

2020:00515 - Åpen

Rapport

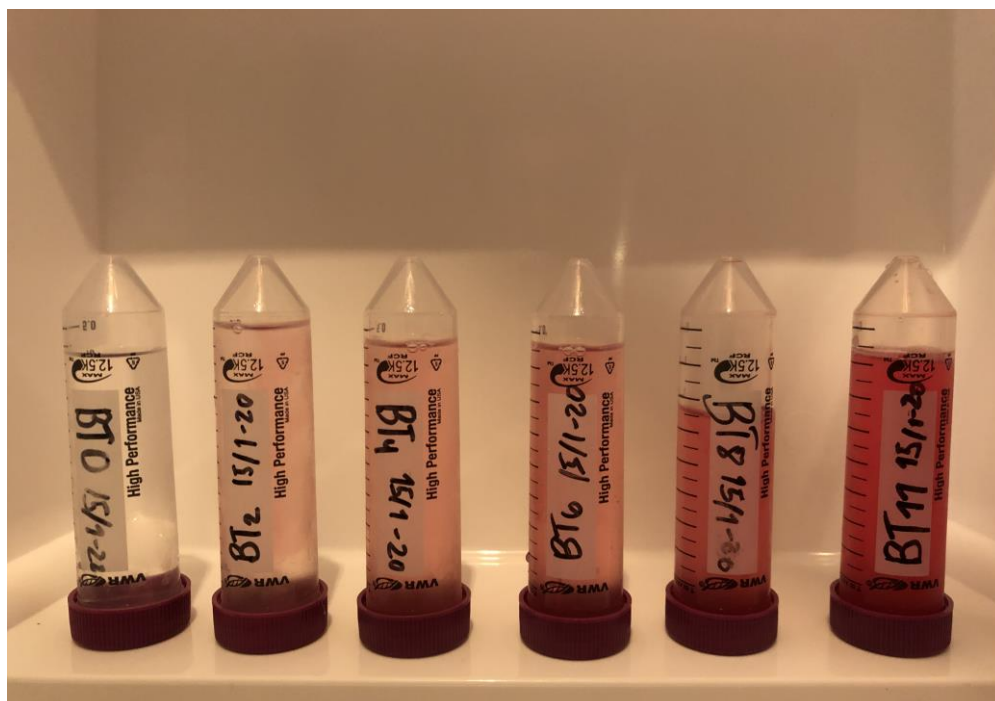
Rensing av prosessvann i lakseslakterier

Leveranse 4.1: Faglig sluttrapport

Forfatter(e)

Tom Ståle Nordtvedt

Andreas E.S Austnes, Robert Wolff, Øyvind Hilmarsen, Gema Raspati, Roman Netzer, Semir Loncarevic



SINTEF Ocean AS

Postadresse:
Postboks 4762 Torgarden
7465 Trondheim

Sentralbord: 46415000

Foretaksregister:
NO 937 357 370 MVA

Rapport

Rensing av prosessvann i lakseslakterier

Leveranse 4.1: Faglig sluttrapport

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
2020:00515	302004830	2	2015-07-20

EMNEORD:

Vannrensing, Blodvann

FORFATTER(E)Tom Ståle Nordtvedt
Anders Austnes, Robert Wolff, Øystein Hilmarsen, Gema Raspati, Roman Netzer**OPPDRAAGSGIVER(E)**

FHF

OPPDRAAGSGIVERS REF.

901545

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

33 + vedlegg

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

ISBN

978-82-14-06505-3

SAMMENDRAG

Ulike renseteknologier har blitt vurdert og det har blitt gjennomført målinger av vannparametre i utblødningstanker i lakseslakterier. Det er gjennomført flere forsøk for å se på effekt av rensing av blodvann. Blodvann fra utblødningstanken ble grovfiltrert og sentrifugert. Vannparameter før og etter sentrifugering ble målt. Effekt av tilsats av desfiksjonsmidler og flokkuleringsmidler har blitt evaluert. Resultat fra våre forsøk indikerer at sentrifugen gir en gjennomsnittlig reduksjon på mellom 60 og 70 % for de påviste indikatororganismene og det ble også vist at Listeria ble fjernet i sentrifugeringen. Gjennom prosjektet og de testene som har vært kjørt vil det anbefales å prøve ut teknologien med grovfiltrering og sentrifugering. Resultatene tyder på at det kan være tilstrekkelig for å oppnå god nok rensing til å ha bakteriell kontroll.

**UTARBEIDET AV**

Tom Ståle Nordtvedt

KONTROLLERT AV

Kirsti Greiff

GODKJENT AV

Hanne Digre

Tom S. Nordtvedt

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
2	2020-05-20	2

Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag	4
2	Summary.....	4
3	Innledning	5
4	Problemstilling og formål.....	6
5	Prosjektgjennomføring	6
5.1	Utblødningstank - status	7
5.1.1	Resultat fra kartlegging av blodvann	9
5.2	Kravspesifikasjoner for renseteknologier	15
5.3	Effekten av rensing	16
5.3.1.1	Kontinuerlig rensing av blodvann	19
5.3.1.2	Temperaturøkning ved rensing av blodvann med sentrifuge	20
5.3.2	Verdiskapingspotensial blodvann	21
5.4	Renseteknologi for resirkulering av blodvann fra RSW utblødningstanken - Teknologiscreening	22
5.4.1	Mulig renseteknologi i RSW-utblødningstanken.....	23
5.4.1.1	RSW-tanken	23
5.4.1.2	Filtrering.....	23
5.4.1.3	Sentrifuge.....	24
5.4.1.4	Membranfiltrering	25
5.4.1.5	Kjemi.....	25
5.4.2	Strategier for bakteriell kontroll.....	27
5.4.2.1	Biologisk styring	28
6	Oppnådde resultater og diskusjon.....	29
7	Hovedfunn	30
8	Leveranser	31
9	Referanser.....	32

BILAG/VEDLEGG

1 Sammendrag

Det er gjennomført flere forsøk for å se på effekt av rensing av blodvann. Blodvann fra utblødningstanken ble grovfiltrert og sentrifugert. Vannparameter før og etter sentrifugering ble målt. Effekt av tilsats av desfiksjonsmidler og flokkuleringsmidler har blitt evaluert. Resultat fra våre forsøk indikerer at sentrifugen gir en gjennomsnittlig reduksjon på mellom 60 og 70 % for de påviste indikatororganismene og det ble også vist at *Listeria monocytogenes* ble fjernet i sentrifugeringen. Sentrifugen ga en gjennomsnittlig reduksjon i turbiditet i blodvannet på hhv. 83,7 %, 82,3 % og 78,8 % ved de tre laveste fødehastighetene som ble kjørt i forsøkene. Sentrifugen var svært effektiv med tanke på reduksjon av suspender stoff (SS), med en gjennomsnittlig reduksjon på 96,3 %. Konsentrasjonen av SS etter sentrifugen var tilsynelatende uavhengig av både SS i fødevannet (blodvannet) og gjennomstrømningshastigheten på sentrifugen. UV-transmisjonen ble noe forbedret etter sentrifugen, men økningen i transmisjon reduseres i takt med økt fødehastighet. Gjennomsnittlig temperaturøkning gjennom sentrifugen var hhv. 2,5 °C, 1,4 °C og 0,6 °C ved 5, 10 og 15 m³/h.

Dersom man sammenligner vannkvalitet i utblødningstanken ved 83 % resirkuleringsgrad og baseline blødetank, er vannkvaliteten (turbiditet, SS, UV-T og mikrobiologisk vannkvalitet) om lag den samme mellom 30 – 60 minutt etter første fisk har gått i utblødningstanken dersom utgangspunktet er rent, kjølt sjøvann. Slakteriene vil da ha en relativt kort periode der fisken blør ut i vann av bedre kvalitet. Dette betyr at man bør vurdere hvor mye vann som kjøres gjennom renseprosessen. Samtidig bør man ha stor nok hastighet gjennom sentrifugen for å unngå at temperaturøkning blir for stor. Basert på resultatene i testen som ble gjennomført tyder det på at 10 m³/h er tilstrekkelig for å oppnå god rensegrad samtidig som at temperaturøkning ikke blir for høy. Gjennom prosjektet og de testene som har vært kjørt vil det anbefales å prøve ut teknologien med grovfiltrering og sentrifugering. Resultatene tyder på at det kan være tilstrekkelig for å oppnå god nok rensing til å ha bakteriell kontroll.

2 Summary

Several experiments have been conducted to look at the effect of treatment of blood water. Blood water from the bleeding tank was filtered and centrifuged. Water parameter before and after centrifugation was measured. The effect of the addition of disinfection agents have been evaluated. Results from our experiments indicate that the centrifuge provides an average reduction of between 60 and 70% for the detected indicator organisms and it was also shown that *Listeria monocytogenes* was removed. The centrifuge resulted in an average reduction in turbidity in blood water of 83.7%, 82.3% and 78.8% at the three lowest birth rates run in the trials. Centrifuge was highly effective in reducing suspended solid (SS), with an average reduction of 96.3%. The concentration of SS after the centrifuge was apparently independent of both the SS in the feed water (blood water) and the flow rate of the centrifuge. UV transmission was slightly improved after the centrifuge, but the increase in transmission decreases in line with increased support. The average temperature increase through the centrifuge was respectively. 2.5 °C, 1.4 °C and 0.6 °C at 5, 10 and 15 m³/h.

If water quality is compared in the bleeding tank at 83% recycling rate and baseline bleeding tank, the water quality (turbidity, SS, UV-T and microbiological water quality) is about the same between 30 – 60 minutes after the first fish has gone into the bleeding tank if the starting point is clean, chilled seawater. The slaughterhouses will then have a relatively short period of time where the fish bleed into better quality water. This means that one should consider how much water is run through the cleaning process. At the same time, one should have enough speed through the centrifuge to prevent the temperature increase from getting too large. Based on the results of the test conducted,

it suggests that 10 m³/h is enough to achieve good purification rates while not increasing the temperature.

Through the project and the tests that have been run, it is recommended to try out the technology with filtration and centrifugation. The results suggest that it may be sufficient to achieve good enough cleaning to have bacterial control.

3 Innledning

Hovedmålsetting i dette prosjektet har vært å etablere et solid kunnskapsgrunnlag for utvikling av en industriell teknologi for rensing og gjenbruk av prosessvann i lakseslakterier.

Prosesseringen av laks for slakting starter med trykk/vakuumpumping av laks, trengt i vente-merd (eller pumpet direkte fra brønnbåt), inn på prosesslinjen. I lakseslakterier eksponeres fisken for vann av potensielt dårlig kvalitet i RSW-kar i forbindelse med utblødning og kjøling. På grunn av den store biomassen som passerer gjennom slike kar per dag, blir vannet synlig "forurenset", sannsynligvis mest i bløggekkaret der vannet utover dagen får en sterk rødfarge. I noen tilfeller kan man observere kraftig skumming i RSW-karene, noe som mest trolig skyldes slimtap (glykoproteiner) fra fisken. Spesielt framtreddende kan skummingen bli dersom man benytter for eksempel luftbobling i karene. Vanligvis tappes karene ned og renses hver dag når produksjonen er ferdig. På grunn av de relativt store vannvolumene det er snakk om er vannutskiftingen i slike kar forholdsvis beskjeden (5-10 %), siden man ønsker å opprettholde konstant lav vanntemperatur gjennom hele dagen. Dette er knyttet til kapasitets- og energibetraktninger for RSW-anlegget.

Utslipp av prosessvann fra slakteri til resipient uten tilstrekkelig rensing, er ikke tillatt i henhold til norsk lov. Det er flere metoder som er godkjent for rensing og desinfeksjon av avløpsvann i tilvirkingsanlegg. Behandling består blant annet i bruk av maursyre, natriumhydroksid, kjemisk felling, UV-bestråling, mekanisk separering eller kjemisk felling og klorering, og varmebehandling med kombinasjon av ulike temperaturer og tider. Metoder for rensing av prosessvann kan sammenlignes med rensing av kommunalt avløpsvann. Dette omfatter i dag barrierer vi betegner som *primær*, *sekundær* og *tertiær* behandling. Differensiering er basert på hvilke forurensende stoffer som fjernes. Barrierene følger etter en forbehandling som har til hensikt å fjerne større biter og urenheter, og omfatter enhetsoperasjoner som sikter, siler og grovfangere. Separatorer og bunn fellingstanker kan også vurderes i denne klassen av forbehandling.

I *primær* behandling fjernes finere fraksjoner av suspenderte faste stoffer. Fysikalsk-kjemiske prosesser, som for eksempel koagulering og flokkulering i kombinasjon med sedimentering, sikter eller filtrering brukes ofte. Kjemikalier som metallsalter eller polymerer tilsettes for å bedre ytelsen ved koagulerings- og flokkuleringsprosesser. Membraner har i den siste tiden blitt introdusert (Gürel L. et al. 2011). Normalt vil man kunne redusere olje, fett, suspenderte partikler og organisk materiale (De Sena R.F. et al. 2008).

Sekundær behandling innebærer fjerning av løselige organiske forbindelser. Her benyttes i hovedsak biologiske prosesser, noe som inkluderer behandling med anaerobe eller aerobe mikroorganismer i aktive bioreaktorer (Bustillo- Lecompte C.F. et al. 2015). Oksidasjonsprosesser kan innlemmes for ytterligere å redusere mindre biologisk nedbrytbare organiske stoffer og for å desinfisere/deaktivere patogene bakterier. Ozon og UV-baserte prosesser regnes også inn i både primær og sekundær behandling (Bustillo- Lecompte C.F. et al. 2016).

I *tertiær* behandling fjernes næringsstoffer i vannet fra sekundærrensingen, hovedsakelig nitrogen- og fosforholdige forbindelser. I denne behandlingen inngår bruk av blant annet aktivt kull. Videre behandling av prosessvannet kan gjennomføres dersom det er behov for dette.

I RSW-utblødningstanken, vil avfallsprodukter gradvis akkumuleres utover dagen fordi en stor andel av vannet blir resirkulert.

I prosjektet har man gjennomført vannkvalitetsmålinger av vann i RSW-utblødningskar. Det er gjennomført målinger før og under produksjon samt målinger med rensing av utblødningsvannet.

Organisering

Ansvarlig organisasjon har vært SINTEF Ocean, med seniorforsker Tom Ståle Nordtvedt som prosjektleder.

I prosjektet har man benyttet den brede naturvitenskapelig og teknologiske kompetansen i SINTEF. Innenfor området vannrensing har forsker Gema Raspati og seniorforsker Kamal Azrague fra SINTEF Community bidratt. Fra SINTEF Nord har forskerne Randulf Høyli og Øyvind Hilmarsen stille med kompetanse innenfor resirkulering og vannkvalitet. I SINTEF Ocean har Tom Ståle Nordtvedt, forsker Roman Netzer, seniorforsker Ulf Erikson, siv. ing. Robert Wolff og forsker Andreas Austnes bidratt med kompetanse innenfor fiskekvalitet, vannkvalitet, mikrobiologi og vannbehandling. Fra Veterinærinstituttet har seniorforsker Semir Loncarevic bidratt med desinfeksjonskompetanse.

Forsøk med rensing av blodvann ble gjennomført i samarbeid med HL.Skjong AS og GEA Norge AS.

Referansegruppe

Prosjektet har hatt en referansegruppe oppnevnt av FHF bestående av representanter fra Nordlaks Produkter AS, Martin E.Birkenes Eftf. AS og Mowi ASA. Det har vært gjennomført 3 referansegruppemøter i prosjektperioden.

