgje av redusert tilbod i marknaden[33]. I tillegg vil lusebehandlingar kunne medføre at slaktevekta går ned. Dette inneber at ein god del fisk vil kome i lågare vektklasser som dermed vil gje lågare pris per kg og ein konsekvens på inntektssida.

Analysene ovanfor vart presentert utan spesielt omsyn til eller diskusjon av lusekosnader. «Andre variable driftskostnader» i analysane overfor inneheld kr. 2,5 mill. til helse- og veterinærtenester, noko som truleg ikkje inkluderer «ekstraordinære» utfordringar og behandling, men heller eit forsøk på å spegle ein «normal» driftssituasjon. Samstundes er tal som til dømes årsverk per løyve henta frå offisiell statistikk, og kan dermed likevel spegle av kostnader som er relatert til «ekstraordinære» utfordringar. Det månadlege svinnet på 0,75% som er sett som basis er heller ikkje ubetydeleg, og burde kanskje vere lågare enn dette ved den graden av luseproblem som ein vil ynskje å sjå som «normalt».

I dag er innsatsen som vert lagt ned for å førebygge og behandle lus svært store og medfører tilpassingar i alle deler av drifta (Iversen mfl., 2017). Tidlegare har lusekostnadene i stor grad blitt lest ut frå auken i «andre driftskostnader», men i dag er meir eller mindre alle kostnadspostar påverka av lusesituasjonen. Høge lusetal har i ein del tilfelle gitt utslakting på lågare vekt - gjennomsnittleg slaktevekt gjekk ned frå 4,6 kg i 2014 til under 4,3 kg i 2016 (Iversen mfl., 2017). På grunn av svinn relatert til behandling har snittvekta på død fisk auka. Saman med redusert produksjon, som gjev færre kilo å fordele kostnadene på, gjer dette at kostnadsbiletet vert påverka på mange måtar (Iversen mfl. 2017). Dette inkluderer mindre kvantum produsert som vil gje høgare kostnad per kg, kostnader til førebygging og behandling og lågare slaktevekt. Bruk av dyrare fôr kan og gje kostnadsauke.

I denne delen analysen vil ein forsøke å få inntrykk av omfang og kostnader av luserelaterte problem ved bruk av ulike produksjonsmodellar. Som utgangspunkt ser me på estimat på talet avlusningar per generasjon i dei ulike produksjonsmodellane. Dette talet vil nok variere geografisk og mellom lokalitetar, og det vil vere ulikt kva for verknad ulike aktørar ventar seg ved overgang frå til dømes 100-grams til 1 000-grams settefisk. Me har sett føresetnader i tabell 21 som eit utgangspunkt når det gjeld tidspunkt for avlusingane. For 100-g settefisk, reknar ein med høvesvis fem og ti avlusingar. Dette vert redusert til tre for 500-g og to for 1 000-g settefisk.

Tabell 21. Tal behandlingar og avlusingstidspunkt per syklus ved høvesvis 100-grams, 500-grams og 1 000-grams settefisk.

	100-g settefisk		500 g settefisk	1 000 g settefisk
Behandling	**10 avlusingar**	**5 avlusingar**	**3 avlusingar**	**2 avlusingar**
Nr. 1	Mnd. 9	Mnd 9	Mnd. 7	Mnd. 7
Nr. 2	Mnd. 10	Mnd 11	Mnd 9	Mnd 9
Nr. 3	Mnd. 11	Mnd 13	Mnd 11	
Nr. 4	Mnd. 12	Mnd 15		
Nr. 5	Mnd. 13	Mnd 16		
Nr. 6	Mnd. 14			
Nr. 7	Mnd. 15			
Nr. 8	Mnd. 16			
Nr. 9	Mnd. 17			
Nr. 10	Mnd. 18			

[33] Sjukdomsutbrot er ein parallell til dette: sjukdom kan medføre tap for enkeltoppdrettarar, men dersom dei er av stort omfang, kan redusert produksjonskvantum før til høgare pris. Sjå t.d. Aunsmo, A. (2008). *Health Related Losses in Sea Farmed Atlantic Salmon.* Norwegian School of Veterinary Science, Paper V.

I dei økonomiske analysane vil fylgjande føresetnader verte lagt til grunn når det gjeld ulike kostnader i samband med lusebehandling:

Tabell 22. Føresetnader om kostnader og tap per avlusing.

Tap av fisk per avlusing (%)	0,5% per behandling (ved behandlingstidspunkt)
Tap av vekst per avlusing (uttrykt i tid, vekt, fôrdøgn, etc.)	4,5 døgn per behandling (4-5 døgn).
Estimert kostnad per avlusing[a)]	Termisk: 0,30/kg Spyling: 0,23 kr/kg Ferskvatn: 1,11 kr/kg Badebehandling: 0,31 kr/kg Hydrogenperoksid (bad): 0,57 kr/kg Snitt: 0,5 kr/kg
Nedklassing av kvalitet per avlusing (%)	0,5 % per behandling.

a) Estimat henta frå Holan mfl. (2017): Nofima Rapport 10/2017. *Beste praksis for medikamentfrie metoder for lakseluskontroll*, samt Iversen mfl. (2017): Nofima Rapport 24/2017. *Kostnadsutvikling i lakseoppdrett.* Kostnad er rekna som sum av innkjøp, bruk av utstyr, kapitalkostnad og utført arbeid. Per kg ved behandling av 4 000-tonns lokalitet med relativt stor fisk.

6.1 Avlusing av 100-grams settefisk

Som vist ovanfor tek me utgangspunkt i fem avlusingar per generasjon for 100-grams settefisk. Den direkte kostnaden ved avlusing vert sett til kr 0,50 per kg. Dette er eit gjennomsnitt for dei ulike behandlingane som nemnt i tabell ovanfor. Kostnaden er tufta på avlusing av ein 4 000-tonns lokalitet med stor fisk, og me har her teke denne kostnaden per kg som utgangspunkt for behandling både av liten og stor fisk. (Andre alternativ vil verte vurdert nedanfor). Ved avlusingstidspunktet er det lagt til grunn at ein ekstra 0,5% av fisken dør, slik at svinnet i desse månadene vert 1,25% totalt. Grunna svolt og stress vert det teke utgangspunkt i at ein taper 4,5 døgn med fôring i kvar behandlingsmånad (vekstfaktoren er elles ikkje endra). Tidspunkt for avlusing vert sett til månad 9, 11, 13, 15 og 16 ved fem behandlingar, og månadleg frå månad ni til 19 ved 10 behandlingar (tabell 21).

Den estimerte verknaden av 4,5 tapte fôringsdøgn ved kvar av dei fem avlusingane er illustrert i tabell 23, med kvar av dei fire årlege utsettsmånadene i eigne kolonnar. Avlusingsmånadane er merka i raudt (startvekt i påfølgjande månad vert påverka). To av utsetta har planlagt slakt for månad 16, der den siste avlusinga skjer, medan dei to andre har slakt fyrst seinare.

Tabell 23. Samanlikning av estimert vektutvikling for 100-grams settefisk før og etter 5 avlusingar med 4,5 tapte fôringsdøgn per avlusing.

Mnd.	Januar		April		Juli		Oktober	
	Avlusing	Normal	Avlusing	Normal	Avlusing	Normal	Avlusing	Normal
1	100	100	100	100	100	100	100	100
2	129	129	125	125	167	167	161	161
3	213	213	231	231	391	391	314	314
4	268	268	336	336	600	600	417	417
5	327	327	514	514	836	836	507	507
6	426	426	781	781	1 055	1 055	592	592

7	581	581	1 104	1 104	1 279	1 279	696	696
8	832	832	1 451	1 451	1 465	1 465	806	806
9	1 192	1 192	1 762	1 762	1 635	1 635	984	984
10	1 544	1 613	2 027	2 075	1 807	1 837	1 205	1 247
11	1 974	2 054	2 278	2 330	2 011	2 044	1 602	1 653
12	2 294	2 444	2 468	2 560	2 283	2 368	2 061	2 208
13	2 665	2 831	2 733	2 831	2 736	2 831	2 657	2 831
14	2 921	3 144	2 959	3 106	3 304	3 518	3 172	3 465
15	3 188	3 424	3 372	3 531	4 167	4 416	3 689	4 013
16	3 454	3 753	3 863	4 132	4 955	5 388	4 118	4 547
17	3 719	4 083	4 573	5 007	5 726	6 349	4 459	4 974
18	4 197	4 591	5 636	6 134	6 485	7 161	4 811	5 353
19	4 869	5 303	6 774	7 336	7 217	7 941	5 222	5 793
20	5 843	6 332	7 888	8 509	7 795	8 557	5 632	6 232
21	7 087	7 643	8 824	9 493	8 304	9 099	6 260	6 903

Kostnaden per avlusing er estimert utfrå biomassen per avlusing, samt kostnaden per kg som gitt ovanfor. Avlusingsplan og estimert direkte behandlingskostnad over ein generasjon 100-grams settefisk er vist i tabell 24a) og b) for høvesvis fem og 10 behandlingar. I likevekt vert kostnaden per år i vårt døme tilsvarande fire generasjonar.

Tabell 24 a). Avlusingsplan og kostnad per avlusing. 100-grams settefisk, fem avlusingar per generasjon.

Behandling	Månad i sjø	Snittvekt (kg, månadsstart)	Tal fisk	Biomasse (kg)	Kostnad ved avlusing
Nr. 1	9	1.4	729 702	1 016 490	508 245
Nr. 2	11	2.0	715 177	1 406 376	703 188
Nr. 3	13	2.7	700 940	1 890 971	945 486
Nr. 4	15	3.6	686 987	2 475 711	1 237 856
Nr. 5	16	4.1	575 662	2 358 839	1 179 419
Sum per generasjon					4 574 193
Fire generasjonar per år					18 296 773

Tabell 24 b). Avlusingsplan og kostnad per avlusing. 100-grams settefisk, 10 avlusingar per generasjon.

Behandling	Månad i sjø	Snittvekt (kg, månadsstart)	Tal fisk	Biomasse (kg)	Kostnad ved avlusing
Nr. 1	9	1.4	729 702	1 016 490	508 245
Nr. 2	10	1.6	720 581	1 185 888	592 944
Nr. 3	11	1.9	711 574	1 363 976	681 988
Nr. 4	12	2.2	702 679	1 560 636	780 318
Nr. 5	13	2.6	693 896	1 783 587	891 794
Nr. 6	14	2.9	685 222	2 020 669	1 010 334
Nr. 7	15	3.4	676 657	2 280 939	1 140 469
Nr. 8	16	3.8	614 080	2 360 480	1 180 240
Nr. 9	17	4.3	472 812	2 054 477	1 027 238
Nr. 10	18	4.9	243 697	1 190 594	595 297
Sum per generasjon					8 408 868
Fire generasjonar per år					33 635 471

For å rekne ut samla verknad på produksjonskostnaden per kg fisk må ein estimere endringa i produksjonskvantum som følgje av svinn og veksttap. Ved å la talet settefisk og utsettplan vere som før, må ein ta stilling til om slakteplanen skal endrast som følgje av biomassetapet eller ikkje. Dersom slakt skjer på same tidspunkt som før, vil den stående biomassen verte lågare enn løyvd MTB (grunna behandlingsrelatert veksttap og svinn). Tabell 25 viser det estimerte resultatet høvesvis med uttaksmønster som før, og med tilpassing til MTB til samanlikning (dvs. stående biomasse lik MTB på 7 020 tonn ved inngangen til kvar månad, gitt at fisken på slutten av syklusen er antatt å halde fram med å vekse og overleve normalt i månader utan avlusing). I analysen vidare har ein vald å berre presentere tal for scenario med slaktetidspunkt som før, noko som verkar rimeleg ettersom redusert slaktevekt er nemnd som ein av konsekvensane av luseproblem.

Tabell 25. Produksjon ved ulike avlusingsscenario. 100-grams settefisk.

	Utan avlusing	5 avlusingar		10 avlusingar
		Slakt etter MTB	Uttak som før	Uttak som før
Produksjonskostnad per kg	28,0	30,7	31,3	33,8
Produksjon per lokalitet (kg)	1 783 914	1 665 488	1 595 113	1 518 224
Produksjon (kg per kg MTB)	2.03	1.90	1.82	1.73
Snittvekt per fisk (kg)	5.32	5.01	4.78	4.66
Tal fisk slakta per år (stk.)	2 683 890 (89,6%)	2 658 834 (85,8%)	2 666 988 (86,0%)	2 603 859 (84,0%)
Slakt per år (kg):	14 271 311	13 323 903	12 760 905	12 145 792
Svinn biomasse	690 888	886 970	845 000	1 011 999

Som tabellen viser vil det kunne vere ein viss skilnad i slakta kvantum avhengig av om ein kan la fisken stå lengre i sjø (i tabellen, sjå under fem avlusingar på slakt etter MTB samanlikna med uttak som før). For analysen vidare har ein teke utgangspunkt i uttakstidspunkt som før, dvs. med slakt av mindre fisk grunna veksttap og ei stående biomasse som vert lågare enn før. I denne situasjonen ved fem avlusingar vert produksjonskostnad per kg rund vekt kr 31,3, samanlikna med kr 28,0 i situasjonen utan lus. Ved 10 avlusingar vert totale produksjonskostnaden kr 33,8 per kg.

