

Tilvekst og fiskevelferd ved bruk av sulfatredusert brakkvann i RAS-anlegg

PETTER JORDAN
BEATE LOUISE BØE

Bacheloroppgave i Havteknologi
Bergen, Norge 2021



Tilvekst og fiskevelferd ved bruk av sulfatredusert brakkvann i RAS-anlegg

Petter Jordan
Beate Louise Bøe

Institutt for Maskin- og Marinfag
Høgskulen på Vestlandet
NO-5063 Bergen, Norge

Høgskulen på Vestlandet
Fakultet for Havteknologi
Institutt for Maskin- og Marinfag
Inndalsveien 28
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmer

English title: Growth and fish welfare using sulphate-reduced
brackish water in RAS facilities

Forfattere, studentnummer: Petter Jordan 574961
Beate Louise Bøe 578910

Studieprogram: Havteknologi
Dato: Mai 2021
Rapportnummer: IMM 2021-05 Gruppe ID. M81
Veileder: Sigurd Olav Handeland UiB ansatt
Oppdragsgiver: HVL

Antall filer levert digitalt: 1/1

Forord

Dette prosjektet ble gjennomført som en del av bachelorutdannelsen ved Institutt for Maskin- og Marinfag (IMM) ved Høgskulen på Vestlandet (HVL). Tema for prosjektet var dokumentasjon av tilvekst og generell fiskehelse ved bruk av sulfatredusert brakkvann, i resirkulerende akvakultursystemer (RAS). Prosjektet ble gjennomført i samarbeid med Hardingsmolt AS og Sigurd Olav Handeland fra Universitetet i Bergen (UiB), som også fungerte som veileder.

Prosjektet skulle egentlig blitt gjennomført i pilotanlegget til Hardingsmolt, der smolten skulle blitt produsert i avskilte kar med hver sin vannkvalitet. Membranfilteret som reduserer sulfatinnholdet, fjerner også enkelte toverdige ioner som er nødvendige for fiskens tilvekst og helse. Dermed ville pilotanlegget gitt muligheten til å påvirke de forskjellige vannkvalitetene med tilsetninger som kalk og lut for å dokumentere resultatene.

Grunnet utfordringer knyttet til Covid-19 ble ikke pilotanlegget hos Hardingsmolt operasjonelt innen tidsrammen på dette prosjektet. Restriksjoner fra Hardingsmolt har også hindret utførelsen av prøvetakning i ønsket antall og frekvens, som gjør det vanskelig å trekke eksakte konklusjoner mellom forsøksgruppene. Rapporten er derfor i større grad en først tiltenkt, bygget opp på tildelt miljø- og beholdningsdata fra databasen til Hardingsmolt. Den metodiske tilnærmingen er imidlertid ivaretatt på best mulig måte ut ifra forutsetningene.

Vi vil takke Katrine Bergthun og Maria Åkre fra Hardingsmolt, de har vært tilgjengelig ved spørsmål og innhenting av data, og til slutt ønsker vi å rette en stor takk til veileder, Sigurd Olav Handeland som alltid har stilt opp med kunnskap og pågangsmot.

Sammendrag

Stadig flere aktører anvender sjøvann som spedevann til produksjon av settefisk i brakkvanns RAS-anlegg. Årsaken er relatert til stigende produksjon av storsmolt, der brakkvann øker fleksibiliteten og bedrer tilveksten i postsmolt fasen. En utfordring tilknyttet denne strategien er relatert til økte tilfeller av H₂S-forgiftning, som kan føre til akutt fiskedød blant eksponert fisk. H₂S dannes gjennom anaerob nedbryting av sulfat og de høye verdiene i sjøvann endrer risikobildet. Sjøvann inneholder ca. 1000 ganger mer sulfat enn ferskvann. Derfor er det ønskelig å redusere sulfatinnholdet i spedevannet fra sjøen.

I oljeindustrien blir vann injisert i reservoaret for å opprettholde brønntrykket. Injeksjonsvannet blir sulfatredusert for å hindre avleiringer i rørene. Enwa har videreutviklet filterteknologien for bruk i RAS-anlegg og denne testes nå i anlegget til Hardingsmolt. Sulfatredusert brakkvann kan redusere risikoen for H₂S-utvikling, men filteret fjerner også toverdige ioner som er nødvendig for laksens beindannelse. Det er derfor nødvendig å gjennomføre forskning om hvilken påvirkning det sulfatreduserte brakkvannet har på laksen.

Formålet med denne oppgaven har vært å dokumentere tilvekst og generell fiskevelferd ved bruk av sulfatredusert brakkvann i landbasert RAS-anlegg. Fiskegruppene som ble analysert, ble fulgt over en 90 dagers periode og baserer seg på fisk produsert med brakkvann i 2019 og sulfatredusert brakkvann i 2020/21. Det ble blant annet hentet ut data om vannmiljø og tilvekst fra databasen til Hardingsmolt. Gjelle- og plasmaprøver utført hos Hardingsmolt ble sammenlignet med referansematerialet fra tidligere forskning på fisk fra Glomfjord og Koløy. Til tross for at det er registrert dårligere tilvekst i sulfatredusert brakkvann, har analyser av prøver og tilgjengelig data ikke gitt grunnlag for å si at dette skyldes nanofiltreringen.

Abstract

It has become more common to use brackish water with added seawater for production of juvenile fish in recirculating aquaculture system (RAS). The reason is related to the rising production of large smolts, where brackish water increases flexibility and improves growth in the post-smolt phase. One challenge associated with this strategy is related to increased cases of hydrogen sulfide (H₂S) poisoning, which can lead to an acute death among exposed fish. H₂S is formed through anaerobic degradation of sulphate and the high values in seawater change the risk. Seawater contains about 1000 times more sulphate than freshwater. Therefore, it is desirable to reduce the content of sulphate in the seawater

In the oil industry, water gets injected into the reservoir to maintain pressure in the well. The injection water is sulphate-reduced to minimize risk for clogged pipes. The filter technology is further developed by Enwa to be used in RAS facilities and is now getting tested at Hardingsmolt. Sulphate-reduced brackish water can reduce the risk of H₂S development, but at the same time the filter also removes divalent ions needed for salmon bone formation. That is why it is necessary to do further research on the impact of sulphate-reduced brackish water on salmon.

The purpose of this thesis has been to document growth and general fish welfare using sulphate-reduced brackish water in land-based RAS facilities. The fish groups that were analyzed were followed over a 90-day period and are based on fish produced with brackish water in 2019 and sulphate-reduced brackish water in 2020/21. Data on aquatic environment and growth rate were extracted from the Hardingsmolt database. To supplement this, there were performed gill- and plasma samples at Hardingsmolt that were compared to reference material from previous research on fish from Glomfjord and Koløy. Even though poorer fish growth has been registered using sulphate-reduced brackish water, analyzes of samples and available data has not concluded that this is due to the nano filtering.

Innhold

Forord.....	V
Sammendrag.....	VII
Abstract	IX
Ordforklaringer:	XIV
1. Innledning.....	1
1.1 Forretningspotensial	1
2. Teori	2
2.1 Næringen	2
2.2 RAS-anlegg	3
2.3 Hvorfor RAS?.....	3
2.4 Hovedkomponenter	4
2.4.1 Partikkelfilter.....	4
2.4.2 Biofilter	4
2.4.3 CO ₂ -lufter (karbondioksid).....	4
2.4.4 UV-behandling	5
2.4.5 Oksygenering.....	5
2.4.6 Produksjonskaret	5
2.5 Ulemper med RAS-anlegg	5
2.6 H ₂ S.....	6
2.7 Nanofiltreringsfilter	7
2.8 Brakkvann	8
2.9 Hardingsmolt.....	9
3. Metode.....	10
3.1 Prøvetakning for SR_BV hos Hardingsmolt	11
3.2 Sammenligningsdata	13
3.2.1 Vekst.....	13
3.2.2 Plasmaprøver	14
3.2.3 Gjelleprøve	15
3.2.4 Vannkvalitet	15

4.	Resultat.....	17
4.1	Vektutvikling over 90 dager.....	17
4.2	Observert mot modellert SGR.....	18
4.3	Termisk vekstfaktor (VF3):.....	20
4.4	Førfaktor.....	20
4.5	Plasmaprøver.....	21
4.5.1	Kalsium.....	21
4.5.2	Klorid.....	22
4.5.3	Glukose.....	22
4.5.4	Fosfor.....	23
4.5.5	Natrium.....	23
4.5.6	Sammendrag.....	24
4.6	Gjelleprøve.....	24
4.6.1	ATPase.....	24
4.7	Vannkvalitet.....	25
4.8	Hypotesetest (T-test).....	26
5.	Diskusjon.....	26
5.1	Metode.....	26
5.2	Vektutvikling.....	26
5.3	SGR.....	26
5.4	Termisk vekstfaktor.....	26
5.5	Økonomisk førfaktor.....	26
5.6	Plasmaprøver.....	27
5.7	Gjelleprøver.....	27
5.8	Vannprøver.....	27
5.9	T-test.....	27
6.	Konklusjon.....	27
7.	Referanser.....	28
	Liste over Figurer (valgfritt).....	30
	Liste over Tabeller (valgfritt).....	31
	Vedlegg 1.....	32

Ordforklaringer:

- **Anaerob nedbrytning:** nedbryting av organisk materie uten tilgang på oksygen.
- **Anadrom fisk:** Dette er fisk som oppholder seg i både fersk- og saltvann. Fisken klekkes i ferskvann og utvandrer til havet når smoltifiseringen er gjennomgått. Det blir antatt at fisken utvandrer for å bedre mattilgangen og søker tilbake til ferskvann for reproduksjon.
- **Brakkvann:** Blanding mellom fersk- og saltvann og er i denne rapporten definert som sulfatholdig.
- **Gjennomstrømningsanlegg:** Dette er et landbasert oppdrettsanlegg, der relativt store vannmengder kontinuerlig strømmer gjennom anlegget. Vannforbruket fører til at gjennomstrømningsanlegg plasseres i nærheten av store vannkilder.
- **Laks:** Oppdrettslaks i Norge er av arten Atlantisk laks.
- **Lakselus:** Dette er en parasitt som fester seg på laksen for å spise slim, hud og blod. Lusen reduserer fiskevelferden og det kan oppstå infeksjon i eventuelle sår den påfører laksen. Er lusepåslaget for stort, kan det føre til at fisken dør.
- **Merd:** Blir brukt til innhegning av fisk og består av en notpose som holdes utspent av et sirkulært flytende element.
- **Produksjonsvann:** Det vannet fisken oppholder seg i under produksjonen.
- **RAS:** Resirkulerende akvakultursystemer (RAS) er en sammensetting av flere komponenter, der formålet er resirkulering av vann. RAS teknologien blir i økende grad anvendt i innenfor oppdrettsnæringen.
- **Salinitet:** Antall gram løste salter pr. kilogram vann. (‰)
- **Settefisk:** Fisk som er klar for utsett i sjø.
- **Slakteklar:** Laks med vekt fra 4-6 kg.
- **Smolt:** Anadrom fisk som har gjennomgått den fysiologiske tilpassingen for å tåle overgangen til saltvann.
- **Spede vann:** Andel nytt vann som blir tilsatt i RAS -løypen.
- **SRB:** Sulfatreduserende bakterier

1. Innledning

De siste årene har det i økende grad blitt satset på produksjon av storsmolt i settefiskanlegg. Årsaken kan tilknyttes teorier om mer robust smolt, som er bedre egnet for å tåle eventuelle sykdommer og lusepåslag ved overgang til sjø. Selv om det verserer forskjellige meninger angående denne produksjonsstrategien, er det bransjeenighet om at strategien reduserer fiskens oppholdstid i sjø [1]. Dette kan medføre redusert sannsynlighet og risikofaktor for uønskede hendelser ved merdbasert oppdrett.

Tradisjonelt sett har det blitt anvendt ferskvann til produksjon av settefisk, både i gjennomstrømningsanlegg og resirkulerende akvakultursystemer (RAS). Tross lavere dødelighet og mindre komplekse anlegg ved bruk av ferskvann, ønsker stadig flere aktører å anvende brakkvann som produksjonsvann. Smolt produsert i brakkvann har bedre tilvekst, holder høyere kvalitet og dermed bedre stilt for overgang til sjø [2]. Brakkvann øker også fleksibiliteten rundt levering, da smoltvinduet er større enn ved bruk av ferskvann.

