



HL.Skjong AS
Besøksadresse:
Breivika Industriveg 48
6018 Ålesund
Postadresse:
P.O. Box 8074
6022 Ålesund
Sentralbord: 70 30 11 00
post@hlskjong.no
Foretaksregister:
NO 921 074 670 MVA

Sluttrapport

Rensing av prosessvann ved lakse- og ørretslakteri

Utvikling- og testing av teknologi

VERSJON
2

DATO
2024-04-30

FORFATTER(E)

Erlend Rørvik Blindheimsvik og Natalia Rønneberg Dahl (HL.Skjong AS)
Andreas Erling Støbakkvik Austnes og Robert Wolff (SINTEF)

OPPDRAGSGIVER:
FHF

PROSJEKTNUMMER
FHF: 901763



SINTEF har bidratt i denne rapporten med forslag til rapportoppsett, redigering, tabell- figur- og bildeutforming, samt forslag til faglig tekstutforming.

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	3
2	Bakgrunn	4
3	Innledning	5
4	Kravspesifikasjon og produksjonsunderlag	6
4.1	Kravspesifikasjon	6
4.1.1	Vannkvalitet og -forbruk	6
4.1.2	Kapasitet	7
4.1.3	Energiforbruk	7
4.1.4	Arealbruk	7
4.1.5	Automatisering	8
4.1.6	Rengjøring, HMS og hygienisk design	8
4.1.7	Samkjøring med eksisterende renseanlegg	9
5	Gjennomføring av testperioden	10
5.1	Analyse av vannkvalitet	11
6	Sammenstilling av pilotanlegg	12
6.1	Automatisering – oppsett i testperiode	13
7	Testing i fullskala	15
7.1	Drift av sentrifugen	15
7.2	Renseeffekt – samlet for testperioden	16
7.2.1	Renseeffekt - sensorstyrt og tidsstyrt drift	17
7.3	Rensing og gjenbruk av blodvann	18
8	Hovedfunn	21
9	Referanser	22
A	Skisse av teknologi	23
B	P&ID	24

1 Sammendrag

I dette prosjektet er det gjennomført storskala tester av teknologiløsning som kan bidra til å redusere vann- og energiforbruk ved operasjon av RSW-utblødningstanker, og gjenvinne verdifull biomasse fra prosessvann.

Det er utarbeidet en kravspesifikasjon for løsningen. Denne konkluderte med at teknologien bør ha kapasitet til å rense størst mulig andel av vannvolumet i utblødningstanken, og eventuelt ved tømning av tank etter produksjonsslutt. Energiforbruket bør ikke overstige den samlede reduksjonen i energiforbruk per m³ sjøvann i eksisterende prosesser. Det er ønskelig at teknologien har et plasseffektivt design, tar minst mulig plass og kan plasseres nærmest mulig bruksområdet. Renseteknologien skal være helautomatisert og kunne kjøres uten personell til stede, med mulighet for å kontrollere prosessen via fjernstyring.

På grunn av strenge hygienekrav har næringsmiddelindustri på generelt grunnlag begrenset mulighet for resirkulering av prosessvann. Veiledende grenseverdier ved bruk av rent sjøvann gjelder ikke for vannet i utblødningstanker, likevel bør det stilles strenge krav til hygienisk kvalitet på vannet som kommer i kontakt med næringsmidler.

I tillegg til selve sentrifugen, består løsningen av en ventilramme, pumper, slanger og rør, og er utformet iht. meieri- eller pharma-standarder. Blodvannet separeres til en lettfase (renset vann) og tung fase (slam). Drift av sentrifugen er testet ved tidsstyring og styring basert på turbiditetssensor. Sensorstyrt drift av sentrifugen kan i større grad tilpasses variasjoner i den organiske belastningen av prosessvannet. Samlet sett ser det ut til at tidsstyrt kjøring gir best renseeffekt, men det vil være hensiktsmessig å drifte sentrifugen med en kombinasjon av sensorstyring og tidsstyring.

Målsetningen fra prosjektets utlysningstekst var minst 50 % forbedring av UV-transmisjon. Renseteknologien har vist en gjennomsnittlig økning i UV-transmisjon i vannfasen på 56 prosentpoeng, med en UV-transmisjon over 60 % i lettfasen. Nitrogen og fosfor ble redusert med hhv. 49 % og 47 % fra blodvann til lettfase.

Pilotanlegget hadde begrenset effekt på reduksjon av indikatororganismer, men oppnådd transmisjon kan legge til rette for UV-desinfeksjon.

Ved gjenbruk av blodvannet økte den organiske belastningen i blodvannet gradvis. Dette tyder på at valgt sentrifuge ikke har tilstrekkelig kapasitet til å rense blodvannet i takt med forurensningen fra fisk under slakting. Likevel stabiliserte belastningen i blodvannet seg på lavere nivå enn det som tidligere er målt i samme system. Tilbakeføring av lettfase nært uttakspunkt for blodvann til sentrifugen kan ha påvirket resultatet, og det er derfor usikkert om effekten kun kan tilskrives innføring av renseteknologien.

Bruk av renseanlegget slik det er utformet under testen vil forbedre vannkvalitet under produksjon, men uten ytterligere rens tiltak vil det trolig ikke være hensiktsmessig å basere seg på gjenbruk av blodvann over flere produksjonsdager. Med tilpasninger har løsningen potensiale til å gi en betydelig reduksjon i vannforbruk og behov for sluttrensing, i tråd med BAT-krav.

2 Bakgrunn

Bakgrunnen for dette prosjektet er utlysning fra FHF 17.12.2021. Prosjektet er del av finansieringsordningen Prosjekt i Bedrift (PIB) i FHF, et særskilt virkemiddel etablert for å gi tilskudd til teknologileverandørers bidrag til verdiskaping og vekst i sjømatnæringen. I denne delen av prosjektrapporten gis bakgrunn og en kort sammenstilling av tidligere arbeid for dette prosjektet.

Havbruksnæringen benytter i dag store mengder fersk- og sjøvann under produksjon. HL.Skjong AS (HLS) mener å ha forslag til løsning på en teknologi som kan bidra til å redusere vann- og energiforbruk, gjenvinning av verdifull biomasse, samt redusere kjemikalieforbruk ved rensing av prosessvann. Løsningen kan også bli et viktig bidrag til bedret hygienisk produksjon av laks, og dermed økt holdbarhet og redusert matsvinn. Løsningen er en del av tankegangen i sirkulær bioøkonomi og har et overordnet bærekraftig perspektiv.

Det store vannforbruket skaper utfordringer på grunn av kapasitetsbegrensninger på eksisterende renseanlegg, og en eventuell utvidelse av kapasitet er svært kostbar. Rensing og resirkulering av prosessvann under produksjon vil bidra til redusert behov for kjemikalier og frigir kapasitet ved sluttrensing av prosessvannet. Nye utslippskrav for sluttrensing ble implementert i desember 2023, og har i den siste tiden fått stor oppmerksomhet i næringen.

Det finnes flere studier som omhandler tekniske løsninger for rensing av prosessvann fra fiskeindustrien og annen næringsmiddelindustri. Disse rettes i all hovedsak mot fjerning av organisk og uorganisk materiale før utslipp til resipient, men tar ikke høyde for gjenbruk av prosessvannet i produksjonen.

På grunn av strenge hygienekrav har næringsmiddelindustri på generelt grunnlag begrenset mulighet for resirkulering av prosessvann. Det er likevel indikert at prosessvann kan renses tilstrekkelig til å kunne brukes i prosesser der det ikke kommer i kontakt med næringsmidler (McDonald et al., 1999) og Europakommisjonen (2006) oppgir bl.a. at tinevann fra lukkede sirkuleringssystem i sjømatindustrien kan gjenvinnes uten at det går på bekostning av produktkvaliteten.

Valg av rensestrategi må ta hensyn til vannvolumet som skal renses, slaktevolum og ønsket kvalitet på det rensede blodvannet. Hvor mye rensset vann som kan tilsettes utblødningstanken begrenses av temperaturøkningen på blodvannet under rensing, og volum rensset vann relativt til det totale tankvolumet. Alle disse forholdene vil påvirke effekten og massebalansen for sentrifugen, herunder hvor mye slam som dannes under vannrensingen.

3 Innledning

Under slakting blør laksefisk normalt ut i store utblødningstanker med vann, og blodvann vil være en mulig kilde til kontaminering av fisken. Vanligvis tappes og renses tanker med blodvann hver dag når produksjonen er ferdig. Dersom man reduserer mengden organisk materiale og mikroorganismer i blodvannet, kan dette vannet potensielt benyttes over en lengre periode uten tilsetning av nytt temperert vann. Potensielt vil dette også kunne bidra til redusert energiforbruk.

Det store vannforbruket skaper utfordringer på grunn av kapasitetsbegrensninger på eksisterende renseanlegg, og en eventuell utvidelse av kapasitet er svært kostbar. Rensing og gjenbruk av prosessvann under produksjon vil bidra til redusert behov for kjemikalier og frigir kapasitet ved sluttrensing av prosessvannet. Nye utslippskrav for sluttrensing ble implementert i desember 2023, og har med rette den siste tiden blitt viet stor oppmerksomhet, ikke bare i havbruksnæringen, men også innenfor pelagisk og hvitfisksektoren.