Eit anna resultat av analysen er at svinnet i tal fisk i nokså avgrensa grad er påverka av avlusingane under føresetnad om berre 0,5% ekstra svinn per avlusing (avlusingsmånadene har dermed svinn på 1,25% til saman). Dette ekstra svinnet gjev ikkje så stor auke i totalt tap samanlikna med «basisestimatet» som har 0,75% månadleg svinn, ingen avlusingsmånader og eit totalt tap på 10,4% over ein syklus. Med fem avlusingar og 100-grams fisk vert svinnet i tal fisk estimert til 14% med fem avlusingar og 16% ved 10 avlusingar. Svinnet målt i biomasse er estimert til 690,9 tonn utan avlusing, 845 tonn med fem avlusingar og 1 012 tonn ved 10 avlusingar.

6.2 Avlusing av 500-grams og 1 000-grams settefisk

Som skrive innleiingsvis vert det lagt til grunn at kortare sjøbasert produksjonssyklus vil medføre ein reduksjon i behandlingsbehov til tre avlusingar for 500-grams settefisk og to avlusingar ved 1 000-grams utsett. For både 500 grams- og 1 000-grams settefisk er veksttap, svinn og uttak tilpassa gjennom same prosess som for 100-grams settefisk ovanfor (sjå vedlegg for meir informasjon). Ein kjem då fram til avlusingsplanar som vist i tabell 26 og 27.

Direkte lusebehandlingskostnader vert på kr 13 mill. per år for 500-grams settefisk med tre behandlingar og kr 11,2 mill. med 1 000-grams settefisk og to behandlingar. Her er utfallet

sensitivt til føresetnader om avlusingstidspunkt og fiskestorleik ved avlusing (særleg ettersom ein tek utgangspunkt i behandlingskostnader per kg fisk til avlusing), noko som vil kunne gjere at analysemetoden påverkar kostnadssummen. Som tabellane viser er det i dette tilfellet slik at større fisk vert behandla i 1 000-grams eksempelet enn i 500-grams dømet.

Tabell 26. Avlusingsplan og kostnad per avlusing. 500-grams settefisk, tre avlusingar per generasjon.

Behandling	Vekt (ved månadsstart)	Antatt vekt	Tal fisk	Biomasse (kg)	Kostnad per avlusing
Nr. 1 - mnd. 7	1.6-2.8 kg	2.2	740 772	1 629 699	814 850
Nr. 2 - mnd 9	2.3-3.6 kg	3.0	726 026	2 141 778	1 070 889
Nr. 3 - mnd 11	3.3-4.5 kg	3.9	695 386	2 712 005	1 356 002
Sum per generasjon					3 241 741
Fire generasjonar per år					12 966 964

Tabell 27. Avlusingsplan og kostnad per avlusing. 1 000-grams settefisk, to avlusingar per generasjon.

Behandling	Vekt (ved månadsstart)	Antatt vekt	Tal fisk	Biomasse (kg)	Kostnad per avlusing
Nr. 1 - mnd. 7	2.6-4.3 kg	3.5	740 772	2 555 665	1 277 832
Nr. 2 - mnd 9	3.6-5.3 kg	4.5	682 306	3 036 260	1 518 130
Sum per generasjon					2 795 963
Fire generasjonar per år					11 183 850

I likevektsproduksjon vil kostnadene for 500-grams settefisk no utgjere kr 31,0 per kg, og for 1 000-grams settefiskkr. 32,4 per kg (tabell 28).

Tabell 28. Produksjonstal ved ulike avlusingsscenario. 500 og 1 000-grams settefisk.

	500-gram settefisk		1 000-gram settefisk	
	Utan avlusing	3 avlusingar	Utan avlusing	2 avlusingar
Produksjonskostnad per kg	28,9	31,0	30,8	32,4
Produksjon per lokalitet (kg)	2 483 533	2 320 711	3 161 414	3 031 807
Produksjon (kg per kg MTB)	2.1	2.0	2.25	2.16
Snittvekt per fisk (kg)	5.3	5.0	5.50	5.32
Tal fisk slakta per år (stk)	2 824 528	2 781 862	2 875 490	2 847 254
Slakt per år (kg):	14 901 199	13 924 267	15 807 069	15 159 036
Svinn biomasse	688 723	803 798	686 477	792 459

a) Minner til samanlikning om produksjonskostnaden ved 100-grams settefisk: kr 28,0 utan avlusing; kr 31,3 med fem behandlingar og kr 33,8 ved 10 behandlingar (frå tabell X).

Produksjonskostnaden per kg aukar med aukande smoltstorleik. Dette skuldast at smoltprisen er aukande, medan analysene også er påverka av snittvekta til fisken ved dei avlusingstidspunkta ein har lagt til grunn. .

6.3 Oppsummering og drøfting: Avlusing av 100-grams, 500-grams og 1 000-grams settefisk

Analysen av biologisk risiko i sjø har i desse avsnitta skissert kva luseproblem kan ha å seie for produksjonskostnadene. Ein del resultat frå analysen er oppsummert i tabell 29. Kostnadsauken ved lusebehandling varierer mellom kr 5,8 for 100-grams settefisk med 10

behandlingar og kr 1,60 per kg ved 1 000-grams settefisk og èi behandling. Variasjonen mellom døma skuldast både tal behandlingar og tidspunkt for avlusing. Av dette er mellom kr 0,8 og 3,0 utgjort av direkte behandlingskostnaden. For påvekst av 100-grams smolt er produksjonskostnaden for rund fisk estimert til kr 28,00/kg under det som ein føresette som «normale tilhøve». Ved fem lusebehandlingar aukar dette til kr 31,3, og ved 10 behandlingar til kr 33,8, gitt ein avlusingspris på 0,5 kr/kg behandla.

Som det framgår av tabellen utgjer differansen i kostnad per kg mellom døma med og utan lusebehandling ein god del meir enn den direkte behandlingskostnaden per kg – skilnaden er opptil dobbelt så stor som direkte behandlingskostnader. Årsaka til dette er produksjonstapet som skjer grunna veksttap og svinn, som gjer at det vert færre kilo å fordele kostnadene på. Produksjonstapet vil også medføre at ein realiserer ei lågare inntekt enn ein elles kunne gjort.

Tabell 29. Årleg likevektsproduksjon, påvekst av 100-grams, 500-grams og 1 000-grams settefisk i opne merdar. Med avlusing.

Vekt ved utsett	**100 gram**			**500 gram**	**1 000 gram**
	Ingen avlusing	5 avlusingar	10 avlusingar	3 avlusingar	2 avlusingar
Produksjonskost – u/avlusing	*Kr 28,0*			*Kr 28,9*	*Kr 30,8*
Produksjonskostnad - avlusing	-	Kr 31,3	Kr 33,8	Kr 30,7	Kr 32,4
Differanse (med/utan avlusing)	-	Kr 3,3	Kr 5,8	Kr 1,8	Kr 1,6
Direkte avlusingskostnad/kg	-	Kr 1,5	Kr 3,0	Kr 1,0	Kr 0,8
Slakta biomasse (tonn)[a)]	14 271,3	12 760,9	12 145,8	13 924,3	15 159,0
Snittvekt (kg)	5,32	4,78	4,66	5,01	5,32

a) Minner om at talet settefisk er likt i kvart scenario, medan talet månader med svinn er ulikt.

For 100-grams settefisk vert snittvekt per slakta fisk redusert frå 5,32 kg i «basis-scenario» utan lus til 4,78 kg med fem lusebehandlingar og 4,66 kg med 10 lusebehandlingar. Likevekt slakt vert redusert frå 14 271,3 tonn (inga behandling) til 12 145,8 tonn (10 lusebehandlingar), ein reduksjon på knapt 15%. Svinn i biomasse aukar frå 690,9 tonn (inga avlusing) til 1 012,2 tonn (10 avlusingar), ein auke på 55,5%. Produksjonskostnad aukar frå kr 28,0/kg til kr 30,7/kg (fem behandlingar) til kr 33,80 (10 behandlingar), ein auke på kr 5,0 eller 17,4% i tilfellet med 10 behandlingar. Totale produksjonskostnader per år aukar med omlag 10 mill kr.

Ved å sjå på produksjonskostnad og kvantum kan ein gjere ei enkel samanlikning av dei ulika alternativa. Ved 100-grams settefisk og 10 avlusingar er både 500-grams og 1 000-grams settefisk (med høvesvis tre og to behandlingar) estimert å kome fordelaktig ut – på produksjonskostnad per kg så vel som slakta kvantum[34]. 500-grams settefisk kjem fordelaktig ut både på slaktekvantum og produksjonskostnad per kg også ved fem avlusingar. Med 1 000-grams settefisk er produksjonskostnaden estimert å vere noko høgare enn 100-grams settefisk med fem behandlingar, medan slakta biomasse talar i motsett retning og er fordelaktig.

Ein merknad til analysen er at estimering og samanlikning av kostnadene ved avlusing er krevjande, ettersom modellen i seg sjølv ikkje kan estimere smitterisiko og lusepopulasjonsdynamikk. Ein tek til dømes ikkje stilling til om det er skilnad i sesong, biomassetettleik, tidsperiode sidan siste brakklegging eller anna som er av betydning for når behandlingsbehovet oppstår. Utan dette må ein gjere føresetnader på andre måtar om når og kor ofte avlusing skjer, slik som er gjort ovanfor. Eit problem med dette er at dei føresetnadene

[34] Minner i den samanheng igjen om føresetnadene om likt tal lsettefisk til utsett og månadleg svinn.

som ein på andre måtar legg til grunn om avlusingstidspunkt og fiskestorleik gjev utslag i kostnaden og i skilnaden mellom alternativa.

Skilnaden i føresetnader mellom 100-grams, 500-grams og 1 000-grams settefisk må dermed vere korrekt definert – ikkje berre i form av talet avlusingar ein sparar per generasjon, men og kva fiskestorleik som vil verte utsett for behandling i dei ulike alternativa. Dette er vanskeleg å slå fast, ettersom det er få som har erfaring med utsett av ulik settefiskstorleik over tid. I praksis vil det og vere ulike sesongmessige omsyn. Skilnaden i avlusingskostnader i denne analysen vert dermed estimert mest på basis av kva ein ventar seg frå ulike produksjonsscenario, der me har fått informasjon om at større settefisk vil kunne spare eit visst tal avlusingar per generasjon som følgje av kortare eksponeringstid og hyppigare brakklegging. Med tanke på vidare forsking kan ein dermed forestille seg at ein modell som i tillegg kunne ta omsyn til faktorar som lokale smittetilhøve, populasjonsdynamikk og dermed sesongmessig risikoprofil i sjø ville vere meir høveleg for å tilpasse produksjonsplanar i praksis, og til å anslå avlusingsbehovet ved ulike produksjonsplanar. Noko slikt ville elles vere svært interessant med tanke på å kaste lys over problemstillingar som næringa står overfor med omsyn til brakkleggingsintervall og bruk av lokalitetar.

I prinsippet kunne ein også i denne analysen variere føresetnader om talet på behandlingar og avlusingstidspunkt i større grad som ei utvida risikoanalyse, basert på same modell som presentert over. Dette vil likevel framleis ikkje ta omsyn til dei lokale tilhøva og avgrensingane som den enkelte oppdrettar i praksis vil stå overfor når det gjeld sesongmønster, lokalitetar og eventuelle bedriftsspesifikke tilhøve som i kan vere utslagsgjevande for optimal settefiskstrategi individuelt sett.

6.4 Inntektsvariablar, føresetnad om behandlingskostnad og andre omsyn

I denne delen vil ein sjå på to ting: Potensielt inntektstap på bedriftsnivå ved nedklassing og føresetnaden om behandlingskostnad per kg fisk til avlusing. Følgjande vert undersøkt (med utgangspunkt i 100-grams settefisk):

- Kvalitetsnedklassing på høvesvis 2,5% og 8% av kvantum ved fem lusebehandlingar
- Kvalitetsnedklassing på høvesvis 5% og 12% av kvantum ved 10 lusebehandlingar
- Behandlingskostnad på kr 1,0 per kg biomasse til avlusing (ei dobling frå 0,5 i utgangspunktet)

I tabell 22 (under føresetnader) er det nemnt ei nedklassing på 0,5% per lusebehandling, noko som ville gje 2,5% og 5% samla nedklassing ved høvesvis fem og 10 behandlingar. Ifylgje Senstad og Bolstad (2017)[35] er desse tala monaleg større – dei gjev uttrykk for 8% nedklassing ved fem lusebehandlingar og 12% nedklassing ved 10 lusebehandlingar. Begge desse alternativa vil verte vurdert her. Ein føreset ein prisreduksjon på kr 12,00/kg på den nedklassa fisken[36]. Inntektstap grunna redusert slaktevekt per fisk er ikkje teke omsyn til her.

Med dei føresetnadene som er gjort, er potensielt tap ved nedklassing i storleiksorden 4 - 12,8 mill kr ved fem avlustingar og 7,3 - 17,5 mill kr ved 10 avlusingar (tabell 30). Dette er eit monaleg tap. Analysen er gjennomført berre for 100 g smolt ettersom konsekvensar for auke i produksjonskostnad m.m. er størst der.

Tabell 30. Døme på inntekststap som følgje av nedklassing (100-grams settefisk med høvesvis fem og 10 behandlingar).

[35] Sjå Senstad og Bolstad Norsk Fiskeoppdrett 10-2017, del 1 av 3.
[36] Denne føresetnadene er henta frå Senstad og Bolstad Norsk Fiskeoppdrett 10-2017, del 1 av 3.