Bruk av brakkvann i RAS-anlegg kommer ikke uten utfordringer. Økt kompleksitet fører til høyere kunnskapsbehov hos aktørene og risiko relatert til hydrogensulfid (H_2S) skaper stadig problemer for næringen. Årsaken knyttes til sulfat (SO_4^{2-}) innholdet i sjøvann, som er ca. 1000 ganger høyere enn i ferskvann. Sulfatreduserende bakteriene (SRB), danner H_2S gjennom anaerob nedbryting av SO_4^{2-} . Faktorer som tykk biofilm, slam og avleiringer fra organiskmaterialet kan føre til dannelse av H_2S [3]. Utvikling av H_2S skjer ofte raskt og kan føre til alvorlige konsekvenser, som medfølger akutt fiskedød med opptil 100% dødelighet blant eksponert fisk. Det vil være helt avgjørende for bransjen å få kontroll på H_2S -problematikken for videre satsing på brakkvanns RAS.

Enwa Water Technology AS (ENWA) har med inspirasjon fra oljebransjen, utviklet et membranfilter med nanoteknologi som kan redusere sulfatnivået i inntaksvannet fra ca. 2800mg/l til under 4mg/l. Filteret har nylig blitt testet på anlegget til Hardingsmolt (HS), med hypotese om at sulfatnivået i produksjonsvannet korrelerer med risikoen for utvikling av H_2S . Bruk av denne filterteknologien har tidligere ikke blitt brukt i RAS-anlegg og dermed har det ikke blitt gjennomført forskning på hvilken effekter det filtrerte vannet har på fisken.

Målet for prosjektet har vært å dokumentere hvilken påvirkning sulfatredusert brakkvann har på tilvekst og fiskevelferd for laksesmolt. For å synliggjøre effektene av det sulfatreduserte vannet, har data fra tidligere produserte fiskegrupper blitt innhentet for sammenligning. Analyser av vannkvalitet, tilvekst og plasma- og gjelleprøver ble brukt som datamaterialet for å kunne danne et helhetlig bilde.

1.1 Forretningspotensial

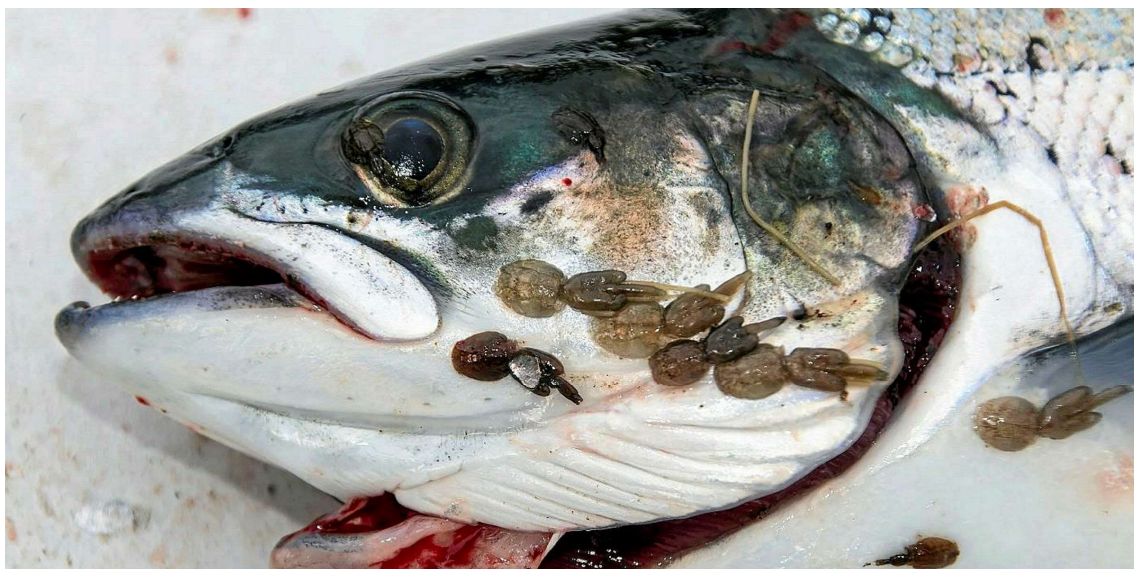
Hvis filteret fungerer som ønsket, kan det åpne for større satsing på landbasertproduksjon av storsmolt og slakteklar fisk. Dette kan gi positive effekter for ENWA i form av økte salg, men vil trolig også ha en positiv effekt på andre leverandører til landbasert oppdrett. Skottland, Chile og Canada har etablert seg som store aktører innenfor oppdrettsnæringen og har de siste årene blitt mer observante på miljøavtrykket fra tradisjonelle merdbaserte sjøoppdrett. Det kan være naturlig for disse landene å omstille deler av næringen til mer miljøvennlige og bærekraftige brakkvanns RAS-anlegg. Land som ikke har de geografiske forholdene til å drive oppdrett i sjøen, vil potensielt kunne starte opp landbaserte RAS-anlegg. Det kan dermed tenkes at RAS-anlegg kan bli en viktig del av oppdrettsnæringens framtidige vekst.

2. Teori

2.1 Næringen

Oppdrettsnæringen har blitt en av Norges viktigste næringer og i 2019 ble det slaktet 1,364,004 tonn laks, til en verdi av 67,900 MNOK [4]. Norge har utviklet seg til å bli en av de viktigste oppdrettsnasjonene innenfor lakseoppdrett. I dag har næringen etablert seg langs hele norskekysten og blitt en viktig arbeidsgiver i distriktene. Politikerne har et sterkt ønske om videre vekst i næringen og bransjeforeningen «Sjømat Norge» ønsker å doble næringen fram mot 2030 [5].

Den store veksten i næringen har medført økende fokus på miljøavtrykket i oppdrettsnæringen. Rømt oppdrettslaks og lusepåslag har skapt miljøutfordringer som næringen må løse. Oppdrettslaks som rømmer via hull i noten, søker opp i elvene der den påvirker villaksens genetiske sammensetting i vassdraget. Dette kan ha negativ påvirkning på kvaliteten av villaks. Lusestrykket i fjordene har tidvis hard belastning på utvandrende smolt, som gjerne må ta seg forbi flere oppdrettsanlegg på vei mot havet.



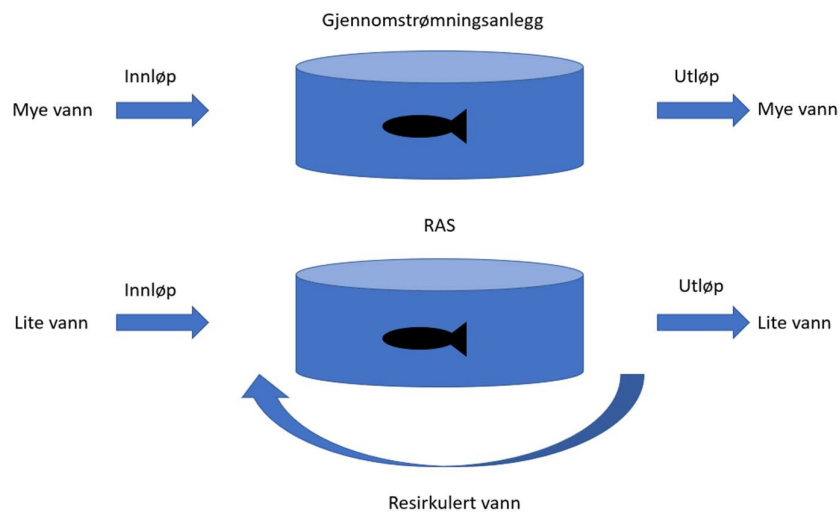
Figur 1, Laks med lusepåslag [6]

Nevnte utfordringer har resultert i økt motstand fra lokalbefolkning og naturvernorganisasjoner. Politiske virkemidler som trafikklyssystemet har blitt innført for at lusenes påvirkning på villaks, sjørret og sjørøye i spesifiserte områder kan reguleres. Etter analyse av strømforhold, har norskekysten blitt delt inn i 13 produksjonsområder. Smolttråling etter utvandret postsmolt, garnfangst etter sjørret og sjørøye, ruse og smoltbur der oppdrettssmolt oppholder seg i 14 dager, har blitt brukt for å måle lusepåslaget. Fargen trafikklyset har for ett område, bestemmes av de negative konsekvensene lusen har i området.

- **Grønn:** kan få 6% vekst i produksjonen. Antatt under 10% dødelighet blant laksesmolt som følge av lakselus.
- **Gul:** ingen endring i produksjonen. Antatt 10-30% dødelighet blant laksesmolt, som følge av lakselus.
- **Rød:** kan få 6% reduksjon i produksjonen. Antatt over 30% dødelighet blant laksesmolt, som følge av lakselus [7].

2.2 RAS-anlegg

Det er i hovedsak RAS- og gjennomstrømningsanlegg som blir anvendt i landbasert oppdrett. Gjennomstrømningsanlegg er mindre kompliserte konstruksjoner og fungerer ved at store mengder vann kontinuerlig strømmer gjennom anlegget. Dette fører til høy utskiftning av vann i fiskekarene, som reduserer muligheten for optimalisering av vannmiljøet. Stort vannbehov innskrenker også mulige lokasjoner og begrenser biomassekapasiteten til anlegget. RAS-anlegg inneholder flere komponenter (Kap.2.4) og kan ha en resirkuleringsgrad opp mot 99%, som åpner opp for flere muligheter ved valg av lokasjon. Kompleksiteten og kravet til kompetanse øker drastisk ved bruk av RAS-teknologi, men gjør det også mulig med optimalisering av vannmiljøet for bedre vekst og fiskevelferd.



Figur 2, Skisse av RAS- og gjennomstrømningsanlegg.

2.3 Hvorfor RAS?

Det er flere fordeler oppdretterne kan nyte godt av ved valg av RAS-anlegg. Det er mulig å opprettholde bedre kontroll på forutnyttelse, vannmiljø og fiskevelferd, samt parametere som temperatur og belysning kan i stor grad optimaliseres for fiskens tilvekst. Inntaksvannet blir renset gjennom flere prosesser for å unngå at produksjonsvannet, blir kontaminert av uønskede parasitter, virus og bakterier.

Grunnet den høye resirkuleringsgraden er ikke RAS-anlegg sesongavhengig og kan dermed driftes hele året. Dette gjør at landproduksjon av settefisk kan synkroniseres i henhold til merdbasert produksjon i sjøen og oppdretterne kan planlegge best mulig slaktestrategi. De siste årene har det vært en endring i størrelsen på settefisk. Tidligere var det vanlig at settefisk ble produsert til den var ca. 100 gram, men nå er det flere aktører som produserer storsmolt på ca. 500 gram. Grunnet gode vekstvilkår i RAS-anlegg kan denne strategien redusere den totale produksjonstiden, men også tiden fisken oppholder seg i sjøen og dermed redusere lusepåslaget. Enkelte aktører ser også på muligheten til å bruke RAS-anlegg for å produsere slakteklar fisk. Selskapet «Fredrikstad Seafood» leverer allerede slakteklar fisk [8] og «Ecofisk» har planer om å produsere slakteklar laks på opptil fem kilo i sitt anlegg, med planlagt oppstart i 2022 [9].

2.4 Hovedkomponenter

RAS-anlegg er komplekse konstruksjoner som er sammensatt av mange komponenter. Underkapitlene nedenfor vil beskrive enkelte av hovedkomponentene i en RAS-sløyfe.

2.4.1 Partikkelfilter

Inntaksvann, overføring og suspendert stoff fra fisken er mulige kilder til partikler i RAS-anlegg. Det er viktig å fjerne disse partiklene, da de er et substrat for uønskede heterotrofe bakterier som kan føre til sykdom blant fisken. Sedimenteringer og avleiringer kan oppstå om grunnleggende renhold ikke gjennomføres eller om vannet ikke blir filtrert på en tilfredsstillende måte. Sedimenteringer kan danne oksygenfrie soner som fører til H₂S problemer. Det anvendes flere forskjellige typer partikkelfilter i RAS-anlegg. Filtrene har gjerne forskjellig dimensjon, utforming og lysåpning etter hvilke posisjon og formål de utfyller i anlegget. I dag har ofte partikkelfiltrene tilbakespylingsteknologi som gir en selvrensende effekt.

2.4.2 Biofilter

Overføring, samt avføring og urea fra fisken er bakgrunnen for produksjon av totalt ammonium nitrogen (TAN), som er en sammensetting av ammoniakk (NH₃) og ammonium (NH₄⁺). NH₃ er giftig for fisken og forholdet mellom NH₃ og NH₄⁺ styres i hovedsak av pH-verdien i vannet. Grunnet lav utskiftning av vann i RAS-anlegg er det nødvendig med et biofilter som kan omsette TAN til nitrat gjennom en nitrifikasjonsprosess. TAN blir først omgjort til nitritt og deretter til nitrat ved hjelp av autotrofe bakterier. Nitrittnivået må kontinuerlig overvåkes, da et økende nivå kan signalisere problemer med biofilteret. Hvert biofilter danner sin egen unike bakteriekultur, men biofilmen består av ca. 20% autotrofe og 80% heterotrofe bakterier. Det er de autotrofe bakteriene som er ønsket i biofilteret og de krever stabile forhold for ikke å bli utkonkurrert av de heterotrofe bakteriene.

