



Miljø- og
Ligestillingsministeriet
Miljøstyrelsen

InnoFlot Ressourceeffektiv genanvendelse af lossevand gennem innovativt flotationskoncept MUDP-projekt

MUDP Rapport

August 2025

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Rune Dall Harpøth, Teknologisk Institut

Caroline Kragelund Rickers, Teknologisk Institut

Erik Jessen Jürgensen, BIO-AQUA

Martin Kuipers Kjærgaard, TripleNine Thyborøn

Thomas Rosenkilde Sørensen, TripleNine Thyborøn

ISBN: 978-87-7564-039-3

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram

Projektet, som er beskrevet i denne rapport, er støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet, der støtter udvikling, test og demonstration af miljøteknologi.

MUDP investerer i udvikling af fremtidens miljøteknologi til gavn for klima og miljø i Danmark og globalt, samtidig med at dansk vækst og beskæftigelse styrkes. Programmet understøtter dels den bredere miljødagsorden, herunder rent vand, ren luft og sikker kemi, men understøtter også regeringens målsætninger inden for klima, biodiversitet og cirkulær økonomi.

Det er MUDP's bestyrelse, som beslutter, hvilke projekter der skal modtage tilskud. Bestyrelsen betjenes af MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen.

MUDP-sekretariatet i Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35, 5000 Odense J Tlf. +45 72 54 40 00

Mail: ecoinnovation@mst.dk
[MUDP's hjemmeside](#)

Denne slutrapport er godkendt af MUDP, men det er alene rapportens forfatter/projektlederen, som er ansvarlige for indholdet. Rapporten må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Summary and conclusion	5
2.	Sammenfatning og konklusion	8
3.	Introduktion	11
3.1	Baggrund for projektet	11
3.2	Formål	12
4.	Sammensætning af lossevand	14
5.	Design og etablering af nyt fuldskala flotationssystem hos TripleNine	16
5.1	Opbygning af flotationsanlæg	16
6.	Implementering af flotationsanlægget	18
6.1	Cyklonfilter som yderlig forbehandling	20
6.2	Flokkulering af lossevand og metoder til bestemmelse	21
6.2.1	Evaluerig af sundhedsrisici ved recirkulering af vand og skum	23
6.2.2	Effekt af flokkulant type og dosering	24
6.3	Afprøvning af driftsscenerier for flotationssystemet	27
6.4	Syretilsætning som forbehandling	30
6.4.1	Syretilsætning og holdbarhed af lossevand	33
7.	Efterbehandling af lossevandet	36
7.1	Efterbehandling af rensat lossevand	36
7.1.1	Flotation med konventionel flokkulant	36
7.1.2	Effekt af koagulering	37
8.	Konklusion	40
8.1	Konklusion	40
9.	Næste skridt	41

1. Summary and conclusion

Pilot-scale experiments conducted at TripleNine showed particularly promising results back in 2018, and based on this, the InnoFlot project was submitted and approved as a lighthouse project under MUDP, with a project period from 2019 to 2023. However, the InnoFlot project has faced several challenges due to a lack of fish and COVID but builds on the successful experiences from the original pilot study. The pilot-scale trials documented a possible reduction in water consumption through flotation and recirculation of up to 75%. At the same time, it was estimated that annual savings of up to 300 tons of coal and 175,000 Nm³ of gas could be achieved, primarily because less water would need to be directed into the factory for evaporation.

The establishment of a flotation system for treating process water during unloading has enabled TripleNine to continuously remove dry matter from the water, allowing for longer water reuse periods and reducing overall water consumption. Currently, there is insufficient data to quantify water savings, but results from previous pilot-scale projects have shown savings of around 50% and corresponding energy savings due to reduced evaporation requirements. The technology concept consists of 3 flotation units that can be operated in different ways, depending on the process water to be treated, see FIGURE 1. The first two units can be operated:

- in parallel operation without flocculant (1-step flotation)
- in serial operation with the addition of food-grade flocculant (2-step flotation)

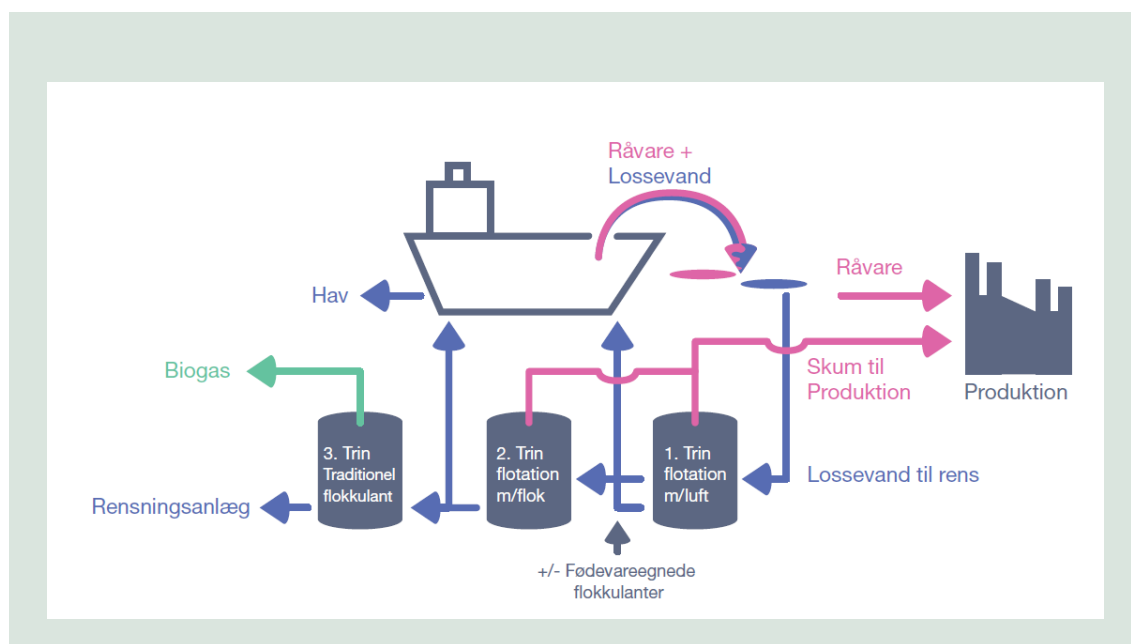


FIGURE 1. Illustration of the technology concept used during unloading where raw material is mixed with process water. The raw material is transported into the factory, and the process water is directed to the flotation system where it is cleaned in either one or two steps, with or without food-grade flocculant as needed. In the third flotation step, final polishing of the process water is performed before discharge to the treatment plant.

Large variations in process water is challenging the technology

The characterization of process water showed significant variations in composition, which greatly impacts subsequent treatment. Dry matter content varied between 2% and 31%, averaging 11%, with the majority being organic material (71-96%). pH values remained relatively stable between 6.4 and 7.8, while marked fluctuations were observed in both salt concentration and COD content. Several factors affect process water characteristics, including technical aspects such as unloading infrastructure, raw material composition, and seasonal variations particularly affecting fish fat content and consistency during unloading. Operational conditions further contribute to variations. Larger vessels often use their own unloading systems and various preservation methods, including both cooling and chemical preservation. The choice between fresh and salt water, along with different preservatives, directly affects water pH and chloride content. Additionally, process water characteristics change during unloading due to recirculation.

Experiments using flocculants

Various types of food-grade flocculants were tested in the project to find the most suitable one, which was then tested throughout the project at laboratory, pilot, and full scale. The challenge with using food-grade flocculants relates partly to very high prices and significantly lower efficiency compared to conventional polyacrylamide-based flocculants. HEPPIX A was identified as the optimal food-grade flocculant with a dosage of 1333 ppm at pH 6. Lower pH values reduced flocculant requirements, improving operational economics. Safety-wise, the chitosan-based flocculants are approved in the Feed Materials Register, and the concentration in the finished fishmeal (0.76 g/kg) is below the threshold limit.

pH adjustment to 4.5 with soft acid proved effective for both pH regulation and bacterial growth inhibition. Using nitrogen as flotation gas supports this antimicrobial effect and enables process water reuse between unloadings. However, challenges remain with high flow and dry matter loading, requiring further optimization before the technology can be fully implemented at industrial scale.

Experiments using sensor for improved operation

Furthermore, relevant operational parameters were identified, and sensors implemented to potentially enable real-time operational optimizations and shifts between operating scenarios. The sensors, measuring dry matter content, pH, and conductivity, are operational, but throughout the project, data could only be collected retrospectively and thus hasn't been used for active control during unloading; a system for continuous processing of sensor data is still needed.

Additional pretreatment methods are required

The project focused on testing additional pre-treatment methods as the already implemented rotary sieves weren't effective enough in removing particles such as fish skin, scales, and ear stones. Several modifications of receiving tanks and flotation system were implemented due to handling large amounts of dry matter that would otherwise settle in the flotation towers. Very high flows and high dry matter loads have challenged successful continuous operation and technology implementation. It hasn't been possible in the project to achieve successful operation of the flotation system. Therefore, process water continues to be directed into production where the water is evaporated. When handling perishable feed/food, focus on preservatives in ship cargo, temperature control, and pH is also required. This isn't the case for all ships landing fish, resulting in great variation in the "product" that the flotation system must handle.

Pretreatment prior to discharge to wastewater treatment plant

The third flotation unit operates solely for conditioning treated process water before discharge to Lemvig treatment plant. This third flotation step treats process water that can no longer be reused, aiming to extract maximum dry matter before discharge. Here, conventional polyacrylamide-based flocculant (Praestol K133L) is used, as the foam fraction with less than 2%

dry matter is used for biogas rather than fishmeal. The post-treatment achieved 42% reduction in dry matter and 22% in COD, where the low COD reduction is due to most particulate COD being removed in earlier steps. Tests with iron sulfate as coagulant showed best results with a combination of 50 ppm iron sulfate and 100 ppm flocculant, reducing dry matter content from 6.5% to 3.5%.

Electrocoagulation was tested as an alternative and achieved, after 10 minutes of treatment, a reduction in dry matter from 6.5% to 3.8% and in COD from 71,000 to 30,000 mg/L, with concentration in the foam phase reaching 13.9% dry matter. The process proved independent of pH between 4 and 6.

Framework challenging

The project has also faced political challenges including Corona, Brexit, and the war in Ukraine. Corona shut down the country several times, making factory visits for technology optimization difficult. Brexit has influenced which waters could be fished from, resulting in declining raw material quantities. The project's completion has therefore been delayed due to lack of fish, which naturally has complicated the required technology optimization. Additionally, energy prices have risen significantly due to the war, leading to the shutdown of a production line in fishmeal production during the project.

However, flotation technology has great potential in other industries with high water consumption and need for dry matter reduction. The technology enables significant reductions in water consumption through effective cleaning and recirculation, which in turn leads to lower energy consumption for heating and evaporation. This achieves environmental benefits with reduced CO₂ emissions while significantly improving wastewater quality. The economic benefits are estimated to be significant, as companies can achieve lower operating costs through reduced resource consumption and the possibility of increasing the value of by-products. The technology's broad applicability makes it particularly interesting for various industrial sectors, where it can contribute to the development of more circular production methods. This also opens opportunities for technology export and thus supports both environmental and economic objectives in modern industrial production.

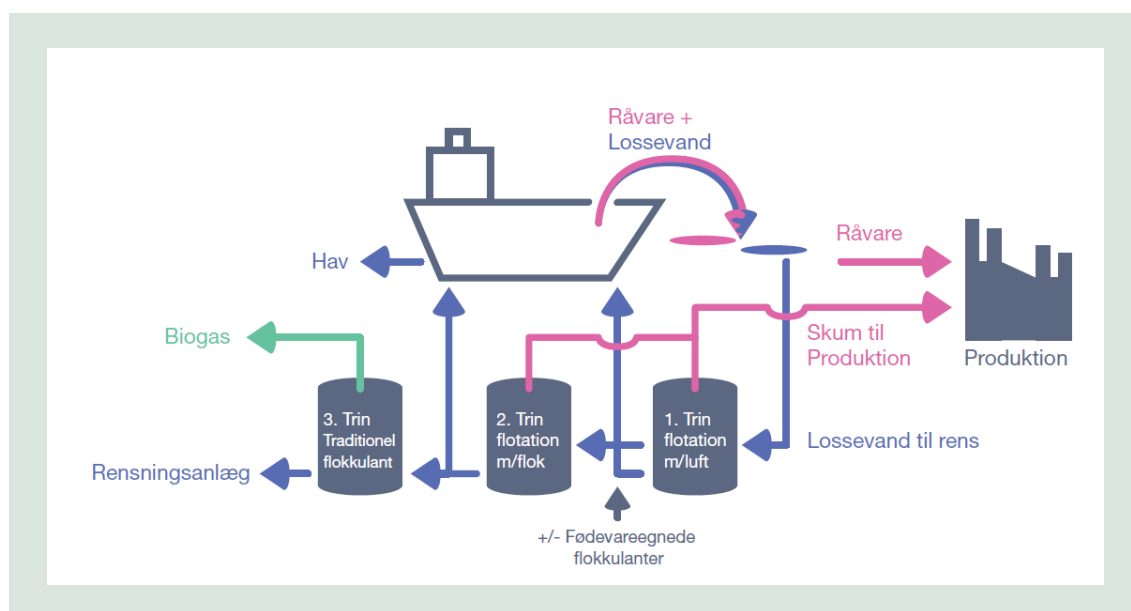
2. Sammenfatning og konklusion

Pilotskala forsøg udført ved TripleNine viste særdeles lovende resultater tilbage i 2018 og på denne baggrund blev InnoFlot-projektet indsendt og bevilget, som et fyrtårnsprojekt under MUDP med en projektperiode fra 2019 til 2023. InnoFlot-projektet har dog været udfordret af flere pauser på grund af manglende fisk, COVID men bygger videre på de vellykkede erfaringer fra det oprindelige pilotforsøg. Pilotskalaforsøg dokumenterede en mulig reduktion i vandforbrug gennem flotation og recirkulation på op til 75%. Samtidig blev det estimeret at man årlige kunne opnå besparelser på op til 300 tons kul og 175.000 Nm³ gas, primært fordi mindre vand skulle ledes ind i fabrikken til inddampning.

