

Jens Løge
Johan Søbstad

Optimalisering av biologisk filtrering i MBBR for RAS-anlegg: Faktorer som påvirker filtreringsytelse og tiltak for å sikre høy vannkvalitet

Bacheloroppgave i Havbruksingeniør
Veileder: Rolf Erik Olsen
Medveileder: Bjørn Egil Asbjørnslett
Mai 2023



Gunnar K. Hansen/NTNU

Jens Løge
Johan Søbstad

Optimalisering av biologisk filtrering i MBBR for RAS-anlegg: Faktorer som påvirker filtreringsytelse og tiltak for å sikre høy vannkvalitet

Bacheloroppgave i Havbruksingeniør
Veileder: Rolf Erik Olsen
Medveileder: Bjørn Egil Asbjørnslett
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for biologi



Kunnskap for en bedre verden

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel

Optimalisering av biologisk filtrering i MBBR for RAS-anlegg: Faktorer som påvirker filtreringsytelse og tiltak for å sikre høy vannkvalitet

Optimization of biological filtration in MBBR for RAS systems: Factors influencing filtration performance and measures to ensure high water quality.

Prosjektnr.

BIHAV_2020_1

Forfattere

Johan Søbstad

Jens Løge

Veileder internt

Rolf Erik Olsen

Rapporten er **ÅPEN**

Dato levert: 22.05.2023

Sammendrag:

Denne litteraturstudien identifiserer faktorer som påvirker biologisk filtreringsytelse i MBBR-systemer for RAS-anlegg. Driftsparametere som pH, temperatur, oksygen, alkalitet og karbon- og nitrogenforhold er avgjørende for filtreringsytelsen. Konstruksjon, materialvalg og overvåkning av MBBR-systemet spiller også en viktig rolle. Valg av biofilmstøttemedier, reaktorvolum og implementering av kontroll- og vedlikeholdsprosedyrer påvirker effektiviteten. Studien understreker behovet for optimalisering av disse faktorene for å oppnå høy filtreringsytelse og sikre god vannkvalitet i RAS-anlegget.

Abstract:

This literature review identifies factors influencing the biological filtration performance in MBBR systems for RAS facilities. Operational parameters such as pH, temperature, oxygen, alkalinity, and carbon and nitrogen levels are crucial for filtration performance. Additionally, the construction, material selection, and monitoring of the MBBR system play a vital role. The choice of biofilm support media, reactor volume, and the implementation of control and maintenance procedures impact system efficiency. The study emphasizes the need for optimizing these factors to achieve high filtration performance and ensure good water quality in RAS facilities.

Stikkord: Biofilter, MBBR teknologi, nitrifikasjon

Keywords: Biofilter, MBBR technology, nitrification

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av to medstudenter fra havbruksingeniør-studiet ved NTNU i Trondheim. Bakgrunnen for valget av oppgave kom fra et ønske om å fordype oss i et spennende og relevant tema innenfor havbruksnæringen. Gjennom grundige litteraturstudier og analyse av data har vi opparbeidet oss betydelig ny kunnskap om biologisk filtreringsytelse i MBBR for RAS-anlegg. Arbeidet med denne bacheloroppgaven har gitt oss muligheten til å utvikle våre forskningsevner, og vi håper at dette arbeidet vil bidra til den eksisterende kunnskapsbasen innen fagområdet.

Vi vil rette en hjertelig takk til vår veileder, Rolf Erik Olsen, for hans verdifulle veiledning, støtte og faglige ekspertise gjennom hele prosessen. Til slutt ønsker vi å takke NTNU-Trondheim for å gi oss muligheten til å gjennomføre dette studiet og utforske vårt faglige interessefelt. Vi er takknemlige for den kompetansen vi har opparbeidet oss gjennom studiene, og vi ser frem til å bruke denne kunnskapen i vår fremtidige karriere.

Sammendrag

Denne bacheloroppgaven er basert på en omfattende litteraturstudie som har til hensikt å finne ut av hvilke faktorer som påvirker biologisk filtreringsytelse i MBBR-systemer for RAS-anlegg. Målet med studien er å identifisere og analysere de viktigste faktorene som kan bidra til optimal filtreringsytelse hos den spesifikke biofiltertypen. MBBR-teknologien har blitt svært populær, og god systemforståelse vil bidra til å gi det beste grunnlaget for å sikre god vannkvalitet i RAS-anlegg

Litteraturstudiet omfatter grundig gjennomgang av eksisterende forskning, publikasjoner og rapporter som omhandler MBBR-teknologi og RAS-anlegg. Analyse av dette omfattende materialet avdekker at det er tre hovedfaktorer som har en betydelig innvirkning på filtreringsytelsen: driftsparametere, konstruksjon og overvåkning, samt driftsprosedyrer.

Driftsparametere er nøkkelvariabler som påvirker de biologiske prosessene i MBBR-systemet. Disse inkluderer faktorer som pH-nivå, temperatur, oksygenkonsentrasjon, alkalitet, karbon- og nitrogenforhold. Optimalisering av disse parameterne er avgjørende for å oppnå høyest mulig filtreringsytelse og opprettholde god vannkvalitet i RAS-anlegget.

Konstruksjon og overvåkning av MBBR-systemet spiller også en viktig rolle i filtreringsytelsen. Valg av materialer, design av biofilmstøttemedier og reaktorvolum har betydning for effektiviteten til MBBR-systemet. I tillegg er det nødvendig med regelmessig overvåkning av viktige parametere og implementering av egnede kontroll- og vedlikeholdsprosedyrer for å opprettholde optimal drift.

Abstract

This bachelor's thesis is based on an extensive literature review aimed at determining the factors that influence the biological filtration performance in MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) systems for RAS (Recirculating Aquaculture Systems) facilities. The study aims to identify and analyze the key factors that can contribute to optimal filtration performance in this specific type of biofilter. MBBR technology has gained significant popularity, and a good understanding of the system will provide the best foundation for ensuring good water quality in RAS facilities.

The literature review entails a thorough examination of existing research, publications, and reports that address MBBR technology and RAS systems. Analysis of this comprehensive material reveals that there are three main factors that have a significant impact on filtration performance: operational parameters, design and monitoring, and operational procedures.

Operational parameters are key variables that affect the biological processes in MBBR systems. These include factors such as pH level, temperature, oxygen concentration, alkalinity, and carbon and nitrogen ratios. Optimizing these parameters is crucial to achieving the highest possible filtration performance and maintaining good water quality in the RAS facility.

The design and monitoring of the MBBR system also play an important role in filtration performance. The choice of materials, design of biofilm support media, and reactor volume all contribute to the efficiency of the MBBR system. Additionally, regular monitoring of key parameters and the implementation of appropriate control and maintenance procedures are necessary to maintain optimal operation.

Innholdsfortegnelse

Tabeller	6
Figurliste	6
1. Innledning	8
1.1 Bakgrunn og problemstilling	8
1.2 Målsetning og avgrensning	9
1.3 Oppgavens oppbygging.....	10
2. Teori.....	11
2.1 Akvakultur og RAS.....	11
2.1.1 Vannbehandling	12
2.2 Biofilteret	13
2.2.1 Biofilterets biologiske prosesser	14
2.2.2 Neddykkede biofilter.....	16
2.3 Vannkvalitet i biofilteret	18
2.3.1 TAN	19
2.3.2 PH	19
2.3.3 Alkalitet.....	20
2.3.5 Oksygentilførsel	20
2.3.6 Turbulens	21
2.3.7 Temperatur	21
2.3.8 Organisk materiale	22
3. Metodikk	24
3.1 Forskningsdesign	24
3.2 Forskningsmetoder.....	25
3.2.1 Kvalitativ metode	25
3.2.2 Kvantitativ metode.....	25
3.3 Oppgavens valgte forskningsdesign og metodiske tilnærming.....	25
3.4 Litteraturstudie	26
4. Resultat	28
4.1 Driftsparametere	28
4.2 Konstruksjon	30
4.2.1 Hvor stor prosentandel av biofilteret som består av filtermedium.....	30
4.2.2 Utforming av filtermedium og det effektive overflatearealet	30
4.2.3 Oksygenmetning	31
4.2.4 Turbulens	32

4.2.5 H2S	32
4.3 Drift og vedlikehold.....	33
5 Diskusjon	34
5.1 Studiebegrensninger.....	34
5.2 Resultater	35
5.3 Fiskevelferd.....	36
5.3.1 Suboptimalt biofilter	36
5.3.2 Fiskevelferd, et definisjonsspørsmål.....	37
6 Konklusjon.....	39
7 Referanseliste.....	40

Tabeller

Tabell 1: søkematrixe	27
Tabell 2: optimale driftsparametere.....	28

Figurliste

Figur 1 RAS-anlegg	11
Figur 2 illustrasjon av filtreringsprosessen i RAS-anlegg.....	12
Figur 3: MBBR med filtermedium	13
Figur 4: Forenklet illustrasjon av MBBR	17
Figur 5: MBBR filtermedium	18
Figur 6: tabellen viser krav for vannkvalitet satt av mattilsynet og er i all hovedsak veiledende. Føringerne kan fravikes om godkjent dokumentasjon foreligger.....	18
Figur 7: Viser ulike bufferløsninger	20
Figur 8: Nitrifikasjonsytelsesindikator uttrykt som en prosentandel av maksimum ved forskjellige C/N-forhold (michaud et al. 2006)	22
Figur 9: grafen viser nitrifikasjonsrate ved ulik pH.....	29

Begrepsliste:

RAS = Resirkulerende akvakultursystem

AOB = Ammoniumoksidierende bakterier som omsetter TAN til nitritt

NOB = Nitrittoksidierende bakteriene som omsetter nitritt til nitrat

NO₂⁻ = Nitritt

NO₃⁻ = Nitrat

NH₄⁺ = Ammonium

NH₃ = Ammoniakk

TAN = Total ammonium nitrogen, totale konsentrasjonen av ammoniakk (NH₃) og ammonium (NH₄⁺)

COD = Kjemisk oksygenbehov. Måling av den mengden oksygen som trengs for å oksidere organiske forbindelser i en vannprøve

HRT = Hydraulisk oppholdstid. Den gjennomsnittlige tiden det tar for en væskestrøm å passere gjennom et bestemt system

MBBR = Moving Bed Biofilm Reactor

Autotrofe bakterier = Bakterier som bruker CO₂ som karbonkilde til vekst

Heterotrof = Bakterier som bruker organisk materiale som kilde til vekst

Biofilm = En biofilm er en tynn slimete film dannet av samfunn av mikroorganismer som fester seg til en overflate.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn og problemstilling

Oppdrettsnæringen har utviklet seg til å bli den største bidragsyteren til marint protein vi har både i Norge og globalt. Det er en næring i sterk vekst, og i takt med næringens vekst dukker det stadig opp flere utfordringer. Sjøbasert oppdrett møter ofte på utfordringer tilknyttet sine skadelige miljøutslipp, fisk som rømmer og spredning av en rekke sykdommer. I Norge er en av de største utfordringene lakselusen som påvirker både oppdrettslaks og villaksen. For oppdrett på land har man sett utfordringer tilknyttet det enorme vannbehovet og en negativ miljøpåvirkning fra utslippene anlegg produserer. Restriktive offentlige retningslinjer for behandling og utslipp av avløpsvann fra oppdrettsindustrien har økt de siste årene. Derfor er det behov for effektive og mer miljøvennlige metoder for produksjon av oppdrettslaks.

Oppdrettsanlegg, på land og på vann, kan ikke plasseres tilfeldig hvor enn det måtte passe. For sjøbasert oppdrett må man ta hensyn til viktige parametere som strømming, oksygentilførsel og temperatur. For gjennomstrømnings anlegg på land kreves det tilgang på store mengder ferskvann. Problemer knyttet til Miljø og ressursbruk har blitt en gjenganger i havbruksnæringen, og behovet for en ny måte å drive oppdrett på har aldri vært større.