Moving bed og fixed bed er de vanligste biofiltrene i RAS-anlegg. Moving bed består av et kar med fritt flytende biolegemer. Det er påsatt trykkluft i bunnen av karet, slik at biolegemene sirkulerer. Dette gjør at biolegemene kolliderer og skaper en selvrensende effekt. Biolegemene er formet slik at de har størst mulig overflateareal i forhold til volum.

Fixed bed er en installasjon som bli senket ned i produksjonsvannet. Den er også designet for å ha størst mulig overflateareal i forhold til volum. Fixed bed har ingen bevegelige deler og dermed ingen selvrensende egenskaper. Derfor må den renses manuelt med jevne mellomrom.

2.4.3 CO₂-lufter (karbondioksid)

CO₂ blir kontinuerlig produsert gjennom nedbrytning av organisk materialet. Det blir produsert ca. 350gr CO₂ pr. kg fôr fisken spiser og et kg spillfôr omsatt av heterotrofe bakterier produserer ca. 180gr CO₂. Høye CO₂-nivåer har negativ effekt, da det øker fiskens respirasjonsfrekvens og reduserer tilveksten. Det svekker også blodets evne til å transportere oksygen og kan gi utfelling av kalk i nyrene som fører til nyrestein. Grunnet nevnte effekter og krav fra myndighetene om at CO₂-nivået ikke kan overstige 15mg/l, må CO₂ fjernes fra produksjonsvannet. Dette kan gjøres ved at produksjonsvannet renner igjennom ett basseng utstyrt med dyser på bunnen. Dysene blåser ut små luftbobler som fører til at de oppnår relativt lang kontaktid med vannet. Dette sikrer god gassutveksling mellom luftboblene og det CO₂ holdige vannet.

2.4.4 UV-behandling

UV-behandling er en viktig prosess som benyttes for å drepe bakterier og hindre at produksjonsvannet blir kontaminert av uønskede bakterier fra det ytre miljø. Det er bare inntaksvannet som bør gjennomgå denne prosessen, da forskning har vist at UV-behandling internt i RAS-anlegget kan føre til uønsket oppblomstring av heterotrofe bakterier. Det er viktig at det brukes tilstrekkelig dose av UV, da de patogene bakteriene kan ha ulik toleranse for behandlingen. Hvis bakteriene ikke blir påført tilstrekkelig skade kan de repareres.

For å oppnå god effekt, bør vannet være filtrert for partikler før det UV-behandles. Dette hindrer bakteriene i å «skjule seg» bak eventuelle partikler. Selve behandlingen foregår ved at vannet renner gjennom beholdere som eksponerer vannet for UV-stråling, slik at bakteriene blir drept gjennom nedbryting av DNA. Vannet kan med fordel ha turbulent strømning under UV-behandling, som kan gi økt effekt og bedre resultatet.

2.4.5 Oksygenering

Oksygenkonsentrasjonen i vannet påvirkes av variabler som temperatur og salinitet, der temperatur er den største driveren. Det er viktig å ha god kontroll over oksygenkonsentrasjonen som er en vesentlig faktor for god fiskevelferd. Oksygennivået blir målt ved utløpet til produksjonskarene, der nedre grense ofte er 80% metning.

Forbruket av oksygen styres i hovedsak av føring, svømmehastighet, temperatur og biomassen i anlegget. For å opprettholde gode verdier er det nødvendig å tilføre oksygen til produksjonsvannet. Dette kan gjøres ved forskjellige metoder, men oksygenkjegle, venturi injektor eller diffusor er de mest kjente metodene.

2.4.6 Produksjonskaret

Dette er karet hvor fisken oppholder seg under produksjonen, og kommer i forskjellige størrelser og fasonger. Det er viktig at karet har gode hydrofobe egenskaper slik at organisk material ikke får grobunn til å feste seg på karetets overflate. Dette kan redusere risikoen for H₂S- og sykdomsutbrudd. Produksjonskaret kan med fordel ha lys gråfarge, som skaper god kontrast og gjøre det mer oversiktlig for røkeren.

Det brukes vribare rør med justerbare dyser for strømsetting av produksjonskaret. Dette gir gode muligheter for optimalisering av strømsettingen, som kan gi økt selvrensende effekt, samt god distribusjon av O₂ og fôr.

2.5 Ulemper med RAS-anlegg

Utbygging av RAS-anlegg krever store investeringer og det er mer utfordrende enn å drifte et gjennomstrømningsanlegg. Dette kommer av at RAS-anlegget er mer komplekst, da det er bygget opp og avhengig av flere komponenter for å fungere. Det kreves høy kompetanse fra driftspersonell for å opprettholde ett stabilt vannmiljø og dette er helt avgjørende for å lykkes med RAS-teknologi. Det er viktig med gode rutiner for føring, håndtering av slam og fjerning av død fisk. Hvis det overføres eller slurves med renholdet kan det føre til opphoping av organisk materialet i anlegget. Dette kan resultere i sykdomsutbrudd, men også redusere kapasiteten i biofilteret som igjen kan føre til akkumulering av TAN, slik at fisken blir ammoniakkforgiftet. Forråtnelse av organisk materialet gir også grunnlag for SRB og kan resultere i H₂S-problemer.

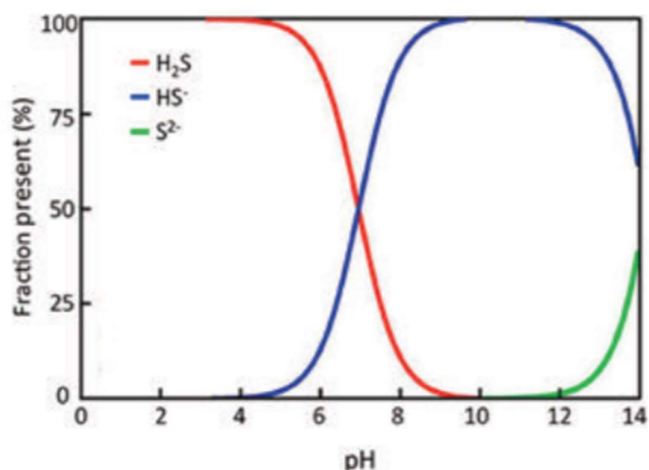
Grunnet mange komponenter som filtre, pumper og sensorer, har RAS-anlegg høyere risikofaktor for teknisk svikt enn et gjennomstrømningsanlegg eller merdbasert sjøoppdrett. Derfor kreves det gode prosedyrer og sikkerhetsbarrierer for å kompensere for konsekvenser ved f.eks. strømbrudd eller teknisk svikt.

2.6 H₂S

Hydrogensulfid er en fargeløs gass og dannes ved bakteriell nedbryting av organisk materiale under anaerobe forhold, der de SRB danner H₂S gjennom sulfatreduksjon [10]. Utvikling av H₂S skjer raskt og er svært løselig i vann. H₂S blir tatt opp via gjellene til fisken og kan føre til akutt fiskedød med opptil 100% dødelighet. Lav utskiftning av vann øker risikoen for H₂S i RAS-anlegg, kontra gjennomstrømningsanlegg. Ifølge Gjensidige Forsikring er 25% av alle forsikringsutbetalinger til RAS-anlegg i forbindelse med H₂S-problemer [11].

Hardingsmolt startet med RAS-anlegg i 2007, der de i årene fram til 2017 kun benyttet seg av ferskvann i anlegget. Under denne perioden var det ingen alvorlige problemer knyttet til H₂S. I løpet av året 2017 startet Hardingsmolt å anvende sjøvann som spedevann. Dette resulterte i to alvorlige hendelser i 2018, der all eksponert smolt ble forgiftet og døde. Det kan tenkes at disse tilfellene inntraff grunnet høye sulfatverdier i sjøvann. Ferskvann har et SO₄²⁻-innhold på under 4mg/l i motsetning til sjøvann som har verdier på ca. 2800mg/l.

For å redusere risikoen for H₂S utvikling er det viktig med gode driftsrutiner. Generelt er det viktig at død fisk og slam fjernes fortløpende. Slam samler seg ofte i rør eller stagnerende vannsoner og kan håndteres ved jevnlig pigging og god vannsirkulasjon i anlegget. Blir sjøvann brukt som spedevann kan sulfatreduksjon minimere risikoen for H₂S problemer. Et velfungerende biofilter vil omsette TAN til nitrat og dermed fungere som en barriere mot de anaerobe bakterienes nedbryting av SO₄²⁻. Figur 3, fordelingen av sulfidkomponentene (H₂S, HS⁻ og S²⁻) ved stigende pH-verdier, viser at vannets pH-verdi har stor påvirkning på fordelingen av H₂S og bisulfid (HS⁻). Det er H₂S som er den giftige komponenten og en økning i pH-verdien vil resultere i lavere forekomst av H₂S. Utfordringen er at høyere pH også fører til større mengder NH₃, som også er dødelig for fisken. Istedenfor å manipulere pH-verdien for å justere forekomsten av H₂S, kan tilsetning av nitrat redusere H₂S-konsentrasjonen med 30-40%.



Figur 3, fordelingen av sulfidkomponentene (H₂S, HS⁻ og S²⁻) ved stigende pH-verdier. [12]

2.7 Nanofiltreringsfilter

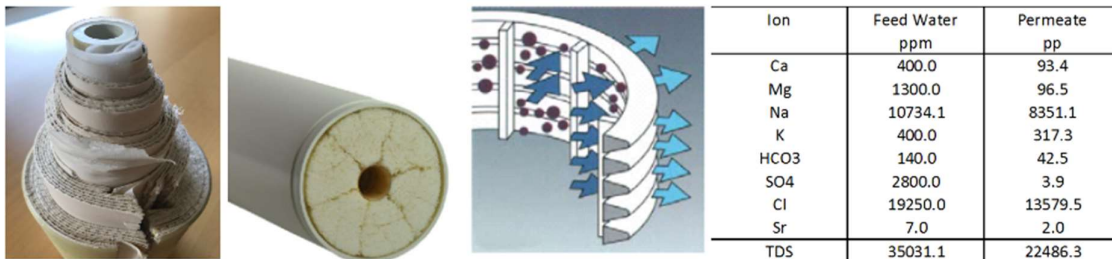
Nanofiltrering er en filterteknologi som er utviklet for fjerne sulfat i sjøvann. Teknologien stammer opprinnelig fra oljebransjen, der den brukes til å fjerne sulfat fra injeksjonsvannet som blir pumpet inn i reservoaret for å opprettholde brønntrykket. Sulfatet blir fjernet for å hindre avleiringer i rørledningene. Teknologien har blitt videreutviklet og dimensjonert for bruk i RAS-anlegg.

Filterteknologien til Enwa består av tre steg:

- 1) Partikkelfiltrering som fjerner partikler fra sjøvannet.
- 2) Ultrafiltrering som fjerner bakterier, alger, finpartikler og virus.
- 3) Nanofiltrering som blant annet reduserer sulfat.

Det er i årevis blitt produsert settefisk med ferskvann uten nevneverdig tilfeller av H₂S. Dette kan gi grunnlag for å si at sulfat tilførselen via fiskefôr ikke er tilstrekkelig for å skape alvorlige forekomster av H₂S. Tester av filteret viser at det kan være mulig å redusere sulfatinnholdet i sjøvann fra ca. 2800 til under 4 mg/l ved bruk av nanoteknologien. Dette gjør at risikoen for H₂S i brakkvanns RAS-anlegg med sjøvann som spede vann, kan reduseres til ferskvannsnivåer. Utfordringer ved teknologien er at den i tillegg til sulfat, reduserer konsentrasjonen av andre toverdige ioner deriblant kalsium (Ca²⁺) som er nødvendig for korrekt beindannelse hos fisken.

Filteret blir nå testet i storstilt RAS-produksjon hos Hardingsmolt, slik at observasjoner på fiskens vekst og velferd kan registreres å eventuelt tas høyde for i videre utviklingsarbeid.



Figur 4, Illustrasjon av de tre trinnene i Enwas filterteknologi: 1) partikkelfiltrering, 2) ultrafiltrering, 3) nanofiltrering og 4) analyseresultat som viser effekten av å filtrere sjøvann ved bruk av Enwa sin teknologi.

