



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Landbasert oppdrett av atlantisk laks (*Salmo salar*)

Land-based farming of Atlantic Salmon (*Salmo salar*)

Marie Skullerud
Akvakultur

Vera Sofie Winther Martinussen
Entreprenørskap og innovasjon

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på våre masterstudier i akvakultur og entreprenørskap og innovasjon ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU).

Prosessen med å skrive masteroppgave innen landbasert lakseoppdrett har vært utrolig lærerik. Det har vært morsomt å jobbe tverrfaglig og opparbeide oss kunnskap innen et fagfelt det ikke er mulig å lære fra bare lærebøker. Vi ønsker at denne oppgaven kan være et positivt bidrag til den landbaserte oppdrettsnæringen.

Vi ønsker å takke vår hovedveileder Odd-Ivar Lekang og tilleggsveileder Bernt Aarset for god veiledning og innspill rundt problemstillingen i denne perioden. Vi setter pris på engasjementet dere har vist til å hjelpe oss med denne tverrfaglige oppgaven. Vi vil også takke biveilederen vår Kristoffer Larsen Kvame for ekstra hjelp og gode ideer, informanter for nyttig informasjon, samt venner og familie for hjelp her og der.

Til slutt vil vi takke hverandre for godt samarbeid og stor vilje til å lære av hverandre.



Marie Skullerud

Ås
16. mai 2022



Vera Sofie Winther Martinussen

Sammendrag

Verden trenger mer mat, men produserer per i dag ikke nok. Norge eksporterte 1,4 millioner tonn fra havbruk i 2021. Regjeringen legger til rette for teknologiutvikling som kan ekspandere produksjonen gjennom å utnytte potensialet til marine råstoffer.

Dette har ført til at flere bedrifter planlegger å drive med slik produksjon. De senere årene har landbasert lakseoppdrett for matfisk fått økende interesse.

Konvensjonell lakseoppdrett begynner med laks i tanker på land, men flyttes så til merder for å vokse til slakteklar vekt. I merder har man tetthetsbegrensning på 25 kg/m³ og konsesjoner for å drive slik oppdrett er svært kostbart. Det har vært en økning i kostnader per kg produsert laks som følge av økt førkostnad og kostnader tilknyttet fiskehelse. Den største utfordringen til konvensjonell lakseoppdrett er lakselus. Bedrifter som flytter hele produksjonen på land møter ikke på de samme utfordringene. Landbaserte akvakulturkonsesjoner er vederlagsfri, og anleggene har større kontroll på hva laksen utsettes for. I landbasert oppdrett benyttes teknologier som resirkuleringssystemer, gjennomstrømming og hybrid, hvor førstnevnte er den dominerende teknologien blant bedrifter.

I Norge er det tre bedrifter som er i aktiv drift med landbasert produksjon av matfisk med atlantisk laks. Til sammen har de en kapasitet på 2 600 tonn. Blant bedrifter som enda ikke er i drift, er det i Norge en planlagt kapasitet på 579 421 tonn sammenlignet med en planlagt kapasitet på 1 119 927 tonn blant bedrifter ellers i verden. I dag produseres 48 657 tonn landbasert atlantisk oppdrettslaks i verden.

For å ha lønnsom drift er man nødt til å ha høy stående biomasse. Av biologiske grunner vil ikke laks i en gruppe vokse likt og variasjon i størrelse gjør det mer utfordrende for oppdretter å planlegge slaktetidspunkt og salg. Flytting og sortering er avgjørende tiltak for å få bedre kontroll på beholdningen og øke omløpshastigheten, da sortering reduserer spredningen. Variasjonskoeffisienten (CV) for en tank blir mindre jo mer man reduserer spredning i størrelse. Samtidig har denne masteroppgaven vist at CV tenderer til å øke når laksens vekt øker. Basert på innhentede data kom oppgaven videre frem til at man kan forvente en CV på 32 i størrelsesorden fem kg.

Abstract

The world requires more food and is in need of increased food production. Norway exported 1.4 million tonnes from aquaculture in 2021. The Norwegian government is facilitating technology development that can expand production by exploiting the potential of marine raw materials.

This has led to several companies planning to engage in such production. In recent years, land-based salmon farming for grow-out has gained increasing interest.

Conventional farming begins with salmon in tanks on land but transfers the fish to cages to grow-out. In cages, there is a density limit of 25 kg/m³ and licenses to conduct such farming are expensive. There has been an increase in costs per kg of salmon produced as a result of increased feed costs and costs associated with fish health. The biggest challenge for conventional salmon farming is salmon lice. Companies that transfer production on land do not face the same challenges. Land-based aquaculture licenses are free of charge and the facilities have more significant control over what the salmon are exposed to. In land-based farming, technologies such as recirculating aquaculture system, flow-through system and hybrid flow-through system are used, whereas RAS is the most dominant technology among companies in the sector.

In Norway, three companies are in active operation with production of land-based grow-out with Atlantic salmon. In total, they have a capacity of 2,600 tonnes. Among companies that are not yet in operation, there is a planned capacity of 579,421 tonnes in Norway, compared with a planned capacity of 1,119,927 tonnes in the world. Today, 48,657 tonnes of land-based Atlantic farmed salmon are produced in the world.

To have profitable operations, one must have a high-standing biomass. For biological reasons, salmon in a group will not grow equally and variation in size makes it more challenging for the breeder to plan the time of slaughter and sale. Moving and sorting are crucial actions to gain better control of the stock and increase the turnover rate, as sorting reduces the spread. The coefficient of variation (CV) for a tank becomes smaller the more you reduce the spread in size. At the same time, this master's thesis has shown that the CV tends to increase when the salmon's weight increases. Based on obtained data, this thesis further inferred that one can expect CV to be 32 when fish weight is approximately five kg.

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|-----------|
| SAMMENDRAG | 2 |
| ABSTRACT | 3 |
| FIGURLISTE | 6 |
| TABELLISTE | 6 |
| BEGREPSLISTE | 7 |
| 1. INTRODUKSJON | 8 |
| 1.1 BAKGRUNN OG MOTIVASJON | 8 |
| 1.2 OPPGAVENS BIDRAG OG RELEVANS | 10 |
| 1.3 MÅL OG PROBLEMSTILLING | 11 |
| 1.4 OPPBYGGING AV OPPGAVEN | 12 |
| 2. METODE | 13 |
| 2.1 KARTLEGGING AV OVERSIKTEN | 13 |
| 3. OPPDRETTSNÆRINGEN I NORGE OG VERDEN | 16 |
| 3.1 KONVENSJONELL LAKSEOPPDRETT | 17 |
| 3.2 LANDBASERT LAKSEOPPDRETT | 18 |
| 3.2.1 Resirkulerende akvakultursystem (RAS) | 19 |
| 3.2.2 Gjennomstrømming (FTS) | 31 |
| 3.2.3 Hybrid (HFS) | 32 |
| 3.2.4 Oppsummering | 34 |
| 3.3 KOSTNADER I OPPDRETTSNÆRINGEN | 35 |
| 3.3.1 Produksjon i sjø | 35 |
| 3.3.2 Kostnader tilknyttet fiskehelse | 36 |
| 3.3.3 Produksjon på land | 36 |
| 3.4 LOVER OG TILLATELSER FOR LANDBASERT OPPDRETT | 39 |
| 3.4.1 Generelle lover for landbasert akvakultur | 39 |
| 3.4.2 Krav til vannkvalitet | 40 |
| 4. STATUS LANDBASERT OPPDRETT | 42 |
| 4.1 INNSYN I NORSKE AKTØRER | 42 |
| 4.2 EKSISTERENDE OPPDRETTSANLEGG | 43 |
| 4.2.1 Landbasert anlegg i Norge | 43 |
| 4.2.2 Landbaserte anlegg i verden | 44 |
| 4.3 PLANLAGTE PROSJEKTER | 45 |
| 4.3.1 Planlagte prosjekter i Norge | 46 |
| 4.3.2 Planlagte prosjekter i verden | 48 |
| 5. BEHOVET FOR FLYTTING OG STØRRELSESSORTERING | 50 |
| 5.1 INTERNTRANSPORT AV FISK | 50 |
| 5.2 VARIASJON I STØRRELSE | 53 |
| 5.2.1 Avl og genetik | 53 |
| 5.2.2 Forventet spredning | 55 |
| 5.3 UTFORDRINGER TILKNYTTET FLYTTING OG SORTERING | 58 |
| 5.3.1 Fiskevelferd | 59 |
| 5.3.2 Feilkilder | 61 |
| 6. FELLES DISKUSJON | 62 |

| | |
|---|-----------|
| 6.1 DEN LANDBASERTE OPPDRETTSNÆRINGEN..... | 62 |
| 6.2 DAGENS STATUS..... | 64 |
| 6.3 NYTTEN AV FLYTTING OG STØRRESESSORTERING..... | 66 |
| 6.4 VIDERE ARBEID..... | 68 |
| 7. KONKLUSJON..... | 70 |
| REFERANSELISTE..... | 71 |

Figurliste

| | |
|--|----|
| Figur 1. Eksportert mengde atlantisk laks (utarbeidet på tall fra Fiskeridirektoratet, 2022b) | 9 |
| Figur 2. Konvensjonelt oppdrettsanlegg i sjø (Misund, 2021) | 17 |
| Figur 3. Et landbasert oppdrettsanlegg med RAS-teknologi (Havforskningsinstituttet, 2021) | 19 |
| Figur 4. Systemskisse av et RAS-anlegg koblet til én tank | 21 |
| Figur 5. Produksjonstank for matfisk (FMV Foto ved Ove Tøpfer, Fredrikstad Seafoods, 2022) | 22 |
| Figur 6. Trommelfiltre (FMV Foto ved Ove Tøpfer, Fredrikstad Seafoods, 2022) | 23 |
| Figur 7. To hovedprinsipper for å utligne gasstrykk mellom vann og luft (Lekang, 2020) | 29 |
| Figur 8. Forenklet systemskisse av kolonnelufter (bygget på Lekang, 1997) | 30 |
| Figur 9. Systemskisse av FTS | 32 |
| Figur 10. Systemskisse av HFS | 33 |
| Figur 11. Produksjonsdrift uten sortering (Lekang, 2020) | 50 |
| Figur 12. Produksjonsdrift med sortering (Lekang, 2020) | 51 |
| Figur 13. Genetisk gevinst fra en generasjon til den neste. S er seleksjonsdifferansen og R er seleksjonsresponsen | 53 |
| Figur 14. Forventet spredning i størrelse på laks, basert på nesten 40 000 individer | 56 |
| Figur 15. Forventet spredning i størrelse på laks, basert på nesten 40 000 individer | 56 |
| Figur 16. Forventet variasjonskoeffisient ved gitt størrelsesorden | 57 |
| Figur 17. Forventet spredning i tank med en gjennomsnittsstørrelse på fem kg | 58 |

Tabelliste

| | |
|---|----|
| Tabell 1. Krav til oksygeninnhold for laksefisk sammenlignet med torsk (Rosten et al., 2004) | 30 |
| Tabell 2. Fordeler og ulemper ved konvensjonell oppdrett, RAS, FTS og HFS | 34 |
| Tabell 3. Kostander per kg laks (utarbeidet fra Fiskeridirektoratet, 2020b) | 35 |
| Tabell 4. Total kostand til marked per kg laks i norske kroner (utarbeidet fra Grønvik, 2021) | 37 |
| Tabell 5. Produksjonsmål (utarbeidet fra Bjørndal & Tusvik, 2018) | 37 |
| Tabell 6. Ulike biomasser i kg ved gitt tankvolum og fisketetthet | 38 |
| Tabell 7. Bedrifter i Norge som driver med landbasert lakseoppdrett per mars 2022. Dette er så mye man klarer å finne basert på åpne kilder. | 44 |
| Tabell 8. Anlegg i utlandet i drift. Anlegg med * har oppnådd denne kapasiteten eller produserer med mer. Dette er så mye man klarer å finne basert på åpne kilder. | 45 |
| Tabell 9. Planlagt produksjonskapasitet i Norge. Dette er så mye man klarer å finne basert på åpne kilder. | 47 |
| Tabell 10. Planlagte prosjekter i verden. Dette er så mye man klarer å finne basert på åpne kilder. | 49 |

Begrepsliste

Havbruk - Akvakultur som omfatter oppdrett og dyrking av organismer under kontrollerte forhold

Fiskeri - Høsting av ville bestander

Sjømat - Fellesbetegnelse for all mat som kommer fra havet

Merd - Åpen notpose som holder oppdrettsfisk i sjøen

Klekkeri - Anlegg for kunstig klekking av fiskerogn

Parr - Ung laksefisk som lever i ferskvann

Smoltifisering - En fysiologisk prosess som tilpasser fisk å tåle saltvann

Smolt - Laksefisk som har gjennomgått smoltifisering og med det er klar for å utvandre fra ferskvann til saltvann

Postsmolt - Laksefisk som er i det første stadiet etter smoltifisering og i påvekstfasen

Matfisk - Fisk som er ment til mat og som oppdrettes til slakteklar størrelse

Stamfisk - Kjønnsmoden foreldrefisk som brukes til å avle frem fremtidens oppdrettslaks

Brønnbåt - Båt som er spesialbygget til å frakte fisk

Biomasse - Mengde levende fisk, i tonn

MTB - Maksimal tillatt biomasse (sier hvor mange levende fisk man kan ha stående til enhver tid)

Bærekraftig utvikling - Tilfredsstillende utvikling av dagens behov som ikke går på bekostning av fremtidige generasjoner muligheter for deres behov

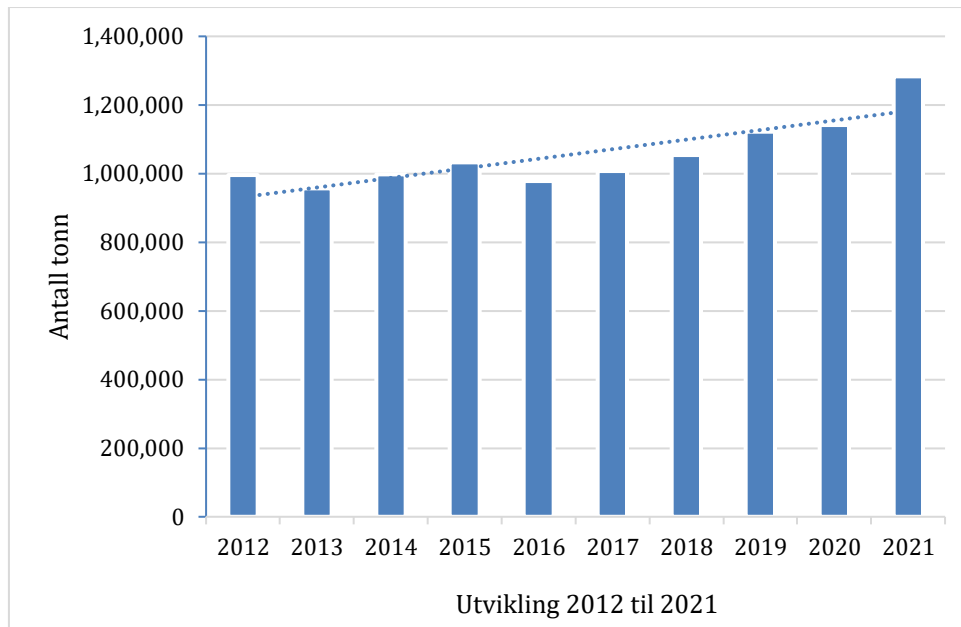
Avlsverdi - "Den sanne avlsverdien til et dyr for en bestemt egenskap er summen av de additivt virkende genene til dyret som påvirker denne egenskapen." (Geno, 2020)

1. Introduksjon

1.1 Bakgrunn og motivasjon

Verdens befolkning vokser raskere enn noen gang og det medfører et økende behov for å fø bfolkningen med næringsrik og bærekraftig mat. Jordens overflate er dekket med 70 prosent vann, men bare to prosent av verdens matproduksjon kommer fra havet (Havforskningsinstituttet, 2019). Produkter fra fiskeri og havbruk er allsidig mat og en sunn kilde til omega-3-fettsyrer og andre viktige næringsstoffer (Regjeringen, 2021b). Av alle husdyr er fisk det mest effektive dyret å produsere fordi fisk har lav fôrfaktor. Fôrfaktoren forteller hvor mange kg fôr fisken må spise for å øke vekten sin med 1 kg (Misund, 2019). Jo lavere fôrfaktoren er, desto mer fôreffektiv er fisken som betyr at man kan produsere mer for samme mengde fôr. Det er mer bærekraftig og økonomisk lønnsomt. Andelen matproduksjon fra havet har betydelig potensial til å øke og det vil være fremtidsrettet å satse på marine ressurser (Madsen et al., 2021).

Aldri før har Norge produsert og eksportert så mye sjømat som i 2021. Havbruk utgjorde 71 prosent av denne verdien (NorgesSjømatråd, 2022). Innen havbruk eksporteres det arter som ørret, torsk, sei og laks. I 2021 eksporterte Norge 63 262 tonn ørret, 198 510 tonn torsk, 348 891 tonn sei og laks er den desidert mest solgte med 1 285 291 tonn (NorgesSjømatråd, 2021). Laksearten heter atlantisk laks (*Salmo salar*) og mengden solgt laks har økt de siste ti årene (figur 1) (Fiskeridirektoratet, 2022b). Totalt eksporterte Norge 1,4 millioner tonn fra havbruk. Sammenlignet med 2020 steg lakseeksporten med 16 prosent og tilsvarte 81,4 milliarder kroner i 2021.



Figur 1. Eksportert mengde atlantisk laks (utarbeidet på tall fra Fiskeridirektoratet, 2022b)

Over halvparten av verdens oppdrettslaks blir produsert i Norge (Misund, 2021). Sammen med resten av artene i næringen utgjør de den nest største eksportvaren etter olje og gass, noe som gjør den til Norges største bærekraftige eksportvare (Regjeringen, 2021a).

Produksjonsøkningen er positiv sett i lys av behovet for mer mat, men det er likevel ikke tilstrekkelig for å mette verdenspopulasjonen.

Noen av FNs bærekraftsmål er å utrydde sult, stoppe klimaendringene og fokusere mer på livet i havet (FN-sambandet, 2022). I 2021 la Norges regjering frem en havbruksstrategi for å lykkes som havbruksnasjon, hvor målet er å legge til rette for bærekraftig vekst (Regjeringen, 2021a). I strategien vil regjeringen “fortsatt investere i forskning og utvikling som muliggjør en mer høyverdig utnyttelse av marint råstoff”. Videre vil de “legge til rette for en teknologiutvikling som kan bidra til å løse miljø- og arealutfordringer i havbruk, herunder påvirkning fra lakselus og smittespredning av sykdommer”.

Å flytte fiskeoppdrett på land er én løsning på å ekspandere produksjonen uten å gå på bekostning av fjorder, havområder og marine økosystemer. Areal- og miljømessige utfordringer ved landbasert fiskeoppdrett blir ikke gjort rede for i denne oppgaven. Som ved de fleste produksjonsmetoder finnes det ulemper også ved landbasert produksjon - for eksempel høye investeringskostnader. Et viktig argument for å drive landbasert produksjon er at en unngår lakselus som er den største utfordringen i sjøbasert oppdrett.

Fra oppdrettsnæringen begynte på 1970-tallet har fiskehelsen bedret seg betraktelig. Takket være vaksiner og strenge avlsprogrammer har Norge svært frisk laks i dag. Sammenlagt fra både oppdrettsørret og oppdrettslaks ble kun 0,8 prosent av sjølokalitetene behandlet med antibiotika i 2020, noe som utgjør en nedgang på 99 prosent fra da antibiotikabruken var på sitt høyeste siste halvdel av 1980-tallet (Akselsen et al., 2020). Likevel sliter næringen med lakselus fordi vaksinen ikke bekjemper lakselusparasitten. Dersom laksen svømmer i tanker på land, med kontroll over vannet som pumpes inn, kan man redusere lakselusproblemet.

Ideen om landbaserte løsninger er ikke ny, men interessen for næringen og utviklingen av nye løsninger er stigende. Stamfisk, klekkerier og unglaks har lenge blitt produsert på land. Nå er fokuset på den landbaserte produksjonen også rettet mot matfisk. Per i dag finnes det få aktører i Norge og ellers i verden som driver matfiskoppdrett på land i stor skala. Det er relativt få bedrifter i aktiv drift og dermed mangler man mye erfaring. På den andre siden har Norge opparbeidet flere tiårs erfaring fra sjøbasert oppdrett. Den erfaringen kan utnyttes i landbasert oppdrett selv om produksjonen byr på noen andre utfordringer på land. Hvordan man kan løse en av disse utfordringene blir belyst nærmere i denne oppgaven.

1.2 Oppgavens bidrag og relevans

Denne oppgaven gir en innføring i hvordan landbasert lakseoppdrett fungerer, og belyser hvor langt i utviklingen denne næringen er kommet i 2022. Til slutt vil oppgaven vise hvordan man kan benytte kunnskap som finnes om den sjøbaserte oppdrettsindustrien, og overføre kunnskapen til landbaserte anlegg. Selv om mye er likt, er det også flere aspekter ved disse to produksjonsmetodene som er forskjellig. Det er fordeler og ulemper ved begge, så det vil være hensiktsmessig å sørge for at de landbaserte anleggene som bygges fremover er godt gjennomtenkte slik at man kan dra nytte av disse fordelene og jobbe med å redusere ulemper.

For å lykkes med landbasert lakseoppdrett er det mange faktorer som må tas nøye hensyn til; riktig fisketetthet, tilstrekkelige renseprosedyrer og optimal vannkvalitet for å nevne noen. I motsetning til sjø, er det på land ekstra viktig å sikre høy utnyttelsesgrad av anlegget for å holde det økonomisk lønnsomt. Mer spesifikt handler dette om til enhver tid å ha høyest mulig stående biomasse for å veie opp for de store kostnadene som medfører det å drive

landbasert. Samtidig er det viktig å ikke produsere mer fisk enn det som er tillatt via konsesjonene en får tildelt.