4 Problemstilling og formål

Gjennom slakteprosessen blir laksen utsatt for kontaminering av bakterier. I dette prosjektet vil man oppnå at fisken utsettes for et lavere bakteriepress og dermed redusert risiko for at fisk blir infisert med sykdomsfremkallende og kvalitetsforringende mikroorganismer. Det vil på sikt gi næringen større tillit i marked og potensielt økte verdiskaping.

På kostnadssiden er det mulig å oppnå reduserte energikostnader ved at det resirkulerte vannet ikke trenger å bli nedkjølt. I dagens lakseslakteri ligger spesifikt energiforbruk på ca. 160 kWh/tonn. Ved å resirkulere andelen av nytt vann kan man oppnå en besparelse på ca. 5 kWh/tonn. For et slakteri med en årsproduksjon på 100 000 tonn utgjør det en besparelse på 500 000 kWh.

I prosjekt har man identifisert krav til renseteknologier gjennom arbeidsmøter med leverandører og lakseslakterier. Ved utprøving av noen teknologier har man dannet seg en forståelse av hvilke som kan være aktuelle for videre uttesting.

5 Prosjektgjennomføring

Prosjektet har vært organisert i 4 arbeidspakker hvor arbeidspakke 1 har sett på hvilke kravspesifikasjoner som bør stilles. Det har vært gjennomført arbeidsmøter med leverandører av utstyr og lakseslakteriet som har resultert i en første kravspesifikasjon som er beskrevet i leveranse L1.2 og kapittel 5.2.

I arbeidspakke 2 har man sett på dagens status i utblødningstankene. Det er gjennomført målinger ved to lakseslakterier, som har hatt ulike måter å drifte tankene. I kapittel 5.1 er resultatene fra dette nærmere beskrevet og det er også med i leveranse L2.1 som er en vitenskapelig presentasjon av forsøkene og funnene.

I arbeidspakke 3 har man vurdert ulike renseteknologier gjennom å utføre forsøk med noen enkle separasjonsteknologier på et lakseslakteri. Dette er beskrevet i kapittel 5.3 og i leveranse L3.2.

I arbeidspakke 4 er det gjennomført en evaluering av ulike renseteknologier og forsøkt å komme med en anbefaling for hvilke som bør testes ut videre. Dette er beskrevet i kapittel 5.4.

5.1 Utblødningstank - status

Som beskrevet i innledningen, vil partikulært og løst organisk materiale gradvis akkumuleres i RSW-utblødningstankene. Synlig rødfarge observeres kort tid etter produksjonsstart. I dette prosjektet er to slakterier studert for å vurdere status i prosessvannet, også omtalt som blodvann, i RSW-utblødningstanker. Det er samlet inn data fra hvert av slakteriene på en rekke relevante vannkvalitetsparametere for å studere og dokumentere endring over tid i utblødningsprosessen.

Testene er gjennomført ved 2 slakterier, benevnt slakteri 1 og slakteri 2. Ved slakteri 1 er det gjennomført en relativt detaljert forløps- og tidsstudie, mens ved slakteri 2 er et utvalg prøver over tid tatt ut og analysert.

I dette prosjektet er det RSW kjølte utblødningstanker av typen HeliX fra Stranda Prolog AS som er studert. **Figur 1** under viser en illustrasjon av prinsippet. Ved oppstart bringes bløgget fisk til



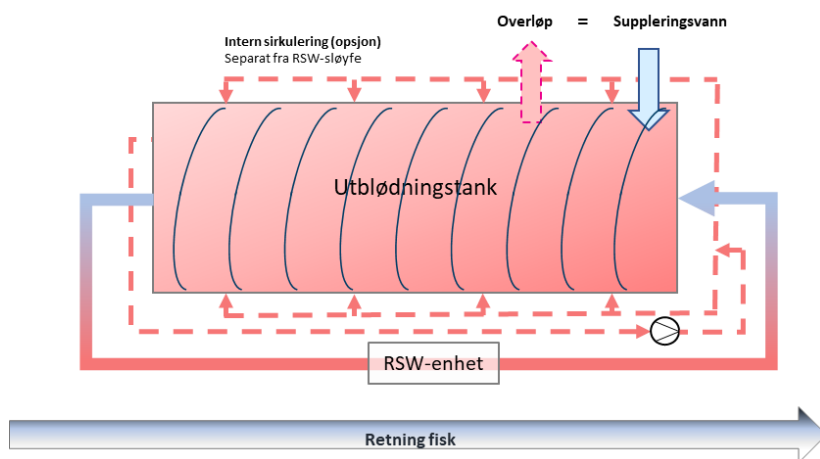
Figur 1 Typisk utblødningstank som er mye benyttet i slakterier i oppdrettsnæringen. Her fra Stranda Prolog AS.

tanken og ned i vannmassene langs siden av tanken. Når fisken er overført til tanken, skyves den gjennom vannmassene mot utløpet i enden av tanken ved skruerprinsippet (heliksen). Rommet mellom hver "skruer" kalles bur, og et gitt antall fisk tilføres hvert bur for optimal og jevn utblødning og gjennomstrømming (se også detaljer i **Figur 2**). Ved oppstart vil tanken fylles gradvis med fisk og vil dermed fortrenge sjøvann fra utblødningstanken. Volumet i tanken er nivåstyrt. Etter en tid vil volumstrømmen fisk fra bløgging og inn til utblødningstanken, i stor grad være lik volumstrøm av fisk ut av tanken til videre prosessering. Dersom dette forholdet er 1:1 (volum fisk inn = volum fisk ut), vil det

ikke være nødvendig å tilføre suppleringsvann for å opprettholde et nødvendig nivå. Mot produksjonsslutt, når bløgging er avsluttet, vil naturlig nok volumstrømmen av fisk ut av tanken være større, og det vil dermed være behov for å tilføre større mengder suppleringsvann til tanken for å opprettholde optimalt vannnivå. Nivået er nødvendig å løfte fisken ut av utblødningstanken og over til transport for videre prosessering. I dette prosjektet var også HeliX-tankene utstyrt med intern sirkulering av vann for å oppnå en viss omrøring samt opprettholde en viss homogen vannkvalitet i vannmassene. I tillegg er det ved slakteri 1, montert et overrissingsanlegg ved utløpet av RSW-utblødningstanken, for å dempe skumming og hindre at dette materiale overføres til transportbåndet. **Error! Reference source not found.** viser en prinsippsskisse for

HeliX RSW-utblødningstank. Blodvann tas ut i bunn av tanken, nært innløpet til venstre i tanken. Vannet pumpes deretter tilbake og tilføres tanken horisontalt og normalt på lengderetningen like i underkant av øverste vannivå, via styringsventiler plassert på hver side av tanken. Selve RSW-sløyfen er ikke en del av denne sirkuleringen.

Ved produksjonsstart er RSW-utblødningstanken fylt med rent, kjølt sjøvann. Forholdet mellom vann og fisk, utskiftningsgrad på blodvannet, intern sirkulering i tanken og mengde nytt vann tilsatt, er alle faktorer som påvirker vannkvaliteten i utblødningstanken over tid. Det er rapportert om ulike praksis for hvor stor volumstrøm fisk per volum vann som benyttes, samtidig er det også ikke gitt



Figur 2 Vannflyten i RSW tank slakteri 1.

entydig svar på vannvolum som tas ut av sløyfen og dermed erstattes med rent suppleringsvann. Suppleringsvann blir tilsatt utblødningstanken for å regulere vannivå i tanken, og det er altså ingen parametere for vannkvalitet som regulerer dette. Det er også rapportert om ulike praksis og driftsmønster hos de to slakteriene som er studert i denne rapporten når det gjelder frekvens for nedtapping og rengjøring etter endt produksjon. En fullstendig massebalanse har derfor vist seg svært vanskelig å beregne. En mer utfyllende beskrivelse av dagens praksis er beskrevet i L1.2. Resultatene fra kartleggingen av vannkvalitet i blodvannet må vurderes i lys av dette.

Det er ikke gjennomført noen analyse eller studie for å identifisere opprinnelse eller detaljert innhold av organiske materiale, men blodvannet vil naturlig nok inneholde blod, skjell og slim som slippes fra fisken. Dannelse av et skumlignende stoff observeres relativt raskt i vannoverflaten av RSW-tanken. Dette stammer fra protein og fettstoffer som naturlig forekommer i det organiske materiale som akkumuleres.

For å studere akkumulering av partikulært og løst organiske materiale i vannet, er det foreslått et utvalg av vannkvalitetsparametere som bidrar til å vise utviklingen.

Tabell 1 under er forslag til sett av vannkvalitetsparametere angitt og som er benyttet i gjennomføring av dette prosjektet.

Tabell 1 Parametere som er foreslått for å beskrive vannkvalitet.

Prøve ID
Temperatur (°C)
pH
Konduktivitet ($\mu\text{s}/\text{cm}^2$)
Turbiditet (FNU)
UV-T (%T/1 cm)
Suspendert stoff (mg/l)
Farge mg Pt/l ¹
Kimtall 22 °C (cfu/ml)
Koliforme bakterier (cfu/100 ml)
<i>E. coli</i> (cfu/100 ml)
Intestinale enterokokker (cfu/100 ml)
<i>Vibrio spp.</i> (cfu/100 ml)
<i>Listeria monocytogenes</i> (/100 ml)

¹Analyse av fargetall kunne ikke gjennomføres siden maskinen (og metoden) som benyttes er tilpasset drikkevannsprøver og blodvannet var for urent til å kjøres på maskinen.

Både turbiditet og suspendert stoff gir informasjon om mengden partikler i vannet. Suspendert stoff angir total mengde partikler ($> 1,2 \mu\text{m}$) i vannet (både organisk og uorganisk), mens turbiditetsmålinger beregner mengden partikler basert på lysspredning. Disse målingene kan påvirkes av fargestoff og organisk materiale, og høy turbiditet er ikke nødvendigvis et uttrykk for en stor mengde partikler i vannmassene. UV-T angir andelen (%) av UV-lys som passerer gjennom vannet over en kjent avstand, og er således et mål på vannkvalitet og kan blant annet gi informasjon om vannets egnethet for videre rensing og desinfeksjon.

5.1.1 Resultat fra kartlegging av blodvann

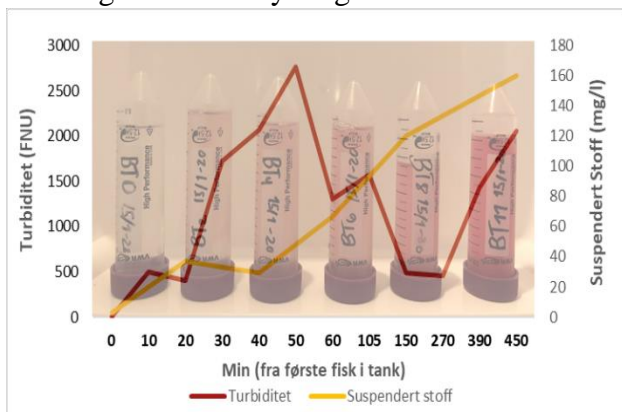
Akkumulering av partikulært og løst organisk materiale under produksjonen observeres nærmest umiddelbart etter produksjonsstart. I **Bilde 1** under er dette illustrert, og man kan tydelig observere



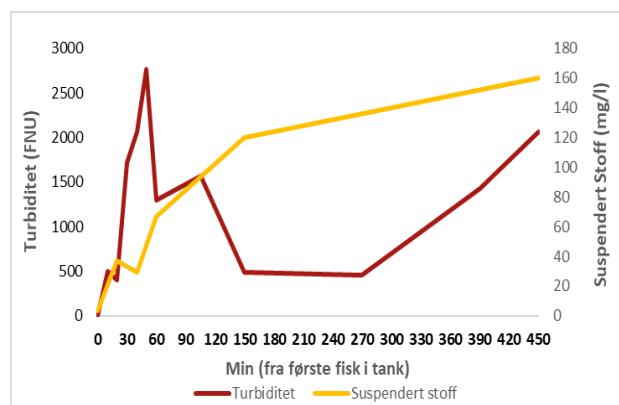
Bilde 1 Bildene viser sjøvann i RSW-utblødningstanken ved to ulike tidspunkt. Rommet mellom hver "heliks" eller skrue, kalles et *bur*. I bilde til venstre, som er tatt klokken 05:23, ser vi sjøvann før produksjonsstart. I bilde til høyre, som er tatt klokken 05:35, ca. fem minutter etter produksjons-start, ser vi tydelig hvordan sjøvannet er farget hvordan vannet i RSW-utblødningstanken akkumulerer organiske materiale og hvor raskt vannet blir misfarget. Bilde til venstre er tatt rett før slaktingen starter og laks overføres til utblødningstanken. Bilde til høyre viser vannet i tanken kun fem (5) minutter etter at den første laksen er overført til RSW-tanken, og det observeres en betydelig visuell fargeendring og skumming. Denne rødfargen er forårsaket av hemoglobin fra blodet, og som er lett løselig i vann.

Forsøkene ved slakteri 1 er planlagt og gjennomført av SINTEF sine forskere i samarbeid med personell ved fabrikken. Forsøksdesign ble utarbeidet og diskutert før forsøket ble gjennomført. Uttak av prøver ble samlet inn over en produksjonssyklus, dvs. fra oppstart av slakting og til siste fisk ble tatt ut. Total produksjonstid var 7,5 timer.

I forsøket som ble gjennomført ved slakteri 1, ble det relativt raskt observert en betydelig økning i turbiditet og suspendert stoff, samt en reduksjon av UV-transmisjon, kort tid etter produksjonsstart. I **Figur 3** og **Figur 4** sees en betydelig økning i turbiditet og suspendert stoff allerede etter en time, og etter to timer flater dette nærmest ut. Prøver ble i starten tatt ut hyppigere (hvert tiende minutt), før prøvefrekvens ble redusert. I **Figur 4** er x-aksen skalert slik at den raske økningen i suspendert stoff og turbiditet tydelig kommer frem. De visuelle observasjonene tydeliggjøres dermed av



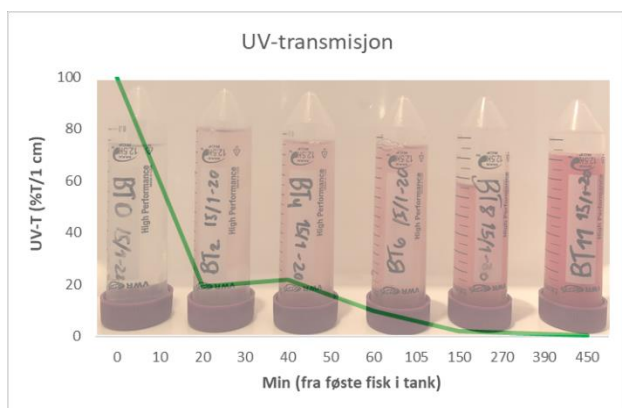
Figur 1 Endring i turbiditet (FNU) og suspendert stoff (mg/l) i RSW-kjølt blodvann ved slakteri 1. Ikke skalert x-akse. (Foto: Andreas Austnes, SINTEF).