De siste årene har det vært økende interesse for lukkede akvakultursystemer som Resirkulerende akvakultursystem (RAS). Dette er et miljøvennlig alternativ til tradisjonell akvakultur som reduserer utslipp og vannforbruk betydelig. RAS-systemer gir også bedre kontroll over miljøforholdene i oppdrettsanlegget, noe som kan føre til økt fiskeproduksjon og bedre helse og velferd for fisken. Dette er avansert teknologi, som på mange måter enda er i utviklingsfasen. RAS-anlegg kommer i ulike former og fasonger. Renselsesprosessen styres av en serie med kritiske komponenter som alle utfører en viktig oppgave. Til tross forskjeller, baserer alle anlegg seg på en slags grunnmur av komponenter.

En av disse komponentene er biofilteret, som bidrar til vannbehandlingsprosessen i RAS-anlegg ved å omdanne giftige nitrogenforbindelser og oksidasjon av organisk materiale. Selv om biofiltre har vist seg å være et viktig ledd i vannbehandlingen, er det fremdeles vanskelig å finne informasjon om hvordan disse skal optimaliseres for å fungere best mulig.

Denne bacheloroppgaven skal se nærmere på biofilteret i RAS-anlegg og da mer spesifikt neddykkede biofilter med et økt fokus på MBBR teknologi. Det vil bli redegjort for hva som skal til for å optimalisere slike biofiltre slik at de fungerer best mulig. Optimalisering av komponenter i RAS-anlegg er viktig for kunne skape et godt miljø for fisken i systemet.

Spørsmålet oppgaven tar sikte på å besvare er: " Hvilke faktorer påvirker biologisk filtreringsytelse i MBBR for RAS-anlegg, og hvordan kan disse optimaliseres for å oppnå høyest mulig filtreringsytelse for å sikre god vannkvalitet i RAS-anlegget?"

1.2 Målsetning og avgrensning

Målet med oppgaven er å gi en oversikt over de viktigste faktorene som påvirker effektiviteten til MBBR filtre i RAS-systemer, og å identifisere de viktigste begrensningene og utfordringene som må overvinnes for å oppnå optimal ytelse.

Bacheloroppgaven vil ha et begrenset omfang og fokuserer på dykkede biofilter/MBBR i RAS-systemer for oppdrett av Atlantisk laks. Biofilter i RAS-systemer for oppdrett av andre arter vil ikke bli inkludert i oppgaven. Videre vil oppgaven ikke gå i dybden på andre komponenter i RAS-systemet, som for eksempel mekanisk filtrering, desinfisering eller oksygenmetning. Dette nevnes kun for å gi en innføringen i RAS-systemet.

Det vil ikke fokuseres på oppstart av biofilter. Oppgaven baserer seg kun på hva som skal til for å danne det optimale biofilteret når det er i drift. Dette er for å avgrense oppgaven, da oppstart krever ulike forhold for optimal drift. Biofilteret er et veldig dynamisk system, og det å svare på hva som er optimalt er tilnærmet umulig fordi det er veldig situasjonsbestemt. Ved å avgrense oppgaven så mye som mulig tillater vi oss selv å komme med litt mer konkrete svar fordi det er et redusert antall parametere man må ta til vurdering.

Oppgaven skal sette søkelys på det dykkede biofilteret MBBR, og det som påvirker dets evne til å utføre sin tiltenkte oppgave.

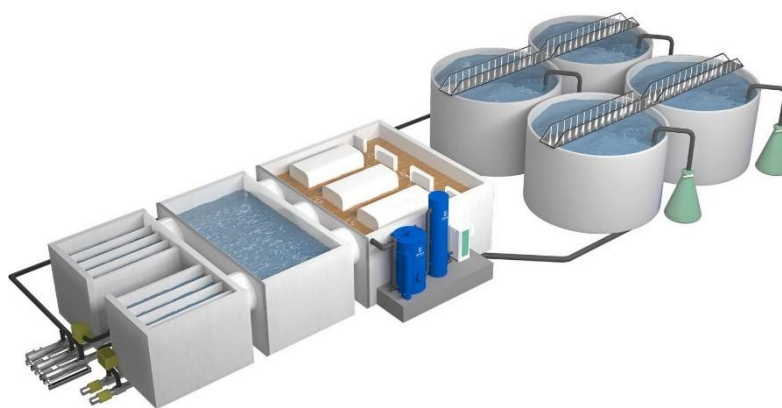
1.3 Oppgavens oppbygging

Første del av oppgaven skal redegjøre for relevant teori som har til hensikt å gi leseren en forståelse av den relevante teoretiske bakgrunnen for problemstillingen som blir undersøkt. Dernest vil oppgavens metode og metodevalg presenteres, før resultater og relevante faktorer som påvirker effektiviteten til MBBR blir presentert og diskutert. I siste del vil oppgaven konkludere med, og oppsummere, de viktigste funnene, og gi anbefalinger for å skape et driftssikkert biofilter i RAS-systemer som brukes til oppdrett av laks.

2. Teori

I dette kapittelet vil det redegjøres for relevant teori innenfor områdene RAS, biofilterteknologi/nitrifikasjon og vannkvalitet. Teorikapittelet vil gi en innføring i RAS-systemet og deretter gå mer i dybden på oppgavens kjerne, biofilteret.

2.1 Akvakultur og RAS



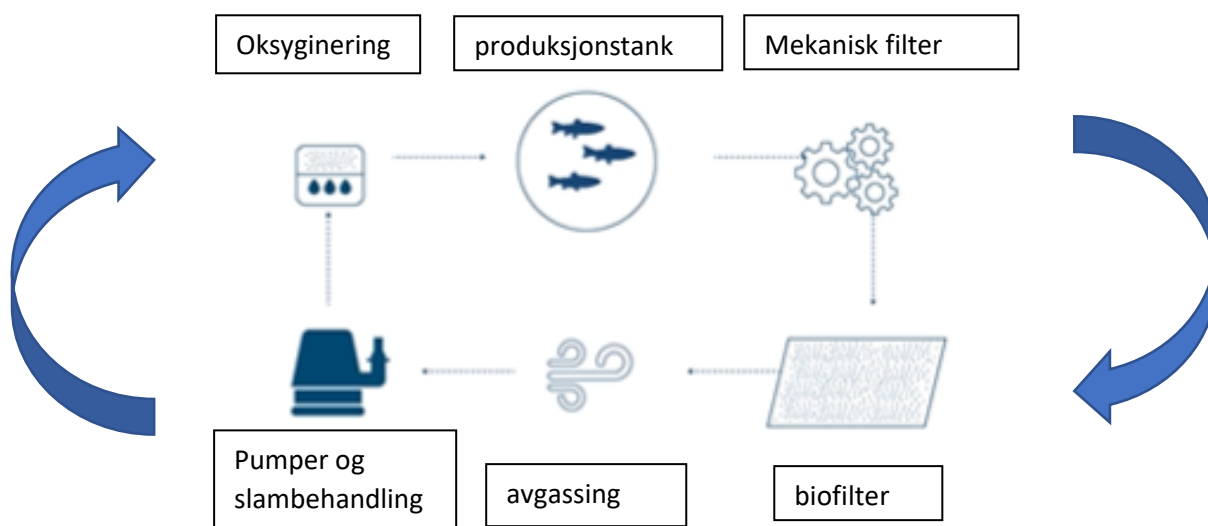
FIGUR 1 RAS-ANLEGG

RAS (Resirkulerende akvakultursystem) baserer seg på avansert teknologi som gjør det mulig å oppdrette fisk i et lukket system, der vannet kontinuerlig blir resirkulert og renses. Når avløpsvannet har vært gjennom en filtreringsprosess, reintrodueres det rene vannet til tankene. Dette skaper et lukket kretssystem som minimerer vannforbruk og utslipp av avfall, samtidig som det gir oppdrettere flere kontrollmuligheter over fiskens omgivelser (Norsk Røyeforum, 2023).

RAS-anlegg tilbyr en lovende tilnærming til bærekraftig akvakultur. Teknologien har vist seg å gi mange fordeler, inkludert redusert vannforbruk, økt kontroll over vannkvaliteten og forbedrede vekstrater for fisken. Dermed vil RAS-systemer trolig spille en viktig rolle i å møte den økende etterspørselen etter fisk i årene som kommer. Med fortsatt utvikling og forbedring av teknologien har RAS-systemer potensial til å bli enda mer effektive og kostnadseffektive, og gi en bærekraftig og pålitelig kilde til oppdrett av fisk i årene som kommer.

2.1.1 Vannbehandling

Vannbehandling i RAS-anlegg er en kritisk del av produksjonsprosessen, og feil i filtreringssystemet kan få fatale konsekvenser. Oppbygningen av RAS anlegg vil variere avhengig av bruksområde, men figur x viser et vanlig eksempel på oppsett for vannbehandling:



FIGUR 2 ILLUSTRASJON AV FILTRERINGSPROSESSEN I RAS-ANLEGG

Vannbehandlingen i RAS anlegg er en trinnvis filtreringsprosess. Som illustrasjonen over viser innebærer dette blant annet mekanisk og biologisk filtrering. Den mekaniske filtreringen fjerner faste partikler, og biologisk filtrering for å fjerne ammoniakk og andre avfallsprodukter (Norsk Røyeforum, 2023)

Mekanisk filter: Mekanisk filtrering er det første trinnet i vannbehandlingsprosessen i et RAS-anlegg. Det innebærer fjerning av større partikler som avføring, spillfôr og annet fast avfall fra vannet. Dette gjøres ved hjelp av ulike typer filtre som sandfilter, trommelfilter eller siktefilter. Disse filtreringssystemene bruker mekaniske barrierer eller sikt for å fange opp partiklene, slik at vannet blir renere før det går videre til neste trinn (Norsk Røyeforum, 2023).

Biofilter: Etter mekanisk filtrering går vannet gjennom et biofilter. Her foregår omdanningen av giftige nitrogenforbindelser (TAN), samt nedbryting av organisk materiale (Chen, S., Ling, J., & Blancheton, J.-P, 2006)

Avgassing: Fra fisken og de biokjemiske prosessene, akkumuleres det større mengder CO₂ i vannet. Når vannet går gjennom dette trinnet fjernes CO₂ fra vannet. Avgassingsprosessen innebærer enten lufting av vannet eller bruk av spesialiserte avgasser-anlegg (Norsk Røyeforum, 2023).

Pumper og slambehandling: Etter avgassing kan det være nødvendig å bruke pumper for å sirkulere og flytte vannet videre gjennom RAS-systemet. Pumper brukes også til å håndtere slam eller avfall som samler seg opp under vannbehandlingsprosessen. I dette trinnet fjernes resterende partikler som enda ikke har blitt filtrert bort. Her ser man vanligvis prosesser som denitrifisering, fjerning av fosfor, skumfraksjonering og eventuelle justeringer av pH og temperatur. Vannet pumpes videre til oksyginering (Norsk Røyeforum, 2023).

Oksyginering: Her tilføres oksygen til vannet før det pumpes inn til fisken (Norsk Røyeforum, 2023).

2.2 Biofilteret

Et biofilter i RAS anlegg bruker mikrobielle organismer for å bryte ned og fjerne forurensninger fra vannet. Biofilterets hovedoppgave er å transformere toksiske nitrogenforbindelser som finnes i avfallsvannet.

Et biofilter vil bestå av en tank fylt med et filtermedium som gir en ideell koloniseringsflate for de ulike bakteriene. Figur 3 viser en håndfull med filtermedium, med tilhørende tank i bakgrunnen. Filtermediumet fungerer som et støttemateriale for bakteriene, slik at de kan organisere seg i en biofilm. Mediumet kan bestå av forskjellige typer materialer som gir gode forutsetninger for bakterievekst. Noen av de vanligste materialene er plast, keramikk, sand og grus. Mediet kommer i ulike former og fasonger, avhengig av typen biofilter som skal brukes.