I tillegg til lønnsomhet kan det være gunstig å sortere fisk etter størrelse av hensyn til fiskens egen fiskevelferd. Det forutsetter at fisken tåler den fysiske prosessen, noe som er diskutert mer i kapittel 5. Dersom man sorterer vil fisken svømme blant fisk med tilnærmet lik størrelse og dermed ha mindre spredning i størrelse fra annen fisk i samme tank. For stor variasjon kan føre til en ond sirkel der mindre fisk får mindre mat og dårligere appetitt, blir mer stresset og i verste fall ender med å dø. Av hensyn til velferd og lønnsomhet kan det derfor være høyst relevant å holde laks i tanker sortert etter vektklasse. Gjennom teoretiske forklaringer og oppdatert informasjon er denne oppgaven et informativt bidrag til alle involverte parter innen landbasert lakseoppdrett.

1.3 Mål og problemstilling

Formålet med denne oppgaven var å forklare hva landbasert lakseoppdrett er og kartlegge en oversikt over planlagte og allerede bygde anlegg per våren 2022. Videre var målet å belyse at ujevn tilvekst er spesielt viktig å ta hensyn til, og at det gir et behov for å sortere etter størrelse, når man skal produsere på land.

Problemstillingen tar utgangspunkt i ovennevnte mål i tillegg til et ønske om å forstå mer om de økonomiske og velferdsmessige konsekvensene ved å flytte lakseproduksjonen på land sett i lys av dagens lovverk. Kunnskap innenfor sistnevnte område er ikke tilstrekkelig per dags dato. Problemstillingen er:

Landbasert oppdrett av atlantisk laks (Salmo salar): teknologi, dagens status og utfordringer tilknyttet variasjon i størrelse blant laks i produksjonsenheter

- Hva er landbasert lakseoppdrett?
- Hva er nåværende og planlagt kapasitet (produksjon i tonn) av landbasert lakseoppdrett i Norge og verden våren 2022?
- Hvorfor er det behov for hyppigere flytting og størrelsessortering enn i konvensjonell oppdrett?

1.4 Oppbygging av oppgaven

Oppgavestrukturen er bygd opp av de syv kapitlene: introduksjon, metode, oppdrettsnæringen i Norge og verden, status landbaserte anlegg, behovet for flytting og sortering, og til slutt en felles diskusjon etterfulgt av en konklusjon. Introduksjonen beskriver bakgrunn for valg av oppgaven og oppgavens relevans. Her forklares også problemstillingen og spørsmålene oppgaven besvarer. Metoden beskriver hvordan data har blitt innhentet og hvorfor valgt metode var fornuftig. Kapittel 3 gir en beskrivelse av ulike teknologier man kan benytte i landbaserte oppdrettsanlegg. Kapitlet gir også en innføring i oppdrettsnæringens historie, ulike kostnader og gjeldende lover. Kapittel 4 forklarer dagens status for landbasert oppdrett både i Norge og verden, mens kapittel 5 tar for seg problemstillingen tilknyttet behovet for å flytte og sortere fisk når man produserer laks på land. Siste del av oppgaven består av en felles diskusjon og en konklusjon med anbefalinger til videre arbeid.

2. Metode

Landbasert lakseoppdrett av matfisk har fått en oppblomstring de senere årene og åpner opp for en ny type virksomhet. Det meste av offentlig tilgjengelig informasjon innen feltet omhandler planleggings-, investerings- og/eller utprøvningsfaser. Fordi det er nytt, er det få erfaringer og lite data å hente informasjon fra. Derimot finnes det forskningsrapporter som kan knyttes opp mot og underbygge informasjon som denne oppgaven har fokus på å belyse. Derfor er oppgaven bygd opp av en kombinasjon av ulike kilder.

Dataene oppgaven bygger på er hentet fra forskningsartikler, fagbøker og aktuelle bedrifter sine nettsider og årsrapporter, samt nettsteder for nyheter omhandlende bedriftene og øvrige relevante nettsider. Litteraturen som benyttes er brukt til å vise frem parametere som er viktige for å forstå hvordan landbasert oppdrett fungerer. Kapittel 4 består også av informasjon innhentet fra bedriftsbesøk og intervjuer, mens kapittel 5 i tillegg tar for seg beregning av innhentede data fra to bedrifter. Data fra de to bedriftene ble slått sammen for å gi et så godt grunnlag som mulig for en representativ fremvisning. Datasettene bestod av gjennomsnittsstørrelser for fisk fra sjøbaserte merder som er sendt til slakt. I datasettet var individer fordelt etter vektklasse, der man kan se hvor mange individer som er i hver.

Bedriftene Fredrikstad Seafoods og MMC First Process har gitt samtykke til å bli referert til det som skrives om dem i denne oppgaven.

2.1 Kartlegging av oversikten

I forbindelse med denne oppgaven ble det lagd en oversikt over de ulike anleggene for landbasert lakseoppdrett som befinner seg i prosjektfasen, blir bygget og anlegg som allerede er i drift. Informasjonen er oppdatert per våren 2022.

Hensikten med å lage oversikten var å få et dypdykk i oppdrettsnæringen for landbasert matfiskproduksjon av atlantisk laks. Det innebar å kartlegge den overordnede interessen for slik produksjon. Metoden for å innhente denne informasjonen var litteraturstudie, bedriftsbesøk og intervjuer.

Litteraturstudie

I likhet med andre litteraturoppgaver baserer oppgaven seg på eksisterende data og kunnskap. Informasjonen ble i utgangspunktet funnet via nettsøk, men mye av informasjonen var sensitiv og derfor ikke tilgjengelig. Tabellene vist i kapittel 4 består av bedrifter det var mulig å finne offentlig informasjon om, og det er derfor ingen garanti for at den kartlagte oversikten er presis, men den gir likevel et bilde på hvilken utviklingsstatus landbasert lakseoppdrett har i dag. Tallene i kapittel 4 er beregnet ut ifra denne oppgavens funn.

I denne næringen bruker man mye innovativ teknologi og det er sterk konkurranse i markedet. Kunnskapen er verdifull informasjon som aktørene helst vil holde for seg selv. Noen norske bedrifter ble kontaktet for å samle inn informasjonen omhandlende Norges status.

Bedriftsbesøk

Det ble tidlig i skriveprosessen besøkt et anlegg som er i drift for å få en mer praktisk forståelse av hvordan slik produksjon fungerer. I løpet av besøket fikk man stilt spørsmål og diskutert hva som fungerte og hvilke utfordringer som kan oppstå. Blant utfordringene er spredning i størrelse blant laksen. Dette ledet til problemstillingen om at det er behov for flytting og størrelsessortering.

Intervjuer

Det ble holdt totalt fire intervjuer over nett. Tre av de driver eller skal drive landbasert oppdrett. Den siste er systemleverandør. De aktuelle bedriftene ble valgt basert på fremgang og mangel på informasjon på nettet. Bedriftene dekket til sammen alle de tre teknologiene denne oppgaven tar for seg, og ga en innføring i hvorfor de har valgt slik de har gjort.

I perioden intervjuene ble gjennomført, var målet å lære mer om hvordan anlegget fungerer, produksjonsplaner og hvordan de har tenkt til å løse kjente utfordringer med landbasert lakseoppdrett. Det var også av interesse å spørre om investeringer. De ulike bedriftene har ulike oppfatninger om hva som blir de største utfordringene tilknyttet slik produksjonsform. Intervjuene underbygger at utfordringene tilknyttet flytting og størrelsessortering er interessant å belyse overfor aksjonærer og næringen selv. I starten av hvert intervju ble det spurt om samtykke til å ta opptak av intervjuet og/eller notere hva som ble sagt. Det ble laget

en intervjuguide med spørsmål i forkant, men ytterligere områder ble belyst og besvart underveis i intervjuene. Kapittel 4 tar for seg resultatene fra kartleggingen.

3. Oppdrettsnæringen i Norge og verden

Akvakultur har foregått i flere tusen år. I Asia har arter som karpe og tilapia blitt oppdrettet fra start (Towers, 2010). I dag drives det fiskeoppdrett av mange ulike arter på verdensbasis. Selv om Norge eksporterer store mengder fisk, utgjør det bare 2,4 prosent av all oppdrettet fisk i verden målt i kvantum (tonn) fisk (Misund, 2021). Kina er verdens største fiskeoppdretter med over halvparten av kvantumet. Asia står dertil for 90 prosent av alt fiskeoppdrett i verden, hvor karpesfisker er den mest utbredte arten (Vøllestad & Tjernshaugen, 2021). Norge er derimot verdens største produsent av atlantisk laks.

Det finnes ulike produksjonsteknologier for hvordan man produserer laks og teknologien er i stadig utvikling. Felles for de ulike produksjonsteknologiene er at fisken må gjennom like faser. Den første fasen er stamfiskproduksjon. Her velges foreldrefisken til nye generasjoner oppdrettslaks, ved at melke og rogn blandes sammen (Misund, 2021). Etter klekking blir nøye utvalgte avkom fra stamfiskproduksjonen ført videre til settefiskproduksjon. Her ser man til at yngel vokser og til slutt smoltifiseres. Denne prosessen foregår i ferskvann. Når settefisken er smoltifisert, kalles laksen for smolt, og er klar for å leve i saltvann. Den siste fasen heter matfiskproduksjon. Her er målet å føre opp laksen til en viss størrelse som kan selges videre.

Oppdrett av andre arter foregår på varierende vis. I tråd med Misund (2021) kalles de ulike typene fiskeoppdrett for intensive, semi-intensive eller ekstensive. Intensivt oppdrett er slik man kjenner lakseoppdrett i Norge. Her lever fisken med høy fisketetthet i åpne eller lukkede merder, eller i lukkede tanker på land. Fisken føres og er hele tiden under menneskelig kontroll. I semi-intensivt og ekstensivt oppdrett lever fisken i naturlig inngjerdede områder, eller i inngjerdede områder som er åpne, slik at fisken livnærer seg selv. Semi-intensivt oppdrett gir til gjengjeld tilleggsfôr og fisken står tettere enn i ekstensiv oppdrett. Disse produksjonsformene benyttes stort sett i lavkostland og mesteparten av oppdrettet foregår i Sørøst-Asia.

Ferskvannsfisken tilapia er typisk i semi-intensivt oppdrett. Arten er populær fordi den vokser raskt og krever lite tilleggsfôr (Hjukse, 2004). Andre populære arter som karpesfisk, kan enten oppdrettes semi-intensivt eller ekstensivt, men hovedsakelig drives det mest ekstensivt (Misund, 2021). Her lever fisken relativt naturlig i stillestående dammer, men

oppdrettere påser at fisketettheten ikke overskrider behovet for tilgjengelig næring og vann (Towers, 2010).

Intensivt lakseoppdrett deles inn i ulike kategorier basert på produksjonsform. Man har blant annet konvensjonelle anlegg i sjø, eksponerte anlegg langt til havs, lukkede anlegg i sjø og lukkede anlegg på land. Miljø, art, teknologi og kapital er med på å avgjøre hva slags oppdrettsanlegg en benytter. I Norge har konvensjonelle anlegg lengst historie.

3.1 Konvensjonell lakseoppdrett

I det konvensjonelle lakseoppdrettet starter fiskens liv i tanker på land, før de blir satt ut i åpne merder i sjøen (eksempel på et sjøbasert anlegg er vist i figur 2). Lakseyngel lever i ferskvann i 8 til 18 måneder til de når en vekt på rundt 100 gram. Ved denne vekten er de ferdig smoltifisert og lever resten av livet i saltvann. Sjøfasen varer i 12 til 18 måneder alt ettersom når de når slakteklar vekt. Vanlig slaktevekt er mellom tre til seks kg, hvor fem kg er mest foretrukket.



Figur 22. Konvensjonelt oppdrettsanlegg i sjø (Misund, 2021)

De åpne merdene gir naturlig gjennomstrømming av sjøvannet og det kreves derfor ikke energi til å flytte vann. Til gjengjeld kan potensiell smitte utveksles med miljøet utenfor og avfallsstoffer fra fisk, fôr og behandlinger påvirker miljøet rundt merden. I tillegg er det fare for rømming av oppdrettslaks som følge av slitasje på veggene. Selv om oppdrettslaks stammer fra villaks i norske elver og dermed deler samme gener, har oppdrettslaksen fått

avlet frem egenskaper man ikke ønsker skal blandes med villaks. Ikke minst gir tusenvis av laks samlet på avgrensede områder problemer med rask spredning av lakselus. Ulempene knyttet med å produsere laks i åpne merder i sjø har ført til at man ønsker å utforske muligheter med å produsere på land.

3.2 Landbasert lakseoppdrett

I landbasert oppdrett lever fisken i lukkede anlegg, hvilket betyr at havet ikke blir belastet av produksjonen i lik grad som ved sjøbaserte anlegg, hvor man ikke har mulighet til å samle opp slam og andre rester. I landbasert oppdrett har man både mulighet og krav til å rense vann som forlater produksjonen. Innløpsvannet har som regel en form for rensing i form av filtrering eller desinfisering, men lukkede anlegg har likevel fått inn lakselus.

Lakselus trives der det er lyst og varmere vann, altså de øverste meterne i havet (Hoddevik, 2016). Fordi de er små kan de likevel bli dratt dypere ned med strømminger. For å redusere sannsynligheten for å få lakselus inn i et landbasert anlegg burde man altså hente vann fra dypere dybder. Vann som hentes fra minimum 25 meters dyp har vist seg å ikke ta med seg lakselus (Nilsen, 2019). Hvis det likevel oppstår lakselus i lukkede anlegg, viser Nilsen sin doktorgradsavhandling (2019) til gjengjeld at parasitten ikke klarer å reproducere seg. Det er fordi lukkede anlegg har jevnlig utskiftning av vannet, som fører til at lakselusens egg ikke rekker å klekke og formere seg videre. Landbaserte anlegg har med dette en teknologisk fordel, men teknologien har også noen forbehold.

Når man beholder fisken i tanker på land helt frem til den når slakteklar størrelse følger et behov for store landarealer og mye vann (Bjørndal et al., 2018). Produksjonen krever i tillegg nødvendig kompetanse og kontroll på fisken, teknologien og samspillet mellom disse to.

Det er energikrevende å pumpe og frakte vann fra omkringliggende elver og fjorder. I tillegg kan vannkvaliteten variere. Derfor vil teknologien avgjøre hvor stort vann- og energibehov et anlegg har. Slik matfiskanlegg bygges i dag, er teknologien man benytter i stor grad basert på lokaliteten. På den andre siden kan landbasert oppdrett i teorien drives hvor som helst, bare teknologien er utviklet godt nok og tilpasset miljøet rundt. Landbaserte oppdrettsanlegg deles

inn etter hvor mye av vannet som resirkuleres. Herunder resirkuleringsanlegg, gjennomstrømningsanlegg eller hybridanlegg.

3.2.1 Resirkulerende akvakultursystem (RAS)

En utbredt teknologi som brukes i oppdrettsanlegg er resirkulerende akvakultursystemer (RAS), eksempelvis som i figur 3. RAS-teknologi muliggjør god kontroll over vannkvalitet og øvrige faktorer som spiller inn på resultatet. Med RAS-teknologi sirkulerer vannet fra tanken til RAS-anlegget før det blir fraktet ferdig behandlet tilbake til tanken. Hvor stor andel av vannet som resirkuleres varierer noe fordi litt vann kan fordampe, men teoretisk er det mulig å resirkulere 100 prosent av vannet. I dag blir opp til 99,9 prosent av vannet resirkulert (Kraugerud, 2022).



Figur 33. Et landbasert oppdrettsanlegg med RAS-teknologi (Havforskningsinstituttet, 2021)

Som forklart i bakgrunnsheftet om resirkulering av vann i settefiskproduksjon (Fjellheim et al., 2016), kan resirkuleringsgrad defineres på tre ulike måter:

(I) Resirkuleringsgrad i %:

$$\text{Resirkuleringsgrad} = \frac{\text{Vannmengde til tank per time}}{\text{Nytt vann per time} + \text{Vannmengde til tank per time}} \cdot 100$$

(II) Utskiftning per dag i %:

$$\text{Utskiftning per dag} = \frac{\text{Tilførsel av nytt vann per dag}}{\text{Totalt vannvolum i anlegget}} \cdot 100$$

(III) Utskiftning per dag per kg fôr:

$$\text{Utskiftning per dag per kg fôr} = \frac{\text{Tilførsel av nytt vann per dag}}{\text{Daglig fôrforbruk}}$$

En fjerde måte å oppgi resirkuleringsgrad på er mengden nytt vann i et system per mengde fisk (kg) produsert. For å sammenligne ulike lokaliteter kan man bruke denne metoden.

Noen systemer har kontinuerlig vannutsiftning, mens andre skifter vannet i puljer. Det går ikke an å sammenligne disse to metodene fordi resirkuleringsgraden ikke nødvendigvis er lik selv om prosentandelen nytt vann er det. For å kunne sammenligne resirkuleringsgrad fra forskjellige anlegg må alt være helt likt. Det innebærer også å ha samme fisketetthet og tilvekst. Til tross for dette, gjør forskjellig fôrtype, fiskestørrelse og art det fortsatt utfordrende å sammenligne. For å evaluere to forskjellige systemer er det vanligst å sammenligne tilveksten (Lekang & Fjæra, 1997).

Skal man konstruere et RAS-anlegg, designer man blant annet ut ifra fiskemengde og stoffene som tilføres vannet. Fiskemengden påvirker minimum vannmengde og andel stoffer som fører med. Med stoffer menes fôrrester, avføring, urea og andre rester fra produksjonstankene. Denne mengden fastsetter kapasiteten anlegget må ha for å holde god vannkvalitet. Lekang (2020) beskriver to kalkuleringer en kan bruke for å konstruere og teste RAS (ligning 1 og 2).

$$C = \frac{M}{Q} \quad (1)$$

C – Konsentrasjon av stoffer [mg/L]

M – Massestrøm av stoffer [mg/min]

Q – Vannstrøm [L/min]

Med ovennevnte modell kan man konstruere et resirkuleringsystem basert på vannstrøm eller maks tillatte konsentrasjonen av stoffer. Dersom man har oppgitt konsentrasjonen av stoffer som går inn i et RAS-anlegg, kan man kalkulere hvor effektiv behandlingen av vannet er ved hjelp av denne formelen:

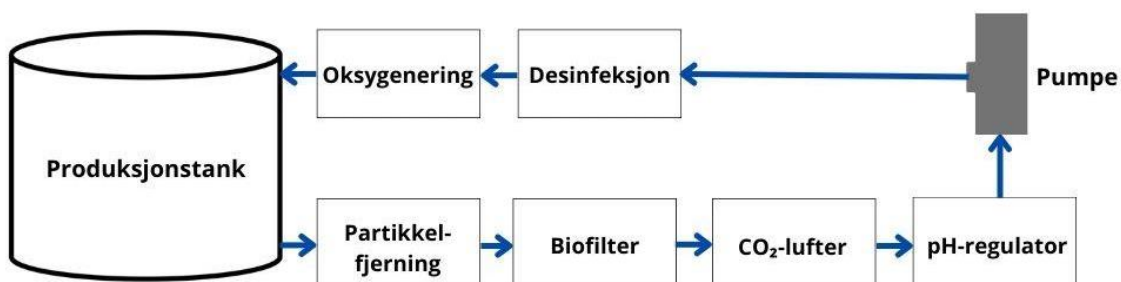
$$C_r = \frac{C_{inn} - C_{ut}}{C_{inn}} \cdot 100\% \quad (2)$$

C_r – Rensegrad

C_{inn} – Konsentrasjon av stoffer inn

C_{ut} – Konsentrasjon av stoffer ut

Moderne RAS-systemer består av en rekke individuelle behandlingsprosesser og pumper som til sammen danner et fullkomment resirkuleringsanlegg. Hver komponent utgjør en avgjørende rolle for vannkvaliteten - ofte i en gitt rekkefølge. Rekkefølgen varierer dog noe mellom leverandører og avhengig av størrelse på produksjonen. Figur 4 viser et typisk resirkuleringsanlegg. I tradisjonelle RAS-anlegg er flere produksjonstanker koblet til samme behandlingssystem, men det finnes også nyere RAS-teknologier som har separerte behandlinger til hver enkelt tank. Det medfører en redusert risiko for sykdomsspredning.



Figur 44. Systemskisse av et RAS-anlegg koblet til én tank

Produksjonstank

RAS-anlegg begynner med fisk i produksjonstanker. I tankene kan man regulere vannstrøm, og i tillegg måle parametere som pH og temperatur. I likhet med noen konvensjonelle merder, har tanker kunstig belysning som kan stilles inn etter behov. Belysningen kan manipulere

tilveksten og tidspunkt for kjønnsmodning hos laksen ved å lure den til å tro det er dagslys (Hansen et al., 2017).

Tankene varierer i størrelse og form, men glatte og avrundede flater er å foretrekke av praktiske årsaker for fisk og tankens holdbarhet. Eksempel på tank for matfisk er vist i figur 5. Fra tanken ledes vannet til første behandling med gravitasjonskraften og videre gjennom RAS-systemet, for deretter å bli pumpet tilbake til tanken. Å pumpe til slutt er spesielt gunstig i forhold til ikke å skape for mye turbulens i vannet, da dette kan føre til at partikler brytes opp i for små biter før partiklene skal filtreres vekk.



Figur 55. Produksjonstank for matfisk (FMV Foto ved Ove Tøpfer, Fredrikstad Seafoods, 2022)

Partikkelfjerning

Til å begynne med gjennomgår vannet en filtrering av de største partiklene. Her blir de største fôrrestene og avføringen fjernet i form av slam ut i eget avløp. Når de største partiklene er fjernet, føres vannet videre til neste behandlingsprosess i et annet avløp.