[13]

2.8 Brakkvann

Brakkvann er en blanding av ferskvann og sjøvann. Det er ingen klar definisjon på saltinnholdet, men verdier mellom 0,5-30 ‰ regnes vanligvis som brakkvann [14]. RAS-anlegg som bruker brakkvann som produksjonsvann har gjerne to inntak, ett for ferskvann og ett for sjøvann. Dette gjør at de kan justere blandingsforholdene etter ønsket verdi. Spedevann fra sjøen inneholder mer sulfat og organiske partikler enn ferskvann, som gjør at det kreves mer detaljert oppfølging av driftsrutiner. Tross utfordringene knyttet til H₂S ved brakkvanns RAS, er det flere aktører innenfor bransjen som mener det er viktig å finne gode løsninger som muliggjør sikker bruk av brakkvann.

Settefisk som produseres i ferskvann, bør leveres til sjøanlegg etter smoltifisering for å hindre at fisken desmoltifiseres. Hvis fisken desmoltifiseres, må det igangsettes en ny smoltifiseringsprosess før levering. Dette bør unngås da det er en energikrevende prosess som reduserer tilvekst og påvirker velferd på en negativ måte. Når det brukes brakkvann, kan fisken fortsatt produseres i RAS-anlegget etter smoltifisering uten at den desmoltifiseres. Dette øker fleksibiliteten knyttet til leveringstid og størrelse. Storsmolt produsert i brakkvann holder høyere kvalitet og er bedre rustet for overgangen til sjø. Landbasert produksjon av storsmolt kan redusere produksjonstiden i sjøen, som kan føre til redusert risikobilde i henhold til rømning, sykdom og lusepåslag.

2.9 Hardingsmolt

Hardingsmolt drifter RAS-anlegget sitt med brakkvann, der ferskvannet kommer fra Tørvikvatnet og sjøvannet kommer fra Samlafjorden. Sjøvannet som Hardingsmolt bruker har en salinitet på 35‰ og blir pumpet opp fra omtrentlig 70 meters dyp. Dette fører til at temperaturen på spedevannet holder seg stabil.

Hardingsmolt sitt RAS-anlegg er topp moderne med automatiske fôringsmaskiner som også logger relevant data. Det blir brukt 24 timers lyseksponering pr. døgn for å bedre tilveksten på fisken. Vanntemperatur, pH, salinitet og redox blir registrert daglig. Ekstra målinger for TAN, nitritt, nitrat, alkalinitet, hardhet og turbiditet blir blant annet utført mandag, onsdag og fredag.

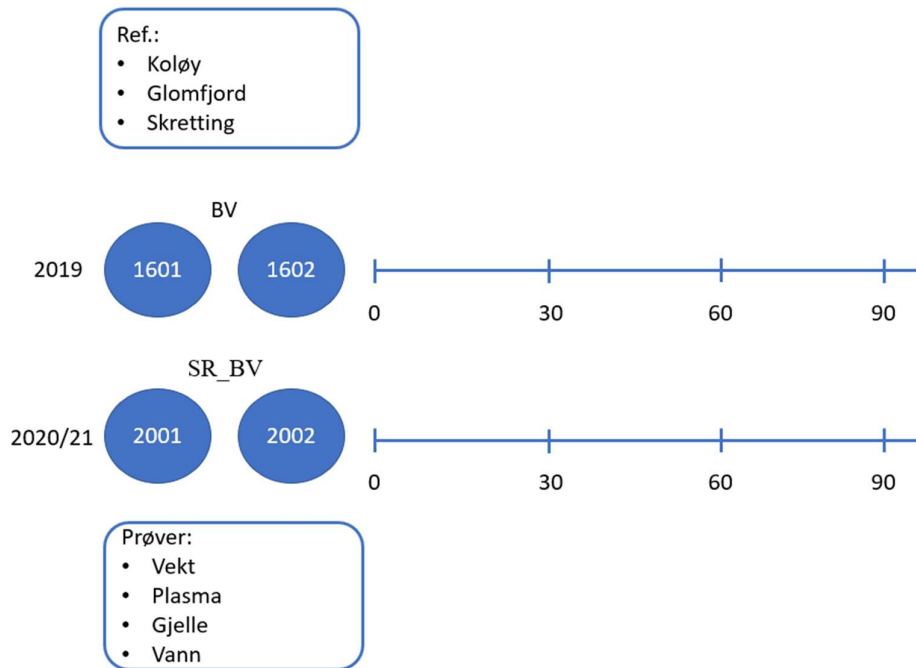


Figur 5, Bildet viser produksjonslokalet til Hardingsmolt [15].

3. Metode

Hardingsmolt har tilgjengeliggjort beholdnings- og vannmiljødata fra sin database om fiskegrupper produsert med og uten sulfatredusert brakkvann. For å kunne danne ett godt sammenligningsgrunnlag ble det valgt ut kar der fisken hadde relativt lik startvekt, og som det var mulig å følge over en 90 dagers periode. I tillegg ble det målt lengde og vekt, samt tatt plasma- og gjelleprøver av fisk produsert i sulfatredusert brakkvann. Disse prøvene ble analysert og sammenlignet mot relevant data fra tidligere utført forskning i Glomfjord og på Koløy. All data som er brukt i denne rapporten stammer fra fisk av typen atlantisk laks (*Salmo salar*).

- Data fra Hardingsmolt, knyttet til vannmiljø og fisk produsert uten sulfatredusert brakkvann i kar 1601 og 1602 i tidsperioden 01.10-31.12.2019. Heretter referert til som «BV».
- Data fra Hardingsmolt, knyttet til vannmiljø og fisk produsert med sulfatredusert brakkvann i kar 2001 og 2002 i tidsperioden 01.12.2020-28.02.2021. Heretter referert til som «SR_BV».
- Det ble hentet inn plasmaprøver av totalt 42 individer fra fisk produsert i sulfatredusert brakkvann hos Hardingsmolt. 14 prøver ble tatt på hver av de følgende datoene: 22.02, 09.03 og 23.03.2021. Heretter vil materialet fra prøvene refereres til samlebetegnelsen «HS-Plasma».
- Gjelleprøver ble tatt av totalt 42 individer fra fisk produsert i sulfatredusert brakkvann hos Hardingsmolt. 14 prøver ble tatt på hver av de følgende datoene: 22.02, 09.03 og 23.03.2021. Heretter vil materialet fra prøvene refereres til: G-22.02.2021, G-09.03.2021 eller G-23.03.2021. Samlebetegnelsen for materialet refereres til «HS-Gjelle».
- Kontrollmateriale for plasmaprøvene ble tatt av 83 individer som stod i lukket merdbasert oppdrett på Koløy med opprinnelse fra Hardingsmolt. Heretter referert til som «Koløy».
- Kontrollmateriale for gjelleprøver stammer fra 29 individer produsert i ferskvann hos Mowi og Aqua Gen i Glomfjord. Heretter referert til som «Glomfjord».
- Modellerte tilvekster er hentet fra Skretting sin veksttabell for atlantisk laks [16]. Heretter referert til som «Skretting».

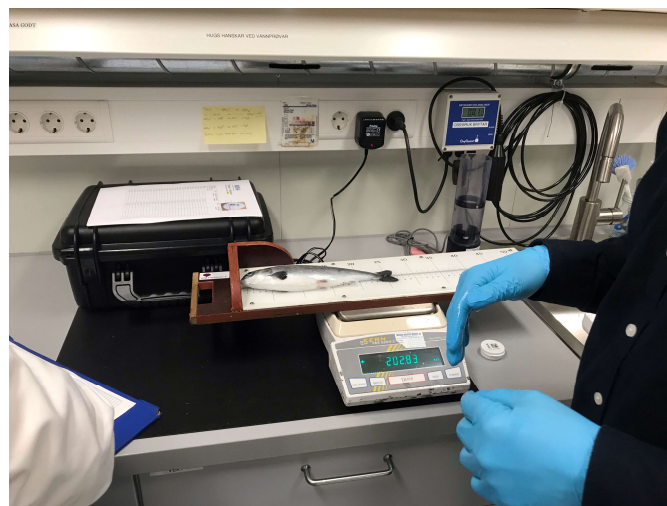


Figur 6, viser oversiktsbilde av metodeutførelsen.

3.1 Prøvetakning for SR_BV hos Hardingsmolt

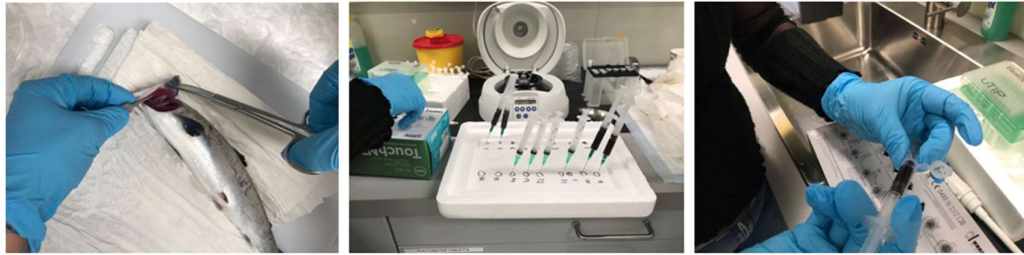
Totalt ble det hentet inn prøver fra 42 individer, fordelt på tre prøvetaknings tidspunkt (kap. 3). For å sikre fiskens velferd og forsøkets integritet under innhenting av prøvemateriell, ble prosedyrer i forbindelse med prøvetakning nøye fulgt. Prøvene som ble tatt på laboratoriet til Hardingsmolt ble utført på følgende måte:

Laboratoriet ble rigget og fordelt i stasjoner med nødvendig utstyr for gjennomføring av prøver. Tilfeldig utvalgt smolt ble lagt i en bøtte med blanding av vann og bedøvelsesmiddel, og var totalt utslått innen den ankom laboratoriet.



Figur 7, registrering av vekt og lengde for SR_BV utført på laboratoriet til Hardingsmolt.

Første stasjon registrerte vekt, lengde og gjennomførte blodprøvene. Andre stasjon tok gjelleprøver med og uten brusk. Tredje stasjon hentet blodprøver og sentrifugerte dem til plasma.



Figur 8,: 1) utførelse av gjelleprøve. 2) Blodprøver, nummerert etter individ. 3) Blod overføres til oppbevaringsrør for sentrifugering av plasma.

Det ble hentet smolt i tre omganger slik at de ikke ble liggende lengre enn nødvendig i bøtten med bedøvelsesmiddel. Resultatene ble notert fortløpende ettersom smolten ble målt og veid. Det ble tatt blodprøver av alle fem individene før blodprøvene ble satt i sentrifugen for utskilling av plasma. Da sentrifugen gikk, ble det hentet inn gjelleprøver med og uten brusk. Prøvene ble lagt på is, for å opprettholde god kvalitet inntil analysering.

3.2 Sammenligningsdata

For å danne et bilde av hvilken effekt det sulfatreduserte brakkvannet har på fiskens vekst og velferd, ble det gjort sammenligninger av fiskegrupper produsert i brakkvann. Vekst, vannkvalitet, plasma- og gjelleprøver ble undersøkt.

3.2.1 Vekst

- Prosent daglig tilvekst/ Specific Growth Rate (SGR):
 - SGR framstilles ved å måle vekten til et representativt antall fisk i produksjonskaret. Hos Hardingsmolt blir dette gjort hver 14 dag og det er utviklingen av gjennomsnittsvekten på denne fisken som ble brukt i følgende formel:

$$SGR(\%) = \left(\left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{1/dg} - 1 \right) \times 100$$

Hvor W_1 er startvekten, W_2 er sluttvekten og dg er antall dager. Denne rapporten benytter også modellerte SGR-tall for atlantisk laks, hentet fra veksttabellen til Skretting.

- Vektutvikling:
 - Disse datapunktene representerer utviklingen av gjennomsnittsvekten på fisken.
- Termisk vekstfaktor 3 (VF3):
 - Termisk vekstfaktor gir en verdi på tilvekst som inkluderer vanntemperatur i antall døgngrader og har følgende formel:

$$VF3 = \left(\left(W_2^{1/3} \right) - \left(W_1^{1/3} \right) \right) \times \left(\frac{1000}{Temp \sum_{i=1}^n D_i} \right)$$

Hvor W_1 er startvekten, W_2 er sluttvekten, D er døgn. Høy VF3 indikerer bedre vekst.

- Økonomisk fôrfaktor ($FF_{\emptyset ko}$):
 - Fôrfaktor viser hvor mange kilo fôr som må til for å produsere et kilo fisk og har følgende formel:

$$FF_{\emptyset ko} = \frac{Utfôret\ mengde}{\Delta Biomasse}$$

$FF_{\emptyset ko}$ gir altså en indikasjon om hvor godt fisken utnytter fôret.