FIGUR 3: MBBR MED FILTERMEDIUM

2.2.1 Biofilterets biologiske prosesser

Etter den mekaniske filtreringsprosessen, pumpes vannet gjennom biofilteret. Oppløste forbindelser som fosfat og nitrogenforbindelser (TAN) som inneholder ammonium (NH_4^+) og ammoniakk (NH_3), vil også passere gjennom den mekaniske filtreringen. Mens fosfat er en inaktiv uorganisk forbindelse, uten giftig effekt, er TAN i form av NH_3 svært giftig for fisken, og må derfor omdannes til nitrat. Nedbrytningen av både organisk materiale og ammoniakk i avfallsstrømmen, er en biologisk prosess som må utføres av bakterier i biofilteret.

Nitrifiserende/autotrofe bakterier

Biofilterets viktigste oppgave er å fjerne total ammonium nitrogen (TAN). En stor del av konsentrasjonen med TAN kommer fra fisken selv. Primært vil nitrogen som skilles ut fra fisken, skilles ut som TAN. Nitrogenholdige avfallsstoffer, som for eksempel avføring fra fisk og rester av fôr, brytes også ned til TAN av bakterier i vannet. TAN kan som tidligere nevnt forekomme i to former: NH_4^+ og NH_3 . Hvilken form som ender opp som predominant avhenger i stor grad av pH-verdien i vannet. Ved høy pH vil relativt mer være i den uioniserte formen NH_3 , det er denne formen som er mest giftig for fisk (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016). Biofilteret i RAS-anlegg har som oppgave å fjerne TAN og dette gjøres ved hjelp av en prosess som kalles for **nitrifikasjon**. Nitrifikasjon refererer til den mikrobielle prosessen hvor ammonium (NH_4^+) omdannes til nitritt (NO_2^-) og deretter til nitrat (NO_3^-) av nitrifiserende bakterier. (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016).

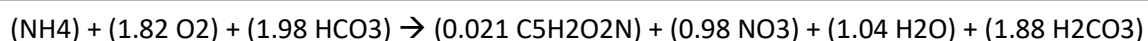
Det er to hovedtyper av de nitrifiserende bakteriene som er involvert i prosessen med å omdanne TAN via nitritt til nitrat; de ammoniumoksiderende bakteriene (AOB) og de nitrittoksiderende bakteriene (NOB). De to bakterietypene vil være organisert i en **biofilm** rundt filtermediene. De ammoniumoksiderende bakteriene omdanner TAN til nitritt, og de nitrittoksiderende bakteriene omdanner så videre nitritt til nitrat. De to prosessene kan forenkles slik:

1. **(AOB):** $(\text{NH}_4^+) + (3/2 \text{O}_2) \rightarrow (\text{NO}_2^-) + (\text{H}_2\text{O}) + (2\text{H}^+)$
2. **(NOB):** $(\text{NO}_2^-) + (1/2 \text{O}_2) \rightarrow (\text{NO}_3^-)$

(Chen, S., Ling, J., & Blancheton, J.-P, 2006)

Autotrofe bakterier, som inkluderer både AOB og NOB, utnytter CO₂ som deres primære karbonkilde for å støtte deres vekst og overlevelse. I trinn 1 (AOB) produseres H⁺ - ioner og alkalitet forbrukes. Når **alkalitet** forbrukes senker dette pH-verdien, hvilket gjør løsningen surere. Ut ifra de to kjemiske prosessene illustrert over, ser man at de to bakterietypene AOB og NOB krever oksygen for å utføre sin metabolske aktivitet, hvilket gjør de aerobe. Rikelig med oksygen er avgjørende for at både AOB og NOB skal trives og opptre i et stort antall. AOB og NOB-bakteriene har vanligvis en veksthastighet på omtrent en fordobling per dag. (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016).

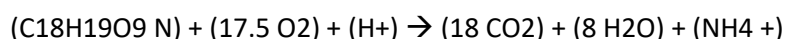
Hele nitrifikasjonsprosessen er illustrert under:



I den kjemiske likningen over representerer C₅H₂O₂N den bakterielle biomassen som vil dannes. Produksjonen av C₅H₂O₂N indikerer at bikarbonat (HCO₃⁻) blir brukt opp og karbonsyre (H₂CO₃) blir dannet. På grunn av likevekten mellom H₂CO₃ og CO₂ i vannet, vil produksjonen av H₂CO₃ føre til en økning av CO₂-konsentrasjonen i vannet. (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016).

Heterotrofe bakterier

I biofilteret er det heterotrofe bakterier som bryter ned det organiske materiale fra avfallsstrømmen. Denne bakterietypen utgjør 80% av alle bakteriene man finner i RAS-anlegg, og de finnes i hele RAS anlegget. Konsentrasjonen av bakteriene er størst i biofilteret på grunn av de gode vekstforholdene som skapes av overflatearealet og filtermediet. Disse bakteriene utnytter organisk materiale som karbonkilde til vekst, og den kjemiske prosessen ser slik ut:



Fra likningen ser vi at også disse bakteriene er aerobe fordi de krever oksygen for å degradere det organiske materialet. Heterotrofe bakterier har en tendens til å utkonkurrere de autotrofe

bakteriene i konkurransen om oksygen. I denne prosessen vil (H⁺) - ioner forbrukes, hvilket medfører at alkalitet tilføres. De heterotrofe bakteriene vil også produsere CO₂, hvilket reduserer pH og gjør løsningen surere. Fra reaksjonslikningen ser man at de heterotrofe bakteriene også produserer TAN, som et biprodukt av nedbrytningen. (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016).

2.2.2 Neddykkede biofilter

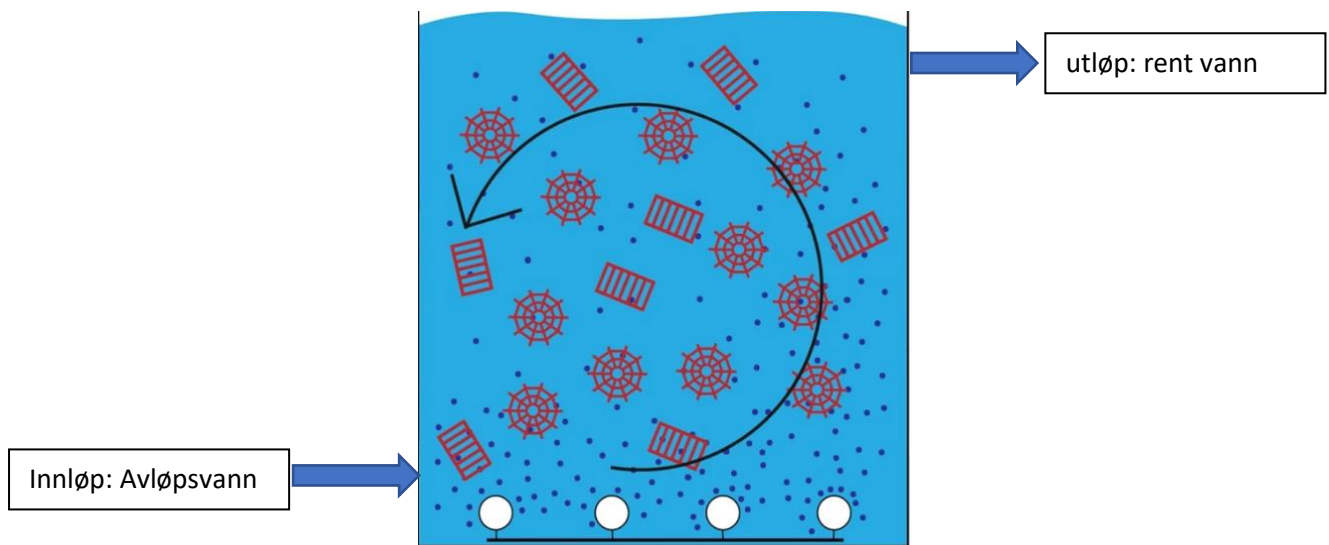
I RAS-anlegg for laksesmolt er den vanligste typen biofilter ulike typer neddykkede biofilter. Når et biofilter er neddykket, vil hele enheten befinne seg under vann. Det finnes to ulike typer neddykkede biofilter:

Fastsittende biofilter (fixed bed)

I fastsittende biofilter, også kjent som «fixed bed» biofilter, vil filtermediet være fastsittende i stedet for å bevege seg fritt rundt i filteret. Avfallsstrømmen renner gjennom filteret som en laminær strøm for å komme i kontakt med biofilmen som befinner seg rundt filtermediet. Når avfallsstrømmen renner over biofilmen vil de nitrifiserende bakteriene rense vannet for TAN. I fastsittende biofilter vil det være en kontinuerlig oppbygging av biofilm på grunn av opphopningen av organisk materiale i det fastsittende filtermediet. Denne opphopningen av organisk materiale medfører at et fastsittende biofilter også fungerer som en type finpartikkelfilter. Når partiklene strømmer gjennom filteret vil de sette seg fast i biofilmen, og vannet som kommer ut fra fixed bed filter er derfor veldig klart (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016).

Et problem med denne opphopningen av organisk materiale er at de heterotrofe bakteriene vil begynne å utkonkurrere de autotrofe nitrifiserende bakteriene. De nitrifiserende bakteriene som er langt inne i biofilmen, kan få problemer med å få tilført substrat for vekst. Oksygen vil kunne bli brukt opp på vei inn gjennom biofilmen og kan dermed bli begrensende for nitrifikasjonen. Det er derfor en fordel at ikke biofilmen i biofilteret blir for tykk. For å opprettholde evnen filteret har til å drive god nitrifikasjon, kan filtreringsegenskapene til fixed bed filtre medføre at det blir nødvendig å rense biofilmen av filtermaterialet med jevne mellomrom (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016).

Bevegelige biofilter (moving bed/MBBR)



FIGUR 4: FORENKLET ILLUSTRASJON AV MBBR

Bevegelige biofilter, også kjent som «moving bed» biofiltre eller MBBR, bruker et bevegelig medium som flyter fritt i biofilteret. På samme måte som hos fixed bed filter, pumpes avfallsstrømmen inn i systemet for å komme i kontakt med bakteriene i biofilmen. På grunn av den konstante turbulensen og frie bevegelsen, vil filtermaterialet ofte skrape mot hverandre. Den vedvarende kollideringen som skaper skjærkrefter mellom filtermediene, sikrer at biofilmen ikke blir så tykk at den begrenser tilgangen de autotrofe bakteriene har på oksygen og næringsstoffer. Det er vanlig å plassere oksygeninnløpet nær bunnen av reaktortanken for å sikre korrekt oksygenmetning. Som figur x viser, bidrar dette, sammen med avløpsstrømmen, til god blanding og distribusjon av oksygen. I motsetning til fixed bed biofilter, vil et moving bed biofilter frigjøre små partikler til vannet. Moving bed biofilter egner seg derfor dårligere til partikkelfjerning, men krever mye mindre rengjøring og vedlikehold. Filteret vil på mange måter kreve mindre vedlikehold og være mer selvdrevent (Leyva-Díaz, J.C., Martín-Pascual, J. & Poyatos, J.M, 2017).

Moving bed biofilm bioreactors (**MBBR**) har blitt er populært valg, særlig i Norge. Denne type neddykket biofilter bruker i all hovedsak plastmedium som *figur 5* illustrerer. Det finnes ulike type filtermedium med forskjellige former og størrelser laget av polyetylen med høy massetetthet (HDPE),



FIGUR 5: MBBR FILTERMEDIUM

polypropylen (PP) eller polyetylen (PE) med en normal tetthet lavere enn vann (0.95 g/cm^3) (Ødegaard 1999). Filtermediet har stor overflate i forhold til volum for å kunne ha et stort antall fastsittende nitrifiserende bakterier i et forholdsvis lite volum (Leyva-Díaz, J.C., Martín-Pascual, J. & Poyatos, J.M, 2017).