Fjerningen kan utføres på ulike måter og deles inn mekanisk filtrering, dybdefiltrering og gravitasjonsfiltrering (Lekang & Fjæra, 1997). Lekang og Fjæra (1997) beskriver at et mekanisk filter samler opp partikler ned til en viss størrelse ved at vannet føres gjennom en sil. Partikler som ikke kommer seg gjennom åpningene i filteret samles opp som slam. Åpningsdiameter på filterduken varierer, men i RAS er diameteren ned til 40 μm . De mindre partiklene kommer seg igjennom, men et biologisk filter tar hånd om disse restene. I et

mekanisk filter vil slammet hoppe opp på filteret, og det er derfor behov for jevnlig rensing. Trommelfiltre er mekaniske filtre som roterer og sikrer at det man filtrerer er i bevegelse (figur 6). Rensingen av roterende filter foregår automatisk ved at filteret får tilbakespyling.



Figur 66. Trommelfiltre (FMV Foto ved Ove Tøpfer, Fredrikstad Seafoods, 2022)

I dybdefilter, også kalt partikkelfilter, bruker man partikler som fyllmateriale som vannet strømmer gjennom. Vanlig fyllmateriale er sand. Sandpartiklene er i ulike størrelser slik at vannet kommer seg gjennom, men at noe blir holdt igjen. For å utnytte filteret best mulig må størrelsen på sandkornene avta med vannets strømretning.

Videre forklarer Lekang og Fjæra (1997) at partikkelfiltre klassifiseres etter vannets strømretning. Henholdsvis nedstrøms og oppstrøms. Ved nedstrømsfiltrering renner vannet med gravitasjonskraften ovenfra og ned i vanlig atmosfæretrykk. Ved oppstrømsfiltrering strømmer vannet nedenfra og opp gjennom fyllmaterialet ved hjelp av trykk. Fordelen med sistnevnte er at man kan trykke vannet og få større motstand. Større motstand vil gi sjeldnere behov for å rense filteret. Med nedstrømsfilter er en nødt til å ha en beholderhøyde på fem meter for at vannet skal komme seg hele veien gjennom.

Gravitasjonsfiltrering baserer seg på at partikler er tyngre enn vann. Det finnes ulike måter å bruke dette prinsippet til å fjerne slam på - for eksempel sentrifugalfilter og sedimentering. I et sentrifugalfilter sendes urensset vann langs kanten inn i en rund beholder. Essensen er at

partiklene vil separeres fra rent vann ved at de slynges ut mot siden, og man kan hente ut det rene vannet fra midten. Ved sedimentering avhenger man seg på at partiklene synker raskere enn vannstrømmen beveger seg bortover. Det betyr at partiklenes synkehastighet må overstige den horisontale hastigheten til vannet. Det hele foregår i et basseng med stor overflate. (Lekang & Fjæra, 1997)

Slamhåndtering

Som følge av partikkelfilteret behøves det slamhåndtering av restene. Slammengde og slammets sammensetning av vann og tørrstoff avhenger mye av hva slags partikkelfilter som benyttes og hvor mye avføring fisken produserer. Avføringen påvirkes igjen av fôrets sammensetning av næringsstoffer, fôrtype og fiskestørrelse. Det er også viktig å kontinuerlig fjerne slam i produksjonstanken fordi organiske rester som blir liggende igjen på bunnen vil, som følge av nedbrytning, bruke oksygen O_2 og gjøre vannet surere. (Lekang, 2020)

Biofilter

Fisk skiller ut nitrogen, hvor hovedmengden av dette er TAN (total ammonium nitrogen, $NH_3 + NH_4$). TAN er skadelig for fisken, spesielt løst ammoniakk-gass (NH_3). I et vanlig biologisk filter eksisterer det bakterier som omsetter TAN til nitritt, og videre til mindre farlig nitrat. Laksen tåler høyere konsentrasjon nitrat enn de øvrige nitrogenforbindelsene (Rusten, 2015a). Bakteriene lever på såkalte biofilmer.

En biofilm er et bakteriesamfunn som er festet til en overflate (Lönn-Stensrud, 2022). Biofilmene er festet til abiotiske overflater, der små plastelementer (polyetylen) benyttes mest. Polyetylen er termoplastikk, slitesterk og billig, og er derfor godt egnet i RAS-anlegg. Strukturen til biofilmene har en dominerende betydning for omsetningen av stoffer, da dette påvirker mengden bakterier i tillegg til å virke inn på diffusjon av stoffene inn og reaksjonsproduktene ut av biofilmen (Rusten, 2015b). Hvor mye TAN som tolereres avhenger av vannets temperatur og pH. Ved høye pH-verdier og økte temperaturer øker også konsentrasjonen av giftig ammoniakk-gass (Rusten, 2015a).

pH-regulering

Nitrifikasjonen som foregår i biofilteret produserer syrer og gjør vannet surere (Bregnballe, 2015). Lav pH kan blant annet forårsake skade på øyne, hud og gjeller som videre kan lede til stress og dårlig appetitt. Forskning har vist at feil pH kan påvirke tilveksten til atlantisk laks

(Fivelstad et al., 2003; Lekang, 2020). For å justere opp pH-nivået må man tilsette en base slik at man fjerner frie H⁺-ioner. Lut (NaOH) er eksempel på en base som kan brukes for å gjenopprette vannkvaliteten.

Temperaturregulering

En annen avgjørende faktor som påvirker vekst er temperatur, da dette er direkte knyttet opp mot laksens appetitt (Solbakken et al., 1994). Temperatur påvirker også når laksen blir kjønnsmoden, noe man ønsker å unngå i oppdrett for å la fisken bruke mest mulig energi på å vokse. Temperaturen i et RAS-anlegg vil stadig stige fordi både fisken og RAS-komponentene frigjør varme. Herunder inngår blant annet fiskens metabolisme, bakterieaktiviteten i biofilteret, store overflatearealer i kontakt med luft, UV-lys i forbindelse med desinfisering, samt varme som følge av friksjon mellom vann og pumper. I Norge vil for høye temperaturer naturligvis være spesielt utfordrende om sommeren. Temperaturstress kan føre til kroppslige deformiteter (Takle et al., 2005).

For å beregne hvor mye energi/varme som overføres til eller fra vannet benyttes denne formelen (Lekang, 2020):

$$P = \dot{m} \cdot C_p \cdot dt \quad (3)$$

P – Effekt [kW]

\dot{m} – Massestrøm [$\frac{kg}{s}$]

C_p – Spesifikk varmekapasitet [$\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$]

dt – Temperaturdifferanse [°C]

Spesifikk varmekapasitet er ulik for ferskvann og saltvann:

Ferskvann:

$$C_p = 4,2 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \quad (4)$$

Saltvann:

$$C_p = 4,0 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \quad (5)$$

Lekang (2020) skriver videre at RAS-anlegg enkelt kan senke temperaturen ved å tilføre råvann, men dersom anlegget har begrensede mulighet for dette kan andre metoder brukes. En vanlig metode hvis man har en tilgjengelig vannkilde, er å bruke varmevekslere som overfører varme mellom to væsker med ulik temperatur. Her vil energi fra varmt vann overføres til kaldt vann, drevet av temperaturgradienten. Det vil si at jo større temperaturforskjell, desto raskere varmeutveksling. Varmevekslere kan være konstruert slik at de to væskene ikke er i direkte kontakt med hverandre og varmeoverføringen skjer derfor gjennom en plate som skiller de.

Dersom man ikke har en vannkilde tilgjengelig kan man kjøle ned vann ved å bruke kjøleanlegg. Kjøleanlegg er i prinsippet det samme som en varmepumpe, men optimalisert noe annerledes. Det betyr at hvis det skulle være behov for å både kjøle ned og varme opp vann i et oppdrettsanlegg, kan man bruke samme pumpen til begge formål. Det er imidlertid en utilfredsstillende løsning av praktiske årsaker.

Kjøleanlegget består blant annet av en fordamper og et kjølemedium. Fordamperen plasseres i vannet for å kjøles ned. Når kjølemediet fordamper blir energi fra vannet tatt, og vannets temperatur synker. Etter dette føres kjølemediet til en kondensator og kondenserer. Det frigir varme til omgivelsene, altså luften. Alt foregår i et lukket system.

På den andre siden finnes det grunner til hvorfor man ønsker å varme opp vannet i visse tilfeller. For eksempel kan man ved å justere opp temperaturen få laksen til å nå slakteklar vekt tidligere. Man skiller mellom direkte og indirekte oppvarming.

Direkte:

- Olje og gass
- Elektrisitet

Indirekte:

- Varmt avløpsvann
- Jordvarme

Metodene har fordeler og ulemper vedrørende brukervennlighet, effektivitet og kostnad. Akkurat slik som ved nedkjøling. Både nedkjøling og oppvarming involverer energioverføring. For å beregne hvor mye energi som kreves for å varme opp vannet brukes

ligning 3. Forskjellen er at ved nedkjøling fjerner man energien fra vannet i stedet for å tilføre den. Den totale energimengden som må tilføres i en gitt periode kan beregnes ut fra den tilførte effekten multiplisert med tiden kraften brukes for (ligning 6). Det er denne mengden av brukt energi man betaler for.

$$Q = Pt \quad (6)$$

Q – Total mengde energi [kilowatttime, kWh]

P – Effekt [kW]

t – Tidsperiode oppvarming foregår [timer, h]

Desinfeksjon

For å drepe antallet mikroorganismer ytterligere er det vanlig å installere en egen desinfeksjons-komponent før vannet går tilbake til produksjonstanken igjen. Her er målet å uskadeliggjøre sykdomsfremkallende mikroorganismer og redusere den totale mengden bakterier. Optimalt desinfiserer man 99,9 prosent av konsentrasjonen av hva utgangspunktet vannet inneholdt på vei inn i RAS-systemet (Lekang & Fjæra, 1997).

Man kan drepe mikroorganismer med varmebehandling og klorering, men disse metodene er enten kostbare eller risikable for fiskehelsen. Derimot er en vanligere metode å behandle vannet med ultrafiolett lys (UV-lys). UV-lys er elektromagnetiske strålinger med bølgelengde på 4 til 400 nm (nanometer) og er ikke synlig for mennesker (Holtebekk, 2022). Lampene kan plasseres både under og over vannoverflaten. UV-lysets bølgelengde påvirker hvor egnet det er til å desinfisere, der den mest effektive er mellom 250 til 270 nm (Lekang, 2020).

Strålene inaktiverer mikroorganismenes genetisk materiale og blir med det drept.

Vannkvaliteten påvirker også hvor effektiv strålebehandlingen er.

Alternative metoder å desinfisere vannet på er med ozon (O₃) og fotozon. Da er det viktig å påse at vannet ikke inneholder farlige mengder gasser etter behandlingen. UV-behandling har ingen dokumenterte uheldige bivirkninger på vannkvalitet og fiskehelse (Fjellheim et al., 2016).

Lufting og oksygenering

Innløpsvann trenger i flere tilfeller å luftes fordi vannkvaliteten er varierende og kan for eksempel inneholde for lite oksygen eller for mye nitrogen. Derfor plasseres gjerne denne behandlingsprosessen ved innløpsvannet slik at det samtidig inngår som en del av resirkuleringssystemet. Etter de ulike behandlingene som er beskrevet til nå kan det ha oppstått overmetning eller undermetning av gasser. Blant annet kommer det av at fisk bruker oksygen og slipper ut karbondioksid. Hensikten med lufting og oksygenering er å fjerne eller tilføre gasser til vannet. I oppdrett ønsker man vanligvis å tilføre oksygen og fjerne nitrogen og karbondioksid. Karbondioksid luftes vanligvis ut etter biofilteret og oksygenering er siste steget før vannet returnerer til tanken.

Vann inneholder en viss mengde oppløste gasser. Når vann har tatt opp det som er mulig å ta opp av gasser med atmosfærisk trykk, kalles vannet for fullt mettet (100 prosent). Inneholder vannet mindre av en gass enn det som er mulig, er vannet undermettet. På samme måte er vannet overmettet hvis det inneholder mer gasser enn når det er fullt mettet. Mengden gasser i vann er temperaturavhengig, der høyere temperaturer gjør det vanskeligere for gasser å løse seg opp. Gassens evne til å løse seg opp i vann omtales som løsningssevne. (Lekang, 2020)

Alle gasser i atmosfæren kan løse seg opp i vann. Partialtrykk er trykket som én gass ville hatt dersom den var eneste gassen som fylte et rom. Hvis det er flere gasser i samme rom, blir det totale gasstrykket lik summen av alle partialtrykkene (Hauge, 2022). Om det totale gasstrykket i vann er høyere enn det atmosfæriske trykket, betyr det at vannet er overmettet og gass blir tvunget ut i luften helt til det blir likevekt av gassene i vann og luft. Motsatt vil overmettet gasstrykk i luft tvinges ned i vannet. Henrys lov beskriver hvor mye gass som kan innta vann ved ulike partialtrykk (Lekang og Fjæra, 1997):

$$C = H \cdot p \quad (7)$$

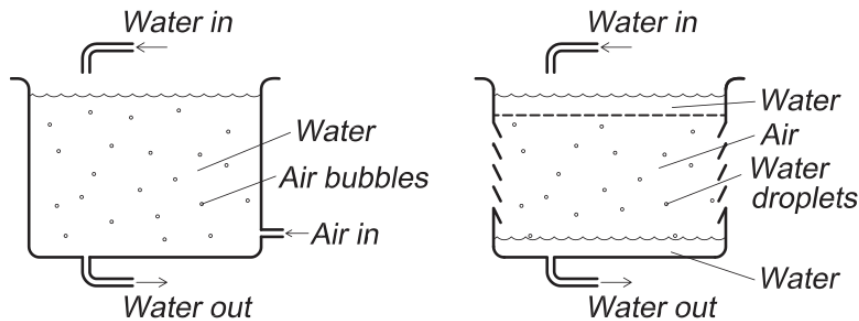
C – Gasskonsentrasjon i vann

H – Løsningssevnen til gassen i vann

p – Partialtrykket for gassen i luft

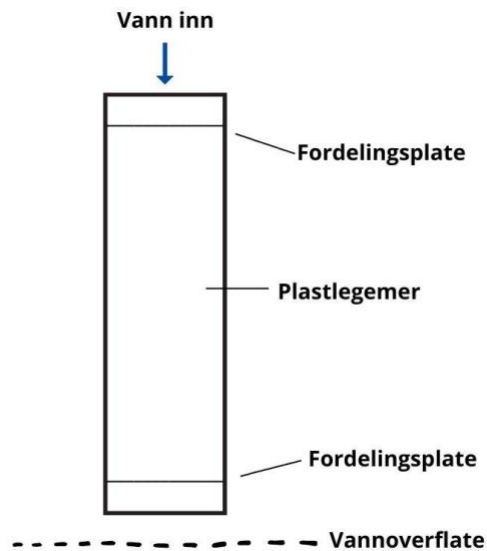
Formålet til en lufter er å skape gode forhold for gassene til å transportere og jevne seg ut - altså å skape likevekt mellom luft og vann. Her kan nitrogen forekomme som overskuddsgass

og vil luftes ut, mens oksyngass kan tilføres hvis det er undermetning. Oppnås dette, sikrer man trygt vann tilbake til produksjonstanken. Utformingen til en lufter må skape disse gode forholdene, der vannet får lang nok oppholdstid i tillegg til at luft- og vannstrøm burde være turbulent nok til å effektivisere gassutvekslingen. Det er to hovedprinsipper man lufter på; enten kan luft tilføres vann, eller så kan vann tilføres luft (figur 7).



Figur 77. To hovedprinsipper for å utligne gasstrykk mellom vann og luft (Lekang, 2020)

Alle luftere trenger energi som enten kan forsynes direkte med elektrisitet, eller med energi lagret i vannet - såkalt potensiell energi. Ved sistnevnte er en avhengig av at vannet har høy nok fallhøyde. Gjerne minimum 2 meter (Lekang & Fjæra, 1997). Diameteren på røret er mellom 20 og 100 cm. I slike luftere renner vannet som regel gjennom kolonner fylt med plastlegemer som øker overflaten betraktelig (figur 8). Slike kolonneluftere er hyppig brukt i intensivt fiskeoppdrett. Legemene får vannet til å sildre gjennom og samtidig ha luft rundt, slik at gassutvekslingen arter seg på et større overflateområde. Det er viktig å ha en viss avstand i bunn og på toppen for å sikre god luftsirkulasjon. Avstanden lages med en gjennomhullet fordelingsplate.



Figur 88. Forenklet systemskisse av kolonneflufer (bygget på Lekang, 1997)

Skulle det måles for lite oksygen i vannet av ulike grunner, kan det suppleres med ekstra oksygen før vannet går tilbake til tanken. Denne prosessen kalles oksygenering og kan gi høyere oksygenkonsentrasjoner enn 100 prosent. Oppløst oksygen er den første parameteren som begrenser produksjon i lukkede anlegg, så selv om oksygenering er kostbart i forhold til gratis luft, kan det være nødvendig for å holde produksjonen gående. For lite oksygen kan føre til redusert vekst og overlevelse, mens for høye konsentrasjoner av oksygen kan føre til oksidativt stress. (Rosten, 2009).

Oksygenkonsentrasjonen burde være opp mot 100 prosent eller mer til enhver tid, uansett art. I motsetning, burde ikke nitrogenkonsentrasjon overstige 100 prosent. Som rapportert i Mattilsynets utredning av vannkvalitet relatert til fiskevelferd, er ikke laksefisk like robust vedrørende oksygeninnhold som for eksempel torsk (Rosten et al., 2004). Tabell 1 viser Mattilsynets krav til oksygeninnhold for laks kontra torsk.

Tabell 1. Krav til oksygeninnhold for laksefisk sammenlignet med torsk (Rosten et al., 2004)

| Art | Optimalt | Tålbart | Betinget | Uakseptabelt |
|-----------|----------|---------|----------|--------------|
| Laksefisk | 100 % | 60 % | 50 % | ≤ 40 % |
| Torsk | 100 % | 56 % | 34 % | ≤ 30 % |

Angående karbondioksid anbefaler Mattilsynet å holde karbondioksid-konsentrasjonen under 15 mg/l (Rosten et al., 2004). Fisken får problemer med å ta opp oksygen i blodet dersom vannet inneholder for store mengder karbondioksid. Det kan føre til akutt forgiftning og død (Håstein, 2021). Generelt kan overmetning av gasser i vann føre til gassblæresyke. I første rekke gjelder dette nitrogen, men også karbondioksid og oksygen. Slik sykdom gir luftblærer på steder som hud, finner og gjeller, og kan også føre til død.

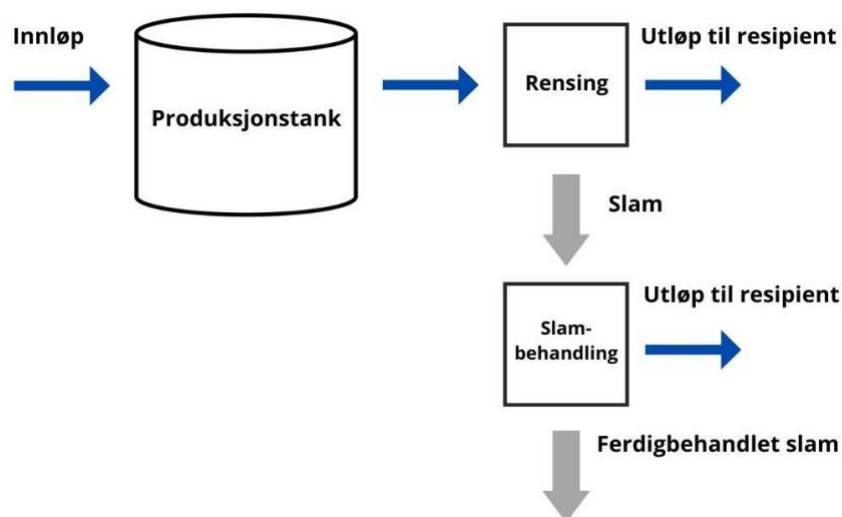
Øvrige komponenter i RAS

RAS krever mye utstyr for å behandle og holde vann i bevegelse. Her inngår flere rør, pumper, pumpetyper samt internt transport av fisken. Det er også nødvendig med avfallshåndtering og behandling av utløpsvann. RAS-systemer har dessuten en rekke sensorer, måleinstrumenter og overvåking døgnet rundt.

3.2.2 Gjennomstrømming (FTS)

Konvensjonell oppdrett baserer seg på gjennomstrømming (forkortet FTS) og denne teknologien har blitt brukt i oppdrett fra begynnelsen av og er dermed mest utprøvd over tid. FTS for matfisk har flere fellestrekk med RAS til tross for at den regnes som mindre kompleks (Bjørndal & Tusvik, 2018). For eksempel er begge lukkede anlegg som krever håndtering av store mengder slam og behandling av innløpsvannet. Teknologiene gjør det også mulig å justere vannstrømmen i tankene.

Innløpsvannet pumpes til anlegget og desinfiseres før det går inn til produksjonstankene. I motsetning til resirkulering, brukes FTS vannet kun én gang før det føres videre til en resipient (Lomnes et al., 2019). Det betyr at det er et kontinuerlig behov for store mengder nytt vann. Før vannet slippes ut må det renses (se figur 9 for systemskisse av et gjennomstrømningsanlegg). Typisk renses vannet med nedstrøms partikkelfjerning i mekaniske filtre. Ikke alt fanges opp her, hvilket fører til at partikler havner i resipienten.