3.2.2 Plasmaprøver

- Kalsium (Ca):
 - Kalsium er et viktig mineral som finnes i alle celler, blod og vevsvæsker. Kalsium bidrar til formidling av signaler ved muskelsammentrekninger, impulser i nervene, skjelettdannelse og koagulering av blodet.

- Klorid (Cl):
 - Klorid er en elektrolytt som inngår i væske- og syrebalansen. Høye kloridverdier fører til dehydrering. I ferskvann er det vanlig med kloridverdier mellom 111-135 mmol/l og i sjøvann varierer verdiene mellom 130-160 mmol/l for postsmolt [17].

- Glukose (C₆H₁₂O₆):
 - Glukose er blodsukker og dette vil stige når fisken er stresset. Økning i glukosenivået er en sakte respons som topper seg etter 3-6 timer. Blodet frakter nødvendig glukose til vev som danner energi til hjernen, muskler, nervesystemet og de røde blodcellene.

- Fosfor (PO₄³⁻):
 - Fosfor er viktig for omsetting av karbohydrater, protein, fett, og syre-/basebalanse. Fosfor har innvirkning på sentralnervesystemet og sammen med kalsium bygger de et sterkt beinvev og støttevev. Kramper, hjerteforstyrrelser og respirasjonssvikt kan forekomme med for lave fosforverdier.

- Natrium (Na):
 - Natrium opprettholder det osmotiske trykket i vevsvæsken, samt regulerer opptak og utskillelse av vann i fiskens kroppsceller. Det er også nødvendig for å opprettholde syrebalansen og påvirker overføringen av nervesignaler og muskelsammentrekninger. Natrium skilles ut over gjellene. I ferskvann ligger natriuminnholdet i blodet vanligvis mellom 130-150mmol/l og i sjøvann mellom 140-175 for postsmolt. [17]

3.2.3 Gjelleprøve

- ATPase
 - Saliniteten i ferskvann er lavere enn i blodet til fisken, dette gjør at fisken må ta opp salt fra omgivelsene for å opprettholde en jevn saltkonsentrasjon i blodet. Hvis fisken står i brakkvann eller vann med høyere salinitet, må fisken skille ut salt fra vannet den drikker for å unngå å bli dehydrert. Denne prosessen heter osmoregulering og er avhengig av en gruppe enzymer som heter ATPase for å fungere. Hele prosessen pågår i gjellenes kloridceller. Endringer i disse enzymene kan brukes som en indikator på fiskens sjøvannstoleranse og smoltifisering [18].

3.2.4 Vannkvalitet

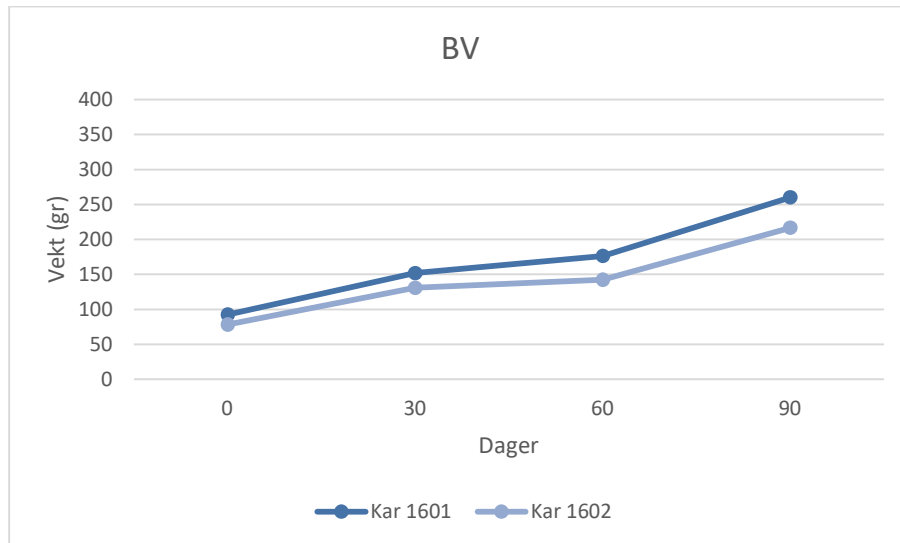
- Alkalitet
 - Lav alkalitet kan redusere nitrifikasjonsraten i biofilteret. Dette kan resultere i økte verdier av TAN og nitritt (NO_2). Det er viktig å ha kontroll på alkaliteten, som kan påvirkes ved tilsetning av natriumkarbonat.
- Ca (hardhet)
 - Kalsium har stor betydning for giftigheten av metaller i vannet. Kalsiumkonsentrasjonen har direkte fysiologisk betydning på fiskens gjelleoverflate, der den bidrar til at fisken ikke mister salter. Ved bruk av brakkvann vil konsentrasjonen av kalsium overstige minimumsverdier med stor margin.
- Nitritt (NO_2)
 - NO_2 blir tatt opp via gjellene og en kritisk konsekvens av nitritakkumulering er oksidering av hemoglobin til metahemoglobin. Dette reduserer fiskens evne til å transportere oksygen i blodet. Etter oppstart skal et fungerende biofilter hindre opphoping av NO_2 . Kravet fra mattilsynet er at NO_2 -nivået ikke skal overstige 0,1mg/l [19].
- Nitrat (NO_3^-)

Nitrat er nitrifikasjonsprosessens sluttprodukt og er mindre giftig enn TAN og nitritt. Nivå av nitrat indikerer hvor godt biofilteret fungerer. Nitrat kan akkumuleres i RAS-anlegget og korrigering av nivå gjøres ved vannutskifting. Anbefalt øvre nitratgrense 75mg/l NO_3^- for god fiskevelferd.
- pH:
 - pH er et mål på vannets surhetsgrad. Nitrifikasjonshastigheten øker ved økt pH og de nitrifiserende bakteriene har et optimalt miljø ved en pH-verdi mellom syv og ni. Mattilsynet har satt krav til at pH-verdien på innløpet skal ligge mellom 6,2 og 7,8.

- Redox:
 - Redoxpotensialet viser om vannkvaliteten er reduserende eller oksyderende. Reduserende forhold oppstår når avfallsstoffer, fôrrester og døde fisk råtner i vannet. Synkende Redoxpotensial tyder på økende mengder avfallsstoffer i vannet. Anbefalt nivå 350 mV.
- Salinitet:
 - Saltinnholdet i vannet forlenger smoltifiseringsvinduet til fisken og øker fleksibiliteten knyttet til levering av fisk. Kvaliteten på fisken vil da holde seg høy over en lengre periode enn i vannkvaliteter med lav salinitet. Settefisk produsert i saltholdig vann er også mer robust og dermed bedre egnet til å tåle overgangen til sjøen.
- Vanntemperatur:
 - 12-16°C er den optimale temperaturen for tilvekst av laks. Høye temperaturer fører til at smoltifiseringen gjennomføres hurtigere, men det kan også føre til reduksjon av oksygeninnholdet i vannet. Lave temperaturer kan ha negativ innvirkning på tilveksten [20].
- TAN:
 - Overføring, urea og avføring er hovedårsakene til dannelse av TAN, som består av NH_3 og NH_4 . Sammensetningen av disse to komponentene er avhengig av vannets pH-verdi. Ved høye pH-verdier vil det være større andel av NH_3 . Dette er ikke gunstig, da det er NH_3 som er den giftige komponenten i TAN. Med et fungerende biofilter vil TAN bli omsatt i nitrifikasjonsprosessen og på denne måten hindre akkumulering i anlegget.
- Turbiditet:
 - Turbiditet er et mål på organisk og uorganisk partikkelinnhold i vannet. Det er dokumentert at høyt partikkelinnhold fører til mistriivsel og redusert tilvekst og fôropptak. I settefiskanlegg er det ofte leirpartikler det handler om. Leiren kan inneholde metaller som reagerer ved bruk av brakkvann i RAS-anlegget.
- Karbondioksid (CO_2):
 - CO_2 blir tilført vannet gjennom metabolismen til fisken og de heterotrofe bakteriene som tilhører biofilteret i RAS-anlegg. Intensiv fôring, høy vanntemperatur og biomasse gir høyt CO_2 -innhold i driftsvannet, som igjen forhøyer CO_2 nivået i blodet til fisken og reduserer blodets oksygenbærende evne. Høyt CO_2 innhold senker pH i vannet og påvirker flere kjemiske prosesser som er pH-avhengige. God kontaktflate mellom luft og vann kreves for god utlufting av CO_2 gass i vann. Anbefalt maks nivå av CO_2 er 15mg/l.

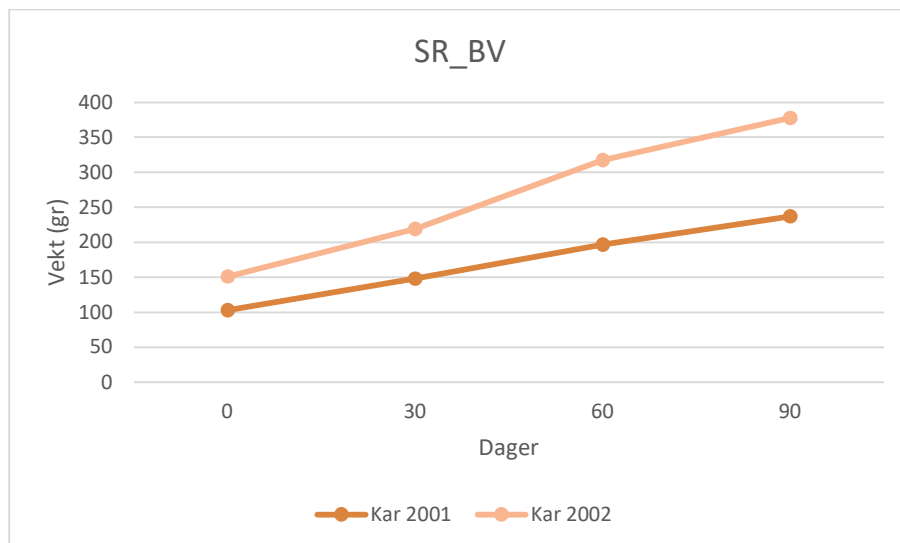
4. Resultat

4.1 Vektutvikling over 90 dager



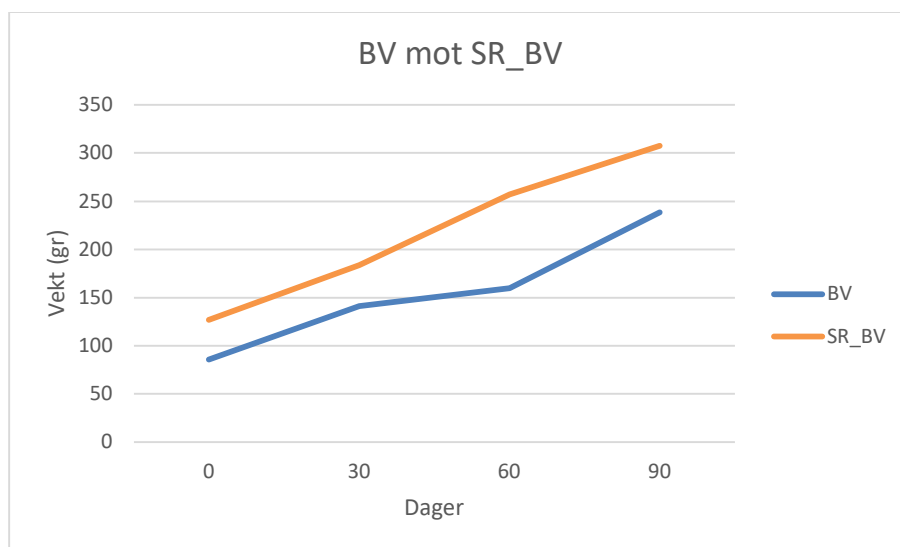
Figur 9, Vektutvikling over 90 dager for atlantisk laks i kar 1601 og 1602. Inngår i BV (Kap.3).

Kurven indikerer god vekst i første periode fra 0-30 dager, før vektutviklingen flater ut i andre periode, mellom 30 og 60 dager. Veksten har en positiv utvikling den siste perioden mellom 60 og 90 dager.



Figur 10, Vektutvikling over 90 dager for atlantisk laks i kar 2001 og 2002. Inngår i SR_BV (Kap.3).