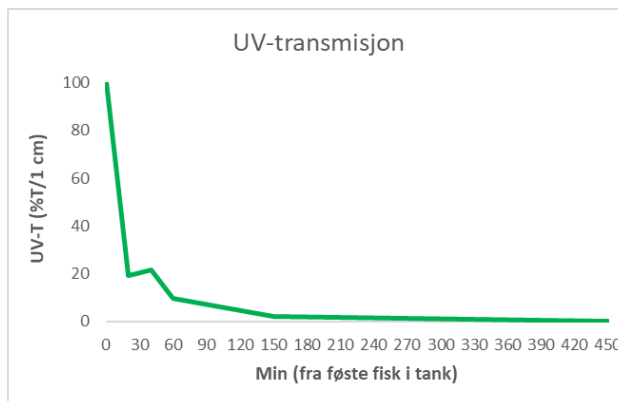
Figur 2 Endring i turbiditet (FNU) og suspendert stoff (mg/l) i RSW-kjølt blodvann ved slakteri 1. Skalert x-akse. En rask økning i spesielt suspendert stoff observeres.

faktiske resultater. Målingene ble gjennomført med et YSI Multiparameter vannkvalitetsmåler. Måling av turbiditet viser en rask stigning de første 30 minuttene, mens man etter 60 minutter ser en rask nedgang, og verdier som er relativt stabil frem til ca. fire timer eller produksjonsstart. Stor variasjon i turbiditetsmålinger kan skyldes målemetoden og at skum, organisk materiale og fargestoff i blodvannet kan ha påvirket lysspredningen og dermed hindret gode og repeterbare resultater.

Det samme kan observeres når det gjelder reduksjon av UV-transmisjon, og som er illustrert i **Figur 5** og **Figur 6**. Vi ser spesielt i **Figur 6**, hvor x-aksen er skalert, hvor rask reduksjon i UV-transmisjon



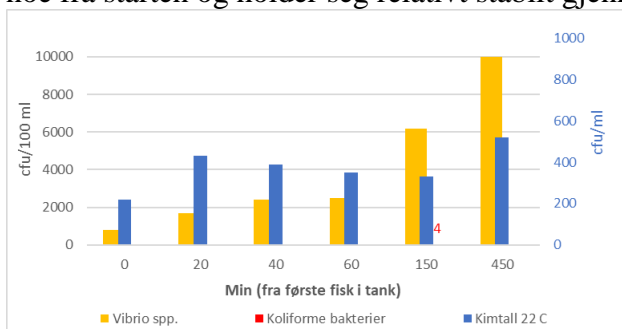
Figur 3 UV-transmisjon (% UV-T/1 cm) målt på blodvann i RSW-utblødningstank ved slakteri 1. Ikke-skalert x-akse. (Foto: Andreas Austnes, SINTEF).



Figur 4 UV-transmisjon (% UV-T/1 cm) målt på blodvann i RSW-utblødningstank ved slakteri 1. Skalert x-akse. En tydelig rask reduksjon av UV-transmisjon er illustrert.

(% UV-T/1 cm) man får, og at UV-transmisjon allerede etter 60 minutter er på et nivå hvor målingene flater ut. Flere andre parametere ble også studert, slik som pH, temperatur og konduktivitet. Ingen betydelige endringer i disse parameterne ble observert.

I tillegg til de kjemiske og fysiske målingene, ble det også tatt ut prøver for å studere endringer i mikrobiell aktivitet. Resultater fra blodvann ved slakteri 1 er vist i **Figur 7** under. Det kan observeres en tydelig økning i *Vibrio spp.* Kimtallet (målt som CFU/ml ved 22 °C) ser ut til å øke noe fra starten og holder seg relativt stabilt gjennom produksjonen.

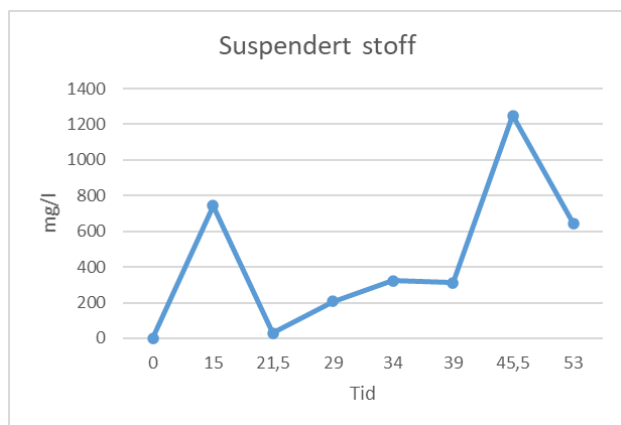


Figur 5 *Vibrio spp.*, koliforme bakterier og kimtall målt i blodvann i RSW-utblødningstank ved slakteri 1.

Uttak av prøver fra slakteri 2 er gjennomført av selskapet selv, og data er oversendt til prosjektgruppen. Prøvene er samlet inn over en lengre tidsperiode (53 timer). Dette har sammenheng med et noe annet driftsmønster ved slakteri 2 i forhold til det som er registrert ved slakteri 1. I motsetning til slakteri 1, hvor utblødningstanken tømmes for blodvann etter endt produksjon (skift) og deretter rengjøres, rapporterer slakteri 2 om et driftsmønster hvor det praktiseres høyere utskiftingsgrad av

sjøvann i utblødningstanken under produksjonen. Dette fører også til en jevnere volumstrøm av prosessvann som tilføres renseanlegget kontinuerlig.

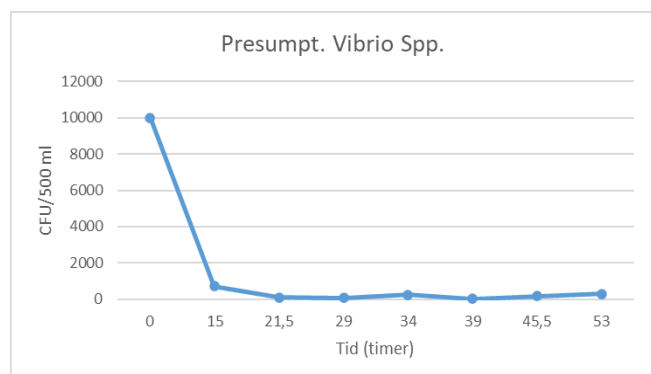
Dersom man sammenligner resultatene fra de to slakteriene, finner man noen sammenfallende resultater som bidrar til å bekrefte innholdet av oppløst organisk materiale og partikulært stoff i blodvannet. I **Figur 8** ser man utviklingen i suspendert stoff over en driftstid på 53 timer, altså noe mer enn to døgn. Siden uttaket av prøver ikke er gjort med like høy frekvens som prøveuttaket ved



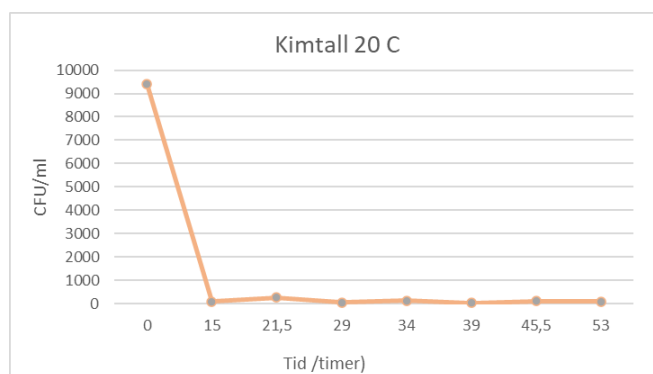
Figur 6 Suspendert stoff målt i blodvann i RSW-utblødningstank ved slakteri 2.

slakteri 1, er det ikke like lett å sammenligne resultatene. Prøveuttaket ved T = 0 er klokken 1800, etter at RSW-tanken er tømt og rengjort. Produksjonsstart var klokken 0500 dagen etter, altså 9 timer etter første prøveuttak. Andre prøveuttak ble tatt ut klokken 0900, fire timer etter produksjonsstart, og viser en betydelig økning i suspendert stoff. Det ble deretter ikke tatt ut prøver før etter endt produksjonstans første dag (klokken 1530). Vi ser en tydelig nedgang i suspendert stoff, noe som nok skyldes den relativt store utskiftningsgraden av prosessvann, og som fører til en uttynningseffekt i blodvannet. Det er ingen målinger som viser utvikling kort tid etter oppstart eller frem mot produksjonsslutt, noe som gjør at man ikke kan vite om man har hatt et høyere nivå på suspendert stoff. Slakteri 2 rapporterer om en utskiftningsgrad på mellom 40 og 50 % per time. Slakteri 1 rapporterer om en utskiftningsgrad på ca. 20 %.

I **Figur 9** under ser vi utviklingen av *Vibrio spp.*, mens **Figur 10** viser utviklingen av kimtall i



Figur 7 *Vibrio spp.* målt i blodvann i RSW-utblødningstank ved slakteri 2.



Figur 8 Kimtall målt i blodvann i RSW-utblødningstank ved slakteri 2.

RSW-utblødningstanken hos slakteri 2 over tid. Prøver av vannet i utblødningstanken viser varierende innhold av *Vibrio spp.* og kimtall før oppstart. Effektiv vannbehandling/desinfeksjon av sjøvannet vil gi en 3 log₁₀ reduksjon av bakterier, og påvisningen skyldes trolig kontaminering fra tank og rørsystem tilknyttet RSW-anlegget.

Vibrio finnes naturlig i sjøvann og finnes i marine systemer over hele verden, men med variasjon i økologiske preferanser for ulike arter. Selv om noen vibrioarter kan forårsake sykdom (*V. cholera*, *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus*) er det sjelden at Vibrio fra norske farvann gir helseplager eller sykdom (Mattilsynet, 2012). Kimtall omfatter naturlig forekommende mikroorganismer og er en generell indikator på hygienisk kvalitet og bakteriebelastningen. Det er ingen direkte sammenheng mellom kimtall og helsefare, men det kan indikere ulike typer forurensning og en parameter for kontroll av kvalitetsforringende bakterier i vannet.

Intestinale Enterokokker og *E. coli* forekommer ikke naturlig i sjøvann. Disse bakteriene benyttes som indikatorer på fekal forurensning, kommer fra tarmene i pattedyr og er ofte en indikasjon på kontaminering fra for eksempel kloakk, avrenning fra land, fugler eller dårlig hygiene hos de som håndterer fiskevarer.

Variasjonen i bakterietall i blodvannet er ulik mellom de to slakteriene. Dette kan trolig skyldes ulike drifts- og renholdsrutiner, og grad av vannutskiftning i blødetanken er trolig en viktig faktor for konsentrasjonen av bakterier i blodvannet. Basert på resultatene fra dette prosjektet er det vanskelig å konkludere om økningen i kimtall og *Vibrio spp.* utover produksjonsdagen hovedsakelig skyldes vekst av bakterier til stede i tanken ved oppstart, tilførsel via fisken, eller i hvilken grad det skyldes en kombinasjon av dette. Veksthastigheten til bakterier avhenger av miljøet de vokser i, blant annet tilgang på næring, temperatur, vannaktivitet og pH. Kjøling av blodvannet, og opprettholdelse av en stabil lav temperatur (< 2 - 4 °C), er viktig for å begrense bakterieveksten siden andre miljøfaktorer i vannet vil kunne legge til rette for en høy veksthastighet. Driftsdata hos slakteriene viser at blodvannet holder jevn lav temperatur gjennom dagen (rundt 1 °C), og vil trolig gi begrenset vekst selv av psykrotrofe bakterier som kan vokse ved lave temperaturer.

EFSA har i en rapport fra 2012 foreslått grenseverdier for rent sjøvann for håndtering, vasking og kjøling av hele og bearbeidede fiskevarer (Tabell 2). I henhold til slakteriforskriften vil bløgging medføre en endring i anatomisk helhet slik at den ikke lenger betegnes som hel, men fisken kan på dette stadiet i produksjonen sies å ha en svært begrenset bearbeidingsgrad. Grenseverdiene fra EFSA kan likevel være veiledende for hygienisk kvalitet, selv om de er beregnet på rent sjøvann.

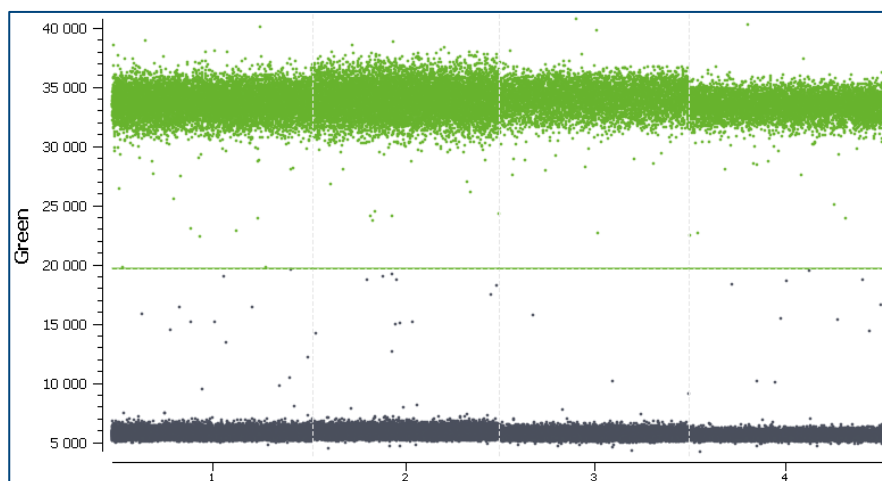
Tabell 2 Kriterier for rent sjøvann ved håndtering, vask og kjøling av hele¹ og bearbeidede² fiskevarer.

Prameter	Grenseverdi	Referansemetode
<i>Escherichia coli</i> ¹	250/100 ml*	ISO 9308-3 or ISO 9308-1
Enterokokker ¹	100/100 ml*	ISO 7899-1 or ISO 7899-2
<i>Escherichia coli</i> ²	0/100 ml	ISO 9308-1
Enterokokker ²	0/100 ml	ISO 7899-2
<i>Vibrio spp.</i> ²	0/100 ml	ISO/TS 21872-1:2007 eller ISO/TS 21872-2:2007

*Basert på 95-persentil evaluering

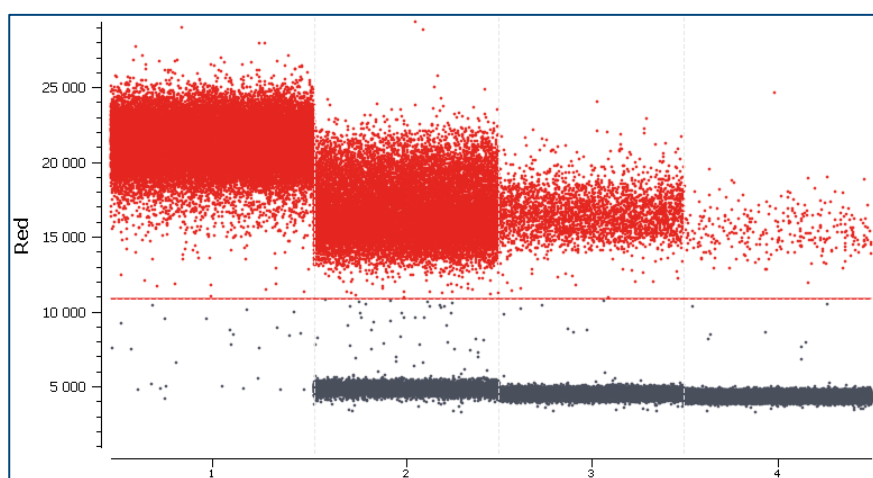
Listeria monocytogenes er en humanpatogen bakterieart som forekommer i mange miljøer, inkludert sjøvann, og er typisk assosiert med en rekke matvarer som kjøtt-, melke- og eggprodukter, sjømat og grønnsaker. Denne arten vokser i kalde områder og ved høye saltkonsentrasjoner. Dette gjør kontrollen av *L. monocytogenes* i matproduksjonen vanskelig siden typiske tiltak for konservering som kjøling og salting ikke beskytter mot oppvekst av denne arten. Dermed er den også en risikoorganisme i lakseindustrien og har blitt påvist i mange tilfeller i røykerier og i enkelte tilfeller i lakseslakterier i Norge. *L. monocytogenes* forårsaker sykdommen listeriose og har høye dødelighetsrater, opp mot 30 %. Som følge er hygieniske tiltak veldig viktig for sikker produksjon

og beskytte forbrukere. Det ble etablert en metode for kvantifisering av *L. monocytogenes* med digital PCR som ble verifisert ved hjelp av 4 referansestammer (DSM20600, VI_57913, VI_57022 og VI_58202). Metoden ble også brukt for deteksjon og kvantifisering av *L. monocytogenes* i vannprøver fra lakseslakteriet før og etter flere rensetiltak. I denne assayen ble det kvantifisert et spesifikk *L. monocytogenes* gen (*hlyA*) som finnes bare i én kopi per celle. Dermed tilsvarer antall *hlyA* gener direkte antall *L. monocytogenes* celler, både levende og døde. Tilsvarende dot-blot-diagrammet som viser resultatet av valideringen er vist i **figur 11**.



