

Sigrid Marie Elden
Sander O. H. Furberg
William Slinning

Kan bruk av sykloner på karnivå i RAS-anlegg dokumenteres som positivt for vannkvalitet, og med hvilket målesystem?

Hovedoppgave i Bachelor i ingeniørfag, havbruk
Veileder: Bjørn Egil Asbjørnslett
Medveileder: Bengt Finstad
Mai 2024

Sigrd Marie Elden
Sander O. H. Furberg
William Slinning

Kan bruk av sykloner på karnivå i RAS-anlegg dokumenteres som positivt for vannkvalitet, og med hvilket målesystem?

Hovedoppgave i Bachelor i ingeniørfag, havbruk
Veileder: Bjørn Egil Asbjørnslett
Medveileder: Bengt Finstad
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for marin teknikk



Kunnskap for en bedre verden

Forord

Det er med stolhet og entusiasme at vi presenterer vår avsluttende oppgave for studieprogrammet Bachelor i ingeniørfag, havbruk (BIHAV). Studieprogrammet har et treårig studieløp hvor vi har tilhørt både Institutt for biologi og Institutt for marin teknikk. Programmet er ment for å sikre en helhetlig kompetanse både gjennom biologi, fiskevelferd og den tekniske delen som angår havbruksnæringen.

Gruppen består av tre studenter med ulik erfaring innenfor settefiskproduksjon, resirkulerende akvakultur systemer (RAS) og gjennomstrømsanlegg. Medlemmene har også hatt relevante emnekombinasjoner innenfor RAS og fiskevelferd, noe som har vært til god hjelp under gjennomføringen av bacheloroppgaven. I det siste året av studieløpet har gruppe-medlemmene hatt noe ulik fagkombinasjon. Dette gjør at gruppen sitter med en større bredde av kunnskap som kan være til fordel for oppgaven. Dette i kombinasjon med at alle var interessert i å finne en problemstilling som ville gi en kombinasjon av biologi og teknologi, gjorde at et samarbeid med Bluecirc og Nekton settefisk var svært aktuell og relevant. Da den aktuelle problemstillingen fra Bluecirc ble tilgjengelig, fanget den derfor interessen hos alle gruppe-medlemmene.

Vi har samarbeidet tett gjennom hele oppgaven, og har forsøkt å fordele arbeidsmengden likt mellom gruppe-medlemmene. Gjennom felles lesing, drøfting og analyse har vi sørget for at oppgaven er et resultat av kollektivt arbeid, og at alle står bak innholdet. Vårt mål med denne oppgaven var å lære og utforske sykklonenens oppbygging og funksjon, samt lære å dokumentere og presentere en faglig akademisk tekst på høyt nivå. Formålet med denne oppgaven var å gjennomføre undersøkelser og analyser av effektiviteten til sykklonen i RAS-anlegg, samt legge til rette for å anbefale et automatisk målesystem.

Bacheloroppgaven har vært utrolig interessant og lærerik. Etter denne bacheloroppgaven sitter vi igjen med økt kompetanse rundt RAS-anlegg, og spesielt rundt bruken av sykkloner. Vi ønsker derfor å takke Bjørn Egil Asbjørnslett for god veiledning rundt oppbygging og strukturering av oppgaven, samt idéer for videre arbeid. Det har vært til stor hjelp når vi har stått litt fast i arbeidet med oppgaven. Vi vil også takke Dag Altin, Iurgi Imanol Salaverria-Zabalegui og Bengt Finstad for god hjelp på den biologiske og vannkjemiske delen av oppgaven, herunder planlegging av forsøket, analyse av resultatene, samt tips til videre arbeid. I tillegg ønsker vi å takke våre samarbeidspartnere; Maria Sørøy og Svein Erik Gjøstøl i Nekton, og Noralf Rønningen i Bluecirc. De har vært til god hjelp med det praktiske på anlegget, logistikk, samt faglig bidrag underveis i arbeidsprosessen. Vi ønsker også å takke Ecco it for et godt samarbeid og bidrag til oppgaven.

Sammendrag

Hensikten med denne bacheloroppgaven var å undersøke effektiviteten til sykloner på karnivå i RAS-anlegg, hvordan det påvirker vannkvaliteten, samt forsøke å etablere et målesystem. For at fiskens fysiologiske og morfologiske utvikling skal være optimal, må det legges stor vekt på tilstrekkelig vannkvalitet. Et RAS-anlegg består av en rekke komponenter som skal sørge for at vannkvaliteten er optimal. Siden RAS-anlegg brukes under intensiv produksjon av fisk, er det viktig at alle disse komponentene fungerer som de skal. Grovfiltreringen av partikler skjer i det mekaniske filteret, hvor de aller største partiklene blir fjernet fra systemet. Slike filter kan bli belastet over dens evne, og tilleggskomponenter for rensing bør undersøkes. Sykloner er en god metode for grovfiltreringen av partikler, og kan være med på å avlaste det mekaniske filteret.

Det har blitt gjennomført en rekke vannprøver fra syklonene, slik at det har vært mulig å kartlegge dens effektivitet og påvirkning på vannkvaliteten. Vannprøvene er hentet fra avløp kar, innløp syklon og overløp syklon. TSS-prøvene ble fylt direkte i prøveflaskene og sendt til Nemko Norlab, mens prøvene til turbiditet og Coulter Counter ble filtrert på 100 μm , og analysert av gruppen. Alle prøvene ble hentet ut på fastsatte tidspunkt i løpet av to dager. Det ble også tatt video fra det gjennomsiktige innløpsrøret til syklonen, overløpsrøret og avløpet til karet. Dette skulle legge grunnlaget for etableringen av en automatisk målemetode. I tillegg ble det hentet vannprøve fra innløpsvannet til karene, som ble analysert med turbiditetsmåler og Coulter Counter.

Resultatene viste at det var en trend som belyste effektiviteten til syklonen. Det var en nedgang i mengde TSS fra innløp syklon til overløp syklon, for begge dagene. Den beregnede rensegraden varierte fra 18 til 63 %, som sier noe om effektiviteten til syklonen. For turbiditet kunne man til en viss grad se en nedgang fra innløp syklon til overløp syklon. Nedgangen er minimal, noe som er tydelig hvis man ser på standardavviket for hvert målepunkt. Coulter Counteren viser den samme trenden for avløp kar, innløp syklon og overløp syklon for begge dagene. Alle har de samme toppene ved 3 μm og 8,5 μm , og samme bunnpunkt ved 5 μm . Størrelsesintervallet for partiklene varierte fra 2,2 - 20 μm .

TSS-målingene reflekterer i større grad effektiviteten til syklonen. Dette skyldes at TSS tar utgangspunktet i alt av partikler som befinner seg i vannet. Ved å sammenligne resultatene fra TSS med resultatene fra Coulter Counter og turbiditet, kunne gruppen konkludere med at syklonen var mest effektiv på de største partiklene. Ved at syklonen fjerner partikler bidrar den til god vannkvalitet, og dermed også god fiskevelferd og lønnsomhet. Det ble utforsket en mulighet for hvordan videoanalyse av datasett kunne fungert, og hvilke krav det stilles til videotakingen for å oppnå høyest mulig nøyaktighet fra opptakene.

Abstract

The purpose of this bachelor thesis was to examine the effectiveness of cyclones on particle removal in Recirculating Aquaculture Systems (RAS), how it affects water quality, and attempt to establish a measurement system. For optimal physiological and morphological development of fish, it is crucial to achieve good water quality. A RAS consists of several components that ensure optimal water quality. Since RAS are used in intensive fish production, it is essential that all these components function properly. Filtration of the largest particles occurs in the mechanical filter. Such filters can be overloaded, and additional components for filtration should be examined. Cyclones are an effective method for filtration of the largest particles, and can help relieve the mechanical filter.

Numerous water samples from the cyclone have been collected, making it possible to map its efficiency and impact on water quality. The water samples were taken from the tank drain, cyclone inlet, and cyclone overflow. The Total Suspended Solids (TSS) samples were filled directly into the sample bottles and sent to Nemko Norlab, while the samples for turbidity and Coulter Counter were filtered at 100 μm and examined by the group. All samples were collected at predetermined time points over the course of two days. Videos were also taken from the transparent cyclon-inlet pipe, the cyclone overflow and the tank drain. This would form the basis for establishing an automatic measurement method. Additionally, a water sample was collected from the inlet water to the tanks, which was analyzed using a turbidity meter and Coulter Counter.

The results showed a trend that highlighted the effectiveness of the cyclone. There was a decrease in the amount of TSS from the cyclone inlet to the cyclone overflow, for both days. The calculated purification level ranged from 18 to 63 %, which indicates the efficiency of the cyclone. For turbidity, a decrease from the cyclone inlet to the cyclone overflow could be seen to some extent. The decrease is somewhat vague, which is quite evident if standard deviation for each measurement point is considered. The Coulter Counter showed the same trend for the tank drain, cyclone inlet, and cyclone overflow for both days. All had the same peaks at 3 μm and 8.5 μm , and the same minimum point at 5 μm . Size range of the particles varied from 2.2 - 20 μm .

The TSS measurements reflect the cyclone's effectiveness more significantly. This is because TSS is based on all particles in the water. By comparing the results from the TSS with the results from the Coulter Counter and turbidity, the group could conclude that the cyclone was most effective on the largest particles. By removing particles, the cyclone contributes to good water quality, and thus good fish welfare and profitability. An opportunity for analyzing datasets was explored, and the requirements for the video recordings to achieve the best possible dataset were examined.

Innhold

Figurer	v
Tabeller	vi
1 Begreper og akronymer	1
2 Innledning	2
2.1 Oppgaveformulering og avgrensning	2
2.2 Innhentning av teori og informasjon	3
2.3 Oppbygging av oppgave	3
3 Litteraturstudie	4
3.1 Laksens livssyklus i oppdrett	4
3.2 RAS - Resirkulerende akvakultur systemer	7
3.3 Partiklenes betydning for fiskehelse	21
3.4 Sykloner	21
3.5 Videoanalyse med maskinlæring	23
4 Metodebeskrivelse	24
4.1 Feltområde	24
4.2 Beskrivelse av anlegget	24
4.3 Målepunkt og framgangsmåte	26
4.4 Måleutstyr	29
4.5 Generelt utstyr	34
4.6 Systematisering av datamateriale, analyse og statistikk	34
5 Resultater	35
5.1 TSS-konsentrasjon i vannprøvene	35
5.2 Turbiditetsnivå i vannprøvene	36
5.3 Partikkelfordeling og størrelse	37
6 Diskusjon	39
6.1 Syklonens effekt på TSS og vannkvalitet	39
6.2 Turbiditet og vannkvalitet	41
6.3 Coulter Counter og partikkelstørrelse	41
6.4 Partikler og fiskevelferd	42
6.5 Syklonens lønnsomhet	44
6.6 Anbefaling av målesystem	44
6.7 Videre forskning	45

7	Konklusjon	46
	Referanseliste	47
8	Vedlegg	51
8.1	Python-koder for generering og tilpasning av figurer	51
8.2	Excel-ark (med beregning av standardavvik)	57
8.3	Beregninger rensegrad syklon	61

Figurer

1	Flytskjema RAS-anlegg	8
2	Sammenheng mellom utskiftningsgrad og kompleksitet	12
3	Sammenheng mellom konsentrasjon av CO_2 og pH	18
4	Sammenheng mellom NH_3 og NH_4^+ ved ulike pH-verdier	20
5	Prinsippskisse av tverrsnitt til syklon som viser primærstrømmen. Laget med inspirasjon fra (Ebeling og Vinci, 2006).	22
6	Prinsippskisse av tverrsnitt til syklon som viser sekundærstrømmen. Laget med inspirasjon fra (Ebeling og Vinci, 2006).	22
7	Figuren viser en detaljert oversikt over hele anlegget. Den består av 10 oktagonale kar, med et volum på 90 kubikkmeter. Fem og fem kar står parallelt. Anlegget har to biofilter og to trommelfilter. Bilde fra: Nekton	24
8	Figuren illustrerer både vannstrømmen ut fra karet og vannstrømmen inn til karet. Dual drain systemet synliggjøres ved at en del av vannutskiftingen går ut avløpet til karet, og en del går ut som delstrøm til syklonen.	25
9	Figuren viser vannstrømmen etter utskifting fra karet. Hver farge med tilhørende piler illustrerer henholdsvis retningen vannet tar etter å ha forlatt karet.	26
10	Figuren viser vannstrømmen gjennom syklonen. Delstrømmen fra karet kommer inn ved gul pil. Det rensede vannet forlater syklonen ved lilla pil, mens det forurensede vannet dreneres ut ved rød pil.	26
11	Målepunktet avløp kar besto av et stort rør i midten av karet, hvor vannet ble pumpet opp til en åpning øverst. Bilde fra: Gruppen	27
12	Bildene viser innløpsrøret til syklonen på to forskjellige steder. Den røde sirkelen på bildet til venstre er innløpsrøret like etter vannet har forlatt karet. Røret er sløyfet rundt syklonen, og går inn ved den røde sirkelen på bildet til høyre. Bilde fra: Gruppen	28
13	Figuren viser overløpet til syklonen. Innenfor den røde sirkelen finner man åpningen til overløpsrøret, hvor det rensede vannet transporteres bort fra syklonen. Bilde fra: Gruppen	28

14	Figuren viser en prinsippskisse av hvordan turbiditetsmålerene brukt i denne oppgaven fungerer. En lyskilde sender lys gjennom en linse, som videre går inn i den aktuelle prøven. Når lyset treffer en partikkel i prøvevæsken, vil det oppstå en lysspredning, som tas opp i lysdetektoren.	30
15	Bildene viser turbiditetsmålerene benyttet under oppgaven. Turbiditetsmåleren til venstre er lånt fra NTNU Sealab, mens måleren til høyre er lånt fra Nekton. Bilde fra: Gruppen	31
16	Prinsippskisse av hvordan Coulter Counteren måler og teller partikler.	31
17	Figuren viser Coulter Counteren som ble benyttet til å telle antall partikler og måle partikkelstørrelse i vannprøvene. Bilde fra: Gruppen	32
18	Figuren illustrerer hvordan en videoanalyse kunne blitt gjort. Til høyre vises den gjennomsiktige delen av innløpsrøret til sykklonen, mens til venstre vises det programmet hentet ut fra opptaket. De grønne omrissene er partikler koden har detektert, innenfor visse krav om areal og omkrets. Bilde fra: Ecco it	33
19	Figuren viser et søylediagram over TSS-konsentrasjonen i de tre målepunktene, for kar 41 og kar 42 torsdag og fredag.	35
20	Figuren viser et søylediagram over resultatene for turbiditet i de tre målepunktene, for kar 41 og kar 42 torsdag og fredag. De svarte vertikale stripene på toppen av hver søyle er det tilhørende standardavviket.	36
21	Figuren viser en fordeling av partikler i størrelsesintervallet 2 - 60 μm langs den horisontale aksene og antall talte partikler langs den vertikale aksene for kar og sykklon 41 torsdag og fredag. Grafene presenterer gjennomsnittet av kjøringene på innløp, overløp og avløp fra torsdag og fredag.	37
22	Figuren viser en fordeling av partikler i størrelsesintervallet 2 - 60 μm langs den horisontale aksene og antall talte partikler langs den vertikale aksene for kar og sykklon 42 torsdag og fredag. Grafene presenterer gjennomsnittet av kjøringene på innløp, overløp og avløp fra torsdag og fredag.	38

Tabeller

1	Anbefalte grenseverdier for vannparametere i RAS	14
2	Informasjon om karene	25
3	Tabellen viser en oversikt over annet utstyr som ble brukt, men tilhørende beskrivelse.	34

1 Begreper og akronymer

Atlantisk laks: Laksefisk med opprinnelse i nordlige deler av Atlanterhavet

RAS: Resirkulerende akvakultur systemer

FTS: Flow Through System

Syklon: Grovrensing av større partikler, som benytter tyngdekraft og sentrifugalkraft

TSS: Totalt Suspended Stoff

Turbiditet: Mål på vannets klarhet

Organisk materiale: Samlebetegnelse på organiske forbindelser fra døde organismer

Uorganisk materiale: Kjemiske forbindelser som ikke er organiske, de er av mineralisk og ikke biologisk opprinnelse

Heterof bakterie: Organismer som lever på organiske næringsstoffer

Resirkuleringsgrad: Hvor stor andel av vannet som gjenbrukes i RAS systemet

Biofilter: Biologisk filtrering med nitrifiserende bakterier som omdanner ammonium til nitrat

TAN: Total Ammonium Nitrogen, den totale mengden av NH_3 og NH_4^+ i vannet

NO_2^- : Nitritt

NO_3^- : Nitrat

NH_4^+ : Ammonium

NH_3 : Amoniak

NOB: Nitrittoksiderende bakterier

AOB: Ammoniumoksiderende bakterier

MBBR: Moving bed biofilm reactor

FBBR: Fixed bed biofilm reactor

Primærstrøm: Strøm som oppstår av tilførsel av nytt vann i karet

Sekundærstrøm: Oppstår som et resultat av primærstrømmen, og transporterer partikler til avløpet

Delstrøm: En andel av total vannutskifting fra karet som separeres fra hovedstrømmen

Hovedstrøm: Den største andelen av vannet ut fra karet og vannstrømmens retning sett ovenfra i kar eller i syklon

Slamstrøm: Vannstrømmen med høyest konsentrasjon av partikler

CO_2 : Karbondioksid

H_2S : Hydrogensulfid

O_2 : Oksygen

Hypoksi: En tilstand hvor tilførselen av oksygen til en organisme er utilstrekkelig i forhold til oksygenbehovet cellene har

Hyperoksi: Overmetning eller opphopning av oksygen i blodet

Maskinlæring: Spesialisering innen kunstig intelligens hvor det brukes statistiske metoder for å la datamaskiner finne mønstre i store datamengder

FPS: Frames per second

2 Innledning

Den norske akvakulturnæringen er i vekst, og det innføres stadig ny teknologi i produksjonen. Settefiskanleggene bærer preg av et ønske om nøyaktig og effektiv rensning og kontroll av vannkvaliteten. Med et økende antall anlegg med RAS-teknologi, samt vekst i akvakulturnæringen, er man alltid på utkikk etter forbedringer av dagens løsninger. Dette gjøres for at driften kan optimaliseres i større grad. Et tilskudd som brukes på noen anlegg er syklonen. Syklonen er en rensenhet som er ment for å avlaste trommel- og biofilteret gjennom grundig fjerning av partikler i vannet. Den har en veldig enkel oppbygging, hvor ingen deler er bevegelige. Prinsippet baseres på fysikkens lover, hvor tyngdekraften og sentrifugalkraften spiller en sentral rolle.

2.1 Oppgaveformulering og avgrensning

Problemstillingen som ble utarbeidet av Bluecirc er «Kan bruk av sykloner på karnivå i RAS-anlegg dokumenteres som positivt for vannkvalitet, og med hvilket målesystem?». Bakgrunnen for denne problemstillingen er å utforske hvor stor nyttefunksjon syklonene faktisk har. Ansatte hos Nekton settefisk, avdeling Smøla, har visuelt lagt merke til at syklonene utgjør en forskjell på kvaliteten på vannrensesystemet.

RAS-anlegg baserer seg i stor grad på gjenbruk av vann, og kan ha en resirkuleringsgrad på opptil 99 % (Sintef, 2024b). Med så høy resirkuleringsgrad vil det være viktig å ha et fungerende vannrensingssystem, for å sikre optimale vekstforhold og overlevelse hos fisken. Et av stegene i vannrensingen handler om å fjerne partikler og organisk materiale fra vannet. Partiklene som oppstår i vannet kan akkumulere seg i vannet og være dårlig for fiskens helse, og kan i verste fall forårsake H_2S , en toksisk gass som kan føre til massedød. Det er derfor svært viktig at trinnet som fjerner partikler fungerer som det skal. De aller fleste RAS-anleggene har en form for trommelfilter som fjerner partikler, men det er ikke like mange som bruker sykloner. Syklonen vil ikke kunne erstatte jobben til trommelfilteret, men heller hjelpe til ved å fjerne noe av partiklene, og dermed avlaste trommelfilteret. Prosjektet vil derfor utforske om syklonene faktisk har en nytteverdi og hvor stor denne er, samt å utforske hvordan man på best mulig måte kan overvåke syklonens virkningsgrad.

I løpet av arbeidet med dette prosjektet ble det gjort justeringer for å begrense oppgavens omfang. Etter samtaler med Nekton og Bluecirc ble det bestemt å erstatte «fiskehelse og lønnsomhet» med «vannkvalitet». Dermed ble hovedfokuset rettet mot generell vannkvalitet og syklonens påvirkning på denne. Fiskehelse og lønnsomhet var fremdeles sentrale elementer av oppgaven, men det ble ikke gjennomført direkte undersøkelser som belyste

disse. Det ble istedenfor valgt å bruke artikler til å drøfte og evaluere effektene syklonen har på fiskehelse og lønnsomhet.

2.2 Innhenting av teori og informasjon

For å gjennomføre denne bacheloroppgaven og besvare den aktuelle problemstillingen ble det gjennomført en grundig litteraturstudie. Det ble brukt relevant litteratur, forelesningsnotater, samt relevante nettsider og artikler. I tillegg ble det brukt tilsendte artikler fra Bluecirc og Morefish. Syklonene på anlegget er ikke levert av Bluecirc, men har samme prinsipielle oppbygging og funksjon. Det er viktig å poengtere at teorien som er brukt om syklonen likevel gjelder de som Bluecirc har i sitt sortiment.

2.3 Oppbygging av oppgave

Bacheloroppgaven er forsøkt satt opp på en oversiktlig og lettleselig måte. Den begynner med en litteraturstudie, hvor nødvendig teori og litteratur blir gjennomgått. Videre er det en beskrivelse av material og metode. Her blir målepunkt og framgangsmåte detaljert forklart, samt en gjennomgang av måleutstyr og anleggets oppbygging. Så blir resultatene forsøkt presentert på en oversiktlig og informativ måte. Deretter kommer diskusjonen, og til slutt konklusjonen.

3 Litteraturstudie

3.1 Laksens livssyklus i oppdrett

Atlantisk laks gjennomgår flere viktige faser i prosessen til å bli en ferdig utviklet smolt. I de ulike stadiene skjer det store fysiologiske og morfologiske endringer, hvor fisken til slutt skal være tilpasset tilværelsen i sjø. Da er det viktig å sørge for at denne utviklingen og prosessen blir optimal, og nødvendige faktorer er håndtert etter beste evne.

3.1.1 Rognfasen

Rognfasen er det første stadiet i utviklingsprosessen til en atlantisk laks. Denne fasen er avgjørende for at utviklingen videre skal være så optimal som mulig. Etter stryking og befruktning av rogn, blir den skylt godt og desinfisert (Benchmark Genetics Norway, 2019b). Dette er svært avgjørende for å bli kvitt urenheter og bakterier som kan føre til skade på rogn. Videre legges rogn i inkubator, hvor den skal ligge i ca. 300 døgngrader. Ved ca. 65 % utvikling sjokkes rogn, og ukurant rogn vil bli fjernet. Det gjennomføres også en kontroll og sjekk av rogn ved ca. 80 % utvikling, hvor underutviklet og skadet rogn sorteres ut (Stallvik og Gjenstø, 2021). I perioden fra 0 døgngrader til ca. 200 døgngrader er det viktig å være påpasselig i forhold til håndtering av rogn, samt vannkvaliteten til vannet den befinner seg i (Benchmark Genetics Norway, 2019b). Under håndtering og røkting av rogn er det viktig å være svært forsiktig, hvor eventuelle feilhandlinger kan skade rogn.