	Prod kost per kg – beh.kost kr 0,50/kg	Prod kost per kg – beh. kost kr 1/kg	Inntektstap, nedklassing hhv. 2,5% og 5%	Inntektstap, nedklassing hhv. 8% og 12%
Inga behandling	28,0	28,0 (n/a)	-	-
Fem behandlingar	31,3	33,0	3 997,2	12 790,9
Ti behandlingar	33,8	36,90	7 287,5	17 490,0

Prisen på lusebehandlingar har og ein viktig innverknad på produksjonskostnadene. Dersom denne prisen aukar frå kr 0,50 til kr 1,00 per kg, vil produksjonskostnaden per kg rund fisk auke frå kr 33,8 til kr 36,9 ved 10 behandlingar, dvs ein auke på knapt 10%. Dette illustrerer at både talet på behandlingar og kostnad per behandling har stor innverknad på kostnadene – kr 28,80 per kg utan behandling til kr 36,80 i situasjonen med 10 behandlingar til kr 1,00 per kg.

KAPITTEL 4. ØKONOMISK ANALYSE AV PÅVEKST I LUKKA SJØANLEGG

1. Innleiing

Dette kapittelet ser på påvekst av laks i lukka sjøanlegg. Innhaldet omfattar bakgrunnsinformasjon om lukka og semi-lukka oppdrettsteknologi, omtale av enkelte konsept under utvikling og uttesting, samt ei meir hypotetisk kostnadsanalyse for eit scenario der ein skiftar høvesvis heile eller ein del av påvekstfasen til lukka anlegg. Analysen er gjort som ved påvekst i opne merdar, men ettersom teknologiane er ulike, er det ulike føresetnader for investeringar og driftskostnader. Når det gjeld vekst, sjukdom og svinn vert det vist til erfaringar frå utprøving av enkelte konsept i praksis. I dømet har ein likevel lagt til grunn same vekstkurve som ved påvekst i opne merdar, ettersom erfaringsgrunnlaget framleis er noko avgrensa, og dei teknologiske konsepta så ulike. Gitt variasjonane i teknologiske og drifts-konsept vil estimat og anslag på investeringar og driftskostnader vere både så usikre og så varierte at kostnadsestimering vil vere eit grovt anslagt. Å sjå på investeringar, driftsplanlegging og driftskostnader i lukka samanlikna med opne anlegg er likevel ei nyttig øving når det gjeld å reflektere over høve, avgrensingar og potensiale for implementering av slik teknologi i kommersiell samanheng.

Lukka eller semi-lukka oppdrettsanlegg er definert ved at dei har ei tett eller bortimot tett fysisk barriere mellom vassmiljøet til fisken og det omliggjande miljøet. Barriera kan vere ein karvegg, ein dukvegg eller liknande. Lukka anlegg i sjø vert gjerne omtala som ”lukka, flytande anlegg” (Rosten m.fl. 2011). Alt etter material og teknologi, kan dette inkludere (om enn utan å vere avgrensa til): lukka, fleksible poseanlegg; lukka, stive anlegg (plast og betong) og lukka anlegg basert på rørteknologi (Rosten m.fl. 2011). For definisjon og klassifisering av lukka anlegg vert det vist til delrapport I (Sintef).

Ettersom lukka anlegg framleis er på utviklings- og konseptstadiet er det mest teknologiske vyer og investeringsvilje som set grenser for korleis ein kan tenkje seg slike anlegg i framtida – noko som vert demonstrert i søknadslista for utviklingsløyve frå Fiskeridirektoratet[37]. Forslag til nye anleggskonsept i Noreg har inkludert utformingar og material som kompositt, heilduk og not, tankskip, plastrør, fleksibel polymer-plastikk, kar, betong og stål (Rosten m.fl. 2013).

Å skilje det ytre miljøet frå det interne i oppdrettsanlegget vert i aukande grad sett som ein fordel for laksevelferd, fiskehelse og oppdrettsøkonomi parallelt med aukande fiskehelse- og luseproblem i opne merdar. Sentralt for dette er ei formeining om at oppdrett i lukka sjøanlegg vil kunne tilpasse vassinntaket til ønska djupne, og på den måten redusere tilkomst av lus til anlegget (Rosten m.fl. 2011). Førebels resultat frå uttesting av lukka anlegg med djupare vassinntak gjev indikasjon om at luseproblemet kan reduserast (Rosten m.fl. 2011), og gjennom uttesting av ulike lukka konsept er det også støtte for dette (t.d. AkvaDesign og Preline). Gjennom høve til jamn og hyppig utskifting av mykje vatn og oksygentilsetting vert det elles venta at vasskvaliteten i desse anlegga kan tillate større fisketettleik enn opne merdar, der ein er avgrensa av naturleg vassutskifting og oksygeninnhald i sjøen.

Vidare bør lukka anlegg kunne utnytte at temperaturen er meir stabil dersom vatnet vert henta frå ei viss djupne. På den måten kan ein i større grad regulere vasstemperaturen i høve til årstidsvariasjonar i overflatetemperatur, noko som kan vere gunstig for tilvekst, trivsel og overleving ved dei varmaste og kaldaste periodane og lokalitetane. Inntak av djupare vatn er likevel ofte kaldare i enkelte perioder av året, noko som også kan redusere tilvekst i desse

[37] Sjå: https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Saertillatelser/Utviklingstillatelser/Brev-og-vedtak.

periodane. Mindre temperaturvariasjon kan samstundes potensielt gje auka fleksibilitet og kapasitetsutnytting mellom settefisk- og påvekstproduksjonen i dei tilfella der ytterpunkta i sjøtemperatur er til hinder for utsett i visse periodar (Rosten m.fl. 2011).

Av dei avgrensa erfaringstala ein kan vise til i lukka anlegg, kan det vere rom for å argumentere for betre vekst- og overlevingstilhøve enn det som vert realisert i opne merdar i dag. Ein studie gjennomført av AkvaDesign i samarbeid med Veterinærinstituttet, IRIS og Universitetet i Nordland skisserer kva ein ventar på dette området[38]. Der viser ein til resultat som tyder på at oppdrett i lukka merdar kan ha fylgjande potensiale:

- Ingen eller lite lus
- God vasskvalitet
- God fiskevelferd
- Betre tilvekst
- Høgare overlevingsgrad (97-99% under normale tilhøve)
- Lågare fôrfaktor (ca. 1,0)
- Redusert produksjonstid i opne merdar
- Redusert utslepp
- Redusert/inga røming

Ein skal likevel vere merksam på at det ikkje er spesifisert kva for tettleik og vassutskifting forsøka er basert på, og om desse verdiane tilsvarar det ein vil legge til grunn for kommersiell produksjon i lukka anlegg over tid. Det knyter seg difor uvisse til bruk av desse punkta som føresetnader for produksjon i lukka anlegg generelt sett. Når det gjeld funksjon, driftsstabilitet og havaririsiko er det nok tidleg å trekkje slutningar om korvidt ulike lukka konstruksjonar vil vere meir eller mindre pålitelege enn tradisjonelle merdar over tid, eller kor mykje prøving og feiling som må til før ein finn svar på dette.

Driftserfaring frå uttesting av ei semilukka merd på 21.000 m^3 ved Molnes i Hordaland (FOU-løyve) er oppe i 40% av ønska tettleik for storsmolt (anlegget er ikkje testa for matfiskproduksjon). Det er vidare planlagt å utprøve anlegget med 60 % av tettleiksmålet på 50 kg/m3 i neste forsøksgenerasjon (Trond Rosten, Marine Harvest AS, personleg kommunikasjon).

Marine Harvest har driftserfaring med produksjon av tre generasjoner storsmolt opptil 1 kg i anlegget ved Molnes. Resultat så langt tyder på at settefisk i dette systemet oppnår god tilvekst og kvalitet, men post-smolten har ikkje blitt like stor som referansesmolt i opne merdar over seks måneder, grunna lågare temperatursum (her vil sesongvise temperaturvariasjonar spele inn, og ein vil ha forskjellig temperatureksponering – og kanskje også ulik temperatursum samla sett gjennom året – for fisk i lukka anlegg med djupt vassinntak samalikna med fisk i opne anlegg nærare overflata med større temperatursvingingar).

Produksjonskostnadene ved uttesting av lukka anlegg er førebels langt høgare enn det som vil vere konkurransedyktig. Ein har heller ikkje alltid unngått behandling mot AGD eller lus. Erfaringar frå fyrste generasjon med slakting ved Molnes tyder på færre totale behandlingar enn referansefisk frå utsett til slakting. Intensjonen vidare for dette konseptet er å fortsette uttestinga ved FoU-konsesjonen, gradvis auke tettleiken av smolt og sjå om det er råd å kome tilstrekkeleg ned i produksjonskostnad, samt om opphald i semilukka merd før utsett til opent merdanlegg kan gje større produksjon og redusert helsekostnad. Når det gjeld slam utgjer fangst og levering ein monaleg meirkostnad samanlikna med produksjon i opne anlegg. Det ser elles ikkje ut som ein vil oppnå like stor oppsamling/rensegrad per kg produsert biomasse som frå landbaserte kar (industrikjelder, personleg kommunikasjon).

[38] Sjå søknad om klarering av lokalitetar til Akvadesign AS: https://einnsyn.evps.no/einnsyn-bro/RegistryEntry/ShowDocument?registryEntryId=1476&documentId=2380

Gjennom Lerøy er det lukka konseptet "Preline", der åtte generasjonar storsmolt er produsert frå ein utsettsstorleik på 100 gram opp til 600 gram før overføring til påvekst i opne merdar, utprøvde over dei siste tre-fire åra. Maksimal tettleik er oppgitt til 75 kg per m^3, og med påvekst fra 100 til 600 gram kan ein rekke om lag to produksjonar per år. Preline er utforma som lengdestraumsrør og er teknologisk og i design ulikt frå dei runde, lukka merdane under utprøving gjennom AkvaFuture og Marine Harvest.

I staden for å gjenbruke vatn og tilsette oksygen er Preline basert på gjennomstrøyming med svært rask utskifting av vatnet. Anlegget har eit volum på 2 000 m3 og med ein vasstraum på 400 m3 per minutt vert vatnet utskifta kvart femte minutt (langt lågare opphaldstid og større vassforbruk enn andre lukka konsept som er omtalt her. Anlegget vil vere basert på rask utskifting heller enn oksygentilsetting i vatnet for å oppretthalde god vasskvalitet, og vil på den måten avhenge av færre kritiske system som potensielt kan svikte). Gjennomstrøyminga inneber elles ein jamn straum gjennom anlegget og god mosjon for fisken - noko som i tur kan ha verknad på muskulatur og vidare vekst etter utsett frå anlegget. Når det gjeld energibruk fungerer dette prinsippet ulikt frå lukka merdar med mykje pumping for løfting, sirkulasjon og oksygentilsetting av vatn – Preline er i staden basert på straumsetting og "skyving" av vatn.

Inntaksvatnet kjem i dette konseptet frå 30-40 meters djup, som medfører monaleg lågare risiko for å ta inn patogen i systemet samanlikna med vatn nærare overflata. Erfaringar så langt tyder på eit godt potensiale når det gjeld biologi, fiskehelse og risikoreduksjon i anlegget - til no har ein lusebehandla fisk i anlegget berre èin gong. Dette tilfellet skjedde i samband med kollaps av eit inntaksrør og dermed inntak av grunnare vatn/overflatevatn. Slik sett kan hendinga vere illustrativ for det vern ein faktisk kan oppnå gjennom styring av inntaksvatn ved lukka produksjon, samt kor viktig rett og påliteleg design og konstruksjon er for å realisere dette potensialet på konsistent basis.

Når det gjeld overleving har ein observert svinn under 1% i påvekstperioden frå 100 til 600 gram, samanlikna med 4-10% i referansegrupper i opne merdar. Saman med kontrollert fôring og slamfeller til oppsamling av fôrspill bidreg dette og til ein betre økonomisk fôrfaktor - kanskje frå 1,1 i opne anlegg til 0,85 i Preline.

Funksjonalitet og driftsprosessar kan vere ein annan skilnad mellom ulike konsept. Preline har til dømes heilt andre prosessar for reingjering og brakklegging enn ein del andre lukka merdkonsept, ettersom Preline kan heve den delen av anlegget som held fisk over vassflata for spyling, desinfisering og tørrlegging. I andre tilfelle kan prosessar relatert til reinhald utgjere ein monaleg kostnadspost, ettersom det kan vere påkrevd med monalege undervassoperasjonar med dykking og krevjande arbeidstilhøve.

Ut frå gjennomgangen av nokre få døme på utviklingskonsept (sjå nedanfor) og utprøving av lukka anleggsdesign ovanfor, kan ein indikere stor variasjon i konsept og føresetnader for teknologi, skala, utforming og driftsfunksjonar i lukka anleggskonsept. Å gjere ei generell økonomisk analyse av lukka anlegg på dette stadiet er dermed vanskeleg, med så stor uvisse om både investeringar, produksjonsvariablar, kostnader og kostnadsdrivarar i drift. Det er elles uvisst korleis selskap i næringa i praksis vil implementere lukka anlegg i sine driftsplanar.

Føresetnadene som vert lagt til grunn om produksjon i lukka anlegg i denne analysen vert presentert i nedanfor. Men fyrst vil ein kort presentere nokre av dei lukka konsepta som er under planlegging og utvikling, og som er tildelt utviklingsløyve gjennom Fiskeridirektoratet si tildeling av løyve til særskilde føremål.

