

# Effekten av å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter i et RAS-anlegg

Frida Klaussen  
William Tung  
Thea Daltveit

Bacheloroppgave i Havteknologi  
Bergen, Norge 2021





# Effekten av å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter i et RAS-anlegg

Frida Klaussen  
William Tung  
Thea Daltveit

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

Høgskulen på Vestlandet  
Fakultet for Ingeniør- og Naturvitskap  
Institutt for maskin- og marinfag  
Inndalsveien 28  
NO-5063 Bergen, Norge

Omslag fotografi © Norbert Lümmen

*English title:* The effect of using a self-washing sandfilter for particle removal and as a biofilter in RAS.

Forfatter(e), studentnummer: Frida Klaussen h581868  
William Tung h578093  
Thea Daltveit h572327

Studieprogram: Havteknologi  
Dato: Mai 2021  
Rapportnummer: IMM 2021-M86  
Veileder ved HVL: Victoria Popsueva HVL ansatt  
Anne-Camilla Diesen Hosfeld HVL ansatt

Oppdragsgiver: Litus Akva  
Oppdragsgivers referanse: Ingrid Landro

Antall filer levert digitalt: 2

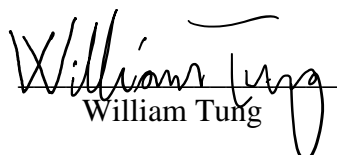
## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2021 som en avslutning på den 3-årige utdanningen, Havteknologi ved Høyskolen på Vestlandet, Bergen. Oppgaven er skrevet for Litus Akva, et ny-oppstartet firma som holder til i Rong, Øygarden. Gruppen ønsker å takke Litus Akva for en spennende og lærerik oppgave. Samt at vi har fått deltatt mye med prosjektet og følt oss verdsatt. Prosjektet er gjort i samarbeid med Marineholmen RASLab som eies av konsortium ved Universitet i Bergen og, ILAB.

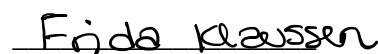
Ingrid Landro, Bjarte Landro og Kristian Steinestø som er grunnleggerne for Litus Akva har vært til stor hjelp under skrivingen. I startfasen fikk vi hjelpe til med byggingen av anlegget og de var tålmodige og ga veldig god opplæring. De har vært til stor hjelp med å ta oss med på reisen til test-piloten deres og byggingen av selve anlegget.

Samt vil vi takke de eksterne veilederne Sigurd Olav Handeland, professor på UIB og Anne – Camilla Diesen Hosfeld, førsteamanuensis ved HVL. Vi vil også takke Victoria Popsueva, førsteamanuensis ved HVL, som er den interne veilederen. De har vært tålmodige og hjelpsomme med å svare på de ulike spørsmålene og vært tilgjengelig når vi har trengt dem.

Denne oppgaven har vært veldig spennende og innholdsrik. Vi har lært mye igjennom denne prosessen og virkelig fått utfordret oss på både bygging og testingen. Gruppen er veldig fornøyd med resultatet og håper du som leser denne synes det er en spennende og lærerik oppgave.

  
William Tung

  
Thea Daltveit

  
Frida Klaussen



## Sammendrag

RAS-anlegg (Recirculating aquaculture systems) er et relativt nytt anleggskonsept for intensivt landbasert produksjon av fisk som det blir mer av i næringen. Prinsippet med RAS-anlegg er å kunne resirkulere vannet, og på denne måten åpne dører til fiskeoppdrett, der det er begrenset med vannressurser. RAS-anlegg er teknologisk komplekse anlegg. Dette gjør det utfordrende å ivareta fiskevelferden og komponenter, der drift og design er avgjørende suksessfaktorer.

Ekskresjonsprodukter, i form av organisk materiale og TAN, som står for totalt ammonium nitrogen, skaper et velferdsproblem dersom filtreringen og nedbrytingen ikke er tilstrekkelig. Fiskens avfallsprodukter må behandles gjennom partikkelfjerning, og bruk av biofilter til å omdanne ammonium til nitrat (nitrifikasjonsprosessen). Biofilteret er et av de viktigste komponentene, og det er her nitrifikasjonsprosessen foregår. Denne bacheloroppgaven har som hovedmål å teste en ny type filterløsning, med selvvaskende sandfilter som biofilter- og partikkelfilter.

Det selvvaskende sandfilteret ble driftet i et RAS-anlegg, og i løpet av oppgavens tidsperiode, økte biomassen fra 181kg ( $26\text{kg/m}^3$ ) til 328kg ( $47\text{kg/m}^3$ ). Testen skulle fortsette etter oppgavens tidsperiode, frem til tettheten er minst  $80\text{kg/m}^3$ . Under testingen ble det tatt målinger av vannkvaliteten og fiskevelferden, utført av kyndige fra RASLab. Det ble det målt nitrifikasjonsparametere, TSS (total suspended solids), turbiditet, trykktap og strømningshastighet gjennom det selvvaskende sandfilteret. Resultatene viser at vannkvaliteten var innenfor tillatte grenseverdier og lå nært referanseverdiene. Nitrifikasjonsverdiene samsvarte med tall ifra RAS-anlegg med tradisjonelt biofilter. I tillegg var de avsluttende TSS- og turbiditetsmålingene lave, noe som dokumenterte selvvaskende sandfilters betydelige evne til partikkelfjerning. Det ble også vist gjennom teoretiske beregninger at det var mulig å redusere sandkornstørrelsene slik at sandmediets evne til å fjerne partikler kan økes.

Velferdsprøver ble utført i form av plasma- og gjelleprøver. Ut ifra plasmaprøvene ble det sett på klor og natrium, og om disse prøvene var innenfor standard referanseverdi for laksefisk. Fra gjelleprøvene ble det sett på om gjelleenzymet Na-K-ATPase lå opp mot referanseverdiene. Disse prøvene ga en indikasjon på fiskens osmosereguleringssevne. Resultatene viser at prøvene lå innenfor gjeldende normalverdier. I tillegg var veksthastigheten over referanseverdi.





## Abstract

RAS (recirculating aquaculture systems) is a relatively new concept for intensive land-based production of fish, which is becoming more common in the industry. The principle of RAS is to be able to recycle the water, effectively offering new opportunities to fish farming in which there are limited water resources. RAS facilities are very technologically complex, and creates challenges such as maintaining fish welfare and components, where operation and design are essential factors to success.

Excretion products, in the form of organic materials and TAN, which account for total ammonium nitrogen, create a problem with welfare if the filtration and decomposition are not sufficient. Waste products from fish must be treated through particle removal and the use of biofilters to convert ammonium to nitrate (the nitrification process). The biofilter is one of the most significant components and makes sure the nitrification process takes place. The main goal of this bachelor thesis is to test a new type of filter solution: a self-cleaning sand filter operating as both a biofilter and particle filter.

The self-cleaning sand filter was operated in a RAS plant and, during the time of this experiment, the biomass stretched from 181 kg (26 kg/m<sup>3</sup>) to 328 kg (47 kg/m<sup>3</sup>). The testing continued after the time period of the assignment until the density was at least 80 kg/m<sup>3</sup>. Experts from RASLab carried out the testing of the water quality and fish welfare. Nitrification parameters, TSS (total suspended solids), turbidity, pressure loss and flow rate through the self-cleaning sand filter were all measured. The results show that the water quality was within permitted limit values and close to the reference values. The nitrification values corresponded with values from a RAS plant with traditional biofilter. Furthermore, the final TSS and turbidity measurements were low, and as such documenting self-cleaning sand filters' significant ability for particle removal. It was also evident through theoretical calculations that it is possible to reduce the grain sizes of the sand to increase the ability of more particle removal.

The welfare tests were executed through plasma- and gill tests. Based on the plasma samples, chlorine and sodium was studied, and whether these samples were within the standard reference value for salmon. It was examined whether the gill enzyme Na-K-ATPase was close to the reference values. These tests gave an indication of the fish's osmoregulation ability. The results disclosed that the samples were within the current normal values and that the growth rate was above the reference value.



## Innholdsfortegnelse

Forord.....	V
Sammendrag .....	VII
Abstract.....	IX
Forkortelser og ordforklaringer: .....	XIV
1.0 Innledning: .....	- 1 -
2.0 Teori .....	- 3 -
2.1. RAS-anlegg .....	- 3 -
2.1.1 Trommelfilter .....	- 3 -
2.1.2 Pumpesumpen .....	- 4 -
2.1.3 Pumpen .....	- 4 -
2.1.5 CO2 lufteren.....	- 6 -
2.1.6 Fiskekaret .....	- 6 -
2.1.7 Avløpskassen.....	- 6 -
2.2 Vannkvalitet i RAS .....	- 6 -
2.3 Vekst hos laksefisk .....	- 8 -
2.4 Velferd hos laksefisk .....	- 9 -
2.5 Sand som filtermedium.....	- 11 -
2.5.1 Selvvaskende sandfilter .....	- 11 -
2.5.2 Fluidisering.....	- 14 -
3.0 Metode.....	- 20 -
3.1 Valg av metodedesign.....	- 20 -
3.2 Forskningsdesign.....	- 22 -
3.2.1 Byggefasen .....	- 22 -
3.2.1a) Trommelfilter .....	- 22 -
3.2.1b) Pumpesump .....	- 22 -
3.2.1c) Pumpe .....	- 23 -
3.2.1d) Selvvaskende sandfilter .....	- 24 -
3.2.1e) CO2- lufter .....	- 25 -
3.2.1f) Fiskekaret.....	- 26 -
3.2.1g) Avløpskasse.....	- 27 -
3.2.2 Oppstartfasen .....	- 28 -
3.2.3 Testfasen .....	- 29 -
3.3 Datainnsamling .....	- 31 -
3.3.1 Kvantitativ tilnærming .....	- 31 -

3.3.2 Kvalitativ tilnærming .....	32 -
4.0 Resultat .....	33 -
4.1 Nitrifikasjonsverdier .....	33 -
4.1.1 Resultater uten fisk .....	33 -
4.1.2 Resultater etter fisk.....	34 -
4.2 Vekst.....	36 -
4.3 Plasma og gjelleprøver .....	39 -
4.3.1 Plasmamålinger .....	39 -
4.3.1a) Klor .....	39 -
4.3.1b) Natrium .....	41 -
4.3.2 Na-K-ATPase.....	42 -
4.4 TSS- og Turbiditets verdier:.....	43 -
4.4.1 TSS verdier .....	43 -
4.4.2 Turbiditet .....	44 -
4.5 Fluidisering .....	45 -
4.5.1 Trykktap .....	45 -
4.5.2 Strømningshastighet .....	45 -
5.0 Diskusjon .....	47 -
5.1 Nitrifikasjonsverdier .....	47 -
5.2 Vekst.....	48 -
5.3 Plasma og gjelleprøver .....	49 -
5.4 TSS og Turbiditet .....	50 -
5.5 Fluidisering.....	51 -
6.0 Konklusjon.....	53 -
6.1 Veien videre .....	53 -
Litteraturliste .....	54 -
Figurliste.....	57 -
Tabeller .....	59 -
Vedlegg 1: Tilveksttabell for fisk ved 12 grader, gjort i Excel .....	60 -
Vedlegg 2: Målt trykktap og porøsitet i selvvaskende sandfilter, gjort i Excel.....	61 -
Vedlegg 3: SGR tabell fra Skretting .....	62 -
Vedlegg 4: TSS verdiene ut ifra de ulike komponentene, gjort i Excel .....	63 -

Effekten av å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

## Forkortelser og ordforklaringer:

- RAS = Recirculating aquaculture system
- TAN = Totalt ammonium mål som nitrogen
- H<sub>2</sub>S= Hydrogensulfid
- NH<sub>3</sub> = ammoniakk
- NH<sub>4</sub> = ammonium
- NO<sub>2</sub>- : nitritt
- NO<sub>3</sub>- : nitrat
- TSS/TS = Total suspended solids
- TOC: totalt organisk karbon
- Immunologiske barriere = fiskens beskyttelse mot patogener.
- MTB: maksimalt tillatt biomasse
- Respiratoriske organ = det organet som “puster” som er gjellene til fisken.
- Primærlamell = er en gjellestav som kommer ut av gjellebuen og bærer på sekundærlamellene.
- Sekundærlamell = ligger oppe på primærlamellene.
- Ioneregulering = opprettholde konsentrasjonen av løste stoffer.
- Hypoosmotisk = denne reguleringen holder osmolariteten i organismen lavere enn selve miljøet rundt fisken.
- Osmolaritet = mål for mengde saltkonsentrasjon i fisken.
- Permeabel = gjennomtrengelighet.
- Biolegmer = bæremedie som holdes flytendes på vannfasen.
- Monovalente: et ion som er negativ og positivt ladd.
- SGR: specific growth rate (spesifikk vekstrate)
- NKA: Gjelleenzymet Na-K-ATPase
- FV: ferskvann
- SV: saltvann

Effekten av å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter





## 1.0 Innledning:

I Norge er det gjennomført store investeringer i smolt- og postsmoltanlegg de siste 10 årene, spesielt innen RAS. [1] Et RAS-anlegg er et landbasert oppdrettsanlegg som benytter prinsippet om gjenbruk av vann. RAS-teknologien muliggjør jevnligere produksjon hele året, da det er muligheter med temperaturforandringer og bedre kontroll på partikler i oppdrettsvannet. Tradisjonelt har gjennomstrømningsanlegg vært det anleggskonseptet som settefiskprodusenter har benyttet. I gjennomstrømningsanlegg har det blitt erfart at vannressursene setter klare begrensninger for anleggets potensiale for økt produksjon. Slike anlegg må befinne seg nært en vannkilde for kontinuerlig vanntilførsel. [2]

I et RAS-anlegg blir avløpsvannet renses og resirkulert, og i et gjennomstrømningsanlegg vil avløpsvannet bli deponert i resipienten. Et RAS - anlegg består av ulike komponenter, der hver komponent har viktige oppgaver for å sikre god vannkvalitet og fiskevelferd. Fisk skiller ut ammonium og ammoniakk over gjellene som er et avfallsprodukt fra metabolsk aktivitet. For mye ammoniakk i oppdrettskaret er giftig for fisken. Biofilterets evne til å redusere TAN-konsentrasjoner i produksjonsvannet og omdanne dette til tilnærmet ufarlig nitrat via nitritt er kjernen i et RAS-teknologien. Denne bakterielle prosessen kalles nitrifikasjon.

I dette prosjektet tok gruppen del i en pilot-test som skal teste om et sandfilter kan benyttes som en kombinasjon av biofilter og partikkelfilter i et resirkuleringsanlegg. Egenskapene til sand som filtermedie gjør at Litus Akva tror at filteret vil holde langs finere partikler enn hva et mekaniske filter og dagens biofilter evner. Pilot-testen som skal benyttes er bygget av Litus Akva på RASLab, lokalisert i Bergen. Litus Akva er en nystiftet bedrift med lang erfaring innen oppdrett og anleggsdesign. Selskapet ønsker å være med og utvikle den landbaserte oppdrettsnæringen, slik at den blir mer lønnsom og effektivt. Den nye filterteknologien vil teste om sand kan benyttes som biomediet for nitrifikasjonprosessen og som filter med evne til å fjerne fine partikler. Sandbiomediet vil også fjerne risikoen for utslipp av mikroplast som kan komme av de tradisjonelle plast-biolegmene i biofilteret. [1] Testen omhandler bruk av et selvvaskende sandfilter som biofilter i et RAS- anlegg.

Selvvaskende sandfilter har lenge blitt brukt til vannbehandling innenfor kommunale anlegg, men er ikke brukt til rensing av vann i RAS. [3] Sanden i filteret har som egenskap at den fjerner partikler og organisk materiale. Filtreringsgraden til denne sanden vil variere ut ifra sandkornstørrelsen.

Problemstillingen gruppen tar for seg er “å teste og dokumentere effekten av å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter i et RAS-anlegg”. Dette innebærer å teste det selvvaskende sandfilterets vannrensende evne (TSS), nitrifikasjonskapasitet (omsetning av TAN), og evnen til å sikre god tilvekst, velferd og helse hos postsmolt laks. Fisken er avhengig av at vannet er innenfor akseptable verdier som gjenspeiles ved lave TAN- og TSS-verdier. Høye verdier av finpartikulært materiale kan oppstå i et RAS-anlegg med mangelfull filtrering. Dette kan lede til gjelleproblemer, som er et kjent problem i RAS-anlegg. Positive test-resultater vil bekrefte at sand egner seg som biomedie. Selvvaskende sandfilter må tilfredsstillte dagens krav til vannkvalitet i RAS-anlegg, for å være et levedyktig produkt i markedet for landbasert oppdrett.

Prosjektet ble delt i tre forskjellige faser; 1. bygg-, 2.oppstart- og 3.testfasen. I oppstartsfasen ble det mekaniske som bygging av anlegget gjennomført. I den andre fasen skulle biofilteret modnes, blant annet ved hjelp av å tilsettes modnet biochips, for å korte ned modningstiden og fisken ble plassert i karet. Vannkvaliteten ble målt kontinuerlig etter hvert som fisken vokser og belastningen på biofilteret økte. I testfasen ble prøveresultatene samlet, og summert til en vurdering om det selvvaskende sandfilterets ytelse som bio- og partikkelfilter. For å bedre oversikten, er det laget en forskningsmodell som viser problemstillingen og hva selve oppgaven gikk ut på.



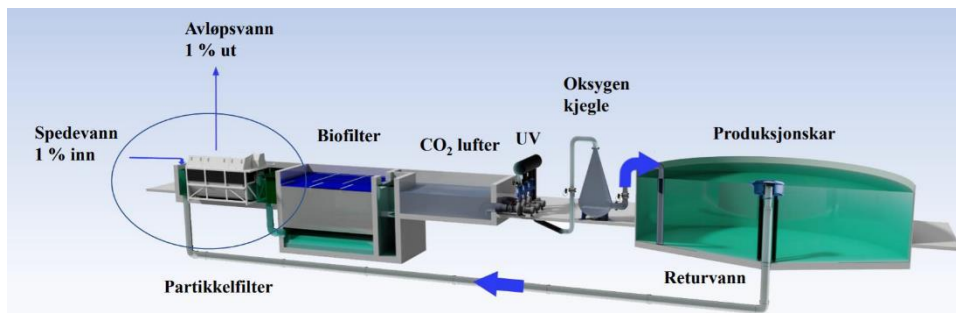
Figur 1: Forskningsmodell over oppgaven.

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

## 2.0 Teori

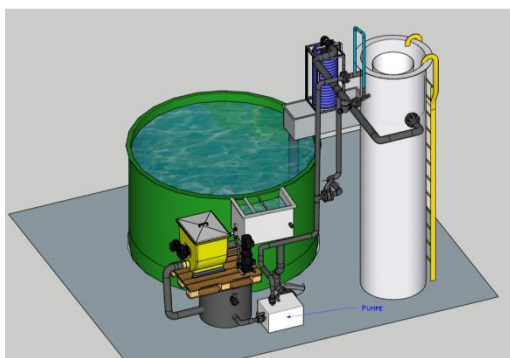
### 2.1. RAS-anlegg

Et RAS-anlegg består av ulike komponenter som bidrar til at vannkvaliteten er gunstig i forhold til faktorer som TAN, CO<sub>2</sub> og partikler. Figur 2 viser sammensetningen mellom de ulike komponentene i et konvensjonelt RAS-anlegg.



Figur 2: Bildet av et originalt RAS-anlegg. [KJE119, forelesning, pp, Handeland, S. (2019)]

Litus Akvas RAS-anlegg består mye av de samme komponentene som et konvensjonelt anlegg. Hovedforskjellen er biofilteret, der Litus Akva bruker selvvaskende sandfilter, istedenfor et biofilter som består av plast. Figur 3 viser hvordan Litus Akva sitt RAS-anlegg er satt opp.