Like etter befruktning har rognkornet en diameter på ca. 3 - 4 mm, hvor rognkornet består av en befruktet eggcelle, samt et væskefylt rom mellom denne og eggeskallet (Kryvi og Poppe, 2021). Det er på innsiden av eggeskallet at den videre utviklingen av embryoet skjer fram til klekkingen begynner. En av de første delene av denne utviklingen er dannelsen av embryonalplaten. Den er et resultat av celledeling, og legger grunnlaget for utviklingen av entodermen. Entodermen er et dypere flak bestående av celler, og vokser frem i bakre kant av embryonalplaten. Videre skjer det en omvoksing av plommemassen. Denne utviklingen skjer hovedsaklig i celleplatus fremre rand, og innebærer at en cellulær hinne omgir hele plommemassen. Det vil videre dannes blodceller og blodkar i denne cellulære hinnen. Plommesekkens næringsstoffer vil etter hvert bli utnyttet av embryoet.

Neste steg i utviklingsprosessen er anlegging av organene (Kryvi og Poppe, 2021). Prosessen starter med dannelsen av ryggstrengen, som er selve kjernen i utviklingen av nervesystemet. Det sentrale nervesystemet hos alle beinfisk er bygd opp som en kompakt cellestav. Cellestaven vil videre få en uthuling i midtre parti, noe som legger grunnlaget for den lille

sentralkanalen. På begge sider av denne cellestaven vil det dannes somitter, også kalt mesodermale celleklumper. Somittene deles inn i de tre delene dermatom, myotom og sklerotom. Disse delene er sentrale elementer i den videre utviklingen av embryoet. Dermatomens oppgave er å danne hudens bindevev, og myotomet står for størsteparten av dannelsen av skjelettmuskulatur. Sklerotom har ansvaret for dannelsen av ryggvirvlene. Intermediær mesoderm spiller også en viktig rolle i utviklingen av organene. Den befinner seg dorsalt for bukhulen, og danner gonader og nyrer. Det finnes også mesoderm i bukhulens indre og ytre vegger. Den indre veggen fungerer som vegg i fordøyelsessystemet, mens den ytre veggen er selve bukveggen. Innen ca. 280 døgngader etter befruktningen vil det karakteristiske pigmenterte øyet være synlig.

3.1.2 Plommeseekkyngel

Klekkingen av rogn skjer rundt 500 døgngader (Benchmark Genetics Norway, 2019b). I klekkeperioden er rogn veldig sårbar. Miljøforholdet i vannet er svært viktig, hvor grundig justering og vurdering av temperatur, lys og pH er nødvendig. Lyset bør være dempet, og temperaturen bør ikke overstige 8 °C. pH bør ligge i området 6,5 - 6,7. Stress og mekanisk skade er også viktige elementer å tenke på i dette stadiet (Stefansson, Holm og Taranger, 2016). Det er av den grunn særdeles viktig å behandle og håndtere fisken forsiktig.

I plommeseekstadiet er omlag 70 % av yngelen plommemasse, og 30 % er foster (Stallvik og Gjenstø, 2021). Yngelen benytter seg av næringen i plommemassen helt frem til startfôringen. Plommemassen består av protein og fett, og er veldig næringsrik (SNL, 2021). Dette er essensielle næringsstoffer som er viktige for utviklingen av yngelen. I dette stadiet går yngelen gjennom store endringer, tilpasning av vannmiljøet, samt forberedelse til startfôring.

Sentrale fysiologiske endringer er blant annet at gjellene, tarm og fordøyelsesapparat blir funksjonelle (Stefansson, Holm og Taranger, 2016). Gjellenes funksjonalitet er nødvendig for å sikre riktig mengde oksygen. Tarmen og fordøyelsessystemet gjøres klart, slik at fisken er i stand til å ta til seg næring etter at plommemassen er brukt opp. Videre dannes finnene, og fisken er da i stand til å bevege seg. Egenbevegelse er nødvendig for at fisken skal vokse, og forbruke næringen den får.

3.1.3 Startfôring

Etter ca. 800 døgngrader er næringstoffene i plommesekken brukt opp (Kryvi og Poppe, 2021). Yngelen må dermed gå over til fôring gjennom bruk av pellets. Overføringen gjennomføres når ca. 1/3 av plommesekken er igjen (Stefansson, Holm og Taranger, 2016). Denne endringen stiller krav til at yngelen er utviklet nok, slik at den klarer å ta til seg den næringen den trenger. Fisken går fra en tilstand som kalles endogent fødeopptak, til et eksogent fødeopptak. Det vil si en overgang fra å benytte plommesekken som næringskilde, til å benytte næringen fra oralt inntak av næring. Stort sett når yngelen overføres til startfôring, så er ikke fordøyelsessystemet ferdig utviklet. Det er derfor viktig at riktig fôr blir brukt til riktig tidspunkt, slik at miljøforholdene blir gunstige for fisken.

For å sikre en god og optimal tilvekst og helse for fisken, er det viktig å sørge for en effektiv startfôringsperiode (Benchmark Genetics Norway, 2019a). En god fôringsrespons, samt god appetitt, legger grunnlaget for et effektiv fôringsregime senere i fisken livssyklus. For at startfôringsperioden skal bli effektiv, stilles det en rekke krav til vannparametere og miljøforhold. På dette tidspunktet er yngelens svømmeegenskaper svært begrenset (Stefansson, Holm og Taranger, 2016). Den vil da i større grad befinne seg på bunnen av karet, og tar fôret der. Etterhvert vil yngelen ta fôret ved overflaten. Vannstanden bør dermed ikke være så høy. På grunn av fiskens svømmeegenskaper bør også strømhastigheten være lav, men det bør være nok strømhastighet slik at fisken spres i karet.

3.1.4 Parrstadiet

I parrstadiet er fisken i større grad territoriell, og oppholder seg i bunnen (Døving og Reimers, 1992). Fiskens brystfinner sørger for at den klarer å holde seg ved bunnen. Draktfargen har en rekke karakteristiske trekk som skildrer et liv hvor den ønsker å være minst mulig synlig, og gå i ett med omgivelsene. Parren har en grønn/brun farge, hvor finnene er i samme tone som resten av kroppen (Finstad, 2021). Langs siden har den noen vertikale bånd, ofte kalt for parrmerker. I tillegg har parren sorte og røde prikker, som er spredt over hele fisken.

Parren har det som kalles for positiv rheotaksisk atferd (Finstad, 2021). Dette betyr at den av instinkt svømmer motstrøms, noe som kommer av dens naturlige atferd tilpasset livet i elver. Laksefisk er hyperosmotisk i ferskvann, noe som innebærer at saltnivået i fisken er høyere enn saltnivået i vannet rundt. Det fører til at vann trenger inn i fisken og den får et underskudd av ioner (Finstad, 2021; Finstad og Iversen, 1995). Fisken er da avhengig av å aktivt ta opp ioner over gjellene. Nyrene sørger for reabsorpsjon av natrium og klorid, og fiskens urin vil dermed være fortynnet.

3.1.5 Smoltstadiet

Under smoltifiseringen skjer det store morfologiske og fysiologiske endringer hos fisken (Stefansson, Holm og Taranger, 2016). Endringene er nødvendige for at fisken skal være klar for et liv i sjøvann. De morfologiske endringene er betydelige fra parr til smolt. Den mørke brungrønne fargen er byttet ut med en sølvblank farge langs buken, og mørk farge langs ryggen. De karakteristiske parrmerkene forsvinner. Videre skjer det endringer i fiskens kroppsform, den blir lang og slank. Endringen i kroppsform kommer av at fisken er mye mer i aktivitet i sjøen (Døving og Reimers, 1992). Dette er med på å påvirke fiskens kondisjonsfaktor. Kondisjonsfaktoren avtar som et resultat av at fettvev blir nedbrutt og betydelig vekst i lengde. Andre endringer i utseendet er blant annet en reduksjon i brystfinnearealet. Det forekommer også strukturelle endringer i finner og kjeve. Finnernes ytterkant blir mørkere, og skjellenes struktur og framtoning blir tydeligere.

De fysiologiske endringene er nødvendig for at fisken skal tåle miljøet i sjøen, hvor endringer i salinitet og alkalitet spiller en stor rolle. Dette stiller store krav til fiskens osmoregulering (Stefansson, Holm og Taranger, 2016). I saltvann er fisken hypoosmotisk, hvor det skjer et passivt vanntap over huden og gjellene (Finstad og Iversen, 1995; Stefansson, Holm og Taranger, 2016). Det passive vanntapet skyldes forskjellen i nivået mellom salter i fisken og vannet rundt. Saltnivået i vannet er høyere enn saltnivået i fisken, noe som kompenseres for ved at fisken aktivt drikker saltvannet. Problemet som da oppstår, er at saltnivået i fisken går over toleransegrensene. Som et resultat av at fisken inntar saltvann, så må den regulere saltnivået i kroppen. Dette gjøres ved at den kvitter seg med overskuddet av salter gjennom gjellene og nyrene. På gjellene øker både antallet og aktiviteten av kloridceller. I tillegg øker mengden av et enzym kalt Na-K-ATPase (Døving og Reimers, 1992). Begge disse elemente jobber aktivt med utskillingen av salter.

3.2 RAS - Resirkulerende akvakultur systemer

Produksjonen i resirkulerende akvakultursystemer, betegnet som RAS, baserer seg på intensiv oppdrett, med høy tetthet av fisk, hvor hele livssyklusen til fisken er under menneskelig kontroll (Misund, 2023). RAS-anlegg er et alternativ til «flow through systems», også kalt FTS, for produksjon av fisk på land (Sintef, 2024b). Hovedforskjellen mellom disse to typene anlegg er at FTS ikke har noen form for gjenbruk av vannet, og vannbehandlingen ofte ikke omfatter mer enn regulering av oksygen og temperatur. På den andre siden resirkulerer RAS-anlegg opp til 99 % av vannet som allerede er i systemet, og legger til rette for et nesten helt lukket miljø. Dette medfører et behov for å behandle vannet som skal brukes på nytt, ved å fjerne partikler og organisk materiale, omdanne og fjerne ugunstige gasser og forbindelser som total ammonium nitrogen (TAN) og karbon-

dioksid (CO_2). I tillegg tilføres nytt oksygen til vannet. Teknologien bak RAS muliggjør en mer omfattende grad av overvåking og kontroll over de fysiske, biologiske og kjemiske parameterne i vannet. Med så høy kontroll av vannparameterne kan man i større grad tilpasse vannet etter fiskens behov, og jobbe mot et stabilt vannmiljø og god fiskehelse.

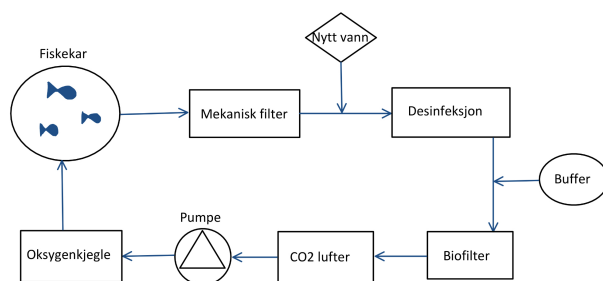
3.2.1 Fordeler og ulemper med RAS

På den ene siden er det en stor fordel at man har så stor grad av kontroll på vannparameterne som man har i RAS (Attramadal, 2022b). Dette medfører at man enklere kan opprettholde et optimalt miljø for vekst og produksjon gjennom hele året. Det er enklere å opprettholde gode hygieniske barrierer, siden man har et lavere inntak av nytt vann. Det nye vannet kan komme fra kontaminerte vannkilder, noe som er et problem i forhold til spredning av sykdom, bakterier og virus. Siden man har et lavere behov for kontinuerlig nytt vann kan man være mer fleksibel på hvor anleggene plasseres, i motsetning til anlegg som bygger på FTS-prinsippet.

På den andre siden har RAS likevel sine utfordringer. Slike anlegg består av en del avansert teknologi, som vil øke behovet for kompetanse hos de som skal jobbe der (Fjellheim mfl., 2016). Den økte automatiseringen og avhengigheten av at teknologien fungerer som det skal, utgjør et økt behov for backup-løsninger. Disse backup-løsningene burde være operative og handle umiddelbart. Et eksempel på dette kan være aggregat som slår inn ved strømbrudd. Dette øker også behovet for alarmsystemer som raskt sier ifra om feil og mangler.

3.2.2 Komponentene i vannbehandlingssystemet

Design og dimensjonering av RAS-anlegg varierer litt fra anlegg til anlegg, men et typisk system illustreres i figur 1.



Figur 1: Flytskjema for RAS-anlegg (Fjellheim mfl., 2016), hvor vannstrømmen begynner i fiskekaret og går med klokken videre gjennom rensesetegene.

3.2.2.1 Kar design og hydraulikk

Design av fiskekarene kan være med på å påvirke vannstrømmen, partikkelfjerning og fiskevelferd. Vannstrømmen bidrar til å skape en jevn fordeling av stoffer som O_2 og CO_2 , samt fordeling av organisk materiale som fôr og avføring (Fjellheim mfl., 2016). Rask fjerning av partikler fra fiskekaret er essensielt for å få en optimal vannrensing, og hindre at de større partiklene går i oppløsning og blir vanskeligere å kvitte seg med. Man vil derfor utnytte vannstrømmen så godt som mulig for å gjøre dette effektivt. Vannstrømmen består av to typer strøm (Timmons, S. Summerfelt og Vinci, 1998). Den primære sirkulærstrømmen som oppstår når det tilføres nytt vann inn til karet med en vinkel ut fra karveggen. Denne strømmen sørger for en jevn fordeling av stoffet og fjerning av avfall fra vannet. Den andre strømmen er sekundærstrømmen som oppstår som et resultat av primærstrømmen, og hjelper til med å flytte partikler mot avløpet til karet. For å oppnå gode selvrensende kar vil dybde/diameter forholdet avgjøre hvor bra disse to strømmene vil være for å flytte partiklene mot avløpet (Fjellheim mfl., 2016). Sekundærstrømmen beveger seg utover fra sentrum av overflaten, ned langs veggene til karet, og videre langs bunn av karet tilbake til midten. Ved hjelp av turbulens, skapt av fisken, vil strømmen effektivt kunne flytte partikler ned mot avløpet.

I utløpet bruker noen RAS-anlegg å ha et dobbelutløp, ofte kalt «dual drain» (Fjellheim mfl., 2016). Dette er et ekstra utløp som brukes for å kunne skille den mest konsentrerte slamstrømmen i bunnen av karet, som tilsvarer rundt 10 %, med resten av vannstrømmen som går ut av karet, rundt 90 %. Dette gjør at man kan benytte seg av ulike vannbehandlinger for de to strømmene. Et eksempel på det er at slamstrømmen går gjennom en ekstra grovfiltrering før det sammen med resten av vannet går gjennom resterende del av vannrensingen.

3.2.2.2 Partikkelfjerning

Å fjerne partikler fra vannet er viktig i den forstand at man ønsker at fisken skal få så gode levevilkår som mulig. Dette er fordi mye partikler i vannet kan gi fisken skade på gjellene og forårsake stress (Fjellheim mfl., 2016). Fjerning av partikler vil minimere muligheten for at partikler kan sedimentere i systemet og skape dødsoner. Dette vil gi et bedre utgangspunkt for biofilteret til å utføre en god nitrifikasjonsprosess. Å fjerne partikler vil også gi en bedre effekt av UV-belysning, siden partiklene som er til stede vil være med å skjerme uønskede patogener.

Det første steget av partikkelfjerningen skjer allerede i karet som forklart i kapittel 3.2.2.1. Her installeres det også en partikkelfelle ved utløpet av karet for å fange opp de groveste

partiklene som skal fjernes (Fjellheim mfl., 2016). Deretter går vannstrømmen videre til grovfiltrering av vannet. En slik grovfiltrering kan bestå av ulike typer mekaniske filtre, slik som trommelfilter eller beltefilter. Mekanisk filtrering er et ganske enkelt prinsipp hvor man sender vann gjennom en fysisk barriere, hvor denne fysiske barrieren kan ha varierende store lysåpninger. Når vannet sendes gjennom vil partiklene som er større enn lysåpningen bli igjen, hvorpå vannet og de mindre partiklene vil passere gjennom. Renseeffektiviteten til mekaniske filtre vil korrelere med mengden suspendert stoff, også kalt SS, som befinner seg i vannet. På den ene siden vil høy mengde SS resultere i høy effektivitet på filterene. På den andre siden vil lite SS resultere i lav effektivitet på filterene.

Trommelfilteret er den mest brukte metoden for mekanisk filtrering i RAS-anlegg (Thorsen, 2008). Metoden går ut på at vann sendes inn i filteret og må passere en duk for å komme videre i systemet. Ved høye vannivåer i trommelfilteret vil trommelen rotere samtidig som det foregår tilbakespyling fra utsiden av duken. På grunn av tilbakespylingen vil partiklene havne i en avløpsrenne, og videre bli ledet bort fra systemet. Størrelsen på partiklene som fjernes avgjøres av størrelsen på lysåpningen i duken, men ligger ofte rundt 30 μm på de minste partiklene, og fjerner alt som er større (Attramadal, 2022e).

Et ekstra steg som kan være en del av rensesprosessen som fjerner organisk materiale, er proteinskimmeren (Lekang, 2020). Proteinskimmeren fjerner partikler gjennom en skumdannelse som frakter partikler fra vannet ved hjelp av luftbobler og opp til overflaten hvor det kan fjernes. Skimmeren har som mål å fjerne de partiklene som har sluppet gjennom tidligere filter, og vil derfor fungere som en finfiltrering. Dette er i all hovedsak partikler i størrelsesorden 20 μm og mindre.

3.2.2.3 Desinfeksjon

Desinfeksjon av det resirkulerte vannet gjøres for å fjerne uønskede bakterier, virus og sopp fra vannet før det sendes tilbake til fisken (Fjellheim mfl., 2016). Det er også et tiltak som kan bidra til å redusere faren for sykdomsutbrudd. De to vanligste måtene å desinfisere vannet i RAS-anlegg på er med UV-belysning eller ozon. Ved bruk av disse to metodene vil bakteriemengden i vannet reduseres, noe som er bra for vannkvalitet med tanke på fiskehelse. Effektiviteten av fjerningen vil variere på grunn av hvor resistente de gjeldende bakteriene er, hvor mye bakterier og mengden organisk materiale i vannet. Desinfeksjonen vil også bidra til produksjon av lett nedbrytbart organisk materiale, som fungerer som substrat for heterofe bakterier og kan føre til en vekst av disse.

3.2.2.4 Biologisk filtrering

I industrien brukes det hovedsaklig to typer biofilter, «moving bed biofilm reactor» og «fixed bed biofilm reactor» (Fjellheim mfl., 2016). Begge disse er dykkede biofilter, og forkortes ofte med MBBR og FBBR. MBBR er et selvrensende biofilter hvor mediumet flyter fritt rundt i et avgrenset område. Dette medfører mindre sjanse for å få dødsoner, og lavere behov for vedlikehold. Et problem med MBBR er at det også produserer små partikler av bakterier og biofilm. FBBR er et stillestående filter hvor vannet renner gjennom faste biologemer. Når vannet renner gjennom biologemene vil det samtidig bli igjen noe organisk materiale, som fører til at biofilmen vokser kontinuerlig. FBBR vil derfor også fungere som et finpartikkelfilter. Det vil derimot være større sjanse for at det oppstår dødsoner og fare for H_2S , og krever av den grunn mer vedlikehold i form av rensing.

Formålet med biofilteret er å utføre en nitrifikasjon, som omdanner TAN ($NH_4^- + NH_3$) til nitritt (NO_2^-) og videre til nitrat (NO_3^-) (Fjellheim mfl., 2016). Denne prosessen foregår hovedsakelig med to grupper bakterier, de ammoniumoksiderende bakteriene (AOB) og de nitrittoksiderende bakteriene (NOB). Dette er autorofe bakterier som krever at forholdene ligger til rette for at de skal kunne utføre jobben sin, som inkluderer god tilgang til oksygen. Disse bakteriene vokser sakte, og kan få utfordring med andre bakterier som oppholder seg i biofilteret. Heterofe bakterier vokser raskere enn de autorofe, og blomstrer ved tilgang på organisk materiale, samt bruker ressurser som de autorofe trenger. En utfordring er derfor å sikre god og effektiv tilgang på oksygen i biofilteret, og å holde mengden med organisk materiale begrenset.

3.2.2.5 Oksygenering og CO_2 -lufting

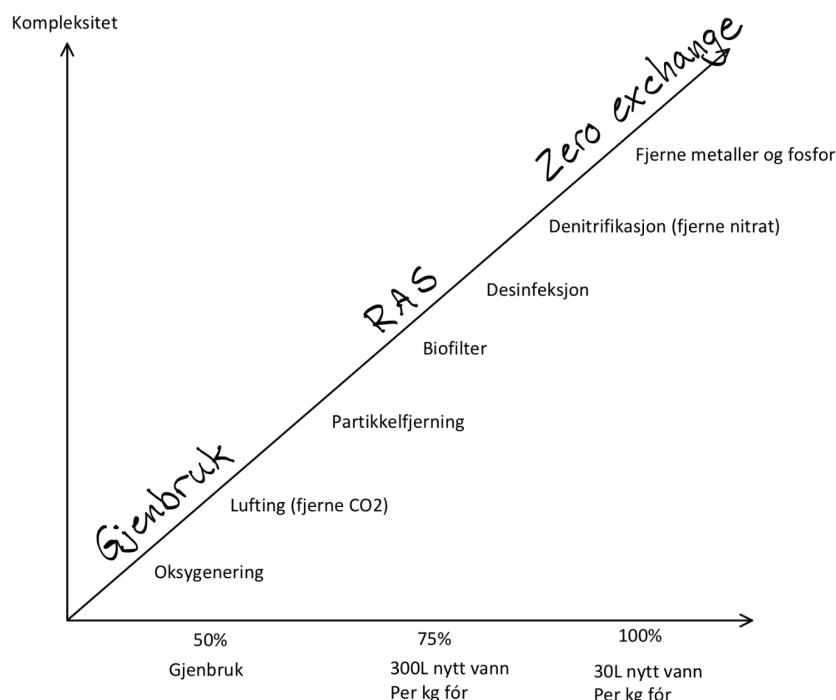
Oksygenering i RAS-anlegg er et sentralt element, og brukes av flere forskjellige årsaker. Oksygenering brukes for å øke konsentrasjonen av oksygen i vannet (Lekang, 2020). Innløpsvannet i RAS-anlegg kan ha for lav konsentrasjon av oksygen. Å tilføre nytt vann for å øke konsentrasjonen, er da en mulighet. Dette krever at anlegget må bruke store mengder vann, noe som ikke er ønskelig. En mer effektiv og bedre måte er å oksygenere vannet, slik at konsentrasjonen er innenfor grensene som er satt. Tilførselen av oksygen gjennom lufting over gass-likevektgrensen er ikke tilstrekkelig, og innblanding av ren oksyngengass er nødvendig. Gass-likevekt er en tilstand hvor det ikke skjer en overføring av gass inn eller ut av vann.