Etableringen af et flotationsanlæg til behandling af lossevand under losningen, har gjort Triple-Nine i stand til kontinuerligt at fjerne tørstof fra lossevandet, hvorved vandet kan genbruges i en længere periode, så det samlede vandforbrug reduceres. Der er på nuværende tidspunkt ikke datagrundlag for at kvantificere vandbesparelsen, men resultater fra tidligere projekter i pilotskala har vist besparelser i omegnen af 50% og en tilsvarende energibesparelse da mindre vand skal inddampes.

Teknologikonceptet består af 3 flotationsenheder, der kan betjenes på forskellige måder, afhængigt af lossevandet, der skal behandles, se FIGUR 2. De to første enheder kan betjenes

- i parallel drift uden flokkulant (1-trinsflotation)
- i serie drift med tilsætning af fødevare-egnet flokkulant (2-trinsflotation)



FIGUR 2. Illustration af teknologikonceptet som anvendes under losning hvor råvaren blandes med lossevand. Råvaren transporteres ind på fabrikken og lossevandet ledes til flotationsanlægget hvor det renses i enten et eller to trin, med eller uden fødevareegnet flokkulant efter behov. I tredje flotationstrin foretages en efterpolering af lossevandet forud for tilledning til renseanlæg.

Flotationssystemet muliggør skift mellem flotation med og uden fødevareegnede flokkulanter med henblik på at opnå optimal og rentabel råvareudnyttelse samt sikre en effektiv rensning af losse vandet.

Stor variation i losse vandet udfordrer teknologien

Karakteriseringen af losse vandet viste betydelige variationer i sammensætningen, hvilket har stor betydning for den efterfølgende behandling. Tørstofindholdet varierede mellem 2% og 31%, med et gennemsnit på 11%, hvor hovedparten bestod af organisk materiale (71-96%). pH-værdien lå relativt stabilt mellem 6,4 og 7,8, mens der blev observeret markante udsving i både saltkoncentration og COD-indhold. Flere faktorer påvirker losse vandets karakteristika bl.a. tekniske forhold som omfatter losningsinfrastrukturen, råvaresammensætningsamt sæsonvariationer påvirker særligt fiskenes fedtindhold og dermed deres konsistens under losning. Driftsmæssige forhold bidrager yderligere til variationerne. Større skibe anvender ofte egne losningssystemer og forskellige former for konservering, herunder både køling og kemisk konservering. Valget mellem fersk- og saltvand, samt brugen af forskellige konserveringsmidler, påvirker direkte vandets pH-værdi og kloridindhold. Samtidig ændrer losse vandets karakteristika sig under selve losningen på grund af recirkulering.

Forsøg med flokkulanter

Der har været afprøvet forskellige typer af fødevareegnede flokkulanter i projektet, for at finde den bedst egnede som så er blevet afprøvet undervejs i projektet i både laboratorie-, pilot-, og fuldskala. Udfordringen ved at anvende fødevareegnede flokkulanter er knyttet dels til de meget høje priser, samt en markant lavere effektivitet sammenlignet med konventionelle polyakrylamid baserede flokkulanter. HEPPIX A blev identificeret som den optimale fødevareegnede flokkulant med en dosering på 1333 ppm ved pH 6. Lavere pH-værdier reducerede flokkulantbehovet, hvilket forbedrer driftsøkonomien.

Sikkerhedsmæssigt er de kitosan-baserede flokkulanter godkendt i Fodermiddelfortegnelsen, og koncentrationen i det færdige fiskemel (0,76 g/kg) ligger under bagatelgrænsen.

pH-justering til 4,5 med soft acid viste sig effektiv til både pH-regulering og hæmning af bakterievækst. Anvendelse af kvælstof som flotationsgas understøtter denne antimikrobielle effekt og muliggør genbrug af losse vand mellem losninger. Der er dog fortsat udfordringer med højt flow og tørstofbelastning, som kræver yderligere optimering før teknologien kan implementeres fuldt ud i industriel skala.

Forsøg med sensorer til forbedret drift

Endvidere blev der foretaget identifikation af relevante driftsparametre og implementeret sensorer, så driftsoptimeringer og skift mellem driftsscenarier potentielt kan foretages i realtid.

Sensorerne, som måler tørstofindhold, pH og ledningsevne, er i drift, men data har undervejs i projektet kun kunnet indhentes på bagkant og er således ikke blevet brugt til aktiv styring under losningerne; hertil mangler et system til løbende behandling af sensordata.

Flere forbehandlingsmetoder er nødvendige

I projektet har der været fokus på at afprøve yderligere forbehandlingsmetoder idet de allerede implementerede rotosiever ikke var effektive nok til at fjerne partikler som fiskeskind, skæl og øresten. Dertil er der implementeret flere modifikationer af modtagetanke og modificering af flotationsanlæg grundet håndtering af store tørstof mængder der ellers ville bundfælde i flotationsstærnene. Meget høje flows samt stor tørstof belastning har udfordret en succesfuld kontinuerlig drift og implementering af teknologien. Det har ikke været muligt i projektet at komme i mål med en succesfuld drift af flotationsanlægget. Derfor ledes losse vandet fortsat ind i produktionen hvor vandet fordampes, når der landes fisk i Thyborøn.

En stigende andel af de fisk, der bearbejdes til fiskemel og -olie, bliver nu transporteret med lastbiler fra andre havne, hvor selve losningen har fundet sted. Når man håndterer letfordærlige råvarer til foder eller fødevarer, er det desuden nødvendigt at være særligt opmærksom på brugen af konserveringsmidler i lasten på skibene samt styringen af både temperatur og

pH-værdi. Dette gælder dog ikke for alle skibe, der lander fisk, og derfor er der meget stor variation i kvaliteten af det "produkt", som flotationsanlægget skal behandle.

Forrensning før tilledning til centralrenseanlæg

Den tredje flotationsenhed betjenes udelukkende som konditionering af det behandlede lossevand forud for tilledning til Lemvig renseanlæg. Det tredje flotationstrin behandler lossevand, der ikke længere kan genanvendes, med det formål at udvinde mest muligt tørstof til forbedret biogasudnyttelse før tilledning til renseanlæg. Her skal anvendes konventionel polyakrylamid-baseret flokkulant (Praestol K133L), da skumfraktionen med under 2% tørstof anvendes til biogas frem for fiskemel. Efterbehandlingen (3. flotationstrin) opnåede 42% reduktion i tørstof og 22% i COD, hvor den lave COD-reduktion skyldes, at hovedparten af det partikulære COD var fjernet i tidligere trin. Tests med jernsulfat som koagulant viste bedst resultat ved kombination af 50 ppm jernsulfat og 100 ppm flokkulant, hvilket reducerede tørstofindholdet fra 6,5% til 3,5%.

Elektrokoagulering blev testet som alternativ og opnåede efter 10 minutters behandling en lovende reduktion i tørstof fra 6,5% til 3,8% og i COD fra 71.000 til 30.000 mg/L, med en opkoncentrering i skumfasen til 13,9% tørstof. Processen viste sig uafhængig af pH mellem 4 og 6.

Efterskrift – rammesættende udfordringer

Projektet har i perioden været udfordret med både Corona, Brexit og krigen i Ukraine. Corona lukkede jo som bekendt landet ned af flere omgange og det har vanskeliggjort besøg på fabrikken ift. teknologioptimeringer. Brexit har haft indflydelse på hvilke farvande der har kunnet fiskes fra, og en konsekvens heraf, er faldende råvaremængder. Projektets afslutning har derfor været udskudt grundet manglende fisk, som naturligvis har vanskeliggjort den påkrævede teknologioptimering. Dertil kommer, at energipriserne som følge af krigen, er steget meget, hvilket har bevirket at der undervejs i projektet, er lukket ned for en linje i fiskemelsproduktionen. Vandbesparelse som følge af flotationsteknologien, opvejes af de stigende energipriser, og kombineret med at mange fisk landes i andre havne og transporteres til Thyborøn.

Flotationsteknologien har dog store perspektiver inden for andre industrier med stort vandforbrug og behov for en reduktion af tørstof jf. erfaringer fra mejerier, slagterier, men også fra fiskeindustrien hvor konsumfisk eller skaldyr håndteres. Teknologien muliggør markante reduktioner i vandforbrug gennem effektiv rensning og recirkulation, hvilket igen medfører lavere energiforbrug til opvarmning og inddampning, da mindre vandmængder skal fordampes. Der ved opnås miljømæssige gevinster med reduceret udledning af CO₂, samtidig med at spildevandskvaliteten forbedres væsentligt. De økonomiske fordele vurderes til at kunne være betydelige, da virksomhederne kan opnå lavere driftsomkostninger gennem reduceret ressourceforbrug og mulighed for at øge værdien af restprodukter. Teknologiens brede anvendelighed gør den særligt interessant for forskellige industrisektorer, hvor den kan bidrage til udviklingen af mere cirkulære produktionsformer. Dette åbner også muligheder for teknologiekspert og understøtter dermed både miljømæssige og økonomiske målsætninger i moderne industriel produktion.

3. Introduktion

Flotationskonceptet som i projektet er blevet implementeret i fuldskala hos TripleNine er blevet udviklet og optimeret gennem en årrække i flere på hinanden følgende udviklingsprojekter, som alle er støttet af Miljø- og Ligestillingsministeriets Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP). Potentialet i teknologikonceptet er tidligere demonstreret ved flotationsforsøg i pilotskala under afprøvning og udvikling af et fødevareegnet flotationskoncept i MUDP-projekterne FloTek (2016-2017)¹, FlotFood (2018-2019)², hvor testene blev gennemført på rejeprocessvand. Fælles for de to tidligere MUDP-udviklingsprojekter er, at der har været arbejdet på en rejeprocesseringsfabrik, hvor der er mindre variation i det procesvand der skal behandles (hhv. friske rejer og dobbeltfrosne rejer). For yderligere detaljer, se gerne slutrapporterne, der er publicerede under Ecoinnovation.

I nærværende projekt er der også blevet inddraget viden fra MUDP-støttet BioFlok projektet (2020-2021)³ som omhandlede karakterisering og anvendelsen af fødevareegnede flokkulanter, i forbindelse med spildevandsrensning. Derudover, er det udarbejdet en risikovurdering af sundhedsrisici ved recirkulering af vand og skumfraktion i forbindelse med brug af flokkulanter af forskere fra DTU Fødevareinstituttet, data ikke vist.

TripleNine er blandt de største fiskemel og fiskeolie producenter til animalsk produktion, og der landes forskellige fiskearter i løbet af året, bestemt af fiskekvoter. Skibene der lander fiskene, inkluderer både store og mindre skibe, hvor nogle har eget lossesystem, mens andre benytter TripleNines system. Typisk opnås en mere skånsom losning, hos skibe der har egen lossefaciliteter, hvilket afspejles på kvaliteten af fisk og mængder der kan ledes direkte ind i produktionsfaciliteterne. Som forbehandling af lossevandet, blev der implementeret rotosiever tromlesigter med spalteåbninger for derved at kunne fjerne fiskerester og fiskeskind, inden flotationsanlægget. InnoFlot projektet blev påvirket af usikkerheden relateret til Brexit og de reducerede fiskekvoter

En anden udfordring var krigen i Ukraine, som dels sendte energipriserne på himmelflugt og dels truede forsyningssikkerheden. Elektrificeringen af TripleNines inddampere var ikke var realiseret på dette tidspunkt, og derfor blev de kulbaserede inddampere anvendt stedet. Dog blev et produktionsspor i fabrikken nedlukket.

3.1 Baggrund for projektet

TripleNine Group er med deres produktion i Danmark, Norge og Chile, blandt verdens førende fiskemelsproducenter. TripleNine i Thyborøn ligger desuden blandt de bedste ift. implementering af "bedste tilgængelige teknikker" i produktionen. For at fastholde denne position og samtidig forbedre konkurrenceevnen, blev der gennemført store investeringer ved TripleNine's produktionsfaciliteter i Thyborøn. Inden etableringen af flotationsanlægget blev der investeret massivt i havneanlægget i Thyborøn, af både Thyborøn havn og af TripleNine. I alt blev der investeret 75 mio. kr.

Inden etableringen af flotationskonceptet, blev der gennemført et pilotskalaforsøg på lossevand fra TripleNine i 2018, hvor det var muligt at opnå følgende ressourcereduktioner: 75% reduktion i vandforbrug gennem rensning ved flotation og recirkulation, og derudover besparelser på hhv. 300 tons kul og 175.000 Nm³ gas/år, grundet mindre vand ledes ind i fabrikken til

¹ <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/06/978-87-93710-31-3.pdf>

² <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2021/04/978-87-7038-294-6.pdf>

³ <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2024/02/978-87-7038-588-6.pdf>

inddampning. Samlet set blev disse ressourcereduktioner opgjort som en miljøbesparelse svarende til: 905 tons CO₂/år, 590 kg CO/år, 1095 kg NO_x/år samt 1215 kg SO₂/år. Pilotskalafor søget understregede således potentialet i flotationsteknologien ift. at opnå signifikante reduktioner i ressourceforbrug og emissioner fra fabrikken. På baggrund af disse resultater, blev der InnoFlot-projektet ansøgt under MUDP, som et fyrtårnsprojekt.

TripleNine i Thyborøn anvender årligt ca. 16.000 m³ vand til losning af fisk. Under losningen genbruges vandet, indtil mængden af tørstof (fiskerester) gør vandet så viskøst at det vanskeliggør yderligere genbrug. Lossevandet er blevet for viskøst, ledes det herefter ind på fabrikken, hvor det processeres på lige fod med råvaren, dvs. at lossevandet skilles i hhv. en oliefraktion og en tykkere fraktion bestående af fiskerester der ledes til inddampning. Etableringen af et flotationsanlæg til behandling af lossevand, vil gøre TripleNine i stand til kontinuerligt at fjerne tørstof fra lossevandet og dermed øge muligheden for vandgenbrug i en længere periode, så det samlede vandforbrug reduceres. Flotation kan vha. mikroskopiske luftbobler samt evt. tilsætning af flokkulant, løfte fedt og protein op i et skumlag. Tørstoffet, som samles i flotationsskummet, vil samtidig kunne ledes ind i produktionen i en mere koncentreret form, hvorved energiforbruget til de efterfølgende delprocesser bl.a. inddampning reduceres, og en signifikant miljøreduktion i emissioner derved kan opnås. Efter endt losning skal lossevandet renses til en kvalitet, der kan ledes direkte til renseanlæg.