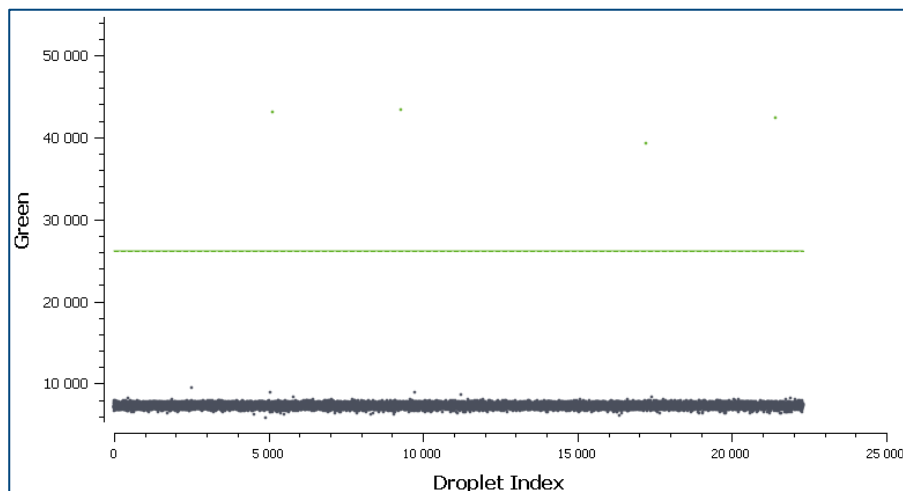
Figur 11: Dot-plot resultatet fra dPCR assay for kvantifisering av *hlyA* gen kopier i total DNA ekstrahert fra 4 forskjellige *L. monocytogenes* stammer: 1. DSM20600, 2. VI_57913, 3. VI_57022 og 4. VI_58202. Grønne dots representerer positive signaler (*hlyA* gen kopi til stede) og grå er negative signaler. Y-aksen viser relativ fluorescence units (RFU).

I tillegg ble det analysert totalantall bakterier ved å kvantifisere antall 16S rDNA kopier. Dette genet forekommer i forskjellig kopitall i forskjellige bakteriearter, men i gjennomsnitt inneholder en bakteriecelle 4,5 16S rDNA gener. Dette tallet ble også brukt for kvantifisering av totalantall bakterier i ubehandlet blodvann fra slakteriet. En dot-plot-diagram for kvantifisering av totalantall 16S rDNA genkopier er vist i **figur 12**.



Figur. 12: Dot-plot resultatet fra dPCR assay for kvantifisering av 16S rDNA kopier i total DNA ekstrahert fra ubehandlet blodvann. Røde dots representerer positive signaler (16S rRNA gen kopi til stede) og grå er negative signaler. I reaksjoner 1-4 (x-aksen) ble de brukt fire 10-ganger fortynninger av total DNA. Y-aksen viser relativ fluorescence units (RFU).

Veldig lave konsentrasjoner av *L. monocytogenes* kunne bare detekteres i ubehandlet blodvann, hvor vi fant 111 celler per ml vann. I samme prøven ble det detektert $4,0 \times 10^7$ bakterieceller per ml totalt. Med andre ord utgjør andelen av *L. monocytogenes* bare 0,0003% av totalantall bakterier. Resultatet er vist i dot-plot-diagrammet i **figur 13**.



Figur 13: Dot-plot resultatet fra dPCR assay for kvantifisering av *hylA* gen kopier i total DNA ekstrahert fra ubehandlet blodvann. Grønne dots representerer positive signaler (*hylA* gen kopi til stede) og gråe er negative signaler. X-aksen viser antall analyserte droplets og Y-aksen relativ fluorescence units (RFU).

L. monocytogenes kunne ikke detekteres i noen av vannprøvene etter sentrifugering. Dette viser at vannbehandling ved sentrifugering var tilstrekkelig effektivt for å fjerne *L. monocytogenes* fra prosessvannet.

5.2 Kravspesifikasjoner for renseteknologier

Rent sjøvann som benyttes i utblødningstanken blir i dag rensert henhold til gjeldende krav. Veiledende grenseverdier ved bruk av rent sjøvann på hele fiskevarer, og ved håndtering, vasking og kjøling av prosesserte fiskevarer, gjelder ikke for vannet i utblødningstanken (blodvannet). Slike grenseverdier er ikke kjent. I henhold til *Næringsmiddelhygieneforskriften*, 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 trykgheten til sluttproduktet) (ICMSF, 2005).

Det er et uttalt ønske fra næringen å holde bakterietallet så lavt som mulig, samt begrense mengden suspendert stoff og organisk materiale, i blodvannet. Presiseringen i næringsmiddelhygieneforskriften vedr. resirkulert vann kan, uavhengig av om det gjelder for blodvann, indikere at det bør stilles strenge krav til hygienisk kvalitet på vannet.

Kravspesifikasjoner er oppgitt L1.2.

Følgende reviderte krav til rensenanlegget for resirkuleringssystemet for RSW-tank:

1. Renskapasitet på minimum 10,8 gram protein og 0,7 gram fett per liter vann som resirkuleres.

2. Grovfiltrering med lysåpning mindre eller lik 300 μm , for å skille ut organisk materiale som skjell fra risttap hos fisken.
3. Bakterier som kan redusere holdbarheten, eller påvirke mattryggheten, til sluttproduktet må holdes på dagens nivå eller lavere.
4. Ved bruk av tekniske hjelpestoffer i renseprosessen må disse ikke påvirke kvaliteten på, eller begrense bruken av, sluttproduktet eller biproduktet (proteiner og fett)
5. Organisk materiale (blod, slim m.m. må skilles ut og håndteres separat fra vann som skal tilbake i RSW-utblødningstank. (Det vil være en fordel om man unngår at blodet koagulerer, men kan ikke settes som et krav da det vil utelukke enkelte renseteknologier).
6. Temperaturøkning på resirkulert vann må reverseres gjennom kjøleprosess etter vannbehandlingsprosessen

Det ble på møtet 15. mai 2019 i tillegg diskutert vurderingskriterier som energieffektivitet, kapasitet, arealbruk, bruk av kjemikalier og utnyttelse av restråstoff.

5.3 Effekten av rensing

Det er gjennomført flere forsøk for å se på effekt av rensing av blodvann. Med bakgrunn i tilbakemeldinger fra referansegruppen ble det gjort endringer i opprinnelig beskrivelse av AP2 (forsøk med rent vann vs. etablert prosess med resirkulering) og sentrifugering ble valgt som renseteknologi under forsøkene. Resultat fra forsøkene presenteres under. Beskrivelse av forsøksoppsett og gjennomføring er gitt i eget internt notat og i leveranse L2.1.

Forsøkene ble gjennomført med teknologi levert av HL.Skjong AS (<http://hlskjong.no/>). Sentrifugen som ble benyttet under forsøkene var en disk-sentrifuge fra GEA Westfalia, med et Russell EF 803 80 mm vertikalfilter foran (1000 μm poreåpning). Under væskefaststoff separasjon separerer sentrifugen blodvannet til to faser (se **Bilde 2**) ved hjelp av sentrifugalkraft. I denne sammenhengen er blodvannet fødevann til sentrifugen. Lettfase (renset vann) vil gå tilbake til utblødningstank, mens den tunge fasen (slam) blir skilt ut og kan håndteres videre alt etter brukers ønske (se mer om mulige anvendelser under avsnitt 5.3.2). I disse forsøkene har vi hovedsakelig sett på endringen til ulike vannkvalitetsparameter i blodvannet og lettfasen. Resultat fra Status utblødningstank (se

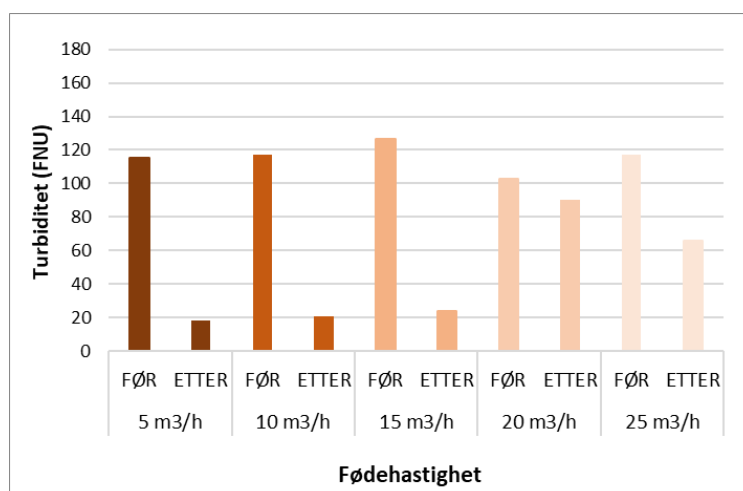


Bilde 2 Blodvann (venstre), lettphase (midten) og slam (høyre).

kapittel 5.1) ble lagt til grunn for gjennomføring og tidspunkt for uttak av prøver i forsøk. Det ble ikke gjennomført en optimalisering av driftsparameter i forkant av forsøkene. Omdreinings hastighet i sentrifuge (4800 rpm) og skuddintervall (tid mellom tømning av akkumulert slamfase i separator) (5 minutt) var den samme uavhengig av fødehastighet (blodvannsgjennomstrømning i sentrifugen).

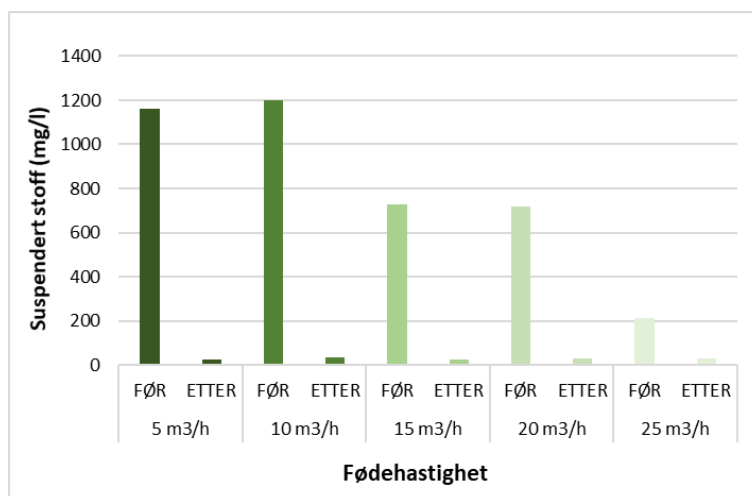
Det ble tatt en del forbehold ved kjøring av sentrifugen under forsøkene for å unngå uønskede hendelser. Blant annet ble det brukt mer skyllevann enn normalt under tømning av slambeholder for å holde nivåfølere rene og sikre god tømning av slammet. Dette har påvirket vanninnholdet i slammet, og dermed også en evt. beregning av massebalansen. Den beste tilnærmingen vi har angående massebalansen p.t. er fra kjøring med 5 m^3/h . Basert på fødehastighet (83,3 l/min), fast skuddintervall (5 min) og slamvolum (12 - 15 l) er den prosentvise fordelingen mellom lettphase og slam henholdsvis 97,1 - 96,4 % og 2,9 - 3,6 %. Med driftsparameterne benyttet under forsøket vil man i løpet av en dags produksjon få om lag 1500 liter slam.

Sentrifugen ga en gjennomsnittlig reduksjon i turbiditet i blodvannet på hhv. 83,7 %, 82,3 % og 78,8 % ved de tre laveste fødehastighetene som ble kjørt i forsøkene (5 - 15 m³/h) (**Figur 14**). Turbiditet i lettfasen var relativt stabil (20 ± 6 FNU) ved de samme hastighetene. En økning i fødehastighet utover 15 m³/h, ser ut til å redusere renseseffekt og gir høyere turbiditet i lettfasen (78 ± 17 FNU) og lavere prosentvis reduksjon gjennom sentrifugen (29,1 %).



Figur 94 Endring i turbiditet før og etter sentrifuge ved ulike fødehastigheter under forsøk med rensing av RSW-kjølt blodvann ved slakteri 1.

Sentrifugen er svært effektiv med tanke på reduksjon av suspensert stoff (SS), med en gjennomsnittlig reduksjon på 96,3 %. Konsentrasjonen av SS etter sentrifugen var tilsynelatende uavhengig av både SS i fødevannet (blodvannet) og gjennomstrømningshastigheten på sentrifugen (se **Figur 15**). Det var også stor variasjon i innholdet av SS i blodvannet gjennom forsøksperioden (2400 mg/l - 160 mg/l) med et gjennomsnitt på 1084 ± 829 mg/l.

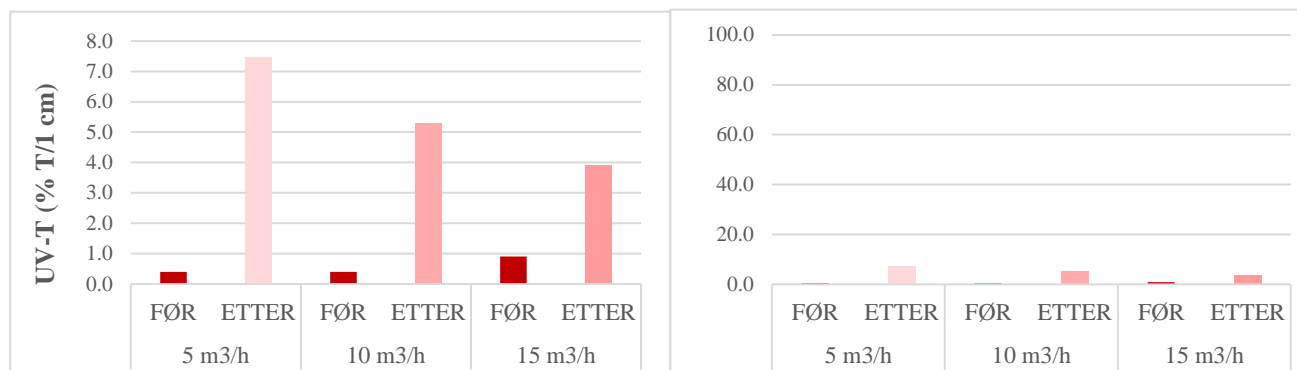


Figur 15 Endring i suspensert stoff før og etter sentrifuge ved ulike fødehastigheter under forsøk med rensing av RSW-kjølt blodvann ved slakteri 1.