CO_2 -lufting er noe som gjennomføres for å oppnå gass-likevekt i vannet (Lekang, 2020). Det er knyttet en rekke utfordringer med lufting av CO_2 i RAS-anlegg. CO_2 er svært løselig ved innblanding i vann, og partialtrykket av CO_2 i lufta er lav. Dette skaper problemer,

og kan ikke løses ved bruk av tradisjonelle luftemetoder. Ved å bruke en modifisert versjon av kolonnelufteren er det mulig å bli kvitt CO_2 over toleransegrensen. Kolonnelufteren er sylindrerformet, og består av en kolonne. En kolonne innehar et medium med stor overflate, samt en perforert plate som skal sikre jevn fordeling av vannet over mediumet. Hovedprinsippet er at vann drypper ned gjennom kolonnen, hvor det er et stort kontaktområde mellom vannet og lufta rundt. Dette gir en optimal og effektiv gass-utveksling. For at denne metoden skal fungere for CO_2 , så må høyden til kolonnen økes. Det gjøres for å øke tiden vannet bruker gjennom kolonnen, noe som resulterer i økende gass-utveksling. En annen metode er å bruke en vifte som blåser i motsatt retning av vannstrømmen. Viften gjør at tykkelsen på vannstrømmen minsker, og gass-utvekslingen øker.

3.2.3 Resirkuleringsgrad

Hvor høy resirkuleringsgrad det er i anlegget vil være med på å avgjøre hvor mye som er nødvendig av vannbehandlingen. Når resirkuleringsgraden øker, øker også kompleksiteten til resirkuleringsystemet, siden man blir avhengig av å ta med flere steg for å sikre et godt vannmiljø til fisken (Fjellheim mfl., 2016). Figur 2 illustrerer sammenhengen mellom resirkuleringsgraden og hvilke steg som blir nødvendige i vannbehandlingen. FTS ligger helt nederst på kurven, mens man finner RAS høyere oppe på akse for kompleksitet.



Figur 2: Sammenheng mellom utskiftningsgrad og kompleksitet (Attramadal, 2022c). Figuren belyser en økende kompleksitet ved avtakende utskifting av vann. RAS-anlegg befinner seg i midtsikte i figuren.

Resirkuleringsgraden kan bli definert på tre ulike måter (Fjellheim mfl., 2016).

$$\text{Resirkuleringsgrad} = \frac{\text{Vannmengde til kar per time}}{\text{Nytt vann per time} + \text{Vannmengde til kar per time}} \quad (1)$$

$$\text{Utskiftning per dag} = \frac{\text{Tilførsel av nytt vann per dag}}{\text{Totalt vannvolum i anlegget}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Utskiftning per kg fôr} = \frac{\text{Tilførsel av nytt vann per dag}}{\text{Daglig fôr forbruk}} \quad (3)$$

De to første formlene fokuserer kun på vannmengder og tar ikke hensyn til fôrtilførsel, og formel 3 derimot tar hensyn til mengden fôr i systemet. Formel 1 fokuserer på hvor rask sirkulasjonen i resirkuleringsystemet er, mens formel 2 kun sier noe om mengden nytt vann. Formel 3 tar hensyn til hvor mye fôr som tilsettes systemet, opp imot hvor mye nytt vann som tilføres, men man får derimot ikke noe informasjon om hvor raskt vannet sirkulerer i systemet (Fjellheim mfl., 2016). Mengden fôr som tilsettes i systemet vil være hoveddriveren for belastning av vannbehandlingssystemet. Dette i form av overføring, avfallsstoffer fra fisken og utskilling av TAN. Disse stoffene vil dermed være den avgjørende faktoren for kapasiteten systemet har for å opprettholde god vannkvalitet. Man har da to nyttige kalkulasjoner som kan være til hjelp for å gjøre tester på anlegget, og sjekke tilstanden (Lekang, 2020).

Med den første formelen får man en indikasjon på hvor mye stoff som er i vannet (C), basert på mengden stoff (M) og vannstrømmen (Q). Formelen kan brukes til å bestemme konsentrasjonen av fôrrester og avføring i vannet (Lekang, 2020).

$$C = \frac{M}{Q} \quad (4)$$

C = Konsentrasjon av stoffer [mg/L]

M = Massestrøm av stoffer [mg/min]

Q = Vannstrøm [L/min]

Den andre formelen brukes for å kalkulere hvor effektiv vannbehandlingen er. Den sammenligner konsentrasjonen av stoffer inn til systemet (C_{inn}) og ut (C_{ut}) av det gitte systemet og gir resultat som en prosentandel. Dette gir innsikt i hvor bra systemet behandler vannet, og vil være til hjelp for å evaluere systemets ytelse med hensyn på vannkvalitet og fjerning av stoff (Lekang, 2020).

$$C_r = \frac{C_{inn} - C_{ut}}{C_{inn}} \quad (5)$$

C_r = Rensegrad

C_{inn} = Konsentrasjon av stoffer inn

C_{ut} = Konsentrasjon av stoffer ut

3.2.4 Vannkvalitet i RAS

3.2.4.1 Fiskevelferd

Vannkvaliteten i RAS-anlegg er en kompleks sammensetning av mange ulike vannparametere, som både påvirker hverandre og fisken. For å sikre et så godt vannmiljø for fisken som mulig er det viktig å ha kunnskap om de ulike parameterne, hvordan de påvirker hverandre og fisken, og å overvåke dem slik at de ikke påvirker fisken negativt. En liten endring i en parameter kan føre til endringer i hele systemet, og det er derfor viktig å ha god kontroll på produksjonsdataene i anlegget til en hver tid (Fjellheim mfl., 2016). I de kommende kapitlene blir noen av disse vannparameterne forklart mer detaljert, og i tabell 1 finner man anbefalte grenseverdier gitt av mattilsynet for flere av dem.

Vannparametere	Grenseverdier
pH innløp	6,2 - 7,8
Oksygenmetning i kar	Ikke over 100 %
Oksygen avløp	Over 80 %
Total gassmetning i kar	Ikke over 100 %
Karbondioksid	Under 15 mg/liter
Aluminium (labilt)	Under 5 mg/liter
Nitritt (ferskvann)	Under 0,1 mg/liter
Nitritt (sjøvann)	Under 0,5 mg/liter
TAN	Under 2 mg/liter
Ammoniakk	Under 2 mg/liter

Tabell 1: Anbefalte grenseverdier for vannparametere i RAS (Noble mfl., 2018). Grenseverdiene er førende for daglig drift, samt kontroll og gjennomføring av nødvendige tiltak ved før høye/lave verdier.

3.2.4.2 Temperatur

Temperaturanbefalingene i RAS-anlegg endrer seg i takt med at fisken vokser, og vil påvirke hvor raskt fisken utvikler seg (Stefansson, Holm og Taranger, 2016). I rognstadie og hos plommeseekkyngel er det anbefalt at temperaturen ikke skal overstige 8 °C. I startforingsfasen derimot bør temperaturen helst være over 8 °C, og helst så høy som 12 til 14 °C. For lav temperatur i kombinasjon med overforing vil øke sjansen for gjellebetennelse, mens ved høye temperaturer vil det være større sjanse for soppangrep og sykdom. Den optimale temperaturen for smolten ligger også rundt 12 til 14 °C, slik at det blir tilstrekkelig vekst for fisken (Fjellheim mfl., 2016).

Laksen kan trives på et spekter av temperaturer, så lenge miljøet er stabilt. Temperaturen vil være avgjørende for hvor fort fisken vokser, samt hastigheten av viktige utviklingsprosesser (Stefansson, Holm og Taranger, 2016). Fisken vokser raskere ved høye temperaturer, men det vil samtidig gi en risiko for misdannelser. Dette i form av skjelettmisdannelser, hode- og kjevemisdannelser, og interne misdannelser. Lave temperaturer vil øke løseligheten til O_2 i vannet, redusere energiomsetningen til laksen, og dermed utskillelsen av CO_2 og ammoniakk. En temperaturøkning på 5 til 10 °C kan gi parr en økning i energiomsetning på 50 %.

3.2.4.3 Organisk materiale

Organisk materiale oppstår som et resultat av overføring og avfallsstoffer fisken produserer. Avskalling av biofilm fra overflater i systemet bidrar også med organisk materiale. Den mest brukte måleenheten for organisk materiale i RAS er TSS, hvor det er anbefalt en øvre grense på 10 mg/l (Fjellheim mfl., 2016). Det er viktig å fjerne disse partiklene da det har en rekke negative konsekvenser for resten av systemet. Mye organisk materiale i vannet vil fungere som substrat for heterofe bakterier. Partikler vil redusere effekten av desinfeksjon, noe som skyldes at de fungerer som en barriere for bakteriene. Det vil i tillegg redusere effektiviteten til biofilteret og nitrifiseringen. Det er også en risiko for at det kan oppstå anaerobiske steder i systemet, hvor partikler kan akkumuleres. Akumulering av partikler legger grunnlag for produksjon av H_2S , som blir nærmere forklart i kapittel 3.2.4.9.

3.2.4.4 TSS og turbiditet

TSS, som er en forkortelse for totalt suspendert stoff, omhandler den totale massen av partikler i en bestemt mengde vann (Hjeltnes mfl., 2012; Noble mfl., 2018). Partiklene består av både organiske og uorganiske bestanddeler over 1 μm i diameter. TSS er et sentralt begrep innenfor drift av RAS-anlegg, og er ofte en indikasjon på hvor effektiv rensanlegget er (Hjeltnes mfl., 2012). Et av hovedfokusene til et RAS-anlegg er å fjerne mest mulig TSS, slik at det er mulig å stabilisere og opprettholde god vannkvalitet. Lave nivåer av ammonium og nitrat er da ønskelig.

Fiskefôr, avføring fra fisken og partikler fra biofilteret er kilder til TSS (Hjeltnes mfl., 2012). Overføring kan medføre akkumulering av mikroorganismer, planter og alger, som vil påvirke fiskevelferden i stor grad. TSS bør fjernes på en effektiv og skånsom måte, slik at de ikke blir brutt opp til mindre deler. Mindre partikler er vanskelig å fjerne senere i systemet, og påvirker fisken negativt på flere måter. Fiskens gjellehelse og gjellefunksjon påvirkes negativt ved at fisken får et mye dårligere oksygenopptak (Hjeltnes mfl., 2012; Noble mfl., 2018). Dette skyldes blant annet at TSS gir grunnlag for dannelsen av mikroorganismer, som også forbruker oksygen. Heterofe bakterier produserer karbondioksid, som også vil ha en negativ innvirkning på fisken, se kapittel 3.2.4.7. Kronisk stress og oppblomstring av skadelige patogener forekommer også som følge av økte mengder TSS.

Et mål på hvor klart vannet er, kalles for turbiditet (Noble mfl., 2022). En turbiditetsverdi vil gi en indikasjon på hvilken klarhet vannet har. Høyt turbiditetsnivå medfører lavere nivå av oppløst oksygen. Med et høyt turbiditetsnivå vil observasjonen av fisken bli vanskeligere, noe som vil påvirke muligheten til å observere fôringsnivået i karet.

3.2.4.5 Salinitet

Salinitet er en viktig parameter i laksens livssyklus og for dens osmoregulering. Sjøvann kan brukes som en buffer, og kan blant annet motvirke nitritt-forgiftning. Hvor stor promillen i vannet er kan dermed påvirke de andre forbindelsene i vannet og er generelt viktig i RAS (Fjellheim mfl., 2016). Før smoltifiseringen av laksen vil toleranseområdet ligge på 0 - 20‰, hvor det optimale området er fra 0 - 5‰. Etter smoltifiseringen vil den foretrekke salinitet over 30‰ (Stefansson, Holm og Taranger, 2016).

3.2.4.6 Oksygen

Oksygen, ofte forkortet O_2 , er en viktig parameter i vannet både for fisken, men også for andre biologiske prosesser. Denne parameteren er så viktig å opprettholde i RAS at følgende står i akvakulturdriftsforordningen, paragraf 21: «Anlegget skal ha et reservesystem som ved svikt i anlegget kan sikre fiskens grunnleggende fysiologiske behov med hensyn til oksygen og metabolitter.» (Binde, 2016). Oppløst oksygen (DO) kan bli sett på som den viktigste parameteren i RAS-anlegg (Hjeltnes mfl., 2012). Fiskens forbruk avhenger av kroppsvekt, temperatur, fôring, vekstrate, svømmehastighet og stressnivå.

Lave oksygennivå, også kalt hypoksi, i vannet fører til at fisken får respiratorisk nød, som igjen fører til redusert appetitt og til slutt død (Hjeltnes mfl., 2012). Fysiologiske indikatorer hos fisken vil være raske gjellebevegelser, gispning, sløvheter og fravær av stimadferd. For høy oksygenmetning, kalt hyperoksi, vil heller ikke være gunstig for fisken. Det kan føre til embolier i fiskens vev (gassbobler), respiratorisk stress og adferdsendringer, oksidativ skade på gjellene og osmoreguleringsproblemer. VKM rapporten fra 2012 anbefaler en nedre grense på 85 % metning av oksygen i vannet. Mattilsynet anbefaler en nedre grense på 80 % i avløpet, og en øvre grense på 100 % i karet som vist i tabell 1.

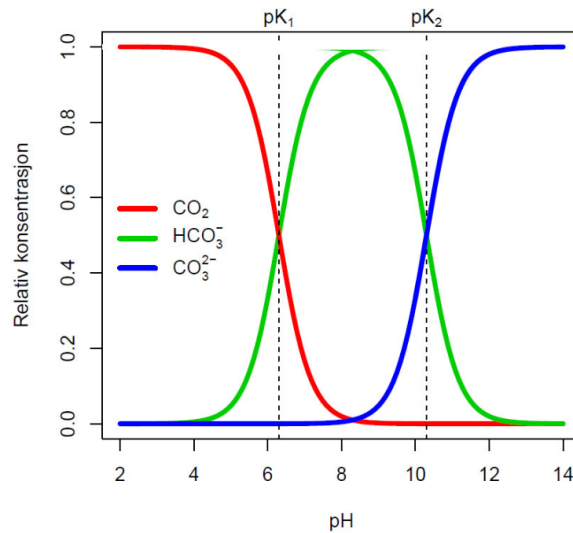
3.2.4.7 Karbondioksid

Karbondioksid, også kalt CO_2 , er en av parameterne det er viktig å holde god kontroll på, da det ofte er den begrensende faktoren i RAS (Attramadal, 2022a). Avfallsstoffet blir utskilt i vannet direkte fra fiskens metabolisme, men kan også komme fra nedbryting av organisk materiale (Fjellheim mfl., 2016). Hvor høye nivåer det er i vannet i tanken avhenger av biomassetettheten, fiskens størrelse, fôring og utskiftningsgraden av vannet (Attramadal, 2022a). Det er ikke etablert noen fast grense for hvor mye CO_2 det kan være i vannet. Det er likevel beskrevet en terskelverdi for akutt gifteffekt ved CO_2 -konsentrasjoner rundt 20 - 100 mg/l. CO_2 -konsentrasjonen er avhengig av livsstadium, pH, temperatur, oksygeninnhold og generell vannkvalitet. For laksesmolt antydes det at problemområde starter allerede i området 13 - 15 mg/l (Fjellheim mfl., 2016). Den anbefalte grensen mattilsynet har kommet med ligger på 15 mg/l (Noble mfl., 2018).

Eksposering av for høye CO_2 -nivåer vil ha negative effekter på laksen. Laksen vil få nedsatt evne til oksygenopptak og syre-base regulering, som kommer som en direkte konsekvens av at det blir for høye nivåer av CO_2 i laksens blod (Fjellheim mfl., 2016). Ved langtidseksponering kan fisken potensielt få nefrocalsiniose. En annen grunn til å ha god kontroll på CO_2 -nivået i vannet, er at høye nivåer vil senke pH-verdien dersom bufferevnen er lav. Laksen vil være mer sensitiv for raske endringer enn for sakte økende nivåer,

og for høye nivåer vil føre til økt dødelighet, samt nedsatt vekst (Attramadal, 2022a).

Figur 3 viser sammenhengen mellom hvilken kjemisk forbindelse stoffet opptrer i, i forhold til pH-nivået. Desto lenger til venstre man kommer på figuren, desto mer giftig vil vannmiljøet være for fisken (Attramadal, 2022a). Som forklart i tidligere kapittel vil CO_2 være i stand til å senke pH-verdien siden det er en syre. Samtidig vil konsentrasjonen av CO_2 bli mer giftig for fisken ved lav pH. Dette medfører et behov for å ha god kontroll på disse vannparametrene, og sørge for et stabilt vannmiljø.



Figur 3: Sammenheng mellom konsentrasjon av CO_2 og pH (Universitetet i Oslo, 2022). Figuren illustrerer en høy CO_2 -verdi ved lave pH-verdier. Ved høyere pH-verdier vil CO_2 -verdien være lavere.

3.2.4.8 pH

pH er et mål på hvor surt vannet er. Skalaen strekker seg fra 0 til 14, hvor et nivå under 7 anses som surt, over 7 anses som basisk, og 7 er nøytralt (Pedersen, 2023). pH-verdien i vannet vil i mange tilfeller være med å avgjøre hvilken form ulike kjemiske forbindelser kommer i, og vil dermed avgjøre hvor giftig det er for fisken. I RAS-anlegg vil det være svært viktig med et stabilt pH-nivå, og tabell 1 viser at den anbefalte pH-verdien ligger mellom 6,2 og 7,8. De viktigste forbindelsene i forhold til pH er CO_2 , NH_3 og aluminium (Fjellheim mfl., 2016).

pH-nivåer langt utenfor de anbefalte verdiene kan føre til problemer for laksefisken. Da i form av skader på ulike organer og økt dødelighet (Noble mfl., 2018). Noble mfl. viser til en rekke tidligere forskningsprosjekter som peker på direkte konsekvenser av at laksen i RAS-anlegg går på for lav pH. Hos yngel som har gått på pH 5 eller lavere, var konsekvensene nær dødelige skader på gjellene og det vaskulære systemet. Ned på pH

4,5 og lavere oppsto også skader på hjernen, optisk retina og milten. Klekkesuksessen og larveveksten ble betydelig redusert ved de nevnte pH-verdiene, samtidig som at appetitt og svømmeadferd ble svekket allerede ved pH 6,5 og lavere. Dette førte til økt dødelighet. For yngel som blir utsatt for pH på 5 over 30 dager var dødeligheten opp på 70 %, mens ved pH på 6,1 var dødeligheten bare 4 %. Hos parr og smolt viser også lave pH-verdier til negative konsekvenser i form av hemmet vekst og smoltifisering, skader på gjeller, tap av plasmaklorid og økt dødelighet.

3.2.4.9 Hydrogensulfid

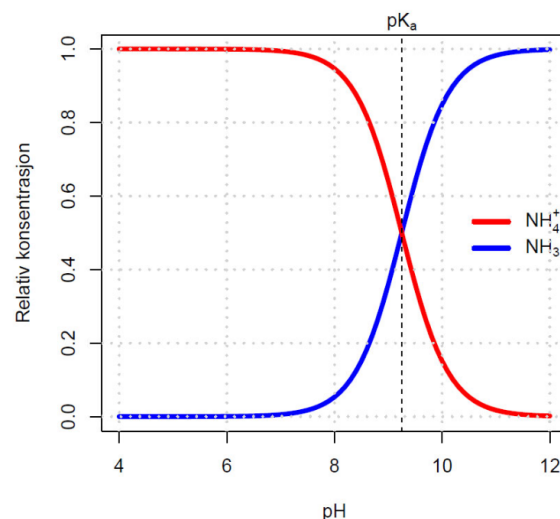
Hydrogensulfid, også kalt H_2S , er en svært giftig gass som kan forårsake massedød i RAS-anlegg (Lazado, Karlsen mfl., 2024). Gassen kan forekomme i RAS-anlegg som en direkte konsekvens av dødsoner med sedimentert organisk materiale. Disse dødsonene kan oppstå over hele anlegget, spesielt i områder med lav til ingen vanngjennomstrømming. Eksempler på dette er rør, hjørner og biofilter (Langeteig, 2019). Dersom man bruker for brede kar i forhold til dybde vil man få dårlig blanding av soner i karet, som også kan føre til sedimentasjon i en ring et stykke fra midten av karet (Fjellheim mfl., 2016). Gassen produseres ved at bakterier bryter ned det organiske materiale ved hjelp av sulfat i disse anaerobiske sonene. I følge Langeteig avdekket Keimer mfl. (1995) at doser tilsvarende 95 mg/l for smolt på 150 - 200 gram over en periode på 20 minutter førte til skader på fisken, i form av skader på gjellevev (Langeteig, 2019). Det blir ikke brukt noen form for tidlig deteksjon av H_2S i dag, men dersom oppdretteren skulle være ute for å oppdage gassen i vannet, kan hydrogenperoksid fungere som en nødløsning. Hydrogenperoksid kan redusere nivået av H_2S på under en halvtime (Lazado og Kragerud, 2022). Forsøket gjort av Langeteig konkluderte med at også nitrat vil ha en reduserende effekt på produksjon av H_2S , siden sulfat ikke vil bli tatt i bruk før nitrat er bruk opp av bakteriene i området. Tilsetning av nitrat kunne derfor ha en reduksjon på opp til 35 - 40 % (Langeteig, 2019).

3.2.4.10 TAN, nitritt og nitrat

Total ammonium nitrogen, TAN, skilles ut i vannet som et avfallsstoff fra fisken og via nedbryting av andre nitrogenholdige stoffer, fôrspill og avføring. TAN forekommer i to former, ammoniakk (NH_3) og ammonium (NH_4^+) (Fjellheim mfl., 2016). Giftigheten til TAN avhenger mest av hvor høy pH det er i vannet, men salinitet og temperatur vil også påvirke forholdet. Ved høye pH-verdier vil det være mer NH_3 i vannet, som er den mest giftige formen for fisken. Dette er illustrert i figur 4. Ammoniakkens påvirkning på fisken kan føre til dårligere transport av oksygen, irriterte gjeller, endring av fiskens vann- og ione-balanse, samt skader på vevsstruktur i lever og nyre.

Nitritt (NO_2^-) er et mellomprodukt i nitrifikasjonsprosessen (Fjellheim mfl., 2016). Det er et uønsket stoff i vannet og vil omdannes videre til nitrat. Nitritt vil aktivt bli tatt opp via gjellene til fisken i konkurranse med klorid, som kan føre til at det blir opphoping av nitritt i blodet til fisken. Det kan videre føre til at konsentrasjonen av nitritt i blodet til fisken blir mye høyere enn konsentrasjonen i vannet. En konsekvens av dette er at det blir lav oksygentransport i blodet til fisken. Varigheten og konsentrasjonen vil være avgjørende for hvor mye fisken blir påvirket, hvor 24 - 48 timer vil være nødvendig for maksimal akkumulering i fisken. Nitrittforgiftning kan motvirkes ved å tilsette klorid eller sjøvann i vannet.

Nitrat (NO_3^-) er sluttproduktet i nitrifiseringen og er den minst giftige formen (Fjellheim mfl., 2016). I RAS-anlegg som skifter ut noe av vannet vil nitrat nivået holdes ved like, men dersom utskiftningsgraden blir svært lav, vil det også bli behov for å fjerne nitrat ved å omdanne stoffet til gass.