2. Tildelte utviklingsløyve til oppdrett i lukka anlegg

Av dei lukka konsepta som er under utvikling og utprøving i dag, skjer produksjonen gjerne gjennom spesielle produksjonsløyve, som FOU-løyve. Ein konsekvens av at det vart iverksett ei søknadsordning for tildeling av utviklingsløyve er stor grad av innovasjonen, både når det

gjeld lukka og andre innovative produsjonskonsept. Utviklingsløyve er ei mellombels ordning som kan tildelast prosjekt med betydeleg innovasjon og investeringar. Under denne ordninga vert utviklingsløyve tildelt utan vederlag som eit insentiv til å utvikle nye teknologiar som kan kome næringa som heilskap til gode. Etter endt prosjektperiode kan Fiskeridirektoratet bestemme at eit utviklingsløyve kan verte konvertert til ordinært løyve, gitt at fastsette prosjektkriterium er oppfylt. Ved konvertering skal det betalast eit vederlag på 10 mill kroner per løyve til staten, justert i tråd med konsumprisindeksen.

Ulike konsept er under utvikling og det er per 2018 tildelt utviklingsløyve til åtte omsøkte konsept, medan sju søknader ventar avklaring, 46 er til handsaming og 43 har fått avslag. Av dei åtte innvilga søknadane er fire til utvikling av lukka anlegg (Tabell 1 a og b). Talet på utviklingsløyve per konsept varierer så langt mellom eitt og 10. Med unntak for eitt tilfelle, er alle løyve på 780 tonn MTB. Det er ein føresetnad for å ta tilsagnet i bruk at lokalitet er klarert og løyvedokument er utferda. Utviklingsløyve er elles løyve som er tildelt til særleg formål og kan ikkje inngå i selskapsbiomasse med ordinære kommersielle matfiskløyve eller i konsernbiomasse.

Tabell 1 a. Oversikt over tildelte utviklingsløyve til lukka/semi-lukka anlegg, per 1. august 2018.

Firma og tal på utviklings-løyve	Lokalisering	Konsept	Investeringar og informasjon om produksjonsplan.
Hydra Salmon Company AS – 4 løyve for 4 år.	Frøya. Tank vil tillate signifikant bylgjehøgde på 2,5 m og eit spekter av bylgjeperioder fra 5 til 7 sekund.	Produksjonstank. Produksjonseining med tett tak og veggar ned til 20 m under havoverflata. Botnen vil vere samansett av ein rame-struktur med stålnetting og ein tilsvarande vertikalt bevegeleg struktur som kan hevast og senkast. Indre diameter 60, ytre diameter 72, ytre omkrins 226 m.	306 mill kr til ein tank. Utsett av fisk 4 gonger i året, 600 000 fisk ved kvart utsett som gjev eit slaktevolum på ca. 2900 tonn sløgd vekt frå kvart utsett. Fisketettleik på 36 kg/m3.
MNH Produksjon AS – 4 løyve for 7 år.	Nærøy	Aquatraz I er ei stiv semi-lukka merd i stål, der dei øvste meterane av merdveggen er tett, medan resten av merda er open. Merden har hevbar botnkonstruksjon for trenging og tøming av fisk. Heile merda kan hevast ut av vatnet for å muliggjere desinfisering, inspeksjon og vedlikehold.	359 mill kr for åtte løyve som det vart søkt om; uklart investerings-behov for fire løyve.
Akvadesign AS – 2 løyve for 15 år.	-	Semi-lukka anlegg i sjø	

Marine Harvest Norway AS – 6 løyve for 15 år.		Egget® semi-lukka anlegg med stiv skallkonstruksjon, permanent inntak av djupvatn i store mengder. Lukka også i topp. Mesteparten av anlegget under vatn. Uttak av fisk i topp med spesialkonstruert rist, vil kunne tillate batchvis slakting.	Egget skal testast ut for drift i klynge med 5 egg à 21.000 m^3. MH vonar å sette ut fisk i 2020.

Tabell 1 b). Andre utviklingsløyve, ikkje lukka konsept.

Ocean Farming AS (SalMar Norway AS) – 8 løyve for 7 år.	Frohavet. Robust anlegg som er konstruert for å kunne innstallerast og operast i havnære område. Gjennom teknologien kan ein ta i bruk nye, meir eksponerte område til akvakultur.	Havmerden. Konseptet bygg på dei same grunnleggjande eigenskapar som halvt nedsenkbare installasjoner i offshorenæringa.	690 mill. kr. for pilotanlegg.
Nordland Oppdrett AS – 10 løyve for 15 år.	Ein berande grunnidé for konseptet er å flytte deler av havbruksproduksjonen lengre ut frå land til meir eksponerte lokalitetar, og slik ta i bruk nye område til akvakultur.	Havfarm I. Stålkonstruksjon bestående av ein baug med bofasilitetar og verkstad, eit midtparti med merdar, og eit hekkparti med t.d. ensilasjesystem og generatorkapasitet.	Investeringskostnadene for Havfarm 1 er estimert til 817 mill kr. Utsett av fisk>1 kg.
Atlantis Subsea Farming AS – 1 løyve for 4 år.	-	Atlantis: eit nedsenkbart oppdrettsanlegg for oppdrett av laks i industriell skala. Merdane på storleik med dei i kommersielle plastanlegg (160-metringer – 200 000 fisk). Anlegget skal vere nedsenka ca. 90% av tida og berre hevast til overflateposisjon ved gjennomføring av naudsynte operasjonar.	Investeringskostnader 79,9 mill kr.

Norwegian Royal Salmon ASA/Aker ASA – 7 løyve pluss eitt på 530 tonn for 7 år.	Troms/Finnmark. Det er planlagt å teste konseptet på ein lokalitet med signifikant bølgjehøgde på 6.5m, men det er intensjonen at konseptet skal kunne operere i situasjonar med bylgjehøgde opp til 15 m.	Arctic Offshore Farming: oppdrettsanlegg for lokalitetar i område som er opne mot hav og sjø. Anlegget er utformet slik at heile nota vert halde nedsenka under normal drift. Prosjektet inneber utvikling av eit sirkulært halvt nedsenkbart oppdretts-anlegg som baserer seg på offshoreteknologi.	To merdar. Usett av fisk på 1 kg. Produksjonskapasitet per merd 3 000 tonn, 600 000 fisk per merd.

Kjelde:www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Saertillatelser/Utviklingstillatelser/Brev-og-vedtak (konsultert 1.8.2018).

Ein kan også trekkje ein del interessante observasjonar frå tabell 1b. Minst to av konsepta tek sikte på utsetjing av storsmolt på 1 kg eller større noko som vil innebere ei kortare sjøfase. Fleire av anlegga er tiltenkt plassert i eksponerte lokalitetar, jamvel utaskjers, noko som kan medvirke til å opne nye område for oppdrett og dermed skape vidare ekspansjon i næringa. I utviklinga har ein trekt vekslar på offshoreteknologi. I alle konsept, ogso dei som ikkje primært er tiltenkt eksponert lokalisering, er det lagt stor vekt på løysingar som gjev mindre interaksjon med havmiljøet rundt anlegget som derigjennom m.a. vil redusere lusepresset, og det er tale om vassinntak frå større djupner som og kan medvirke til meir stabil temperatur over året. Mange av desse karakteristikaene finn ein igjen ogso i søknader som har fått heilt eller delvis avslag og dei som framleis er under vurdering.

Det er vanskeleg å få fullgod informasjon om dei ulike konsepta frå Fiskeridirektoratet sine nettsider, og investeringstala er svært usikre. Når det kjem til praktisk erfaring med produksjonssyklusar i stor skala over tid, har ein avgrensa kunnskap om kva som fungerar. Det er neppe grunnlag for å peike ut meir eller mindre representative eller typiske lukka anleggsløysingar på dette stadiet. I analysen vidare tek me utgangspunkt i eit anleggsvolum, investeringsanslag og føresetnader om tettleik inspirert av AkvaDesign, av den grunn at dette konseptet ser ut til å ha kome lengst i utprøving så langt, og ein har tilgang både til investeringsanslag via offentlege dokument, samt publiserte forsøksdata (Nilsen et al. 2017; einnsyn.evps.no; fiskeridir.no).

3. Analyse av oppdrett i lukka anlegg

Denne analysen vil sjå på påvekst av 100-grams settefisk i lukka anlegg heilt fram til slakt, samt på ei todelt påvekstfase i lukka og opne merdar. Gitt den store uvissa og variasjonen i lukka driftskonsept kan ein stille spørsmål om kor meiningsfullt det er å sette opp eit estimat for produksjonskostnader på dette stadiet. Ein har tvilsamt grunnlag både for å gjere ei «generell» analyse, og det same gjeld grunnlag for å analysere døme på lukka konsept enkeltvis. Det ein har gjort i det følgjande er difor å ta utgangspunkt i produksjonsplan og føresetnader frå tidlegare analyser i kapittel tre (påvekst av 100-grams settefisk i opne merdar), for så å undersøke verknaden på produksjonskostnaden dersom ein justerer investeringane til

eit estimat for lukka heller enn open merdkapasitet, med anslag over driftskostnader som energi, oksygen, vedlikehald, bemanning og slam.

Analysen er oppbygd som i kap. 3. Ettersom dei teknologiske konsepta og konstruksjonane er under utvikling vil både investeringar, driftskostnader og dimensjonerande kriterium vere usikre. Reknedømet baserer seg på eit semi-lukka konsept som kan nyttast i samband med eksisterande lokalitetar og infrastruktur.

3.1 Føresetnader

Biologi og teknologi

I analysen av lukka anlegg er føresetnader om vekst og temperatur sett likt som i tidlegare analysar, dvs. basert på temperatur frå Bud på Vestlandet, 5 meter djup og vekstfaktor på 2,7 (2,2 fyrste månad ved utsett). Det er dermed ikkje gjort tilpassingar for temperaturprofil over året eller at ein ventar raskare vekst. Svinn er og sett likt som i opne merdar, på 0,75 % per månad. Både når det gjeld vekstrate og svinn vert altså same utgangspunktet lagt til grunn som for oppdrett i opne merdar.

Føresetnader om fisketettleik og vasskvalitet i analysen og i lukka konsept generelt er usikre. Mogeleg fisketettleik i eit anlegg er avhengig av vasskvaliteten, som i lukka anlegg mellom anna vert påverka av inntaksvatn, utskiftingstid og oksygentilsetting. I tillegg vil utskiftingstid og derigjennom straumsnøggleik (trim) påverke oksygenkonsumet til fisken i anlegget. Desse relasjonane har me ikkje høve til å ta omsyn til i denne analysen, som er avgrensa til å nytte ein vekstfaktor (TGC) og anslag for maksimal fisketettleik som grunnlag for å beregne produksjon i anlegget.

Dimensjonering og infrastruktur til lukka merdanlegg

Tabell 2 viser tre døme på lukka anleggskonsept, basert på to konseptskisser som er tildelt utviklingsløyve av Fiskeridirektoratet, samt eitt som ventar avklaring (tal i tabellen er svært usikre og baserer seg på dokumentasjon som framgår av offentlege saksbehandlingsdokument, med estimat meint for søknader om utviklingsløyve). Det eine konseptet, eit semi-lukka merdanlegg som vil vere samansett av 12 tilstøytande merdar, er basert på AkvaDesign[39], eit anlegg under utprøving gjennom AkvaFuture. Det andre er basert på ei større lukka eining kjent som Egget frå Hauge Aqua[40] og planlagt for utprøving i Marine Harvest[41]. Begge døme er meint å kunne nyttast saman ved eksisterande lokalitetar og infrastruktur. Tredje døme er basert på Lerøy si skisse for «Pipefarm», ei vidareutvikling av det lukka konseptet Preline, som omtalt ovanfor.

I analysen vidare tek ein utgangspunkt i dimensjonering og investeringsanslag som skissert for merdanlegget i fyrste linje i tabellen under, med eit anlegg på 12 merdar og 72 000 m^3 per lokalitet.

Tabell 2: Døme – investeringsestimat, oppdrettsvolum og tiltenkt fisketettleik i semi-lukka anlegg.

Type anlegg	Volum	Investering	Investering per m3	Maks biomasse

[41] Samanlikna med Egget ser AkvaDesign sine anlegg meir ut som dagens anlegg, med ein open flytekrage i havoverflata. Egget er derimot fullstendig lukka også over havoverflata, med 90 prosent av produksjonseininga sitt volum fylt av vatn, og 10 prosent fylt av luft. Egget er framleis på konseptstadiet, medan tidlegare versjonar av AkvaDesign og Lerøy sine konsept er utprøvd i ei viss grad. (Marine Harvest har elles som nenmt erfaring frå produksjon av post-smolt gjennom ein FoU-konsesjon i Hordaland).

AkvaDesign: Anlegg på 12 merdar	72 000 m^3	150 mill.	Kr 2 083 (berre merdanlegg kr 1 389)	2 520 – 3 600 tonn (gitt 35-50 kg/m3)
Egget: Større lukka eining	20 000 m^3	50-90 mill.	Kr 2 500-4 500/m^3	1 000 tonn (50 kg/m^3)
Preline: Mindre lengdestraumsdesign	6 000 m^3	40 mill.	Kr 6 666/m^3	450 tonn (75 kg/m^3)

Samanlikna med tradisjonelt oppdrett vil lukka merdteknologi kreve meir straum til pumping/flytting av vatn, evt. tilførsel av oksygen, samt infrastruktur til å behandle og ta vare på slam (oppsamling av slam og tilhøyrande kostnad vil vere avhengig av om ein har utsleppsløyve eller vil/må rense avlaupsvatnet). Det kan dermed vere trong for å etablere ein utstyrsbase i relativ nærleik til sjøanlegget. Ifylgje dokumentasjon relatert til AkvaDesign sine anlegg vil denne kunne inkludere:

- Ein større oksygentank på land med tilkomst frå offentleg vegnett, eller eventuelt på flåte (oksygenanlegg, tankar og kondensatorar).
- Straumforsyning/trafo.
- Det kan og vere aktuelt med etablering av mindre lagerbygg for fôr og oppsamling/handsaming/avhenting av slam. Pauserom og sosiale fasilitetar vert lagt på flåte.
- Fôrsilo

Investeringar i utstyrsbase er sett til 20 millioner kroner per anlegg med slamanlegg til 30 millionar kroner. Ved lokaliteten trengst og andre investeringar, m.a.

