

Ruben Strøm og Eline M. Folden

## Evaluering av proteinskimmer i RAS

Effekt ved implementering av proteinskimmer på turbiditet og fiskehelse og -velferd

Bacheloroppgave i Havbruksingeniør - BIHAV

Veileder: Bjørn Egil Asbjørnslett

Medveileder: Rolf Erik Olsen

Juni 2023



Ruben Strøm og Eline M. Folden

## **Evaluering av proteinskimmer i RAS**

Effekt ved implementering av proteinskimmer på turbiditet og fiskehelse og -velferd

Bacheloroppgave i Havbruksingeniør - BIHAV  
Veileder: Bjørn Egil Asbjørnslett  
Medveileder: Rolf Erik Olsen  
Juni 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for naturvitenskap  
Institutt for biologi



Kunnskap for en bedre verden



---

# Innholdsfortegnelse

<b>Tabelliste</b>	<b>iii</b>
<b>Figurliste</b>	<b>iii</b>
<b>Ordliste</b>	<b>iv</b>
<b>Forord</b>	<b>1</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>2</b>
<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>4</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	4
1.2 Problemstilling . . . . .	5
1.3 Avgrensning . . . . .	5
1.4 Struktur . . . . .	5
<b>2 Litteraturstudie</b>	<b>7</b>
2.1 Resirkulerende akvakultursystemer . . . . .	7
2.1.1 Komponenter i RAS . . . . .	9
2.2 Partikler og organisk materiale - fiskehelse og -velferd . . . . .	11
2.3 Proteinskimmer . . . . .	14
2.3.1 Effektiviteten og virkemåte til proteinskimmer . . . . .	15
2.3.2 Effekten av salinitet . . . . .	18
2.3.3 Bruk av Ozon i proteinskimmere . . . . .	19
2.3.4 Skumdannelse . . . . .	19
2.4 Fordeler og utfordringer med proteinskimmere i RAS . . . . .	20
2.5 Effektivitet av proteinskimmer for partikkelreduksjon i RAS . . . . .	21
2.6 Turbiditet . . . . .	21

---

2.7	Vannfarge . . . . .	23
2.8	Produksjonsdata . . . . .	24
2.8.1	Viktige parametre i RAS . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Problembeskrivelse</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>Metode</b>	<b>30</b>
4.1	Valg av metode . . . . .	30
4.2	Forskningsprosessen . . . . .	31
4.3	Kildesøk . . . . .	33
4.4	Behandling av historiske data . . . . .	33
4.5	Begrensninger . . . . .	34
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>35</b>
5.1	Partikler i RAS . . . . .	35
5.2	Implementering av proteinskimmer i RAS . . . . .	35
5.3	Behandling av eventuelle data etter implementering av proteinskimmer . . . . .	36
<b>6</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>37</b>
6.1	Effekter av finpartikler og turbiditet på fiskehelse og -velferd . . . . .	37
6.2	Effektene av implementering av proteinskimmer i RAS-anlegg . . . . .	39
6.3	Utfordringer med proteinskimmer i RAS . . . . .	41
6.4	Studiens relevans . . . . .	42
6.5	Videre arbeid . . . . .	42
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>44</b>
<b>8</b>	<b>Referanser</b>	<b>45</b>
	<b>Vedlegg</b>	<b>48</b>
	Vedlegg A - Litteraturliste . . . . .	48

---

## Tabelliste

1 Parametre RAS . . . . . 24

## Figurliste

1 Prinsippskisse for gjennomstrømningsanlegg . . . . . 7

2 Prinsippskisse for resirkulerende akvakultursystem (RAS) . . . . . 8

3 Flytskjema av de vanligste komponentene i et RAS-anlegg . . . . . 9

4 Proteinskimmer komponenter og virkemåte . . . . . 15

5 Gassboblens interaksjon med partikler . . . . . 17

6 Fra gassboble til skumboble med drenerende vannfilm . . . . . 20

7 FAU-turbiditetsmåling . . . . . 22

8 Aperturvinkel til FAU turbiditetsmåling . . . . . 22

9 Forskningsprosessen . . . . . 29

10 Forskningsprosessen . . . . . 31

---

## Ordliste

SS	Suspendert stoff
TSS	Total suspendert tørrstoff
RAS	Resirkulerende akvakultursystemer
TAN	Total ammonium nitrogen
AOB	Ammoniumoksiderende bakterier
NOB	Nitritoksiderende bakterier
DOC	Oppløst organisk karbon
ABS	Absorberende boble separasjon
FAU	Formazin Attenuation
CSV	Comma-Separated Values
Finpartikler	Partikler mindre enn maskestørrelsen til den mekaniske filtreringen



---

## Forord

Denne bacheloroppgaven er et avsluttende arbeid på den treårige bachelorgraden Havbruksingeniør ved NTNU Trondheim. Oppgaven ble skrevet våren 2023 av Ruben Strøm og Eline Moen Folden. Gjennom denne oppgaven har vi hatt muligheten til å fordype oss innen et spennende fagfelt og forskningstema.

Vi ønsker å rette en spesiell takk til Grieg Seafood, og spesielt Ragna Heggebø og Timo Rosche for deres samarbeid og bidrag til denne oppgaven. Uten deres innsikt og kunnskap samt tilgang til data, ville ikke denne studien vært mulig. Vi er takknemlige for deres bidrag og vilje til å støtte oss gjennom hele prosessen.

Videre ønsker vi å rette en hjertelig takk til vår veileder Bjørn Egil Asbjørnslett og biveileder Rolf Erik Olsen, for deres verdifulle veiledning, støtte og oppmuntring gjennom hele prosessen. Deres ekspertise, engasjement og tilbakemeldinger har bidratt til oppgavens utvikling og kvalitet. Videre takker vi våre medstudenter, venner og familie for deres innspill, støtte, oppmuntring og forståelse i løpet av denne utfordrende og lærerike perioden.

Til slutt ønsker vi å takke akademiske miljøer, fagpersoner, forfattere og forskere som har bidratt med sin kunnskap og publiserte arbeider, som har vært avgjørende for å danne et solid litteraturstudie.

Vi håper denne bacheloroppgaven vil bidra med ny innsikt og være til nytte for både akademiske miljøer og aktører innenfor oppdrettsnæringen. Videre håper vi at våre funn og konklusjoner vil inspirere til videre forskning, innovasjon og bærekraftig praksis i oppdrettssektoren.

Trondheim, 10. Juni 2023

**Ruben Strøm**

**Eline Moen Folden**

Ruben Strøm

Eline M. Folden

---

## Sammendrag

Resirkulerende akvakultursystemer (RAS) har økt i popularitet som en bærekraftig og effektiv metode for oppdrett av fisk. Dette er lukkede systemer hvor vannet kontinuerlig blir resirkulert gjennom ulike vannbehandlingskomponenter for å opprettholde en stabil vannkvalitet. Dette reduserer behovet for vannskiftning og minimerer miljøpåvirkningen sammenlignet med tradisjonelle oppdrettsmetoder. Formålet med bacheloroppgaven var å undersøke hvordan implementering av proteinskimmer påvirker vannturbiditet og nivåer av finpartikler i et RAS-anlegg, og hvilken effekt det har på vannkvalitet og fiskehelse og -velferd hos Atlantisk laks.

I oppgaven ble det brukt metodetriangulering for å få mer innsikt og en dypere forståelse av bruken av proteinskimmer i resirkulerende akvakultursystemer. Det ble utført et grundig litteraturstudie ved å undersøke eksisterende litteratur og forskning for å kunne si noe om forventet effekt ved implementering av proteinskimmer. Resultatene indikererte at høyere konsentrasjoner av suspenderte og oppløste partikler kan øke turbiditet og vannfarge, samtidig som de kan redusere effekten av desinfiserende behandlingsmetoder som UV og ozon. Finpartikler og turbiditet kan påvirke fiskehelsen både direkte og indirekte. Resultatene av studiet avdekket imidlertid motstridende forskning når det gjaldt den direkte påvirkningen av suspenderte partikler på fiskehelsen.

Oppgaven konkluderer med at implementering av proteinskimmer i resirkulerende akvakultursystemer har vist seg å være en effektiv metode for å redusere turbiditet og finpartikler i vannet. På grunn av begrenset litteratur og forskning er det usikkert hvordan turbiditet og finpartikler påvirker fiskehelse og -velferd i RAS-anlegg. Det er derfor viktig å utforske denne sammenhengen for å kunne sikre optimale miljøforhold, samt bidra til optimalisering av RAS som en bærekraftig og effektiv metode for oppdrett av atlantisk laks.

---

## **Abstract**

Recirculating aquaculture systems (RAS) have gained popularity as a sustainable and efficient method for fish farming. These closed systems continuously recycle water through various water treatment components to maintain stable water quality, reducing the need for water exchange and minimizing environmental impact compared to traditional farming methods. The aim of the bachelor's thesis was to investigate how the implementation of a protein skimmer affects water turbidity and levels of fine particles in a RAS, and its impact on water quality, fish health, and welfare in Atlantic salmon.

The thesis is based on methodological triangulation to gain insights and a deeper understanding of the use of protein skimmers in recirculating aquaculture systems. A comprehensive literature review was conducted to examine existing literature and research, in order to assess the expected effects of implementation of a protein skimmer. The results indicated that higher concentrations of suspended and dissolved particles can increase turbidity and water color, while also reducing the effectiveness of disinfection treatment methods such as UV and ozone. Fine particles and turbidity can have both direct and indirect effects on fish health. However, the study revealed conflicting research findings regarding the direct impact of suspended particles on fish health.

The study concludes that the implementation of protein skimmers in recirculating aquaculture systems has proven to be an effective method for reducing turbidity and fine particles in the water. Due to limited literature and research, it remains unclear how turbidity and fine particles affect fish health and welfare in RAS facilities. Therefore, it is important to explore this in order to ensure optimal environmental conditions and contribute to the optimization of RAS as a sustainable and efficient method for farming of Atlantic salmon.

---

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Akvakultur spiller en viktig rolle i møte med økende global matetterspørsel. Med stadig økende befolkning og begrensede ressurser øker behovet for bærekraftig og effektiv matproduksjon. For å sikre bærekraftig oppdrett av fisk er det nødvendig å kontinuerlig forbedre samt utvikle nye driftsmetoder og teknologier. I denne sammenhengen har resirkulerende akvakultursystemer (RAS) blitt mer og mer populært, grunnet deres potensiale til å minimere miljøpåvirkningen og øke produksjonseffektiviteten.

En fordel ved RAS-anlegg er at vannet kontinuerlig blir resirkulert og renses, noe som fører til redusert vannforbruk og dermed avhengigheten av naturlige vannressurser. Imidlertid kan det oppstå visse utfordringer i slike systemer, og en av dem er tilstedeværelsen av organisk materiale og partikler i vannet, noe som kan påvirke både fiskehelse og vekst negativt. Partikler kan føre til økt turbiditet i vannet og redusere vannkvaliteten, noe som igjen kan føre til nedsatt levevilkår hos fisken.

Proteinskimmere er en kjent teknologi som benyttes for å fjerne partikler fra vannet ved hjelp av skumming og luftbobler. Vi ønsker å utforske hvordan denne teknologien kan implementeres og optimaliseres i RAS-anlegg for å redusere turbiditet og finpartikler, som igjen kan ha positive effekter på vannkvalitet, fiskehelse, vekst og generell trivsel.

Denne bacheloroppgaven tar sikte på å undersøke og evaluere effekten av proteinskimmere, som et mulig tiltak for å redusere vannturbiditet, vannfarge og mengden finpartikler i RAS-anlegg. Vi har samlet inn eksisterende data fra et RAS-anlegg i samarbeid med Grieg Seafood. Disse dataene gir oss verdifull innsikt i vannkvaliteten før implementeringen av proteinskimmer. Ved å kombinere et grundig litteraturstudie med analyse av driftsdata før innsett av proteinskimmer, har denne bacheloroppgaven som mål å generere ny kunnskap om effektiviteten av proteinskimmere. Slik at komponenten kan benyttes som et verktøy for å forbedre vannkvalitet og fiskevelferd i akvakulturindustrien.

Gjennom denne oppgaven ønsker vi å gi et vitenskapelig grunnlag for implementering av proteinskimmere i RAS. Ved å nøye undersøke og analysere effekten av proteinskimmer, har vi som mål at oppgaven skal kunne bidra til forbedret fiskevelferd og vannkvalitet, økt fôringskapasitet og redusert belastning på anleggets komponenter. Gjennom grundige studier og evaluering av proteinskimmer sin virkemåte og effektivitet, ønsker vi å gi verdifull innsikt som kan hjelpe industrien med å implementere tiltak som har positiv innvirkning på operasjonell effektivitet og bærekraftig produksjon. Vårt overordnede mål er å fremme bærekraftig akvakulturpraksis og bidra til økt velferd og trivsel for fisk.

---

## 1.2 Problemstilling

***”Hvordan påvirker implementering av proteinskimmer vannturbiditet og nivåer av finpartikler i et RAS-anlegg, og hvilken effekt har dette på vannkvalitet og fiskehelse og -velferd hos Atlantisk laks?”***

Denne problemstillingen søker å utforske og evaluere potensialet til proteinskimmere som et tiltak for å redusere turbiditet og finpartikler i resirkulerende akvakultursystemer. Oppgaven tar sikte på å undersøke om implementering av proteinskimmer kan bidra til å bedre vannkvalitet, fiskevelferd og operasjonell effektivitet.

## 1.3 Avgrensning

Det er viktig å påpeke at denne bacheloroppgaven har noen avgrensninger som påvirker studiens omfang og presentasjon av resultatene. Det er viktig å merke seg at oppgaven fokuserer spesifikt på effekten av proteinskimmer på vannturbiditet, finpartikler, vannkvalitet og fiskevelferd i et RAS-anlegg. Andre aspekter ved akvakulturdrift, som for eksempel vannstrømning, fôringsteknikker samt andre vannbehandlingskomponenter- og systemer, er ikke inkludert i studien. Av denne grunn kan det være faktorer som påvirker resultatene, men som ikke blir hensyntatt og undersøkt i oppgaven.

Videre er det også viktig å merke seg at deler av resultat- og diskusjonskapitlene er konfidensielle på grunn av sensitive opplysninger knyttet til Grieg Seafoods driftsdata og informasjon. Dette er nødvendig for å respektere kontraktmessige forpliktelser mellom oppgavens forfattere, veiledere og bedriften som har deltatt i oppgaven. Visse detaljer og spesifikke funn vil derfor ikke bli presentert for allmennheten.

Til tross for disse avgrensningene, vil oppgaven gi en verdifull innsikt i bruken og effekten av proteinskimmere som et verktøy for å forbedre vannkvalitet og fiskevelferd i RAS-anlegg. Resultatene og diskusjonen som presenteres, er basert på tilgjengelig og offentlig litteratur og forskning som kan deles innenfor rammene av konfidensiellavtalen.

## 1.4 Struktur

Bacheloroppgaven er strukturert på en måte som sikrer en oversiktlig og sammenhengende presentasjon av forskningsarbeidet. I dette kapitlet presenteres oppgavens struktur samt gir en gjennomgang av de ulike kapitlene som utgjør oppgaven.

Etter innledningen presenteres litteraturstudiet. Dette kapitlet tar for seg relevant litteratur og forskning som er relevant for oppgaven. Kapitlet gir leseren en solid forståelse av det faglige fundamentet og de teoretiske konseptene som er viktige for å forstå

---

problemstillingen. Videre følger metodekapittelet, der valg av metode, forskningsprosessen, kildesøk og begrensninger beskrives. Etter metodekapittelet følger resultater, hvor resultatene fra studien blir presentert.

I diskusjonen blir resultatene og problemstillingen drøftet samt tolket ut fra litteratur og forskning. I denne delen presenteres også forslag til muligheter for videre arbeid og forskning. Til slutt presenteres konklusjonen, der de viktigste funnene fra studien blir oppsummert. Kapittelet gir også en oppsummering av studiens bidrag og betydning.

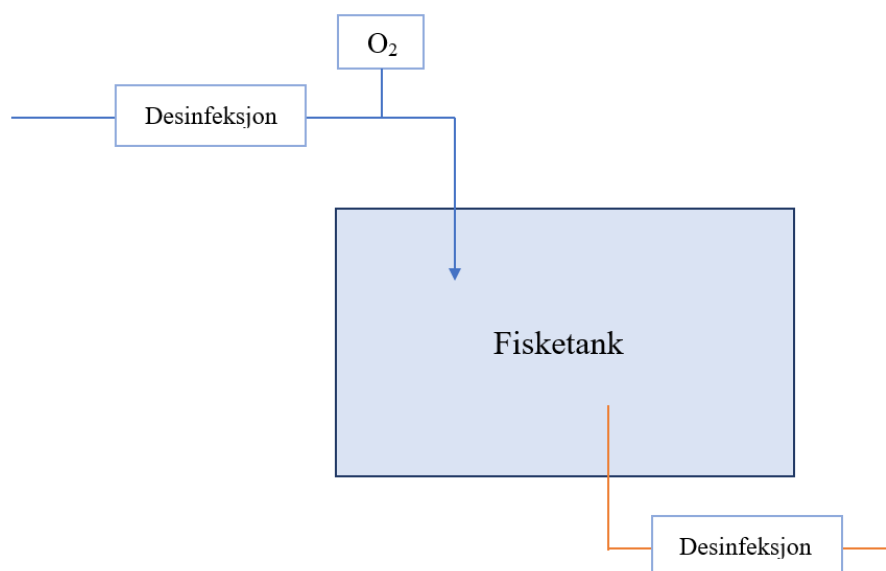
---

## 2 Litteraturstudie

Dette litteraturstudiet presenterer det teoretiske rammeverket som utgjør grunnlaget for bacheloroppgaven. Ved hjelp av relevant teori fra faglitteratur, forskningsartikler og tilsvarende rapporter for å belyse relevante temaer for oppgaven. Formålet med dette er å bygge et solid teoretisk rammeverk for å øke forståelsen rundt problemstillingen. Avsnittet vil gi en innføring i resirkulerende akvakultursystemer, konsekvenser av partikler og organisk materiale med hensyn på fiskevelferd, proteinskimming, vannturbulens og vannfarge samt informasjon om produksjonsdata.

### 2.1 Resirkulerende akvakultursystemer

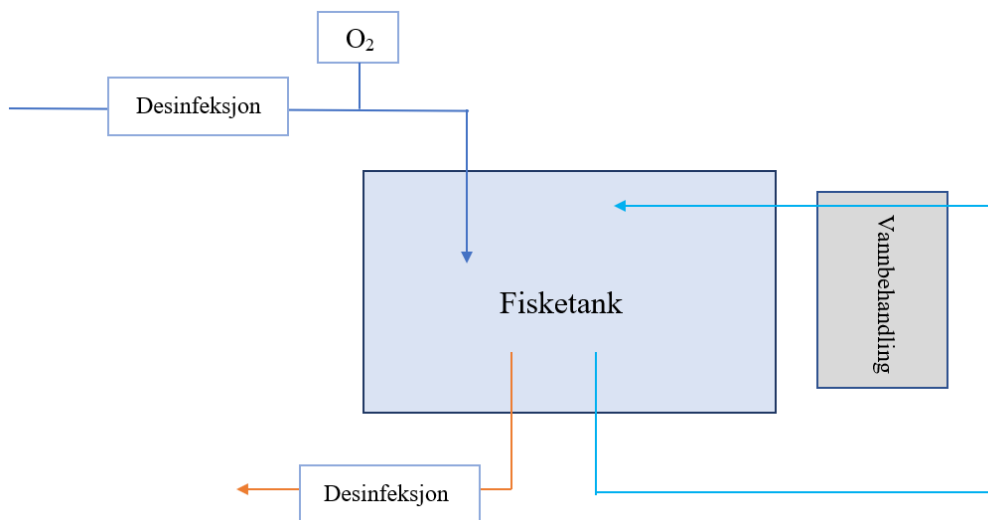
I løpet av de siste årene har det vært betydelig vekst innen den globale akvakulturindustrien. Dette har ført til forbedringer i teknologi som tillater redusert vannforbruk og utvikling av resirkuleringsystemer. Det finnes hovedsakelig to ulike produksjonsteknologier for landbaserte akvakultursystemer: gjennomstrømningsanlegg og resirkulerende akvakultursystemer. I gjennomstrømningsanlegg sirkuleres inntaksvannet gjennom fiskekarene og videre ut av systemet. Tradisjonelt ble hele vannmengden byttet ut kontinuerlig uten noen form for gjenbruk, men i dag designes slike systemer hovedsakelig med en viss andel gjenbruk av inntaksvannet, 30-70%. Vannet blir tilført oksygen samt luftes for CO<sub>2</sub> (Bjørndal mfl. 2018).



Figur 1: Prinsippskisse for gjennomstrømningsanlegg. Blå pil indikerer inntaksvann og oransje pil indikerer avløpsvann. Desinfeksjon er en komponent som ikke nødvendigvis er installert alle anlegg.

---

Resirkulerende akvakultursystemer er landbaserte oppdrettsanlegg som resirkulerer store deler av inntaksvannet. Resirkulasjon av vannet i et lukket system gjør det mulig å ha full kontroll over det biologiske miljøet fisken produseres i. I tradisjonelle RAS-anlegg renses utløpsvannet fra fiskekarene og brukes om igjen. Typisk resirkulasjonsgrad ligger på 95-99%, noe som betyr at mengden nytt vann som tilføres anlegget kan reduseres betraktelig. Resirkulasjonsgrad vil i dette tilfellet være andel resirkulert vann i forhold til nytt vann i den sirkulerende vannstrømmen i anlegget (Bjørndal mfl. 2018).



Figur 2: Prinsippsskisse for resirkulerende akvakultursystem (RAS). Mørkeblå pil indikerer inntaksvann, lyseblå pil indikerer resirkulert vann og oransje pil indikerer avløpsvann.

Et slikt system består av kar, et tilpasset vannbehandlingssystem og en pumpe for å transportere vannet rundt systemet. Vannbehandlingssystemet samt pumpen skiller resirkulerende akvakultursystemer fra tradisjonelle gjennomstrømningsanlegg. Vannbehandlingssystemet kan omfatte mekaniske, kjemiske og biologiske prosesser for å forbedre vannkvaliteten (Lekang 2020d).

RAS-anlegg kan etableres ved å bruke kontinuerlig vanntilførsel eller batchutveksling. Av disse metodene er den førstnevnte mest vanlig, da den opprettholder en stabil vannkvalitet. Resirkuleringsystemet kan også utformes på to ulike måter: et sentralisert system som behandler vann fra flere kar eller som et internt system som kun behandler vannet fra det enkelte karet. De fleste anleggene er basert på det sentraliserte systemet. Her fraktes utløpsvannet fra fiskekarene samlet i en rørledning og gjennom vannbeholdingskomponentene. Det ferdigbehandlet vannet returneres til fiskekarene via et felles innløpsrør, hvor også det foretas nødvendig vannutskiftning og inntak (Lekang 2020d).