Figur 4: Sammenheng mellom NH_3 og NH_4^+ ved ulike pH-verdier (Universitetet i Oslo, 2022). Lave pH-verdier resulterer i lave NH_3 -verdier, men høye NH_4^+ -verdier. Høye pH-verdier medfører høye NH_3 -verdier, men lave NH_4^+ -verdier.

3.3 Partiklernes betydning for fiskehelse

Fisk i akvakulturanlegg er konstant eksponert for partikler av ulike størrelser. Som forklart i kapittel 3.2.4.3 skyldes dette forskjellige grunner, deriblant overføring og avfallstoffer fra fisken. I RAS-anlegg finnes det i hovedsak partikler i størrelsesintervallet 5 μm til 100 μm (Lu, Kania og Buchmann, 2017). Disse partiklene passerer gjellene til fisken under respirasjon, hvor noen kan feste seg til gjellene og forårsake problemer. Partikler i størrelsesordenen 20 μm til 40 μm har en større retensjonsrate enn partikler i andre størrelser. Dette betyr at de bruker lengre tid på å forsvinne. Organisk materiale, som inkluderer parasittiske og ikke-parasittiske mikrobioter, kan utløse en immunrespons. Ved eksponering for partikler i størrelsesordenen 0,2 μm og 40 μm , har en økning i mengden av $\text{ifn}\gamma$ -genet blitt observert. $\text{ifn}\gamma$ -genet er veldig sentral i etableringen av immunresponser hos fisk (Hummel, 2021). De ikke-organiske partiklene kan mekanisk forstyrre gjellestrukturen på grunn av uregelmessige former og skarpe kanter (Lu, Kania og Buchmann, 2017).

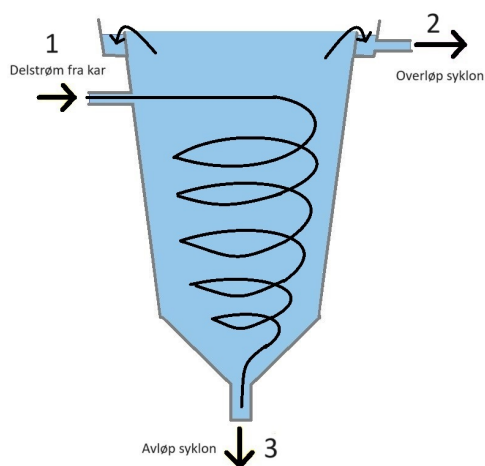
Negativ påvirkning av partikler fisken synker når partikkelstørrelsen øker, men den øker når konsentrasjonen av partiklene øker (Michel, Schmidt-Posthaus og Burkhardt-Holm, 2012). Dette er spesielt når det gjelder partikler i det lavere spekteret, fra lave mikrometer til nanometer. Disse partiklene kan påvirke fisken i form av økt turbiditet, men også direkte fysisk skade. Laks blir utsatt for regelmessig fysiologisk stress når de befinner seg i vann med suspenderte minerale partikler. Det fysiologiske stresset kan settes i sammenheng med en nedgang i leucocrit og økte hematokrittverdier. Leucocrit er en enkel hematologisk metode for å måle akutt stress for laksefisk, mens hematokrit er et mål på hvor stor andel av et blodvolum som er røde blodceller (Evensen og Waage, 2022; McLeay og Gordon, 1977). Partikler kan også bli tatt opp i gjellene, og dette kan føre til gjellelesjoner (Michel, Schmidt-Posthaus og Burkhardt-Holm, 2012). Av den grunn kan økningen i hematokritt knyttes til akutte stressresponser, i tillegg til en truet respiratorisk homeostase. Fisk som utsettes for minerale partikler i mer enn 4 dager, har vist en økning i energibehovet på grunn av redusert vekst og kroppsmasse.

3.4 Sykloner

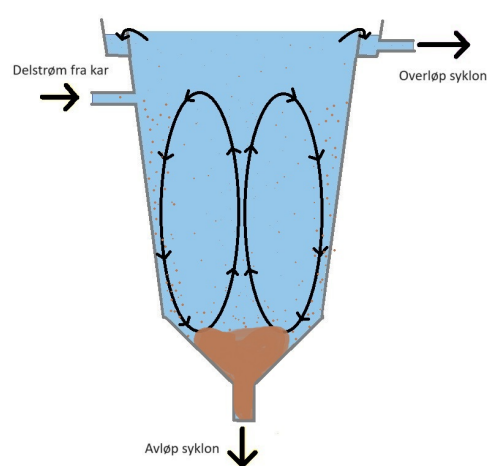
Sykloner er et supplement til grovrensing av større partikler i RAS-anlegg. Dette er vertikale sylindere hvor en slamkonsentrert delstrøm fra fiskekaret føres inn tangentielt for å sedimentere ut partikler med høyere tetthet enn vann (Ebeling og Vinci, 2006). Syklonen har ingen bevegelige deler (Lekang, 2020). Størrelsen på syklonene varierer fra 0,6 m til 1,5 m i diameter, og opp mot 2,1 m i høyde (Davidson og S. T. Summerfelt, 2005; Veerapen, Lowry og Couturier, 2004). Innløpet, vist på figur 5 med pil 1, befinner seg med en avstand fra toppen lik $1/3$ av diameteren (Ebeling og Vinci, 2006). Det finnes to forskjellige

design for toppkanten der det rensede vannet strømmer over. Enten en helt flat kant, eller med taggete og spisse hjørner som stikker opp. Dette er for å få en jevn svak strøm med minimal bevegelse i vertikal retning som kan trekke tyngre partikler over kanten (Ebeling og Vinci, 2006). Etter å ha rent over kanten og ut overløpet, vist på figur 5 med pil 2, føres vannet i rør til trommelfilteret. Avløpet til syklonene befinner seg i spissen på bunn av den koniske tanken, vist på figur 5 med pil 3. Den omvendte kjeglen kan være 1,3 m høy av den totale ytre høyden på 2,1 m. I midten av kjeglebunnen munnes avløpet ut i et rør med sluse for å kunne åpne og lukke for drenering (Davidson og S. T. Summerfelt, 2005).

Syklonens hovedprinsipp er at gravitasjonen trekker de tyngre partiklene i vannet ned til bunn for å separere slammet fra vannet (Ebeling og Vinci, 2006). Når vannet strømmer rundt i syklonen vil slampartiklene i vannet, med høyere massetetthet enn vann, skyves ut fra midten av tanken. Dette skyldes sentrifugalkraften. Partikler i vannet bestående med lavere eller lik massetetthet vil stige opp til overflaten som en følge av den sekundære strømmen, illustrert i figur 6. Fiskekremet, som består av fôrrester og ekskrementer, har høyere tetthet i vann enn vannet, og vil synke mot bunnen. Slik kan partikler som har en tetthet lik $1,005 \text{ tonn}/m^3$ - $1,20 \text{ tonn}/m^3$ også sorteres ut. Fiskeekstremitter har en massetetthet som ligger mellom $1,05 \text{ tonn}/m^3$ - $1,08 \text{ tonn}/m^3$, mens fiskefôr ligger i området mellom $1,15 \text{ tonn}/m^3$ - $1,2 \text{ tonn}/m^3$. (Veerapen, Lowry og Couturier, 2004). Med primærstrømmen i syklonen dannes det også en sekundærstrøm som beveger seg lik sekundærstrømmen for sirkulære fiskekar (Ebeling og Vinci, 2006). På denne måten renner det i hovedsak kun vann, separert fra de større partiklene i vannet, videre til trommel- og biofilter.



Figur 5: Prinsippskisse av tverrsnitt til syklon som viser primærstrømmen. Laget med inspirasjon fra (Ebeling og Vinci, 2006).



Figur 6: Prinsippskisse av tverrsnitt til syklon som viser sekundærstrømmen. Laget med inspirasjon fra (Ebeling og Vinci, 2006).

Ved bruk av et dobbelutløp, som kan ta ut en delstrøm på 10%, kan man oppnå ti ganger eller mer suspendert stoff her enn i hovedstrømmen (Ebeling og Vinci, 2006). Dette er med på å maksimere nytten av syklonen. Effekten til sykkloner påvirkes av flere faktorer. En av faktorene er hvor lang tid vannet oppholdes i syklonen, og dermed hvor lenge partiklene får tid til å synke til bunnen. Stokes lov sier at større og tyngre partikler synker raskere. Partikler under 30 μm trenger flere timer på å synke 0,5 m. Selv om det anbefales at utskiftningstiden i sykkloner er minst 30 sekunder, vil ikke sykkloner fungere på de minste partiklene. Dette skyldes at de mindre partiklene bruker mye lengre tid på synke til bunnen. Sykkloner er vist å være effektive på å fjerne partikler med diameter over 77 μm , men ikke partikler under 50 μm .

3.5 Videoanalyse med maskinlæring

Maskinlæring er en metode for å lære opp algoritmer med kunstig intelligens (Sætre, 2023). Det deles inn i ikke-veiledet læring, veiledet læring og forsterket læring. Disse algoritmene kan være språkmodeller som ChatGPT eller tekst-til-bilde modeller som DALL-E (Nohr, 2024). Veiledet læring er den mest utbredte, fordi det er her aktører ser mest potensiale ved å utvikle teknologien til egen gevinst. Alle variantene bruker store mengder datasett som fores til en datamaskin, hvor parameter i algoritmen justeres for hver kjøring for å få mer presise output. For ikke-veiledet læring består datasettene av umerket data. Maskinen får ikke vite hva det er den blir gitt. Om det er et klassifiseringssystem, vil det for eksempel ikke følge med en merking av hva som er avbildet. Ved veiledet læring følger dette med i datasettet og hjelper algoritmen med å forstå hva den blir gitt. Det er en mye mer effektiv læremetode. Forsterket læring går ut på at algoritmen kommer med flere mulige løsninger. Algoritmen tilspisses ved å gå videre med den løsningen som treffer målsettingen best (Sintef, 2024a).

Det foregår en kraftig utviklingen med bruk av maskinsyn og maskinlæring i havbruksnæringen. Bruksområdene er alt fra å identifisere vekstrate knyttet til føringrutiner, telle lus, analysere atferden til fisken (OptoScale, 2024; Zhao mfl., 2021). Dette gir muligheter for oppdretteren til å få store mengder informasjon om status på fisken på en særdeles skån-som metode. Slik teknologi kan skille laks fra lus, og kategoriserer lusen innefor hvilket lusestadie de har utviklet seg til (OptoScale, 2024).

4 Metodebeskrivelse

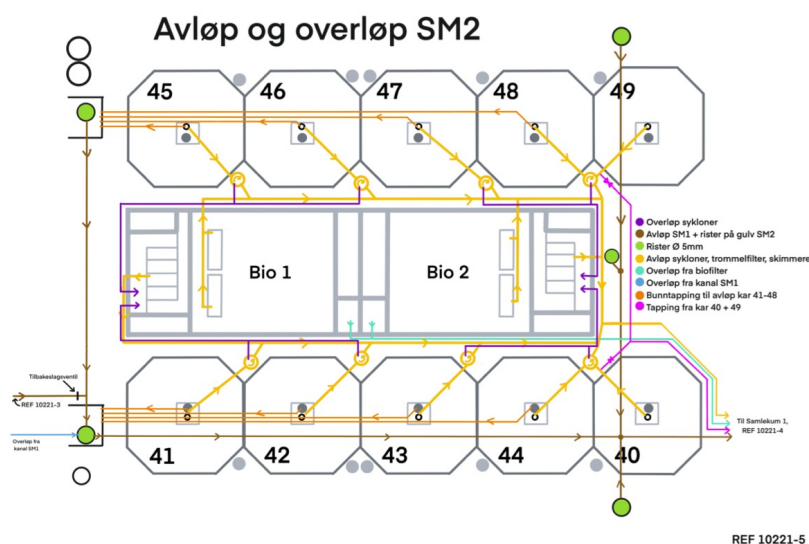
4.1 Feltområde

Vannprøvetakingen ble gjennomført på Nekton sitt settefiskanlegg i perioden 28.02.2024 til 01.03.2024. Anlegget ligger på yttersiden av Smøla, i Møre og Romsdal fylke. Anlegget på Smøla er ett av to settefiskanlegg, hvor det andre befinner seg i Aure kommune (Nekton settefisk AS, 2024). Den totale smoltproduksjonen for begge anleggene er 3,5 - 4 millioner. Når smolten forlater anlegget har den en størrelse i mellom 150 - 500 gram.

4.2 Beskrivelse av anlegget

4.2.1 Generell beskrivelse

I figur 7 vises en oversikt over hele anlegget hvor forsøket ble gjennomført. Anlegget består av 10 kar, hvor 5 og 5 kar står parallelt. Hvert kar har en oktogonal form, med et volum på 90 kubikkmeter. Karene bruker et dual drain system, hvor slamstrømmen går gjennom en syklon før det så samles med resten av avfallsvannet, og går gjennom resten av renseprosessen. Hvert kar i anlegget har en egen syklon. Karene 41, 42, 45 og 46 deler samme trommelfilter og biofilter (Bio 1), og de resterende karene deler samme trommelfilter og biofilter (Bio 2). Trommelfilteret har en lysåpning på 60 μm . Etter at vannet har vært gjennom de nevnte rensestegene, går en delstrøm til en proteinskimmer.



Figur 7: Figuren viser en detaljert oversikt over hele anlegget. Den består av 10 oktogonale kar, med et volum på 90 kubikkmeter. Fem og fem kar står parallelt. Anlegget har to biofilter og to trommelfilter. Bilde fra: Nekton

4.2.2 Karene som er brukt til målingene

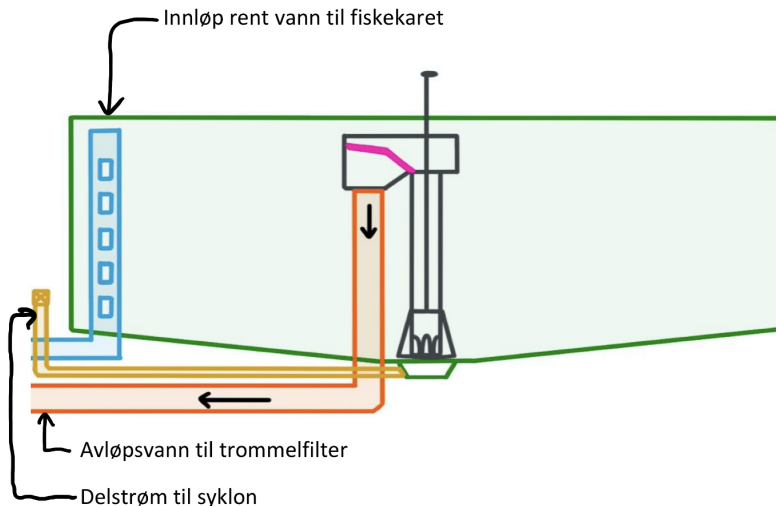
Karene som ble brukt til prøvetakingen er kar 41 og kar 42, i henhold til figur 7. Saliniteten i karene var 1‰. Begge karene hadde omtrent samme biomasse.

Karnummer:	Biomasse:	Antall fisk:	Snittvekt:
Kar 41	3267 kg	99 954	32, 68 gram
Kar 42	3156 kg	99 843	31, 61 gram

Tabell 2: Informasjon om karene

4.2.3 Vannstrøm

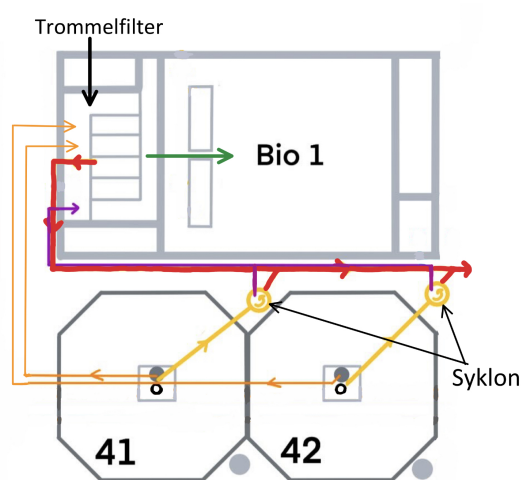
Vannstrømmen begynner i selve karet fisken oppholder seg. Siden karet har et dual drain system, skjer det to vannutfellinger, én utfelling som går i avløpet og én utfelling som går til syklonen. Avløpsvannet fra karet følger det oransje røret til en oppsamlingskum før det når trommelfilteret, i henhold til figur 8. Avløpsvannet utgjør en betydelig andel av den totale utskiftingen fra karet. I tillegg går det en mindre delstrøm fra karet til innløpet til syklonen gjennom det gule røret i figur 8. Denne delstrømmen utgjør en mindre andel av den totale utskiftingen.



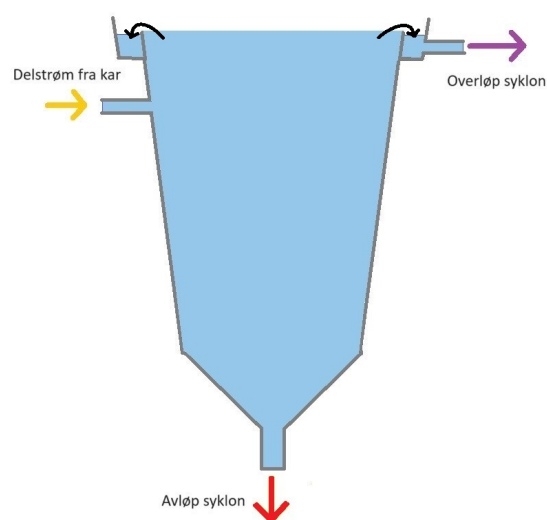
Figur 8: Figuren illustrerer både vannstrømmen ut fra karet og vannstrømmen inn til karet. Dual drain systemet synliggjøres ved at en del av vannutskiftingen går ut avløpet til karet, og en del går ut som delstrøm til syklonen.

Vannet som passerer gjennom innløpet til syklonen gjennomgår en renseprosess, som forklart i kapittel 3.4. Etter rensing blir avløpsvannet fra syklonen drenert ut i bunnen, som illustrert med rød pil i figur 10, og blandet med avfallet fra trommelfilteret før det ledes

til en adskilt oppsamlingskum, som illustrert med rød linje i figur 9. I en annen oppsamlingskum, som befinner seg før trommelfilteret, samles avløpsvannet fra karet sammen med overløpsvannet fra syklonen. Den lilla linjen i figur 9 representerer retningen overløpsvannet fra syklonen tar, hvor de oransje linjene representerer avløpsvannet fra karene. Alle linjene avslutter i oppsamlingskummen før trommelfilteret. Etter å ha vært gjennom trommelfilteret, går det ferdige rensede vannet videre til biofilteret (Bio 1), markert med grønn linje i 9. I biofilteret gjennomgår vannet en renseprosess som beskrevet i 3.2.2.4. Når biofilteret har gjort sin oppgave, går en del av vannstrømmen fra biofilteret til en proteinskimmer. Proteinskimmeren er plassert på utsiden av anlegget. Videre samles delstrømmen igjen med resten av vannet fra biofilteret. Til slutt blir det rene vannet tilført i innløpet i karet, i henhold til figur 8.



Figur 9: Figuren viser vannstrømmen etter utskifting fra karet. Hver farge med tilhørende piler illustrerer henholdsvis retningen vannet tar etter å ha forlatt karet.



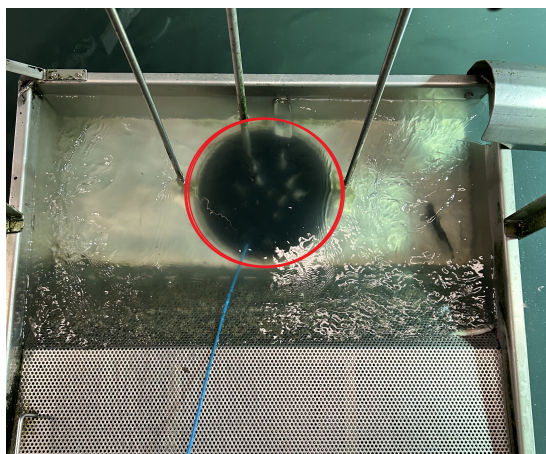
Figur 10: Figuren viser vannstrømmen gjennom syklonen. Delstrømmen fra karet kommer inn ved gul pil. Det rensede vannet forlater syklonen ved lilla pil, mens det forurensede vannet dreneres ut ved rød pil.

4.3 Målepunkt og framgangsmåte

Utgangspunktet for målingene var kar 41 og 42, i henhold til figur 7. Det ble hentet vannprøver fra avløp kar, innløp syklon og overløp syklon. Fra disse det ble tatt prøver til måling av TSS og turbiditet, og finne fordeling av partikkelstørrelser med Coulter Counter. I tillegg ble det filmet på målepunktene avløp kar, overløp syklon og det gjennomsiktige innløpsrøret til syklonen.

4.3.1 Avløp kar

Vannet som går via målepunktet avløp kar utgjør ca. 90 % av den totale mengden vann som skilles ut av karet, hvor resten går til syklonen. Målepunktet var lett tilgjengelig ved at vannet fraktes opp til midten av karet via et rør før det fraktes videre bort fra karet. Det ble brukt et desilitermål for å øse vann direkte fra målepunktet vist i figur 11, som derifra ble tømt over i prøveglassene.



Figur 11: Målepunktet avløp kar besto av et stort rør i midten av karet, hvor vannet ble pumpet opp til en åpning øverst. Bilde fra: Gruppen

4.3.2 Innløp syklon

Inn til syklonen kommer det vann fra en delstrøm, se figur 12. Denne strømmen ligger på omtrent 10 % av vannet som skilles ut fra karet, og skal inneholde den mest forurensede strømmen, ofte kalt slamstrømmen. Vannet som kommer inn i syklonen kommer inn via et rør ca. 26 cm fra toppen av syklonen, og ligger derfor under vann. For å komme til, og å få vann direkte fra innløpet ble det brukt en slange med hevertmetode. Hevertmetoden bruker tyngdekraften for å flytte vannet fra et høyere til et lavere nivå gjennom en slange. Når slangen er fylt med vann og den ene enden er lavere enn vannkilden, vil vannet strømme over toppunktet og nedover ved hjelp av tyngdekraften. Den ene enden av slangen ble plassert inn i innløpet til syklonen, mens den andre enden ble holdt lavere enn vannkilden på utsiden av syklonen. På dette viset ble det enkelt å fylle opp prøveflaskene. For å være sikre på at det kun kom vann direkte fra innløpet, fikk vannet renne gjennom slangen en liten stund før prøvene ble tatt.



Figur 12: Bildene viser innløpsrøret til syklonen på to forskjellige steder. Den røde sirkelen på bildet til venstre er innløpsrøret like etter vannet har forlatt karet. Røret er sløpfet rundt syklonen, og går inn ved den røde sirkelen på bildet til høyre. Bilde fra: Gruppen

4.3.3 Overløp syklon

Overløpet til syklonen er delen av syklonen hvor det ferdig rensede vannet blir sendt videre og ut av syklonen. Dette vannet renner over en kant helt øverst på syklonen, for så å bli sendt videre gjennom et rør som befinner seg 8,5 cm ned fra toppen av syklonen. Kanten og røret er illustrert i figur 13, hvor målepunktet er markert med rød sirkel. Vannprøvene ble også her tatt ved bruk av en slange og hevertmetoden, og ble tatt fra vannet like innenfor det nevnte røret. Ved dette målepunktet forekom det at det lå partikler på bunn av sirkelen, på utsiden av den nevnte kanten, og i nærheten av røret.