- Båtar.
- Fortøying av flåte og merdanlegg.
- Brakkerigg / kontor.

3.2 Påvekst av 100-grams settefisk ved full konvertering alle lokalitetar til lukka anlegg

I analysen vert det nytta same føresetnader og produksjonsplan som i tidlegare døme for påvekst i opne merdar. Det inneber eit selskap med ni produksjonsløyve på til saman 7 020 tonn MTB og fire utsett i året, høvesvis januar, april, juli og oktober, med 775 000 fisk per utsett og same månadlege svinn som før (0,75%)[42].

Investeringar

Tabell 3 viser estimerte investeringar ved bruk av semi-lukka merdanlegg for drift ved sju lokalitetar, med 72 000 m^3 oppdrettsvolum per lokalitet, jfr tabell 2 fyrste linje ovanfor. Av totalinvesteringa på kr 2,03 mrd. utgjer utstyr og produksjonsfasilitetar 55% medan verdien av produksjonsløyve er 44%. Med basis i dette vert årlege avskrivingar og rente estimert til kr 161 mill. Som illustrert i Tabell 3 er det teke utgangspunkt i ei generøs økonomisk levetid for både merdanlegg og slamanlegg.

Tabell 3. Investeringar i lukka merdanlegg.

Per lokalitet	Stk.	Pris	Sum	Levetid	Årleg avskriving og rente

[42] Føresetnaden om lik vekstrate og død som ved 100-grams settefisk i open merd er uviss og kan potensielt vere konservativt fastsett, ettersom betre vekst og mindre smitte og svinn vil vere blant dei gevinstane ein ser føre seg ved overgang til denne typen anlegg.

Semi-lukka merdanlegg (per merd)	12	7 635 000	91 620 000	10	11 295 916
Slamanlegg	1	30 000 000	30 000 000	15	2 698 233
Fôrbase og fortøying	1	25 820 000	25 820 000	10	3 183 372
Arbeidsbåt – liten	1	450 000	450 000	10	55 481
Sum per lokalitet			147 890 000		17 233 002
Sum alle lokalitetar i selskapet	7	147 890 000	1 035 230 000		120 631 017
Kontorbygg	1	15 000 000	15 000 000	20	1 103 726
Straum (landstraum)	7	20 000 000	140 000 000	-	5 600 000
Produksjonsløyve	9	93 600 000	842 400 000	-	33 696 000
Total tomt, løyve og infrastruktur			862 400 000		34 496 000
Sum, heile selskapet			2 032 630 000		161 030 743
Investering per m3			4 033		320

Produksjonsplan

Det vert det lagt til grunn ein maksimal fisketettleik på 40 kg/m^3 i det lukka merdanlegget, som er i øvre del av oppgitt fisketettleik under tidlegare forsøk[43]. Med 72 000 m^3 per merdanlegg vil ein kunne ha ei maksimal biomasse på 2 880 tonn per lokalitet. Med sju lokalitetar og utsett og uttak som skissert skal produksjonsplanen tilfredsstille det generelle kravet om to månader brakklegging mellom kvar syklus (per i dag er det nok vanskeleg å vite kva som vert praksis og prosedyre når det gjeld slam frå lukka anlegg i sjø). Sjølve produksjonsplanen vert dermed stort sett lik som ved bruk av opne merdar. Produksjonen vert såleis som vist i Tabell , med tal frå påvekst i opne merdar til samanlikning. I dette dømet vert maksimal tettleik per lokalitet høvesvis 36 kg/m^3 (jan.-utsett), 40 kg/m^3 (april-utsett), 40 kg/m^3 (juli-utsett) og 39 kg/m^3 (okt.-utsett) for dei ulike utsetta. Grunnen til at maksimal tettleik ikkje vert nådd ved kvart utsett er at ein slaktar ut for å halde seg innan MTB.

Tabell 4: Årleg likevektsproduksjon

	Lukka merdanlegg (u/avlusing)	Open merd u/ avlusing	Open merd, 5 avlusingar	Open merd, 10 avlusingar
Produksjon (kg) per kg MTB	2,0	2,0	1,82	1,73
Produksjon (kg) per m^3 merdvolum	28	12	11	10
Snittvekt per fisk (kg)	5,3	5,3	4,8	4,7
Tal fisk slakta per år (stk)	2 683 986	2 683 890	2 666 988	2 603 859
Slakt per år (tonn):	14 266,9	14 271,3	12 760,9	12 145,8

[43] Sjå: A. Nilsen et al. / Aquaculture 466 (2017) 41–50: The closed cages were supplied with 2 water pumps (2.7–5.5 kW, Xylem Norway AS), each with a maximum theoretical capacity from 10 m3 ·min−1 , used in the 1550 m3 cage in 2012, to 20 m3 ·min−1 , used in the 3 000 m3 cages during the rest of the project. The water was pumped from 25 m depth and pushed into the cages 0.5 m below the surface, to avoid the extra energy cost of lifting water above sea level. At stocking date, the density of smolts in the closed cages was low (1.7–5.3 kg·m−3), but when density reached 25 to 40 kg·m−3 the cages were emptied and the fish harvested or moved to open cages or other closed cages.

Tabell viser estimat for likevektsproduksjon i lukka anlegg samanlikna med opne merdar med ulik grad av luseproblem. Som ein ser er årleg produksjon tilnærma lik anten ein nyttar opne eller lukka merdar så lenge ein føreset lite sjukdomsutfordringar i begge tilfelle (inga avlusing). Skilnaden når det gjeld produksjon per m^3 merdvolum kjem av at ein for same produksjonkvantum og produksjonsplan vil gje fisken større volum i opne enn i lukka merdar.

Produksjonskostnadar

Tabell 5 gjev ei oversikt over føresetnader for variable kostnader i lukka oppdrett. Biologisk fôrfaktor er sett til 1,0, mot 1,1 i opne merdar. Oksygenforbruk er sett til 0,5 kg per kg fôr og pris er sett likt som i landbasert oppdrett (kap. 1). Straumforbruk inneheld ein komponent som er lik føresetnaden i opne merdar (51 kwh per tonn fôr og dieselforbruk på 21 liter per tonn fôr), samt i tillegg 0,75-2,11 kwh per kg produksjon i lukka anlegg. Det store spriket i estimat for straumforbruk reflekterer kor usikre tala er, og at føresetnadene truleg vil vere svært ulike ved bruk av ulike konsept. Me legg her til grunn middelverdien på 1,43. Variable kostnader per kg slam er og svært usikre, ettersom det står att å etablere utstyr og praksis for dette i stor skala. Me legg her til grunn ein kostnad på 2 kr per kg slam generert, og ei mengde på 0,65 kg per kg fôr. Mengde oppsamla slam per kg fôr er dermed venta å vere monaleg lågare enn i landbasert oppdrett, ettersom det er meir krevjande å oppnå høg reinsegrad i sjø. Eitt ekstra årsverk er lagt til per lokalitet grunna meir avansert teknologi.

Tabell 5. Føresetnader – variable kostnader i lukka anlegg.

Pris på fôr	Kr 12,5 per kg. Biologisk fôrfaktor sett til 1,0, mot 1,1 i open not.
Oksygen	Kr 2,6 per kg oksygen. Forbruk 0,5 kg per kg fôr (likt som i landbasert anlegg). (NB – ikkje alle anlegg vil trenge å tilsette oksygen)
Straum	Kr 0.80 per kwh. (inkludert nettleige). Elektrisk kraft (sjø og adm.): 51 kwh per tonn fôr (likt som ved open not). I tillegg: 0,75-2,11 kwh per kg brutto tilvekst. Middel: 1,43
Slam	Kostnader på kr 2 per kg levert slam. Mengde 0,65 kg slam per kg fôr (6 % TS).
Service og vedlikehald	5% av investering i anleggsutstyr
Andre kostnader	
Ekstra bemanning	1 årsverk

Andre førsetnader er som i opne merdar. Ein del kostnader som service, vedlikehald, avskriving og rente er føresett å variere med investeringsnivå og er dermed høgare i lukka enn i open oppdrett. Det same gjeld (i mindre grad) trygding av biomasse og rente på arbeidskapital, som vert påverka av at dei medgåtte driftskostnadene (oksygen og energi) er noko høgare, medan fôrkostnaden virkar i motsett retning.

Totale kostnader per år vert estimert til kr. 506,6 mill, fordelt på 67% variable og 33% faste kostnader. Per kg rund vekt vert kostnaden kr 37,90. Avskrivingar og rente utgjer heile 12 kr – som nærmar seg like mykje som fôrkostnaden. Til samanlikning var tilsvarande produksjonskostnad for påvekst av 100-grams settefisk i opne anlegg estimert til kr 28 utan avlusingar eller sjukdomsutfordringar, 31,30 med fem avlusingar og kr 33,80 med ti avlusingar. I praksis vil dei høge investeringane og driftskostnadane i lukka anlegg dermed truleg innebere

at det vert naudsynt å utnytte anleggskapasiteten langt meir effektivt enn i dette produksjonsscenarioet dersom ein skal kunne vere konkurreransedyktig med tradisjonell oppdrett – med mindre ein har heilt ekstraordinære utfordringar i sjø, anten med sjukdom eller på andre område som kan adresserast effektivt gjennom lukka teknologi.

Ettersom lukka anlegg i liten grad er utvikla og utprøvd i stor skala, er det som nemnt stor uvisse om både investeringsbeløp og driftskostnader som til dømes energibruk og slambehandling. Ein har difor presentert sensitivitetsanalysar for nokre variablar i Tabell 6.

Tabell 6. Sensitivitetsanalyse.

		Lågare kostnad	Basis-scenario	Høgare kostnad
Investering +/- 30%	WFE	34,3	37.9	41,5
	Endring %	-9,5%		9,5%
Energi, oksygen og slam	WFE	36,5	37.9	39,3
	Endring %	-3,7%		3,7%
Lønnskostnad	WFE	37,2	37.9	38,6
	Endring %	-1,8%		1,8%

Av kategoriane som vist i 6 er produksjonskostnadane mest sensitive til endringar i investeringar (av den totale investeringa utgjer nesten halvparten verdien på produksjonsløyve). Ei endring i totale investeringar på +/- 30% medfører ei endring i produksjonskostnaden per kg på +/- 9,5%.

Ved tilsvarande prosentvis endring i kostnader til energi, oksygen og slam (alle tre kostnadskomponentar samtidig) vert utslaget på 4%, medan utslaget ved ei 30% endring i lønskostnader svarar til ei endring på 2%.

3.3 Påvekst av 100-grams settefisk ved kombinert drift av lukka og opne merdar – storsmolt i lukka anlegg og påvekst i tradisjonelle merdar

Grunna store investeringar vert lukka einingar gjerne tiltenkt ulik bruk samanlikna med tradisjonelle merdar. Ved full påvekstsyklus i lukka anlegg vil kapasitetsutnyttinga bli altfor dårleg i snitt til å forsvare investeringane, ettersom biomassen i anlegget er langt mindre enn maks tettleik mesteparten av tida.

Ein måte å utnytte den lukka kapasiteten betre på er å avgrense bruken av lukka merdar til ein mellomstasjon mellom settefiskanlegg på land og opne merdar. På dette vekststadiet er langt mindre kapasitet naudsynt, og alt etter korleis selskapet planlegg innsett og uttak i anlegget kan potensielt også omlaupssnøggleiken og snittbiomassen i anlegget over tid verte høgare. Vinsten elles vil vere at eksponeringstida i open sjø vert redusert, men ikkje eliminert for kvart smoltutsett. Eit døme på denne produksjonsmodellen kan analyserast noko enkelt med utgangspunkt i produksjonsoppsettet over (dvs. same utsetts- og uttaksmønster), men med mindre omfang av lukka produksjonskapasitet samt full kapasitet av opne merdar installert ved den enkelte lokaliteten. Kapasiteten i opne merdar per lokalitet vert i dette tilfellet lik som ved full påvekst i opne merdar – totalt ca. 150 000 m3 per lokalitet (sjå kap. 3) – ettersom maksimal biomasse i opne merdar ved lokaliteten vert det same som den ville vere utan bruk av lukka merdar som mellomstasjon.

Ved å ta utgangspunkt i oppsettet over kan ein sjå føre seg to måtar å tilnærme seg eit slikt produksjonsopplegg på ein forenkla måte:

1) Kvar lokalitet har permanent installert lukka merdkapasitet for produksjonsfasen fram til ca. 1 000 gram

2) Selskapet har tilgjengeleg lukka merdkapasitet for å produsere kvart utsett i lukka anlegg fram til ca. 1 000 gram, men kan dele denne merdkapasiteten mellom lokalitetane

Andre alternativ kan vere å reorganisere utsettsplan og disponering av lokalitetar fullstendig til høvesvis lukka post-smolt lokalitetar og opne påvekstlokalitetar, men dette vert ikkje sett på her.