I RAS-anlegg vil fiskens metabolisme føre til at fôret blir omgjort til CO<sub>2</sub>, TAN (total ammoniakk-nitrogen), avføring og urea som skilles ut i vannet. Disse stoffene kan

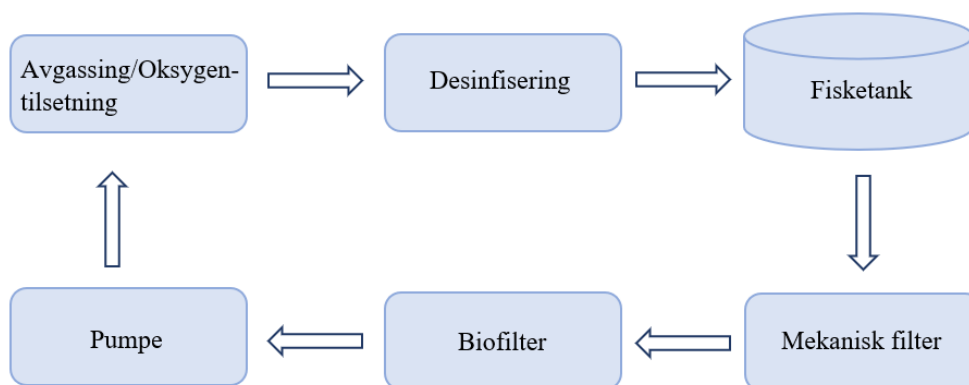


---

akkumuleres i vannet og nå skadelige konsentrasjoner for fisken. Høye konsentrasjoner av partikler i vannet vil ha negativ effekt på vekst og kan føre til økt dødelighet. Derfor er det viktig at vannbehandlingen i systemet kontinuerlig fjerner disse stoffene, samt tilføre oksygen for å opprettholde en optimal vannkvalitet for fisken (Attramadal mfl. 2016).

### 2.1.1 Komponenter i RAS

Rekkefølgen på vannbehandlingskomponentene og plassering av pumpe varierer mellom ulike RAS-leverandører. Enkelte bruker også komponenter som kombinerer ulike vannbehandlingsprosesser. Ulike lokaliteter og forutsetninger vil også ha en innvirkning på systemets design. Man kan generelt dele opp vannbehandlingssystemet i følgende hovedkomponenter: I) Mekanisk filtrering, II) Biologisk filtrering, III) Avgassing og oksygentilsetning og IV) Desinfisering (Attramadal mfl. 2016).



Figur 3: Flytskjema av de vanligste komponentene i et RAS-anlegg.

I et resirkuleringsanlegg er det viktig å fjerne partikler og stoffer fra vannet, slik at det kan gjenbrukes. Et mekanisk filter er en hindring som er satt inn i vannstrømmen for å samle opp partikler som er større enn hullene i filteret, mens vannet og mindre partikler passerer gjennom. Mekanisk filtrering fjerner større partikler som for eksempel avføring og fôrspill (Lekang 2020f). Renseeffekten til mekaniske filtre øker med økt innhold av suspenderte stoffer (SS) (Attramadal mfl. 2016).

For å unngå at vannstrømmen stopper opp når filteret blir fullt, må det renses. For å løse dette problemet finnes det forskjellige typer selvrensende filtre tilgjengelig. Selvrensing kan enten gjøres ved å vibrere filteret (en sjelden brukt metode) eller ved å erstatte et fullt filter med et nytt før det tas opp til overflaten og spyles med vann eller luft. Det er vanlig å bruke roterende filtre. Disse filtrene er delvis over og under vann, og renses når de er over vann. De to vanligste typene for mekanisk filtrering i RAS er trommelfilter og beltefilter (Lekang 2020f).

---

Biofilteret er en viktig del av resirkulerende akvakultursystemer, og består av bakterier som danner en biofilm som fjerner forurensninger fra fiskens avfall. Biofilteret har to hovedfunksjoner, nemlig å fjerne resterende fôrspill og avføring samt avfallsstoffer som fisken produserer. Bakteriell nedbryting av fôrspill og avføring bidrar til en dannelse av TAN i vannet. Avfallsstoffene fisken skiller ut og nedbryting av andre nitrogenholdige avfallsstoffer fører også til større andel TAN i vannet. TAN forekommer i to ulike former i driftsvannet:  $\text{NH}_3$  og  $\text{NH}_4^+$ , avhengig av pH-verdi. Ved høy pH vil det være mest av  $\text{NH}_3$ , ammoniakk. Ammoniakk er giftig for fisk, og ved høye konsentrasjoner er det svært skadelig for fisken. Derfor er det viktig at biofilteret fungerer optimalt for å opprettholde god vannkvalitet i systemet (Attramadal mfl. 2016).

I biofilteret foregår prosessen nitrifikasjon. Dette er en bakteriell prosess hvor TAN blir omdannes via nitritt ( $\text{NO}_2^-$ ) til nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ). Prosessen utføres av to grupper nitrifiserende bakterier; ammoniumoksidierende bakterier (AOB) som omdanner TAN til nitritt og nitrittoksidierende bakterier (NOB) som omdanner nitritt til nitrat. Ammoniumoksidierende arker bidrar også i denne prosessen ved å utføre komplett oksidasjon av ammonium til nitrat (Attramadal mfl. 2016).

For å oppnå optimal omdanning må forholdene ligge til rette for at de nitrifiserende bakteriene skal trives og utgjøre den største andelen av biofilteret. Disse bakteriene har en langsom vekstrate sammenlignet med de også tilstedeværende heterotrofe bakteriene, som også bruker organisk materialet som karbonkilde til vekst. Av denne grunn er det viktig at systemet ikke har for høyt innhold av organisk materiale, da dette vil føre til at de heterotrofe bakteriene utkonkurrerer de nitrifiserende. Det er også viktig å sikre god oksygentilgang til de nitrifiserende bakteriene (Attramadal mfl. 2016).

Fisken trenger oksygen for å kunne forbrenne næringsstoffene i føret og produsere energi. Dersom fisken utsettes for stress, vil den bruke mer oksygen. Stress kan oppstå som følge av dårlig vannkvalitet, hyppig håndtering, høy tetthet i bestanden og støy. For å opprettholde høy tetthet av fisk og samtidig sikre gunstige levevilkår, er oksygenstyring avgjørende i RAS-anlegg. I tillegg er oksygen viktig for vannbehandlingen, ettersom nitrifiserende bakterier på biofilteret trenger oksygen for å konvertere ammoniakk og for å overleve. Det finnes to hovedmåter å tilføre oksygen til vannet i RAS-anlegg: enten ved lufting eller ved injeksjon av ren oksygen. Oksygenering kan også oppnås ved en kombinasjon av begge metodene (Lekang 2020d).

Nitrat er sluttproduktet fra nitrifikasjonsprosessen i biofilteret, og er mindre giftig for fisk. I RAS-anlegg kontrolleres nitratnivået som regel ved vannutskifting, men anlegg med lav grad av vannutskifting kan ha behov for et denitrifikasjonsfilter. Dette filteret omgjør nitrat til nitrogengass, og må også fjernes fra driftsvannet. En lufter kan både fjerne  $\text{CO}_2$  og  $\text{N}_2$ , samt tilsette  $\text{O}_2$ . Lufteren fungerer ved å skape bevegelse og turbulens i vannoverflaten, slik

---

at overføringen av gasser fra vannet til luften skjer på en mest mulig effektiv måte. Dette oppnås ved å øke overflatearealet hvor det er kontakt mellom vann og luft. Dersom lufteren er designet til å tilsette oksygen kalles det gassing, og dersom den er designet for å fjerne nitrogen og karbondioksid kalles det degassing (Lekang 2020e).

CO<sub>2</sub> må fjernes fra vannet før det kan gjenbrukes, ettersom høy konsentrasjon kan påvirke pH-verdien i vannet samt fiskens oksygenopptak negativt. Lufting vil fjerne CO<sub>2</sub>, men det kan også være nødvendig med en prosess kalt stripping. Stripping innebærer at luft blåses inn i bunnen av en beholder som inneholder væske med høye CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner, og tar med seg CO<sub>2</sub> ut av væsken (Lekang 2020b).

Bakterie-, sopp- og virussykdommer kan potensielt sett skape problemer hos fisk i resirkuleringsanlegg. Desinfisering er et steg i vannbehandlingen i RAS-anleggene for å redusere antallet mikroorganismer i driftsvannet. Det kan også bidra til å redusere faren for sykdomsutbrudd. I oppdrettssammenheng er det i hovedsak ozon og UV som brukes for desinfisering av vannet. UV og ozon er effektive metoder for å redusere bakteriemengden i driftsvannet. Reduksjonen i bakterieantall vil imidlertid variere avhengig av ulike faktorer som organismens toleranse, dosering, mengden partikler og organisk materiale i vannet samt kontakttid. UV-stråling dreper bakterier og virus hovedsakelig ved å forårsake skade på organismenes DNA, noe som fører til at replikasjon og normal funksjon stoppes (Attramadal mfl. 2016).

Ozon er en veldig reaktiv oksidant som har evnen til å drepe både bakterier og virus. I tillegg brukes ozon til å forbedre vannkvaliteten ved å redusere farge og bidrar til at partikler lettere kan filtreres bort. Ozon ødelegger celleveggene til bakterier og er på denne måten dødelig. Lave ozon-konsentrasjoner er giftig for fisk, og det er derfor svært viktig at det ikke er noe restozon i vannet som tilføres fiskekarene. Restozon kan fjernes ved å la vannet passere gjennom aktive kullfiltre eller ved å luften vannet grundig (Attramadal mfl. 2016).

## **2.2 Partikler og organisk materiale - fiskehelse og -velferd**

Oppsamling av organisk materiale i RAS-anlegg er blant de største utfordringene i næringen. Moderne akvakulturanlegg er vanligvis utstyrt med teknologier for fjerning av faste partikler basert på partikkelsedimentering og filtrering. Som et resultat av forlengede retensjonstider i RAS, sammen med bruk av teknologier som hovedsakelig retter seg mot større partikler, føre til opphopning av fine partikler og oppløst organisk materiale i systemet. Dette kan skyldes fôring, fôrstøv, fiskeavføring og avskalling av biofilm fra overflater i systemet (Attramadal mfl. 2016).

Mikroorganismer spiller en viktig rolle for fiskehelsen i lukkede anlegg. Ulike typer bakterier kan påvirke fiskehelse og vannkvalitet både positivt og negativt, og det er derfor

---

viktig med en god, stabil og kontrollert mikrobiell sammensetning (Dahle mfl. 2020). Fine partikler er en utfordring på grunn av deres små størrelse og høye overflate-volumforhold, noe som gir en gunstig vekstbetingelse for bakterier. Økende partikkelbelastning kan føre til forhøyet infeksjonstrykk, som følge av økningen i overflateareal tilgjengelig for vekst av mikroorganismer, inkludert potensielle patogener. Suspenderte partikler kan ha innvirkning på effektiviteten til flere prosedyrer som brukes til å redusere og fjerne patogener. I studier utført i 2017 og i 2019 ble det observert en sterk korrelasjon mellom totalt partikkeloverflateareal og bakteriell aktivitet, i tre ulike systemer med ulik resirkulasjonsgrad. Det er sett at patogene virus og bakterier fester seg til partikler i avløpsvann. Dette kan være problematisk da enkelte patogener er knyttet til partikler og derfor delvis beskyttet mot noen former for behandling, som UV og ozon (Schumann og Brinker 2020).

Uønskede verdier av partikler og organisk materiale kan skjerme fiskepatogene mikroorganismer for UV-stråling. Dette reduserer effekten av UV-behandling og øker risikoen for sykdomsutbrudd. Høye partikkelnivåer kan også redusere effekten av desinfeksjon med ozon. For å øke effektiviteten på partikkelfjerning kan det være nyttig med konstant ozonering med lav dose. Partikler kan også føre til slamansamling i rør og kar (stillestående soner), noe som kan gi anaerobe soner og føre til oppblomstring av H<sub>2</sub>S (Attramadal mfl. 2016). Dannelsen av fiskegiftig hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S) kan føre til alvorlige og potensielt dødelige konsekvenser. For å kunne produsere H<sub>2</sub>S trenger bakteriene sulfat. Sjøvann inneholder omtrent 1000 ganger mer sulfat enn ferskvann, noe som gjør RAS-anlegg med sjøvannstilsetning langt mer utsatt for H<sub>2</sub>S-problemer (K. Attramadal mfl. 2019). I anaerobe soner samt i fravær av nitrat, reduseres sulfat til hydrogensulfid av heterotrofe sulfatreduserende bakterier (Schumann og Brinker 2020). Små mengder av slamansamling under rette forhold kan føre til betydelige mengder H<sub>2</sub>S (K. Attramadal mfl. 2019). Selv små konsentrasjoner av H<sub>2</sub>S kan være betydelige, og kan resultere i kronisk redusert vekstevne. Ferskvannsfisker er spesielt utsatt, og H<sub>2</sub>S-konsentrasjoner mellom 5 og 40 µg/l kan være dødelig. Marine fiskearter er noe mer tolerante (Schumann og Brinker 2020).

Organisk materiale fungerer som en næringskilde for heterotrofe bakterier, hovedsakelig i form av oppløst organisk karbon (DOC), som kan føre til oppblomstring av heterotrofe bakterier i systemet. Nedbrytning av organisk materiale fører til økt oksygenforbruk og produksjon av avfallsstoffer som CO<sub>2</sub> og ammoniakk. Atlantisk laks er spesielt utsatt for noe forhøyet nivåer av CO<sub>2</sub>, som direkte kan påvirke vekstresultatet (Schumann og Brinker 2020). Produksjon av avfallsstoffene kan også føre til redusert vannkvalitet og økt behov for vannutskiftning (Attramadal mfl. 2016).

I RAS-anlegg kan økt mengde partikler og bakterievekst også føre til høyt oksygenforbruk, tilstopping av biofiltre og potensiell reduksjon i nitrifikasjonskapasitet i biofiltret. Dette

---

skyldes konkurranse mellom autotrofe (nitrifiserende) og heterotrofe (organisk materieforbrukende) bakterier om oksygen (Attramadal mfl. 2016). Organisk materiale kan hemme biofilterytelsen ved å øke veksten og replikasjonen av heterotrofe bakterier, som har langt høyere veksthastighet og biomasse enn de ønskelige nitrifiserende bakteriene. De vil derfor konkurrere om plass, oksygen og næringsstoffer (Schumann og Brinker 2020). En redusert biofilterkapasitet kan hemme fjerningen av fiskegiftige stoffer, slik som ammoniakk og nitritt, som kan ha negative effekter på fiskens ytelse og helse (Attramadal mfl. 2016).

Mikroorganismer forbruker oksygen ved nedbryting av organisk materialet, mens de produserer karbondioksid. I en studie utført i 2002 varierte oksygenforbruket til de heterotrofe bakteriene mellom 140-500 g/kg fôr. Selv moderate konsentrasjoner av totalt suspendert stoff (TSS) kan i kommersielle systemer føre til betydelig økning i oksygenforbruket. I tanker med Atlantisk laks ble det observert at etterspørselen etter oksygen mer enn doblet seg fra omtrent 0,3 til 0,6 kg oksygen per kg fôr, når TSS-konsentrasjonene økte fra 3 til 10-12 mg/l (Schumann og Brinker 2020).

Partikkelbelastninger antas å være problematiske for fisk når de overskrider kritiske terskelnivåer. Dette er grunnet at de kan forårsake direkte fysiologisk skade på fiskevev og indirekte effekter som redusert sikt på grunn av økt turbiditet. Høye nivåer av partikler og organisk materiale kan føre til gjelleirritasjon hos fisken. Når partikkelstørrelsen reduseres, øker belastningen av suspendert stoff på fiskens gjeller betydelig. Dette skyldes at partiklene lettere kan trenge inn i gjellene og øke det totale overflatearealet som kommer i kontakt med gjellene. Dette fører igjen til uønskede effekter på fisken, som økt stress, redusert gjellefunksjon og forstyrre fiskens respirasjonssystem. Imidlertid avhenger alvorlighetsgraden av disse påvirkningene av flere faktorer, inkludert konsentrasjonen, størrelsesfordelingen og den kjemiske sammensetningen av partiklene, samt forekomsten av mikroorganismer som avhenger av partikler og organisk materiale. Partikler av mineralisk opprinnelse kan forårsake større fysisk skade på grunn av høyere tetthet, hardhet og skarphet sammenlignet med organiske materialer. I de fleste systemer, inkludert RAS, er suspensjonen av faste stoffer vanligvis holdt under 20-25 mg/l, som betraktes som kritisk for laksefisk. Partikkelbelastningen og nivået av suspenderte stoffer kan kontrolleres effektivt ved riktig systemutforming og bruk av egnet fôr (Schumann og Brinker 2020).

I et studie utført i 2017 ble det sett på påvirkningen av kortsiktig eksponering for fine uoppløste partikler, som primært besto av avføring. Studiet ble utført på regnbueørret i RAS, under kontrollerte forhold. Fisken ble eksponert for TSS-konsentrasjoner på mer enn 30mg/l over en periode på 15 dager. Alle andre vannparametrene ble opprettholdt under anbefalte nivåer. På slutten av forsøksperioden ble det gjort ulike tester, inkludert histologisk analyser av gjellene og stressparametere. Verken gjelle- eller stressprøvene avslørte noen form for negativ innvirkning på fisken. Det ble utført et oppfølgingseksperiment som testet effekten av

---

eksponering over åtte uker med TSS-konsentrasjoner mellom 30-70 mg/l, som er langt over anbefalte nivåer. Igjen var det ingen tilsynelatende innvirkninger på verken fiskeytelse eller fiskehelse (Schumann og Brinker 2020).

Turbiditet varierer etter konsentrasjon, form og størrelsesfordeling av partikler. De rapporterte effektene på fiskeatferd er noe ambivalent, men i akvakultur hvor effektiv fôring er viktig, kan grumsete vann føre til redusert fôropptak. Dette gjelder spesielt hos visuelt orienterte rovdyr inkludert de fleste laksefiskene i oppdrett. Det ble også rapportert endringer i fôringsatferd assosiert med forhøyet nivåer av partikler, der økt turbiditet i tankene førte til forsinket fôropptak (Schumann og Brinker 2020).

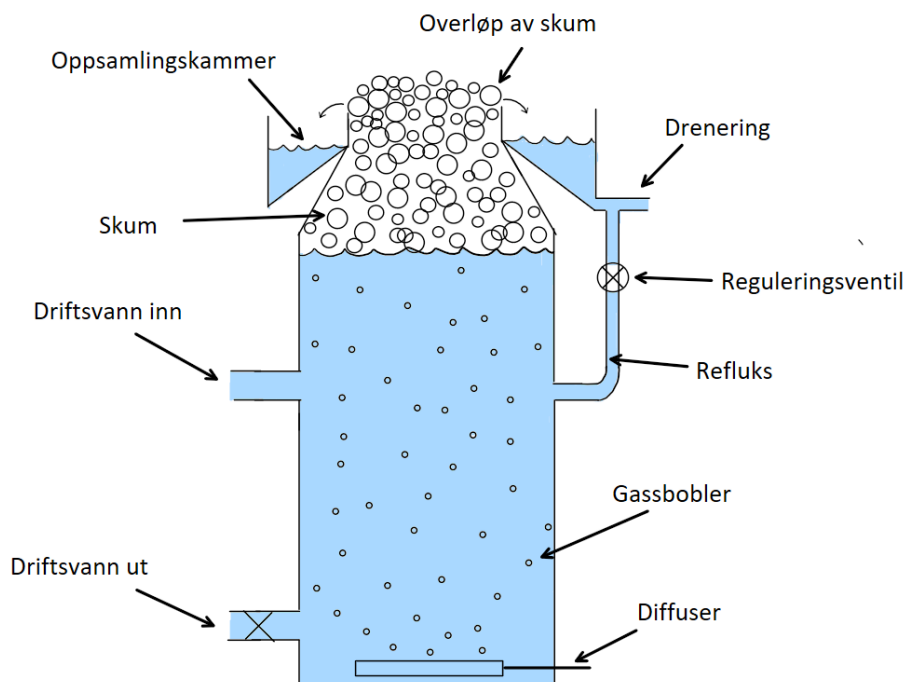
I RAS-systemer kan partikler og organisk materiale føre til negative konsekvenser for både fisk og systemet. Tilstedeværelse av partikler påvirker også systemytelsen, og øker risikoen for sammenbrudd i systemkomponenter. Partikkelavsetninger kan tette rør og pumper og kan begrense funksjonaliteten til følsomme komponenter som for eksempel overvåkningssonder. Slike sammenbrudd øker risikoen for teknisk svikt og fiskedød (Schumann og Brinker 2020). Det er derfor viktig å sørge for god kontroll av organisk materiale og partikkelinnhold i resirkuleringsanlegg for å opprettholde en stabil og god vannkvalitet, systemfunksjon samt fiskevelferd. Både mekanisk filtrering og proteinskimming kan benyttes til partikkelfjerning, og jevnlig vedlikehold av filter og biofilter er viktig for å sikre optimal og effektiv ytelse (Attramadal mfl. 2016). Implementering av effektive teknologier for partikkelfjerning og kontroll av organisk materiale er avgjørende for å sikre god vannkvalitet og fiskevelferd i RAS-systemer (Schumann og Brinker 2020).

### **2.3 Proteinskimmer**

Proteinskimming, også kalt skumfraksjonering eller skumflotasjon, er en prosess som fjerner partikler fra forurenset vann. Gjennom prosesser, som beskrives senere i litteraturstudiet, kan en proteinskimmer danne et lag av skum som inneholder en forhøyet konsentrasjon av partikulære forurensninger. Dette skummet kan så fjernes slik at konsentrasjonen av partikler i vannet går ned. Drenering av skummet med partikulære forurensninger til avløp vises i figur 4. I akvakulturanlegg er formålet til proteinskimmere å fjærene partiklene som går gjennom den mekaniske filtreringen (Lekang 2020c). De mekaniske filtrene i et typisk akvakulturanlegg har maskestørrelse på 20-100  $\mu m$  avhengig av om de filtrerer inntaksvann, resirkulert vann eller avløpsvann (Lekang 2020f). Partikler som er mindre enn maskestørrelsen på filtrene blir ikke fanget opp. Disse fine partiklene kan derimot skilles ut av vannet ved hjelp av en proteinskimmer (Lekang 2020c).