Til sammenligning hadde blodvannet stabil UV-transmisjon (UV-T) gjennom hele forsøket (0,5 ± 0,2 %T/1 cm). UV-transmisjonen blir noe forbedret etter sentrifugen, men økningen i transmisjon reduseres i takt med økt fødehastighet (**Figur 16**). Hemoglobin i lakseblodet er vannløselig og gir rødfargen på blodvannet. Sentrifugen vil ikke kunne fjerne løst stoff, og lettfasen har en lys rosa farge forårsaket av hemoglobin og som trolig gir lav UV-transmisjon.

Under forsøkene ble det tatt ut prøver av lettfasen ved ulike tidspunkt etter skudd. Spin-tester viste at det var noe mer bunnfall i lettfasen fire minutter etter tømning av slambeholder/skudd enn etter ett minutt. Dette indikerer at sentrifugen ikke er kjørt optimalt med tanke på skuddintervall under forsøkene. Det er sannsynlig at den stabile konsentrasjonen av SS i lettfasen kan skyldes at deler av slamfasen blir dratt med lettfasen når kula fylles mot slutten av skuddintervallet. Ved bruk av

turbiditetssensor i lettfasen kan man enklere regulere og optimalisere skuddintervall, og en optimalisering av sentrifugen vil gi økt fjerning av organisk materiale og dermed bidra til bedret renseseffekt.

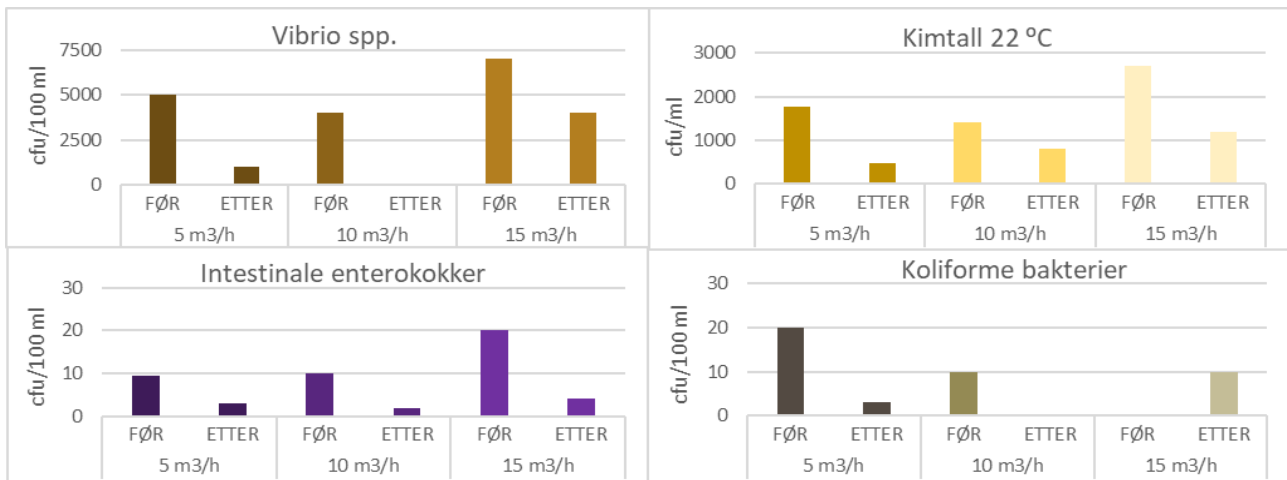


Vannhastighet gjennom sentrifuge

Figur 16 UV-transmisjon (% T/1 cm) målt på blodvann før og etter sentrifuge. Figurene viser resultat fra samme forsøk, men med ulik skala for UV-T. Diagrammet til høyre angir hele skalaen (av UV-lys som passerer gjennom vannet ved 1 cm). Desinfeksjonseffekt og behandlingseffekt for UV-anlegg normalt benyttet til behandling av drikkevann (UV-dose 40 mJ/cm²) vil være betydelig redusert allerede ved UV-T rundt 60-70 %.

Resultat fra våre forsøk indikerer at sentrifugen gir en gjennomsnittlig reduksjon på mellom 60 og 70 % for de påviste indikatororganismene (Se **Figur 17**). Hygienisk kvalitet i blodvannet under forsøkene var i all hovedsak lik som ved kartleggingen av nåsituasjonen i utblødningstanker, med unntak av en økt påvisning av koliforme bakterier og intestinale enterokokker. Sjøvannet som benyttes under utblødning er UV-behandlet og utblødningstanken (inkludert rørsøyfe) vaskes i henhold til fastsatt prosedyre. Dersom man antar at dette gir fullstendig fjerning av mikroorganismer, vil det ukjente bidraget til redusert mikrobiologisk kvalitet i utblødningstanken trolig tilskrives det som kommer inn med fisken. Resultater fra kartleggingen av blodvann viser at det er bakterier i vannet ved oppstart ved begge slakteri (se kapittel 5.1.1), og vannkvaliteten vil påvirkes både av kontaminering fra utblødningstank (med tilhørende rørsøyfer) og bakterier som kommer inn med fisken. I perioden før og under forsøkene var det mye nedbør og avrenning fra land. Dette kan ha påvirket vannkvalitet i ventemerder, og bakterienivået på overflaten til laksen, noe som kan forklare endringen i observert blodvannskvalitet mellom kartleggingen av blodvann og forsøk (innhold av koliforme bakterier og intestinale enterokokker).

Både slakteriet sine data fra produksjonen, og våre målinger, viser at blodvannet holder jevn lav temperatur gjennom dagen. Dette er et viktig bidrag for å begrense bakterieveksten. Lav temperatur kan bidra til å opprettholde, eller skyve sammensetningen mot, en større andel psykrotrofe eller psykrofile bakterier, som ofte dominerer mikrofloraen på fisk i våre farvann (f.eks. *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Shewanella* og *Flavobacterium*). Noen av disse bakteriene har en sentral rolle i kvalitetsforringelse hos fiskeprodukter. Det er ikke gjennomført analyser spesifikt på disse bakteriene, men resultat for kimtall ved 22 °C kan indikere at det er relativt begrenset innhold av disse bakteriene i blodvannet gjennom dagen. Selv om det er lite informasjon tilgjengelig om korrelasjonen mellom vannkvalitet og påfølgende kontaminering av fisk, er det studier som har vist en direkte sammenheng mellom bakterienivå på fisk og i vann (vann fra oppdrettsmerd/tank) (Kim & Lee, 2017). Tilsvarende vurderinger er gjort angående bakterier i sjøvann; dersom de er til stede i sjøvann vil de også sannsynligvis finnes på overflaten til fisken (EFSA, 2012).



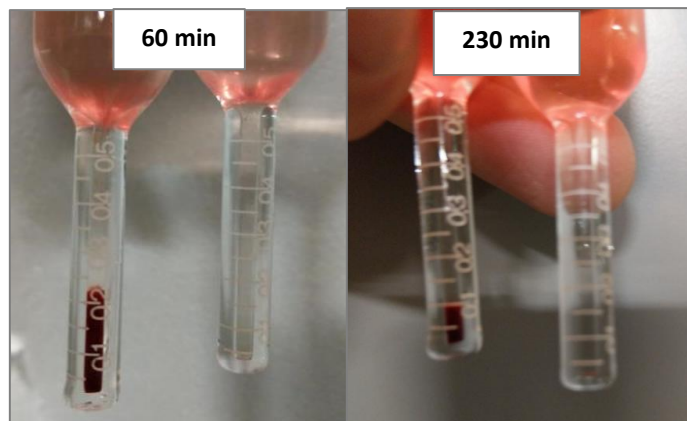
Figur 17 Bakteriologisk vannkvalitet i RSW-kjølt blodvann før og etter sentrifuge ved ulike fødehastigheter.

5.3.1.1 Kontinuerlig rensing av blodvann

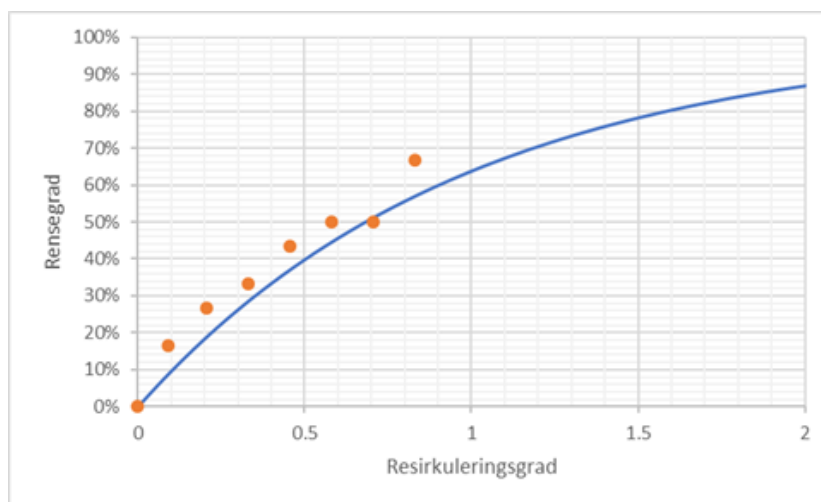
Ved kontinuerlig rensing av blodvann (uten tilføring av fisk eller vann) viste spin-tester en gradvis reduksjon av bunnfall i fødevannet (blodvann) etter hvert som resirkulerings-graden (en beregning av fødehastighet gjennom sentrifugen, vannvolum i utblødningstanken og varighet på rensingen) økte. Dette sees som en økning i rensegrad i **Figur 18**. Tilsvarende viste spin-tester av lettfasen at sentrifugen effektivt fjernet partikulært materiale fra blodvannet (**Bilde 3**), og ligger tett opptil teoretisk massebalanse (terskel for separasjon av væske-faststoff fra blodvannet med gjeldende driftsparameter (rpm)).

Selv med optimal omrøring i tanken og drift av sentrifuge tett opptil terskel for teoretisk rensing av vannet, tyder resultatene på at rensegraden vil flate ut med økt resirkuleringsgrad.

En økning i resirkuleringsgrad utover 100 % (rensing av hele vannvolumet mer enn én gang) vil gi en begrenset økning i renseseffekt. Denne mekanismen er viktig å vurdere dersom man vil anvende teknologien til å rense vannet mellom produksjonsdager, og dermed bruke vannet i flere dager. Den mest effektive måten å rense vannet på vil være å tømme tanken gjennom sentrifugen og la lettfasen gå til en ny holdetank inntil utblødningstanken er tom, heller enn å resirkulere vannet gjennom sentrifugen og tilbake til utblødningstanken.



Bilde 3 Bilder av sentrifugerør etter spin-test med fødevann (til høyre) og lettphase (til venstre) etter hhv. 60 og 230 minutter etter forsøksstart.

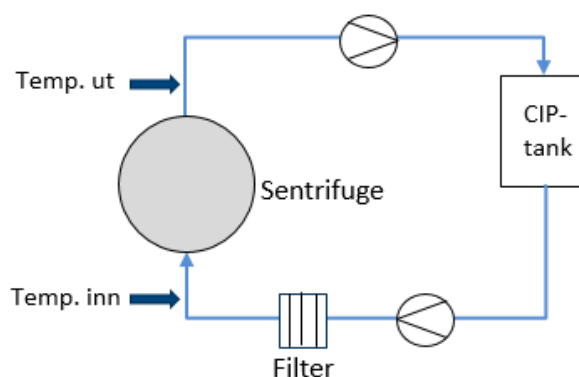


Figur 18 Plot av resultat fra forsøk med kontinuerlig rensing av blodvann gjennom sentrifuge etter endt produksjon. Brune punkter angir avlest mengde bunnfall i fødevannet (basert på spin-test). Den blå linjen angir teoretisk massebalanse.

Dersom man sammenligner vannkvalitet i utblødningstanken ved 83 % resirkuleringsgrad (forsøkets varighet ble begrenset pga. produksjonsforhold ved slakteriet) og baseline blødetank, er vannkvaliteten (turbiditet, SS, UV-T og mikrobiologisk vannkvalitet) om lag den samme mellom 30 – 60 minutt etter første fisk har gått i utblødningstanken dersom utgangspunktet er rent, kjølt sjøvann. Slakteriene vil da ha en relativt kort periode der fisken blør ut i vann av bedre kvalitet.

5.3.1.2 Temperaturøkning ved rensing av blodvann med sentrifuge

Forsøk med rent vann, og måling av temperatur før og etter sentrifuge, viste at temperaturøkningen er stabil gjennom sentrifugen ved både høy (20 m³/h) og lav fødehastighet (5 m³/h). Lav fødehastighet gav større temperaturøkning gjennom sentrifugen ($1,53 \pm 0,31$ °C) sammenlignet med økt fødehastighet (20 m³/h) ($0,55 \pm 0,10$ °C). Dette er som forventet siden vannet har lengre oppholdstid i sentrifugen ved lav fødehastighet. I tillegg til selve sentrifugen vil pumper og grovfilter bidra til temperaturøkningen. Basert på temperaturmålinger i beholder (CIP-tank) og før sentrifuge øker temperaturen i vannet med $0,27 \pm 0,17$ °C ved 20 m³/h og $0,1 \pm 0,08$ °C ved 5 m³/h når vannet går gjennom filter (Russell EF 803 vertikalfilter, 0,5 kW) og én pumpe (Lowara In-line sentrifugalpumpe, 11 kW). Dette gir en samlet temperaturøkning gjennom systemet (minus én pumpe) på henholdsvis $1,63 \pm 0,26$ °C ved 5 m³/h og $0,83 \pm 0,13$ °C ved 20 m³/h (se **Tabell 2**).



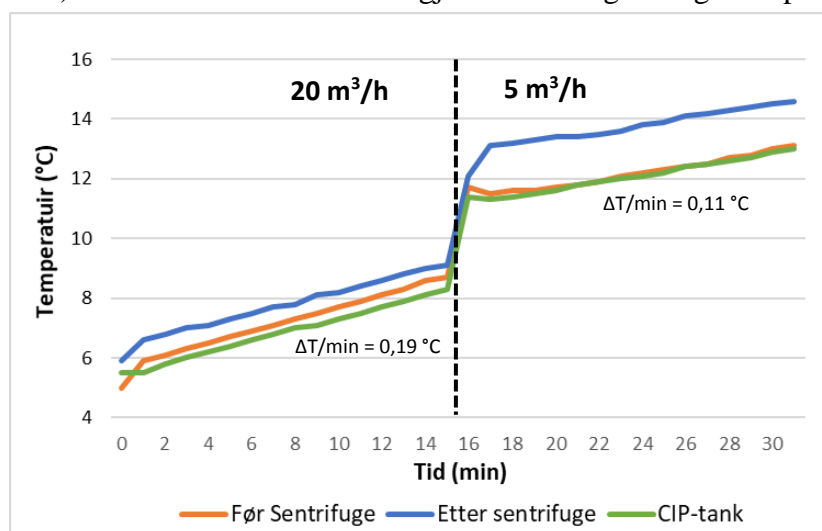
Figur 19 Skisse av oppsett ved forsøk med temperaturøkning gjennom sentrifuge.

Tabell 2 Temperaturøkning i blodvann gjennom ulike deler av renseteknologi anvendt ved forsøk på slakteri 1. Temperaturen er målt i CIP-tank før og etter sentrifuge.