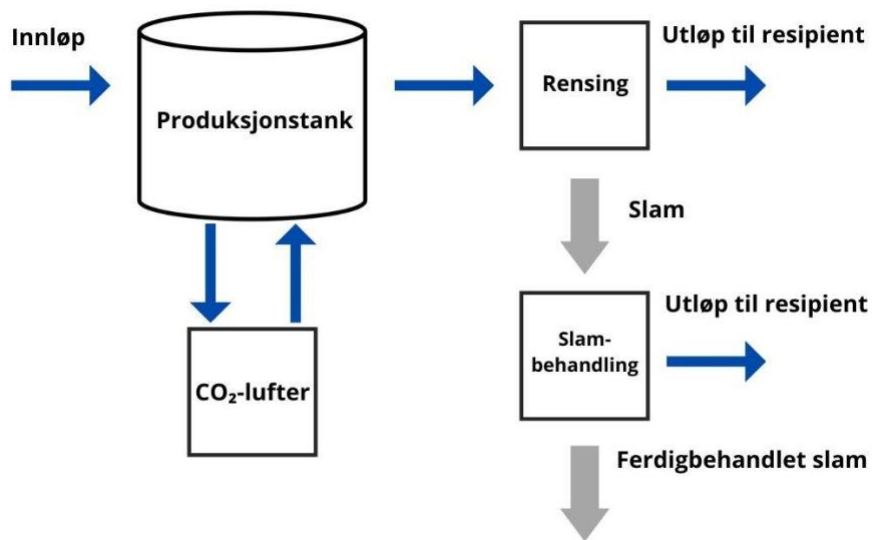


Figur 99. Systemskisse av FTS

I et FTS-anlegg kan man til tider være nødt til å varme opp vannet hvis vannkilden er for kald. I RAS blir kun nytt vann varmet opp fordi systemet ellers gir fra seg varme. Oppvarming av store mengder vann er en svært energikrevende prosess (Fjellheim et al., 2016). Hvis man benytter FTS er det forutsatt en lokalitet med stabilt godt råvann. Vannkilden burde med det holde optimal temperatur gjennom vinteren også. Dette kan løses ved å hente vann fra ulike dybder alt etter sesong.

3.2.3 Hybrid (HFS)

En tredje teknologi man kan benytte i landbasert oppdrettsanlegg er en blanding av RAS og 100 prosent gjennomstrømming - såkalt hybrid (forkortet HFS). HFS-løsninger utnytter det beste fra to verdener. Resirkuleringsgraden er lavere enn i RAS-anlegg, men naturligvis høyere enn ved gjennomstrømming. Teknologien skiller primært fra FTS ved at HFS har en karbondioksid-lufter i tillegg (figur 10), slik at vannet som returneres tilbake til tanken ikke overskrider myndighetenes krav om karbondioksid-innhold på maks 15 mg/l (Rosten et al., 2004). I forhold til FTS gir teknologien økonomiske besparelser da man reduserer vannbehov og de store energikostnadene tilknyttet pumping av vann. I forhold til RAS er det færre dyre komponenter, og mindre vann som skal behandles.



Figur 1010. Systemskisse av HFS

Bedrifter kan bruke ulike teknologier på forskjellige livsstadier til fisken. For eksempel RAS i settefiskanlegget, HFS i postsmoltanlegget og FTS i matfiskanlegget.

3.2.4 Oppsummering

Det finnes flere teknologiformer innen fiskeoppdrett, men oppgaven har tatt for seg fire av dem: konvensjonell oppdrett, RAS, FTS og HFS. Tabell 2 viser en oppsummering av fordeler og ulemper ved de ulike teknologiformene ved produksjon av matfisk.

Tabell 2. Fordeler og ulemper ved konvensjonell oppdrett, RAS, FTS og HFS

| | Fordeler | Ulemper |
|-------------------------------|---|---|
| Konvensjonell oppdrett | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lite energikrevende ▪ Naturlig gjennomstrømming ▪ Kjente metoder og teknologi ▪ Lavere produksjonskostnader ▪ Høy avkastning ▪ Godt utviklet næring ▪ Komparativt fortrinn med kystlinje ▪ Tar ikke opp landarealer | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Belastning på havområder ▪ Fare for rømming ▪ Sykdomssmitte med miljøet utenfor merder ▪ Lakselus ▪ Stedbundet til kyst/hav med gode forhold ▪ Begrenset produksjonsvolum per enhet |
| RAS | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Høy resirkuleringsgrad av vann ▪ Kan justere vannstrømmen ▪ Ingen tetthetsbegrensninger per enhet ▪ Kan regulere flere vannkvalitetsparametere ▪ Mindre belastning på havområder ▪ Mindre utsatt for lakselus | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Behov for landarealer ▪ Behov for relevant kompetanse hos personell ▪ Energifkrevende å pumpe og temperaturregulere vann ▪ Høye investeringskostnader i forhold til konvensjonell oppdrett ▪ Høy risiko ▪ Lite utprøvd teknologi for matfisk på land ▪ Krever behandling av produksjonsrester ▪ Krever mye utstyr |
| FTS | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mindre kompleks enn RAS ▪ Kan justere vannstrømmen ▪ Ingen tetthetsbegrensninger per enhet ▪ Kan regulere vanntemperatur ▪ Mindre belastning på havområder ▪ Mindre utsatt for lakselus | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Behov for landarealer langs kyst ▪ Behov for relevant kompetanse hos personell ▪ Energifkrevende å pumpe og temperaturregulere vann ▪ Stort vannbehov for stabilt godt råvann ▪ Høye investeringskostnader i forhold til konvensjonell oppdrett ▪ Høy risiko ▪ Lite utprøvd teknologi for matfisk på land ▪ Krever behandling av produksjonsrester |
| HFS | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Noe resirkulering av vann ▪ Kan justere vannstrømmen ▪ Ingen tetthetsbegrensninger per enhet ▪ Kan regulere vanntemperatur ▪ Mindre belastning på havområder ▪ Mindre utsatt for lakselus ▪ Mindre energikrevende å pumpe vann i forhold til FTS ▪ Færre komponenter og mindre vann som trenger behandling i forhold til RAS | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Behov for landarealer langs kyst ▪ Behov for relevant kompetanse hos personell ▪ Energifkrevende å pumpe og temperaturregulere vann ▪ Stort vannbehov for stabilt godt råvann ▪ Høye investeringskostnader i forhold til konvensjonell oppdrett ▪ Høy risiko ▪ Lite utprøvd teknologi for matfisk på land ▪ Krever behandling av produksjonsrester |

3.3 Kostnader i oppdrettsnæringen

3.3.1 Produksjon i sjø

Som nevnt tidligere drives konvensjonell lakseoppdrett i åpne merder til sjøs. Når man skal produsere laks i sjøen må man eie konsesjoner for dette. Snittprisen for en matfiskkonsesjon var rundt 220 000 kroner per tonn ved forrige auksjon i 2020 (Fiskeridirektoratet, 2020a). Som rapportert av Fiskeridirektoratet (2020b) har kostnadene i norsk oppdrett økt i flere år, der kostnadene var på sitt laveste i 2005 fordi de klarte å optimalisere driften frem til da. Det har vært en økning i årene etter 2005, men de siste årene har veksten av kostnadene avtatt.

Gjennomsnittlig produksjonskostnad i 2020 per kg produsert matfisk var 40,15 kroner. I tabell 3 ser man gjennomsnittskostnaden til de ulike kostnadsdriverne for produksjon av laks og regnbueørret i sjø for bedriftene i Norge. Forklaringene til hva som forårsaker de økte kostnadene er førkostnader og kostnader tilknyttet forebygging og behandling av lakselus. Førkostnad er den største kostnadsdriveren og utgjør 41,4 prosent av de totale kostnadene i produksjonen. Førkostnaden i 2008 var 12,56 kroner, mens den i 2020 var 16,62 kroner. Kategorien andre driftskostnader er også en høy kostnadsdriver med 3,73 kroner i 2008 og 9,71 kroner i 2020 (Fiskeridirektoratet, 2022a). I denne inngår reparasjoner, vedlikehold, administrasjonskostnader samt kostnadene knyttet til fiskehelse. Det som inngår i fiskehelse er vaksine, veterinær, rensefisk og avlusning. Fra 2019 til 2020 økte kostnadene tilknyttet fiskehelse med hele 18,2 prosent (Fiskeridirektoratet, 2020b).

Tabell 3. Kostander per kg laks (utarbeidet fra Fiskeridirektoratet, 2020b)

| Kostander pr. Kg | Tall i kroner og prosent |
|-----------------------------|--------------------------|
| Smoltkostnad | 4,14 |
| Førkostnad | 16,62 |
| Forsikringskostnad | 0,16 |
| Lønnskostnad | 3,22 |
| Avskrivinger | 2,64 |
| Andre driftskostnader | 9,71 |
| Netto finanskostnader | -0,39 |
| Produksjonskostnad | 36,11 |
| Slaktekostnad (inkl. frakt) | 4,05 |
| Sum kostnad | 40,15 |

3.3.2 Kostnader tilknyttet fiskehelse

Kostnadene tilknyttet fiskehelse er utfordrende å måle, da dårlig fiskehelse har ringvirkninger som forårsaker økte kostnader utover hva som kan leses i finansregnskapet til bedriftene. Det er høye kostnader tilknyttet behandling av lakselus og konsekvensene dette skaper. En omfattende rapport gjort av Nofima i 2017, om kostnadsutviklingen i lakseoppdrett med fokus på fôr- og lusekostnader, beregner at kostnadene lakselusen medfører næringen er anslått til å være rundt 5 milliarder norske kroner per år (Iversen et al., 2017). I denne beregningen har de ikke tatt med inntektstap som følge av redusert tilvekst. Ved et lakselusutbrudd kan man få redusert tilvekst og høyere dødelighet som følge av laksens påvirkning på fiskens velferd. Dette medfører redusert produksjon som gir bedriftene mindre volum å fordele kostnadene på.

I et oppdrettsanlegg lever laksen blant mange individer på samme sted, og flere anlegg ligger nær hverandre. Dette har ført til at sykdom har blitt en utfordring fordi det fører til tap i produksjonen. I 2021 hadde norske oppdrettsanlegg med laks og ørret et tap på 62,6 millioner fisk (Fiskeridirektoratet, 2022a). Vaksinasjonsprogrammer har hjulpet, men sykdommer som kardiomyopatisyndrom (CMS), hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) og pankreassykdom (PD) er fremdeles en utfordring (Sommerset, 2020).

3.3.3 Produksjon på land

De økte kostnadene ved å produsere laks i sjø og de høye konsesjonsprisene har ført til at næringen og investorer ser etter nye produksjonsmetoder. Økte fôrpriser og høyere fôrfaktor er den fremste grunnen til kostnadsøkningen. En annen kostnad for næringen er behandlinger og tiltak mot lakselus, som resulterer i en stor reduksjon i resultatet til bedriftene.

Utfordringer knyttet til lakselus har ført til at man setter ut større smolt og investerer i teknologi som RAS. Som forklart i delkapittel 3.2 kan man unngå problemene tilknyttet lakselus dersom man produserer laks på land. (Iversen et al., 2019)

Tabellene i kapittel 4 viser interessen for å bygge landbaserte matfiskanlegg for laks. Det er flere bedrifter som er i gang med byggingen av anleggene og enda flere som er i gang med planlegging. De ulike bedriftene holder til på ulike lokaliteter og det er variasjoner på hvilke

teknologier de vil benytte. Ut ifra hvilken teknologi bedriften skal benytte, er det ulike risikofaktorer og kostnader knyttet til den produksjonsmetoden.

Tabell 4 viser en oppsummering av kostnadene ved sjøbasert og landbasert produksjon. Transportkostnader til de ulike markedene er med i tabellen. Landbasert oppdrett gir mulighet for nærhet til markedet. Denne kostnaden er viktig i en helhetsvurdering dersom man skal investere i landbasert oppdrett som ligger der hvor markedene er størst. Som nevnt er lakselus og sykdommer utfordringer sjøbasert lakseproduksjon medbringer. Derfor er produksjonskostnadene delt inn i driftskostnader og helse og miljøkostnader. Felles for kapitalkostnadene for sjø og land er at de inkluderer utstyr og anlegg. I sjøbasert oppdrett er kostnader tilknyttet konsesjoner medregnet, og eiendomskostnader er inkludert ved landbasert oppdrett.

Tabell 4. Total kostnad til marked per kg laks i norske kroner (utarbeidet fra Grønvik, 2021)

| Kostnadskategori | Sjøbasert | Landbasert |
|-------------------------------|-----------|------------|
| Driftskostnad | 28 | 32 |
| Kapitalkostnad | 2 | 9 |
| Helse og miljøkostnad | 8 | 5 |
| Produksjonskostnad sum | 38 | 46 |
| Transportkostnad (EU) | 2 | 1 |
| Transportkostnad (Asia/USA) | 12 | 12/2 |
| Totalkostnad (EU) | 40 | 47 |

Når man skal bygge et landbasert anlegg med utgangspunkt i RAS-teknologi, er det høye investeringskostnader. I tabell 5 ser man et estimat for investering i et landbasert RAS-anlegg med produksjonskapasitet på 1 200 til 6 000 tonn.

Tabell 5. Produksjonsmål (utarbeidet fra Bjørndal & Tusvik, 2018)

| Produksjonsmål (tonn) | 1 200 | 2 400 | 3 600 | 4 800 | 6 000 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| Tankvolum (m ³) | 9 000 | 18 000 | 27 000 | 36 000 | 45 000 |
| Sum bygg | 77 894 | 160 648 | 192 886 | 252 604 | 322 641 |
| Sum vannbehandling/div. Utstyr | 72 482 | 116 287 | 164 005 | 214 780 | 257 749 |
| Sum investering | 150 375 | 276 935 | 356 891 | 467 384 | 580 391 |
| Sum investering, NOK per kilo levede vekt | 125 | 115 | 99 | 97 | 97 |
| Investering, NOK per m ³ karvolum | 16 708 | 15 385 | 13 218 | 12 983 | 12 898 |

Estimatet viser at de totale byggekostnadene (sum bygg) for å bygge et RAS-anlegg er høye. Ved denne produksjonsmetoden er det viktig at man klarer å holde en høy stående biomasse, slik at man kan fordele kostnadene på flere solgte tonn laks. For matfiskproduksjon er dette ny teknologi som er lite utprøvd i stor skala. Det kan forekomme feil i analysene som følge av at en produksjonsplan er basert på hva et anlegg er dimensjonert for. Dersom den er basert på en høyere biomasse vil man ha planlagt en høyere produksjon enn hva man faktisk klarer å produsere i anlegget.

Tabell 6 under er et eksempel på hvor høy biomasse man får ved en gitt fisketetthet og tankvolum. Det er snakk om store forskjeller i biomasse dersom man endrer hvor høy tetthet man produserer på. Hvor høy tetthet man klarer å produsere på avhenger av en rekke faktorer som diskuteres nærmere i kapittel 5.

Tabell 6. Ulike biomasser i kg ved gitt tankvolum og fisketetthet

| Tankvolum (m ³) | Fisketetthet (kg/m ³) | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 25 | 45 | 55 | 65 | 75 |
| 9 000 | 225 000 | 405 000 | 495 000 | 585 000 | 675 000 |
| 18 000 | 450 000 | 810 000 | 990 000 | 1 170 000 | 1 350 000 |
| 27 000 | 675 000 | 1 215 000 | 1 485 000 | 1 755 000 | 2 025 000 |
| 36 000 | 900 000 | 1 620 000 | 1 980 000 | 2 340 000 | 2 700 000 |
| 45 000 | 1 125 000 | 2 025 000 | 2 475 000 | 2 925 000 | 3 375 000 |

Landbaserte anlegg er komplekse, og valg av teknologi har stor betydning for investeringene. Det er også variasjoner knyttet til investeringssummen når det kommer til valg av bedrift som skal levere teknologien. Variasjonen kommer av hvor og hvordan de ønsker å drifte anlegget. Ulike faktorer som valg av resirkuleringsgrad, tilgang på vann, automasjonsnivå og vedlikeholdsutstyr vil påvirke investeringene. Landbaserte anlegg utgjør store og sammensatte prosjekt som gjør det utfordrende å sammenligne de ulike prosjektene direkte.

Lakseprisen avhenger av kvalitet og størrelse. Forskning viser at filetkvaliteten kan bli annerledes dersom man produserer laks i RAS-anlegg. Dette er ikke et problem i konvensjonell matfiskoppdrett. Kvalitetsbekymringene RAS-anlegg har, omhandler filetenes smak, tekstur og fettinnhold (Burr et al., 2012). Fileter til landbasert oppdrettslaks har i noen tilfeller fått en jordaktig smak. Det er ukjent hva og hvor i RAS-anleggene dette oppstår, men

geosmin er hovedforbindelsen som gir denne bismaken (Houle et al., 2010). Uavhengig om produksjonen foregår i sjø eller på land, selges laks i samme marked. Derimot er veien til å drifte og selge laksen noe forskjellig når det gjelder lover og tillatelser.

3.4 Lover og tillatelser for landbasert oppdrett

En sentral lov når det kommer til å produsere laks på land i motsetning til i merder i sjø er tillatelsene tilknyttet tetthet. Loven åpner for produksjon på høyere tettheter på land jf. akvakulturdriftsforskriften § 25 “Fisketetthet skal være forsvarlig og tilpasset vannkvalitet, fiskenes atferdsmessige og fysiologiske behov, helsestatus, driftsform og fôringsteknologi. Fisketettheten pr. produksjonsenhet med stamfisk og matfisk av laks og regnbueørret, unntatt i slaktermerder og lukkede produksjonsenheter, skal uansett ikke overstige 25 kg/m³. Når fisketettheten beregnes, skal volumet som fiskene har mulighet til å bevege seg i legges til grunn.” Betydningen av dette blir belyst ytterligere i delkapittel 5.1. (Akvakulturdriftsforskriften, 2008)

3.4.1 Generelle lover for landbasert akvakultur

Akvakulturtillatelsene for landbasert oppdrett er vederlagsfrie, men prosjektene berører mange rettsområder. Etter § 4 i akvakulturloven må man være registrert som innehaver av akvakulturtillatelse i akvakulturregisteret, jf. § 18 første ledd for å drive med akvakultur. For å bli registrert må man oppfylle de generelle vilkårene for tildeling som følger av § 6 og de særskilte akvakulturtillatelsene som følger av § 7. (Akvakulturloven, 2005)

I kapittel 3 i laksetildelingsforskriften fremkommer det at matfisktillatelser i sjø tildeles av staten, er vederlag berettiget og begrenset i antall. Matfisktillatelsene til akvakultur på land kan derimot tildeles fortløpende fordi de er ubegrensede i antall og helt vederlagsfrie. (Laksetildelingsforskriften, 2004)

Akvakulturloven § 16 gir føringer til kommunen som skal vektlegges når avgjørelsen blir tatt om hvorvidt en bedrift skal få etablere landbasert drift. "Departementet skal foreta en avveining av arealinteresser ved plassering av lokaliteter til akvakultur. Det skal særlig legges vekt på:

- a. søkers behov for areal til planlagt akvakulturproduksjon,
- b. alternativ bruk av området til annen akvakultur,
- c. annen bruk av området, og
- d. verneinteresser som ikke omfattes av § 15 bokstav b og c."

Det er gråsoner når det kommer til hva den enkelte vil tolke som definisjon på hva som er på land. Fiskeridirektoratet har derfor utviklet egne retningslinjer for behandling av søknader om tillatelse til akvakultur av matfisk på land av laksefisk. I retningslinjene fremkommer det "Hvorvidt et anlegg skal anses for å være plassert i sjø eller på land må vurderes konkret i det enkelte tilfelle." (Bryde & Myklebust, 2019). Videre definerer retningslinjene hva som er på land og ikke. Ifølge bokmålsordboka er sjø definert som en sammenhengende del av havet, mens land er definert som jordoverflate som ikke er dekket av vann (Bokmålsordboka, 2022a; Bokmålsordboka, 2022b). Videre tar retningslinjene fra fiskeridirektoratet utgangspunkt i følgende:

"Et akvakulturanlegg vil klart være "i sjø" dersom produksjonsenheten(e) flyter i sjø, står på sjøbunnen, eller er omsluttet av sjø. Et akvakulturanlegg vil også klart være "på land" dersom produksjonsenheten(e) står på fast grunn eller på utfylte masser på et område av jordoverflaten som ikke er dekket av vann, dersom også laveste nivå (bunnen) i produksjonsenheten(e) er på et nivå over høyeste astronomiske tidevann (HAT) i sjø slik at det ikke er noen direkte tilknytning mellom produksjonsenheten og sjø." (Bryde & Myklebust, 2019)

Etableringen av prosjektene berører flere rettsspørsmål-områder og reiser de samme rettsspørsmålene som andre store byggeprosjekter på land; eiendomsrett, plan- og bygningsrett, selskapsrett og entrepriseretten. Da det ikke er relevant for denne oppgavens problemstilling vil ikke dette utdypes.

3.4.2 Krav til vannkvalitet

Det er krav til vannkvalitet i akvakulturproduksjon jf. akvakulturdriftsforskriften § 22 og det er egen paragraf om vannkvalitet i landbaserte akvakulturanlegg jf § 24. Forskriften tar for seg aspekter som sikrer tilstrekkelig vanngjennomstrømning, reservesystem og målinger

tilknyttet oksygen, salinitet, pH og temperatur. Ved produksjon i et RAS-anlegg er man pålagt å ha et alarmsystem som varsler dersom det skulle oppstå strømbrydd eller lignende svikt i anlegget. jf. akvakulturdriftsforskriften § 21. I et RAS-anlegg må man tilpasse vannkvaliteten etter faktorer som alder og størrelse. Overvåkning av vannkvaliteten er derfor nødvendig for å sikre god velferd jf. akvakulturdriftsforskriften.

4. Status landbasert oppdrett

4.1 Innsyn i norske aktører

Den økende interessen og engasjementet for landbasert oppdrett har ført til at flere aktører har involvert seg i prosjekter. Som nevnt var intervjuer en av metodene for å samle inn data. I den forbindelse var det interessant å se på et utvalg av bedrifter med god fremgang for å ta del i deres innsikt om næringen.

Informant 1 skal drive gjennomstrømming og hente sjøvann som blir fraktet med Golfstrømmen. Informant 2 skal drive HFS, hvor de henter vann fra ulike dybder ut ifra vanntemperaturen, og skal resirkulere 65 prosent av vannet. Informant 3 har vært i aktiv drift i noen få år og har tilegnet seg mye kunnskap om landbasert lakseproduksjon med RAS-teknologi. Informant 4 er leverandør av utstyr til både sjøbasert og landbasert fiskeoppdrett. I likhet med informant 3 er også informant 4 et veletablert firma og har opparbeidet seg nyttig erfaring for å diskutere landbasert fiskeproduksjon.