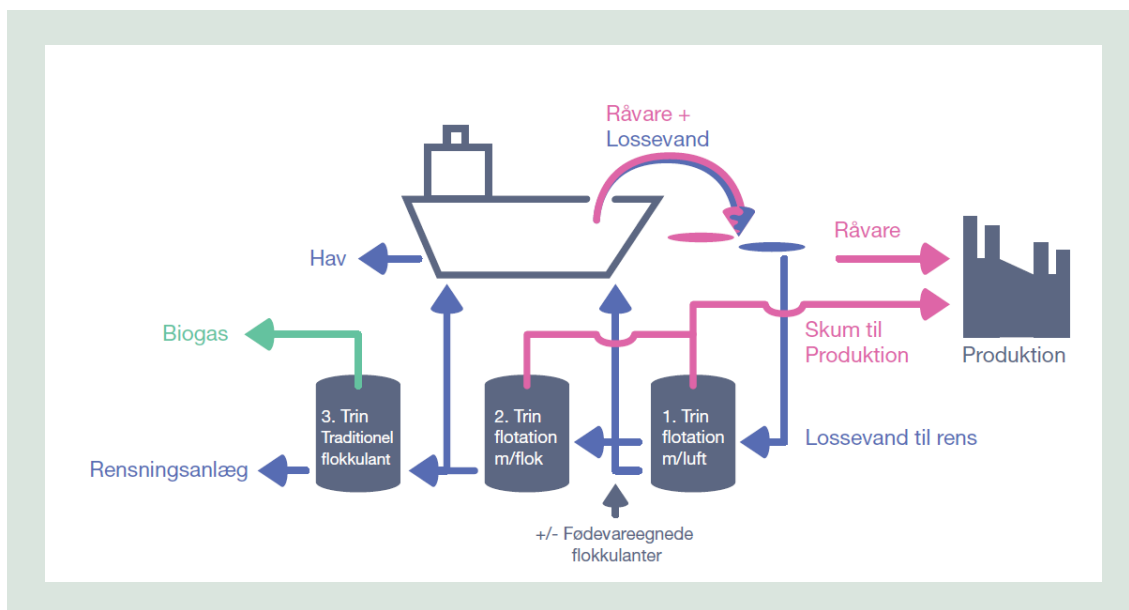
3.2 Formål

Hovedformålet med dette fyrtårnsprojekt var at udvikle og implementere et innovativt flotationskoncept i fuldskala hos fiskemel- og olieproducenten TripleNine i Thyborøn, i tæt samarbejde med Teknologisk Institut, Lemvig Vand og BIO-AQUA. Flotationskonceptet består af 3 flotationsenheder, der kan betjenes på forskellige måder, afhængigt af lossevandet, der skal behandles. De to første enheder kan betjenes i to forskellige driftsscenarier:

- Parallel drift uden flokkulant (1-trinsflotation, kun med luft)
- Seriel drift med tilsætning af en fødevare-egnet flokkulant (2-trinsflotation, luft i trin 1, fødevareegnet flokkulant i trin 2)

Den tredje flotationsenhed tjener udelukkende som konditionering af lossevandet inden tilledning til Lemvig renseanlæg. Her anvendes en billigere polyakrylamid-baseret flokkulant, fremfor en fødevareegnet flokkulant, og flotationsskummet kun kan bruges til biogasproduktion, og spildevandet blandes med kondensat fra inddamperne som samlet ledes til renseanlæg. Teknologikonceptet er illustreret i FIGUR 1.

Projektet havde ydermere til formål at identificere fødevareegnede flokkulanter, som skal muliggøre anvendelsen af flotationsskummet i produktionen af fiskemel. Projektets oprindelige formål var desuden at kunne udvikle og implementere et datadrevet styringssystem baseret på kontinuerlige sensormålinger, så driftsoptimeringer og skift mellem driftsscenarier kan foretages i realtid. Der er behov for at reducere den partikulære belastning, i form af fiskerester og fiskeskind, i lossevandet ved filtrering i et Rotosive anlæg. Dette gøres med henblik på at reducere overfladebelastningen i de efterfølgende flotationstårne. Rotosiver anlægget var ikke en del af indeværende fyrtårnsprojekt. Dog har effektiviteten af Rotosiver anlægget været kompromitteret, hvilket har vanskeliggjort den endelige udvikling og implementering af teknologikonceptet. Utilstrækkelig forbehandling kombineret med den store variation af lossevandskvalitet, havde en stor indvirkning på flotationsteknologiens effektivitet. Mængden af tørstof og lossevand fra skibene var til tider så stor, at lossevandet ikke havde tilstrækkelig opholdstid i flotationsanlægget, som derved ikke kunne fungere optimalt ift. separation af tørstof.



FIGUR 3. Illustration af teknologikonceptet som anvendes under losning hvor råvaren blandes med lossevand. Råvaren transporteres ind på fabrikken og lossevandet ledes til flotationsanlægget hvor det renses i enten et eller to trin, med eller uden fødevareegnet flokkulant efter behov. I tredje flotationstrin foretages en efterpolering af lossevandet forud for tilledning til renseanlæg.

Konklusionen på dette, blev at nedprioritere udvikling af styresystemet, og i stedet fokusere på identifikation og tests af nye innovative forbehandlingsteknologier for at sikre optimal drift af flotationsanlægget. Derfor blev der testet forskellige former for forbehandling for at sikre en velfungerende flotation.

4. Sammensætning af lossevand

Lossevandets sammensætning varierede markant med stor variation i blandt andet tørstofindhold og saltkoncentration (TABEL 1). Tørstofindholdet varierede mellem 2 og 31 % og bestod hovedsageligt af organisk materiale. Forholdet mellem indholdet af organisk materiale og indholdet af kemisk iltbehov (COD, Chemical Oxygen Demand) lå mellem 2,5 – 3, hvilket tyder på at det organiske materiale for en stor del var fiskefedt. Askeindholdet af losse vandet består hovedsageligt af fiskenes øresten samt NaCl som stammer dels fra fisken og dels fra havvand.

TABEL 1. Overblik over losse vandets sammensætning.

Parameter	Minimum	Maksimum	Gennemsnit
Tørstof (%)	2	31	11 ± 10
Organisk materiale (% af tørstof)	71	96	84 ± 9
Kemisk iltbehov (COD, g/L)	12	346	142 ± 121
Totalt kvælstof (mg/L)	446	5236	3.077 ± 1.724
Ammonium (mg/L)	103	2110	979 ± 755
Klorid (mg/L)	804	10.320	5.602 ± 3.024
Zetapotientiale (mV)	-19	-6	-11 ± 5
pH	6,4	7,8	6,8 ± 0,4

Der er forskellige omstændigheder der påvirker losse vandets sammensætning. Dels har den anvendte losningsinfrastruktur en betydning, såvel som skibets størrelse og forbrug af vand. Nogen skibe har sin egen losningsinfrastruktur, som er mere skånsom overfor fiskene, hvilket betyder at fiskene i højere grad forbliver intakte under losningen og losse vandet vil i så fald indeholde mindre tørstof. Mængden af vand i lasten varierer fra 25 op til 250 m³, og en del af dette vand skal håndteres kontinuerligt under losningen. Størrelsen på skibene der lossrer fisk varierer betydeligt; fra mindre både med en last på 10 tons op til store fartøjer med en last på 3200 tons. Både fiskeart og sæson for losning, påvirker losse vandets kvalitet. Den primære fiskeart, der producerer fiske- olie og mel, er brisling som tegner sig for mere end 55%, derudover anvendes tobis, blåhvilling, sild og sperling. Afhængigt af sæsonen, varierer visse fiskearter som fx tobis ift. mængden af olie/fedt, hvilket igen har en indvirkning på, hvor blød fisken er, og hvor let den går i stykker under losningen.

Der er en tendens til at der landes fisk fra større skibe med eget losningssystem, og fiskene opbevares i ferskvand eller saltvand, med og uden køl. De større skibe benytter dog i visse tilfælde konserveringsmiddel til opbevaring af fangsten som fx syre, der øger fiskenes holdbarhed. Både selvlossersystemet og brug af konserveringsmiddel fremmer genbrug af losse vandet efter flotationsbehandling. Det anvendte konserveringsmiddel varierer desuden mellem

skibene, og det kan have stor indflydelse på lossevandets pH og kloridindhold om der er anvendt eddikesyre eller havvand, ligesom det også påvirker fiskekvaliteten og dermed tørstofindholdet. Desuden recirkuleres losse vandet under losningen, hvilket betyder at losse vandet ændrer karakter undervejs.

På baggrund af disse karakteristika af losse vandets beskaffenhed, blev de mest betydende parametre for den kontinuerlige rensning af losse vandet identificeret. Mængden af tørstof var således af allerstørste betydning, efterfulgt af saltindhold og evt. brug af konserveringsmiddel. Der blev derfor investeret i sensorer til måling af tørstof (TS) samt ledningsevne og pH. Viden om den indgående fiskeart, kvalitet og evt. konservering, skal sammen med flotationsanlægget realisere den mulige vand- og ikke mindst energibesparelse i form af reducerede emissioner fra fiskemelsprocessen. For TripleNine er både vandbesparelsen og reduktion i emissioner gennem reduktioner af energi og CO₂, en vigtig driver ift. at være blandt de førende fiskemelsproducenter.

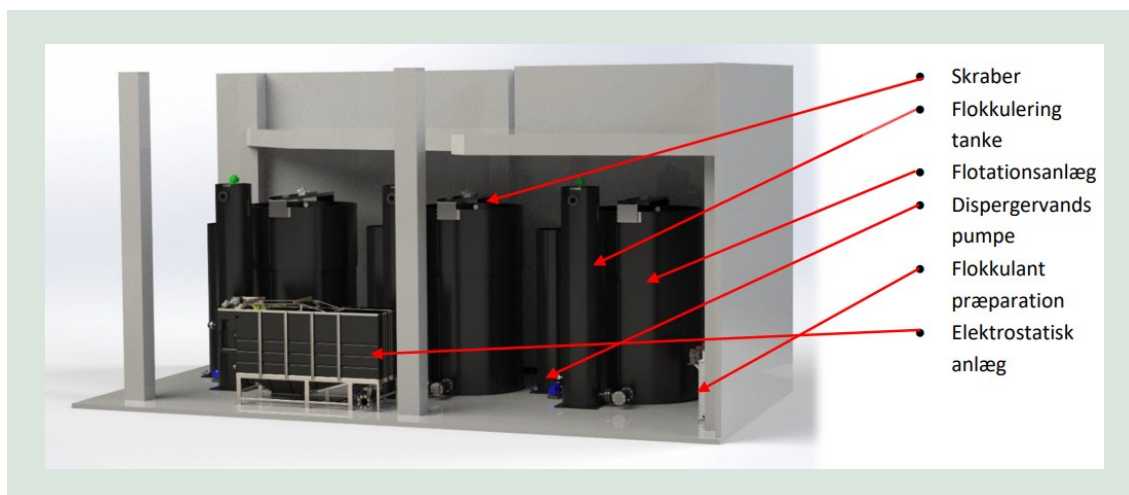
5. Design og etablering af nyt fuldskala flotationssystem hos TripleNine

5.1 Opbygning af flotationsanlæg

TripleNine har som en del af projektet fået opført et fuldskalaflotationssystem til behandling af lossevand på deres fabrik i Thyborøn. Anlægget er designet af BIO-AQUA og etableret i samarbejde med de øvrige projektpartnere. Flotationsanlægget består af tre uafhængige flotationsårne, hvert med et indløbsstårn, et flotationskar og et udløbsstårn. I indløbsstårnene blandes lossevand og flokkulant. I flotationskarrene tilsættes mikrobobler ved indløb vha. en Nikuni pumpe. Nikuni pumpen er en turbinepumpe som ikke kaviterer og som derfor kan håndtere væsker med gasbobler. Luft/vand-blandingen herefter et tryk på ca. 5 bar, som udløses i indløsningsdyser, som frigiver mikrobobler ($<5 \mu\text{m}$). Dyserne er udstyret med en trykluftstyring (pneumatisk), og ved fastlagte intervaller frigives modtrykket, således at dysen automatisk renses. Ved opblanding af det indkomne, flokkulerede vand med vand med mikrobobler dannes der flokke af partikler og luftbobler der føres til overfladen i en skumfraktion. Skummet ledes direkte ind i fabrikken og det rensede lossevand, løber ud af flotationskarret vha. gravitation. Funktionen af udløbsstårnet er at styre overfladeniveauet af lossevand i flotationskarret. Flotationsanlæg 1 og 2, renser lossevandet direkte ved brug af luft alene eller i kombination med en flokkulant. I flotationsanlæg 3 behandles afløbsvandet fra de to første flotationstårne mhp. rensning inden tilledning til renseanlæg. Dvs. at der i dette trin som er adskilt fra de to andre, kan der anvendes traditionelle flokkulanter mhp. at reducere tørstofbelastningen yderligere.

Anlægget er designet til en tørstofbelastning og et flow ($25 \text{ m}^3/\text{t}$) der giver en samlet opholdstid på 20 min med et forventet energiforbrug pr m^3 på $0,24 \text{ kW}/\text{m}^3$.

Det floterede materiale bredes ud på overfladen, hvor et roterende skimmersystem skraber skummet af overfalden, så skummet kan føres videre ind i processen. Det rensede vand løber via et regulerbart overløb ud og genbruges som lossevand, eller ledes til renseanlæg efter yderligere rensning. Anlægget er illustreret i FIGUR 2, hvor de 2 primære flotationstårne der anvendes i forbindelse med losningen, er vist til højre, mens det 3. flotationstårn kun anvendes som spildevandbehandling inden det ledes til renseanlæg. Her kan anvendes traditionelle flokkuleringsmidler der er væsentlig billigere og effektive end de fødevareegnede flokkulanter der anvendes i de 2 første flotationstårne. Tørstofsensorerne blev undervejs i projektet implementeret på ind- og udløb af flotationstårn 1 og 2, mens ledningsevne og pH kun blev implementeret på udløbet.