Figur 3: Modellen av pilot – testen til Litus Akva. [I. Landro, personlig kommunikasjon, 9.februar 2021]

#### 2.1.1 Trommelfilter

Rensingen startet med at vannet strømmer gjennom et mekanisk filter, av typen trommelfilter. Filteret består av flere filterpaneler med 40 mikrons duk (i snitt), som er festet til en rotortrommel. Vannet strømmer ved hjelp av gravitasjon fra avløp, gjennom filteret og videre til pumpeumpen. Her holdes de groveste partiklene tilbake, der de blir sendt til avløp gjennom en automatisert spylefunksjon. Trommelfilteret i denne pilot – testen hadde som hensikt å fjerne de store partiklene.

### 2.1.2 Pumpesumpen

Pumpesumpen er en kumme som er plassert utradisjonelt, sammenlignet med konvensjonelle RAS –anlegg, der pumpesumpen plasseres direkte etter CO<sub>2</sub>-lufteren. I denne pilot-testen er den plassert etter det mekaniske filteret. Sumpen har en dobbel funksjon, som brukes til pumpereservoar. Hensikt med sumpen er at den er en buffer for vannbalansen i systemet og for sandfilterets spylevannsforbruk. På denne måten blir vannstanden i fiskekaret uberørt, selv når den vannkrevende spylefunksjonen pågår.

### 2.1.3 Pumpen

Pumpene er blant de viktigste komponentene i et RAS-anlegg. De sørger for kontinuerlig forflytning av vannet gjennom hele anlegget og ivaretar dermed vannutskiftning i karet.

### 2.1.4 Biofilteret

Biofilteret har som hovedoppgave å konvertere ammonium om til nitritt, og videre til nitrat. Dette er selve nitrifikasjonsprosessen og den foregår i to trinn:

Trinn 1:  $2 \text{NH}_4^+ + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2^- + 4\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$

Trinn 2:  $2 \text{NO}_2^- + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^-$

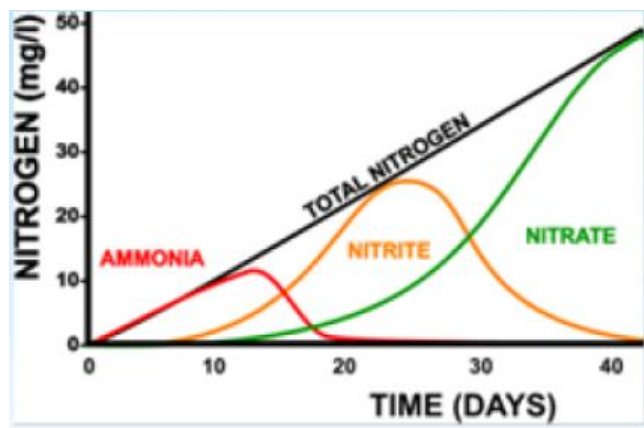
Prosessen drives hovedsakelig av to typer bakterier. I første trinn drives prosessen av nitrosomonas-bakterier som konverterer ammonium til nitritt. I trinn to sørger nitrobacter-bakterier for omsetningen av nitritt til nitrat. Nitrifikasjonsprosessen er en oksygenkrevende prosess.

Nitrobacter bakterien er sensitiv for pH endringer. Dette innebærer at hvis pH i produksjonsvannet er for lavt, vil omsetningen av nitritt i trinn to bremse opp. I en slik situasjon vil anlegget risikere opphopning av nitritt i produksjonsvannet og som kan være giftig for fisken. I verste fall kan dette resultere i nedsatt oksygentransportkapasitet i blodet med påfølgende kvelning hos fisk. [4, s.92] Giftvirkningen kan motvirkes ved å tilsette klorid, da både klor og nitritt benytter samme opptaksmekanisme over gjellene.

De fleste biofiltre bruker biolegemer av plast, som har stor en overflate der det dannes et biologisk aktivt lag. Dette biologiske laget kalles biofilm og inneholder store mengder bakterier. For å starte et biofilter, må dette ha en modningstid på helst seks uker, slik at det blir etablert en bakteriebalanse i biofilmen. [C, Hosfeld, personlig kommunikasjon, 2019] Under

Effekten ved å benytte selvvaske sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

oppstart av ett biofilter vil det oppstå en periode med ammonium akkumulering etterfulgt av en økende konsentrasjon av nitritt (nitritt-topp). [5, s.4] Figur 4 viser fordelingen av de ulike formene nitrogen foreligger på over tid. Biofilteret regnes som modent, og klart til å opprettholde rett vannkvalitet for fisken, når mesteparten av nitrogenet foreligger på formen nitrat. Ved å tilsette biochips så kan denne modningstiden kortes ned.



Figur 4: Ammonium – nitritt topp før ferdig modning av biofilter. [KJE119, forelesning pp, Handeland, S (2019)]

En annen faktor som er viktig å passe på ved oppstarten, er mengde organisk materiale. Grunnen er en uønsket oppblomstring av opportunistiske heterotrofe bakterier, som kommer av for mye organisk materiale. Disse bakteriene vil utkonkurrere de autotrofe bakteriene som står for nitrifiseringen og biofilteret vil bli mindre effektivt. Når fisken settes inn i tilknytting til et nyetablert biofilter, vil biomassen og dermed den organiske belastningen være på systemets minimum. Filterkapasiteten har i denne fasen er rikelig kapasitet til å holde en biologisk belastning. Overføring bør i alle tilfeller unngås i et RAS- anlegg.

De mest brukte biofiltrene er moving bed og fixed bed. Forskjellen mellom disse er at moving bed er et filter der biologene er i konstant bevegelse, samt at det er selvrensende. Fixed bed derimot er større kassetter som er fastsittende, noe som gjør at biofilmen kan vokse kontinuerlig. Fixed bed må renses manuelt for å unngå tykk biofilm, og oksygenmangel hos nitrifiserende bakterier. [6, s.16] En utfordring med disse filtrene er at biomediene er laget av plast. Med tiden vil plastproduktene bli gamle og sprøe, og mulig bli en utslippskilde for mikroplast som er et kjent problem i næringen. [1] Sand som biomediet vil derimot forhindre et slikt utslipp.

### **2.1.5 CO2 lufteren**

I Litus Akvas CO<sub>2</sub> - lufter benyttes en kaskadeavgasser, og er en type passiv lufter som fjerner gasser fra vannet. Lufteren har en selvrensende effekt, og selve røret er laget med horisontale PP – panel, et polypropylen plast panel. Vannet som sildrer gjennom rutenettet, vil akselerere i det den faller fritt nedover. Rutenettet i luftekolonnen skaper turbulens i vannet og bryter opp vannstrømmen, slik at mer vannoverflate kommer i kontakt med oksygen og løsriver CO<sub>2</sub>. For å oppnå en effektiv virkningsgrad må CO<sub>2</sub>-lufteren monteres luftekolonnen høyt hvilken øker vannets kontakttid med luft.

### **2.1.6 Fiskekaret**

Etter CO<sub>2</sub>-lufteren strømmer vannet igjennom et strålerør og videre til fiskekaret. Stålrøret skaper bevegelse i vannet, slik at det blir god strømningshastighet og fisken holdes i bevegelse. Karet har en diameter på 3 meter, dybde på 1,2 meter og rommer 7 kubikk i drift. I bunnen av fiskekaret er det fall mot et senteravløp som er kledd med en flatsil med en lysåpning (12mm). Fra senteravløpet strømmer kontaminert vann gjennom til avløpskassen.

### **2.1.7 Avløpskassen**

Avløpsvannet fra fiskekaret bringer med seg fôrrester, feces og partikler. Fôrrestene samler seg på en rist i avløpskassen. Den er bygd med en rørstuss som gir avløpet en forhøyning, og høyden på denne bestemmer vannstanden i karet. Avløpsstussen hever vannstanden i avløpskassen og gjør silen mer neddykket og kontaktflaten med vannet økes. Silens hensikt er å gi en indikasjon på mengde fôrrester fra fiskekaret, og ut ifra dette kan det bedømmes om det overføres eller ikke. Utenpå rørstussen er det tredd et ytterrør med betydelig større diameter enn avløpsstussen, ytterrøret har utskjæringer i bunn. Ved bunnflaten av avløpskassen skapes det et sug som gjør at avfall og fôrrester som ellers ville blitt akkumulert i avløpskassen, dras opp fra bunn og ut gjennom avløpsrøret. Hovedpoenget med avløpskassen er å styre vannivå i karet og gi en bedre oversikt over avfallet som kommer fra fiskekaret. De fleste av systemets målesensorer er også plassert i avløpskassen.

## **2.2 Vannkvalitet i RAS**

For å oppnå god tilvekst og kvalitet hos laks, er det viktig å tenke på fiskens helse og velferd. Fiskevelferd og fiskehelse påvirkes i stor grad av vannkvaliteten fisken lever i. Dette betyr at det er viktig med kontinuerlig overvåking av vannet, slik at avvikende parametere kan behandles. Under står det punktvis om ulike sentrale vannparametere som vil kartlegges og overvåkes i denne testen.

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

- PH er et mål på vannets surhetsgrad, der pH høyere enn syv er basiske og verdier lavere enn syv er sure løsninger. PH er også viktig med hensyn på hvilke tilstandsformer ulike kjemiske komponenter har i produksjonsvannet. De forbindelsene som er viktig å ta hensyn til er karbondioksid og ammoniakk. Det er derfor veldig viktig å ha en stabil pH.
- Ammoniakk er en nervegift for fisk og finnes i to former som ammoniakk og ammonium. Ammonium er den korresponderende svake syren til den sterke basen ammoniakk. PH har stor påvirkning på likevekten mellom ammoniakk og ammonium, der høyere pH-verdier gir større forholdsvis konsentrasjon av ammoniakk i TAN. Økt salinitet bidrar smått med å redusere ammoniakk i TAN, men det er viktig å være oppmerksom på at tilsetning av sjøvann kan gi økt pH-verdi og ammoniakk-konsentrasjon.[7] Mesteparten av nitrogen som fisken skiller ut, vil skilles ut som TAN og før vil også brytes ned til TAN av bakterier i vannet.
- Nitritt er et mellomprodukt av TAN som blir omsatt til nitrat og tatt opp via gjellene. Store mengder av nitritt kan redusere oksygenopptaket hos fisken og kan forårsake respiratoriske problem.
- Nitrat er sluttproduktet i nitrifikasjonsprosessen. Mengde nitrat som brukes i et RAS-anlegg kan motvirke en eventuell risiko for H<sub>2</sub>S dannelsen, som det ved bruk av brakkvann eller sjøvann er spesielt stor risiko for.
- Oksygen er en av de mest kritiske parameterne som krever kontinuerlig overvåking i produksjonen, og løseligheten av oksygen i vannet er avhengig av temperatur og salinitet. Løseligheten minker med økt temperatur, og oksygenbehovet til fisken vil øke ved økende vanntemperatur, dette er på grunn av at fisken er vekselvarm. Gjelle-ventilasjonen blir styrt av oksygenkonsentrasjonen i blodet.
- Karbondioksid er også en parameter som man må være observant på i et RAS – anlegg. For høyt innhold av CO<sub>2</sub> i vannet kan føre til at pH senkes, spesielt hvis det er lav bufferkapasitet i vannet. I henhold til Norske myndigheter skal verdien på karbondioksid i produksjonsvann for fisk være under <15 mg CO<sub>2</sub>/l. [6, s.5]
- Salinitet er et mål på hvor mye salt som er oppløst i vannet, målt i promille. Siden smolt og postsmolt er hypoosmotiske, må de aktivt få i seg vann og skille ut ioner over gjellene.
- TSS (totalt suspendert tørrstoff), er massen av partikler i vannet. Partiklene består av uorganisk- og organiske materiale og har en størrelse opp mot 1 µm. TSS er skadelig i

store mengder på fiskens gjeller og respirasjon. Tegn på høye TSS-verdier er uklart vann i oppdrettskaret. [4, s.93]

- Turbiditet er et mål på vannets klarhet. Høy turbiditet i oppdrettskaret kan hindre fisken i å se fôret i karet, og dermed påvirke opptak av fôr. Ved høy turbiditet blir det økt mikrobiell aktivitet og mindre oppløst oksygen, noe som kan gi problemer for fisken. [4, s.145] Turbiditet blir målt i FAU, formazin attenuation units, og forklarer at instrumentet som måler turbiditet måler reduksjon i overført lys gjennom prøven. [8]

Grenseverditabellen (tabell 1) etableres fordi det er nyttig å vite trygge nivåer for fisken. Tabellen viser grenseverdier for stoffene som er viktig i forhold til vannkvaliteten i et RAS-anlegg og som har blitt regnet på i resultatene. Nitrat har en grenseverdi på 50 mg/L, men klarer en verdi opp mot 100 mg/L i en kort periode. [4, s.93]

Tabell 1 Tabell over grenseverdier [9] og [10, s.8]

Stoffer	Grenseverdier (mg/L)
Ammonium	≤2
Nitritt (FV)	≤0,1
Nitritt (SV)	≤0,5
Nitrat	50
TSS	≤15
Turbiditet	≤7-10

### 2.3 Vekst hos laksefisk

Vekst hos laks fungerer som en velferdsindikator, som gjør det viktig å dokumentere tilveksten i denne testen. Spesifikk vekstrate (SGR, Ligning 1.1), beregnes ut ifra vekten på fisken fra sluttdato og startdato, delt på antall dager i en gitt periode. SGR-tallet brukes i beregning av tilveksten hos laks.

$$SGR = \frac{(\ln(W2) - \ln(W1)) * 100}{D2 - D1}$$

Ligning 1.1 Spesifikk vekstrate hos laks. [KJE 118, forelesning, pp nr 2, Handeland, S (2020)]



Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

Hvor

W1: Vekt tid 1 (gram)

W2: Vekt tid 2 (gram)

D1: Dag - første veiing

D2: Dag – andre veiing

En annen parameter som viser fiskens form og størrelse er kondisjonsfaktoren. K-faktor har en sammenheng mellom vekt og lengde, og resultater større eller lik 1, regnes som sunn fisk (ligning 1.2) Typisk for en fisk med lavere k-faktor kjennetegnes med at den ofte er avmagret og er av dårlig kvalitet. [11, s.21]

$$K - faktor = \frac{Total\ vekt(g)}{(Total\ lengde\ (cm))^3} * 100$$

Ligning 1.2 Kondisjonsfaktor [S. Handeland, personlig kommunikasjon, mai. 2021]

For å ta vare på fiskevelferden, er det begrenset hvor stor tettheten i karet får lov til å være. MTB (maksimal tillat biomasse) bestemmes i dette tilfellet av karets volum [12] Økt biomasse vil påvirke belastningen på RAS-anlegget, siden det leder til større utfôring og mer ekskresjonsprodukter.

$$Biomasse = Antall\ fisk * Gjennomsnittsvekt$$

Ligning 1.3 Biomasse.

$$Tetthet = \frac{Biomasse(kg)}{Volum(m^3)}$$

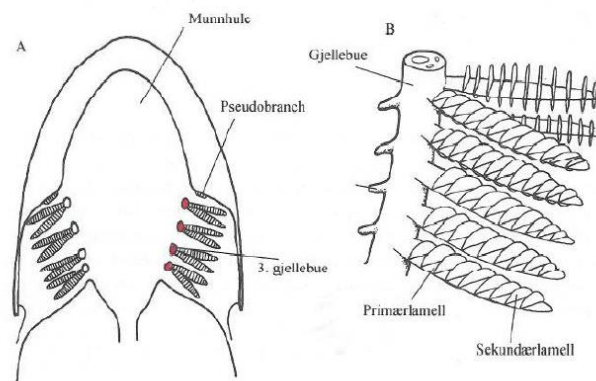
Ligning 1.4 Tetthet.

## 2.4 Velferd hos laksefisk

Velferden hos laksen i et RAS-anlegg speiler hvor godt miljøet er i anlegget. Hvis fisken ikke har gode levekår, vil dette bidra til redusert velferd, nedsatt tilvekst og økt sykdomsrisiko. Laksen er en anadrom fisk. Dette betyr at den starter livet sitt (eggene klekkes) i ferskvann for

å så ta en næringsvandring til sjøen etter gjennomført smoltifisering. Fisken som ble brukt i prosjektet er postsmolt, det vil si at laksen har gjennomgått en smoltifisering.

Gjellene er oppbygd med rader av gjellebuer, plassert bak i munnhulen til fisken. Gjellebuene har en v-form, som peker bakover. På selve gjellebuene befinner primærlamellene seg, og der igjen er sekundær lamellene. Sekundærlamellene sitter vinkelrett på primærlamellene, på en rad bortover. Dette kan observeres på figur 5.



Figur 5: Bildet av hvordan gjellene ser ut. [13]

Et kjent velferdsproblem som kan oppstå i et RAS-anlegg er gjelleinfeksjon, og over tid kan det hemme fiskens respirasjon. Gjellesykdommer kan påvirke fiskens vekst og redusere fiskens immunologiske barriere. Dette kan medføre at fisken blir lettere mottakelig for andre sykdommer. [14, s. 10] Hensikten med bruk av selvvaskende sandfilter opp mot gjellesykdom er at filteret skal forhindre mengden partikler i vannet, som skal kunne forhindre sykdom.

Gjellene er fiskens respiratoriske organ der utvekslingen av gasser foregår, som er opptak av O<sub>2</sub> og utskillelse av CO<sub>2</sub>. [15, s.19] Gjellene er viktig i forhold til ekskresjon og opptak av monovalente ioner. Monovalente ioner er ioner som har en negativ og en positiv ladning [16] For at fisken skal kunne leve i saltvann, må den klare å opprettholde rett vann- og saltbalanse. Dette gjør fisken ved at den aktivt tar opp ioner samtidig som den kvitter seg med vann. Gjellene er fiskens viktigste organ for opptak (FV) eller utskillelse av ioner som natrium og klorid (SV), og er også knyttet til utskillelse av avfallsprodukter. Ionepumpe-enzymet Na-K-ATPase er viktig for å opprettholde den osmotiske balansen, og vil normalt være høyere hos fisk i saltvann, enn i ferskvann. [C, Hosfeld, personlig kommunikasjon, 2019]

Vann som inneholder mye partikler, kan irritere gjellevevet og føre til økt slimdannelse. Fisken har et naturlig lag med slim rundt gjellene, og økt slimdannelse kan ha negativ påvirkning ved

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

at det øker diffusjonsavstanden og dermed hemmer gass- og ioneutvekslingen. [14, s.11] Hvis ioneutvekslingen ikke fungerer optimalt vil ikke fisken opprettholde et indre stabilt miljø, og konsekvensen kan lede til død. [17]

For å se om fisken har normale verdier i blodet, ble det tatt prøver av blodplasma. I disse prøvene ble det sett på om plasmaklorid ( $\text{Cl}^-$ ) og plasmanatrium ( $\text{Na}^+$ ) er innenfor normalområdet. Normale referanse verdier for ionenivå i blodplasma er gitt i tabell 2.

Tabell 2: Normalverdier av ionene i blodplasma. [4, s.53]

Ioner	Normalverdier (mM kg vann)
$\text{Cl}^-$ (SV)	439
$\text{Cl}^-$ (FV)	130
$\text{Na}^+$ (SV)	513
$\text{Na}^+$ (FV)	125

## 2.5 Sand som filtermedium

Sand er et naturlig produkt, og som filtermedium medfører dette en rekke fordeler, herunder ingen forurensningsrisiko, lett tilgjengelig, bredt utvalg av sandstørrelser [18] og er rimelig å skifte hvis det forekommer smitte i anlegget. [I. Landro, personlig kommunikasjon, 21.mai 2021] Sand har gode filtreringsegenskaper, noe som er viktig for vannkvaliteten i RAS-anlegg. Bakterier i sand kan også etablere seg til biofilm, og gi egenskaper som å redusere organiske materialer og omsette TAN. Rensegraden til sand bestemmes ut fra kornstørrelse, der mindre sandkorn vil gi større motstand til vannet og dermed størst rensegrad. Mindre sandkorn fanger flere partikler, og gjør at vasking av sand må utføres oftere. Sand som filtermedium må i jevne mellomrom vaskes, slik at forurensinger fjernes. Etter hvert som sanden blir biologisk belastet, vil sjiktet mellom sandkornene tettes og lede til at mindre partikler blir holdt igjen. [I. Landro, personlig kommunikasjon, 21.mai 2021] Vasking av sanden vil redusere trykkfallet og sandfilterets renseegenskaper resettes til det optimale. Overflaten til sand vil være mye større sammenlignet med å bruke plast som filtermedium. Dette vil være en fordel som sikrer høy etablering av nitrifiserende bakterier og et bakterierikt biofilter.