Me tek her utgangspunkt i at den lukka anleggskapasiteten er fast installert ved lokaliteten (dette inneber dermed at dei lukka merdane står tome frå fisken er 1 kg og fram til slakt). Dersom kvart utsett skal stå i opne merdar fram til 1 kg, kan den naudsynte lukka merdkapasiteten per utsett røft reknast ved å ta utgangspunkt i maks individvekt på ein kilo multiplisert med utsettsstorleiken på 775 000 fisk. Gitt maksimal tettleik på 40 kg per kubikk, vert behovet i overkant av 21 300 m^3. I merdanlegget frå døma over er kvar merd på 6 000 m3, slik at fire merdar vil vere tilstrekkeleg per lokalitet. Investeringane vert dermed som vist i tabell 7 – totale investeringar på kr 1 682 mill, tilsvarande ca. kr 1 381 per m3 merdvolum (open og lukka kapasitet).

Tabell 7. Investeringar og tilhøyrande årleg avskriving og rente.

Per lokalitet	Stk.	Pris	Sum	Levetid	Årleg avskriving og rente
Semi-lukka merdanlegg (per merd)	4	7 635 000	30 540 000	10	3 765 305
Slamanlegg	1	30 000 000	30 000 000	15	2 698 233
Merdar, 130-metring (inkl. oppankring)	6	1 375 000	8 250 000	8	1 225 355
Notpose	6	300 000	1 800 000	3	648 627
Belysning, sensorikk, fôrslange	6	157500	945 000	3	340 529
Fôrbase og fortøying	1	25 820 000	25 820 000	10	3 183 372
Arbeidsbåt – liten	1	450 000	450 000	10	55 481
Sum per lokalitet			97 805 000		11 916 903
Sum alle lokalitetar i selskapet	**7**	**97 805 000**	**684 635 000**		**83 418 320**
Kontorbygg	1	15 000 000	15 000 000	20	1 103 726
Straum (landstraum)	7	20 000 000	140 000 000	-	5 600 000
Produksjonsløyve	9	93 600 000	842 400 000	-	33 696 000
Total tomt, løyve og infrastruktur			982 400 000		39 296 000
Sum, heile selskapet			**1 682 035 000**		**123 818 047**
Investering per m3			1 381		102

For å gjere eit overslag over produksjonskostnader per kg ved dette oppsettet er det teke utgangspunkt i føresetnader som over. Ettersom driftskostnader til oksygen, slam og pumping og energi i lukka anlegg er rekna på basis av kilo produsert, vert desse kostnadene justert for delen av tilveksten som skjer i lukka anlegg – her estimert til 17% (0,9 kg av totalt 5,2 kg tilvekst i sjø). Tilsvarande vert andelen fôring med biologisk fôrfaktor høvesvis 1,0 og 1,1 justert mellom lukka og open tilvekst. Med desse tilpassingane vert produksjonskostnaden estimert til kr 32,60 per kg produsert (WFE), fordelt på 70% variable og 30% faste kostnader.

Dersom ein alternativt tek utgangspunkt i at den lukka anleggskapasiteten kan delast mellom lokalitetane i selskapet vil det vere tilstrekkeleg å investere i lukka anleggskapasitet for tre til fire lokalitetar for selskapet som heilskap (framleis fire merdar per lokalitet). I så fall vert investeringane redusert til 1 590,4 mill. (1 306 per m3) og produksjonskostnaden vert redusert til kr 31,70 per kg WFE (utan å justere for kostnader til flytting av merdanlegg – ein kostnad som potensielt kan føre til at vinninga går opp i spinninga her).

4. Oppsummering og diskusjon

Det står att å sjå om lukka einingar i sjø vil verte tekne i bruk kommersielt og finne sin plass i oppdrettsselskapa sine produksjonsplanar. Potensielt kan lukka anlegg opne for betre høve til å levere settefisk av ønska storleik til ønska tid, å korte ned eksponeringstida i opne anlegg og å auke utnytting og omlaupssnøggleiken ved matfisklokalitetane.

Resultata av kostnadsanalysen for lukka oppdrett viser at lukka produksjon gjev høgare produksjonskostnad enn tradisjonelt oppdrett, som fylgje av store investeringar og auka driftskostnader (tabell 8). Med dei føresetnadene om investeringar som vert lagt til grunn for full produksjonssyklus i lukka anlegg – med elles like føresetnader om tilvekst, svinn og selskapsstruktur – finn ein at det vil vere vanskeleg å forsvare skilnaden i investeringsbeløp, med mindre ein opplever heilt spesielt krevjande utfordringar som ein kan addressere ved overgang til lukka produksjon.

Tabell 8. Samanlikning av scenario og estimat – påvekst av 100-grams settefisk i lukka og open merd

	Lukka merdanlegg – full syklus	Kombi. lukka/open	Open merd u/ avlusing	Open merd, 5 avlusingar	Open merd, 10 avlusingar
Produksjonskostnad per kg	37,9	32,6	28,0	31,3	33,8
Slakt per år (tonn):	14 267	14 267	14 271	12 761	12 146
Produksjon (kg) per kg MTB	2,0	2,0	2,0	1,82	1,73
Produksjon (kg) per m^3 merdvolum	28	12	12	11	10
Investering per m^3 merdvolum (kr)	4 033	1 381	960	960	960

Med utsett av 100-grams settefisk og påvekst fram til slakt vert syklusen for lang og snittvekta per eining for låg til at dette er økonomisk. Ein vil difor truleg vurdere andre produksjonsmodellar ved bruk av denne typen anlegg – anten med utsett av større settefisk eller eventuelt som mellomstasjon for produksjon av postsmolt til vidare påvekst opne merdar. På den måten kan snittvekta på biomassen i anlegget verte høgare, omlaupssnøggleiken større og ein får større produksjon og kapasitetsutnytting per kubikk.

Eit estimat for bruk av lukka merdar i kombinasjon med tradisjonell påvekst vart også gjort, og i dette tilfellet vart det antyda ein meir konlurransedyktig produksjonskostnad – kr 32,60 per kg, samanlikna med kr 37,90 per kg ved full påvekstsyklus i lukka anlegg. Også i dette tilfellet vert det eit spørsmål om kapasitetsutnytting, og korleis den lukka anleggskapasiteten og produksjonskapasiteten skal innpassast i selskapet sin andre produksjon. Dersom ein skal ha den lukka anleggskapasiteten permanent installert ved den enkelte lokaliteten vil denne gjere lite nytte av seg etter at fisken har nådd 1 kg. I ein slik situasjon vil truleg selskapet velje å la delar av fisken stå lengre i det lukka anlegget for å utnytte kapasiteten, i staden for å overføre heile utsettet til opne merdar og la dei lukka einingane stå tomme.

Eit alternativ kan vere å dele den lukka anleggskapasiteten mellom fleire lokalitetar, med flytting av merdane til ein ny lokalitet etter utsett av storsmolt ved ein annan. Her kjem det både praktiske, kostnads- og regulatoriske spørsmål inn i biletet, og medan ein del lukka anlegg kanskje kan vere praktiske å reingjere og flytte effektivt, vil andre konsept gjerne ikkje oppfylle desse kriteria. Skulle ein i staden tenkje seg at anlegget er fast installert ved ein eigen lukka lokalitet medan settefisken kan verte flytta vidare til påvekst ved opne påvekstlokalitetar, så er det også usikre moment ved ein slik strategi. Som fylgje av nye PD-forskrifter kan det potensielt verte avgrensa fleksibilitet for flytting av fisk frå lukka anlegg til vidare påvekst[44].

[44] Mattilsynet skiljer mellom settefisk frå landbaserte RAS-anlegg med desinfisert inntaksvatn og settefisk frå sjøvatn, og gjev ulike føringar for flytting av fisk frå desse to produksjonsteknologiane.

Både dette og MTB-omsyn kan vere potensielle bremser eller flaskehalsar for kommersiell implementering av lukka anlegg.

Å innpasse post-smolt produksjonen i lukka anlegg i selskapet sin eksisterande MTB-kapasitet og lokalitetar på ein gunstig og effektiv måte kan truleg vere utfordrande i mange tilfelle. Per i dag er teknologiutvikling og produksjon i lukka anlegg gjerne basert på særløyve som FoU-løyve og etter kvart utviklingsløyve, utan at det går utover kommersiell produksjon og ordinære produksjonsløyve. Vidare er det eit spørsmål om korleis driftstilhøve og regelverk rundt lukka anlegg vil verte på sikt, og om det eventuelt vil verte spesielle vilkår for slik produksjonsteknologi over tid. Brakkleggingsregime er eitt av spørsmåla som kan vere aktuelle i så måte, når det gjeld kor lenge dei varer og krav for brakkleging samt eventuelt om smitterisikoen frå slike anlegg inneber grunnlag for mindre restriktive krav på andre måtar.

Når det gjeld slam er det per i dag ein betydeleg kostnad knytta til ivaretaking og transport av dette. Dette må sjåast i samanheng med at metoder, prosedyrer og infrastruktur til dette gjerne ikkje er godt utvikla enno, samt at ein heller ikkje har utvikla marknaden og bruksområde for å utnytte slam som ein ressurs så godt som ein vil ha som mål over tid. Trass kostnaden som går med til slambehandling i dag, er det uvisst om det i framtida kan vere bruksområde for slam-avfallet som kan redusere eller utlikne denne kostnaden. I tillegg må ein ta omsyn til fordelen med omsyn til miljø som kan ligge i å redusere fotavtrykket gjennom utslepp til sjø. Dersom ein på sikt kan oppnå lågare utslepp og betre biotryggleik i lukka anlegg kan dette elles tenkjast å føre til redusert brakkleggingskrav.

5. OPPSUMMERING

Denne rapporten har teke føre seg fire forskjellige produksjonskonsept for laks – matfisk på land (kapittel 1), stor settefisk frå landbaserte RAS-anlegg (kapittel 2), sjøbasert påvekst av stor settefisk (kapittel 3) og påvekst i lukka anlegg (kapittel 4). I dette oppsummerande kapittelet vil me kome med ein del generelle merknader til analysen, deretter sjå på dei ulike konsepta enkeltvis, før me til slutt ser på ein del aktuelle problemstillingar for vidare analyse.

Generelle merknader

Rapporten presenterer samanliknande kostnadsanalyser av eksisterande og framvaksande produksjonsmodellar forlakseoppdrett i Noreg. Produksjonen av laks har flata ut både i Noreg og Chile dei siste åra. Marknadssituasjonen har likevel gjort at lønsemda er god, til trass for aukande produksjonskostnader og biologiske utfordringar. God lønsemd vil normalt gje insentiv til auka produksjon, men produksjonsutfordringar og bindande reguleringar har hindra ekspansjon gjennom konvensjonell produksjonsteknologi. I denne situasjonen vert det søkt mot nye produksjonsmodellar og teknologiar som kan adressere utfordringane og opne for å auka produksjon.

Studien konsentrerer seg om å samanlikne produksjonskostnader, og presenterer føresetnader om investeringar, produksjonsplan og driftskostnader for dei ulike produksjonsmodellane enkeltvis. Eit føremål med dette er å kunne seie noko om konkurranseevna til dei ulike konsepta over tid, etter at ein har oppnått likevektsproduksjon. I tillegg til kostnadsestimat, viser ein korleis kapitalstruktur og bruk av innsatsfaktorar varierar mellom ulike konsept. Å illustrere skilnader i bruk av innsatsfaktorar er spesielt nyttig der enkelte innsatsfaktorar er «flaskehalsar» for næringa eller for einskildaktørar, noko som i så fall vil vere av betydning for optimal tilpassing og val av produksjonsmodell. Døme på slike flaskehalsar kan vere produksjonsløyve (MTB) eller lokalitetar.

Analyse av sjøbasert påvekst i opne (kapittel 3) og lukka (kapittel 4) anlegg er gjort ut frå eit «basis-oppsett» for selskapsstruktur, produksjonsplan og andre føresetnader. Dette vert lagt til grunn for varierte driftsscenario med mål om å illustrere korleis variablar som settefiskstorleik og skilnader i investering og teknologiske konsept har betydning for selskapet – når det gjeld kostnadsstruktur, kapasitetsutnytting, behov for lokalitetar og utfordringar med MTB («alt anna likt»). I praksis vil ein derimot gjerne ikkje sette dei aktuelle føresetnadene like under ulike driftsscenario – noko som inneber at analysen fokuserer på samanlikning mellom ulike produksjonsmodellar, heller enn optimering av dei enkelte produksjonsplanane. Ein fordel ved sams selskapsstruktur og føresetnader er også at eventuelle nivåfeil på produksjonskostnadene til ei viss grad vert felles mellom scenario, slik at samanlikninga vil ha verdi i seg sjølv – trass potensielle veikskapar i føresetnader. I dei fleste tilfelle er det presentert tilstrekkeleg informasjon til at lesaren sjølv kan vurdere datagrunnlaget og eventuelt justere komponentar for pris eller forbruk og relativt enkelt gjere seg opp ei oppfatning av utslaget på totalkostnader og kostnad per kg.

Rapporten omhandlar i vesentleg grad «nye» teknologiar som ikkje er utprøvd i stor skala eller der ein har avgrensa erfaring. Uvisse og risiko er difor tema som går igjen, og som spesielt er drøfta i samband med landbasert oppdrett (kapittel 1). Risikoprofil vil i seg sjølv kunne vere ein viktig skilnad mellom ulike konsept og produksjonsstrategiar, men ein har framleis avgrensa kunnskap om desse skilnadene. Sensitivitetsanalyser vert nytta for å analysere usikre variablar, særleg når det gjeld økonomisk analyse av landbasert oppdrett. I økonomisk samanheng er sensitivitetsanalyser nyttige for å kaste lys over ein del relasjonar der det råder uvisse. Utover dette er det gjort meir kvalitative drøftingar av teknologisk og biologisk uvisse, både i delrapport I frå SINTEF og i denne delrapporten.