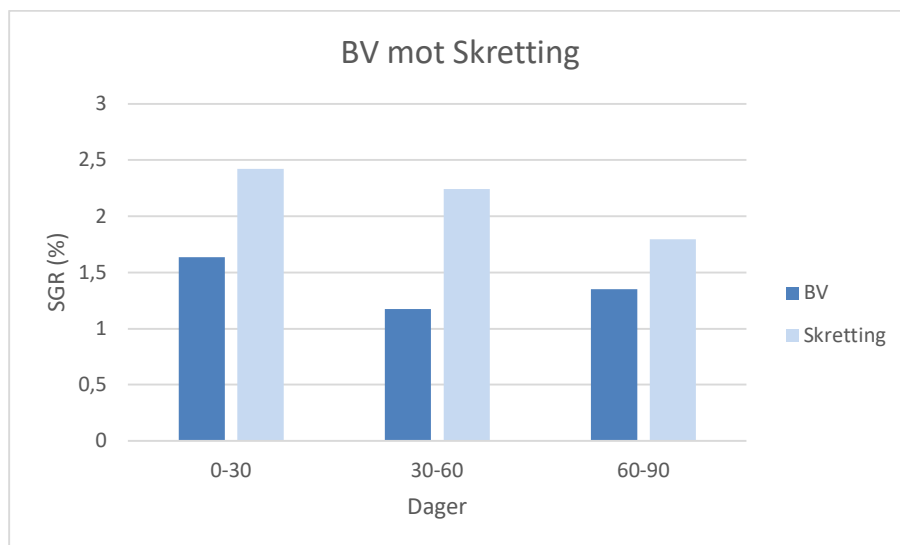
Vektutviklingen i kar 2001 er noe jevnere enn i 2002, som viser en økning i veksttakten i perioden mellom 30 og 60 dager.



Figur 11, Gjennomsnittets vektutvikling over 90 dager for atlantisk laks for BV og SR_BV (Kap.3)

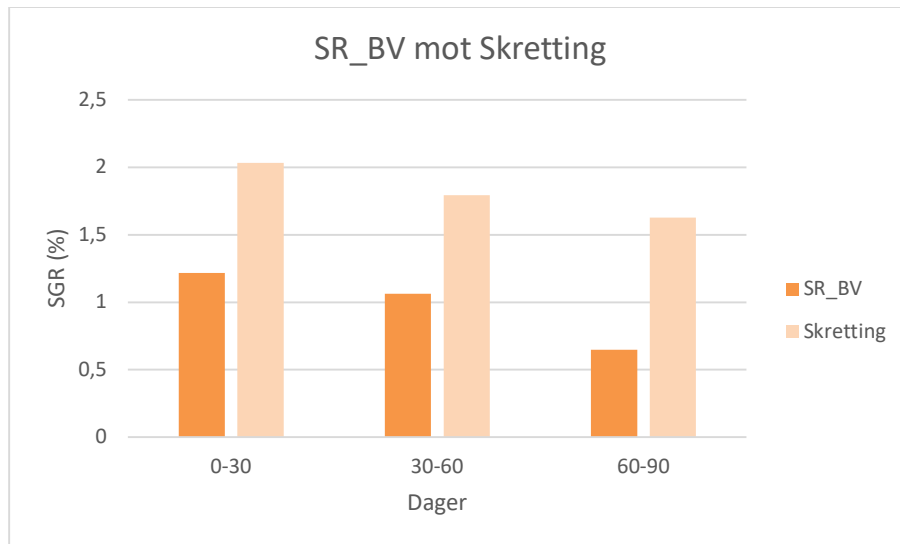
Vekten for SR_BV utviklet seg fra 127 til 307,4 gram og hadde en jevnere utvikling enn BV, som gikk fra 85,5 til 238,4 gram.

4.2 Observert mot modellert SGR



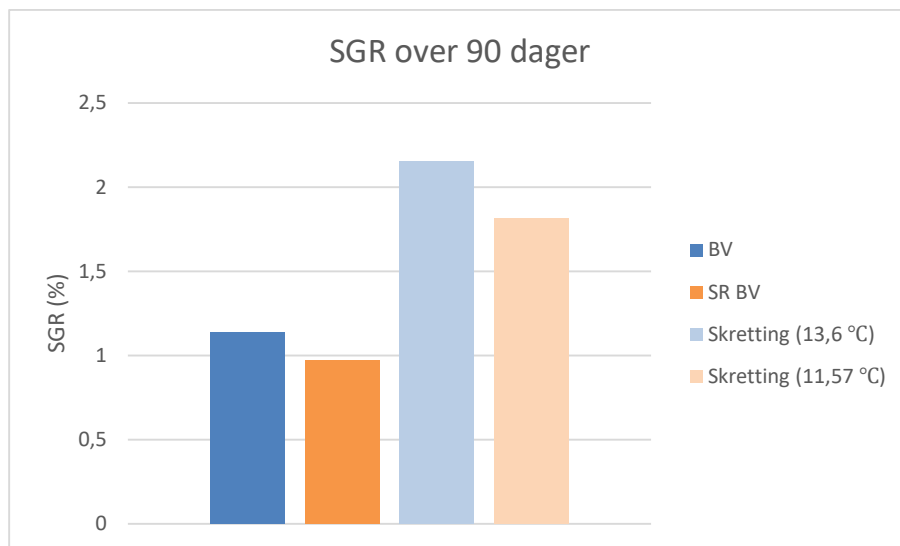
Figur 12, SGR for BV mot Skretting over 90 dager. For BV er det brukt gjennomsnittlig SGR fra kar 1601 og 1602. SGR-verdiene er lineær interpolert for å stemme med observert temperatur.

SGR-verdiene for BV fluktuerer mer enn verdier fra Skretting, som har en jevnt synkende utvikling. Skretting har høyere SGR over hele perioden.



Figur 13, SGR for SR_BV mot Skretting over 90 dager. For SR_BV er det brukt gjennomsnittlig SGR fra kar 2001 og 2002. SGR-verdiene er lineær interpolert for å stemme med observert temperatur.

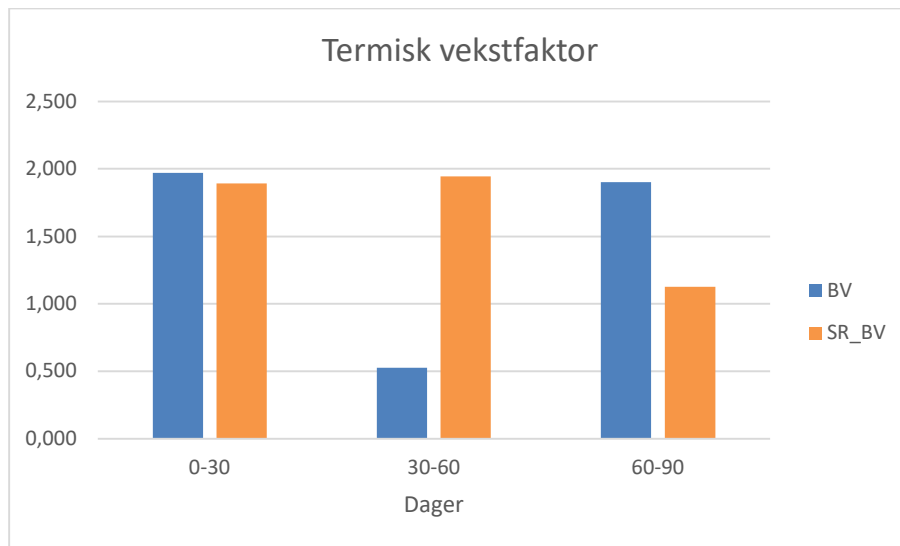
SGR-verdiene for SR_BV og Skretting har synkende utvikling. Skretting har høyere SGR over hele perioden.



Figur 14, Viser observert SGR for BV og SR_BV, samt modellert SGR fra Skretting ved 13,6°C og 11,57°C. Skretting verdiene er brukt med nevnte temperaturer, da det gjenspeiler observerte temperaturer for BV (13,6°C) og SR_BV (11,57°C).

Observert SGR for BV er 17% høyere enn for SR_BV. Modellert Skretting ved 13,6°C overstiger BV med 89%. Modellert Skretting ved 11,57°C. overstiger SR_BV med 87%.

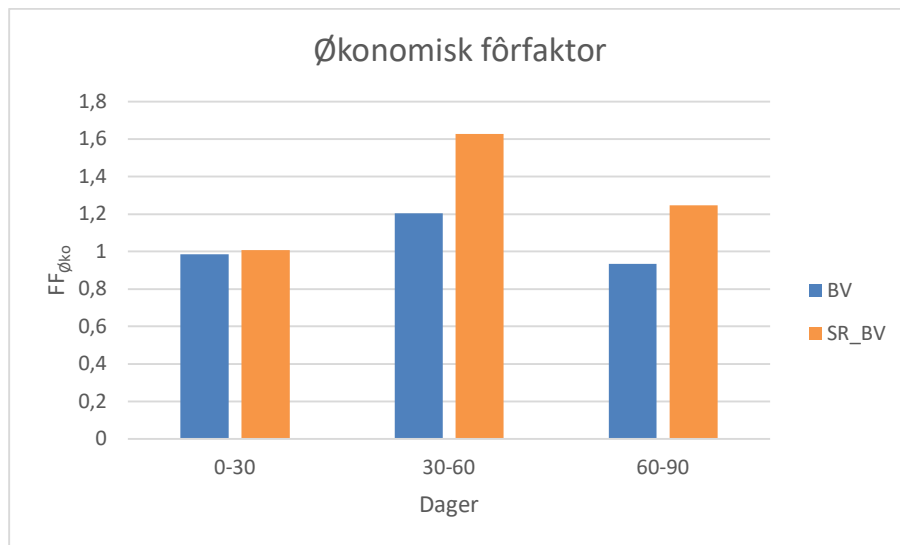
4.3 Termisk vekstfaktor (VF3):



Figur 15, Termisk vekstfaktor for BV og SR_BV over 90 dager.

Figuren viser lave verdier av termisk vekstfaktor for BV i perioden 30 til 60 dager og for SR_BV i perioden 60 til 90 dager.

4.4 Førfaktor



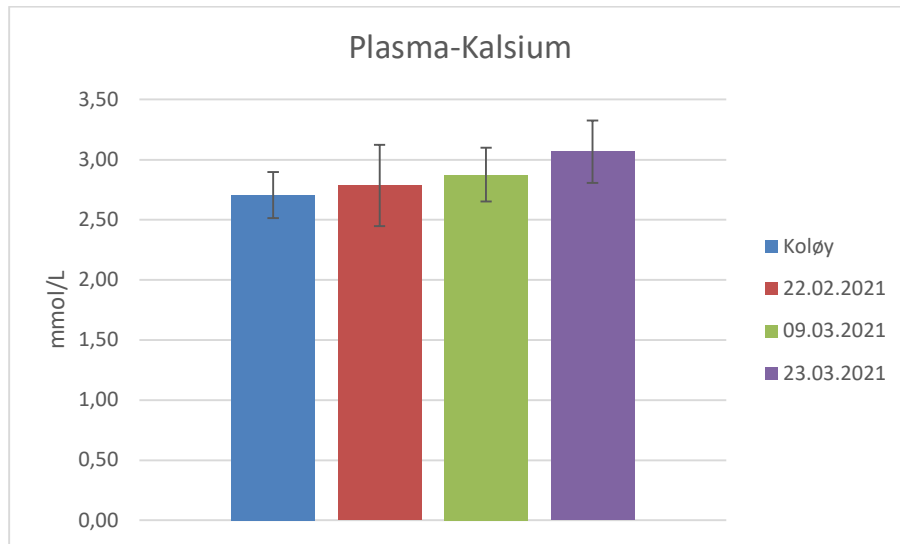
Figur 16, Viser gjennomsnittlig førfaktor for BV og SR_BV over 90 dager.

Den økonomiske førfaktoren for BV ble lavere enn for SR_BV over hele 90-dagersperioden. Den høyeste $FF_{\text{øko}}$ -verdien (1,629) ble observert i perioden mellom 30 og 60 dager for SR_BV.

4.5 Plasmaprøver

Plasmaprøver fra sulfatredusert brakkvann HS-Plasma har blitt sammenlignet mot plasmaprøver hentet fra Koløy (Kap.3).

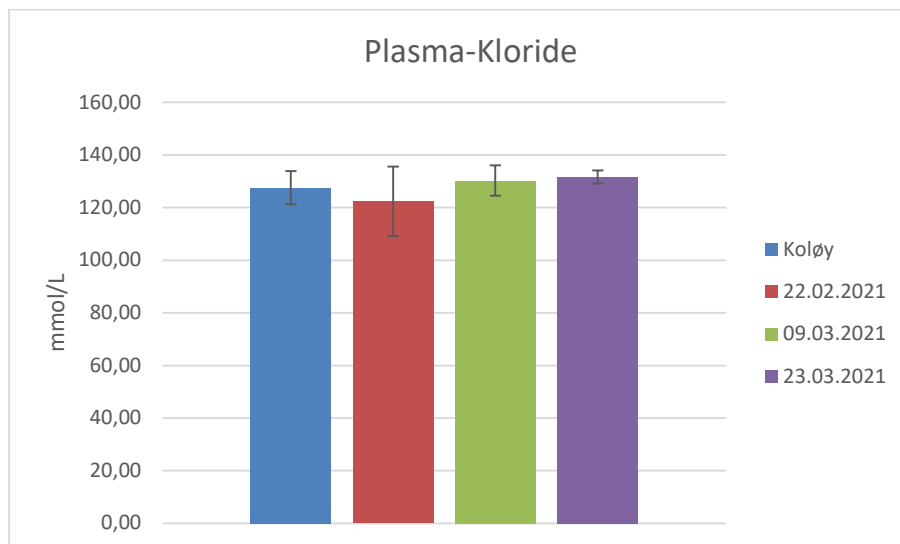
4.5.1 Kalsium



Figur 17, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for plasma-kalsium.