### 2.5.1 Selvvaskende sandfilter

Dette sandfilteret fungerer til flere forskjellige bruksområder i industrien, og har lenge vært i bruk innen vannbehandling. Det selvvaskende sandfilteret er bygget av solide materialer for å sikre lang levetid, lite vedlikehold og reduserte kostnader. [19] Filteret er konstruert med forskjellige mediedybder for ulike applikasjoner og konfigurasjoner. Det selvvaskende

sandfilteret fungerer slik at sanden er i konstant bevegelse under normal drift. Mammutpumpen blåser kontaminert sand gjennom et rør i senter av det selvvaskende sandfilteret, og videre til sandvaskeren før den daler nedover tilbake til sandmediet. Sandvaskingen vil styres automatisk, og dette bidrar til å sikre en kontinuerlig drift som er veldig viktig i RAS. Vaskefrekvensen styres av forbrukeren, og tilpasses bruksområdet til det selvvaskende sandfilteret slik at brukeren unngår for høyt trykkfall. Om sandfilter utsettes for et høyt trykkfall eks. opphopning av partikler i biomediet, må vaskingen foregå hyppigere. Med selvvaskende sandfilter kan høyt trykkfall enkelt indikeres og behandles. Driften denne type sandfilter tilbyr er uavbrutt som gir en fordel i forhold til konvensjonelle sandfiltre.

Selvvaskende sandfilter har en teknologi som er godt egnet til en kontinuerlig behandlingsprosess som leverer kvalitet og enkel drift. Det finnes flere forskjellige størrelser av sandfilteret som kan monteres direkte i et betongkammer, muligheten til å montere flere eksemplarer sammen gjør at dette sandfilteret kan håndtere større belastninger. [20]

I figur 6 er det avbildet en modell av det selvvaskende sandfilteret som er brukt i denne pilot-testen. I tabell 3 blir det vist en funksjonsforklaring som tar for seg steg for steg hvordan de ulike komponentene fungerer.

## Effekten ved å benytte selvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

Tabell 3: Funksjonsbeskrivelse av figur 6. [20]

Funksjonsforklaring over de forskjellige punktene	
1.	Vannet ledes gjennom innløpsrøret og ned til en stjerneformet fordeler som sørger for at vannet vil spre seg utover hele tverrsnittet, og all sanden blir godt utnyttet til filterering.
2.	Vannet filtreres i det den strømmer oppover fra bunnen samtidig som sanden sakte beveger seg nedover i motsatt retning.
3.	Utløp til filtrerte vannet.
4.	Kontaminert sand blir sugd opp fra bunnen av en mammutpumpe.
5.	Den pneumatisk mammutpumpen leder kontaminert sand opp til en vaskeboks. I vaskeboksen slippes sanden fri og faller ned i sandvaskeren.
6.	I sandvaskeren vaskes sanden i en turbulent vannstrøm, og faller ned tilbake til det øverste laget i filtersengen. Forurensingene blir avskilt fra sanden og skylt vekk.
7.	Ren sand faller tilbake til filtersengen og er klar for en ny filtersyklus.
8.	Avløpsvannet blir skylt ut gjennom et avløpsrør.
9.	Se-glass som gir en indikasjon på trykkfallet i selvaskende sandfilteret.



Figur 6: DynaSand sin prototype av det selvvaskende sandfilteret som skal brukes på Litus Akva sin test-rigg. [19]

### 2.5.2 Fluidisering

I sandmediet, i figur 6, forekommer det en fluidiseringsprosess når vannet blir ført gjennom partikkelsjiktet med en tilstrekkelig stor hastighet til at partiklene svever. [21] Avløpsvannet fra karet blir ført opp i det selvvaskende biofilteret, ved hjelp av en trykkluftpumpe. Vanntrykket må verken være for lavt eller for høyt, for å holde en optimal strømningshastighet gjennom partikkelsjiktet. Denne bevegelsen skal motvirke tyngdekraften, og utvide volumet. I et utvidet partikkelsjikt vil det dannes hulrom mellom sandkornene som vannet kan strømme gjennom. [22]

I starten av fluidiseringen vil trykktapet til fluidstrømmen kunne bli regnet som vekten til partikkelsjiktet, per flateenhet. Ligning 1.5 viser startfasen av fluidiseringen, som blir regnet ut ved hjelp av absolutt trykk og lengde. [22]

$$\frac{\Delta p}{g} \left( \frac{kg}{m^2} \right) = L_m (\rho_p - \rho) * (1 - \varepsilon_m)$$

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

↓

$$\frac{\Delta p}{L_m} = g(\rho_p - \rho) * (1 - \varepsilon_m)$$

*Ligning 1.5 Startfasen av fluidisering.*

Hvor

$\Delta p$  = trykktap

$g$  = tyngdekraftens akselerasjon

$L_m$  = høyden til partikkelsjiktet ved starten av fluidiseringen

$\rho_p$  = tettheten til partikkelsjiktet

$\rho$  = tetthet fluid

$\varepsilon_m$  = porøsiteten til partikkelsjiktet i starten av fluidiseringen

I en fluidiseringsprosess forekommer det trykktap i væskestrømmen over selve partikkelsjiktet, når vannet strømmer igjennom. [22] Dette trykktapet blir kalkulert ved hjelp av Kozeny-Carman ligning, ligning 1.6, ved strømningshastighet, formfaktor, viskositet og porøsiteten til partikkelsjiktet.

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 * V_0 * \mu}{\phi_s^2 * D_p^2} * \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3}$$

*Ligning 1.6 Kozeny- Carman ligning.*

Hvor

$\Delta p$  = trykktap

$L$  = høyden til partikkelsjiktet

$V_0$  = strømningshastigheten beregnet for tomt tårn

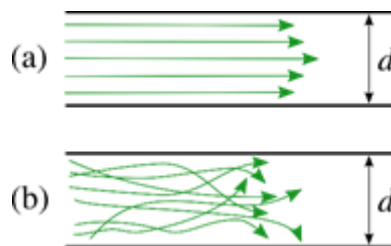
$\mu$  = fluidets viskositet

$\phi_s$  = formfaktor til partikler i sjiktet ( $0 < \phi_s \leq 1$ )

$D_p$  = partikkel diameter (gj. snitt)

$\varepsilon$  = porøsiteten til partikkelsjiktet

Ligning 1.4 er gyldig når Reynolds tall (modifisert i partikulært sjikt) er mindre enn 1,0. Reynolds tall er en indikator som viser om det er laminær eller turbulent fluidstrøm. En laminær strømning har jevne og glatte partikkelbaner, i motsetning til turbulent fluidstrøm som har uforserbare strømninger, der partikler vil gå i kryss og tvers. Reynolds tall for små partikler ligger betraktelig lavere enn Reynolds tall for strømning i rør. Figur 7 viser forskjellen på laminær og turbulent strømning.



Figur 7: Laminær strømning(a) og turbulent strømning (b). [23]

$Re \leq 1$       Laminær strømning

$1 \leq Re \leq 1000$       Overgangs strømning

$Re \geq 1000$       Turbulent strømning

Alt avhenger av hva strømningene blir ført gjennom, hvilke faktorer som er i oppsettet og strømningshastigheten. Det kan også være en overgangsperiode mellom laminær og turbulent strømning Denne perioden kommer ikke plutselig, men er en vedvarende fase over lengre tid, der strømningene svinger mellom laminær og turbulent. Reynolds tall,  $Re$ , er et resultat av interne og viskøse krefter som virker på et flytende element, slik som det er vist i ligning 1.7. [24, s. 354]

$$Re_p = \frac{\text{"indre krefter"}}{\text{"viskøse krefter"}}$$

$$Re_p = \frac{\rho v l}{\mu} = \frac{v l}{\nu}$$

Ligning 1.7 Reynolds tall.



Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

Turbulente strømningsforhold forekommer når Reynolds tall er stort. De turbulente strømningsforholdene kan gi et kinetiske energibidrag til trykktapet. Bidraget blir satt sammen med Kozeny- Carman ligningen, og gjelder for både turbulent og laminær strømming. Ligningen sett nedenfor, ligning 1.8, blir kalt Erguns ligning.

$$\frac{\Delta p}{L} = \frac{150 * V_0 * \mu}{\phi_s^2 * D_p^2} * \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} + \frac{1,75 * \rho * V_0^2}{\phi_s * D_p} * \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3}$$

*Ligning 1.8 Erguns ligning.*

Hvor

$\Delta p$  = trykktap

$L$  = høyden til partikkelsjiktet

$V_0$  = strømningshastigheten beregnet for tomt tårn

$\mu$  = fluidets viskositet

$\phi_s$  = formfaktor til partikler i sjiktet ( $0 < \phi_s \leq 1$ )

$D_p$  = partikkel diameter (gj. snitt)

$\varepsilon$  = porøsiteten til partikkelsjiktet

Erguns ligning, ligning 1.8, medvirker til å finne strømningshastigheten i starten av fluidiseringen. Settes Erguns ligning lik ligning 1.5, vil det være mulig å regne ut strømningshastigheten., ligning 1.9.

$$\frac{150 * V_{0,m} * \mu}{\phi_s^2 * D_p^2} * \frac{(1 - \varepsilon_m)}{\varepsilon_m^3} + \frac{1,75 * \rho * V_{0,m}^2}{\phi_s * D_p} * \frac{1}{\varepsilon^3} = g(\rho_p - \rho)$$

*Ligning 1.9 Strømningshastighet.*

Hvor

$V_{0,m}$  = minimum fluidiseringshastighet

$\mu$  = fluidets viskositet

$\phi_s$  = formfaktor til partikler i sjiktet ( $0 < \phi_s \leq 1$ )

$D_p$  = partikkel diameter (gj. snitt)

$\varepsilon$  = porøsiteten til partikkelsjiktet

$\rho_p$  = tettheten til partikkelsjiktet endre

$\rho$  = tetthet fluid

$\varepsilon_m$  = porøsiteten til partikkelsjiktet i starten av fluidiseringen

$g$  = tyngdekraft

Hvis  $Re > 1000$  er det kun det kinetiske bidraget i Erguns ligningen som er nødvendig. Dette medfører at kun ledd to av Erguns ligning settes lik ligning 1.5 [22]. Ut ifra dette vil ligning 1.10 forekomme.

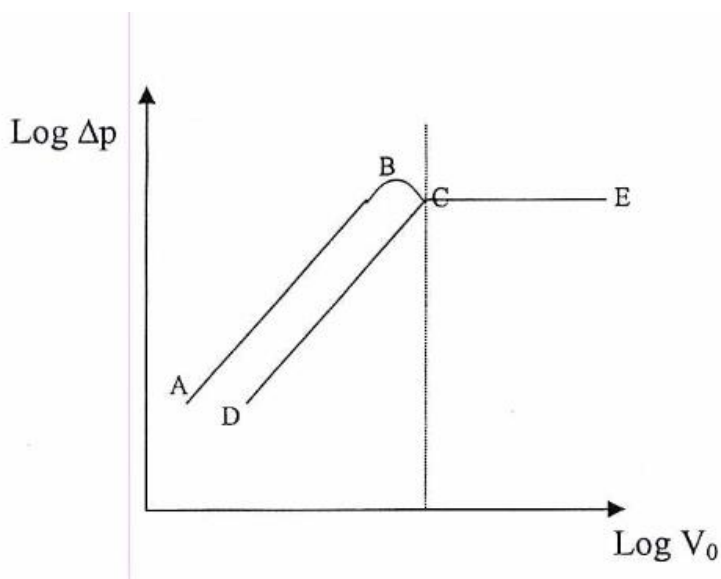
$$V_{0,m} = \left( \frac{g(\rho_p - \rho) * \varepsilon^3 * D_p * \phi_s}{1,75 * \rho} \right)^{0,5}$$

*Ligning 1.10 Minimum fluidiseringshastighet når  $Re > 1000$ .*

Trykktapet,  $\Delta P$ , øker lineært med strømningshastigheten til fluidet. Tilsvarende strek AB i bildet under. Punkt B viser litt mer enn det trykktapet og strømningshastigheten må være, for å fluidisere partiklene. Den initielle fluidiseringen krever litt mer kraft enn det som kreves i akkurat begynnende fluidisering. Dette er fordi sjiktet gjerne har “satt seg” og partiklene har klistret seg sammen, slik at man trenger et større trykk for å bryte de løst. Dette punktet vil ikke forekomme i praksis. Partiklene kan bli løsnet ved å øke strømningshastigheten, noe som medfører at trykket synker ned til punkt C, fluidiseringspunktet. I en normal fluidiseringsprosess vil væskestrømmen blir senket etter at fluidiseringspunktet er oppnådd, og trykket går ned til punkt D. En ny trykkøkning vil føre til trykket går direkte opp til C, tilsvarende strek DC. Øker strømningshastigheten ytterligere oppnås den egentlige fluidiserte tilstanden, tilsvarende strekning CE. Høyden i partikkelsjiktet vil her øke, selv om trykket ikke forandrer seg. Blir strømningshastigheten økt videre, utover punkt E, vil sandpartiklene bli

Effekten ved å benytte selvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

dratt ut av det selvaskende sandfilteret. [22]. Figur 8 viser fluidiseringsprosessen med trykktapet over partikkelsjiktet som funksjon av strømningshastigheten.



Figur 8 Trykktapet over partikkelsjiktet som funksjon av strømningshastigheten. [22]

Fluidiseringsprosessen i det selvaskende sandfilteret vil vedvare i punkt C etter første gang systemet er startet opp, og den vil ikke synke til punkt D. Dette er på grunn av at filterets kontinuerlige gjennomstrømning av vann. Samtidig som det stadig er sirkulasjon i sanden, der sanden i bunnen av det selvaskende sandfilteret blir løftet opp til sandvaskeren og deretter legges på toppen av sandmediet igjen. Den kontinuerlige strømningshastigheten i det selvaskende sandfilteret skal ha en slik hastighet at den er i konstant strømming. De videre stegene vil derfor ikke forekomme, med mindre sandfilteret blir frakoblet.

## 3.0 Metode

### 3.1 Valg av metodedesign

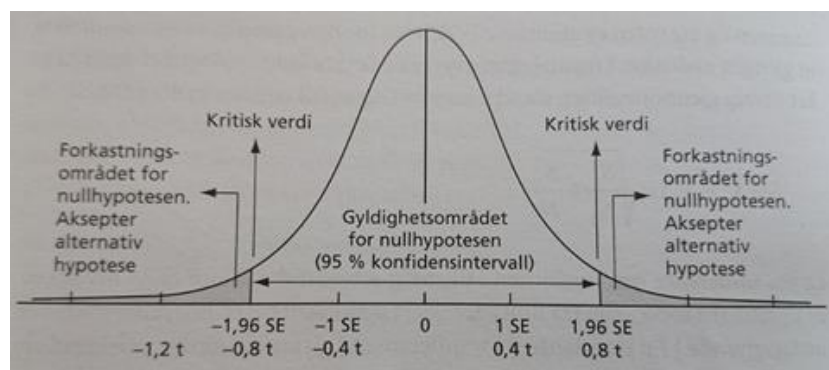
Oppgaven ble gjennomført med henhold til en deduktiv tilnærming, der det ble samlet inn empirisk data for å teste om hypotesen var korrekt. Det å teste teorien om at selvvaskende sandfilter er en effektiv løsning som biofilter og partikkelfjerning i RAS, måtte det bli tatt hensyn til aktuell mengde sand og dens kapasitet til å håndtere biomassen fra testen. Oppgavens utførelse ble å teste om den klarte å ivareta fiskevelferden på en god måte, ved å se på vannkvaliteten, partikkelfjerning og hvordan dette påvirket fiskens vekst og helse. Det er viktig å poengtere at oppgaven ble avsluttet før hele testen ble ferdigstilt og som vil avgrense konklusjonen om at teorien stemmer. Alle resultater er ført inn i et excel – dokument og er fremstilt i ulike frekvenstabeller og grafer.

Under plasma og gjelleresultatene ble det utført en kvantitativ undersøkelse ved å sette opp to hypoteser som ble testet. Disse referansemålingene er fra Hardingsmolt, som tar i bruk et konvensjonelt biofilter.

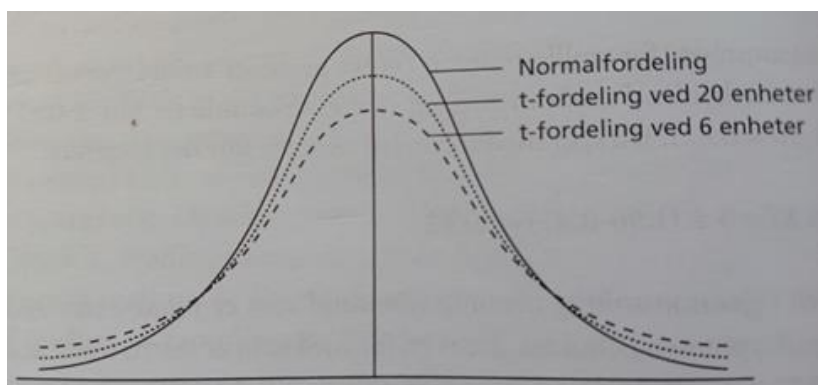
$H_0$  = Det er ingen signifikante forskjeller mellom målingene som gruppen har tatt og referansemålingen.

$H_1$  = Det er signifikante forskjeller mellom målingene som gruppen har tatt og referansemålingene.

Siden datautvalget besto av få observasjoner, valgte gruppen å bruke T-test. T-fordelingen har samme form som normalfordelingen, men tar hensyn til antall observasjoner i utvalget. [25, s.395] Her undersøkte gruppen om differansen mellom gjennomsnittet i måleverdiene til Litus Akva og Hardingsmolt ble statistiske signifikante.



Figur 9: Normalfordelingskurve som viser gyldighetsområdet for  $H_0$ , kritisk verdi og forkastningsområdet for  $H_0$ . [25, s.396].



Figur 10: Normalfordelingen og t-fordeling. [25, s. 396]

I en normalfordeling vil kritisk verdi ved et 95 prosents konfidensintervall være 1,96, se figur 9. En T-test tar utgangspunkt i en såkalt t-fordeling i stedet for normalfordeling. Hensikten med dette er at ved få observasjoner må området for nullhypotesen utvides og gå lengre ut enn i normalfordelingen, som blir vist i figur 10. Størrelsen på kritisk verdi vil avhenge av forholdet mellom antall enheter. [25, s.395]

P-verdien viser til signifikanssannsynlighet. I figur 9 fremkommer det at gyldighetsområdet for nullhypotesen er innenfor et 95 prosent konfidensintervall. Det betyr at en p-verdi som er 5 prosent, ble sjansen for at en riktig nullhypotese ( $H_0$ ) forkastes og har en statistisk signifikant innenfor et konfidensintervall på 95 prosent.

Gruppen hadde gjennomført t-test av målingene klor, natrium og gjelleprøver. For å oppnå ønsket resultat vil målet være å beholde  $H_0$  – som viser at det ikke er noen signifikante forskjeller mellom målingene gruppen har tatt i samarbeid med Litus Akva og referansemålingene fra Hardingsmolt.

### 3.2 Forskningsdesign

Forskningsdesignet beskrev framgangsmåten i et prosjekt når hypotesen ble testet. Prosjektet var delt inn i tre faser, bygg-, oppstart- og testfasen. Disse tre fasene hadde alle sine kritiske faktorer som måtte sikres for å opprettholde progresjon i prosjektet. Prosjektet er en eksperimentell metode der en helt ny komponent i et RAS-anlegg har blitt testet ut. Dette ble gjennomført på RASLab, der Litus Akva hadde leid plass til bygging og testing.

#### 3.2.1 Byggefasen

Prosjektets initielle fase innebefattet byggingen og utformingen av Litus Akvas RAS- anlegg på RASLab. Anlegget besto av komponenter fra et vanlig RAS-anlegg, men det normale biofilteret hadde blitt skiftet ut med et selvvaskende sandfilter.