Kjerneteknologien som ble testet og utviklet i dette prosjektet baseres på bruk av sentrifuge. Effekten av sentrifugering avhenger blant annet av sentrifugalkraft, partikkeltetthet og -størrelse, samt sammensetningen i mediet som skal separeres. Førehastigheten til sentrifugen er også avgjørende, og en overskridelse av kapasiteten til sentrifugen (for stor førehastighet) vil gi en betydelig reduksjon i effektiviteten.

Innledende tester har vist at sentrifugen var effektiv med tanke på fjerning av partikulært materiale fra blodvannet, og reduserte innholdet av organisk materiale med ca. 60 %. Resultat fra prosjektene har videre vist en gjennomsnittlig reduksjon på 60 - 70 % for ulike indikatororganismer (Nordtvedt et al., 2020). Det ble heller ikke funnet *Listeria* i vannet etter sentrifugering. Resultatene baseres imidlertid på et begrenset antall prøver, og det er nødvendig med ytterligere forskning og testing i stor skala for å verifisere funnene nærmere.

Prosjektet har vært delt inn i fire faser, og det har vært knyttet ulike arbeidspakker (AP) til hver fase.

- Fase 1: Kravspesifikasjon og forsøksdesign – AP1 og 2
- Fase 2: Sammenstilling – AP3
- Fase 3: Testing i fullskala – AP4
- Fase 4: Feilretting og re-design og - AP5

Denne rapporten oppsummerer alle fasene som er gjennomført i prosjektet.

4 Kravspesifikasjon og produksjonsunderlag

Valg av rensestrategi må ta hensyn til vannvolumet som skal renses, slaktevolum og ønsket kvalitet på det rensede blodvannet. Hvor mye rensed vann som kan tilsettes utblødningstanken begrenses av temperaturøkningen på blodvannet under rensing, og volum rensed vann relativt til det totale tankvolumet. Alle disse forholdene vil påvirke effekten og massebalansen for sentrifugen, herunder hvor mye slam som dannes og tas ut fra prosessen under vannrensingen.

Utarbeiding av kravspesifikasjon og produksjonsunderlag er dekket av arbeidspakke 1 (AP1) i prosjektet.

4.1 Kravspesifikasjon

4.1.1 Vannkvalitet og -forbruk

Veiledende grenseverdier ved bruk av rent sjøvann på hele fiskevarer¹, og ved håndtering, vasking og kjøling av prosesserte fiskevarer, gjelder ikke for vannet i utblødningstanker/kjøletanker. Krav til vannkvalitet (både kjemisk og biologisk) er avhengig av mulig kontakt mellom vann og produktet.

I henhold til *Næringsmiddelhygieneforskriften*², Vedlegg II, Kapittel VII skal *resirkulert* vann som brukes ved foredling eller som ingrediens, ikke utgjøre en risiko for forurensning. Det skal være av samme standard som drikkevann, med mindre vannkvaliteten ikke påvirker næringsmidlenes hygieniske kvalitet i deres endelige form. I henhold til *The International Commission on Microbiological Specifications for Foods* (ICMSF) er kravene til prosessvann (*process water/operations water*) de samme som for drikkevann (Jacob, 1988; FDA, 1993), men at vann med høyere bakterieinnhold kan benyttes i enkelte applikasjoner (herunder operasjoner der vannkvaliteten ikke vil påvirke tryggheten til sluttproduktet) (Roberts et al., 2005). Presiseringen i forskriften vedrørende *resirkulert* vann kan, uavhengig av om det gjelder for blodvann, indikere at det bør stilles strenge krav til hygienisk kvalitet på vannet.

Fra utlysning er det stilt følgende krav til vannkvalitet:

- Minimum 50 % lavere UV-transmisjon.
- Redusere suspendert stoff (SS) med > 90 %.

Resirkulering og gjenbruk av prosess- og avløpsvann er i tråd med EUs *Circular economy action plan*³ (CEAP), og søker å øke ressursutnyttelsen i lakseindustrien. Bruken av behandlet avløpsvann som en alternativ vannkilde er anerkjent og integrert i europeiske og nasjonale strategier⁴.

Skillet mellom resirkulering og gjenbruk/ombruk finnes også i EUs rammedirektiv for avfall ((EU) 2008/98). Her defineres **gjenbruk** som "*enhver metode der produkter eller bestanddeler som ikke anses som avfall, blir benyttet om igjen til samme formål som de opprinnelig ble produsert til*". **Resirkulering** (materialgjenvinning) omfatter enhver "[...] gjenvinning der avfallsmaterialer blir bearbeidet på nytt til produkter, materialer eller stoffer til enten det opprinnelige formålet eller til andre formål".

BREF-dokumentet for FDM-sektoren (*Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries (BREF-FDM)*)⁵ konkluderer med at **gjenbruk** er ombruk av vann som ikke er avløpsvann, mens **resirkulering** er bruk av avløpsvann.

I dagens lakseslakterier blir prosessvann til en viss grad gjenbrukt i lukkede prosesser. Dette gjelder for eksempel i kjøletanker og i utblødningstanker, som er det prosjektet har rettet fokus mot. Selv om vannet på mange måter kan sies å *brukes om igjen til samme formål* dersom en gjenbruker vann fra én kjøletank inn i en annen kjøleprosess, kan dette medføre krav til drikkevannskvalitet på rensed vann, siden det trolig

¹ <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2012.2613>

² Forskrift om næringsmiddelhygiene (FOR-2008-12-22-1623)

³ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>

⁴ <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2012.2613>

⁵ https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-01/JRC118627_FDM_Bref_2019_published.pdf#page=711&zoom=100,148,177

vil vurderes som *resirkulering* iht. *Næringsmiddelhygieneforskriften*. Dette er imidlertid noe usikkert siden *resirkulering* ikke er definert i denne forskriften.

I vurderingen av hvilke vannkilder som kan gjenbrukes og/eller resirkuleres må flere aspekter vurderes, blant annet:

- Konsekvenser av gjenbruk med hensyn på energi- og kjemiforbruk i vannbehandling
- Regelverkskrav for mattrygghet og hygiene
- Skille mellom produkt som skal brukes uten videre prosessering og de som skal gjennom videre bearbeiding.
- Kunde krav knyttet til hygiene, renhold, mv.

I vurderingen av vannforbruk er det ikke bare volum som skal tas i betraktning. I de fleste tilfeller vil gjenbruk kreve en eller annen form for behandling eller kjøling før bruk, og forbruket bør reduseres så mye som mulig. Dette vil følgelig redusere energiforbruk til bl.a. pumping og vannbehandling. I tillegg vil vannkvaliteten i seg selv kunne påvirke behovet for vannforbruk i enkelte prosesser, som f.eks. CIP-vask.

I henhold til BREF-FDM må alle disse problemstillingene tas i betraktning ved vurdering av tiltak for gjenbruk og resirkulering i spesifikke prosesser.

4.1.2 Kapasitet

Teknologien bør ha kapasitet til å rense størst mulig andel av det "stående" vannvolumet i utblødnings-tanken. Stående vannvolum er ikke konstant (vil variere gjennom dagen avhengig av mengde fisk som fortrenger vannet i systemet) og vil være forskjellig fra anlegg til anlegg.

Tømmetid etter endt produksjon er ønskelig å være så kort som overhodet mulig, og er tilpasset rengjøring av tanken. Siden slakting og utblødning skjer tidlig i produksjonen, er dette også noe av det første som vil bli klargjort for rengjøring. Tømmetid er ønskelig skjer i løpet av 30 – 45 minutter. Dersom teknologien skal benyttes på resterende prosessvann, bør kapasitet til teknologien tilpasses volum som skal tømmes ved produksjonsslutt for å tilfredsstille tømmetid. Driftsmønster (f.eks. ved gjenbruk av vann over flere dager) må også hensyntas. Dersom gjenbruk skal praktiseres, kan man akseptere en lavere kapasitet for tømmetid.

Tidligere tester har vist at det må påregnes en viss temperaturøkning når prosessvann renses over sentrifugen. Temperaturøkningen må ikke overstige kapasiteten til RSW-anlegget (Refrigerated Seawater System) knyttet til utblødningstanken, og bidra til temperaturøkning over det som er akseptabelt for produksjonen.

Suppleringsvann tilføres utblødningstanker under produksjon for å bedre vannkvalitet og sikre tilstrekkelig vannnivå i tanken. Renseteknologien bør ha en kapasitet som minimum tilsvarer mengden av tilsatt vann, samt effekten av tilsatt vann med hensyn på vannkvalitet. Normalt vil tilsetning av vann være ca. 5-20 % av vannvolum.

4.1.3 Energiforbruk

Energiforbruket ved bruk av renseteknologien skal ikke overstige den samlede reduksjonen i energiforbruk per m³ sjøvann (reduisert suppleringsvann, redusert behov for kjøling av RSW vann, redusert behov for vannrensing).