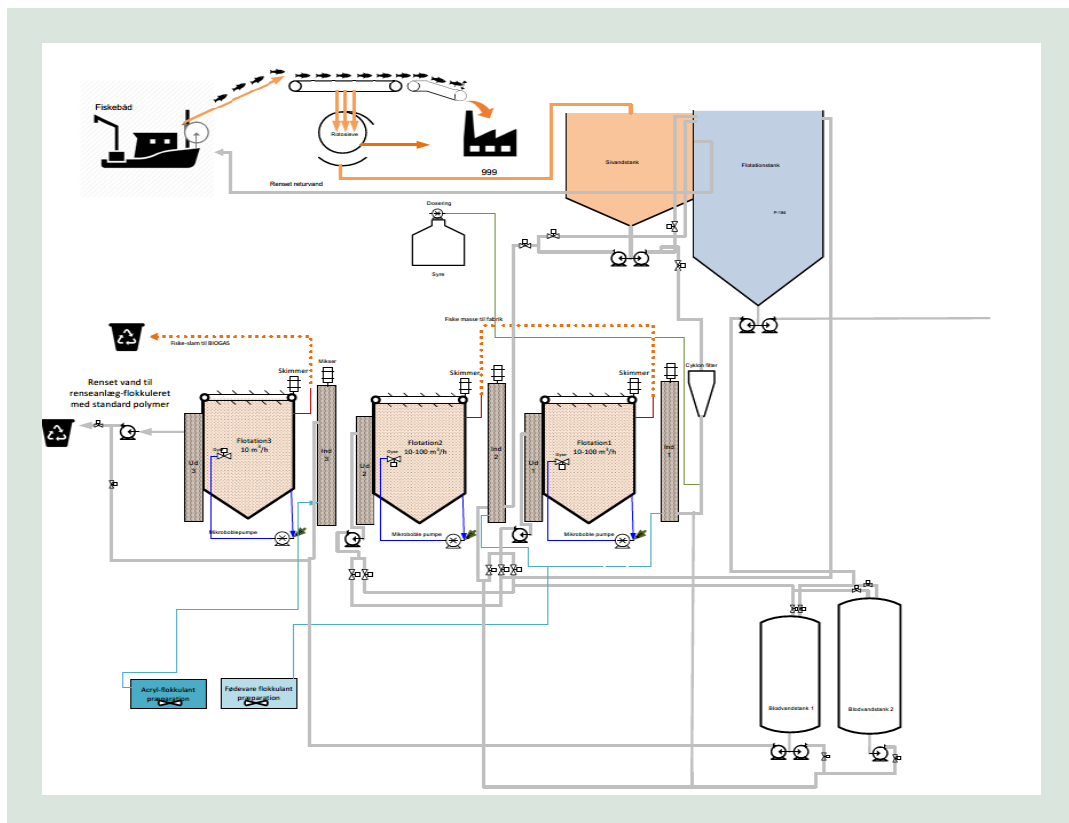
FIGUR 2. Oversigt over selve flotationsanlægget med de 3 flotationstanke, flokkuleringstanke, samt dispergerpumpe.

Som forbehandling til flotationsanlægget, blev der implementeret Rotosiver (tromlesigter) med spalteåbninger, hvis funktion var at fange de store fiskestykker, fiskeskind, skæl og øresten, så det kunne ledes direkte ind i produktionen. Desværre viste det sig, at denne forbehandling ikke var tilstrækkelig idet rotosiverne stoppede til under særlige driftsforhold grundet overbelastning og losse vandet derfor passerende ubehandlet ind til flotationsanlægget. De tilstoppede rotosiever skulle således spules rene med vand, førend de kunne fungere igen. Grundet kontinuerlige problemer med rotosieverne og det høje vandforbrug til rensning, blev der fokuseret på at implementere yderlig forbehandlingsteknologi, se afsnit 6.1-6.2.

6. Implementering af flotationsanlægget

I dette afsnit beskrives arbejdet med identifikation af yderligere forbehandlingsteknologier samt udvikling af flotationsteknologien til behandling af lossevand. Der er foretaget forsøg i både laboratorie-, pilot- og fuldskala.

Overblik over lossefaciliteterne er vist i FIGUR 3, og som det fremgår, vejes fiskene og ledes ind i fabrikken efter vandet er skilt fra fisken. Vandet efter forfiltrering (rotosiever) hen til sivandstanken og buffertanken. Herfra kan losse vandet recirkuleres til skibene igen, eller ledes til enten blodvandstanke (uisolerede tanke der står udenfor lossehallen) eller vandet kan ledes ind i flotationsanlægget ved flotationstårn 1. Losse vandet ledes efter rensning tilbage til skibet.



FIGUR 3. Oversigtsdiagram for lossefaciliteterne med tanke (sivand og buffertank) før flotationsanlægget bestående af 3 flotationstårne. Øverst er rotosiever markeret med en cirkel og nederst er cyclonfilteret markeret.

Forud for flotationsanlægget filtreres losse vandet ved brug af rotosiever hvor de største partikler og fiskerester fjernes. Undervejs i projektet viste det sig imidlertid at fiskeskind godt kan

passere igennem tromlesigten, hvilket resulterer i tilstopning af den efterfølgende pumpe. Derfor er vandforbruget til at renholde rotosieverne væsentlig større end forventet. I øvrigt har det vist sig nødvendigt at reducere mængden af tørstof yderligere forud for flotationsanlægget, for at flotationsteknologien kan fungere optimalt. Samlet set har overfladebelastningen til flotationsanlægget været udfordret grundet for højt tørstofindhold og flow.

Derfor er der også blevet undersøgt forskellige muligheder for implementering af ekstra forbehandling, som supplement til tromlesigten. Efter tromlesigterne samles losse vandet i "buffertanken" (FIGUR 4), som desuden er blevet modificeret med skilleplader, som bidrager til at minimere mængden af sand og andre uorganiske partikler som ellers kommer ind på flotationsanlægget.



FIGUR 4. Gammel "buffertank" modificeret med skilleplader, så sand og øresten kan bundfældes, og derved ikke ledes ind i flotationsårnene.

Som tidligere beskrevet, blev det tydeligt undervejs i projektet, at den valgte forbehandlingsteknologi med rotosieverne, ikke var tilstrækkelig til at fjerne den partikulære del af tørstof som fx store fiskestykker, fiskeskind samt øresten, inden losse vandet blev tildelt flotationsanlægget. Dette havde betydning for et forøget vandforbrug til renholdelse af rotosieverne, og ofte blev losse vandet ledt til flotationsårnene uden forbehandling. Den manglende forbehandling kombineret med et stort vandforbrug til skibene under losning, udfordrede losse anlægget. Flotationsanlægget blev forsøgt drevet med for stort flow (op til 100 m³/t) hvor det var dimensioneret til 25 m³/t) hvilket resulterede i bundfældning af store fiskerester og øresten i flotationsårnene, og en ufuldstændig separation af tørstof fra losse vandet. Ved for stort flow, opnås ikke en tilstrækkelig separation af vandet, hvilket betyder at fedt og protein tilbageføres til skibet under losning, og at viskositeten af vandet bliver alt for højt. I de initiale forsøg, bevirkede belastningen, at flotationsanlægget ikke kunne følge med, og at alt losse vand derfor blev ledt ind i produktionen.

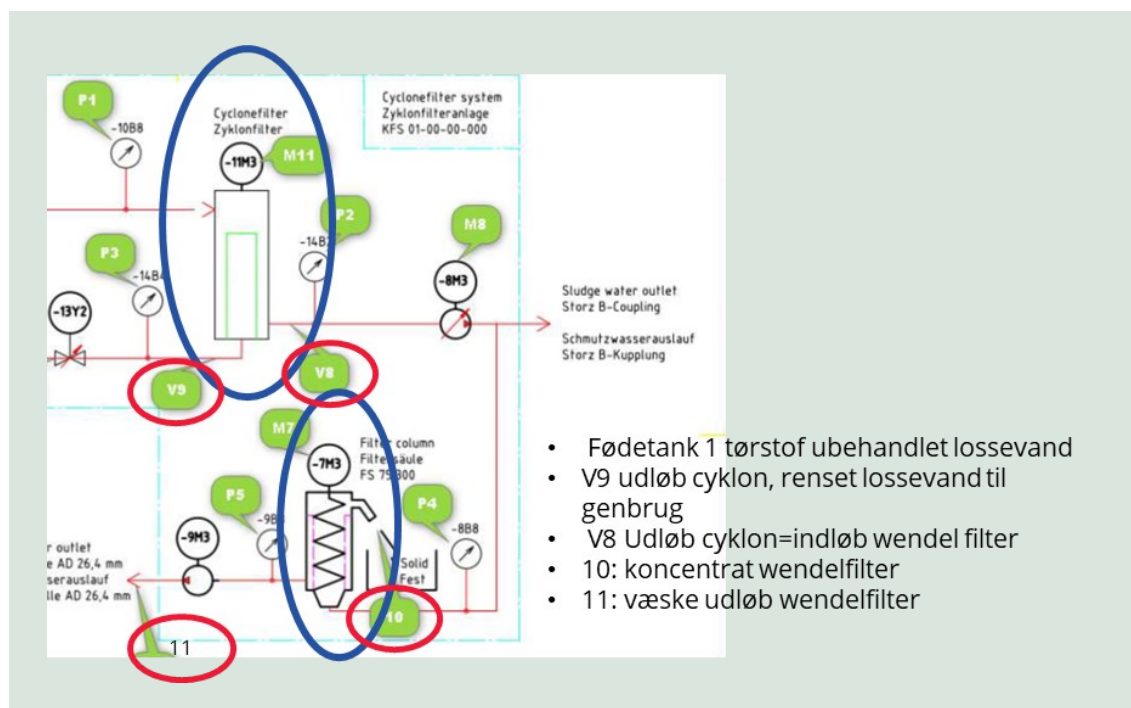
For at sikre en optimal flotation af losse vandet, var det derfor nødvendigt at modificere losseanlæggets faciliteter samt at teste flere forskellige typer af forbehandlingsteknologi.

Der er udført en del modifikationer på flotationsanlægget, hvor der bl.a. er installeret skråbund i flotationstankene, med mulighed for bundsug, for at kunne fjerne evt. bundfældet tørstof. Der er tillige installeret slamventiler og en aktuator sikre udligning af niveauforskelle i flotationstærnene. Skrabsystemet er ligeledes tilrettet til håndtering af det kompakte skum, og der er etableret et bypass. I "buffertanken" er der også installeret en skråbund samt mulighed for at suge materiale ud fra midten af tanken.

Dette var dog ikke tilstrækkeligt til at sikre en effektiv forbehandling, og derfor blev andre mulige løsninger afprøvet. Efter projektets afslutning, hvor de ekstra tiltag til at sikre en bedre forbehandling er implementeret, vil der være et fremadrettet fokus op bl.a. sensorbaseret styring af flotationstankene i realtid.

6.1 Cyklonfilter som yderlig forbehandling

Der blev udført en række forsøg med en lejet filterløsning bestående af et selvrensende cyklonfilter efterfulgt af et Wendelfilter (spiralfilter til opkoncentrering af tørstof). Filterløsningen havde de to filtre bygget sammen, og formålet her, var at frasortere de største partikler (> 60 µm, fiskestykker), der således kunne ledes direkte ind i produktionen udenom flotationsanlægget. Cyklonfilteret blev testet med en sigtestørrelse på 60 µm og 100 µm, og det blev konkluderet at 100 µm var tilstrækkeligt som forbehandling. Forsøg 1 og 2 er foretaget på lagret losse vand efter en losning og havde udelukkende til formål at teste effekten af cyklonfilteret og wendelfilteret, uden brug af flotationsanlægget. Wendelfilteret bidrog til en yderlig tørstoffjernelse, men den positive effekt stod ikke mål med investeringen i Wendelfilteret. Derfor blev yderligere forsøg gennemført med cyklonfiltrene.



FIGUR 5. Skitse af forsøg 1 og 2 med forskellig placering af cyklonfilteret i losseanlægget.

Som det fremgår af TABEL 2, hvor resultaterne fra forsøg 1 er opsummeret, ses det tydeligt at cyklonfilteret med 100 µm separerer losse vandet effektivt, og gevinsten ved at anvende det efterfølgende 60 µm filter eller wendelfiltret, ikke opvejes af ulemperne/udgifterne ved den ef-

terfølgende behandling. Tørstoffractionen af rejektet fra 100 µm filteret ledes direkte ind i produktionen, hvorimod filtratet ledes til flotationsanlægget, hvor en yderlig separation af tørstof muliggøres. Under projektperioden har det ikke været muligt at afprøve de sidste 2 konfigurationer med cyklonfilteret da mængderne af fisk der er blevet landet har været mindre end forventet kombineret med at kvaliteten af losse vandet fra de store selvlossere, har været høj, så losse vandet har kunnet genbruges uden brug af flotationsanlægget.

Umiddelbart viser data for tørstofindholdet i de forskellige fraktioner, en relativ beskedent forskel ved behandling med cyklonfilteret. Cyklonfilteret er dog en forbehandling i kombination med roto sieveerne, men tidligere data har vist stor effekt på mængden af COD der tilbageholdes på cyklonfilteret og derved kan ledes direkte ind i produktionen.

TABEL 2. Resultater fra forsøg med cyklonfilter.

Forsøg	Tørstof indhold (%)		
	Ind	Filtrat	Rejekt
1 (100 µm)	8,16	7,6	8,94
1 (60 µm)	9,34	9,13	11,88
2.1 (100µm)	-*	5,1	8,22
2.2 (Wendel)	7,42	6,39	8,08

*Tørstofindholdet blev ikke målt men antages at være på ca. samme niveau som i forsøg 2.2.

Både forsøg 3 og 4 er endnu ikke gennemført grundet udfordringer med bl.a. tilgængelighed af fisk og deres forfatning. Forsøgene er dog planlagt og beskrives her kort: Forsøg 3 skal foretages under en losning. Her vil cyklonfilteret være placeret således at udløbet fra buffertanken behandles i cyklonfilteret, hvorfra filtratet ledes videre over i flotationsanlægget, mens rejektet (den tykke fraktion) ledes ind i produktionen. Efter flotationsbehandlingen recirkuleres det rensede losse vand til skibet hvor det genbruges, for at mindske vandforbruget.