MBBR-teknologien gir fordeler som økt volumetrisk behandlingsskapitet, mindre sannsynlighet for tilstopping av organisk materiale og lavt trykkfall. Filtertypen er også svært tilbøyelig for modifiseringer for bruk i ulike typer anlegg, fordi mengden filtermedium enkelt kan reguleres avhengig av behov. Ifølge forskning vil også MBBR fungere bedre desto større det er, så oppskalering vil ikke bli et problem (Leyva-Díaz, Martín-Pascual, Poyatos, 2017

2.3 Vannkvalitet i biofilteret

En viktig utfordring i RAS anlegg er å opprettholde en balanse mellom biologiske, kjemiske og fysiske faktorer for å sikre optimale forhold for fisken. Vannkvaliteten i en tank påvirker i stor grad fisken, men også bakteriene som lever i biofilteret. Deres ytelsesevne styres i stor grad av vannkvaliteten i miljøet de befinner seg i. Derfor handler det i stor grad om å finne en balansegang mellom optimal vannkvalitet for biofilteret og de kravene som er satt for vannkvalitet av mattilsynet i henhold til akvakulturdriftsforskriften § 22:

Parameter	Verdier
pH (innløp)	6,2 – 7,8
Oksygenmetning i kar	Ikke over 100 prosent
Oksygen (avløp)	Over 80 prosent
Karbondioksid	Under 15 milligram/liter
Nitritt (ferskvann)	Under 0,1 milligram/liter
Nitritt (sjøvann)	Under 0,5 milligram/liter
Total Ammonium Nitrogen (TAN)	Under 2 milligram/liter
Ammoniakk	Under 2 mikrogram/liter

FIGUR 6: TABELLEN VISER KRAV FOR VANNKVALITET SATT AV MATTILSYNET OG ER I ALL HOVEDSAK VEILEDENDE. FØRINGENE KAN FRAVIKES OM GODKJENT DOKUMENTASJON FORELIGGER.

Under er en oversikt over sentrale vannparametere som i stor grad påvirker biofilterets ytelsesevne

2.3.1 TAN

Nitrifikasjon er en viktig prosess i akvakultur, spesielt i resirkulerende akvakultursystemer (RAS). Prosessen involverer som tidligere nevnt oksidasjon av TAN, i form av NH_4^+ og NH_3 , til NO_2^- og deretter til NO_3^- . Ammoniumkonsentrasjonen i vannet påvirker hastigheten på denne prosessen i biofilteret. Konsentrasjonen av TAN som substrat for nitrifikasjon er den mest avgjørende faktoren å vurdere i design og drift av en biofilter i et resirkulerende akvakultursystem (RAS). Studier har vist at biofiltre i RAS bør designes basert på ammoniakkonsentrasjonen for å oppnå optimal nitrifikasjonseffektivitet (Wheaton et al., 1994). Ifølge metningskinetikk vil nitrifikasjonshastigheten øke proporsjonalt med en økning i ammoniumkonsentrasjonen i området mellom 0 og 3 mg TAN/l. Dette skyldes at det er tilstrekkelig med bakterier tilgjengelig i biofilteret som kan bryte ned ammoniumet. Når ammoniumkonsentrasjonen i vannet er høyere enn 3 mg TAN/l, vil imidlertid nitrifikasjonsraten nå et metningspunkt. Dette betyr at nitrifikasjonsraten i teorien vil være konstant og på sitt maksimale, uavhengig av ammoniumkonsentrasjonen (Chen, S., Ling, J., & Blancheton, J.-P. 2006)

2.3.2 PH

PH-verdien er et viktig mål på vannets surhetsgrad, og den påvirker mange biologiske og kjemiske prosesser i et akvakulturanlegg. pH-verdien beskriver om en løsning er sur eller alkalisk, der pH-verdier over 7 er alkaliske og verdier under 7 er sure. I RAS anlegg spiller pH-verdien en viktig rolle i forhold til hvordan ulike kjemiske forbindelser er tilstede i produksjonsvannet. Tre av de viktigste forbindelsene å ta hensyn til er CO_2 , NH_3 og H_2S (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016).

En lav pH-verdi kan medføre at CO_2 omdannes til H_2CO_3 som igjen kan gjøre løsningen enda surere. Til tross for at man ikke ønsker en pH verdi som er for lav, må man være forsiktig så man ikke oppnår en for høy pH. TAN er som tidligere nevnt en fellesbetegnelse på den totale mengden nitrogenforbindelser som kan foreligge i de to formene: NH_4^+ og NH_3 . pH styrer i stor grad hvilken av de to forbindelsene som er dominante, og en høy pH verdi vil forårsake en større konsentrasjon av den uioniserte formen NH_3 . NH_3 er svært giftig for fisken og kan i verste fall føre til akutt fiskedød. En høy pH verdi kan også være med på å redusere mengden H_2S vannet, så det er tydelig at å opprettholde god vannkvalitet er vel så mye en balansekunst (Rojas-Tirado, Aalto, Åtland, Letelier-Gordo. 2021).

Det er viktig å merke seg at pH-følsomheten varierer mellom ammoniumoksidierende bakterier (AOB) og nitrittoksidierende bakterier (NOB). NOB er mer pH-sensitive enn AOB, og dette kan føre til nitritakkumulering i biofilteret ved lave pH-verdier. Nitritakkumulering det første tegnet på pH-hemming og er på mange måter en god indikator for å tilsette en bufferløsning (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016).

2.3.3 Alkalitet

Alkalitet spiller en viktig rolle i nitrifikasjonen i et biofilter i et RAS-system. Alkalitet er et mål på vannets bufferkapasitet, dvs. evnen til å motstå endringer i pH-verdien. Hvis alkaliteten er for lav, vil pH-verdien falle og dette kan påvirke nitrifikasjonen negativt.

I norske settefiskanlegg er alkaliteten i råvannet vanligvis lavere enn anbefalte grenseverdier. Derfor må alkalitet tilføres vannet. Under selve driften av et anlegg er det også flere prosesser som påvirker både alkalitet og pH. Fisken selv puster ut CO₂ som senker pH, de heterotrofe bakteriene i biofilteret senker pH og nitrifikasjonen vil redusere pH og alkalitet. Derfor vil alle anlegg som regel ha behov for å tilsette bufferløsninger. Dette er viktig for å sikre en stabil pH-verdi, og dermed optimal nitrifikasjonshastighet i biofilteret (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016). I tabellen under finnes flere produkter som brukes som bufferløsning:

Navn	Kjemisk formel	Løselighet/hastighet for løselighet	Ekvivalent vekt (gr/eq)
Lut	NaOH	Høy/Rask	40
Natriumkarbonat	Na ₂ CO ₃	Høy/Rask	53
Natriumbikarbonat	NaHCO ₃	Høy/Rask	83
Kalsiumkarbonat	CaCO ₃	Moderat/Moderat	50
Brent kalk	CaO	Høy/Moderat	28
Hydrat kalk	Ca(OH) ₂	Høy/Moderat	37
Sjøvann	-	Høy/Rask	-

FIGUR 7: VISER ULIKE BUFFERLØSNINGER

2.3.5 Oksygentilførsel

Oksygentilførsel er svært viktig i et biofilter fordi de nitrifiserende bakteriene som er ansvarlige for omdanningen av ammonium (NH₄⁺) og nitritt (NO₂⁻) til nitrat (NO₃⁻) er aerobe bakterier, det vil si at de krever oksygen for å utføre sine metabolske prosesser. Disse bakteriene bruker oksygen til å oksidere ammonium til nitritt og deretter til nitrat. Uten tilstrekkelig oksygentilførsel vil disse bakteriene ikke kunne utføre denne prosessen, og ammonium og nitritt vil dermed ikke bli fjernet fra vannet. (Madan, Madan, Hussain, 2022)

I tillegg til å være viktig for nitrifisering, er oksygentilførsel også viktig for å opprettholde et gunstig miljø for de andre bakteriene som kan leve i biofilteret. Heterotrofe bakterier som bryter ned organisk materiale i vannet, krever også oksygen for å utføre sine metabolske prosesser. Disse bakteriene bryter ned organisk materiale, som fiskeavføring og fôrrester, til uorganiske forbindelser som ammonium og karbondioksid. Denne nedbrytningen krever tilførsel av oksygen, og det er derfor viktig at det er tilstrekkelig med oksygen i biofilteret for å opprettholde den ønskede nedbrytningshastigheten. Dersom det er utilstrekkelig oksygenivå i biofilteret, kan det øke konsentrasjonen med organisk materiale som virker belastende for systemet (Madan, Madan, Hussain, 2022)

Manglende sirkulasjon og oksygen i et biofilter, kan skape Anaerob forhold. Anaerobe forhold i et biofilter kan være farlige med tanke på H₂S-produksjon. H₂S, eller hydrogensulfid, er en giftig og svært etsende gass som kan dannes under anaerobe forhold i biofiltre. Når det ikke er tilstrekkelig tilgang til oksygen i biofilteret, kan de anaerobe betingelsene fremme veksten av svovelreducerende bakterier. Disse bakteriene har evnen til å redusere sulfater til sulfidioner i fravær av oksygen. H₂S-gassen som dannes under disse anaerobe forholdene, kan akkumuleres og frigjøres i biofilteret, og dermed utgjøre en betydelig helsefare for fisken i anlegget (Madan, Madan, Hussain, 2022)

2.3.6 Turbulens

Som nevnt foregår nitrifikasjonen i biofilmen i et biofilter. Turbulens, eller vannbevegelser, påvirker overføringen av TAN og nitritt mellom vannet og bakteriene i biofilmen. Når det er mye turbulens vil TAN og nitritt ha en tendens til å "flyte forbi" biofilmene uten å bli absorbert av bakteriene. Dette vil føre til at nitrifikasjonshastigheten blir redusert. Empiriske studier har vist at å redusere turbulensen i biofilteret ved å dempe omrøringen eller redusere boblingen kan øke nitrifikasjonshastigheten. Dette kan være spesielt relevant i situasjoner der det er høy vannstrømning og dermed høy turbulens, som i større RAS-anlegg. Det er også verdt å merke seg at for mye turbulens kan føre til at biofilmen løsner fra biofiltermaterialet og redusere effektiviteten til biofilteret. Derfor er det viktig å finne en balanse mellom turbulens og oksygentilførsel for å opprettholde en optimal nitrifikasjonshastighet og samtidig unngå skade på biofilmen (*Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016*).

2.3.7 Temperatur

Temperatur er en viktig faktor som påvirker nitrifiseringen i biofilteret. Nitrifiserende bakterier kan tilpasse seg til en rekke temperaturer, men de fleste har en optimal temperatur for deres vekst og metabolisme. Generelt kan man si at økende temperatur vil øke

nitrifisering i biofilteret, men det vil være en øvre grense for hvor høy temperaturen kan være før det begynner å hemme bakterienes vekst og metabolisme (myers, 2002).