4.1.4 Arealbruk

Anleggets størrelse og arealkrav varierer avhengig av størrelse på sentrifugen som benyttes. Tilstrekkelig høyde for å gjennomføre vedlikehold må hensyntas (min. 1,0 meter). Dette er spesielt knyttet til service når separator skal åpnes for service og vedlikehold. Plassering av renseteknologi må ta høyde for montering av løfteanordning og tilkomst for vedlikehold.

Fra slakteriene sin side er det ønskelig at teknologien har et plasseffektivt design og tar minst mulig plass. Maksimalt 20 m² gulvareal er indikert. Arealet må vurderes dersom større sentrifuge installeres.

Det vil være en fordel å installere utstyret nærmest mulig bruksområde for å hindre lange og fordyrende rørstrekk. Selve utstyret må kunne være installert på en slik måte at det ikke er til hinder for andre arbeidsoperasjoner hos brukeren. Utstyret bør plasseres på en slik måte at det enkelt lar seg demontere og flyttes for eventuelt vedlikehold.

4.1.5 Automatisering

Det ble fra et brukerperspektiv pekt på at teknologien ikke er en del av normal kjernevirksomhet ved slakteriet, og at den derfor må være selvkjørende og ha en viss grad av «plug & play». Det er ikke forenelig med innføring av en slik teknologi at driftspersonell blir bundet opp for manuell styring og håndtering. Dette er også knyttet til sikkerhet for personell.

Renseteknologien skal være helautomatisert og kunne kjøres uten personell til stede. Styringen skal være satt opp slik at det er mulig å kontrollere prosessen lokalt eller via fjernstyring. Det skal videre være mulig å overvåke, samle inn og behandle sanntidsdata gjennom samhandling med ulike enheter som sensorer, ventiler, pumper, mv. og registrere data i en loggfil.

Styringen bør kunne tilkobles til eksisterende tekniske plattformer, slik som grafiske brukergrensesnitt (GUI). Vaskesystem (CIP) skal kunne opereres som en integrert del av renseteknologien.

4.1.6 Rengjøring, HMS og hygienisk design

Generelle krav til utstyr ved produksjon av næringsmidler er blant annet gitt i *Næringsmiddelhygieneforskriften*² og *Animaliehygieneforskriften*⁶.

Teknologiløsningen skal være utformet og konstruert slik at risikoen for forurensning reduseres mest mulig, og videre beskytter mot ansamling av skitt, avgivelse av partikler til næringsmidlene og dannelsen av kondens eller mugg på overflatene.

Overflatene skal være av glatte, vaskbare og korrosjonsbestandige materialer som er lette å rengjøre og desinfisere. Materialer skal være godkjent til bruk i næringsmiddelproduksjon.

Utstyret skal være installert slik at det er mulig å vedlikeholde, rengjøre og/eller desinfisere på en egnet måte, og å unngå eller redusere forurensning fra luft mest mulig. Det skal være plass nok til at alt arbeidet kan foregå på en hygienisk måte.

Ved implementering og tilpasning av ny teknologi tilknyttet eksisterende produksjonsutstyr, er det viktig at hensyn til gjeldende vaske- og rengjøringsrutiner blir vurdert og ivaretatt. En fareanalyse og kritisk kontrollpunkt, HACCP, bør derfor gjennomføres. Teknologien testet i dette prosjektet har vært vurdert i slik henseende, og for dette anlegget ble det anbefalt å knytte eksisterende CIP-anlegg for rengjøring av utblødningstanken til rengjøring av renseteknologien.

Dersom det er nødvendig å bruke kjemiske tilsetningsstoffer for å hindre at utstyr og beholdere korroderer, skal de brukes i samsvar med god praksis.

Utstyret skal ha CE-merking som sikrer etterlevelse av myndighetskrav gitt i relevante direktiv/forordninger.

Arbeidsutstyr skal installeres og plasseres på en slik måte at det gir full trygghet både for arbeidstakerne som bruker arbeidsutstyret og andre arbeidstakere jf. Forskrift om utførelse av arbeid §11⁷.

Ved tilkobling til eksisterende infrastruktur skal det velges rustfrie rør fremfor slanger for å redusere risiko for eventuelle uønskede hendelser forbundet med trykkøkning under drift.

Teknologien skal plasseres i et område der arbeidstakere i minst mulig grad utsettes for støy, særlig i forbindelse med skudd (*skudd* er betegnelse på hendelse knyttet til evakuering av slam fra sentrifugen, nærmere beskrevet i Kapittel 6.1).

Arbeidsutstyr skal være innrettet slik at arbeidstakerne er vernet mot farer som følge av aerosoldannelse. Lufting skal rettes over tak eller yttervegg dersom dette er mer hensiktsmessig, og ikke luftes ut i samme rom som sentrifugen er plassert.

Styresystemet skal være sikkert og utformet slik at svikt, feil, utilsiktet påvirkning og belastninger ikke medfører fare.

Arbeidsutstyr skal være merket med nødvendige advarsler og opplysninger for sikker bruk.

⁶ Forskrift om særlige hygieneregler for næringsmidler av animalsk opprinnelse (FOR-2008-12-22-1624).

⁷ Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav (FOR-2011-12-06-1357).



4.1.7 Samkjøring med eksisterende renseanlegg

Teknologien må kunne kobles til avløpssystem for både lettfase og evt. slamfase. Det er ønskelig at slamfase separeres ut og håndteres utenom prosessvannsavløp, og kan håndteres sammen med andre biprodukt. Alternativt må det etableres eget utstyr for håndtering og konservering av slamfasen.

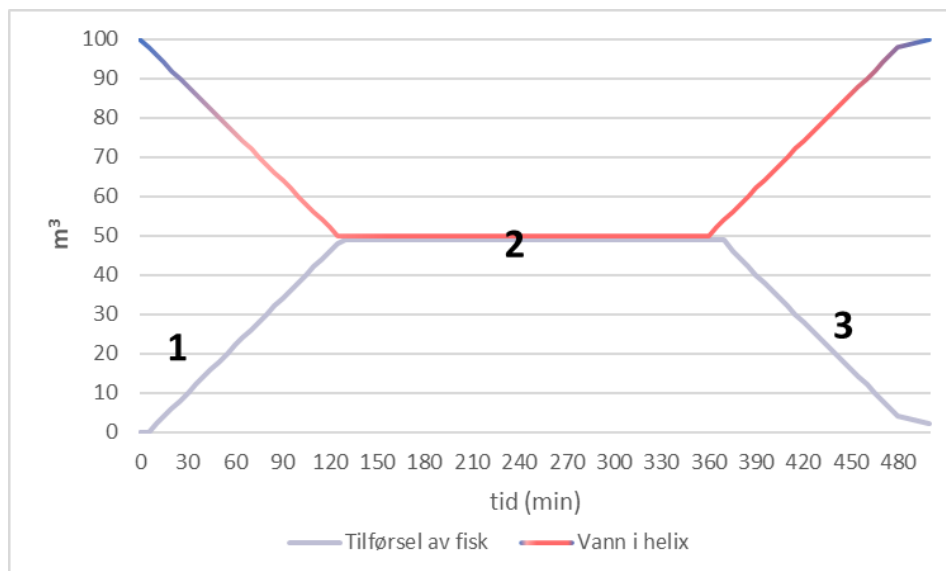
5 Gjennomføring av testperioden

Utblødningstanken benyttet i dette prosjektet, er en HeliX-utblødningstank fra Stranda Prolog (Figur 1). Fisken tilføres tanken via sidelasting til bur delt av den langsgående skruen (Arkimedes-skrue) i tanken. Fisken skyves fremover mot utløpet i tanken av skruen, før den løftes opp og ut av tanken for videre transport til neste prosessstrinn. Styringssystemet sikrer god kontroll med tilstrekkelig oppholdstid for fisken før den føres ut og videre i produksjonen. Vannet i tanken holdes tilstrekkelig kjølt gjennom et separat RSW-system. I tillegg er det interne sirkuleringsløyper som gir relativt lik vannkvalitet i hele tanken. Normalt tilføres det rent sjøvann til denne tanken under slakting for å sikre at tanken har et tilstrekkelig vannnivå til enhver tid. Dette tilsvarer rundt 20 % utskiftningsgrad (av vannvolum i tank) ved dette slakteriet.



Figur 1 Eksempel på HeliX-tank. Bilde hentet fra www.hoseth.com.

Prinsippet for utvikling i utblødningstanken under slakting er forsøkt illustrert i Figur 2. Figuren angir ikke nødvendigvis riktige mengder av fisk/vann. Det er angitt et stående vannvolum på om lag 50 m³ under "steady-state" (**2** i Figur 2), hvor ca. like mye laks blir tilført utblødningstanken som mengde laks som tas ut. Dette vannvolumet er ikke bekreftet, og ligger trolig høyere. Ved produksjonsstart vil fisk som tilføres tanken fortrenge vann (**1** i Figur 2), mens det ved produksjonsslutt vil fisk tas ut og mer suppleringsvann må tilføres tanken (**3** i Figur 2). Det er montert overløp på Helix I, men det er lite eller ingen vann som går ut gjennom overløp ved normal drift.