##### 3.2.1a) Trommelfilter

Med tyngdekraften rant vannet gjennom filtermediet i platene, og de største partiklene ble separert og akkumulert på filterduken. Spyling på trommelen startet automatisk når vannstanden nådde et innslagspunkt. Bildet av trommelfilteret vises i figur 11.



Figur 11: Innsiden av trommelfilteret til Litus Akva.

##### 3.2.1b) Pumpesump

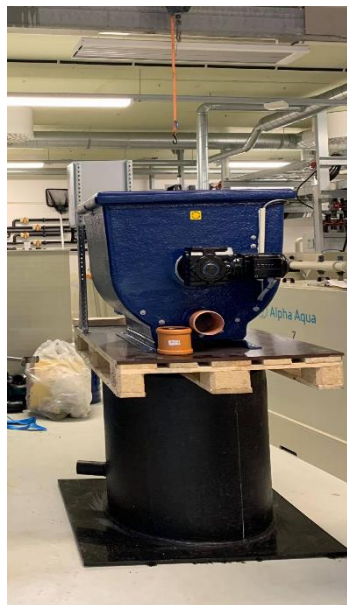
Pumpesumpen fungerte som vannreservoar til vasking av sanden i det selvvasende sandfilteret (figur 12). Dette gjorde at det ble mer vann i systemet, der summen av innløp og utløp fra sumpen var i likevekt. Vaskesekvensen stoppet når nivå i sumpen hadde nådd et lavpunkt. [[I. Landro, personlig kommunikasjon, 22.05.2021]

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter



*Figur 12: Pumpesumpen som ble brukt i pilot-testen, bildet er tatt på RASLab.*

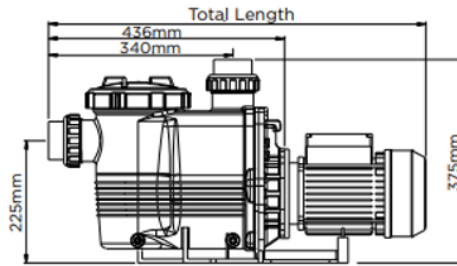
Gruppen har gjennom byggingen vært med å sveise selve pumpesumpen. Denne er produsert ut ifra et vanlig rør, der det ble sveiset på plate, rør og ventiler. Dette bli blant annet gjort med å bruke ekstrudesveising. Figur 13 viser et bildet av når trommelfilteret sto oppå pumpesumpen.



*Figur 13: Bildet av trommelfilter oppe på pumpesumpen, bildet er tatt på RASLab.*

### **3.2.1c) Pumpe**

Pumpen (figur 14) ble regulert av en frekvensomformer, og frekvensen varierte ut ifra behovet av vann som strømte gjennom anlegget.



Figur 14: Skisse av pumpen som ble brukt i pilot-testen. [I.Landro, personlig kommunikasjon, 22.03.2021]

### 3.2.1d) Selvvaskende sandfilter

Det selvvaskende sandfilteret som Litus Akva brukte i pilot-testen er en frittstående type sandfilter (fig 15) [I.Landro, personlig kommunikasjon, 22.05.2021]. Det frittstående selvvaskende sandfilteret ble levert liggende på grunn av sin lange form, noe som ble en utfordring når filteret skulle opp på høykant. Det måtte tas hensyn til omgivelser rundt selve sandfilteret, samt egen og andres HMS. Prosessen tok litt tid ut ifra den begrensede plassen Litus Akva hadde på RAS-lab, men etter godt samarbeid kom den viktigste komponenten på plass.

Det selvvaskende sandfilteret i denne pilot-testen ble fylt med 1,8 m<sup>3</sup> sand, med en grov kornstørrelse på 1-3 mm, denne mengden ga en stor overflate. Utførelsen av å fylle filteret med sand var en fysisk krevende prosess, der sanden ble fylt fra oversiden av sandfilteret. Til det selvvaskende sandfilteret ble det montert rør som sørget for tilførsel av vann, avløp, luft og et se-glass som kan gi indikasjon på vannets motstand i sanden. Under drift var det viktig å observere se-glasset mellom jevne mellomrom. Under vanlig drift skal intervallene for vaskingen av sand foregå i ca. 20 minutter hver time. Dette kunne raskt endres på under senere drift når belastningen på filteret økte. Tidlig i driftsfasen ble vaskingen av sanden kjørt færre ganger i døgnet. Dette var på grunn av frykten for å vaske bort biofilmen i sanden, noe som kan fjerne for mye biologisk materiale, som er nødvendig for at bakteriene skal etablere seg.



Effekten ved å benytte selvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter



Figur 15: Det selvaskende sandfilteret som ble brukt i pilot- testen, det var et frittstående sandfilter. Bildet tatt på RAS-lab.

### 3.2.1e) CO<sub>2</sub>- lufter

Det ble snekret et stativ til CO<sub>2</sub>- lufteren, slik at utløpet kom over kanten på fiskekaret og vannet kunne renne fritt ned. Stativet måtte ha nok høyde for å kunne holde utløpet av avgasseren over kanten på karet. Dette medførte en utfordring der innløpsmanifolden opprinnelig var for høy i forhold til utløpet til det selvaskende sandfilteret. Det vil si at ferdig rensset vann fra sandfilteret ikke ville rennet naturlig ned til CO<sub>2</sub>-lufteren. Dette ledet til å fjerne noen lag av de blå PP-panelene, og justere slik at det filtrerte vannet kunne renne naturlig ned til CO<sub>2</sub>-utlufteren.

I tillegg gjorde den begrensede plassen det vanskelig å plassere CO<sub>2</sub>-lufteren på grunn av rør og lamper, som hang ned fra taket og limiterte plassen i høyden. Det viktigste var å få den plassert slik at det var fall ifra det selvaskende sandfilteret, samtidig som den var innen rekkevidden til fiskekaret og at den ikke sto i veien for andre objekter. Figur 16 viser CO<sub>2</sub> luftersn om er brukt i prosjektet.



Figur 16: Bildet av CO2 lufteren som ble brukt i pilot-testen.

### 3.2.1f) Fiskekaret

Fiskekaret figur 17. var et glassfiberkar med konisk bunn og komponenten ble flyttet inn ved hjelp av to jekketraller. Her var det kritisk å ikke ødelegge understellet på karet under flytting, samtidig som det var viktig å passe på at det ble tilstrekkelig med plass rundt karet. Vannet temperatur i karet hadde og skulle være stabil på 12 grader. Fisken som ble tilført i karet hadde en gjennomsnittlig startvekt på omtrent 264g, med en total biomasse på 198kg. Dette tilsvarte en tetthet på  $28\text{kg/m}^3$ . (vedlegg 1)



Figur 17: Fiskekaret som ble brukt i pilot-testen.

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

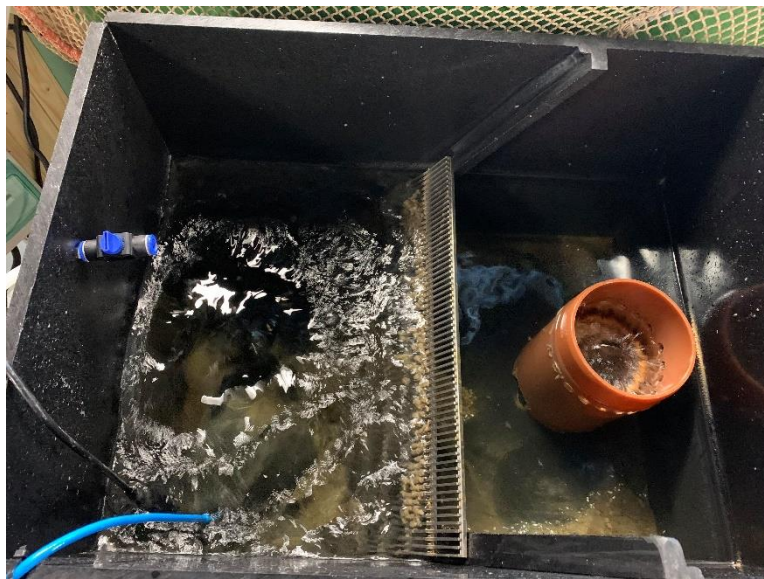
I figur 18 er strålerøret avbildet, og som ble montert ved karet som en del av CO2-lufteren. Strålerøret var laget av PE-rør og hadde små hull oppover langs siden som dannet en god sirkulasjon i karet, slik at fisken skulle få en god vannstrømning.



Figur 18: Strålerøret som er i karet.

### 3.2.1g) Avløpskasse

I avløpskassen hopet det seg opp med partikler og feces, der dette av og til måtte ledes manuelt mot suget. Avløpskassen med sil og rørstuss kan ses i figur 19



Figur 19: Innsiden av avløpskassen.

Avløpskassen besto av plater laget av PE-plast som ble sveiset sammen. Sveisingen ble gjort av PE-sveiseapparat og ekstrudersveising. Det ble også bygget et stativ for å løfte avløpskassen, slik som ved CO2-lufteren. I figur 20 avbildes det når avløpskassen ble bygd.



Figur 20: Bildet av når gruppen var med på å bygge avløpskassen på RASLab.

Byggefasen er en prosess som ble gjennomført på en raskest mulig måte, for å få i gang selve testingen av prosjektet. De forskjellige delene av anlegget som ble testet mot lekkasjer før testen startet. Å få de forskjellige komponentene på plass, og ferdigstille anlegget med hensyn på tiden var det mest kritiske med denne byggefasen. Hele testen var hovedsakelig tenkt utført på en annen lokasjon, men den første lokasjon hadde ikke fisk tilgjengelig før uke 14. Videre ble det testet en lokasjon nummer to, men her var ikke dokumentasjon i orden. Prosjektet ble til slutt flyttet til RASLab, der det ble ordnet med nye avtaler og diverse avklaringer før de ulike deler ble bestilt. Dette ble blant annet gjennomført for å nå gruppens stramme tidsfrist på å skrive en bacheloroppgave.

### 3.2.2 Oppstartfasen

Oppstartfasen var den tiden anlegget brukte på å modne biofilteret, og den tiden systemet brukte til å skape et levedyktig miljø for fisken. Vann, oppløst fôr og bakteriekultur ble tilført systemet for å starte modningsprosessen. Modnet biolegemer ble også tilført i karet, og disse biolegemene hadde allerede en modnet bakteriekultur. Biolegemene var fortsatt til stede, da fisken ble plassert i karet og hadde som hensikt å omsette nok TAN. Temperaturen ble midlertidig hevet for å øke bakterieveksten. Ved slutten av modningstiden til biofilteret, oppsto det en ammonium- nitritt topp. Som nevnt før er nitrifikasjonsprosessen en kritisk fase under oppstarten og må bli tatt hensyn til. For å ha kontroll på pH i vannet ble det tilsatt bikarbonat i pulverform. Uten naturlige kilder til utskillelse av ammonium, ble det tilsatt ammoniumnitrat som et salt for å oppnå flere ammoniumoksidierende bakterier. [6, s.16] Det ble også tilsatt

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

organisk materiale i form av fiskefôr for å skape en organisk belastning. Dette medførte at den seks ukers lange modningsprosessen kunne bli redusert betraktelig. Det skal bli tatt hensyn til at modnet biochips ble tilført vannet under denne prøveperioden (figur 21).



Figur 21: Modnet biolegeme som lå i fiskekaret.

### 3.2.3 Testfasen

Testfasen i prosjektet begynte når fiskene kom ut i karet og det ble tatt tester av vannkvalitet og fiskevelferd. Testperioden pågikk over en måned.

Gjennom testfasen ble det gjennomført to prøveuttak av velferden til fisken. Litus Akva har tatt flere prøver enn det gruppen har vært med på og dokumentert, dette er på grunn av at det var begrenset med tid. Ved hjelp av eksterne veiledere, Sigurd Handeland og RASLab, ble det tatt plasma- og gjelleprøver. Første prøveuttak ble gjort i slutten av mars og den siste ble gjort i slutten av april. Under samme prøve ble det også målt vekt og lengde for å få en helhetlig forståelse av velferden til fisken.

Prøvene ble utført ved at 12 laks ble tatt ut og overført til vann med bedøvelsesmidlet Aqui-S, (>5 ml Aqui-s pr m<sup>3</sup> gir full bedøvelse) [26]. Det første som ble gjort, før plasma- og gjelleprøvene, var at det ble tatt snittvekt og målt lengde. Etter dette ble det tatt blodprøver på fisken. Plasmaprøven ble overført til ett eppendorfrør og deretter sentrifugert i 5 minutter (RPM4000) for å skille blodplatene fra plasma. Fra figur 22 blir det vist fisken som det ble tatt plasmaprøver fra.



*Figur 22: Prosessbildet fra blodprøver som ble tatt på fisken, tatt på RASLab.*

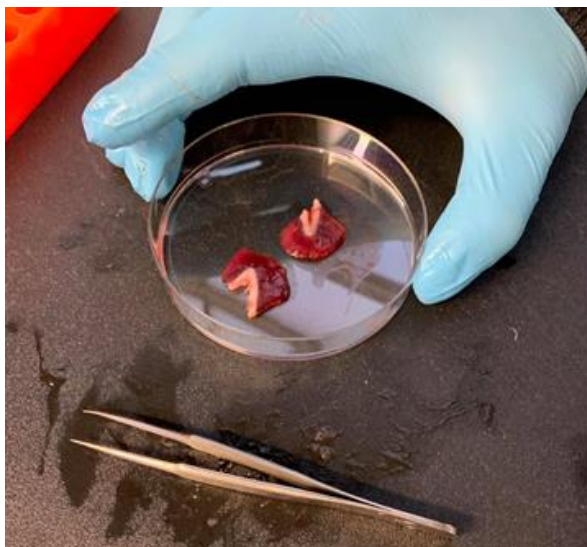
Sentrifugert blodplasma ble deretter analysert for monovalente ioner som klor og natrium. Figur 23 viser en sentrifuge.



*Figur 23: Sentrifuge som skille blod og plasma, tatt på RASLab.*

Etter plasmaprøvene ble det tatt vevsprøve fra gjellebue, to på venstre side (Fig 24). Denne prøven ble analysert ved UIB med hensyn på NA-K-ATPase verdiene. NA-K-ATPase verdiene vil normalt være lavere for fisk i ferskvann, enn for sjøvann.

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter



Figur 24: Gjelleprøver som ble tatt av vevsprøve fra gjellebue, tatt på RASLab.

RASLab har kontinuerlig målt strømningshastigheten gjennom anlegget. I slutten av den første måneden ble det i tillegg tatt en nøyaktig måling på trykktap opp mot strømningshastigheten i det selvvaskende sandfilteret.

Når det ble regnet ut minimum fluidiseringshastighet, ble porøsiteten funnet ved å gjennomføre en test, omhandlende porerommene mellom sandkornene. Fremgangsmåten til testen er forklart i (vedlegg 2). Denne testen ble gjennomført hjemme ved hjelp av sandkornene i biofilteret, vann og måleinstrument.

### **3.3 Datainnsamling**

Datainnsamlingen ble sikret med en triangulert tilnærming. Det ble brukt en kombinasjon av kvantitativ og kvalitativ tilnærming. Prosjektet var en kvantitativ pilotstudie med strukturert data, der resultatene ble analysert med en kvalitativ subjektiv tilnærming.

#### **3.3.1 Kvantitativ tilnærming**

En kvalitativ tilnærming innebære statistiske teknikker der det er hentet data i form av tall. Gruppen brukte Excel-ark og utregninger til å produsere resultater av de dataene som forekom i løpet av prosjektet. Konklusjonen var stadfestet ut ifra bestemte resultat som hadde blitt produsert ut ifra regelbundne metoder. Det hadde blitt lagt ned ulike premisser for resultatene, der disse resultatene helhetlig sett på for å danne en konklusjon.

### **3.3.2 Kvalitativ tilnærming**

Gjennom analysen og observasjoner er det brukt en kvalitativ tilnærming. Den kvalitative tilnærmingen produserer også data slik som den kvantitative metoden, men her er det produsert data i form av ord. Observasjoner var en viktig del når det ble testet noe relativt nytt. Det har gjennom hele prosjektet blitt gjennomført observasjoner som ga indikasjon til neste steg i prosessen. Det har blitt justert hvilke data gruppen fokuserte på ut ifra at det ikke var mulig å fokusere på alle faktorene som påvirket anlegget. Den kvalitative tilnærmingen ga kompleks informasjon, som gjennom analyse av resultatene ga et fullstendig inntrykk ut ifra de dataene gruppen hadde til rådighet.



## **4.0 Resultat**

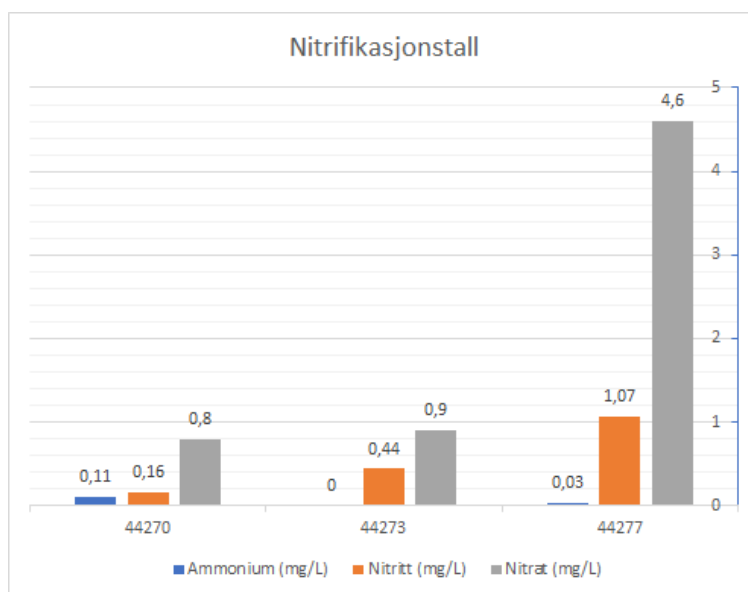
I denne delen av rapporten er data fra velferds- og vannkvalitetsprøver blitt forklart og vist i form av ligninger, tabeller og diagrammer. Basert på innspill fra aktørene i prosjektkonsortiet (RASLab og Litus Akva) er det laget et forslag til produksjonsplan for fisk på Excel, som er laget av gruppen. Deler av produksjonsplanen blir lagt til i vedlegg. Dette kapittelet inneholder nitrifikasjonsverdier, vekst, plasma- og gjelleprøver, TSS, turbiditet, trykktap og strømningshastighet. Antall dager som fisken var med i testen, før gruppen sluttet å hente tall er 38 dager.

### **4.1 Nitrifikasjonsverdier**

Nitrifikasjonsverdiene etter fisken hadde kommet ut i karet er sammenlignet med referanseverdier fra et annet RAS-anlegg som brukte et konvensjonelt biofilter. Referanseverdiene som blir tatt i bruk under sammenligning av nitrifikasjonsresultatene kommer fra et RAS-anlegg som må holdes konfidensielt. De verdiene blir kalt ref i tabeller og diagrammer.

#### **4.1.1 Resultater uten fisk**

Før fisken ble satt inn i anlegget ble det målt nitrifikasjonsverdier for å vurdere modningen av biofilteret. Figur 25 viser at nitrifikasjonen er i gang, nitritt er litt høyere enn grenseverdien (1,07 mg/L), en såkalt nitritt topp. Nitrittnivået øker rett før biofilteret er modent og vil deretter synke igjen, mens nitratnivået vil fortsette å øke.



Figur 25: Nitrifikasjonsverdier i vannet før fisken er i karet.