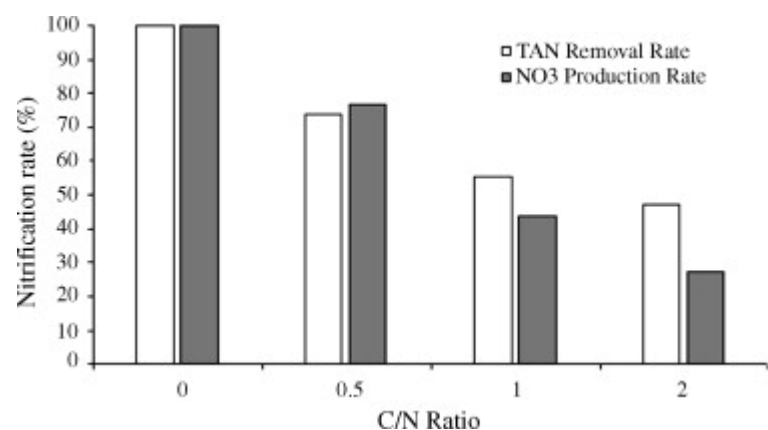
2.3.8 Organisk materiale

Organisk materiale omdannes av de heterotrofe bakteriene som befinner seg i biofilteret og i resten av RAS-anlegget. For mye organisk materiale i avløpsvannet kan ha en negativ innvirkning på nitrifikasjonen i et biofilter. Dette skyldes at organisk materiale vil gi vekst av heterotrofe bakterier, som bruker organisk materiale både som energikilde og karbonkilde. Heterotrofe bakterier har et potensial for vekst som er mye større enn nitrifiserende bakterier, og de vil derfor kunne utkonkurrere de autotrofe bakteriene i kampen om oksygentilgang. De nitrifiserende bakteriene vokser langsomt og riktige forhold på derfor være til stede over en lengre periode (Chen, S., Ling, J., & Blancheton, J.-P.2006)

Konkurransen om plass og oksygen kan føre til en nedgang i nitrifikasjonen, ettersom de nitrifiserende bakteriene vil få mindre plass og mindre tilgang på oksygen. Hvis mengden organisk materiale er høy nok, kan dette føre til at nitrifikasjonen stopper helt opp. På grunn av dette vil det være essensielt å begrense mengden organisk materiale som slippes inn i biofilteret, så vel som i resten av anlegget. Som regel vil største andel av organisk materiale filtreres bort av mekaniske filtre før det når biofilteret, men noe vil slippe gjennom (Chen, S., Ling, J., & Blancheton, J.-P.2006).

Begrensningen av organisk materiale er en kritisk suksessfaktor for biofilterets nitrifikasjonshastighet og evne til å avlevere rent vann videre i systemet. Det handler hovedsakelig om å begrense mengden heterotrofe bakterier og unngå for store ansamlinger av organisk materiale i Biofilteret/RAS-anlegget (Michaud et al. 2006).

Forskning (Michaud et al. 2006) tilsier at mengden organisk materiale som befinner seg i biofilteret, i stor grad påvirker evnen de autotrofe bakteriene har til å drive nitrifikasjon. Figur 2 illustrerer hvordan nitrifikasjonshastigheten påvirkes når forholdet mellom mengde karbon/nitrogen endrer



FIGUR 8: NITRIFIKASJONSUTSELSINDIKATOR UTTRYKT SOM EN PROSENTANDEL AV MAKSIMUM VED FORSKJELIGE C/N-FORHOLD (MICHAUD ET AL. 2006)

seg i biofilteret. Når de heterotrofe bakteriene får tilgang på for mye organisk karbon, vil de utkonkurrere de autotrofe bakteriene og redusere deres evne til å drive nitrifikasjon

Organisk materiale kan også være en nøkkelfaktor til produksjonen av hydrogensulfid (H₂S). Sulfatreduserende bakterier (SRB) er bakteriene som produserer H₂S. SRB bruker sulfat (SO₄²⁻) i stedet for oksygen, og reduserer sulfatet til hydrogensulfid. SRB krever derfor anaerobe forhold, samt tilgang på organisk karbon og sulfat, for å produsere hydrogensulfid. Dette er forhold vi normalt finner der det er slamdannelse. Slam dannes av en overflod med organisk materiale fra blant annet fiskeavføring, for og mikroflora. Nyere forskning tyder også på at det produseres like mye H₂S i biofilmen i biofilteret som det gjøres i slam. Nedbrytning av biofilm var tilstrekkelig for å danne H₂S. Det påvirker i stor grad hvordan man ser på ansamling av organisk materiale og rik tilstedeværelse av heterotrofe bakterier (Michaud et al. 2006).

Organisk materiale kan i tillegg hindre tilstrekkelig gjennomstrømning i biofilteret og påvirke optimal turbulens.

3. Metodikk

I dette kapitlet vil oppgavens metodiske struktur bli beskrevet og redegjort for.

Problemstillingen «Hvilke faktorer påvirker biologisk filtreringsytelse i MBBR for RAS-anlegg, og hvordan kan disse optimaliseres for å oppnå høyest mulig filtreringsytelse for å sikre god vannkvalitet i RAS-anlegget?» legger grunnlaget for valg av forskningsdesign og metodevalg.

Overordnet vil denne oppgaven basere seg på den vitenskapelige metode. Den vitenskapelige metode er en ansamling av ulike teknikker man bruker for å undersøke fenomener, skaffe ny kunnskap og korrigere gammel kunnskap. Metoden gir også føringer for hvordan ny informasjon skal innlemmes inn i eldre kunnskap. Dette kapitlet skal ta for seg hvilke metoder som er benyttet, hvordan data er samlet inn, behandlet og bearbeidet. Kvaliteten på innsamlet data vil så vurderes med hensyn på dens validitet, reliabilitet og objektivitet.

3.1 Forskningsdesign

Valg av forskningsdesign til oppgaven avgjøres ved å se på hvilken designløsning som er best egnet til å besvare oppgavens problemstilling. Valg av forskningsdesign vil i stor grad påvirke hvordan undersøkelsen vil foregå fra start til slutt. Induktiv og deduktiv forskningsdesign er to tilnærminger til forskning, og de skiller seg fra hverandre på flere måter. Induktiv design går fra empiri til teori, og har til hensikt å skaffe ny kunnskap på områder det eksisterer mindre forhåndskunnskap. Induktivt forskningsdesign innebærer altså å samle inn data først og deretter utlede en generell teori eller hypotese basert på innhentet data. Deduktivt forskningsdesign, derimot, starter i andre enden. Dette innebærer at man starter med en generell teori og deretter bruker denne til å utlede spesifikke hypoteser man kan teste ved hjelp av systematisk innsamling av data og observasjoner. I et deduktivt forskningsdesign lager man en teori/hypotese for å kunne lage en forutsigelse om hva som vil skje, deretter tester man denne forutsigelsen ved å samle data og observere fenomenet. Når man skal velge oppgavens forskningsdesign vil det være viktig å reflektere rundt hvorvidt oppgaven skal gå i bredden eller dybden på et fenomen (Jacobsen, 2005)

3.2 Forskningsmetoder

Når forskningsdesign er valgt gjenstår valg av metode. Det er hovedsakelig to mulige metodetilnæringer man kan velge mellom, kvalitativ metode eller kvantitativ metode. Tilnærmingen man velger til oppgavens forskning kan også basere seg på en blanding av de to. Hvilken metode man velger å ta i bruk styres i stor grad av hvordan data skal samles inn, hvordan innsamlet data bearbeides og hvordan innsamlet data analyseres. Det vil være viktig å velge den riktige metoden basert på forskningsspørsmålet (problemstillingen) og formålet med studien (Grønmo,2020).

3.2.1 Kvalitativ metode

Kvalitativ metode er en forskningsmetode som setter søkelys på å beskrive, tolke og analysere kvalitativ data som er samlet inn gjennom observasjon, intervjuer, case-studier eller andre ikke-målbare datakilder. Med andre ord vil metoden belyse meninger og erfaringer som ikke kan tallfestes. Metoden brukes for å få detaljert og mer utfyllende informasjon om et fenomen som skal studeres. Det er vanlig ta i bruk kvalitativ metode for å samle inn data der det finnes lite, eller mindre kjent, forskning fra før (Grønmo,2020).

3.2.2 Kvantitativ metode

Kvantitativ metode er en forskningsmetode som fokuserer på å samle inn og analysere kvantitative data som tall, statistikk og målbare variabler. Kvantitative data er data som vil være egnet for å måle og kvantifisere fenomener, og som gir muligheten til å generalisere i en større populasjon. Data som innhentes kan nå tallfestes og brukes til å finne omfang, hyppighet og utstrekning av et gitt fenomen. Kvantitativ metode vil være i stand til å gi en bred oversikt over et fenomen, men vil ofte mangle dybde og detaljer (Grønmo,2020).

3.3 Oppgavens valgte forskningsdesign og metodiske tilnærming

Når oppgavens forskningsdesign og metodiske tilnærming har blitt valgt, er valget tatt på bakgrunn av hva som er best egnet for å kunne besvare problemstillingen " Hvilke faktorer påvirker biologisk filtreringsytelse i MBBR for RAS-anlegg, og hvordan kan disse optimaliseres for å oppnå høyest mulig filtreringsytelse for å sikre god vannkvalitet i RAS-anlegget?". Denne problemstillingen kan beskrives som en utforskende problemstilling som har som mål å strukturere allerede kjent kunnskap for å bedre nåværende forståelse av et fenomen. På bakgrunn av dette ble det valgt et induktivt forskningsdesign med kvantitativ tilnærming. Data fra litteraturstudie undersøkes og analyseres ved å ta i bruk kvantitativ metode.

3.4 Litteraturstudie

En Litteraturstudie er en god og oversiktlig metode for å samle inn informasjon og kunnskap om et bestemt forskningstema. Det har innebært å gjennomgå og analysere eksisterende litteratur, inkludert tidsskriftsartikler, bøker, avhandlinger og annen relevant informasjon som er tilgjengelig. Litteraturstudie har hjulpet til med å identifisere relevante teoretiske rammeverk og konsepter som kan brukes i analysen av forskningsspørsmålet. Dette er spesielt viktig når det gjelder å etablere en solid teoretisk forankring for forskningen, og kan bidra til å gi klarhet og struktur i problemstillingen.

Siden oppgaven har basert seg på innhenting av data gjennom en litteraturstudie, har verifiseringen av informasjonens gyldighet vært viktig. For å sikre at forskningen vår er grundig og pålitelig, ble det brukt en nøye utarbeidet fremgangsmåte for å hente inn fagfelleverderte forskningsartikler. Søkemotorene Sciencedirect, springerlink og Google Scholar ble brukt til å finne relevante artikler. Søkene ble deretter gjennomgått basert på publikasjonsdato, titlenes relevans for problemstillingen og antall siteringer. For å sikre at artiklene var av høy kvalitet, ble det videre undersøkt om de var fagfelleverderte og publisert i anerkjente tidsskrifter.

Så snart relevante kilder ble funnet, ble de nøye evaluert, og hvis de ble ansett som relevante, ble sammendraget lest og forfatter undersøkt videre. Etter hvert som artikler ble inkludert i arbeidet vårt, ble de også ytterligere bearbeidet for å sikre at de passet til vår problemstilling. Vi har utarbeidet en søkematrise for å presentere vår nøyaktige fremgangsmåte for litteratursøk. Vi har tatt alle disse skrittene for å sikre at vår litteraturstudie er grundig og pålitelig, og at vi kan stole på de funnene vi presenterer i vår oppgave.