Figur 2 Tenkt driftsmønster over en produksjonssyklus i utblødningstanken. **1:** Oppstartsfase: Laks føres inn og fortrenge vann, **2:** Likevekt ("steady-state"): Like mye fisk inn og ut av tanken, og **3:** Tømmefase: Laks ut av tank og suppleringsvann må etterfylles for å opprettholde nivå.

Under testperioden skal tilsetning av suppleringsvann kun relateres til minimum vannnivå nødvendig for å unngå skade på utblødningstanken, samt sikre nødvendig vannnivå for å kunne løfte fisk skånsomt ut av tanken. Sentrifugen har i utgangspunktet større kapasitet enn normal tilførsel av suppleringsvann.

Føde vann (blodvann) ble tatt ut i bunnen av utblødningstanken og pumpet via Russelfilter til sentrifuge. Lettfasen (rent vann) ble ført direkte til avløp eller tilbake i bakkant av utblødningstank. Slam ble samlet i egen beholder og tømt ved behov. Filtrat fra Russelfilter ble samlet opp sammen med slam fra sentrifuge.

Det ble tatt prøver fra følgende prøvetakingspunkt:

- Blodvann før sentrifugering (etter Russelfilter)
- Lettfase etter sentrifugering
- Slam

Under kjøring ble førehastighet, kulehastighet (RPM), driftstype og relevante driftsparametere (som baktrykk, tidsforsinkelse for skudd, skuddintervall, settpunkt for turbiditet lettfase mv.) og slamvolum og vekt registrert.

Hver testperiode ble kjørt med tre paralleller, med minimum tre uttak av blodvann, lettfase og slam per parallell.

5.1 Analyse av vannkvalitet

Det er analysert fysikalske og kjemiske parametere på blodvann og lettfase for å vurdere effekt av sentrifugering.

Suspendert stoff (SS) ble forsøkt analysert på blodvann og lettfase. Ved analyse av SS skal et volum på 100 ml prøve filtreres ved hjelp av vakuum gjennom et filter med definert porestørrelse, og filtreringen skal skje i løpet av 60 sekunder. Ved analyse av blodvann ble det tydelig at egenskapene ved dette prosessvannet gjorde det vanskelig å kunne passere filteret innen angitt tidskrav. Filteret ble tettet av partiklene i blodvannet. For å kunne gjennomføre en analyse måtte blodvannet fortynnes i så stor grad at måleusikkerheten til metoden ble vurdert som for stor til at resultatene kunne benyttes for å dokumentere rensegrad.

UV-transmisjon ble analysert med Spectroquant Prove spektrofotometer i 1 cm kvartskyvette ved 254 nm.

Turbiditet ble målt med et HACH TL 2300 turbidimeter og resultatene er angitt som NTU (nefelometriske turbiditetseenheter). Turbiditetsmålingene beregner mengden partikler basert på lysspredning, og ble brukt som alternativ metode for å indikere mengden partikler i blodvannet, siden analyse av SS ikke var mulig innenfor tidskravet til metoden.

Kjemisk oksygenforbruk (KOF-Cr) ble analysert med metode SS-EN ISO 8467:1995 mod, med kvantifiseringsgrense på 0,24 mg/l og måleusikkerhet på 45 %. Dette ble gjort av eksternt laboratorium, Eurofins Environment Testing Norway AS. Metoden for bestemmelse av KOF er begrenset for sjøvann, eller vann med stor andel sjøvann, på grunn av høyt kloridinnhold. Klorid blir oksidert av kaliumdikromat (som benyttes i analysen) og blir feilaktig bestemt som KOF-Cr. Metoden har en øvre grense for klorid på 1000 mg/l. Sjøvann har normalt over 20 000 mg klorid/liter, og for at metoden skal kunne anvendes må den fortynnes. Dette medfører økt deteksjonsgrense for metoden, normalt rundt 500 mg/l. Dette gjør det særlig utfordrende for vann med lavt innhold av KOF, som lettfase etter rensing.

Totalt organisk karbon (TOC) ble analysert av Eurofins Environment Testing Norway AS med metode NS-EN 1484, med kvantifiseringsgrense 0,5 mg/l og måleusikkerhet 20 %.

Nitrogen ble analysert av Eurofins Environment Testing Norway AS med intern metode, med kvantifiseringsgrense 10 µg/l og måleusikkerhet 20 %.

Fosfor ble analysert av Eurofins Environment Testing Norway AS med metode NS-EN ISO 15681-2, med kvantifiseringsgrense 2 µg/l og måleusikkerhet 15 %.

Blodvann og lettfase ble analysert av Nemko Norlab, for *Salmonella monocytogenes* med intern metode basert på NordVal 022, kimtall 22°C med metode NS-EN ISO 6222, og *Vibrio spp.* med intern metode/NTV.

For å beregne renseseffekt av ulike parametere er følgende formel benyttet:

$$\text{Renseeffekt, (\%)} = \frac{(\text{Konsentrasjon blodvann} - \text{Konsentrasjon lettfase})}{\text{Konsentrasjon blodvann}} \times 100 \%$$

6 Sammenstilling av pilotanlegg

Sammenstilling av pilotanlegg ble gjort i henhold til plasstegning/skisse av teknologi (Vedlegg A) og P&ID (Vedlegg B). Tilpasning av pilotanlegget for enkel bruk med hensyn på HMS ble utført kontinuerlig. Eksempelvis hensiktsmessig plassering av utstyr, tilkobling til tank og lengde på slanger.

Valg av separator for testing i dette prosjektet falt på GEA ASD70 (se spesifikasjoner i Tabell 1). Valget ble gjort med hensyn til at sentrifuge, pumpe og fødefilteret også skal kunne benyttes om bord i båt (slaktebåt). Det er særlig hensynet til størrelsen på kulen, spesielt med tanke på løftehøyden og vekt, må legge til rette for at vedlikehold kan gjennomføres om bord i slaktebåt med begrenset takhøyde.

Forskjellen på et oppsett for sentrifuge fastmontert på landanlegg i motsetning til montering i båt, er i hovedsak hva som blir brukt av deler og komponenter for å imøtekomme krav til hygienisk design. I tillegg til selve sentrifugen, består utstyret av en ventilramme, pumper, slanger og rør. For næringsmiddelindustri på land er utsyr og tilkoblinger på rør i stor grad montert iht. meieri- eller pharma-standarder. Standardene som benyttes er DIN 11864-1 og såkalt Svensk Meieristandard, SMS. Hygienisk design blir praktisert noe annerledes på båt, med andre standarder.

Tabell 1 Spesifikasjon for GEA ASD70 benyttet til rensing av blodvann. Oppholdstid er beregnet ved å dele bowl volum på fødehastighet.

Sentrifuge	Maks kapasitet (l/h)	Maks RCF	Bowl volum (liter)	Kapasitet slamkammer (liter)	Oppholdstid (l/sek)
GEA ASD70	15 000	12 055	23	10 (7,5*)	5,5

*Kapasitet slamkammer i sentrifugen kan endres ved å sette inn en skuddring. Det er benyttet ulike kapasiteter (10 og 7,5 liter).

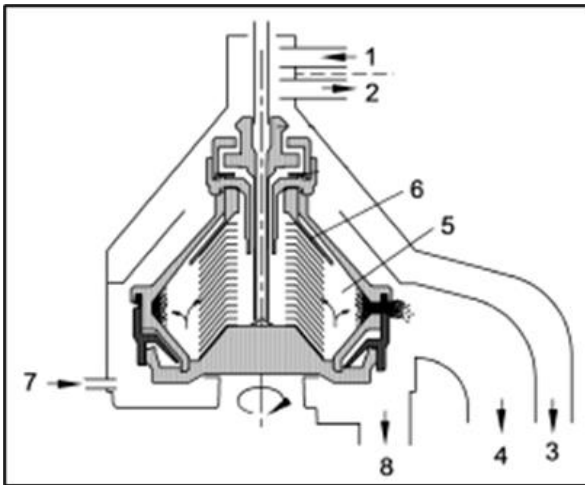
Renseteknologien er koblet til dagens prosess på en slik måte at den tar ut blodvann som skal renses i enden av utblødningstank, hvor også fisken tas ut til videre prosessering. Fra utblødningstanken føres prosessvannet/blodvannet til renseteknologien. Først via en sentrifugalpumpe til et filter. Filteret fjerner partikler over 1000 µm, som er av en slik størrelse at det ikke er ønskelig de skal gå inn i sentrifugen. Dette er fordi sentrifugens kule er bygd opp av en rekke plater stablet i høyden. Store partikler vil ikke kunne passere mellom platene, de vil bygge seg opp og stenge for gjennomstrømming i systemet. Filteret tømmes på tidsintervall, hvert 10 minutt. Retentatet fra filteret er primært skjell fra fisken og andre små biter eller fragmenter fra finner/spord og lignende (se Bilde 1).

Det er tre utløp fra sentrifugen. Dette er rensed vann (lettfase), slamfase og hydraulikkvann. Hydraulikkvannet som løfter kule ved tømning av slamkammeret, føres ut av kulekammeret i eget løp og går rett i sluk (Se prinsippskisse for sentrifugen i Figur 3 under). Hydraulikkvannet er ikke kontaminert av prosessvann.



