NTNU
Det skapande universitetet

Marint RAS-anlegg

For produksjon av laks med gjenbruk av ressursar

Erlend Eide

Marine Coastal Development
Innlevert: juni 2017
Hovudrettleiar: Kjell Inge Reitan, IBI
Medveiledar: Kari Attramadal, IBI

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Institutt for biologi

Forord

Denne hovedfagsoppgåva vart gjennomført ved NTNU fiskeri og havbruk i Trondheim.

Som ein av dei få teknologer på Sealab med hovedfagsoppgåve i biologi retter eg ein stor takk til min hovedveileiar Kjell Inge Reitan, som lar meg skrive om det eg brenn for. Han har vore dagleg tilgjengleg for mykje spørsmål og ikkje minst latt meg skriva på eiga morsmål. Takk!

Utan min faglege veileiar Kari Attramadal hadde eg alder fått fordjupa meg i RAS teknologi, ei heller skrive om den. Ditt engasjement og driv for RAS har satt sine spor på meg og forhåpentlegvis bidratt til at eg kan gå inn i næringa litt meir fremtidsretta.

Ein stor takk går også til følgande personar og instutisjonar som har bidratt:

1. Ole Gabriel Kverneland, salgs konsulent Aqua Group ASA landbasert, har gitt gode råd for produksjonsoptimalisering innan RAS.
2. EWOS AS og deira EGI-program har gjort det mogleg å forutsei ein nøyaktig produksjonsplan.
3. Anders Jan Rød, produksjonssjef settefisk og Erik Sørheim, produksjonssjef matfisk i Eide Fjordbruk AS. Dei har gjeve gode råd innanføre fiskehelsekrav og produksjonsplanlegging for oppdrett av laks.
4. Bjarte Landro og Sterner AS som har gjeve tabeller for berekning av filterstørrelse .
5. Searis AS som har bidratt stort til å finteikne skisser og illustrasjonar til konseptet.
6. ERKO seafood AS som har stått disponibel til vassprøvetaking på RAS anlegget deira på Stord.

Sist men ikkje minst rettar eg ein stor takk til min kjæraste Anne Kristin samt min familie som har hjelpe og motivert meg gjennom masteren.

Samandrag

Dei siste åra har produksjonskostnaden i norsk oppdrettsnæring for laks auka som eit resultat av miljøutfordringane næringa står overfor. Mangel på areal, lakselus, sjukdom, rømming og utslepp har tvinga myndigheitene til å stoppe veksten, og ny teknologi/nye driftsformer er nødvendig for å skape vekst i næringa.
Resirkulerande akvakultursystem (RAS) gjer det mogleg å produsere laks utan påverknad på miljøparametera næringa slit med. Lågt spedevassforbruk fører til auka stabilitet og kontroll samtidig som avfallsstraumane er meir konsentrerte og lettare å utvinne.
Denne masteroppgåva har sett på moglegheita for å bruke RAS-teknologi til å produsere 10 000 tonn laks årleg i lukka flytande kar. Produksjonsplan, design, kalkulering av vassbehandlingskomponentar og gjenbruk av ressursar er utarbeidd for anlegget som er kalla HavRAS.

Bruken av både land og sjøareal er noko som er unikt for HavRAS, da det gjer det mogleg å ta i bruk nye områder for oppdrett av laks. Det vert brukt stabilt høg temperatur på 14 °C og redusert salinitet til 12 ppt. gjennom heile året, som optimaliserer vekst og fiskehelse.
Batchbroduksjon med innsett kvar månad effektiviserer produksjon per karvolum og skaper stabilitet for vassbehandlingskomponentar. HavRAS vil med totalt seks RAS-system og 12 flytande kar oppnå ein årleg produksjon på ca 10 000 tonn, avhengig av dødelegheit. 150 000 fisk på 300 gram vert sett inn kvar månad og kjem ut av anlegget 12 md. seinare med snittvekt på 5.8 kg. Dette gjev eit månadleg uttak på 823.7 tonn ved 5.7% dødelegheit.

Delt avløp aukar opphaldstida til vatnet i kar ved hjelp av karintern lufting og oksygenering. Dette optimaliserer CO_2- og O_2-verdiar i kar, samtidig som det reduserer flow til land.

Mikroalgeproduksjon reinsar vatnet for oppløyst nitrogen og karbon, samtidig som den produserer oksygen og algebiomasse med essensielle feittsyrer. Algene vil ikkje kunne ta opp 100% av oppløyst nitrogenmengde, då karbon er ein avgrensa ressurs i algeproduksjon av Phaeodactylum tricornutum i avløpsvatnet for dette systemet. Likevel vil det potensielt kunne produserast 19.1 tonn mikroalger dagleg i tørrvekt ved maks opptak av karbon. Dagens teknologi er ikkje effektiv nok, då det ved bruk av fotobioreaktorar krevst enorme areal for full utnytting.

Abstract

In the latest years, the industry has faced an increased production cost due to environmental problems. Lack of area, sea lice parasites, illness, escaped farmed fish and emissions from the farms to the seafloor have forced the government to stop further increase of salmon production.

Recirculating aquaculture system (RAS) has the ability to produce fully grown salmon without affecting the environmental parameters the industry is grappling with. A low degree of exchange water leads to increased stability and control, while wastewater streams are more concentrated and easier to extract.

This master thesis has looked at the possibility of using RAS technology to produce 10 000 tonnes of salmon annually in closed floating fishtanks. A production plan, a design of the fish farm, calculations of water treatment components and reuse of resources have been prepared and analysed. The fish farm concept in this thesis is called HavRAS.

The use of both land and sea makes it possible to use new areas for producing salmon. HavRAS optimizes production and fish health by having 14 °C temperature and reduced salinity at 12 ppt. throughout the year. Batch production on a monthly basis maximizes productivity per tank, as well as creating the stable environment needed by water treatment components such as biological filters.

With a total of 6 RAS systems and 12 floating fishtanks, HavRAS will achieve an annual output of approximately 10 000 tonnes, depending on mortality. 150 000 fish at 300 grams enter the fish farm each month and are fully grown 12 months later with an average weight of 5.8 kg. This gives a monthly slaughtered biomass of 823.7 tonnes at 5.7% mortality.

Internal aeration and oxygenation increases the residence time of water in the fishtanks. This optimizes CO_2 and O_2 values in addition to reducing effluent water flow to the land based RAS.

Microalgae production cleans the water for dissolved nitrogen and carbon. In this process microalgae produce oxygen and algae biomass with essential fatty acids. The algae will not be able to absorb 100% of the dissolved nitrogen, as carbon is a limited resource in the production of the algae, Phaeodactylum tricornutum. Nevertheless, HavRAS has the potential to produce 19.1 tonnes microalgae dry weight a day. Due to the high production cost and the large area needed, the production of microalgae is inefficient with today's technology.

Innhold

1 Introduksjon **1**

1.1 Bakgrunn for oppgåva 1
1.2 Resirkuleringsteknologi 2
1.3 Produksjonsplanlegging 4
1.4 Oppbygging av RAS 4
1.5 Mål 8

2 Material og metode **9**

2.1 Produksjonsplan 9
2.2 Dimensjonering og design av HavRAS 10
2.3 Kalkulering av maksimal fôrbelastning (kg/dag) 10
2.4 Bestem dagleg vassutskiftning (% av systemvolum) 10
2.5 Oppsett av grenseverdiar til vasskvalitet 11
2.6 TAN produksjon 11
2.7 Dimensjonering av biofilter 12
2.8 Kalkulering av CO_2 luftar 13
2.9 Kalkulering av oksygenbehov 14
2.10 Kalkulering av filter 14
2.11 Registrering av vasskvalitetsparameter i RAS 15
2.12 Kalkulere mikroalgepotensial 16

3 Resultat **17**

3.1 Produksjonsplan 17
3.2 Batchproduksjon 18
3.3 Design 19
3.4 Utrekning av vassbehandlingskomponentar 23
3.4.1 Biofilter 24
3.4.2 CO_2-lufting 25
3.5 Oksygentilsetning 26
3.5.1 Partikkelfiltrering 27
3.6 Gjenbruk av ressursar 28

4 Diskusjon **30**

4.1 Produksjonsplanlegging 30
4.2 Design 31
4.3 Energi og økonomi 32
4.4 Vassbehandlingskomponentar 33
4.5 Gjenbruk av ressursar 34

5 Konklusjon **35**

Vedlegg **i**

A Tabell frå Sterner til utrekning av filter i

B Produksjonsplan per batch ii

C Akkumulert produksjonsplan iii

Tabeller

1 Rettleiande vassverdiar frå mattilsynet[33] 4
2 Parameter som vart brukt i EWOS EGI for utrekning av produksjonsplan 10
3 Parameter for design av anlegg 10
4 Rettleiande vassverdiar[33] 11
5 Parameter for kalkulering av CO_2 14
6 Parameter til mikroalgeanlegg 16
7 Utrekning av volumbehov til biofilter 24
8 Flow gjennom biofiltera 25
9 CO_2-luftar dimensjonar 26
10 Oksygenforbruk 26
11 Karintern filter 27
12 RAS filter 27
13 Designparameter mikroalgeanlegg 28

Figurer

1 Dei siste åra har produksjonen stabilisert seg på rundt 1.3 millionar tonn, grunna miljøutfordringar i næringa [21] 1
2 Fisken si toleransegrense (Modernifisert frå Cox, Healy and More 1976[9]) 3
3 Oversikt over vassbehandlingsområde i RAS. Blått = inntaksvatn, grønt = RAS-sløyfe, gult = slamhandtering 5
4 Figur t.v: Konsentrasjon av NH_4^+ og NH_3 er avhengig av pH. Figur t.h: Indikerer nitrifisering frå ammonium til nitrat 6
5 TAN-konsentrasjon (Sn) 12
6 Val av løftehøgde og G/L[48] 13
7 Val av TE 14
8 Akkumulert produksjonsplan dei 2 fyrste åra 17
9 Produksjonsplan for ein batch 18
10 Oversikt over batcher dei tolv fyrste månadane etter oppstart 19
11 HavRAS sett ovanfrå 20
12 Fiskekar sett frå sida 20
13 Flytting av fisk til større kar 20
14 Oversikt vassbehandlingskomponentar 21
15 Dei fire avløpa frå fiskekara 22
16 Integrert vassreinsing i karvegg 22
17 VBK-skisse av RAS-system(a) 23
18 Mikroalgepotensial i dei ulike RAS-systema 28

Begrepsforklaringer

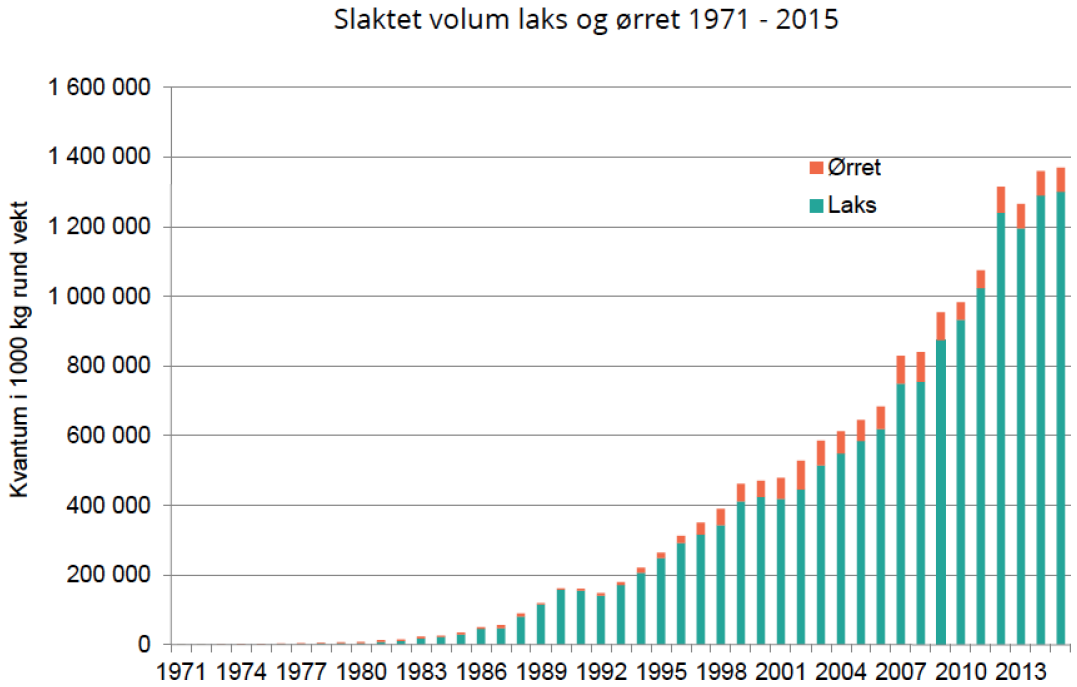
AOB	Ammoniumoksiderande bakteriar
C	Karbon
CO_2	Karbondioksid
DHA	Essensiell fleirumetta feittsyre
DIN	Oppløyst inorganisk nitrogen
DOC	Oppløyst organisk karbon
DW	Tørrvekt
EGI	Vekstmodell EWOS
EPA	Essensiell fleirumetta feittsyre
FCR	Fôrkonverteringsrate
FTS	Gjennomstrøymingsanlegg
G/L	Gass-væske-forhold
HCO_3	Bikarbonat
HLR	Hydraulic loading rate
MA	Mikroalgeanlegg
MBBR	Moving Bed Biofilm Reactor
MTB	Maksimal Tillat Biomasse
N	Nitrogen
N/C	Nitrogen-Karbon-forhold
NH_3	Ammoniakk
NH_4^+	Ammonium
NOB	Nitrittoksiderande bakteriar
O_2	Oksygen
PBR	Fotobioreaktor
RAS	Resirkulerande akvakultursystem
SFR	Spesifikk fôringsrate
SGR	Spesifikk dagleg vekstrate
SS	Partikler
TAN	Total ammoniakk nitrogen
TE	Behandlingseffektivitet
TOC	Total organisk karbon
TSS	Total mengde suspendert stoff
VB	Vassbehandling
VBK	Vassbehandlingskomponentar

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn for oppgåva

Oppdrett av laks starta i 1960-åra som ei attåtnæring for bønder rundt om dei norske fjordar. Sidan den gong har industrien vore gjennom ein formidabel vekst og bidratt til at sjømat i dag er ei av Noregs største eksportindustrier. I 2015 vart det produsert 1.3 millionar tonn laks i Noreg (Figur 1) [21]. Estimat gjort i 2012 konkluderer med at Noreg har potensiale for å kunne produsere 5 millionar tonn laks årleg innan 2050 [10]. For å nå ei slik målsetting, krevst det ein årleg vekst på rundt 4.9%.
Dei siste åra har produksjonskostnaden auka. Dette er eit resultat av miljøutfordringane næringa står overfor. Mangel på areal, lakselus, sjukdom, rømming og utslepp tvingar myndigheitene til å stoppe veksten. Det har resultert i ei stabilisering av produksjonen på rundt 1.3 millionar tonn laks årleg (Figur 1).

For å kunne auke produksjonen og utnytte potensialet i næringa, er det behov for ny teknologi/nye driftsformer som kan gje nye produksjonsområde anten offshore, lukka i roleg farvatn eller på land. På grunn av dette innførte regjeringa i 2015 ordninga for utviklingsløyve/utviklingskonsesjonar. Utviklingsløyva er særløyve som kan tildelast prosjekt som inneber betydeleg innovasjon og betydelege investeringar. Formålet er å legge til rette for utvikling av teknologi som kan bidra til å løyse ei eller fleire av dei miljø- og arealutfordringane som akvakulturnæringa står overfor [13].



Figur 1: Dei siste åra har produksjonen stabilisert seg på rundt 1.3 millionar tonn, grunna miljøutfordringar i næringa [21]

Utviklingskonsesjonsordninga har medverka til at ei innovasjonsbølgje slår innover næringa. Det er planar om fleire titals nye og framtidsretta prosjekt som skal kunne skape berekraftig vekst ved å hjelpe mot ei eller fleire av utfordringane i næringa [14]. Likevel er det ingen av konsepta per 01.06.2016 som kan karakteriserast som optimale, der alle utfordringane skal løysast. Offshorekonsepta vil skape nye areal, men vil ifølge ei lusespreiingsmodellering gjort av Havforskingsinstituttet (HI), forverre spreiing av lus, som per i dag er den største utfordringa [17]. Nedsenkbare system vil minimere lusepåslag ved å unngå dei øvste vassmassane, der ein i hovudsak finn lusa, men sjukdom og utslepp er ein ikkje reservert mot. Semilukka system håper ein hjelper mot lus og utslepp, men sjølv med 28 meter djupt vassinntak opplevde Marine Harvest lusepåslag i sitt semilukka anlegg[19]. Resirkuleringsteknologi for akvakultur (RAS) gjer det derimot mogleg å kontrollere alle miljøparameterane næringa slit med ved produksjon av matfisk[24].

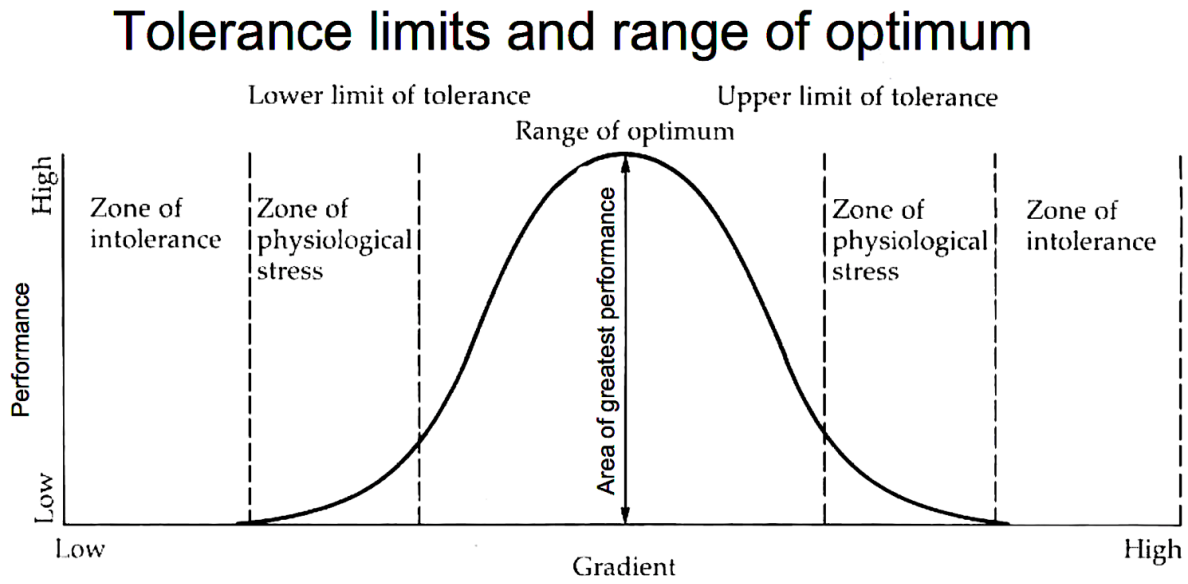
1.2 Resirkuleringsteknologi

RAS er ein type lukka anlegg der avløpsvatn frå fiskekar vert reinsa og gjenbrukt [29]. Avløpsvatnet går gjennom ei resirkuleringssløyfe som består av eit sett vassbehandlingskomponentar (VBK) som reinsar avløpsvatnet for avfallsstoff og tilset tilstrekkeleg med oksygen for at det skal kunne returnerast til fisken. RAS brukar 90-99.9% mindre spedevatn enn eit gjennomstrøymingsanlegg (FTS) og er dermed mindre sårbar for ytre miljøsvingingar i spedevasskjelda[52]. Lågt spedevassforbruk fører til auka stabilitet og kontroll, samtidig som avfallstraumen er meir konsentrert og lettare å utvinne.
Sjukdom, parasittar, alger og maneter unngår ein ved hjelp av filter og desinfeksjon i spedevatn. RAS-sløyfa kan sikrast ytterlegare ved å modne vassmiljøet i resirkuleringssløyfa for gode bakteriar i form av k-seleksjon[3]. Ein sterk biologisk barriere oppstår då mot dei r-selekterte sjukdomsbakteriane i motsetning til i ei konvensjonell desinfiserande RAS-sløyfe [3].

RAS har erstatta ein stadig større del av gjennomstrøymingsanlegga til bruk i settefiskproduksjon, då den gjer det mogleg med stor biomasseproduksjon på liten vassressurs[23]. I dag er RAS-anlegg vanlegvis brukt til settefiskproduksjon, der fisken vert sett ut i sjø etter smoltifisering. På grunn av lusepresset som har oppstått i matfiskproduksjonen har enkelte byrja med postsmoltproduksjon på land(pers.kom Kverneland, Akva Group). Etter smoltifisering vert denne fisken då halden i kar på land tilsett sjøvatn. Ein ser likevel at areal vert ein avgrensande faktor i postsmoltproduksjonen. Skal ein auke smoltstørrelsen frå 100 gram til 1000 gram, vil ein måtte trenge 10 gonger større volum for smolten enn i dag. Oppdrett av laks er basert på tettleikskrav for fisken, og landbasert oppdrett brukar opp til 75 $\frac{kg}{m^3}$ (pers.kom. Kverneland. Akva Group). Forsking gjort av NOFIMA indikerer at ved hjelp av RAS-teknologi, kan fisk halde inntil 100 $\frac{kg}{m^3}$ utan reduksjon i

fiskehelse[18]. Skal ein derimot drive med landbasert oppdrett av matfisk til 5 kg, gjev det eit volumbehov på land 50 gonger større enn i dag. Med tanke på at $\frac{3}{4}$ av det totale arealet i eit RAS-anlegg består av fiskekar (pers.kom. Kverneland, Akva Group), vil enorme mengder verdifullt kystareal gå tapt til fiskekar. Plasserast fiskekara flytande i sjø og vassbehandlingsanlegg på land vil ein spare om lag 75% landareal, samtidig som store mengder nye areal opnar seg opp langs dei norske fjordane.

Ved design av RAS-anlegg er det avgjerande å dimensjonere vassbehandlingskomponentar til riktig størrelse. Dersom dei er underdimensjonerte, vil avfallstoff kunne bli oppkonsentrert og skape suboptimale forhold som reduserer fiskehelsa. For fisken vil tilpassing til suboptimale forhold kreve energi som kunne vore brukt på vekst. I tillegg til ekstremverdiar av vassparameterar vil også hyppige variasjonar i vasskvalitet føre til unødvendig energibruk. Det ideelle for fisken vil vere å ligge innafor optimalt område, skissert som optimum i Figur 2. Her brukar fisken minimalt med energi på tilpassing av tilhøve, samtidig som fiskehelse og vekst vert best mogleg[9].



Figur 2: Fisken si toleransegrense (Modernifisert frå Cox, Healy and More 1976[9])

Mattilsynet har gjennom forsøk og erfaring satt rettleiande vassparameterkrav for laks i gjennomstrøymingsanlegg basert på §21 i Akvakulturforskrifta med intensjon om å ivareta fiskehelse[33]. Desse verdiane er oppgitt i Tabell 1 og er rettleiande i dimensjonering av anlegg og VBK i RAS-anlegg.

Tabell 1: Rettleiande vassverdiar frå mattilsynet[33]

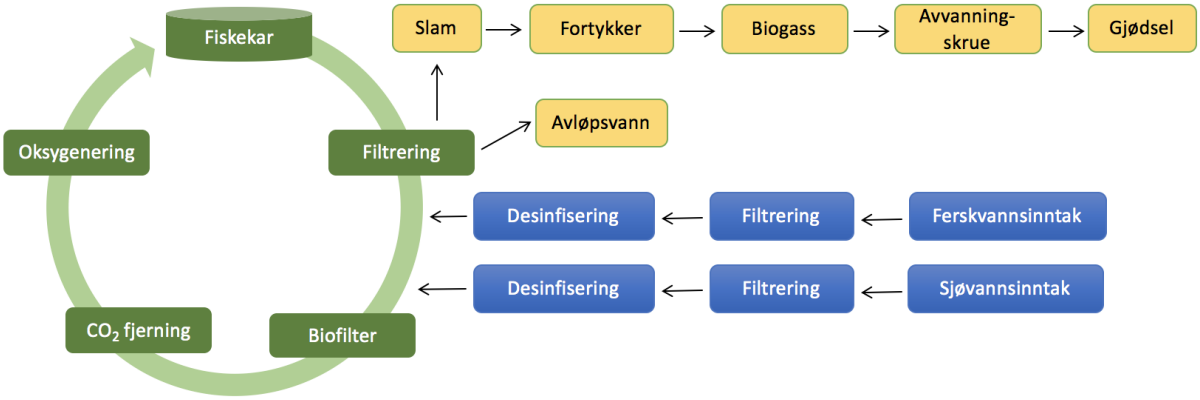
Anbefalte vassverdier	
Vassparameter	**Verdi**
pH innløp	6.2-6.8
Oksygenmetning i kar	Ikkje over 100%
Oksygenmetning innløp til kar	Over 90%, maks 120%
Oksygenmetning avløpsvatn	80%
CO_2	Under 15 $\frac{mg}{L}$
Total organisk matriale	Under 10 $\frac{mg}{L}$
Aluminium (labilt)	Under 5 $\frac{\mu g}{L}$
Aluminium (gjeller)	Ikkje over 20 mikrogram/gram gjelle tørrvekt før utsett i sjø
Nitritt, ferskvatn	Under 0.1 $\frac{mg}{L}$
Nitritt, saltvatn	Under 0.5 $\frac{mg}{L}$
Ammonium, NH_4^+	Under 2 $\frac{mg}{L}$

1.3 Produksjonsplanlegging

Det viktigaste verktøyet for dimensjonering av VBK er ein god og detaljert produksjonsplan. Den oppgir mellom anna ståande biomasse, snittvekt og nødvendig fôrmengde. Ut frå dette kan ein fastsette maks fôring i løpet av ein dag, også kjend som maksbelastning av RAS-anlegg. Det er denne maksbelastninga som avgjer størrelsen på VBK[30].
For å optimalisere produksjonsvolum, set ein inn fleire fiskebatcher årleg, noko som aukar stabilitet, effektivitet og produksjon i anlegget. Med andre ord så aukar vasskvalitetsstabiliteten i takt med produksjonseffektiviteten (pers.kom Kverneland Akva group).

1.4 Oppbygging av RAS

Vassbehandlingsområde i RAS kan delast inn i: inntaksvatn, resirkuleringssløyfe, og slamhandtering. Figur 3 viser VBK som trengs i dei tre ulike delane som er skilt med forskjellige fargar [30]. Antall og type VBK varierar etter spedevassbehov og reinsekrav. Figur 3 viser RAS-anlegg der det er mogleg å justera salinitet ved både fersk- og saltvassinntak.



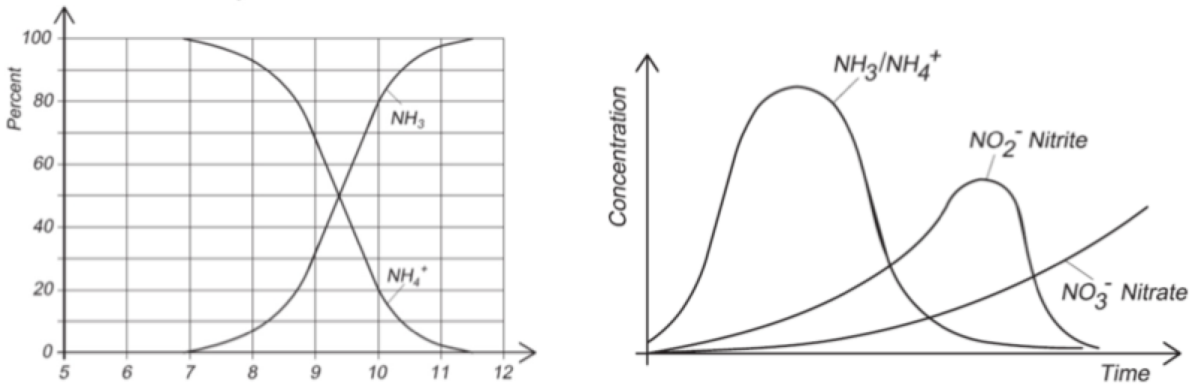
Figur 3: Oversikt over vassbehandlingsområde i RAS. Blått = inntaksvatn, grønt = RAS-sløyfe, gult = slamhandtering

Laks er ein anadrom art, det vil seie at han startar livet sitt i ferskvatn før han vandrar ut i havet for å beite etter smoltifiseringa [38]. Dette betyr ikkje at laks må opphalde seg i saltvatn for å bli fullvaksen, men er basert på at tilgangen på mat er mykje større i havet. Oppdrett av laks kan utførast både i fersk-, brakk- eller saltvatn [36]. Laks tilpassar seg ved hjelp av osmoregulering. Fisken tilpassar seg ionenivået til miljøet han oppheld seg i ved å aktivt skille ut mykje vatn i ferskvassomgjevnader, og aktivt drikke mykje vatn i salte omgjevnader[35]. Fisken sjølv har lågare osmolalitet enn sjøvatn og høgare enn ferskvatn. Forsking gjort av NOFIMA viser at redusert salinitet i form av brakkvatn (12 ppt.) er fordelaktig med tanke på fôrkonverteringsrate (FCR), vekst, dødelegheit og slimlag[5]. I tillegg har brakkvatn fordel av at VBK har høgare behandlingseffektivitet (TE) samanlikna med høgare salinitet[5]. På grunn av dette er det fleire og fleire RAS som brukar redusert salinitet i postsmoltproduksjon.

Partiklar blir filtrert ut både i RAS-sløyfa og i inntaksvatnet for å oppretthalde TE av andre VBK. Filtrering skal komme så tidleg som mogleg etter fiskekar for å unngå oppknusing av partiklar [30].
I RAS-anlegg er trommelfilter mest vanleg til partikkelreinsing, då det er sjølvreinsande ved hjelp av tilbakespyling på filterduk.

I RAS akkumulerer total ammoniakk nitrogen (TAN) konsentrasjon som følgje av høg gjenbruk av vatn. TAN består av ei likevekt mellom ammonium (NH_4^+) og ammoniakk (NH_3). Andelen ammonium og ammoniakk varierer med pH. På grunn av likevekta, vil reduksjonen av den eine auke den andre (sjå Figur 4). I akvakultur er NH_3 mest giftig for fisken og må difor haldast så låg som mogleg[30].

Det finst fleire løysingar for å fjerne TAN, men innan akvakultur er det biologisk fjerning av TAN som er vanleg. Bakteriar vert brukt til å omdanne ammonium til nitritt (ammoniakkoksiderande bakteriar (AOB)) og deretter frå nitritt til nitrat (nitrittoksiderande bakteriar (NOB)). Desse to prosessane finn stad i biofilter og vert kalla nitrifikasjon.



Figur 4: Figur t.v: Konsentrasjon av NH_4^+ og NH_3 er avhengig av pH. Figur t.h: Indikerer nitrifisering frå ammonium til nitrat

Begge prosessane er aerobe, der oksygen (O_2) er nødvendig. I tillegg brukar dei nitrifiserande bakteriane CO_2 som karbonkjelde[16]. Forsøk har vist at bakteriane i biofilter kan stå for mellom 8-21% av CO_2 fjerninga[51].

$\frac{2}{3}$ av totalt nitrogenutslepp frå laks vert oppløyst i vatn og akkumulerer i system. Eit biofilter omgjer ammonium og ammoniakk til nitrat som har anbefalt maksimalverdi på mellom 150-350 $\frac{mg}{L}$ for laks[43]. Ved normal resirkuleringsgrad på $\frac{400 \text{ L spedevatn}}{\text{kg fôr}}$ sørgjer spedevatn for at nitratverdiane vert haldne akseptable ved utslepp av oppløyst nitrat i avløpsvatnet.

Fisk og heterotrofe bakteriar konsumerer organisk materiale og produserer karbondioksid gjennom respirasjon. CO_2 vil derfor akkumulere i eit RAS-anlegg. Mattilysnet anbefalar ikkje overstige 15 $\frac{mg}{L}$ CO_2, da for høge CO_2 verdiar vil skape suboptimale forhold for fisk og dermed redusere vekst[33].
Auka CO_2-verdiar i vassmiljø har hovudsakleg to innverknader på RAS:

1. Auka CO_2-verdi forhindrar at fisk skil ut CO_2 og HCO_3 som gjev pH-reduksjon i blodet. Lågare pH-nivå i blodet gjer det vanskelegare for fisken å ta opp oksygen, då CO_2 bind seg lettare [26].

2. Høg CO_2 over tid vil redusere pH i vassmiljø og dermed redusere nitrifiserings-effektivitet til biofilter. Dette kan føre til opphoping av for høge TAN-verdiar, som reduserer fiskehelsa[26].

CO_2-luftarar (luftarar), står for fjerning av CO_2 frå vatnet. Det er fleire løysingar for lufting, men bruk av kolonnelufting, der vasstraumen vert pumpa til gitt fallhøgde og spreidd over areal for så å gå motstraums mot store mengder luft, er mest vanleg. Lufting vert brukt både i vassbehandlingsavdeling og internt i kar ved stor tettleik eller ved stort karvolum[30].

Oksygenering er alltid den siste VBK før vatnet vert tilført fiskekara, og bør tilsetjast så tett opptil kar som mogleg for å maksimere effekten av gitt metning (pers.kom. Anders Jan Rød, Produksjonssjef settefisk Eide Fjordbruk). For å kunne produsere fisk i industriell skala med tettleik opp mot 75 $\frac{kg}{m^3}$, er det nødvendig å overmette vatnet med oksygen for å ha tilfredsstillande oksygennivå i avløp. Det er ikkje uvanleg at settefiskanlegg har metning opp mot 200% i innløp. Forsøk gjort av Sintef Fiskeri og Havbruk indikerer at sjølv ved 250% metning i innløp, vil metninga forbrukast med det same den når fiskekaret, og dermed ikkje utgjere noko risiko for fisken [7].

Fotoautotrofe mikroalger kan inkluderast i eit RAS-system for å ta opp oppløyste næringsstoff som biofiltera ikkje tar hand om. Algene brukar CO_2 og lysenergi som råstoff i fotosyntesen og tar opp nitrogen til celleveksten sin (proteinsyntese). Dei kan difor ta opp CO_2 og uorganisk nitrogen for å bruke det til å vekse. Algene vil då reinse vatnet for desse komponentane i tillegg til å produsere O_2. Algebiomasse er ein marin biomasse som har høgt innhald av dei essensielle feittsyrene EPA og DHA og kan vere eit interessant råstoff for fiskefôr [22].

1.5 Mål

Hovedmål

Denne masteroppgåva skal karakterisere moglegheita for å bruke RAS til å produsere laks i lukka flytande kar. Eit case med 10 000 tonn årleg produksjon er valgt da dette tilsvarar eit stort og realistisk anlegg. Dette skal gjerast ved å beskrive følgjande delmål.

Delmål

1. **Utvikle produksjonsplan:**
   Optimalisere produksjon for å minimere areal- og volumbruk, samtidig som effektivisering fører til stabilisering av vasskvalitet.

2. **Designe anlegg:**
   Optimalisere design for å kunne drive fullskalaproduksjon utan at det skal kunne gå utover fiskehelsa. Bruk av delt vasstraum for å effektivisere produksjon på ein biologisk, teknologisk og økonomisk måte. Bruk av både land- og sjøareal for å optimalisere anlegg med omsyn til salinitet, vassbehandling og arealbruk.

3. **Dimensjonere VBK:**
   Bruke rettleiande vassverdiar frå mattilsynet for å dimensjonere VBK der sikring av fiskehelsa står i sentrum.

4. **Sjå moglegheit for opptak av oppløyst nitrogen og karbon:**
   Måle avfallsstoffa nitrogen og karbon ved hjelp av vassprøvetaking på eit kommersielt RAS-anlegg for postsmoltproduksjon. Ut frå dette skal moglegheita for å dyrke alger på karbon- og nitrogenressursane i RAS beskrives.

2 Material og metode

Denne masteroppgåva er gjennomført ved hjelp av litteraturstudium, innhenting av data og parameterisering gjennom intervju av spesialistar på ulike fagområde, for å dimensjonere og designe anlegget (heretter kalla HavRAS). Følgjande oppsett er utarbeidd for dimensjonering og design av HavRAS[51]:

1. Utvikle produksjonsplan
2. Dimensjonere og designe HavRAS
3. Kalkulere maksimal fôrbelastning (kg/dag)
4. Bestemme dagleg vassutskifting (% av systemvolum)
5. Oppsett av grenseverdiar til vasskvalitet
6. Kalkulere dagleg TAN-produksjon
7. Dimensjonere biofilter
8. Kalkulere CO_2-luftar
9. Kalkulere oksygenbehov
10. Justere filter til flow og reinsekrav
11. Registrere vasskvalitetsparameter i RAS
12. Kalkulere mikroalgepotensiale

2.1 Produksjonsplan

Produksjonsplanverktøyet EWOS Growth Index(EGI) er brukt for å skape ein mest mogleg realistisk og nøyaktig produksjonsplan. Dette programmet er utvikla av fôrselskapet EWOS og vert brukt til biomasseprediksjon for kundar. Programmet kalkulerer fôrfaktor (FCR), spesifikk dagleg vekstrate (SGR), dagleg fôringsrate (SFR) og biomasse fisk i anlegget ut frå parameterane i Tabell 2. FCR, SGR og SFR er alle viktige for dimensjonering av HavRAS, då dei påverkar produksjonen av avfallsstoff i systemet.

Tabell 2: Parameter som vart brukt i EWOS EGI for utrekning av produksjonsplan

Parameter til EWOS EGI	
Viktige parmater	**Verdi**
Temperatur	14 °C kontinuerlig
Antall batcher	12 batcher ($2 \cdot 6$ batcher)
Vekt innsett	300 gram
Antall fisk insett	150 000 stykk
Ønsket slaktevekt	5-6 kg (totalt 12 md. i anlegg)
Årleg produksjon	10 000 tonn
Dødlegheit	5.7%

2.2 Dimensjonering og design av HavRAS

Ut frå designparameterane i Tabell 3 er teikneprogrammet Blender brukt i samråd med Searis AS for å teikne anlegget. Programmet Photoshop og Keynote er i etterkant brukt for å sette saman figurar til illustrasjonar av HavRAS.

Tabell 3: Parameter for design av anlegg

Designparameter	
Viktige parmater	**Verdi**
Maks tettleik	$75 \frac{kg}{m^3}$
Forhold diameter: høyde fiskekar	2.5 : 1
Antall flytende kar	12
Antall RAS system	6
Avløp	Split loop med karintern rensing og landrensing
VBK RAS	Filter, CO_2 lufter, biofilter og O_2
Inntaksvatn	Ferskt- og salt-vatninntak med filter og UV desinfeksjon

2.3 Kalkulering av maksimal fôrbelastning (kg/dag)

Det som bestemmer størrelse på VBK er maks fôrbelastning på kvart RAS-system. Maks dagleg fôrbelastning vert rekna ut ved følgjande formel[30]:

$$\text{Maks dagleg fôrbelastning} = \text{Biomasse (kg)} \cdot \text{SGR} \tag{1}$$

2.4 Bestem dagleg vassutskiftning (% av systemvolum)

HavRAS vil verte sett til normal resirkuleringsgrad som er typisk $\frac{400 \text{ L nytt vatn}}{\text{kg fôr}}$ (pers.kom. Kverneland, AkvaGroup). Denne resirk.graden gjev stabilitet utan så stor opphoping av

N at denitrifisering må brukast. Hovudkomponenten i dette systemet er filter, biofilter, CO_2-luftar og oksygenering[30].

2.5 Oppsett av grenseverdiar til vasskvalitet

Tabell 4: Rettleiande vassverdiar[33]

Grenseverdier til vasskvallitet		
Vassparameter	**Mattilsynets anbefaling**	**Tilpassa HavRAS**
pH innløp	6.2-6.8	6.8
Oksygenmetning i kar	Ikkje over 100%	Ikkje over 100%
Oksygenmetning innløp til kar	Over 90%, maks 120%	145%
Oksygenmetning avløpsvatn	80%	80%
CO_2	Under 15 $\frac{mg}{L}$	10 $\frac{mg}{L}$
Total organisk matriale	Under 10 $\frac{mg}{L}$	Under 10 $\frac{mg}{L}$
Aluminium (labilt)	Under 5 $\frac{\mu g}{L}$	Under 5 $\frac{\mu g}{L}$
Aluminium (gjeller)	Ikkje over 20 mikrogram /gram gjelle tørrvekt før utsett i sjø	Ikkje over 20 mikrogram /gram gjelle tørrvekt før utsett i sjø
Nitritt, ferskvatn	Under 0.1 $\frac{mg}{L}$	Under 0.1 $\frac{mg}{L}$
Nitritt, saltvatn	Under 0.5 $\frac{mg}{L}$	Under 0.5 $\frac{mg}{L}$
TAN	Under 2 $\frac{mg}{L}$	Under 2 $\frac{mg}{L}$

2.6 TAN produksjon

Ved dimensjonering av biofilter, vert fyrst totalt tap av N til vatn i system kalkulert ut frå fôrinntak. I tillegg har proteininnhaldet stor innverknad på N-utskiljing[20]. Konfidensielle tal henta frå EWOS vedrørande proteinprosent til ulike fôrtypar har blitt brukt til dei ulike RAS-systema. På generell basis har fiskefôr høg proteinprosent for smolt og redusert proteininnhald ved auka størrelse[11].
Kvart gram protein i fôr utgjer 16% N[27] . Ved 100% av fôr konsumert av fisk, vil 52.8% vere att i fisken og 47.2% skiljast ut til vassmiljøet. 7.7% av konsumert mengde vil gå til faeces, der 50% av N i faeces vert skild ut i vatn. Dette gjev altså ei total utskiljing på 51.05% N til vatn ved 100% opptak frå fôr[20]. Utrekna mengde er basert på fôr i tørrvekt, som er satt til verdien 1 kg fôr = 952 g tørrvekt.

2.7 Dimensjonering av biofilter

Dimensjonering av biofilter er gjort ved å bruke maksimal N-produksjon i kvart RAS-system til å rekne ut volumbehov for nedbryting av TAN. Biofiltera i HavRAS er av typen Moving bed biofilm reactor(MBBR) som består av tre kammer kvar for nitrifikasjon. TAN fjerningshastighet(r_n) er rekna ut etter følgjande formel [44]:

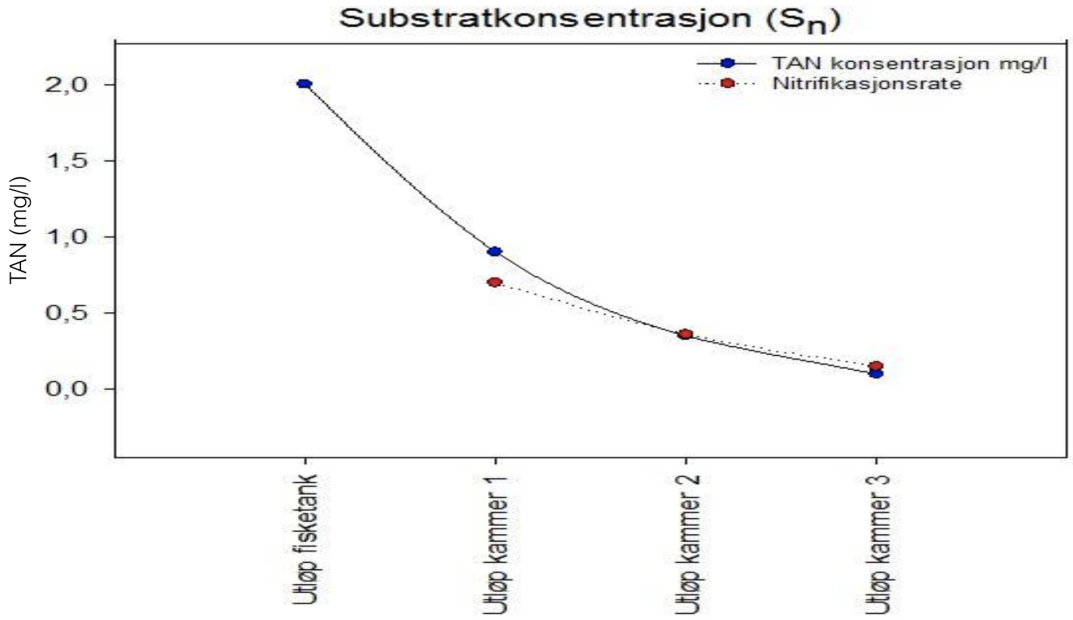
$$r_n = k(S_N)^n \tag{2}$$

Der:
$r_n = \frac{\frac{g}{m^2}}{dag}$ fjerningsrate
n = reaksjons orden = 0.7 [31]
k = reaksjonsrate konstant (temperatur avhengig)
S_n = TAN konsentrasjon

Finner reaksjonsrate konstant for HavRAS ved følgjande formel[46]

$$k_{T2} = K_{T1}\theta^{(T2-T1)} \tag{3}$$

Der:
k_{T1} = reaksjonskonstant = 0.82 ved T = 15 °C (pers.kom. Bendk Fyhn Terjesen Nofima)
k_{T2} = reaksjonskonstant for HavRAS ved T = 14 °C
θ = 1.09 [46]
k_{T2}=0.753 ved 14 °C



Figur 5: TAN-konsentrasjon (Sn)

Biofilteret er delt inn i tre like store kammer, der konsentrasjonen går frå maks TAN = $2\frac{mg}{L}$ og vert redusert til 0.1 $\frac{mg}{L}$. Figur 5 indikerer substratkonsentrasjon (S_n) ved utløpet av kvart kammer samtidig som den viser nitrifikasjonsraten r_n. Fjerningshastigheit vert utrekna ved formel 4:

$$TANfjerningsshastighet = TANproduksjon \cdot \frac{(TAN_{innKAMMER} - TAN_{utKAMMER})}{(TAN_{innMBBR} - TAN_{utMBBR})} \tag{4}$$

Endeleg volum for kvart kammer i biofilter vert kalkulert ut frå formel 5. MBBR består av medium i bevegelse der fyllingsgrad er 50% av kammervolum for å skape sirkulasjon. Nødvendig TAN-fjerningsvolum må derfor doblast. Summen av kammera til biofilter gjev totalt biofiltervolum[51].

$$Volum_{Biofilterkammer}(m^3) = \frac{(\frac{TANfjerning_{KAMMER}}{Fjerningsrate_{KAMMER}})}{Mediareal} \cdot 2 \tag{5}$$

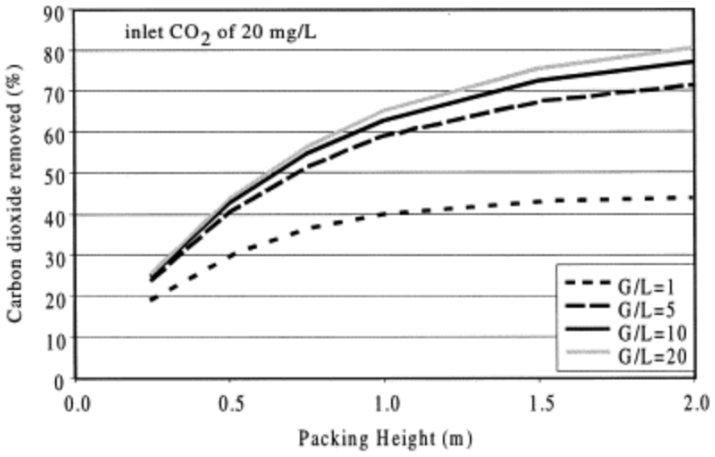
Der:
Mediareal = 900 $\frac{m^2}{m^3}$ [51]

2.8 Kalkulering av CO_2 luftar

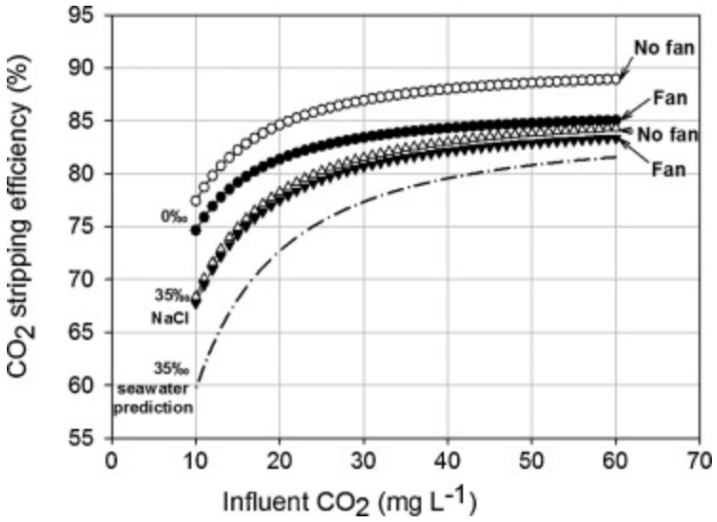
Maksimal CO_2-mengde generert vert rekna ut frå maksimal fôringsmengde i kar/system [51]:

$$\frac{\text{Produksjon } CO_2}{\text{kg fôr}} = \frac{409\text{g } CO_2}{\text{kg fôr}} \tag{6}$$

Luftehøgde og G/L er henta frå Figur 6 [48], TE vert henta frå Figur 7[34] som består av nyare datagrunnlag der salinitet er inkludert.



Figur 6: Val av løftehøgde og G/L[48]



Figur 7: Val av TE

Basert på Figur 7 vert TE vald ut frå salinitetsgrad i vassmiljø og CO_2-konsentrasjon. Hydraulic loading rate (HLR), arealbehov og luftmengde reknast ut ved hjelp av likninger utvikla av Summerfelt [48].

Tabell 5: Parameter for kalkulering av CO_2

Valgte parameter for berekning av CO_2 lufter	
Parmaeter	**Verdi**
Luftehøgde	1.5 m
HLR	0.025 ($\frac{m^3}{m^2 \cdot s}$)
TE	70%
G/L	5

2.9 Kalkulering av oksygenbehov

Mengda oksygen som vert tilsett i dei ulike oksygenkjeglene vert kalkulert frå følgjande formel 7[51]:

$$\frac{\text{Oksygenbehov}}{\text{kg fôr}} = \frac{350 \text{ g } O_2}{\text{kg fôr}} \tag{7}$$

2.10 Kalkulering av filter

Finn tal og type filter ved hjelp av flow ($\frac{L}{s}$) gjennom filter. Sikkerheitsmargin på 10% vert lagt inn pga fortetting over tid.
Mengda suspendert stoff (TSS) som filter skal ta opp er gitt ved Formel 8[7]:

$$\text{TSS} = 0.20 \cdot \text{kg fôr} \tag{8}$$

Filterduk vil ha ei lysopning på 60 mikrometer(pers.kom. Bjarte Landro, Sterner AS), og ved hjelp av Vedlegg A vert filter-type og -tal til dei ulike RAS-systema vald.

2.11 Registrering av vasskvalitetsparameter i RAS

For å kalkulera mogleg avfallsprodukter i eit RAS anlegg for gjenbruk av ressursar i HavRAS, vart vassprøver tatt på Erko Seafood sitt RAS-anlegg for postsmolt på Stord (59°46'20.4N 5°22'58.8E). Det vart utført totalt to vassprøvetakingar, 21. oktober 2016 og 14. november 2016.
Målet var å finne generert mengde avfallsstoff ut frå fôring og smoltstørrelse.
Det vart teke 45 ml av kvar vassprøve som vart teken ved inn- og utløp til kar. Det vart tatt tre parallellar, der kar 1, 2 og 3 vart målt. Følgjande vassprøvar vart tatt:

Total organisk karbon (TOC): Ufiltrert og lagra nedfrosset i fryserom ved -20 °C. Analysert ved hjelp av HACH måleapparat etter cuvette test LCK 380 (prod. HACH Lange GmbH).

Oppløyst organisk karbon (DOC): Filtrert med 0.8 μm lysopning (prod. Millipore). Analysert ved hjelp av HACH måleapparat etter cuvette test LCK 380 (prod. HACH Lange GmbH).

Ammonium: Filtrert med 0.2 μm lysopning (prod. Millipore) og lagra nedfrosset i fryserom ved -20 °C. Analysert av personell på Trondheim Biologiske Stasjon (TBS) av maskina O-I Analytica Flow Solution 4. Køyrt etter standard metodene til O-I analytica.

Nitritt: Filtrert med 0.2 μm lysopning (prod. Millipore) og lagra nedfrosset i fryserom ved -20 °C. Fortynnet 1:1000 og analysert av personell på TBS av maskina O-I Analytica flow solution 4. Køyrt etter standard metodene til O-I analytica (publikasjonsnummer 15041001).

Nitrat: Filtrert med 0.2 μm lysopning (prod. Millipore) og lagra nedfrosset i fryserom ved -20 °C. Fortynnet 1:1000 og analysert av personell på TBS av maskina O-I Analytica flow solution 4. Køyrt etter standard metodene til O-I analytica (publikasjonsnummer 15041001).

Fosfat: Filtrert med 0.2 μm lysopning (prod. Millipore) og lagra nedfrosset i fryserom ved -20 °C. Analysert på TBS av maskina O-I Analytica Flow Solution 4. Køyrt etter standard metodene til O-I analytica (publikasjonsnummer 15051001).

Partikler: Ufiltrert og tilsatt 0.5 ml fytofix og dekket med aluminiumsfolie og lagra i kjølerom ved 4 °C. Analysert ved hjelp av Multizizer 3 Coulter Conter for å størrelsefordele og antallbestemme partikler. Det vart brukt 100 μm kapillær rør som måler 2-60%, som tilsvarar alle partikler i størrelsen 2-60 μm.

2.12 Kalkulere mikroalgepotensial

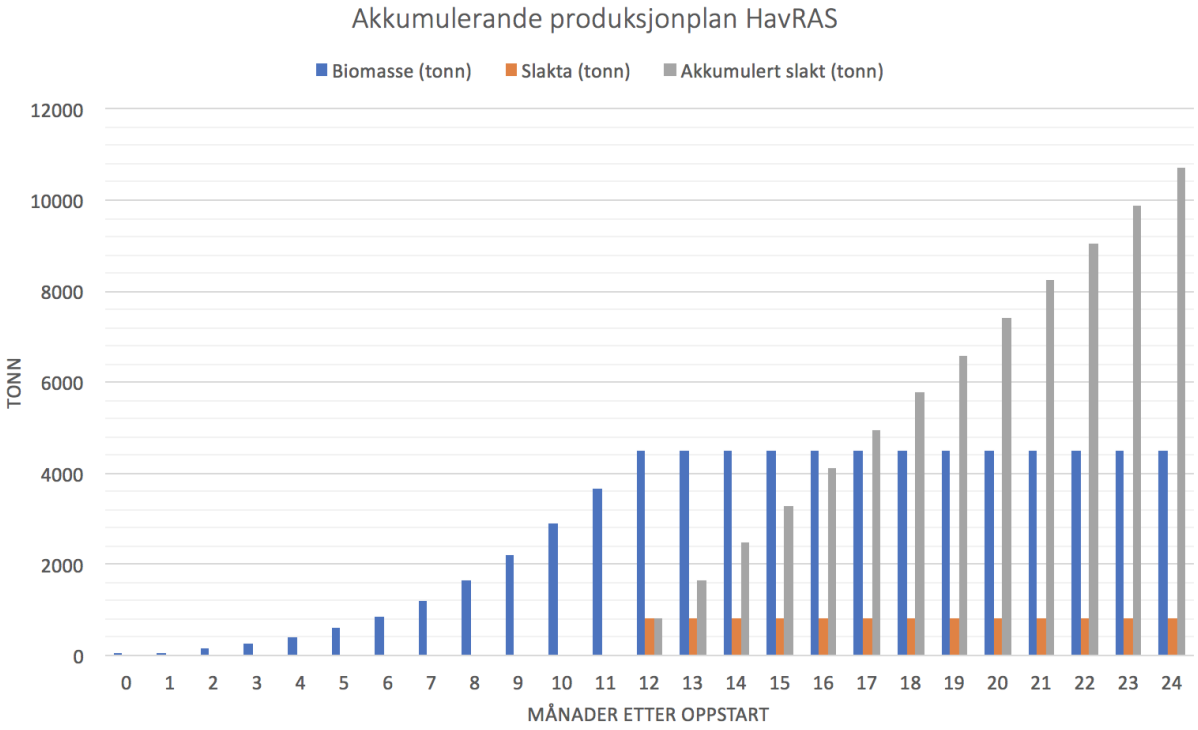
Moglegheita for å dyrke mikroalgar på oppløyst uorganisk karbon og nitrogen frå resirkuleringsanlegget er berekna ut frå Wang et al (2012). For dimensjonering av mogleg mikroalgeanlegg vart den fotoautotrofe algen *Phaeodactylum tricornutum* vald. Den har parameterane som vist i Tabell 6. Fotobioreaktor (PBR) i lukka røyr vart vald som dyrkingssystem, der 7.5 cm innerdiameter er sett som røyrdimensjon[54].

Tabell 6: Parameter til mikroalgeanlegg

Mikroalgeanlegg	
Parameter	**Verdi**
Mikroalge	*Phaeodactylum tricornutum*
N/C forhold	$\frac{54\mu gN}{mgC}$ [42]
DW	2.45 C [42]
Daglig produktivitet	$\frac{1gDW}{L}$ [41]
System	PBR røyrsystem [41]
Innerdiameter røyr	7.5 cm [54]

3 Resultat

3.1 Produksjonsplan

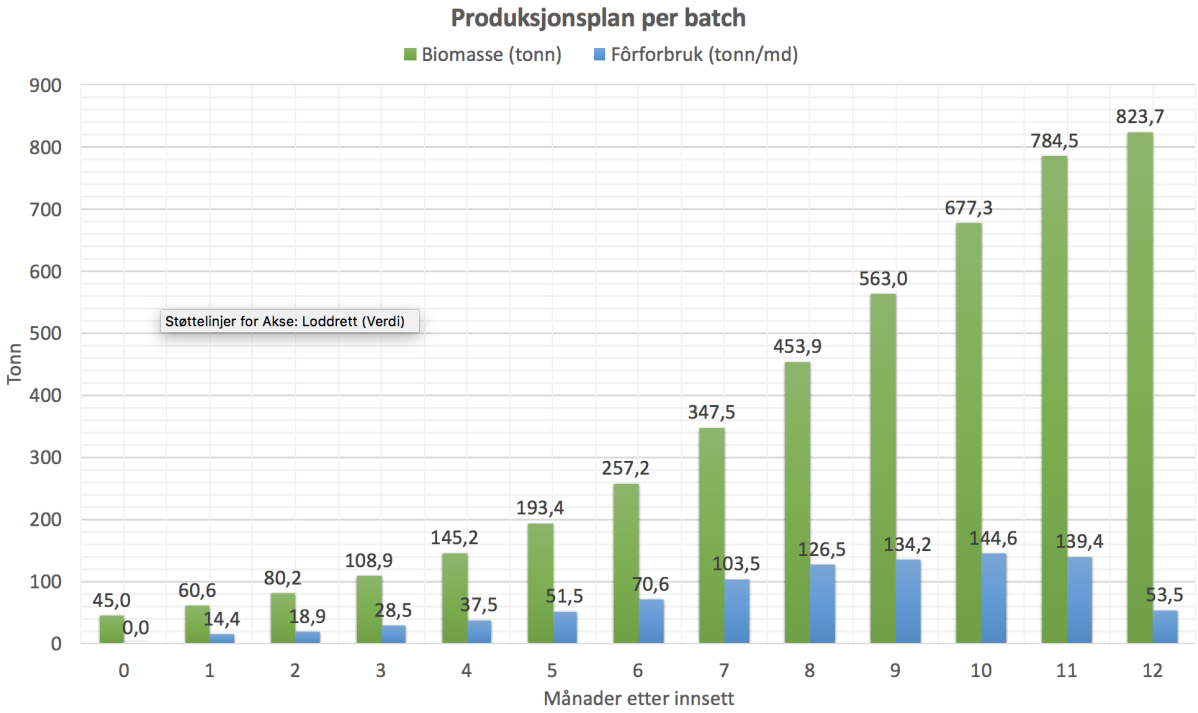


Figur 8: Akkumulert produksjonsplan dei 2 fyrste åra

Figur 8 viser akkumulert produksjonsplan utarbeidd gjennom EWOS EGI-program. Ynskt vekt på innsett er sett til storsmolt/postsmolt på 300 gram for å ha moglegheit til å kunne oppnå storfisk på 5.8 kg i løpet av 12 md. Bruk av normal smolt på 100 gram ville gjeve ein fisk på ca. 4 kg etter 12 md. eller eventuelt auka produksjonstida med inntil 3 md. for å oppnå 5.8 kg ved 14 °C (pers.kom. Erik Sørheim, Eide Fjordbruk). Talet på smolt i kvart innsett er sett til 150 000, tilpassa ca. 10 000 tonn årleg produksjon.

Som ein ser ut frå den akkumulerte produksjonsplanen, vil HavRAS fyrst vera i full drift etter 12 månader, då alle kar vil vera fylte med fisk. Kvart innsett er sett til like stort smolttal og -storleik. Figur 9 viser veksten til kvar batch gjennom HavRAS.
Med ei innlagt produksjonsdødelegheit på 5.7% gjev det eit månadleg utslakt på ca. 823.7 tonn laks rund vekt (Vedlegg B). 12 innsette batchar årleg à 150 000 stk., gir ein utslakta biomasse rund vekt på 9 880 tonn årleg. For å oppnå målet om 10 000 tonn i årleg produksjon, må dødelegheita reduserast til 4.5%.

Den relativt låge utfôringa i siste månaden (Figur 9) av kvart utsett skuldast ei veke med svelting. Det er i tillegg lagt inn ei veke med buffer tiltenkt reingjering og flytting av fisk. Dersom biomassen skulle vere mindre enn tiltenkt produksjonsplan av omsyn



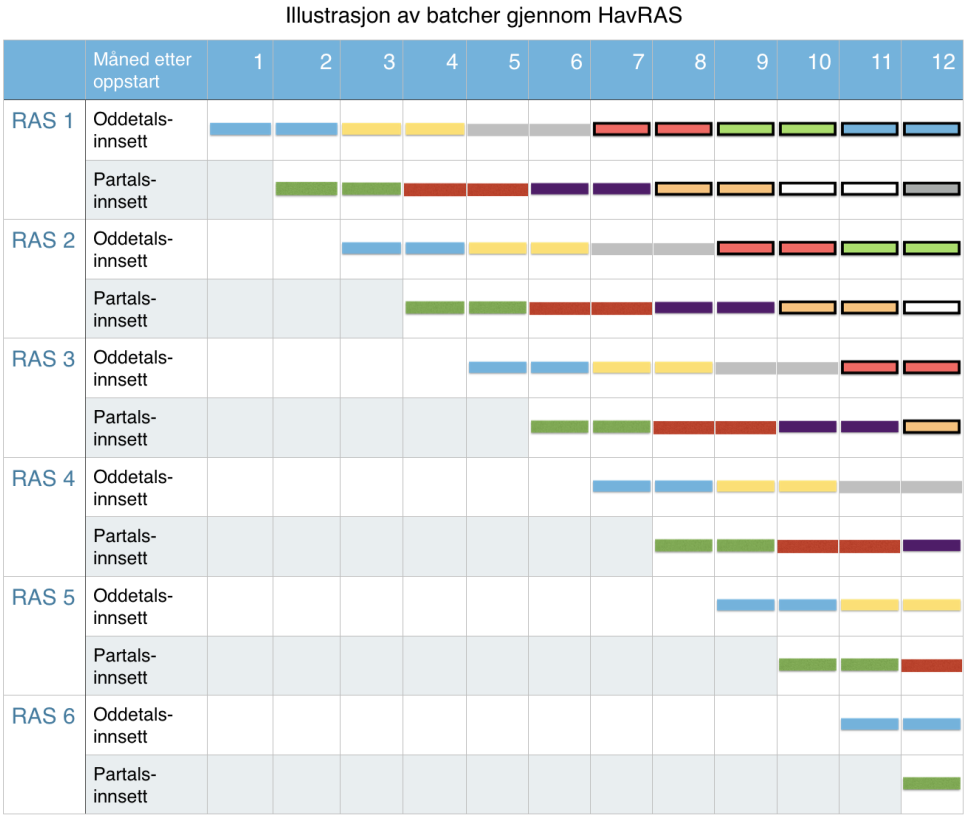
Figur 9: Produksjonsplan for ein batch

til høg dødelegheit eller låg appetitt, vil bufferveka fungere som ei ekstra fôringsveke. Om dødelegheita vert markant lågare enn 5.7% vil tettleiken i kar kunne komme til å overskride tettleikskravet på 75 $\frac{kg}{m^3}$. I eit fiskehelseperspektiv vil ikkje dette påverke fisken negativt, då det i RAS er dokumentert god fiskehelse ved tettleik opp til 100 $\frac{kg}{m^3}$ [18]. Den viktigaste faktoren som ikkje bør overskridast er maks dagleg fôring i dei ulike RAS-systema. Vassbehandlingskomponentane er dimensjonerte til ei maksimal fôringsmengde. Sterk overskriding av dette vil kunne auke TAN-nivå til suboptimale forhold for fisk.

3.2 Batchproduksjon

Designet av HavRAS er basert på landbasert batchproduksjon, der fisk står 2 md. i kvart fiskekar, før han vert flytta over i større kar ved tettleikskravet på 75 $\frac{kg}{m^3}$ (pers.kom. Kverneland, Akva Group). Ved å bruke 12 innsett med fisk årleg $(6 \cdot 2)$ eit oddetalssystem og eit partalssystem, vist i Figur 10, kan ein produsere 10 000 tonn utan å nå ein ståande biomasse høgare enn 4 500 tonn (Figur 8). Med andre ord gjev batchproduksjon høve til ein årleg produksjon på over dobbelt mengde av maksimal ståande biomasse.

Batchmodellen fungerer som vist ved Figur 10 der det vert sett inn ny smolt annankvar månad i oddetalssystemet og annankvar månad i partalssystemet. Dei ulike fargane skil batchane, og visualiserer produksjonsløpet til dei ulike batchane gjennom HavRAS.



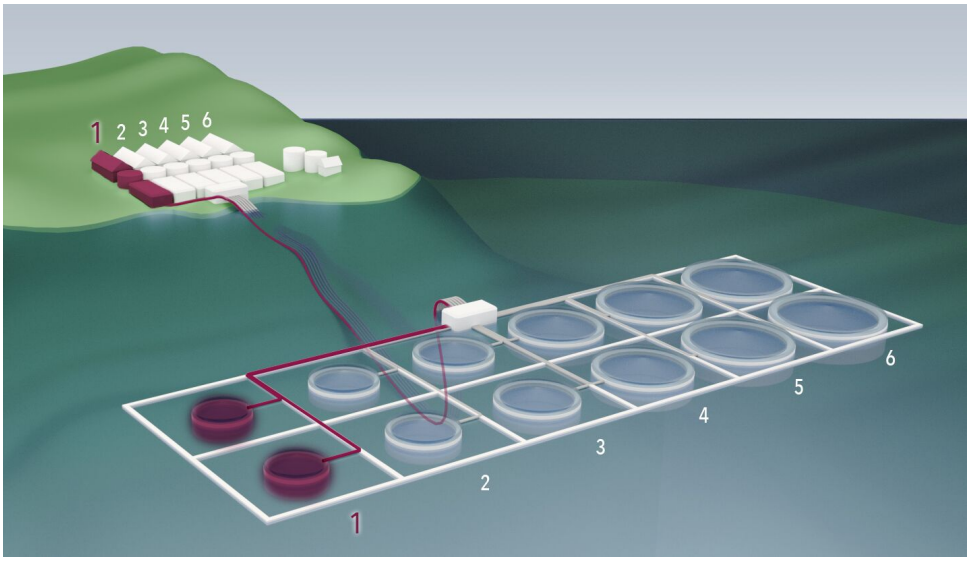
Figur 10: Oversikt over batcher dei tolv fyrste månadane etter oppstart

Denne produksjonsstrategien vil kun vera mogleg i lukka produksjonssystem der temp. kan kontrollerast. Akvakulturforskrifta slår fast at smolt ikkje kan setjast i sjø ved ein temperatur på 7 °C og fallande[39]. I HavRAS er temperaturen kontinuerleg på 14 °C gjennom heile produksjonen, og vil med det vere innanfor regelverket.

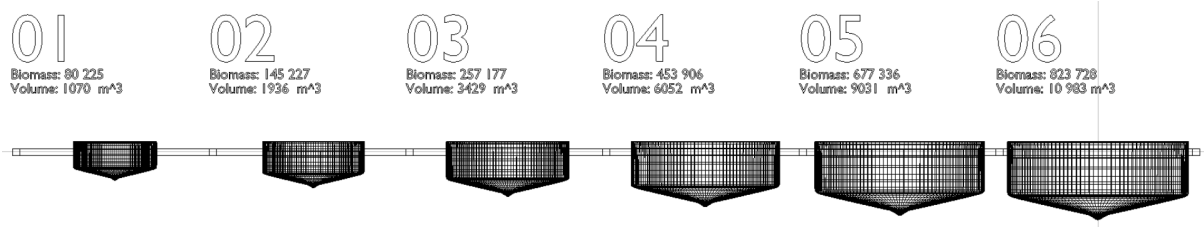
3.3 Design

Figur 11 viser HavRAS sett ovanfrå. Tala indikerer kva RAS-system og flytande kar som høyrer saman. System 1 er ekstra utheva for å illustrere flow i resirkuleringssløyfa. HavRAS vil bestå av seks åtskilde/separate RAS-system, der kvart RAS-system er knytt til to kar med lik storleik. Ettersom det er eit partalssystem og eit oddetalssystem med tanke på batchproduksjon, vil det til ei kvar tid ha fisk som har stått 0-1 md. i systemet og eit kar med fisk som har stått 1-2 md. i systemet. Dette minkar maksbelastninga av RAS-systemet samanlikna med å ha to parallellar sett inn likt.

Ut frå Tabell 3 i material og metode har karstorleik blitt designa. Her står fisken i 2 md. før han når tettleiksgrensa på 75 $\frac{kg}{m^3}$ og må flyttast over til nytt kar. Figur 12 viser dei seks ulike karstorleikane brukt på HavRAS.

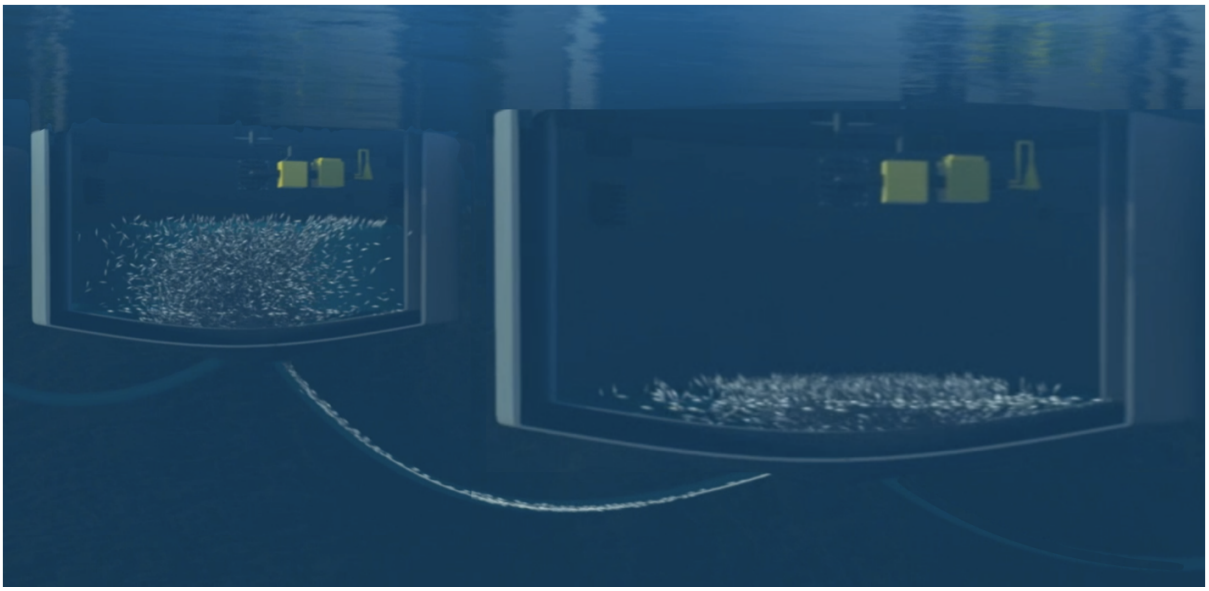


Figur 11: HavRAS sett ovanfrå

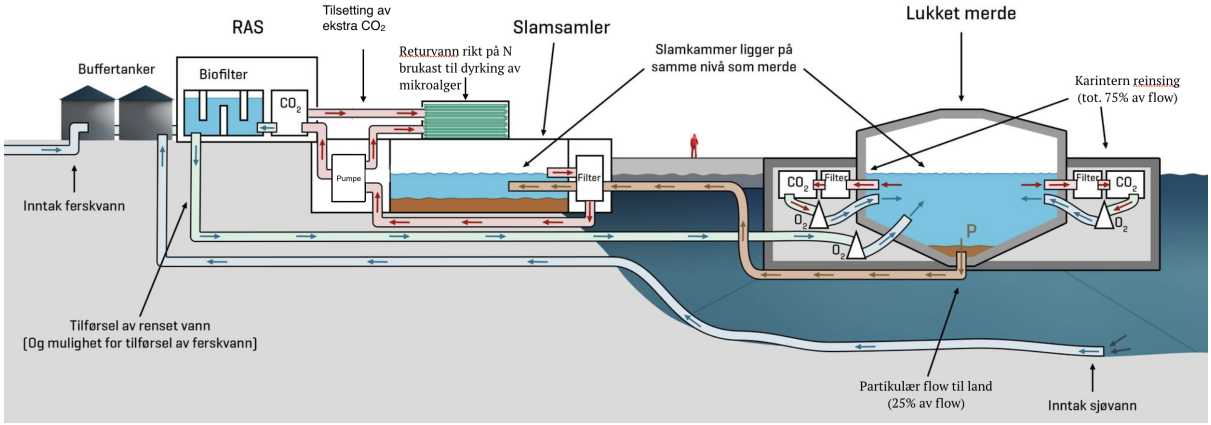


Figur 12: Fiskekar sett frå sida

Flytting av fisk mellom kar er basert på landbaserte metodar. Ved å flytte fisk frå karbotn til karbotn pumpelaust utan å forlate vassoverflata, vert det skapt minimalt med stress for fisken. Ved hjelp av animasjonsselskapet Saltpixel AS er flytting av fisk illustrert i Figur 13.



Figur 13: Flytting av fisk til større kar

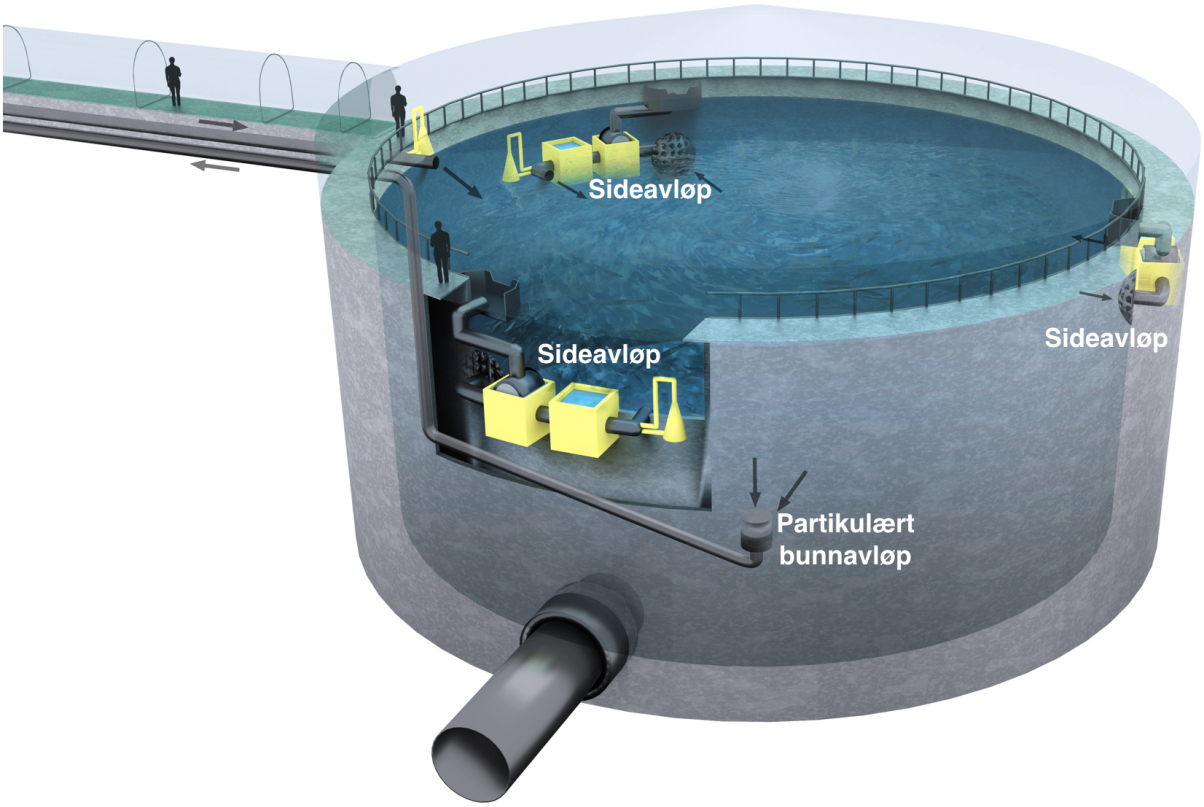


Figur 14: Oversikt vassbehandlingskomponentar

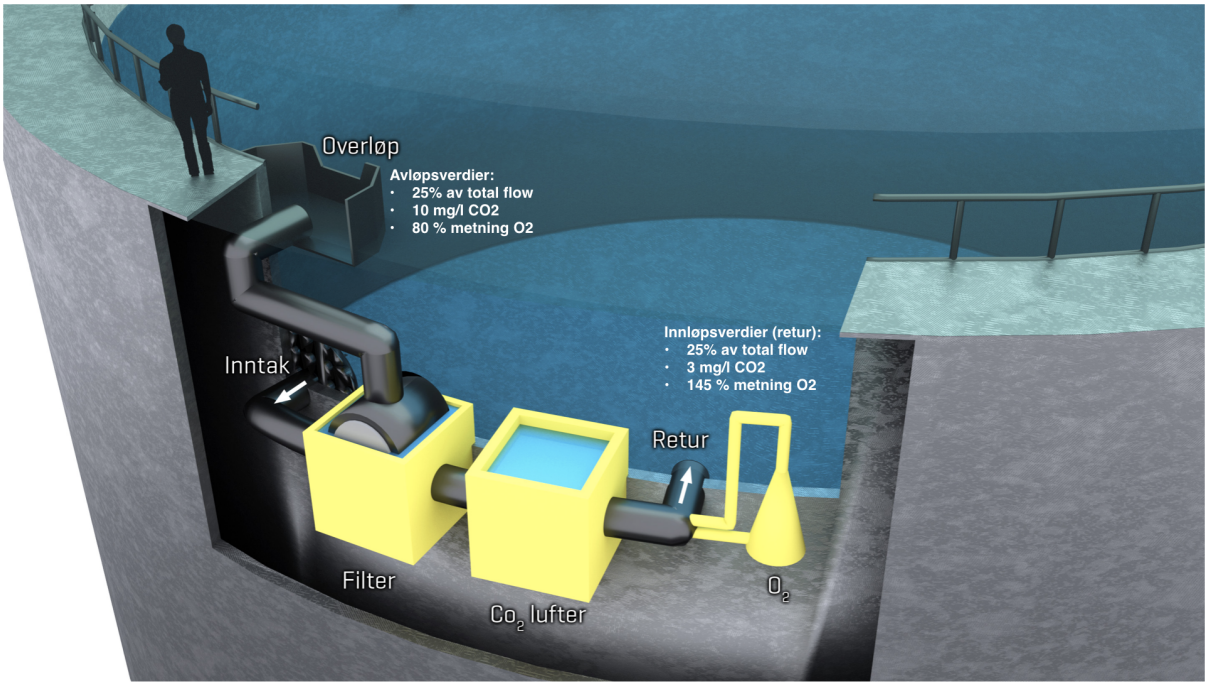
Figur 14 viser eit snitt av HavRAS sett frå sida. HavRAS har både ferskvass- og saltvass-inntak for å kunne optimalisere salinitet i høve til produksjon. Val av salinitet er sett til 12 ppt., då dette er fordelaktig med tanke på FCR, vekst, dødelegheit og slimlag[5]. I tillegg har brakkvatn fordel av at VBK har høgare TE samanlikna med høgare salinitet[5].
Inntaksvatn vert filtrert med mekanisk filtrering og sterilisert ved hjelp av UV. Dette hindrar partiklar, parasittar og sjukdomsbakteriar i å innta RAS-sløyfa. Det er svært viktig at spedevatn er sterilisert, då det ikkje er noko form for desinfeksjon internt i RAS-sløyfa. RAS-sløyfa består berre av vassbehandlingskomponentar som skal ta ut avfallsstoff for så å kunne dyrke eit stabilt vassmiljø der k-seleksjon av bakteriar konkurrerer ut r-seleksjon[3].
HavRAS vil ha ein resirkuleringsgrad tilpassa $\frac{400\text{ L nytt vatn}}{\text{kg fôr}}$. (pers.kom. Kverneland). Ein slik resirkuleringsgrad utgjer ei vassutskifting på ca. 25% per dag og tilseier 99 gonger mindre spedevassbruk enn eit FTS.

Design av anlegg er basert på å optimalisere vassparameterkrav for fisk samtidig som ein produksjon på 10 000 tonn vert gjort mogleg ved hjelp av RAS-teknologi. Bruk av stort karvolum i kombinasjon med høg tettleik på 75 $\frac{kg}{m^3}$ skaper snarleg suboptimale forhold med tanke på oksygenmangel og CO_2. Det er difor brukt split loop-design, der heile fire vassbehandlingsstraumar er integrert i kvart fiskekar (sjå Figur 15). $\frac{3}{4}$ av avfallsstraum vert tatt ut på sida og reinsa internt i karvegg for CO_2 og overmetta med oksygen. Figur 16 illustrer eit av dei tre sideavløpa internt i karvegg.

Dette reduserer partikulær flow i botnavløp til land[47], som vert reinsa for slam, TAN og CO_2, og oksygenert i retur til fiskekar. Redusert vassflow til land-RAS betyr at konsentrasjonen av avfallsstoff er større og forenklar uttaket av slam. Filteret i land-RAS er plassert under havnivå for å kunne ta ut partiklar før avløpsstraumen vert pumpa. Det er altså vasstrykket frå kar som pressar avløpsvatnet til filter. Reinsa avfallsstraum vert så pumpa vidare mot biofilter/mikroalgeanlegg. Algeanlegg er ikkje vanleg i dagens RAS-system, men vert inkludert for å ta hand om oppløyst Nitrogen (N) og CO_2.



Figur 15: Dei fire avløpa frå fiskekara

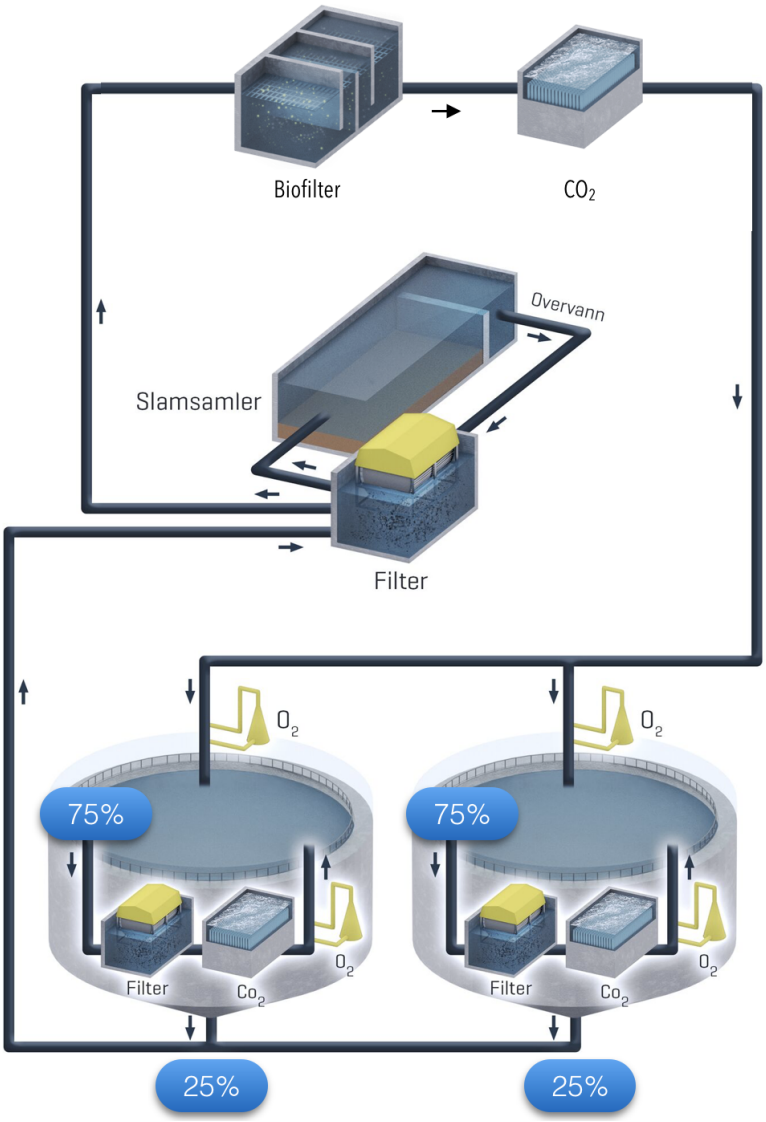


Figur 16: Integrert vassreinsing i karvegg

Mikroalgeanlegget får tilgang på stabilt gode konsentrasjonar av oppløyst N frå avløpsvatn og kan òg hente ekstra CO_2 frå luftar på land dersom dette viser seg nødvendig.

Dimensjonar på røyr, filter, luftar og pumper kan reduserast i takt med redusert flow. Dette gjev mindre arealbruk på land samtidig som pumpekostnaden vert redusert. Kvart sideavløp i kar har to inntak (sjå Figur 16), eit hovudinntak og eit overløp. Overløpet regulerer vassvolumet i kara ved at mengda med vatn som når over kanten, går rett i avløp. Dette sikrar at kara ikkje kan bli overfylt og opprettheld difor dimensjonert vassvolum. Mengda partikulært slam er minimal i sideavløp, då majoriteten går med gravitasjonen mot partikulært botnavløp. Likevel må filter installerast som fyrste VBK for å unngå reduksjon i TE på CO_2-luftar over tid[30].

3.4 Utrekning av vassbehandlingskomponentar



Figur 17: VBK-skisse av RAS-system(a)

3.4.1 Biofilter

Tabell 7: Utrekning av volumbehov til biofilter

Utrekning av Biofilter

	RAS 1	RAS 2	RAS 3	RAS 4	RAS 5	RAS 6
Kammer 1						
Media (m2/m3)	900	900	900	900	900	900
TAN produksjon (g/dag)	35443	63091	106795	196722	225527	228416
TAN kons. innløp kam. 1 (mg/L)	2	2	2	2	2	2
TAN kons. utløp kam.1 (mg/L)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Nitrifikasjonsrate kam.1(g TAN/m2/dag)	0,699	0,699	0,699	0,699	0,699	0,699
TAN fjerning kam.1 (g/dag)	20520	36526	61829	113892	130568	132241
Medie volum behov (m3)	32,60	58,02	98,22	180,92	207,41	210,07
Kammer 2						
Media (m2/m3)	900	900	900	900	900	900
TAN produksjon (g/dag)	35443	63091	106795	196722	225527	228416
TAN kons. innløp kam. 2 (mg/L)	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
TAN kons. utløp kam. 2 (mg/L)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Nitrifikasjonsrate kam.2(g TAN/m2/dag)	0,361	0,361	0,361	0,361	0,361	0,361
TAN fjerning kam. 2 (g/dag)	10259,92	18263,22	30914,27	56945,92	65284,18	66120,31
Medie volum behov (m3)	31,57	56,19	95,12	175,22	200,87	203,45
Kammer 3						
Media (m2/m3)	900	900	900	900	900	900
TAN produksjon (g/dag)	35443	63091	106795	196722	225527	228416
TAN kons. innløp kam. 3 (mg/L)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
TAN kons. utløp kam. 3 (mg/L)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Nitrifikasjonsrate kam.3(g TAN/m2/dag)	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150	0,150
TAN fjerning kam. 3 (g/dag)	4664	8301	14052	25885	29675	30055
Medie volum behov (m3)	34,49	61,39	103,92	191,43	219,46	222,27
Sum						
Totalt medie behov kam: 1, 2 og 3 (m3)	98,65	175,61	297,26	547,56	627,74	635,78
Fyllingsfaktor av medie (%)	50	50	50	50	50	50
Totalt volumbehov kam: 1, 2 og 3 (m3)	**197,31**	**351,22**	**594,51**	**1095,13**	**1255,48**	**1271,56**

HavRAS er etter rettleiande vassparameter (Tabell 1) dimensjonert for maksimal TAN-konsentrasjon i avløp på 2 $\frac{mg}{L}$. For at ikkje dette skal føre til nedsett fiskehelse, er det viktig å halde pH låg nok. Ved pH 6.8 [6], salinitet 12, temp 14 °C og TAN = $2\frac{mg}{L}$ vil mengda uionisert ammoniakk vera $3.5\frac{\mu g}{L}$ [2] som ikkje skal gå ut over fiskevellferda[28]. Biofiltera i alle systema er av typen MBBR og har tre kammer av om lag like stort volum. Nitrifikasjonsraten er fallande ved redusert TAN-konsentrasjon [45] som gjev høgast fjerningsrate i kammer 1 og minst i kammer 3. Kammer 1 får ein inntakskonsentrasjon på maksimalt 2 $\frac{mg}{L}$ som ved hjelp av nitrifikasjonsrate på 0.699 reduserer TAN = 0.9 $\frac{mg}{L}$ gitt volum i Tabell 7. Kammer 2 har så ein nitrifikasjonsrate på 0.361 og reduserer TAN = 0.35 $\frac{mg}{L}$. Kammer 3 har så ein nitrifiksjonsrate på 0.15 og reduserer TAN = 0.1 $\frac{mg}{L}$

som er endeleg inntaksverdi på flow frå land til fiskekar.
Med TAN-inntaksverdi i kar på 0.1 $\frac{mg}{L}$ gjev det ei mogleg opphaldstid på mellom 144 min (RAS 1 med høghaldig proteininnhald i fôr) og 257 min (RAS 6 med lågast proteininnhald i fôr). Faktisk opphaldstid i kar vert litt mindre, som vist i Tabell 8, då CO_2- konsentrasjonen overstig 10 $\frac{mg}{L}$ like før TAN = 2 $\frac{mg}{L}$.

Tabell 8: Flow gjennom biofiltera

Biofilter flow						
Parameter	**RAS 1**	**RAS 2**	**RAS 3**	**RAS 4**	**RAS 5**	**RAS 6**
Produksjon TAN ($\frac{kg}{dag}$)	20.33	36.22	62.59	107.37	114.26	117.00
TAN ($\frac{mg}{L}$) per dag	19.00	18.71	18.25	17.74	12.65	10.65
TAN verdi etter biofilter	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Opphaldstid i kar	144	146	150	154	216	257
TAN generert gjennom omløpstid	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
pH	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
Maks TAN pr. Utskifting	2	2	2	2	2	2
Uionisert ammoniakk ($\frac{\mu g}{L}$)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Min Flow utløp ($\frac{m^3}{min}$)	7.43	13.26	22.86	39.30	41.81	42.74
Faktisk flow basert på CO_2 lufting ($\frac{m^3}{min}$)	7.64	14.67	27.65	48.81	52.51	53.84

3.4.2 CO_2-lufting

Total flow inn og ut av kar er delt inn i fire like straumar som alle er installert med CO_2-lufting. Tre av desse står for karintern reinsing av CO_2, medan siste 25% av flow blir lufta i land-RAS etter biofilter. Kvar av luftarane vil ha ei luftehøgde på 1.5 meter uavhengig av flow, då dette er sett på som mest effektivt ved ein G/L = 5 [34]. Split loop reduserer storleiken av CO_2-luftar på land, samtidig som opphaldstid i kar vert auka i takt med tal avløp. CO_2 og O_2, som til vanleg avgrensar produksjon, kan ved hjelp av fire avløp, firedoble opphaldstida før alt vatn i kar er skifta ut. Dette gjer det mogleg å senke makskonsentrasjonen av CO_2 til 10 $\frac{mg}{L}$, noko som vil gje meir optimale forhold for fisk. Tabell 9 viser dimensjoneringa for kvar av dei seks luftarane til sideavløpa til systema (3 stk. per fiskekar). Utskiftingstida i kar er styrt av CO_2-verdi i avløp, og tida oppgitt i Tabell 9 er minimumstid under maksbelastning av kar og system. Total utskiftingstid gjennom land-RAS vil vere fire gonger denne tida.
Luftarane i land-RAS vil bestå av den partikulære flow (25%) til dei to kara knytt til kvart system (sjå Figur 11). Dette gir dobbel flow samanlikna med sideluftarane, og arealet i luftarane vil med dette måtte doblast for å kunne ta hand om dobbel flow med same TE.

Tabell 9: CO_2-luftar dimensjonar

CO^2-lufter størrelse						
Parameter	**RAS 1**	**RAS 2**	**RAS 3**	**RAS 4**	**RAS 5**	**RAS 6**
Oppholdstid kar før lufting	35	33	31	31	43	51
CO_2 innløp lufter ($\frac{mg}{L}$)	10	10	10	10	10	10
Løftehøgde (m)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
TE	70%	70%	70%	70%	70%	70%
CO_2 utløp lufter ($\frac{mg}{L}$)	3	3	3	3	3	3
Areal (m^2)	5.09	9.78	18.43	32.54	35.01	35.89
HLR ($\frac{m^3}{m^2 \cdot s}$)	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
Flow ($\frac{m^3}{s}$)	0.127	0.245	0.461	0.814	0.875	0.987
G:L	5	5	5	5	5	5
Luft flow ($\frac{m^3}{m^2 \cdot s}$)	0.6	1.2	2.3	4.1	4.4	4.5

3.5 Oksygentilsetning

Oksygenmetting i kar skal etter anbefaling frå Mattilsynet ha ein minimumsverdi på 80% (Tabell 4). Ut frå maksimalt oksygenforbruk i kar, viser Tabell 10 mengda oksygen som må tilsetjast per kar for halde avløpsverdien over 80%. Det er totalt fire avløpsstraumar per kar som kvar har oksygenering i retur. Dette minimerer flow gjennom luftarar, samtidig som opphaldstida vert markant redusert før den vert reoksygenert. Mettinga på innløpsvatnet kan difor reduserast til ca. 144% avhengig av RAS-system.

Tabell 10: Oksygenforbruk

Maksimalt oksygenforbruk i kar						
Parameter	**RAS 1**	**RAS 2**	**RAS 3**	**RAS 4**	**RAS 5**	**RAS 6**
Maks fôring ($\frac{kg}{dag}$)	751	1446	2718	4671	5126	5258
Oksygenforbruk ($\frac{\text{kg } O_2}{\text{kg fôr}}$)	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Maks O_2/dag ($\frac{mg}{L}$)	245,6	261,4	277,4	270,1	198,7	167,6
Volum (m^3)	1070	1936	3429	6052	9031	10983
Utskiftningstid (min)	35	33	31	31	43	51
O_2 ($\frac{mg}{L}$) ved 100% metning	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4	9.4
80% Metning avløp ($\frac{mg}{L}$)	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Tilsatt mengde per utskiftning ($\frac{mg}{L}$)	6.0	6.0	6.0	5.8	5.9	5.9
Metning innløp ($\frac{mg}{L}$)	13.5	13.5	13.5	13.3	13.4	13.4
Metning innløp (%)	144	144	144	142	143	143
Maksimal flow per O_2 kjegle ($\frac{m^3}{min}$)	7.6	14.7	27.7	48.8	52.5	53.8

3.5.1 Partikkelfiltrering

Filtera i RAS-sløyfa kan delast inn i karintern filtrering av sidestraum og partikulær filtrering i land-RAS. Alle filter vil etter anbefaling av Sterner bruke filter med 60 μm lysopning (pers.kom. Bjarte Landro) som gjev god reinsegrad, samtidig som ein unngår tetting av filter.
Sideavløpa i kar vil bestå av små mengder partikler (SS) og vil derfor bli dimensjonerte som eit FTS-filter med TSS $< 15\ \frac{mg}{L}$. Partikulært botnavløp derimot vil som vist i Tabell 12 ha dagleg gjennomsnittsverdi i underkant av 15 $\frac{mg}{L}$ og lyt derfor dimensjonerast som RAS-filter med TSS $< 25\ \frac{mg}{L}$ for å unngå tetting av filter.
Auka TSS minkar kapasiteten til filter, som altså må justerast ved å auke storleik på filter/filterareal. Storleik og tal filter er vist i følgjande tabellar: Karinternt (Tabell 11) og land-RAS (Tabell 12)

Tabell 11: Karintern filter

Sidestraumsfilter $< 15\ \frac{mg}{L}$ SS						
Parameter	**RAS 1**	**RAS 2**	**RAS 3**	**RAS 4**	**RAS 5**	**RAS 6**
Flow ($\frac{L}{s}$)	127	244	461	813	875	897
Filter type ($\frac{L}{s}$)	F808	F1215	F1628	F1628	F1628	F1628
Kapasitet ($\frac{L}{s}$)	165	301	516	516	516	516
Sikkerhetsmargin 10% ($\frac{L}{s}$)	148.5	270.9	464.4	464.4	464.4	464.4
Antall	1	1	1	2	2	2
Total kapasistet ($\frac{L}{s}$)	148.5	270.9	464.4	928.8	928.8	928.8

Tabell 12: RAS filter

RAS filter $< 25\ \frac{mg}{L}$ SS						
Parameter	**RAS 1**	**RAS 2**	**RAS 3**	**RAS 4**	**RAS 5**	**RAS 6**
Flow ($\frac{L}{s}$)	255	489	922	1627	1750	1795
Fôr (kg)	1309	2519	4637	8558	10117	10265
TSS ($\frac{mg}{s}$)	11.9	11.9	11.6	12.2	13.4	13.2
Filter type	F1620	F2045	F2040	F2050	F2050	F1636
Kapasitet ($\frac{L}{s}$)	287	588	522	588	653	517
Sikkerhetsmargin 10% ($\frac{L}{s}$)	258.3	529.2	469.8	563	587.7	465.3
Antall	1	1	2	3	3	4
Total kapasistet ($\frac{L}{s}$)	258.3	529.2	939.6	1689	1763.1	1861.2

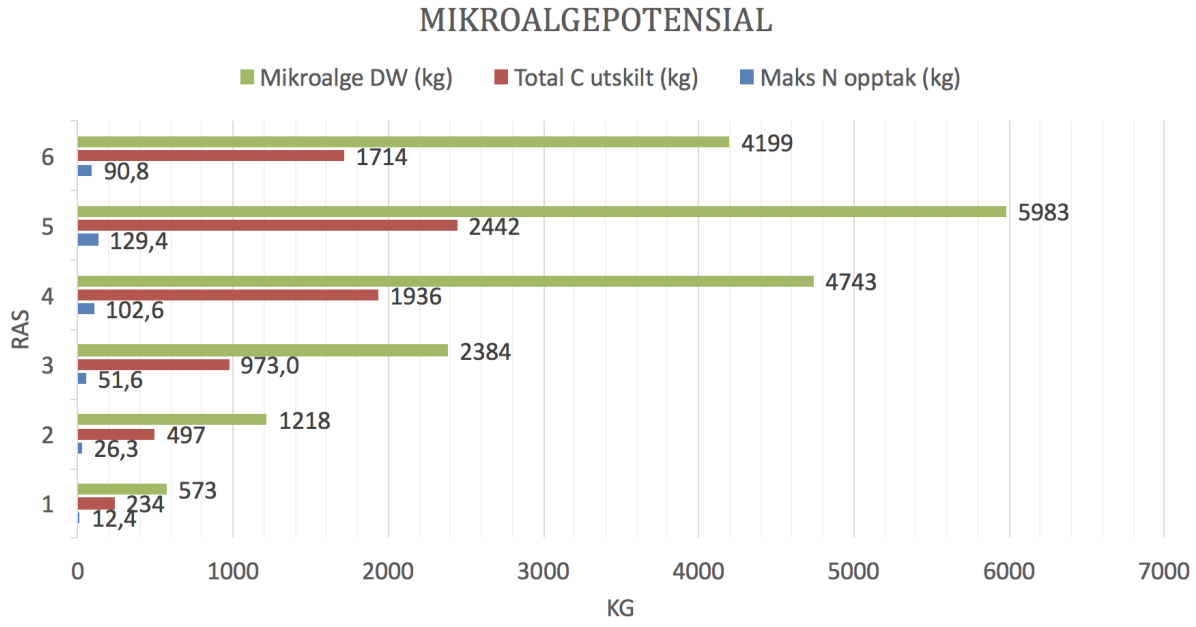
3.6 Gjenbruk av ressursar

Dette kapittelet skulle baserast på vassprøvetakingane gjort ved postsmoltanlegget til ERKO. Dessverre kunne ikkje resultatet frå vassprøvane brukast for kalkulering av mikroalgepotensiale, då dei gav svært variable og utydelege resultat. På grunn av dette er tal frå Wang et al (2012)[55] brukt for å kalkulere N- og C-utslepp frå fisk i HavRAS.

Mikroalgeanlegg (MA) i HavRAS er designa for å hente delstraum av reinsa returvatn like før biofilter. Avløpsvatnet inneheld 10 $\frac{mg}{L}$ CO_2 som potensielt kan nyttast. Ekstra CO_2 utover dette lyt hentast frå luftarar i systemet (sjå Figur 14).

Tabell 13: Designparameter mikroalgeanlegg

Designparameter mikroalgeanlegg						
Parameter	**RAS 1**	**RAS 2**	**RAS 3**	**RAS 4**	**RAS 5**	**RAS 6**
Tot. utskilt N fra fisk ($\frac{kg}{dag}$)	21.09	47.11	93.73	188.97	240.58	169.51
Tot. C utskilt i HavRAS ($\frac{kg}{dag}$)	234	497	973	1 936	2 442	1 714
N/C forhold	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053
Maks N opptak (kg)	12.4	26.3	51.6	102.6	129.4	90.8
DW (kg)	573	1 218	2 384	4 743	5 983	4 199
Algekultur ($\frac{kg}{m^3}$)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Indre diameter røyr (m)	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
Røyrlengde (km)	130	276	540	1 074	1 355	951



Figur 18: Mikroalgepotensial i dei ulike RAS-systema

Teoretisk maksopptak av N i HavRAS til mikroalger er ca 55% (Tabell 13) dersom all C i anlegget vert samla og sett inn i MA. C er altså avgrensande ressurs i HavRAS, men vil i teorien kunne stå for ein dagleg mikroalgeproduksjon på totalt 19.1 tonn tørrvekt (Figur 18. Ein slik dagleg produksjon krev enorme areal, og ved bruk av lukka røyrsystem (fotobioreaktor) med ein indre diameter på 7.5 cm, gjev det eit totalt røyrlengdebehov på 4 326 km. Dersom algeanlegget vert dimensjonert ned til kun å ta ein liten delstraum som skissert i Figur 14, vil algeproduksjonen reduserast deretter.

4 Diskusjon

4.1 Produksjonsplanlegging

Anlegget er modulbasert, og det vil seie at produksjonsstorleiken vert justert etter lokalitet, produksjonsbehov og økonomi. HavRAS skissert i denne oppgåva har seks modular og 12 tankar med innsett av 150 000 postsmolt à 300 gram kvar månad for å maksimere produksjon per karvolum. Årleg produksjon på 9 880 tonn fordelt på 32 481 m^3 i karvolum gjev 300 kg $\frac{produksjon}{m^3}$. Til samanlikning har konvensjonelle merdar ca. 1000 tonn produksjon per merd. Ein diameter på 50 meter og djupne på 20 meter gjev 39 250 m^3 totalvolum og altså 25.5 kg $\frac{produksjon}{m^3}$. Tar ein i tillegg omsyn til at lokalitetar har ein generasjonssyklus på to år før ny fisk kan setjast i anlegget, gjer det HavRAS 24 gonger meir effektiv i produksjon per volum enn konvensjonelle merdanlegg.

Biologisk sett vil fisk kunne smoltifiserast på rundt 80 gram for så å setjast inn i HavRAS[37]. Produksjonstida ville då auke med 4 md. for å oppnå 5.8 kg slaktevekt og same slaktevolum som skissert i denne oppgåva. Dette ville ha kravd to ekstra RAS-system som kvar ville ha hatt to flytande kar. Storleiken på desse kara ville vore mindre enn 1000 m^3 som no er ein vanleg storleik innanfor landbasert produksjon (pers. kom. Kverneland Akva Group). Det er dermed ikkje sikkert at det vil vere økonomisk å ha mindre einingar i sjø, då dei minste fiskekara ikkje tek mykje landareal. Med andre ord er det individuell tilpassing i høve til arealtilgang og kostnad som bestemmer tal RAS-system i sjø.

I produksjonsplanen er det ikkje lagt inn sveltedøgn på flytting mellom kar, då planen er å flytte fisk utan stress, ved at han renn naturleg og sakte over til neste kar ved hjelp av gravitasjon. I teorien høyrest dette fint og bra ut med tanke på minimering av sveltedøgn som effektiviserer produksjon og aukar vekst. Ein hake ved å unngå svelting, er at fisk lettare lar seg stresse der oksygenforbruk går opp og utskiljing av giftige avfallsstoff kan auke [40]. Forsøk viser at pH og laktat i blodet til fisken aukar som stressfaktor ved trenging og pumping[12]. I HavRAS vil fisken bli trengt i flyttefasen, og det kan vere stressande og skape suboptimale forhold. Stress knytt til flytting av fisk mellom einingar kan derfor minimerast ved svelting.

Optimalisering i høve til storleik på røyr mellom fisketankar, som igjen regulerer flow, vil måtte finreknast. Det same gjeld hydrostatiske berekningar for oppførsel til fisketankar når flytting av fisk pågår. Vil vassoverføringa regulere seg naturleg sjølv, eller vil det vere behov for ballasttankar for å regulere oppdrift og då flow mellom kar? Ei anna og mindre ynskjeleg løysing med tanke på fiskevelferd, er å pumpe fisk frå ein tank til neste.

Sjukdomsutbrot er ein risiko som aldri kan utelukkast då det er begrensa med erfaring kring sjøvassresirkulering av laks. I følge fiskehelserapporten 2015 lyt ein ta høgde for at

det kan utvikle seg nye helseproblemer i forbindelse med denne driftsforma[23].
HavRAS er designa for å ha to kar per RAS-system, som illustrert i resultat Figur 11. Dette skaper smittemessige barrierar mellom dei ulike karstorleikane, samtidig som biomasse og utfôring vert halde stabilt kvar månad året gjennom. Dersom sjukdomsbakteriar eller -virus kjem seg gjennom både dei fysiske og biologiske barrierane i HavRAS og infiserer fisk i eit system, vil eit nødscenario oppstå.

Nødscenario ved smitte i anlegg:
Vert sjukdom identifisert i eit av fiskekara, vil heile RAS-systemet karakteriserast som smitta, då kar av same storleik er tilknytt same vassreinsing. Å flytte ei av desse batchane over til nytt system saman med annan frisk fisk, vil vere imot omsetnings- og sjukdomsforskrifta for akvatiske dyr [32], då det aukar faren for å smitte annan frisk fisk. Flytting av fisk lyt difor utførast parallelt i systemet der det infiserte systemet vert desinfisert før ny fisk vert sett inn. Ved å parallellflytte to og to fiskegrupper, vil dei same to gruppene vere knytte til same system gjennom heile produksjonen. Ein negativ konsekvens av dette, er at kapasiteten vert redusert ved at halvparten av slaktefisken vert tatt ut 1 md. før plan. Når sjukdomsfisk er ute av HavRAS, vil flytting av fisk gå over til normal drift med flytting av eit kar i månaden for å optimalisere vekst.

4.2 Design

HavRAS er designa for å løyse alle utfordringane til næringa, samtidig som ein optimaliserer vassmiljøet for fisken. Ved å knyte kjend landteknologi saman med dei enorme fjordareala langs den norske kysten, vil det opne nye område for oppdrett. Grunne og straumlause lokalitetar, område i nærleiken av konvensjonelle anlegg og avstengde laksefjordar, er alle nye område som kan opnast med denne teknologien om myndigheitene tillater det.

Bruk av brakkvatn minimerer energibruk knytt til osmoregulering for laks i tillegg til at det betrar skinnhelsa. Optimalt sett skal salinitet i omgivnadane vere lik salinitet i lakseblodet for å skape osmotisk balanse. Salinitet på 12 ppt. vart derfor vald til fordel for høgare salinitet[5]. Det pågår forsøk som ikkje er publiserte, med ferskvatn vs. brakkvatn. Eit intervju med Bendik Fyhn Terjesen indikerer at ferskvatn er mindre effektivt enn brakkvatn[36], og det styrkjer teorien om at brakkvatn med osmotisk balanse betrar vekst, FCR og dødelegheit for laks[5].

HavRAS vil til ei kvar tid opprettholde høg tettleik, optimale vassverdiar og lang utskiftingstid. Dette er tre faktorar som i intensivt oppdrett sjeldan lar seg harmonere. Ved hjelp av eit nytt kardesign basert på split loop-teknologi, vert dette løyst. Split loop-teknologi med firedelt avløpsstraum, derav tre karinterne lufte- og oksygeneringsanlegg, er nytt.

Vatnet vert behandla for CO_2 og oksygen i snitt fire gonger i løpet av ei utskifting, som optimaliserer CO_2- og O_2-verdiar i tank. Opphaldstida i kar på mellom 144 min - 250 min er 3-4 gonger lenger enn kva konvensjonelle kar/gjennomstrøymingsanlegg klarar idag[30]. Med sideuttaka unngår ein virvestraum i senter og for stor vasshastigheit for fisk ved karvegg, som kan vera eit problem ved for stor vassutskifting i bunn [30]. Bruk av split loop minimerer også flow i partikulært botnavløp til land[47]. Dette konsentrerer avfallsstraum og forenklar oppsamling av slam og oppløyst avfallsstoff. Med mindre flow gjennom RAS-eining på land vert òg storleiken på vassbehandlingskomponentar redusert, samtidig som pumpekostnader vert reduserte med mindre vassmengde å transportere.

Det er lagt inn ei konisk helling på karet mot botnen. Denne utforminga har liten eller ingen innverknad på gravitasjonen av partiklar mot avløp. Ein lyt ha ein vinkel tilnærma 55° for å ha full effekt av gravitasjon. Med andre ord er det vassflowen som styrer reinsing av karet[30]. Den koniske botnforma er designa for å optimalisere flytting av fisk frå ein tank til neste. Fisken vert då naturleg trengt mot botnuttak ved redusert vassnivå.

4.3 Energi og økonomi

Ein faktor som ikkje er rekna på i denne oppgåva, er varmetapet i HavRAS frå RAS til det har gått gjennom fisketanksystemet og tilbake til RAS. Fisketankane er heillukka med dobbel vegg for å skape oppdrift, plass til VBK og isolasjon. Likevel vil det vere interessant å sjå på energitapet på ein runde i systemet. Vatn er ein ekstremt god energiberar, og friksjon frå pumping og transport vil generere varme. Erfaring frå RAS på land er at behovet for kjøling er større enn behovet for oppvarming[50].

Uansett korleis ein ser på HavRAS, kjem ein ikkje unna den høge investeringskostnaden knytt til å bygge konseptet. Det er ikkje gjort økonomiske estimat i denne oppgåva, men kostnadane vil kunne samanliknast med tal for landbasert RAS.
HavRAS vil koste 325 000 millionar å bygge ved ein pris på 10 000 kr/m^3 [4]. I tillegg vil det med dagens reglement kreve seks konsesjonar à 780 tonn for å kunne halde ein biomasse på 4 500 tonn i sjø. Dagens konsesjonsprisar på mellom 60-70 millionar per konsesjon [1] gjer HavRAS lite konkurransedyktig samanlikna med dei opne systema. Produksjonskostnaden i RAS for storfisk har lite data, men er av Nofima antatt å liggje rundt 31.05 kr/kg [4]. Dette gjev ein produksjonskostnad som er omtrent lik opne anlegg i 2016. Luseproblematikken har verkeleg gjort konkurranse frå lukka teknologi mogleg. Det er dessverre stor usikkerheit rundt desse tala, og tildeling av utviklingsløyve ville auka den økonomiske tryggleiken for prosjektet.

4.4 Vassbehandlingskomponentar

CO_2 er eit avfallsstoff som ved mindre konsentrasjonar heilt nede i $6\frac{mg}{L}$ kan føre til opphoping av kalsium i nyrene[49]. Rettleiande vassverdiar på 15 $\frac{mg}{L}$ vil over lengre tid føre til suboptimale forhold, og det er grunnen til at HavRAS vart designa etter NIVA si tilråding på 10 $\frac{mg}{L}$ [15].
HavRAS er sett opp med kolonneluftar for CO_2-reinsing. Om dette er riktig teknologi for lufting av store vassmengder som i HavRAS, er vanskeleg å seie. Dersom alt vatn skal pumpast med løftehøgde på 1.5 meter fire gongar per utskifting, vil det resultere i store pumpeutgifter. Konstruerer ein derimot CO_2-luftar slik at ein får gratis løftehøgde, kan kolonneluftar vere ei god løysing.
Gratis løftehøgde kan skapast i returvatn frå land. LandRAS ligg høgare enn fiskekar, og i retur frå biofilter kan derfor CO_2 naturleg luftast mot kar.
I den karinterne luftinga derimot, må vatnet pumpast etter luftinga for å skape høgare trykk enn vasstanken i retur. Ved vidare forsking knytt til HavRAS ville det ha vore svært interessant å kunne samanlikne bruken av forskjellige luftesystem for CO_2 vedrørande energi- og arealbruk.

Laks skil ut ammonium (NH_4^+) og ammoniakk (NH_3) i samband med forbrenning [6]. Utskiljinga av TAN aukar ved auka temperatur, fôring og proteininnhald i fôret [6] og har ein tilrådd maksimalverdi på $2\frac{mg}{L}$ (Tabell 1).
HavRAS vil ha ein salinitet på 12 ppt. som vert skapt ved miksing av ferskvatn (pH 7) og saltvatn (pH 8). Utan pH-justering ville derfor pH ha lege rundt 7.5-7.8 avhengig av CO_2-konsentrasjon. Denne verdien er optimal for biofilter, medan luftar og fisk bør ha ein pH på 6.2-6.8 (Tabell 1). Ved pH 7.8, salinitet 12, temp 14 °C og TAN = $2\frac{mg}{L}$ vil mengda uionisert ammoniakk vere $34.5\frac{\mu g}{L}$ [2]. I følgje forsking gjort av NOFIMA vil sjølv $8\frac{\mu g}{L}$ NH_3 påverke fisken sin vekst på kort sikt, og ved langsiktig eksponering vil det skape redusert fiskehelse. Dette i form av auka genuttrykk av NH_3-pumper i gjeller og avgifting til aminosyrer i hjernevev ved konsentrasjonar på $32\frac{\mu g}{L}$ eller meir [28].
På grunn av dette må pH justerast i HavRAS for å oppnå best moglege tilhøve for fisk og VBK. Maksimal pH-verdi for HavRAS er derfor sett til 6.8 som gjev maks NH_3 = 3.5 $\frac{\mu g}{L}$ [2]. Det er svært viktig å ikkje overskride dette vassparameteret, då små justeringar kan føre til giftig vassmiljø for fisken.

Biofilteret brukt i denne oppgåva er MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor). Med omsyn til brukarvennlegheit og autonomitet har MBBR sine fordeler, der biofilmen vert bygd opp i takt med at den vert sliten av, og med det er han sjølvreinsande[30]. Nitrifiseringa i eit slikt system vil difor vera stabil utan store svingingar. Andre løysingar som FB (Fixed Bed) vil skape eit reinare vatn der biofilmen ikkje er sjølvreinsande, men må tilbakespylast (pers. kom Kverneland, Akva group). Av omsyn til fiskehelse vil det på

liten fisk vere fordelaktig å bruke FB, då den er meir ømtolig for små partiklar ved gjeller (pers. kom. Kverneland, Akva group). Fisken brukt i dette HavRAS (0.3-5.8 kg) vil ikkje ha noko problem med vassmiljøet i MBBR. I tillegg vil FB-nitrifikasjonseffektivitet variere i større grad med tanke på tilbakespylinga som kan gje større variasjon i TAN-nivå.
Største ulempa med biofilter generelt sett er volumet som trengst for å få TAN til ynskt nivå (sjå Tabell 7). MBBR står for majoriteten av arealet på land brukt til VB og kan reduserast kraftig og billig ved å bruke nytt filtermedium som akkurat er kome på marknaden. Det danske firmaet Lynddahl har tatt i bruk ekspandert polyetylen som har eit overflateareal på filtermediet som er 4-5 gonger større enn det vanlege på dagens marknad [25]. Dette vil med andre ord tilseie ein volumreduksjon 4-5 gonger av det som er rekna på dette anlegget. Redusert biofilter vil redusere brukt kystareal og investeringskostnad.

4.5 Gjenbruk av ressursar

Bruk av fotobioreaktor til produksjon av alger med dagens teknologi er lite effektivt[8]. Røyr med innerdiameter på 7.5 cm er kanskje mest effektive med tanke på lystilførsel[54], men krev enorme areal som i seg sjølv er ein avgrensa ressurs langs kysten av Noreg. Dersom ein klarar å utvikle nye metodar med høgare produktivitet, vil nok MA verte meir aktuell.
Dei essensielle feittsyrene EPA og DHA er ei stor mangelvare i fôrindustrien, der det allereie i dag er nådd eit maks uttak frå villfiskbestanden[10]. Heile 90% av all fiskeolja vert i dag brukt innan akvakultur [53]. Skal ein nå næringa sitt mål om femdobling av produksjonen innan 2050, vil det krevje at ein tar i bruk nye kjelder til feitt enn berre marin fisk[53]. Ei av desse kjeldene er mikoralger, primærprodusent av dei essensielle feittsyrene EPA og DHA[42][8]. Oppdrettsnæringa kan altså om kort tid måtte bruke mikroalgar som fôrinnhald, om ikkje mesopelagisk fisk eller GMO kjem i forkjøpet[53].

5 Konklusjon

Bruk av RAS-teknologi for produksjon av fullvaksen laks vil kunne halde alle miljø-parameterar under kontroll. Ved hjelp av både fysiske og biologiske barrierar unngår ein lus, rømming, utslepp og giftige algar. Kombinasjonen av fjordareal for fiskekar og landareal for vassreinsing er ny og gjer det mogleg å ta i bruk nye areal i område der det ikkje kan drivast oppdrett i dag. Smitterisikoen er sterkt redusert, sjølv om ein aldri kan utelukke sjukdomsbakteriar og -virus. Konsekvensen av sjukdomsutbrot er stor, og HavRAS er difor designa med seks individuelle RAS-system for å hindre intern smitte. RAS-teknologi med lågt spedevassforbruk aukar stabilitet og banar veg for ein heilt ny form for matfiskproduksjon i sjø. Optimalisert temperatur gjennom heile produksjonen i kombinasjon med redusert salinitet, aukar vekst og betrar fiskehelsa i tillegg til at det gjer bruk av batchproduksjon mogleg. Batchproduksjon skissert i HavRAS med innsett kvar månad gjev ein årleg produksjon på ca. 10 000 tonn utan at den ståande biomassen overskrid 4 500 tonn. Dette gjer HavRAS svært produksjonseffektiv i forhold til konvensjonelle produksjonssystem for matfisk.

HavRAS vil til ei kvar tid oppretthalde optimale vassverdiar og lang utskiftingstid, sjølv ved høg tettleik. Dette er gjort mogleg gjennom split loop-design, der avløpsvatnet vert delt i partikulær avløpsstraum til land og karintern reinsing for CO_2 og tilsetjing av O_2. Nitrogen og karbon vert reinsa gjennom mikroalgeanlegg, men det er svært arealkrevjande for fullproduksjon og vil med dagens teknologi ikkje vere økonomisk berekraftig.

Referanser

[1] Einar Aarre. Gratis konsesjon til oppdrettere på land. http://sysla.no/fisk/gratis-konsesjon-til-oppdrettere-pa-land/. Hentet 29/05 2017.

[2] Muhammad Hamza Arian. Free ammonia calculator. https://www.hamzasreef.com/Contents/Calculators/FreeAmmonia.php. Hentet 08/05 2017.

[3] Kari JK Attramadal, Thi My Hanh Truong, Ingrid Bakke, Jorunn Skjermo, Yngvar Olsen, and Olav Vadstein. Ras and microbial maturation as tools for k-selection of microbial communities improve survival in cod larvae. *Aquaculture*, 432:483–490, 2014.

[4] Øystein Hermansen Thomas A. Larsen og Bendik Fyhn Terjesen Audun Iversen, Otto Andreassen. Oppdrettsteknologi og konkurranseposisjon. *Nofima rapport 32/2013 • Utgitt juni 2013*, 2013.

[5] Ingrid Bakke, Ann Louise Åm, Jelena Kolarevic, Trine Ytrestøyl, Olav Vadstein, Kari Johanne Kihle Attramadal, and Bendik Fyhn Terjesen. Microbial community dynamics in semi-commercial ras for production of atlantic salmon post-smolts at different salinities. *Aquacultural Engineering*, 2016.

[6] Bjørn Olav Rosseland Bendik Fyhn Terjesen. Produksjon og giftighet av ammoniakk hos fisk. *NOFIMA, NIVA, NMBU*, page 2.

[7] Rådgivende biologer. Dokumentasjonsvedlegg til søknad om landbasert anlegg for produksjon av postsmolt for nekst as på botnastranda industriområde i flora kommune. *Rapport*, 2016.

[8] Matilde Skogen Chauton and Trond Røvik Størseth. Hr mas nmr spectroscopy of marine microalgae. In *Modern Magnetic Resonance*, pages 1–9. Springer, 2016.

[9] BC COX, IN HEALY, and PD MOORE. Biogeography, an ecological and evolutionary approach. blackwellscience publ, 1976.

[10] DKNVS and NTVA. Verdiskaping basert på produktive hav i 2050. *https* : *//www.regjeringen.no/globalassets/upload/FKD/Vedlegg/Rapporter/*2012/*Verdiskaping*− *rapport* − 010812.*pdf*, 2012. Hentet 24.03.2016.

[11] O Einen and AJ Roem. Dietary protein/energy ratios for atlantic salmon in relation to fish size: growth, feed utilization and slaughter quality. *Aquaculture Nutrition*, 3(2):115–126, 1997.

[12] Nofima Fiskeri-og havbruksnæringens forskningsfond (FHF). Pumping av torsk og laks: Faktorer som påvirker velferd og kvalitet. *Vedlegg*, pages 1–2, mai, 2012.

[13] Fiskeridir. Utviklingstillatelser. $http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Saertillatelser/Utviklingstillatelser$, 2016. Hentet 27.03 2016.

[14] Fiskeridirektoratet. Oversikt over søknader om utviklingstillatelser. $http://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Saertillatelser/Utviklingstillatelser/Soekere-antall-og-biomasse$. Hentet 01/06 2016.

[15] Sveinung Fivelstad, Anne Berit Olsen, Torbjørn Åsgård, Grete Baeverfjord, Tim Rasmussen, Tore Vindheim, and Sigurd Stefansson. Long-term sublethal effects of carbon dioxide on atlantic salmon smolts (salmo salar l.): ion regulation, haematology, element composition, nephrocalcinosis and growth parameters. *Aquaculture*, 215(1):301–319, 2003.

[16] Anders Fjellheim. *Resirkulering av vann i settefiskproduksjon*. biologi. NIVA, 2009.

[17] Anders Furuset. Luseproblemer nær havmerd-lokalitet. http://www.intrafish.no/nyheter/1174956/luseproblemer-naer-havmerd-lokalitet. Hentet 24/10 2016.

[18] Bendik Fyhn Terjesen og Harald Takle Grete Bæverfjord, Jelena Kolarevic. Fiskevelferd i ras: Effekt av vannhastighet, tetthet og temperatur. http://smoltproduksjon.no/Bilder/TidlKonf2012. Hentet 15.04 2017.

[19] Joar Grindheim. Luseproblemer nær havmerd-lokalitet. http://www.intrafish.no/nyheter/740979/marine-harvest-nogd-med-lukka-anlegg. Hentet 14/05 2016.

[20] B Grisdale-Helland and SJ Helland. Replacement of protein by fat and carbohydrate in diets for atlantic salmon (salmo salar) at the end of the freshwater stage. *Aquaculture*, 152(1-4):167–180, 1997.

[21] Jon Arne Grøttum. 5 brød og 2 fisk. Kast brødene. Havbruk som mulighet for å mette en økende verdensbefolkning. Sjømat Norge, 2016. Presentasjon Hentet 27.03 2016.

[22] Kjell Inge Reitan Hans Kleivdal Uni Research, Matilde S. Chauton. Proalgae industrial production of marine microalgae as a source of epa and dha rich raw material in fish feed – basis, knowledge status and possibilities. $http://www.sintef.no/globalassets/upload/fiskeri_og_havbruk/marin-$

ressursteknologi/pdf − rapporter/proalgae − final − april − 2013.pdf. Hentet 26.10 2016.

[23] Bang Jensen B Haukaas A (red). Hjeltnes H, Walde C. Fiskehelserapporten 2015. Veterinærinstituttet 2016.

[24] Grete Baeverfjorda Harald Takleb Elisabeth Ytteborgb Britt Kristin Megård Reitena Sissel Nergårdc Jelena Kolarevica and Bendik Fyhn Terjesen. Performance and welfare of atlantic salmon smolt reared in recirculating or flow through aquaculture systems. *Aquaculture Volume 432*, pages 15–25, 2014.

[25] Pål Mugaas Jensen. Nytt filtermedium gir mindre filtertanker i ras. http://kyst.no/nyheter/nytt-filtermedium-gir-mindre-filtertanker-i-ras/. Hentet 06/05 2017.

[26] Geir Johnsen. *Eco Farm Recirculating Aquaculture Systems a new fish farming concept. Results from the first test production at Rogalandsvåg 2001-2002.* biologi. Rådgivende biologer, 2002.

[27] Birger Kierulf, Peter Svihus. Proteiner: ernæring. i store medisinske leksikon. https://sml.snl.no/proteiner$_{-}ernring, 2017, 10.februar.Hentet8.juni2017.$

[28] Jelena Kolarevic, Harald Takle, Olga Felip, Elisabeth Ytteborg, Roger Selset, Christopher M Good, Grete Baeverfjord, Torbjørn Åsgård, and Bendik Fyhn Terjesen. Molecular and physiological responses to long-term sublethal ammonia exposure in atlantic salmon (salmo salar). *Aquatic toxicology*, 124:48–57, 2012.

[29] O.I Lekang. *Aquaculture Engineering.* John Wiley Sons, 2008.

[30] O.I Lekang. *Aquaculture Engineering.* John Wiley Sons, 2013.

[31] H. Ødegaard L.J. Hem, B. Rusten. Nitrification in a moving bed biofilm reactor. *Wat. Res. Vol. 28*, pages 1425–1433, 1994.

[32] Lovdata. Forskrift om omsetning av akvakulturdyr og produkter av akvakulturdyr, forebygging og bekjempelse av smittsomme sykdommer hos akvatiske dyr. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-819. Hentet 29/04 2017.

[33] Mattilsynet. Akvakulturdriftsforskriften vannmiljø, fiskehelse og fiskevelferd. http://tekmar.no/wp-content/uploads/2016/08/M-Binde-Hva-sier-regelverket-17jan06.pdf. Hentet 7. juni 2017.

[34] Damian Moran. Carbon dioxide degassing in fresh and saline water. i: Degassing performance of a cascade column. *Aquacultural Engineering*, 43(1):29–36, 2010.

[35] NDLA. Osmoregulering hos vannlevende dyr. http://ndla.no/nb/node/126029?fag=52234. Hentet 28/04 2017.

[36] Elisabeth Nodland. Ikke gitt at laksen må produseres isaltvann. http://ilaks.no/ikke-gitt-at-laksen-ma-produseres-i-saltvann/. Hentet 28/04 2017.

[37] Nofima. Optimalisert postsmoltproduksjon (opp). *https* : *//nofima.no/prosjekt/optimalisert − postsmoltproduksjon − opp/*. Hentet 19/052017.

[38] Store norske leksikon. Laks. https://snl.no/laks. Hentet 04/04 2016.

[39] Nærings og fiskeridepartementet. Akvakulturfoskriften. https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-822KAPITTEL$_3$. *Hentet*24/04 2016.

[40] Tore S Kristiansen og Ole B Samuelsen. Fiskevelferd ved bruk av slaktemerd for oppdrettsfisk. *Mattilsynet og HI*, page 14, 2005.

[41] Otto Pulz. Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Applied microbiology and biotechnology*, 57(3):287–293, 2001.

[42] Kjell Inge Reitan, Jose R Rainuzzo, and Yngvar Olsen. Effect of nutrient limitation on fatty acid and lipid content of marine microalgae. *Journal of Phycology*, 30(6):972–979, 1994.

[43] Trond Waldemar Rosten, Yngve Ulgenes, Kristian Henriksen, Bendik Fyhn Terjesen, Eirik Biering, and Ulf Winther. Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg-forprosjekt. *SINTEF Fiskeri og Havbruk*, 2011.

[44] Bjorn Rusten, Bjørnar Eikebrokk, Yngve Ulgenes, and Eivind Lygren. Design and operations of the kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural engineering*, 34(3):322–331, 2006.

[45] Bjorn Rusten, Bjørnar Eikebrokk, Yngve Ulgenes, and Eivind Lygren. Design and operations of the kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural engineering*, 34(3):322–331, 2006.

[46] Bjørn Rusten, Lars J. Hem, and Hallvard 0degaard. Nitrification of municipal wastewater in moving-bed biofilm reactorsr. *Water Environment Research, Volume 67, Number 1*, pages 75–86, 1995.

[47] Steven T. Summerfelt. Developments in recirculating systems for artic char culture in north america. *Aquaculture Engineering*, pages 31–71, 2004.

[48] Steven T Summerfelt, BJ Vinci, and RH Piedrahita. Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. *Aquacultural engineering*, 22(1):87–108, 2000.

[49] Anne Berit Olsenb Torbjørn A sga rdc Grete Baeverfjordc Tim Rasmussena Tore Vindheima Sigurd Stefanssond Sveinung Fivelstada, *. Long-term sublethal effects of carbon dioxide on atlantic salmon smolts (salmo salar l.): ion regulation, haematology, element composition, nephrocalcinosis and growth parameters. *Aquaculture*, pages 301–319, 2003.

[50] Bendik Fyhn Terjesen. Ras-teknologi: Hvordan går utviklingen? *http* : *//www.sfj.no/getfile.php/*3763419.2344.*bqyabtuyuu/Nofim* + *BRAS* + *Presentasjon*1*mai*2017. *Hentet*8.*juni*2017.

[51] Bendik Fyhn Terjesen, Steven T Summerfelt, Ståle Nerland, Yngve Ulgenes, Svein Olav Fjæra, Britt Kristin Megård Reiten, Roger Selset, Jelena Kolarevic, Per Brunsvik, Grete Bæverfjord, et al. Design, dimensioning, and performance of a research facility for studies on the requirements of fish in ras environments. *Aquacultural engineering*, 54:49–63, 2013.

[52] Michael Ben Timmons and James M Ebeling. Recirculating aquaculture. 2007.

[53] Bente E Torstensen and Douglas R Tocher. 13 the effects of fish oil replacement on lipid metabolism of fish. *Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds*, page 405, 2010.

[54] CU Ugwu, JC Ogbonna, and H Tanaka. Characterization of light utilization and biomass yields of chlorella sorokiniana in inclined outdoor tubular photobioreactors equipped with static mixers. *Process Biochemistry*, 40(11):3406–3411, 2005.

[55] Xinxin Wang, Lasse Mork Olsen, Kjell Inge Reitan, and Yngvar Olsen. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*, 2(3):267–283, 2012.

Vedlegg

A Tabell frå Sterner til utrekning av filter

NP·DRUMFILTER

NP Drumfilter maximum flow capacity (l/s) for filter type F, frame version
Aquaculture applications
Date: 2014-02-14 Rev: 3

		Effluent from flow-through system <15 mg/l SS						Recirculated system < 15°C <25 mg/l SS					
		Filter opening						Filter opening					
Filter size	No of panels	10 µm	20 µm	30 µm	40 µm	60 µm	90 µm	10 µm	20 µm	30 µm	40 µm	60 µm	90 µm
F802	2	7	15	25	30	41	53	6	12	19	24	32	41
F804	4	14	30	50	61	82	106	11	23	38	47	64	83
F806	6	22	45	75	91	124	160	17	35	58	71	96	124
F808	8	29	60	100	121	165	168	22	47	77	94	129	166
F1203	3	11	22	36	44	60	78	8	17	28	35	47	61
F1206	6	21	44	73	89	121	156	16	34	56	69	94	121
F1209	9	32	66	109	133	181	233	25	52	84	104	141	182
F1212	12	42	88	146	178	241	311	33	69	112	138	188	243
F1215	15	53	110	182	222	301	389	41	86	140	173	235	304
F1218	18	63	132	219	266	362	408	49	103	168	207	282	364
F1221	21	74	154	255	311	408	408	58	120	197	242	329	408
F1224	24	84	176	291	355	408	408	66	137	225	276	376	408
F1616	16	51	108	178	217	295	381	40	84	137	169	230	297
F1620	20	64	135	223	271	368	476	50	105	172	211	287	371
F1624	24	77	161	267	325	442	571	60	126	206	253	345	445
F1628	28	90	188	312	380	516	666	70	147	240	295	402	519
F1632	32	103	215	356	434	589	761	80	168	275	338	460	594
F1636	36	116	242	401	488	663	784	90	189	309	380	517	668
F1640	40	129	269	445	542	737	784	100	210	343	422	575	742
F2030	30	88	183	304	370	502	649	68	143	234	288	392	506
F2035	35	102	214	354	431	586	757	80	167	273	336	457	590
F2040	40	117	245	405	493	670	865	91	191	312	384	522	675
F2045	45	132	275	455	555	753	973	103	215	351	432	588	759
F2050	50	146	306	506	616	837	1081	114	238	390	480	653	843
FTW1230	30	105	220	364	444	603	778	82	172	281	345	470	607
FTW1236	36	126	264	437	533	723	816	99	206	337	414	564	729
FTW1242	42	147	308	510	621	816	816	115	240	393	484	658	816
FTW1248	48	169	352	583	710	816	816	131	275	449	553	752	816

Notes: The capacity figures above are maximum values. Typically it is recommended to size with a extra margin of 10 %.
The given flow capacities refer to experienced data. Differences occur depending on the quality of the flocks.

NP Innovation AB www.npinnovation.se

B Produksjonsplan per batch

Kar	Månad	Prod.plan 1 batch														
		Antall	Biomasse	UB Snitt. (slutt måned)	Slakt antall	Slaktet rund snittvekt	Slakt biomasse	Utsatt antall	Utsatt snitt	ForForbruk	Døde antall	Døde %	Snitt temp	Bio FCR	SGR	SFR
1	1	149 280	60 566	406				150 000	300,00	14 415	720	0,24 %	14,0	0,91	1,01	0,92
	2	148 526	80 225	540						18 890	754	0,51 %	14,0	0,94	0,99	0,94
2	3	147 782	108 894	737						28 512	744	0,50 %	14,0	0,98	1,01	0,99
	4	147 032	145 227	988						37 509	750	0,51 %	14,0	1,01	0,98	1,00
3	5	146 288	193 390	1 322						51 499	744	0,51 %	14,0	1,05	0,94	0,99
	6	145 568	257 177	1 767						70 594	720	0,49 %	14,0	1,09	0,97	1,06
4	7	144 845	347 494	2 399						103 529	723	0,50 %	14,0	1,13	0,99	1,12
	8	144 132	453 906	3 149						126 512	713	0,49 %	14,0	1,17	0,88	1,03
5	9	143 412	563 023	3 926						134 222	720	0,50 %	14,0	1,20	0,74	0,89
	10	142 699	677 336	4 747						144 634	713	0,50 %	14,0	1,23	0,61	0,76
6	11	141 979	784 472	5 525						139 360	720	0,50 %	14,0	1,26	0,51	0,64
	12				141 496	5 822	823 728			53 486	483	0,34 %	14,0	1,24	0,25	0,31

C Akkumulert produksjonsplan

Månader etter oppstart	Tot. biomasse (tonn)	Slakt (tonn)	Akkumulert slakt (tonn)
0	45	0	0
1	61	0	0
2	141	0	0
3	250	0	0
4	395	0	0
5	588	0	0
6	845	0	0
7	1193	0	0
8	1647	0	0
9	2210	0	0
10	2887	0	0
11	3672	0	0
12	4495	824	824
13	4495	824	1647
14	4495	824	2471
15	4495	824	3295
16	4495	824	4119
17	4495	824	4942
18	4495	824	5766
19	4495	824	6590
20	4495	824	7414
21	4495	824	8237
22	4495	824	9061
23	4495	824	9885
24	4495	824	10708
25	4495	824	11532
26	4495	824	12356
27	4495	824	13180
28	4495	824	14003
29	4495	824	14827
30	4495	824	15651
31	4495	824	16475
32	4495	824	17298
33	4495	824	18122
34	4495	824	18946
35	4495	824	19769
36	4495	824	20593