Planene til informant 1 har tatt høyde for å flytte og sortere fisken. De ser behovet for å sortere for å holde høy stående biomasse grunnet lønnsomhet. Informant 2 uttrykte ingen planer om flytting. Basert på egen erfaring med å flytte og sortere fisk, ser informant 3 at deres strategi ikke er optimal. I produksjonsplaner ser det økonomisk dårlig ut å flytte fisken fordi det vil si at de ikke kan produsere like mye som opprinnelig. Altså må de holde fisken på lavere tetthet. Investorer ønsker å holde seg til det som er prosjektert fordi man ved en lavere tetthet får færre fisk. Dette viser seg som mindre lønnsomt i deres beregninger og derfor ønsker ikke investorene at man skal sortere mer. Informanten påpeker videre at det deres beregninger ikke tar hensyn til er at dersom man ikke sorterer vil tilveksten stagnere. Konsekvensen er dårligere lønnsomhet, da man ikke får slaktet fisken på planlagt størrelse. Informant 3 poengterer at det er viktig å tenke på hvordan man har tenkt å flytte fisken når man skal konstruere anlegget. Erfaringen til informant 4 er at det er variasjon i spredningen i sjøbaserte merder og mener dette også kommer til å oppstå på land. I både sjømerder og i tanker på land har laksen samme biologiske forutsetninger for å ha ulik tilvekst. Informant 3 forteller videre at en fordel med landbasert oppdrett er at de kan påvirke kvaliteten ved å

justere vannstrømmen i tanken. Vannstrømmen stilles til en styrke som gjør at fisken må svømme kontinuerlig, og resultere i mer magert og mørt kjøtt.

Ytterligere tanker aktørene har er at informant 2 mener at man må gjøre en avveining mellom temperatur og tilvekst. På den andre siden mener informant 3 at avveiningen heller er mellom tilvekst og tetthet. De mener at det ikke er så mye mer å hente i forhold til økt kapasitet når det kommer til reguleringen av vanntemperatur. Det viser at det er ulike oppfatninger til hva som kan være utfordringer.

4.2 Eksisterende oppdrettsanlegg

4.2.1 Landbasert anlegg i Norge

I Norge er det flere bedrifter som er i drift (tabell 7). Bedriftene er Fredrikstad Seafoods i Fredrikstad, Havlandet RAS Pilot i Florø og Salmon Evolution i Molde.

Bedriftene har en sammenlagt kapasitet på 2 600 tonn. Ved utvidelse av kapasiteten vil sammenlagt kapasitet bli rundt 67 000 tonn.

Fredrikstad Seafoods er Norges første storskala oppdrettsanlegg på land for atlantisk laks og de startet driften i april 2019. Teknologien de bruker i Fredrikstad er lukket RAS hvor de resirkulerer rundt 99 prosent og renses avløpsvannet. Produksjonsvannet består av ferskvann og saltvann og blir hentet fra Glomma. I dag har de en konsesjon på 800 tonn, men anlegget har en produksjonskapasitet på 1 500 tonn. Ved utbygging vil de ha en kapasitet på 6 000 tonn ved full produksjon. Laksen ankommer anlegget som smolt og vokser seg til slakteklar vekt.

Havlandet RAS Pilot er det andre oppdrettsanlegget på land og de startet driften i februar 2021. Teknologien Havlandet RAS Pilot bruker er et standard RAS. Bedriften ble i 2018 bevilget 15 millioner kroner fra Innovasjon Norge sin miljøteknologiordning, dette resulterte i start av bedriften og en konsesjon på 200 tonn. Anlegget er et pilotprosjekt og er bygget for å tilegne seg erfaringer før bygging i full skala. Ved bygging av fullskala anlegg ser de for seg en produksjonskapasitet på 20 000 til 25 000 tonn. Laksen ankommer anlegget som smolt og vokser seg til slakteklar vekt.

Det siste oppdrettsanlegget for matfisk på land i Norge er Salmon Evolution. De startet driften i mars 2022. Teknologien Salmon Evolution bruker er HFS, der de resirkulerer 65 prosent av vannet og tilføyer 35 prosent nytt i form av filtrert sjøvann. Anlegget er bygget for en produksjonskapasitet på 9 000 tonn i første fase. De har planlagt å ha en produksjon på 36 000 tonn ved full kapasitet når de er ferdig utbygget. Dette har de fått godkjent konsesjon for. Laksen ankommer anlegget som smolt og vokser seg til slakteklar vekt.

Tabell 7. Bedrifter i Norge som driver med landbasert lakseoppdrett per mars 2022. Dette er så mye man klarer å finne basert på åpne kilder.

| Bedrift | Eierskap | Lokalitet | Teknologi | Konsesjon | Kapasitet full produksjon | Produksjon fase 1 | Oppstart | Slakt |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------|-----------|-----------|---------------------------|-------------------|--------------|-------|
| Fredrikstad Seafoods AS | Nordic Aquafarms Group AS | Fredrikstad | RAS | 800 | 6 000 | 1 500 tonn | Mai 2019 | Ja |
| Havlandet RAS Pilot AS | Inc Invest AS, Havlandet Havbruk AS | Florø | RAS | 200 | 20 000-25 000 | 200 tonn | Februar 2021 | Ja |
| Salmon Evolution AS | Salmon Evolution ASA | Molde | HFS | 36 000 | 36 000 | 900 tonn | Mars 2022 | Nei |

4.2.2 Landbaserte anlegg i verden

Det eksisterer 23 anlegg fordelt på 22 bedrifter som er i drift i utlandet. Ifølge tabell 8 bruker samtlige av bedriftene i verden (med kjent teknologi) RAS-teknologi.

Anleggene i drift i utlandet har en kapasitet på omtrent 46 057 tonn. Flere av anleggene planlegger å utvide kapasiteten, som vil gi en sammenlagt kapasitet på 538 227 tonn.

Ekskluderer man Norge, er det 10 land i verden med aktiv drift av landbasert lakseoppdrett. Landene er Canada, Danmark, De forente arabiske emirater, Frankrike, Japan, Kina, Polen, Spania, Sveits og USA.

Tabell 8. Anlegg i utlandet i drift. Anlegg med * har oppnådd denne kapasiteten eller produserer med mer. Dette er så mye man klarer å finne basert på åpne kilder.

| Bedrift | Lokalitet | Teknologi | Kapasitet første fase | Kapasitet full produksjon |
|----------------------------|------------------------------|-----------|-----------------------|---------------------------|
| Cape d'Or | Canada | RAS | 227 * | 227 |
| (Namgis) Kuterra | Canada | RAS | 260 * | 1 500 |
| Sustainable Blue | Canada | RAS | 600 * | 1 000 |
| Cape D'or Salmon | Canada | RAS | 7 000 | 7 000 |
| Danish Salmon AS | Danmark | RAS | 1100 * | 2 700 |
| Fish Farm UAE | De forente arabiske emirater | RAS | 3000 * | 10 000 |
| Vikings Label AS | De forente arabiske emirater | RAS | 5 000 | 5 000 |
| DV/SAS | Frankrike | - | 100 | 100 |
| Pure Salmon | Japan | RAS | 1 500 | 10 000 |
| Qiongdao Guoxin | Kina | RAS | 420 | 20 000 |
| Xinjiang E'he Construction | Kina | - | 1 000 | 1 000 |
| Tianjin Changjiufada | Kina | - | 500 | 500 |
| Blue Horizon Coho Farm | Kina | - | 500 | 500 |
| Nordic Aqua Partners | Kina | RAS | 4 000 | 20 000 |
| Shandong Ocean Oriental | Kina | RAS | 420 | 700 |
| Pure Salmon Poland | Polen | RAS | 450 * | 600 |
| Jurassic Salmon | Polen | RAS | 150* | 1 000 |
| Norcantabric | Spania | RAS | 3 000 | 3 000 |
| Swiss Lachs | Sveits | RAS | 600 * | 3 400 |
| Atlantic Sapphire | USA | RAS | 7000 * | 220 000 |
| Aquabounty | USA | RAS | 1200 * | 10 000 |
| Superior Fresh | USA | RAS | 2000 * | 160 000 |
| Bluehouse Salmon | USA | RAS | 3000 * | 60 000 |
| | | | Sum: 46 057 | Sum: 538 227 |

4.3 Planlagte prosjekter

Til tross for at mye informasjon holdes tilbake, har flere planer om landbasert lakseproduksjon blitt offentliggjort de senere årene. Dette delkapittelet gir et bilde på interessen for landbasert matfiskproduksjon, teknologier og potensiell produksjonskapasitet havbruksnæringen står overfor. Produksjonskapasiteten er beregnet ut ifra de mest optimistiske tallene til bedriftene, antatt at samtlige får godkjenning til å drifte. Det vil si kapasiteten de forventer etter de første fasene - når de er fullt utbygget og i full produksjon. Med andre ord er det stor usikkerhet til om denne kapasiteten blir realisert.

4.3.1 Planlagte prosjekter i Norge

Det er til sammen 26 bedrifter som planlegger landbasert drift i Norge (tabell 9). Noen av de planlegger mer enn ett anlegg, på ulike lokaliteter og med varierende teknologi. Blant alle planlagte prosjekter er RAS-teknologi dominerende. Av totalt 30 planlagte anlegg vil 15 av dem bruke RAS, mens fem lokaliteter vil ha 100 prosent FTS. De fire resterende (med kjent teknologi) vil enten bruke en hybrid løsning, eller benytte seg av både RAS og FTS avhengig av laksens livsstadier.

Full produksjonskapasitet varierer mellom 90 til 100 000 tonn avhengig av om anleggene er ment som pilotprosjekter eller stordrift. Basert på informasjonen i tabell 9 planlegges det en total kapasitet på rundt 579 421 tonn.

Tabell 9. Planlagt produksjonskapasitet i Norge. Dette er så mye man klarer å finne basert på åpne kilder.

| Bedrift | Lokalitet | Teknologi | Kapasitet første fase | Kapasitet full produksjon |
|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|
| Ecofisk Norway AS | Haugesund, Tysvær. Nord-Rogaland | RAS | 5 000 | 40 000 |
| Andfjord Salmon AS 1, 2 og 3 (pilot) | Vesterålen, Andøya | FTS | 10 000 | 90 000 |
| World Heritage Salmon AS (WHS) | Røbbervika, Sunnmøre | HFS og FTS | 25 000 | 100 000 |
| Bulandet Miljøfisk (pilot prosjekt) | Bulandet, Askvoll | RAS | 1 000 | 15 000 |
| Salfjord AS 1 og 2 | Aure, Møre og Romsdal | HFS | 8 700 | 21 000 |
| Gigante Salmon AS | Rødøy Helgeland | FTS | - | 13 731 |
| Helgeland Miljøfisk AS | Tofte, Helgeland | FTS | - | 40 000 |
| Viking Aqua AS | Skipavika Næringspark, Gulen | RAS | 27 000 | 33 000 |
| Baring Farsund AS | Lundevågen, Farsund | RAS | - | 24 000 |
| Norwegian Seafarming AS | Ramsvika, Tysvær | RAS, FTS og HFS | - | 12 500 |
| Ocean Farm Holding AS (pilot) | Hausvik, Farsund | RAS | - | 10 000 |
| Lista Laks AS | Lista, Farsund | RAS | 6 000 | 30 000 |
| Salmo Terra AS | Øygarden | RAS | 2 700 | 8 000 |
| Lofoten Salmon AS | Kleppestad | - | - | 3 100 |
| Gaia Salmon AS 1 og 2 | Galtaneset, Træna | RAS | - | 50 000 |
| Fishbase Group AS | Bjørnøya, Dønna | RAS og FTS | - | 2 000 |
| Tomren Fish AS | Trøhaugen, Vestnes | RAS | - | 5 000 |
| Hjelvik Matfisk AS (pilot) | Rauma | FTS | - | 2 000 |
| Lerøy Årskog AS | Fitjar, Årskog | RAS | - | Utsatt |
| Vadheim Akvapark AS | Høyanger | RAS | - | 6 000 |
| OFS Måløy AS | Barstadvik, Måløy | RAS | 7 500 | 15 000 |
| OFS Nordkapp AS | Storbukt, Nordkapp | RAS og FTS | - | 4 000 |
| Greenaquanor AS | Elvevoll, Balsfjord | RAS | 90 | 90 |
| AS Bolaks | Komfarholmen, Bjørnafjorden | RAS | - | 10 000 |
| Smart Salmon Foods AS | Smørhamn, Bremanger | RAS | 7 500 | 30 000 |
| Arctic Seafarm AS | Nesna, Helgeland | FTS | - | 15 000 |
| | | | Sum: 100 490 | Sum: 579 421 |

4.3.2 Planlagte prosjekter i verden

I utlandet planlegges det minst 36 anlegg fordelt på 27 bedrifter. I likhet med Norge dominerer RAS-teknologi (tabell 10). Ikke alle bedrifter har tilgjengelig informasjon om valg av teknologi. Blant bedriftene med kjent teknologi, viser tabell 10 at over 70 prosent av prosjektene planlegger å benytte RAS. Sammenlignet med Norges planlagte prosjekter, skyldes nok den betydelige høyere andelen RAS i utlandet, lokaliteten til anleggene rundt om i verden. Norge har på sin side stor kystlinje og friskt vann, som gjør det mulig å benytte FTS i større grad.

Det planlegges en total kapasitet på rundt 1 119 927 tonn. Det er fordelt utover 17 land. Landene er Belgia, Brunei, Chile, Danmark, De forente arabiske emirater, Frankrike, Island, Japan, Kina, Lesotho, Portugal, Russland, Sverige, Sør-Afrika, Sør-Korea, Tyskland og USA. Den planlagte kapasiteten tilsvarer grovt regnet halvparten av verdens sjøbaserte lakseproduksjon i 2021 (Berge, 2021).

Tabell 10. Planlagte prosjekter i verden. Dette er så mye man klarer å finne basert på åpne kilder.

| Bedrift | Lokalitet | Teknologi | Kapasitet full produksjon |
|--------------------------------|------------------------------|--------------|---------------------------|
| Columbi Salmon | Belgia | RAS | 15 000 |
| Columbi Salmon | Belgia | RAS | 15 000 |
| Pure Salmon Sør-Øst Asia | Brunei | RAS | 10 000 |
| Bordemar | Chile | RAS | 24 000 |
| Skagen Aquaculture | Danmark | RAS | 3 300 |
| Pure Salmon Midt-Østen | De forente arabiske emirater | RAS | 10 000 |
| Viking Labels | De forente arabiske emirater | RAS | 5 000 |
| Pure Salmon France | Frankrike | RAS | 10 000 |
| Smart Salmon holding France AS | Frankrike | RAS | 20 000 |
| Landeldi | Island | HFS | 15 000 |
| Samherji | Island | RAS | 40 000 |
| Proximar Seafood AS | Japan | RAS | 6 300 |
| Pure Salmon Japan | Japan | RAS | 10 000 |
| Norsal | Kina | RAS | 30 000 |
| Pure Salmon China | Kina | RAS | 100 000 |
| Pure Salmon Lesotho | Lesotho | RAS | 10 000 |
| Maiken Foods AS | Portugal | RAS | 6 000 |
| Aqua Group | Russland | RAS | 2 500 |
| Aquaproduct | Russland | RAS | 2 500 |
| Kazan-anlegg | Russland | - | 10 000 |
| Nordic Salmon AB | Sverige | RAS | 10 000 |
| Quality Salmon | Sverige | RAS | 110 000 |
| Quality Salmon AB | Sverige | RAS | 100 000 |
| Smøgenlax | Sverige | RAS | 6 000 |
| Brumer Development | Sør-Afrika | - | 2 000 |
| Cape Nordic | Sør-Afrika | RAS | 6 000 |
| Upstream Salmon | Sør-Afrika | - | 2 000 |
| Dongwon Industries | Sør-Korea | HFS | 20 000 |
| Salmon Evolution Asia AS | Sør-Korea | HFS (hybrid) | 20 000 |
| Berliner LandLachs | Tyskland | RAS | 5 000 |
| AquaCon | USA | RAS | 50 000 |
| Nordic Aquafarms Inc | USA | RAS | 33 000 |
| Nordic Aquafarms Inc | USA | RAS | 27 000 |
| Pure Salmon USA | USA | RAS | 20 000 |
| West Coast Salmon | USA | RAS | 50 000 |
| Whole Oceans | USA | RAS | 25 000 |
| | | | Sum: 1 119 927 |

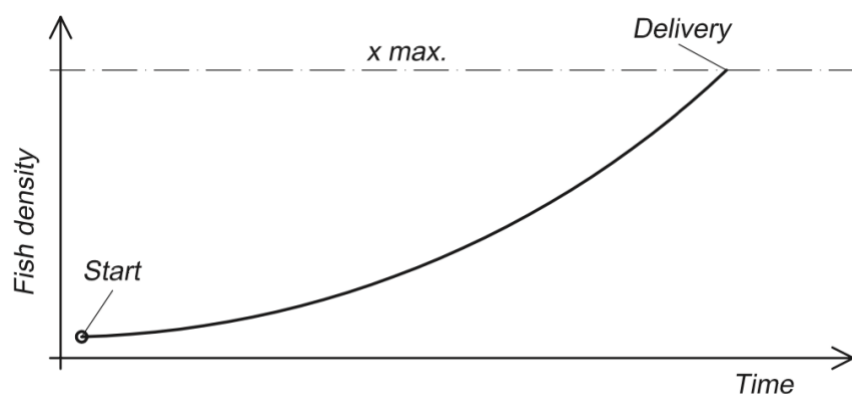
5. Behovet for flytting og størrelsessortering

5.1 Interntransport av fisk

Behovet for flytting og sortering når man produserer laks på land oppstår på bakgrunn av de store kostnadene som er belyst tidligere i denne oppgaven i delkapittel 3.3. Det er nødvendig at bedrifter og andre involverte aktører tenker over dette når en skal planlegge, bygge og drifte slik produksjon. Investeringskostnadene er høye, men på sikt kan de falle så sant omsetningen øker. På land er det viktigere å holde en høy gjennomsnittlig biomasse for å drive lønnsomt sammenlignet med i sjø. Investeringskostnadene bak og kostnadene når en er i drift er høyere enn i konvensjonell oppdrett.

Loven for maksimal fisketetthet i sjø er foreløpig lavere enn hva som er lov på land, fordi landbasert matfiskoppdrett er såpass nytt at det ikke er tatt forbehold om i lovverket. Man kan dog forvente at lovverket oppdateres i fremtiden nå som laks produseres mer og mer på land. Som nevnt, er loven for maksimal tetthet i sjø per i dag er 25kg/m^3 . På land ser man på tettheter opp mot 90kg/m^3 (Bjørndal & Tusvik, 2018). Det innebærer mulighet for betydelig større produksjonsvolum og økt salg, men til gjengjeld får laksen mye trangere plass.

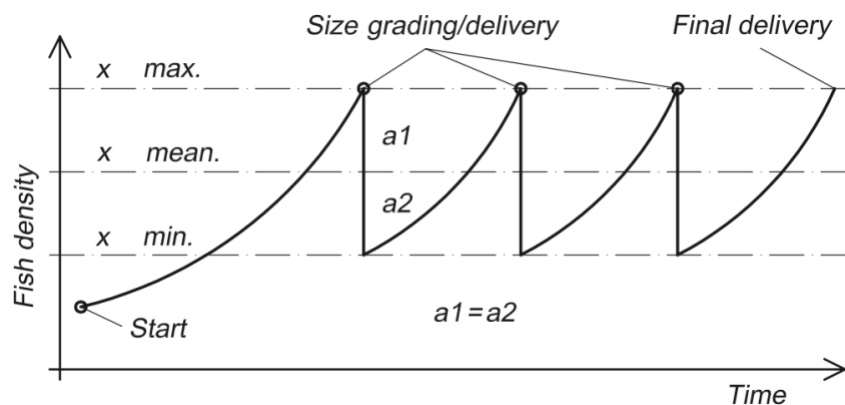
Grunnet dagens lovverk har laks i havet mye mer plass enn laks som lever i tanker på land. Smolt som ankommer havmerder med mye plass kan vokse seg større uten å overstige MTB og unngå å overskride tetthet på 25kg/m^3 (figur 11). Slik strategi gir derimot dårlig volumutnyttelse og er ikke lønnsomt i landbaserte anlegg hvor investeringskostnader per m^3 tankvolum er høy.



Figur 1111. Produksjonsdrift uten sortering (Lekang, 2020)

Økt tetthet på land reduserer produksjonskostnaden per slaktet kg (Grønvik & Grünfeld, 2021). På den andre siden vil det nå en maksimal grense før tettheten begynner å gå utover vekst og velferd. Denne grensen varierer avhengig av faktorer som for eksempel temperatur, alder, art og individets evne til å håndtere stress. For postsmolt hos atlantisk laks på rundt 115 gram i 9,5 grader celsius, er det kommet frem til at tetthet opp til 75 kg/m³ kan praktiseres uten at det går på bekostning av ytelse og velferd (Calabrese et al., 2017).

Av genetiske grunner vil ikke all laks i tanken vokse likt, selv når all laksen starter med nøyaktig lik vekt ved startfôring. Noen laks vil vokse raskere enn andre, og det kan være lurt å følge en flyttestrategi som sorterer ut individer etter hvert som de vokser (figur 12). I sjøbaserte merder er slik flytting som regel av hensyn til den maksimale tettheten, men sett bort ifra negative biologiske konsekvenser ved høye tettheter, er ikke dette en begrensning på land enn så lenge. Faktoren som påvirker flytting og sortering på land omhandler i større grad tilveksten og ønske om å ha så høy stående biomasse som mulig.