Bilde 1 Retentat fra filter.

Lettfasen går til ventilrammen og passerer der en turbiditetssensor. Turbiditetssensoren måler vannkvaliteten og dette er en av styringsparameterne til sentrifugen. Lettfasen kan fra ventilrammen føres enten tilbake til utblødningstanken som gjenbruk eller til sluk.



Figur 3 Prinsippskisse av sentrifuge. 1. Tilførsel fødevann, 2. Avløp lettphase, 3. Avløp tung væske (ikke relevant ved sentrifugering av prosessvann), 4. Evakuering av slam til sykklon, 5. Slamkammer, 6. Disker, 7. Styrevanntilløp 8. Styrevannavløp. Figur er tilpasset fra GEA ASD2 Instruksjonsbok.



Bilde 2 Sentrifuge montert under fullskaletesting. Ventilrigg kan skimtes i venstre del av bilde. Slamoppsamler sess til venstre for selve sentrifugen, med skruerpumpe monteret i underkant av denne.

Slamfasen er den materien som er rensset ut av prosessvannet i sentrifugen. Slamfasen samles opp i slamkammeret inne i sentrifugen. Avhengig av valgt styringsparameter vil sentrifugen gjøre en tømning av slamkammeret. Under tømning stanses føden av prosessvann til sentrifugen. Kulen løftes ved hjelp av hydraulikkvann og prosessen skjer svært raskt. Dette medfører at flere evakueringsluser langs kanten av slamkammeret eksponeres, og på grunn av kulens rotasjon bidrar dette til at oppbygd slam føres ut gjennom slusene. Tømning av slamkammer er en rask prosess med høy lyd, og kalles derfor et *skudd*. Slamfasen «skytes» ut til en sykklon, en slambeholder, som bremser hastigheten på slammet og fører det ned til en eksenterskruepumpe. Eksenterskruepumpen fører slammet videre til en oppsamlingsbeholder.

6.1 Automatisering – oppsett i testperiode

Under utarbeidelse av teknisk brukerspesifikasjon (TKS, fase 1) ble det tydeliggjort at anlegget må være fullautomatisert. Mowi har eget styringssystem som både er egnet til, og ønskelig, å integrere sammen med denne teknologien. Slik integrering vil være for omfattende, og av hensyn til datasikkerhet var det ikke tilrådelig å gjøre det ved gjennomføring av dette prosjektet. Pilotanlegget ble derfor bare delvis automatisert siden implementering av et fullautomatisert system ville kreve for mye tid og arbeid, samtidig som dette ville medført store kostnader for et system som kun ville blitt benyttet under testperioden.

Pilotanlegget ble automatisert slik at sentrifugen, pumpen og fødefilteret ble styrt enten fra felles styresystem (pumpe og separator) eller et individuelt styresystem (tidsstilling av tømning for fødefilteret). Kobling av slanger og tanker mv. ble utført manuelt.

Automasjon ble likevel skissert og planlagt som om det skulle blitt implementert for permanent oppsett da det i prosjektet opprinnelig var planlagt kontinuerlig drift av pilotanlegget over en lengre testperiode. HL.Skjong AS har mulighet for å levere komplett automatiseringssystem av teknologien gjennom sitt eget datterselskap, Clean Control Systems AS. Med komplett automatiseringssystem menes et overordnet styresystem som betjener CIP tank, desinfeksjons tank, tilkobling til utblødningstank, fullautomatiserte rørlinjer for prosessvann og CIP/desinfeksjon. På denne måten er det kun nødvendig med sporadisk tilsyn av renseanlegget fra driftsoperatører. Systemet vil også kunne sende ut alarmer ved feil, stans og ved behov for tømning av evt. oppsamlingsenhet for slam. Når nedvask av utblødningstank starter kan operatøren kun



fylle CIP-systemet med såpe og desinfeksjon, velge korrekt program i styresystemet for separatoren, og videre vil vaskesyklusen gå automatisk.

I forbindelse med vurderingen om fullautomatisering av anlegget, ble det vurdert om Mowi sitt interne CIP-system for automatisk vasking av RSW-utblødningstanken burde innlemmes som en del av rengjøringen av sentrifugen. Det ble gjort en risikovurdering av dette i et eget møte, hvor også Aquatic deltok. Konklusjonen var at det både var hensiktsmessig og ønskelig å integrere dette i gjennomføringen av prosjektet.

7 Testing i fullskala

Det ble i planleggings- og gjennomføringsfasen av prosjektet, forut for storskalatesting, besluttet at det ikke var mulig å gjennomføre en like omfattende uttesting som først planlagt.

I forkant av sammenstilling ble det gjennomført en sikkerhetsvurdering av anlegget. Arbeidet er ivaretatt av HL.Skjong AS, og har vært kommunisert med Mowi. Det ble også gjennomført en risikovurdering med hensyn på mattrygghet. Konklusjonen fra denne gav en betydelig nedjustering av omfang knyttet til uttesting i stor skala. Så lenge prosjektet har vært hos Mowi Eggesbønes har det vært underlagt Mowi sine HMS-regler og rutiner, samt til enhver tid gjeldende krav fra kvalitetssystemet til Mowi.

7.1 Drift av sentrifugen

Sentrifugen (ASD70) har en hydraulisk kapasitet på 25 m³/h. Kapasiteten er delvis bestemt av sentrifugens sentripetalpumpe. Kapasitetsområdet til den aktuelle sentrifugen og dens sammenstilling er 10-15 m³/h. Høy fødehastigheten gir en rask prosessering gjennom sentrifugen, som vil bety kort oppholdstid i sentrifugens kulekammer. Høy fødehastigheten gir en rask prosessering gjennom sentrifugen, som vil bety kort oppholdstid i sentrifugens kulekammer, og dermed redusere separasjonseffektiviteten, særlig for mindre partikler (som bakterier).

Under testperioden er sentrifugen driftet med en fødehastighet på rundt 13 m³/h. Dette er det flere årsaker til. Under de fleste testene ble lettfase ført til sluk. Dersom sentrifugen ble driftet med for høy fødehastighet klarte ikke sluket å ta unna det rensede vannet og vi risikerte at gulvoverflater kunne bli oversvømt. Videre er det slik at ved lav fødehastighet til sentrifugen, vil vanntrykket fra utblødningstanken gi en egen fødehastighet på rundt 13 m³/h. Dette var derfor den laveste fødehastigheten vi kunne oppnå med den aktuelle konfigurasjonen. Det er antydning en temperaturøkning i vannet på ca. 1 °C gjennom pilotanlegget slik det var utformet under testperioden.

Det er tidligere beskrevet at slammet som renses ut av prosessvannet ved sentrifugering samles i sentrifugens slamkammer før det tømmes ved skudd. Ved initiering av skudd stanses tilførsel av prosessvann, så kommer selve skuddet, og deretter vil tilførsel av prosessvann starte igjen. Under skuddet pauser kontroll for styring av skudd. Det defineres et tidsintervall, kalt «bridging ejection», før styring av skuddintervall starter opp igjen. Totalvolum av massen som blåses ut ved skudd er konstant og definert av sentrifugens skuddring.

Det er to måter å kontrollere initiering av skudd; ved tidsstyring eller med sensorstyring.

Ved tidsstyrt drift defineres et fast tidsintervall mellom hvert skudd, og skuddet initieres etter en gitt tid. Erfaring med prosessvannet som skal renses er med på å definere tidsintervallet. Det inkluderer også hva en ønsker å oppnå med rensingen. Våre erfaringer viser at lenger tidsintervall mellom skudd gir mer oppbygging av slam med høyere tørrstoffinnhold. Kortere tidsintervall gir mer innblanding av prosessvann i slamfasen under skudd, og dermed en lavere tørrstoffandel i slammet.

Med sensorstyrt drift blir den rensede lettfasen kontinuerlig overvåket med en turbiditetssensor. Etter hvert som slam bygges opp i slamkammeret og det begynner å bli fullt, så vil rensegraden i lettfasen gå ned fordi deler av slamfasen dras med over i lettfasen. Lettfasen blir dermed mer turbid, og får lavere UV-transmisjon. Endringen i turbiditet detekteres av turbiditetssensoren.

I den aktuelle konfigurasjonen benyttes det en Optek AF16 turbiditetssensor. Turbiditeten måles med enheten CU som igjen konverteres til en prosent turbiditet på sentrifugens styringssystem. I Bilde 3 under vises tømming av slam fra sentrifuge under forsøk.

Med sensorstyring kan driften av sentrifugen i større grad tilpasses variasjoner i den organiske belastningen av prosessvannet. Mengden fisk som tilføres og oppholdes i utblødningstanken varierer gjennom produksjonsdagen, og vil sammen med evt. tilsetning av suppleringsvann påvirke vannkvalitet. Fisken slaktes raskt og transporteres inn til utblødningstanken, i denne skal fisken ha en oppholdstid på minimum 20 minutter for god utblødning (muntlig meddelelse fra Mowi). Fisken kan likevel ha lenger oppholdstid i utblødningstanken, avhengig av videre prosessering inn i slakteriet. Ved mye fisk i utblødningstanken vil den organiske belastningen på prosessvannet bli større. Sentrifugen vil raskere fylle slamkammeret i kula og det vil være behov for hyppigere skudd for å tømme denne. Ved sensorstyrt drift detekteres fylling av slamkammer og det skytes ved behov.