Når det gjeld oppdrett i sjø (opne merdar) har ein fokusert på biologisk risiko i form av lus og lusebehandlingar, medan sjukdom ikkje er omtalt. Ettersom dette også gjeld for dei

økonomiske analysene av ulik settefiskstorleik tyder dette at ein fyrst og fremst analyserer postsmoltstrategi i lys av utfordringar med lus og fordelen ved å unngå lang eksponeringstid i sjø. Settefiskstrategi og genvinstar i samband med flaskehalsar for MTB-utnytting vert dermed ikkje kvantifisert eller analysert direkte i denne samanheng (til dømes i situasjonar med få lokalitetar og avgrensa utsettsvindauge).

Kort kapittelgjennomgang

Kap 1 – Økonomisk analsye av landbasert oppdrett av laks.

Kapittel 1 presenterer ein kostnadsanalyse for landbasert oppdrett av matfisk. Utgangspunktet er eit anlegg med produksjonskapasitet på 6 000 tonn. Analysen er basert på ein likevektssituasjon der produksjonen skjer utan vidare uhell, med føremål å analysere om produksjonskonseptet kan vere konkurransedyktig i marknaden. Produksjonskostnad er estimert til kr 43,60 per kg, noko som er monaleg meir enn i sjøbasert oppdrett der siste estimat frå Fiskeridirektoratet er på kr 30,60 for 2016.

Sensitivitetsanalyser for endringar i ulike parametrar tydar på at ei (mindre) endring i ulike variablar enkeltvis vil ha relativt avgrensa utslag på produksjonskostnaden. Unntaket er fôr, renter og investeringskostnad, men aller mest ved monalege endringar i svinn og kapasitetsutnytting der slike avvik ikkje kan kompenserast for t.d. ved utsetting av meir smolt (Tabell 1). I desse tilfella vert det eit stort utslag på produksjonskostnaden. I tillegg har desse utfalla konsekvensar på inntektssida, noko som ikkje vert reflektert i ein kostnadsanalyse.

Tabell 1. Sensitivitetsanalyser for endra kapasitetsutnytting – variasjon i vekst og svinn.

Scenario		Redusert kostnad	**Basis-tilfelle. Kr/kg**	Større kostnad
Svinn 1% per månad etter vaksineringsmånad (dobling frå 0.5)	WFE Endring %	-	**43.6**	45.6 4.5 %
Svinn 2% per månad etter vaksineringsmånad	WFE Endring %	-	**43.6**	49.9 14.3 %
10% svinn i sein syklus	WFE Endring %	-	**43.6**	47.5 8.8 %
20% svinn i sein syklus	WFE Endring %	-	**43.6**	52.5 20.2 %
30% svinn i sein syklus	WFE Endring %	-	**43.6**	58.9 35.0 %
10% +/- i vekst og årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	WFE Endring %	41.7 -4.3 %	**43.6**	46.0 5.3 %
20% +/- i vekst og årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	WFE Endring %	40.2 -7.9 %	**43.6**	48.8 11.9 %
30% +/- i vekst og årleg produksjon (endra kapasitetsutnytting)	WFE Endring %	38.8 -11.0 %	**43.6**	52.6 20.4 %

I kapittelet er det understreka at det er grunnleggjande uvisse når det gjeld mange relasjonar innan landbasert oppdrett og at risikoen er stor. Som ei tilnæring til dette har ein gjort ein analyse av uvisse og risiko i landbasert RAS, inkludert å skissere eit hypotetisk, ekstraordinært tapsscenario med potensielle konsekvensar for ei nystarta bedrift.

Med den produksjonsplanen som er lagt til grunn vert produksjonsperioden på 19 månader for kvart utsett av fisk, frå startfôr til slakt. Oppbygingstida frå fyrste utsett av fisk og fram til fyrste slakt er dermed svært lang. Med sentralisert vassbehandlingssystem (RAS) kan ein ved eit uhell i anlegget risikere at all fisk i alle avdelingar går tapt. I kaptiiel 1 har ein skissert eit slikt uhell all fisk dør i april i år to. Gjenoppstart med fyrste utsett av yngel til startfôr er skissert i juli, nokre månader seinare.Ikkje før desember år fire vert det slakt frå anlegget igjen. Dette inneber heile 20 månader utan slakt, gitt at anlegget må fyllast opp att ved hjelp av eigen produksjon. Planlagt slakt i denne perioden ville elles vore på 10 085,4 tonn. I kapittel 1 ser ein vidare på eit alternativt scenario der anlegget er delt inn i fem smittesoner, og ein føreset at uhellet vert avgrensa til berre êin modul. Slakt over den aktuelle perioden er i dette tilfelle redusert til 8 068,3 tonn (samanlikna med 10 085,4 tonn ved full drift), altso monaleg mindre. På den andre sida vil fem smittesoner innebere større investeringar og høgare produksjonskostnader, slik at redusert risiko kjem til ein viss pris.

Risikoanalysen viser at landbasert oppdrett kjem an på ein god koordinasjon mellom biologi, teknologi, kjemi og økonomi.

Kap 2 – Økonomisk analse av produksjon av storsmolt.

Analysen av stor settefisk på land ser på produksjonskostnad per settefisk for høvesvis 500-grams og 1 000-grams settefisk. Føremålet med analysen er å estimere produksjonskostnader per kg slakteklar laks ved vidare påvekst i sjø. Dette vert gjort i kapittel 3 for ulik storleik av settefisk og under ulike avlusingsscenario.

Under gitte føresetnader er kostnaden per settefisk estimert til kr 26,20 og kr 45,80 per stk. for høvesvis 500-grams og 1 000-grams fisk. Denne kostnaden vert brukt vidare som utgangspunkt for kostnadsanalysen av påvekst i sjø (internpris er sett lik produksjonskostnad i denne analysen).

Tilsvarande som for landbasert matfiskproduksjon er det utført sensitivitetsanalyser for endringar i ulike variablar. Også i denne analysen er konsekvensane størst ved endringar i parametrar som har å gjere med kapasitetsutnytting i anlegget – særleg når det er tale om monaleg svinn. Desse har i tillegg til å påverke kostnadene konsekvensar for salskvantum og dermed inntekt. Kostnaden er og sensitiv til investeringsnivå, avkastningskrav og fôrkostnad. Ved tolking av tap og konsekvensar ved uhell i settefiskproduksjon må ein elles hugse å ta omsyn til den vidare påvekstdelen, og korvidt eit eventuelt uventa svinn i produksjonen kan verte erstatta med alternative forsyningskjelder til påvekst i sjø.

Kap 3 – Økonomisk analyse av påvekst av i opne merdanlegg.

Analysen av påvekst i opne merdar er ei vidareføring av kapittelet om stor settefisk på land. Det er fyrst og fremst kostnaden per kg slakteklar fisk som er av interesse, og interessa for stor settefisk har grunnlag i eit ynskje om å betre produksjonen samla sett, anten ved å adressere flaskehalsar eller ved å redusere risiko, produksjonsutfordringar og kostnader.

Påvekstanalysen er delt inn i to delar, utan og deretter med lusekostnader, der ein fyrst tek utgangspunkt i ein bedriftsstruktur og produksjonsplan som er lik ved påvekstsscenario for både 100-grams, 500-grams og 1 000-grams settefisk. Ut frå den gitte utsettsplanen vert det estimert kor mange lokalitetar ein vil ha trong for i kvart scenario, og investeringane vert fastsett deretter. I denne delen av kostnadsanalysen vert det sett bort frå avlusingar og relaterte kostnader i alle tre scenario.

Når det gjeld bruk av ulike innsatsfaktorar er det verdt å merke seg skilnader mellom alternative produksjonsmodellar. Skilnaden i lengda på produksjonssyklusen inneber at stor settefisk kan gje høve til produksjon av eit visst kvantum fisk med mindre beslag på areal/lokalitetar samanlikna med liten settefisk. Dette viser seg tydeleg i produksjonskvantum per lokalitet som varierar frå 1 783,9 tonn ved 100-grams settefisk på åtte lokalitetar, samanlikna med 3 161,4 tonn per lokalitet over fem lokalitetar (her må ein korrigere for utsettsstorleik dersom fokus er på tilveksten og eventuelt utsleppet som skjer ved lokaliteten). Potensielt kan skilnaden i slakt per lokalitet vere endå større dersom ein til dømes har ekstra beskrankingar og lågare MTB-utnytting ved bruk av 100-grams settefisk – som kan vere tilfelle dersom koordinert brakklegging, utsettvindauge eller temperaturtilhøve hindrar utsett i visse periodar (i våre døme er utsettsmønster likt og månadleg ståande biomasse sett lik MTB i alle tre settefisk-scenario).

Større produksjon per lokalitet er ein fordel frå eit økonomisk perspektiv både med omsyn til investeringar og kapasitetsutnytting. Frå eit miljøperspektiv er skilnaden også interessant: på den eine sida vil brakklegging kunne skje med kortare mellomrom og over lengre perioder, medan på den andre sida kan intensiv omlaupssnøggleik og auka produksjon per lokalitet innebere at den samla mengda utslepp per lokalitet over tid vert større (her må ein igjen korrigere for utsettsvekt og tilvekst som ikkje skjer ved sjølokaliteten).

Den andre delen av kostnadsanalysen av påvekst i sjø tek utgangspunkt i same investeringar og produksjonsplan, men med introduksjon av behandlingskostnader, svinn og veksttap ved ulike avlusingsscenario. Ein del resultat frå analysen er oppsummert i tabell 2. For påvekst av 100-grams smolt er produksjonskostnaden for rund fisk estimert til kr 28,00/kg under det ein ovanfor føresette som «normale/friske tilhøve» og ingen avlusing. Ved fem lusebehandlingar aukar dette til kr 31,30, og ved 10 behandlingar til kr 33,80 ved ein avlusingspris på kr 0,50 per kg biomasse til behandling.

Kostnadsauken ved lusebehandling varierer mellom kr 5,80 for 100-grams settefisk med 10 behandlingar og kr 1,60 per kg ved 1 000-grams settefisk og to behandlingar. Variasjonen mellom døma skuldast både tal behandlingar og tidspunkt for avlusing. Av kostnadsauken er mellom kr 0,80 og 3,00 utgjort av direkte behandlingskostnader. Som det framgår av tabellen utgjer differansen i kostnad per kg ein god del meir enn den direkte behandlingskostnaden per kg – skilnaden er opptil dobbelt så stor som direkte behandlingskostnader. Årsaka til dette er produksjonstapet som skjer grunna veksttap og svinn, som gjer at det vert færre kilo å fordele totale produskjonskostnader på. Produksjonstapet vil utover dette medføre at ein får ei lågare inntekt enn ein elles kunne gjort.

Tabell 2. Årleg likevektsproduksjon, påvekst av 100-grams, 500-grams og 1 000-grams settefisk i opne merdar. Med avlusing.

Vekt ved utsett	**100 gram**		**500 gram**	**1 000 gram**
	5 avlusingar	10 avlusingar	3 avlusingar	2 avlusingar
Produksjonskost – u/avlusing	*Kr 28,0*		*Kr 28,9*	*Kr 30,8*
Produksjonskostnad - avlusing	Kr 31,3	Kr 33,8	Kr 30,7	Kr 32,4
Differanse (med/utan avlusing)	Kr 3,3	Kr 5,8	Kr 1,8	Kr 1,6
Direkte avlusingskostnad/kg	Kr 1,5	Kr 3,0	Kr 1,0	Kr 0,8
Slakta biomasse (tonn)[a)]	12 760,9	12 145,8	13 924,3	15 159,0
Snittvekt (kg)	4,78	4,66	5,01	5,32

a) Minner om at talet settefisk til utsett er likt i kvart scenario, medan talet månader med svinn er ulikt.

I tillegg til verknad på produksjonskostnaden vert det gjort ei drøfting av potensielt inntektstap på bedriftsnivå ved nedklassing av kvalitet og pris som følgje av røff behandling og redusert helsetilstand for den behandla fisken. Følgjande er undersøkt (med utgangspunkt i 100-grams settefisk):

- Kvalitetsnedklassing på høvesvis 2,5% og 8% av kvantum ved fem lusebehandlingar
- Kvalitetsnedklassing på høvesvis 5% og 12% av kvantum ved 10 lusebehandlingar

Ein føreset ein prisreduksjon på kr 12,00/kg på nedklassa fisk. Med dei føresetnadene som er gjort, vert potensielt tap ved nedklassing estimert i storleiksorden 4 - 12,8 mill. kr ved fem avlusingar og 7,3 - 17,5 mill kr ved 10 avlusingar. Dette er eit stort inntektstap. Analysen er gjennomført berre for 100-g smolt ettersom konsekvensar for auke i produksjonskostnad m.m. er størst der. Inntektstap grunna redusert slaktevekt per fisk er ikkje teke omsyn til her.

Prisen på lusebehandlingar har og ein viktig innverknad på produksjonskostnadene. Dersom denne prisen aukar frå kr 0,50 til kr 1,00 per kg, vil produksjonskostnaden per kg rund fisk auke frå kr 33,8 til kr 36,9 ved 10 behandlingar, dvs ein auke på knapt 10%. Dette illustrerer at både talet på behandlingar og kostnad per behandling har stor innverknad på kostnadene – kr 28,00 per kg utan behandling til kr 36,80 i situasjonen med 10 behandlingar til kr 1,00 per kg.

Kap 4 – Økonomisk analyse av påvekst i lukka sjøanlegg.