Figur 13: Figuren viser overløpet til syklonen. Innenfor den røde sirkelen finner man åpningen til overløpsrøret, hvor det rensede vannet transporteres bort fra syklonen. Bilde fra: Gruppen

4.3.4 Innløpsvann til kar

Etter å ha drøftet og vurdert resultatene ble det bestemt at det skulle tas vannprøve av innløpsvannet til karene i tillegg. Denne vannprøven er tatt fra sensorstasjonen på utsiden av anlegget, og er det vannet som går inn til karene etter å vært gjennom renseprosessen. Hensikten var å sjekke om partiklene som ble funnet i de opprinnelige prøvene var noe som ble fjernet i andre deler av systemet. Vannprøven ble analysert ved bruk av turbiditetsmåler og Coulter Counter, med lik metode som de andre prøvene. En viktig faktor å fremheve her er at prøven ble tatt på et senere tidspunkt enn de opprinnelige vannprøvene. Det kan være mange forskjellige påvirkninger på kvaliteten på vannet fra opprinnelige prøvetaking og prøvetaking av innløpsvannet. Å anta at kvaliteten er tilsvarende det samme på begge tidspunkt er det ikke tilstrekkelig data som støtter, men kan fortsatt gi en mulighet for diskusjon. Det er viktig å være forsiktig med å antyde at resultatene for innløpsvannet også representerer eventuelle målte verdier ved tidspunktet da de øvrige prøvene ble tatt.

4.4 Måleutstyr

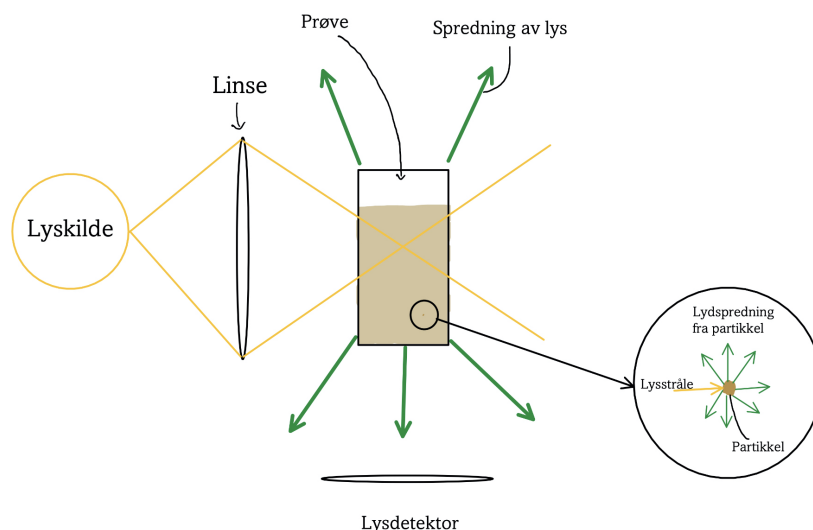
4.4.1 Måling av TSS-konsentrasjon i prøvene

Prøvene for TSS ble fylt direkte opp i beholderne tilsendt fra Nemko Norlab, og ble lagt på kjøøl fram til alle prøver var unnagjort. Prøvene ble så pakket i en isoporboks med kjøleelementer og sendt i posten tilbake til Nemko, som skulle utføre TSS målingene i sine fasiliteter. Etter samtale med Nemko Norlab fikk gruppen innsikt i deres metode for å analysere vannprøvene. Laboratoriet utfører normalt sett analysene innenfor 48 timer fra prøvetidspunktet og rapporterer det akkreditert. Dette er i henhold til standarden NS-EN 872 utgave 2005, «Bestemmelse av suspendert stoff» (Frantsen, A., gruppeleder Namdal mikrobiologiske og kjemiske analyser, 01.03.24, e-post). Metoden innebærer bruk av filtrering gjennom glassfiberfiltere. Prøven filtreres først gjennom glassfiberfilter ved hjelp av en vakumpumpe, og tørkes deretter i et tørkeskap ved 105 °C (± 2 °C). Til slutt veies filteret for å bestemme massen til stoffet, og man får et resultat i TSS.

4.4.2 Måling av klarhet i prøvene med turbiditetsmåler

Metoden for å måle turbiditet innebærer å sende en spesiell type lys inn i vannet, med en vinkel på 90 grader (Noble mfl., 2022). Partikler som befinner seg i vannet sørger for at lyset blir reflektert og spredt, hvor intensiteten til det spredte lyset blir målt, noe som er illustrert i figur 14. Dette er partikler i størrelsesorden 0,004 nm til 1,0 mm. Hvis det er minimalt med partikler, så vil svært lite lys bli reflektert tilbake. Det vil resultere i lav

turbiditet, og vannet skal da være klart. Hvis det er store mengder partikler i vannet, så vil mye lys bli reflektert tilbake. Dette antyder høy turbiditet, og er som oftest et tegn på uklart vann. Turbiditet angis i enheten NTU, som står for nefelometrisk turbiditetsenhet. Det er ikke etablert noen grenseverdier for turbiditetsnivået i oppdrett av laks.



Figur 14: Figuren viser en prinsippskisse av hvordan turbiditetsmålerne brukt i denne oppgaven fungerer. En lyskilde sender lys gjennom en linse, som videre går inn i den aktuelle prøven. Når lyset treffer en partikkel i prøvevæsken, vil det oppstå en lysspredning, som tas opp i lysdetektoren. Figuren er inspirert av (Pharmacy study material, 2016).

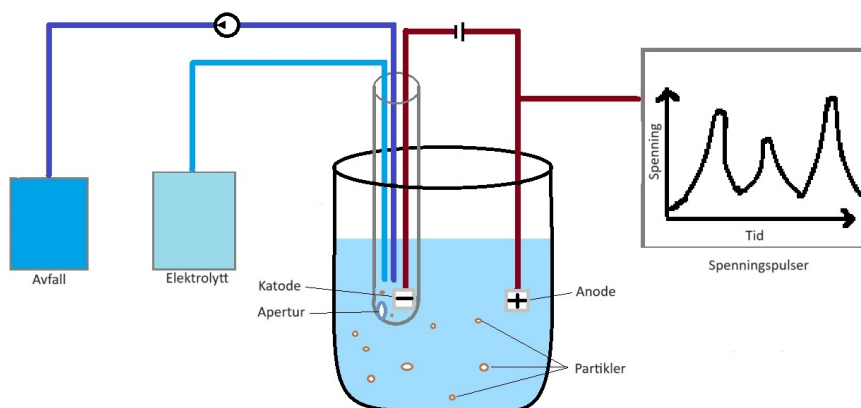
Prøvene som skulle brukes til turbiditet ble silt gjennom en sil med lysåpning på 100 μm . Dette medførte at denne målemetoden kun ga indikasjoner på partikler som er mindre enn 100 μm . Turbiditetsmålingene ble gjort like etter prøvene ble tatt, på laboratoriet til Nekton. Det ble brukt to turbiditetsmålere, en som var medbrakt fra NTNU Sealab og en de hadde på anlegget til Nekton. Det ble brukt to turbiditetsmålere for at ting skulle gå litt raskere, men også på grunn av at begge målerne gruppen hadde tilgang på hadde utgåtte standarder. Nekton hadde turbiditetsmåleren Thermo Scientific Orion Aquafast, hvor standardene gikk ut i 2015. Turbiditetsmåleren fra NTNU Sealab het Micro 950 turbidity meter, og hadde standarder som gikk ut i 2014. Begge målerne ble forsøkt kalibrert og standardene ble sjekket. NTNU sin viste seg å fremdeles gi riktige verdier på alle standardene, mens Nekton sin måler ga feilkode på noen av standardene. Turbiditetsmålerne ble også sjekket opp mot hverandre, og ga relativt like svar på vannprøvene. På laboratoriet ble det undersøkt to vannprøver fra hvert målepunkt, på hver turbiditetsmåler, ved alle de seks tidspunktene. Hver vannprøve ble undersøkt tre ganger, og gjennomsnittet av disse tre målingene ble notert.



Figur 15: Bildene viser turbiditetsmålerene benyttet under oppgaven. Turbiditetsmåleren til venstre er lånt fra NTNU Sealab, mens måleren til høyre er lånt fra Nekton. Bilde fra: Gruppen

4.4.3 Telling og måling av partikler med Coulter Counter

En Coulter Counter kan telle antall partikler i en væske i ulike størrelsesintervaller mellom $0,5 \mu\text{m}$ til $1200 \mu\text{m}$ i diameter, avhengig av hvilket apertur som brukes (*Multisizer 3 Coulter Counter*, 2005). Prinsippet som brukes er at når det sendes en væske gjennom en apertur, gis det et utslag i en spenningstopp (Husøy, 2020). Utslaget er proporsjonal med størrelsen på volumet til partikkelen som passerte. Dette er illustrert i figur 16. En forutsetning som må være tilstede, er at væsken kan virke som en elektrolytt og da lede strøm. En pumpe stilles inn for hvor stor mengde væske som skal undersøkes. I det partiklene passerer aperturen registreres spenningspulsen mellom elektroden innenfor aperturen og elektroden utenfor. Det kan telles opp til flere tusen partikler i sekundet, men for at analysen skal bli riktig bør vannprøvene fortynnes. Dette er for å sørge for at det blir under 20 000 partikler for hver runde den teller. Resultatet blir en fordeling mellom antall partikler og størrelse på partiklene i prøven. Her er det mange muligheter for tilpasning av hvordan dataene skal framstilles.



Figur 16: Prinsippskisse av hvordan Coulter Counteren måler og teller partikler. Ønsket prøvemengde suges inn gjennom aperturen og spenningstoppene for hver passering av partikkel registreres mellom anode og katode. Laget med inspirasjon fra (Fan mfl., 2022).

Prøvene tatt for Coulter Counteren ble lagt på kjøøl fram til avreise tilbake til Trondheim. På hjemreisen fra Smøla til Trondheim ble prøvene lagt i isoporbokser med kjøleelementer. Ved ankomst ble prøvene satt på et kjølerom på NTNU Sealab, fram til de skulle analyseres dagen etter. For hvert tidspunkt ved hvert målepunkt ble det tatt 3 vannprøver, hvor prøvene ble markert med nummerene 1, 2 og 3. Prøve nummer 1 og 2 ble i utgangspunktet brukt. Prøve 3 ble tatt for å ha en i reserve, i tilfelle det skulle skje uforutsette hendelser med en av de to andre. I de tilfellene hvor prøve 1 - 3 ble analysert, blir alle verdiene notert ned i oversikten. Alle prøvene ble filtrert på 100 μm , på lik linje med prøvene til turbiditet. For å holde kontroll på prøvene og hvor man skulle notere inn i Excel-skjema, ble det startet med prøven fra innløp kar 41 klokken 08.00 torsdag. Det ble hentet ut 2,5 ml prøve med pipette som ble blandet med 20 ml filtrert sjøvann i et lite hetteglass. Hetteglasset ble lukket og vendt om forsiktig 3 ganger. Videre ble hetteglasset med prøven plassert i Coulter Counteren. Hver prøve ble tildelt et filnavn i resultat-mappen. For eksempel ble A_k1_t08_f_1 benyttet for avløp kar 41 torsdag 08.00, første prøve. De neste prøvene fulgte samme mønster. Slik ble navnene unike og det ble mulig å identifisere hvilken prøve hver fil tilhørte. Coulter Counteren ble innstilt til å gjennomføre to kjøringar på hver prøve. Dette ble gjort for å skaffe tilstrekkelig mengde med datamateriale, og for å få kontrollmålinger i tilfelle det skulle være noe feil. Hver gjennomføring tok omtrent 26 sekunder. Imellom to ulike prøver kjørte Coulter Counteren en automatisk flushing av innvendige rør. Dette ble gjort for å hindre at rester fra tidligere prøver skulle forurense de påfølgende prøvene. Etter å ha kjørt to prøver fra samme målepunkt og tidspunkt ble aperturen skyldt med destillert vann.

Resultat fra Coulter Counter ble 158 filer, hvor hver fil viser en graf som presenterer en fordeling av antall partikler i intervallet mellom 2 - 60 μm i diameterstørrelse. I disse filene var det mulig å zoome inn i egenvalgte intervaller og få oppgitt antall partikler i dette intervallet. Det ble laget seks grafer som viste gjennomsnittet av kjøringene på innløp, overløp og avløp for kar 41 og kar 42 for torsdag og fredag.



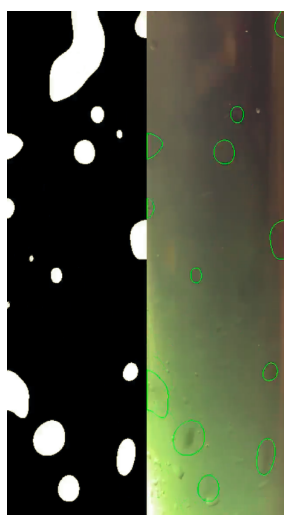
Figur 17: Figuren viser Coulter Counteren som ble benyttet til å telle antall partikler og måle partikkelstørrelse i vannprøvene. Bilde fra: Gruppen

4.4.4 Videotaking og analyse med Ecco it

Det ble tatt videoopptak inn i overløpsrør, av det gjennomsiktige innløpsrøret til syklon, og avløpsrøret fra karet. Til å filme ble det brukt to iPhone'er med en kameraoppløsning på 3840x2160, hvor FPS var innstilt på 30. Samtlige videoer varte omkring 22 sekunder.

For hvert klokkeslett ble det alltid startet med å filme avløpsrøret fra kar 41 og kar 42. Her ble alt innenfor ringen på figur 11 dekket. Videre ble det tatt video av overløpet til syklonen for kar 42, det ble tatt så området innenfor rød sirkel markert på figur 13 ble dekket. Så ble det gjennomsiktige innløpsrøret til syklonen for kar 42 filmet. For å få partiklene i vannet tydeligere frem på video ble det brukt lommelykt fra en annen iPhone til opplysning. Til slutt ble det utført lik videotaking på overløp og innløp til kar 41.

Alle filmene ble overført til en mobil og lagt i albuminndeling med 3 tilhørende videoer for hver syklon og kar, til hvert klokkeslett. Videoene ble navngitt og klippet ned til 20,00 sekunder. Alle tolv mappene ble overført til Dropbox og delt med Ecco it. Hos Ecco it deles filmene inn i hva slags målepunkt det er opptak av. Alle overløpsvideoer i en gruppe, alle innløpsvideoer i en gruppe, og avløpsvideoer i en gruppe. Så redigeres videoopptakene med et pre-prosesseringsverktøy som fjerner støy og statiske objekter. Ett eksempel på dette er gjenskinn av lys som ødelegger sikten for å telle partikler i enkelte områder. Videre defineres kanten rundt omrisset for hver partikkel som detekteres, vist med figur 18. Dette gjøres for at uønskede objekter sorteres bort, ut ifra forhåndsvalgte estimater på omkrets og areal. I avløpet fra fiskekarene kom det stadig fisk inn i bildet, som måtte sorteres ut digitalt før programmet skulle telle partikler.



Figur 18: Figuren illustrerer hvordan en videoanalyse kunne blitt gjort. Til høyre vises den gjennomsiktige delen av innløpsrøret til syklonen, mens til venstre vises det programmet hentet ut fra opptaket. De grønne omrissene er partikler koden har detektert, innenfor visse krav om areal og omkrets. Bilde fra: Ecco it

4.5 Generelt utstyr

Utstyrnavn:	Beskrivelse:
Filter	Filtrerer bort alt over 100 μm
Slange	Ble brukt for å hente ut vann fra syklonen ved bruk av hevert prinsippet
Prøveflasker TSS	Flasker tilsendt fra Nemko Norlab, rommet litt over 1 liter vann
Sentrifugerør	Prøverør på 50 ml som ble brukt til å frakte vannprøver fra Smøla til Trondheim
Isoporkasse	For å kunne frakte prøvene fra Smøla til Trondheim kjølig
Fryseelementer	For å holde miljøet i isoporkassen kjølig
Telefon/ kamera	For filming av videoer som skal analyseres vha. maskinlæring
Pipette	For presise måleforhold mellom prøve og filtrert sjøvann

Tabell 3: Tabellen viser en oversikt over annet utstyr som ble brukt, men tilhørende beskrivelse.

4.6 Systematisering av datamateriale, analyse og statistikk

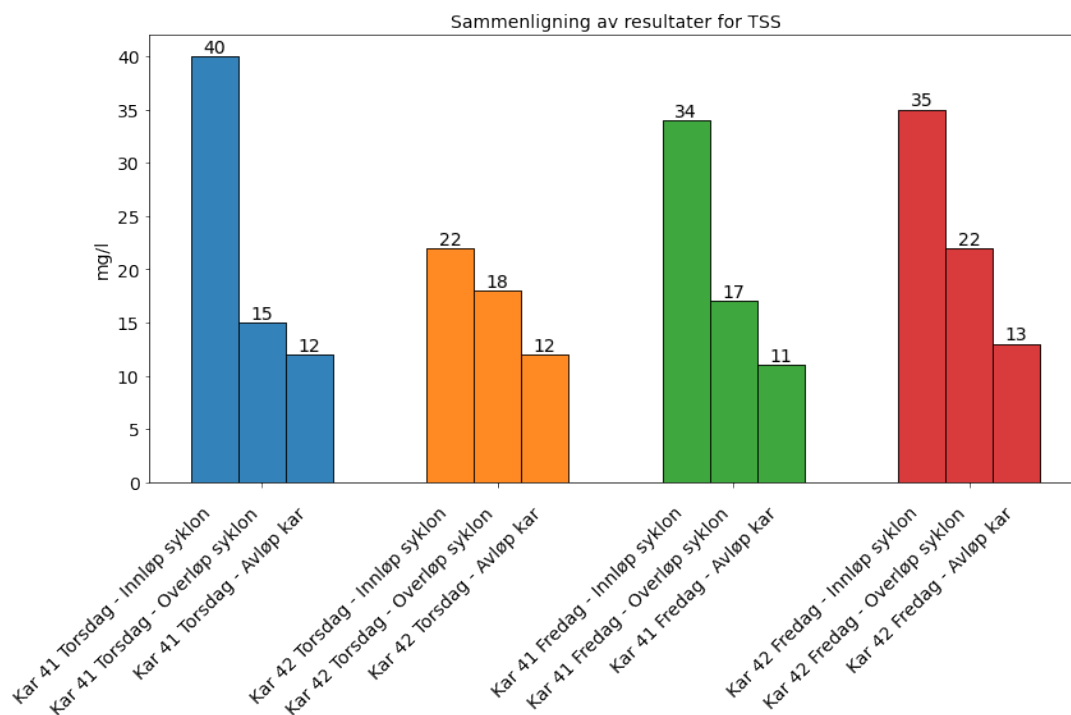
Systematisering og behandling av data ble utført i Excel, ved hjelp av et Excel-skjema. Dette var for at gruppen skulle få en oversikt over datamaterialet. I Excel-skjemaene ble datamaterialet klargjort for analyse, og nødvendige beregninger av gjennomsnitt og standardavvik ble da utført.

Generering av figurer for TSS og turbiditet ble gjennomført i Python. Python-kodene som er blitt brukt til å generere og tilpasse figurer ligger som vedlegg. Alle Python-kodene er delvis eller helt generert ved hjelp av KI. Grunnen til at det er valgt å bruke KI til å generere Python-koder er sammensatt av en rekke faktorer. På den ene siden har gruppen begrenset med kunnskap om håndtering og programmering av slike datamateriale. På den andre siden legges det vekt på at genererte figurer skal være av ypperste kvalitet, noe KI i større grad bidrar til. Det er også slik at bruken av KI gir et mangfoldig utvalg av metoder for fremstilling av datamateriale. For analyse av datamaterialet fra Coulter Counter ble programvaren Multisizer 3 brukt. Multisizer 3 er et program som tilhører Coulter Counteren.

5 Resultater

5.1 TSS-konsentrasjon i vannprøvene

For de 12 prøvene som ble tatt for TSS og analysert av Nemko Norlab, blir følgende resultater presentert i figur 19. Figuren viser hvor mange mg/l TSS som er i vannet for kar 41 og kar 42, torsdag og fredag på de ulike målepunktene. De blå og de grønne søylene tilhører prøvene for kar 41, mens de oransje og de røde søylene tilhører kar 42 de to dagene. For hver farge representerer søylen lengst til venstre innløpet til syklonen, søylen i midten representerer overløpet til syklonen, og søylen lengst til høyre er avløpet til karet. Resultatene viser en trend som er lik for de to parallellene begge dagene, hvor innløpet til syklonen har høyest TSS-konsentrasjon, deretter overløpet og med avløpet til karet lavest. Verdiene som blir brukt og presentert i figuren blir også presentert i en tabell i vedlegg 8.2.1. For å finne ut hvor effektiv syklonen faktisk var ble det regnet på rensegraden. Beregningene som er illustrert i vedlegg 8.3, kom fram til at syklonen for kar 41 hadde en rensegrad på 63 og 50 % de to dagene, mens syklonen for kar 42 hadde en rensegrad på 18 og 37 %.

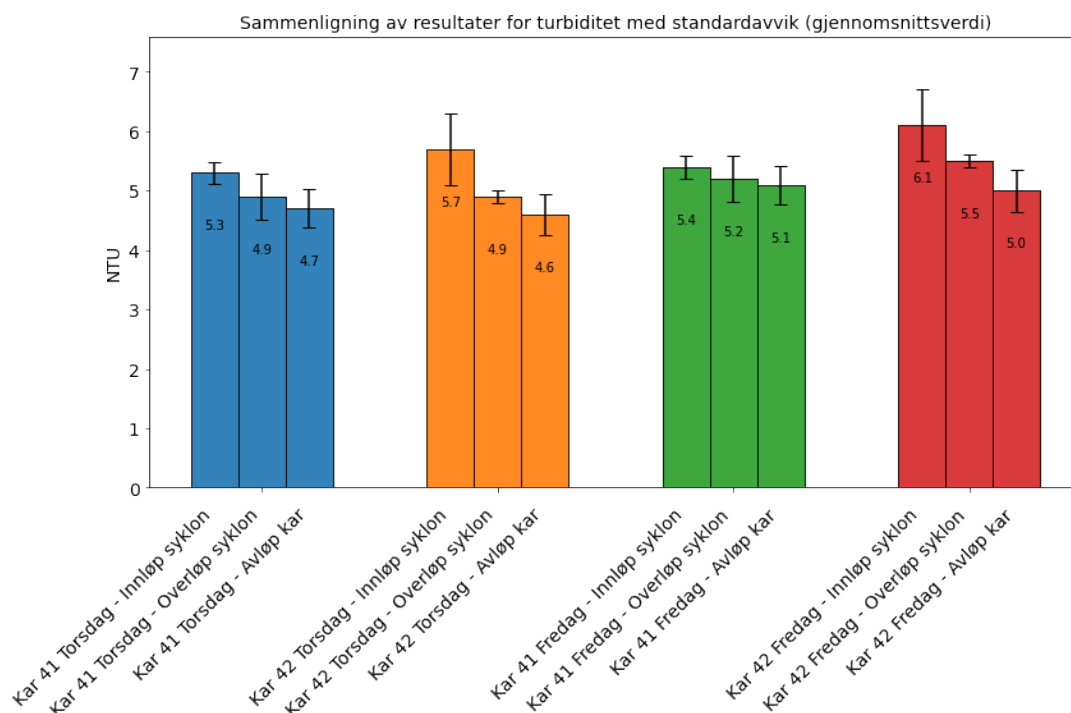


Figur 19: Figuren viser et søylediagram over TSS-konsentrasjonen i de tre målepunktene, for kar 41 og kar 42 torsdag og fredag.