I forsøg 4 skal cyklonfilteret kobles på udløbet fra flotationstårn 2, og filtratet ledes over i det tredje flotationstårn til efterbehandling. Det har ikke været muligt at gennemføre forsøg 3 og 4, inden for projektperioden, og forsøg vil derfor pågå efter projektets afslutning ved TripleNine i samarbejde med BIO-AQUA.

6.2 Flokkulering af losse vand og metoder til bestemmelse

Efter forbehandling af losse vandet, ledes det ind i flotationsanlægget hvor det er muligt at tilsætte flokkulanter for at fremme separationen af tørstof med fedt og protein.

På grund af de varierende mængder og sammensætninger af losse vandet har TripleNine behov for et agilt flotationsanlæg, som skal kunne skifte mellem de forskellige driftsscenerier afhængigt af behov. Dels skal anlægget kunne håndtere en varierende hydraulisk belastning og svingende vandkvalitet, og dels skal der kunne veksles mellem traditionelle polyakrylamid-baserede og fødevareregnede flokkulanter med henblik på at sikre en optimal råvareudnyttelse. En ekstra udfordring er tilstedeværelsen af klorid i losse vandet, idet der påvirker en flokkulering negativt. Der er foretaget en lang række forsøg med anvendelse af forskellige typer af bio-flokkulanter og tilsætning af syre med henblik på at optimere faseseparationen under flotationsprocessen, og bestemme effekten af forskellige parametre, såsom pH og flokkulantdosering. Der er udført forsøg både i lab-, pilot- og fuldskala.

Flokkulering af det organiske materiale (protein, fedt) i losse vand sker pga. flere mekanismer hvor mindre partikler samles til større flokke, herunder ladningsneutralisering. Partikulært organisk materiale har en negativ overfladeladning, og elektrostatisk modstand holder derfor mindre partikler på afstand af hinanden. Flokkulanter har som regel en positiv ladning, som kan neutralisere overfladeladningen af det partikulære, organiske materiale og dermed muliggøre, at partikler kolliderer med hinanden og danner flokke. Jo større ladningstæthed af en

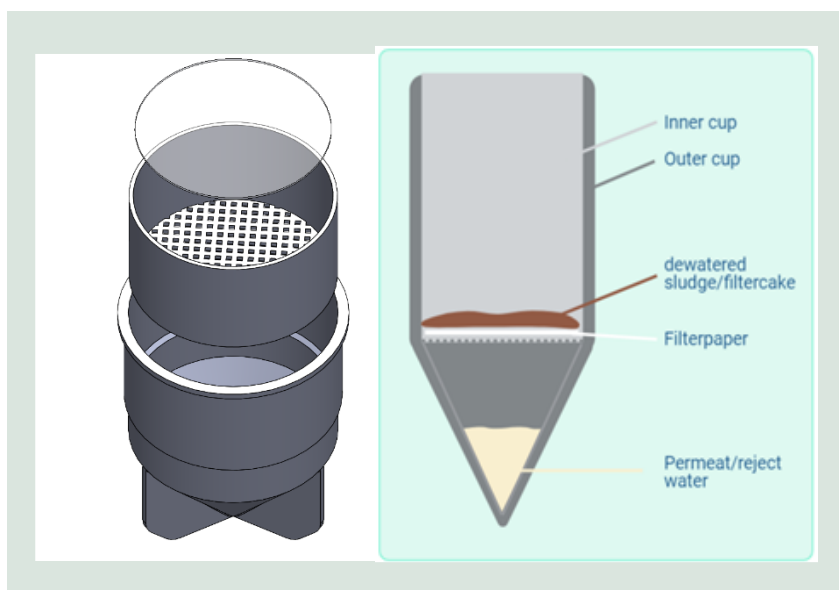
flokkulant, jo mere ladningsneutralisering, der teoretisk kan opnås ved lav flokkulantdosering, og dermed potentielt flokkulering.

En anden vigtig flokkuleringsmekanisme er 'bridging' eller brodannelse mellem mindre flokke. Langkædede flokkuleringsmidler med en høj molekylvægt kan adsorbere partikler på flere punkter langs polymerkæden. Det adsorberede flokkuleringsmiddel kan have sløjfer og haler, der strækker sig ind i opløsningen, hvilket giver mulighed for vedhæftning af disse polymer-segmenter til andre partikler, også kendt som 'bridging'. Brodannelse mellem mindre flokke bidrager i høj grad til større flokstyrke og større modstand mod mekanisk stress, som fx i en skruepresse.

Endelig kan flokkulering opstå pga. 'electrostatic patch effects'. Her binder positivt ladede flokkuleringsmidler sig til begrænsede områder på de negativt ladede partikler og danner på den måde broer mellem mindre partikler/flokke. De flokke, der opstår pga. 'electrostatic patch effect' er kendetegnet ved en lav flokstyrke og er dårlige til at modstå mekanisk stress.

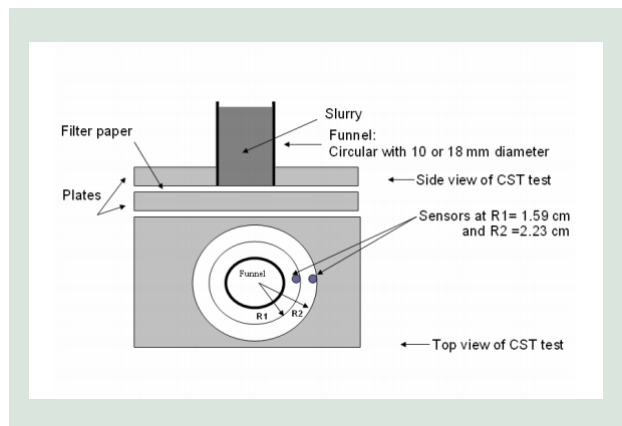
For at bestemme den optimale flokkuleringsdosering, er der anvendt konventionelle jar-tests, som baserer sig på en visuel vurdering af fase separationen. Derudover er der i projektet også anvendt analysemetoder der baserer sig på mere kvantitative parametre, såsom Higgins modified centrifugal technique (MCT Higgins) og capillary suction time (CST). Dette er udbredte tests der anvendes til at bestemme afvandingsvevnen for slam, samt at evaluere effekten af evt. tilsatte koagulanter og flokkulanter.

MCT Higgins testen anvendes til at bestemme andelen af det flokkulerede organiske materiale i losse vand med en specifik koncentration af tilsat flokkulant. Efter opblanding af flokkulanten i losse vandet, blev losse vandet centrifugeret i 20 minutter ved 500G i særlig tilpassede centrifugekopper. Centrifugekopperne består af to dele med et filter mellem begge dele, hvilket gør det muligt at adskille losse vandet i en vandig fraktion (permeatet) og vandfattig fraktion (kagedelen). Metoden er tidligere anvendt til at optimere flokkulantdosering i forhold til afvandingsgrad og tillader således bestemmelsen af flokkulantens maksimalt opnåelige afvandingsgrad ved en specifik flokkulantkoncentration i laboratorieskala. Ved at måle tørstofindholdet i kagedelen kan afvandings effektiviteten kvantificeres, se FIGUR 6.



FIGUR 6. 3D-visualisering (venstre) og skematisk tegning (højre) af de nyfremstillede centrifugekopper.

CST-testen bruges til bestemmelse af frit vand i en prøve. Prøven påføres et filterpapir igennem et hertil bestemt rør, hvorefter frit vand vil blive absorberet af filterpapiret i et cirkulært mønster af stigende diameter. Hastighed, hvormed det frie vand spredte sig, blev målt med en 101/A HeGo Biotec GmbH CST-måleenhed (FIGUR 7). En lav CST-værdi betyder en stor mængde frit vand, og dermed en god faseseparation og flokkulering af det organiske materiale.



FIGUR 7. CST-måleenheden (101/A HeGo Biotec GmbH) set fra siden og ovenfra. Prøven påføres filterpapiret gennem et rør ('funnel'), hvorefter enheden måler, hvor hurtigt vandet spredte sig mellem to ringe (R1 og R2).

Markedet blev screenet mhp. at identificere fødevareregnede flokkulanter, der kunne anvendes til brug i 2. flotationstrin. En væsentlig udfordring her, er forskel i lovgivning mellem USA og EU, hvor i USA må der anvendes små mængder af akrylamid-baserede flokkulanter mens dette ikke er muligt i EU. Derfor har udvalget af mulige flokkulanter til anvendelse i flotationstrin 2 været begrænset til at omfatte primært kitosan-baserede produkter. Derfor er hhv. Hepix A, P, alfa- og beta-kitosan blevet anvendt. PraestolBio K750 og K760 blev inkluderet i de initiale forsøg, indtil analyse viste at der var små mængder af polyakrylamid tilstede, og flokkulanterne kan derfor ikke anvendes til foder/fødevarer i EU.

6.2.1 Evaluering af sundhedsrisici ved recirkulering af vand og skum

Identifikation af mulige risici ved recirkulering af vand og brug af fødevareregnede flokkulanter i skummet som tilledes produktionen, har DTU Fødevareinstituttet udarbejdet en evaluering af sundhedsrisici, og nedenfor er oplyst de vigtigste hovedpointer.

Da flokkulanten der anvendes i forbindelse med separation af losse vandet, vil det forventes at denne ender i skumfraktionen og derfor skal flokkulanten være fodergodkendt, mens det forventes at flokkulanten kun i ringe grad vil ende i vandfraktionen. Da flokkulanten vil ende i slutproduktet er det at betragte dels som et teknisk hjælpestof (tjener ikke en funktion i det færdige produkt) men også et tilsætningsstof da det ender i skumfraktionen som ledes ind i fabrikken.

Der er tidligere testet en række forskellige fødevareregnede flokkulanter med forskellige indholdsstoffer som bl.a. carageenan, stivelse og kitosan. Ud fra indledende tests, har de kitosan-baserede flokkulanter vist sig at være de mest effektive og disse flokkulanter er fremstillet ved hydrolyse af bl.a. krebsdyrs exoskeletter. De kitosan-baserede flokkulanter indgår i Fodermid-delfortegnelsen (nr. 13,2,8) og kan derfor anvendes i fremstillingen af fiskemel. Der er i rapporten gennemgået hvilken lovgivning der har været anvendt i forbindelse med evalueringen af både vand og skumfraktion.

Ift. mulige mikrobiologiske farer, er der foretaget en vurdering af de risici der er forbundet med behandlingen af losse vandet og den efterfølgende produktion af fiskemel. Losse vandets kvalitet skal som udgangspunkt være "rent vand" med en tilfredsstillende mikrobiologisk kvalitet. Under losning vil vandet komme i kontakt med fisken, og dets kvalitet vil i høj grad komme til at afhænge af fiskernes kvalitet. Bakterier, der forekommer naturligt i vandmiljøet, vil kunne være tilstede på fiskene, men typisk i lavt antal. Så for at forårsage sygdom vil der skulle ske en opkoncentrering eller vækst af bakterierne. Om det er muligt, vil bero på forholdene omkring losning (tid, temperatur og startkoncentrationen af bakterier). Da losse vandet kun recirkuleres til det samme skib, vil det dreje sig om en kortere tidsbegrænset periode med mulighed for opformering af de bakterier, der eventuelt kan være til stede i losse vandet. Det vurderes at der under normal og kontinuerlig drift af losse anlægget, at de mikrobiologiske risikofaktorer (såsom arter af *Clostridium*, *Listeria* og *Vibrio*) udgør en ubetydelig risiko i forbindelse med losse vandet. Årsagen tilskrives den korte tidsperiode for vandrecirkulering i flotationsanlægget (timer) kombineret med den varmebehandling som er integreret i produktionen af fiskemel til foder.

I forbindelse med eventuelle kemiske farer ved indtagelse af den fødevareregnede flokkulant, er der estimeret, hvor stor en koncentration af flokkulanten der er i slutproduktet. Der er opstillet en beregning af hvor meget flokkulant der kan forventes at være tilstede i slutproduktet, under antagelse af en tørstofkoncentration på 35 g/l (baseret på tidligere forsøg). Beregningerne af koncentrationen af flokkulant i færdigproduceret fiskemel er baseret på en følgende antagelse:

- Flokkulanten indeholder 100% 'aktivt stof'
- Flokkulanten fordeler sig kun til skumfraktionen (100%)
- Skumfraktion (vådvægt) udgør 3-4% af losse vandet (jf. Erik Jessen Jürgensen, Bio-Aqua)
- Tørstofindholdet i skumfraktion er ca. 3,5%
- Losse vandet udgør 40% af den totale last (mindste mængde fisk som flokkulanten vil 'fortyndes' i)
- Skumfraktion ender i fiskemelsfraktionen (ikke i fiskeolien)
- Tørstofindholdet i fisk er 21%
- Fiskemelet indeholder 10% vand og 10% residual fedt

Ved tilsætning af flokkulant i en koncentration på 500 mg/L (ppm) til losse vandet, vil flokkulant koncentration i tørstoffet af fiskemelet således kunne beregnes til 0,95 g/kg TS (0,095 %). I selve fiskemelet vil der ifølge disse beregninger være et indhold af flokkulant på 0,76 g/kg fiskemel (0,076 %). Da der er tale om et foder- eller fødevarer godkendt stof, vurderes det at være under bagatelgrænsen.