Lukka eller semi-lukka oppdrettsanlegg er definert ved at dei har ei tett eller bortimot tett fysisk barriere mellom vassmiljøet til fisken og det omliggjande miljøet. Å skilje det ytre miljøet frå det interne i oppdrettsanlegget vert i aukande grad sett som ein fordel for laksevelferd, fiskehelse og oppdrettsøkonomi parallelt med aukande fiskehelse- og luseproblem i opne merdar.

Ettersom lukka anlegg framleis er på utviklings- og konseptstadiet er det mest teknologiske vyer og investeringsvilje som set grenser for korleis ein kan tenkje seg slike anlegg i framtida. Ei oversikt over utviklingskonsept og utprøving av lukka anleggsdesign indikerer solies monaleg variasjon i konsept og føresetnader for teknologi, skala, utforming og driftsfunksjonar. Å gjere ei generell økonomisk analyse av lukka anlegg er dermed vanskeleg, ettersom det er stor uvisse om både investeringar, produksjonsvariablar, kostnader og kostnadsdrivarar i drift. Det er elles uvisst korleis selskap i næringa i praksis vil implementere lukka anlegg i sine driftsplanar.

Av dei lukka konsepta som er under utvikling og utprøving i dag, skjer produksjonen gjerne som FOU-løyve. Ein konsekvens av at det i tillegg er blitt iverksett ei søknadsordning for tildeling av utviklingsløyve er stor grad av teknologisk innovasjon, både når det gjeld lukka og andre innovative produsjonskonsept.

I analysen av oppdrett i lukka anlegg tek ein utgangspunkt i eit anleggsvolum, investeringsanslag og føresetnader om tettleik inspirert av AkvaDesign, ettersom dette konseptet har vore mellom dei fyrste til å kome i gang med utprøving og dokumentasjon. Analysen ser på påvekst av 100-grams settefisk i lukka anlegg heilt fram til slakt, samt på ei todelt påvekstfase i lukka og opne merdar. Det er teke utgangspunkt i produksjonsplan og føresetnader frå tidlegare analysar i kapittel tre, for så å undersøke verknaden på produksjonskostnaden dersom ein justerer investeringane til eit estimat for lukka heller enn open merdkapasitet, med anslag over driftskostnader som energi, oksygen, vedlikehald, bemanning og slam.

Resultata av kostnadsanalysen for lukka oppdrett viser at lukka produksjon gjev høgare produksjonskostnad enn tradisjonelt oppdrett som fylgje av store investeringar og auka driftskostnader. Med dei føresetnadene om investeringar som vert lagt til grunn for full produksjonssyklus i lukka anlegg finn ein at det vil vere vanskeleg å forsvare skilnaden i investeringsbeløp, med mindre ein opplever heilt spesielt krevjande utfordringar som ein kan

addressere ved overgang til lukka produksjon. For lukka merdanlegg med full syklus kjem ein fram til ein produksjonskostnad på kr. 37,90/kg. Til samanlikning er estimert produksjonskostnad for open merd utan avlusing kr 28,00/kg og kr 33,80/kg ved 10 avlusingar.

Tabell 19. Samanlikning av scenario og estimat – påvekst av 100-grams settefisk i lukka og open merd

	Lukka merdanlegg – full syklus	Kombi. lukka/open	Open merd u/ avlusing	Open merd, 5 avlusingar	Open merd, 10 avlusingar
Produksjonskostnad per kg	37,9	32,6	28,0	31,3	33,8
Slakt per år (tonn):	14 267	14 267	14 271	12 761	12 146
Produksjon (kg) per kg MTB	2,0	2,0	2,0	1,82	1,73
Produksjon (kg) per m^3 merdvolum	28	12	12	11	10
Investering per m^3 merdvolum (kr)	4 033	1 381	960	960	960

Med utsett av 100-grams settefisk til ei lukka eining og vidare påvekst fram til slakt vert syklusen for lang og snittvekta/snitt-tettleik per eining for låg til at dette er økonomisk. Ein vil difor truleg vurdere andre produksjonsmodellar ved bruk av denne typen anlegg – anten med utsett av større settefisk eller eventuelt som mellomstasjon for produksjon av postsmolt til vidare påvekst opne merdar. På den måten kan snittvekta på biomassen i anlegget verte høgare, omlaupssnøggleiken større og ein får større produksjon og kapasitetsutnytting per kubikk. I eit scenario som er analysert med kombinert lukka og open produksjon finn ein at produksjonskostnaden vert kr 32,60/kg som er monaleg lågare enn for full syklus i lukka anlegg (også her er kapasitetsutnytting eit problem, ettersom anlegget ikkje har fisk mykje av tida).

Det står att å sjå om lukka einingar i sjø vil verte tekne i bruk kommersielt og finne sin plass i oppdrettsselskapa sine produksjonsplanar. Potensielt kan lukka anlegg opne for betre høve til å levere settefisk av ønska storleik til ønska tid, å korte ned eksponeringstida i opne anlegg og å auke utnytting og omlaupssnøggleiken ved matfisklokalitetane.

Samanlikning av resultat

Ein del resultat frå rapporten er oppsummert i tabell 4. Matfisk på land har den klart største produksjonskostnad med kr. 43,60/kg, medan lukka merd har kr. 37,90/kg. Dei andre alternativa, påvekst av 100-g smolt med fem avlusingar, 500-g smolt med tre avlusingar, 1 000-g smolt med to avlusingar og bruk av lukka- og open merd i kombinasjon har produksjonskostnader som varierer mellom kr. 31,30 – 32,60, medan ein for 100-g smolt med 10 avlusingar er oppe i kr. 33,80/kg.

Tabell 4. Samanlikning av produksjonskostnader, investeringskostnad per kubikkmeter og produksjonskvantum per kubikkmeter.

	Matfisk land	Lukka merd	Lukka/ open kombi	100-g 5 avlus.	100-g 10 avlus.	500-g 3 avlus.	1 000-g 2 avlus.
Prod.kost./kg	43,60	37,90	32,60	31,30	33,80	31,00	32,40
Kg/m^3	133	28	12	11	10	15	20
Inv./m^3	13 498	4 033	1 381	960	960	1 210	1 410

Investeringar per m^3 er absolutt størst for matfisk land (kr. 13 498) etterfulgt av lukka merd (kr. 4.033), medan andre alternativ varierer mellom kr 960-1.410. Dei større investeringane er naturlegvis med på å forklare høgare produksjonskostnad for matfisk på land og i lukka merd. Til gjengjeld er produksjon per kubikkmeter klart størst for matfisk land.

Vidare analyse

Potensialet for nye produksjonsmodellar i lakseoppdrett introduserer mange interessante problemstillingar – og langt fleire enn ein har hatt høve til å analysere her. Risikoanalysen viser at landbasert oppdrett kjem an på god koordinasjon mellom biologi, teknologi, kjemi og økonomi. RAS-teknologi kan opne for både høve og utfordringar i dette kryssingspunktet, og ein ser ut til å vere på eit stadium i læreprosessen der både teknologi og biologi vil halde fram med å vere i utvikling, medan viktige relasjonar mellom vasskjelder, teknologi og biologi i aukande grad vert kartlagt og forstått. Frå industrien har det vore uttrykt stor interesse for auka kunnskap på desse områda.

Det ser framleis ut til å gjenstå å demonstrere tilfredsstillande kontroll med produksjon i kommersielt landbasert matfiskoppdrett av laks på konsistent basis. Samstundes kan ein kanskje heller ikkje vente at potensialet er teke ut på eit så tidleg stadium, verken når det gjeld utviklinga av teknologiske konsept, bruk og behandling av riktige vasskjelder, vassbehandlingssystem eller variablar som biologisk seleksjon og tilpassing av fisk for dei tilhøva som ein har i RAS og øvrige landbaserte produksjonskonsept.

Mange problemstillingar er interessante for vidare analyse i denne samanheng, inkludert skilnader i teknologisk og biologisk risiko mellom alternative vassbehandlingssystem og vasskjelder (RAS og gjennomstraumings-/gjenbruksløysingar), samt skilnader i bruk av viktige innsatsfaktorar som vatn og energi, driftsvenlegheit, høve og løysingar for biotryggleik, samt investeringar og driftskostnader ved ulike teknologiske konsept. Medan risikovurderingar og problemstillingar i landbaserte anlegg vil kunne vere ulike for produksjon av matfisk samanlikna med settefisk har ein i denne delrapporten ikkje presentert separat teknologisk og biologisk risikoanalyse for produksjon av stor settefisk.

Som nemnt innleiingsvis er det fleire interessante og viktige økonomiske problemstillingar utover kostnadsanalyse som fell dei utanfor rama for denne rapporten. Dette omfattar likviditetsbudsjettering og investeringsanalyse. Likviditet er særleg relevant for ein del av dei problemstillingane som vert analysert her med store investeringar og relativt ny teknologi. For fullskala landbasert produksjon, der det tek fleire år før ein når opp i likevektsproduksjon, er tilgang på kapital ei stor utfordring. Eventuelle uhell i produksjonen, t.d. uventa bortfall av ein generasjon, kan føre til store problem for likviditeten og i verste fall refinansiering av bedrifta eller jamvel konkurs. Investeringsanalyse er heller ikkje gjennomført. Investeringsanalyse for samanlikning av alternative produksjonsmetodar kan vere krevande særleg når det gjeld produksjon av storsmolt og påvekst i opne merdar. Dette mellom anna fordi dei to aktivitetane gjerne vert gjennomført i integrerte bedrifter, som gjer det mindre naturleg med separate investeringsanalysar for dei to delaktivitetane.

Når det gjeld analysane av oppdrett i sjø (opne merdar) har ein fokusert på biologisk risiko i form av lus og lusebehandlingar, medan sjukdom og andre omsyn ikkje er omtalt

eksplisitt. Dette gjeld også i dei økonomiske analysane. Dette inneber at ein fyrst og fremst analyserer postsmoltstrategien i lys av utfordringar med lus, og dermed fordelen ved å unngå lang eksponeringstid til desse problema i sjø. I den samanheng kan det nemnast at det kan vere skilnader i motivasjonen til bruk av postsmolt: ifylgje industrikjelder synest det som om foretak i nord primært nyttar postsmolt for å tette MTB-hol, medan ein i sør primært er interessert i å redusere kostnader ved lus. Vidare kan det som nemnt vere avgrensingar på utsettsvindauge, både som fylgje av pålagte restriksjonar og samkøyring av brakklegging, samt eventuelt val om å unngå utsett i periodar med stor sjukdomsrisiko.

Det kan her vere på sin plass å nemne at verkty som simuleringsmodellar med høve til optimering mot ein eller fleire variablar, gjerne kan kome fram til betre kombinasjonar av postsmolt-storleik, utsettstidspunkt og tal fisk per utsett, tilpassa aktuelle avgrensingar og føresetnader på bedriftsnivå. I motsetnad til analysen i denne rapporten med tre faste scenario – 100-gram, 500-gram og 1 000-gram settefisk – kan ein la optimerings-verkty jobbe motsett veg for å finne best mogeleg løysing. Enkelte aktørar i industrien nyttar slik modellar for evaluering av settefiskstrategiar. Vidare strategiar som bruk av ulike settefiskstorleikar i kombinasjon er heller ikkje analysert i denne rapporten. Kombinasjonar av storleikar kan gje auka fleksibilitet til å optimalisere mot MTB-taket samanlikna med berre èin storleik, spesielt der ein står overfor avgrensingar i form av utsettsvindauge og lokalitetar.

Ein merknad til analysen av avlusingskostnadar er at analysemodellen i seg sjølv ikkje kan estimere smitterisiko og populasjonsdynamikk. Ein tek til dømes ikkje stilling til om det er skilnad i sesong, biomassetettleik, tidsperiode sidan siste brakklegging eller anna som er av betyding for når behandlingsbehovet oppstår. Utan dette må ein gjere føresetnader på andre måtar om når og kor ofte avlusing skjer. Eit problem med dette er at dei føresetnadene som ein legg til grunn om avlusingstidspunkt og fiskestorleik gjev utslag i kostnaden og i skilnaden mellom alternativa.

Med tanke på vidare forsking vil modellar som kan ta omsyn til faktorar som lokale smittetilhøve, populasjonsdynamikk og dermed sesongvis risikoprofil i sjø vere meir høvelege for å tilpasse produksjonsplanar i praksis, og til å estimere avlusingsbehovet ved ulike produksjonsplanar. Dette er og svært interessant med tanke på å kaste lys over problemstillingar som næringa står overfor med omsyn til førebyggande tiltak, geografisk koordinering og tilnærmingar til brakklegging og bruk av lokalitetar, ikkje minst under dei nye soneforskriftene.

VEDLEGG

A.1 Vedlegg 1: Temperaturprofil ved Bud, 5 meter djup

Månad	Dagar i månaden	Snittemperatur (Bud, 5m)
Jan	31	6.0
Feb	30	5.6
Mar	31	5.6
Apr	30	5.5
May	31	7.6
Jun	30	10.1
Jul	31	12.7
Aug	31	14.3
Sept	30	13.9
Oct	31	11.8
Nov	30	9.4
Dec	31	8.1

A.2 Vedlegg 2: UTREKNING AV FÔRBEHOV

= bFCR * Brutto tilvekst per år (ved full produksjon):

= bFCR * (årleg slakt + svinn biomasse - vekt biomasse ved utsett)

A.3 Vedlegg 3: Bemanning i sjøbasert oppdrett (Fiskeridirektoratet)

Salg og andre lønnsomhetsmål
Gjennomsnittstall pr. tillatelse - hele landet

	2013	**2014**	**2015**	**2016**
Antall årsverk	3.6	3.7	3.8	4.2

Vedlegg med utdjupande informasjon om produksjonsplanane frå og med kapittel 3 er tilgjengeleg frå forfattarane.