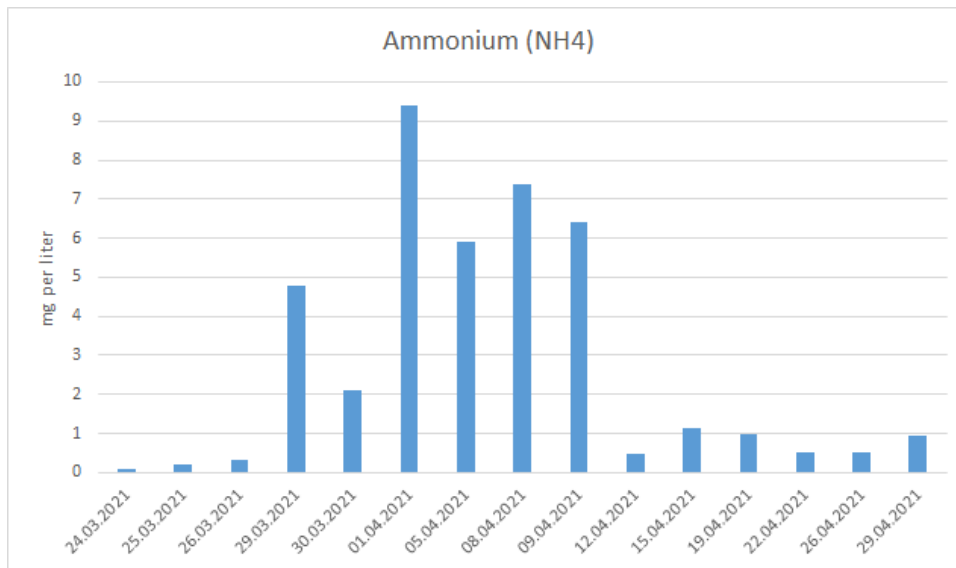
#### 4.1.2 Resultater etter fisk

Gjennomsnittsverdiene som blir vist i tabell 4, viser nitrifikasjonsverdiene til referanseverdiene fra det konfidensielle RAS-anlegget. Videre blir det vist til nitrifikasjonsverdiene til Litus Akva i form av diagrammer.

Tabell 4: Referanse verdiene fra det konfidensielle RAS-anlegget.

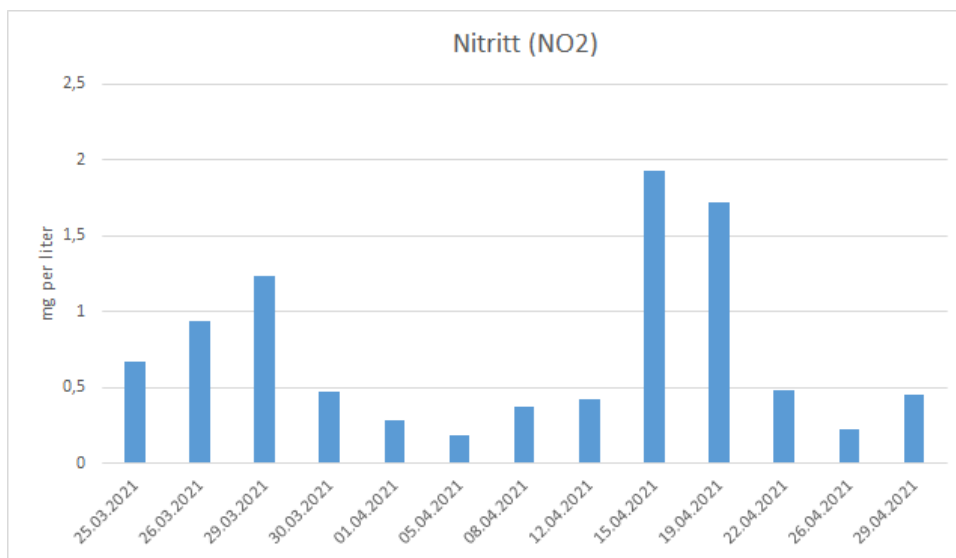
	NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)
Ref	0,231	0,136	31,405

## Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter



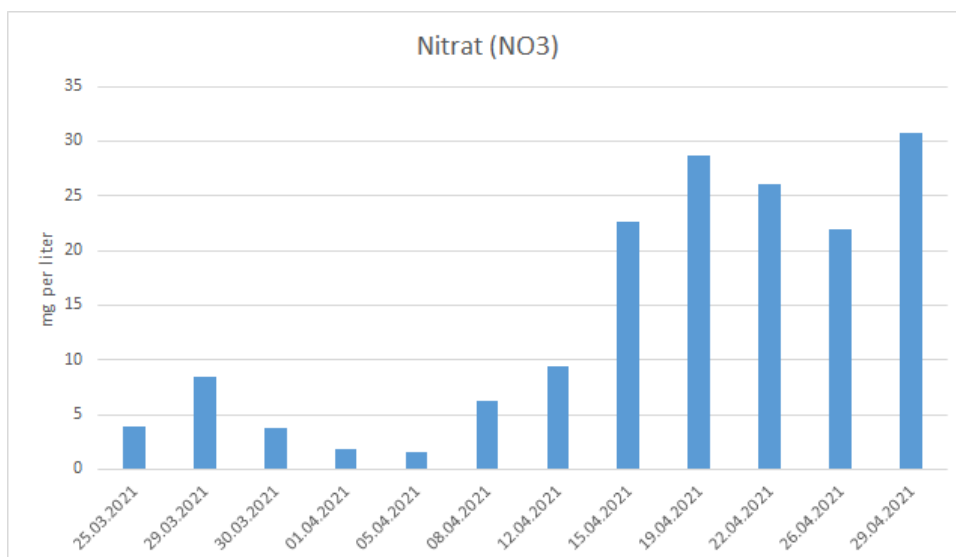
Figur 26: Ammonium (NH<sub>4</sub>) nivået i karet etter fisken har kommet ut i karet.

Fra figur 26 blir det vist at ammonium har den høyeste verdien den 1.4.21 på 9,4 mg/L.



Figur 27: Nitritt (NO<sub>2</sub>) verdiene i karet etter fisken har kommet ut i karet.

Fra figur 27 viser den at nitritt når den høyeste verdien den 15.4.21 på 1,93 mg/L.

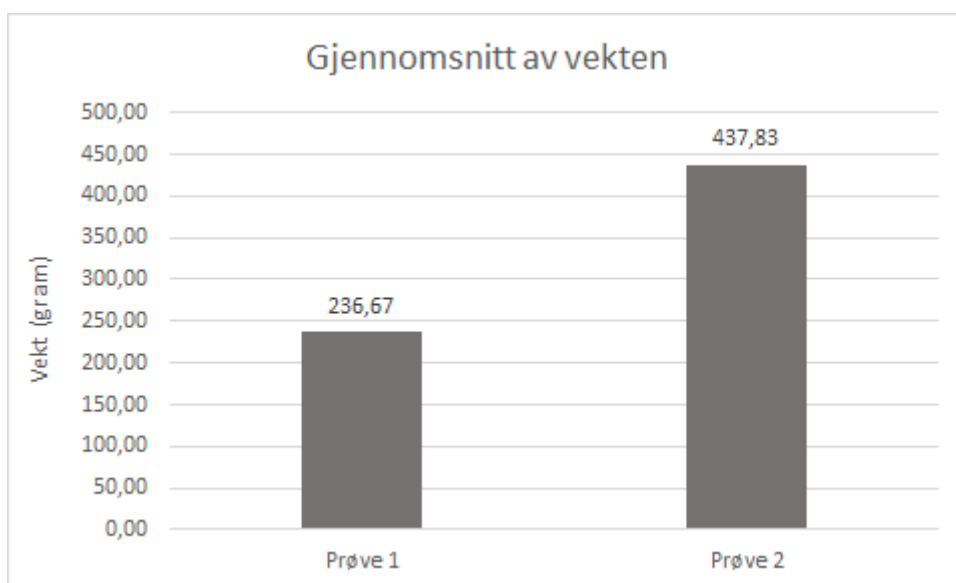


Figur 28: Nitrat (NO<sub>3</sub>) verdiene i karet etter fisken har kommet ut i karet.

Ut ifra resultatene blir det vist i figur 28 at den høyeste verdien er ved siste prøve den 29.4.21 på 30,7 mg/L.

#### 4.2 Vekst

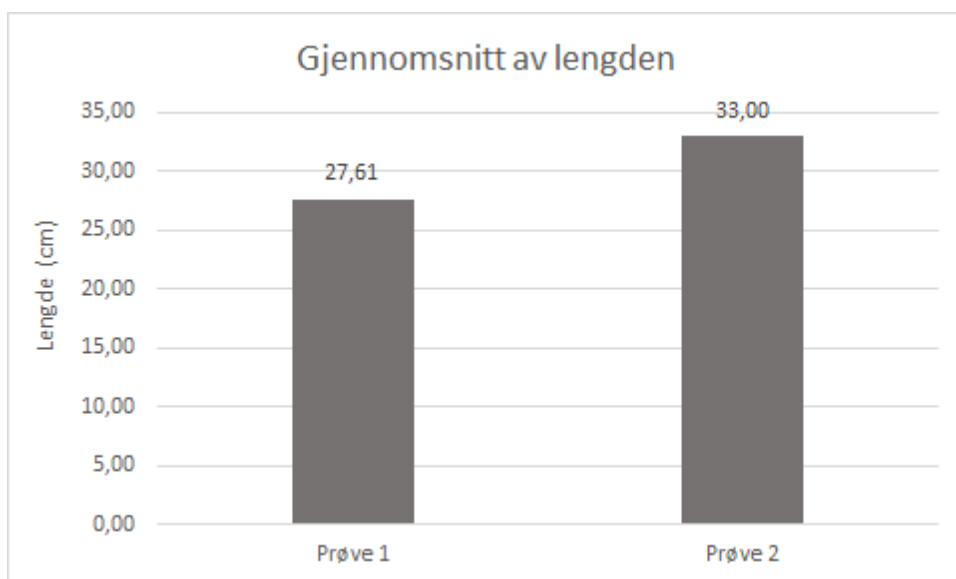
Det ble målt snittvekt på fisk, biomasse, snittlengde, SGR verdier og K-faktor. Prøvene ble tatt den 26.03.21 (prøve 1) og den 28.04.2021 (prøve 2). Det er gjort målinger av 12 fisk i begge prøvene. 33 dager skiller mellom disse to prøvene, og under er det laget figurer som viser resultatene fra disse målingene.



Figur 29: Gjennomsnittsvekten (gr) hos smolt av Atlantisk laks, produsert i Litus Akvas RAS-anlegg over en periode på 33 dager. (Prøve 1 = 26.3.21 og Prøve 2 = 28.4.21). Hvert målepunkt er basert på ett uttak av 12 fisk.

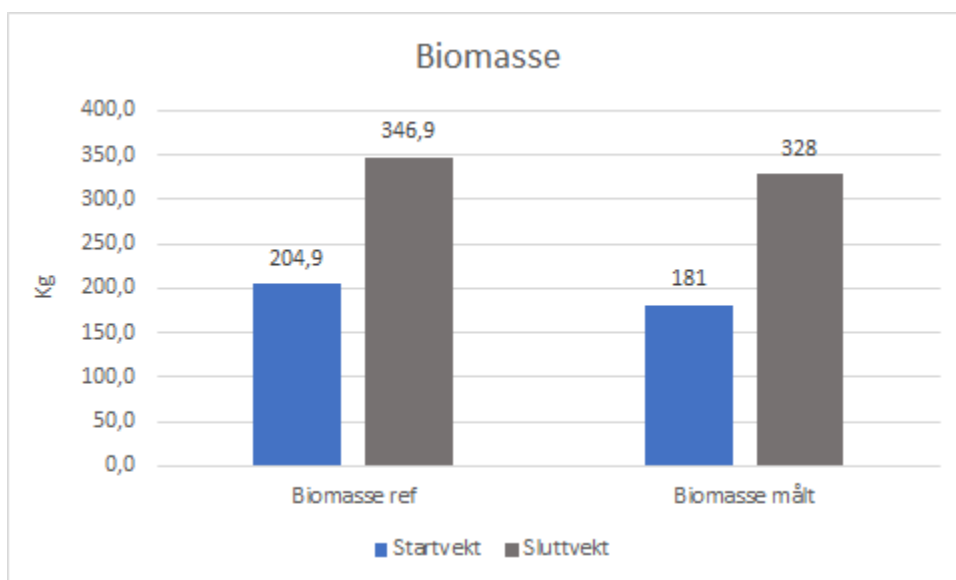
Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

Resultatene viste at fiskens kroppsvekt hadde økt fra 273 til 437 gram (figur 29).



Figur 30: Gjennomsnittslengden (cm) hos smolt av Atlantisk laks, produsert i Litus Akvas RAS-anlegg over en periode på 33 dager. (Prøve 1 = 26.3.21 og Prøve 2 = 28.4.21). Hvert målepunkt er basert på ett uttak av 12 fisk.

I samme periode hadde også lengden økt med 5,39 cm som blir vist i figur 30.

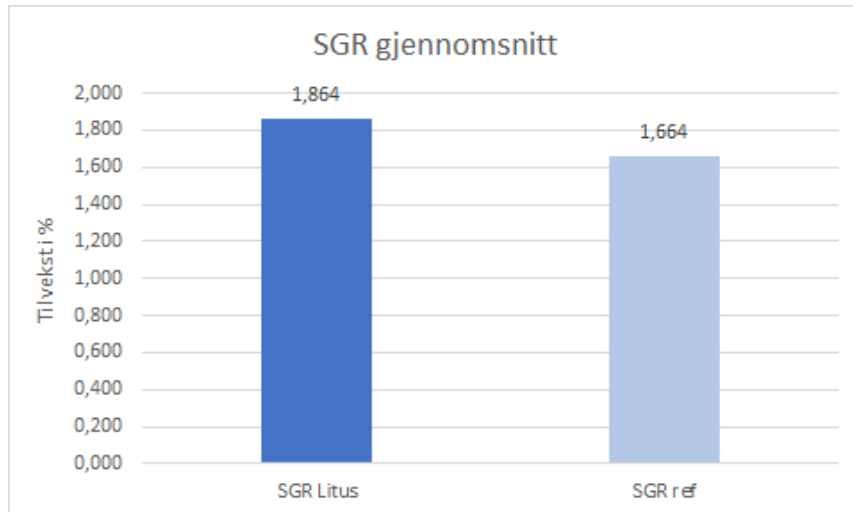


Figur 31: Sammenligning av biomassetall mellom referanseverdier og målt biomasse.

Fra figur 31, blir det vist en differanse på (346,9-204,9) kg, som gir en økt biomasse med 142 kg i biomasse ref (referanseverdiene) og en differanse på (328-181) kg, som gir en økning med

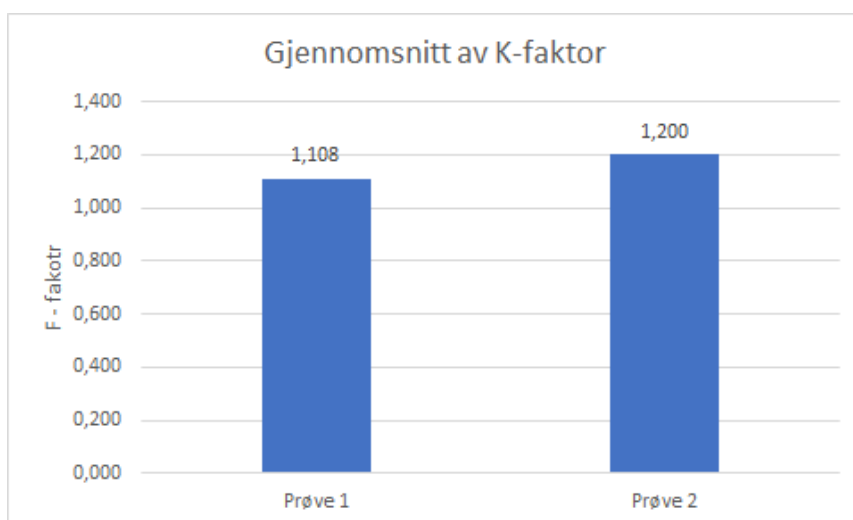
147 kg i biomasse målt (Litus Akva). Ut ifra den økte biomassen, viser det at Litus Akva hadde en økning på 3,5 % mer enn referanseverdiene. Målt biomasse hadde på dette stadiet en tetthet på 46 kg/m<sup>3</sup>.

I produksjonsplanen er det lagt til en SGR tabell (vedlegg 3) Denne tabellen er brukt til utregninger av vekstrate-modellen for temperaturen på 12 grader. SGR ref-verdi ble hentet fra tilveksttabell – 12 grader (vedlegg 1)



Figur 32: Gjennomsnittet av SGR verdier tatt av 12 fisk.

Fra figur 32 blir det vist at Litus sine SGR verdier ligger 0,2006 i tilvekst prosent av egenveksten over SGR ref.



Figur 33: Gjennomsnitt av K-faktor tatt av 12 fisk.

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

Ut ifra figur 33 viser det til at prøve 1 ligger 0,092 under prøve 2. Disse to prøvene er tatt ut ifra vekt og lengde prøvene som ble tatt 26.3.21 (prøve 1) og 28.4.21 (prøve 2).

### 4.3 Plasma og gjelleprøver

I disse prøvene ble Litus Akvas sine resultater sammenlignet med referanseverdiene fra et RAS-anlegg som heter Hardingsmolt. T-test ble brukt for å teste om differansen mellom grenseverdiene i Litus Akvas testresultater var lik gjennomsnittet fra Hardingsmolt. Prøve 1 ble gjort 3 dager etter at fisken kom i vannet og måling 2 ble gjort etter 36 dager etter at fisken kom i vannet.

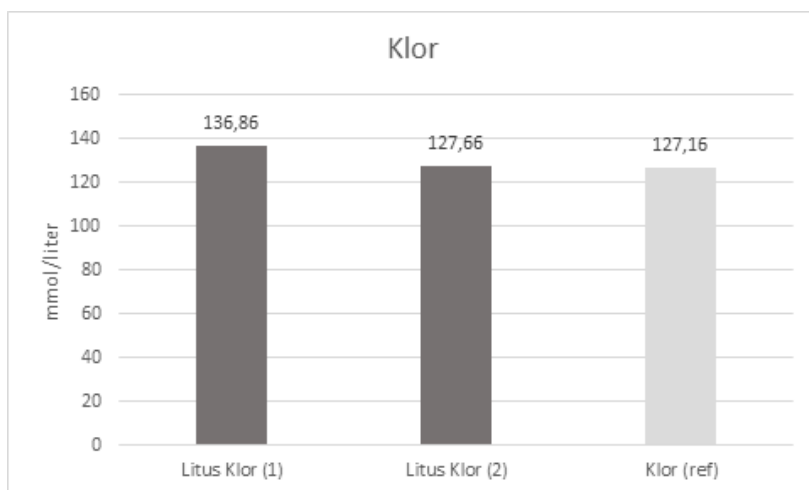
#### 4.3.1 Plasmamålinger

Det ble tatt prøver av 12 fisk i begge perioder. Referanseverdiene fra Hardingsmolt er hentet fra 44 fisk. I plasmamålingene er det fokusert på klorid og natrium. I tabell 5 er prøvene fra begge målingene gjort på klorid og natrium satt opp i sin helhet. Det er regnet ut gjennomsnitt som fremkommer nederst i tabellen. Nederst i radene for klorid og natrium er det satt inn gjennomsnittsverdien for referansen, Hardingsmolt. Tallene vil bli kommentert i egne underkapitler for klor og natrium.

Tabell 5: Oversikt over prøvene tatt av Litus Akva på plasmaklor og plasmanatrium (mmol/liter).

Prøvene	Klor (Cl)		Natrium (Na)	
	1	2	1	2
1	131,8	129,4	163,95	159,31
2	135,7	126,6	162,51	164,02
3	140,6	124,9	166,37	161,51
4	135,0	128,9	170,03	159,89
5	136,7	126,9	165,21	162,30
6	134,0	129,9	164,94	160,88
7	142,1	117,2	167,24	148,01
8	138,3	128,0	170,73	155,14
9	133,5	127,6	166,31	159,03
10	134,4	128,1	167,48	159,27
11	137,6	132,1	166,08	159,09
12	142,6	132,3	161,88	161,88
<b>Gjenn.snitt</b>	<b>136,86</b>	<b>127,66</b>	<b>166,06</b>	<b>159,19</b>
<b>Gjenn.snitt Hardingsmolt</b>	<b>127,16</b>		<b>158,83</b>	

#### 4.3.1a) Klor



Figur 34: Plasmaklor fra Litus Akva (prøve 1 og 2)  $n=12$  og ref.verdier fra Hardingsmolt  $n=44$ .