Fødehastighet	Temperaturøkning blodvann (°C)
---------------	--------------------------------

	Sentrifuge	Pumpe og filter	Sentrifuge, pumpe og filter
20 m ³ /h	0,55 ± 0,10	0,27 ± 0,17	0,83 ± 0,13
5 m ³ /h	1,53 ± 0,31	0,1 ± 0,08	1,63 ± 0,26

Totalt økte vanntemperaturen i CIP-tanken med 5,5 °C i løpet av 30 minutters kjøring ved 20 m³/h og 1,6 °C i løpet av 15 minutters kjøring ved 5 m³/h. Basert på vannvolumet i CIP-tanken (ca. 1000 liter) vil det ved 5 m³/h være et gjennomsnittlig bidrag i temperaturøkning på ca. 8 % av det totale vannvolumet pr. minutt.



Tilsvarende vil økt flow (20 m³/h) gi lavere temperaturøkning på en større andel (33 %) av det stående vannvolumet pr. tidsenhet. Foreløpige beregninger basert på forsøkene gir en spesifikk temperaturøkning i CIP-tanken på 0,56 °C/m³ (0,19 °C/min) for 20 m³/h og 0,32 °C (0,11 °C/min) for 5 m³/h (Se **Figur 20**).

Figur 20 Temperaturøkning gjennom sentrifuge ved 20 og 5 m³/h.

5.3.2 Verdiskapingspotensial blodvann

Blod utgjør ca. 9 % av den totale mengde restråstoff som oppstår i oppdrettsnæringen, og er den eneste ressursen som ikke utnyttes i dag. Ifølge beregninger utført av SINTEF (Richardsen et. al., 2018) er det ca. 35 000 tonn blod tilgjengelig fra slakting av laks og ørret i Norge.

Tabell 4 Innhold av protein, fett og aske i blodvann fra utblødningstank, lettfase (LP) og slam etter sentrifugering, sammenlignet med rent lakseblod.

	Lakseblod	Blodvann*	LP	Slam
Fett, SRB (g/100g)	0,8	1,26	0,17	0,26
Protein (g/100g)	12,5	1,94	1,32	6,06
Aske (g/100g)	-	2,12	1,99	2,07

* Blodvannet er tatt fra utblødningstank mot slutten av en produksjonsdag ved et lakseslakteri som har ca. 10 % tilførsel av rent vann i blødetanken.

I prosjektet "Rensing og resirkulering av prosessvann fra havbruksnæringen", ble det gjort innledende forsøk med rensing av blodvann med sentrifuge og membranfiltrering. Tørking av slamfasen (inkl. retentat fra ultrafiltrering) ga et blodmel med proteininnhold på 73,5 %. Produkter basert på organisk materiale som skilles ut i en renseprosess har potensiale som ingrediens i næringsmidler og fôr, noe som kan gi en vesentlig økning i verdi sammenlignet med dagens utnyttelse der blodvannet går via rensaneanlegg og blir sluppet ut i resipient eller ensileres som kategori 2 materiale. Det er ikke gjennomført en karakterisering av slam/faststoff i dette prosjektet.

Gjennom flere Rubinrapporter er det dokumentert at blodvannet har et verdiskapingspotensial (Rubinrapport 188, 2010). Prisen man kan oppnå i markedet er avhengig av kvaliteten på produktet, innhold av næringsstoffer og vann, grad av prosessering etter separasjon fra blodvannet, om blodet har koagulert og hvilket markedssegment produktet er tiltenkt. Det høye jerninnholdet i blodet gjør at dette kan være interessant for bruk innen ernæring. Ifølge WHO er jernmangel den vanligste og mest utbredte mangelsykdommen i verden (WHO, n.d.).

Dersom man antar et utbytte til tørket blodmel på 5 % fra mengden blod tilgjengelig fra slaktefisk i norsk oppdrettsnæring (2018-tall), og en moderat kilopris på NOK 15-20,-/kg vil dette kunne gi en merverdi på 26 – 35 mill. NOK til et marked som tradisjonelt gir dårligere betalt enn ingrediens og Pharma.

Separasjon av blodplasma og hemoglobin fra blodvannet kan gi en potensiell anvendelse som ingrediens i ulike fiskevarer og jernberikning av ulike matvarer. Norinnova i Tromsø har utviklet et produkt basert på hemjern fra lakseblod. Produktet er fortsatt i testfasen, men har vist lovende resultat for jernabsorpsjon i kliniske tester.

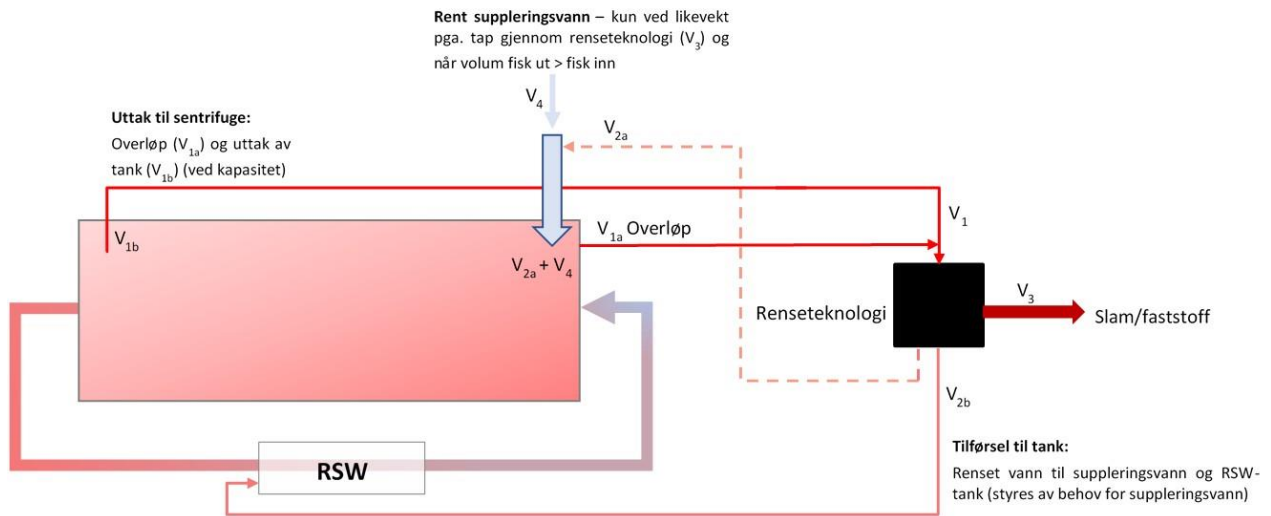
Utfordringen med blodvann er at det inneholder mye vann, og at tørrstoffinnholdet (mengden av næringsstoffer) er relativt lav (normalt under 4 %) og vil variere mellom ulike slakteri og gjennom produksjonsdagen. Rent lakseblod har til sammenligning et tørrstoffinnhold på ca. 12 %. Det er både kostnads- og energikrevende å fjerne vann. En renseteknologi som gir en ren tørrstoffraksjon med lavt vanninnhold, vil være en fordel med tanke på videre bruk av restråstoffet.

5.4 Renseteknologi for resirkulering av blodvann fra RSW utblødningstanken - Teknologiscreening

Prosjektet skal gi kunnskapsgrunnlag for utvikling av en industriell teknolog for rensing og resirkulering av prosessvann i lakseslakterier. Man har valgt å konsentrere innsatsen om rensing av blodvannet i utblødningstanken.

I utblødningstanken er laksen bløgget og ligger i tanken med skovler og blør ut i tanken. Vannet tilføres blod, slim og skjell fra laksen. **Figur 21** viser flyten av vann i forbindelse med innføring av renseteknologi. Forutsetningen for skissen er at systemet har likevekt ved 1:1 volumfordeling mellom fisk og vann, og at alt vann som går ut av tanken samles opp og går gjennom renseteknologien. Likevekten samsvarer også med det næringen har uttalt som et mål for fordelingen av fisk og vann i utblødningstankene. Samtidig kan det totale uttaket av vann fra tanken (aktivt uttak til rensing og passivt uttak ved overløp) aldri overstige kapasiteten til renseteknologien (V_{max}). Dette setter klare begrensninger for andelen av vann som kan renses. Renseteknologien vil føre til et tap av volum gjennom slam/fraseparert tørrstoff, noe som må erstattes gjennom tilførsel av rent suppleringsvann, likt det som skjer (i ulik grad) ved lakseslakterier i dag.

Prinsippskissen tar utgangspunkt i at det hovedsakelig finnes tre driftstilstander: 1. det går mer fisk inn enn ut av tanken, 2. det går like mye fisk inn som ut av tanken og 3. det går mindre fisk ut enn inn i tanken. Konsekvensen av de tre driftstilstandene får ulik innvirkning på den stående vannmassen i tanken. Tilstand 1 gir overskudd av vann siden fisken fortrenger vann, mens tilstand 2 og 3 gir "underskudd" av vann, som derfor må tilføres for å oppnå en ønsket likevekt. Tilstand 2 gir underskudd av vann på grunn av uttak av slam i renseteknologien.



Figur 21 Vannflyt i RSW utblødningstank tilkoblet renseteknologi. V_1 = Fødevann renseteknologi, V_{1a} = Overløp, V_{1b} = Uttak fra blødetank, V_2 = Renset vann, V_{2a} = Renset vann til suppleringsvann, V_{2b} = Renset vann til blødetank, V_3 = Slam/faststoff, V_4 = Suppleringsvann fra sjøvannsanlegg.

Utfallet av de ulike driftstilstandene kan beskrives slik:

1. V_{1a} er større enn behovet for V_2 . $V_4 = 0$. $V_{1a} \leq V_{\max}$ renseteknologi
2. $V_4 = V_3$. $V_{1a} = 0$
3. $V_2 + V_4 > V_1$. $V_4 \geq 0$

Kapasiteten til renseteknologien (V_{\max}) må ta hensyn til vannvolum som skal renses, slaktevolum og ønsket kvalitet på rensed blodvann. Tilførsel av rensed vann til tank, med (V_{2b}) eller uten (V_{2a}) kjøling, avhenger av temperaturøkning som følge av valgt renseteknologi og volum rensed vann (V_2) relativt til det totale tankvolumet. Følgelig vil en begrensning i kjølekapasitet kunne gi lavere resirkuleringsgrad, og dermed redusert vannkvalitet i utblødningstanken.

I **Figur 21** er renseteknologi tegnet inn som en svart boks. De etterfølgende kapitlene viser hvilke teknologier som den kan fylles med.

5.4.1 Mulig renseteknologi i RSW-utblødningstanken

5.4.1.1 RSW-tanken

Innvendige overflater i RSW-tank med tilhørende rørssystem må rengjøres. Denne vaskeprosessen er ikke en del av prosjektet. Rengjøringsrutiner av RSW-tanken og tilhørende utstyr, er viktig for å unngå bakteriefilm påsystemets overflater.

5.4.1.2 Filtrering

Filtrering er en av de viktigste kjemitekniske enhetsoperasjonene for skille faste partikler som er suspendert (blandet, men ikke oppløst) i en gass eller væske. Suspensjonen føres inn i et filter der

et porøst materiale, filtermediet, som ofte er en duk eller et partikkelsjikt, holder de faste partiklene tilbake, mens resten, filtratet, slipper igjennom. Det finnes en hel rekke ulike løsninger på markedet, og det er ikke i denne rapportens natur å gi en oversikt over dette her. I grove trekk kan vi dele inn filtrering i fem deler (grensene er flytende):

1. Partikulær filtrering (synlige partikler): > 1 mikrometer
2. Mikrofiltrering: 0,1 – 1 mikrometer
3. Ultrafiltrering: 0,01 – 0,1 mikrometer
4. Nanofiltrering: < 0,01 mikrometer
5. Hyperfiltrering/Revers osmose: < 0,01 mikrometer

Ultra- og nanofiltrering betegnes i mange sammenhenger med et samlebegrep som kalles membranfiltrering.

Det finnes en rekke ulike tekniske filter på markedet, men kan grovt deles inn i to grupper; kontinuerlige og batch-basert filter. Batchfiler er typisk posefilter montert i filterhus, og som benyttes til en produksjonsbatch. Noen eksempel på filtertyper er patronfilter, platefilter, trommelfilter og båndfilter.

Grovfiltrering fjerner partikulært stoff. I *Forskrift om desinfeksjon av inntaksvann til og avløpsvann fra akvakulturrelatert virksomhet* er det angitt krav til forbehandling av både inntaksvann og avløpsvann. Avløpsvann fra slakterier/tilvirkningsanlegg skal filtreres gjennom silanordning med poreåpning/spaltebredde ≤ 1 mm. Tilsvarende krav stilles i *Forskrift om begrenning av forurensning* (Forurensningsforskriften) der prosessvann/avløpsvann skal renses før det slippes ut til resipient. Forskriften sier at ved store anlegg skal avløpsvann forbehandles ved å benytte filter med porestørrelse på minimum 1 mm, og for mindre anlegg, skal filter med spalteåpning på minimum 3 mm benyttes. For inntaksvann til akvakulturanlegg (klekkeri, settefisk og påvekstanlegg) gjelder at vannet skal filtreres gjennom filter/silanordning med minimum poreåpning/spaltebredde 0,3 mm.

Det kan derfor være gode grunner ved eventuell behandling av blodvann å bruke filter med porestørrelse på minimum 1 mm, eventuelt 0,3 mm. Partikler større enn 1 mm vil da samles opp på dette trinnet og vil kunne avlaste rensetrinnet i fabrikken. Grovfilter inngår som en del av *primærbehandling* i en renseprosess, og er i enkelte tilfeller nødvendig for videre renseprosesser. Økt rensegrad under filtrering vil også avlaste senere rensetrinn.

For rensing av blodvann vil det være naturlig at man i første fase fjerner skjell og annet partikulært stoff. Filteret bør være av type kontinuerlig, slik at ikke utskifting av for eksempel filter-duk eller -poser må gjennomføres under normal drift.

5.4.1.3 Sentrifuge

Sentrifuge benyttes for å skille stoffer i både homogene og heterogene systemer eller løsninger, som væske-væske- eller væske-faststoff-systemer. Ved å utnytte sentrifugalkraften og stoffenes ulike densitet (tetthet), vil en sentrifuge skille faste fra flytende stoffer, eller tyngre fra lettere væsker. I tillegg har stoffenes kjemiske beskaffenhet også innvirkning på separasjonsgraden. Ikke-blandbare stoffer, slik som fett og vann (ref. fettutskiller over), skilles derfor enklere. Sentrifuge benyttes i mange ulike prosesser innenfor næringsmiddelindustrien, blant annet til å skille gjærsopp i øl-produksjon, utvinning av sukker, salt og tran, og til skumming av melk og rensing av olje.

Utforming og design på separatorene varierer alt etter hvilke systemer som skal renses eller behandles. Et utall ulike maskiner er tilgjengelig, og må tilpasses systemet. Dette er maskiner som er relativt kostbare i investering og driftskostnader, men har også en høy ytelse.

For å skille suspendert stoff fra en væskeblanding, slik som blodvann fra slakteri, er sentrifuge en effektiv og aktuell teknologi. Et grovfilter bør allikevel alltid være en forgående prosess til sentrifuge. Det er mindre suspenderte stoffer med partikkelstørrelse mindre enn 1 mm som bør tas ut her, men det finnes også sentrifuger som tar ut større partikler også (to-fase-separatorene). Den tunge fasen kalles ofte slamfasen og vil ved rensing av blodvann være proteinfasen og annet partikulært stoff, mens den renere fasen kalles lettfasen og er en renere vannfase som kan føres tilbake til utblødningstanken. For ytterligere fjerning av suspendert og oppløst stoff, må finere filtrering gjennomføres, slik som membranfiltrering.