5.2 Turbiditetsnivå i vannprøvene

Prøvene som ble analysert for turbiditet blir presentert i figur 20. Figuren har samme oppsett som figuren for TSS, men med NTU som måleenhet på y-aksen, i tillegg til et standardavvik for hvert målepunkt. For turbiditet var det tatt en del flere prøver enn for TSS, hvor figuren viser gjennomsnittet av de ulike prøvene som ble tatt gjennom dagen. En mer detaljert tabell over de eksakte verdiene ligger i vedlegg 8.2.2.

Visuelt sett var det ikke mulig å se noen forskjell på turbiditeten til vannet ved de ulike målepunktene. Turbiditetsmålingene viste samme trend som TSS målingene når man gikk ut ifra gjennomsnittsverdiene. Resultatene viser også til at det er avløpet til vannet som har det klareste vannet. Når det ble tatt hensyn til standardavvik, fikk man et innblikk i at forskjellene er svært små mellom de ulike målepunktene. Standardavvikene strakte seg fra det laveste på 0,04 for overløp kar 41 fredag, til 0,6 på det høyeste for innløp kar 42 torsdag. Det var også en del variasjoner for resultatene av samme prøve, hvor verdiene som ligger i vedlegg 8.2.2 for turbiditet viste en forskjell på 6,5 til 7,1 NTU på det høyeste. Samtidig kunne samme målepunkt sprike en del, hvor for eksempel innløp sykklon kar 42 spriket med 1,3 NTU på det høyeste. Prøven som ble tatt av innløpsvannet viste seg å ha en turbiditet som varierte fra 3,1 til 3,4 NTU. Disse verdiene er noe lavere enn verdiene som ble hentet fra de tre andre målepunktene som befinner i anlegget.



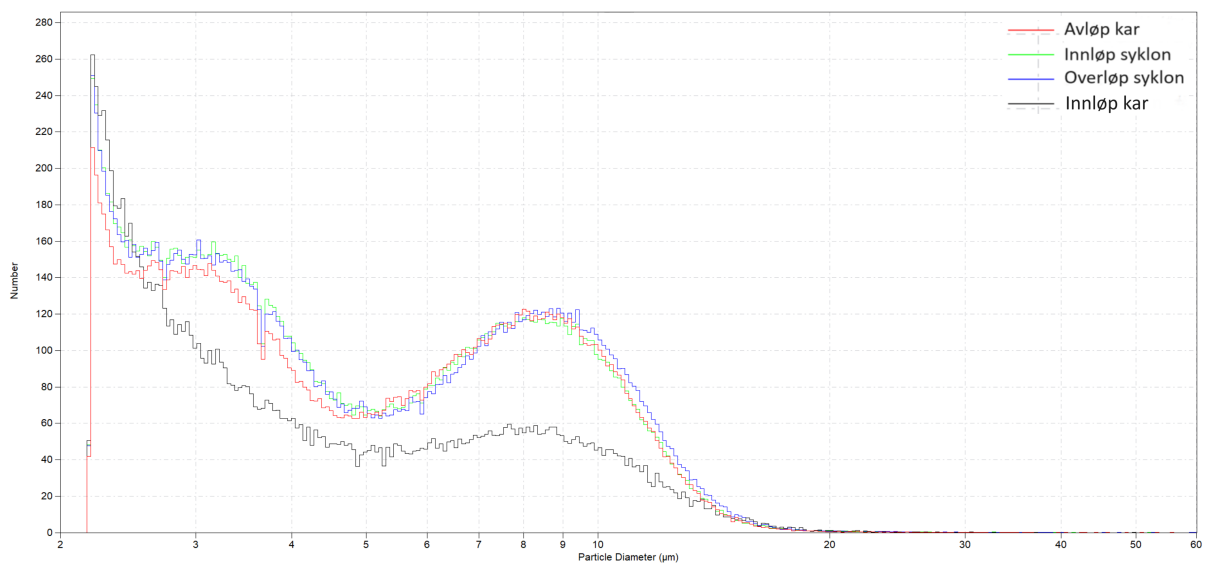
Figur 20: Figuren viser et søylediagram over resultatene for turbiditet i de tre målepunktene, for kar 41 og kar 42 torsdag og fredag. De svarte vertikale stripene på toppen av hver søyle er det tilhørende standardavviket.

5.3 Partikkelfordeling og størrelse

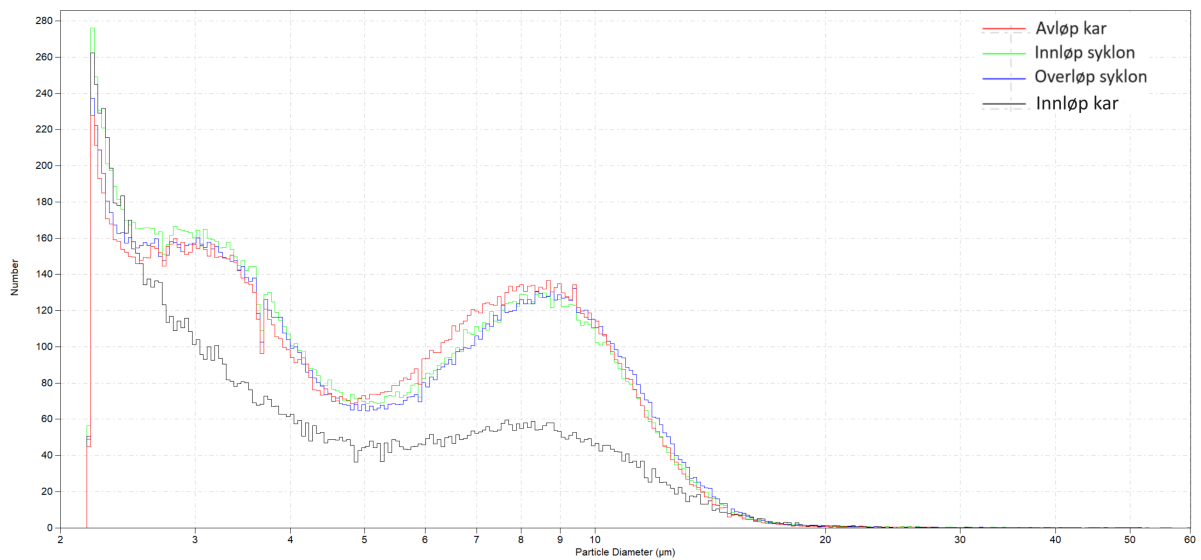
Resultatene med Coulter Counter som gir gjennomsnittskurvene på figur 21 og 22 er svært like. Kurvene for avløp, innløp og overløp følger hverandre tett. De deler to toppunkt, et ved en partikkelstørrelse på 3 μm og et ved 8,5 μm . Felles bunnpunkt har de tre ved en størrelse på 5 μm med. Fra toppunktet ved størrelse lik 8,5 μm synker de tre samlede kurvene ned mot tilnærmet ingen tellinger ved størrelser over 20 μm .

Kurven for innløpsvannet ligger generelt under de samlede tre kurvene. Innløpsvannet har også et toppunkt ved partikkelstørrelse på 8,5 μm og et bunnpunkt rundt 5 μm . Fra toppunktet på innløpsvannet ved størrelse rundt 8,5 μm synker kurven ned mot tilnærmet ingen tellinger ved størrelser over 20 μm . Mellom størrelsesintervallet på 2,2 til 2,4 μm har alle fire kurvene et toppunkt.

Hovedvekten av partikler som ble funnet ligger i størrelsesintervallet ved ca. 2,2 - 20 μm . Dette er felles for alle målepunktene, inkludert innløp kar. I størrelsesintervallet 20 - 60 μm ble det registrert tilnærmet ingen partikler



Figur 21: Figuren viser en fordeling av partikler i størrelsesintervallet 2 - 60 μm langs den horisontale aksene og antall talte partikler langs den vertikale aksene for kar og syklon 41 torsdag og fredag. Grafene presenterer gjennomsnittet av kjøringene på innløp, overløp og avløp fra torsdag og fredag.



Figur 22: Figuren viser en fordeling av partikler i størrelsesintervallet 2 - 60 μm langs den horisontale aksene og antall talte partikler langs den vertikale aksene for kar og sykklon 42 torsdag og fredag. Grafene presenterer gjennomsnittet av kjøringene på innløp, overløp og avløp fra torsdag og fredag.

6 Diskusjon

6.1 Syklonens effekt på TSS og vannkvalitet

Visuelt sett kunne gruppen bekrefte utsagnene de ansatte ved Nekton kom med, om at syklonen fjerner partikler. Uttak av vann fra innløpet til syklonen ble visuelt sammenlignet med vann fra overløpet til syklonen, og man kunne se at det var en god del mere fôrpartikler og ekskrementer i innløpsvannet. For å finne ut hvor mye organisk materiale som går til syklonen og hvor mye av dette syklonen fjerner, ble TSS sett på som en slags fasit i denne oppgaven. Dette kommer av at TSS-analyser tar hensyn til alt stoff i vannet, i alle ulike størrelser, i motsetning til de andre metodene som ble brukt (Hjeltnes mfl., 2012; Noble mfl., 2018). Slik man kan se i figur 19 fra resultatdelen til TSS, ser man en klar trend i at syklonen fjerner TSS. Gruppen konkluderte derfor med at syklonen er effektiv for å fjerne TSS. Selv om resultatene viser en veldig tydelig trend så ble det kun tatt 12 målinger totalt, som gjør at man ikke har et veldig sterkt grunnlag for å si at trenden alltid er lik. Det er altså veldig små marginer som skal til for at ytre faktorer i form av andre feilkilder, kan ha påvirket resultatene.

Gruppen har valgt å bruke resultatene fra prøvene som ble tatt. Anlegget har et konstant fôringsregime, som vil si at de fører hele døgnet, og biomassen på fisken vil gradvis bli større og gi fra seg mer ekskrementer. Vannmiljøet er da ganske stabilt i form av partikler, hvor partikkelmengden øker sakte fram mot eventuell flytting eller sortering av fisken i karene. Partikkelmengden som blir sendt ut av karet er derfor også ganske stabil, samt at syklonen burde fungere likt med mindre den er defekt. Effekten på syklonen kan variere ut ifra hvor stor partikkelmengde den skal fjerne, men det har ikke gruppen samlet noe data på. Ut ifra at syklonen baserer seg på gravitasjon, hvor partiklene som har høyere tetthet enn vann synker mot bunn og ut av systemet, burde ikke dette være et problem (Davidson og S. T. Summerfelt, 2005; Ebeling og Vinci, 2006). Gruppen har med bakgrunn av dette, på tross av en liten mengde med resultater på TSS, konkludert med at resultatene som ble samlet burde stemme ganske bra for systemet generelt.

Syklonene er en effektiv og skånsom måte å fjerne partikler fra systemet på, som gjør at de er et godt tilskudd i RAS systemet. Måten RAS-anlegget har lagt opp til å bruke prinsippet med delstrøm, hvor delstrømmen skal være den mest forurensede strømmen, gjenspeiles i resultatene for TSS (Fjellheim mfl., 2016). I figur 19 kan man se at innløpet til syklonen ved alle prøvetidspunktene hadde mest TSS, mens avløpet til karet alltid hadde minst. Ved bruk av delstrømmen blir partiklene effektivt flyttet til syklonen, hvor de tidlig i vannbehandlings prosessen blir fjernet fra systemet. Dette gjør at partiklene har mindre tid på å løses opp i vannet. I tillegg er rensingen i syklonen veldig skånsom,

med minimalt av bevegelige deler som kan knuse partiklene til mindre partikler, som er vanskeligere å bli kvitt (Davidson og S. T. Summerfelt, 2005; Ebeling og Vinci, 2006). Ved å bruke delstrømmen og syklonen vil man dermed bidra til å opprettholde en god og stabil vannkvalitet. I form av at en effektiv syklon fjerner organisk materiale og minimerer mengden vekstsubstrat for heterofe bakterier (Fjellheim mfl., 2016). På grunn av at man gjerne ønsker å holde mengden heterofe bakterier lavt, da de fører til et større O_2 forbruk, samt høyere produksjon av CO_2 og TAN (Attramadal, 2022d). En effektiv syklon vil også bidra til å holde desinfeksjonsraten og biofilteret ved like, siden den fjerner partikler som kommer i veien for at desinfeksjonen og nitrifiseringen skal være optimal (Fjellheim mfl., 2016). I tillegg fjerner syklonen partikler som i andre tilfeller kunne sedimentert i ulike steder i anlegget, og potensielt ført til at en dødelig H_2S -gass hadde sluppet ut i systemet (Langeteig, 2019).

Ut i fra resultatene fra TSS-målingene og verdiene man ser i figur 19, kan man se at det ferdig rensede vannet fra syklonen ligger på 15 til 22 mg/l. I henhold til teorien om TSS er det anbefalt en øvre grense på 10 mg/l (Fjellheim mfl., 2016). Syklonen er altså ikke nok i seg selv til å opprettholde den anbefalte grensen. Vannstrømmen i avløpene fra karene har noe lavere verdier, og ligger på 11 til 13 mg/l, men er heller ikke innenfor grenseverdien. Begge disse strømmene blir i anlegget ført videre til trommelfilteret for å bli rensed, noe som er nødvendig dersom man ønsker å ligge innenfor den anbefalte grensen. Verdiene vil trolig synke noe i TSS-mengde etter dette (Attramadal, 2022d).

Som forklart tidligere ble også regnet på rensegraden for de to syklonene, hvor kar 41 hadde en rensegrad på 63 % og 50 %, mens kar 42 hadde 37 % og 18 % de to dagene. Ut i fra dette hadde syklonen til kar 41 en del høyere rensegrad enn syklonen til kar 42. Disse syklonene skal i utgangspunktet være like, og det er derfor vanskelig å si nøyaktig hvorfor de to syklonene fikk så mye spredning i resultatene. Dette kan skyldes menneskelige feilkilder. Et eksempel på dette er at slangen som ble brukt til hevert hadde kontakt med rørveggen, som kunne føre til at det løsnet biofilm fra rørveggen. Et annet eksempel på feilkilde er ulik vinkel på slangen som ble brukt til hevert, slik at overflaten partiklene måtte treffe for å bli med inn i slangen var ulik. Det kan også være tilfeldigheter rundt hvor mye partikler som gikk inn i slangen, i akkurat det øyeblikket prøvene ble hentet ut, siden det også er litt variasjon i resultatene fra samme syklon de to dagene. En annen feilkilde som kan ha påvirket resultatene, kan være det faktum at når innløpsvannet ble hentet sto åpningen til slangen mot strømmen. I overløpet lå åpningen til slangen i samme retning som vannstrømmen. Dette kan ha gjort at det var enklere å få tak i partikler i innløpet til syklonene, men derimot vanskeligere i overløpet å få partiklene til å følge vannet inn i slangen. I tillegg ble syklonene tømt på forskjellige tidspunkt, som kunne påvirket mengden av partikler i syklonen.

6.2 Turbiditet og vannkvalitet

Det var usikkert om forskjellen i turbiditeten ville være tydelig, ettersom sykloner har lav effektivitet for partikler under 50 μm (Ebeling og Vinci, 2006). Prøvene som ble testet med turbiditetsmåler ble silt gjennom et 100 μm filter. De ble filtrert for å sørge for likt sammenligningsgrunnlag som Coulter Counter. Dette medfører at større partikler opp mot 1000 μm som gir utslag på turbiditetsmåler, ikke påvirker resultatet (Noble mfl., 2022). Påvirkningen av dette vil trolig være at trenden blir mindre tydelig fordi syklonen er mere effektiv for partikler i intervallet 100 - 1000 μm (Ebeling og Vinci, 2006). Det reelle resultatet i turbiditet vil derfor kanskje ha en tydeligere trend mellom hvert målepunkt, fordi målepunktene sannsynligvis har større ulikhet i klarhet. Siden det ikke er noen anbefalt grenseverdi for turbiditet er det vanskelig å si noe knyttet til påvirkningen målt turbiditet har på fisken.

En fare med systemet i RAS-anlegg er at enkelte partikkelstørrelser ikke renses ut. Det vil resultere i at partiklene akkumuleres i økt mengde over tid. Innløpsvannet sammenliknet med de tre andre målepunktene i vannsløyfen hadde betraktelig lavere turbiditet. Noe som betyr at det bygges opp partikler under 100 μm i vannsløyfen. Med en syklon som er effektiv over 77 μm og et trommelfilter med en lysåpning på 60 μm , er det mulig at partikler kan akkumuleres i det størrelsesintervallet som utgjør den nedre effektive grensen for disse to rensesstasjonene (Ebeling og Vinci, 2006).

Ser man nærmere på standardavviket tilknyttet resultatet til turbiditet varierer dette som forklart tidligere. Det kan vurderes om standardavviket er så stort at det er tilfeldig at søylene ble så høye som de ble, og at det ikke er en reell representasjon av virkeligheten.

6.3 Coulter Counter og partikkelstørrelse

Som illustrert i figur 21 og 22 viser resultatene for avløp kar, innløp syklon og overløp syklon tilsvarende trender. Dette indikerer en relativ liten forskjell mellom innløp syklon og overløp syklon. Eventuelle observerte forskjeller kan skyldes ulike faktorer, hvor måleusikkerhet spiller en viktig rolle. Dette kan både være unøyaktighet i metoden som ble brukt for å ta vannprøvene, unøyaktighet i måleinstrumentene, men også feil i klargjøringen av prøvene. Disse variablene kan ha ulik påvirkning på det oppnådde resultatet, noe som kan forklare de varierende resultatene observert på enkelte prøver. Av den grunn ble det gjennomført kontrollmålinger av den tredje vannprøven fra de aktuelle målepunktene. I vedlegg 8.2.3 gjelder det avløp kar 41 og kar 42 fredag 08.00. De eksakte forskjellene er presentert nærmere i vedlegget.

Når det gjelder trenden for innløpsvann, ser det ut til at den delvis følger mønstrene til avløp kar, innløp syklon og overløp syklon. Imidlertid mangler de høye toppene rundt 3 μm og 8,5 μm . Dette antyder at noen partikler blir fjernet i andre deler av systemet, før det går inn til karet. Som forklart i kapittel 4.2.1 har anlegget en proteinskimmer, hvor en delstrøm av vannet går gjennom en ekstra renseprosess. Siden proteinskimmeren er effektiv mot partikler under 20 μm , vil trenden for innløpsvannet til karet være lavere enn de andre målepunktene (Lekang, 2020). Med tanke på at det bare er en delstrøm som går til proteinskimmeren, så vil ikke alle partikler under 20 μm bli fjernet.

Siden syklonen i utgangspunktet ikke er designet for å fjerne partikler mindre enn 50 μm , så reflekteres dette i både figur 21 og figur 22. Som nevnt var størrelsesintervallet for partiklene ca. 2,2 - 20 μm . Disse partiklene vil i henhold til (Ebeling og Vinci, 2006) i større grad bli med videre fra innløp syklon til overløp syklon. Derfor er ikke forskjellen mellom disse målepunktene betydelig store. Som forklart i kapittel 4.2.1 går vannstrømmen fra syklonen til trommelfilteret. Siden trommelfilteret har en lysåpning på 60 μm , så vil heller ikke partiklene bli fjernet der. Partiklene vil dermed gå videre til biofilteret.

Det er vanskelig å fastslå nøyaktig hva disse partiklene består av, og i hvilken grad de påvirker fisken. Partiklene kan skyldes en rekke faktorer, deriblant partikler fra biofilteret, partikler fra innløpsvannet, og større partikler som er blitt brutt opp til mindre partikler i andre deler av systemet. Hvis det skulle vise seg at det er heterofe bakterier, så kan det på sikt legge grunnlag for produksjon av CO_2 og TAN. Høye mengder av CO_2 og TAN er som nevnt veldig skadelig for fisken (Fjellheim mfl., 2016). Derfor er det ønskelig at disse partiklene også fjernes, enten i det gjeldende systemet, eller ved installering av andre rensesystemer.

6.4 Partikler og fiskevelferd

Syklonen bidrar til en god og stabil vannkvalitet, i form av å holde heterofe bakterier under kontroll, opprettholde gode verdier av O_2 , CO_2 , TAN, H_2S , samt sikre gode forhold for de nitrifiserende bakteriene i biofilteret og en god desinfeksjonsrate. Ved å sikre en god vannkvalitet bidrar man også til å sikre bedre forhold for god fiskehelse (Fjellheim mfl., 2016). Først og fremst i form av at syklonen fjerner partikler som påvirker fisken direkte. Store mengder partikler i vannet vil påføre fisken blant annet skade på gjellene og unødvendig stress. Partiklene som ikke fjernes vil påvirke vannmiljøet i form av at antall heterofe bakterier vil øke. Disse bakteriene vil bruke oksygenet som fisken trenger, som kan føre til at det blir for lite oksygen til fisken (Attramadal, 2022d). Dersom det blir for lite oksygen til fisken kan den havne i respiratorisk nød, som til slutt fører til dødelighet (Hjeltnes mfl., 2012). Disse bakteriene er også med på å produsere CO_2 , noe man ønsker

å unngå i RAS-anlegg. Ved at bakteriene bidrar til produksjonen vil mengden øke, og fisken kan ved for høye verdier få nedsatt evne til oksygenopptak og syre-base regulering (Attramadal, 2022a; Fjellheim mfl., 2016). I tillegg til å produsere CO_2 , produserer disse bakteriene TAN. Som CO_2 vil også høye verdier av TAN føre til at fisken får et dårligere oksygenopptak, i tillegg til irriterte gjeller, endringer i fiskens vann-ione- balanse og skader på vevsstrukturer i lever og nyre (Fjellheim mfl., 2016). Partiklene som ikke fjernes står også i fare for å sedimentere i dødsoner i ulike steder på anlegget. Dette kan føre til at H_2S -gass slippes ut i vannet, som vil føre til massedød hos fisken (Langeteig, 2019; Lazado, Karlsen mfl., 2024). Ved å bidra med fjerningen av disse partiklene bidrar altså syklonen positivt for fiskehelsen, ved å holde mengden organisk materiale nede og dermed også mengden uønskede stoffer nede.