Gjennomsnittet av klorverdiene fra Litus Akvas verdier viste en differanse på (136,86-127,16) på 9,7 mmol/liter (7,6%) mellom måling 1 og Hardingsmolt (figur 34). Differansen i klorverdiene til Litus Akva måling 2 og Hardingsmolt er tilsvarende lik hverandre. Her viste differansen at klorverdiene til Litus Akva er (127,66-127,16) 0,5 mmol/liter (0,4%) høyere enn gjennomsnittet til Hardingsmolt.

Tabell 6: t-Test av plasmaklor fra Litus Akva (prøve 1 og 2) og ref. Verdier fra Hardingsmolt.

	CI-test 1	CI-test 2	CI-ref
Gjennomsnitt	136,86	127,66	127,16
Varians	12,09	15,44	25,85
Observasjoner	12	12	44
t-Stat	7,677	0,361	
P-verdi	0,001	0,72	
T-kritisk, tosidig	2,060	2,074	
<i>Note: Indikerer <math>p \leq 0,05</math></i>			

Tabell 6 viser to separate t-tester av plasmaklor fra Litus Akva sine to prøver mot referansemålingene fra Hardingsmolt. Testresultatet er sammenfattet i en tabell for å fremstille ulikhetene mellom plasmaklortest 1 og 2.

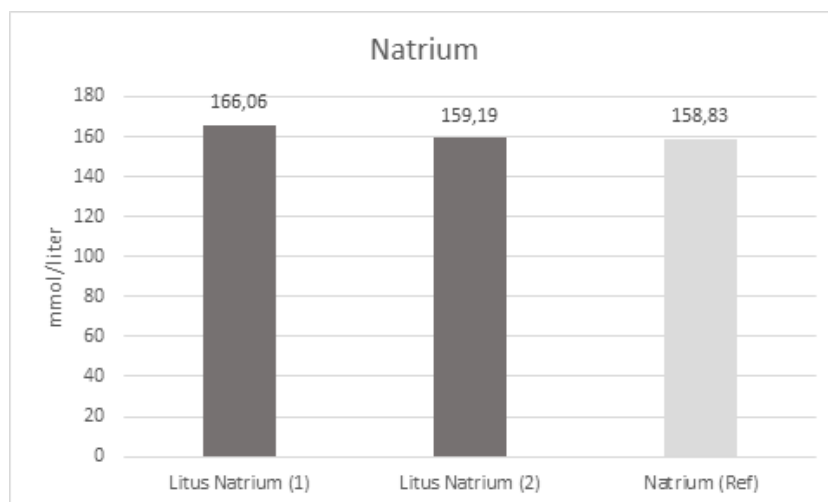
I tabell 6 blir det vist fra plasmaklortest 1 (CI-test 1) viser en p-verdi på 0,01. T-testen viser at det er en statistisk signifikant forskjell i differansen mellom gjennomsnittet i plasmaklortest 1 til Litus Akva og Hardingsmolt.



Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

I plasmaklortest 2 (CL-test 2) viser en p-verdi på 0,72. T-testen viser at det er ikke er statistisk signifikant forskjell i differansen mellom gjennomsnittet i plasmaklortest 2 til Litus Akva og Hardingsmolt.

#### 4.3.1b) Natrium



Figur 35: Plasmanatrium fra Litus Akva (prøve 1 og 2) n= 12 og ref. verdier fra Hardingsmolt n =44.

Gjennomsnittet av natriumverdiene fra Litus Akvas verdier viste en differanse på (166,06-158,83) 7,23 mmol/liter (4,6%) mellom måling 1 og Hardingsmolt (se figur 35). Differansen mellom Litus Akva og Hardingsmolt sine natriumverdier er at måling 2 tatt etter 36 dager er tilsvarende lik hverandre. Her viste differansen at natriumverdiene til Litus Akva er (159,19-158,83) 0,36 mmol/liter (0,2%) høyere enn gjennomsnittet til Hardingsmolt.

Tabell 7: t-Test av plasmanatrium fra Litus Akva (prøve 1 og 2) og ref.tall fra Hardingsmolt.

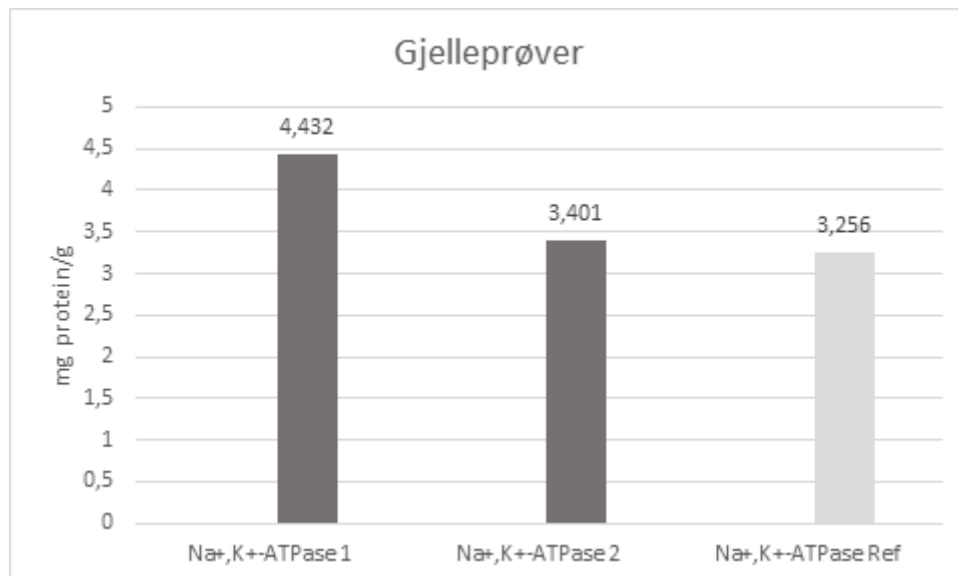
	Na-test 1	Na-test 2	Na-ref
Gjennomsnitt	166,06	159,19	158,83
Varians	7,06	17,31	5,27
Observasjoner	12	12	44
t-Stat	8,591	0,29	
P-verdi	0,001	0,78	
T-kritisk, tosidig	2,120	2,160	
<i>Note: Indikerer <math>p \leq 0,05</math></i>			

Tabell 7 viser to separate t-tester av plasmanatrium fra Litus Akva sine prøver mot referansemålingene fra Hardingsmolt. Testresultatet er sammenfattet i en tabell for å fremstille ulikhetene mellom plasmanatriumtestene 1 og 2.

I tabell 7 blir det vist fra plasmanatriumtest 1 (Na-test 1) viser en p-verdi på 0,01. T-testen viser at det er statistisk signifikant forskjell i differansen mellom gjennomsnittet i plasmanatriumtest 1 til Litus Akva og Hardingsmolt.

I plasmanatriumtest 2 (Na-test 2) viser en p-verdi på 0,78. T-testen viser at det ikke er statistisk signifikant forskjell i differansen mellom gjennomsnittet i plasmanatriumtest 2 til Litus Akva og Hardingsmolt.

#### 4.3.2 Na-K-ATPase



Figur 36: Gjelleprøvene (NKA) fra Litus Akva (prøve 1 og 2)  $n=12$  og ref. Tall fra Hardingsmolt  $n=11$ .

Gjelleprøve 1 ble tatt 3 dager etter at fisken kom i vannet og måling 2 ble tatt etter 36 dager. Det ble i begge målingene tatt gjelleprøver av 12 fisk. Gjennomsnittet av gjelleprøvene til Litus Akvas verdier viste en differanse på  $(4,432-3,256)$  1,176 mg protein/gram (36,1%) mellom måling 1 og Hardingsmolt (se figur 36). Differansen mellom gjelleprøvene til Litus Akva og Hardingsmolt viste til at måling 2 er tatt etter 36 dager og prøven ligger tett opp mot hverandre. Her viste det en differanse av at verdien på gjelleprøvene til Litus Akva er  $(3,401-3,256)$  0,145 mg protein/gram (4,5%) høyere enn gjennomsnittet til Hardingsmolt.

## Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

Tabell 8: t-Test av gjelleprøver fra Litus Akva (prøve 1 og 2) og ref. Verdiene fra Hardingsmolt.

	Na-K-ATPase (1)	Na-K-ATPase (2)	Na-K-ATPase ref
Gjennomsnitt	4,432	3,401	3,256
Varians	6,043	4,452	3,283
Observasjoner	12	12	11
t-Stat	1,313	0,177	
P-verdi	0,20	0,86	
T-kritisk, tosidig	2,086	2,080	
<i>Note: Indikerer <math>p \leq 0,05</math></i>			

Tabell 8 viser to separate t-tester av fra Litus Akva sine gjelleprøver mot referansemålingene fra Hardingsmolt. Testresultatet er sammenfattet i en tabell for å fremstille ulikhetene mellom gjelleprøvene 1 og 2.

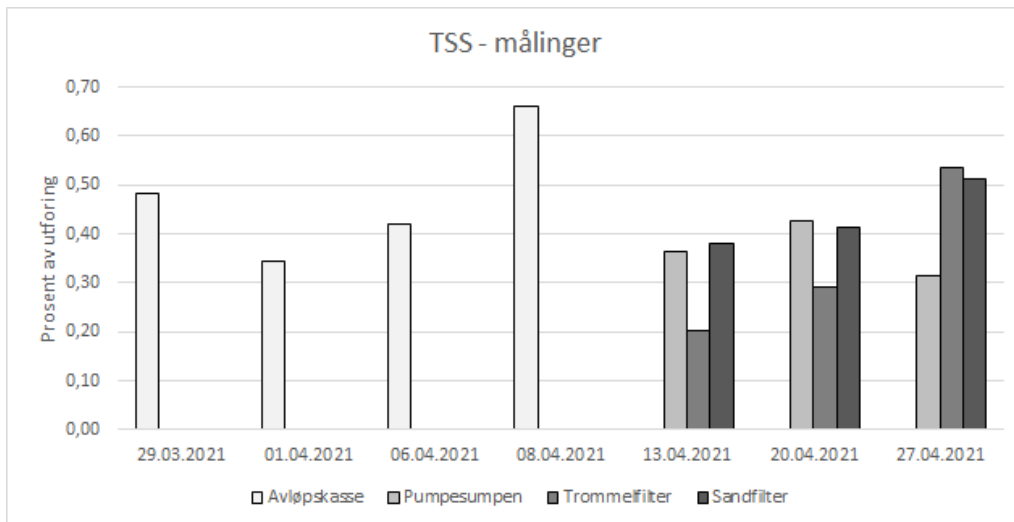
I tabell 8 blir det vist at gjelleprøve 1 (Na-K-ATPase 1) viser en p-verdi på 0,20. T-testen viser at det ikke er statistisk forskjell i differansen mellom gjennomsnittet til gjelleprøve 1 til Litus Akva og Hardingsmolt.

I gjelleprøve 2 (NA-K-ATPase 2) viser en p-verdi på 0,86. T-testen viser at det ikke er statistisk signifikant forskjell i differansen mellom gjennomsnittet i gjelleprøve 2 til Litus Akva og Hardingsmolt.

### 4.4 TSS- og Turbiditets verdier:

Målinger som er blitt gjort er utført av RASLab og verdiene blir sett på i tabeller der det er målt gjennomsnittet av de ulike prøvene.

#### 4.4.1 TSS verdier

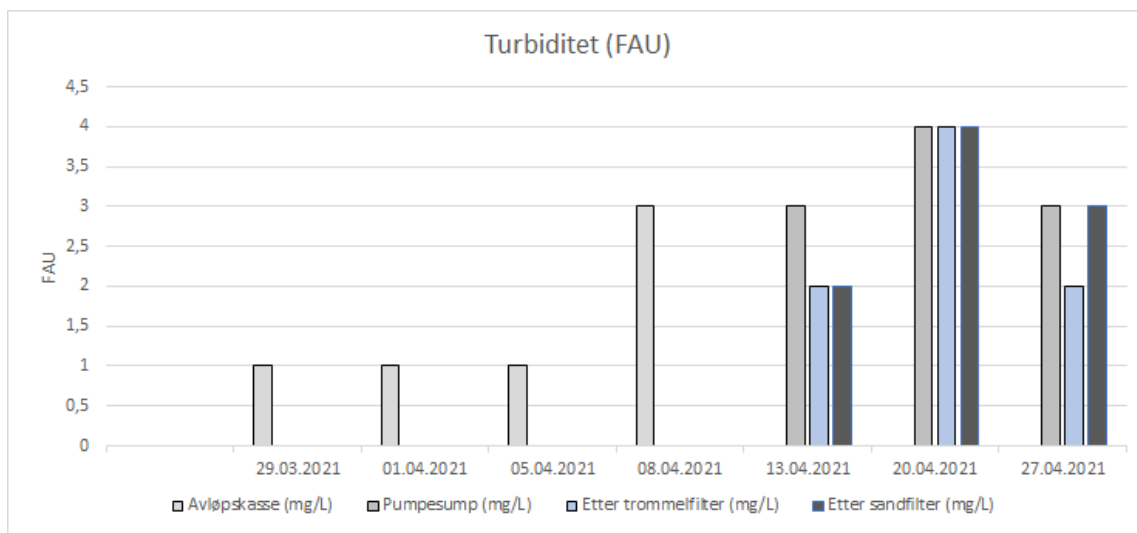


Figur 37: TSS målinger gjort av vannprøver i Litus Akvas testanlegg.

I figur 37 blir det vist TSS prøver av 7 målinger. Ut ifra figuren blir det vist at de fire første dagene var det bare resultater av avløpskassen. Senere kom det resultat av pumpesump, trommelfilter og sandfilteret. Se vedlegg 4 for utregning.

#### 4.4.2 Turbiditet

I figur 39 blir det vist Litus Akva sine turbiditetsverdier i form av FAU.



Figur 38: Turbiditets målinger gjort av vannprøver i Litus Akvas testanlegg.

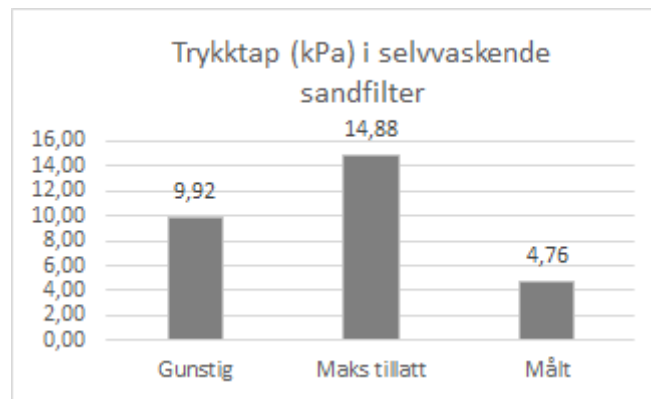
Fra figur 38 blir det vist at turbiditeten ligger under grenseverdien som ligger på <7-10 mg/L som blir vist i tabell 1.

Effekten ved å benytte selvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

## 4.5 Fluidisering

### 4.5.1 Trykktap

Det målte trykktapet tilsvarte et resultat på 4,76 kPa, som er et lavere trykktap enn det gunstige trykktapet på 9,92 kPa. Det gunstige trykktapet er det trykktapet som trolig vil gi best partikkelfjerning. Figur 39 viser konkret det målte trykktapet opp mot det optimale og maks tillatte trykktap.



Figur 39: Trykktap i selvaskende sandfilter. Gjennom gunstig trykktap blir det henvisst til det trykktapet som trolig vil gi best partikkelfjerning. Maks tillatt trykktap er det maksimale trykktapet for denne pilottesten og målt trykktap er det siste dataen som gruppen fikk i slutten av den første måneden av testfasen, sett opp mot målt strømningshastighet.

### 4.5.2 Strømningshastighet

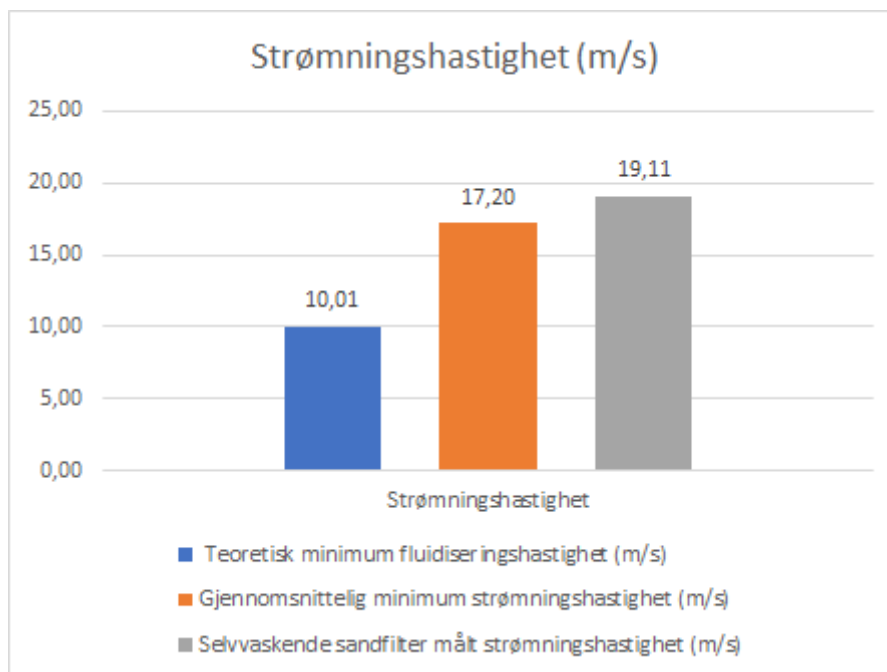
Det er vist at strømninger gjennom biofilteret er turbulente ved å regne ut modifisert Reynolds tall, ligning 1.7:

$$Re_p = \frac{1010,96 \frac{kg}{m^3} * 10,01 \frac{m}{s} * 0,002m}{0,001 \frac{kg}{m * s}} = 17251,02$$

For å finne minimum fluidiseringshastighet ble det brukt ligning 1.10 på grunn av at modifisert Reynolds tall  $> 1000$ . Tabell 9 viser utregningen av den teoretiske minimums fluidiseringshastigheten, der figur 40 setter dette resultatet opp mot målt gjennomsnittlig minimum og den avsluttende målte strømningshastigheten.

Tabell 9: Teoretisk minimum fluidiseringshastighet målt i m/s utregnet med bakgrunn i turbulent strømning.

	Strømningshastighet
Tyngdekraft (m/s)	9,81
Høyde partikkelsjikt (m)	2
Tetthet partikkelsjikt (kg/m <sup>3</sup> )	1500
Tetthet fluid (kg/m <sup>3</sup> )	1010,96
porøsitet partikkelsjikt	0,41
Fluidets viskositet (kg/(m*s))	0,001
Formfaktor partikkler	0,26
Diameter partikkelsjikt (m)	0,002
<b>Teoretisk minimum fluidiseringshastighet (m/s)</b>	<b>10,01</b>



Figur 40: Diagram som viser strømningshastigheten i ulike faser. Den teoretiske minimum fluidiseringshastigheten er regnet ut ved teoretiske tall. Gjennomsnittlig målt minimum strømningshastighet er et gjennomsnitt av alle de målte strømningshastighetene gjennom den første måneden av testfasen og målt strømningshastighet er den siste målingen av strømningshastigheten gjennom den første måneden, tatt opp mot det målte trykktapet.

Figur 40 viser at teoretisk minimum fluidiseringshastighet er på 10,01 m/s, gjennomsnittlig minimum strømningshastighet er på 17,20 m/s og den målte strømningshastigheten er på 19,11 m/s. Alle målingene er tatt gjennom den første måneden av testfasen.

## 5.0 Diskusjon

I dette kapitlet er resultat og beregninger drøftet. Gruppen har kun vært med på den første måneden av testfasen, dermed fokusere rundt resultatene som kun knyttes fra denne delen av testfasen.