Bilde 3 Tømming av slam under forsøk hos Mowi Eggesbønes (venstre). Prøve av slam (høyre).

7.2 Renseeffekt – samlet for testperioden

Under gis en oppsummering av samlet resultat for hele testperioden der lettphase ble kjørt til sluk, uten gjenbruk av blodvannet. Resultatene er sammenstilt i Tabell 2.

Tabell 2 Gjennomsnittlig vannkvalitet i blodvann og lettphase for hele testperioden (uavhengig av driftstype). Konsentrasjoner er angitt som gjennomsnitt $\pm$ standardavvik ($n=18$)

Parameter	Gjennomsnitt Blodvann	Gjennomsnitt Lettphase	Renseeffekt
UV-transmisjon 1 cm (%)	7,1	63	56 %-poeng*
Turbiditet (NTU)	98	15	85 %
KOF (mg/l)	249 ± 56	169 ± 27	30 %
TOC (mg/l)	156 ± 28	102 ± 9	34 %
Tot-N (mg/l)	63 ± 13	32 ± 5	49 %
Tot-P (mg/l)	$5,3 \pm 1,0$	$2,8 \pm 0,3$	47 %

*Rensegraden i UV-transmisjon vurderes i endring av prosent UV-transmisjon og defineres i prosentpoeng.

Det er stor usikkerhet knyttet til renseseffekt for KOF grunnet svakheter ved analysemetoden på sjøvann, som beskrevet i kapittel 5.1 over. Det benyttes bare sjøvann i utblødningstanken.

Listeria monocytogenes ble ikke påvist i noen av prøvene gjennom testperioden. Det var ikke noen signifikant endring i innhold av bakterier ved sentrifugering med de gjeldende driftsinnstillingene for sentrifugen. Dette gjaldt både tidsstyrt drift og sensorstyrt drift. Det har, i tidligere prosjekter, blitt målt reduksjon i bakterienivå ved sentrifugering av blodvann. Dette var med en annen sentrifuge med andre dimensjoner og driftsinnstillinger. For å oppnå rensing av bakterier er det en kombinasjon av g-kraft og tilstrekkelig oppholdstid i sentrifugens kule som er viktige faktorer. Lenger oppholdstid kan oppnås med å senke fødehastigheten inn til sentrifugen. Sentrifugen ble driftet med maksimal g-kraft. Fødehastigheten var satt ned til minimum av det som var praktisk mulig å oppnå.

Reduksjon av fødehastighet vil begrense andelen vann som renses, og samtidig redusere mengden organisk materiale som tas ut av tanken. Valg av sentrifuge bør gjøres med bakgrunn ønsket effekt. I dette prosjektet var ikke reduksjon av bakterier hovedformålet, og ASD70 defineres ikke som en bakteriofuge.

7.2.1 Renseeffekt - sensorstyrt og tidsstyrt drift

Resultatene nedenfor er knyttet til spesifikke testperioder for å undersøke effekt av *sensorstyrt* og *tidsstyrt* drift ved sentrifugering av blodvann.

Ved tidsstyrt drift ble det oppnådd 40 % reduksjon av KOF, 26 % reduksjon av TOC, 53 % reduksjon av nitrogen og 50 % reduksjon av fosfor. UV-transmisjon ble forbedret med 59 prosentpoeng og det var 86 % reduksjon i turbiditet.

Ved sensorstyrt drift ble det oppnådd 20 % reduksjon av KOF, 43 % reduksjon av TOC, 46 % reduksjon av nitrogen, og 45 % reduksjon av fosfor. UV-transmisjon ble forbedret med 53 prosentpoeng og det var 85 % reduksjon i turbiditet.

I Tabell 3 under er det gitt en full oversikt over vannkvalitet med ulike parametere i blodvann og lettfase ved de to angitte driftsmønstrene. I Figur 4 vises vannkvalitet målt med UV-transmisjon og turbiditet i blodvann og lettfase ved henholdsvis tids- og sensorstyrt drift av sentrifuge.

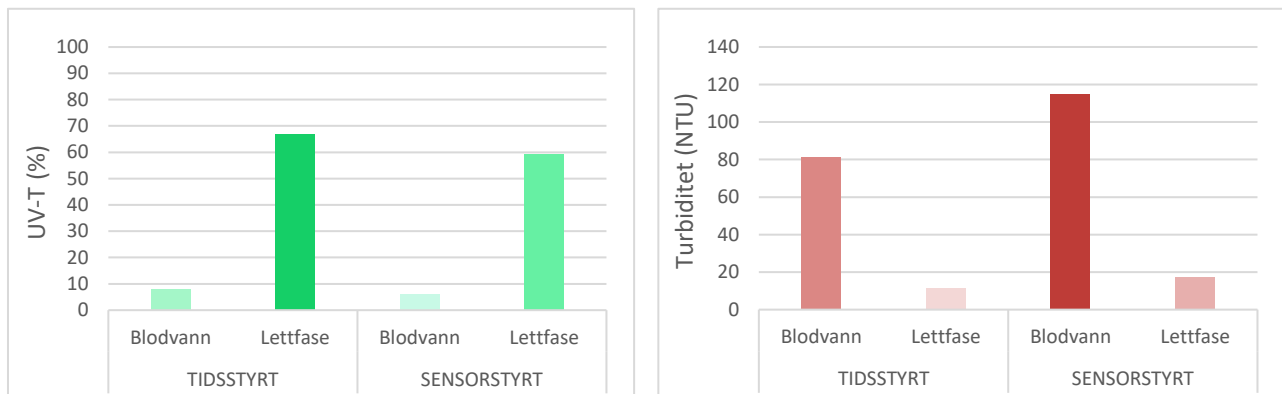
Tabell 3 Vannkvalitet i blodvann og lettfase ved tidsstyrt og sensorstyrt drift av sentrifuge, samt renseeffekt for enkeltparameter ved de to ulike driftstypene. Konsentrasjoner er angitt som *gjennomsnitt ± standardavvik (n=9)*.

	Tidsstyrt drift			Sensorstyrt drift		
	Gj. snitt Blodvann	Gj. Snitt Lettfase	Renseeffekt	Gj. snitt Blodvann	Gj. Snitt Lettfase	Renseeffekt
UV-transmisjon ved 1 cm (%)	8	67	59 %-poeng*	6	59	53 %-poeng*
Turbiditet (NTU)	81	12	86 %	115	17	85 %
KOF (mg/l)	292 ± 46	174 ± 46	40 %	206 ± 20	164 ± 20	20 %
TOC (mg/l)	146 ± 30	108 ± 30	26 %	165 ± 21	95 ± 20	43 %
Tot-N (mg/l)	75 ± 6	35 ± 6	53 %	52 ± 6	28 ± 7	46 %
Tot-P (mg/l)	5,8 ± 0,9	2,9 ± 0,2	50 %	4,7 ± 0,8	2,6 ± 0,3	45 %

*Rensegraden i UV-transmisjon er angitt som endring i prosent UV-transmisjon og benevnes i prosentpoeng.

Samlet sett ser det ut til at tidsstyrt kjøring gir best renseeffekt. Testperioden var for kort til å konkludere med at dette vil være driftstypen som gir best effekt ved rensing av blodvann. Begge driftstyper har sine fordeler og ulemper. Tidsstyring gir mindre kontroll med vannkvalitet ut fra sentrifugen, og bør være fordelaktig ved stabil råvannskvalitet. Måling av turbiditet har tidligere vist seg utfordrende på blodvann, og luftbobler kan som nevnt være en utfordring. Turbiditetsmålinger kan også påvirkes av fargestoff og organisk materiale i vannet, som ikke nødvendigvis er en indikasjon på innhold av partikler. Bruk av turbiditetssensor vil være å foretrekke siden blodvann vil variere i kvalitet, men det kreves ytterligere optimalisering for å oppnå best mulig effekt.

I praksis vil sentrifugen styres med en kombinasjon av sensorstyring og tidsstyring. Sentrifugen kjøres med sensorstyring samtidig som det er satt en makstid mellom hvert skudd. Dette gjør at vi har rensing tilpasset den organiske belastningen på prosessvannet samtidig som det reduserer sannsynlighet for påbrenning i kulekammeret.



Figur 4 Endring i UV-Transmisjon og turbiditet før og etter sentrifugering ved ulike drift av sentrifuge (sensorstyrt og tidsstyrt). Transmisjon og turbiditet er angitt som gjennomsnitt i blodvann og lettphase (n=9).