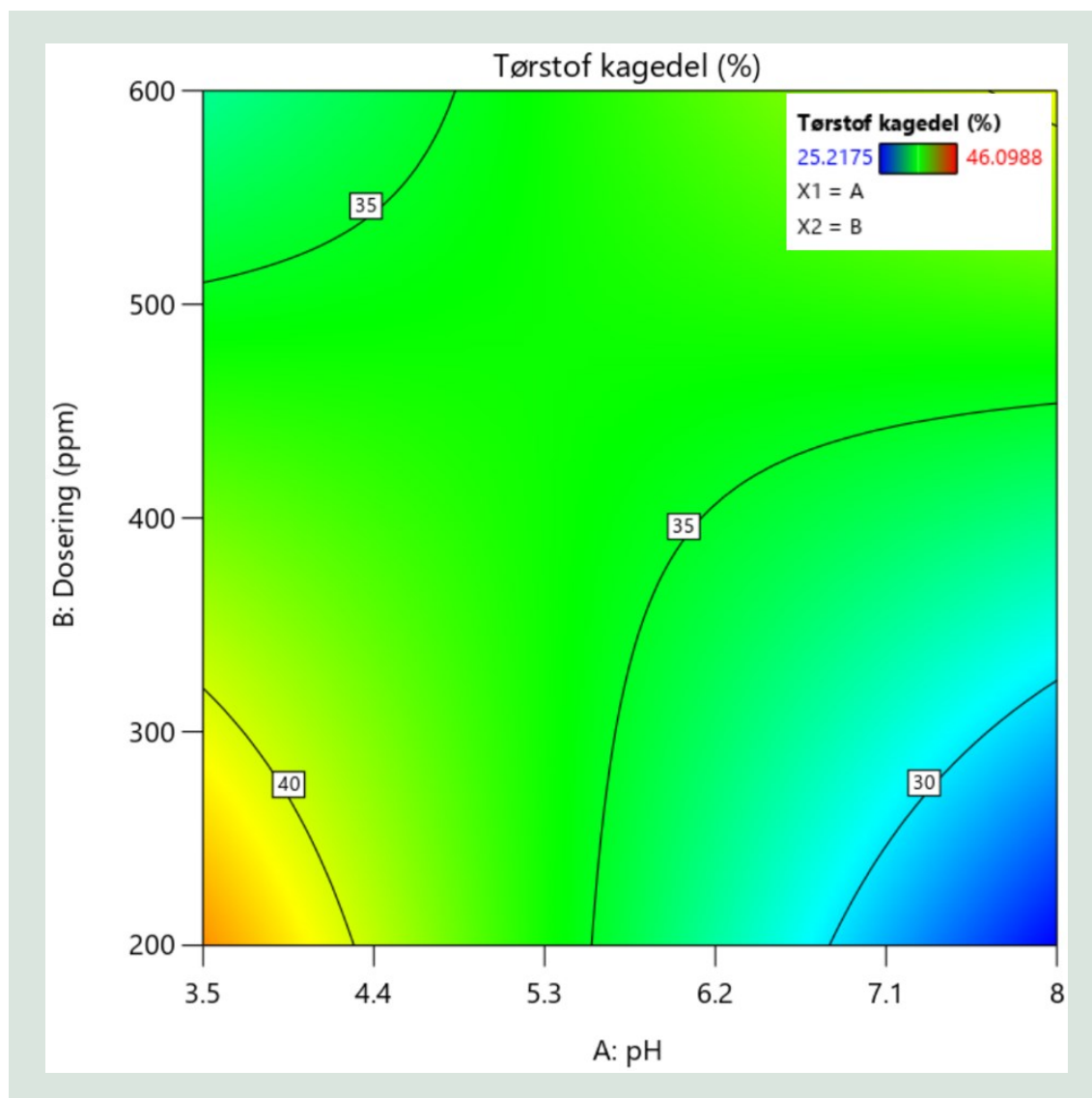
6.2.2 Effekt af flokkulant type og dosering

Der er blevet arbejdet med forskellige kitosan-baserede produkter ift. at identificere en egnet flokkulant. Som beskrevet ovenfor, er kitosan på listen over godkendte tilsætningsstoffer som det fremgår af Fodermiddelfortegnelsen og kitosan kan derfor anvendes til produktionen af fiskemel. Der er efterfølgende afprøvet dels raffinerede produkter som forefindes kommercielt og dels fra de fintmalede råvareprodukter fra den primære producent, som er blevet modnet inden brug i pilotskala forsøg. Der er således stor prisforskel på de kitosan-baserede flokkulanter og derfor er det interessant at undersøge om en modning On Site hos TripleNine er mulig.

Til bestemmelse af optimal pH-værdi i losse vandet og flokkulantdosering, er der foretaget en række forsøg med MCT Higgins metoden i laboratorieskala (FIGUR 8). Losse vandet har typisk en pH-værdi mellem 6,4-7,8, og den optimale pH-værdi for de anvendte kitosan-baserede flokkulanter er ca. 6. Resultaterne bekræftede observationen fra jar-testen, nemlig at der kunne opnås en bedre afvanding af losse vandet ved lavere pH-værdier. Derudover viste

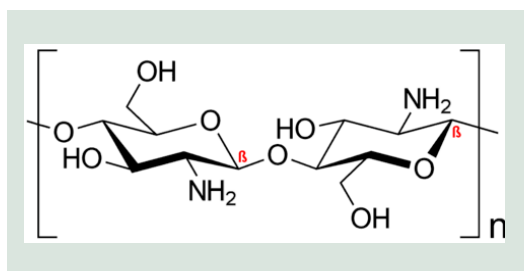
dette forsøg også at den bedste afvanding opnås ved den laveste pH-værdi og den laveste flokkulantdosering, hvilket indikerer at der kræves lavere flokkulantdosering ved lavere pH-værdi.

I forbindelse med gennemførte pilot og laboratorieskala-forsøg, har der været fokus på effekten af pH og dosering af fødevareegnet flokkulant (den bedst egnede er identificeret som den kitosan-baserede Heppix A) mhp. den bedst mulige faseseparering af losse vandet. Der er også i større skala en dokumenteret sammenhæng mellem flokkulant dosering og lav pH, således at lavere pH mindsker behovet for Heppix A dosering der kræves til separation, hvilket influerer på den samlede økonomi for separationen. Der er afprøvet forskellige typer af syrer og bl.a. den type som allerede anvendes i forbindelse med løsningen, nemlig soft-acid. Til sammenligning er der anvendt HCl, i laboratorieskala men i fuldskala er HCl ikke ideel, da den samlede mængde af klorid skal holdes som minimum i slutproduktet (fiskemelet). Der er også et bidrag fra selve losse vandet, da nogle skibe anvender saltvand til opbevaring af fiskene i skibene, og som ender i slutproduktet efter inddampning. Ved at kunne anvende flotationsteknologien, vil der være en mindre del af klorid som ender i slutproduktet, da losse vandet efter flotation og rensning, vil kunne ledes til renseanlæg.



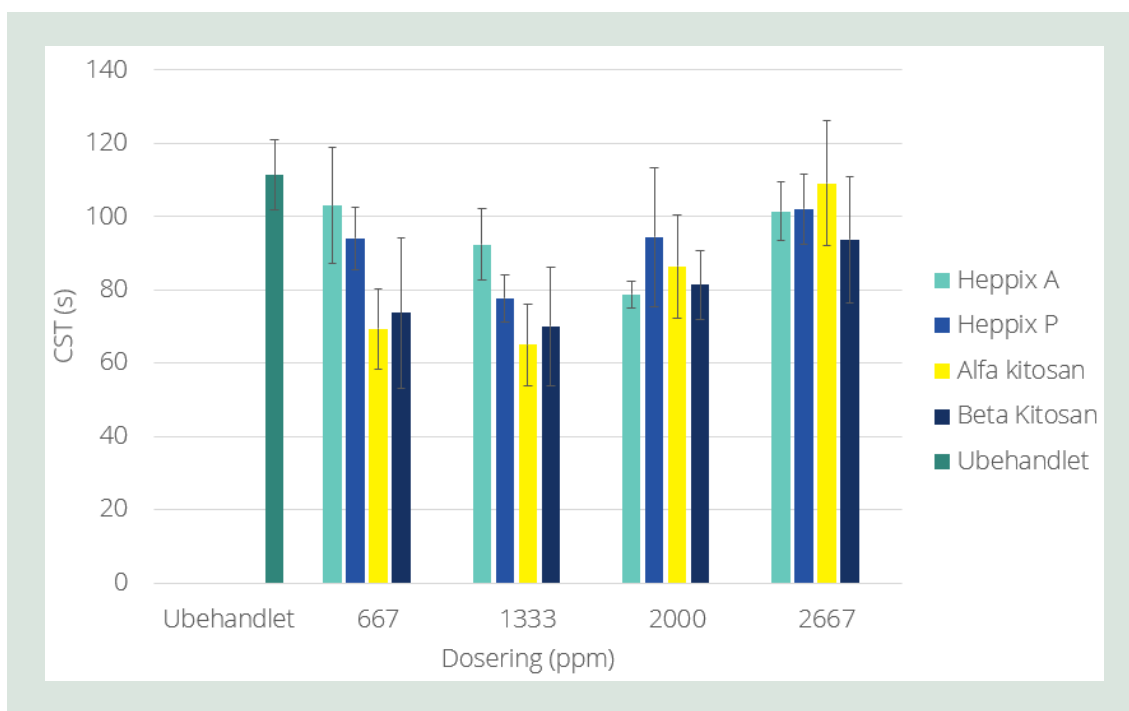
FIGUR 8. Effekten af pH-værdi og flokkulantdosering på tørstofindholdet (%) i kagedelen efter separering ved MCT Higgins metoden.

pHs positive indvirkning på HEPPIX A skyldes muligvis at flokkulanten er en naturlig polymer med flere amin-sidegrupper (FIGUR 9), som får en større positiv ladning ved lav pH. Herved øges flokkulantens evne til at neutralisere ladningerne af partikler i losse vandet og dermed virker polymeren mere effektivt til at forbedre afvandingen.



FIGUR 9. Molekylstruktur for en af de polymerer, der er testet som flokkulant i projektet.

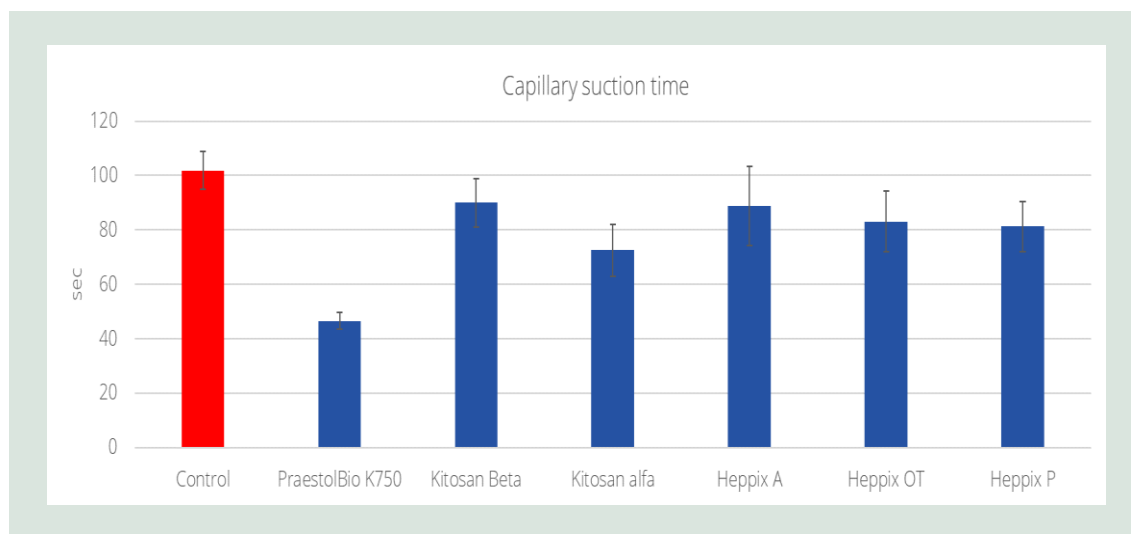
Effekten af flokkulantdosering er ligeledes blevet undersøgt ved CST-metoden. Fire forskellige kitosanbaserede flokkulanter blev afprøvet ved fire forskellige doseringer (FIGUR 10). Resultaterne viste at CST-værdien dalede i takt med at flokkulantdoseringen øgedes fra 667 ppm til 1333 ppm, hvilket indikerer en forbedret afvanding ved en dosering på 1333 ppm. Det ses imidlertid også, at CST-værdien stiger når ved flokkulantdoseringer over 1333 ppm. Dette demonstrerer effekten af flokkulant overdosering, som medfører at ladningsneutraliseringen ophæves, hvilket hæmmer fase separationen.



FIGUR 10. Resultater fra CST-analyser af losse vand behandlet med forskellige flokkulanter i forskellige doseringer.

FIGUR 11 viser desuden at anvendelse af PraestolBio K750 resulterer i en markant lavere CST-værdi, hvilket indikerer, at dette er en meget effektiv flokkulant. De behandlede losse vandprøver blev analyseret for tørstofindhold ved MCT Higgins metoden, hvilket også viste at det højeste tørstofindhold i kagedelen blev opnået ved brug af PraestolBio K750 (25 %), mens der ikke sås signifikant forskel mellem de kitosanbaserede flokkulanter (19 %). PraestolBio

K750 er imidlertid ikke en fødevarereget flokkulant, da den indeholder små mængder af polyakrylamid. Derfor blev der skiftet til at anvende HEPPIXA fremadrettet.



FIGUR 11. Resultater fra CST-analyser af lossevand behandlet med forskellige flokkulanter, doseret i den samme mængde (1200 ppm), på nær PraestolBio K750 som blev doseret i en koncentration på 400 ppm.

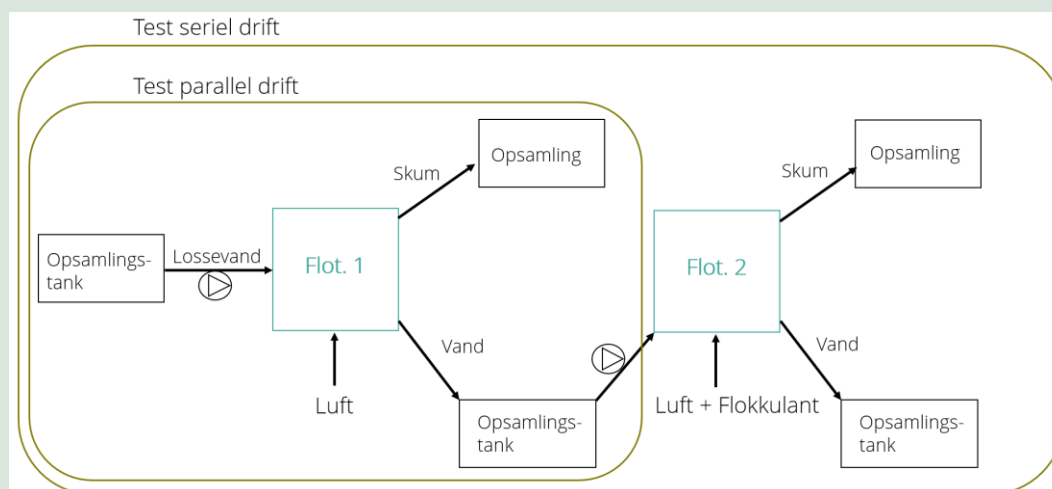
6.3 Afprøvning af driftsscenarier for flotationssystemet

Der blev gennemført flere pilotskalaforøg med to pilotflotationsanlæg fra BIO-AQUA (FIGUR 12), af flere omgange ved TripleNine. Pilotanlæggene blev først kørt i serie, hvor udløbet fra det første anlæg blev sendt videre til det andet anlæg, som illustreret i FIGUR 13. Der blev lavet to forsøg; i første omgang blev der kun anvendt luft til flotation i begge anlæg, for at evaluere flotationsprocessen for tungt belastet og mindre belastet lossevand. I det andet forsøg blev der anvendt luft i det forreste flotationsanlæg, og i det næste anlæg blev der tilsat ca. 500 ppm PraestolBio K760, for at evaluere effekten af efterbehandlingen med en bioflokkulant.