### 5.1 Nitrifikasjonsverdier

Gruppen hadde få verdier på nitrifikasjonen før fisken kom i karet, De første registreringene av nitrifikasjon ble gjennomført under forhold med eksisterende modnet biochips fra RASlab. Resultatene var lite egnet til å si noe om sandfilterets modning, men indikerte systemets kapasitet til å omsette en viss mengde TAN.

Før fisken kom i karet blir det vist, at nitrifikasjonen kom godt i gang med økende ammonium og nitritt verdier figur 25. Den siste måledagen (22.3.21) ble det målt 0,03 mg/L ammonium (NH<sub>4</sub>), og siden grenseverdien er på 2 mg/L tilsier det at den er under normalverdi. En av årsakene til at det ikke oppsto en ammoniums-topp i denne fasen (figur 4), er at det hadde blitt tilført modnet biochips i systemet. figur 25 viser en nitrittverdi på 1,07 mg/L hvilket ligger over grenseverdien som er på 0,5 mg/L (tabell 1). Dette indikerte at prosessen nådde en nitritt-topp. En mulig forklaring kan være at bakteriene som omdanner nitritt til nitrat, var mer følsomme for miljøvariasjoner, og kunne dermed ha blitt mindre effektive når biochipsen ble flyttet fra et system til et annet. Nitratverdiene lå på 4,6 mg/L og hadde økt med 3,8 mg/L fra første prøvetaking som var den 15.3.21. De stigende nitratverdiene indikerer stigende omsetning i biofilteret. 4,6 mg/L er fortsatt lav verdi i en RAS-sammenheng, men dette skyldes at det var lav fôring i den fasen. Nylig overført fisk, hadde en lav appetitt på grunn av stress ved overføring. Denne reaksjonen er helt normal. [I.Landro, personlig kommunikasjon, 24.05.2021]

De lave ammonium og nitritt verdiene, samt relativt høye nitrat verdiene fortalte gruppen at det var en god TAN omsetning på biofilteret. Hvor stor del av dette som var knyttet til biochipsen, var på dette stadiet usikkert. Når biochipsen ble fjernet oppsto det en ammonium-topp og en ny nitritt –topp. Dette vil si at det meste av omsetningen som Litus Akva hadde sett før biochipsen ble tatt ut, kunne knyttes til virkningen av biochipsen.

Etter fisken kom ut i fiskekaret, ble det registrert en økning i ammonium de første 6 dagene. Dette var på grunn av at biochipsen ble tatt ut den dagen. Fra figur 26 blir det vist at ammonium hadde en variasjon på (9,4-0,09) mg/L, som følge av at sandfilteret ikke hadde modnet så mye. [I.Landro, personlig kommunikasjon, 22.05.2021] Fra tabell 1 blir det vist at normalverdien til

ammonium ligger på 2 mg/L. Fra [27, s.63] blir det vist at fisken kan gå over denne normalverdien i korte perioder, uten at det skal påvirke fisken. Referanseverdiene, gitt i tabell 4 viste et gjennomsnitt på 0,231 mg/L ammonium. Referanse-anlegget har vært i drift i flere år, og har dermed et modent og robust filter. Litus Akva var på dette tidspunktet i modningsfasen av et helt nytt biofilter. Referanse-anlegget hadde en god bakteriekoloni, og var årsaken til at verdiene viker fra Litus Akvas verdier. Nitritt fra figur 27 ligger over normalverdien på 0,5 mg/L (tabell 1) i starten og slutten av perioden med fisk i karet. Dette kunne forklares med økningen i fôring forut økingen av nitritt. Fra figur 28 viste det til at nitratverdien hadde en differanse på (30,700-1,500) mg/L. Dette viser at biofilteret fungerer bra med et økende nitrat verdi. Grenseverdien (fra tabell 1) er over 50 mg/L, og kunne være akseptert opp til 100 mg/L. Ut ifra disse nitrifikasjonsverdiene viser det til at selvvaske sandfilter fungerer bra som et biofilter i et RAS-anlegg.

## 5.2 Vekst

Tilvekst data (figur 25) viste at fisken hadde økt kroppsvekten fra 236,67 til 437,83 gram i løpet av de 33 dagene mellom prøve 1 og prøve 2. Dette viser at fisken har vokst betraktelig og at fôrintaket må ha vært tilfredstillende. Fisken som Litus Akva anskaffet viste ved oppstart en relativ stor vekstspredning fra 165 til 320 gram fra prøve 1. Denne observasjonen, kombinert med at få fisk ble benyttet i forbindelse med vekstmålingene, kan ha medført usikkerhet med hensyn på beregning av resultater og tilvekst. Resultatene fra biomassen viser en stabil vekst, der vekstmålingene viste 147 kg økning i målt biomasse, mot referanseverdiens økning med 142 kg. Dette tilsvarer en større vekst med 3,5 prosent hos Litus Akva. Startvekten hadde en differanse, der målt biomasse var 23,9 kg mindre enn referanseverdiene fra tilveksttabell - 12 grader, (vedlegg 1) og var årsaken til at referanseverdiens sluttvekt, var større enn hos Litus Akva på dette stadiet. Oppgavens siste vekstmåling med biomasse på 328 kg, ga en tetthet på 47 kg/m<sup>3</sup> i karet (figur 32). Litus Akva hadde midlertidig som mål å fortsette testen til oppnådd 80 kg/m<sup>3</sup>, som vil gi en betraktelig økning på belastningen i biofilteret. Ved økt tetthet kunne det forekomme svak økning i plasmanatrium. Høy tetthet kan forårsake fysiske skader på fisken og skape stress, hvilket kan forklare den svake økningen i plasmanatrium (tabell 5). Dette kunne gi konsekvenser på fiskens SGR, [28, s.45] men med større vekstprosent hos Litus Akva, er det ingen indikasjon på at tettheten hadde en betydelig påvirkning i denne perioden. fiskens lengde hadde vokst med 5,39 cm fra prøve 1 til prøve 2, og dette indikerte også at fiskens velferd i RAS-anlegget var bra.



Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

Resultatet fra SGR-verdiene viser, at Litus Akva sine tall ikke var forskjellig fra referanseverdiene Dette bekrefter tallene som ble beregnet i tilveksttabell – 12 grader (vedlegg 1). Siden sluttresultatet av fisken ved 12 grader hadde en vekt på cirka 400 gram, skal SGR-verdien ut ifra tabellen i vedlegg 3 (tilveksttabell Skretting) ligge på 1,543. Litus Akvas SGR-verdi lå på 1,8642, som ga et avvik med 0,3212 gram pr dag. Grunnen til dette avviket kunne være på grunn av få prøveresultater og at fisken kan ha trivdes bedre i fiskekaret enn det ligger til grunn for i referanseverdiene som er tatt fra tilveksttabellen i vedlegg 1.

Resultatene fra figur 29 viser at begge prøvene som er tatt viser K-faktor tall over 1. En K-faktoren på over 1 indikerer en sunn fisk, med god kvalitet. Fra disse prøvene blir det vist at fisken vokser betraktelig.

### **5.3 Plasma og gjelleprøver**

Prøve 1, begge plasmaprøvene på klor og natrium tatt etter tre dager viste signifikante forskjeller i plasmaklorid og plasmanatrium. P-verdiene i t-testen i tabell 6 og tabell 7 var i begge målingene på 0,01, noe som indikerte tydelige forskjeller.

Prøve 2 som ble tatt 33 dager etter prøve 1, viste at p-verdien fra plasmaklor i t-testen var 0,72, noe som indikerte at det ikke var noen signifikante forskjeller. P-verdien fra plasmanatrium i t-testen var på 0,78, noe som indikerte at det heller ikke var noe signifikante forskjeller i prøve 2.

Det framkom tydelige forskjeller mellom prøve 1 som ble tatt 3 dager etter at fisken kom i fiskekaret og prøve 2 etter 36 dager. Forklaringen på dette er mest sannsynlig at fisken stabiliserer seg og tilpasser omgivelsene og miljøet over tid. Det blir også vist fra tabell 2 at både klor og natrium er innenfor normalverdiene. Produksjonsvannet er brakkvann, der tabell 2 bare viser til fersk- sjøvann.

I likhet med plasmaprøvene viste også gjelleprøvene et større avvik i Litus Akvas prøve 1 og prøve 2 mot referanseverdier hentet fra Hardingsmolt. P-verdien i t-testen var 0,20 i prøve 1 og 0,86 i prøve 2. Dette indikerer på at det ikke er noen signifikante forskjeller. Dette indikerte at Na-K-ATPase verdiene stabiliserte seg etter hvert som fisken tilpasset seg miljøet. Disse verdiene kan også bli påvirket av om fisken har blitt utsatt for stress gjennom prøveperioden. En fordel med bruk av selvvaskende sandfilter, er at med sand ble det forventet å kunne redusere fiskens gjelleirritasjon, som følge av lavere partikkelnivå i produksjonsvannet.

#### 5.4 TSS og Turbiditet

Andre del av den todelte problemstillingen var å teste et selvvaske sandfilter opp mot partikkelfjerning. I figur 37 er det vist at TSS-verdiene ut ifra de fire ulike komponentene var under grenseverdien, som vil si under 15 mg/L vist i tabell 1. Selv om det ikke foregikk mange målinger, var gjennomsnittet langt under denne grensen. Litus Akva, som har bred erfaring fra RAS-anlegg opplyser at de vurderer vannet som klart og partikkelfritt, sammenlignet med hva som er vanlig i RAS-anlegg i Norge. [I. Landro, personlig kommunikasjon, 24.05.2021] Dette sier noe om at ved bruk av et sandfilter får Litus Akva svært gode partikkelfjernings resultater, vist gjennom lave TSS-verdier..

Fra figur 33 viser det at det bare ble målt TSS i avløpskassen i de fire første målingene. Grunnen til at Litus Akva byttet over til å måle TSS fra tre andre komponenter, var at det var få verdier å forholde seg til, og at større partikler, som pellets eller feces drastisk kunne påvirke hele resultatet. Hvis gruppen hadde hatt bedre tid skulle det ha blitt tatt med fôrbehovet til fisken i sammenheng med TSS verdiene. Dette kunne ha forklart gruppen selve sammenhengen mellom at TSS øker med mengde fôr.

Ut ifra resultatet viste det seg at det er høyest TSS- og turbiditetsverdier ut ifra selvvaske sandfilteret. Dette kunne komme av at det var veldig lite partikler i anlegget, slik at avskalling fra biofilter, samt at uorganiske partikler (sandstøv) og sandkrystaller fra sandfilteret ble med i prøveanalysen. Litus planlegger å ta TOC-prøver (totalt organisk karbon) som en tilleggsmåling, der det vil avklare om dette skyldes autotrofe oppbygging av biofilm gjennom nitrifikasjon eller uorganisk materiell som sandpartikler, eventuelt en kombinasjon. [I.Landro, personlig kommunikasjon, 22.05.2021]

De nitrifiserende bakteriene kan bli i overtall dersom det er veldig lav organiske belastning. Da vil det bygges opp organisk materiale (biofilm) gjennom nitrifikasjonsprosessen, avskalling av biofilm fanges opp i TSS-målinger, og kan gi utslag, som ble vist i Litus – testen. Det kunne også være sand som ga utslag på prøvene. Sand er veldig tungt, og vil dermed gi store utslag på prøvene, selv i små mengder. Trommelfilteret vil fjerne eventuelle sandpartikler og biofilm. Ved uheldige grunner kunne de kommet igjennom. Sandstøv kunne også være en faktor, på grunn av at støv vil være med i all ny sand. Dette er ikke et problem, blant annet ettersom det uansett vil avta over tid i drift. I dette anlegget hadde det så langt vært lite organisk materiell som følge av effektiv partikkelfjerning av de heterotrofe bakteriene som hadde som oppgave å bryte ned organisk materiell, de er trolig er i undertall. Dermed blir det en sum i en netto

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

oppbygging av biologisk materiell, som kunne gi utslag på økt TSS måling gjennom sandfilteret. TOC-måling må tas inn og ut av biofilter. En økning av TOC vil sterke teorien om at det er de autotrofe bakteriene som sto for nitrifikasjonsprosessen, som forårsaker TSS økningen. Siden gruppen sluttet å ta imot resultater, så fortsatte Litus med å jobbe videre med å avklare dette problemet [I.Landro, personlig kommunikasjon, 22.05.2021]

Fra figur 38 blir det vist turbiditetsverdiene som er målt i form av FAU. I tabell 1 blir det vist normalverdien til turbiditet som ligger på 7 til 10 mg/L. Ut ifra resultatet blir det vist at Litus Akva sitt selvvaskende sandfilter hadde veldig gode verdier og fungerer godt til partikkelfjerning. Som nevnt tidligere skulle det ha vært med en fôrtabell som hadde gitt en sammenheng med disse turbiditet tallene. På grunn av tid, så har ikke det blitt utført.

### 5.5 Fluidisering

Reynolds tall er på 17251,02, noe som er over grensen på 1000 for turbulente strømninger. På grunn av at strømningene var turbulente, ble ligning 1.10 brukt for å regne ut minimum fluidiseringshastighet. Denne teoretiske minimums fluidiseringshastigheten, på 10,01 m/s, lå klart under både den gjennomsnittlige minimums strømningshastigheten på 17,20 m/s og den målte strømningshastigheten på 19,11 m/s, vist i figur 40. Testen som er brukt til å regne ut porøsitet av sandkornene er tatt ved hjelp av unøyaktige måleinstrument som har ført til at tallene har blitt unøyaktige. Det har heller ikke blitt tatt hensyn til at det er forskjeller på volumet til sandkornene, der størrelsen variere fra 1-3 mm, der Mæland (2014) viser til at dette er en kilde til feil porøsitet. [29] Selv om porøsiteten har en innvirkning på teoretisk minimum fluidiseringshastighet, er det teoretisk mulig at fluidets strømningshastighet er mye større enn teoretisk minimum fluidiseringshastighet, under normal drift. Dette er noe som gir en god partikkelfluidisering. [22]

Gjennom biofilteret måtte det være en stor nok strømning slik at vannet løftet sandkornene og skapte hulrom. Vannet skulle kunne trenge gjennom partikkelsjiktet og partiklene skulle bli fanget opp av sanden. For stor strømning ville skapt for store hulrom slik at partiklene ikke hadde blitt skilt ut, i tillegg til at det hadde vært en risiko for at sandkornene hadde blitt vasket ut i overløpet. I motsetning til for liten strømning som ikke ville ha løftet sandkornene nok til at det oppstår en kontinuerlig strømning gjennom biofilteret. Det fluidiserte sjiktet oppfører seg som en væske [21], der sanden er endret fra et statisk faststoff tilstand til dynamisk fluid tilstand [22]

Den målte strømningshastigheten var høy, 19,11 m/s, samtidig som det målte trykktapet var lavt, 4,76 kPa. Dette medførte at det er mulig å gå ned i sandkornstørrelse, noe som ville ført til større tetthet i partikkelsjiktet, samtidig som volumet er det samme. Mindre sandkorn samler opp flere partikler og fører til desto bedre vannkvalitet. Dette er hentet fra data som kom rett før gruppen måtte avslutte sin del av testfasen. Det er derfor en mulighet at de sandkornene som ble brukt i testen er i korrekt størrelse, ut ifra økt organisk belastning som følge av biomasse og dermed utfôring, som kan oppstå senere i prosjektet.

## 6.0 Konklusjon

*“å teste og dokumentere effekten av å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter i et RAS-anlegg”.*

Selvvaskende sandfilter vil virke til partikkelfjerning og som biofilter i et Ras-anlegg. Nitrifikasjonsresultat både før og etter fisk hadde blitt sluppet ut i karet, indikerte normalverdier i test-piloten. Dette slås fast selv om det var få verdier å ta utgangspunkt i. Det ble tatt prøver av totalt 24 fisk. Selv om det forekom noen forstyrrelser i laboratoriet som i teorien kunne påvirket veksten, viste fisken god tilvekst og ingen tegn på stress. SGR og k-faktor bygget opp teorien om at et selvvaskende sandfilter er velegnet som biofilter.

Partikkelfjerningen har blitt testet opp mot TSS, turbiditet og fluidisering. TSS- og turbiditetsmålingene var under grenseverdiene, noe som viser at effekten av partikkelfjerningen i det selvvaskende sandfilteret er svært bra. Ifølge fluidiseringsresultatet, ga det en foreløpig indikasjon på at det var mulig å gå ned i sandkornstørrelsen, som resulterer til at det selvvaskende sandfilteret kan fange opp enda flere partikler i et RAS-anlegg, om det skulle være nødvendig. Disse resultatene viser at effekten av å benytte et selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter har et godt potensial til å benyttes i et RAS-anlegg, på en tilfredsstillende måte. Spesielt hvis resultatene fortsetter med å være på det nivået de har vært hittil i pilot-testen.

Det selvvaskende sandfilteret vil fungere opp mot partikkelfjerning og som et biofilter i et RAS-anlegg basert på:

- Nitrifikasjonsresultat, både før og etter fisk i karet, indikerer normalverdier.
- Fiskens vekst og lengde har økt betraktelig, med en høy vekstrate.
- TSS- og turbiditetsmålinger er under grenseverdiene.
- Trykktap- og strømningshastighetsresultatet viser foreløpig at det er mulig å gå ned i sandkornstørrelsen og dermed forbedre partikkelfjerningseffekten.

### 6.1 Veien videre

Veien videre for dette prosjektet blir å ta videre målinger, samt dokumentere effekten av selvreinsende sandfilteret. Testen skal fortsette til det minimum nås en tetthet på 80 kg/m<sup>3</sup>.