5.4.1.4 Membranfiltrering

En kort oversikt om filtrering er presentert nærmere under punkt filter over. Det finnes som tidligere nevnt, en rekke ulike filterløsninger, og disse må tilpasses og dimensjoneres etter hvordan beskaffenheten i filtermediets som skal behandles.

Dersom man ønsker å redusere suspendert og oppløst stoff ytterligere, kan membranfiltrering benyttes. Membranfiltrering fjerner partikler mindre enn 0,0001 mm. Membranfiltrering har også vist seg veldig effektiv som smittebarriere for bakterier. SINTEF har i FHF prosjektet *Membranfiltrering av vintersår bakterien Moritella viscosa* (P.nr.: 900933) vist en bakteriereduksjon på 99,99 % ved membranfiltrering. Avhengig av filtertype (porestørrelse og materialvalg), er det også mulig å fjerne både virus, samt en- og flerverdige ioner.

SINTEF har i samarbeid med en teknologileverandør tidligere gjennomført tester i et prosjekt hvor membraner ble benyttet. I dette prosjektet ble det oppnådd et tørrstoffinnhold (TS %) på 0,7 %. En praktisk talt blank løsning var resultatet.

Membranfiltrering er derimot en svært kostbar investering, og har høye driftskostnader. Det er forbundet med en viss utfordring med at filtrene tettes relativt raskt, og prosessen egner seg best til batchproduksjon. Dersom kontinuerlig prosess skal gjennomføres, må flere parallelle filter settes i drift for å opprettholde volumstrøm, og driftsmønster må legges til rette for at filter rengjøres i sekvenser.

5.4.1.5 Kjemi

I kombinasjon med noen av prosessene over, for eksempel før filtrering eller separasjon, kan flokkulanter (fellingkjemikalier) tilsettes for å øke ytelse av rensingstiltakene. Det bør benyttes kjemikalier som er godkjent for bruk i næringsmiddelindustrien og som ikke kan føre uønskede kontaminering av fisken.

I prinsippet kan koagulanter godkjent for behandling av drikkevann benyttes under rensing av vann i næringsmiddelindustri. Drikkevannsforskriftens artikkel 14 er tydelig på at godkjente kjemikalier skal benyttes i rensingssystemer, og at en liste over godkjente kjemikalier skal gjøres tilgjengelig av Mattilsynet. Alle leverandører av vannbehandlingskjemikalier må derfor søke Mattilsynet om godkjenning for hvert enkelt produkt som er tiltenkt bruk til behandling av drikkevann. Godkjenningen er gyldig i 10 år. Det må gjøres grundige vurderinger, både av teknisk, helse- og miljømessige hensyn, i valget av koaguleringsmidler.

Helsemessige aspekter vedrørende bruk av koagulanter inkluderer for eksempel maksimalt tillatt restmengde av kjemikalier og økning i konsentrasjonen av tungmetall. Koagulanter skal ideelt sett

ikke være til stede i det behandlede vannet. Det er likevel vanskelig å unngå, og det er alltid en viss restkonsentrasjon i produktet (det rensede vannet). Mattilsynet har angitt noen maksimumsverdier for konsentrasjoner ved inntak (se https://www.mattilsynet.no/mat_og_vann/drikkevann/vannforsyningssystem/vannbehandlingskjemikalier.1875). Slike maksimumskonsentrasjoner må sees på som forholdsregler, og det finnes studier som har undersøkt helserisiko assosiert med eksponering/inntak av restmetaller (Ay & Imam, 2016). For eksempel kan langvarig eksponering for lave konsentrasjoner av aluminium være en medvirkende faktor for utvikling av Alzheimers sykdom, og inntak av mer enn 200 mg jern/dag anses som giftig for mennesker. Konsentrasjonen av restmetaller blir derfor ofte sett på som en begrensende faktor for vannbehandling med koagulanter. Riktig dosering av kjemikalie er svært viktig, ikke bare for operasjonelle og økonomiske hensyn, men også for å unngå skadelige effekter for konsumenter. I noen tilfeller benyttes organiske polymerer (hjelpekoagulanter) for å øke effekten av koagulering. Slike polymerer kan inneholde rester av akrylamid eller epiklorhydrinmonomerer. Overvåkingen av disse kjemikaliene i det behandlede vannet er vanskelig. I stedet styres bruken ved å spesifisere en maksimal mengde gjenværende monomer i polymeren, og en maksimal konsentrasjon av polymer som kan tilsettes i behandlingsprosessen (som indikert i lenken fra MT over). Alle koagulanter inneholder spor av tungmetaller, og innholdet er beskrevet i produktdeklarasjonen. Imidlertid bidrar de respektive mengdene til en veldig liten, og nesten neglisjerbar, økning av slike forbindelser i sluttproduktet dersom man beregner den faktiske dosen tilsatt under behandling. En studie gjennomført av Aquateam (Storhaug & Wiedeborg, 2001) basert på en eldre versjon av *Drikkevannsforskriften* (Sosial og helsedepartementet, 1995) viste en økning i konsentrasjon på mellom 0,1 – 8,1 %. Verdien er beregnet med bakgrunn i den gjennomsnittlige dosen av koagulanter i full-skala vannbehandlingssystem i Norge. Selv om økningen ikke er signifikant, bør en slik risiko tas i betraktning. Den fremhever også behovet for prosessoptimalisering. Selv om et rensesystem er effektivt, vil det alltid være noe akkumulering av restforbindelser i det behandlede vannet. Gjenbruk og resirkulering av behandlet vann må også ta høyde for dette for å unngå negative, eller skadelige, effekter ved bruk.

Tilsvarende som ved humant konsum kan ukontrollerte utslipp av restforbindelser til miljøet føre til skadelige effekter på mikro- og makrobiota. Det er gjennomført noen studier som undersøker effekten av koagulanter på miljøet, og tester på akvatiske organismer viser at bruk av metallkoagulanter alene ikke vil øke toksisiteten i det behandlede vannet. Likevel har hjelpekoagulanter vist å ha toksisk effekt på vannmiljø (Pourrezaei et al., 2011). Dette skyldes ofte typen polymer eller monomer i hjelpekoagulanter, noe som igjen understreker viktigheten av god prosesskontroll. Effekten koagulanter har på miljøet kan også vurderes gjennom miljøavtrykket den avgir. Dette kan måles på ulike måter, men CO₂-avtrykk er uten tvil en av de mest anvendte indikatorene, og blir som regel angitt av leverandøren. Det anbefales å velge koagulanter som er mer miljøvennlige for å begrense skadelige effekter på miljøet.

Bruken av koagulanter øker slamproduksjon i behandlingsprosessen. Slam er sluttproduktet i koaguleringen og skal kontrolleres. Prosessering av slam, gjenbruk og avhending kan gi komplekse problemstillinger siden det er mange kriterier som må oppfylles (f.eks. valg av teknologi, kostnader og miljømessige faktorer) (Garrido-Baserba et al., 2015). En vurdering av kostnader assosiert med håndtering av slammet står sentralt i alle behandlingsanalyser siden håndtering av tørrstoff kan utgjøre så mye som 30 – 50 % av kostnadene ved et vannbehandlingsanlegg (Neyens et al., 2004). Det er likevel viktig å understreke at slammet inneholder ti ganger energien som kreves for behandling, og at det kan inneholde mange verdifulle ressurser (for eksempel næringsstoffer, metaller og biomasse). Slamhåndtering er derfor en viktig del av vurderingen ved bruk av kjemiske koagulanter.

I tillegg kan også et desinfeksjonstrinn introduseres for å redusere eller fjerne eventuelle uønskede biologisk materiale.

Desinfeksjonsmetoder kan deles i to hovedgrupper: mekanisk/fysisk og kjemisk. Mekaniske/fysiske metoder som er relevante for desinfeksjon av mikroorganismer i vann inkluderer UV-stråling, ultralyd og varme. På grunn av energibehov, vannvolumet som skal renses og målet om resirkulering av blodvann, er bruk av varme uaktuelt i denne sammenhengen. UV-bestråling er trolig den mest benyttede mekaniske/fysiske metoden for desinfisering innen akvakultur.

Bruk av ultralyd for desinfeksjonsformål har fått en nisje innen havbruk. Kavitasjon (dannelsen av gassbobler som deretter imploderer i en væske i løpet av et veldig kort tidsintervall) utnyttes for at desinfeksjonsprosessen skal finne sted. Kavitasjonen kan oppstå ved to mekanismer: 1) akustisk kavitasjon (dersom det oppstår ved passering av ultralydbølger), og 2) hydrodynamisk kavitasjon (dersom det oppstår som følge av variasjon i trykk i væsken). Når hulrommene oppstår frigis en stor mengde energi, noe som gir både stor trykkøkning og temperaturøkning. Under disse ekstreme forholdene dannes frie radikaler som følge av termisk dissosiering av vann og oksygen, og står for desinfeksjonseffekten av ultralydbehandling.

Kjemisk desinfeksjon er mye bruk i akvakultur. Flere ulike kjemikalier er kommersielt tilgjengelig. Kjemiske desinfeksjonsmidler faller inn under definisjonen biocider/biocidprodukter. Alle biocidprodukter skal vurderes av Miljødirektoratet for godkjenning i Norge. For noen desinfeksjonsmidler (desinfeksjonsmidler til drikkevann, akvakultur og til teknisk desinfeksjon innen sykepleie) finnes det i tillegg nasjonale godkjenningsordninger, som forvaltes av Mattilsynet og Legemiddelverket. Lister med godkjente desinfeksjonskjemikalier kan finnes på nettsidene til de respektive forvaltningsorganer. Særsilt for akvakultur gjelder også en godkjenningsordning for metoder for desinfeksjon av vann til og fra akvakulturrelaterte virksomheter. En oversikt over godkjente metoder finnes på Veterinærinstituttet sine sider (<https://www.vetinst.no/fagomrader/desinfeksjon/veileder-metoder-godkjent-for-desinfeksjon-av-vann-til-fra-akvakulturrelatert-virksomhet>). De viktigste faktorene som påvirker desinfeksjonseffektiviteten er konsentrasjon, kontakttid, temperatur og pH. Konsentrasjon av desinfeksjonsmiddelet og kontakttid er særdeles viktig for desinfeksjonskinetikk og en praktisk anvendelse av CT-konseptet ($CT = \text{konsentrasjon desinfeksjonskjemikalie} \times \text{kontakttid}$). Siden majoriteten av bakterier er festet til partikler, er det flere andre faktorer som påvirker sensitiviteten mikroorganismer har overfor desinfeksjonsmiddelet, som blant annet feste til overflater, innkapsling, aggregering og vekst ved lite tilgang på næring. Økt motstandsevne mot desinfeksjonsmidler kan skyldes tilknytning eller interaksjonen mellom mikroorganismene og ulike partikkeloverflater (WHO, 2004).

I tillegg er dannelsen av desinfeksjonsbiprodukter (DBP) viktig å vurdere. De fleste kjemiske desinfeksjonsmidler er sterke oksidanter og kan reagere med både organiske og uorganiske forbindelser i vannet. Dette kan gi kjemiske reaksjonsprodukter som potensielt kan være skadelige ved humant konsum. Tendensen ulike desinfeksjonsmidler har til å danne skadelige biprodukter (utenom de som gjelder kontroll av smittsomme sykdommer) og muligheten for å eliminere, eller unngå, uønskede biprodukter er derfor viktige faktorer som må tas med i totalvurderingen av desinfeksjonsmetoder og deres egnethet for desinfeksjon av vann.

Det bør vurderes om buffring må introduseres i prosessen dersom slike kjemikalier innføres, slik at eventuelle farer produseres ut av det rensede vannet. En oppholdstank (buffertank) kan være klokt å vurdere i slike tilfeller.

5.4.2 Strategier for bakteriell kontroll

For å kontrollere bakteriefloraen i RSW-tanken kan det velges to forskjellige strategier. Strategi *desinfeksjon* eller strategi *biologisk styring* for kontroll på bakterieflora og nivå. Det er alltid vanskelig å desinfisere et slikt system under kontinuerlig drift og slakting samtidig som blodets

verdi skal bevares i størst mulig grad. Foreløpige tanker peker mot en strategi for biologisk styring av bakteriekulturene i vannsløyfa ved bruk av biologiske filtre, temperaturkontroll, og en rensing som tar ut næringsstoffer for bakterier raskt og effektivt, og at de næringsstoffer som resirkuleres er av en slik type at de gode bakteriene vokser frem.

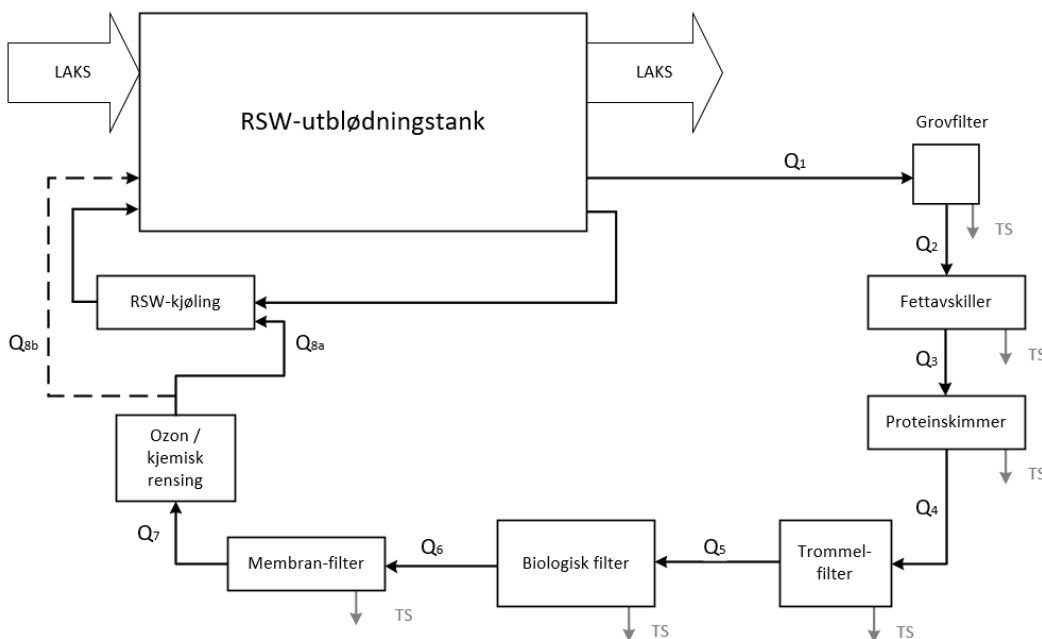
5.4.2.1 Biologisk styring

Ved å styre og kontrollere veksten av bakterier kan nivået holdes under kontroll. Gjennom riktig styring av næringsinnholdet kan det oppnås at ufarlige bakteriene dominerer og skadelige taper plass og kamp om næring.

Resirkulering og rensing av vann brukes i dag i stor utstrekning i akvakultur verden over. I Norge har denne teknologien for alvor blitt tatt i bruk for produksjon settefisk av laks fra 2005. Det bygges også matfiskanlegg med denne teknologien (Hilmarsen, Holte 2011). Resirculating Aquaculture systems (RAS) brukes for oppdrett av mange forskjellige arter. RAS-teknologien har modnet og brukes nå også på rent sjøvann som ved f.eks. ved Atlantic Sapphire Denmark (Salmon Salar) i Landsand og Kingfish Zeeland (Yellowtail Kingfish).