På neste side finner man søkematrisen fra litteraturstudiet

Database	Søkeord	Antall treff	Antall brukt
Oria	Biofilter	9161	1
Oria	Dykket biofilter	2	1
Oria	RAS-anlegg	16	1
Oria	PH Verdi RAS	16	1
Sciencedirect	Biofilters and construction	2394	0
Oria	MBBR RAS	192	0
Google scholar	Geometry of biofilm carriers: a systematic review	1	1
google	RAS anlegg med neddykket biofilter	540	2
Sciencedirect	hybrid submerged biofilter	403	1
Google Scholar	MBBR aquaculture	270	2
Springer link	MBBR + impacting parameters	411	2
Sciencedirect	Temperature effects on nitrification	33 257	1
Sciencedirect	MBBR technology	2135	1
Springer link	Nitrification mechanisms	15857	0
Springer link	MBBR operational parameters	359	1
Springer link	MBBR performance evaluation	263	2
Sciencedirect	Nitrosomonas and Nitrobacter	3271	1
Sciencedirect	Microbial community dynamics in 1000 biofilters	1000	1
Sciencedirect	Biofilter performance and water quality	4755	3
Sciencedirect	Nutrient removal in biofilters	4707	2
Springer link	Nitrification kinetics	4987	2
Springer link	Water reuse and biofilter systems	883	1
Springer link	Biofilter optimization for challenging water sources	434	2

TABELL 1: SØKEMATRISSE

4. Resultat

Dette kapitlet vil inneholde en sammenfatning av de sentrale funnene som muliggjør en besvarelse av problemstillingen. Arbeidet med litteraturstudiet har resultert i at det viser seg tre hovedelementer som burde fokuseres på når man skal skape et optimalt biofilter for oppdrett av laks: **driftsparametere, konstruksjon og overvåkning og drift.**

4.1 Driftsparametere

For at bakteriene i biofilteret skulle trives og opptre i stort antall, så vi at det var en rekke parametere som måtte være på plass. Resultater fra studien har vist at det finnes flere faktorer knyttet til vannkvaliteten som påvirker nitrifikasjonsraten til biofilmen. Dette antyder at man har flere ulike muligheter til å forbedre ytelsen til kommersielle MBBR filtre for å oppnå liknende nitrifikasjonshastigheter som er oppnådd under laboratorieforhold. Et dilemma som oppstår er at noen av disse parameterne er mindre fleksible fordi de er avhengig av kravene som er satt av mattilsynet (akvakulturdriftsforskriften § 22), knyttet opp mot fiskevelferd. For å skape et optimalt biofilter, må man konstruere forhold som befinner seg innenfor de optimale parameterverdiene som påvirker nitrifikasjonsprosessen, samtidig som man er innenfor de rammene satt av mattilsynet. Tabellen under viser optimale parameterverdier for de nitrifiserende bakteriene i biofilteret:

TABELL 2: OPTIMALE DRIFTSPARAMETERE

Parameter	Anbefaling	kilde
pH	7.5-9	Chen, S., Ling, J., & Blancheton, J.-P. (2006)
Alkalitet	>45 mg/l CaCO ₃	(Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016)
Temperatur	25-30 (12-16 for fisken)	(Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016)
TAN	1-3 mg TAN/l	Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016)
Oksygenmetning	DO/TAN = >3	Hem et al. 1994
Turbulens	moderat	Leiknes og Ødegaard, 2001
Organiske stoffer	Minst mulig	Michaud et al. 2006

Tabellen viser verdier som skal maksimere nitrifikasjonen i biofilteret. Dette er veiledende for biofiltret og parametere for anlegget som helhet må tilpasses føringslinjer satt for fiskevelferden jfr. akvakulturdriftsforskriften § 22

pH

Nitrifiserende bakterier har pH-optimum mellom 7 og 9 (Chen mfl. 2006). Forskning (Villaverde et al. 1997) har vist at hastigheten på nitrifikasjonsprosessen øker lineært fra pH 5.5 til pH 7.5 og at nitrifikasjonshastigheten ved pH 7.5 var 4 ganger så høy som ved pH 5.5. Dette indikerer at nitrifikasjonshastigheten øker når pH verdi øker. En pH-verdi som overstiger 9 gjør vannet alkalisk, hvilket

medfører en økt konsentrasjon av den giftige forbindelsen NH_3 . Forskning tyder på at de autotrofe bakterietypene AOB og NOB har forskjellig pH optimum. Optimal pH-verdi for AOB varierer fra 7.2 til 8,8 og 7,2 til 9 for NOB (Chen, S., Ling, J., & Blancheton, J.-P.2006)

Alkalitet

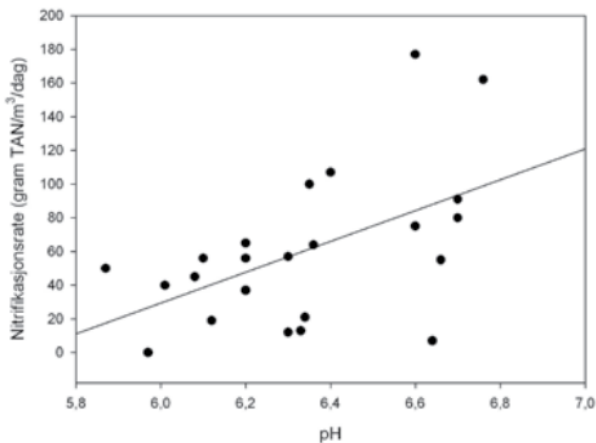
Karbonatalkalitet er en begrensende faktor for nitrifikasjonen i biofilteret i et RAS ved verdier lavere enn 45 målt som mg/l CaCO_3 (Biesterfeld et al.2003).

Temperatur

Biofilteret opplever en økt nitrifisering ved økte temperaturer. Optimal temperatur befinner seg et sted mellom 25-30 grader celsius (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016).

TAN

Metningskinetikk viser at nitrifikasjonshastigheten stiger proporsjonalt mellom 0-3 mg TAN/l. Når TAN-konsentrasjon overstiger disse verdiene, når de nitrifiserende bakteriene et metningspunkt med en konstant nitrifikasjonshastighet celsius (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016).



FIGUR 9: GRAFEN VISER NITRIFIKASJONSRATE VED ULIK PH

4.2 Konstruksjon

Resultater fra studien har vist at det er en del faktorer som påvirker ytelsesevnen til MBBR filteret når det er snakk om konstruksjon.

4.2.1 Hvor stor prosentandel av biofilteret som består av filtermedium

Resultatene fra litteraturstudiet viser at MBBR-ytelsen i stor grad avhenger av hvor stor prosentandel av filtertanken som består av filtermedium, samt organisk belastning. Optimal fyllingsgrad av filtermedium varierer vanligvis mellom 60-70% av det totale tankvolumet (Leiknes and Ødegaard 2001). Når man passerer den gitte prosentandelen på 70% vil blandingseffekten i tanken reduseres betraktelig (Weiss et al.2005).

Det har blitt utført forsøk (trapani et al. 2008) hvor det ble undersøkt hvor godt biofilteret utfører sin tiltenkte oppgave med å fjerne avfallsstoffer ved ulike fyllingsgrader. Her ble det konkludert med at fjerningseffekten avtar etter optimal fyllingsgrad. Bakgrunnen for dette konkluderte de med at skyldtes konkurransen mellom suspendert og festet biomasse, samt den generelle betydningen for frittsvevende partikler i MBBR. Det ble evaluert at fjerningseffektiviteten for COD ved en fyllingsgrad på 35% var høyere sammenlignet med 66% fyllingsgrad. På den annen side ble det observert at nitrifikasjonseffektiviteten var høyere ved en fyllingsgrad på 66%, på grunn av det høye antallet saktevoksende nitrifisere som ble bevart i tanken.

4.2.2 Utforming av filtermedium og det effektive overflatearealet

Effektiviteten til et MBBR system avhenger i stor grad av filtermediene som brukes. En av de viktigste faktorene innenfor konstruksjon som påvirker filtreringsytelsen til MBBR er utformingen av filtermediumets spesifikke overflate. Spesifikt overflateareal er den delen av biomediet som befinner seg inne i bærermediet der biofilmen vokser, og det påvirker direkte prosessens effektivitet. Den høye spesifikke overflaten til filtermediene tillater høye konsentrasjoner biofilm med nitrifiserende bakterier i et relativt lite filtervolum.

Bærermediene som brukes kan tilpasses prosessen, enten det er aerob eller anoksisk/anaerob,

noe som er en stor og viktig fordel med MBBR-teknologien. I aerobe systemer er det gunstig med bærermedier som har større åpninger for å minimere tap av spesifikt overflateareal og fremme veksten av rasktvoksende heterotrof biofilm. På den annen side er medier med små åpninger og stort effektivt overflateareal mer fordelaktige for den langsomtvoksende autotrofe mikrobielle biofilmen (Madan, S., Madan, R. & Hussain, A. 2022). De konstante sammenstøtene mellom filtermediene forhindrer i stor grad særlig biofilmvekst på utsiden av mediene. Derfor er den indre effektive overflaten en viktig designfaktor for å skape et trygt miljø for biofilmen. Forskning (Bolton et al. 2006) tyder på at opphopning av biofilm i stor grad er avhengig av filtermediets overflateegenskaper som spesifikk overflate og ruhet.

I oppdrettsnæringen i dag er filtermedier fra AnoxKaldnes svært populære, og de dominerer på mange måter markedet i nye systemer. I en studie gjennomført av Ashkanani et al. (2019), ble effekten av form og overflateareal på biobærere for fjerning av ammonium i MBBR-systemer undersøkt. Forskerne testet tre forskjellige AnoxKaldnes-medier, nemlig K3, K5 og M, med en fyllingsgrad på 30%. Resultatene viste at fjerningen av ammonium var 87,3%, 71,8% og 47,2% for henholdsvis K3, K5 og M mediet ved en temperatur på 20 °C. Det ble konkludert med at biobærere med større spesifikke overflatearealer hadde en tendens til større tilstopping, og K3-mediet viste best ytelse blant de tre. En sammenligning mellom svampebiobærere og plastbæreren K5 ved en hydraulisk oppholdstid på 6 timer viste at fjerningen av ammonium fra akvakulturavløpsvann var 86,67% og 91,65% henholdsvis (Shitu et al. 2020).

4.2.3 Oksygenmetning

I en studie gjennomført av Wang et al. (2006) anbefales det at mengden oppløst oksygen som befinner seg i bioreaktor brukt for kommunalt avløpsvann burde holdes over 2 mg L⁻¹ for effektiv fjerning av COD. I studiet observerte de at ved å bevege seg fra 2-1 mg L⁻¹ ble fjerningseffekten av det COD redusert med 13%. Dette tyder på at oksygen ble en begrensende faktor. Når de så økte mengden oksygen fra 2-6 mg L⁻¹ økte bare COD-fjerningseffektiviteten med 5.8%.

Studien viser tydelig at mengden oppløst oksygen påvirker nitrifiseringen, med tanke på at oksygen-diffusjon gjennom biofilmen var en avgjørende faktor som bestemmer nitrifikasjonshastigheten på de nitrifiserende bakteriene i biofilmen. Den optimale omdanningsgraden av TAN i biofiltret, på 89,1%, ble oppnådd når mengden oppløst oksygen lå på 2 mg L⁻¹. Ved lav oksygenmetning fra <1mgL⁻¹, oppsto det anoksiske forhold, og

mengden ammoniakk i utløpet av filteret økte. Anoksiske forhold kan også medføre produksjon av det giftige stoffe H₂S. I en annen studie gjennomført av Schubert et al. (2013) ble det fremstilt resultater som viste at med en voksende biofilm reduseres oksygenkonsentrasjonen raskt på grunn av økt bakteriell aktivitet. Kontroll på oksygenmetningen i filteret er essensielt for god ytelse.

4.2.4 Turbulens

Tilstrekkelig turbulens er avgjørende for effektiv systemytelse. På grunn av bruken av bærermediet kreves utviklingen av en svært tynn, jevnt fordelt og glatt biofilm som muliggjør transport av substrat og oksygen til overflaten av biofilmen. Derfor er det ikke ønskelig med tykke og luftige biofilmer i dette systemet. Adekvat turbulens bidrar til å fjerne overskuddsbiomasse og opprettholder den ønskede tykkelsen på biofilmen. For full penetrasjon av substratet foretrekkes en biofilmtykkelse på mindre enn 100 µm. Tilstrekkelig turbulens sørger også for en strømningshastighet som er nødvendig for effektiv systemytelse. Ekstremt høy turbulens kan føre til at biomassen løsriver seg fra bærermediet og anbefales derfor ikke. I tillegg kan kollisjoner og slitasje av mediet i reaktoren føre til at biofilmen løsriver seg fra medieoverflaten. Derfor er MBBR-bærermediet utstyrt med finner på utsiden, som bidrar til å beskytte mot tap av biofilm og fremme veksten av biofilmen (Leiknes og Ødegaard, 2001).

Fluktuasjoner i pH har stor innvirkning på veksten av biofilm, da det påvirker flere mekanismer og har skadelige effekter på mikroorganismer (Ells og Hansen, 2006). Korrekt turbulens kan være med på å motvirke dette.