En vanlig virkemåte til en proteinskimmer er at det introduseres komprimert luft ved bunnen av en vannsøyle, og når disse gassboblene stiger til overflaten kolliderer de

med partikler, kolloider og oppløste stoffer. Gassboblene kan da feste seg til overflaten, absorbere eller kolliderer med disse uønskede partiklene, og med dette bevege forurensningen oppover i vannsøylen. Disse prosessene er en del av absorberende boble separasjon (ABS). ABS skiller mellom assistert eller naturlig flytning, der assistert flytning er tilsetning av kjemikalier eller gassbobler i væsken. Proteinskimmere som benytter seg av ABS har vært brukt i flere tiår i kjemisk prosessindustri, næringsmiddelindustri, farmasøytisk industri, gruveindustri og for behandling av kommunalt og industrielt avløpsvann. Proteinskimming blir stadig mer vanlig i akvakulturanlegg for innløpsbehandling, i resirkuleringsystemer og for avløpsvannbehandling. Dette er grunnet at det er et system som har få bevegelige deler og er en kostnadseffektiv måte å redusere små partikler, kolloider og oppløste stoffer som trenger gjennom den mekaniske filtreringen i grovfiltrere (Lekang 2020c).



Figur 4: Skisse av virkemåte til proteinskimmer med navngitte komponenter. Inspirasjon til skisse hentet fra boken Aquaculture Engineering av Odd-Ivar Lekang (Lekang 2020a)

### 2.3.1 Effektiviteten og virkemåte til proteinskimmer

Effektiviteten til en proteinskimmer avhenger av en rekke faktorer som temperatur, partikkelstørrelse, tettheten til partiklene, partikkelform, salinitet, gassboblestørrelse, potensialdifferanse, den kjemiske sammensetningen til det suspenderte stoffet i vannet samt mer. Siden det er mange faktorer med komplekse matematiske, kjemiske og fysiske sammenhenger er det vanskelig og teoretisk optimalisere en proteinskimmer. Faktorene nevnt over påvirker hverandre, og for å finne de optimale driftsforholdene til

---

en proteinskimmer kreves det derfor kunnskap innenfor mange felt. Det er vanlig å skille mellom de tre ulike måtene som gassboblene i en proteinskimmer interagerer med partikler i vannet. Disse tre metodene er at I) gassboblene knytter seg til partikkelen, II) gassboblene kolliderer med partikkelen eller III) gassboblene absorberer partikkelen (Lekang 2020c).

Separasjon av partikler i en væske, ved hjelp av at gassboblene fester seg til partikkelen og flyter den til overflaten, styres av en rekke av faktorer som nevnt over. Sannsynligheten for at en gassboble og partikkel fester seg til hverandre i vannsøylen økes når hastighetsforskjellen mellom gassboblen og partikkelen er lav (Lekang 2020c). Synkehastigheten til nært sfæriske partikler, samt stigningshastigheten til gassbobler, med diameter under  $125 \mu m$  kan med stor nøyaktighet beskrives etter en omskrivning av Stoke's lov (Gulliver mfl. 2010) (Gregersen 2021). Den omskrevde likningen kan sees i likning 1. For partikler eller gassbobler som har diameter over  $125 \mu m$ , gir likning 1 en for lav synkehastighet for partikler og en for lav stigningshastigheten for gassbobler (Gulliver mfl. 2010) (Lekang 2020c).

$$V = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_L - \rho)}{18\mu} \quad (1)$$

$V =$  hastighet til gassboble/partikkel

$g =$  gravitasjonskonstanten

$d =$  diameter til gassboble/partikkel

$\rho_L =$  massetetthet væske

$\rho =$  massetetthet gassboble/partikkel

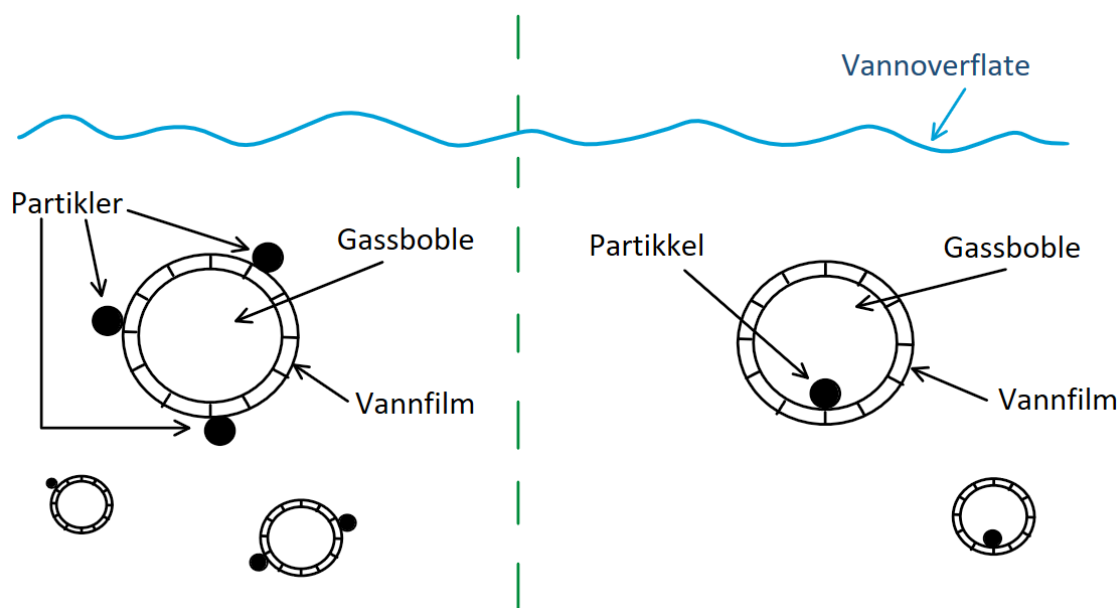
$\mu =$  dynamisk viskositet væske

Fra likning 1 ser man at massetettheten og diameteren til partikkelen og massetettheten og viskositeten til vesken er variablene som avgjør synkehastigheten til nært sfæriske partikler med diameter under  $125 \mu m$  (Gulliver mfl. 2010). Siden vannet i landbaserte akvakulturanlegg holdes innenfor et veldig smalt temperaturområde, er det ikke store forskjeller i tettheten eller den dynamiske viskositeten til vannet (Kestin mfl. 1978) (Attramadal mfl. 2016). En kan derfor si at synkehastigheten til partiklene i akvakulturanlegg hovedsakelig er forskjellig grunnet varierende diameter og massetetthet til partiklene. For gassboblene blir dette enda mer forenklet da det er liten variasjon i massetettheten til gassboblene. Dette gjør at endringer i stigningshastigheten til gassboblene under  $125 \mu m$  i væskesøylen hovedsakelig skyldes diameteren på gassboblene. Siden hastighetforskjellen mellom gassbobler med liten diameter og partikler er mindre enn for gassbobler med større diameter, vil sannsynligheten for at partiklene fester seg til gassboblene være større. En ulempe med gassbobler med mindre diameter er at de har mye mindre evne til å flyte partiklene opp i væskesøylen. Der en gassboble med større diameter klarer å flyte opp en partikkel grunnet økt oppdrift, er det ikke sikkert en gassboble med



mindre diameter klarer dette (Lekang 2020c).

Partikler i akvakulturanlegg er typisk svakt negativt ladet, noe som gjør at partiklene frastøter hverandre og dermed hindres flokkulering. Dette gjør at de fleste partikler som er mindre enn maskestørrelsen i det mekaniske filteret ikke blir filtrert ut og går i loop til de tilfeldig blir skylt ut i avløpsvannet (Lekang 2020c). Gassbobler av luft, som mest vanlige gassen brukt i proteinskimmere i akvakultur, er også svakt negativt ladet. Dette fører til en svak frastøtende kraft som delvis hindrer at gassbobler av luft og partikler å feste seg til hverandre (Jia mfl. 2013). Overflateladningen til partiklene kan nøytraliseres ved tilsetning av koaguleringskjemikalier. Disse kjemikaliene har svært god effekt til en lav kostnad. Men bruken av disse er svært begrenset, ettersom koaguleringskjemikaliene består av metallsalter som i lave doser kan være svært giftige for fisk (Lekang 2020c). Disse metallsaltene kan med stor effekt brukes for å behandle avløpsvann der større doser kan benyttes (Heiderscheidt mfl. 2020). Organiske polymerer brukes og til å øke graden av flokkulering, men disse er dyrere i bruk. Ved for store doseringer av polymerer kan det også ha ingen effekt. Dette skjer ved at polymerene kan dekke en partikkel helt slik at det ikke er noe plass til å feste seg for polymerer som allerede har en partikkel festet til seg. Vannet i RAS inneholder også noen naturlige polymerer i form av proteiner, karbohydrater og lipider. Slike naturlige polymerer har mindre effekt enn utvalgte eller designede polymere som er bedre egnet til å fungere som koaguleringsmiddel (Lekang 2020c).



Figur 5: Gassbobler og interaksjon med partiklene i vann. Venstre side viser partikler festet til utsiden av gassboblene, mens høyre side viser partikler absorbert av gassboblene. Inspirasjon til skisse hentet fra boken Aquaculture Engineering av Odd-Ivar Lekang (Lekang 2020a)

---

For små partikler bestående av hydrofobiske eller amfipatiske molekyler er disse mer tiltrukket av overflaten mellom gass og vann, enn å være omringet av vannmolekyler. Stoffene som disse partiklene består av kalles ofte for overflateaktive stoffer. Normalt er disse partiklene så små at de gjennom Brownske bevegelser og diffusjon fester seg til overflaten av gassboblene eller vannoverflaten. Mange av de organiske avfallsstoffene som utgjør de uønskede partiklene i RAS består av slike hydrofobiske eller amfipatiske molekyler. Eksempler på disse er urea, proteiner, aminosyrer, fosfater, humussyrer, aminer og fettsyrer. Det finnes derimot noen stoffer som består av molekyler som har en hydrofobisk struktur som gjør at de ikke fester seg til gassbobler (Lekang 2020c).

Når gassboblene stiger i veskesøylen, kan de også absorbere partikler for å så flyte de opp mot overflaten. Absorpsjonen av partiklene kan skje ved tilfeldige kollisjoner, men kan å skyldes et fenomen knyttet til Henryloven. Ved å oversaturere væsken med gass når væsken er under trykk sier Henryloven at det vil dannes gassbobler når trykket i denne væsken faller. Den tilgjengelige overflaten på suspenderte partikler kan da gjøre det lettere for disse boblene og dannes. Dette kan da igjen medføre at gassboblene som dannes absorberer den suspenderte partikkelen og flyter denne opp i væskesøylen (Lekang 2020c).

Partikler kan også bli hjulpet mot vannoverflaten ved å kolliderer med gassboblene i væskesøylen. Kollisjoner mellom gassboblene og partiklene avhenger ikke av å feste seg, og fungerer dermed for alle partikler som befinner seg i vannet. Diameteren på gassboblene vil da ha mye å si for hvor mye kinetisk energi som overføres til partiklene. Som nevnt over bestemmer diameteren på gassboblen under like vannforhold stigningshastigheten til boblen. En større gassboblediameter er dermed gunstig for å overføre mer kinetisk energi i en kollisjon med en partikkel. Selv om stigningshastigheten er viktig, er det også viktig med overflatearealet til gassboblene. Overflaten til gassboblene er det som kommer i kontakt med partiklene i en kollisjon. Skal man tilsette et fiksert volum gass oppnår man større samlet overflateareal ved å danne mindre gassbobler, og dermed en større sannsynlighet for å kolliderer med partiklene i vannsøylen. Diameteren på gassboblene har dermed mye å si for effekten av kollisjoner mellom gassboblene og partiklene (Lekang 2020c).

### **2.3.2 Effekten av salinitet**

Det har vist seg at salinitetsnivåene i RAS har påvirkning på partikkelfjerning ved hjelp av proteinskimmer. Diameteren til gassboblene som dannes blir påvirket av saliniteten. Under samme forhold har gassbobler av luft som dannes i sjøvann bare  $\frac{1}{4}$  av diameteren til gassboblen dannet i ferskvann (Lekang 2020c). Dette har en innvirkning på proteinskimmerens evne til å fjerne partikler fra vannet. Studier viser at ved bruk av ferskvann er effekten av partikkelfjerningen til en proteinskimmer signifikant lavere, enn den partikkelfjernende effekten proteinskimmeren har om det samme ferskvannet tilsettes

---

salt. Det er dermed mulig å øke effektiviteten til en proteinskimmer i RAS ved å tilsette salt. Selv ved så lave salinitetsnivåer som 3‰ er det en signifikant forskjell på effektiviteten (Jafari mfl. 2022). Forsøk gjort viser at parr fra Atlantisk laks med en gjennomsnittlig vekt på 26 gram ikke har signifikant høyere dødelighet ved salinitetsnivå opp til 10‰ enn i ferskvann (Duston 1994). Men et annet forsøk gjort med Atlantisk lakse parr viser at veksten til parr med en snittvekt rundt 30 gram blir signifikant svekket i salinitetsnivåene 6, 13.1 og 20.2‰ (Handeland og Stefansson 2002).

### **2.3.3 Bruk av Ozon i proteinskimmere**

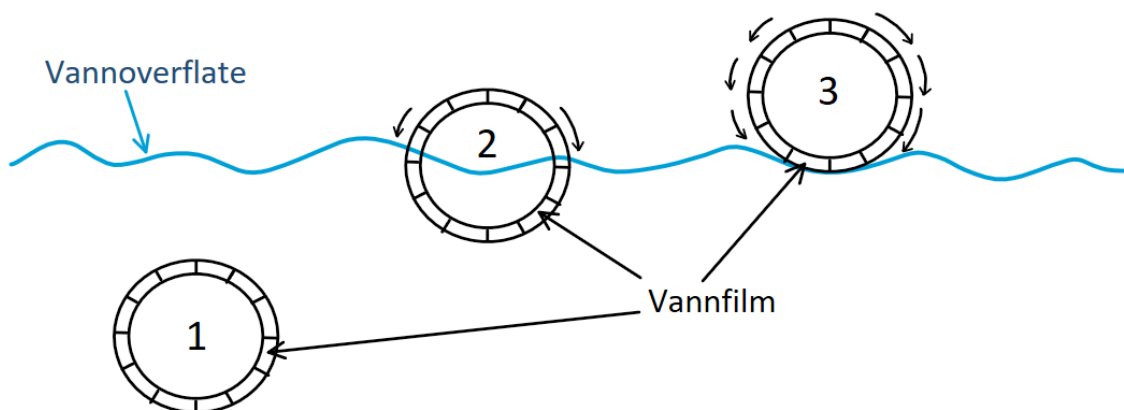
Gassen brukt for dannelse av gassbobler i veske påvirker også diameteren til de dannede gassboblene. Ved å bruke ozon er det mulig å danne gassboler med mindre diameter under de samme forholdene som gassbobler dannet av luft (Lekang 2020c). Siden gassbobler dannet med ozon har en liten diameter er også stigningshastigheten i vannsøylen lav, sammenheng vist i likning 1. Ozon er også en sterk oksidant som har stort potensiale som desinfeksjonsmiddel for å bedre vannkvaliteten. Behandler man vann i akvakultur med ozon kan man inaktivere patogene organismer, bakterier og virus, oksidere organisk avfall, nitritt og hydrogensulfid. Tilsetning av ozon kan også forbedre effektiviteten av andre vannbehandlingssteg i RAS som UV-behandling og biofiltrering (Gonçalves og Gagnon 2011). Ved bruk av ozon i vann der salinitetsnivåene høyere enn ferskvann er det viktig å være observant på restprodukter som fritt bromin og bromaminer (Stiller mfl. 2020). Disse restproduktene kan være giftige for Atlantisk laks og i verste fall føre til høy dødelighet (Lazado mfl. 2021).

### **2.3.4 Skumdannelse**

Dannelsen av et stabilt lag med skum er også viktig for å effektivt kunne fjerne skummet som inneholder partiklene som er fjernet fra vannet. Skummet består av "skumbobler" med varierende størrelse. Disse skumboblene blir dannet når gassboblene kommer opp gjennom vannoverflaten og er innkapslet av et tynt lag med vann. Dette vannlaget, som innkapsler gassboblene, dreneres ved gravitasjon og kapillarkrefter. Når tykkelsen på dette vannlaget når en kritisk verdi sprekker skumboblen, og partiklene som var fraktet opp i vannsøylen begynner igjen å synke. Overflateaktive midler, partikler og kollider hindrer prosessen med dreneringen av vannlaget rundt gassboblen slik at skumboblen bruker lengre tid på å sprekke. Det er også mulig bruke spesielle tilsetningsstoffer for å videre stabilisere skummet, og dermed forlenge tiden det tar før skumboblene sprekker. Salt kan og hjelpe med å stabilisere skummet slik at stabiliteten for skum ved salinitet på 10‰ er mer stabilt enn skum for ferskvann, så lenge alle andre forhold er like. I helt rent vann som ikke inneholder noen urenheter er det ikke mulig å danne skum. Reduseres mengden av dannet skum over

---

tid kan det være en indikasjon på vannet har mindre urenheter enn tidligere. Resirkulering av skummet internt i proteinskimmeren, som vises i figur 4, kan også bidra til å opprettholde et stabilt lag med skum (Lekang 2020c).



Figur 6: 1. gassboble suspendert i vann, 2. gassbole som har brutt gjennom overflaten og vannfilmen begynner og dreneres og 3. skumboble på på vannoverflaten der vannfilmen dreneres. Inspirasjon til skisse hentet fra boken Aquaculture Engineering av Odd-Ivar Lekang (Lekang 2020a)

## 2.4 Fordeler og utfordringer med proteinskimmere i RAS

Bruken av proteinskimmer i RAS har sine fordeler og utfordringer. Det introduseres store mengder gass, ofte i form av komprimert luft i proteinskimmere. Dette medfører at det blir et stort overflateareal mellom vannet og overflatene på gassboblene i vannsøylen. En proteinskimmer vil derfor fungere som en luffer for å kvitte seg og hindre akkumulering av CO<sub>2</sub> i vannet. Introdueringen av komprimert luft kan også by på problemer grunnet overmetning av gass. Vannet i proteinskimmeren er overmettet med gass, da den grunnleggende virkemåten til proteinskimmeren er å danne gassbobler. Totalgasstrykket er dermed høyere enn atmosfæretrykket i selve proteinskimmeren (Lekang 2020c). Om vann med totalgasstrykk over atmosfæretrykket introduseres i oppdrettskarene kan dette føre til bobledannelse i fiskens blod, øyne, finner og gjeller (Attramadal mfl. 2016). Ved eksponeringer av totalgasskonsentrasjoner over 110% kan parr fra Atlantisk laks utvikle akutt gassblæresyke og det vil være en høy risiko for økt dødelighet. Det er derfor viktig at totalgasstrykket i vannet utligner seg til atmosfæretrykket før det introduseres i oppdrettskarene (Pulg mfl. 2018).

Bruk av ozon kan redusere graden av farge i vannet og bedre sikten. Introduksjon av ozon i proteinskimmeren kan derfor virke positivt på vannkvaliteten (Lekang 2020c). Men ureagert ozon må hindres i å nå oppdrettskarene og biofilteret. Ozon som når oppdrettskarene kan

---

føre til store vevskader og høy dødelighet for fisk. Bakteriene i biofilteret har lav toleranse for ureagert ozon og ved høyere mengder risikerer man å drepe bakteriene og stå igjen med et ikke-fungerende biofilter (Gonçalves og Gagnon 2011).

## 2.5 Effektivitet av proteinskimmer for partikkelreduksjon i RAS

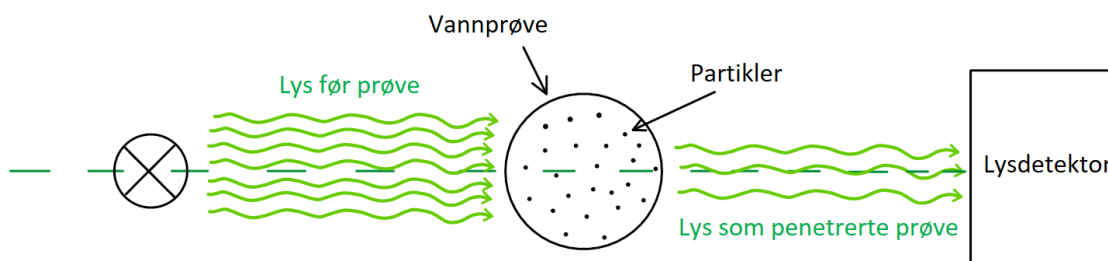
Et uavhengig feltforsøk gjort av Norsk institutt for vannforskning (NIVA) har vist at proteinskimmere er effektive til å fjerne partikler fra vannet i RAS-anlegg. NIVA gjorde et forsøk for firmaet MAT-KULING Vannbehandling AS som selger proteinskimmere. Feltforsøket ble gjennomført med en MAT-KULING ferskvanns proteinskimmer. Resultatene fra forsøket viser partikkelfjerning i partikkelområdene 0.8-32  $\mu\text{m}$ . Ved de laveste partikkelstørrelsene 0.8 og 1  $\mu\text{m}$  fjernet proteinskimmeren mindre enn 10% av partiklene. Etter hvert som partikkelstørrelsen økte fjernet proteinskimmeren gradvis større prosentandel av partiklene. I partikkelområde 6-10  $\mu\text{m}$  fjernet proteinskimmeren mer enn 25% av partiklene. Proteinskimmeren fjernet over 40% av partiklene i partikkelområdet 11-32  $\mu\text{m}$ . For partikkelstørrelser over 11  $\mu\text{m}$  ble det gjennomsnittlig målt under 100 partikler før proteinskimmer per partikkelstørrelse (MAMAT-KULING 2020).

En annen studie så på proteinskimmers effekt i fjerning av partikulært materiale og heterotrofe bakterier. I studien ble det testet tre forskjellige driftsmåter av proteinskimmeren. Disse tre driftsmåtene gikk ut på å kjøre proteinskimmeren 5, 15 og 30 minutter per time. Resultatene i studien viste at proteinskimmeren betydelig senket konsentrasjonen av partikler med diameter over 60  $\mu\text{m}$ . Proteinskimmeren senket også betydelig konsentrasjonen av partikler med diameter i partikkelområdet 0,22-1,2  $\mu\text{m}$ . For partiklene i partikkelområdet mellom 1,2-60  $\mu\text{m}$  var det en målbar reduksjon, men reduksjonen var ikke like stor som utenfor dette partikkelområdet. Studien konkluderte med at det var fordelingen av partikkelstørrelsene som hadde størst betydning på effekten til proteinskimmeren. Sammensetningen og mengden av de ulike partikkelstørrelsene er ulik fra RAS-anlegg til RAS-anlegg da innløpsvann, maskestørrelse på mekanisk filtrering og andre faktorer påvirker fordeling av partikkelstørrelsene (Brambilla mfl. 2008).