Figur 1212. Produksjonsdrift med sortering (Lekang, 2020)

I en merd/tank med laks på samme alder forekommer det variasjon i størrelse (mer om dette i delkapittel 5.2). Siden oppdrettsfisk fôres ut ifra størrelse, medfører det en høyere risiko for at ikke alle individer får spist. Det er fordi de minste individene blir for små til å klare å spise pelletene de blir fôret med. De er også sist i rekken blant alle til å få spist av hierarkiske grunner (Jones et al., 2010). Ved høye tettheter, slik det planlegges og praktiseres i landbasert oppdrett, blir det enda mer utfordrende å fôre alle individene (Fredrikstad Seafoods, 2022). Fredrikstad Seafoods erfarer at høy tetthet i tillegg kan føre til skader, stress og redusert tilvekst.

Flere studier viser at laks får redusert tilvekst som følge av stress (Liu et al., 2015; McCormick et al., 1998). Veksthastigheten påvirkes i stor grad av miljømessige faktorer som temperatur og andre vannkvalitetsparametere. En av flere viktige faktorer for å lykkes med produksjon på høye tettheter er å ikke utsette fisken for dårlig vannkvalitet og stress.

Selv om forskning har vist at spredning i størrelse blant parr i samme enhet har positiv innvirkning på vekst og atferd (Adams et al., 2000), er det likevel fornuftig å størrelsesortere matfisk. Når fisken vokser tåler den høyere tettheter fordi de blir mer robuste og hardføre mot stressfaktorer etter de har smoltifisert og tilpasset seg saltvann (Jarungsriapisit et al., 2016). Forskning viser at fisk som lever i tank med lignende størrelse som sin egen, etter å ha blitt plassert sammen, vokser betydelig raskere og med det øker omløpshastigheten i anlegget (Król et al., 2019; Lambert & Dutil, 2001). Fisk av lik størrelse vil være enklere å føre riktig fordi størrelsen på pelletene man føder med øker med populasjonens størrelse, som betyr at flere fisk får riktig fôr. Dersom flesteparten har lik størrelse blir det også lettere å planlegge slaktetidspunkt.

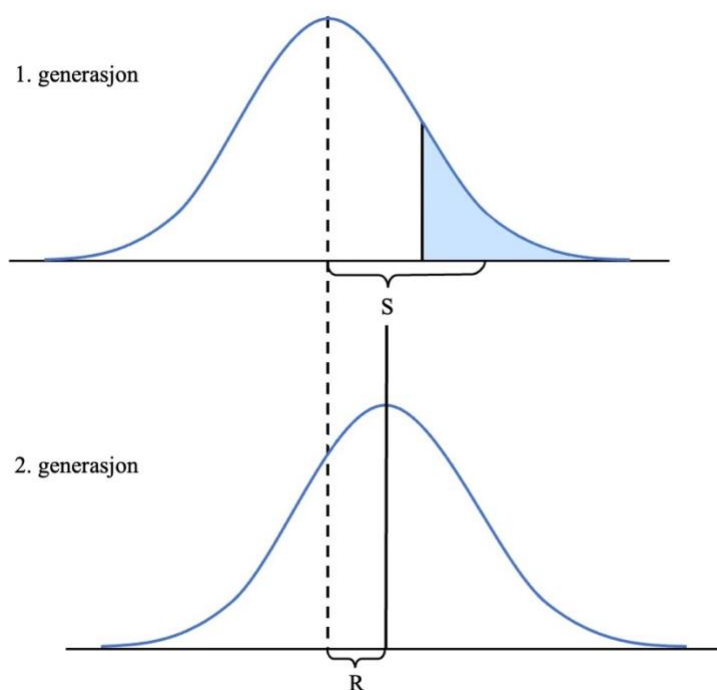
Det er markedet som bestemmer at laks burde slaktes når de når en vekt på rundt fem kg. Dette er den foretrukne størrelsen og dermed viktig å overholde for å unngå problemer rundt salget av laksen. Det er en stor fordel å kunne melde inn riktige tall så tidlig som mulig og selge laks på forhånd. Sorterer man fisk for eksempel etter kategoriene liten og stor, får man delt normalfordelingen i to. Allerede da reduseres spredningen og man får bedre kontroll på hvilke størrelser man slakter. Hvis man ikke størrelsesorterer vil fisk slaktes på over og under fem kg også. Særlig er fisk under fem kg ønskelig å unngå.

På slakterier er maskiner innstilt etter visse størrelser, som betyr at mindre spredning i størrelse øker sannsynligheten for at individene slaktes humannt. Humannt slakt er bedre for fisken og for forbrukeren. Resten av maskinene vil også ha bedre nøyaktighet hvis laksen er relativt lik i størrelsen. Med andre ord er mindre spredning i størrelse også velferdsmessig og kvalitetsmessig gunstig etter fisken har ankommet slakteriet.

5.2 Variasjon i størrelse

5.2.1 Avl og genetikk

Genetiske betingelser er med på å skape ujevn tilveksthastighet blant individer i en gruppe. Slik er det også for laks. Gjennom flere generasjoner har oppdrettere hatt avlsmål på oppdrettslaksen for å få frem ønskede egenskaper. Da oppdrett begynte på 1970-tallet var avlsmålet tilvekst. Med årene la man til flere avlsmål, herunder alder for kjønnsmodning, sykdomsresistens, filetfarge og fettinnhold. Senere har man lagt til kvalitetsegenskaper, generell overlevelse og motstandsdyktighet mot ytterligere sykdommer (Lhorente et al., 2019). Målet med avl er å endre gjennomsnittet i populasjonen i ønsket retning (figur 13). Riktig retning gir både genetisk og økonomisk gevinst for eksempel grunnet økt produksjon i form av raskere tilvekst og bedre sykdomsresistent.



Figur 1313. Genetisk gevinst fra en generasjon til den neste. S er seleksjonsdifferansen og R er seleksjonsresponsen

Som nevnt er hovedprinsippet med avl å forbedre de neste generasjonene ved å øke avlsverdien. Forbedringen vises gjennom seleksjonsrespons (R) (Morrissey et al., 2010):

$$R = h^2 \cdot S \quad (8)$$

h^2 – Arvegrad

S – Seleksjonsdifferanse

Arvegrad er den arvelige delen av variasjonen for egenskapen, mens seleksjonsdifferansen er gjennomsnittet av den selekterte fisken som ligger over populasjonsgjennomsnittet. Arvegrad oppgis mellom 0 og 1, og jo høyere arvegraden er, desto mer arvelig er egenskapen som igjen gir sikrere avlsverdi. Hvis arvegraden er lav spiller miljømessige faktorer inn på fenotypen. (Geno, 2020)

Husdyr på land avles ofte frem ved fenotypeseleksjon. Fenotype er egenskaper som kommer til uttrykk hos individet. For eksempel er det lett å se fenotypiske trekk hos ei ku. Kyr kan enklere testes direkte for egenskaper, mens fisk ikke tåler å bli håndtert i lik grad. Ei heller er det lett å skille individer fra hverandre ut ifra utseende. For å avle frem egenskaper hos laks bruker man genetisk informasjon fra foreldre, søsken, avkom og andre slektninger. Egne stamfiskanlegg oppdretter foreldrefisk som er nøye utvalgt basert på de ønskede egenskapene. Her blir det produsert rundt 300 familier hvert år, der noen individer fra hver familie merkes med en databrikke (Bakke & Melingen, 2010). Disse individene testes for alle aktuelle egenskaper og gir oss flere kandidater å velge mellom som igjen fører til raskere genetisk fremgang. Dette øker seleksjonsintensiteten. For å forhindre innavl krysses stamfisken. Nøye arbeid og grundig seleksjon sikrer avkom med riktige egenskaper. Informasjon om avkom er så nøyaktige som de er fordi laks har mange slektninger å hente informasjon fra.

Når det kommer til laksens tilvekst, vil vekstraten til en fiskegruppe påvirkes av både genetikk og miljø. Hos atlantisk laks er det forsket frem at vekstraten blir signifikant påvirket av vanntemperatur og fiskestørrelse (Handeland et al., 2008). Samme artikkel fant at vekstraten steg mest blant fiskegruppen som levde i en temperatur på 14 grader celsius. Handeland et al. (2008) kom videre frem til at den optimale temperaturen for tilvekst økte

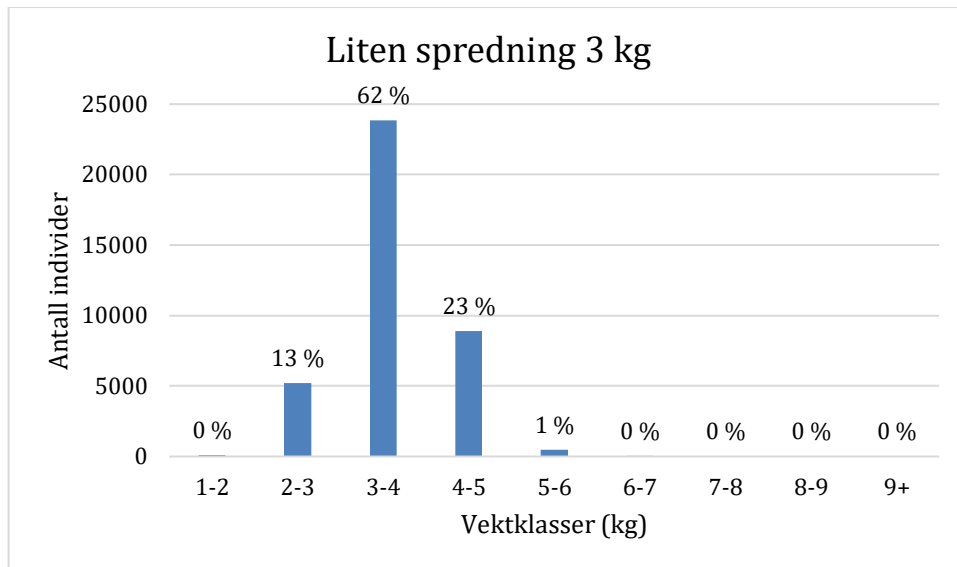
med fiskestørrelsen. Det er likevel en øvre grense for når temperaturen blir for høy. For eksempel vil oksygeninnhold i vann synke med økt temperatur, og fisken kan derfor få dårligere velferd og redusert tilvekst hvis vannet blir for varmt (Ojolic et al., 1995). Konklusjonen var at laks mellom 70 og 150 gram vokste best ved 12,8 grader celsius, mens postsmolt mellom 150 og 300 gram vokste best ved 14,0 grader celsius (Handeland et al., 2008).

Betingelsen for å sikre god vekstrate er annerledes i landbaserte anlegg enn i sjø. Det er begrunnet med at man på land kan justere parametere som belysning og temperatur til optimale verdier gjennom hele året. Derimot, vil laks i sjø leve i temperaturforandringene havet har og dermed ha varierende tilvekst (Solbakken et al., 1994). Uansett om laks lever i sjø eller i tanker på land vil tilveksten variere på individuelt nivå.

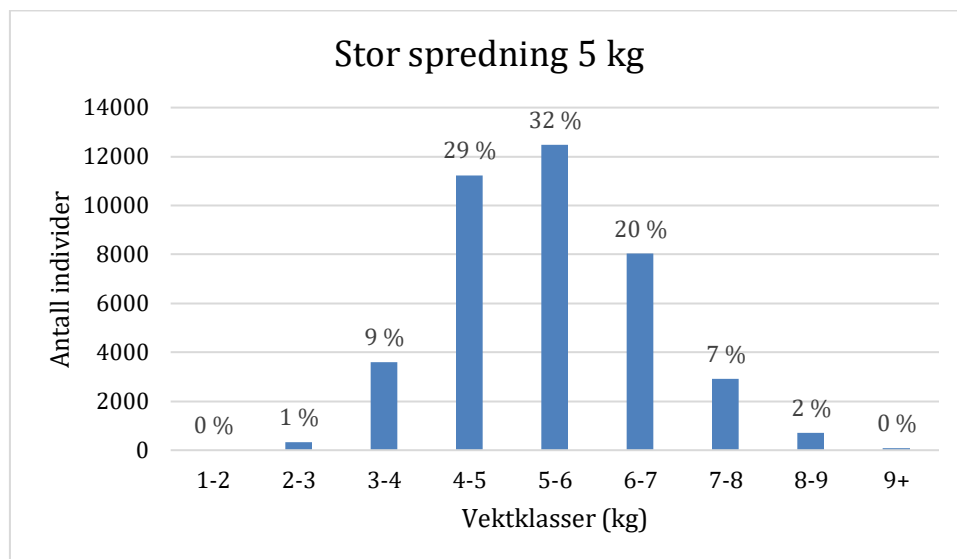
I en merd med laks vil det alltid være individuelle variasjoner på tilvekst. Noen individer vokser raskere enn andre, som over tid medfører at det vil bli forskjeller i størrelsen til individene. Denne vektfordelingen kan utvikle seg til å ligne et hierarki der de største individene får mesteparten av fôret og de minste individene får lite fôr. Da får man en to-gruppe-fordeling med typiske vinnere og tapere. Denne fordelingen kan bidra til å redusere den totale veksten i fiskegruppen. (Lekang, 2020)

5.2.2 Forventet spredning

Figur 14 og 15 er beregnet ut ifra innhentede data fra to merder med henholdsvis liten og stor spredning. Merden med liten spredning har gjennomsnittsvikt på tre kg, mens merden med stor spredning har gjennomsnittsvikt på fem kg. I figur 14 er majoriteten av fisken den samme vekten, men man ser fortsatt en spredning blant vektklassene. Ved større spredning kan det se ut til at fordelingen blir tilnærmet normalfordelt (figur 15). Uavhengig av størrelse på spredning, varierer det hvor mange fisk som tilhører de ulike vektklassene. Det vil si at man alltid vil se spredning i vekt blant fisk i samme gruppe.



Figur 1414. Forventet spredning i størrelse på laks, basert på nesten 40 000 individer



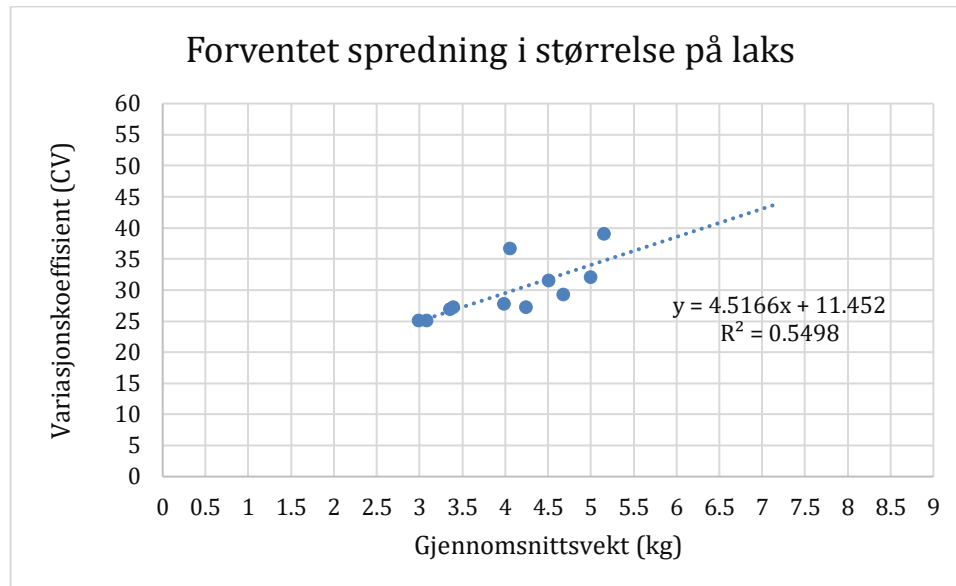
Figur 15 15. Forventet spredning i størrelse på laks, basert på nesten 40 000 individer

Man kan beskrive variasjonen i de ulike vektklassene til en fisk ved hjelp av variasjonskoeffisienten (CV). CV er standardavviket (σ) uttrykt som en prosentandel av middelverdien (μ):

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100 \quad (9)$$

Basert på innhentet data fra ni merder ble det laget en figur som viser forventet spredning til ulike størrelser på laks (figur 16). Tallene ble regnet ut ved hjelp av ligning 9. Eksempelvis

vil man forvente en CV på 32 ved størrelsesorden fem kg. Trendlinjen viser at R^2 er 0,55. R^2 ligger mellom 0 og 1, og jo nærmere R^2 er 1 desto mer kan y-variabelen forklare x-variabelen. I dette tilfellet forklarer variasjonskoeffisienten 55 prosent av vektfordelingen. 45 prosent er dermed ikke forklart av denne modellen. Det betyr at det kan se ut som at forventet spredning øker etter hvert som gjennomsnittsvekten til laksen øker, men at variablene ikke nødvendigvis påvirker hverandre.



Figur 1616. Forventet variasjonskoeffisient ved gitt størrelsesorden

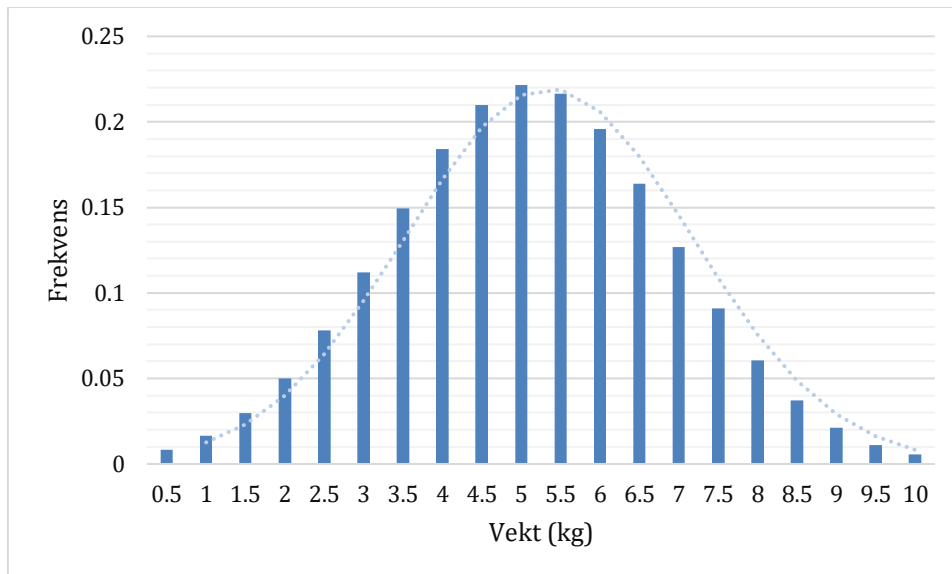
Forventet spredning i størrelse kan visualiseres ved hjelp av normalfordeling, selv om størrelsevariasjon ikke er fullstendig normalfordelt. Formelen for normalfordeling er:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (10)$$

μ – Gjennomsnitt

σ – Standardavvik

Basert på dataen brukt til å beregne figur 16 kan man anta en normalfordeling for å se forventet spredning. Hvis man antar normalfordeling og har en tank med gjennomsnittsvekt på fem kg, kan man forvente en spredning av ulike vektclasser som vist i figur 17. Da kan man forvente at 22 prosent av all fisk i tanken veier fem kg.



Figur 1717. Forventet spredning i tank med en gjennomsnittsstørrelse på fem kg

Når man sorterer fisken etter størrelse, vil den individuelle variasjonen i vekt og CV reduseres. CV varierer fra 0 til 100 prosent, der lavere CV gir et bedre mål på den relative variasjonen. CV er relatert til vekstraten i utviklingsstadiet. For å holde oversikt over produksjonen er det nødvendig at CV er lav. I et settefiskanlegg er det vanlig å sortere fire til fem ganger per år. I et tradisjonelt matfiskanlegg holder det normalt med én sortering, og i noen tilfeller en ekstra ved slakt. (Lekang, 2020)

5.3 utfordringer tilknyttet flytting og sortering

Høye investeringskostnader medfører at man burde ha en så høy stående biomasse som mulig. Mer fisk gir høyere produksjon og i landbaserte anlegg lar dette seg gjøre fordi det ikke eksisterer noe lovverk for maksimal tetthet av fisk. Forskjellige funn viser at ved å sortere kan laksen få økt tilvekst og oppdrettsselskapene får bedre estimater på hva de leverer til slakt. Det forutsetter at man ikke utsetter fisken for unødvendige håndtering. I tillegg til utfordringer tilknyttet fiskevelferd er det flere usikkerheter som kan oppstå i forbindelse med flytting og sortering.

5.3.1 Fiskevelferd

Fiskevelferd har fått økt fokus blant konsumenter, noe som gjør at næringen har blitt presset til å ta mer hensyn til fiskens velvære. Fisk er på lik linje som andre husdyr beskyttet, jf lov om dyrevelferd. Sjøbaserte anlegg har en tetthetsbegrensning nettopp av hensyn for dette. Til tross for at det kan være opp mot 200 000 laks i en merd, består det totale volumet i merden av hele 97,5 prosent vann og kun 2,5 prosent fisk (Larsen, 2019). De høye tetthetene som praktiseres i tanker på land medfører mindre areal per individ.

Forskning gjort av Turnbull et al. (2005) viser at velferd blant laks blir dårligere når tettheten overskrider 22 kg/m³, i motsetning til Calabrese et al. (2017) som kom frem til at man kan praktisere tettheter opp til 75 kg/m³. Felles for begge er at laksens velferd reduseres med økt tetthet. Likevel påpekes det at tetthet bare er én av flere faktorer som påvirker velferd. For å måle velferd må flere velferdsparametre med i beregningen (Turnbull et al., 2005).

Når tettheten øker, blir det mer utfordrende å føre all fisken og dermed også vanskelig for fisken selv å spise seg mett. Dårlig føring gir flere ringvirkninger som for eksempel stress og avmagring (Ellis et al., 2005). De økte tetthetene gir også dårligere vannkvalitet. Oppdrettere må derfor kontrollere at fisken får nok oksygentilgang til enhver tid. I sjøbaserte merder er det utfordrende å måle tettheter fordi man må vite nøyaktig biomasse, tilvekst, overlevelse og volum. Fordelen med å produsere på land er at tankene ikke forandrer form, slik myke nett gjør, men i stedet har et konstant volum. Det kan derfor være enklere å ha kontroll på eksisterende tetthet. På den andre siden vil ikke slik kontroll hjelpe føring utfordringen.