Test av sensorstyrt drift og tidsstyrt drift ble gjennomført på ulike dager, og det var noe ulikt nivå med hensyn på organisk belastning av blodvannet i utblødningstanken. Ulikt utgangspunkt på organisk belastning i blodvannet gir omtrent samme konsentrasjon av de ulike vannkvalitetsparameterne etter rensing (uavhengig av driftstype), selv om prosentvis endring varierte noe. Det kan se ut som at der er et terskelnivå for hvor lavt sentrifugen kan redusere de ulike parameterne. Dette kan ha sammenheng med at sentrifugen kun kan fjerne partikler og ikke løst stoff, og at det alltid er en del løst stoff i blodvannet.

7.3 Rensing og gjenbruk av blodvann

For å kunne undersøke gjenbruk av rensed blodvann under produksjon, ble det gjennomført en omfattende risikoanalyse og gjennomgang av kritiske kontrollpunkt i samarbeid med Mowi Eggesbønes. Rengjøring og desinfeksjonsprosedyrer ble gjennomgått i detalj og etterprøvd med ATP-målinger. Det ble kun gjennomført en testkjøring, noe som begrenser kvaliteten på resultatene.

Under testen ble blodvann hentet fra utblødningstank, filtrert og rensed gjennom sentrifugen, som beskrevet tidligere, men lettfasen ble ført tilbake til utblødningstanken i stedet for til sluk. Det ble tatt ut prøver av blodvann og Lettphase jevnlig gjennom hele testperioden, ved oppstart, etter 30 minutter og deretter hvert 60 minutt og ved avslutning av test. Testperioden varte i 4 timer og 20 minutter totalt.

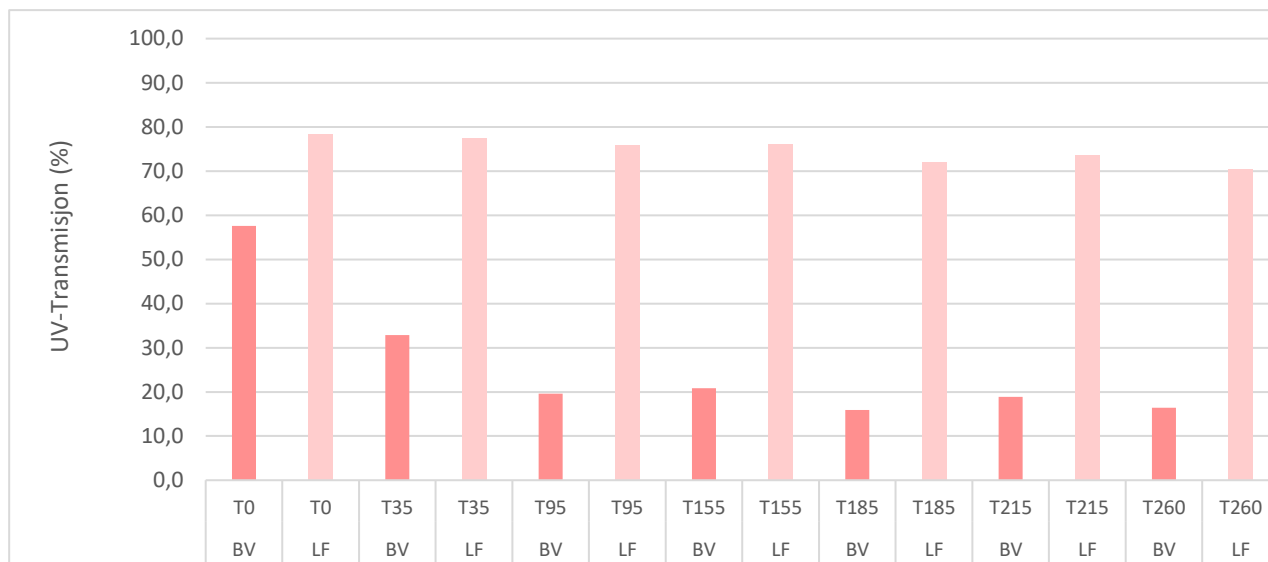
Under testperioden ble en fødehastighet valgt og testet ut. Sentrifugen ble driftet med tidsstyrt skuddintervall. Det ble fastsatt et maksimalt nivå for turbiditet i lettfasen som initierte et turbiditetsstyrt skudd dersom dette inntraff før det fastsatte tidsintervallet. Lettfasen ble tilbakeført ved utløpet av utblødningstanken.

Ved normal slakting vil det kort tid etter produksjonsstart, og innen en time med fylling av fisk, være en betydelig økning i turbiditet og suspendert stoff, samt en reduksjon av UV-transmisjon i blodvannet. Etter to timer slakting vil det være en utflating/stabilisering av organisk belastning i blodvannet. Normalt tilføres rent sjøvann til tanken under slakting, noe som tilsvarer ca. 20 % utskiftningsgrad (av vannvolum i tank).

I denne testen ble rensingen startet på et tidspunkt ikke lenge etter oppstart av slakting. Det vil si at det hadde vært lite tilførsel av fisk til utblødningstanken før oppstart. Dette medførte høy UV-transmisjon (55-60 %) ved oppstart, som deretter sank gradvis ned til rundt 16-18 %. UV-transmisjon sank aldri like langt ned som det har blitt funnet ved testkjøringer uten tilbakeføring av lettphase til utblødningstanken (UV-T < 10 %). UV-transmisjon for blodvann lå ved slutten av testkjøring (T155 – T260) med gjenbruk, mer enn 150 % høyere enn gjennomsnittlig UV-transmisjon for blodvann ved tidligere tester uten gjenbruk av rensed blodvann.

UV-transmisjon for lettfasen var generelt god gjennom hele testperioden, gjennomsnittlig 73 %. Høyeste observerte UV-transmisjon var målt ved start og var 78 %, laveste målt i testperioden var 72 %. Tilsvarende ble det målt lav turbiditet i blodvannet ved start (15 NTU) og deretter en økning opp til rundt 36 NTU ved testens slutt. Turbiditeten for lettphase var lav gjennom hele testperioden, med en gjennomsnittlig turbiditet på 7 NTU.

Ved testens start var innholdet av Tot-N, Tot-P, TOC og KOF i blodvannet lavt og økte gradvis utover (se Figur 6 for totalnitrogen og -fosfor). Dette tyder på at sentrifugen ikke har kapasitet til å rense blodvannet i takt med forurensningen fra fisk under slakting, noe som kan forklares ved begrenset kapasitet/fødehastighet på sentrifugen sammenlignet med det totale vannvolumet i utblødningstanken ($70 - 100 \text{ m}^3$). I tillegg vil tilførsel av fisk (uten at fisk tas ut av tanken) fortrenge vann, og dermed vil konsentrasjonen av organisk materiale øke siden det er mindre vann i tanken. En del av det organiske materialet som tilføres tanken vil løses opp, og er dermed ikke tilgjengelig for sentrifugen som kun kan separere partikler.



Figur 5 UV-transmisjon i blodvann (BV) og lettphase (LF) under forsøk med rensing og gjenbruk av blodvann under slakting. T0 – T260 indikerer tid (minutt) fra start til slutt av forsøket.

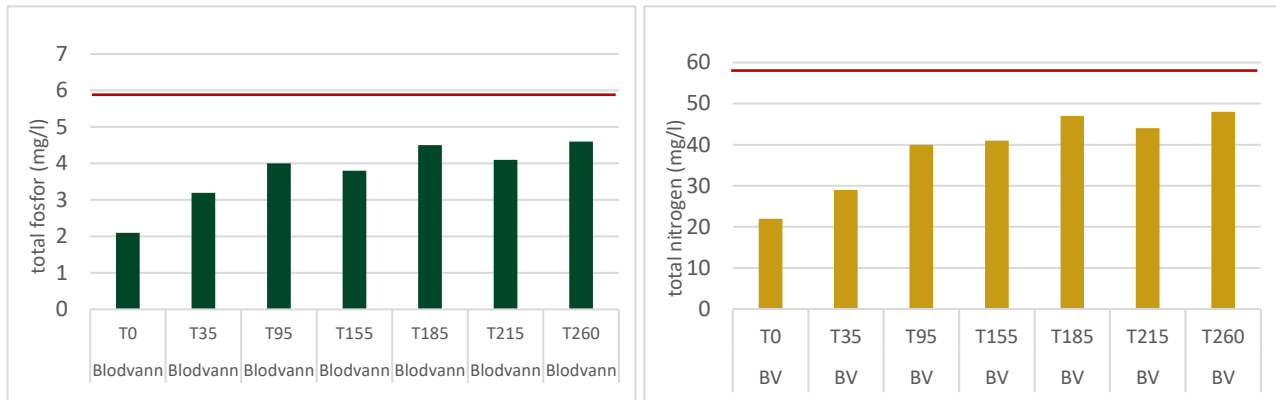
Selv om konsentrasjonen av ulike parametere øker, stabiliserte blodvannet seg på lavere nivå enn det som tidligere er målt i samme system (se Tabell 4). Dette tilsvarer mellom 25 – 40 % lavere konsentrasjon ved rensing av vann med sentrifuge sammenlignet med normal drift.