FIGUR 12. Pilotskalaflotationsanlæg fra BIO-AQUA der blev anvendt til pilotforsøg til parallel og seriel drift.

Der blev bl.a. brugt to pilotskala flotationsenheder med henblik på at kunne lave forsøgsopstillinger som afspejler både parallel drift og seriel drift. Scenarierne er illustreret i FIGUR 13. Den forreste flotationsenhed (Flot. 1) repræsenterer scenariet med parallel drift, mens seriel drift opnås ved at opsamle udløbsvandet fra Flot. 1 og behandle det yderligere i Flot. 2, hvor flotationsprocessen suppleres med tilsætning af flokkulant. Afhængig af formålet med forsøget blev der anvendt enten luft alene eller i kombination med den "fødevareegnet" flokkulant. Den fødevareegnet flokkulant blev testet med henblik på at skummet skulle bruges som råvare i fiske-
melsproduktionen.



FIGUR 13. Oversigt over forsøgsopstillingen til afprøvning af parallel og seriel drift i pilotskala.

Lossevand, skum- og vandfraktionen blev analyseret for tørstof (TS), organisk materiale (VS), kemisk iltindhold (COD), ammonium (NH₄⁺) og klorid (Cl⁻). Tørstofindhold blev bestemt ved tørring ved 105°C i minimum 24 timer, askeindhold blev bestemt ved brænding ved 550°C i minimum 16 timer. Kemisk ilt-behov (COD), ammoniumindhold, og kloridindhold blev bestemt ved Hach Lange kuvette kits (hhv. LCK 514, LCK 303 og LCK 311). Kompositionen af losse- vandet er opsummeret i TABEL 3.

TABEL 3. Komposition af losse vandet anvendt til pilotforsøg.

Parameter	Losse vand
Tørstof (TS) (%)	17,1 %
Organisk materiale (VS) (% af TS)	91,7 %
Kemisk iltbehov (COD) (mg/L)	325.200
Forhold COD / organisk materiale (g COD/ g VS)	2,07
Forhold NaCl / askeindhold (g NaCl/ g aske)	0,68
Ammonium (mg/L)	3.940
Klorid (mg/L)	5.860

Tørstofindholdet bestod hovedsageligt af organisk materiale, og forholdet mellem COD-indholdet og indholdet af organisk materiale tyder på, at det organiske materiale primært bestod af fedt og proteiner. Askeindholdet af losse vandet bestod hovedsageligt af NaCl. Resultaterne for TS-indhold og COD-indhold i udløbet og i skumfraktionen efter flotationsprocessen er vist i FIGUR 14.



FIGUR 14. Tørstof og COD-indhold af det indgående losse vand ('Indløb') og vandfraktion ('Udløb') og skumfraktionen ('Skum') efter flotation ('Flot luft - 1' = første flotationsanlæg med luft, 'Flot luft - 2' = andet flotationsanlæg med luft, 'Flot K760' = andet flotationsanlæg med tilsætning af PraestolBio K760).

En stor reduktion af TS- og COD-indhold i udløbsvandet kunne opnås med flotation, hvad enten der kun blev tilsat luft alene eller i kombination med flokkulant. Der sås desuden en signifikant opkoncentrering af tørstof og COD i skumfraktionen efter flotation (FIGUR 14).

Den samlede reduktion i TS og COD i udløbsvandet efter flotationstrinnet med luft svarede til hhv. 91 % og 89 % (TABEL 4). Reduktionsgrader i hver flotationsanlæg var meget ens, på

trods af en forskel i indløbs tørstof belastning, hvilket indikerer, at der ikke var en negativ påvirkning af højt tørstofindhold på flotationsprocessen i de testede belastninger. Losse vandet anvendt til forsøg blev opsamlet dagen inden forsøg og kan derfor have ændret en smule karakter.

TABEL 4. Ændring i tørstofindhold (TS) og kemisk iltbehov (COD) i udløb og skumfraktionen relativt til losse vandet.

	Reduktion i udløb		Stigning i skum	
	TS (%)	COD (%)	TS (%)	COD (%)
Flotation 1: luft	66	54	209	267
Flotation 2: luft	74	76	634	252
Flotation 1+ 2: luft	91	89	-	-
Flotation 2: PræstolBio K760	29	55	586	670

Reduktionen af TS i udløbs vandet var mindre efter tilsætning af PræstolBio K760 end sammenlignet med flotation med luft. COD-koncentreringen i skummet var højest ved PræstolBio K760. I forbindelse med forsøgene, var der ikke udført initiale test ift. PræstolBio K760 tilsætningen og den var muligvis ikke doseret optimalt. Optimal doseirng og en stor andel af COD i skummet, vil påvirke den samlede økonomi for flotationskonceptet.

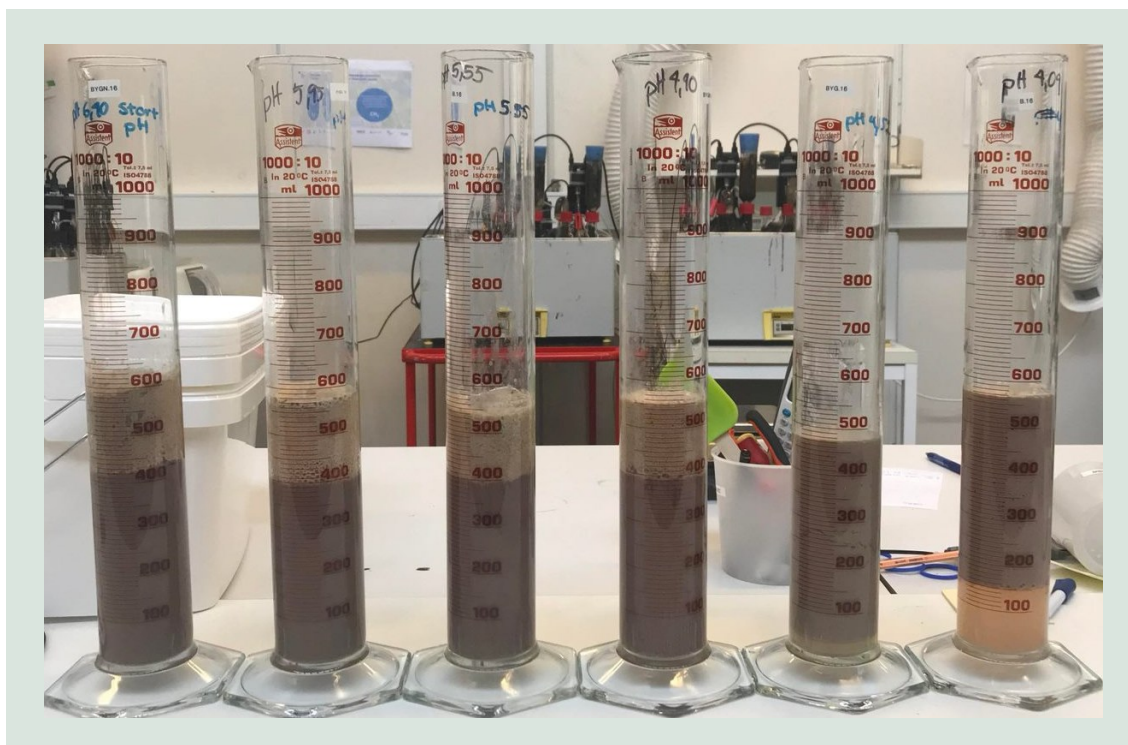
De kemiske analyser viste som forventet at flotation ikke påvirkede fordelingen af ammonium og klorid mellem vand- og skumfraktionen.

Prisen på de fødevareegnede flokkulanter høj, så derfor skal brugen af disse minimeres mest muligt.

6.4 Syretilsætning som forbehandling

Det er blevet undersøgt, hvordan pH-værdien påvirker separationsprocessen og flokkulandoseringen. FIGUR 15 viser et laboratorieforsøg med losse vand ved forskellige pH-værdier mellem pH 6,5 og pH 4,0, som har stået uforstyrret i fire timer, hvorved faseseparationen sker af sig selv, idét det organiske materiale samler sig i skummet ovenpå vandet. Dette forsøg viste, at den mest klare vandfase blev opnået ved den laveste pH-værdi af losse vandet, hvilket indikerer en bedre separation ved lavere pH-værdier.

Et tilsvarende forsøg blev foretaget i en pilotskala kolonne (FIGUR 16), hvor losse vandet blev tilsat syre svarende til en pH-værdi på 4,5. Tørstofindholdet i losse vandet var 4,9 %. Efter 30 minutters faseseparation blev tørstofindholdet af skummet og vandet målt til hhv. 7,2 % og 2 %. Volumenmæssigt udgjorde skummet og vandet hhv. ca. 60 % og 40 %.

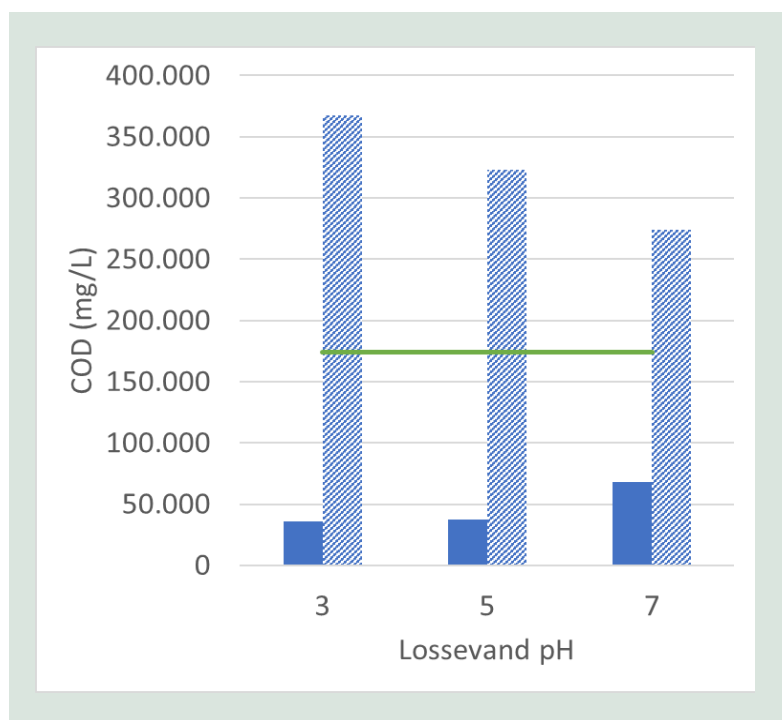


FIGUR 15. Forsøg med optimering af faseseparatoring af forbehandlet lossevand ved tilsætning af syre. pH-værdien falder med ca. 0,5 fra 6,5 (yderst til venstre) til 4,0 (yderst til højre). Prøverne på billedet har stået uforstyrret i fire timer.



FIGUR 16. Forbehandlet lossevand som er tilsat syre mhp. sænkning af pH til 4,5. Billedet er taget efter 30 minutters henstand.

FIGUR 17 viser resultater fra fase-separationsforsøg med lossevand ved pH 3, 5 og 7 hvor der desuden er tilsat HEPPIX A for at forbedre separationen yderligere. Resultaterne viser endnu engang at separationen er mest effektiv ved lav pH, og der blev observeret en reduktion af COD-indhold i lossevandet på ca. 80% ved pH 3 og 5. Det ses også at koncentrationen af COD i skumfraktionen er højere, jo lavere pH-værdien er ved behandlingen. Eftersom resultaterne indikerer at flokkulantbehovet afhænger af pH-værdien, hvor kemikalietilsætningen skal sikre en optimal balance mellem syre og flokkulant forbrug.



FIGUR 17. COD-indhold (mg/L) målt i lossevand (udfyldte søjler) og skumfraktion (skraverede søjler) efter behandling med flokkulant ved pH 3, 5 og 7. COD-indholdet i det ubehandlede lossevand er indikeret af den grønne vandrette streg.

Kombinationen med indløsning af mikrobobler fra flotationsanlægget og syretilsætning, vil resultere i en væsentlig kortere separationstid. Dette er afprøvet i pilotskalaanlægget (data ikke vist).