Renseteknologien i et RAS-anlegg fjerner partikulært materiale i partikkelfelle og trommelfilter, omdanner ammoniakk til nitritt og nitrat i biologiske filtre, fjerner CO₂, med lufting av vannet, protein tas ut med proteinskimmer og til slutt "klarnes" vannet med ozon, før det tilsettes oksygen. Det kan også være nødvendig å justere pH og alkalitet i vannet, for å holde de biologiske prosessene i systemet innenfor optimalt område.

Oppholdstid for vannet i fisketankene og renseanlegget er ligger mellom 30-50 minutter. Anleggenes begrensende faktor er biofiltrets kapasitet til å rense vannet for ammoniakk. RAS-anlegg en ytelsesbeskrivelse/dimensjonerende faktor basert på fôrmengde per døgn, f.eks. 10 000 kg per døgn i anlegget. Med en fôrfaktor på 1, vil anlegget produsere 10 tonn fiskebiomasse per dag. Prinsippene ved resirkuleringsteknologi fra oppdrett av fisk kan i stor grad overføres til rensing av vannet i RSW-utblødningstanken ved lakseslakterier.



Figur 22. Prinsippkisse for mulig rensing av blodvann med utgangspunkt i RAS-teknologi.

Et sentralt spørsmål for valg av renseteknologi for RSW-tankvannet, er om hele vannstrømmen i RSW-utblødningstankvannsløyfa skal renses, eller om en mindre delstrøm skal renses. Spørsmålet om primær, sekundær og tertiær rensing vil avhengig av volumstrøm og kjølebalansen i systemet.

For ytterligere informasjon om behandling av drikkevann og avløpsvann i vannforsyningsystemer er boken *Vann og avløpsteknikk* (Ødegaard, 2012) et godt oppslagsverk. Denne gir en generell beskrivelse av metoder og teknologier, og en grundig innføring iblant annet vannkvalitet, vannforurensning, behandling av forsyningsvann og rensing av avløpsvann.

6 Oppnådde resultater og diskusjon

Ved produksjonsstart er RSW-utblødningstanken fylt med rent, kjølt sjøvann. Forholdet mellom vann og fisk, utskiftningsgrad på blodvannet, intern sirkulering i tanken og mengde nytt vann tilsatt, er alle faktorer som påvirker vannkvaliteten i utblødningstanken over tid. Partikulært og løst organisk materiale vil gradvis akkumuleres i RSW-utblødningstankene. Synlig rød-farge observeres kort tid etter produksjonsstart.

Gjennom registreringer i to slakterier erfares det at variasjonen i bakterietall i blodvannet er ulik mellom de to slakteriene. Dette kan trolig skyldes ulike drifts- og renholdsrutiner, og grad av vannutskiftning i blødetanken er trolig en viktig faktor for konsentrasjonen av bakterier i blodvannet. Basert på resultatene fra dette prosjektet er det vanskelig å konkludere om økningen i kimtall og *Vibrio spp.* utover produksjonsdagen hovedsakelig skyldes vekst av bakterier til stede i tanken ved oppstart, tilførsel via fisken, eller i hvilken grad det skyldes en kombinasjon av dette. Veksthastigheten til bakterier avhenger av miljøet de vokser i, blant annet tilgang på næring, temperatur, vannaktivitet og pH. Kjøling av blodvannet, og opprettholdelse av en stabil lav temperatur (< 2 - 4 °C), er viktig for å begrense bakterieveksten siden andre miljøfaktorer i vannet vil kunne legge til rette for en høy veksthastighet. Driftsdata hos slakteriene viser at blodvannet holder jevn lav temperatur gjennom dagen (rundt 1 °C), og vil trolig gi begrenset vekst selv av psykotrofe bakterier som kan vokse ved lave temperaturer.

EFSA har i en rapport fra 2012 foreslått grenseverdier for rent sjøvann for håndtering, vasking og kjøling av hele og bearbejdede fiskevarer (Tabell 2). I henhold til slakteriforskriften vil bløgging medføre en endring i anatomisk helhet slik at den ikke lenger betegnes som hel, men fisken kan på dette stadiet i produksjonen sies å ha en svært begrenset bearbejdningsgrad. Grenseverdiene fra EFSA kan likevel være veiledende for hygienisk kvalitet, selv om de er beregnet på rent sjøvann.

Rent sjøvann som benyttes i utblødningstanken blir i dag renses henhold til gjeldende krav. Veiledende grenseverdier ved bruk av rent sjøvann på hele fiskevarer, og ved håndtering, vasking og kjøling av prosesserte fiskevarer, gjelder ikke for vannet i utblødningstanken (blodvannet). Slike grenseverdier er ikke kjent. I henhold til *Næringsmiddelhygieneforskriften*, 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 trykgheten til sluttproduktet) (ICMSF, 2005).

Det er et uttalt ønske fra næringen å holde bakterietallet så lavt som mulig, samt begrense mengden suspendert stoff og organisk materiale, i blodvannet. Presiseringen i næringsmiddelhygieneforskriften vedr. resirkulert vann kan, uavhengig av om det gjelder for blodvann, indikere at det bør stilles strenge krav til hygienisk kvalitet på vannet.

Det er gjennomført flere forsøk for å se på effekt av rensing av blodvann. Blodvann fra utblødningstanken ble grovfiltret og sentrifugert. Vannparameter før og etter sentrifugering ble målt. Effekt av tilsats av desfiksjonsmidler og flokkuleringsmidler har blitt evaluert. Resultat fra våre forsøk indikerer at sentrifugen gir en gjennomsnittlig reduksjon på mellom 60 og 70 % for de påviste indikatororganismene og det ble også vist at *Listeria* ble fjernet i sentrifugeringen. Sentrifugen ga en gjennomsnittlig reduksjon i turbiditet i blodvannet på hhv. 83,7 %, 82,3 % og 78,8 % ved de tre laveste fødehastighetene som ble kjørt i forsøkene. Sentrifugen var svært effektiv med tanke på reduksjon av suspender stoff (SS), med en gjennomsnittlig reduksjon på 96,3 %. Konsentrasjonen av SS etter sentrifugen var tilsynelatende uavhengig av både SS i fødevannet (blodvannet) og gjennomstrømningshastigheten på sentrifugen. UV-transmisjonen ble noe forbedret etter sentrifugen, men økningen i transmisjon reduseres i takt med økt fødehastighet. Gjennomsnittlig temperaturøkning gjennom sentrifugen var hhv. 2,5 °C, 1,4 °C og 0,6 °C ved 5, 10 og 15 m³/h.

Dersom man sammenligner vannkvalitet i utblødningstanken ved 83 % resirkuleringsgrad og baseline blødetank, er vannkvaliteten (turbiditet, SS, UV-T og mikrobiologisk vannkvalitet) om lag den samme mellom 30 – 60 minutt etter første fisk har gått i utblødningstanken dersom utgangspunktet er rent, kjølt sjøvann. Slakteriene vil da ha en relativt kort periode der fisken blør ut i vann av bedre kvalitet. Dette betyr at man bør vurdere hvor mye vann som kjøres gjennom renseprosessen. Samtidig bør man ha stor nok hastighet gjennom sentrifugen for å unngå at temperaturøkning blir for stor. Basert på resultatene i testen som ble gjennomført tyder det på at 10 m³/h er tilstrekkelig for å oppnå god rensegrad samtidig som at temperaturøkning ikke blir for høy. Gjennom prosjektet og de testene som har vært kjørt vil det anbefales å prøve ut teknologien med grovfiltrering og sentrifugering. Resultatene tyder på at det kan være tilstrekkelig for å oppnå god nok rensing til å ha bakteriell kontroll.

7 Hovedfunn

Det er gjennomført flere forsøk for å se på effekt av rensing av blodvann. Blodvann fra utblødningstanken ble grovfiltret og sentrifugert. Vannparameter før og etter sentrifugering ble målt. Effekt av tilsats av desfiksjonsmidler og flokkuleringsmidler har blitt evaluert. Resultat fra våre forsøk indikerer at sentrifugen gir en gjennomsnittlig reduksjon på mellom 60 og 70 % for de påviste indikatororganismene og det ble også vist at *Listeria* ble fjernet i sentrifugeringen. Sentrifugen ga en gjennomsnittlig reduksjon i turbiditet i blodvannet på hhv. 83,7 %, 82,3 % og 78,8 % ved de tre laveste fødehastighetene som ble kjørt i forsøkene. Sentrifugen var svært effektiv med tanke på reduksjon av suspender stoff (SS), med en gjennomsnittlig reduksjon på 96,3 %. Konsentrasjonen av SS etter sentrifugen var tilsynelatende uavhengig av både SS i fødevannet (blodvannet) og gjennomstrømningshastigheten på sentrifugen. UV-transmisjonen ble noe forbedret etter sentrifugen, men økningen i transmisjon reduseres i takt med økt fødehastighet. Gjennomsnittlig temperaturøkning gjennom sentrifugen var hhv. 2,5 °C, 1,4 °C og 0,6 °C ved 5, 10 og 15 m³/h.

Dersom man sammenligner vannkvalitet i utblødningstanken ved 83 % resirkuleringsgrad og baseline blødetank, er vannkvaliteten (turbiditet, SS, UV-T og mikrobiologisk vannkvalitet) om lag den samme mellom 30 – 60 minutt etter første fisk har gått i utblødningstanken dersom utgangspunktet er rent, kjølt sjøvann. Slakteriene vil da ha en relativt kort periode der fisken blør ut i vann av bedre kvalitet. Dette betyr at man bør vurdere hvor mye vann som kjøres gjennom renseprosessen. Samtidig bør man ha stor nok hastighet gjennom sentrifugen for å unngå at temperaturøkning blir for stor. Basert på resultatene i testen som ble gjennomført tyder det på at 10 m³/h er tilstrekkelig for å oppnå god rensegrad samtidig som at temperaturøkning ikke blir for høy.

Gjennom prosjektet og de testene som har vært kjørt vil det anbefales å prøve ut teknologien med grovfiltrering og sentrifugering. Resultatene tyder på at det kan være tilstrekkelig for å oppnå god nok rensing til å ha bakteriell kontroll.

8 Leveranser

- L0.1: Referat referansegruppemøte oppstart
- L0.2: Referat referansegruppemøte sluttmøte
- L0.3: Administrativ sluttrapport
- L0.4: Utfylt resultatmålingsskjema
- L1.1: Oppsummerende notat og referat fra arbeidsmøte
- L1.2: Notat med kravspesifikasjoner til renseteknologier
- L2.1: Vitenskapelig artikkel basert på funn i forsøket
- L3.1 Referat workshop med industriaktører
- L3.2 Notat med oversikt over relevante teknologiløsninger
- L4.1: Faglig sluttrapport
- L4.2: Populær vitenskapelig artikkel
- L4.3: Faktaark
- L4.4: ppt-presentasjon til bruk for næringen og andre interessenter

9 Referanser

Al- Mutairi N.Z., Al- Sharifi F.A., Al- Shammari S.B. Evaluation study of a slaughter- house wastewater treatment plant including contact- assisted activated sludge and DAF. Desalination. 2008;225(1–3):167–175. DOI: 10.1016/j.desal.2007.04.094

Ay, U. and Imam, T. 2016. The Role of Green Coagulants in Wastewater Treatment: A Review.

Bagge-Ravn D, Ng Y, Hjelm M, Christiansen JN, Johansen C, Gram L (2003). The microbial ecology of processing equipment in different fish industries – Analysis of the microflora during processing and following cleaning and disinfection. International Journal of Food Microbiology 87: 239-250.

Bustillo- Lecompte C.F., Mehrvar M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: a review on trends and advances. Journal of Environmental Management. 2015;161:287–302. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.07.008

Bustillo- Lecompte C.F., Ghafoori S., Mehrvar M. Photochemical degradation of an actual slaughterhouse wastewater by continuous UV/H₂O₂ photoreactor with recycle. Journal of Environmental Chemical Engineering. 2016;4(1):719–732. DOI: 10.1016/j.jece.2015.12.009

De Sena R.F., Moreira R.F.P.M., José H.J. Comparison of coagulants and coagulation aids for treatment of meat processing wastewater by column flotation. Bioresource Technology. 2008;99(17):8221–8225. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.03.014

Drikkevannsforskriften. (2016). Forskrift om vannforsyning og drikkevann. (FOR-2016-12-22-1868). Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-12-22-1868> (Hentet: 15.03.2019).

EFSA (2012). Scientific Opinion on the minimum hygiene criteria to be applied to clean seawater and on the public health risks and hygiene criteria for bottled seawater intended for domestic use. EFSA Journal 2012;10(3):2613

Erikson U, Hultmann L, Steen JE (2006). Live chilling of Atlantic salmon (*Salmo salar*) combined with mild carbon dioxide anaesthesia. I. Establishing a method for large-scale processing of farmed fish. Aquaculture 252: 183-198.

Erikson U (2008) Live chilling and carbon dioxide sedation at slaughter of farmed Atlantic salmon: A description of a number of commercial case studies. Journal of Applied Aquaculture 20: 38-61.

Garrido-Baserba, M., et al., Selecting sewage sludge treatment alternatives in modern wastewater treatment plants using environmental decision support systems. Journal of Cleaner Production, 2015. 107: p. 410-419

Gürel L., Büyükgüngör H. Treatment of slaughterhouse plant wastewater by using a membrane bioreactor. Water Science and Technology. 2011;64(1):214–219. DOI: 10.2166/ wst.2011.677

Løvdaal T, Giske LAL, Bjørlykhaug E, Eri IB, Mork OJ (2017). Hygienic standards and practices in Norwegian salmon processing plants. Journal of Hygienic Engineering and Design, November 2017: 3-11.

Møretrø T, Moen B, Heir E, Hansen AÅ, Langsrud S (2016). Contamination of salmon fillets and processing plants with spoilage bacteria. *International Journal of Food Microbiology* 237: 98-108.

Neyens, E., et al., Advanced sludge treatment affects extracellular polymeric substances to improve activated sludge dewatering. *Journal of Hazardous Materials*, 2004. 106(2-3): p. 83-92.

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: 15.03.2019).

Sosial og helsedepartementet. 1995. *Forskrift om vannforsyning og drikkevann m.m.*

Storhaug, R. and M. Wiedeborg. 2001. Kartlegging av bruk av tilsetningsstoffer i drikkevann, Aquateam Rapport nr.: 01-009.

Prestvik Ø, Erikson U, Arff J (2010). Bruk av Salsnes filtertechnologi for fjerning av lakselus fra pumpevann ved et lakseslakteri. SINTEF-rapport SFH80 A104017, 14 sider.

Pourrezaei, P., et al. 2011. The Impact of Metallic Coagulants on the Removal of Organic Compounds from Oil Sands Process-Affected Water. *Environmental Science & Technology*. 45(19): p. 8452-8459.

Richardsen et. al (2018), Analyse av marint restråstoff, 2017 – Tilgang og anvendelse av marint restråstoff i Norge. SINTEF-rapport 2018:00693.

Rubinrapport nr. 188 (2010), Lakseblod som ingrediens i petfood. Tørking i pilotskala med bevaring av koaguleringssevne.

World Health Organization. 2004. *Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking Water*. Edited by Mark W LeChevallier and Kwok-Keung Au. ISBN: 1 84339 069 8. Published by IWA Publishing, London, UK