For å vite mer presis hvilke partikler som er skadelig for fisken, er det nødvendig å kunne si noe om størrelsesorden til de gjeldende partiklene, og hvilke type partikler det er snakk om. Generelt sett vil effekten av partikler direkte på fisken avta når partikkelstørrelsen øker, samtidig som effekten vil øke når selve konsentrasjonen av partikler i vannet øker (Michel, Schmidt-Posthaus og Burkhardt-Holm, 2012). Noe som vil si at det uansett er viktig å fjerne alle slags partikler fra vannet, små og store. Spesielt med tanke på at dersom store partikler ligger i vannet lenge kan de oppløse seg til mindre partikler. Ved bruk av Coulter Counteren fikk man et fint innblikk i hvordan de minste partiklene i systemet er fordelt, som illustrert i figur 21 og 22. Figurene viser at det var en del partikler mellom ca. 2,2 og 20 μm . Et studie gjort av HU mfl. i 2017 kom fram til at partikler i størrelsesorden 0,2 til 40 μm førte til en økning i $ifn\gamma$ -genet, som er sentralt i immunresponsen til fisken (Hu mfl., 2021). Partiklene som ble undersøkt i Coulter Counteren kommer dermed innenfor samme størrelsesorden. Dette er da partikler som er små nok til å passere gjennom gjellene, og har en direkte effekt på fisken. I tillegg kan partikler bli tatt opp i gjellene og føre til gjellelesjoner hos fisken (Michel, Schmidt-Posthaus og Burkhardt-Holm, 2012). Slike skader kan påføre fisken unødvendig stress og medføre en nedsatt allmenntilstand. Det er vanskelig å si noe om hvilke type partikler som dukket opp i Coulter Counteren, siden det ikke ble undersøkt noe nærmere. Det er dermed utfordrende å kunne konkludere med akkurat hvilken effekt de kunne hatt på fisken. Dersom det er snakk om uorganiske partikler kan disse påføre fisken mekanisk skade på gjelle, på grunn partiklenes uregelmessige former og skarpe kanter (Lu, Kania og Buchmann, 2017). I tillegg blir fisken utsatt for regelmessig stress når det befinner seg suspenderte minerale stoffer i vannet (Evensen og Waage, 2022; McLeay og Gordon, 1977). Slike bieffekter er generelt dårlig for fiskens helse og velferd, og kan ha konsekvenser i form av redusert appetitt, redusert vekst og uregelmessig svømmemønster.

6.5 Syklonens lønnsomhet

På bakgrunn av det som ble diskutert i det forrige kapittelet om fiskevelferd vil også syklonen bidra til lønnsomhet. Lønnsomhet i form av forhindring av fiskedød knyttet til økonomi. Ved å opprettholde en god vannkvalitet, vil man forebygge fiskedød. Fisk som bedriften har brukt økonomiske midler på å avle opp gjennom hele livsløpet, som dermed blir midler bedriften ikke får noen inntekt på senere. I tillegg til dette har syklonen et ganske enkelt og robust design, med ingen bevegelige deler (Lekang, 2020). Den har dermed færre deler som kan slites ut og kreve vedlikehold gjennom reparasjoner, eller generelt regelmessig vedlikehold. Det robuste designet bidrar til dette med at det ikke er noen bevegelige deler som lett blir ødelagt.

6.6 Anbefaling av målesystem

De 36 videoopptakene som ble tatt på Smøla har et stort forbedringspotensial. Responser fra Ecco it var at skjjelving, gjenskinn fra lys og skiftende fokus i videoene trakk nøyaktigheten på tellingene fra videoanalysen ned. Også klarheten på partiklene som begrenses av oppløsning og eventuell forringelse fra det gjennomsiktige røret trekker kvaliteten ned. Det ble derfor konkludert med at et kamera som står fastmontert ved hvert målepunkt vil være det beste. Gjenskinn var spesielt et problem ved målepunktet avløp kar. Der var det lamper i taket som ga gjenskinn i den blanke vannoverflaten. Her trengs det en ny tilnærming til kameravinkelen for å kunne filme alt vannet som strømmer ut av avløpet uten at lampens gjenskinn forstyrrer opptaket. Med et webkamera fastmontert kan man få valgt et fokuspunkt som ikke endres underveis, så det ikke blir et problem. Oppløsningen på opptakene var grei, så pikseltetthet på 4K er tilfredsstillende. Det er avgjørende her at programmet klarer å følge partikkelen i det den beveger seg forbi kameraet. Dette krever at bildefrekvensen er høy nok i forhold til hastigheten på vannstrømmen. Klarheten på innløpsrøret er begrenset av materialet og riper. Dette preger gjennomsiktigheten og gjør det utfordrende å registrere partikler i bakre del av røret. Om det ikke er mulig å bytte til et rør uten forringelser, så kunne et kamera på baksiden telt disse. Dette ville selvsagt innebære at koden ikke registrerer doble tellinger fra to kameraer som filmer inn på hver sin side av et rør.

Outputet fra programmet Ecco it lagde, ville detektert totalt antall partikler. Fiskeslam har en tetthet på 1,005 - 1,2 tonn/ m^3 , og med en god algoritme som beregner volumet til hver partikkel kan oppdretteren få et tall på fiskeslam som går ut av karet (Davidson og S. T. Summerfelt, 2005). Mengden fiskeslam som renses ut ved syklon kan dermed estimeres med en tilnærmet nøyaktighet når man har tall for dette før og etter syklonen. Des mer som tas ut desto mindre belastning får rensestasjonene videre i systemet. Dette

er positivt og har verdi for fiskevelferden. Med tanke på grensestetting av verdier som anlegget bør følge, har ikke gruppen fått samlet stort nok grunnlag til å gjøre vurderinger rundt.

Programmet til Ecco it kunne visst et innblikk i partikkelmengden i de aktuelle målepunktene, men ikke noe om hvor mye fôr som går til spille. På et tidspunkt er det kanskje like mye eskremerter som uspiste pellets på vei ut av karet, og da vil det være besparende å skru ned fôrmengden. For å kunne bruke datasettet til dette kan veiledet maskinlæring være nøkkelen. Med det vil man kunne trene opp en algoritme til å skille telling av pellets og fiskens ekskremerter. Dette krever riktignok mye tid og ressurser, noe som gruppen ikke hadde mulighet til å med tanke på oppgavens begrensede omfang.

6.7 Videre forskning

Underveis i arbeidet med oppgaven dukket det opp spørsmål og diskusjoner rundt områder som kunne blitt utforsket nærmere eller ting som kunne blitt gjort annerledes. Herunder kunne det vært interessant å undersøke partiklene som ble funnet i vannet. Å finne ut hvilke typer partikler som oppholder seg i vannet til anlegget, annet enn fôrrester og avfallsstoffer fra fisken, og om det er snakk om organiske eller uorganiske forbindelser. Dette kunne gitt et innblikk i hvor skadelige akkurat disse partiklene er for fisken. I tillegg kunne man da også gjort undersøkelser direkte på fisken, og undersøkt om fisken har skader som kunne blitt påført av partiklene i vannet. Spesielt rundt gjellene til fisken, da disse ofte kan være utsatt for skader fra partikler i RAS-anlegg.

Når det kommer til prøvene som ble tatt kunne man hente mye informasjon fra resultatene, men for å kunne si med større sikkerhet hvor troverdige resultatene er burde det blitt tatt flere prøver. Spesielt for TSS, da det her ble tatt en del mindre prøver enn for turbiditet og Coulter Counter. Dersom man hadde hatt flere TSS prøver, hadde man hatt et sterkere datagrunnlag for å kvalitetssikre beregningene som ble gjort rundt rensegraden til syklonen. En annen måte å undersøke syklonen på er å finne ut nøyaktig hvor mye slam den tar ut i løpet av en dag, kontra hvor mye slam de gjeldende karene produserer. Gruppen fant ikke denne gang noen god måte å hente ut slammet på, siden bunnen av syklonen var koblet direkte til slamkummen til anlegget. Dersom man hadde fått dette til å fungere ville man fått en ekstra indikator på hvor effektiv syklonen faktisk er. I tillegg kunne det vært interessant å benytte en annen apertur for Coulter Counteren, som hadde dekket et større intervall av partikler. På den måten kunne man fått et innblikk i hvordan partiklene i størrelsesorden over 60 μm hadde fordelt seg.

7 Konklusjon

Denne oppgaven har undersøkt nytteverdien av sykklens funksjon i vannrensing. Gruppen kom fram til at sykklene er positiv for vannkvaliteten i systemet. Resultatet fra TSS-analysen viste at rensgraden til de to sykklene varierte mellom 18 - 63 %. For partikler i størrelsen mellom 2 - 60 μm viste Coulter Counter-målingene at det ikke var særlig forskjell før og etter rensing i syklon. Man kunne på bakgrunn av dette konkludere med at syklonen var effektiv på de større partiklene, som fiskefôr og ekskrementer. I forhold til turbiditet var det ingen store forskjeller før og etter syklonen. Dette ble mer tydelig når man tok hensyn til det beregnede standardavviket til hvert målepunkt. Med tanke på turbiditet i vannet økte det fra fiskekarenes innløpsvann til de senere målepunktene i vannsløyfen. Dette sier noe om produksjonen av partikler i karet, og hvor stor økning det er av partikler.

Sykloner bidrar til å dempe belastningen på trommelfilteret og biofilteret betraktelig. Det skyldes at den kommer tidlig i rensprosessen, slik at den fjerner partikler før de løses opp. I tillegg består syklonen av få bevegelige deler som er i stand til å bryte opp partiklene til mindre deler. Siden syklonen bidrar til å fjerne partikler på en effektiv og skånsom måte vil den også bidra til god fiskevelferd og lønnsomhet. Syklonen fjerner partikler som kunne vært til skade direkte på fisken i anlegget, samt bidrar til å eliminere gromuligheter for heterofe bakterier og utbrudd av H_2S . Dermed bidrar den også til lønnsomhet for oppdretteren ved å forebygge fiskedød. Hvilke partikler som oppholder seg i systemet og i hvor stor grad de påvirker fisken er vanskelig å si noe om.

Videoanalysene ble desverre ikke helt som ønsket i denne oppgaven. Målesystemet som ble brukt i oppgaven behøver mer utvikling for å gi nyttig handlingsgrunnlag for oppdretteren. For å nå dit kreves god innsamling av datasett som kan veilede maskinlæring i å skille en pellet fra en ekskrement partikkel. Kravene til videoopptak er at de skal være stabil, ett fokuspunkt, samt tilstrekkelig lys på partiklene uten gjenskinns i vannoverflate eller gjennomsiktig rør. Samt en FPS som gir mulighet til å følge en partikkel forbi linsen i høy nok oppløsning. Den tidkrevende biten er å lære opp en algoritme til å gjøre mer enn å bare telle alt den detekterer, men til å samtidig skille mellom partiklene.

Referanseliste

- Attramadal, K. (2022a). *CO₂, alkalinity, pH and degassing*. BT3102 Funksjon og drift av resirkulerende akvakultursystemter (RAS). Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com>. (Hentet: 02. Februar 2024).
- (2022b). *Introduksjon*. BT3102 Funksjon og drift av resirkulerende akvakultursystemter (RAS). Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com>. (Hentet: 02. Februar 2024).
- (2022c). *Water quality and RAS*. BT3102 Funksjon og drift av resirkulerende akvakultursystemter (RAS). Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com>. (Hentet: 02. Februar 2024).
- (2022d). *Water treatment nitrogenous waste and biofilter*. BT3102 Funksjon og drift av resirkulerende akvakultursystemter (RAS). Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com>. (Hentet: 02. Februar 2024).
- (2022e). *Water treatment organic matter and particles*. BT3102 Funksjon og drift av resirkulerende akvakultursystemter (RAS). Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com>. (Hentet: 02. Februar 2024).
- Benchmark Genetics Norway (2019a). *Klekkerihåndbok for atlantisk laks*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com>. (Hentet: 15. Februar 2024).
- (2019b). *Rognboka*. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com>. (Hentet: 15. Februar 2024).
- Binde, M. (2016). *Akvakulturdriftsforordningen Vannmiljø, fiskehelse og fiskevelferd*. Tilgjengelig fra: <https://tekmar.no/wp-content/uploads/2016/08/M-Binde-Hva-sier-regelverket-17jan06.pdf>. (Hentet: 24. Februar 2024).
- Davidson, J. og Summerfelt, S. T. (2005). *Solids removal from a coldwater recirculating system—comparison of a swirl separator and a radial-flow settler*. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860904001049>. (Hentet: 25. Januar 2024).
- Døving, K. og Reimers, E. (1992). *Fiskeanatomi og fysiologi*. BI1008 Laksens biologi i oppdrett og interaksjon med havmiljøet. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com>. (Hentet: 25. Februar 2024).
- Ebeling, J. M. og Vinci, B. (2006). *Solids capture*. (Hentet: 25. Januar 2024).
- Evensen, S. A. og Waage, A. (2022). *hematokrit*. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/hematokrit>. (Hentet: 11. April 2024).
- Fan, Ximeng mfl. (2022). *Quantifying the Extent of Calcification of a Coccolithophore Using a Coulter Counter*. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/363392024_Quantifying_the_Extent_of_Calcification_of_a_Coccolithophore_Using_a_Coulter_Counter. (Hentet: 9. Mai 2024).

-
- Finstad, B. (2021). *Smoltproduksjon og smoltifisering*. BI1008 Laksens biologi i oppdrett og interaksjon med havmiljøet. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com>. (Hentet: 27. Februar 2024).
- Finstad, B. og Iversen, M. (1995). *Testing av smoltkvaliteten hos laks og sjøørret på smoltproduksjonsanleggene i Eidfjord, Eikesdalen og Lundamo*. Tilgjengelig fra: <https://nina.no/archive/nina/PPPBasePdf/oppdragsmelding/341.pdf>. (Hentet: 04. Mars 2024).
- Fjellheim, A. mfl. (2016). *Resirkulering av vann i settefiskproduksjon*. Tilgjengelig fra: https://folk.ntnu.no/skoge/diplom/prosjekt19/more-info-on-projects/RAS/7127-2017%20%20RAS%20guide_NO_low.pdf. (Hentet: 03. Februar 2024).
- Hjeltnes, B. mfl. (2012). *Risk Assessment of Recirculation Systems in Salmonid Hatcheries*. Tilgjengelig fra: https://vkm.no/risikovurderinger/allavurderinger/risikovurderingkn_yttetilresirkuleringsanleggforsettefiskavlaksogregnbueorret.4.175083d415c86c573b5d6f83.html. (Hentet: 02. Februar 2024).
- Hu, Y. mfl. (2021). *Characterisation and analysis of IFN-gamma producing cells in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss**. Tilgjengelig fra: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34343543/>. (Hentet: 11. April 2024).
- Husøy, A. (2020). *coulterteller*. Tilgjengelig fra: <https://sml.snl.no/coulterteller>. (Hentet: 25. Januar 2024).
- Kryvi, H. og Poppe, T. (2021). *Fiskeanatomi*. Andre utgave. Vigmostad & Bjørke AS.
- Langeteig, S. (2019). *Bakgrunnsnivåer av hydrogensulfid i RAS, produksjon av hydrogensulfid fra fiskeslam ved ulike saliniteter, og effekten av å tilsette nitrat*. Tilgjengelig fra: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2618086/no.ntnu%3ainspera%3a2455654.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (Hentet: 25. Februar 2024).
- Lazado, C. C., Karlsen, C.R. mfl. (2024). *Hydrogensulfid (H₂S) i landbasert oppdrett med resirkuleringsteknologi*. Tilgjengelig fra: <https://nofima.no/prosjekt/h2salar/>. (Hentet: 25. Februar 2024).
- Lazado, C. C. og Kragerud, R. L. (2022). *Følsom nese for giftig gass*. Tilgjengelig fra: <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/17942519/folsom-nese-for-giftig-gass?publisherId=9232871>. (Hentet: 25. Februar 2024).
- Lekang, O. (2020). *Aquaculture engineering*. Tredje utgave. John Wiley & Sons Ltd.
- Lu, C., Kania, P. W. og Buchmann, K. (2017). *Particle effects on fish gills: An immunogenetic approach for rainbow trout and zebrafish*. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848617308086>. (Hentet: 10. April 2024).
- McLeay, D. J. og Gordon, M. R. (1977). *Leucocrit: A Simple Hematological Technique for Measuring Acute Stress in Salmonid Fish, Including Stressful Concentrations of Pulpmill Effluent*. Tilgjengelig fra: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/f77-284>. (Hentet: 11. April 2024).
- Michel, C., Schmidt-Posthaus, H. og Burkhardt-Holm, P. (2012). *Suspended sediment pulse effects in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) - relating apical and systemic*
-

-
- responses*. Tilgjengelig fra: <https://cdnsiencepub.com/doi/full/10.1139/cjfas-2012-0376>. (Hentet: 10. April 2024).
- Misund, B. (2023). *Fiskeoppdrett*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/fiskeoppdrett>. (Hentet: 02. Februar 2024).
- Multisizer 3 Coulter Counter*, (2005). Tilgjengelig fra: https://www.labwrench.com/documents/view/1060/beckman-coulter-multisizer-trade-3-multisizerbrochure?fbclid=IwAR2rtY4zaNkSJZgdyLEJngcFHQa-dMt9mNjbndhBWWVYju5pETtKNsG8ZjE_aem_AWkrIdwN1bTQRX6ghiSdXIVN47IFw0sz2Ndya8UiirtYdXupF8GsuoBjcMePsR56i1sdf3PrOG1WIVpsz5FHNrzu. (Hentet: 25. Januar 2024).
- Nekton settefisk AS (2024). *OM NEKTON HAVBRUK AS*. Tilgjengelig fra: https://smolaks.no/index.php?kategori=kontakt&side=kontakt_oss. (Hentet: 29. Februar 2024).
- Noble, C. mfl. (2018). *Velferdsindikatorer for oppdrettslaks*. Tilgjengelig fra: <https://nofima.no/wp-content/uploads/2016/06/Velferdsindikatorer-for-oppdrettslaks-2018.pdf>. (Hentet: 23. Februar 2024).
- (2022). *Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd*. Tilgjengelig fra: <https://nofima.no/wp-content/uploads/2016/06/Velferdsindikatorer-for-oppdrettslaks-2018.pdf>. (Hentet: 01. Februar 2024).
- Nohr, M. (2024). *Hva er nevralt nettverk, maskinlæring, språkmodeller og generell intelligens?* Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/watch?v=n5DVtB21nD8>. (Hentet: 15. April 2024).
- OptoScale (2024). *Datagrunnlaget du trenger for å følge fiskens utvikling*. Tilgjengelig fra: <https://optoscale.no/slikfungererdet/>. (Hentet: 19. April 2024).
- Pedersen, B. (2023). *pH*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/pH>. (Hentet: 25. Februar 2024).
- Pharmacy study material (2016). *Nephelometry and Turbidimetry*. Tilgjengelig fra: <http://rxpharmaworld.blogspot.com/2016/12/nephelometry-and-turbidimetry.html>. (Hentet: 9. Mai 2024).
- Sintef (2024a). *Hva er kunstig intelligens?* Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/fagomrader/kunstig-intelligens/hva-er-kunstig-intelligens/>. (Hentet: 16. Mai 2024).
- (2024b). *Vannkvalitet i lukkede oppdrettsanlegg på land*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/fagomrader/havbruk/vannkvalitet-i-lukkede-oppdrettsanlegg-pa-land/>. (Hentet: 25. Januar 2024).
- SNL (2021). *Plommemasse*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/plommemasse>. (Hentet: 19. Februar 2024).
- Stallvik, J. A. og Gjenstø, O. A. (2021). *AquaGen sin stamfisk og rognproduksjon*. BI1008 Laksens biologi i oppdrett og interaksjon med havmiljøet. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com>. (Hentet: 15. Februar 2024).
- Stefansson, S. O., Holm, J. Chr. og Taranger, G. L. (2016). *Oppdrett av laks og aure i Norge*. BI1008 Laksens biologi i oppdrett og interaksjon med havmiljøet. Tilgjengelig fra: <https://ntnu.blackboard.com>. (Hentet: 19. Februar 2024).
-

-
- Sætre, C.F (2023). *Hva er maskinlæring?* Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/watch?v=BuI0WJsv-24>. (Hentet: 15. April 2024).
- Thorsen, Ø. (2008). *Mikrosiling og flotasjon som metode for partikkelfjerning i vann*. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2008_748058.pdf. (Hentet: 23. Februar 2024).
- Timmons, M., Summerfelt, S. og Vinci, B. (1998). *Review of circular tank technology and management*. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860998000235>. (Hentet: 21. Februar 2024).
- Universitetet i Oslo (2022). *Bjerrumdiagram*. Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/b/bjerrumdiagram.html>. (Hentet: 21. Februar 2024).
- Veerapen, J. P., Lowry, B. J. og Couturier, M. F. (2004). *Design methodology for the swirl separator*. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144860904001037>. (Hentet: 25. Januar 2024).
- Zhao, S. mfl. (2021). *Application of machine learning in intelligent fish aquaculture: A review*. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848621003860>. (Hentet: 19. April 2024).