Nivået av plasma-kalsium er relativt stabilt og gjennomsnittsverdiene strekker seg fra 2,7 til 3,07 mmol/l.

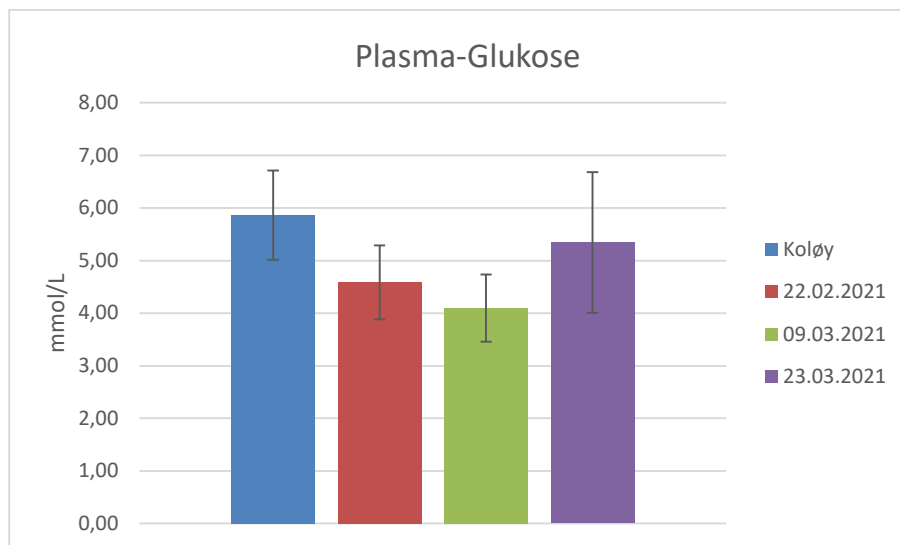
4.5.2 Klorid



Figur 18, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for plasma-klorid

Gjennomsnittsverdien er relativt lik for de forskjellige gruppene. Verdiene ligger innenfor ønskelig intervall, men det observeres at standardavviket 13,19 mmol/l er noe større for materialet knyttet til 22.02.2021.

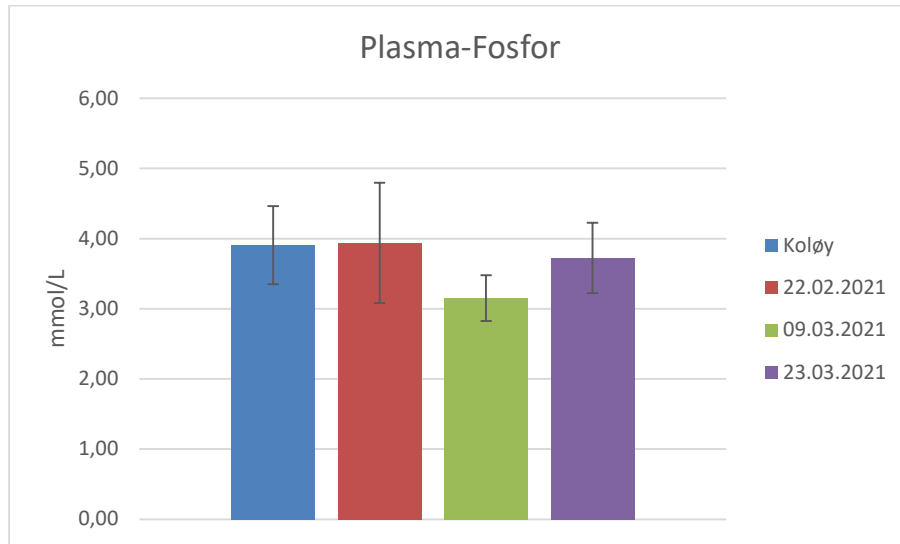
4.5.3 Glukose



Figur 19, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for plasma-glukose.

«Plasma-glukose»-materialet fra Koløy har høyere verdier enn HS-Plasma.

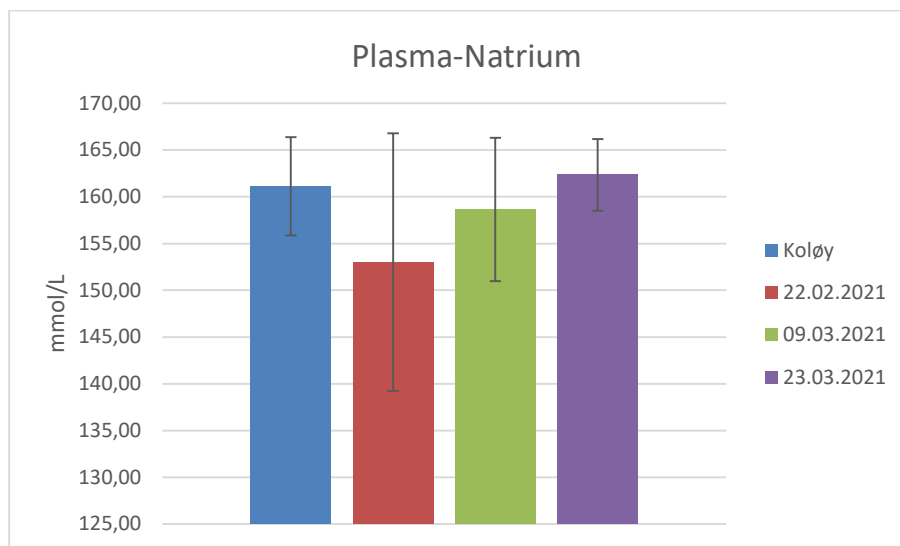
4.5.4 Fosfor



Figur 20, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for plasma-fosfor.

Foruten materialet fra 09.03.2021 fremkommer det ingen store forskjeller for er «plasma-fosfor»-verdiene.

4.5.5 Natrium



Figur 21, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for plasma-natrium.

Det er en stigende trend i materialet fra HS-Plasma. Det er også observert noe høyt standardavvik for materialet knyttet til 22.02.2021.

4.5.6 Sammendrag

Tabell 1, Sammendrag av blodplasma prøver. HS-Plasma blir sammenlignet mot Koløy.

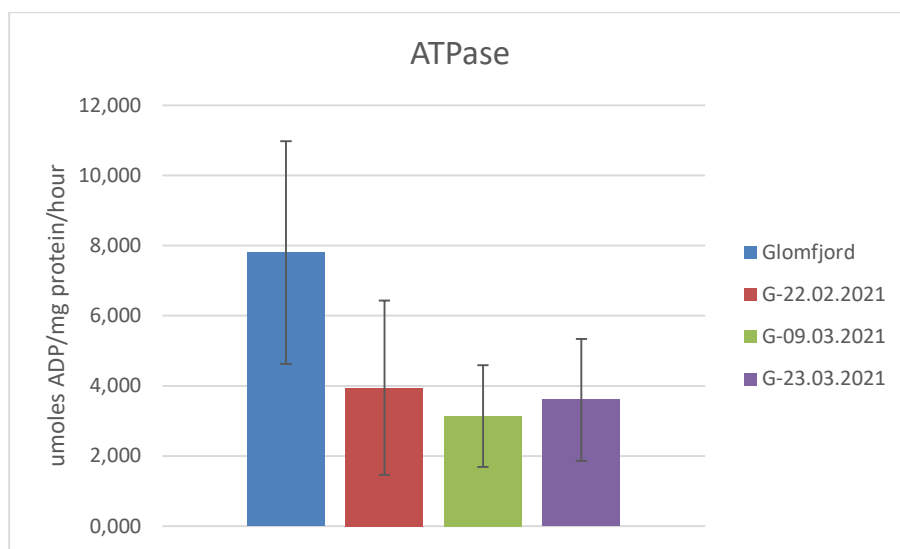
Gruppe	Parameter	Kalsium	Klorid	Glukose	Fosfor	Natrium
HS-Plasma	Snitt	2,90	128,10	4,68	3,60	158,00
HS-Plasma	SD	0,30	9,39	1,08	0,70	10,11
Koløy	Snitt	2,70	127,48	5,86	3,91	161,11
Koløy	SD	0,19	6,31	0,85	0,56	5,26

Sammendraget viser at det er liten forskjell mellom materialet fra Koløy og HS-Plasma. Størst prosentvis forskjell er observert i plasma-glukose, der verdiene fra Koløy er 25% høyere enn HS-Plasma.

4.6 Gjelleprøve

Resultatet av gjelleprøver fra sulfatredusert brakkvann, HS-Gjelle, blir sammenlignet med materialet fra Glomfjord (Kap.3).

4.6.1 ATPase



Figur 22, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for ATPase.

Verdiene for ATPase er generelt lavere for materialet som inngår i HS-Gjelle (Kap.3) og representerer fisk produsert i sulfatredusert brakkvann.

4.7 Vannkvalitet

Tabell 2, Vannmiljødata fra de to forskjellige vannbehandlingene, er hentet fra databasen til Hardingsmolt (BV og SR_BV, Kap. 3)

Dager	Behandling	Alkalitet (mg/l)	Ca Hardhet	CO ₂ (mg/l)	Nitritt NO ₂ (mg/l)	Nitrat NO ₃ (mg/l)	pH-etter
0-30	BV	170,77	51,46	8,71	0,06	24,62	7,81
30-60	BV	160,71	85,79	7,00	0,06	16,84	7,78
60-90	BV	221,50	107,70	10,60	0,18	32,90	7,88
Snitt	BV	184,33	81,65	8,77	0,10	24,79	7,82
SD	BV	26,60	23,14	1,47	0,06	6,56	0,04

0-30	SR BV	148,90	110,38	5,63	0,07	20,79	7,35
30-60	SR BV	180,23	123,65	8,19	0,08	27,28	7,67
60-90	SR BV	223,50	93,92	6,17	0,06	30,24	7,80
Snitt	SR BV	184,21	109,32	6,66	0,07	26,10	7,61
SD	SR BV	30,59	12,16	1,10	0,01	3,95	0,19

Det er registrert nitritt nivå på 0,18 mg/l for BV i perioden 60 til 90 dager. Dette overskrider tillatt konsentrasjon på 0,1mg/l, satt av mattilsynet. Økningen i nitritt for denne perioden gjør også utslag på TAN- og nitratverdiene i anlegget. Det er også observert noe høyere verdi av CO₂ for BV.

Tabell 3, Vannmiljødata fra de to forskjellige vannbehandlingene, er hentet fra databasen til Hardingsmolt.

Dager	Behandling	pH-før	Redox 3	Salthold. (‰)	Vann °C (C°)	TAN	Turbiditet (mg/L)
0-30	BV	7,29	290,45	10,27	13,45	0,54	2,00
30-60	BV	7,35	320,36	13,34	13,07	0,40	2,29
60-90	BV	7,41	301,96	17,10	14,27	0,67	7,78
Snitt	BV	7,35	304,26	13,57	13,60	0,53	4,02
SD	BV	0,05	12,32	2,79	0,50	0,11	2,66

0-30	SR BV	7,84	247,73	14,91	11,67	0,30	8,50
30-60	SR BV	7,42	241,34	17,40	11,77	0,46	10,73
60-90	SR BV	7,52	286,95	16,36	11,26	0,32	7,45
Snitt	SR BV	7,59	258,67	16,22	11,57	0,36	8,90
SD	SR BV	0,18	20,16	1,02	0,22	0,07	1,37

Det er registrert 2°C høyere gjennomsnittlig vanntemperaturen for BV. Vannparameterne holder seg innenfor retningslinjene til mattilsynet, med unntaket av tidvis overskridende nitrittnivå.

4.8 Hypotesetest (T-test)

For å avdekke ulikheter mellom innhentet material er det utført T-test på plasmaprøver (HS-Plasma og Koløy). Dette er også gjort for gjelleprøvene (HS-Gjelle og Glomfjord).