## Litteraturliste

- [1] Litus Akva (2020). *INo, Miljøteknologi, Innovasjon Norge. Litus akva, INo Miljøteknologi*. (Ref.nr: 1v53u1bupu29s).
- [2] Artec Aqua AS (u.å). *Gjennomstrømningsanlegg -FTS*. Hentet 28. mars 2021 fra <https://www.artec-aqua.no/systemlosninger/gjennomstromningsanlegg---fts/>
- [3] Nordicwater (u.å). *DynaSand*. Hentet 8. Mars 2021 fra <https://www.nordicwater.com/product/dynasand>
- [4] Noble, C., Nilsson, J., Stien, L. H., Iversen, M. H., Kolarevic, J. & Gismervik. (2018) *Velferdsindikatorer for oppdrettslaks. Hvordan dokumentere fiskevelferd* (3.utgave, revidert desember 2018). Lundblad Media AS
- [5] Fjellheim, A. J. (2009). *Vannkvalitet i et kommersielt resirkuleringsanlegg for laks*. Hentet 26. April 2021 fra [https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2009\\_786967.pdf](https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2009_786967.pdf)
- [6] Fjellheim, J.A., Erga-Hess. O., Attramadal, K. & Vadstein. O. (2016) *Resirkulering av vann i settefiskproduksjon* (2.utgave, 2016). ISBN: 978-82-577-6862-1  
[https://folk.ntnu.no/skoge/diplom/prosjekt19/more-info-on-projects/RAS/7127-2017%20-%20RAS%20guide\\_NO\\_low.pdf](https://folk.ntnu.no/skoge/diplom/prosjekt19/more-info-on-projects/RAS/7127-2017%20-%20RAS%20guide_NO_low.pdf)
- [7] Terjesen, B, F. & Rosseland, B.O (u.å). *Produksjon og giftighet av ammoniakk hos fisk*. Hentet 26.april.2021 fra <https://www.nofima.no/filearchive/produksjon-og-giftighet-av-ammoniakk.pdf>
- [8] HACH (18. april.2020) *What is the difference between the turbidity units NTU, FNU, FTU and FAU? What is a JTU?* Hentet 18. Mai 2021 fra [https://support.hach.com/app/answers/answer\\_view/a\\_id/1000336/~/what-is-the-difference-between-the-turbidity-units-ntu%2C-fnu%2C-ftu%2C-and-fau%3F-what](https://support.hach.com/app/answers/answer_view/a_id/1000336/~/what-is-the-difference-between-the-turbidity-units-ntu%2C-fnu%2C-ftu%2C-and-fau%3F-what)
- [9] Vannforskriften (2006) *Forskrift om rammer for vannforvaltningen* (LOV-2006-12-15-1446). Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-12-15-1446?q=ammonium>
- [10] Mattilsynet (u.å) *Akvakulturdriftsforskriften, Vannmiljø, fiskehelse og fiskevelferd*. [Lysbildefremvisning, lysbilde 8] Hentet 22. April 2021 fra <https://tekmar.no/wp-content/uploads/2016/08/M-Binde-Hva-sier-regelverket-17jan06.pdf>

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

- [11] Lind, M.B (2015) *Fluidpermeabelt luseskjørt (SalGard™) og fiskevelferd i oppdrett av atlantisk laks (Salmo Salar L.) i Nord-Norge*. [Masteroppgave, Universitetet i Tromsø]. Hentet 15.mai.2021 fra <https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/7749/thesis.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [12] Laksefakta. (23.august.2018). *Norske regler for miljø og oppdrett*. Hentet 22.05.21 fra <https://laksefakta.no/laks-og-miljo/norske-regler-for-miljo-og-oppdrett/>
- [13] Kryvi, H. & Totland, G.K. (1997). *Fiskeanatomi* (utg.1). Cappelen Damm AS
- [14] Figenschou, A., Hillestad, L (2019) *Effekten av turbiditet i RAS-anlegg på gjellehelse målt i antall slimceller i gjellene hos atlantisk laks i settefiskproduksjon*. [Fordypningsoppgave, Norges miljø- og biovitenskapelig universitet] Hentet 28.mars. 2021 fra <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2600639/FigenschouHillestad2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [15] Reimers, E., Døving, K.B (1992) *Fiskens fysiologi*. John Grieg (1992) Hentet 29.mars.2021 fra [https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb\\_digibok\\_2015073008080?page=21](https://www.nb.no/items/URN:NBN:no-nb_digibok_2015073008080?page=21)
- [16] Pedersen, B. (14.mai.2019) *ion*. Store Norske Leksikon. Hentet 24.mai.2021 fra <https://snl.no/ion>
- [17] Veterinærinstituttet (2019) *Fiskehelsesrapporten 2019 (nr. 5a/2020)* Hentet 29.mars.2021 fra <https://www.vetinst.no/rapporter-og-publikasjoner/rapporter/2020/fiskehelsesrapporten-2019>
- [18] Reijnen, J (23. februar.2020) *How does a sand filter work?* Royal Brinkman. Hentet 25.februar.2021 fra <https://royalbrinkman.com/knowledge-center/technical-projects/water-filter-technologies-horticulture/sand-filter>
- [19] Nordic Water (u.å) *Continuous filters*. DynaSand. Hentet 25. Februar.2021 fra [https://www.nordicwater.com/wp-content/uploads/2016/04/S1501-DynaSand\\_EN\\_web.pdf](https://www.nordicwater.com/wp-content/uploads/2016/04/S1501-DynaSand_EN_web.pdf)
- [20] Parkson Corporative. (8. januar.2014). *DynaSand Presentation*. Hentet 25.februar.2021 fra <https://www.youtube.com/watch?v=M2bf4AO51iY> [youtube]

- [21] Nesse, N. (20.Februar.2018). *Fluidisering*. Store Norske Leksikon. Hentet 27.april. 2021 fra <https://snl.no/fluidisering>
- [22] McCabe, W, Smith, J og Harriott, P. (2005). *Unit Operations of Chemical Engineering*. Mc Graw Hill. Hentet: 25. Mars 2021
- [23] Wikipedia. (u.å). *Reynoldstall*. Hentet 22.mars.2021 fra <https://no.wikipedia.org/wiki/Reynoldstall>
- [24] Cengel, Y.,A & Cimbala J.,M (2019). *Fluid Mechanics*. (4. Utgave) MC Graw Hill. Henter 10. Februar.2021
- [25] Johannessen, A, Christoffersen, Line og Tufte, Per Arne. *Forskningsmetode*, Abstrakt forlag 2011. Hentet 18.mai.2021
- [26] MSD Animal Health (u.å) *Aqui-S vet*. Hentet 24.05.2021 fra <http://sedasjon.msds-animal-health.no/produkter/aqui-s.aspx>
- [27] Grundvig, H., Alvestad, R. & Ulgenes, Y (2020). *Høy gjenbruk uten biofilter-et alternativ Ras-anlegg*". Hentet 23.05.2021 fra [https://alvestad.com/wp-content/uploads/2020/07/NF\\_2020\\_N2-p-62-64-Gjenbruk-uten-ras-Endelig.pdf](https://alvestad.com/wp-content/uploads/2020/07/NF_2020_N2-p-62-64-Gjenbruk-uten-ras-Endelig.pdf)
- [28] Calabrese, S., Nilsen, T.O., Kolarevic, J., Ebbesson, L.O.E., Pedrosa, C., Fivelstad, S., Hosfeld, C., Stefansson, S.O., Terjesen, B.F., Takle, H., Martins, C.I.M., Sveier, H., Mathisen, F., Imsland, A.K., Handeland, S.O. (2017): Stocking density limits for post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) with emphasis on production performance and welfare. *Aquaculture*. 468, Part 1, 363-370. Hentet 24.05.2021
- [29] Mæland, A.O. (2014). *Shaly Sand Petrophysics and its Impact on Full Field Reservoir Simulation*/ [Masteravhandling, Norges tekniske og naturvitenskapelige universitet] Hentet 24.05.2021. I fra [https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:S5IjjNssM8YJ:https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2445665/11269\\_FULLTEXT.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy+&cd=1&hl=no&ct=clnk&gl=no](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:S5IjjNssM8YJ:https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2445665/11269_FULLTEXT.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy+&cd=1&hl=no&ct=clnk&gl=no)



## Figurliste

Figur 1: Forskningsmodell over oppgaven. ....	- 2 -
Figur 2: Bildet av et originalt RAS-anlegg. ....	- 3 -
Figur 3: Modellen av pilot – testen til Litus Akva. ....	- 3 -
Figur 4: Ammonium – nitritt topp før ferdig modning av biofilter. ....	- 5 -
Figur 5: Bildet av hvordan gjellene ser ut. ....	- 10 -
Figur 6: DynaSand sin prototype av det selvvaskende sandfilter. ....	- 14 -
Figur 7: Laminær strømning(a) og turbulent strømning (b). ....	- 16 -
Figur 8: Trykktapet over partikkelsjiktet som funksjon av strømningshastigheten. ....	- 19 -
Figur 9: Normalfordelingskurve som viser gyldighetsområdet for $H_0$ . ....	- 20 -
Figur 10: Normalfordelingen og t-fordeling. ....	- 21 -
Figur 11: Innsiden av trommelfilteret til Litus Akva. ....	- 22 -
Figur 12: Pumpesumpen som ble brukt i pilot-testen, bildet er tatt på RASLab. ....	- 23 -
Figur 13: Bildet av trommelfilter oppe på pumpesumpen, bildet er tatt på RASLab. ....	- 23 -
Figur 14: Skisse av pumpen som ble brukt i pilot-testen. ....	- 24 -
Figur 15: Det selvvaskende sandfilteret som ble brukt i pilot- testen. ....	- 25 -
Figur 16: Bildet av CO2 lufteren som ble brukt i pilot-testen. ....	- 26 -
Figur 17: Fiskekaret som ble brukt i pilot-testen. ....	- 26 -
Figur 18: Strålerøret som er i karet. ....	- 27 -
Figur 19: Innsiden av avløpskassen. ....	- 27 -
Figur 20: Bildet av når gruppen var med på å bygge avløpskassen på RASLab. ....	- 28 -
Figur 21: Modnet biolegeme som lå i fiskekaret. ....	- 29 -
Figur 22: Prosessbildet fra blodprøver som ble tatt på fisken, tatt på RASLab. ....	- 30 -
Figur 23: Sentrifuge som skille blod og plasma, tatt på RASLab. ....	- 30 -
Figur 24: Gjelleprøver som ble tatt av vevsprøve fra gjellebue, tatt på RASLab. ....	- 31 -
Figur 25: Nitrifikasjonsverdier i vannet før fisken er i karet. ....	- 34 -
Figur 26: Ammonium ( $NH_4$ ) nivået i karet etter fisken har kommet ut i karet. ....	- 35 -
Figur 27: Nitritt ( $NO_2$ ) verdiene i karet etter fisken har kommet ut i karet. ....	- 35 -
Figur 28: Nitrat ( $NO_3$ ) verdiene i karet etter fisken har kommet ut i karet. ....	- 36 -
Figur 29: Gjennomsnittsvekten (gr) hos smolt av Atlantisk laks. ....	- 36 -
Figur 30: Gjennomsnittslengden (cm) hos smolt av Atlantisk laks. ....	- 37 -
Figur 31: Sammenligning av biomassetall mellom referanseverdier og målt biomasse. ...	- 37 -
Figur 32: Gjennomsnittet av SGR verdier tatt av 12 fisk. ....	- 38 -

Figur 33: Gjennomsnitt av K-faktor tatt av 12 fisk.....	- 38 -
Figur 34: Plasmaklor fra Litus Akva (prøve 1 og 2).....	- 40 -
Figur 35: Plasmanatrium fra Litus Akva (prøve 1 og 2).....	- 41 -
Figur 36: Gjelleprøvene (NKA) fra Litus Akva (prøve 1 og 2).....	- 42 -
Figur 37: TSS målinger gjort av vannprøver i Litus Akvas testanlegg. ....	- 44 -
Figur 38: Turbiditets målinger gjort av vannprøver i Litus Akvas testanlegg.....	- 44 -
Figur 39: Trykktap i selvvaskende sandfilter.....	- 45 -
Figur 40: Diagram som viser strømningshastigheten i ulike faser.. ....	- 46 -

## Tabeller

Tabell 1: Tabell over grenseverdier.....	- 8 -
Tabell 2: Normalverdier av ionene i blodplasma.....	- 11 -
Tabell 3: Funksjonsbeskrivelse av figur 6. ....	- 13 -
Tabell 4: Referanse verdiene fra det konfidensielle RAS-anlegget.....	- 34 -
Tabell 5: Oversikt over prøvene tatt av Litus Akva på plasmaklor og plasmanatrium. ....	- 39 -
Tabell 6: t-Test av plasmaklor fra Litus Akva (prøve 1 og 2) og ref.....	- 40 -
Tabell 7: t-Test av plasmanatrium fra Litus Akva (prøve 1 og 2) .....	- 41 -
Tabell 8: t-Test av gjelleprøver fra Litus Akva (prøve 1 og 2).....	- 43 -
Tabell 9: Teoretisk minimum fluidiseringshastighet .....	- 46 -

## Vedlegg 1: Tilveksttabell for fisk ved 12 grader, gjort i Excel

Tilveksttabell for 264 g fisk ved 12 grader:											
Antall fisk=		749,00		Karvolum (KBM) =			Liter spedevann pr kg fôr=			300	
Dag	Vekt (gram)	SGR	FF	Utfôringsprosent	Fôrbehov (kg)	Dødelighet	Antall fisk	Biomasse (kg)	Biomasse, tilvekst ( kg)	Tetthet (kg/m <sup>3</sup> )	
1	264,0	1,843	1	2,06 %		0,05 %	749,00	197,7		28	
2	268,9	1,843	1	2,06 %	3,54	0,05 %	748,63	201,3	3,5	29	
3	273,8	1,843	1	2,06 %	3,61	0,05 %	748,25	204,9	3,6	29	
4	278,9	1,843	1	2,06 %	3,67	0,05 %	747,88	208,6	3,7	30	
5	284,0	1,843	1	2,06 %	3,74	0,05 %	747,50	212,3	3,7	30	
6	289,2	1,843	1	2,06 %	3,80	0,05 %	747,13	216,1	3,8	31	
7	294,6	1,843	1	2,06 %	3,87	0,05 %	746,76	220,0	3,9	31	
8	300,0	1,673	1	2,06 %	3,94	0,05 %	746,38	223,9	3,9	32	
9	305,0	1,673	1	2,06 %	3,63	0,05 %	746,01	227,5	3,6	33	
10	310,1	1,673	1	1,90 %	3,69	0,05 %	745,64	231,2	3,7	33	
11	315,3	1,673	1	1,90 %	3,75	0,05 %	745,26	235,0	3,8	34	
12	320,6	1,673	1	1,90 %	3,81	0,05 %	744,89	238,8	3,8	34	
13	325,9	1,673	1	1,90 %	3,87	0,05 %	744,52	242,7	3,9	35	
14	331,4	1,673	1	1,90 %	3,94	0,05 %	744,15	246,6	3,9	35	
15	336,9	1,673	1	1,90 %	4,00	0,05 %	743,77	250,6	4,0	36	
16	342,6	1,673	1	1,90 %	4,07	0,05 %	743,40	254,7	4,1	36	
17	348,3	1,673	1	1,90 %	4,13	0,05 %	743,03	258,8	4,1	37	
18	354,1	1,673	1	1,90 %	4,20	0,05 %	742,66	263,0	4,2	38	
19	360,1	1,673	1	1,90 %	4,27	0,05 %	742,29	267,3	4,3	38	
20	366,1	1,673	1	1,90 %	4,34	0,05 %	741,92	271,6	4,3	39	
21	372,2	1,673	1	1,90 %	4,41	0,05 %	741,55	276,0	4,4	39	
22	378,4	1,673	1	1,90 %	4,48	0,05 %	741,17	280,5	4,5	40	
23	384,8	1,673	1	1,90 %	4,55	0,05 %	740,80	285,0	4,6	41	
24	391,2	1,673	1	1,90 %	4,62	0,05 %	740,43	289,7	4,6	41	
25	397,8	1,673	1	1,90 %	4,70	0,05 %	740,06	294,4	4,7	42	
26	404,4	1,543	1	1,90 %	4,78	0,05 %	739,69	299,1	4,8	43	
27	410,7	1,543	1	1,90 %	4,46	0,05 %	739,32	303,6	4,5	43	
28	417,0	1,543	1	1,90 %	4,53	0,05 %	738,95	308,1	4,5	44	
29	423,4	1,543	1	1,90 %	4,60	0,05 %	738,58	312,7	4,6	45	
30	430,0	1,543	1	1,90 %	4,67	0,05 %	738,22	317,4	4,7	45	
31	436,6	1,543	1	1,90 %	4,74	0,05 %	737,85	322,1	4,7	46	
32	443,3	1,543	1	1,73 %	4,81	0,05 %	737,48	326,9	4,8	47	
33	450,2	1,543	1	1,73 %	4,88	0,05 %	737,11	331,8	4,9	47	
34	457,1	1,543	1	1,73 %	4,95	0,05 %	736,74	336,8	5,0	48	
35	464,2	1,543	1	1,73 %	5,03	0,05 %	736,37	341,8	5,0	49	
36	471,3	1,543	1	1,73 %	5,10	0,05 %	736,00	346,9	5,1	50	

## Vedlegg 2: Målt trykktap og porøsitet i selvaskende sandfilter, gjort i Excel

Trykktap $\Delta p$			
Trykktap $\Delta p$ i selvaskende sandfilter			
	Gunstig	Maks tillatt	Målt
m	1	1,5	0,48
kPa	9,92	14,88	4,76
Porøsitet			
			ml
Volum vann			70
Volumet nødvendig for å fylle porerommene			29
Porøsitet			0,41
<p>Porøsiteten ble regnet ut ved å finne volumet i sandkornene i et lite glass. Testen ble utført på denne måten:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Måle høyden på sandkornsjiktet i glasset og merke av denne høyden</li> <li>2. Målte hvor mye vann som måtte til for å nå denne høyden (volum vann)</li> <li>3. Målte hvor mye vann som måtte til for å nå denne høyden med sandkorn i glasset. (volumet nødvendig for å fylle porerommene)</li> </ol>			

**Vedlegg 3: SGR tabell fra Skretting**

Vekt (g)	Temperatur															
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
50	0,677	0,904	1,128	1,346	1,555	1,752	1,934	2,099	2,244	2,365	2,46	2,527	2,561	2,561	2,524	
100	0,704	0,901	1,097	1,289	1,474	1,649	1,812	1,959	2,088	2,195	2,279	2,335	2,362	2,357	2,316	
200	0,642	0,810	0,978	1,144	1,305	1,458	1,601	1,73	1,843	1,937	2,009	2,056	2,075	2,064	2,019	
300	0,579	0,729	0,881	1,031	1,178	1,319	1,45	1,569	1,673	1,758	1,823	1,864	1,879	1,865	1,818	
400	0,526	0,663	0,803	0,943	1,081	1,212	1,335	1,446	1,543	1,623	1,683	1,721	1,732	1,715	1,667	
500	0,482	0,609	0,741	0,872	1,002	1,126	1,243	1,348	1,44	1,516	1,572	1,606	1,615	1,597	1,547	
750	0,399	0,509	0,624	0,74	0,856	0,967	1,072	1,167	1,25	1,318	1,367	1,395	1,4	1,378	1,327	
1000	0,341	0,438	0,542	0,647	0,753	0,856	0,952	1,04	1,116	1,178	1,222	1,247	1,248	1,224	1,171	
1250	0,298	0,386	0,48	0,578	0,676	0,771	0,861	0,943	1,014	1,072	1,112	1,134	1,133	1,107	1,052	
1500	0,265	0,345	0,432	0,523	0,614	0,704	0,789	0,866	0,933	0,987	1,025	1,044	1,04	1,013	0,958	
1750	0,239	0,313	0,394	0,479	0,565	0,65	0,73	0,804	0,867	0,918	0,953	0,969	0,965	0,936	0,88	
2000	0,219	0,287	0,362	0,442	0,524	0,604	0,681	0,751	0,811	0,859	0,892	0,907	0,901	0,871	0,814	
2500	0,189	0,2470	0,314	0,385	0,459	0,533	0,603	0,667	0,723	0,766	0,795	0,807	0,798	0,766	0,708	
3000	0,170	0,22	0,279	0,344	0,411	0,479	0,544	0,604	0,655	0,695	0,721	0,73	0,719	0,686	0,627	
4000	0,149	0,187	0,234	0,288	0,346	0,404	0,461	0,513	0,558	0,592	0,613	0,618	0,604	0,569	0,508	
5000	0,143	0,171	0,209	0,255	0,305	0,356	0,407	0,453	0,493	0,523	0,54	0,542	0,525	0,488	0,426	
6000	0,145	0,165	0,196	0,235	0,278	0,324	0,37	0,411	0,447	0,473	0,487	0,486	0,468	0,429	0,367	

Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

## Vedlegg 4: TSS verdiene ut ifra de ulike komponentene, gjort i Excel

Parameter:		5500	500	7000	Avløpskasse			Pumpesumpen			Eter trommefilter			Eter sandfilter			Sum TSS (mg/l)	
Dato	Vekt filter, før (g)	Vekt filter, etter (g)	Utrekning (mg/L)	Prosent av før	Vekt filter, før (g)	Vekt filter, etter (g)	Utrekning (mg/L)	Prosent av før	Vekt filter, før (g)	Vekt filter, etter (g)	Utrekning (mg/L)	Prosent av før	Vekt filter, før (g)	Vekt filter, etter (g)	Utrekning (mg/L)	Prosent av før		
29.03.2021	0,1167	0,11860	3,80	0,48														
01.04.2021	0,1170	0,11835	2,70	0,34														
06.04.2021	0,1160	0,11765	3,30	0,42														
08.04.2021	0,1167	0,11930	5,20	0,66														
13.04.2021					0,1172	0,11863	2,86	0,36	0,11760	0,11840	1,60	0,20	0,11750	0,11900	3,00	0,38	7,46	
20.04.2021					0,1180	0,11968	3,36	0,43	0,11700	0,11814	2,28	0,29	0,11680	0,11843	3,26	0,41	8,90	
27.04.2021					0,1175	0,11874	2,48	0,32	0,11700	0,11911	4,22	0,54	0,11610	0,11811	4,02	0,51	10,72	





Effekten ved å benytte selvvaskende sandfilter til partikkelfjerning og som biofilter