Føring er utfordrende med tanke på tetthet blant annet på grunn av atferdsendring. Laks som står tett blir mer aggressive rundt føring. Når tusenvis av fisk står for tett vil en andel av gruppen få begrenset tilgang til fôr. Ifølge Jones et al. (2010) har fôrbegrenset fisk vist seg å ha flere og mer intense aggressive interaksjoner mellom seg, sammenlignet med fisk som har bedre tilgang på fôr. I samme forsøket fikk laks som utagerte mindre skader, større tilvekst og kom høyere opp i rangstigen enn laks som mottok aggresjon. Ser man vekstreduksjon i en populasjon, trenger ikke nødvendigvis avmagringen å komme av at fisk spiser mindre, men at forbruket går opp. Forbruket kan blant annet gå opp grunnet aggresjon mellom individer eller generelt økt stress (Jonsson & Jonsson, 2006).

Av hierarkiske grunner har større individer mindre stresspåkjenninger (Cubitt et al., 2008). De minste individene i et hierarki kan bli utsatt for kannibalisme hvis variasjon i størrelse blir for stor (Lekang, 2020). På den andre siden skaper hierarki orden i en gruppe fordi hvert individ vet sin plass. Et forsøk gjort av Adams et al. i 2000 underbygger denne teorien med sine funn som viste at spredning i størrelse kunne redusere aggresjon og øke tilvekst, selv om større fisk angrep mindre fisk. Det viste seg å være mer aggresjon blant fisk av lik størrelse når det var fravær av større fisk i tanken. De konkluderte med muligheten for at aggresjon kan reduseres i en fiskepopulasjon ved å legge til noen store individer (Adams et al., 2000).

Dersom man skal holde høye tettheter er det viktig at det tas forbehold om å redusere de ovennevnte påkjenningene. Sortering kan være en stressende påkjenning for fisk, men bruker man riktig metode og utstyr kan sortering være en positivt håndtering - både for fisk og oppdrettere. Fisk kan få økt velferd av å sorteres blant annet fordi alle er tilpasset fôrets størrelse (forutsatt at alle får tilgang på fôret). Hvis fôringsregime sørger for at alle individer får spist kan spredningen holdes så liten som mulig, men fordi de av biologiske grunner har ulik tilvekst, vil det være behov for å sortere fisken ofte.

Hyppig sortering kan ha uønskede konsekvenser på produksjonen når fisken blir stresset. For å øke toleransen mot håndtering kan man avle frem egenskaper som gjør fisken mer robust. Noen fisk har attpåtil vist tilvenning til flytteprosessen og blitt mindre stresset for hver gang (Lekang, 2020). All håndtering vil likevel inkludere prosesser der det er potensial for å bli stresset, i tillegg til at prosessen koster tid og ressurser. Håndteringen må derfor veies opp mot konsekvensene av å sortere. Hvis det skal være lønnsomt må prosessen være effektiv og skånsom.

Det eksisterer metoder som er skånsom for fisken. MMC First Process har utviklet en pumpe hvor fisken var tilbake på full fôring etter kun to til tre timer, mot to til tre dager tidligere (Waagen, Salgssjef hos MMC First Process, 2022). Hvor stresset fisken blir kommer med andre ord an på metode, men uavhengig av sorterings- og flytteprosess kreves det opptrent personell slik at fisk utsettes for minst mulig stressorer (Lekang, 2020).

5.3.2 Feilkilder

Når man skal drive med størrelsessortering er det ulike feilkilder som kan oppstå. Fisk har ulike preferanser på plassering i en merd/tank, noe som er viktig å tenke på når man skal ta vektprøver. For å få et representativt utvalg er det derfor lurt å blande fisken før man henter ut en prøve (Lekang, 2020). Slakterier mottar fisk fra brønnbåter med informasjon om antall fisk og gjennomsnittsvikt. På slakteriet telles fisken opp på nytt og avvik kan forekomme. Datasettet brukt i denne oppgaven kan inneholde slike feil og derfor kan man ikke si med sikkerhet at det er slik CV man får ut ifra en gitt gjennomsnittsvikt. I tillegg kan man ikke vite nøyaktig CV av genetiske grunner.

6. Felles diskusjon

Formålet med dette studiet har vært å se på landbasert oppdrett av atlantisk laks. Studiet har gitt en innføring i teknologi, dagens status og behovet for å sortere laks i landbaserte produksjonsenheter.

6.1 Den landbaserte oppdrettsnæringen

Landbasert oppdrettsteknologi er under utvikling og blir stadig bedre. Erfaring fra den konvensjonelle produksjonsformen fra både settefiskanlegg og sjømerder gir viktig erfaring som kan overføres til landbasert produksjon. Begge produksjonsformene håndterer like dyr med like behov. Metodene skilles i hvordan disse behovene blir dekket.

I konvensjonell oppdrett lever matfisk under naturgitte forhold som ligner mer på villaksens habitat. Her påvirkes fisken av svingende temperaturer, belysning og andre miljømessige faktorer. I kontrollerte merder på land vil disse faktorene være fullstendig menneskestyrt. Det innebærer at landbasert oppdrettsproduksjon kan få høyere omløpshastighet dersom de biologiske og teknologiske forutsetningene for å lykkes er på plass. Her inngår faktorer som optimal tetthet, vannkvalitet og føring. Det betyr også at dersom systemsvikt inntreffer, vil produksjonen lide store tap. I sjø er det lavere risiko for betydelig dårlig vannkvalitet. Likevel har også merder overvåkning av ulike parametere for å oppdage kritiske verdier. Fordelen med havet er at naturlige strømminger kan utjevne verdiene. Merdene er også så store at fisken kan flytte seg til andre nivåer med bedre forhold. Hvis det skjer alvorlige systemsvikt i lukkede anlegg, har ikke fisken noe sted å flykte. I tillegg kan det ta lenger tid å rette opp i feilen. Det kan få fatale konsekvenser. På en annen side utvikler teknologien seg i raskt tempo. Med tiden får man større datamengder med erfaring om biologi og teknologi som vil gi bedre forutsetninger for å lykkes.

Fordi landbaserte anlegg har mulighet til å justere miljømessige parametere i større grad enn man kan i sjø, har næringen tro på at kvaliteten på sluttproduktet kan forbedres ved å optimalisere forholdene i tankene. Det kan for eksempel gjøres ved å øke vannstrømmen slik at fisken svømmer mer. Bedre kvalitet på laksen gir bedre pris, men i landbaserte anlegg har laksen i noen tilfeller fått uheldig jordsmak i kjøttet. Det behøves med andre ord mer forskning innen området for å kunne løse en negativ effekt som dette.

Landbaserte teknologier kan bidra til å øke verdens sjømatproduksjon ved at man kan levere fersk fisk gjennom hele året. Produksjonen kan også lokaliseres vekk fra kyst og fjorder. Da kan man oppdrette laks nære de store markedene som for eksempel USA og Kina, uten at kystlinje begrenser kapasiteten. Produserer man der markedene ligger får man i tillegg kortere transportetappe, som gir et logistikkfortrinn med bedre lønnsomhet for næringen og ferskere fisk for konsumenter. Ulempen med dette er at Norges komparative fortrinn for å drive lakseoppdrett kan reduseres hvis slik produksjonsform anvendes i stor skala. Norge er derimot pådrivere til utviklingen av slike løsninger fordi kunnskapen innen feltet kan eksporteres. Slik kan Norge beholde posisjonen som en av verdens største sjømateksportører.

Opgaven har tatt for seg de tre vanligste teknologiene, hvor RAS er den mest komplekse av dem. Teorien bak RAS viser kompliserte systemer, som igjen krever personell med riktig kompetanse. Hvis utviklingen skjer for raskt, kan det bli knapphet på folk med faglig kompetanse. Samtidig er utvikling innen vann-resirkulering generelt et ønsket skritt i riktig retning for å redusere verdens vannforbruk. Med økende mangel på ferskvann er RAS et positivt bidrag som gjør det mulig å produsere laks på steder hvor ferskvannstilgangen er lav og der vannkvaliteten er dårlig. De to resterende teknologiene er ikke like ubetinget. FTS og HFS bruker store mengder nytt vann og må i større grad temperaturregulere vannet. Vannbehov og temperaturregulering krever mye energi og gir høye utgifter, men har til gjengjeld færre dyre komponenter og mindre mengder vann som skal behandles.

Som nevnt tidligere, selges laksen i samme marked og må forholde seg til samme markedspris. Generelt har landbasert høyere kostnader enn konvensjonelle anlegg. På en annen side har konvensjonelle anlegg en del risikoelementer knyttet til ulike miljøparametere som for eksempel lakselus. Her har landbasert en stor fordel grunnet bedre kontroll på hva fisken utsettes for. Om ikke fullstendig, kan fisken leve størsteparten av sitt oppdrettsliv uten å være i faresonen for å utsettes for lakselus - forutsatt at oppdrettere henter vannet fra dyp nok dybde. Dette gir store besparelser på de totale produksjonskostnadene tilknyttet behandling og helse. Investeringskostnadene gjør det likevel utfordrende å drive lønnsomt, spesielt i liten skala. Øker man derimot fisketettheten, får man høyere stående biomasse og kan fordele kostnadene på større mengde solgt laks.

Til tross for at fisk er fôreffektiv, er den største kostnaden i konvensjonell lakseoppdrett per kg laks fôr. Mellom 2008 og 2020 økte denne kostnaden med nesten 4 kroner. Prisen på fôret

er den største grunnen til at kostnaden har økt. Flere av bedriftene som skal produsere på land peker på at de vil ha bedre kontroll på fôret, da fôr som ikke blir spist vil bli fanget opp og registrert. Da kan de redusere fôrsvinn og med det også kostnadene tilknyttet fôr.

6.2 Dagens status

Interessen og engasjementet for å drive med lakseoppdrett er stor. Dette i kombinasjon med at regjeringen legger til rette for at man skal kunne lykkes i næringen, har ført til at flere bedrifter ønsker å drive med slik produksjon. Verdens produksjonskapasitet er i dag 48 057 tonn, hvor 2600 tonn av disse er i Norge. Ved utvidelse av kapasiteten til anleggene som allerede er i drift i Norge i dag, vil det bli en sammenlagt kapasitet på rundt 67 000 tonn.

Ved anleggene som enda ikke er i drift er det planlagt en kapasitet ved full produksjon på 579 421 tonn laks i Norge. Ved produksjon av dette volumet i sjø ville man trengt 743 nye konsesjoner. Dersom man regner en stykkpris på 220 000 per tonn, vil det bli et bruttobeløp på nesten 127 milliarder. Dette er inntekter staten går glipp av dersom konsesjonene på land forblir vederlagsfrie. I dag drar bedrifter god nytte av dette og kan heller bruke pengene til å investere i innovative løsninger. Man kan dog ikke se bort ifra at staten begynner ta betalt for konsesjonene for landbasert oppdrett.

Det er planlagt en kapasitet på 538 227 tonn ved full kapasitet på anleggene som er i drift i utlandet. Videre er det planlagt en kapasitet på 1 119 927 tonn ved full produksjon på de anleggene som enda ikke er i drift. Basert på planene er det grunnlag for betydelig økning av landbasert oppdrettslaks i fremtiden sammenlignet med dagens status.

Det er RAS-anlegg som er den dominerende teknologien som de planlagte anleggene skal benytte. Det er flere faktorer som spiller inn når de ulike bedriftene skal bestemme hvilken teknologi de skal satse på. Teknologier som RAS og FTS er mest utprøvd. Likevel trengs det fremdeles mer kunnskap og man ser derfor at det bygges pilotanlegg. Pilotanleggene bygges for at bedriftene skal kunne tilegne seg driftserfaring og bevise at denne produksjonsformen fungerer i praksis. Driftserfaringen vil bli brukt når de skal detaljplanlegge hovedanlegg, både når det kommer til produksjon og bygging av konstruksjonen til anlegget.

I dag er det to anlegg i drift i Norge som driver med RAS og man ser at mesteparten av anleggene som planlegges også vil bruke denne teknologien. Unntakene er bedriftene som planlegger å tilpasse teknologien ut fra lokaliteten. Da kan de benytte teknologi som FTS eller HFS.

Bedriftene som planlegger å utnytte de naturgitte forholdene har i stor grad drevet med innovasjon for å utvikle denne teknologien. Denne typen teknologi vil derimot ikke være med på å øke verdens totale produksjonen av sjømat i like stor grad som hva RAS har mulighet til. En fordel som landbasert oppdrett har, er muligheten til å samle opp avfall som produksjonen avgir. Avfallet er biorester som kan nyttegjøres i andre sektorer. I et samfunn hvor det er økende bevissthet rundt bærekraft, kan dette bli et konkurransefortrinn.

Det er stor differanse mellom kapasiteten anleggene produserer på nå og hva de har som planlagt kapasitet. Det man ser er at bedriftene har dimensjonert feil ut ifra hvor stor produksjonskapasitet som er planlagt. Det viser seg at produksjonsplanene er urealistisk høye.

Før bedriftene bygger anleggene lager de økonomiske analyser. I analysene ser de på investeringer og kostnader som igjen veies opp mot inntektene de vil få fra produksjonen. Det som skjer dersom produksjonsplanene er urealistiske er at prosjektet vil bli mindre lønnsomt, og i verste fall gå i underskudd. Informantene fra intervjuene pekte på ulike avveininger man må ta knyttet til tilvekst, vanntemperatur og tetthet. Disse faktorene er avgjørende for hvor stor tetthet man kan produsere på, og da også for kapasiteten til anlegget. Det som er interessant å vite er at de ulike informantene har ulik grad av erfaring og ulike meninger. Dette i kombinasjon med funn i vedleggene kan tyde på at flere bedrifter har urealistiske produksjonsplaner. Det er en utfordring å lage denne planen, da det er utrolig mange parametere som spiller inn på hvordan denne skal være, for eksempel vannkvalitet, fôr og genetikk. Alle parameterne vil ha innvirkning på hvor høy tilvekst man kan forvente i produksjonen. Hvor god tilvekst man har vil være avgjørende for lønnsomheten til prosjektene. En mulighet for å øke lønnsomheten vil være å sortere og flytte fisken etter vektklasse.

6.3 Nytten av flytting og størrelsessortering

De høye kostnadene som ligger i grunn for å drifte landbasert oppdrett har reist ytterligere fokus på en problemstilling man lenge har sett i konvensjonell oppdrett. Volumutnyttelse har alltid vært et tema, men i tanker er det enda viktigere fordi kostnadene øker etter hvert som tankvolumet øker. Produksjonsplanene i landbasert oppdrett utnytter det foreløpige fraværet av tetthetsbegrensning.

Bedriftene ønsker så høye tettheter som mulig, men det er stor usikkerhet vedrørende hvor høy tetthet som er optimalt for matfisk på land. Flere faktorer spiller inn og har sammenheng med hverandre. Det er vist at man kan ha høyere tetthet desto bedre vannkvaliteten er. På en annen side finnes det grenser for når tettheten uansett blir for høy. Forskere har prøvd å se på optimale tettheter, men kommet frem til ulike svar. Felles for forskningen er at art, alder, størrelse og vannkvalitet er noen av mange faktorer som spiller inn på hva som blir optimalt. Det er derfor utfordrende å komme frem til en fasit for hvordan man burde drifte. Denne oppgaven har belyst at det likevel er viktig å ha så høy stående biomasse som mulig.

Tettheter byr på utfordringer angående velferd som går utover appetitt og tilvekst, men hvis man opprettholder gode forhold er det muligheter for å lykkes. Her inngår optimal vannkvalitet, lite stressorer og riktig fôring til samtlige individer. Det betyr også å unngå for høy tetthet, samtidig som man trenger å optimalisere denne så langt det lar seg gjøre av hensyn til lønnsomhet. For å opprettholde optimale forhold trenger man å vite hva tanken inneholder. I landbasert oppdrett er volum konstant, mens biomasse, fiskens tilvekst og overlevelse er variabler det blir utfordrende å holde kontroll på ved høye tettheter. Hvis man jevnlig sorterer fisken etter størrelse får oppdretter bedre oversikt og kontroll på hva som er gjeldende innhold og tetthet i tankene. Det vil gi produksjonsmessige fordeler for både fisk og lønnsomhet.

Denne oppgaven har hatt fokus på behovet for å flytte og størrelsessortere fisk som er en avgjørende faktor å ta hensyn til dersom man skal lykkes med landbasert oppdrett. Blant annet kan fôring, som er oppdrettsnæringens største kostnad, kontrolleres i større grad slik at man verken overfôrer eller underfôrer. Det er fordi man kan registrere alle restene som havner i bunnen av produksjonstankene. Med sortert fisk kan også fôrkostnadene reduseres fordi det blir mindre feilfôring. Dersom man ikke sorterer, er det fare for at individer som

ikke vokser like raskt som flertallet havner enda lenger bakpå. Det fører til for store pellets i forhold til hva fisken klarer å spise. På en annen side er det viktig å ta i betraktning at de høye fisketetthetene som praktiseres eller planlegges å utføre, kan gjøre det utfordrende å føre samtlige fisk. Her vil det ikke være hensiktsmessig å bruke erfaring fra konvensjonell oppdrett, da laksen her har betraktelig mer plass mellom seg som gjør det enklere for føret å nå alle individer.

Sortering har flere fordeler, men også noen utfordringer man er nødt til å løse. Sorterer man laks etter vektklasse av hensyn til lønnsomhet, vil laksen bli flyttet i tanker flere ganger før slakt. Til sammenligning blir laks i konvensjonell oppdrett sortert opp til fem ganger i settefiskanlegg, og opp til to ganger i matfiskanlegg. Det er uvisst hvor godt fiskene tåler denne håndteringen, men mye tyder på at hvilke metoder man bruker har mye å si. Bruker man skånsomme metoder vil sortering være en effektiv måte å øke omløpshastigheten på. Teknologien landbasert oppdrett benytter gir også effektiviseringspotensial.

I lukkede systemer på land har man mulighet til å kontrollere og justere alle parametere som spiller inn på tilveksten og derfor skape de beste forutsetningene for at produksjonen blir så effektiv som mulig. Størrelsessortering vil over tid øke tilveksten selv om den kan se ut til å stagnere rett etter flytting. Fordi det ser dårlig ut i produksjonsplanen, ønsker ikke investorer at slike prosesser skal utføres. I motsetning, er den største fordelene ved å sortere fisk at man får bedre estimater på hva man kommer til å slakte. Genetikk gjør likevel at det alltid vil finnes variasjon.

Man vil alltid ha variasjon i størrelse blant fisk i en gruppe - uavhengig om fisken startet med lik vekt eller ikke. I oppdrett jobber man med å redusere den spredningen slik at man kan slakte flest mulig fisk på ønsket størrelse. Reduserer man spredningen får oppdrettere bedre kontroll på hva man slakter. Jo mer man sorterer, desto lavere blir spredningen. Nytteverdien av å sortere må ses i sammenheng med eventuelle negative konsekvenser flytting medfører.

Det er nyttig for oppdrettere å vite hva man slakter. Derfor har denne oppgaven lagt frem forventet spredning i størrelse på laks i ulike vektklasser. Variasjonen beskrives ved hjelp av CV, hvor man ønsker denne så lav som mulig for å få bedre estimering. Oppgaven kom frem til at man kan forvente en CV på 32 i størrelsesorden fem kg. Med antatt normalfordeling, kan man forvente at 22 prosent av all laksen i en tank med gjennomsnittsvekt på fem kg veier

fem kg. Resultatene viste videre at størrelse varierer uansett om spredningen er liten eller stor. Likevel viste det en tendens til at CV øker når laksens vekt øker.

Landbaserte oppdrettsselskaper har foreløpig mulighet til å produsere store volum slaktet fisk per tank, men det kan komme tetthetsreguleringer for landbasert matfisk også. Laks som en marin ressurs er fôreffektiv og har potensial til å øke matproduksjonen fra havet. Lukkede anlegg, enten i sjø eller på land, er en del av fremtiden. Kompetansen til landbasert oppdrett må bygges opp i tråd med sjøbasert oppdrett, og produksjonsformen vil ikke ta over før man mestrer teknologien. Fremover blir næringen drevet av en kombinasjon av ulike teknologier som spiller sammen, men man er definitivt inne i en retning med økt kunnskap og teknologi for lukkede merder.

6.4 Videre arbeid

Det er flere problemstillinger innen temaer denne oppgaven belyser som er interessante å se videre på. I første omgang trengs mer kunnskap om storskala drift av landbasert lakseproduksjon. Herunder vil det være et behov for å se på hvordan høye tettheter spiller inn på ulike avgjørende faktorer som vannkvalitet, velferd og fôring. Det vil være hensiktsmessig å forske på hvordan man kan optimalisere fôringen på en slik tetthet. Videre bør man se på produksjonen som en helhet når man skal utvikle ny teknologi og metoder for denne produksjonsformen.

Det har vist seg at denne produksjonsformen vil ha en innvirkning på sluttproduktet. På land vil man velge ulike teknologier som kan påvirke laksen på ulike vis. I landbaserte anlegg bør man se nærmere på hvor og hva som skaper bismak i fiskekjøttet. Dette vil være en avgjørende faktor for kvaliteten på sluttproduktet landbaserte anlegg leverer.

Når det gjelder fiskevelferd må det forskes mer på hvor stresset fisken blir av flytting og sortering, hvilke metoder som er mest skånsomme og finne ut hvor grensen går for hvor mye fisken kan håndteres.