5. Diskusjon

5.1 Metode

Denne oppgaven skulle egentlig basert seg på forskning gjennomført i pilotanlegget til Hardingsmolt. Der skulle det gjennom tilsetninger av kalk og lut, testes forskjellige vannkvaliteter av sulfatredusert brakkvann, og på denne måten dokumentere tilvekst og fikevelferd.

Utfordringer relatert til Covid-19 førte til forsinkelser i forbindelse med planlagt oppstart av pilotanlegget hos Hardingsmolt. Restriksjoner hindret også gjennomføring av planlagt prøvetakning. Det ble derfor ikke mulig å trekke «sterke» konklusjoner basert på tilgjengelig material. Oppgaven ble bygget opp av material fra databasen til Hardingsmolt, og støttet med plasma- og gjelleprøver for å styrke resultatet av oppgaven.

Videre tar denne diskusjonen for seg tilvekst og fiskevelferd ved produksjon av settefisk (atlantisk laks) med sulfatredusert brakkvann i landbasert RAS-anlegg. Grunnlaget for diskusjonen baserer seg på innhold og tolkning av Kap.4 Resultat.

5.2 Vektutvikling

SR_BV har en jevnere, men lavere prosentmessig vektutvikling enn BV. Vektutvikling for SR_BV var på 142% som er vesentlig mindre enn 178% for BV (Figur 11, Gjennomsnitts vektutvikling over 90 dager for atlantisk laks for BV og SR_BV (Kap.3).

5.3 SGR

Lav SGR for BV i tidsrommet mellom 30 og 60 dager samsvarer med flat vektutvikling i den perioden. Det framkommer også at observert SGR for BV er 17% høyere enn SR_BV. Årsaken til dette kan skyldes at fisken i BV har lavere vekt og at temperaturen i produksjonsvannet var ca. 2°C høyere.

Modellert SGR fra Skretting er markant høyere enn observerte verdier både for BV og SR_BV. Skretting 13,6°C er 89% høyere enn BV og Skretting 11,57°C er 87% høyere en SR_BV. De store avvikene mellom modellerte og observerte SGR-verdier kan skyldes stammen fisken kommer fra, fôrkvalitet og håndtering. Ifølge veksttabellen til Skretting er det rom for forbedringer på RAS-anlegget til Hardingsmolt.

5.4 Termisk vekstfaktor

Lav termisk vekstfaktor i perioden 30 til 60 dager kan knyttes til flat vektutvikling.

5.5 Økonomisk fôrfaktor

Den økonomiske fôrfaktoren er lavere for BV over hele perioden på 90 dager og indikerer dermed bedre fôrutnyttelse. Det ble observert fôrfaktor på 1,629 for SR_BV i tidsrommet mellom 30 til 60 dager. Dette er en uvanlig høy verdi, som kan skyldes overføring relatert til dårlig appetitt hos fisken.

5.6 Plasmaprøver

«Plasma-glukose»-materialet fra HS-Plasma har lavere verdier enn materialet fra Koløy. Dette kan tyde på mindre stress hos fisken i anlegget til Hardingsmolt, ellers indikerer ikke resultatet fra plasmaprøvene unormale verdier. Dette tyder på god fiskevelferd for SR_BV i RAS-anlegget til Hardingsmolt.

5.7 Gjelleprøver

Gjellene regulerer fiskens indre miljø i forhold til ytre miljø, gjennom ATPase ionepumping som er lokalisert i cellemembranen. Dette gjør endringer i ATPase til en god indikator på sjøvannstoleransen og smoltifisering for anadrom fisk [21].

Resultatene for ATPase er innenfor normalen. Årsaken til relativ stor forskjell på verdiene mellom Glomfjord og HS-Gjelle kan skyldes bruk av ferskvann i Glomfjord.

5.8 Vannprøver

Ekskluderer man forskjellen i vanntemperatur og perioden med høye nitrittverdier, kan det registreres relativt lik vannkvalitet for både BV og SR_BV. Inkluderer man vanntemperaturen som er en viktig faktor for fiskens appetitt og tilvekst, kan det observeres at denne er 2°C høyere for BV.

I følge SRG-tabellene til Skretting, har en 100grams fisk en daglig tilvekst på 1,79% ved 10°C og 2,09% ved 12°C. Dette gir en forskjell på 0,3% i daglig tilvekst og kan utgjøre en signifikant forskjell over lengre perioder. Ser man forbi tilfellet med nitritt på 0,18mg/l for perioden mellom 60 og 90 dager for BV, er det relativt stabile verdier for TAN, nitritt og nitrat. Dette indikerer at biofilteret fungerer som det skal for begge gruppene (BV, SR_BV).

5.9 T-test

T-testen viser at det er små forskjeller mellom Koløy og HS-Plasma. Årsaken kan knyttes til mange enkeltmålinger, men ulikheten i snittverdiene er så marginale at det i praksis har liten betydning. For gjelleprøvene Glomfjord og HS-Gjelle ble det registrert en reell forskjell. Årsaken til dette kan trolig knyttes til vannkvalitetene ved Glomfjord (ferskvann) og HS-Gjelle (sulfatredusert brakkvann).

6. Konklusjon

Det er ikke mulig å trekke sterke konklusjoner basert resultatet i denne oppgaven. Utfordringer knyttet til Covid-19 har hindret fullverdig gjennomføringen av prosjektet, da pilotanlegget til Hardingsmolt verken var 100% tilgjengelig eller operativt. Før det kan trekkes sterke konklusjoner, bør det gjennomføres forskning på tilvekst og fiskevelferd med lengre tidshorisont og hyppigere prøvetakning enn det som ble mulig i denne bacheloroppgaven.

Basert på sammenlignet datamateriale i denne oppgaven, kan det likevel se ut til, at produksjon av settefisk (atlantisk laks) kan gjennomføres med hensyn til fiskevelferd og tilvekst.

7. Referanser

- [1] «<https://nofima.no/forskning/naringsnytte/stor-smolt-ikke-alltid-best/>,» [Internett].
- [2] E. Nodland, «<https://ilaks.no/best-vekst-pa-land/>,».
- [3] «<https://www.niva.no/nyheter/vet-mer-om-hs-i-landbaserte-anlegg/>,» [Internett].
- [4] «<https://www.ssb.no/fiskeoppdrett/>,» 2020.
- [5] «https://www.nrk.no/trondelag/sjomat-norge-onsker-a-femdoble-sjomatnaeringen-_vil-koste-500-milliarder-1.14501218,» [Internett].
- [6] «<https://www.intrafish.no/fou/uit-er-et-steg-narmere-a-holde-lakselusen-unna-med-f-r/2-1-693362>,» [Internett].
- [7] «<https://www.hi.no/hi/temasider/akvakultur/trafikklyssystemet-hi-sin-kunnskap/>,» [Internett].
- [8] «<https://www.tekfisk.no/havbruk/norges-forste-oppdrettsanlegg-pa-land-er-i-full-gang/2-1-821663>,» [Internett].
- [9] «<https://www.kyst.no/article/har-faatt-tildelt-norges-stoerste-landbaserte-matfisktillatelse/>,» [Internett].
- [10] «<https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/behandling-av-forgiftninger-med-hydrogensulfid-h2s-behandlingsanbefaling-ved-forgiftning/>,» [Internett].
- [11] «<https://www.tekfisk.no/havbruk/produksjon-av-fisk-pa-land-utfordres-av-giftig-gass-og-sykdommer/2-1-544400>,» [Internett].
- [12] «<http://tekset.no/wp-content/uploads/2017/02/9-%C3%85tland.pdf>,» [Internett].
- [13] «Aquasulfat,» 2018.
- [14] «<https://snl.no/brakkvann/>,» [Internett].
- [15] «<https://www.bedriftprofilen.no/nb/fiske/66-taxes-nb/694-redox?start=1>,» [Internett].
- [16] «<https://www.skretting.com/no/>,» [Internett].
- [17] J. N. L. H. S. M. H. I. J. K. o. K. G. Chris Noble, «Velferdsindikator for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd».
- [18] «<https://www.eurofins.no/food-feed-testing/vaare-tjenester/service-og-kompetanse/marin-industri/smoltifisering-atpase-analyser/>,» [Internett].
- [19] A. J. Fjellheim, «Vannkvalitet i et kommersielt resirkuleringsanlegg for laks».
- [20] T. K. Å. Å. o. B. O. R. Anders J. Fjellheim, «Råvannskvalitet i norske settefiskanlegg for laks relatert til vannkvalitetskrav i resirkuleringsanlegg».
- [21] M. S. R. S. J. H. Tor G. Heggberget, «Smoltifisering hos laksefisk,» NINA, 1992.

Liste over Figurer

Figur 1, Laks med lusepåslag [6]	2
Figur 2, Skisse av RAS- og gjennomstrømningsanlegg.....	3
Figur 3, fordelingen av sulfidkomponentene (H ₂ S, HS ⁻ og S ²⁻) ved stigende pH-verdier. [12].....	6
Figur 4, Illustrasjon av de tre trinnene i Enwas filterteologi: 1) partikkelfiltrering, 2) ultrafiltrering, 3) nanofiltrering og 4) analyseresultat som viser effekten av å filtrere sjøvann ved bruk av Enwa sin teknologi. [13].....	7
Figur 5, Bildet viser produksjonslokalet til Hardingsmolt [15].....	9
Figur 6, viser oversiktsbilde av metodeutførelsen.....	11
Figur 7, registrering av vekt og lengde for SR_BV utført på laboratoriet til Hardingsmolt.	11
Figur 8,: 1) utførelse av gjelleprøve. 2) Blodprøver, nummerert etter individ. 3) Blod overføres til oppbevaringsrør for sentrifugering av plasma.....	12
Figur 9, Vektutvikling over 90 dager for atlantisk laks i kar 1601 og 1602. Inngår i BV (Kap.3).	17
Figur 10, Vektutvikling over 90 dager for atlantisk laks i kar 2001 og 2002. Inngår i SR_BV (Kap.3).	17
Figur 11, Gjennomsnittets vektutvikling over 90 dager for atlantisk laks for BV og SR_BV (Kap.3) ...	18
Figur 12, SGR for BV mot Skretting over 90 dager. For BV er det brukt gjennomsnittlig SGR fra kar 1601 og 1602. SGR-verdiene er lineær interpolert for å stemme med observert temperatur.....	18
Figur 13, SGR for SR_BV mot Skretting over 90 dager. For SR_BV er det brukt gjennomsnittlig SGR fra kar 2001 og 2002. SGR-verdiene er lineær interpolert for å stemme med observert temperatur.	19
Figur 14, Viser observert SGR for BV og SR_BV, samt modellert SGR fra Skretting ved 13,6°C og 11,57°C. Skretting verdiene er brukt med nevnte temperaturer, da det gjenspeiler observerte temperaturer for BV (13,6°C) og SR_BV (11,57°C).....	19
Figur 15, Termisk vekstfaktor for BV og SR_BV over 90 dager.....	20
Figur 16, Viser gjennomsnittlig fôrfaktor for BV og SR_BV over 90 dager.	20
Figur 17, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for plasma-kalsium.	21
Figur 18, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for plasma-klorid.....	22
Figur 19, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for plasma-glukose.....	22
Figur 20, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for plasma-fosfor.....	23
Figur 21, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for plasma-natrium.....	23
Figur 22, Gjennomsnittsverdier og standardavvik for ATPase.	24

Liste over Tabeller

Tabell 1, Sammendrag av blodplasma prøver. HS-Plasma blir sammenlignet mot Koløy.....	24
Tabell 2, Vannmiljødata fra de to forskjellige vannbehandlingene, er hentet fra databasen til Hardingsmolt (BV og SR_BV, Kap. 3).....	25
Tabell 3, Vannmiljødata fra de to forskjellige vannbehandlingene, er hentet fra databasen til Hardingsmolt.....	25

Vedlegg 1

T-tests; Grouping: Anlegg (Petter-HVL)											
Group 1: KG											
Group 2: HS											
Parameter	Mean KG	Mean HS	t-value	df	P	Valid N KS	Valid N HS	StDEV KS	StDEV HS	F-ratio variance	p Variance
Ca	2,7045	2,9044	4,46591	123	0,000018	84	41	0,192229	0,30505	2,518268	0,000400
Cl	127,5205	128,1048	0,40818	123	0,683850	83	42	6,371196	9,49947	2,223090	0,002158
Glu	5,8644	4,6755	6,63157	120	0,000000	80	42	0,853383	1,08975	1,630678	0,063457
Phos	3,9076	3,6003	2,62683	122	0,009724	84	40	0,558433	0,70490	1,593375	0,077769
Na	161,1145	158,0000	2,25692	124	0,025763	84	42	5,287528	10,23081	3,743815	0,000000
NKA	7,8028	3,5604	6,78320	68	0,000000	29	41	3,229067	1,99906	2,609180	0,005468