Tabell 4 Sammenligning av vannkvalitet i blødetank med og uten gjenbruk av rensset vann. Resultat for vannkvalitet med gjenbruk er basert på prøver tatt etter antatt stabil vannkvalitet (2 timer), $n=4$. Vannkvalitet under normal drift baseres på produksjonsblandeprøver fra 3 ulike produksjonsdager ved samme slakteri.

Parameter	Blødetank (normal drift)	Blødetank med gjenbruk
Tot-N (mg/L)	$61,7 \pm 13,9$	$45,0 \pm 2,7$
Tot-P (mg/L)	$5,7 \pm 1,4$	$4,3 \pm 0,3$
KOF-Cr (O) (mg/L)	1067 ± 613	160 ± 14
TOC (mg/L)	210 ± 61	123 ± 5

Selv om utblødningstanken har interne sløyfer som sirkulerer vannet i tanken som skal sikre jevn vannkvalitet i hele vannsøylen, er det sannsynlig at tilbakeføring av lettphase nært uttakspunkt for blodvann har gitt konsentrasjoner av blodvann som ikke er representative for vannkvaliteten i hele utblødningstanken. Det er derfor usikkert om redusert organisk belastning av blodvannet angitt over kun kan tilskrives innføring av sentrifugen.

Sentrifugen hadde tilsvarende renseeffekt (endring gjennom sentrifuge) i dette forsøket som forsøk uten gjenbruk av vann (se kapittel 7.2.1). Renseeffekten er noe lavere tidlig i testperioden der vannet er mindre kontaminert.



Figur 6 Totalfosfor og -nitrogen i blodvann under test med gjenbruk av blodvann. T0 – T260 indikerer tid (minutt) fra start til slutt av forsøket. De røde linjene indikerer normalkonsentrasjon i blodvann fra samme system uten tiltak med rensing av blodvann.

Bruk av renseanlegget slik det er utformet under testen vil forbedre vannkvalitet under produksjon, men på grunn av begrenset renseeffekt på bakterier vil det trolig ikke være hensiktsmessig å basere seg på gjenbruk over flere produksjonsdager uten ytterligere rens tiltak. Eksempel på dette kan være innføring av UV-desinfeksjon eller annen teknologi, som vil gi ytterligere reduksjon av både næringsstoffer og bakterier. Dette er tiltak som vil gi betydelig reduksjon i vannforbruk og behov for sluttrensing, i tråd med BAT-krav. I utgangspunktet vil gjenbruk av vann gjennom renseteknologien redusere energiforbruket, men dette må vurderes mot hvilke tilleggsteknologier som blir benyttet ved rensing. For eksempel kan enkelte filtreringsmetoder gi en betydelig økning i temperatur, noe som vil gi begrenset energibesparelse.

8 Hovedfunn

I dette prosjektet er det gjennomført storskala tester av teknologiløsning som kan bidra til å redusere vann- og energiforbruk ved operasjon av RSW-utblødningstanker, og gjenvinne verdifull biomasse fra prosessvann.

- Teknologien bør ha kapasitet til å rense størst mulig andel av vannvolumet i utblødningstanken, og eventuelt ved tømning av tank etter produksjonsslutt.
- Energiforbruket bør ikke overstige den samlede reduksjonen i energiforbruk per m³ sjøvann i eksisterende prosesser.
- Teknologien bør ha et plasseffektivt design og plasseres nærmest mulig bruksområdet.
- Renseteknologien har vist en gjennomsnittlig økning i UV-transmisjon i vannfasen på 56 prosentpoeng, med en UV-transmisjon over 60 % i rensset prosessvann.
- Nitrogen og fosfor ble redusert med hhv. 49 % og 47 % i blodvannet.
- Samlet sett ser det ut til at tidsstyrt kjøring gir best renseeffekt, men det vil være hensiktsmessig å drifte sentrifugen med en kombinasjon av sensorstyring og tidsstyring.
- Under gjenbruk stabiliserte belastningen i blodvannet seg på lavere nivå enn det som tidligere er målt i samme system. Tilbakeføringen av rensset vann var plassert slik at det er noe usikkert om effekten kun kan tilskrives innføring av renseteknologien.
- Med tilpasninger har løsningen potensiale til å gi en betydelig reduksjon i vannforbruk, og redusere behovet for sluttrensing.

9 Referanser

Europakommisjonen. 2006. Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries (BREF). Brussels, Belgium.

FDA. 1993. Food Code, US Public Health Service, Food and Drug Administration, Washington, DC. 20204, USA.

International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF). 2005. Microorganisms in Foods 6, Springer US, Springer US.

Jacob, M. 1988. Regulation of water quality for the food industry. British Food J. 90. 114-16.

Nordtvedt, TS., Austnes, AS., Wolff, R., Hilmarsen, Ø., Raspati, G., Netzer, R., Loncarevic, S. 2020. Rensing av prosessvann i lakseslakterier. SINTEF rapportnummer 2020:00515.

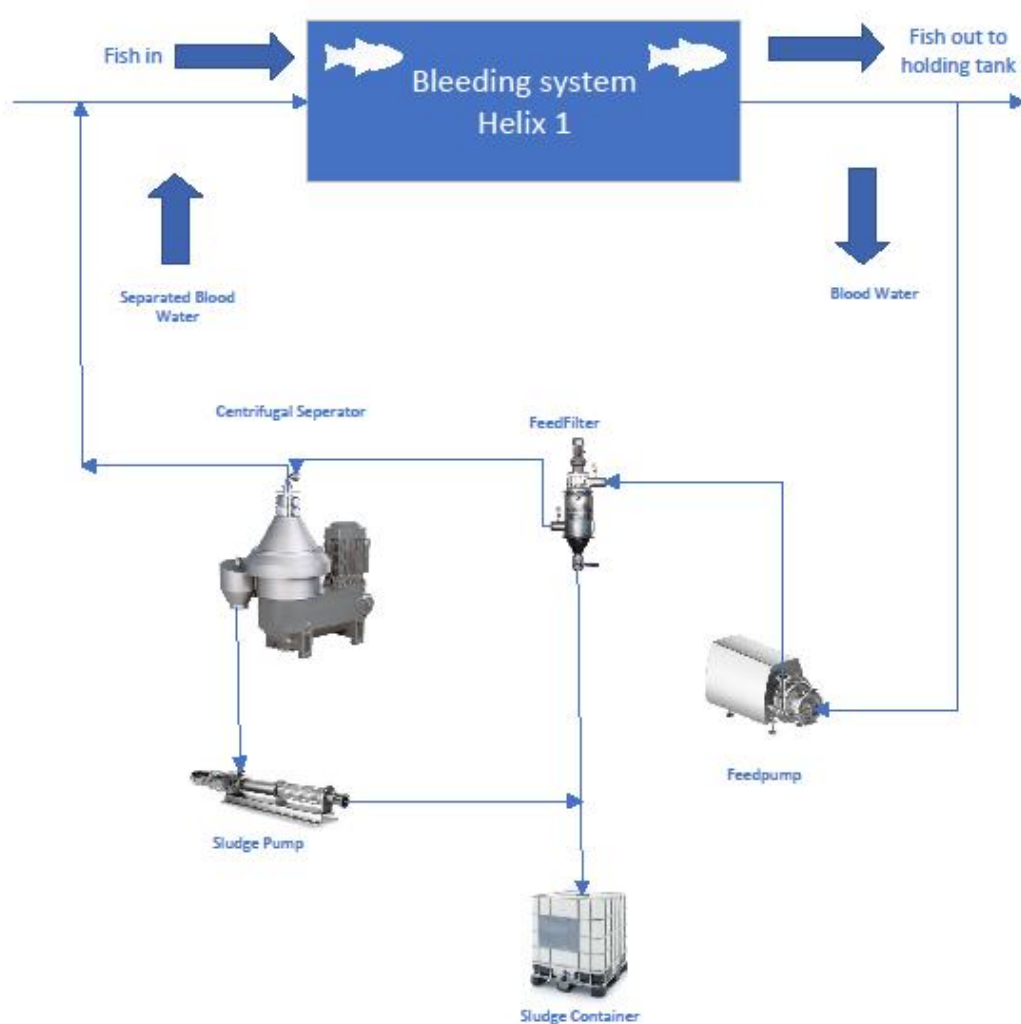
Næringsmiddelhygieneforskriften. (2008). Forskrift om næringsmiddelhygiene. (FOR-2008-12-22-1623). Tilgjengelig: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-12-22-1623?q=n%C3%A6ringsmiddelhygiene> (Hentet: 07.03.2024).

McDonald, C., Ince, M. E., Smith, M. D., & Dillon, M. 1999. Fish processing in Uganda: waste minimization. In WEDC CONFERENCE (Vol. 25, s. 52-55).

Roberts, T. A., et al., eds. Micro-organisms in foods 6: microbial ecology of food commodities. London, UK: Springer US, 2005.

A Skisse av teknologi

HL.SKJONG AS
Professional Cleaning Technology



HL.SKJONG AS

Postboks 6074, NO-6022 Ålesund / Besøksadresse Industriveg 4B, NO-6016 Ålesund
+47 70 30 11 00 / post@hl.skjongs.no / hl.skjongs.no / NO 915 433 065 MVA

B P&ID