4.2.5 H₂S

Ifølge forskning (Rojas-Tirado, Aalto, Åtland, Letelier-Gordo. 2021) tyder det på at biofilm har et høyt produksjonspotensial for H₂S, som oppstår som en pulserende effekt når biofiltre opereres under suboptimale forhold som utilstrekkelig oksygenmetning, stillestående biomasse eller tykk biofilm med utarmet nitrat og anaerobe dype lag. SRB bakterier begynte å produsere H₂S når de ble utsatt for anoksiske forhold, kun ved hjelp av organisk materiale. H₂S konsentrasjonen i vannet vil være avhengig av pH. En nøytral pH sørger for en 50/50 fordeling av H₂S og HS⁻, mens en lavere pH sørger for en økende konsentrasjon med H₂S. Studien har vist at den mest effektive måten å bekjempe H₂S på var gjennom design av system og operasjonsrutiner. Systemdesign er tidligere nevnt og operasjonsrutiner innebærer

vasking av biofilter, partikkelfjerning, samt sørge for at biofilteret driftes under optimale forhold (driftsparametere, oksygentilgang og turbulens) gjennom jevnlig kontroll av systemet.

4.3 Drift og vedlikehold

Et biofilter, og RAS-anlegg generelt, er svært dynamiske på grunn av den biologiske kompleksiteten i systemene. Små endringer kan få alvorlige ringvirkninger for hele systemet og kan føre til økt dødelighet hos fisken. Korrekt drift og vedlikehold er derfor avgjørende om man skal klare å opprettholde et trygt miljø for fisken å leve i.

Under **akvakulturdriftsforskriften § 21** står følgende:

«Dersom driften er avhengig av elektrisk strøm eller oksygentilførsel, skal det være reserve- eller nødstrømanlegg som ved svikt ivaretar fiskens behov på en forsvarlig måte. Det skal også være alarmsystem som varsler ved strømbrudd eller svikt i oksygentilførsel.

Akvakulturanlegg med lukkede produksjonseenheter skal i tillegg ha alarmsystem som varsler ved systemsvikt som er av betydning for fiskens velferd eller risiko for rømming.

Alarmsystemene skal være tilpasset risikoen i det enkelte akvakulturanlegget, og slik at tiltak kan iverksettes så raskt som mulig.»

Det vil være nødvendig å overvåke pH-verdien i vannet, samt vekselvirkningene mellom de ulike vannparametere. De aller fleste anlegg har et behov for å tilsette bufferløsninger som hever pH. Variasjonene er avhengig av type inntaksvann, resirkuleringsgrad og belastningen som er på systemet i form av organisk materiale. Om systemet for bufferløsning stopper opp vil pH verdien reduseres, hvilket kan ha fatale konsekvenser. Derfor anbefales det å ha et overvåkningssystem som kontinuerlig overvåker pH, pumpesystem (oksygen og turbulens), TAN, nitritt og nitrat. (Fjellheim, Hess-Erga, Attramadal og Vadstein, 2016). Overvåkning og gode driftsrutiner vil også være avgjørende for å forebygge og detektere den giftige gassen H₂S.

5 Diskusjon

5.1 Studiebegrensninger

Denne bacheloroppgaven har basert seg på en grundig litteraturstudie for alt av innhold. Hva er en litteraturstudie? En litteraturstudie er oppgave som bygger på innhentet data og materiale fra bøker og andre skriftlige kilder v har funnet på nett. En litteraturstudie er med andre ord systematisk gjennomgang av den informasjonen innhentet, kritisk gjennomgang og sammenligning av data innenfor et gitt tema (Forsberg og Wengström 2008).

Formålet med oppgaven har i enkle trekk vært å lage en blueprint for hva som skal til for å skape et neddykket biofilter som fungerer optimalt. Studiemetoden har fungert bra, men det har også vært en del begrensninger som er viktig å reflektere over.

1. Den første begrensningen har vært begrenset tilgangen på relevant og oppdatert litteratur, spesielt med tanke på forskning og tilgjengelige publikasjoner fra anerkjente forsøk. Havbruksnæringen er i sterk vekst, hvilket også påvirker konkurransebildet i næringen. Hemmelighold av nyutviklet teknologi kan gi bedriftene et forsprang på andre konkurrenter, men det begrenser også informasjonsflyten. RAS- anlegg, og i vårt tilfelle neddykkede biofilter, er et relativt nytt forskningsområde med få publikasjoner tilgjengelig. Dette har gjort det vanskelig å skape et helhetlig og nyansert bilde av feltet og kan påvirke oppgavens pålitelighet. Forskingen som er utført på området er ofte 30-40 år gammel og mye av forsøk gjennomført med blant annet MBBR biofilter er brukt i andre sammenhenger enn i havbruksnæringen. Selv om man kan bruke informasjonen og trekke paralleller, er det rom for unøyaktighet.
2. Litteraturstudiet som har blitt gjennomført har vært preget av subjektivitet. Det er gruppelemmene selv som har vært ansvarlige for å velge hvilke kilder som skal inkluderes og hvilke som skal ekskluderes. Dette kan ha medført en selektiv tilnærming til data, og skapt en risiko for at viktige kilder eller perspektiver ikke har blitt tatt med.
3. Litteraturstudiet har kun gitt en oversikt over allerede eksisterende kunnskap, og det blir ut ifra dette vanskelig å komme med noe nytt. Gruppelemmene har valgt å holde detaljnivået relativt lavt og heller opprettholde en generell profil. Dette har vært et bevisst valg for å styrke oppgavens pålitelighet. Innsamlet data varierer i alder,

samtidig som informasjonen stammer fra ulike «forfattere» med ulike perspektiver. Ved å presentere resultater med for å høy grad av detaljer kan resultatet påvirkes av denne subjektiviteten som ble nevnt under punkt 2. Ved presentere generelle fakta som går igjen i større mengder data, øker dette påliteligheten på informasjonen som blir presentert.

5.2 Resultater

Det kan være utfordrende å optimalisere et biofilter i et RAS-anlegg siden det ikke er et lukket system, men en integrert del av hel RAS-anlegget. Selv om bakteriene i biofilteret spesifikke parametere de operer optimalt i, må fisken prioriteres. Derfor er det viktig med en balansegang. Å neglisjere bakteriene til fordel for fisken kan også påvirke fiskehelsen negativt. Det er derfor det er nyttig å vite hvilke forhold man bør strebe etter å opprettholde for bakteriene, for å nærme seg optimal ytelse.

Ph: Nitrifiserende biofiltre har blitt drevet over et bredere spekter enn mellom 6 til 9, fordi man må tilpasse bakteriene til faktiske driftsforhold. Det er sannsynligvis en god idé å opprettholde pH nær den nedre enden av det optimale pH for nitrifiseringsbakteriene for å minimere ammoniakkstress på de dyrkede fiskeartene. I tillegg vil raske endringer i pH på mer enn 0,5 til 1,0 enheter over en kort tidsperiode stresse filteret og kreve tid for tilpasning til de nye miljøforholdene.

Temperatur: optimaltemperatur for bakteriene i biofilteret ser vi fra resultatene ligger på et høyt nivå. Her må man tilpasse etter fiskens behov.

H2S eller ammoniakk: Regulering av parametere i biofilteret, og RAS-anlegg generelt, vil være en evig runddans med balansegangens kunst. Reguleringer som er fordelaktig for en parameter, kan påvirke en annen i negativ forstand. Et eksempel på dette er H2S og NH3. Om pH-nivået i anlegget økes, og vannet blir basisk, kan H2S-forekomsten reduseres. En pH-verdi som økes for mye kan forårsake at en større andel av TAN opptrer som NH3, som også er toksisk for fisken.

Hybridløsninger: Blandede løsninger: Det er mulig å bruke hybridløsninger der forskjellige filtertechnologier kan komplementere hverandre. Noen selskaper benytter i dag en kombinasjon av MBBR og fixed bed filter for å utjevne fordelene og ulempene ved hver

teknologi. Hybridløsninger kan være gunstige i mange tilfeller, men for denne oppgavens formål ønsket vi å fokusere på den valgte biofiltertypen. Vårt hovedfokus har vært å sikre at bakteriene i biofilteret trives. Innføring av hybridløsninger ville ført oppgaven i en uønsket retning.

5.3 Fiskevelferd

Biofilteret spiller en viktig rolle i RAS-anlegg ved å, som tidligere nevnt, fjerne giftige avfallsstoffer fra vannet fisken oppholder seg i. Dette er viktig for å opprettholde god vannkvalitet og helse hos fisken, og for å unngå at avløpsvannet forurenses omgivelsene. Men hva skjer når biofilteret ikke fungerer optimalt, og hvordan kan dette påvirke fiskevelferd- og helse? Hva slags ansvar har vi som oppdrettere for å tilstrebe å ta vare på fisken og sørge for fiskens velferd, og hvem definerer egentlig hva som er god fiskevelferd? Med stadig mer tekniske løsninger i oppdrettsnæringen er det viktig å ikke glemme biologien oppi alt dette. Det reiser seg noen etiske spørsmål man må ha tenkt godt gjennom, særlig for å ha et sunt syn på hvordan fiskeoppdrett skal gjennomføres fra egg til matfisk.

Fiskevelferd er et etisk spørsmål som må tas i betraktning når man driver med oppdrett. Fisken i et RAS-anlegg er utsatt for ulike stressfaktorer som blant annet redusert tilgang til oksygen, høy tetthet, eksponering for sykdommer og giftige avfallsstoffer. Hvis biofilteret ikke fungerer optimalt, kan det føre til høye nivåer av nitrogenforbindelser i vannet, som ammoniakk og nitritt. Dette kan føre til en økning i vannets pH-verdi, som kan være skadelig for fisken og påvirke deres helse og velferd negativt. Når man tar valget om å drive oppdrett på fisk, er det oppdretterne sitt ansvar å sørge for at fisken får de forholdene den fortjener. Ikke bare skal man ha et fokus på velferd på grunn av de positive innvirkningene dette gir for selskapets økonomi, men også fordi man har et ansvar overfor fisken som et levende vesen.

5.3.1 Suboptimalt biofilter

Hvordan påvirkes fiskevelferd- og helse?

Dersom et biofilter ikke fungerer optimalt, kan det føre til negative konsekvenser for fiskevelferden og -helsen i et RAS-anlegg. Biofilterets hovedfunksjon er å fjerne ammoniakk og nitritt fra vannet ved hjelp av en biologisk nedbrytning. Hvis biofilteret ikke fungerer som det skal, vil det føre til økt konsentrasjon av ammoniakk og nitritt i vannet, noe som kan skade fisken.

Ammoniakk er en giftig forbindelse som fisken utskiller gjennom gjellene. Høye konsentrasjoner av ammoniakk i vannet kan føre til skader på gjellene, noe som igjen vil påvirke fiskenes evne til å puste og ta opp oksygen. Nitritt er også giftig for fisk og kan føre til skader på sirkulasjonssystemet og hemme evnen til å ta opp oksygen.

Når fisken utsettes for høye konsentrasjoner av ammoniakk og nitritt over lengre tid, kan dette føre til kronisk stress og svekket immunsystem. Dette øker risikoen for sykdom og infeksjoner, som igjen kan føre til redusert vekst og dødelighet. Det er derfor viktig å opprettholde en stabil og god vannkvalitet i et RAS-anlegg ved å sørge for at biofilteret fungerer som det skal.

5.3.2 Fiskevelferd, et definisjonsspørsmål

Hva slags ansvar har vi som oppdrettere for å tilstrebe å ta vare på fisken og sørge for fiskens velferd, og hvordan defineres egentlig hva som er god fiskevelferd?

Ut fra etiske og filosofiske retningslinjer er det viktig å ta hensyn til fiskens velferd og helse i et RAS-anlegg. Det er tross alt fiskevelferden som legges til grunn når mattilsynet setter sine føringer for vannkvalitet i RAS-anlegget. Fisken i et RAS-anlegg lever i et kunstig menneskeskapt-miljø og kan være utsatt for stress og sykdommer på grunn av høy populasjonstetthet og begrenset plass. Fisken har rett til et godt liv, og det er vår plikt som oppdrettere å sørge for optimale forhold for fisken. Dette inkluderer blant annet god vannkvalitet som igjen er avhengig av en fungerende biofilterprosess. Vi må derfor ta ansvar for å sørge for at biofilteret fungerer optimalt og følge opp med regelmessig testing av vannkvaliteten for å sikre at fisken har gode forhold.

Når man skal svare på hva som er god fiskevelferd blir det litt mer komplisert. En vanlig beskrivelse ville nok vært at:

- God fiskevelferd kan defineres som at fisken har tilgang til optimale forhold som gir dem muligheten til å leve et liv som er fritt for smerte, stress og ubehag. Det handler om å gi fisken muligheten til å utføre naturlige adferdsmønstre i et kunstig miljø, og å ta hensyn til både fysiske og psykiske behov for å sikre at fisken ikke lider unødvendig under fangst.

For mange vil nok beskrivelsen over virke som en slags fasit, men *grunnet begrepet velferd sin subjektive natur*, kan det bli litt komplisert. Ville det ikke vært naturlig at man selv avgjør

sitt eget velferdsnivå når velferd er subjektivt? Det fisken selv definerer som god trivsel og velvære er vanskelig å si nøyaktig fordi fisken vil ha sin egne subjektive oppfatning av den virkeligheten den befinner seg i. Vi kan tilstrebe å skape et miljø vi tror og mener skaper god fiskevelferd, mer enn dette får vi ikke til. Dette er et tema som er viktig å reflektere rundt fordi det får fram alvoret av å drive oppdrett på levende organismer og ansvaret som medfølger.

6 Konklusjon

Basert på den omfattende litteraturstudien som er gjennomført, kan det konkluderes med at optimal filtreringsytelse i MBBR-systemer for RAS-anlegg avhenger av flere nøkkelfaktorer. Studien har identifisert driftsparametere, konstruksjon og driftsprosedyrer som de mest betydningsfulle faktorene.

Basert på litteraturstudie har vi valgt å komme med anbefalinger basert på de erfaringen vi har opparbeidet gjennom arbeidet med bacheloroppgave.

- Vi kommer med anbefalingen om å velge filtermediet K5 eller det nye filtermediet til anoxkaldnes, Z-MBBR. K5 anbefales basert på gode resultater som viser til TAN-fjerningsgrader opp mot 91,65%. Z-MBBR er et nytt spennende filtermedium som skal være i stand til å regulere tykkelsen på biofilm. Dette medfører økt kontroll over biofilmtykkelse, hvilket reduserer sannsynligheten for opphopning av organisk materiale, og krever lite rengjøring og vedlikehold
- Vi anbefaler å installere utstyr som kontinuerlig overvåker konsentrasjonen av TAN, nitritt og nitrat. Dette kan gi essensiell informasjon om nitrifikasjonsprosessen i biofilteret, samtidig som det gir tidlig varsel ved giftige konsentrasjonsmengder. Biofilteret er et dynamisk system som kontinuerlig krever overvåkning.

7 Referanseliste

- Antoniou, P., Hamilton, J., Koopman, B., Jain, R., Holloway, B., Lyberatos, G., & Svoronos, S. A. (2003). *Effect of temperature and pH on the effective maximum specific growth rate of nitrifying bacteria*. Environmental Pollution, 122(3), 303-310. Hentet fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313549090070M#aep-bibliography-id11>
- Ashkanani, A., Almomani, F., Khraisheh, M., Bhosale, R., Tawalbeh, M., & AlJaml, K. (2019). *Bio-carrier and operating temperature effect on ammonia removal from secondary wastewater effluents using moving bed biofilm reactor (MBBR)*. Science of The Total Environment, 692, 133425. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719333455?via%3Dihub>
- Averøy kommune. (2021). Smedvågen 2021 - Vedlegg 2 Skisseprosjekt [PDF]. Hentet fra https://www.averoy.kommune.no/_f/p1/ffc1f6a9c-b5eb-4088-be8a-636e17215f95/smedvagen-2021-vedlegg-2-skisseprosjekt-298232_1_1.PDF. Hentet 03.05.2023.
- Barwal, A., Chaudhary, R. *To study the performance of biocarriers in moving bed biofilm reactor (MBBR) technology and kinetics of biofilm for retrofitting the existing aerobic treatment systems: a review*. Rev Environ Sci Biotechnol 13, 285–299 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9333-7>
- Biesterfeld, S., G. Farmer, P. Russell, and L. Figueroa. 2003. *Effect of alkalinity type and concentration on nitrifying biofilm activity*. Water environment research 75, no. 3: 196-204. Hentet fra: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12837025/>
- Bolton, J., Tummala, A., Kapadia, C., & Dandamudi, M. (2006). *Procedure to quantify biofilm activity in carriers used in wastewater treatment systems*. Retrieved from https://engagedscholarship.csuohio.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1029&context=en_cbe_facpub
- Chen, S., Ling, J., & Blancheton, J.-P. (2006). *Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors*. Aquacultural Engineering, 34(3), 179-197. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860905001263#aep-abstract-id14>
- Di Trapani, D., Mannina, G., Torregrossa, M., & Viviani, G. (2008). *Hybrid moving bed biofilm reactors: a pilot plant experiment*. Water Science and Technology, 57(10), 1539-1544. Hentet fra:

<https://iwaponline.com/wst/article/57/10/1539/13666/Hybrid-moving-bed-biofilm-reactors-a-pilot-plant>

- Ells, T. C., & Hansen, L. T. (2006). *Strain and growth temperature influence Listeria spp. attachment to intact and cut cabbage*. *International Journal of Food Microbiology*, 111(1), 34-42. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.036.
- Fiskeribladet. (2020,7. mai). Fiskehelse, fiskevelferd og vannkvalitet i RAS. Hentet fra <https://www.fiskeribladet.no/teknisk/fiskehelse-fiskevelferd-og-vannkvalitet-i-ras/8-1-72763>. Hentet 23.03.2023.
- Fjellheim, A. J., Hess-Erga, O.-K., Attramadal, K., & Vadstein, O. (2016). *Resirkulering av vann i settefiskproduksjon: Bakgrunnshefte til kurs i resirkuleringsteknologi for settefiskproduksjon*. Utgave 2. hentet fra: https://folk.ntnu.no/skoge/diplom/prosjekt19/more-info-on-projects/RAS/7127-2017%20-%20RAS%20guide_NO_low.pdf

Grønmo, S. (2020). *Kvantitativ metode*. Store norske leksikon. Hentet fra:

https://snl.no/kvantitativ_metode

- Havforskningsinstituttet. (2023, 2. januar). *Landbaserte oppdrettsanlegg/lukkede anlegg*. <https://www.hi.no/hi/temasider/akvakultur/landbaserte-oppdrettsanlegg-lukkede-anlegg>
- Kumar, A., Kishor, K., & Khuntia, S. (1999). A Review of Biological Aerated Filters (BAFs) for Wastewater Treatment. Hentet fra https://www.researchgate.net/publication/236578241_A_Review_of_Biological_Aerated_Filters_BAFs_for_Wastewater_Treatment. Hentet 24.04.2023.
- Leiknes, T., & Ødegaard, H. (2001). *Moving Bed Biofilm Membrane Reactor (MBB-M-R): Characteristics and potentials of a hybrid process design for compact wastewater treatment plants*. *Water Science and Technology*, 43(1), 165-172. https://www.researchgate.net/publication/228483809_Moving_Bed_Biofilm_Membrane_Reactor_MBB-M-R_Characteristics_and_potentials_of_a_hybrid_process_design_for_compact_wastewater_treatment_plants
- Leiknes, T., & Ødegaard, H. (2001). *Moving Bed Biofilm Membrane Reactor (MBB-M-R): Characteristics and potentials of a hybrid process design for compact wastewater treatment plants*. *Water Science and Technology*, 43(1), 165-172. https://www.researchgate.net/publication/228483809_Moving_Bed_Biofilm_Membrane_Reactor_MBB-M-R_Characteristics_and_potentials_of_a_hybrid_process_design_for_compact_wastewater_treatment_plants

- Leyva-Díaz, J.C., Martín-Pascual, J. & Poyatos, J.M. *Moving bed biofilm reactor to treat wastewater*. Int. J. Environ. Sci. Technol. 14, 881–910 (2017).
<https://doi.org/10.1007/s13762-016-1169-y>
- Madan, S., Madan, R. & Hussain, A. *Advancement in biological wastewater treatment using hybrid moving bed biofilm reactor (MBBR): a review*. Appl Water Sci 12, 141 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01662-y>
- Michaud L, Blancheton JP, Bruni V & Piedrahita R. (2006). *Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters*. Aquacult Eng 34: 224–233.
- Myers, R.J.K. (1974). "Temperature effects on ammonification and nitrification in a tropical soil." Soil Biology and Biochemistry, 7(6), 421-427. Hentet fra:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038071775900036>
- Norsk Røyeforum. (2023, 3.mai). *Typer oppdrettsanlegg*.
<https://royeforum.no/oppdrett/ras/>
- Norsk Vann. (U.Å). *Vannbehandling*. Hentet fra <https://norskvann.no/vannforsyning-og-drikkevann/vannbehandling/>. Hentet 12.04.2023.
- Rojas-Tirado, P., Aalto, S. L., Åtland, Å., & Letelier-Gordo, C. (2021). *Biofilters are potential hotspots for H2S production in brackish and marine water RAS*. *Science of The Total Environment*, 536, 736490. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.736490.
- Rusten, B., Eikebrokk, B., Ulgenes, Y., & Lygren, E. (2006). Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Water Science and Technology*, 34(3), 322-331. hentet fra:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860905000531?via%3Dihub>
- Sander, K. (2022). *Forskningsdesign*. Hentet fra Estudie.no-nettstedet:
<https://estudie.no/hva-er-forskningsdesign/>
- Schubert, R. L., Boulestreau, M., Christensson, M., & Lesjean, B. (2013). *Novel wastewater process scheme for maximum COD extraction: high load MBBR followed by microsieve filtration*. In 9th International Conference on Biofilm Reactors, May 28-31, Paris, France.
- Shitu, A., Zhu, S., Qi, W., Tadda, M. A., Liu, D., & Ye, Z. (2020). *Performance of novel sponge biocarrier in MBBR treating recirculating aquaculture systems wastewater: Microbial community and kinetic study*. *Journal of Environmental Management*, 275, 111264. Retrieved from:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720311889?via%3Dihub>
- Skoge, J., Gundersen, M., Steen, M., & Øverli, Ø. (2017). *RAS-guide: En guide til etablering og drift av RAS-anlegg*. Hentet fra

https://folk.ntnu.no/skoge/diplom/prosjekt19/more-info-on-projects/RAS/7127-2017%20-%20RAS%20guide_NO_low.pdf?fbclid=IwAR0lycYyYaGucquCWmNe94_uWLg2I3dOAt4GLN4TWFt8mAnWwwRRyph1V5Q. Hentet 24.04.2023.

- Skretting. (u.å). *Recirculating Aquaculture Systems (RAS)*.
<https://www.skretting.com/no/innovasjon/vaare-innovasjoner/ras/>

- Wang, X. J., Xia, S. Q., Chen, L., Zhao, J. F., Renault, N. J., & Chovelon, J. M. (2006). *Nutrients removal from municipal wastewater by chemical precipitation in a moving bed biofilm reactor*. *Water Research*, 41(4), 824-828. Retrieved from:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511305004277?via%3Dihub>

- Weiss JS, Alvarez M, Tang C, Horvath RW, Stahl JF (2005) *Evaluation of moving bed biofilm reactor technology for enhancing Nitrogen removal in a stabilization pond treatment plant*. *Water Environ Fed (Weftec)* 14:2085–2102 Hentet fra:
<https://d3pcsg2wj9izr.cloudfront.net/files/384/articles/16315/2.pdf>

- Ø. Hilmarsen, E. A. H., H. Brendeløkken, R. Høyli, E.S. Hognes. (2018). *Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks - matfisk og post-smolt* (OC2018 A-033). Sintef <https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/bitstream/handle/11250/2609304/svendsen2019.pdf?sequence=1>