8 Vedlegg

8.1 Python-koder for generering og tilpasning av figurer

8.1.1 Figur for TSS

```
# matplotlib for plotting av figurer
# numpy for numerisk beregning
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Definerer av data som skal plottes
# Data for Torsdag og Fredag
kar_labels = ["Kar 41 Torsdag", "Kar 42 Torsdag", "Kar 41 Fredag", "Kar 42 Fredag"]
parameter_labels = ["Innløp sykklon", "Overløp sykklon", "Avløp kar"]

resultater = {
    "Kar 41 Torsdag": [40, 15, 12],
    "Kar 42 Torsdag": [22, 18, 12],
    "Kar 41 Fredag": [34, 17, 11],
    "Kar 42 Fredag": [35, 22, 13]
}

# Justering av søylebredde
bar_width = 0.2
x = np.arange(len(kar_labels))

# Definer ønskede farger for søylene (blå, oransje, grønn, rød)
colors = ['#1f77b4', '#ff7f0e', '#2ca02c', '#d62728']

# Plotting av figurer
# for-løkker legger til søyler for hvert kar
# Søylene får tildelt farge basert på kar
# Teksten angir hvilken parameter som vises
fig, ax = plt.subplots(figsize=(12, 8))

for i, parameter in enumerate(parameter_labels):
    for j, kar in enumerate(kar_labels):
        full_label = f'{kar} - {parameter}'
```

```

    ax.bar(x[j] + i * bar_width, resultater[kar][i], width=bar_width, label=full_label,
alpha=0.7, color=colors[j], edgecolor='black')
    ax.text(x[j] + i * bar_width, -2, full_label, ha='right', va='top', rotation=45, fontsize = 14)

for i, parameter in enumerate(parameter_labels):
    for j, kar in enumerate(kar_labels):
        ax.bar(x[j] + i * bar_width, resultater[kar][i], width=bar_width, alpha=0.7,
color=colors[j], edgecolor='black')
        ax.text(x[j] + i * bar_width, resultater[kar][i] - 0, resultater[kar][i], ha='center',
va='bottom', fontsize = 14)

# Merking og styling av aksene
# Navn på akser
ax.set_ylabel('mg/l', fontsize = 14)
ax.set_title('Sammenligning av resultater for TSS', fontsize = 14)
ax.set_xticks(x + bar_width)
ax.set_xticklabels([]) # Fjerner x-akse merking for kar_labels

# Endre størrelsen på tallene på y-aksen
ax.tick_params(axis='y', labelsize=14)

# Legge til en generell forklaring basert på fargene
legend_labels = [f'{param} - {label}' for param in parameter_labels for label in kar_labels]

# Lagrer plottet som et bilde
plt.tight_layout()
plt.savefig('sammenligning_resultater_ferdig3_TSS.png', bbox_inches='tight')
plt.show()

```

8.1.2 Figur for turbiditet

```
# Importering av nødvendige biblioteker
# matplotlib for plotting av figurer
# numpy for numerisk beregning
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Definerer av data som skal plottes
# Data for Torsdag og Fredag
kar_labels = ["Kar 41 Torsdag", "Kar 42 Torsdag", "Kar 41 Fredag", "Kar 42 Fredag"]
parameter_labels = ["Innløp sykklon", "Overløp sykklon", "Avløp kar"]

resultater = {
    "Kar 41 Torsdag": [5.3, 4.9, 4.7],
    "Kar 42 Torsdag": [5.7, 4.9, 4.6],
    "Kar 41 Fredag": [5.4, 5.2, 5.1],
    "Kar 42 Fredag": [6.1, 5.5, 5.0]
}

# Legge inn beregnet standardavvik for hver søyle (beregnet i vedlagt excel-ark)
std_innløp_torsdag_kar41 = 0.188 # Standardavvik for innløp torsdag kar 41
std_overlop_torsdag_kar41 = 0.393 # Standardavvik for overløp torsdag kar 41
std_avløp_torsdag_kar41 = 0.319 # Standardavvik for avløp torsdag kar 41
std_innløp_torsdag_kar42 = 0.600 # Standardavvik for innløp torsdag kar 42
std_overlop_torsdag_kar42 = 0.113 # Standardavvik for overløp torsdag kar 42
std_avløp_torsdag_kar42 = 0.353 # Standardavvik for avløp torsdag kar 42
std_innløp_fredag_kar41 = 0.069 # Standardavvik for innløp fredag kar 41
std_overlop_fredag_kar41 = 0.044 # Standardavvik for overløp fredag kar 41
std_avløp_fredag_kar41 = 0.099 # Standardavvik for avløp fredag kar 41
std_innløp_fredag_kar42 = 0.527 # Standardavvik for innløp fredag kar 42
std_overlop_fredag_kar42 = 0.174 # Standardavvik for overløp fredag kar 42
std_avløp_fredag_kar42 = 0.118 # Standardavvik for avløp fredag kar 42

# Justering av søylebredde
bar_width = 0.2
```

```

x = np.arange(len(kar_labels))

# Definer ønskede farger for søylene (blå, oransje, grønn, rød)
colors = ['#1f77b4', '#ff7f0e', '#2ca02c', '#d62728']

# Plotting av figurer
# for-løkker legger til søyler for hvert kar
# Søylene får tildelt farge basert på kar
# Teksten angir hvilken parameter som vises
fig, ax = plt.subplots(figsize=(12, 8))

for i, parameter in enumerate(parameter_labels):
    for j, kar in enumerate(kar_labels):
        full_label = f'{kar} - {parameter}'
        if parameter == "Innløp sykklon":
            if "Kar 41" in kar:
                ax.bar(x[j] + i * bar_width, resultater[kar][i], yerr=std_innløp_torsdag_kar41,
                    capsize=5,
                    width=bar_width, label=full_label, alpha=0.7, color=colors[j],
                    edgecolor='black')
            else:
                ax.bar(x[j] + i * bar_width, resultater[kar][i], yerr=std_innløp_torsdag_kar42,
                    capsize=5,
                    width=bar_width, label=full_label, alpha=0.7, color=colors[j],
                    edgecolor='black')
        elif parameter == "Overløp sykklon":
            if "Kar 41" in kar:
                ax.bar(x[j] + i * bar_width, resultater[kar][i], yerr=std_overlop_torsdag_kar41,
                    capsize=5,
                    width=bar_width, label=full_label, alpha=0.7, color=colors[j],
                    edgecolor='black')
            else:
                ax.bar(x[j] + i * bar_width, resultater[kar][i], yerr=std_overlop_torsdag_kar42,
                    capsize=5,

```

```

        width=bar_width, label=full_label, alpha=0.7, color=colors[j],
edgecolor='black')
    else:
        if "Kar 41" in kar:
            ax.bar(x[j] + i * bar_width, resultater[kar][i], yerr=std_avløp_torsdag_kar41,
capsize=5,
                width=bar_width, label=full_label, alpha=0.7, color=colors[j],
edgecolor='black')
        else:
            ax.bar(x[j] + i * bar_width, resultater[kar][i], yerr=std_avløp_torsdag_kar42,
capsize=5,
                width=bar_width, label=full_label, alpha=0.7, color=colors[j],
edgecolor='black')
            ax.text(x[j] + i * bar_width, -0.3, full_label, ha='right', va='top', rotation=45, fontsize =
14)

for i, parameter in enumerate(parameter_labels):
    for j, kar in enumerate(kar_labels):
        ax.bar(x[j] + i * bar_width, resultater[kar][i], width=bar_width, alpha=0.7,
color=colors[j], edgecolor='black')
        ax.text(x[j] + i * bar_width, resultater[kar][i] - 1.0, resultater[kar][i], ha='center',
va='bottom')

# Merking og styling av aksene
# Navn på akser
ax.set_ylabel('NTU', fontsize = 14)
ax.set_title('Sammenligning av resultater for turbiditet med standardavvik
(gjennomsnittsverdi)', fontsize = 14)
ax.set_xticks(x + bar_width)
ax.set_xticklabels([]) # Fjerner x-akse merking for kar_labels

# Endre størrelsen på tallene på y-aksen
ax.tick_params(axis='y', labelsize= 14)

```

```
# Legge til en generell forklaring basert på fargene
legend_labels = [f'{param} - {label}' for param in parameter_labels for label in kar_labels]

# Justerer y-aksen for å vise forskjellene bedre
max_value = max([max(values) for values in resultater.values()])
ax.set_ylim(0.0, max_value + 1.5) # Juster gjerne verdien 1000 etter behov

# Lagrer plottet som et bilde
plt.tight_layout()
plt.savefig('sammenligning_resultater_ferdig_turbiditet_gjennomsnitt_standardavvik_8.png',
bbox_inches='tight')
plt.show()
```

8.2 Excel-ark (med beregning av standardavvik)

8.2.1 TSS

Vedlegget viser fire tabeller for prøvene som ble tatt for TSS. De fire tabellene representerer to ulike kar, over to dager. Til venstre finner man prøvene som ble tatt på torsdag, for kar 41 og kar 42. Til høyre finner man prøvene som ble tatt på fredag for de samme to karene. Videre er hver tabell delt inn i fire kolonner. Klokkeslettet prøvene skulle bli tatt, hvilke målepunkt som ble benyttet, hva TSS verdien for tilhørende målepunkt ble og måleenheten for TSS.

Torsdag - Kar 41				Fredag - Kar 41			
		Resultat	Måleenhet			Resultat	Måleenhet
08:00	Innløp syklon	40	mg/l	08:00	Innløp syklon	34	mg/l
08:00	Overløp syklon	15	mg/l	08:00	Overløp syklon	17	mg/l
08:00	Avløp kar	12	mg/l	08:00	Avløp kar	11	mg/l
Torsdag - kar 42				Fredag - Kar 42			
		Resultat	Måleenhet			Resultat	Måleenhet
08:00	Innløp syklon	22	mg/l	08:00	Innløp syklon	35	mg/l
08:00	Overløp syklon	18	mg/l	08:00	Overløp syklon	22	mg/l
08:00	Avløp kar	12	mg/l	08:00	Avløp kar	13	mg/l

8.2.2 Turbiditet

Veldegget viser fire tabeller som illustrerer verdiene for turbiditetsprøvene. De fire tabellene har samme oppsett, men er for to individuelle kar på to ulike dager. Tabellene er delt inn i ti kolonner, hvor den første kolonnen representerer tidspunktene de ulike prøvene skulle bli tatt. Kolonne nummer to viser til hvilke målepunkt som skulle bli benyttet. Kolonne tre og fire er verdiene turbiditetsmåleren som ble lånt av NTNU kom med, hvor de to kolonnene er to ulike prøver. Kolonne nummer fem og seks kommer også med verdier fra turbiditetsmåler, men her ble måleren til Nekton benyttet. Kolonne sju viser til et gjennomsnitt som ble tatt av de fire prøvene som ble analysert, med tall fra kolonnene tre til seks. Kolonne nummer åtte oppgir måleenheten for turbiditet. Kolonne ni presenterer et gjennomsnitt som ble tatt av gjennomsnittene fra kolonne sju, hvor det samlede gjennomsnittet er delt inn i forhold til radene. Innløp syklon, overløp syklon og avløp kar har hvert sitt samlede gjennomsnitt. Den tiende kolonnen er standardavviket. Denne kolonnen er også delt inn i forhold til radene, hvor det er samlet standardavvik for innløp syklon, overløp syklon og avløp kar.

De ulike radene til tabellene representerer ulike tidspunkter og ulike målepunkter. For å få en oversikt over hvilke verdier man fikk når, og hvilke målepunkt de hørte til. Det ble benyttet tre ulike tidspunkter på dagen for å ta prøvene, klokken 08:00, 11:00 og 14:00.

Ved hvert tidspunkt skulle det bli tatt prøver fra tre ulike målepunkt, som var innløpet til syklonen, overløpet til syklonen og avløpet til karet.

		NTNU	NTNU	Nekton	Nekton				
Torsdag - Kar 41	Målepunkt	Resultat 1	Resultat 2	Resultat 3	Resultat 4	Gjennomsnitt	Måleenhet	Gj.snitt tidspunkt	Standardavvik
08:00	Innløp syklon	5,5	5,4	5,1	5,3	5,3	NTU		
11:00	Innløp syklon	5,4	5,6	5,4	5,7	5,5	NTU		
14:00	Innløp syklon	5,3	5,3	4,8	5,1	5,1	NTU	5,3	0,188
08:00	Overløp syklon	4,4	4,5	4,5	4,6	4,5	NTU		
11:00	Overløp syklon	4,9	5,2	5,3	5,3	5,1	NTU		
14:00	Overløp syklon	5,1	5,7	4,9	5,1	5,2	NTU	4,9	0,393
08:00	Avløp Kar	4,3	4,4	4,5	4,3	4,4	NTU		
11:00	Avløp Kar	4,8	5,2	4,9	4,9	5,0	NTU		
14:00	Avløp Kar	4,8	4,9	4,8	4,9	4,9	NTU	4,7	0,319

		NTNU	NTNU	Nekton	Nekton				
Torsdag - Kar 42	Målepunkt	Resultat 1	Resultat 2	Resultat 3	Resultat 4	Gjennomsnitt	Måleenhet	Gj.snitt tidspunkt	Standardavvik
08:00	Innløp syklon	5,1	5,2	5,1	5,1	5,1	NTU		
11:00	Innløp syklon	5,7	5,5	5,6	5,6	5,6	NTU		
14:00	Innløp syklon	6,3	6,4	6,3	6,3	6,3	NTU	5,7	0,600
08:00	Overløp syklon	5,0	4,8	4,7	4,8	4,8	NTU		
11:00	Overløp syklon	5,1	5,0	5,0	5,0	5,0	NTU		
14:00	Overløp syklon	5,0	5,0	5,0	4,9	5,0	NTU	4,9	0,113
08:00	Avløp Kar	4,3	4,2	4,2	4,2	4,2	NTU		
11:00	Avløp Kar	5,0	4,7	4,7	5,0	4,9	NTU		
14:00	Avløp Kar	4,7	4,7	4,8	4,7	4,7	NTU	4,6	0,353

		NTNU	NTNU	Nekton	Nekton				
Fredag - Kar 41	Målepunkt	Resultat 1	Resultat 2	Resultat 3	Resultat 4	Gjennomsnitt	Måleenhet	Gj.snitt tidspunkt	Standardavvik
08:00	Innløp syklon	5,1	5,4	5,3	5,4	5,3	NTU		
11:00	Innløp syklon	5,3	5,2	5,3	5,5	5,4	NTU		
14:00	Innløp syklon	5,2	5,6	5,3	5,6	5,4	NTU	5,4	0,069
08:00	Overløp syklon	5,2	5,2	5,1	5,2	5,2	NTU		
11:00	Overløp syklon	5,2	5,3	5,2	5,2	5,2	NTU		
14:00	Overløp syklon	5,2	5,4	5,2	5,4	5,3	NTU	5,2	0,044
08:00	Avløp Kar	4,9	5,1	5,0	5,1	5,0	NTU		
11:00	Avløp Kar	5,3	5,1	5,1	5,3	5,2	NTU		
14:00	Avløp Kar	5,2	5,2	5,1	5,1	5,2	NTU	5,1	0,099

		NTNU	NTNU	Nekton	Nekton				
Fredag - Kar 42	Målepunkt	Resultat 1	Resultat 2	Resultat 3	Resultat 4	Gjennomsnitt	Måleenhet	Gj.snitt tidspunkt	Standardavvik
08:00	Innløp syklon	5,8	5,8	5,9	5,8	5,8	NTU		
11:00	Innløp syklon	5,9	5,6	5,7	6,0	5,8	NTU		
14:00	Innløp syklon	7,1	6,8	6,5	6,5	6,7	NTU	6,1	0,527
08:00	Overløp syklon	5,4	5,6	5,3	5,4	5,4	NTU		
11:00	Overløp syklon	5,4	5,3	5,3	5,5	5,4	NTU		
14:00	Overløp syklon	5,7	5,9	5,6	5,6	5,7	NTU	5,5	0,174
08:00	Avløp Kar	4,9	5,0	5,1	5,0	5,0	NTU		
11:00	Avløp Kar	5,0	4,9	5,0	4,9	5,0	NTU		
14:00	Avløp Kar	5,4	5,2	5,2	4,9	5,2	NTU	5,0	0,118

8.2.3 Coulter Counter

Vedlegget viser fire tabeller som alle har nesten samme oppsett, og er for to ulike kar på to ulike dager. Den øverste tabellen er for kar 41 torsdag, den andre tabellen er for kar 42 torsdag, den tredje tabellen er for kar 41 fredag og den siste tabellen er for kar 42 fredag. De to øverste tabellene består av 11 kolonner. De første to kolonnene angir tidspunkt for prøvetaking og hvilke målepunkt prøven kommer fra. Resultat 1 og resultat 2 vil si at det er samme prøve, men at den ble analysert to ganger. Kolonne tre og fire er altså to analyser av samme prøve, mens kolonne fem og seks er en annen prøve som også ble analysert to ganger. Den sjuende kolonnen er et utregnet gjennomsnitt av de fire resultatene fra kolonne tre til seks. Prøvene fra disse fire kolonnene er vannet ut, og består av en del prøve og åtte deler rent sjøvann. Fortynningen blir vist i kolonne 10, og den faktiske verdien regnet ut fra gjennomsnittet blir vist i kolonne åtte. Kolonnen lengst til høyre viser et samlet gjennomsnitt, regnet ut fra de faktiske verdiene i kolonne åtte. Dette gjennomsnittet er samlet for tre tilhørende rader, som er innløpet til syklonen, overløpet til syklonen og avløpet til karet. De to nederste tabellene har to kolonner ekstra. siden det her ble behov for en ekstra analyse for noen av prøvene. Det vil si at alt til høyre for disse to kolonnene er noe forskjøvet sammenlignet med de to øverste tabellene.

Likt for alle tabellene er at de ulike radene representerer ulike tidspunkter og ulike målepunkter. Det ble benyttet tre ulike tidspunkter på dagen for å ta prøvene, klokken 08:00, 11:00 og 14:00. Ved hvert tidspunkt skulle det bli tatt prøver fra tre ulike målepunkt, som var innløpet til syklonen, overløpet til syklonen og avløpet til karet.

Torsdag - Kar 41	Målepunkt	Resultat 1	Resultat 1	Resultat 2	Resultat 2	Gj.snitt	Faktisk verdi	Måleenhet	Fortynning	Gj.snitt tidspunkt
08:00	Innløp syklon	17839,0	17759,0	16117,0	16120,0	16958,8	135670,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Innløp syklon	13088,0	12941,0	15541,0	15818,0	14347,0	114776,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Innløp syklon	17808,0	17347,0	17350,0	16914,0	17354,8	138838,0	Antall	8xSW/1xP	129761,3
08:00	Overløp syklon	13875,0	13588,0	15160,0	15145,0	14442,0	115536,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Overløp syklon	16829,0	16114,0	18758,0	18700,0	17600,3	140802,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Overløp syklon	19037,0	19305,0	18353,0	17073,0	18442,0	147536,0	Antall	8xSW/1xP	134624,7
08:00	Avløp Kar	12993,0	13116,0	15458,0	15510,0	14269,3	114154,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Avløp Kar	11560,0	11395,0	15316,0	15620,0	13472,8	107782,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Avløp Kar	17326,0	19313,0	17788,0	17400,0	17956,8	143654,0	Antall	8xSW/1xP	121863,3

Torsdag - Kar 42	Målepunkt	Resultat 1	Resultat 1	Resultat 2	Resultat 2	Gj.snitt	Faktisk verdi	Måleenhet	Fortynning	Gj.snitt tidspunkt
08:00	Innløp syklon	18260,0	17012,0	18090,0	18066,0	17857,0	142856,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Innløp syklon	19116,0	17914,0	17921,0	17769,0	18180,0	145440,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Innløp syklon	17893,0	16958,0	19998,0	18957,0	18451,5	147612,0	Antall	8xSW/1xP	145302,7
08:00	Overløp syklon	15947,0	15816,0	16134,0	16075,0	15993,0	127944,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Overløp syklon	15752,0	15820,0	16619,0	16703,0	16223,5	129788,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Overløp syklon	16820,0	16442,0	20729,0	20025,0	18504,0	148032,0	Antall	8xSW/1xP	135254,7
08:00	Avløp Kar	14915,0	14957,0	16612,0	16510,0	15748,5	125988,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Avløp Kar	19725,0	19696,0	17954,0	17953,0	18832,0	150656,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Avløp Kar	16820,0	16460,0	18556,0	18622,0	17614,5	140916,0	Antall	8xSW/1xP	139186,7

Fredag - Kar 41	Målepunkt	Resultat 1	Resultat 1	Resultat 2	Resultat 2	Resultat 3	Resultat 3	Gj.snitt	Faktisk verdi	Måleenhet	Fortynning	Gj.snitt tidspunkt
08:00	Innløp syklon	15218,0	14346,0	19345,0	18780,0			16922,3	135378,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Innløp syklon	18816,0	18398,0	20130,0	20430,0			19443,5	155548,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Innløp syklon	19584,0	18956,0	19036,0	18993,0			19142,3	153138,0	Antall	8xSW/1xP	148021,3
08:00	Overløp syklon	18076,0	18074,0	16963,0	16806,0			17479,8	139838,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Overløp syklon	18101,0	17710,0	18370,0	18453,0			18158,5	145268,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Overløp syklon	19445,0	18810,0	19322,0	19311,0			19222,0	153776,0	Antall	8xSW/1xP	146294,0
08:00	Avløp Kar	15704,0	15034,0	9547,0	9469,0	19053,0	19567,0	17339,5	138716,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Avløp Kar	18451,0	18592,0	17707,0	17570,0			18080,0	144640,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Avløp Kar	18417,0	17956,0	18076,0	18242,0			18172,8	145382,0	Antall	8xSW/1xP	142912,7

Fredag - Kar 42	Målepunkt	Resultat 1	Resultat 1	Resultat 2	Resultat 2	Resultat 3	Resultat 3	Gj.snitt	Faktisk verdi	Måleenhet	Fortynning	Gj.snitt tidspunkt
08:00	Innløp syklon	20506,0	20077,0	19252,0	19198,0			19758,3	158066,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Innløp syklon	19501,0	19289,0	17494,0	17495,0			18444,8	147558,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Innløp syklon	18661,0	18520,0	18427,0	17504,0			18278,0	146224,0	Antall	8xSW/1xP	150616,0
08:00	Overløp syklon	19153,0	19180,0	18983,0	18849,0			19041,3	152330,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Overløp syklon	18878,0	18576,0	18665,0	18631,0			18687,5	149500,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Overløp syklon	20276,0	20098,0	19016,0	19267,0			19664,3	157314,0	Antall	8xSW/1xP	153048,0
08:00	Avløp Kar	19082,0	18909,0	18987,0	28031,0	19270,0	19482,0	19185,8	153486,0	Antall	8xSW/1xP	
11:00	Avløp Kar	17829,0	17716,0	18447,0	18142,0			18033,5	144268,0	Antall	8xSW/1xP	
14:00	Avløp Kar	18491,0	18414,0	18750,0	19343,0			18749,5	149996,0	Antall	8xSW/1xP	149250,0

8.2.4 Turbiditet og Coulter Counter på innløpsvann til karet

Vedlegget viser til to tabeller, som illustrerer verdier for innløpsvannet. Den øverste tabellen viser til verdiene som kom fra turbiditetsmåleren, hvor det ble analysert fire prøver. Alle prøvene ble analysert med turbiditetsmåleren til NTNU, siden gruppen ikke hadde tilgang til Nekton sin måler på tidspunktet til analysen. Kolonnen helt til høyre angir måleenheten som ble benyttet for målingene.

Den nederste tabellen viser til resultatene Coulter Counteren fikk for innløpsvannet. Resultat 1 og resultat 2 vil si at det er samme prøve, men at den ble analysert to ganger. Kolonne tre og fire er altså to analyser av samme prøve, mens kolonne fem og seks er en annen prøve som også ble analysert to ganger. Disse prøvene ble fortynnet med én del prøve og 8 deler filtrert sjøvann. Fortynningen blir vist i kolonne ti. I kolonne sju ble det tatt et gjennomsnitt av de fire verdiene i kolonne tre til seks, mens den faktiske verdien blir fremstilt i kolonne åtte. Kolonne ni viser til måleenheten som ble brukt for analysene.

Turbiditet	Resultat 1	Resultat 2	Resultat 3	Resultat 4	Måleenhet				
Innløpsvann til kar	3,35	3,44	3,12	3,26	NTU				
Coulter counter	Resultat 1	Resultat 2	Resultat 1	Resultat 2	Gj.snitt	Faktisk verdi	Måleenhet	Fortynning	
Innløpsvann til kar	11935	11880	11523	11474	11703	93624	Antall	8xSW/1xP	

8.3 Beregninger rensegrad syklon

Rensegraden beregnes ved hjelp av formelen beskrevet i kapittel 3.2.3. Verdiene som brukes i formlene er de målte verdiene for TSS. Rensegraden for de ulike dagene og karene viser noe spredning. Kar 41 hadde en rensegrad på 63 % på torsdag, men gikk ned til 50 % på fredag. Kar 42 hadde en noe lavere rensegrad både torsdag og fredag, med henholdsvis 18 % på torsdag og 37 % på fredag.

$$\text{Torsdag - kar 41: } C_r = \frac{40 \text{ mg/l} - 15 \text{ mg/l}}{40 \text{ mg/l}} = 0,63 = 63\% \quad (6)$$

$$\text{Torsdag - kar 42: } C_r = \frac{22 \text{ mg/l} - 18 \text{ mg/l}}{22 \text{ mg/l}} = 0,18 = 18\% \quad (7)$$

$$\text{Fredag - kar 41: } C_r = \frac{34 \text{ mg/l} - 17 \text{ mg/l}}{34 \text{ mg/l}} = 0,50 = 50\% \quad (8)$$

$$\text{Fredag - kar 42: } C_r = \frac{35 \text{ mg/l} - 22 \text{ mg/l}}{35 \text{ mg/l}} = 0,37 = 37\% \quad (9)$$