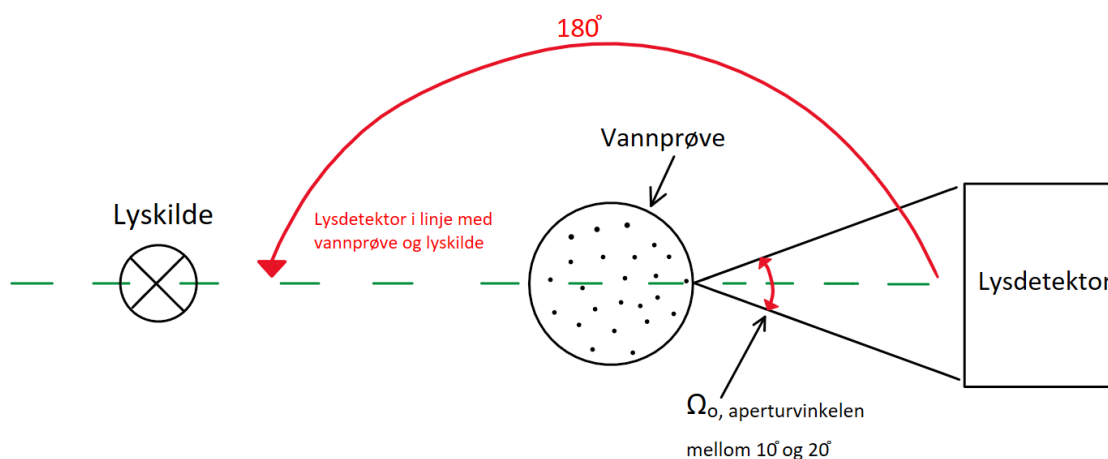
## 2.6 Turbiditet

Turbiditet er et mål på vannets klarhet, og angir hvor mye partikler og andre stoffer som er suspendert i vannet. Disse suspenderte partiklene påvirker passasjen av lys gjennom vannet ved at partiklene hindrer lysgjennomtrenging. Økes turbiditeten synker sikten i vannet, noe som hindrer observasjon av fisken samt struktur som bunnen av kar (Noble mfl. 2018). Ved å gjøre turbiditetsmålinger av vannet inn og ut av en proteinskimmer er det mulig å se om proteinskimmeren fjerner partikler fra vannet. I en studie ble en 65% forbedring av turbiditet

oppnådd gjennom proteinskimming mot kontrollmålingen (Jesus Gregersen mfl. 2021). Turbiditet kan oppgis med forskjellige måleenheter, der spesifikke måleteknikker angir hvilken måleenhet som skal oppgis (Kitchener mfl. 2017). Det som er likt for de standardiserte måleenhetene som brukes er at de blir kalibrert med standard formazinprøver spesifisert i NS-EN ISO 7027-1:2016. Formazin Attenuation Units (FAU) er en av måleenhetene som brukes for turbiditet. Når turbiditet blir oppgitt med måleenheten FAU spesifiserer dette at instrumentet måler lyset som lyser 180 grader gjennom vannprøven. Dette er illustrert i figur 7. NS-EN ISO 7027-1:2016 setter krav til instrumentet for måling av turbiditet med måleenheten FAU. Kravene er at I) instrumentet må ha en lyskilde med bølgelengder fra 830 til 890 nanometer, II) målevinkelen skal være i linje med lyskilden med et maksimalt avvik på  $\pm 2,5$  grader og III) aperturvinkelen, ( $\Omega_0$ ), i vannprøven bør være mellom 10 til 20 grader vist i figur 8 (Norsk Standard 2016).



Figur 7: Prinsippet bak turbiditetsmålinger med måleenheten FAU.



Figur 8: Illustrasjon av lyskilde i linje med vannprøve og lysdetektor for FAU-turbiditetsmåling. Anbefalt aperturvinkel mellom 10 til 20°.

I oppdrett av atlantisk laks er det ikke satt en øvre grense for turbiditet. Konsentrasjonen av total suspendert tørrstoff forteller om konsentrasjonen av partikler større enn  $1 \mu\text{m}$  i diameter. Turbiditet- og TSS-målinger er begge målinger som avhenger av partikkelinnholdet i vannet. Målinger for turbiditet avhenger også av størrelsesfordelingen

---

av partiklene, noe TSS-målinger ikke gjør. I motsetning til turbiditet finnes det anbefalinger for maksimal konsentrasjonen av TSS. Den anbefalte øvre konsentrasjonen av TSS for Atlantisk laks er satt til 15mg/l. Suspenderte tørrstoff kan bestå av både uorganisk og organisk materiale. Består det suspenderte tørrstoffet av organisk materiale kan oksygenforbruket øke (Noble mfl. 2018). Om TSS økes, økes som regel turbiditeten i vannet (Bash mfl. 2001). Turbiditetsmålingen har sine begrensninger da den ikke kan avgjøre om de suspenderte partiklene består av organisk eller uorganisk materiale. Målingen kan heller ikke si noe om fordelingen av størrelsen til partiklene i prøven (Kleizen mfl. 1995). Partikler i RAS fjernes ved hjelp av metoder som mekanisk filtrering, proteinskimmere og utbytting av vann. Slike metoder er med på å redusere turbiditeten til vannet (Lekang 2020c).

## 2.7 Vannfarge

Vannfarge er en vannkvalitetsparameter som er et resultat av løste og suspenderte partikler i vannet. Fargen på vannet kan si mye om hvilken type forurensing vannet inneholder og kan brukes som et parameter for å avgjøre vannkvalitet. Klart vann med lite løste og suspenderte partikler virker gjennomsiktig i mindre prøver. Vann som inneholder løst organisk materiale som humus, torv eller nedbrutt plantemateriale kan få en gul eller brun farge. Alger kan også påvirke vannfargen og farge vannet rødt, dypere gult eller grønt (Team 2009). For å avgjøre vannfarge skilles det mellom I) vannets tilsynelatende farge og II) vannets sanne farge. Forskjellen mellom disse er at for vannets tilsynelatende farge filtreres ikke prøven før man avgjør vannfargen. Vannets tilsynelatende farge påvirkes derfor av suspenderte partikler i vannet. Skal man avgjøre vannets sanne farge filtrerer man vannprøven gjennom en membran med poreåpning på 0,45  $\mu\text{m}$ , før en måling av lyssvekkelse gjennomføres ved hjelp av optiske instrumenter (Norsk Standard 2011). Vannfarge måles som platinaenheter som har benevnningen mgPt/l (Hongve 2018).

Effektiviteten til UV-stråling blir redusert med økende vannfarge. UV-stråling brukes i vannbehandling i RAS samt behandling av drikkevann for å uskadeliggjøre mikroorganismer. Mattilsynet opplyser at intensiteten til UV-stråling svekkes til 30% av sin originale styrke 50cm ned i vann med fargetall på 20 mgPt/l (Folkehelseinstituttet 2021). Reduksjon av vannfarge kan oppnås ved å tilsette ozon. Ved å tilsette ozon kan løste organiske stoffer oksideres til mindre og fargeløse molekyler. Forsøk gjort viser at ved tilsetning av ozon til en konsentrasjon på 5ppm kan vannfargen under gunstige forhold reduseres fra 80 mgPt/l til under 30 mgPt/l (O'Donovan og Bean 1965).

---

## 2.8 Produksjonsdata

I resirkulerende akvakultur systemer er det flere produksjonsdata som er viktige å overvåke for å sikre optimal produksjon og fiskevelferd. Dette inkluderer vannkvalitet, temperatur, fôringsmengde og fôr kvalitet, biomasse og dødelighet. Disse faktorene påvirker hverandre gjensidig, og endringer i en faktor kan påvirke hele systemet. Derfor er det viktig å ha god kontroll på produksjonsdataene og justere forholdene ved behov for å opprettholde et optimalt miljø for fisken og maksimere produksjonen (Attramadal mfl. 2016).

Tabell 1: Mattilsynet legger følgende størrelser til grunn som veiledende måleparametre for landbaserte settefiskanlegg med laks (Binde n.d).

Parameter	Verdier
pH innløp	6,2-6,8
Oksygenmetning i kar	Ikke over 100%
Oksygen (innløp)	Over 90% og maksimalt 120%
Oksygen (avløp)	Over 80%
Totalgassmetning (TGP) i karvann	Ikke over 100%
CO <sub>2</sub>	Under 15 milligram/Liter
Total organisk materiale	Under 10 milligram/Liter
Aluminium (labilt)	Under 5 mikrogram/Liter
Aluminium (gjeller)	Ikke over 20 mikrogram/gram gjelle (tørrvekt for utsett i sjø)
Nitritt (ferskvann)	Under 0,1 milligram/Liter
Nitritt (sjøvann)	Under 0,5 milligram/Liter
Total Ammonium Nitrogen (TAN)	Under 2milligram/Liter
Ammoniakk	Under 2 mikrogram/Liter

### 2.8.1 Viktige parametre i RAS

For å sikre optimal vannkvalitet er det flere parametre som bør overvåkes og holdes under kontroll. De viktigste parameterne er Ammoniakk og nitritt, pH-verdi, oksygeninnvå, temperatur, CO<sub>2</sub> og mengden organisk materiale. Ammoniakk er et ekskresjonsprodukt som dannes fra fiskens metabolisme, og skilles ut over gjellene. Det frigis også gjennom bakteriell nedbryting av organisk materiale. Som nevnt tidligere forekommer ammoniakk to ulike former; NH<sub>3</sub> og NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, avhengig av pH. Den uioniserte formen NH<sub>3</sub> er mest giftig for fisk, som medfører at vannets pH i hovedsak vil bestemme om en gitt TAN-verdi er giftig eller ikke for fisken. Uønskede verdier av ammoniakk kan påvirke respirasjon, hematologiske faktorer, vann- og ionebalanse samt vevsstruktur i gjeller, lever og nyre. Dette kan føre til stress og



---

reduisert vekst og overlevelse hos fisken (Attramadal mfl. 2016)

Nitritt er dannet i biofilteret, hvor nitrifiserende bakterier omgjør ammoniakk til nitritt og deretter til nitrat. Nitritt blir aktivt tatt opp i gjellene, i konkurranse med klorid. Ved høye verdier av nitritt i vannet, vil en del av kloridopptaket erstattes, og siden dette er et aktivt opptak, vil nitritt konsentrasjonen i blodet bli mange ganger høyere enn verdien i vannet. Høye verdier av nitritt er også uønsket da dette er giftig for fisken og kan føre til skade på gjellene og redusert oksygentransport i blodet. En kritisk konsekvens av nitrittakkumulering er oksidasjon av hemoglobin til metahemoglobin, som fører til lav oksygentransport evne i blodet. Mengden eksponering samt lengden er avgjørende for giftigheten til fisk. Nitrittgiftigheten blir påvirket av mengden oksygen i vannet, grunnet at nitritt reduserer blodets evne til å transportere oksygen. Av samme grunn vil temperatur og hvor aktiv/stresset fisken er vil også påvirke virkningen av nitritt (Attramadal mfl. 2016).

Høye nivåer av ammoniakk og nitritt kan oppstå på grunn av flere faktorer. Overføring av fisk kan føre til at det akkumuleres for mye organisk materiale i vannet, som kan føre til uønskede verdier av ammoniakk og nitritt. En annen faktor er redusert vannkvalitet, som kan oppstå av utilstrekkelig vannbehandling eller filtrering. For høy fisketetthet i karene kan også føre til opphoping av disse stoffene, da dette fører til mer produksjon av avføring og urea i vannet. En annen faktor kan også være utilstrekkelig oksygentilsetting, da dette kan påvirke bakteriene i biofilteret slik at de ikke fungerer optimalt (Attramadal mfl. 2016).

pH er et mål for vannets surhetsgrad. pH i en løsning er i mange tilfeller med på å bestemme ulike kjemiske forbindelser sin tilstandsform, og dermed også giftighetsgrad for fisken. De viktigste pH-avhengige forbindelsene i RAS er: aluminium,  $\text{NH}_3$  (ammoniakk) og  $\text{CO}_2$ . Av denne grunn er det ekstremt viktig med en stabil pH-verdi for en stabil vannkvalitet i RAS. Ønsket pH i RAS er rundt syv (nøytral) for å oppnå effektiv nitrifisering i biofilteret og samtidig sikre optimal fiskevelferd (Attramadal mfl. 2016).

Løselighet av en gass i vann er avhengig av flere faktorer, hvorav temperatur, salinitet, gassens egenskaper og gasstrykk spiller en viktig rolle. Total gassmetning i vannet vil være forholdet mellom totalt gasstrykk i vann og atmosfæretrykket (Attramadal mfl. 2016). Når vannet er mettet med gass, vil det ikke være plass til å løse opp mer av gassen i vannet, og det vil være en likevekt mellom gassen som er oppløst i vannet og gassen som er i kontakt med vannoverflaten. Problemer kan oppstå når totalgasstrykket i vannet er høyere enn gasstrykket i atmosfæren, og vannet er dermed overmettet med gass (Lekang 2020b). Dette kan føre til at bobler dannes i vannet og i fisken. Bobledannelse kan ha alvorlige konsekvenser for fisken, da det kan blokkere transport av blod i karene og forstyrre kroppens funksjoner (Attramadal mfl. 2016).

Ved høyere grad av overmetning vil bobler dannes i gjellene og øynene til fisken, og dette kan

---

føre til fysisk skade og sykdom (Attramadal mfl. 2016). Gassblæresyke er en sykdom som kan ramme fisk som oppholder seg i vann som er overmettet med gass (totalgassmetning). Dette er ikke en smittsom sykdom, men skyldes høye nivåer av gassovermetning som kan føre til irreversible skader og rask dødelighet hos fisken. For å unngå slike problemer i akvakultur, er det viktig å regulere gasstrykket og sørge for at vannet ikke er overmettet med gass. Dette kan oppnås ved å justere gasstrykket, temperaturen og saliniteten i vannet, samt å sørge for tilstrekkelig vannbevegelse og lufting i anlegget (Sæther 2016).

Ved lav bufferevne vil høye CO<sub>2</sub>-nivåer redusere pH i karvannet. Ved høy konsentrasjon av karbondioksid i driftsvannet reduseres fisken sin kapasitet for oksygenopptak samt syre- og basereguleringen. Dette skjer fordi konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i fiskens blod øker, noe som senker blodets pH og reduserer hemoglobinetts evne til å binde seg til oksygen. Tilstrekkelig med oksygen er avgjørende for å opprettholde en god vannkvalitet, da fisken trenger dette for å overleve og vokse. Blir oksygenivået i vannet for lavt kan det føre til redusert vekst, svekket immunforsvar og eventuell død. Det kan også føre til økt produksjon av giftige forbindelser som eks. ammoniakk og nitritt (Attramadal mfl. 2016).

Vannets temperatur er også viktig for god vannkvalitet, og bør overvåkes nøye. Temperaturen har direkte innvirkning på fiskens atferd, fysiologi og vekst. Høyere temperaturer øker metabolismen i fisken, som kan gi økt appetitt og vekst. Behovet for oksygen øker også ved økende temperaturer, og tilstrekkelig oksygen i vannet er derfor viktig. Lave temperaturer har motsatt virkning, og kan senke atferd, stoffskifte og appetitt, som fører til redusert vekst. Temperatur påvirker også biofilteret og nitrifikasjonsprosessen (Attramadal mfl. 2016).

Føringsmengden og førsammensetning påvirker mengden organisk materialet i driftsvannet og dermed vannkvaliteten. Overføring samt eller bruk av før med for høy andel uopløselig organisk materiale kan føre til økt mengde organisk materiale og partikler i vannet. Økning i føring kan også føre til økt produksjon av ekskresjonsprodukter hos fisken, som igjen fører til mer organisk materiale (Attramadal mfl. 2016).

---

### 3 Problembeskrivelse

Resirkulerende akvakultursystemer blir stadig mer anerkjent som en effektiv og bærekraftig metode for oppdrett av fisk. Dette innovative oppdrettssystemet består av vannbehandlingskomponenter som muliggjør resirkulasjon av vann. Dette betyr at opprettholdelse av god vannkvalitet i RAS er avgjørende for fiskehelse, velferd og trivsel. En av de viktigste faktorene som påvirker vannkvaliteten i RAS er mengden organisk materiale og partikler til stede i vannet. Høye nivåer av organisk materiale og partikler kan føre til nedsatt systemeffektivitet, redusert vannkvalitet, nedsatt oksygenopptak, økt risiko for sykdom og redusert fiskevelferd. Av denne grunn er det avgjørende å implementere effektive teknologier og metoder for fjerning av partikler.

I denne oppgaven er hovedfokuset rettet mot å adressere og håndtere utfordringen knyttet til forekomsten av fine partikler og turbiditet i akvakulturanlegg. Problembeskrivelsen som skal adresseres er følgende: ***”Hvordan påvirker implementering av proteinskimmer vannturbiditet og nivåer av finpartikler i et RAS-anlegg, og hvilken effekt har dette på vannkvalitet og fiskehelse og -velferd hos Atlantisk laks?”***.

Fjerning av organisk materiale og partikler i et RAS-anlegg er av avgjørende betydning både for systemfunksjonen og fiskevelferden. Når det gjelder slike anlegg er det flere aspekter som illustrerer hvorfor det er viktig å håndtere økte verdier av fine partikler og turbiditet. Økte verdier av organisk materiale og fine partikler kan ha en negativ innvirkning på systemytelsen i RAS. En av hovedutfordringene er at økt akkumulering av organisk materiale kan føre til en betydelig økning i den organiske belastningen i systemet. Dette kan ha negative konsekvenser for vannkvaliteten, inkludert økt karbondioksidkonsentrasjon og redusert oksygenmetning. Denne ubalansen kan påvirke fiskehelsen og systemytelsen negativt. I tillegg kan det redusere effektiviteten av vannbehandlingssystemer og føre til økt belastning på filtreringssystemer. Dette kan igjen resultere i redusert vekst, nedsatt forutnyttelse, økt sykdomsrisiko og generell dårligere produksjonsresultater.

I tillegg kan økte verdier av fine partikler føre til turbiditet i vannet, som begrenser lysgjennomtrengeligheten og reduserer tilgangen til lys. Dette har en direkte innvirkning på fiskevelferden, da fisken er avhengig av lys for å opprettholde en normal døgnrytme, finne mat og orientere seg i anlegget. Redusert synlighet som følge av turbiditet kan føre til stress, redusert forinntak og generell nedsatt trivsel hos fisken.

Fine partikler kan også føre til mekanisk irritasjon og skade på fiskes gjeller. Dette kan påvirke fiskens evne til å ta opp oksygen effektivt og kan føre til redusert respirasjonseffektivitet. Ved å fjerne fine partikler fra vannet kan man redusere risikoen for gjelleskader og sikre god gjellehelse hos fisken. Fine partikler kan også ha negativ virkning på fiskens hudbarriere og skjell, og kan forårsake mekaniske skader og irritasjon. Dette kan

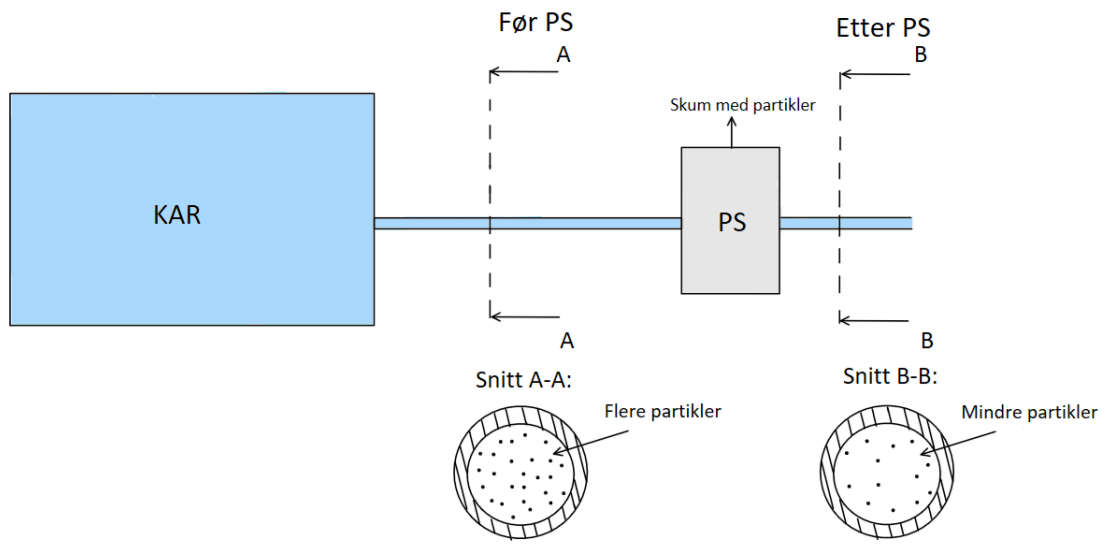
---

svekke fiskens forsvar mot patogener og ytre påkjenninger. Ved å fjerne fine partikler og redusere turbiditet kan man opprettholde bedre vannkvalitet, optimalisere oksygenivåene og skape et mer stabilt og optimalt miljø for fisken.

For å håndtere denne utfordringen, er det nødvendig å undersøke og implementere effektive metoder og tiltak for å redusere mengden av fine partikler og turbiditet i RAS. En mulig løsning kan være å implementere proteinskimmer i vannbehandlingssløyfen, som potensielt sett kan føre til reduksjon av mengden fine partikler og turbiditet, og dermed bidra til optimalisert systemfunksjon og forbedret vannkvalitet og fiskevelferd. Gjennom en omfattende litteraturstudie vil vi utforske tidligere forskning og publiserte studier og litteratur som dekker bruken av proteinskimmere i akvakultur. Vi vil se på de ulike bruksområdene, den forventede effekten og det generelle potensialet ved implementering av proteinskimmere i RAS-systemer. Basert på funnene fra litteraturstudiet, vil vi utvikle en teoretisk ramme for å forstå virkningsmekanismene bak skimmere og påvirkningen på målte parametre og den generelle vannkvaliteten i RAS.

Videre vil vi analysere eksisterende data fra et RAS-anlegg før innsett av proteinskimmer. Disse dataene vil omfatte informasjon om vannfarge, turbiditet, fôringspraksis og andre relevante parametre som kan påvirke vannkvaliteten og mengden av finepartikkler og turbiditet i vannet. Videre vil dataene sammenlignes med funnene fra litteraturstudiet for å kunne si noe mer om den forventede effekten av proteinskimmere på de målte parameterene, samt den totale effekten på vannkvaliteten og fiskehelsen i RAS.