Videre er det nyttig å se på sammenhenger mellom størrelsevariasjon når man sorterer i motsetning til når man ikke sorterer. Det bør også gjøres mer omfattende undersøkelser for

spredning ved å bruke mer datamateriale slik at man kan estimere de ulike gjennomsnittsvektene med bedre presisjon. Ut ifra denne oppgavens funn ser det ut til at CV har en tendens til å øke jo større fisken blir. Det trengs forskning på større datamengder for å underbygge eller avkrefte om denne trenden stemmer. Ytterligere undersøkelser vil kunne gi bedre forståelse av forholdet mellom CV og vekt. Det vil også være interessant å se på hvordan variasjonen varierer i forhold til forskjellige variabler som for eksempel ulike avlsgrupper.

7. Konklusjon

Landbasert lakseoppdrett for matfisk er en del av oppdrettsnæringen og et bidrag til å øke verdens sjømatproduksjon. Ulempene ved konvensjonell oppdrett har ført til økt interesse for å flytte hele produksjonen på land. Her lever laksen i tanker på land i stedet for merder i sjøen. Produksjon på land kan bruke ulike teknologier. De mest utbredte teknologiene er RAS, FTS og HFS. De skilles primært ut ifra hvor stor resirkuleringsgrad de har. Ved full resirkuleringsgrad er ikke lakseoppdrettet stedbundet. Miljømessige faktorer som spiller inn på produksjonsresultatet er menneskestyrt på land. Klarer man å optimalisere produksjonen får landbasert oppdrett gode forutsetninger for å levere fisk gjennom hele året.

Oversikten som ble laget i forbindelse med denne oppgaven, har vist at det er stor interesse for landbasert oppdrett av atlantisk laks. Det praktiseres forskjellige teknologier, men RAS er utvilsomt dominerende blant bedrifter både i drift og i planleggingsfasen.

Blant norske bedrifter som enda ikke er i drift planlegges det en produksjonskapasitet på 579 421 tonn atlantisk laks. De tre bedriftene i Norge som er i drift, planlegger å utvide kapasiteten ytterligere 64 400 tonn. Totalt blir den planlagte kapasiteten på 643 821 tonn. Anleggene som er i drift i utlandet har en planlagt kapasitet på 538 227 tonn ved full produksjon. Videre er det planlagt en kapasitet på 1 119 927 tonn ved full produksjon på de anleggene som enda ikke er i drift. I dag produseres totalt 48 657 tonn atlantisk laks på land i verden.

Grunnet høye investerings- og driftskostnader i landbasert oppdrett, er volumutnyttelse et viktig tema. For å ha lønnsom drift er man nødt til å ha høy stående biomasse. Av biologiske grunner vil ikke laks i en gruppe vokse likt og variasjon i størrelse gjør det mer utfordrende for oppdretter å planlegge slaktetidspunkt og salg. Flytting og sortering er avgjørende tiltak for å få bedre kontroll på beholdningen og øke omløpshastigheten, da sortering reduserer spredningen. Størrelsessortering vil over tid øke tilveksten, men basert på beregningene gjort i denne oppgaven tenderer CV til å øke når laksens vekt øker. Oppgaven kom videre frem til at man kan forvente en CV på 32 i størrelsesorden fem kg.

Referanseliste

- Adams, C., Huntingford, F., Turnbull, J., Arnott, S. & Bell, A. (2000). Size heterogeneity can reduce aggression and promote growth in Atlantic salmon parr. *Aquaculture International*, 8: 543–549. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1009255612529>.
- Akselsen, P., Andersen, C., Blix, H., Caugant, D., Elstrøm, P., Enger, H., Gran, F., Grave, K., Heldal, E., Helgesen, K., et al. (2020). *Usage of Antimicrobial Agents and Occurrence of Antimicrobial Resistance in Norway*. Rapport fra NORM/NORM-VET 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.vetinst.no/overvaking/antibiotikaresistens-norm-vet> (lest 16.03.2022).
- Akvakulturdriftsforskriften. (2008). *Forskrift om drift av akvakulturanlegg* Akvakulturdriftsforskriften av 17. juni 2008 nr.822. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-822#KAPITTEL_3 (lest 04.04.2022).
- Akvakulturloven. (2005). *Lov om akvakultur (akvakulturloven) av 17. juni 2005 nr. 79*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-79#KAPITTEL_2 (lest 04.04.2022).
- Bakke, H. & Melingen, G. (2010). *Avlsarbeid – viktig bidrag til fremgang i norsk fiskeoppdrett*. Tilgjengelig fra: <https://www.bioteknologiradet.no/2010/10/avlsarbeid-%E2%80%93-viktig-bidrag-til-fremgang-i-norsk-fiskeoppdrett/> (lest 03.04.2022).
- Berge, A. (2021). *With 109 companies in the field, land-based salmon farming is set to move from fantasy to reality*. Tilgjengelig fra: <https://salmonbusiness.com/with-109-companies-in-the-field-land-based-salmon-farming-is-set-to-move-from-fantasy-to-reality/> (lest 23.02.2022).
- Bjørndal, T., Holte, E. A., Hilmarsen, Ø. & Tusvik, A. (2018). *Analyse av lukka oppdrett av laks - landbasert og i sjø: produksjon, økonomi og risiko*. Sluttrapport FHF 901442 09/2018. Tilgjengelig fra: <http://fisk.no/attachments/article/6572/landbasert-lakseoppdrett-analyse.pdf> (lest 16.02.2022).
- Bjørndal, T. & Tusvik, A. (2018). *Økonomisk analyse av alternative produksjonsformer innan oppdrett*. Rapport fra NTNU 09/2018. Tilgjengelig fra: <https://www.ntnu.no/documents/1265701259/1281473463/WPS+1+2018.pdf/056dc29c-c6aa-4105-b996-e6c7ebc5890b> (lest 03.05.2022).
- Bokmålsordboka. (2022a). *land*. Tilgjengelig fra: <https://ordbokene.no/bm/search?q=land&scope=ei> (lest 17.03.2022).
- Bokmålsordboka. (2022b). *sjø*. Tilgjengelig fra: <https://ordbokene.no/bm/search?q=sj%C3%B8&scope=ei&perPage=20> (lest 17.03.2022).
- Bregnballe, J. (2015). *A Guide to Recirculation Aquaculture*. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Tilgjengelig fra: <https://www.fao.org/3/i4626e/i4626e.pdf> (lest 09.04.2022).
- Bryde, H. M. & Myklebust, W. S. (2019). *Retningslinjer for behandling av søknader om tillatelse til akvakultur av matfisk på land av laks, ørret og regnbueørret*. Tilgjengelig fra: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Kommersiell-tillatelse/Laks-ørret-og-regnbueørret/Tillatelse-til-akvakultur-paa-land> (lest 17.03.2022).
- Burr, G., Wolters, W. R., Schrader, K. K. & Summerfelt, S. T. (2012). Impact of depuration of earthy-musty off-flavors on fillet quality of Atlantic salmon, *Salmo salar*, cultured in a recirculating aquaculture system. *Aquaculture Engineering*, 50: 28-36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.03.002>.
- Calabrese, S., Nilsen, T. O., Kolarevic, J., Ebbesson, L. O. E., Pedrosa, C. P., Fivelstad, S., Hosfeld, A. D., Stefansson, S. O., Terjesen, B. F., Takle, H. R., et al. (2017). Stocking density limits for post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) with emphasis

- on production performance and welfare. *Aquaculture*, 468 (1): 363-370. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.041>.
- Cubitt, K. F., Winberg, S., Huntingford, F. A., Kadri, S., Cramton, V. O. & Øverli, Ø. (2008). Social hierarchies, growth and brain serotonin metabolism in Atlantic salmon (*Salmo salar*) kept under commercial rearing conditions. *Physiology & Behavior*, 94 (4): 529-535. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.03.009>.
- Ellis, T., North, B., Scott, A. P., Bromage, N. R., Porter, M. & Gadd, D. (2005). The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology*, 61 (3): 493-531. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00893.x>.
- Fiskeridirektoratet. (2020a). *Auksjon august 2020*. Tilgjengelig fra: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Auksjon-av-produksjonskapasitet/Auksjon-august-2020> (lest 09.03.2022).
- Fiskeridirektoratet. (2020b). *Lønnsomhetsundersøkelse for produksjon av laks og regnbueørret 2020*. Livet i havet - vårt felles ansvar. Tilgjengelig fra: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Statistiske-publikasjoner/Loennsomhetsundersokelser-for-laks-og-regnbueoerret> (lest 05.05.2022).
- Fiskeridirektoratet. (2022a). *Fiskedødelighet og tap i produksjonen*. Tilgjengelig fra: <https://www.barentswatch.no/havbruk/fiskedodelighet-og-tap-i-produksjonen> (lest 13.03.2022).
- Fiskeridirektoratet. (2022b). *Salg 1994-2020*. Tilgjengelig fra: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Laks-regnbueoerret-og-oerret/Matfiskproduksjon> (lest 16.03.2022).
- Fivelstad, S., Waagbø, R., Zeitz, S. F., Hosfeld, A. C. D., Olsen, A. B. & Stefansson, S. (2003). A major water quality problem in smolt farms: combined effects of carbon dioxide, reduced pH and aluminium on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts: physiology and growth. *Aquaculture*, 215 (1-4): 339-357. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00197-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00197-7).
- Fjellheim, J. A., Hess-Erga, O., Attramdaø, K. & Vadstein, O. (2016). *Resirkulering av vann i settefiskproduksjon*. Bakgrunnshefte til kurs i resirkuleringsteknologi for settefiskproduksjon, utgave 2. Tilgjengelig fra: https://folk.ntnu.no/skoge/diplom/prosjekt19/more-info-on-projects/RAS/7127-2017%20-%20RAS%20guide_NO_low.pdf (lest 05.03.2022).
- FN-sambandet. (2022). *FNs bærekraftsmål*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (lest 19.03.2022).
- Geno. (2020). *Avlsverdi*. Tilgjengelig fra: <https://www.geno.no/fagstoff-og-hjelpemidler/fagstoff/avl-og-avlsteori/avlsvardi/> (lest 06.03.2022).
- Grønvik, O. & Grünfeld, L. (2021). *Havbruk: Nye virkemidler for vern av miljø, bedre fiskevelferd og økt verdiskaping*. Rapport fra Menon Economics. Tilgjengelig fra: <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2021-79-Nye-virkemidler-havbruk.pdf> (lest 05.05.2022).
- Handeland, S. O., Imsland, K. A. & Stefansson, S. O. (2008). The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture*, 283 (1-4): 36-42. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.042>.
- Hansen, T. J., Fjellidal, P. G., Folkedal, O., Vågseth, T. & Oppedal, F. (2017). Effects of light source and intensity on sexual maturation, growth and swimming behaviour of Atlantic salmon in sea cages. *Aquacult Environ Interac*, 9: 193-204. doi: <https://doi.org/10.3354/aei00224>.
- Hauge, A. (2022). Partialtrykk. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/partialtrykk> (lest 22.03.2022).
- Havforskningsinstituttet. (2019). *Nye marine ressurser til mat og fôr*. Tilgjengelig fra: <https://www.hi.no/hi/temasider/hav-og-kyst/nye-marine-ressurser-til-mat-og-for> (lest 06.04.2022).

- Hjukse, A. (2004). *Populær oppdrettsfisk til NLH*. Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/universitetet-for-miljo--og-biovitenskap-fisk-oppdrett/populaer-oppdrettsfisk-til-nlh/1047875> (lest 19.03.2022).
- Hoddevik, B. (2016). *Laks med lus liker seg i dypet*. Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/partner-fiskehelse-havforskningsinstituttet/laks-med-lus-liker-seg-i-dypet/388824> (lest 04.03.2022).
- Holtebekk, T. (2022). Ultrafiolett stråling. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: https://snl.no/ultrafiolett_str%C3%A5ling (lest 14.02.2022).
- Houle, S., Schrader, K. K., Le François, N. R., Comeau, Y., Kharoune, M., Summerfelt, S. T., Savoie, A. & Vandenberg, G. W. (2010). Geosmin causes off-flavour in arctic charr in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Research*, 42 (3): 360-365. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02630.x>.
- Håstein, T. (2021). Fiskesykdommer. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fiskesykdommer> (lest 23.03.2022).
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Nystøyl, R. & Hess, E. (2017). *Kostnadsutvikling i lakseoppdrett*. Rapport 24 fra Nofima 12/2017. Tilgjengelig fra: <https://nofima.no/publikasjon/1523319/> (lest 05.05.2022).
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Nystøyl, R., Hess, E., Rolland, K., Garshol, L. & Marthinussen, A. (2019). *Kostnadsutvikling og forståelse av drivkrefter i norsk lakseoppdrett*. Faglig sluttrapport fra Nofima 12/2019. Tilgjengelig fra: <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901335/> (lest 05.05.2022).
- Jarungsriapisit, J., Moore, L. J., Taranger, G. L., Nilsen, T. O., Morton, G. C., Fiksdal, I. U., Stefansson, S., Fjelldal, P. G., Evensen, Ø. & Patel, S. (2016). Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) post-smolts challenged two or nine weeks after seawater-transfer show differences in their susceptibility to salmonid alphavirus subtype 3 (SAV3). *Virology Journal*, 13 (66). doi: <https://doi.org/10.1186/s12985-016-0520-8>.
- Jones, H. A. C., Hansen, L. A., Noble, C., Damsgård, B., Broom, D. M. & Pearce, G. P. (2010). Social network analysis of behavioural interactions influencing fin damage development in Atlantic salmon (*Salmo salar*) during feed-restriction. *Applied Animal Behaviour Science*, 127 (3-4): 139-151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2010.09.004>.
- Jonsson, N. & Jonsson, B. (2006). *Oppdrettslaks og villaks i naturen; Konkurrenter eller til gjensidig nytte*. Naturen nr. 2. Tilgjengelig fra: <https://www.idunn.no/doi/pdf/10.18261/1504-3118-130-2> (lest 29.04.2022).
- Kraugerud, R. (2022). *Ulike typer oppdrettsanlegg*. Tilgjengelig fra: <https://nofima.no/fakta/ulike-typer-oppdrettsanlegg/#ib-toc-anchor-1> (lest 19.03.2022).
- Król, J., Długóński, A., Błażejowski, M. & Hliwa, P. (2019). Effect of size sorting on growth, cannibalism, and survival in Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. post-larvae. *Aquaculture International*, 27: 945-955. doi: <https://doi.org/10.1007/s10499-018-00337-3>.
- Laksetilidelingsforskriften. (2004). *Forskrift om tillatelse til akvakultur for laks, ørret og regnbueørret av 22. desember 2004 nr. 1798*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-12-22-1798#KAPITTEL_2 (lest 17.03.2022).
- Lambert, Y. & Dutil, J. (2001). Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. *Aquaculture*, 192: 233-247. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00448-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00448-8).
- Larsen, R. (2019). *Norge i verdenstoppen for bærekraftig sjømat*. Tilgjengelig fra: <https://seafood.no/aktuelt/Fisketanker/norge-i-verdenstoppen-for-barekraftig-sjomat/> (lest 19.02.2022).
- Lekang, O. & Fjæra, S. O. (1997). *Teknologi for akvakultur*. 1 utg. Oslo: Landbruksforlaget.
- Lekang, O. (2020). *Aquaculture Engineering*. 3. utg. West Sussex, UK: Wiley-Blackwell.

- Lhorente, J. P., Araneda, M., Neira, R. & Yáñez, J. M. (2019). Advances in genetic improvement for salmon and trout aquaculture: the Chilean situation and prospects. *Reviews in Aquaculture*, 11 (2): 340-353. doi: <https://doi.org/10.1111/raq.12335>.
- Liu, B., Liu, Y. & Wang, X. (2015). The effect of stocking density on growth and seven physiological parameters with assessment of their potential as stress response indicators for the Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 48 (3): 177-192. doi: <https://doi.org/10.1080/10236244.2015.1034956>.
- Lomnes, B., Senneset, A. & Tevasvold, G. (2019). *n Kunnskapsgrunnlag for rensing av utslipp fra landbasert akvakultur*. Rapport fra Rambøll 10/2019. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1568/m1568.pdf> (lest 05.03.2022).
- Lønn-Stensrud, J. (2022). Biofilm. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/biofilm> (lest 16.02.2022).
- Madsen, L., Sanden, M., Ørnsrud, R. & Lock, E. (2021). Store muligheter i havet. Tilgjengelig fra: <https://www.intrafish.no/kommentarer/store-muligheter-i-havet/2-1-1013507> (lest 23.03.2022).
- McCormick, S. D., Shrimpton, J. M., Carey, J. B., O'Dea, M. F., Sloan, K. E., Moriyama, S. & Björnsson, B. T. (1998). Repeated acute stress reduces growth rate of Atlantic salmon parr and alters plasma levels of growth hormone, insulin-like growth factor I and cortisol. *Aquaculture*, 168 (1-4): 221-235. doi: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00351-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00351-2).
- Misund, B. (2019). Fôrfaktor. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/f%C3%B4rfaktor> (lest 14.02.2022).
- Misund, B. (2021). Fiskeoppdrett. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fiskeoppdrett> (lest 15.02.2022).
- Morrissey, M. B., Kruuk, L. E. B. & Wilson, A. J. (2010). The danger of applying the breeder's equation in observational studies of natural populations. *Journal of Evolutionary Biology*, 23 (11): 2277-2288. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2010.02084.x>.
- Nilsen, A. (2019). *Production of Atlantic salmon (Salmo salar) in closed confinement systems (CCS) - salmon lice, growth rates, mortality and fish welfare = Oppdrett av atlantisk laks (Salmo salar) i lukkede merder - forekomst av lakselus, vekst, dødelighet og fiskevelferd*. Doktoravhandling. Adamstuen: Department of Food Safety and Infection Biology, Faculty of Veterinary Medicine, Norwegian University of Life Sciences. Tilgjengelig fra: https://bibsyst-almaprmo.hosted.exlibrisgroup.com/primo-explore/fulldisplay?docid=BIBSYS_ILS71582230830002201&context=L&vid=NMBU&lang=no_NO&search_scope=default_scope&adaptor=Local%20Search%20Engine&tab=default_tab&query=any,contains,arve%20nilsen%20lakselus&offset=0 (lest 24.04.2022).
- NorgesSjømatsråd. (2021). *Nøkkeltall*. Tilgjengelig fra: <https://seafood.no/markedsinnsikt/nokkeltall/> (lest 07.02.2022).
- NorgesSjømatsråd. (2022). *Sjømateksporten passerte 120 milliarder kroner i fjor*. Tilgjengelig fra: <https://seafood.no/aktuelt/nyheter/sjomateksporten-passerte-120-milliarder-kroner-i-fjor/> (lest 09.04.2022).
- Ojolick, E. J., Cusack, R., Benfey, T. J. & Kerr, S. R. (1995). Survival and growth of all-female diploid and triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared at chronic high temperature. *Aquaculture*, 131 (3-4): 177-187. doi: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)00338-O](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)00338-O).
- Regjeringen. (2021a). *Et hav av muligheter* Regjeringens havbruksstrategi. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/e430ad7a314e4039a90829fcd84c012a/no/pdfs/et-hav-av-muligheter.pdf> (lest 09.02.22).
- Regjeringen. (2021b). *Sjømatt og helsegevinst*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/fiskeri-og-havbruk/ny->

- [sidestruktur/trygg-og-sunn-sjomat/sjomat-og-helsegevinster/id2520267/](#) (lest 09.03.2022).
- Rosten, T., Åtland, Å., Kristensen, T., Rosseland, B. & Braathen, B. (2004). *Mattilsynet Vannkvalitet og dyrevelferd*. Rapport fra Mattilsynet 08/2004. Tilgjengelig fra: [https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskevelferd/mattilsynet_rapport_om_vannkvalitet_og_fiskevelferd_2004.5943/binary/Mattilsynet%20-%20Rapport%20om%20vannkvalitet%20og%20fiskevelferd%20\(2004\)](https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/fiskevelferd/mattilsynet_rapport_om_vannkvalitet_og_fiskevelferd_2004.5943/binary/Mattilsynet%20-%20Rapport%20om%20vannkvalitet%20og%20fiskevelferd%20(2004)) (lest 15.04.2022).
- Rosten, T. W. (2009). *Oksygen i vann - hva er det beste for fisken?* Vann 04. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2009_794726.pdf (lest 29.04.2022).
- Rusten, B. (2015a). *Ammoniakkjerning i resirkuleringsanlegg for fiskeoppdrett*. Vann-1-87. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1987_31520.pdf (lest 03.04.2022).
- Rusten, B. (2015b). *Biofilmprosesser for fjerning av nitrogen fra kommunalt avløpsvann*. Vann-1-96. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/1996_30950.pdf (lest 24.04.2022).
- Solbakken, V. A., Hansen, T. & Stefansson, O. S. (1994). Effects of photoperiod and temperature on growth and parr-smolt transformation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and subsequent performance in seawater. *Aquaculture*, 121 (1-3): 13-27. doi: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90004-3).
- Sommerset, I. (2020). *Virussykdommer hos laksefisk i oppdrett*. Fiskehelse rapporten 2020. Tilgjengelig fra: <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2021/fiskehelse rapporten-2020?fbclid=IwAR3jMwuHeJlwKLWTq7ISdMkksKOYGUBmsjXwxvszc3xsNnPqPaOtKETkOLY> (lest 17.02.2022).
- Takle, H., Baeverfjord, G., Lunde, M., Kolstad, K. & Andersen, Ø. (2005). The effect of heat and cold exposure on HSP70 expression and development of deformities during embryogenesis of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 249 (1-4): 515-524. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.04.043>.
- Towers, L. (2010). *How to Farm Common Carp*. Tilgjengelig fra: <https://thefishsite.com/articles/cultured-aquatic-species-common-carp> (lest 18.03.2022).
- Turnbull, J., Bell, A., Adams, C., Bron, J. & Huntingford, F. (2005). Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: application of a multivariate analysis. *Aquaculture*, 243 (1-4): 121-132. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.09.022>.
- Vøllestad, A. & Tjernshaugen, A. (2021). Karpesfisker. I: *Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/karpesfisker> (lest 02.02.2022).



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway