

Selvrensende CO₂-lufter for landbasert oppdrettsanlegg

Joakim Teigland
Even Grahl Johannessen

Bacheloroppgave
Produksjonsteknikk
Bergen, Norge 2022



Høgskulen
på Vestlandet

Selvrensende CO₂-luft for landbasert oppdrettsanlegg

SALMON EVOLUTION

Joakim Teigland
Even Grahl Johannessen

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

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

Omslag fotografi © Norbert Lümmen

English title: Self-cleaning CO₂ aerator for land-based fish farming

Forfattere, studentnummer: Joakim Teigland 585164
Even Grahl Johannessen 581274

Studieprogram: Produksjonsteknikk
Dato: Mai 2022
Rapportnummer: IMM 2022-MAS351-M53
Veileder ved HVL: Jan Ove Rogde Mjånes
Oppdragsgiver: Salmon Evolution ASA
Oppdragsgivers referanse: Olav Lyngstad

Antall filer levert digitalt: 5

Forord

Denne bacheloroppgaven ble skrevet våren 2022 ved Høgskulen på Vestlandet (HVL) ved institutt for maskin og marin (IMM). Oppgaven tilsvarer 20 studiepoeng og er den avsluttende delen av bachelorgraden i produksjonsteknikk. Oppgaven tar for seg utvikling og testing av en prototype CO₂-lufte som er selvrensende.

Fagfeltet knyttet til rensing og lufting av vann er utfordrende, og vi har brukt mye tid på å sette oss inn i tema for å få forståelsen som kreves for å løse oppgaven. Gjennom dette arbeidet har vi tilegnet oss mye kunnskap knyttet til oppdrett av fisk, hvilke fordeler og ulemper landbasert oppdrett har og hvor krevende det er å flytte produksjonen på land. Dette er et tema som vi ikke hadde kjennskap til på forhånd, men som viste seg å være svært interessant for begge.

Gjennom arbeidet vi har hatt med oppgaven har vi fått god veiledning av Jan Ove Rogde Mjånes (IMM, HVL), takk for gode innspill og veiledning.

Vi ønsker også å takke Salmon Evolution for tilliten og for veiledning av Olav Lyngstad (Technical Manager Biology and Aquaculture) og Vidar Skjørli (Manager People and Organization).

Sammendrag

På anlegget til Salmon Evolution på Indre Harøy planlegges det som skal bli en av Europas største lakseoppdrettsanlegg på land. For å være konkurransedyktig mot tradisjonell oppdrett må driftskostnadene være så lave som mulig. En av teknologiene som bidrar til dette er Hybrid Flow-Through-systemet (HFT) som resirkulerer 65% av sjøvannet som pumpes opp fra havbunnen. For å resirkulere vann må CO₂ fjernes etter hvert som oksygen forbrukes av fisken i fiskekarene. En billig måte å gjøre dette på, er å bruke en CO₂-lufter som øker vannets overflateareal i en boks med høy luftgjennomstrømning. For at vannets overflateareal skal øke, brukes perforerte plater som vannet skal sildre gjennom. Problemet med dette er at vannet kan inneholde en del fôr som kan tette hullene i de perforerte platene og dermed redusere eller ødelegge denne lufteprosessen.

Denne oppgaven har som hovedmål å finne forbedringer eller løsninger som kan forhindre at nettopp dette skjer. Det ble i begynnelsen av denne oppgaven sett på flere ulike muligheter for å løse problemene relatert til at fôr tetter de perforerte platene. Wedge Wire (WW), som er et filtreringsmedium som brukes i forskjellige industrier for å filtrere ut fast stoff fra væske, viste seg å være den beste løsningen. Spalteåpningen mellom spilene er det som avgjør hvor store partikler som kan filtreres ut. En av de største fordelene med WW er at den tilsynelatende skal ha en god selvrensende effekt.

En prototype av en CO₂-lufter lik den Salmon Evolution har i dag på deres anlegg ble designet med WW montert. Det ble utført forsøk med fôrholdig vann for å teste hypotesen om at de perforerte platene tettes av fôr, for å se om WW påvirker vannfordelingen til platene, og for å verifisere at WW var et egnet filtreringsmedium som var selvrensende i de vinklene som kunne oppnås i CO₂-lufteren.

Observasjonene gjort under forsøkene viste at WW er et godt egnet filtreringsmedium for fôr, men på grunn av den lave vinkelen WW var montert, forsvant noe av den selvrensende effekten som var ønsket. Dette kan skyldes lav vannstrøm i innløpet på lufteren. Her mener gruppen at mer arbeid må gjøres.

Abstract

At the Salmon Evolution facility on Indre Harøy, it is planned what will be one of the largest land-based salmon farms in Europe. To be competitive with traditional farming, operating costs must be as low as possible. One of the technologies contributing to this is the Hybrid Flow-Through system (HFT) that recycles 65% of the seawater. In the recycled water, CO₂ that the fish produce must be removed to secure a healthy environment for the fish. To do this in an inexpensive way Salmon Evolution are using a CO₂ aerator that increases the surface area of the water in a box with high air flow. For the surface area to increase, perforated plates are used to secure that the water will trickle throughout the box. The problem with this is that the water contains feed residues that potentially can clog the holes of the perforated plates and thus reduce or hinder the aeration process.

The main goal of this task is to find a solution or improvements to prevent this from happening. Initially, several options were considered to solve this problem, but the solution that showed the best properties turned up to be a wedge wire (WW). WW is a filtration medium used in different industries to filter out solids from liquids. The gap opening between the columns is what will determine how large particles that can be filtered out. One of the biggest advantages of WW is that it should have a good self-cleaning effect.

A prototype of a CO₂ aerator like the one Salmon Evolution has today at their plant was designed with WW attached. Tests were done with water containing feed to check if the hypothesis that the perforated plates get clogged, how the WW affects the distribution of the water, and finally to check if WW is a suitable filtration medium that is self-cleaning in the angles that could be achieved in the CO₂ aerator.

The observations made during the experiments showed that WW is a well-suited filtration medium for feed residues, but due to the low angle WW was mounted in, some of the desired self-cleaning effect disappeared. This may be because of the low water flow in the inlet of the aerator. The group believes that more work needs to be done before implementation.

Innhold

Forord.....	3
Sammendrag.....	5
Abstract	7
Definisjoner.....	12
1. Innledning.....	14
1.1 Utvikling av oppdrett i Norge	14
1.2 Dagens fiskeoppdrett.....	16
1.3 Landbaserte oppdrett	17
1.4 RAS-Anlegg (Recirculating aquaculture systems).....	18
1.5 HFT (Hybrid Flow-Through system)	18
1.6 Prosessbeskrivelse av Indre Harøy.....	19
1.6.1 Sjøvannsinntak	20
1.6.2 Tilførsel av vann, 35%	20
1.6.3 Resirkulering av vann, 65%	22
1.6.4 CO ₂ -lufter	22
1.7 Problemstilling	24
1.8 Avgrensninger	24
2. Metode.....	25
2.1 Teoretisk fremgangsmåte	32
2.1.1 Kvalitativ metode	32
2.1.2 Prototype	32
2.1.3 Wedge wire.....	35
2.2 Eksperimentell metode	38
2.2.1 Sammenstilling av prototypen.....	39
2.2.2 Retning på wedge wire	41
2.2.3 Hvordan påvirker wedge wire fordelingen av vann	42
2.2.4 Vinkelens påvirkning på selvrensing.....	42
2.3 Feilkilder	43
3. Resultat.....	44

3.1	Tetning av perforerte plater	44
3.2	Retning på wedge wire	45
3.3	Hvordan wedge wire påvirker fordelingen av vann	47
3.4	Vinkelens påvirkning på selvrensing.....	48
4.	Diskusjon.....	50
5.	Konklusjon	52
	Referanser.....	53
	Vedlegg 1, Lakseeksport 2021, data hentet fra SSB	58
	Vedlegg 2, Konsekvens av høyere løftehøyde til CO2-lufter	58
	Vedlegg 3, Mail fra Progress Screen.....	59

Definisjoner

<i>RAS</i>	=	<i>Recirculating Aquaculture System</i>
<i>HFT</i>	=	<i>Hybrid Flow-Through system</i>
<i>Smolt</i>	=	<i>Fisk med vekt 0-250g (Salmon Evolution)</i>
<i>Post smolt</i>	=	<i>Fisk mellom 250g -1kg (Salmon Evolution)</i>
<i>O₂</i>	=	<i>Oksygen</i>
<i>CO₂</i>	=	<i>Karbondioksid</i>
<i>SE</i>	=	<i>Salmon Evolution</i>
<i>UV</i>	=	<i>Ultrafiolett stråling</i>
<i>mm</i>	=	<i>Millimeter (10⁻³ meter)</i>
<i>p_{O2}</i>	=	<i>Partialtrykk oksygen</i>
<i>F_x</i>	=	<i>Volumfraksjon av gass</i>
<i>Hydrofob</i>	=	<i>Et stoff i kjemien som ikke fuktes i vann og som er uløselig i vann [1]</i>
<i>Perforert</i>	=	<i>Perforere betyr å gjennomhulle [2]</i>
<i>µm</i>	=	<i>Mikrometer (10⁻⁶ meter)</i>
<i>Overflatespenning</i>	=	<i>Overflatespenning er en virkning som oppstår i overflaten av en væske, og som blant annet fører til at det dannes en overflatehinne [3]</i>
<i>WW</i>	=	<i>Wedge Wire</i>
<i>ppm</i>	=	<i>Parts per million (1/1 000 000)</i>
<i>barg</i>	=	<i>Bar Gauge (Målertrykk)</i>

1. Innledning

Dette innledende kapittelet har som hensikt å gi grunnleggende bakgrunnskunnskap i emnet fiskeoppdrett for å kunne forstå problemstillingen oppgaven skal løse. Først presenteres norsk opprethistorie med en påfølgende introduksjon til sjø- og landbasert oppdrett. Videre følger tre delkapitler om Recirculating aquaculture system (RAS) og Hybrid Flow-Through system (HFT), samt en prosessoversikt over anlegget på Indre Harøy.

1.1 Utvikling av oppdrett i Norge

Norge har en lang kysthistorie med skipsbygging, skipsfrakt og fiske. Gjennom flere generasjoner har fiske og sjøfart vært nordmenns viktigste syssel og eksport [4]. I oljeeventyrets begynnelse på 1960-tallet startet også det som skulle bli Norges viktigste bidrag i internasjonal mateksport [5]. I skyggen av den pågående oljeletingen ble det samlet inn villaks fra 41 elver for å avle opp laks med egenskaper tilpasset oppdrett. Verdens første oppdrettsanlegg ble etablert av Ove og Sivert Grøntvedt på Hitra i 1970 [6]. Gjennom de neste 50 årene økte eksporten av laks og aure betydelig, og er nå på 1,3-1,4 millioner tonn i året tilsvarende 85,42 milliarder NOK [7]. Laks alene står for 1 070 894 tonn i 2021 (Vedlegg 1, Lakseeksport 2021). Dette er ubestridelig store inntekter for den norske staten og oppdrettsselskapene samt en stor arbeidsgiver i Norge [8]. Gjennom utviklingen av fiskeoppdrett i sjøen har også reglene og forskriftene oppdrettsselskaper må følge, utviklet seg. Regjeringen kommer med forskrifter og retningslinjer til industrien for å styre utviklingen i en bærekraftig retning. Dette kan for eksempel være fritaket fra konsesjoner som oppdrett på land har fått [9]. Matfisk-produksjon blir samtidig sett på av flere som en fremtidens viktigste kilder til proteiner [10]. To sentrale grunner til dette er laksens effektive konvertering av næring og tilgangen til kortreist protein ved landproduksjon. Laks har et konverteringsforhold på 1,1, - denne faktoren beskriver hvor mye fôr som trengs for å produsere et kilo kjøtt. Under følger en sammenligning av de vanligste proteinkildene.

Enhet	Laks	Kylling	Svin	Storfe
Proteinretensjon	31 %	34 %	18 %	15 %
Energiretensjon	23 %	25 %	14 %	27 %
Spiselig utbytte	68 %	46 %	52 %	41 %
Fôr-konverteringsforhold	1.1	1.9	3.0	4-10
Karbonutslipp kg CO ₂ /kg spiselig kjøtt	2.9 kg	2.7 kg	5.9 kg	30 kg
Spiselig kjøtt per 100 kilo fôr	61 kg	24 kg	17 kg	4-10 kg
Vannforbruk, liter ferskvann/kg spiselig kjøtt	2 000 liter	4 300 liter	6 000 liter	15 400 liter

Tabell 1: Sammenligning av proteinkilder [11] [12]

Tallene presentert i Tabell 1 er veiledende og er hentet fra blant annet «Mowi Salmon Farming Industry Handbook» som ikke er en objektiv part. De blir i dette tilfellet kun brukt som en illustrasjon på hvordan laks kan sammenlignes med andre proteinkilder. Blå farge indikerer beste resultat, en forklaring til parameterne følger under.

Proteinretensjon: Beskriver hvor mye animalske proteiner som produseres per enhet protein som gis dyret.

Energiretensjon: Er energi i spiselig kjøtt delt på energi i maten gitt dyret. Bedre forklart er det hvor mye av energien fra fôret som er igjen i det ferdige produktet. Grunnen til at laks er så effektive i omgjøring fra fôr til muskler er at de er kaldblodige og «flyter» i vannet, i motsetning til dyr som må stå oppreist.

Spiselig utbytte: Spiselig vekt delt på total vekt.

Fôr-konverteringsforhold: Beskriver hvor mange kilo fôr som trengs for å øke dyrets vekt med et kilo.

1.2 Dagens fiskeoppdrett

Dagens lakseoppdrett baserer seg hovedsakelig på å fø opp fisk til ønsket slaktevekt i åpne merder i havet. Denne produksjonsmetoden er relativt billig, men bringer med seg flere ulemper som påvirker miljøet og økosystemet rundt anleggene. Dette kan omhandle rømming av fisk som påvirker og utkonkurrerer villfisk, ødeleggelse av bunnforhold under merdene, økt tetthet av lakselus og annen sykdom som kan vandre mellom anleggene. Tiltakene for å hindre slike påvirkninger koster næringen 5-6 milliarder kroner hvert år [13] [14].

Som et tiltak fra myndighetene for å synliggjøre fordeler og ulemper med denne produksjonsmetoden blir det hvert år utgitt en fiskehelse rapport skrevet av Havforskningsdirektoratet. Fiskehelse rapporten for 2020 peker spesielt på problemer knyttet til virus, bakterie- og parasittsykdommer knyttet til fiskeoppdrett. Oppdrettsfisk er spesielt utsatt for disse sykdommene siden bestanden tilbringer storparten av livet i et begrenset område uten mulighet for å trekke til ferskvann for avlusing [15]. Disse problemene vil i stor grad rette seg mot oppdrettsfisken og føre til høy dødelighet, med direkte påvirkning på driftsmarginen til selskapene. I 2020 var samlet tap i oppdrett 60 232 564 individer, hvorav 86,6 % var død fisk som følge av sykdom og skader [16]. Samtidig er det flere utfordringer knyttet til forurensing og ødeleggelse av nærområder rundt oppdrettsanleggene. Disse konsekvensene kan påvirke Norges muligheter for bærekraftig sjømatproduksjon i fremtiden ved å ødelegge livsvilkårene for dyreliv i havet og forurense store områder egnet for produksjon av matfisk. Problemene som ofte tas opp i sammenheng med nasjonale konsekvenser av oppdrett er forurensing av havbunnen, overføring av sykdommer til villfisk og rømming [17]. Med forbrukernes økende forventning rettet mot bedrifter, deres samarbeidspartnere og regjeringen om å satse på bærekraftige løsninger må nyvinninger innen sjømatproduksjonen til. En av de lovende nyvinningene innen sjømatproduksjon er landbasert oppdrett. Ved å flytte oppdrett til land kan det være mulig å redusere dødelighet som følge av virus, bakterier og lus, - samtidig som man ekskluderer muligheten for at fisken kan rømme. Disse forbedringene, kombinert med en redusert veksttid kan gjøre oppdrett på land konkurransedyktig med tradisjonelt sjøoppdrett [18].



Figur 1: Fiskemerder i havet (Merder, av Jørgensen, B., Samfoto, NTB scanpix. (<https://ndla.no/article/9845>). CC BY-NC-SA 4.0.)

1.3 Landbaserte oppdrett

Som nevnt i forrige avsnitt, vil man ved å flytte oppdrettsanlegg til land kunne forhindre noen av problemene knyttet til tradisjonell oppdrett i havet. Ved å separere fisken i forskjellige tanker vil man for eksempel hindre spredning av sykdom og virus mellom karene.

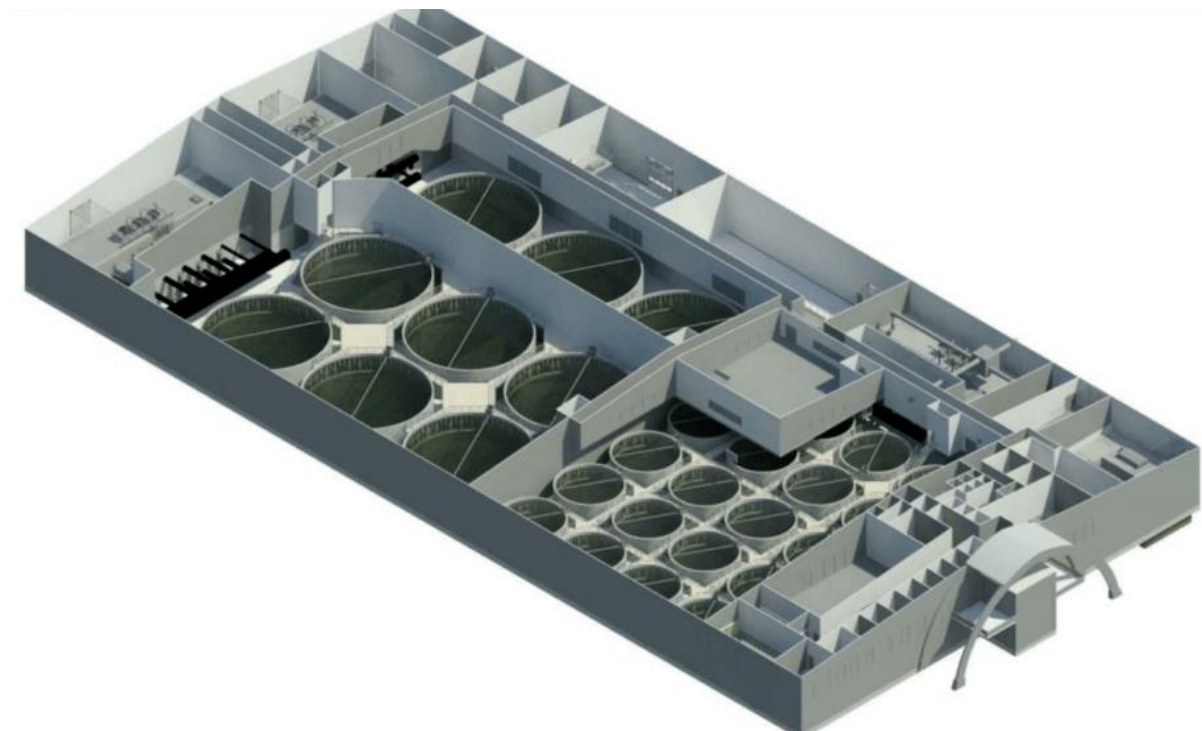
Salmon Evolution (heretter SE), er et selskap som ble opprettet i 2017 og fokuserer på å utvikle kommersielle landbaserte oppdrettsanlegg. Selskapet jobber med utbyggingen av den første av tre faser på Indre Harøy i Møre og Romsdal fylkeskommune, hvor fase én skal gi en årlig produksjon på 9000 tonn laks. Fase tre skal være ferdig i 2028 med en årlig produksjon på 31,500 tonn sløyd laks i totalt 48 kar. Produksjonen på Indre Harøy tilrettelegger for bærekraftig produksjon med tilgang på ferskt sjøvann, fornybar energi samt allerede etablert infrastruktur for lakseoppdrett. For at SE skal nå målet bør lakseproduksjonen effektiviseres ved blant annet å kontrollere temperatur og vannkvalitet. Til tross for at landbasert oppdrett ser ut til å innebære en rekke fordeler, er det også noen hindringer å ta høyde for. Et av problemene med å flytte et oppdrettsanlegg til land, er at det er svært energikrevende både å holde temperaturen i anleggets vannbasseng konstant og å pumpe vannmasser mellom fiskekar. For å være konkurransedyktig med sjøbasert oppdrett må selskapet satse på teknologi og effektivisering for å minimere energiforbruket. Samtidig er kapitalbindingen høy og avkastningen lavere i landbaserte- enn i sjøbaserte anlegg. De siste årene har avkastningen på sjøbasert oppdrett vært på 30 %. Ifølge styreleder i SE Tore Tønseth, vil ikke dette være mulig å oppnå [19]. Tønseth anslår at den reelle avkastningen snarere vil ligge på 12-15 % for Indre Harøy, men tilfører at avkastningen kan stige dersom SE klarer å oppnå premium pris på sin fisk [19]. Figur 2 viser Indre Harøy når siste fase er ferdig utbygget i 2028.



Figur 2: Fiskeoppdrett på land (Salmon Evolution)

1.4 RAS-Anlegg (Recirculating aquaculture systems)

Recirculating aquaculture system (RAS) er oppdrettsanlegg som resirkulerer opptil 99% av vannet i tankene ved hjelp av tekniske løsninger. Disse løsningene omfatter blant annet rensing av vann, tilførsel av oksygen, avfallshåndtering og temperaturkontroll. Prosessene for å sikre et godt økosystem for fisken er ressurskrevende og medfører en høy investeringskostnad [20]. De samme faktorene som gjør anlegget dyrt å utvikle muliggjør også for matfiskproduksjon på steder nærmere markedet. Ved at anlegget bare får etterfylt vann som følge av avfallshåndtering eller fordamping blir vanntilførselen så liten at anlegget i praksis kan plasseres uten nærhet til vann. Hovedutfordringen med RAS-anlegg er som beskrevet den høye investeringskostnaden samt sårbarhet knyttet til strømtilførsel, redundans i kritiske systemer og høyere driftskostnader [20].



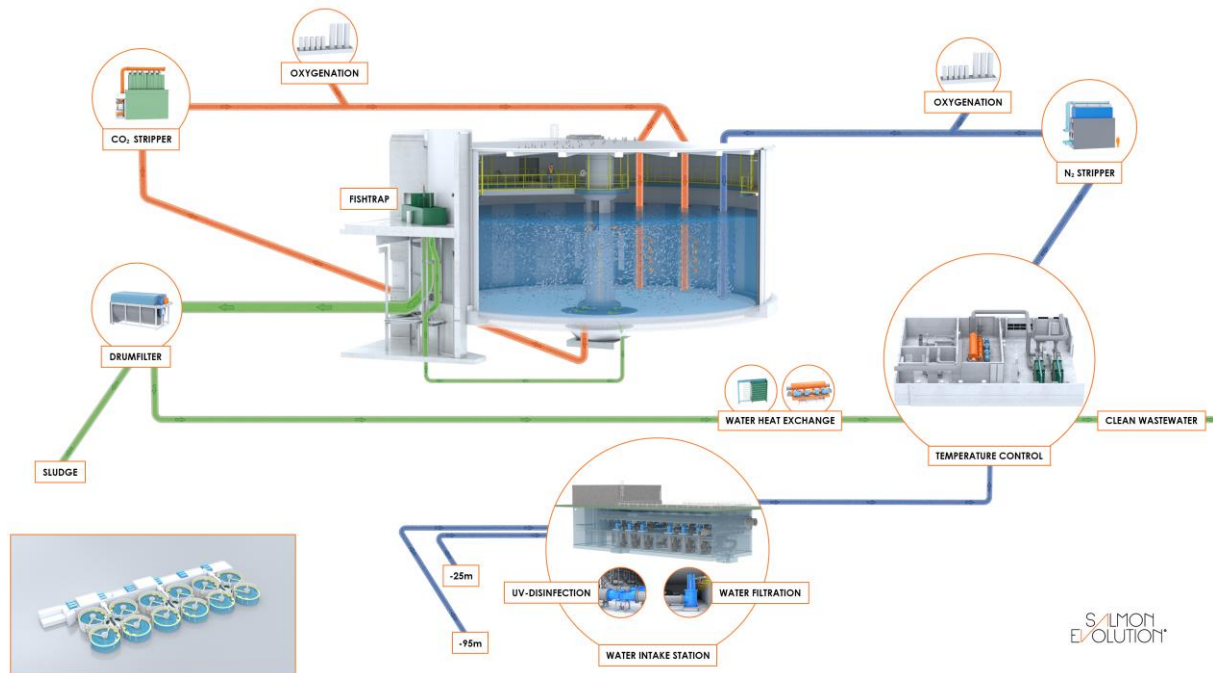
Figur 3: Eksempel på RAS-anlegg [21]

1.5 HFT (Hybrid Flow-Through system)

HFT er en hybrid variant av RAS. Denne modellen resirkulerer 65% av vannet i motsetning til 95-99% som tradisjonelle RAS-anlegg. Det er en klar sammenheng mellom resirkuleringsgraden til et anlegg og hvor mye teknisk utstyr som kreves [22]. Ved å resirkulere mindre vann reduseres også investeringene som trengs for teknisk utstyr og prosjektet blir følgelig billigere å realisere. I SE sitt anlegg på Indre Harøy blir det tilført 35% sjøvann hentet fra 25 eller 95 meters dybde, og på denne måten kan SE regulere hvilket inntak de bruker for å tilføre vann. Laksen trives best i 14°C, ved å hente vann fra dybden med temperatur nærmest 14°C vil energibehovet for oppvarming reduseres. Samtidig vil reduksjon av resirkuleringsgrad føre til at en trenger mindre høyteknologisk utstyr samt minimere oksygenering av vannet. Selv om HFT er mindre teknologisk krevende enn RAS, er det likevel en prosess med høy grad av støttesystemer og teknologi. Dette vil bli redegjort for i neste delkapittel.

1.6 Prosessbeskrivelse av Indre Harøy

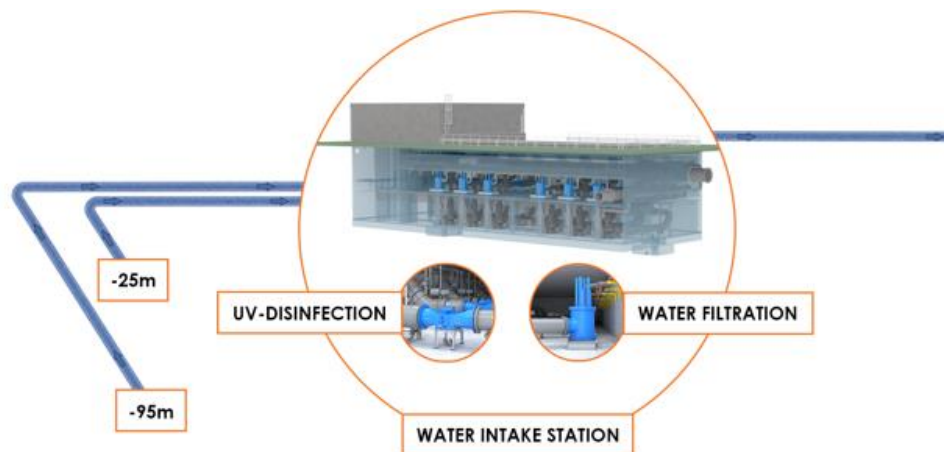
Indre Harøys byggetrinn en kan deles inn i 12 kar med tilhørende systemer for rensing, tilførsel av oksygen og sirkulasjon av vann. En kronologisk prosessbeskrivelse av de overordnede systemene følger i dette delkapittelet.



Figur 4: Prosessoversikt Indre Harøy

Prosessoversikten kan deles inn i to separate sløyfer, en med tilførsel av sjøvann (merket blå og grønn) og en hvor vannet i tanken resirkuleres (merket oransje).

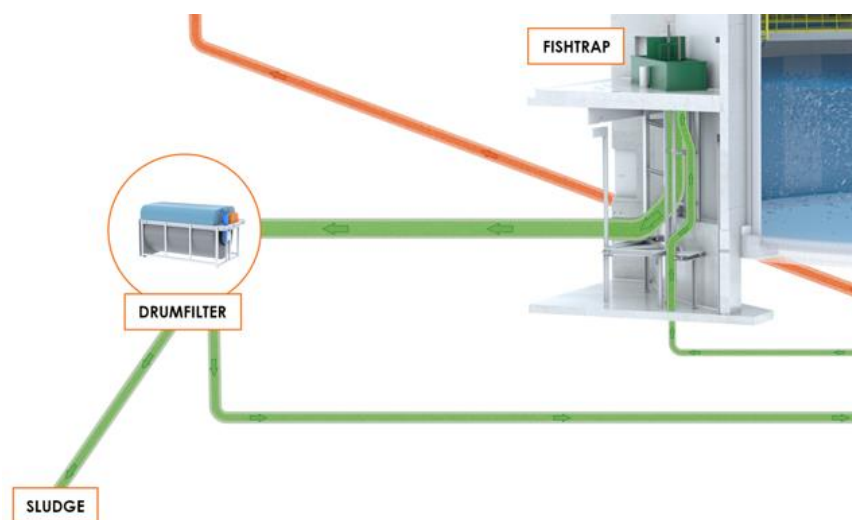
1.6.1 Sjøvannsinntak



Figur 5: Sjøvannsinntak Indre Harøy

Sjøvann kan hentes fra to forskjellige dybder med to separate rørledninger. Som beskrevet i delkapittel 1.5 gjøres dette for å hente vann fra dybden med temperatur nærmest 14°C. En annen fordel med to separate systemer er redundansen dette gir. Om et av rørene går tett eller pumpene havarerer vil man kunne sikre den viktige tilførselen av ferskt sjøvann. Vannet filtreres for partikler ned til 100 µm før det bestråles med UV for å drepe bakteriesporer og virus.

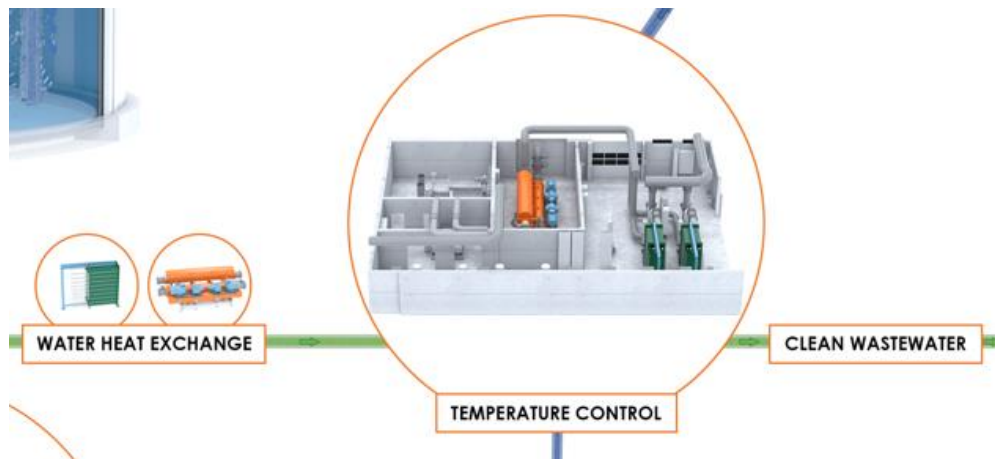
1.6.2 Tilførsel av vann, 35%



Figur 6: Avfallsvann fra tank

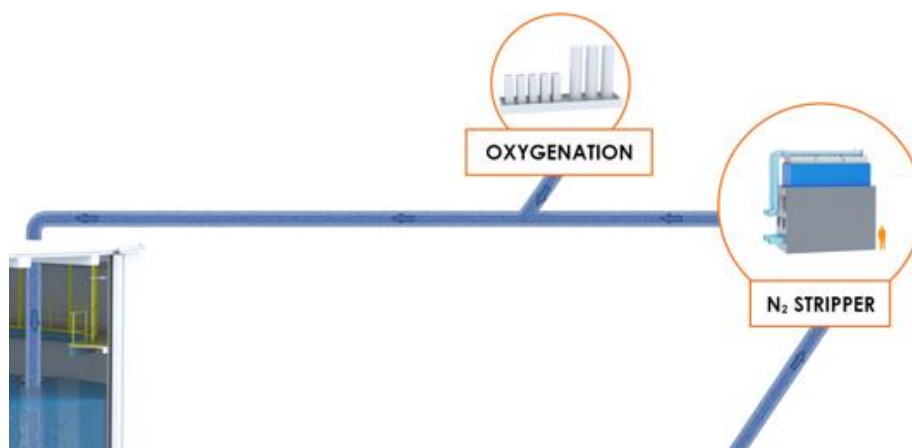
Gjennomstrømningen på 35% hentes ut fra bunnen av tanken og føres gjennom en fiskefanger som hindrer at fisken blir med i avfallsvannet. Død fisk hentes ut av karet daglig. Hvert kar har en egen

biologisk skjermet obduksjonsavdeling der fiskens dødsårsak blir undersøkt. Avfallsvannet filtreres i et roterende trommelfilter for å skille avfallsprodukter og sjøvann. Avfallet består av fôr-rester, avføring og fiskeslam som på sikt kan brukes for produksjon av gjødsel eller energi. Avfallsproduktet håndteres nå av Blue Ocean Technologies og langtidsplanen er å tjene penger på salg av avfallet som et ledd i deres planer for en mer sirkulær produksjon [23].



Figur 7: Vannbehandling

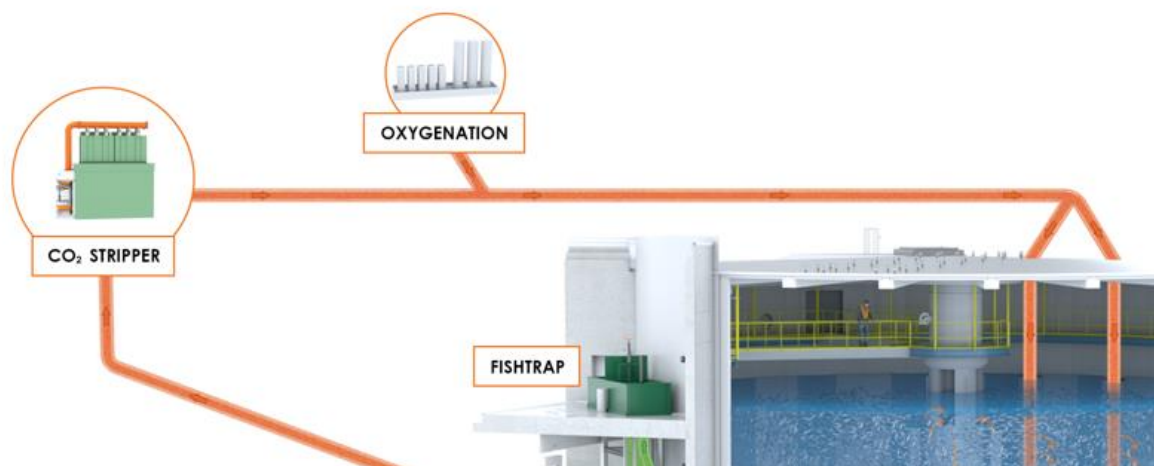
Det filtrerte avfallsvannet går videre til varmeveksleren slik at den termiske energien i vannet fra tanken kan benyttes til oppvarming av nytt sjøvann. Forholdet mellom tilført energi fra varmeveksling og varmepumpe er 75% og 25%. Avfallsvannet skal renses for 60% av partikler under 45 µm før det slippes ut på en dybde mellom 40-45 meter.



Figur 8: Vannkjemi

Nytt sjøvann stripres for N₂ ved å benytte prinsippet for diffusjon når vannet pumpes i motsatt retning av luftstrømmen. Oksygen tilføres automatisk basert på oksygenmetningen i vannet for å oppnå en supermetning i innløpsvannet, tilsvarende 300ml/l eller 300% metning.

1.6.3 Resirkulering av vann, 65%

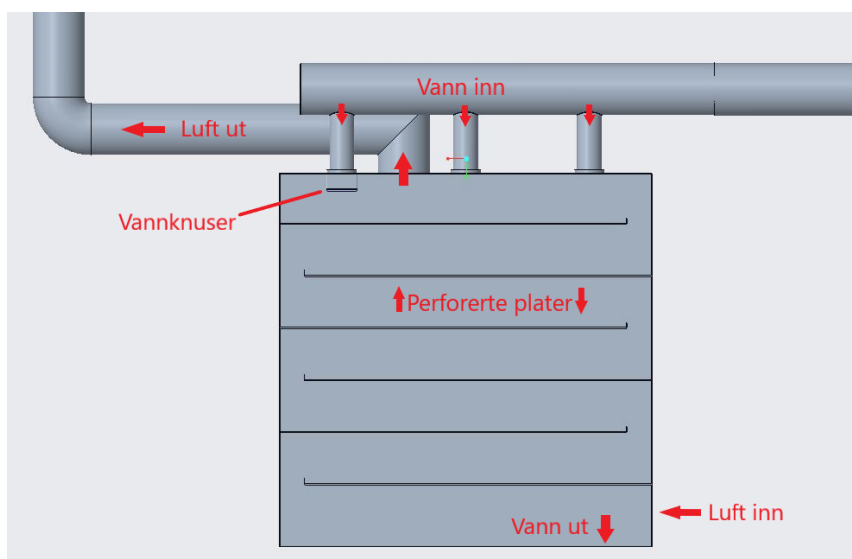


Figur 9: Resirkuleringsløyfen hvor 65% av vannet går

Resirkuleringsløyfen består av oksygenering og CO₂-lufting. Vannet hentes fra midten av karet hvor oksygenivået er lavest. Vannet pumpes opp til CO₂-lufteren med et beregnet trykk på 0.4 barg, ved dette trykket blir vannet pumpet til samme høyde som innløpet til lufteren. Grunnen til at dette gjøres er for å spare energi ved å ikke trykksatte vannet mer enn nødvendig, tyngdekraften fører vannet gjennom lufteren og ned i karet. Resirkuleringsløyfen og tilførselsløyfen skaper begge sirkulær bevegelse i vannmassen slik at fisken svømmer i motstrøm.

1.6.4 CO₂-lufter

CO₂-lufteren som er vist i resirkuleringsløyfen i Figur 9 er følgelig hovedfokuset for denne oppgaven. Lufting av vannet i lufteren gjøres ved å utnytte diffusjonsmekanismer og motstrømprinsippet. Når vannmassene entrer lufteren, blir vannet splittet med en vannknuser for å skape små dråper med stor overflate. Videre vil vannet sildre ned på den første perforerte platen som igjen fordeler vannet slik at den store overflaten opprettholdes. Luften som suges opp og gjennom lufteren kommer i kontakt med overflaten til vannet, og på denne måten vil motstrømprinsippet effektivisere diffusjonen mellom vann og gass. Figur 10 viser hvordan eksisterende lufter er designet.



Figur 10: Skisse av nåværende CO₂-lufter

Motstrømsprinsippet og diffusjon kan finnes igjen i flere prosesser i naturen, som i lungene til mennesker eller i gjeller hos fisk. Tørr luft ved havoverflaten inneholder 21 % oksygen og rundt 400 ppm karbondioksid som tilsvarer volumfraksjonen til disse gassene [24]. Diffusjon skjer ved forskjell i gassens partialtrykk, O₂ og CO₂ vil strømme fra et område med høyt partialtrykk til et område med lavere partialtrykk for å oppnå likevekt. Partialtrykk skrives ofte p_{O_2} for oksygen, og kan regnes ut om man kjenner totaltrykket/barometertrykket (p_B) og volumfraksjonen til oksygen (F_{O_2}) [25].

$$p_{O_2} = F_{O_2} \times p_B$$

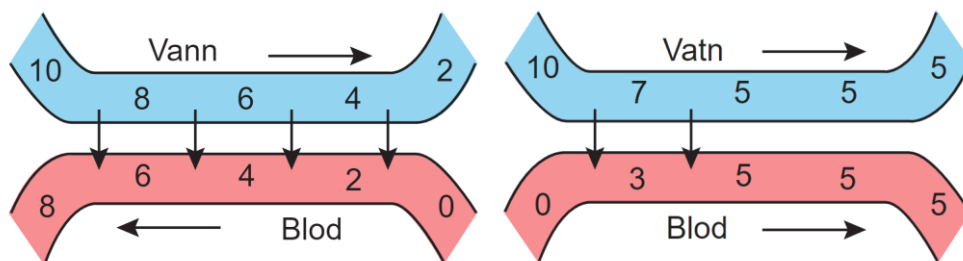
Eksempelvis vil partialtrykket til oksygen ved havoverflaten være:

$$p_{O_2} = 0,21 \cdot 101,3 \text{ kPa} = 21,273 \text{ kPa}$$

og partialtrykket til karbondioksid ved havoverflaten:

$$p_{CO_2} = 4 \cdot 10^{-4} \cdot 101,3 \text{ kPa} = 0,04052 \text{ kPa}$$

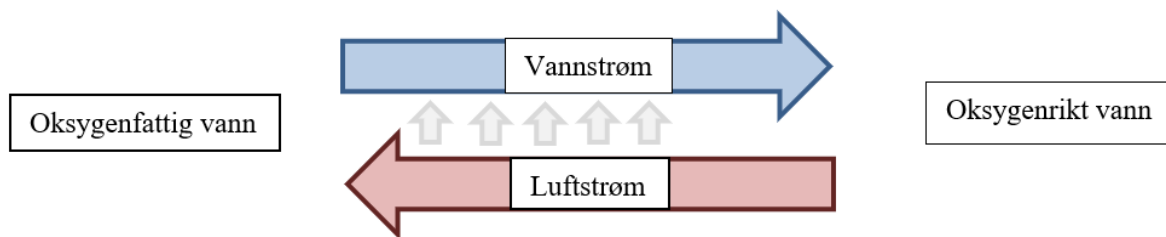
Alle levende organismer forbruker O₂ og utånder CO₂, slik vil også fisk forbruke oksygenet i vannet for å opprettholde fysiologiske mekanismer og samtidig utånde CO₂. Ved denne prosessen vil partialtrykket til de forskjellige gassene i vannet endres, p_{O_2} vil minke mens p_{CO_2} vil øke. Ved å luften vannet med lavere p_{O_2} og høyere p_{CO_2} enn likevektstrykket i luften ved havoverflaten vil det skje en gassutveksling i vannet slik at gassene går mot likevekt [26]. Denne prosessen effektiviseres i lufteren ved å bruke motstrømsprinsippet og samtidig påse at luftstrømmen er 10-20 ganger høyere enn vannstrømmen. (CO₂ er 20 ganger mer løselig i vann enn O₂ [27]).



Figur 11: Motstrømsprinsippet i gassutveksling nn, av Vikan, J. (<https://ndla.no/article/32683>). CC BY-SA 4.0.

Figur 12: Transport medstrøms med tal nn, av Vikan, J. (<https://ndla.no/article/32683>). CC BY-SA 4.0.

Siden strømmen av vann og oksygen går i motsatt retning vil vannet alltid møte luft med litt høyere konsentrasjon av oksygen, se Figur 11. På denne måten vil oksygenet diffundere fra luft til vann gjennom hele lufteren. Som figur 10 og 11 viser er det betydelige fordeler ved å utnytte motstrømsprinsippet ved diffusjon, i disse figurene er blod og vann brukt som beskrivelse, men prinsippet er likt i CO₂-lufteren, se figur 13.



Figur 13: Motstrøms prinsippet i CO₂-lufteren

1.7 Problemstilling

Ifølge Michael Timmons og Thomas Losord i boken «Aquaculture water reuse systems: Engineering design and management» er det fire vannkvalitetsfaktorer som begrenser produksjonsintensitet i resirkuleringsanlegg: Oppløst oksygen, ammoniakk-nitrogen-konsentrasjon, flytende avfall og konsentrasjonen av nitrat-nitrogen [28]. Ved å anta at produsenten av anlegget har beregnet at gassverdiene i vannet vil være tilstrekkelig så lenge systemet opereres som tiltenkt blir problemet flytende avfall.

Problemet med dagens CO₂-lufter er forventningen om at fiskefôr og avføring vil tette de perforerte platene. Fôret har en lengde på 3-9 mm mens de perforerte platene har hull med diameter på 6 mm

Målet med oppgaven er å utvikle en selvrensende CO₂-lufter slik at fôr og avfallsprodukter ikke reduserer utluftingen av CO₂.

1.8 Avgrensninger

I denne rapporten er det ikke regnet på energiforbruk eller produksjonskostnader ved implementering av nytt system/ komponenter.

Det er heller ikke tatt hensyn til om et eventuelt nytt system/komponenter vil påvirke noen av prosessene før eller etter utlufting av CO₂.

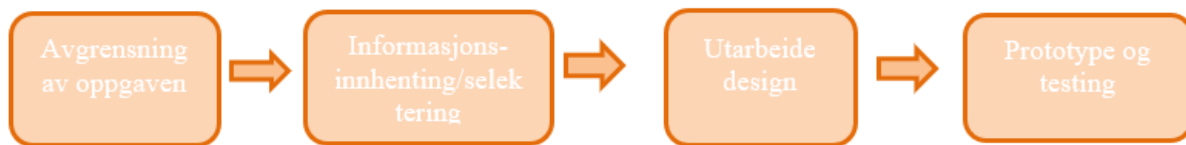
Det antas at oksygen- og CO₂ verdiene i vannet ikke vil påvirkes om de perforerte platene ikke endres. Det vil derfor ikke bli målt vannverdier i dette prosjektet.

På grunn av tidsbegrensinger ble det ikke tatt hensyn til vedlikehold i designfasen.

Hvordan avfallet fra lufteren samles opp er ikke tatt hensyn til.

2. Metode

Dette kapitlet vil være en systematisk beskrivelse av hvordan arbeidet er utført fra start til slutt, og illustreres i grove trekk av figur 14. Ved å strukturere kapitlet i denne rekkefølgen, vil det bli lettere for leseren å følge utviklingen og samtidig for eksterne å gjennomføre kontrollforsøk. Avgrensning av oppgaven er gjort i forestående kapittel mens informasjonsinnhenting, utarbeide design og prototype og testing beskrives i dette kapitlet. Hvert steg inneholder underkategorier og vil bli beskrevet underveis.



Figur 14: Prosessoversikt

Metoden brukt i rapporten er en teoretisk gjennomgang av tidligere litteratur og samtaler med SE om deres behov og forventninger. Et grundig litteratursøk ble gjort i oppstartsfasen av prosjektet slik at gruppens medlemmer kunne tilegne seg kunnskapen som kreves om fiskeoppdrett og RAS-teknologi. Under litteratursøket ble det synlig at problemstillingen med selvrensende CO₂-luftere ikke tidligere er beskrevet i litteraturen. Dette kan ha en sammenheng med mangelen på RAS- og HFT-anlegg i drift, samt den begrensede størrelsen slike anlegg har hatt frem til nå. Grunnet mangel på litteratur som beskriver problemet med tette luftere, eller løsninger på problemet ble det tidlig utarbeidet flere alternative løsninger som gruppen undersøkte videre. Forslagene fra denne idéfasen ble sammenlignet med hverandre og med eksisterende løsning i en PUGH-matrise. I tillegg ble hvert alternativ kritisk vurdert for å utelukke alternativer som ikke er økonomisk hensiktsmessige eller lar seg gjennomføre uten betydelige modifikasjoner på eksisterende design. Betydelige modifikasjoner kan være å heve høyden på lufteren eller tilføre komplekse rensesystemer som separator eller hydroykloner. Alternativene er beskrevet kort under med en sammenligning av fordeler og ulemper tilknyttet hvert alternativ.

Alternativ 1: Filtrering i innløpet

En CO₂-lufter med filtrering av vann i innløpsrøret. Dette alternativet er avhengig av to eller flere innløpsrør slik at flow kan opprettholdes ved bytte av filter i ett av rørene. En trykksensor før og etter filter indikerer om filteret er tett. Hvert innløpsrør skal kunne stenges individuelt slik at filteret kan byttes. De andre innløpene kan fortsatt forsyne vann selv om man bytter filter på det ene innløpet. Hensikten med dette systemet blir å møte problemet med tette plater ved å fjerne fiskeforet før lufteren.

Fordeler	Ulemper
Fjerner fôr før lufteren	Kan føre til «knusing» av fôr
Relativt billig alternativ sammenlignet med separator	Krever flere innløpsrør
Kan integreres i IPMS-systemer	Er ikke selvrensende da en operatør må bytte/rense filtrene

Tabell 2: Fordeler og ulemper med alternativ 1

Alternativ 2: Bioballer som filter

Et annet alternativ er å ha en skuffe med bioballer istedenfor en «vannknuser». Bioballene fungerer som filter samtidig som de vil samle opp bakterier. Skuffene kan enkelt dras ut og bioballene byttes ved behov siden det er en lukkeventil til hvert enkelt innløp. Dette kan kombineres med en av de andre alternativene for lufting.

Fordeler	Ulemper
Relativt likt design som faktisk lufter	En skuffe med bioballer kan forsterke problemet med knust fôr
Billig å iverksette	Det forventes at skuffene må renses relativt ofte

Tabell 3: Fordeler og ulemper med alternativ 2

Alternativ 3: Dyser som spyer lufteren innvendig

Dyser på innsiden av lufteren som spyer de perforerte platene ved behov eller ved beregnede intervaller. Designet av lufteren vil være lik med unntak av implementering av dyser. Dette kan kombineres med en av de andre alternativene for filtrering, om filtreringen ikke er tilstrekkelig. Ideelt vil vanntilførselen til dysene komme fra lufterens vanntilførsel, det er usikkert om trykket er høyt nok til å få en spyleeffekt. Det bør muligens være ventiler på vanninnløpet til lufteren slik at trykket i tilførselsrøret opprettholdes ved eventuell spyling.

Fordeler	Ulemper
Eksisterende design kan brukes	Filtrerer ikke ut fôr
Kan implementeres med andre filtreringsløsninger	Usikkert om det er nok trykk i innløpsrøret til at spyleeffekten kan oppnås
	Hver perforert plate må ha minst en dyse under. Dette krever mange dyser.

Tabell 4: Fordeler og ulemper med alternativ 3

Alternativ 4: Rullebånd med perforerte plater

De perforerte platene ligger på et rullebånd som fører avfallet ut av lufteren. Disse rullebåndene drives av en elektrisk motor eller en vannturbin sammenkoblet med båndet. Avfallet samles i et kar på utsiden av lufteren og kan enkelt tømmes ved behov. Dette er en potensielt dyr løsning på problemet, om rullebåndet kan driftes av vanntrykk fra innløpet vil det kreve lavere energiforbruk. Spørsmålet er om vanntrykket er nok til å drive båndet, og hvordan implementeres den uten at det «søles» for mye vann.

Fordeler	Ulemper
Selvrensende	Trolig kostbart og krevende å drifte
	Teknisk vanskelig å gjennomføre
	Ikke lufttett

Tabell 5: Fordeler og ulemper med alternativ 4

Alternativ 5: Perforerte skuffer som enkelt kan hentes ut av lufteren

En kvadratisk boks med perforerte skuffer istedenfor plater. Lagvis oppå hverandre. Skuffene kan tas ut og spyles, samtidig som vanntilførselen kan strupes for den tilhørende skuffen. Dette kan kombineres med ett av de andre alternativene for filtrering.

Fordeler	Ulemper
Lett tilgang for vasking av plater	Ikke selvrensende
Lett å bytte ut	Fôr vil fortsatt kunne tette platene

Tabell 6: Fordeler og ulemper med alternativ 5

Alternativ 6: Wedge wire som filtrering i lufteren

Lufter med like perforerte plater som eksisterende lufter, men med en WW på toppen for å rense vannet før platene. WW skal filtrere ut fôr som så kan samles i en beholder på utsiden av lufteren.

Fordeler	Ulemper
Selvrensende	Krever endring på lufter
Billig	Kan gå tett
Opprettholder dagens lufting	

Tabell 7: Fordeler og ulemper med alternativ 6

Etter endt idemyldring ble de forskjellige alternativene satt opp mot hverandre og allerede eksisterende lufter i en PUGH-matrise for å vurdere hvilket alternativ det vil være hensiktsmessig å se videre på.

En PUGH-matrise er et kriteriebasert beslutningsanalyseverktøy som brukes for å evaluere alternativer opp mot hverandre ved vektlegging av gitte kriterier [29].

For å rangere de forskjellige alternativene måtte kriterier defineres. Vektleggingen av kriteriene er rangert fra 1-3 som multipliseres med en verdi fra ± 5 . Verdiene i de forskjellige kriteriene er gitt med utgangspunkt i om gruppen mener ideen er bedre eller dårligere enn eksisterende design. Summert opp skal den totale verdien være høyere enn det eksisterende designet for å bli ansett som et bedre alternativ. Det er her viktig å forstå at alle verdier i denne PUGH-matrisen er basert på antagelser gjort av gruppen og at andre kan komme frem til andre sluttverdier.

De forskjellige kriteriene er som følger:

Filtrering: Filtrering av fiskefor etc. Om alternativet har en negativ score vil det si at filtreringsevnen til dette alternativet vil antas å være dårligere enn eksisterende.

CO₂-lufting: Filtreringsmediumet bør ha en så liten påvirkning på CO₂-luftingen som mulig. Her er de forskjellige ideene rangert ut ifra hvor mye filtreringen er forventet å påvirke vannstrømmen over de perforerte platene i eksisterende design.

Selvrensende: Selvrensende vil si at filtreringsmediumet er i stand til å rense seg selv enten ved hjelp av tilført vann eller tyngdekraft.

Kostnad: Kostnaden på ideene vil naturligvis være dyrere enn eksisterende design på grunn av modifisering. Dette er grunnen til at alle alternativene har en negativ verdi i denne kolonnen.

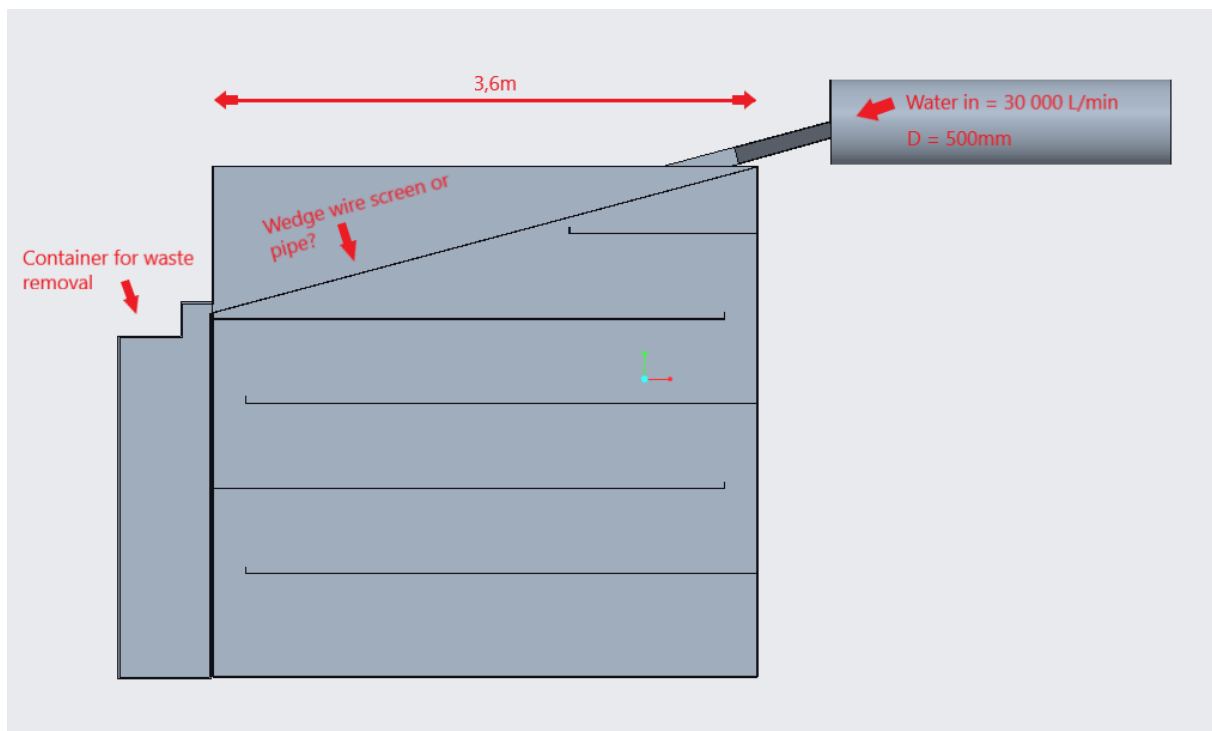
Energiforbruk: Energiforbruket bør holdes så lavt som mulig. I eksisterende design er det bare vannpumpen som krever energi. Det er derfor viktig at et nytt design ikke er betydelig mer energikrevende enn dette.

Betydelig modifikasjon på eksisterende design: Her er alternativene rangert ut fra hvor betydelig en modifikasjon på det eksisterende designet vil være. Alle alternativene har en negativ verdi fordi alle vil være en modifikasjon.

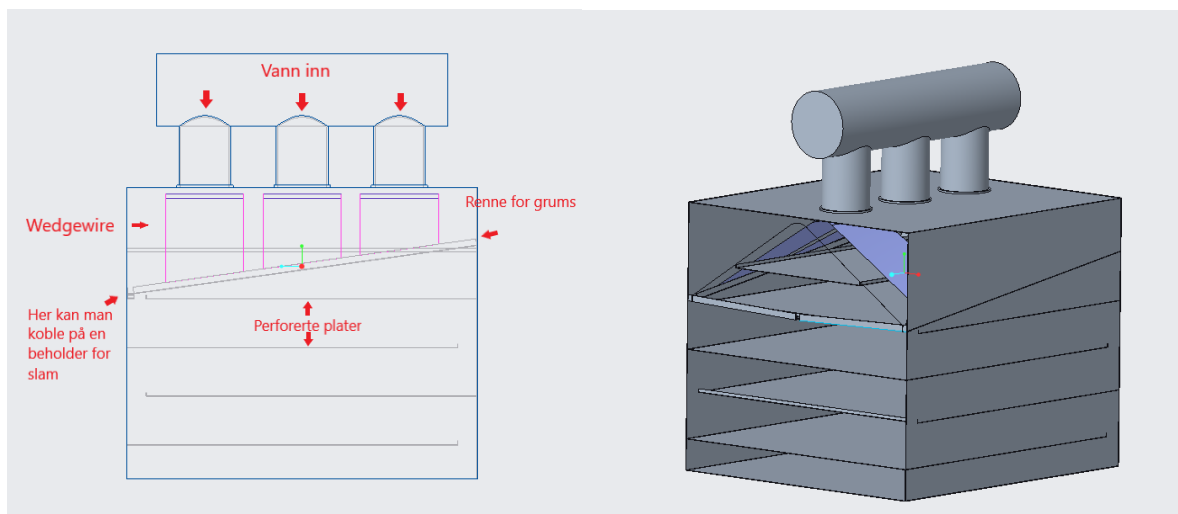
Vekting (1-3)	2	3	3	3	3	1	
Kriterier	Filtrering	CO2 lufting	Selvrensende	Kostnad	Energiforbruk	Betydelig modifikasjon på eksisterende design	Totalt
Eksisterende løsning	0	0	0	0	0	0	0
Alternativ 1	5	0	0	-2	-1	-1	0
Alternativ 2	1	0	0	-1	0	-1	-2
Alternativ 3	0	0	0	-1	-1	-1	-7
Alternativ 4	1	-1	1	-2	-2	-2	-10
Alternativ 5	0	0	0	-1	0	-1	-4
Alternativ 6	4	0	3	-1	0	-1	13

Figur 15: PUGH-Matrise

Ut fra PUGH-matrisen i figur 15 ser man at alternativ 6 fikk den høyeste totale verdien, noe som fører til at alternativet videreutvikles. Resten av dette kapittelet vil derfor kun omhandle designet som har WW som filtreringsmedium. Gruppen utarbeidet flere design for hvordan WW kan monteres i lufteren, med hovedfokus på de to alternativene avbildet under.



Figur 16: Designalternativ 6 med hel wedge wire plate



Figur 17: 2D-tegning av alternativ 6

Figur 18: Designalternativ 6 med flere wedge wire plater

Retningen på WW kan i begge design være med vannretning eller vinkelrett på vannretningen (90°). Hovedforskjellen i design er vinkelen som er mulig å oppnå med eksisterende høyde på lufteren, om WW deles i to separate plater er det mulig å oppnå en vinkel på 32° . En heldekkende WW som i figur 16 kan oppnå en vinkel på 17° i fullskala lufter. Som følge av en mer kompleks byggeprosess som er avbildet i figur 18 og samtaler med designingeniør i SE ble det besluttet å produsere en prototype av heldekkende WW.

Som beskrevet tidligere vil det ikke være økonomisk hensiktsmessig å øke høyden på lufteeren, ved å øke høyden på enheten med 10 cm vil energibehovet stige tilsvarende 93 353 kWh/år per byggetrinn ifølge SE. (Vedlegg 2, Konsekvens av høyere løftehøyde til CO₂-lufte)

BTB: konsekvens av høyere løftehøyde til CO ₂ -lufte							EnergiSaving pr innsett [kWh]	EnergiSaving per byggetrinn [kWh/year]
Konfigurasjon/Kommentarer	Gen#	Σ_O2_kWh	Σ_Pu_kWh	Σ_Heat_kWh	Σ_Annet_kWh	Σ_TOT_kWh		
Konfig: 02-kjægle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000l/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO ₂ ; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5 (Base)	Snitt G005-G030	936 571	4 535 203	1 621 877	954 066	8 795 364		
Konfig: 02-kjægle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000l/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO ₂ ; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO ₂ -lufte +0,1m	Snitt G005-G030	936 571	4 550 762	1 621 877	954 066	8 810 923	-15 559	-93 353
Konfig: 02-kjægle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000l/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO ₂ ; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO ₂ -lufte +0,2m	Snitt G005-G030	936 571	4 566 321	1 621 877	954 066	8 826 482	-31 118	-186 706
Konfig: 02-kjægle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000l/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO ₂ ; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO ₂ -lufte +0,3m	Snitt G005-G030	936 571	4 581 880	1 621 877	954 066	8 842 041	-46 677	-280 060
Konfig: 02-kjægle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000l/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO ₂ ; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO ₂ -lufte +0,4m	Snitt G005-G030	936 571	4 597 438	1 621 877	954 066	8 857 600	-62 235	-373 413
Konfig: 02-kjægle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000l/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO ₂ ; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO ₂ -lufte +0,5m	Snitt G005-G030	936 571	4 612 997	1 621 877	954 066	8 873 159	-77 794	-466 766
Konfig: 02-kjægle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000l/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO ₂ ; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO ₂ -lufte +0,6m	Snitt G005-G030	936 571	4 628 556	1 621 877	954 066	8 888 717	-93 353	-560 119

Figur 19: Konsekvens av høyere løftehøyde til CO₂-lufte

Av de ulike alternativene som ble drøftet, mente teknisk ansvarlig for biologi og akvakultur i SE at WW ville være den mest lovende løsningen for selvrensing på deres anlegg. Dette støttes av forsøkene utført ved Universitetet i Tokyo og NMBU [30] [31].

I 2020 utførte forskere ved universitetet i Tokyo en studie hvor de så på muligheten til å hente ut alger fra ferskvann og brakkvann ved lavest mulig energi input. Algekulturen (*Botryococcus braunii*) de filtrerte ut fra brakkvannet hadde en gjennomsnittlig størrelse på 200-350µm, og skulle brukes i produksjon av biodrivstoff. I forsøket ble én WW med vinklene 51° og 66° sammenlignet med vakuumsfiltrering. En vannstråle på 3 L min⁻¹ treffer WW med en vinkel på 66° for så å renne videre til vinkelen på 51°. Forsøket konkluderer med en vellykket separasjon på >85% ved bruk av WW med spalteåpning på 150µm, samtidig som energitilførselen var 44% av hva vakuumsfiltreringen krevde. 44% energitilførsel tilsvarer pumpens forbruk for å levere vann til toppen av WW [31].

Ved NMBU i Ås sammenlignet forskere WW filtrering med analrensing av fisk for å beregne næringsopptaket til ørret ved forskjellige typer fôr. Formålet var å undersøke om denne filtreringsløsningen kunne erstatte den tidkrevende metoden for å suge ut fiskeavføring for å måle næringsinnholdet i den. En WW ble montert i utløpet av tanken med en vinkel på 45° og spalteåpninger som følger vannstrømmen. Forsøket viser at WW effektivt samlet opp fiskeavføring og uspist fôr samtidig som utvasking av næringsstoffer fra avføringen var minimal grunnet god vanngjennomstrømning i filteret. Basert på forsøket utført ved NMBU kan en antagelse gjøres om at WW filtrering i vinkel på 45° kan samle opp fiskefôr fra vannet og samtidig slippe gjennom nok vann [30].

Forskningen viser både lovende filtrering, selvrensing og samtidig minimale ekstrakostnader. Selv om målet med forskningen presentert er ulikt fra denne rapportens mål, antas det at artiklene kan brukes som en indikasjon på forventet resultat rundt hypotesen bak WW filtrering og selvrensende evne. Det store spørsmålet vil være om den selvrensende effekten kan opprettholdes ved lavere vinkel enn i de nevnte forsøkene.

2.1 Teoretisk fremgangsmåte

Som beskrevet over var avgrensning av oppgaven og litteraturrevisjon viktig for å oppnå gode resultater. Informasjonsinnhenting og selekteringen bestående av PUGH-matrisen og kritisk vurdering av alternativene fører til designet med en heldekkende WW. Den teoretiske fremgangsmåten som følger, vil ta for seg arbeidsprosessen fra bestemt design og frem til eksperimentet begynner. Her vil en introduksjon til kvalitativ metode fremlegges hvor gruppen forklarer valget bak metoden. Delkapittelet vil også beskrive valg og tekniske tegninger utarbeidet før eksperimentet kunne iverksettes.

2.1.1 Kvalitativ metode

I denne rapporten er det brukt en kvalitativ metode for å komme fram til en løsning på problemet. Kvalitativ metode er en forskningsmetode som brukes for å oppnå dybdekunnskap og helhetlig forståelse av en kontekst [32]. Denne metoden er brukt fordi det ikke blir innhentet data i form av tallverdier, men ved hjelp av observasjoner gruppen har gjort. Det er samtidig ikke gjort mange nok forsøk til å kunne kalle funnene kvantitative, men resultatene fra denne rapporten kan brukes i en kvantitativ undersøkelse senere. Observasjonene fra forsøket blir beskrevet i detalj i kapittel 3.

De digitale hjelpemidlene som er brukt for modellering, utarbeidelse av tekniske tegninger og oppdeling for 3D-printing er henholdsvis:

- PTC Creo Parametric (modellering og 2D-tegninger) [33]
- Flashforge (oppdeling av STL-filer for 3D-printing) [34]

2.1.2 Prototype

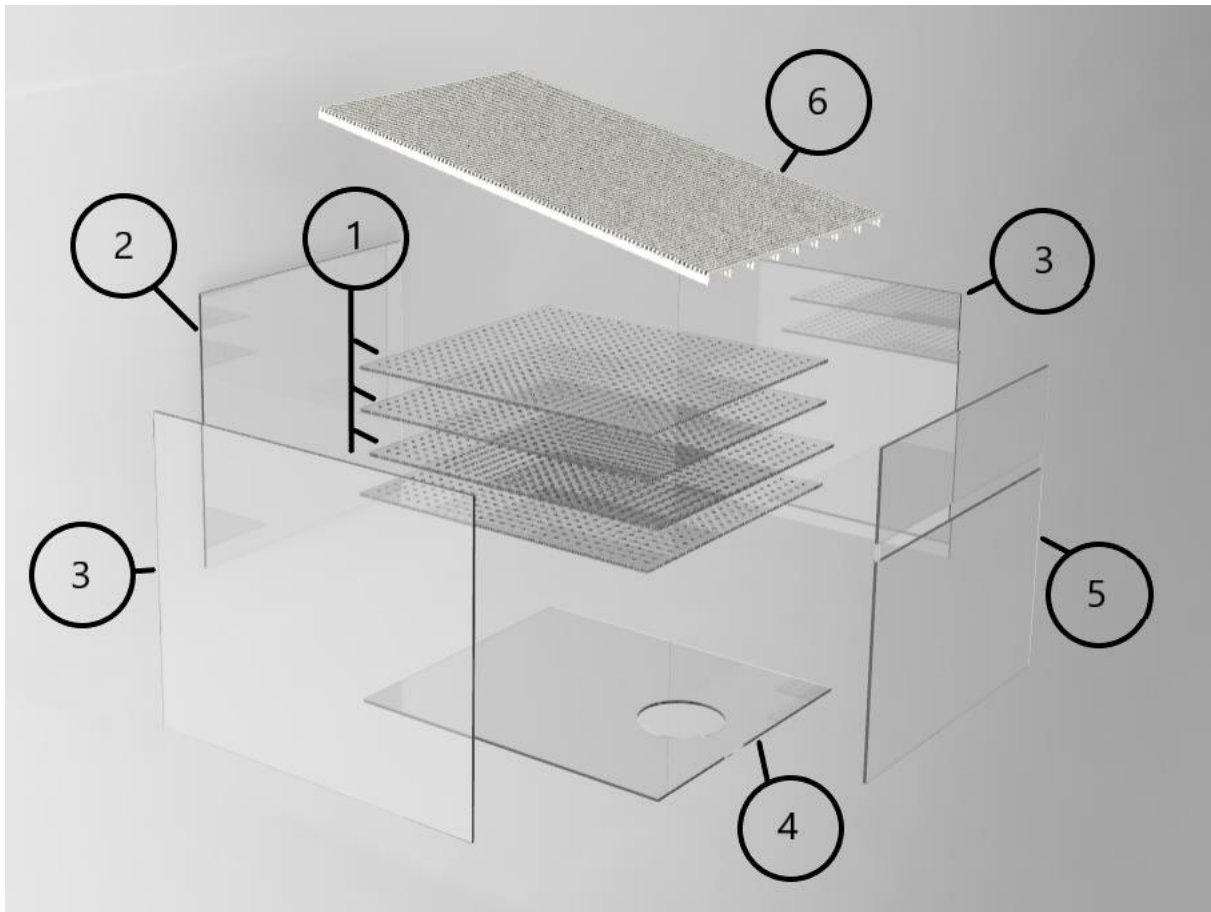
Plastglass/akryl er plater av gjennomsiktig plast som er enkle å håndtere når det kommer til saging og boring. Platene er forholdsvis billige og lett tilgjengelige på de fleste byggevarekjeder. Med et budsjett på 5000 kr ble det besluttet å bruke dette som hovedmateriale for prototypen. Det ble kjøpt inn fem plater i størrelsen 800x1200x4mm til en pris på 369 kr/plate fra Megafliis. Ut ifra målene på platene ble det bestemt å nedskalere alle mål 1:8 for å utnytte de innkjøpte platene så effektivt som mulig.

Siden fiskefôret ikke kan nedskaleres ble hullgeometrien fra den originale CO₂-lufteren beholdt, dette medfører også at spalteåpningen på WW ikke ble endret.

Hvis pumpen skal nedskaleres i samme forhold som CO₂-lufteren må man bruke en pumpe som kan levere 3750 l/min. Dette var ikke mulig å få tak i på skolens fasiliteter. Mer om dette er beskrevet i Feilkilder.

Det ble i prototypen brukt fire perforerte plater i istedenfor seks som i originalen. Dette ble gjort for å unngå at det blir trangt mellom platene. De perforerte platene i prototypen er med andre ord satt inn for å gi et bilde av hvordan prinsippet i en CO₂-lufter fungerer og for å se hvordan vannet vil fordele seg etter WW.

I figur 20 får man et bilde av sammensetningen av platene som utgjør prototypen for CO₂-lufteren.

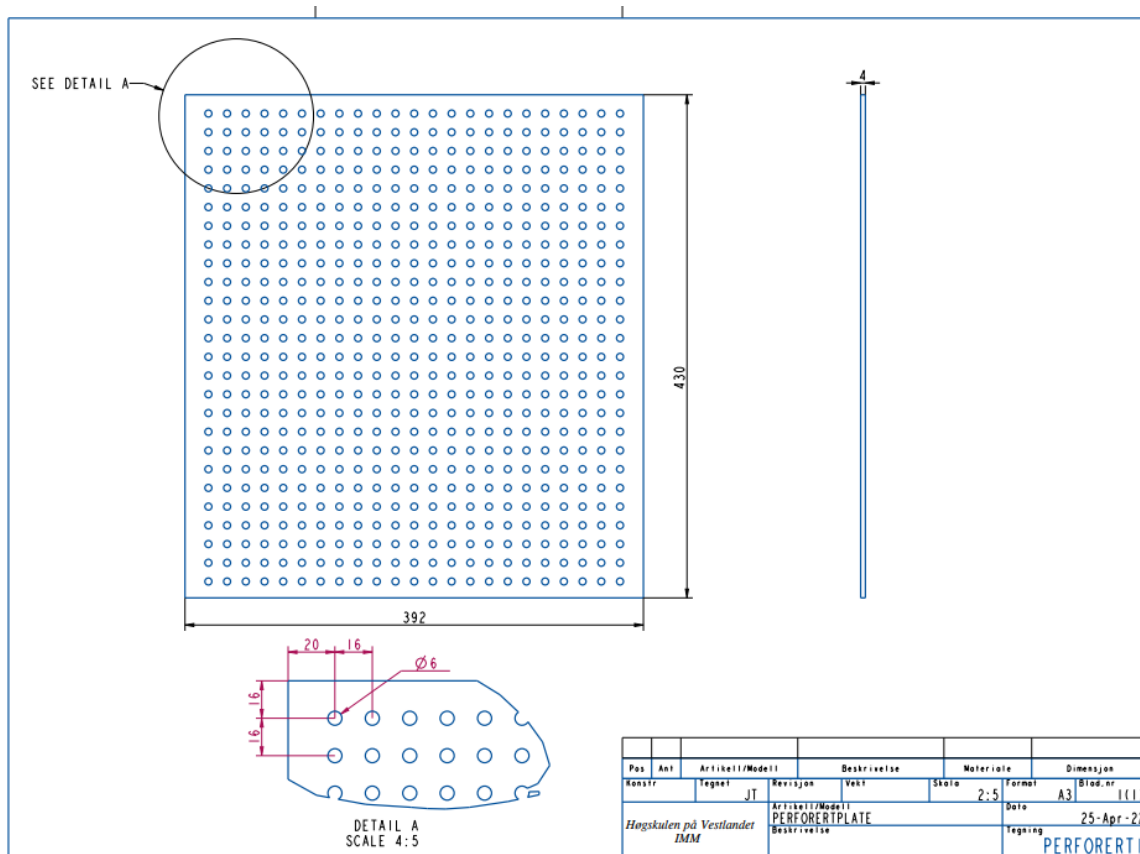


Figur 20: Exploded view av prototype

Prototypen består av følgende komponenter:

- 1:** 4 stk. perforerte plater i plastglass
- 2:** Veggplate i plastglass 375 x 400 mm
- 3:** Front og bakplate i plastglass 450 x 375 mm
- 4:** Bunnplate i plastglass 400 x 450 mm
- 5:** Plastglass plate med utkapp for WW 375 x 400 mm
- 6:** WW plate i PLA plast 390 x 580 mm

De perforerte platene ble tegnet med mellomrom fra ytterkanten til senter av ytterste hull, se detalj A i Figur 21. Bakgrunnen for dette valget var usikkerheten knyttet til stivheten og styrken platen ville ha etter de var perforert. Luftprosenten til platene er forholdet mellom materiale og luft per plate og regnes ut med formel fra en produsent av perforerte plater. Utregningen vil bli sammenlignet med luftprosenten til WW for å senere ha muligheten til å se på en optimalisering der luftprosenten til WW konvergerer mot luftprosenten til de perforerte platene.



Figur 21: Teknisk tegning av perforert plate

Luftprosenten til de perforerte platene ble regnet ut med formel fra RMIG som produserer perforerte plater [35].

$$F_p = \frac{D^2 \times 78,5}{U_1 \times U_2}$$

D = Hulldiameter (6 mm)

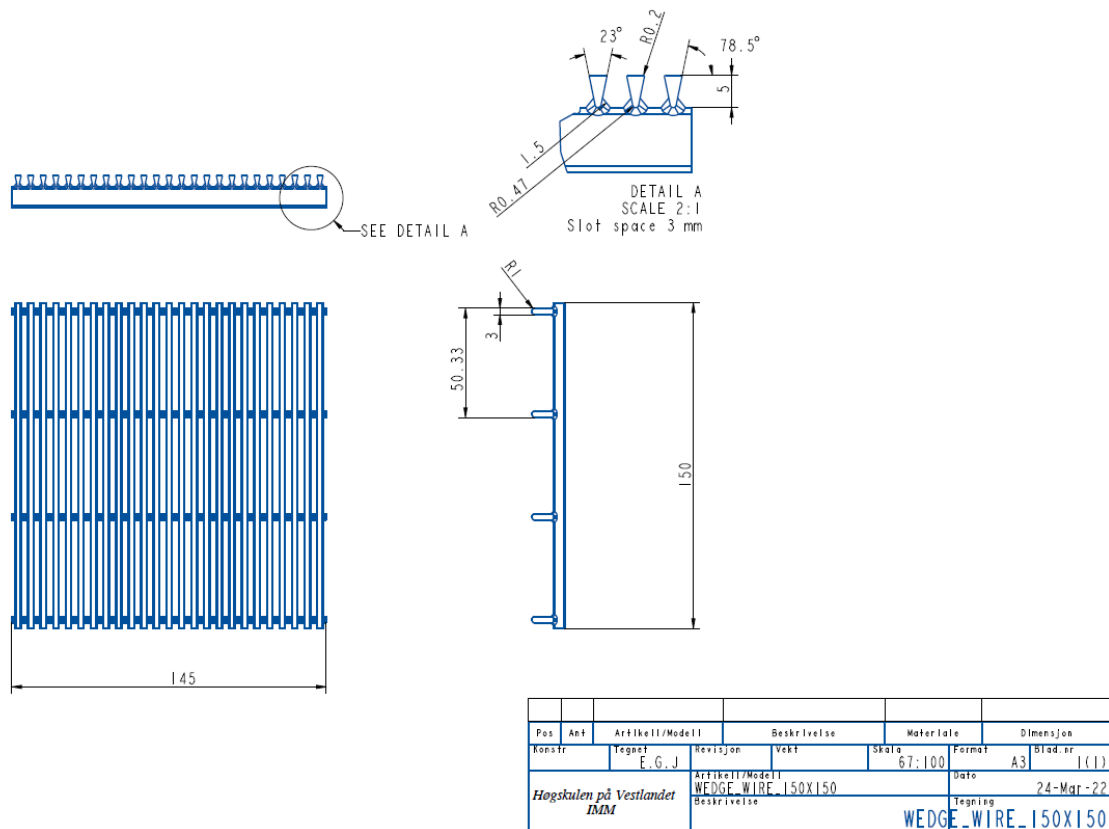
U₁ og U₂ = Mellomrom mellom hull (senter til senter 16 mm)

F_p = 11,04 %

2.1.3 Wedge wire

Ved informasjonsinnhenting vedrørende WW-geometrien ble Progress Screen i Polen kontaktet. Progress Screen anbefaler en spalte på 3 mm og vinkler på 23° og 78,5° for å ta unna en vanngjennomstrømning på 30 000l/min og samtidig filtrere ut partikler fra 3-9 mm (Vedlegg 3, Mail fra Progress Screen). Selskapet har lang erfaring med WW men kunne ikke si noe om vinkelen den må stå i for å være selvrensende, slik at partiklene selv renner ut til oppsamlingsboksen [36].

Profilene på WW tegnes identisk som anbefalingen gitt av Progress Screen og profilen brukt er Sb 34, sammenføyningen mellom profilene og avstivingsbjelkene er økt for å bedre styrken ved 3D-Printing.



Figur 22: Teknisk tegning av wedge wire

Utregning av luftprosenten til WW er et viktig parameter for å fastsette om denne geometrien kan brukes og for å kunne sammenligne med de perforerte platene. Følgende formel ble brukt med verdier fra Progress Screen [36].

$$F_{Ww}(\%) = \frac{S}{S + A} \times 100(\%)$$

S = Spaltemellomrom (3 mm)

A = Bredde på profil. (2,8 mm)

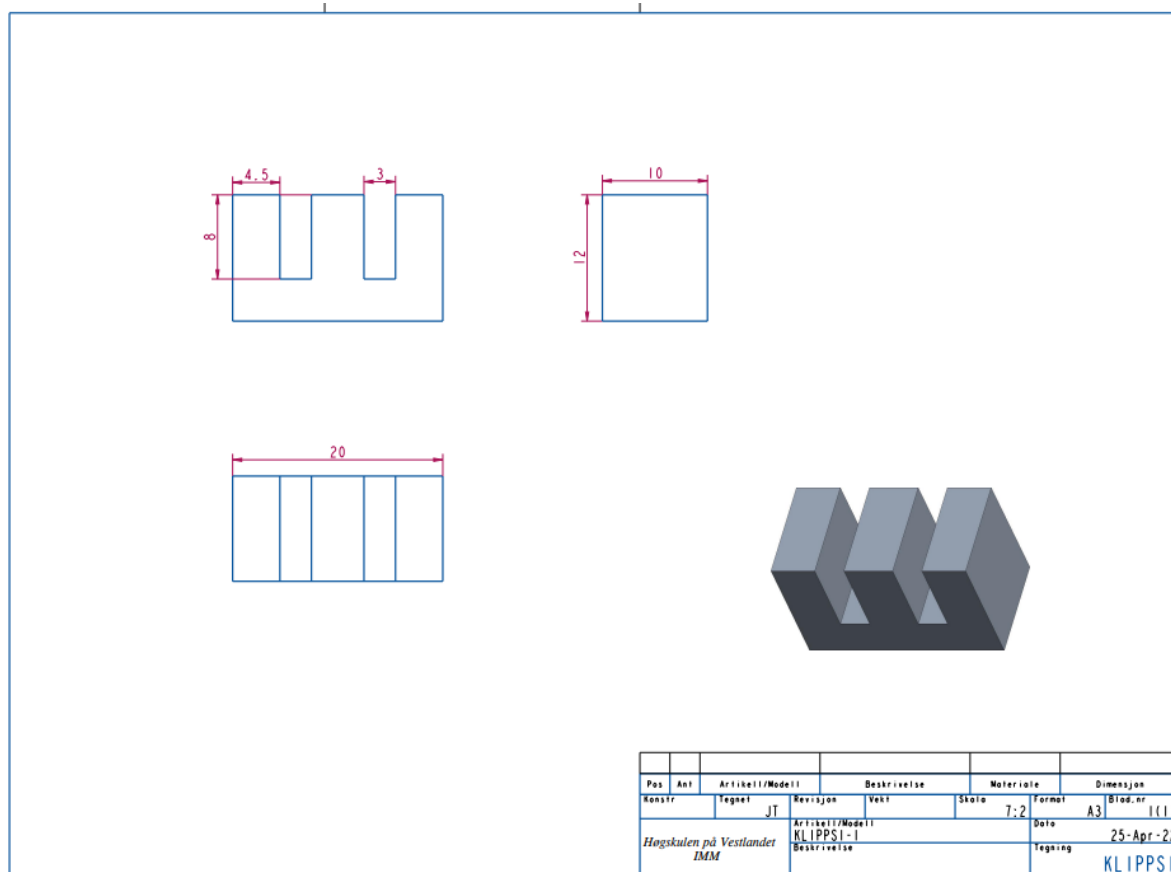
$F_{Ww} = 51,72\%$



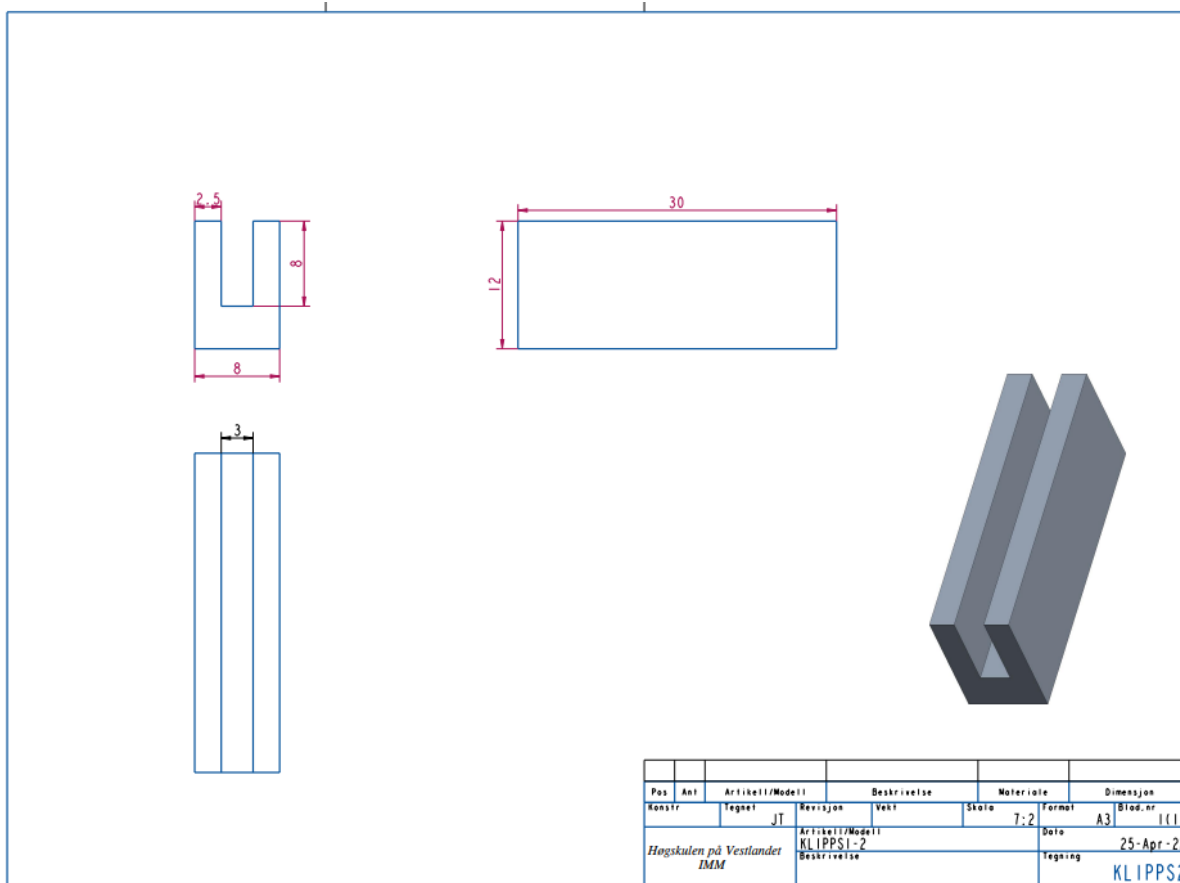
Figur 23: Bilde av wedge wire plate

Som følge av 3D-printerens maksbegrensning på 150 x 150 mm måtte WW platen lages i flere elementer, se figur 23. De forskjellige elementene er designet slik at det ikke skal være noe forskjell i spalteåpningen i skjøtene mellom hvert element. De totale yttermålene på WW-platen er på 580 x 390 mm. Lengdeovermålet muliggjør forsøk med forskjellige vinkler uten å ta hensyn til at WW-platen blir for kort ved høy vinkel. For å få WW-elementene til å henge sammen og for å hjelpe med avstiving av platen ble det designet to forskjellige typer skjøtestykker. Figur 24 viser designet bak skjøtestykket som ble designet for å holde skjøten i bredderetning. Figur 25 holder skjøten i lengderetning.

Det ble totalt laget 15 skjøtestykker av lengdeskjøten og 16 skjøtestykker av breddeskjøten.



Figur 24: Teknisk tegning av klipp



Figur 25: Teknisk tegning av klipp

2.2 Eksperimentell metode

Formålet med eksperimentet er å få kvalitative verdier som kan brukes i sammenligningsgrunnlaget opp mot eksisterende luft. Grunnet mangel på litteratur knyttet til bruken av WW for rensing av fiskefôr i en CO₂-luft må forsøk utføres for å bekrefte eller avkrefte om antagelsene stemmer. Utstyret brukt under eksperimentet er listet under med pris på det gruppen måtte anskaffe for å starte forsøket.

Utstyr brukt til prototype			
Forklaring	Komponent	Verdi/størrelse	Pris
Plastglass	Bunn (Bredde x Lengde)	400x450 mm	354kr/m ²
	Side (Høyde x Lengde)	375x450 mm	354kr/m ²
	Side (Høyde x Bredde)	375x400 mm	354kr/m ²
	Topp (Bredde x Lengde)	400x450 mm	354kr/m ²
	Perforert plater (Bredde x Lengde)	392x430 mm	354kr/m ²
Tilførsel og utgang	Slanger	Innvendig Ø25	N/A
Vannpumpe	Kaercher BP3 home and garden	55l/min, 4 bar	N/A
Fordelingsrør	Tilførselrør	110x1000 mm	99 kr
Endemuffe	Skjøtemuffe	110 mm	39 kr
Endetettning	Rørpropp	110 mm x2	42 kr
Lim	Cocraft limpatroner	11x150 mm x2	99 kr
Tettning	Silikon	2 stk	79 kr
3D-printer	FlashForge Adventurer 3	150x150 mm	N/A
Materiale til 3D-printer	Universal PLA 1000 g	1 stk	279,9 kr
Vinkelmåler	Mini Digital Protractor	±0,1°	N/A

Tabell 8: Utstyrliste til forsøk

Prototypen designes slik at gruppen har mulighet til å justere parametere som vinkel på WW, vanntilførsel og fôrtilførsel.

En kontrolltest blir først utført uten bruk av WW for å ha et grunnlag å måle mot i det endelige eksperimentet. Oppsettet på dette eksperimentet vil tilsvare eksisterende løsning i mindre skala. En vanntank på 1000 liter brukes som simulert fiskekar med en liten mengde fôr. Formålet med forsøket er å fastsette om fiskefôr vil tette de perforerte platene.

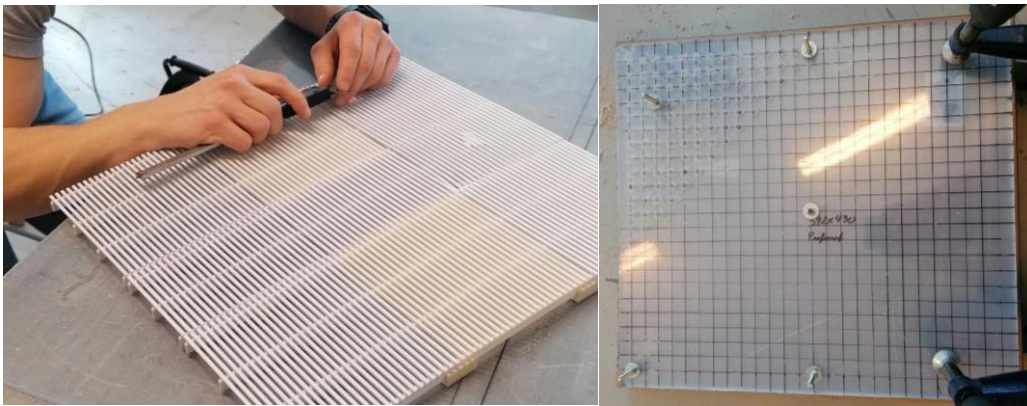
Kontrolltest nummer to utføres på samme måte som første, men med WW i en vinkel på 17 ° for å fastsette om fôret filtreres ut. Fôret skal ligge og svulle en stund før eksperimentet kan starte, dette gjøres for å oppnå tilsvarende konsistens på fôret som det sannsynligvis vil være på Harøy. Samtidig blir det tilført fôr rett før forsøket starter for å se eventuelle forskjeller svelletid kan ha på selvrensingen.

Videre blir fem ulike vinkler undersøkt for å se påvirkningen vinklene har for selvrensing.

Før forsøket antok gruppen at WW skulle gjøre lufteren selvrensende selv ved liten vinkel. Grunnen til dette er at når fôret legger seg på risten vil nytt fôr som tilføres presse resten nedover.

2.2.1 Sammenstilling av prototypen

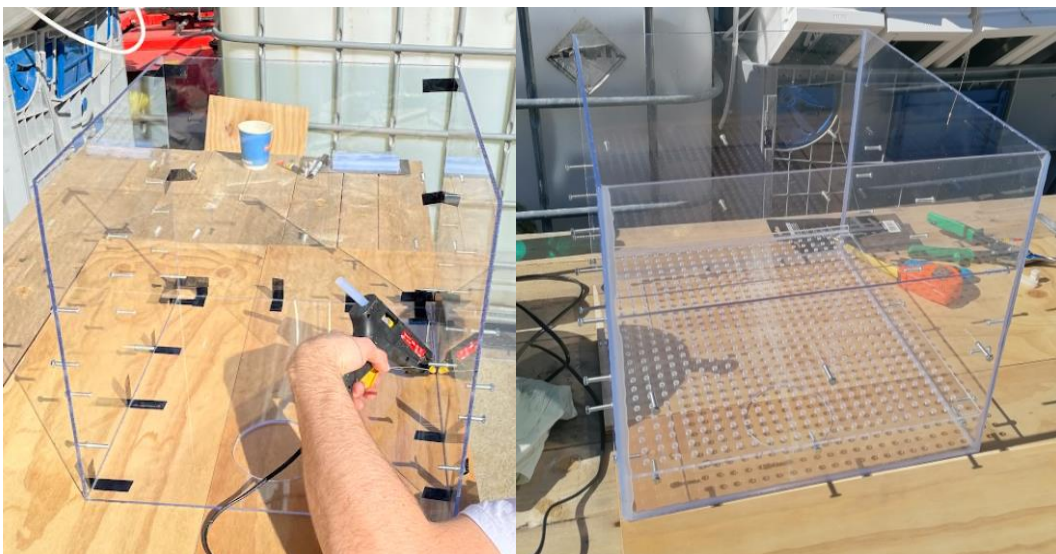
Produksjon av plater og sammenstilling av prototypen gjøres på skolens verksted med bruk av utstyr tilgjengelig for utlån. Ytterplater og perforerte plater kuttes og borres parallelt som WW-elementer printes ut på skolens 3D-lab.



Figur 26: Sammenstilt wedge wire

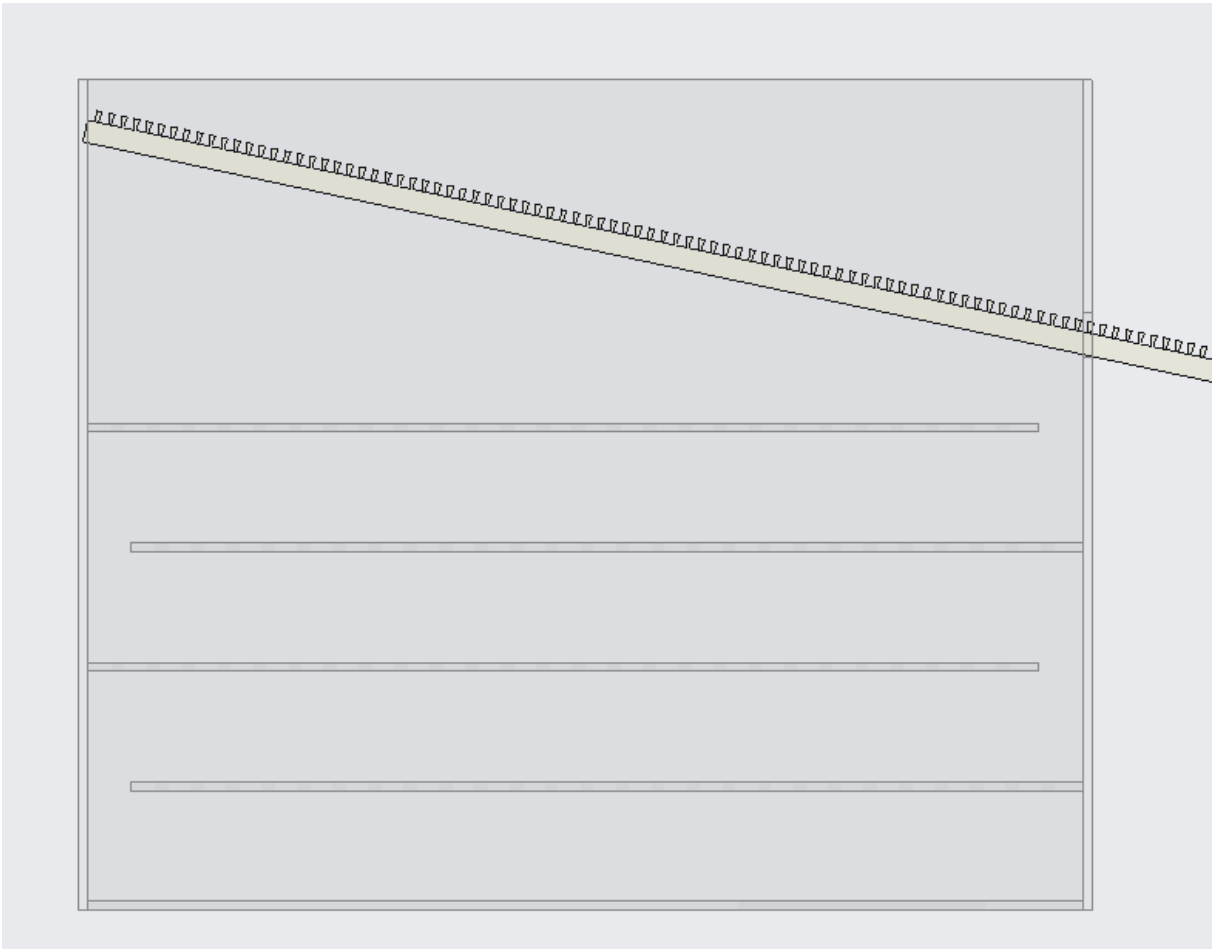
Figur 27: Bilde av perforerte plater under boring

Sammenstillingen av lufteren gjøres med varmlim, skruer og silikon. Skruene holder de perforerte platene i riktig høyde og virker samtidig som avstiving, se figur 29. Varmlim er en ekstra sikring mot at platene skal beveger seg da silikon har en relativt lav styrke sammenlignet med lim.



Figur 28: CO₂-lufte under sammenstilling

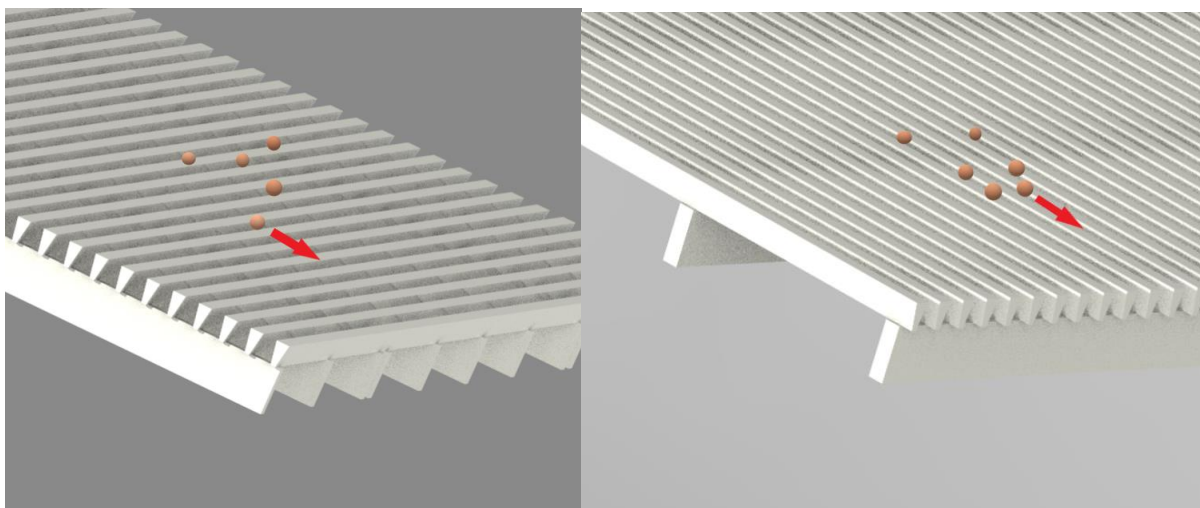
Figur 29: CO₂-lufte under sammenstilling



Figur 30: 2D-bilde av prototype

2.2.2 Retning på wedge wire

Som beskrevet over vil vinkel og retning på WW påvirke høyde og design av lufte, det blir viktig å fastsette vinkelen og retningens innvirkning på filtreringsevne før montering i lufte. Et innledende forsøk blir utført for å bestemme påvirkninger retningen har på vannstrømmen. WW brukt hadde dimensjoner på 145x150 mm. Antagelsene i dette forsøket er at selvrensingen vil øke når vannstrømmen går med spalteåpningen. Resonnementet bak dette er forventningen om at fôret vil følge spalten som en partikkel i en renne. Som følge av resultatene til det innledende forsøket ble det besluttet å produsere WW i full størrelse med spalteretning mot vannstrømmen, se delkapittel 3.2. Et kontrollforsøk med ferdig produsert WW montert i lufte med vinkel på 17° skal utføres for å underbygge resultatet fra det innledende forsøket.



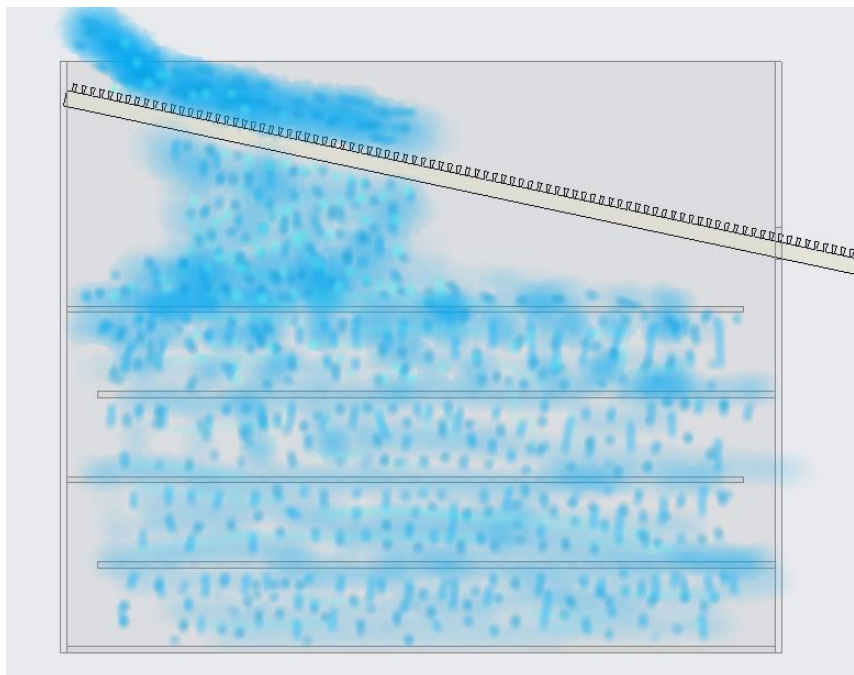
Figur 31: Spalter mot vannretning

Figur 32: Spalter med vannretning

Figurene viser hvordan gruppen antar vannstrømmen vil føre fôret ned til oppsamlingsboksen.

2.2.3 Hvordan påvirker wedge wire fordelingen av vann

Neste steg er å undersøke vanngjennomstrømningen før og etter WW. Implementeringen av WW bør ikke påvirke vannstrømmen på en måte som fører til at luftingen reduseres.



Figur 33: Illustrasjon av forventet vanngjennomstrømning i CO₂-lufter

Figur 33 viser forventet vanngjennomstrømning i lufteren uten tilførsel av fiskefôr. Gruppen har ikke mulighet til å måle oksygentilførsel som følge av diffusjon, men antagelsen er at WW ikke vil påvirke fordelingen av vann.

2.2.4 Vinkelens påvirkning på selvrensing

Videre blir fem ulike vinkler undersøkt for å måle påvirkningen på filtreringsevnen. Antagelsen før forsøket blir utført er at større vinkel vil bedre selvrensingen av WW, men samtidig vil en større vinkel også øke høyden på lufteren. Vinklene som undersøkes er 17°, 22°, 27°, 32° og 41°. Forsøket utføres med *Kaercher BP3* vannpumpe og fiskefôr med svelletid fra <1 min til 1 time. Måling av vinkel gjøres med en *mini digital protractor* elektronisk vinkelmåler hvor bakken er referanseoverflate. Bakkens vinkel blir subtrahert fra total vinkel for å få en absolutt vinkel på WW. En sammenligning av vinklene følger i Tabell 10 i resultater. Det er ikke forventet at vannets intermolekylære krefter vil være sterke nok til å føre vann over hele WW og ned til oppsamlingen. Men fiskefôret kan påvirke denne faktoren ved at fettsyrer fester seg til WW og danner en hydrofob overflate slik at vannets overflatespenning ikke brytes. Dette fenomenet må observeres i forsøket for å kunne ta stilling til påvirkningen dette potensielt kan ha [37] [38].

2.3 Feilkilder

Avsnittet som følger vil beskrive punkter ved forsøket som kan føre til feil eller hindre muligheten for gjenskaping av forsøket. Som første punkt ønsker gruppen å belyse problemer knyttet til 3D-printing av WW, samt hvordan dette kan påvirke målene og kvaliteten. Videre vil problematikk knyttet til materialvalg og pumpen fremlegges.

3D-printing blir ansett for å være en nøyaktig måte å produsere deler på, men det kan likevel være noen utfordringer som er viktig å belyse. Printeren som ble benyttet i prosjektet er FlashForge Adventurer 3, og den har en nøyaktighet på ± 2 mm [39]. Det er grunnlag for å anslå at det er en adekvat toleranse for produksjon av WW i denne sammenhengen. Når materialet størkner vil det imidlertid kunne ekspandere 0,1 mm, og sammenlagt kan dette føre til en unøyaktighet på 0,3 mm. Til oppgavens formål kan det argumenteres for at dette er godt innenfor hensiktsmessig toleranse for en WW.

Som følge av reglementet som gjelder der printingen ble utført, måtte printerne settes på pause på kveldstid. Derfor ble materialbindingen i noen av elementene såpass svake at profilene senere måtte limes, men dette har dog ikke innvirkning på funksjonen til WW i lufteren.

Plastglass var materialet som ble brukt for å sammenstille boksen, men i en reell modell ville dette vært rustfritt stål. I oppgaven er det anslått at plastglass ikke vil ha negativ innvirkning på resultatet.

Kaercher-pumpen brukt i forsøket leverer 55 l/min, dette er betraktelig lavere enn ønsket. I tillegg er det usikkert hvilke påvirkninger forskjellige pumpetyper har på knusing av fôr. Dette blir ytterligere belyst i kapittel 4.

3. Resultat

I følgende seksjon presenteres funnene fra forsøkene beskrevet i kapittel 2.2 og de vil fremlegges i samme rekkefølge. Det første forsøket ble gjort for å avklare om antagelsen bak tette perforerte plater kunne bli et problem. Videre vil resultatene for hvilken retning WW ligger bli presentert. Når den gunstige retningen er funnet vil man se på påvirkningen WW har på vanngjennomstrømning i lufteren. Dette forsøket vil beskrives med bilder og antagelser. Resultatene fra vinkelens påvirkning er det siste som presenteres i denne seksjonen.

3.1 Tetning av perforerte plater

Selv med fiskefôr med mål under 6 mm viser forsøket at de perforerte platene vil tettes over tid. Dette problemet er todelt, hvor problem én er retningen fôret legger seg i hullene og problem to er hvor mye fôret sveller.



Figur 34: Bilde av hvordan fiskefôr tetter perforerte plater

Fôret er formet som en sylinder og kan derfor legge seg skrått i hullene. Målinger av fôret viser en gjennomsnittlig størrelse på 5,01x4,93 mm, se tabell 9. Intuitivt sett burde ikke fôret tette platene, men som figur 34 viser er ikke dette tilfellet. Formålet med forsøket er å bekrefte at fiskefôr kan føre til tette plater som reduserer vanngjennomstrømningen. Dette vil videre påvirke lufterens evne til å diffundere ut CO₂. Fôret brukt i forsøket har ligget i vann i 10 minutter.

STØRRELSE PÅ FISKEFÔR

MÅLING	Lengde (mm)	Bredde (mm)
1	5,5	4,4
2	5	4,6
3	5	5,2
4	5	4,1
5	5	5,5
6	5	5,1
7	4,6	5,2
8	5,4	4,7
9	5	5,3
10	4,6	5,2
GJENNOMSNIITT	5,01	4,93

Tabell 9: Måling av fiskefôr

Dersom gjennomsnittsmålene rundes av til nærmeste heltall, vil det diagonale målet for en gjennomsnittlig fôrpellet bli $\sqrt{5^2 + 5^2} = 7,07$ mm som er større enn hullenes diameter på 6 mm. Dette medfører at de perforerte platene blir tette som følge av fiskefôr.

3.2 Retning på wedge wire

Forsøket viser at retningen på WW hadde stor innvirkning på hvor mye vann som fylte oppsamlingsboksen, retningen hvor spaltene var med vannstrømmen førte til oppsamling av vann. Figur 35 og 36 viser forsøk utført med 145x150 mm WW med vinkel på 45° og test av fullskala WW med vinkel på 17°.



Figur 35: Forsøk med 145x150mm wedge wire med 45° vinkel

Figur 36: Fullskala wedge wire med 17° vinkel

Videre ble det utført et forsøk for å måle mengden vann som samles opp ved hver av retningene, se figur 37. Formålet bak forsøket er å underbygge den negative påvirkningen retningen til WW kan ha på oppsamlingen av vann. Forsøket ble utført med konstant flow på 55 l/min, i to minutter, vannet som samlet seg opp ble så målt. Når spaltene står vinkelrett på vannstrømmen er resultatet en ikke målbar mengde vann. Forsøket hvor spaltene står i retningen til vannstrømmen viser derimot en oppsamling på 2,9 liter etter 2 minutt. WW platen er rektangulær, noe som fører til at WW er 190 mm kortere i retningen hvor spaltene er med vannstrøm. Det ble derfor spylt ut vann fra samme lengde i begge forsøkene for å få en så nøyaktig måling som mulig.



Figur 37: Bilde av hvordan vannet renner langs spilene på wedge-wire

3.3 Hvordan wedge wire påvirker fordelingen av vann

Luftprosenten til WW tilsier at gjennomstrømningen av vann ikke vil bli en begrensende faktor i lufteren. Den eventuelle påvirkningen WW kan ha på vannstrømmen er knyttet til den relativt store luftprosenten samt hvor langt vannet vil føres, før det renner gjennom. Med en luftprosent på 51% kunne ett utfall vært at vannet rant gjennom WW i en form for stråle, som igjen kan føre til at den jevne vannfordelingen over lengden av WW blir redusert.

Som figur 38 viser sprer vannet seg utover et større område av WW enn først antatt, dette fører til en jevn tilførsel av vann til platen under.



Figur 38: Vannfordeling under wedge wire

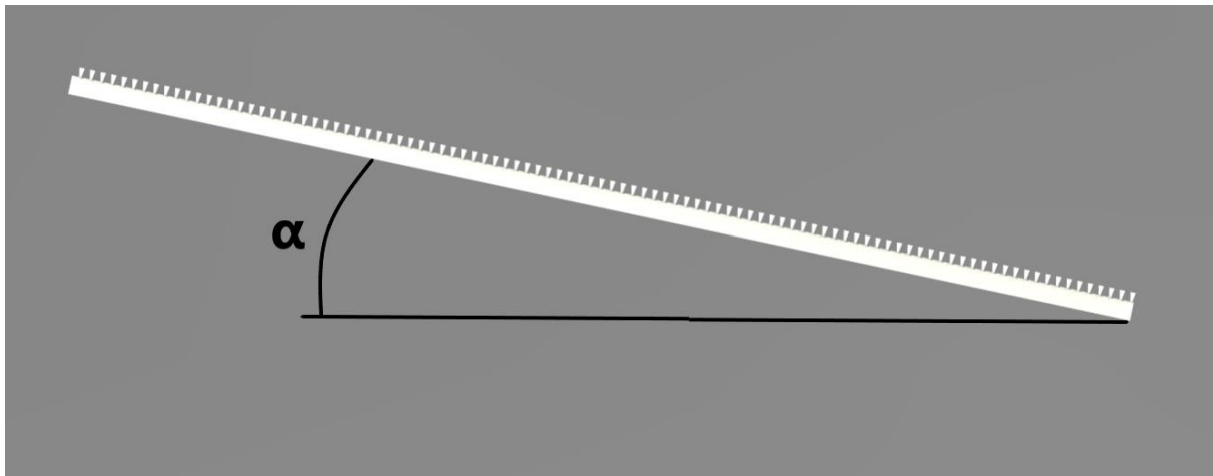
Fordelingen over de perforerte platene observeres som hensiktsmessig, fra figur 39 kan man observere en jevn dusjeffekt fra samtlige plater. Resultatet fra forsøket blir dermed at WW har ingen til minimal påvirkning på vanngjennomstrømningen.



Figur 39: Vannfordeling i CO₂-lufter

3.4 Vinkelens påvirkning på selvrensing

Vinkelens påvirkning var antatt å være direkte knyttet til selvrensing av WW. Som følge av hypotesen ble det utført flere forsøk med ulike vinkler for å avklare denne antagelsen. Forsøket ble gjennomført med fem ulike vinkler, vist i tabell 10.



Figur 40: Vinkelen på wedge wire

Forsøkene viser en lavere korrelasjon mellom vinkel og selvrensing enn først antatt. De forskjellige vinklene økte ikke selvrensingen betraktelig. WW filtrerer ut alle hele fôr-partikler uavhengig av vinkel, men store mengder fôr fører til oppsamling etter 180 mm.

α	Retning	Effekt	Merknad	Ulemper
17°	Med spalter	Avrenning er bra så lenge fôr ikke har samlet seg	Helt fôr samler seg etter 180-200mm	WW fører med seg vann til oppsamlingsboksen
17°	Mot spalter	Avrenning er bra så lenge fôr ikke har samlet seg	Helt fôr samler seg etter 180-200mm	
22°	Med spalter	Avrenning er bra så lenge fôr ikke har samlet seg	Helt fôr samler seg etter 180-200mm	WW fører med seg vann til oppsamlingsboksen
22°	Mot spalter	Avrenning er bra så lenge fôr ikke har samlet seg	Helt fôr samler seg etter 180-200mm	
27°	Med spalter	Avrenning er bra så lenge fôr ikke har samlet seg	Helt fôr samler seg etter >200mm	WW fører med seg vann til oppsamlingsboksen
27°	Mot spalter	Avrenning er bra så lenge fôr ikke har samlet seg	Helt fôr samler seg etter >200mm	
32°	Med spalter	Avrenning er bra, oppsamling påvirker mindre	Bra avrenning, men vinkel er for stor for boksen	WW fører med seg vann til oppsamlingsboksen
32°	Mot spalter	Avrenning er bra, oppsamling påvirker mindre	Bra avrenning	Vinkel er for stor for boksen
41°	Med spalter	Avrenning er bra, oppsamling påvirker mindre	Bra avrenning, men vinkel er for stor for boksen	WW fører med seg vann til oppsamlingsboksen
41°	Mot spalter	Avrenning er bra, oppsamling påvirker mindre	Bra avrenning	Vinkel er for stor for boksen

Tabell 10: Resultat av vinkelforsøk. (WW står for wedge wire)

Basert på disse forsøkene, kan oppsamlingen av fôr forklares av to faktorer: Den første er at vannstrømmen fra pumpen er svært redusert, og den andre er spaltemellomrommet i WW. I denne oppgaven var det ikke anledning til å undersøke den første faktoren nærmere, da større pumper ikke var tilgjengelig. Det er likevel nærliggende å anslå at selvrensingen vil forbedres dersom vannstrømmen øker. Dette fordi fôret vil få økt hastighet og vannet vil føres lenger ned WW før det renner gjennom slik vil fôret også presses lenger ned. Spaltemellomrommet i WW er en faktor gruppen kan utbedre, resultatet fra dette fremlegges i kapittel 4.

4. Diskusjon

Diskusjonen vil ta opp flere forbedringer og tanker gruppen har rundt forsøkene og hva som eventuelt kan endres til senere forsøk. Gjennom prosessen med bygging og testing har gruppen merket seg flere faktorer som kan være interessant for SE og eventuelt andre eksterne. Kapitlet deles inn i forbedringer og diskusjon rundt forsøkene som er utført og en diskusjonsdel om faktorer som ikke var mulig for gruppen å se nærmere på.

Diskusjon rundt forsøket

Ved å produsere en ny WW tilsvarende 1/3 av størrelsen til den forrige, har gruppen mulighet til å undersøke selvrensing ved redusert spaltemellomrom. Målene på den modifiserte WW blir 450x150 mm og forsøket vil utføres som beskrevet i delkapittel 3.4. Spaltemellomrommet er redusert fra 3 mm til 1 mm som påfølgende gir en luftprosent på 26,3%. Gruppen antok at forbedringene sannsynligvis ville øke selvrensingen, men det var knyttet usikkerhet rundt hvor mye vann som kunne føres ned i oppsamlingsboksen. Vannets overflatespenning vil muligens ikke brytes ved redusert spalte, dette kan føre til økt oppsamling av vann.

Observasjoner fra forsøket i figur 41 viser en forbedret selvrensing, samtidig som vannet føres lengre ned og fordeles jevnt over WW. Resultatet er lovende for å utvikle en selvrensende WW med vinkel på 17°, men det kan være mulig å optimalisere spaltemellomrommet ved å redusere luftprosenten til WW slik at den ytterligere nærmer seg luftprosent til de perforerte platene. Forsøkene fra NMBU og Tokyo har basert spaltemellomrommet på minste størrelse av partikler de skal filtrere ut, det samme ble gjort i denne oppgavens første forsøk. Gruppen antar at WW med spalter på 3 mm vil vise bedre selvrenseegenskaper ved høyere vannstrøm. Forventningen bygger på antagelsen om at en større mengde vann vil føre føret til oppsamlingen, dette kunne ikke testes grunnet mangel på egnet pumpe.



Figur 41: Forsøk med 1 mm spalteåpning

Et spørsmål som kommer opp, er om den reduserte spaltestørrelsen klarer å ta unna 30 000 l/min i den reelle lufteren. Om luftprosent kan brukes som et grunnlag vil den tilsi at dette kan fungere med 30 000 l/min vann, men samtidig føres vannet lengre ned WW og vannets overflatespenning kan tilsynelatende hindre vannet fra å renne gjennom. Forsøket bør utføres med riktig vannstrøm og med forskjellige spaltemellomrom for å kunne konkludere.

Videre burde lufteren hatt en motgående luftstrøm for å observere eventuelle påvirkninger dette kan ha på selvrensing og filtrering. Den motgående luftstrømmen på 10-20 ganger vannstrømmen kan virke positivt på selvrensing da luftstrømmen virker mot tyngdekraften og muligheten for at fôret heves fra WW er sannsynlig. Samtidig bør det tas i betraktning at luften kan forstyrre vannstrømmen i negativ grad og det er usikkert om det vil dannes turbulens i luften ved inngangen til oppsamlingsboksen er lukket og integrert i lufteren kan det tenkes at den påvirker luftstrømmen mindre. Er den derimot åpen eller har et avrenningsrør kan luftstrømmen skape et undertrykk i oppsamlingsboksen og følgelig suge vann og fôr tilbake til lufteren [40].

Det ble ikke gjort forsøk med tre vanninnløp slik som var tenkt i Figur 18. Grunnen til dette er antagelsen om at tre vanninnløp enten vil knuse fiskefôret eller ødelegge selvrenningsprinsippet for WW-platen. Begrunnelsen bak dette er at det andre og siste innløpet kan forstyrre vannstrømmen til det første innløpet, samtidig kan vannstrømmen fra de to presse fôr ned i WW og hindre filtrering. Det ble observert en forbedret selvrensing og filtrering når vannstrømmen var i samme vinkel og retning som WW-platen. Fôret ble ført lettere nedover WW-platen og vannet fordelte seg bedre, dette samsvarer også med tidligere forsøk som viser at vinkelen vannet treffer WW på bør være under 90° [31].

Videre kunne det vært hensiktsmessig å se på hvor lenge fôret gjennomsnittlig ligger og sveller i karet til SE. Denne tiden kunne vært sammenlignet med hardheten til fôret før og etter svelling for å fastslå om det er forventet at fôret knuses før det når lufteren.

Andre forbedringer

I delkapittel 3.1 blir det fremlagt målinger av fiskefôret med tilhørende utregning av diagonalmålet. Om det hadde vært mulig å kjøpe inn mindre fôr-pellets kan dette løse problemet med at de perforerte platene går tett. Det vil samtidig være mulig, i neste fase av utbyggingen på Indre Harøy å bestille luftere hvor hullene i de perforerte platene er større. Dette kan hindre tetting av platene uten spesielt store inngrep. Her må faktorer vedrørende effektiviteten til lufteren tas i betraktning før hullene i de perforerte platene eventuelt økes.

Samtidig kan mer åpenhet med produsent av WW gi dem en bedre forståelse for hva WW i dette tilfellet skal brukes til. Som produsent av WW har de mye kunnskap om emnet og kan derfor gi bedre anbefalinger angående spalteåpning og vinkel om de har informasjonen de trenger. Gruppen valgte å ikke forklare detaljert hva WW skulle brukes til grunnet en forventning om manglende respons om det kom frem at dette var en skoleoppgave.

Det ble antatt at plastglass og PLA ikke vil påvirke funksjonen til lufteren, men det kan uansett være hensiktsmessig å utføre et forsøk med lufter og WW i rustfritt stål for å se eventuelle forskjeller i resultat.

5. Konklusjon

Hovedresultatene viser at fiskefôr sannsynligvis vil tette de perforerte platene i lufterne på Indre Harøy. Som følge av dette er det nødvendig for SE å implementere mottiltak for å sikre tiltenkt funksjon av lufteren. Forsøkene viser at WW er en egnet filtreringsløsning for lufteren, den hindrer alle hele fôr-pellets å entre lufteren samtidig som den fordeler vannet godt over de perforerte platene. Dette resultatet kan sees på som en indikasjon på at WW vil opprettholde verdiene som stilles til vannkvalitet. Videre viser resultatene at retningen WW ligger er direkte knyttet til hvor vannholdig avfallet i oppsamlingsboksen er, anbefalingen blir å produsere WW hvor spaltene ligger vinkelrett på vannretningen.

Veien videre kan være å utføre et forsøk hvor mangler fra forsøkene utført i denne oppgaven blir tatt med. Herunder testing av optimalt spaltemellomrom, riktig mengde vann, luftgjennomstrømning og samme pumpetype som brukes på anlegget. Det kan med mer tid også være hensiktsmessig å måle vannverdier før og etter lufteren med WW for å påse at de er uforandret, dette kan dog vise seg å være vanskelig i et miniatyrforsøk da mengden vann, luft og gjennomstrømtiden i lufteren vil påvirke resultatet.

Selv om WW ikke tidligere har vært brukt som et selvrensende filter i en CO₂-lufter har gruppen tiltro til at dette vil fungere for å filtrere ut fôr, men anerkjenner at det finnes andre måter å implementere WW på. Samtidig kan WW kombineres med for eksempel dyser for å sikre selvrensing. Disse løsningene mener gruppen det kan være interessant å undersøke videre.

Referanser

- [1] B. Pedersen, «Store norske leksikon,» Universitetet i Oslo, 10 Mai 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/hydrofob>. [Funnet 2022].
- [2] C. Nilstun, «Store Norske Leksikon,» Universitetet i Oslo, 8 Mai 2018. [Internett]. Available: <https://snl.no/perforere>. [Funnet 2022].
- [3] K. Hofstad, «Store Norske Leksikon,» SNL, 29 August 2019. [Internett]. Available: https://snl.no/overflatespenning_-_enhet. [Funnet 2022].
- [4] K. Dørum, «snl,» Universitetet i Agder, 25 Februar 2021. [Internett]. Available: https://snl.no/Norsk_fiskerihistorie. [Funnet Mars 2022].
- [5] S. K. Ivar Pettersen, «Mat, matindustri og verdikjeder 2020, Status og utvikling i norsk matindustri og verdikjeder for matvarer,» NIBIO, Ås, 2021.
- [6] Laks, «Laks.no,» [Internett]. Available: <https://laks.no/lakseeventyret/>. [Funnet Februar 2022].
- [7] Seafood, «Seafood.no,» 31 Desember 2021. [Internett]. Available: <https://nokkeltall.seafood.no/>. [Funnet Februar 2022].
- [8] SSB, «ssb,» SSB, 2019. [Internett]. Available: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/faktaside/fiske>. [Funnet Februar 2022].
- [9] Fiskeridirektoratet, «Fiskeridirektoratet,» Fiskeridirektoratet, 4 Juli 2019. [Internett]. Available: <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Kommersielle-tillatelser/Laks-oerret-og-regnbueoerret/Tillatelse-til-akvakultur-paa-land>. [Funnet Mars 2022].
- [10] Norway Royal Salmon, «Norway Royal Salmon,» [Internett]. Available: <https://norwayroyalsalmon.com/no/Baerekraft>. [Funnet Mars 2022].
- [11] P. L. V. o. P. S. Larssen, «Lønnsomhet i oppdrettsnæringen, En studie av lønnsomhetsdrivere i store norske oppdrettskonsern,» NHH, Bergen, 2017.
- [12] MOWI, «Salmon Farming Industry Handbook 2019,» MOWI, 2019.
- [13] H. V. Vedeler, «Viral Diseases in Salmonid Aquaculture,» NHH, Bergen, 2017.
- [14] B.-A. Jensen, «Intrafish,» 10 November 2020. [Internett]. Available: <https://www.intrafish.no/nyheter/lakselus-og-annen-sjukdom-medforer-kanskje-10-milliarder-i-okonomisk-tap-men-ingen-vet-eksakt-hvor-mye/2-1-909461>. [Funnet Februar 2022].
- [15] Havforskningsinstituttet, «HI,» 15 Juli 2021. [Internett]. Available: <https://www.hi.no/hi/temasider/arter/lakselus>. [Funnet Februar 2022].
- [16] Veterinærinstituttet, «vetinst,» 31 Desember 2020. [Internett]. Available: <http://apps.vetinst.no/Laksetap/>. [Funnet Februar 2022].
- [17] Havforskningsinstituttet, «Fiskehelse rapporten 2020,» Veterinærinstituttet, 2021.
- [18] Nærings- og fiskeridepartementet, «Laks på land, en utredning om egne tillatelser til landbasert matfiskoppdrett av laks, ørret og regnbueørret med bruk av sjøvann,» Nærings- og fiskeridepartementet, Oslo, 2015.

- [19] L. Bøhren, «e24,» e24, 18 September 2020. [Internett]. Available: <https://e24.no/boers-og-finans/i/PR3aRR/brakdebut-paa-boers-for-salmon-evolution>. [Funnet Februar 2022].
- [20] O. I. Svendsen, «Komponenter og energiforbruk i RAS-Anlegg,» NMBU, Ås, 2019.
- [21] Krüger Kaldnes, «Kyst,» 28 Oktober 2016. [Internett]. Available: <https://www.kyst.no/article/spesialiserer-seg-paa-noekkelklare-ras-anlegg/>. [Funnet mars 2022].
- [22] Salmon Evolution, «Salmon Evolution ASA – Investor Presentation private placement 5 April 2022, side 30,» Salmon Evolution, Molde, 2022.
- [23] Blueocean, «Blue Ocean,» 2022. [Internett]. Available: <https://blueoceantechnology.no/produkter>. [Funnet 2022].
- [24] P. D. (. i. o. B. P. (. i. Oslo), «SNL,» snl, 3 Oktober 2019. [Internett]. Available: <https://snl.no/luft>. [Funnet Mars 2022].
- [25] A. H. (. i. Oslo), «SNL,» snl, 12 Mars 2022. [Internett]. Available: <https://snl.no/partialtrykk>. [Funnet 24 Mars 2022].
- [26] Å. O. M. (. i. Tromsø), «SNL,» snl, 21 Oktober 2020. [Internett]. Available: https://sml.snl.no/respirasjon_-_fysiologi. [Funnet Mars 2022].
- [27] F. Hetmann, «Okysgentransport, tilbud og etterspørsel,» Oslo Met, Oslo, 2020.
- [28] T. L. Michael Timmons, Aquaculture water reuse systems: Engineering design and management, Elsevier Science & Technology, 1994, p. 11.
- [29] C. Adams, «Modern analyst,» N/A. [Internett]. Available: <https://www.modernanalyst.com/Careers/InterviewQuestions/tabid/128/ID/2159/What-is-a-Pugh-Matrix.aspx>. [Funnet Mars 2022].
- [30] T. S. O. F. K. M. Ø. B. R. H. J. Ø. H. George Oluwaseun Shomorin, «Evaluation of wedge wire screen as a new tool for faeces collection in fish:,» NMBU, Ås, 2019.
- [31] F. H. M. Y. Y. K. K. I. Kenichi Furuhashi, «Improving the Energy Balance of Hydrocarbon Production Using an Inclined Solid–Liquid Separator with a Wedge-Wire Screen and Easy Hydrocarbon Recovery from Botryococcus braunii,» University of Tokyo, Tokyo, 2020.
- [32] S. Grønmo, «snl,» Universitetet i Bergen, 3 November 2020. [Internett]. Available: https://snl.no/kvalitativ_metode. [Funnet Mars 2022].
- [33] Creo, «Creo Elements/Direct Drafting User Guide,» PTC, 2020.
- [34] «Adventurer 3 User Guide,» FlashForge.
- [35] RMIG, «rmig,» [Internett]. Available: <http://rmig.com/no/teknisk+info/formler/beregning+av+luftprosent>. [Funnet Mars 2022].
- [36] Progress Screens, «Progress Screens,» [Internett]. Available: <https://progress-screens.com/wp-content/uploads/wedge-wire-screens-tubes-progress.pdf>. [Funnet Mars 2022].
- [37] UIO, «UIO,» UIO, 18 Januar 2022. [Internett]. Available: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/o/overflatespenning.html>. [Funnet April 2022].
- [38] L. Bockman, «Overflatespenning: Intermolekylærkjemiens betydning for fenomenet,» Forskningsrådet, 2020.

[39] Flashforge, «flashforge,» [Internett]. Available: <https://www.flashforge.com/product-detail/flashforge-adventurer-3-3d-printer>. [Funnet April 2022].

[40] R. Mathisen, «NDLA,» 1 August 2018. [Internett]. Available: <https://ndla.no/nb/subject:1:5a5cac3f-46ff-4f4d-ba95-b256a706ec48/topic:5d631e43-f324-41ad-9cb2-16a26fc391ac/topic:a322c488-0fef-4a61-8128-cfee23b95dc4/resource:1:122074>. [Funnet 24 Mai 2022].

Figur 1: Fiskemerder i havet (Merder, av Jørgensen, B., Samfoto, NTB scanpix. (https://ndla.no/article/9845). CC BY-NC-SA 4.0.).....	16
Figur 2: Fiskeoppdrett på land (Salmon Evolution)	17
Figur 3: Eksempel på RAS-anlegg [21]	18
Figur 4: Prosessoversikt Indre Harøy	19
Figur 5: Sjøvannsinntak Indre Harøy	20
Figur 6: Avfallsvann fra tank	20
Figur 7: Vannbehandling.....	21
Figur 8: Vannkjemi	21
Figur 9: Resirkuleringssløyfen hvor 65% av vannet går	22
Figur 10: Skisse av nåværende CO ₂ -lufter	22
Figur 11: Motstraumsprinsippet i gassutveksling nn, av Vikan, J. (https://ndla.no/article/32683). CC BY-SA 4.0.....	23
Figur 12: Transport medstraums med tal nn, av Vikan, J. (https://ndla.no/article/32683). CC BY-SA 4.0.....	23
Figur 13: Motstrøms prinsippet i CO ₂ -lufteren	24
Figur 14: Prosessoversikt	25
Figur 15: PUGH-Matrise.....	29
Figur 16: Designalternativ 6 med hel wedge wire plate.....	30
Figur 17: 2D-tegning av alternativ 6	30
Figur 18: Designalternativ 6 med flere wedge wire plater	30
Figur 19: Konsekvens av høyere løftehøyde til CO ₂ -lufter	31
Figur 20: Exploded view av prototype	33
Figur 21: Teknisk tegning av perforert plate.....	34
Figur 22: Teknisk tegning av wedge wire	35
Figur 23: Bilde av wedge wire plate	36
Figur 24: Teknisk tegning av klipps.....	37
Figur 25: Teknisk tegning av klipps.....	37
Figur 26: Sammenstilt wedge wire.....	39
Figur 27: Bilde av perforerte plater under boring	39
Figur 28: CO ₂ -lufter under sammenstilling.....	39
Figur 29: CO ₂ -lufter under sammenstilling.....	39

Figur 30: 2D-bilde av prototype.....	40
Figur 31: Spalter mot vannretning.....	41
Figur 32: Spalter med vannretning	41
Figur 33: Illustrasjon av forventet vanngjennomstrømning i CO ₂ -lufter	42
Figur 34: Bilde av hvordan fiskefôr tetter perforerte plater	44
Figur 35: Forsøk med 145x150mm wedge wire med 45° vinkel	45
Figur 36: Fullskala wedge wire med 17° vinkel.....	46
Figur 37: Bilde av hvordan vannet renner langs spilene på wedge-wire.....	46
Figur 38: Vannfordeling under wedge wire	47
Figur 39: Vannfordeling i CO ₂ -lufter	48
Figur 40: Vinkelen på wedge wire	48
Figur 41: Forsøk med 1 mm spalteåpning.....	50
Tabell 1: Sammenligning av proteinkilder [11] [12].....	14
Tabell 2: Fordeler og ulemper med alternativ 1	26
Tabell 3: Fordeler og ulemper med alternativ 2	26
Tabell 4: Fordeler og ulemper med alternativ 3	27
Tabell 5: Fordeler og ulemper med alternativ 4	27
Tabell 6: Fordeler og ulemper med alternativ 5	28
Tabell 7: Fordeler og ulemper med alternativ 6	28
Tabell 8: Utstørliste til forsøk.....	38
Tabell 9: Måling av fiskefôr	45
Tabell 10: Resultat av vinkelforsøk. (WW står for wedge wire).....	49

Vedlegg 1, Lakseeksport 2021, data hentet fra SSB

Lakseeksport 2021
SSB.xlsx

Vedlegg 2, Konsekvens av høyere løftehøyde til CO2-luft

Emne: CO2-luft: økt energiforbruk ved heving av CO2-luft

Hei

Vedlagt en oppstilling som viser ekstra energiforbruk når CO2-luft løftes 0,1 .. 0,6 meter; negativ saving, dvs. merforbruk ...

BTB: konsekvens av høyere løftehøyde til CO2-luft									
Konfigurasjon/Kommentarer	Gen#	Σ_O2_kWh	Σ_Pu_kWh	Σ_Heat_kWh	Σ_Annet_kWh	Σ_TOT_kWh	Energisaving pr innsett [kWh]	Energisaving per byggetrinn [kWh/year]	
Konfig: 02-kjelle, temp 14-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO2; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5 (Base)	Snitt G005-G030	936 571	4 535 203	1 621 877	954 066	8 795 364			
Konfig: 02-kjelle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO2; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO2-luft +0,1m	Snitt G005-G030	936 571	4 550 762	1 621 877	954 066	8 810 923	-15 559	-93 353	
Konfig: 02-kjelle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO2; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO2-luft +0,2m	Snitt G005-G030	936 571	4 566 321	1 621 877	954 066	8 826 482	-31 118	-186 706	
Konfig: 02-kjelle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO2; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO2-luft +0,3m	Snitt G005-G030	936 571	4 581 880	1 621 877	954 066	8 842 041	-46 677	-280 060	
Konfig: 02-kjelle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO2; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO2-luft +0,4m	Snitt G005-G030	936 571	4 597 438	1 621 877	954 066	8 857 600	-62 235	-373 413	
Konfig: 02-kjelle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO2; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO2-luft +0,5m	Snitt G005-G030	936 571	4 612 997	1 621 877	954 066	8 873 159	-77 794	-466 766	
Konfig: 02-kjelle, temp 14-12-12-12, sjøvann iht biomasse; gjenbruk 45.000/min AA oksygenering sjøvann: 1,7 kWh/kgO2; pumpe η = 0,80; VP_COP=9,5; CO2-luft +0,6m	Snitt G005-G030	936 571	4 628 556	1 621 877	954 066	8 888 717	-93 353	-560 119	

Vedlegg 3, Mail fra Progress Screen



WS
to: 24.02.2022 13:15

Til: Joakim Moldesæter Teigland

Hello,

We could make a flat wedge wire screen with 34 Sb working profile, the screen would be made of 4 segments welded to each other. The slot size 3,0 mm would be OK for the flow of 30 000 l/min. However, we cannot guarantee the wastes would slide down to the container. We do not know the angle at which screen should be installed – probably it would require some kind of experiment to define whether the angle is correct or not. I am afraid we won't be able to carry out such experiment as we do not have the proper facility.

If you figure out the final dimensions of the flat screen please let me know so that I could quote it for you.

Best Regards,

Sales Engineer
+48 661 610 637 / +48 41 346 50 06 (161) /