Gjennom å kombinere litteraturstudie og analyse av eksisterende data, vil vi kunne gi en helhetlig vurdering av potensialet til proteinskimmere i akvakultur med hensyn på fiskevelferd, vannkvalitet og optimal systemfunksjon. Ved å identifisere forventet effekt og potensiale til proteinskimmer, kan vi bidra til å styrke bærekraften og effektiviteten til resirkulasjonsanlegg. Resultatene fra oppgaven vil bidra til økt kunnskap om bruken av proteinskimmere i RAS-systemer og vil være nyttig både akvakulturindustrien og forskningsmiljøet. Vi håper oppgaven kan bidra til å drive fremtidig forskning og utvikling av teknologier som støtter en bærekraftig vekst innen akvakultur.



Figur 9: Skisse av problemstillingen.

---

## 4 Metode

I dette kapitlet vil vi beskrive vår metodikk for å evaluere hvordan turbiditet og nivået av finpartikler kan reduseres for å oppnå optimal vannkvalitet i et resirkulasjonsanlegg, ved hjelp av innsettelse av proteinskimmer. Først presenterte vi et omfattende litteraturstudie som omhandlet gjennomgang av både resirkulasjonsanlegg og proteinskimmer sin struktur og funksjon, og de viktigste faktorene og måleparametrene som påvirker vannkvaliteten. Med denne bakgrunnskunnskapen kan vi nå presentere våre metoder for å analysere eksisterende data og evaluere den generelle tilstanden i anlegget. Vi vil også beskrive hvordan vi brukte ulike verktøy og programvare for å bearbeide og analysere dataene våre. Dette kapitlet vil gi en omfattende beskrivelse av vår metodikk, for å kunne besvare forskningsspørsmålet på en grundig måte. Metodedelen vil være en verdifull ressurs for andre som ønsker å evaluere en proteinskimmers effekt på reduksjon av turbiditet og nivåer av finpartikler for å bedre vannkvaliteten i et resirkulasjonsanlegg.

### 4.1 Valg av metode

For å kunne besvare problemstillingen i bacheloroppgaven, *”Hvordan påvirker implementering av proteinskimmer vannturbiditet og nivåer av finpartikler i et RAS-anlegg, og hvilken effekt har dette på vannkvalitet og fiskehelse og velferd hos Atlantisk laks?”*, er det benyttet en kombinasjon av kvantitativ og kvalitativ metode. En kombinasjon av kvalitative og kvantitative forskningsmetoder, også kjent som metodetriangulering, kan gi mer helhetlig forståelse, og styrke oppgavens gyldighet og pålitelighet.

I vår bacheloroppgave har vi benyttet metodetriangulering for å få en dypere forståelse av bruken av proteinskimmer i akvakultur, og for å analysere data fra et konkret anlegg. Ved å gjennomføre et litteraturstudie har vi benyttet kvalitativ metode for å samle inn og analysere informasjon om bruksområder, utbredelse, potensiale og forventet effekt av proteinskimmer i akvakultur systemer. Kvalitativ metode har gitt oss muligheten til å tolke og analysere dataene på en mer grundig og kontekstuell måte, og dermed bidratt til å øke vår kunnskap og forståelse om emnet.

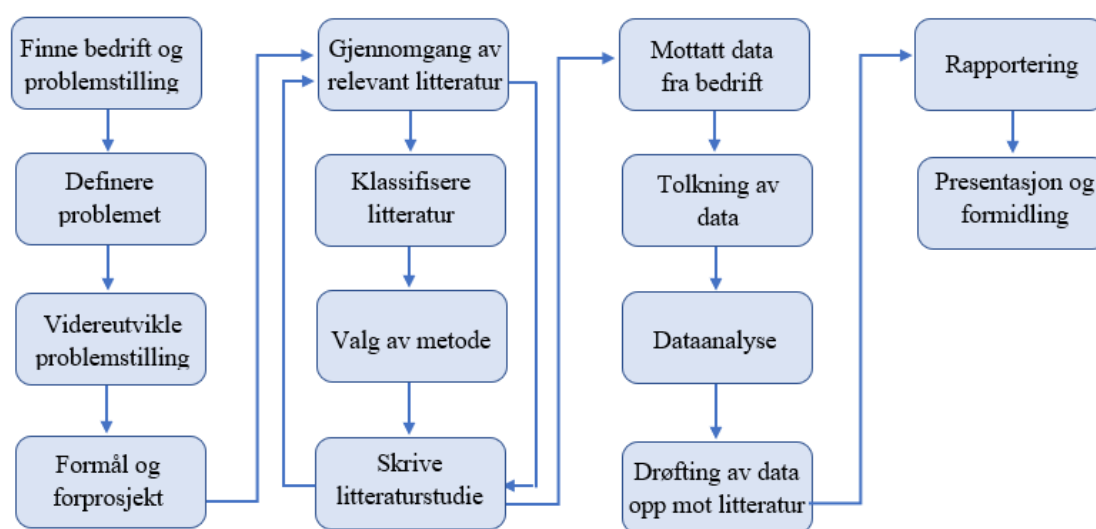
For å analysere data fra anlegget har vi benyttet kvantitativ metode. Vi har sett på eksisterende loggførte data fra anlegget før montering av proteinskimmer. Disse dataene inneholdt informasjon om parametere som pH-verdi, salinitet, turbiditet og andre relevante faktorer som kunne påvirke vannkvaliteten. Ved å analysere disse dataene kunne vi få et grunnlag for å evaluere potensielle forbedringer i vannkvaliteten etter implementeringen av proteinskimmer. Kombinasjonen av disse metodene, metodetriangulering, har gitt oss

---

en mer helhetlig forståelse av temaet og har bidratt til å øke validiteten av vår forskning. Metoden har også lagt grunnlaget for tilstrekkelig kunnskap som muliggjør besvarelse av problemstillingen.

## 4.2 Forskningsprosessen

I forskningsprosessen har vi fulgt en grundig og strukturert framgangsmåte for å besvare problemstillingen og oppnå våre forskningsmål. Vi vil i dette kapitlet ta for oss hver av de ulike fasene, som vist i figur 10.



Figur 10: Forskningsprosessen bak bacheloroppgaven.

Først og fremst etablerte vi kontakt med Grieg Seafood for å utforske potensielle problemstillinger innenfor vårt interessefelt. Gjennom en dialog med selskapet fikk vi forslag til ulike problemstillinger som var relevante for deres virksomhet og vårt forskningsområde. Vi vurderte nøye hvert forslag basert på deres potensial for forskningsbidrag, tilgjengeligheten av data, ressursene våre og tidsomfang. I samarbeid med veileder valgte vi en problemstilling som var både interessant og gjennomførbar, og som ville bidra til å utvide vår kunnskap innenfor RAS-fagfeltet. Med denne utvalgte problemstillingen som utgangspunkt, begynte vi å utforske og undersøke emnet grundigere for å utvikle vår forskningsmetodikk og tilnærming. Gjennom denne prosessen oppnådde vi en solid og veldefinert problemstilling som dannet grunnlaget for resten av forskningsprosessen.

Valget av metode for forskningsprosessen var nøye vurdert og tilpasset oppgavens formål og problemstilling. Vi benyttet en kombinasjon av kvalitativ og kvantitativ tilnærming, med et mål om å oppnå metodetriangulering og få et bredere og mer helhetlig perspektiv på temaet.

---

Litteraturstudiet var en sentral del av forskningsprosessen. Vi samlet inn og gjennomgikk relevant litteratur, inkludert forskningsartikler, bøker og rapporter som omhandlet temaet vårt. Deretter klassifiserte vi hver kilde basert på deres relevans for problemstillingen og forskningsmålene. Underveis i oppgaveskrivingen oppdaget vi at det var noen områder der den eksisterende litteraturen ikke dekket alle aspekter av vår problemstilling. Dette førte til at vi måtte gå tilbake til litteraturstudiet og utvide vårt søk etter ny teori for å fylle disse kunnskapsgapene. Vi var også i dialog med veileder og fagpersoner for å få råd og veiledning om potensielle kilder og litteratur som kunne være relevante. Det var viktig for oss å sikre at vår forskning var forankret i et solid teoretisk rammeverk og at vi kunne vise til relevant teori og tidligere forskning på området.

Datainnsamling var en viktig del av prosessen, og vi var avhengige av å samle inn relevant og pålitelig data for å svare på problemstillingen. I samarbeid med Grieg Seafood fikk vi tilgang til eksisterende data fra deres anlegg før innsettelsen av proteinskimmer. Disse dataene inkluderte informasjon om biomasse, tetthet, lysregime, pH, salinitet, temperatur, turbiditet og fôringsmengde. Imidlertid ble innsettelsen av proteinskimmer utsatt på grunn av uforutsette omstendigheter. Dette medførte at vi ikke fikk tilgang til data fra perioden etter installasjonen, da det ikke var nok tid til å samle inn og analysere disse dataene i løpet av vår forskningsperiode. Selv om dette var en uheldig situasjon, måtte vi tilpasse oss og fokusere på å analysere og tolke de tilgjengelige dataene. Av denne grunn ble det nødvendig for oss å gå tilbake til litteraturstudiet og undersøke relevant litteratur som kunne gi innsikt i forventet effekt av proteinskimmer. Vi måtte finne vitenskapelige artikler, tidligere studier og rapporter som omhandlet bruk av proteinskimmer i akvakultur og lignende produksjonssystemer.

Vi gjennomførte en grundig analyse og tolkning av de innsamlede dataene før innsettelsen av proteinskimmer for å identifisere eventuelle trender, mønstre eller avvik som kunne være interessante for vår forskning. Ved å «plotte» dataene utforsket vi sammenhenger og mulige effekter av eksisterende faktorer på vannkvaliteten og produksjonsparameterne i anlegget. Det er verdt å merke seg at selv om vi ikke kunne få tilgang til data etter innsettelsen av skimmeren, hadde vi likevel et verdifull datasett som ga oss et grunnlag for å vurdere potensielle effekter av proteinskimmer basert på tidligere observasjoner og data, samt litteratur. Til slutt skrev vi en strukturert og omfattende forskningsrapport, med fokus på god formidling og presentasjon. Gjennom denne omfattende forskningsprosessen har vi fulgt en systematisk og velstrukturert tilnærming for å besvare problemstillingen og oppnå våre forskningsmål.



---

### 4.3 Kildesøk

For å sikre tilgang til relevante kilder og litteratur, benyttet vi oss av flere metoder til kildesøk i vår forskningsprosess. Internett bidro som en viktig del i vårt kildesøk etter relevant litteratur, der vi gjorde omfattende søk gjennom akademiske nettsider, forskningsdatabaser og elektroniske tidsskrifter. Google Scholar var spesielt nyttig for å identifisere relevante artikler og forskningspublikasjoner innenfor fagområdet vårt. Vi tok også initiativ til å kontakte eksperter i næringslivet som hadde god erfaring og kunnskap innen RAS-teknologi. Ved å kommunisere med de fikk vi tilgang til en rekke relevant litteratur og rapporter som omhandlet bruk av proteinskimmer. En av våre veiledere bidro også i å veilede oss i søket etter relevant litteratur, og vi fikk verdifulle anbefalinger om potensielle publikasjoner som var relevante for arbeidet.

Kildekritikk var også en viktig del av søket etter relevant teori og litteratur. I vurderingen av kildene benyttet vi oss av flere kriterier for å sikre kvaliteten og påliteligheten av informasjonen. Vi vurderte troverdigheten og autoriteten til publikasjonene og forfatterne, samt litteraturen og teoriens relevans opp mot oppgaven. Det ble utarbeidet en litteraturliste underveis i søket etter relevant litteratur og studier. Denne listen ble løpende oppdatert og justert basert på relevansen til hver kilde. Kilder som ble vurdert ble merket som oransje, mens kilder som ikke var relevante ble merket som rød. Denne fargekodingen ga oss muligheten til å raskt identifisere hvilke kilder som var mest aktuelle for vår studie, samtidig som vi kunne ekskludere de som ikke bidro til å svare på problemstillingen. Kildene brukt i bacheloroppgaven står oppført i referanselisten.

Selvkritikk spilte også en viktig rolle i kildesøket og vurderingen av kildene. Vi var bevisste på å være kritiske lesere av litteraturen vi kom over, og vi søkte å identifisere eventuelle skjevheter, mangler i kildene eller begrensninger. Selvkritikk har bidratt til en reflektert og objektiv tilnærming. Denne grundige kildesøk prosessen bidro til å sikre at vi benyttet relevante og pålitelige kilder i litteraturstudiet vårt.

### 4.4 Behandling av historiske data

De historiske dataene fra Grieg Seafood ble sendt som en excel-fil som hadde filformatet xls. For å bedre kunne arbeide, sortere og skille datane ble det opprettet flere excel-filer. Etter dette ble excel-filene lagret som comma-separated values (CSV) filer. CSV-filene ble deretter lastet opp i Python. Hele Python-koden med forklaringer finnes i vedlegg B. I Python ble dataene først importert og satt opp i en to dimensjonal data struktur ved å bruke pandas DataFrame biblioteket. Det var noen kolonner som besto av data med feil dataformat, og dermed måtte formatet for dataen i noen kolonner endres til float64 -og datettime-format. Deretter ble det framstilt plot av dataene som ble lagret som PNG-filer.

---

## 4.5 Begrensninger

I enhver forskningsprosess og framgangsmåte er det viktig å ta hensyn til potensielle svakheter og begrensninger. I vår metode og framgangsmåte er det også noen mulige begrensninger som bør tas i betraktning. En av svakhetene ved vår tilnærming er avhengigheten av eksisterende data. Vi var avhengige av å få tilgang til data fra Grieg Seafood både før og etter innsettelsen av proteinskimmer. Imidlertid oppsto det forsinkelser i innsettelsen, og vi fikk derfor ikke de nødvendige driftsdataene etter installasjonen av skimmeren. Dette begrenset vår mulighet til å vurdere effekten av proteinskimmeren over tid. Det er også verdt å merke seg at tilgangen på eksisterende litteratur og kilder som sier noe om effekt av proteinskimmer, var noe begrenset i omfang og kvalitet.

En annen mulig begrensning kan være tilgangen til relevant litteratur. Til tross for at vi gjorde omfattende søk på nettet samt kontaktet relevante aktører i næringslivet, kan det være at vi ikke har fått tak i all tilgjengelig litteratur som kunne vært relevant for vår oppgave. Dette kan ha påvirket evnen vår til å få et komplett bilde av temaet og å vurdere effektene av proteinskimmer grundig. I tillegg kan det være potensielle skjevheter og bias knyttet til vår vurdering av litteratur og tolkning av data. Vi har forsøkt å være både kritiske og objektive i vår tilnærming, men det er alltid en risiko for at personlige erfaringer og meninger, eventuelt manglende erfaring kan ha påvirket våre vurderinger samt tolkninger.

Å være bevisst på disse potensielle svakhetene og begrensningene i vår metode og tilnærming er viktig. Gjennom å være åpne om disse begrensningene kan vi bidra til en mer helhetlig forståelse av vår forskningsprosess og fremme en videre diskusjon om hvordan man kan utvide og forbedre forskningen på dette området.

---

## 5 Resultater

I dette kapittelet presenteres resultatene, med litteraturgjennomgangen som bakgrunn. Kapittelet gir en oversikt over hvordan implementering av proteinskimmer påvirker fiskevelferd, turbiditet, vannfarge og generelle vannkvalitet. Resultatkapittelet er avgjørende for å besvare problemstillingen og bidrar til å danne grunnlaget for diskusjon og konklusjon.

### 5.1 Partikler i RAS

Driftsvannet i RAS-anlegg inneholder varierende mengder partikler. Mengde, konsentrasjon og fordeling av størrelsen på partiklene påvirker turbiditet og vannfarge. Høyere konsentrasjoner av suspenderte og oppløste partikler, som resulterer i økt TSS, vil med en lik fordeling av partikkelstørrelser føre til økte målinger av turbiditet og vannfarge. Det trenger altså ikke å være en sammenheng mellom TSS-konsentrasjonen og turbiditet- og vannfargemålinger, da størrelsesfordelingen av partiklene påvirker målingene. Turbiditet påvirker effekten til UV -og ozonbehandling. Litteratur har vist til at effekten av disse desinfiserende behandlingsmetodene avtar med økende turbiditet. Litteraturstudiet viser at partikler i driftsvannet i RAS kan ha flere konsekvenser som påvirker fiskehelse og -velferd, vannkvalitet, systemytelse og produksjonseffektivitet. Ved økende konsentrasjoner av suspendert organisk materiale øker risikoen for en økning av slamavsetninger, H<sub>2</sub>S og infeksjonstrykk. Litteraturstudiet avdekket motstridene forskning og litteratur når det gjelder den direkte påvirkningen av suspenderte partikler på fiskehelsen. Det ble avdekket at høy turbiditet påvirker sikten til laksefisk.

### 5.2 Implementering av proteinskimmer i RAS

Når det kommer til konsentrasjonen av suspenderte partikler i driftsvannet i RAS viser litteraturstudiet til at implementering av proteinskimmer har en reduserende effekt. Resultatene fra studiene, som har undersøkt den partikkelreduserende effekten proteinskimmer har, varierer, men det er en målbar nedgang av de suspenderte partiklene. Hvor effektiv proteinskimmerene fjerner suspenderte partikler varierte med størrelsen på partiklene. Selv om effekten til proteinskimmerne varierte for ulike partikkelstørrelser, viste studiene til en viss nedgang av alle partikkelstørrelsene som var prevalent i vannet. Det finnes proteinskimmere som bruker ozon i tillegg til komprimert luft. Studier har vist en reduksjon av vannfarge grunnet tilsetning av ozon i vann.

---

### **5.3 Behandling av eventuelle data etter implementering av proteinskimmer**

Hadde installasjonen av proteinskimmeren gått som planlagt ville det vært mulig å fremstille datane fra etter installasjonen. Ved å plote parametrene fra de historiske dataene sammen med data etter installasjonen, kunne effekten proteinskimmeren har på de ulike parametrene i dataene blitt framstilt. Datane fra før og etter installasjon kunne blitt plottet i det samme plottet slik at endringer hadde vært lett å oppdage. Fremstilling av parametrene turbiditet og vannfarge før og etter installasjonen av proteinskimmeren, ved gitte fôringsmengder pr. døgn, ville gitt resultater som kunne blitt sammenlignet med teorien og forsøkene nevnt i litteraturstudiet.

---

## 6 Diskusjon

I dette kapitlet vil resultatene fra studien drøftes og tolkes opp mot relevant litteratur og forskning fra litteraturstudiet. Videre vil funnene analyseres for å drøfte rundt problemstillingen som er presentert i oppgaven. Deretter vil diskusjonen fokusere på implikasjonene av resultatene og deres relevans for praksis og beslutningstaking i oppdrettsnæringen. Til slutt presenteres potensielle muligheter for videre arbeid og forskning på dette fagfeltet.

### 6.1 Effekter av finpartikler og turbiditet på fiskehelse og -velferd

Effekten av fine partikler på fiskevelferd og helse i RAS er et viktig tema som har blitt studert i litteraturstudiet. Til tross for omfattende studier, eksisterer det fremdeles begrensede og motstridende forskning samt litteratur på dette fagområdet, som er preget av usikkerheter og varierte teorier. Det er antatt at fine partikler kan ha både direkte og indirekte negative konsekvenser for fiskehelse og velferd. Likevel, har studier også indikert at de direkte virkningene på fiskehelse, som gjelle- og stresspåvirkning, kan være av mindre betydning.

Til tross for usikkerheter rundt partiklenes direkte innvirkning på fiskehelse og velferd, påvirker de fisken indirekte på flere måter. Fine partikler gir økt overflatearealet, noe som gir gunstige vekstforhold til bakterier. Dette kan føre til et økt infeksjonstrykk og smitte blant fisk samt mellom kar, i et sentralisert system. Infeksjoner er ugunstige da dette kan føre til negative konsekvenser hos fisk, som stress, mindre fôropptak, redusert vekst og i verste fall høy dødelighet. Det er også vist at økt turbiditet påvirker fisken indirekte ved å redusere sikt og appetitt, og dermed fôropptak og vekst. Det er også tenkelig at økt vannfarge kan påvirke fiskens sikt på grunn av redusert lysgjennomtrenging i vannet, ved økende grad av vannfarge. Redusert sikt vil kunne påvirke fiskens evne til å oppdage og reagere på omgivelsene, noe som trolig kan føre til økt stress og risiko for skader. Det er ikke definert en øvre anbefalt grense av turbiditet og vannfarge, og hvilke verdier som vil påvirke fisken er derfor usikkert. Ulike verdier vil også trolig kunne påvirke fisken ulikt fra individ til individ, og fra anlegg til anlegg.

Høyere nivåer av fine partikler kan også føre til slamansamling i stillestående soner som kan danne anaerobe soner, og føre til H<sub>2</sub>S-oppblomstring. Hvor stort problem dette vil være i et ferskvanns RAS-anlegg kan diskuteres, da mengden sulfat er betraktelig mindre enn i sjøvann. Av denne grunn vil det være en mindre sannsynlighet for oppblomstring av H<sub>2</sub>S i et ferskvannsdrevet anlegg, men det kan ikke utelukkes. Som nevnt i litteraturstudiet er ferskvannsfisk mer utsatt for mindre konsentrasjoner av H<sub>2</sub>S. Med tanke på den eksisterende risikoen for oppblomstring, kan det være avgjørende å implementere tiltak som reduserer

---

risikoen og kontrollerer partikkelnivåene i systemet.

Ugunstige nivåer av partikler bestående av organisk materiale vil kunne føre til økning av heterotrofe bakterier. Dette fører igjen til redusert nitrifikasjonsprosess i biofilteret samt økt oksygenforbruk og produksjon av avfallsstoffer som CO<sub>2</sub>, nitritt og TAN. Et biofilter med nedsatt funksjon vil kunne påvirke fiskehelsen og velferden negativt, da det kan føre til opphopning av de fiskegiftige stoffene ammoniakk og nitrat. Forhøyet nivå av CO<sub>2</sub> vil også kunne påvirke fisken negativt, og danne ugunstige leveforhold. Tilstedeværelsen av partikler i et RAS-anlegg kan ha betydelig innvirkning på systemets ytelse, og det kan føre til økt risiko for sammenbrudd i viktige systemkomponenter. Slike sammenbrudd vil være kritiske for fiskehelse og velferd.

Videre kan det diskuteres om hvor stor direkte innvirkning finpartikler har på fiskehelsen og velferden til Atlantisk laks, og om det påvirker gjellehelsen. Dette området preges av begrenset forskning og ulike teorier, og det enda ingen enighet om den eksakte effekten av finpartikler på laksens gjeller og dens generelle helse og velferd. Enkelte studier og litteratur antyder at finpartikler kan ha direkte negativ innvirkning på fiskens gjeller. Finpartikler kan potensielt samle seg på gjelleoverflaten, føre til gjelleirritasjon, nedsatt gjellefunksjon, økt stress og forstyrre fiskens respirasjonssystem. Andre studier, som nevnt i litteraturstudiet, har imidlertid ikke funnet en klar sammenheng mellom finpartikler og gjellehelse.

Studiet nevnt i litteraturstudiet viser imidlertid ikke en klar sammenheng mellom finpartikler og gjellehelse. Resultatene i denne studien viser at selv ved høye konsentrasjoner av TSS i driftsvannet, langt over anbefalte nivåer, ble det ikke observert noen negative effekter på fiskens gjeller, ytelse eller helse. Det er verdt å merke seg at studien ble gjennomført på regnbueørret og ikke Atlantisk laks. Selv om begge artene tilhører laksefamilien, kan det være variasjoner i deres fysiologi, toleranse og respons på ulike miljøforhold. Det er derfor viktig å ikke generalisere funnene fra dette enkeltstudiet til alle RAS-anlegg og fiskearter.

En viktig faktor å merke seg i denne studien er at den primært fokuserte på TSS som et mål på partikkelkonsentrasjon, uten å spesifisere partiklenes størrelsesfordeling. Dette betyr at studien kun vurderte konsentrasjonen av partikler uten å ta hensyn til deres spesifikke størrelse og sammensetning. Partikler kan variere i størrelse, form og sammensetning, og det er denne variasjonen som ofte er avgjørende for deres potensielle innvirkning på fiskehelsen og velferden. Små partikler trenger lettere inn i gjellene og påvirke gjellehelsen. Derfor er det utfordrende å trekke konkrete konklusjoner om hvordan ulike konsentrasjoner av finpartikler vil påvirke fiskehelse og velferd utelukkende basert på TSS-målinger.

Selv om det kan være vanskelig å fastslå nøyaktig hvordan finpartikler påvirker fiskehelse og velferd, er det allikevel gunstig å redusere tilstedeværelsen av partikler i et RAS.

---

Som nevnt kan partikler ha en betydelig innvirkning på systemytelsen og funksjonen til et RAS-anlegg. Ved å redusere partikkelnivåene kan man opprettholde en stabil og effektiv drift av RAS-anlegget, som er avgjørende for fiskehelse og velferd. Videre påvirker også tilstedeværelsen av partikler vannparametrene i anlegget, som kan påvirke fiskens respirasjon, metabolisme og immunsystem. Ved å opprettholde lave partikkelnivåer kan man sikre et stabilt og optimalt vannmiljø for fisken. Av disse grunnene er det viktig å implementere tiltak som reduserer tilstedeværelsen av partikler i et RAS-anlegg, for å oppnå en god og stabil fiskehelse og velferd.

## **6.2 Effektene av implementering av proteinskimmer i RAS-anlegg**

Ved å implementere proteinskimmer i RAS-anlegg kan flere vannparametre forbedres. Vannparametrene vannfarge og turbiditet blir direkte påvirket av mengden partikler i driftsvannet. Fjerning av de større partiklene fra driftsvannet i RAS-anlegg gjøres ved mekanisk filterning, men partiklene mindre enn maskeåpningen i filteret blir ikke effektivt fjernet. De mindre partiklene blir fjernet gjennom utbytting av driftsvann. Det er dermed ikke usannsynlig at RAS-anlegg med liten grad av vannerstatning opplever høyere verdier av fine partikler, enn RAS-anlegg med større vannutskiftningsgrad. Ved å installere en proteinskimmer kan partiklene som trenger gjennom den mekaniske filtreringen kontinuerlig skilles ut gjennom skummet, som proteinskimmeren produserer. Dermed kan proteinskimmeren bidra til å forhindre en forhøyet konsentrasjon av fine partikler i driftsvannet. På denne måten kan turbiditet og vannfarge reduseres.

Forhøyet konsentrasjon av partikler i vann har en hemmende effekt på UV-ståling og ozon. I driftsvannet i RAS er det viktig og beholde en stabil og god mikrobiell sammensetning. Til tross for dette finnes det uønskede mikroorganismer, patogener, i driftsvannet. Høye konsentrasjoner av suspenderte partikler vil kunne blokkere eller absorbere UV-stålene. Dette kan føre til at patogener blir skjermet for UV-strålene og dermed ikke uskadeliggjort som følge av UV-behandlingen. Ved høy konsentrasjon av suspenderte partikler kan også desinfiseringspotensialet til ozon reduseres. Ozon oksiderer partikler og mikroorganismer det kommer i kontakt med. Om konsentrasjonen av partikler blir stor brukes en større del av ozonet til å oksidere partiklene. Dermed er det mindre ozon tilgjengelig for å oksidere og uskadeliggjøre patogenene. En proteinskimmer kan via å redusere mengden suspenderte partikler i driftsvannet i RAS forbedre effekten av UV- og ozonbehandling av driftsvannet. Øker man mengden ozon eller øker styrken på UV-stålingen kan den samme uønskede desinfiserende effekten trolig oppnås. Spørsmålet er da om dette er ønskelig eller i det heletatt mulig å gjennomføre. Patogener kan også bli direkte fjernet og utskilt i skummet proteinskimmeren produserer. Proteinskimmeren kan dermed direkte fjerne, samt bidra

---

til bedre uskadeliggjørelse av patogener i driftsvannet. I RAS-anlegg som benytter seg av sentral vannbehandling kan patogener som ikke uskadeliggjøres eller fjernes gjennom vannbehandlingstegene føre til smitte mellom kar. Hvor mye en proteinskimmer kan forbedre effekten av UV- og ozonbehandling er vanskelig si noe om.

En proteinskimmer kan også, gjennom å senke konsentrasjonen av partikler i vannet, redusere mengden DOC, noe som kan være positivt for de autotrofe bakteriene i biofilteret. Ved å begrense mengden organisk materiale kan proteinskimmeren bidra til å hindre oppblomstring av heterotrofe bakterier. For biofilteret er dette spesielt viktig da de autotrofe og nitrifiserende bakteriene har en langsom vekstrate sammenlignet med de heterotrofe bakteriene. Begrenser man tilgangen til organisk materiale hemmer man veksten til de heterotrofe bakteriene slik at levetidene til de nitrifiserende bakteriene ikke reduseres. Ved forhøyede konsentrasjoner av partikler bestående av organisk materiale vil en velfungerende proteinskimmer bidra til at biofilteret bedre opprettholder sin funksjon. Heterotrofe bakterier konsumerer oksygen og produserer CO<sub>2</sub>, noe som kan redusere vannkvaliteten og øke behovet for vannutskifting. Proteinskimmeren fungerer som en lufte for CO<sub>2</sub>, og vil kunne redusere konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i driftsvannet. Implementering av proteinskimmer i RAS-anlegg med høy konsentrasjon av organisk materiale, og med en ikke ubetydelig konsentrasjon av heterotrofe bakterier, vil trolig bedre vannkvaliteten.

Opprettholdelse av et godt og stabilt mikrobielt samfunn i et RAS-anlegg er avgjørende for optimal drift og fiskehelse. Mikroorganismer i RAS spiller bidrar til nedbryting av avfallsstoffer, omdanning av næringsstoffer og opprettholdelse av vannkvalitet. De bidrar også til å forhindre vekst av skadelige patogener ved å konkurrere om ressurser, og dermed opprettholde et helsemessig gunstig miljø for fisken. Når det gjelder fjerning av partikler, kan det potensielt påvirke det mikrobielle samfunnet i RAS-anlegget. Partikler fungerer som en viktig næringskilde for mikroorganismer, og de tilbyr også et større overflateareal som muliggjør kolonisering av mikroorganismer. Dermed kan fjerning av partikler ved hjelp av en proteinskimmer føre til redusert mengde og variasjon av mikroorganismer i vannet.

Det er viktig å merke seg at proteinskimmere ikke er selektive i sin partikkelfjerning, og hvilken innvirkning dette vil ha på det mikrobielle samfunnet kan diskuteres. De fjerner både organiske og uorganiske partikler fra vannet. Fjerning av uorganiske partikler og patogener er gunstig, da det bidrar til å opprettholde lav turbiditet og forbedret vannkvalitet i RAS-anlegget. Imidlertid kan fjerning av organiske partikler være ugunstig da det kan føre til dannelse av et for sterilt miljø. Diskusjonen rundt fjerning av partikler og dens påvirkning på det mikrobielle samfunnet vektlegger behovet for å opprettholde en balanse. Å oppnå optimal vannkvalitet i RAS innebærer å finne riktig balanse mellom partikkelfjerning for å opprettholde optimal vannkvalitet og samtidig bevare et diversifisert mikrobielt samfunn.



---

Dette kan oppnås gjennom tilpasning av partikkelfjerningsmetoder og nøye overvåkning av vannkvaliteten.

Den partikkelreducerende effekten til en proteinskimmer varierer på grunn av forskjellige faktorer. Dette er faktorer som kan være variere fra dag til dag og fra RAS-anlegg til RAS-anlegg. Vannparametre som konsentrasjon og fordeling av partikkelstørrelser, konsentrasjonen av overflateaktive midler og salinitet kan utgjøre en forskjell på effektiviteten til en proteinskimmer. Faktorer som gassboblestørrelse, gassmengde og tilsetning av ozon påvirker også proteinskimmerens effektivitet. Disse faktorene og vannparametrene kan også påvirke hverandre. Proteinskimmeren baserer seg på komplekse fysiske og kjemiske sammenhenger. Det er sannsynlig at det er andre faktorer enn de tidligere nevnte som kan påvirke effektiviteten til proteinskimmeren i ulik grad. Siden effekten varierer med mange faktorer er det vanskelig å estimere den faktiske partikkelreducerende effekten til en proteinskimmer rent teoretisk.

### **6.3 utfordringer med proteinskimmer i RAS**

Når en proteinskimmer blir implementert i et RAS-anlegg er det flere faktorer som må følges opp for å sikre optimal og sikker drift. For RAS-anlegg som benytter seg av ferksvann kan det være vanskelig og opprettholde et stabilt skumlag i proteinskimmeren. Stabiliteten til skumlaget kan forbedres ved å øke salinitet eller tilsette overflateaktive stoffer, men det er ikke sikkert at dette er verken mulig eller ønskelig. Problemet med et stabilt skumlag forverres også om konsentrasjonen av partiklene i driftsvannet synker. Det at skummet skummer over kanten og ut i avløpet til proteinskimmeren er en visuell bekreftelse på at proteinskimmeren fungerer. Om det ikke observeres et skumlag i proteinskimmeren kan det indikere at proteinskimmeren ikke opererer som den skal eller at konsentrasjonen av partikler i driftsvannet lavt. For driftspersonell er det da viktig å kunne benytte målinger som turbiditet, og ut fra dette avgjøre om proteinskimmeren fungerer som den skal.

Ozon kan brukes i proteinskimmere og potensielt føre til utfordringer og uønskede hendelser. Det er svært viktig at ureagert ozon ikke når oppdrettskarene. Siden store mengder komprimert luft introduseres i proteinskimmeren er det også en risiko for overmetning av gass. Totalgasstrykket i driftsvannet bør holdes likt atmosfæretrykket i det vannet når oppdrettskarene. Disse utfordringene burde ikke være et problem med dagens måleutstyr. Det er viktig å ta forhåndsregler slik at ureagert ozon og driftsvann med for høyt totalgasstrykk ikke når oppdrettskarene.

---

## 6.4 Studiens relevans

Studien handler om hvordan implementering av proteinskimmer påvirker vannturbiditeten og nivåene av finpartikler i RAS, og hvilken effekt dette har på vannkvaliteten samt fiskehelse og -velferd hos laks. Denne oppgaven er relevant på grunn av den økende betydningen av resirkulerende akvakultursystemer som en bærekraftig og effektiv metode for oppdrett av fisk. RAS-anlegg er avhengig av å opprettholde god vannkvalitet for å sikre optimal fiskehelse, velferd og produksjonseffektivitet.

Opgaven er av relevans både for studenter, forskere, fagpersoner og akvakulturnæringen. Studien gir en større forståelse av viktigheten av vannkvalitet og partikkelfjerning i RAS, samt effektiviteten til proteinskimmer og identifisering av faktorer som kan påvirke komponenten. Den gir innsikt i mulige virkninger av finpartikler, turbiditet og vannfarge på fiskehelse og -velferd, vannkvalitet og systemytelse. Resultatene fra studien kan være nyttige for å utvikle retningslinjer og reguleringer som sikrer bærekraftig og effektiv drift med hensyn til fiskehelse- og velferd.

Ved å vurdere effekten av proteinskimmer på vannkvalitet, fiskehelse og -velferd, kan oppgaven bidra til å veilede beslutningstaking i næringen og muliggjøre implementeringen av mer effektive vannbehandlingsteknologier. Dette kan føre til forbedret produksjonseffektivitet, redusert sykdomsrisiko, bedre fiskevelferd for oppdrettsfisken og optimalisering av RAS-anlegg. Videre kan oppgaven bidra til å identifisere muligheter for videre arbeid og forskning på dette fagområdet.

## 6.5 Videre arbeid

Gjennom oppgavens fokus på implementeringen av proteinskimmer i et RAS-anlegg for å håndtere partikler og turbiditet, har det blitt avdekket flere områder der ytterligere forskning kan bidra til økt kunnskap og forbedret praksis innen akvakultur.

På grunn av uforutsette hendelser ved implementering av proteinskimmer, ble vinklingen av oppgaven endret. Det ville være svært interessant og nyttig å fortsette denne oppgaven ved å utføre effektstudiet som egentlig skulle foretas. Effektstudiet ville bidratt med å kartlegge den faktiske effekten av proteinskimmer, ved å sammenligne produksjonsdata og vannparametre før og etter innsett av proteinskimmeren i anlegget. Dette ville gi et mer helhetlig bilde av proteinskimmerets effektivitet og funksjon i praksis. Dette ville ført til langt dypere innsikt i hvordan nivåer av fine partikler og turbiditet påvirker systemet basert på faktiske målinger. Ved å se på produksjonsdata før og etter innsett kunne man ha utført en grundigere analyse og bedre tolkning av resultatene. Dette ville ført til mer pålitelige og presise konklusjoner angående effektiviteten og funksjonen til proteinskimmer i praksis.

---

Det er også behov for ytterligere forskning for å oppnå en klarere forståelse av kompleksiteten knyttet til effekten av fine partikler og turbiditet på fiskehelse og velferd i RAS. Videre bør forskning rette seg mot å identifisere og kvantifisere de spesifikke virkningene av fine partikler og turbiditet på disse områdene. Dette vil kunne bidra til å utvikle retningslinjer og praksiser som kan opprettholde en stabil og optimal vannkvalitet, leveforhold og fiskehelse i RAS.

Selv om proteinskimmere har vist seg å være effektive når det gjelder partikkelfjerning i RAS-anlegg, finnes det også alternative metoder som kan være interessante å utforske. Det ville være verdifullt å gjennomføre en studie som sammenligner effektiviteten og virkningen av ulike partikkelfjerningsmetoder på fiskehelse og -velferd i RAS. Gjennom dette kan man identifisere den mest hensiktsmessige og effektive metoden for å oppnå optimal partikkelfjerning og vannkvalitet i RAS-anlegg. En slik studie kan være interessant både for forskere, fagfolk og driftspersonell innen akvakultur, og kan bidra til å veilede valg av partikkelfjerningsteknologi og optimalisering av driftsprosesser.

---

## 7 Konklusjon

Hensikten med denne bacheloroppgaven var å undersøke problemstillingen: *"Hvordan påvirker implementering av proteinskimmer vannturbiditet og nivåer av finpartikler i et RAS-anlegg, og hvilken effekt har dette på vannkvalitet og fiskehelse og -velferd hos Atlantisk laks?"*. Oppgaven understreker viktigheten av å forstå og håndtere turbiditet og finpartikler i resirkulerende akvakultursystemer. Dette vil kunne bidra til å opprettholde optimal vannkvalitet, bedre fiskehelse og -velferd og sikre optimal og effektiv drift av anlegget.

Proteinskimmeren er identifisert som en effektiv komponent for å redusere turbiditet og mengden partikler i RAS. Til tross for dette er det enkelte utfordringer med implementering av komponenten. Imidlertid er det fortsatt usikkerhet knyttet til effekten på fiskehelse og -velferd. Turbiditet sier noe om hvor lysgjennomtrengelig vannet er, mens TSS er tørrvekten av totalt suspendert tørrstoff. Disse to ulike målingene henger sammen da partikler som bidrar til TSS også vil påvirke turbiditeten. Partikkelstørrelser som bidrar til økt turbiditet trenger ikke å bidra til økt TSS. Det er også viktig å merke seg at verken turbiditet eller TSS gir informasjon om partiklenes størrelse eller sammensetning, som kan variere og omfatte faktorer som fôr, avføring, bakterier og uorganiske partikler. Dette vil si at verken måling av turbiditet eller TSS gir en full forståelse av påvirkningen på vannkvalitet og hvordan dette vil påvirke atlantisk laks sin helse og velferd i RAS.

Litteratur og studier bekrefter viktigheten og behovet av partikkelfjerning i RAS, da dette har negativ innvirkning på fisken. Når det kommer til påvirkningen av turbiditet og finpartikler på fiskehelse er mengden studier begrenset. I litteraturstudiet ble det avdekket en variasjon i resultatene fra tidligere studier når det gjelder direkte påvirkning av turbiditet på fiskehelsen hos laks. Noen studier indikerte en direkte sammenheng mellom høye nivåer av turbiditet og negative effekter på fisken, mens andre studier ikke fant en signifikant påvirkning. Dette kunnskapsgapet understreker behovet for ytterligere forskning for å kvantifisere og evaluere de spesifikke effektene av disse faktorene på fiskehelse og -velferd i et RAS-miljø.

Det konkluderes derfor med at proteinskimmer er et effektivt verktøy i reduksjon av turbiditet og mengden finpartikler i vannet. Hvor stor grad dette påvirker fiskehelse og -velferd er til dels enda uvisst, da det er mangel på kunnskap og forskning på dette området. Dette er noe som bør undersøkes nærmere for å kunne sikre optimal fiskehelse og -velferd i RAS, og fremme RAS som et bærekraftig og optimalt produksjonssystem av Atlantisk laks.

---

## 8 Referanser

- Attramadal, Kari mfl. (2019). *Nå vet vi mer om H<sub>2</sub>S i landbaserte anlegg*. URL: <https://www.niva.no/nyheter/vet-mer-om-hs-i-landbaserte-anlegg?fbclid=IwAR1nxuMfCN5JAY1aXWQ71vdaeUoXBeff0YcibGWFh2bJYZiR0o0XlIdXO9c> (sjekket 2. mai 2023).
- Attramadal mfl. (2016). *Resirkulering av vann i settefiskproduksjon*. [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). (Sjekket 17. apr. 2023).
- Bash, Jeff, Cara H Berman og Susan Bolton (2001). *Effects of turbidity and suspended solids on salmonids*. Tekn. rapp. University of Washington Water Center.
- Binde, Martin (n.d). *Akvakulturdriftsforskriften Vannmiljø, fiskehelse og fiskevelferd*. URL: <https://tekmar.no/wp-content/uploads/2016/08/M-Binde-Hva-sier-regelverket-17jan06.pdf?fbclid=IwAR3RI-Xi.Cu5C.sow0f9SuXQPJW55h0GCs5nglEM-QtmE7hWqP7cE8lAJBw%7D> (sjekket 15. mai 2023).
- Bjørndal, T mfl. (2018). *Analyse Av Lukka Oppdrett Av Laks-Landbasert Og I Sjø: Produksjon, Økonomi Og Risiko Sluttrapport Fhf Prosjekt 901442*.
- Brambilla, Fabio mfl. (2008). «Foam fractionation efficiency in particulate matter and heterotrophic bacteria removal from a recirculating seabass (*Dicentrarchus labrax*) system». I: *Aquacultural Engineering* 39.1, s. 37–42.
- Dahle, SW mfl. (2020). *Overvåking av bakteriesamfunn i settefiskproduksjon*. SINTEF Ocean AS.
- Duston, J. (1994). «Effect of salinity on survival and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr and smolts». I: *Aquaculture* 121, s. 115–124.
- Folkehelseinstituttet (2021). *Parametere for beskrivelse av råvannskvalitet - grunnvann*. Mattilsynet.
- Gonçalves, Alex Augusto og Graham A Gagnon (2011). «Ozone application in recirculating aquaculture system: an overview». I: *Ozone: Science & Engineering* 33, s. 345–367.
- Gregersen, Erik (2021). *Stokes's law*. URL: <https://www.britannica.com/science/Stokes-law> (sjekket 27. mar. 2023).
- Gulliver, J.S., A.J. Erickson og P.T. Weiss (2010). *Stormwater Treatment: Assessment and Maintenance*. URL: <https://stormwaterbook.safl.umn.edu/sedimentation-practices> (sjekket 27. mar. 2023).
- Handeland, S.O og S.O Stefansson (2002). «Effects of salinity acclimation on pre-smolt growth, smolting and post-smolt performance in off-season Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.)» I: *Aquaculture* 209, s. 125–137.
- Heiderscheidt, Elisangela mfl. (2020). «Solids management in freshwater-recirculating aquaculture systems: Effectivity of inorganic and organic coagulants and the impact of operating parameters». I: *Science of The Total Environment* 742, s. 140398.

- 
- Hongve, Dag (2018). *vannets farge*. URL: [https://snl.no/vannets\\_farge](https://snl.no/vannets_farge) (sjekket 29. mai 2023).
- Jafari, Leila mfl. (2022). «Removal of microparticles and bacterial inactivation in freshwater RAS by use of foam fractionation, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and NaCl». I: *Aquaculture Research* 53, s. 3274–3282.
- Jesus Gregersen, Kim João de de mfl. (2021). «Foam fractionation and ozonation in freshwater recirculation aquaculture systems». I: *Aquacultural Engineering* 95, s. 102195.
- Jia, Weihong, Sili Ren og Bin Hu (2013). «Effect of Water Chemistry on Zeta Potential of Air Bubbles». I: *International Journal of Electrochemical Science* 8, s. 5828–5837.
- Kestin, Joseph, Mordechai Sokolov og William A Wakeham (1978). «Viscosity of liquid water in the range- 8 C to 150 C». I: *Journal of physical and chemical reference data* 7.3, s. 941–948.
- Kitchener, Ben GB, John Wainwright og Anthony J Parsons (2017). «A review of the principles of turbidity measurement». I: *Progress in Physical Geography* 41, s. 620–642.
- Kleizen, HH mfl. (1995). «Particle concentration, size and turbidity». I: *Filtration & separation* 32.9, s. 897–901.
- Lazado, Carlo C mfl. (2021). «Consequences of continuous ozonation on the health and welfare of Atlantic salmon post-smolts in a brackish water recirculating aquaculture system». I: *Aquatic Toxicology* 238, s. 105935.
- Lekang, Odd-Ivar (2020a). *Aquaculture Engineering*. Red. av The Atrium. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley-Blackwell. ISBN: 9781119489016.
- (2020b). «Gas Exchange, Aeration, Oxygenation and CO<sub>2</sub> Removal». I: *Aquaculture Engineering*. Red. av The Atrium. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley-Blackwell, s. 203–238. ISBN: 9781119489016.
- (2020c). «Protein Skimming, Flotation, Coagulation and Flocculation». I: *Aquaculture Engineering*. Red. av The Atrium. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley-Blackwell, s. 97–152. ISBN: 9781119489016.
- (2020d). «Recycling Aquaculture Systems: Traditional Recirculation and Water Re-use System». I: *Aquaculture Engineering*. Red. av The Atrium. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley-Blackwell, s. 257–274. ISBN: 9781119489016.
- (2020e). «Removal of Ammonia and Other Nitrogen Connections from Water». I: *Aquaculture Engineering*. Red. av The Atrium. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley-Blackwell, s. 239–256. ISBN: 9781119489016.
- (2020f). «Removal of Particles: Traditional Methods». I: *Aquaculture Engineering*. Red. av The Atrium. Hoboken, New Jersey, USA: Wiley-Blackwell, s. 79–96. ISBN: 9781119489016.
- MAMAT-KULING (2020). *NIVA RESULTATER MAT-KULING FERSKVANNS PROTEINSKIMMERE*. URL: <https://matkuling.no/nyheter/niva-resultater-ferskvanns-proteinskimmere/> (sjekket 8. mai 2023).
-

- 
- Noble, Chris mfl. (2018). «Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd». I: *Nofima Accessed* 19, s. 21.
- Norsk Standard (2011). «NS-EN ISO 7887:2011 Vannundersøkelse - Bestemmelse av farge (ISO 7887:2011)». I: URL: <https://handle.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=523202>.
- (2016). «NS-EN ISO 7027-1:2016 Vannundersøkelse - Bestemmelse av turbiditet - Del 1: Kvantitative». I: URL: <https://handle.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=832960>.
- O'Donovan, D. C. og Elwood L. Bean (1965). «Treatment With Ozone [with Discussion]». I: *Journal (American Water Works Association)* 57.9, s. 1167–1194.
- Pulg, Ulrich mfl. (2018). *Gassovermetning i vassdrag—en kunnskapsoppsummering*. NORCE Miljø.
- Schumann, Mark og Alexander Brinker (2020). «Understanding and managing suspended solids in intensive salmonid aquaculture: a review». I: *Reviews in Aquaculture* 12.4, s. 2109–2139.
- Stiller, Kevin T mfl. (2020). «The effects of ozone on Atlantic salmon post-smolt in brackish water—Establishing welfare indicators and thresholds». I: *International Journal of Molecular Sciences* 21, s. 5109.
- Sæther, Per Anton (2016). *Risikoanalyse- Nitrogenovermetning-Gassblæresyke*. [https://www.averoy.kommune.no/\\_f/p1/id435d10f-5910-4329-a8b5-0883c72e8a4b/smedvagen-2021-vedlegg-13-risikoanalyse-nitrogenovermetning-averoy-298253.1.1.PDF?fbclid=IwAR1wVrflZGkoHRcURuBsDpTDaTVnMWOka-dTHmvqToWYHW-KNR2miy5cU.0](https://www.averoy.kommune.no/_f/p1/id435d10f-5910-4329-a8b5-0883c72e8a4b/smedvagen-2021-vedlegg-13-risikoanalyse-nitrogenovermetning-averoy-298253.1.1.PDF?fbclid=IwAR1wVrflZGkoHRcURuBsDpTDaTVnMWOka-dTHmvqToWYHW-KNR2miy5cU.0). (Sjekk 22. mai 2023).
- Team, Clean Water (2009). «Color of Water Fact Sheet». I: *State Water Resources Control Board*, s. 1–3.

---

## Vedlegg

### Vedlegg A - litteraturliste

I sammenheng med bacheloroppgaven ble det foretatt en rekke ulike søk etter relevant litteratur og studier. Et betydelig antall kilder ble gjennomgått for å finne materiale som var knyttet til problemstillingen. Spesifikke søk ble utført ved hjelp av nøkkelord og kombinasjoner av termer for å sikre at relevant litteratur ble identifisert. Da dette er et område med til dels begrenset tilgjengelig litteratur, ble det gjennomført mange ulike søk i ulike elektroniske databaser og bibliotekskataloger, i håp om å treffe på relevante fagartikler og studier. Målet var å samle inn omfattende og pålitelige kilder for å støtte oppgavens formål og bidra til en solid kunnskapsbase. I litteraturlisten vises både kilder som ble vurdert (oransje) og kilder som ikke var relevante (rød). Litteraturen og studiene som var relevante og nyttige for bacheloroppgaven står oppført i referanselisten.

### Litteratur - Vurdert

- Chen, Shulin mfl. (1994a). «Modeling surfactant removal in foam fractionation: I—theoretical development». I: *Aquacultural Engineering* 13.3, s. 163–181.
- (1994b). «Modeling surfactant removal in foam fractionation: II—experimental investigations». I: *Aquacultural Engineering* 13.3, s. 183–200.
- Figueiras Guilherme, Mafalda, Kim João de Jesus Gregersen og Lars-Flemming Pedersen (2020). «Effects of foam fractionation and chemical disinfection on the removal of different microalgae cultures». I: *Aquaculture Research* 51.8, s. 3274–3283.
- Gesto, Manuel, Kim João de Jesus Gregersen og Lars-Flemming Pedersen (2022). «Effects of ozonation and foam fractionation on rainbow trout condition and physiology in a small-scale freshwater recirculation aquaculture system». I: *Aquaculture* 557, s. 738312.
- Powell, Adam og Jacob WS Scolding (2018). «Direct application of ozone in aquaculture systems». I: *Reviews in Aquaculture* 10.2, s. 424–438.
- Waller, U, J Orellana og M Sander (2007). «The control of water quality and hygienic conditions in aquaculture recirculation systems (RAS): the use of foam fractionation and ozone». I: *Proceedings of the IOA/IUVA Joint World Congress on Ozone and Ultraviolet Technologies. Los Angeles USA*, s. 1916–1936.
- Weeks, NC, MB Timmons og S Chen (1992). «Feasibility of using foam fractionation for the removal of dissolved and suspended solids from fish culture water». I: *Aquacultural Engineering* 11.4, s. 251–265.



---

## Litteratur - Ikke relevant

- Bögner, Desislava mfl. (2021). «Hydrogen peroxide oxygenation and disinfection capacity in recirculating aquaculture systems». I: *Aquacultural Engineering* 92, s. 102140.
- Horppila, Jukka mfl. (2011). «Gender-dependent effects of water quality and conspecific density on the feeding rate of fish—factors behind sexual growth dimorphism». I: *Oikos* 120.6, s. 855–861.
- Lowe, ML, MA Morrison og RB Taylor (2015). «Harmful effects of sediment-induced turbidity on juvenile fish in estuaries». I: *Marine Ecology Progress Series* 539, s. 241–254.
- Ng, Pok Him mfl. (2023). «Assessment of Ozone Nanobubble Technology to Reduce Freshwater Algae». I: *Aquaculture Research* 2023.
- Yavuzcan Yildiz, Hijran mfl. (2017). «Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—a review». I: *Water* 9.1, s. 13.

---

## Vedlegg B - Pythonkode for databehandling og plotting av historiske data

```
1 # Importerer nødvendig bibliotek
2 import math
3 import pandas as pd
4 import numpy as np
5 import matplotlib.pyplot as plt
6 import csv
7
8 # NB! mye av koden er repetisjon. Det er derfor mulig at de repetitive stegene av koden
9   ikke har like mye forklaring jo lengere ned i koden du leser.
10
11 # pne CSV filer
12 # Filplasing p PC for dataene fra karene i RAS 1
13 # NB! koden m endres om den skal kj res p en annen pc.
14 # m ogs ha tilgang til CSV-filene under
15
16 # KAR med 8m diameter:
17 KAR_801 = 'C:\\Users\\Ruben\\Programs\\Pictures\\Utdanning\\Bachelor\\Jupyter\\KAR 801.
18   csv'
19 KAR_802 = 'C:\\Users\\Ruben\\Programs\\Pictures\\Utdanning\\Bachelor\\Jupyter\\KAR 802.
20   csv'
21 KAR_803 = 'C:\\Users\\Ruben\\Programs\\Pictures\\Utdanning\\Bachelor\\Jupyter\\KAR 803.
22   csv'
23 KAR_804 = 'C:\\Users\\Ruben\\Programs\\Pictures\\Utdanning\\Bachelor\\Jupyter\\KAR 804.
24   csv'
25 KAR_805 = 'C:\\Users\\Ruben\\Programs\\Pictures\\Utdanning\\Bachelor\\Jupyter\\KAR 805.
26   csv'
27 KAR_806 = 'C:\\Users\\Ruben\\Programs\\Pictures\\Utdanning\\Bachelor\\Jupyter\\KAR 806.
28   csv'
29
30 # KAR med 12m diamter:
31 KAR_1201 = 'C:\\Users\\Ruben\\Programs\\Pictures\\Utdanning\\Bachelor\\Jupyter\\KAR
32   1201.csv'
33 KAR_1202 = 'C:\\Users\\Ruben\\Programs\\Pictures\\Utdanning\\Bachelor\\Jupyter\\KAR
34   1202.csv'
35 KAR_1203 = 'C:\\Users\\Ruben\\Programs\\Pictures\\Utdanning\\Bachelor\\Jupyter\\KAR
36   1203.csv'
37 KAR_1204 = 'C:\\Users\\Ruben\\Programs\\Pictures\\Utdanning\\Bachelor\\Jupyter\\KAR
38   1204.csv'
39
40 # Grand total for RAS 1:
41 Grand_total = 'C:\\Users\\Ruben\\Programs\\Pictures\\Utdanning\\Bachelor\\Jupyter\\Grand
42   total.csv'
43
44 # Lage csv_header siden karene 801 til 806 og 1201 til 1204 og Grand total
45 # har samme header s trenger bare lage disse names i pd dataframe en gang.
```

---

```

34
35 K_801 = open(KAR_801)
36
37 # leser av data i csv filen
38 csv_reader = csv.reader(K_801)
39
40 # Trenger bare en csv_header siden alle filene har lik overskrift og format
41 csv_header = next(csv_reader)
42
43 # Stenger fil igjen
44 K_801.close()
45
46 #####
47
48 # Lager dataframe og viser datene. Det er ogs fikset p formatet til noen av dataene
49 # slik at
50 # alle m linger er omgjort til float64 og formatet p datoen er fikset til dag.mnd.
51 #
52 # Dataframe for kar 801
53
54 df_K_801 = pd.read_csv(KAR_801, header=None, skiprows=1, names=csv_header)
55 df_K_801['Closing Biomass'] = df_K_801['Closing Biomass'].str.replace(',', '').astype(
56     float)
57 df_K_801['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'] = pd.to_numeric(df_K_801['
58     Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'], errors='coerce')
59 df_K_801['Closing Date'] = pd.to_datetime(df_K_801['Closing Date'], format='%d.%m.%Y')
60 df_K_801.replace(0, np.nan, inplace=True)
61 # Fjernes '#' s vises pandas dataframe
62 #df_K_801
63
64 #####
65
66 # Dataframe for kar 802
67
68 df_K_802 = pd.read_csv(KAR_802, header=None, skiprows=3, names=csv_header)
69 df_K_802['Closing Biomass'] = df_K_802['Closing Biomass'].str.replace(',', '').astype(
70     float)
71 df_K_802['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'] = pd.to_numeric(df_K_802['
72     Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'], errors='coerce')
73 df_K_802['Closing Date'] = pd.to_datetime(df_K_802['Closing Date'], format='%d.%m.%Y')
74 df_K_802.replace(0, np.nan, inplace=True)
75 #df_K_802
76
77 #####
78
79 # Dataframe for kar 803
80
81 df_K_803 = pd.read_csv(KAR_803, header=None, skiprows=3, names=csv_header)

```

---

```

76 df_K_803['Closing Biomass'] = df_K_803['Closing Biomass'].str.replace(',', '').astype(
    float)
77 df_K_803['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'] = pd.to_numeric(df_K_803['
    Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'], errors='coerce')
78 df_K_803['Closing Date'] = pd.to_datetime(df_K_803['Closing Date'], format='%d.%m.%Y')
79 df_K_803.replace(0, np.nan, inplace=True)
80 #df_K_803
81
82 #####
83
84 # Dataframe for kar 804
85
86 df_K_804 = pd.read_csv(KAR_804, header=None, skiprows=3, names=csv_header)
87 df_K_804['Closing Biomass'] = df_K_804['Closing Biomass'].str.replace(',', '').astype(
    float)
88 df_K_804['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'] = pd.to_numeric(df_K_804['
    Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'], errors='coerce')
89 df_K_804['Closing Date'] = pd.to_datetime(df_K_804['Closing Date'], format='%d.%m.%Y')
90 df_K_804.replace(0, np.nan, inplace=True)
91 #df_K_804
92
93 #####
94
95 # Dataframe for kar 805
96
97 df_K_805 = pd.read_csv(KAR_805, header=None, skiprows=3, names=csv_header)
98 df_K_805['Closing Biomass'] = df_K_805['Closing Biomass'].str.replace(',', '').astype(
    float)
99 df_K_805['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'] = pd.to_numeric(df_K_805['
    Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'], errors='coerce')
100 df_K_805['Closing Date'] = pd.to_datetime(df_K_805['Closing Date'], format='%d.%m.%Y')
101 df_K_805.replace(0, np.nan, inplace=True)
102 #df_K_805
103
104 #####
105
106 # Dataframe for kar 806
107
108 df_K_806 = pd.read_csv(KAR_806, header=None, skiprows=3, names=csv_header)
109 df_K_806['Closing Biomass'] = df_K_806['Closing Biomass'].str.replace(',', '').astype(
    float)
110 df_K_806['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'] = pd.to_numeric(df_K_806['
    Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'], errors='coerce')
111 df_K_806['Closing Date'] = pd.to_datetime(df_K_806['Closing Date'], format='%d.%m.%Y')
112 df_K_806.replace(0, np.nan, inplace=True)
113 #df_K_806
114
115 #####
116

```

---

```

117 # Dataframe for kar 1201
118
119 df_K_1201 = pd.read_csv(KAR_1201, header=None, skiprows=3, names=csv_header)
120 df_K_1201['Closing Biomass'] = df_K_1201['Closing Biomass'].str.replace(',', ' ').astype(
    float)
121 df_K_1201['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'] = pd.to_numeric(df_K_1201['
    Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'], errors='coerce')
122 df_K_1201['Closing Date'] = pd.to_datetime(df_K_1201['Closing Date'], format='%d.%m.%Y')
123 df_K_1201.replace(0, np.nan, inplace=True)
124 #df_K_1201
125
126 #####
127
128 # Dataframe for kar 1202
129
130 df_K_1202 = pd.read_csv(KAR_1202, header=None, skiprows=3, names=csv_header)
131 df_K_1202['Closing Biomass'] = df_K_1202['Closing Biomass'].str.replace(',', ' ').astype(
    float)
132 df_K_1202['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'] = pd.to_numeric(df_K_1202['
    Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'], errors='coerce')
133 df_K_1202['Closing Date'] = pd.to_datetime(df_K_1202['Closing Date'], format='%d.%m.%Y')
134 df_K_1202.replace(0, np.nan, inplace=True)
135 #df_K_1202
136
137 #####
138
139 # Dataframe for kar 1203
140
141 df_K_1203 = pd.read_csv(KAR_1203, header=None, skiprows=3, names=csv_header)
142 df_K_1203['Closing Biomass'] = df_K_1203['Closing Biomass'].str.replace(',', ' ').astype(
    float)
143 df_K_1203['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'] = pd.to_numeric(df_K_1203['
    Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'], errors='coerce')
144 df_K_1203['Closing Date'] = pd.to_datetime(df_K_1203['Closing Date'], format='%d.%m.%Y')
145 df_K_1203.replace(0, np.nan, inplace=True)
146 #df_K_1203
147
148 #####
149
150 # Dataframe for kar 1204
151
152 df_K_1204 = pd.read_csv(KAR_1204, header=None, skiprows=3, names=csv_header)
153 df_K_1204['Closing Biomass'] = df_K_1204['Closing Biomass'].str.replace(',', ' ').astype(
    float)
154 df_K_1204['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'] = pd.to_numeric(df_K_1204['
    Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'], errors='coerce')
155 df_K_1204['Closing Date'] = pd.to_datetime(df_K_1204['Closing Date'], format='%d.%m.%Y')
156 #df_K_1204
157

```

---

```

158 #####
159
160 # Lager dataframe for Grand total i RAS 1
161 # Dataframe for Grand total RAS 1
162
163 df_G_t = pd.read_csv(Grand_total, header=None, skiprows=3, names=csv_header)
164 df_G_t['Closing Biomass'] = df_G_t['Closing Biomass'].str.replace(',', '').astype(float)
165 df_G_t['Feed amount in period'] = pd.to_numeric(df_G_t['Feed amount in period'], errors=
    'coerce')
166 df_G_t['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'] = pd.to_numeric(df_G_t['
    Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period'], errors='coerce')
167 df_G_t['Closing Date'] = pd.to_datetime(df_G_t['Closing Date'], format='%d.%m.%Y')
168 df_G_t.replace(0, np.nan, inplace=True)
169 #df_G_t
170
171 #####
172
173 # Sjekker om dataene i Pandas dataframe (pd) er av riktig datatype i de forskjellige
    kolonnene.
174 # (NB! kan bare sjekke en dataframe om gangen)
175 # # foran de som ikke sjekkes
176
177 #df_K_801.dtypes
178 #df_K_802.dtypes
179 #df_K_803.dtypes
180 #df_K_804.dtypes
181 #df_K_805.dtypes
182 #df_K_806.dtypes
183 #df_K_1201.dtypes
184 #df_K_1202.dtypes
185 #df_K_1203.dtypes
186 #df_K_1204.dtypes
187 df_G_t.dtypes
188
189 #####
190
191 # Lag multiplot med seks subplot - Figur 12 i bacheloroppgave
192 fig, axs = plt.subplots(nrows=6, ncols=1, figsize=(16, 22), gridspec_kw={'hspace':
    0.55})
193
194 ##### Subplot 1 - KAR 801 #####
195
196 # Plott 1 Biomasse - KAR 801:
197 axs[0].plot(df_K_801['Closing Date'], df_K_801['Closing Biomass'], label='Biomasse',
    color='black')
198 axs[0].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
199 axs[0].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
200 axs[0].set_xticks(df_K_801['Closing Date'])
201 axs[0].set_title('RAS 1 - KAR 801', fontsize=18)

```

```

202
203 # Plott 2 F rmengde - KAR 801:
204 # Lager en y-akse som plasseres p  'ytterkanten' av det grafiske feltet til plottet
205 # slik at Biomasse og f rmengde kan ha forskjellige grenser p  y-aksene.
206 # Dette m  gj res siden det er et stort sprik verdiomr det for float64-verdiene
207 # til biomasse og f rmengde
208 ax2 = axs[0].twinx()
209 ax2.yaxis.label.set_color('red')
210 ax2.tick_params(axis='y', colors='red')
211 ax2.plot(df_K_801['Closing Date'], df_K_801['Feed amount in period'], label='F rmengde '
        , color='red', alpha=1)
212 ax2.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
213
214 # Grenser for de to y-aksene i subplot 1:
215 axs[0].set_ylim([0, 14000])
216 ax2.set_ylim([0, 260])
217
218 # Legends for de to plottene i subplot 1:
219 lines, labels = axs[0].get_legend_handles_labels()
220 lines2, labels2 = ax2.get_legend_handles_labels()
221 axs[0].legend(lines + lines2, labels + labels2, loc='upper left', fontsize=16)
222 #####
223
224 #### Subplot 2 - KAR 802 ####
225
226 # Plott 1 Biomasse - KAR 802:
227 axs[1].plot(df_K_802['Closing Date'], df_K_802['Closing Biomass'], label='Biomasse',
        color='black')
228 axs[1].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
229 axs[1].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
230 axs[1].set_xticks(df_K_802['Closing Date'])
231 axs[1].set_title('RAS 1 - KAR 802', fontsize=18)
232
233 # Plott 2 F rmengde - KAR 802:
234 ax12 = axs[1].twinx()
235 ax12.yaxis.label.set_color('red')
236 ax12.tick_params(axis='y', colors='red')
237 ax12.plot(df_K_802['Closing Date'], df_K_802['Feed amount in period'], label='F rmengde
        ', color='red', alpha=1)
238 ax12.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
239
240 # Grenser for de to y-aksene i subplot 2:
241 axs[1].set_ylim([0, 14000])
242 ax12.set_ylim([0, 260])
243
244 # Legends for de to plottene i subplot 2:
245 lines, labels = axs[1].get_legend_handles_labels()
246 lines2, labels2 = ax12.get_legend_handles_labels()
247 axs[1].legend(lines + lines2, labels + labels2, loc='upper left', fontsize=16)

```

```

248 #####
249
250 ##### Subplot 3 - KAR 803 #####
251
252 # Plott 1 Biomasse - KAR 803:
253 axs[2].plot(df_K_803['Closing Date'], df_K_803['Closing Biomass'], label='Biomasse',
254             color='black')
255 axs[2].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
256 axs[2].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
257 axs[2].set_xticks(df_K_803['Closing Date'])
258
259 # Plott 2 F rmengde - KAR 803:
260 ax22 = axs[2].twinx()
261 ax22.yaxis.label.set_color('red')
262 ax22.tick_params(axis='y', colors='red')
263 ax22.plot(df_K_803['Closing Date'], df_K_803['Feed amount in period'], label='F rmengde
264           ', color='red', alpha=1)
265
266 # Grenser for de to y-aksene i subplot 3:
267 axs[2].set_ylim([0, 14000])
268 ax22.set_ylim([0, 260])
269
270 # Legends for de to plottene i subplot 3:
271 lines, labels = axs[2].get_legend_handles_labels()
272 lines2, labels2 = ax22.get_legend_handles_labels()
273 axs[2].legend(lines + lines2, labels + labels2, loc='upper left', fontsize=16)
274 #####
275
276 ##### Subplot 4 - KAR 804 #####
277
278 # Plott 1 Biomasse - KAR 804:
279 axs[3].plot(df_K_804['Closing Date'], df_K_804['Closing Biomass'], label='Biomasse',
280             color='black')
281 axs[3].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
282 axs[3].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
283 axs[3].set_xticks(df_K_804['Closing Date'])
284
285 # Plott 2 F rmengde - KAR 804:
286 ax32 = axs[3].twinx()
287 ax32.yaxis.label.set_color('red')
288 ax32.tick_params(axis='y', colors='red')
289 ax32.plot(df_K_804['Closing Date'], df_K_804['Feed amount in period'], label='F rmengde
290           ', color='red', alpha=1)
291
292 # Grenser for de to y-aksene i subplot 4:

```



```

293 axs[3].set_ylim([0, 14000])
294 ax32.set_ylim([0, 260])
295
296 # Legends for de to plottene i subplot 4:
297 lines, labels = axs[3].get_legend_handles_labels()
298 lines2, labels2 = ax22.get_legend_handles_labels()
299 axs[3].legend(lines + lines2, labels + labels2, loc='upper left', fontsize=16)
300 #####
301
302 #### Subplot 5 - KAR 805 ####
303
304 # Plott 1 Biomasse - KAR 805:
305 axs[4].plot(df_K_805['Closing Date'], df_K_805['Closing Biomass'], label='Biomasse',
306            color='black')
307 axs[4].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
308 axs[4].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
309 axs[4].set_xticks(df_K_805['Closing Date'])
310 axs[4].set_title('RAS 1 - KAR 805', fontsize=18)
311
312 # Plott 2 F rmengde - KAR 805:
313 ax42 = axs[4].twinx()
314 ax42.yaxis.label.set_color('red')
315 ax42.tick_params(axis='y', colors='red')
316 ax42.plot(df_K_805['Closing Date'], df_K_805['Feed amount in period'], label='F rmengde
317            ', color='red', alpha=1)
318 ax42.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
319
320 # Grenser for de to y-aksene i subplot 5:
321 axs[4].set_ylim([0, 14000])
322 ax42.set_ylim([0, 260])
323
324 # Legends for de to plottene i subplot 5:
325 lines, labels = axs[4].get_legend_handles_labels()
326 lines2, labels2 = ax22.get_legend_handles_labels()
327 axs[4].legend(lines + lines2, labels + labels2, loc='upper right', fontsize=16)
328 #####
329
330 # Plott 1 Biomasse - KAR 806:
331 axs[5].plot(df_K_806['Closing Date'], df_K_806['Closing Biomass'], label='Biomasse',
332            color='black')
333 axs[5].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
334 axs[5].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
335 axs[5].set_xticks(df_K_806['Closing Date'])
336 axs[5].set_title('RAS 1 - KAR 806', fontsize=18)
337
338 # Plott 2 F rmengde - KAR 806:
339 ## - M ogs lage enda en y-akse som passer til datane i F rmengde ##
340 ax52 = axs[5].twinx()
341 ax52.yaxis.label.set_color('red')

```

```

339 ax52.tick_params(axis='y', colors='red')
340 ax52.plot(df_K_806['Closing Date'], df_K_806['Feed amount in period'], label='F rmengde
      ', color='red', alpha=1)
341 ax52.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
342
343 # Grenser for de to y-aksene i subplot 6:
344 axs[5].set_ylim([0, 14000])
345 ax52.set_ylim([0, 260])
346
347 # Legends for de to plottene i subplot 6:
348 lines, labels = axs[5].get_legend_handles_labels()
349 lines2, labels2 = ax22.get_legend_handles_labels()
350 axs[5].legend(lines + lines2, labels + labels2, loc='upper left', fontsize=16)
351 #####
352
353 # Setter at figuren skal ha en 'tight layout'
354 fig.tight_layout()
355
356 # Lagrer multiplottet som en png-fil (bilde)
357 plt.savefig('RAS 1 - Biomasse&Formengde KAR 801-806', dpi=150, bbox_inches='tight',
      pad_inches=0.1)
358
359 # Viser multiplottet med 6 subplot
360 plt.show()
361
362 #####
363
364 # Lag multiplot med fire subplot - Figur 13 i bacheloroppgave
365 fig, axs = plt.subplots(nrows=4, ncols=1, figsize=(16, 22), gridspec_kw={'hspace':
      0.35})
366
367 #### Subplot 1 - KAR 1201 ####
368
369 # Plott 1 Biomasse - KAR 1201:
370 axs[0].plot(df_K_1201['Closing Date'], df_K_1201['Closing Biomass'], label='Biomasse',
      color='black')
371 axs[0].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
372 axs[0].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
373 axs[0].set_xticks(df_K_1201['Closing Date'])
374 axs[0].set_title('RAS 1 - KAR 1201', fontsize=18)
375
376 # Plott 2 F rmengde - KAR 1201:
377 ax2 = axs[0].twinx()
378 ax2.yaxis.label.set_color('red')
379 ax2.tick_params(axis='y', colors='red')
380 ax2.plot(df_K_1201['Closing Date'], df_K_1201['Feed amount in period'], label='
      F rmengde', color='red', alpha=1)
381 ax2.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
382

```

```

383 # Grenser for de to y-aksene i subplot 1:
384 axs[0].set_ylim([0, 28000])
385 ax2.set_ylim([0, 400])
386
387 # Legends for de to grafene i subplot 1:
388 lines, labels = axs[0].get_legend_handles_labels()
389 lines2, labels2 = ax2.get_legend_handles_labels()
390 axs[0].legend(lines + lines2, labels + labels2, loc='upper left', fontsize=13)
391 #####
392
393 ##### Subplot 2 - KAR 1202 #####
394
395 # Plott 1 Biomasse - KAR 1202:
396 axs[1].plot(df_K_1202['Closing Date'], df_K_1202['Closing Biomass'], label='Biomasse',
397            color='black')
398 axs[1].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
399 axs[1].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
400 axs[1].set_xticks(df_K_1202['Closing Date'])
401 axs[1].set_title('RAS 1 - KAR 1202', fontsize=18)
402
403 # Plott 2 F rmengde - KAR 1202:
404 ax12 = axs[1].twinx()
405 ax12.yaxis.label.set_color('red')
406 ax12.tick_params(axis='y', colors='red')
407 ax12.plot(df_K_1202['Closing Date'], df_K_1202['Feed amount in period'], label='
408            F rmengde', color='red', alpha=1)
409 ax12.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
410
411 # Grenser for de to y-aksene i subplot 2:
412 axs[1].set_ylim([0, 28000])
413 ax12.set_ylim([0, 400])
414
415 # Legends for de to grafene i subplot 2:
416 lines, labels = axs[1].get_legend_handles_labels()
417 lines2, labels2 = ax12.get_legend_handles_labels()
418 axs[1].legend(lines + lines2, labels + labels2, loc='upper left', fontsize=13)
419 #####
420
421 ##### Subplot 3 - KAR 1203 #####
422
423 # Plott 1 Biomasse - KAR 1203:
424 axs[2].plot(df_K_1203['Closing Date'], df_K_1203['Closing Biomass'], label='Biomasse',
425            color='black')
426 axs[2].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
427 axs[2].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
428 axs[2].set_xticks(df_K_1203['Closing Date'])
429 axs[2].set_title('RAS 1 - KAR 1203', fontsize=18)
430
431 # Plott 2 F rmengde - KAR 803:

```

```

429 ax22 = axs[2].twinx()
430 ax22.yaxis.label.set_color('red')
431 ax22.tick_params(axis='y', colors='red')
432 ax22.plot(df_K_1203['Closing Date'], df_K_1203['Feed amount in period'], label='
      F rmengde', color='red', alpha=1)
433 ax22.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
434
435 # Grenser for de to y-aksene i subplot 2:
436 axs[2].set_ylim([0, 28000])
437 ax22.set_ylim([0, 400])
438
439 # Legends for de to grafene i subplot 2:
440 lines, labels = axs[2].get_legend_handles_labels()
441 lines2, labels2 = ax22.get_legend_handles_labels()
442 axs[2].legend(lines + lines2, labels + labels2, loc='upper right', fontsize=13)
443 #####
444
445 #### Subplot 4 - KAR 1204 ####
446
447 # Plott 1 Biomasse - KAR 1204:
448 axs[3].plot(df_K_1204['Closing Date'], df_K_1204['Closing Biomass'], label='Biomasse',
      color='black')
449 axs[3].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
450 axs[3].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
451 axs[3].set_xticks(df_K_1204['Closing Date'])
452 axs[3].set_title('RAS 1 - KAR 1204', fontsize=18)
453
454 # Plott 2 F rmengde - KAR 1204:
455 ax32 = axs[3].twinx()
456 ax32.yaxis.label.set_color('red')
457 ax32.tick_params(axis='y', colors='red')
458 ax32.plot(df_K_1204['Closing Date'], df_K_1204['Feed amount in period'], label='
      F rmengde', color='red', alpha=1)
459 ax32.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
460
461 # Grenser for de to y-aksene i subplot 2:
462 axs[3].set_ylim([0, 28000])
463 ax32.set_ylim([0, 400])
464
465 # Legends for de to grafene i subplot 2:
466 lines, labels = axs[3].get_legend_handles_labels()
467 lines2, labels2 = ax22.get_legend_handles_labels()
468 axs[3].legend(lines + lines2, labels + labels2, loc='upper right', fontsize=13)
469 #####
470
471 fig.tight_layout()
472 plt.savefig('RAS 1 - Biomasse&Formengde KAR 1201-1204', dpi=150, bbox_inches='tight',
      pad_inches=0.1)
473 plt.show()

```

```

474
475 #####
476
477 # Lag figur - Figur 14 i bacheloroppgave
478 fig, axs = plt.subplots(nrows=1, ncols=1, figsize=(16, 12), gridspec_kw={'hspace':
    0.35})
479
480 ##### Subplot 1 - Grand total #####
481
482 # Plott 1 Biomasse - Grand total:
483 axs.plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Closing Biomass'], label='Biomasse', color='
    black')
484 axs.set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
485 axs.set_xlabel('Dato', fontsize=16)
486 axs.set_xticks(df_G_t['Closing Date'])
487 axs.set_title('RAS 1 - total for alle kar', fontsize=18)
488
489 # Plott 2 F rmengde - Grand total:
490 ## - M ogs lage enda en y-akse som passer til datane i F rmengde ##
491 ax2 = axs.twinx()
492 ax2.yaxis.label.set_color('red')
493 ax2.tick_params(axis='y', colors='red')
494 ax2.plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Feed amount in period'], label='F rmengde',
    color='red', alpha=1)
495 ax2.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
496
497 # Grenser for de to y-aksene i subplot 1:
498 axs.set_ylim([0, 145000])
499 ax2.set_ylim([0, 1200])
500
501 # Legends for de to grafene i subplot 1:
502 lines, labels = axs.get_legend_handles_labels()
503 lines2, labels2 = ax2.get_legend_handles_labels()
504 axs.legend(lines + lines2, labels + labels2, loc='upper left', fontsize=14)
505 #####
506
507 fig.tight_layout()
508 plt.savefig('RAS 1 - Biomasse&Formengde for hele RAS 1', dpi=150, bbox_inches='tight',
    pad_inches=0.1)
509 plt.show()
510
511 #####
512
513 # Lag multiplot med to subplot - - Figur 15 i bacheloroppgave
514 fig, axs = plt.subplots(nrows=2, ncols=1, figsize=(16, 22), gridspec_kw={'hspace':
    0.15})
515
516 ##### Subplot 1 - Grand total #####
517

```

---

```

518 # Plott 1 Biomasse - Grand total:
519 axs[0].plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Closing Biomass'], label='Biomasse', color='
    black')
520 axs[0].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
521 axs[0].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
522 axs[0].set_xticks(df_G_t['Closing Date'])
523 axs[0].set_title('RAS 1 - total for alle kar (Grand total)', fontsize=18)
524
525 # Plott 2 F rmengde - Grand total:
526 # - Lager enda en y-akse som passer til datane i F rmengde
527 ax2 = axs[0].twinx()
528 ax2.yaxis.label.set_color('red')
529 ax2.tick_params(axis='y', colors='red')
530 ax2.plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Feed amount in period'], label='F rmengde',
    color='red', alpha=1)
531 ax2.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
532
533 # Plott 3 pH - Grand total:
534 # - M ogs lage enda en y-akse som passer til datane for pH
535 # Denne y-aksen plasserers til h yre for y-aksen som ble
536 # laget i plott to (plottet rett over)
537 ax3 = axs[0].twinx()
538 ax3.spines["right"].set_position(("axes", 1.1))
539 ax3.yaxis.label.set_color('green')
540 ax3.tick_params(axis='y', colors='green')
541 ax3.plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['pH (all depths) Avg in period'], label='pH',
    color='green', alpha=1)
542 ax3.set_ylabel('pH', fontsize=16)
543
544 # Plott 4 Salinitet - Grand total:
545 # - M ogs lage enda en y-akse som passer til datane i F rmengde
546 # Denne y-aksen plasserers til venstre for y-aksen som ble laget
547 # i plott 1 - Biomasse - Grand total
548 ax4 = axs[0].twinx()
549 ax4.spines['left'].set_position(('outward', 120))
550 ax4.spines['left'].set_visible(True) # sikrer at den aksen er synlig
551 ax4.spines['right'].set_visible(False) # gjemmer den h yre aksen
552 ax4.yaxis.set_label_position('left')
553 ax4.plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Salinity (all depths) Avg [ppm] in period'],
    label='Salinitet', color='blue', alpha=0.7)
554
555 # M fikse plassering for akse, manuelt sette strekmellomrom og gi aksen en label
556 ax4_ticks = [0, 2, 4, 6, 8, 10]
557 ax4.tick_params(colors='blue')
558 ax4.spines['left'].set_position(('outward', 120)) # justerer horisontal plassering av
    aksen
559 ax4.set_ylabel('Salinitet [ppm]', fontsize=16, color='blue')
560 ax4.yaxis.set_ticks_position('left') # Setter strekmellomrommene aksen til venstre (
    aksen som er synelig)

```

---

```

561
562 # Grenser for de to y-aksene i subplot 1:
563 axs[0].set_ylim([0, 160000])
564 ax2.set_ylim([0, 1400])
565 ax3.set_ylim([0,8])
566 ax4.set_ylim([0,10])
567
568 # Legends for de fire grafene i subplot 1:
569 lines, labels = axs[0].get_legend_handles_labels()
570 lines2, labels2 = ax2.get_legend_handles_labels()
571 lines3, labels3 = ax3.get_legend_handles_labels()
572 lines4, labels4 = ax4.get_legend_handles_labels()
573 axs[0].legend(lines4 + lines + lines2 + lines3, labels4 + labels + labels2 + labels3,
               loc='upper center', fontsize=16, ncol = 4)
574 #####
575
576 #### Subplot 2 - Grand total ####
577
578 # Plott 1 Biomasse - Grand total:
579 axs[1].plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Closing Biomass'], label='Biomasse', color='
               black')
580 axs[1].set_ylabel('Biomasse [kg]', fontsize=16)
581 axs[1].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
582 axs[1].set_xticks(df_G_t['Closing Date'])
583 axs[1].set_title('RAS 1 - total for alle kar (Grand total)', fontsize=18)
584
585 # Plott 2 F rmengde - Grand total:
586 ax12 = axs[1].twinx()
587 ax12.yaxis.label.set_color('red')
588 ax12.tick_params(axis='y', colors='red')
589 ax12.plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Feed amount in period'], label='F rmengde',
           color='red', alpha=1)
590 ax12.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
591
592 # Plott 3 Turbiditet - Grand total:
593 ax13 = axs[1].twinx()
594 ax13.spines["right"].set_position(("axes", 1.1))
595 ax13.yaxis.label.set_color('green')
596 ax13.tick_params(axis='y', colors='green')
597 ax13.plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period
           '], label='Turbiditet', color='green', alpha=1)
598 ax13.set_ylabel('Turbiditet [FAU]', fontsize=16)
599
600 # Plott 4 Vannfarge - Grand total:
601 ax14 = axs[1].twinx()
602 ax14.spines['left'].set_position(('outward', 120))
603 ax14.spines['left'].set_visible(True)
604 ax14.spines['right'].set_visible(False)
605 ax14.yaxis.set_label_position('left')

```

```

606 ax14.plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Water colour (all depths) Avg [Unknown] in
        period'], label='Vannfarge', color='blue', alpha=0.7)
607
608 # M fikse plassering for akse, manuelt sette strekmellomrom og gi aksen en label
609 ax14_ticks = [0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80]
610 ax14.tick_params(colors='blue')
611 ax14.spines['left'].set_position(('outward', 120))
612 ax14.set_ylabel('Vannfarge [mgPt/l]', fontsize=16, color='blue')
613 ax14.yaxis.set_ticks_position('left')
614
615 # Grenser for de to y-aksene i subplot 2:
616 axs[1].set_ylim([0, 160000])
617 ax12.set_ylim([0, 1400])
618 ax13.set_ylim([0,30])
619 ax14.set_ylim([0,80])
620
621 # Legends for de fire grafene i subplot 2:
622 lines, labels = axs[1].get_legend_handles_labels()
623 lines2, labels2 = ax12.get_legend_handles_labels()
624 lines3, labels3 = ax13.get_legend_handles_labels()
625 lines4, labels4 = ax14.get_legend_handles_labels()
626 axs[1].legend(lines4 + lines + lines2 + lines3, labels4 + labels + labels2 + labels3,
        loc='upper center', fontsize=16, ncol = 4)
627 #####
628
629 fig.tight_layout()
630 plt.savefig('RAS 1 - parametre', dpi=150, bbox_inches='tight', pad_inches=0.1)
631 plt.show()
632
633 #####
634
635 # Lag multiplot med tre subplot - Figur 16 i bacheloroppgave
636 fig, axs = plt.subplots(nrows=3, ncols=1, figsize=(18, 16), gridspec_kw={'hspace':
        0.35})
637 ##### Subplot 2 - Grand total #####
638
639 # Plott 1 Vannfarge - Grand total:
640 axs[0].plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Water colour (all depths) Avg [Unknown] in
        period'], label='Vannfarge', color='blue', alpha=0.7)
641 axs[0].set_ylabel('Vannfarge [mgPt/l]', fontsize=16)
642 axs[0].yaxis.label.set_color('blue')
643 axs[0].tick_params(axis='y', colors='blue')
644 axs[0].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
645 axs[0].set_xticks(df_G_t['Closing Date'])
646 axs[0].set_title('RAS 1 - total for alle kar (Grand total) Vannfarge og F rmengde',
        fontsize=18)
647
648 # Plott 2 F rmengde - Grand total:
649 ax1 = axs[0].twinx()

```



```

650 ax1.yaxis.label.set_color('red')
651 ax1.tick_params(axis='y', colors='red')
652 ax1.plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Feed amount in period'], label='F rmengde',
        color='red', alpha=1)
653 ax1.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
654
655 # Grenser for de to plottene i subplot 1
656 axs[0].set_ylim([0, 80])
657 ax1.set_ylim([0, 1400])
658
659 # Legends for de to grafene i subplot 1:
660 lines, labels = axs[0].get_legend_handles_labels()
661 lines1, labels1 = ax1.get_legend_handles_labels()
662 axs[0].legend(lines + lines1, labels + labels1, loc='upper center', fontsize=16, ncol =
        2)
663 #####
664
665 # Plott 1 Turbiditet - Grand total:
666 axs[1].plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in
        period'], label='Turbiditet', color='green', alpha=1)
667 axs[1].set_ylabel('Turbiditet [FAU]', fontsize=16, color='green')
668 axs[1].yaxis.label.set_color('green')
669 axs[1].tick_params(axis='y', colors='green')
670 axs[1].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
671 axs[1].set_xticks(df_G_t['Closing Date'])
672 axs[1].set_title('RAS 1 - total for alle kar (Grand total) Turbiditet og F rmengde',
        fontsize=18)
673
674 # Plott 2 F rmengde - Grand total:
675 ax12 = axs[1].twinx()
676 ax12.yaxis.label.set_color('red')
677 ax12.tick_params(axis='y', colors='red')
678 ax12.plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Feed amount in period'], label='F rmengde',
        color='red', alpha=1)
679 ax12.set_ylabel('F rmengde [kg/d gn]', fontsize=16)
680
681 # Grenser for de to plottene i subplot 2
682 axs[1].set_ylim([0, 30])
683 ax12.set_ylim([0, 1400])
684
685 # Legends for de to grafene i subplot 2:
686 lines, labels = axs[0].get_legend_handles_labels()
687 lines1, labels1 = ax12.get_legend_handles_labels()
688 axs[1].legend(lines + lines1, labels + labels1, loc='upper center', fontsize=16, ncol =
        2)
689 #####
690
691 # Plott 1 Vannfarge - Grand total:

```

---

```

692 axs[2].plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Water colour (all depths) Avg [Unknown] in
        period'], label='Vannfarge', color='blue', alpha=0.7)
693 axs[2].set_ylabel('Vannfarge [mgPt/l]', fontsize=16)
694 axs[2].yaxis.label.set_color('blue')
695 axs[2].tick_params(axis='y', colors='blue')
696 axs[2].set_xlabel('Dato', fontsize=16)
697 axs[2].set_xticks(df_G_t['Closing Date'])
698 axs[2].set_title('RAS 1 - total for alle kar (Grand total) Vannfarge og Turbiditet',
        fontsize=18)
699
700 # Plott 2 Turbiditet - Grand total:
701 ax22 = axs[2].twinx()
702 ax22.yaxis.label.set_color('green')
703 ax22.tick_params(axis='y', colors='green')
704 ax22.plot(df_G_t['Closing Date'], df_G_t['Turbidity (all depths) Avg [Unknown] in period
        '], label='Turbiditet', color='green', alpha=1)
705 ax22.set_ylabel('Turbiditet [FAU]', fontsize=16)
706
707 # Grenser for de to plottene i subplot 3
708 axs[2].set_ylim([0, 80])
709 ax22.set_ylim([0, 30])
710
711 # Legends for de to grafene i subplot 3:
712 lines, labels = axs[2].get_legend_handles_labels()
713 lines1, labels1 = ax22.get_legend_handles_labels()
714 axs[2].legend(lines + lines1, labels + labels1, loc='upper center', fontsize=16, ncol =
        2)
715
716 fig.tight_layout()
717 plt.savefig('RAS 1 - parametre forbedret', dpi=150, bbox_inches='tight', pad_inches=0.1)
718 plt.show()

```