6.4.1 Syretilsætning og holdbarhed af lossevand

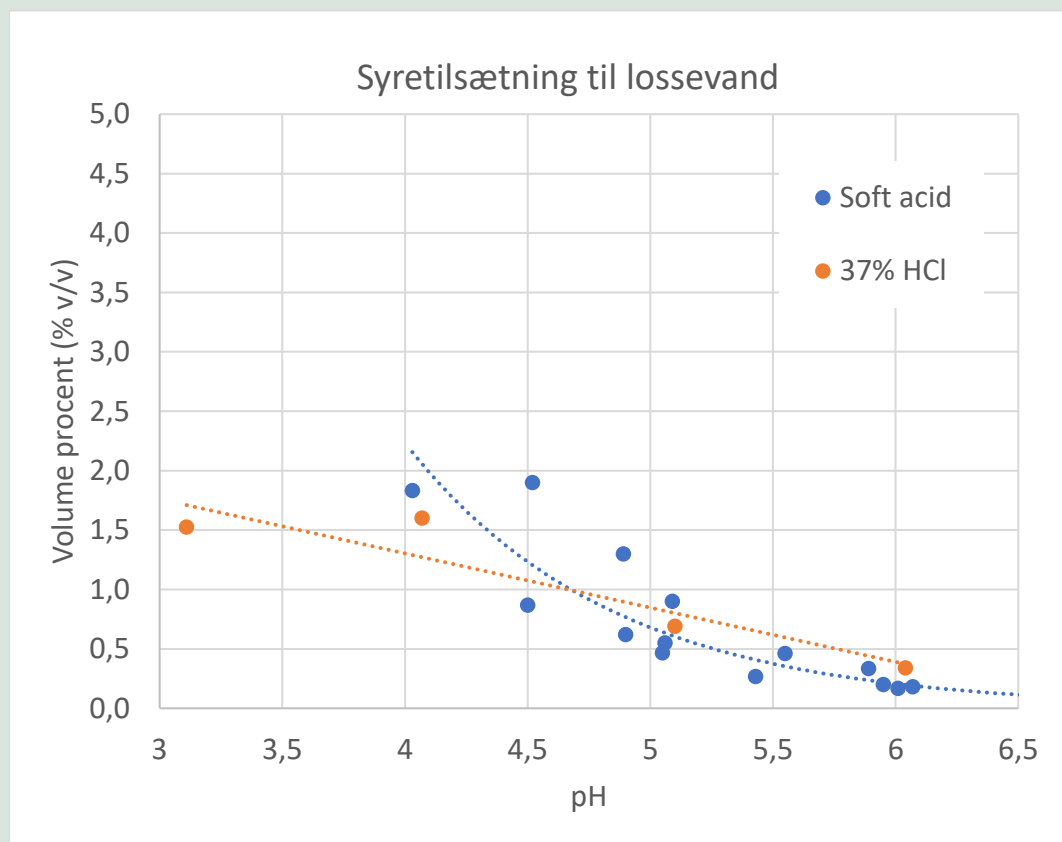
Udover at det vil give besparelser på vandforbruget at lossevandet renses og genbruges under en losning, vil det være en fordel, hvis det overskydende lossevand fra én losning kan gemmes og bruges til næste losning. Potentielt genbrug af lossevand mellem forskellige losninger, kræver dels, at der ikke er for stor tidsmæssig forsinkelse (timer) og at lossevandet ændrer ikke karakter ift. mikrobiel load. I projektet er der undersøgt effekten af syretilsætning på holdbarheden af lossevandet. Dette blev evalueret gennem en kimtals-analyse, hvor en prøve udplades og koloniformende enheder (colony forming units (CFU)) tælles efter inkubering. Kimtalanalysen blev foretaget på en prøve med ubehandlet lossevand med en pH på 6,7 og på lossevandsprøve som blev tilsat syre (soft acid) til en pH på 4,5. Begge prøver blev inkuberet ved 20 °C i 4 timer, og der blev udtaget en delprøve til analyse hver time. Resultaterne, som er vist i TABEL 5, viser tydeligt, at syretilsætning er et effektivt værktøj til at hæmme bakterievækst i lossevandet.

TABEL 5. Resultater fra kimtalanalyse for lossevand uden syretilsætning (kontrol) og med syretilsætning.

Tid (timer)	Kontrol (x1000 CFU)	Syretilsætning (x 1000 CFU)
0	90.000	57
1	94.000	15
2	129.000	2

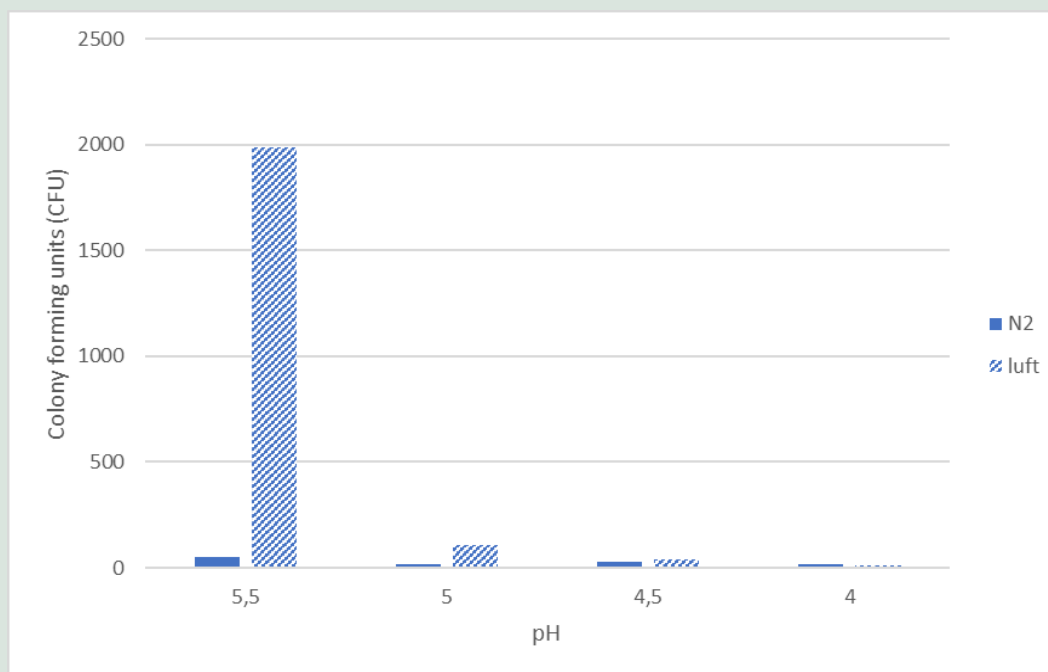
Tid (timer)	Kontrol (x1000 CFU)	Syretilsætning (x 1000 CFU)
3	108.000	1
4	113.000	1

Bufferkapaciteten af losse vandet blev ligeledes undersøgt ved brug af to forskellige syrer, en svag syre (soft acid) og en stærk syre (saltsyre). Det blev observeret at soft acid kan nedbringe pH til ca. pH 4,5 ved tilsætning af en mængde svarende til 1-2 %v/v. Skal pH'en nedbringes yderligere, vil i så fald kræve en stærkere syre som fx saltsyre (FIGUR 18). Dog må syren ikke påvirke fiskemelkvaliteten, hvilket kunne være tilfældet ved brug af saltsyre grundet tilførsel af klorid. Der vurderes realistisk at kunne anvende soft acid til pH regulering, inden for det angivne interval. En udfordring ved brug af en stærkere syre som saltsyre, er en yderlig tilførsel af klorid som kan påvirke dels flokkuleringen og dels fiskemelkvaliteten.



FIGUR 18. Grafen illustrerer mængden af syre (angivet som %v/v relativt til volumen af losse vand) der kræves for at nedbringe pH, ved brug af enten soft acid eller 37% saltsyre.

Et andet redskab til at forhindre bakterievækst i losse vandet er at mindske ilttilførslen ved fx at bruge kvælstof som flotationsgas i stedet for luft. FIGUR 19 viser resultater fra en kimtalanalyse på fire losse vandprøver ved forskellige pH-værdier. Hver losse vandprøve blev inkuberet i en time under tilførsel af enten luft eller kvælstof. Det observeres allerede ved pH < 5 en stærk hæmning af mikrobiologisk vækst, uanset flotationsgas. Desuden ses, at anvendelse af kvælstofgas som flotationsgas i stærk grad hæmmer mikrobiologisk vækst, også ved højere pH-værdier.



FIGUR 19. Resultater fra kimtalanalyse (inkuberet ved 20 grader) for lossevand som blev tilført enten luft (udfyldte søjler) eller kvælstof (skraverede søjler) i en time.

Ved at regulere lossevandet pH gennem syredosering alene eller i kombination med en inert gas i flotationsanlægget, muliggøres genbrug af lossevandet både under losningen men muligvis også imellem forskellige fartøjer, inden for en kortere tidshorisont.

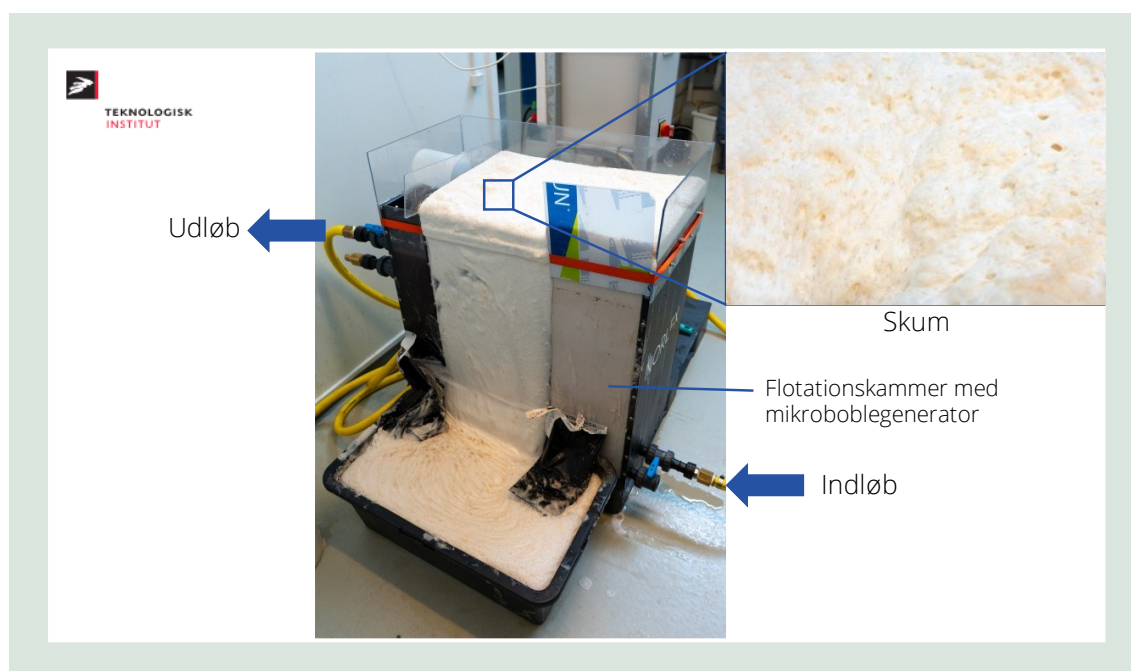
7. Efterbehandling af losse vandet

7.1 Efterbehandling af rensset losse vand

Når losse vandet ikke længere egnes til genanvendelse under og efter losning skal det ledes over i det tredje flotationstårn, hvor formålet er at udvinde så meget tørstof som muligt inden spildevandet sendes til det kommunale renseanlæg. På dette punkt i processen er mængden af tørstof i losse vandet reduceret så meget at det ikke kan betale sig at anvende skumfraktionen som råvare i fiskemelsproduktionen (< 2% tørstof). I stedet kan skumfraktionen nyttiggøres til energiproduktion i form af biogas. Derfor anvendes der i det tredje flotationstårn en billigere konventionel flokkulant, hvor polyakrylamid indgår, fremfor en fødevareegnet flokkulant.

7.1.1 Flotation med konventionel flokkulant

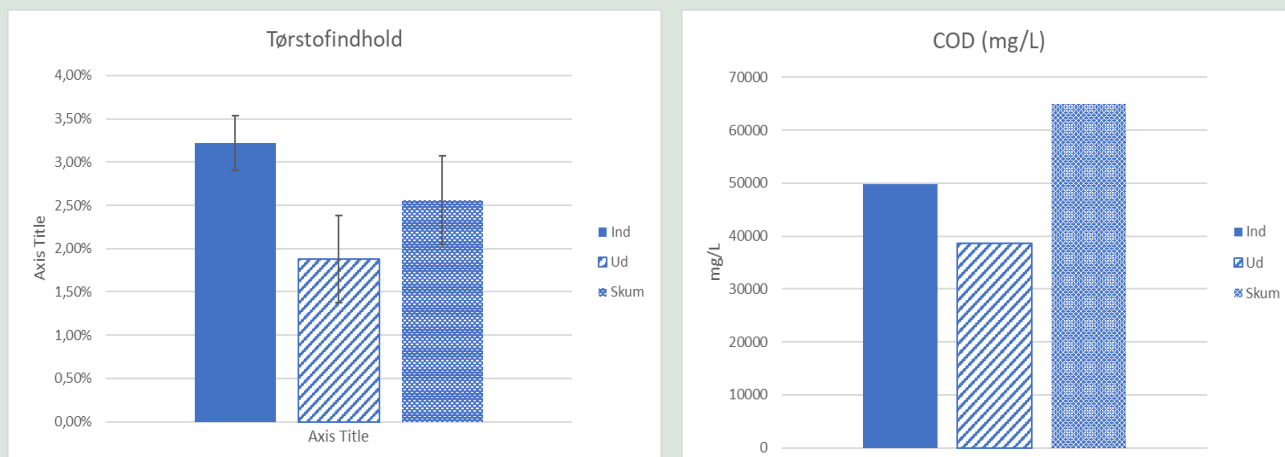
Efterbehandling af losse vandet blev også afprøvet i det pilotskala flotationsanlæg som er anvendt til forsøgene i afsnit 6.3. I dette forsøg blev der anvendt losse vand som allerede har været igennem fuldskalaflotationsanlægget (prøve udtaget efter to timers drift), med henblik på at teste effekten af det tredje flotationstrin. Der blev anvendt en konventionel polyakrylamid-baseret flokkulant (Praestol K133L) samtidig med at der blev tilsat mikrobobler med luft (FIGUR 20).



FIGUR 20. Pilotopstilling til test af efterbehandling ved flotation kombineret med tilsætning af konventionel flokkulant.

Losse vand (indløb og udløb) og skumfraktionen blev analyseret for tørstof og COD (FIGUR 21). Tørstofindholdet i losse vandet blev reduceret med 42 %, mens COD-indholdet kun blev reduceret med 22 %. Desuden udgjorde skumfraktionen en væsentlig volumenmæssig andel, hvilket bevirkede at tørstofindholdet i skummet var lavere end indløbet, dvs. der blev faktisk ikke opnået nogen opkoncentrering af tørstof. Dette var en udfordring som især kendetegnede

forsøgene i teknologisk Instituts pilotskalaanlæg, hvor det var udfordrende at opnå driftsbetingelser som tillod tilstrækkelig opholdstid til at skummet kunne nå at kompakteres.



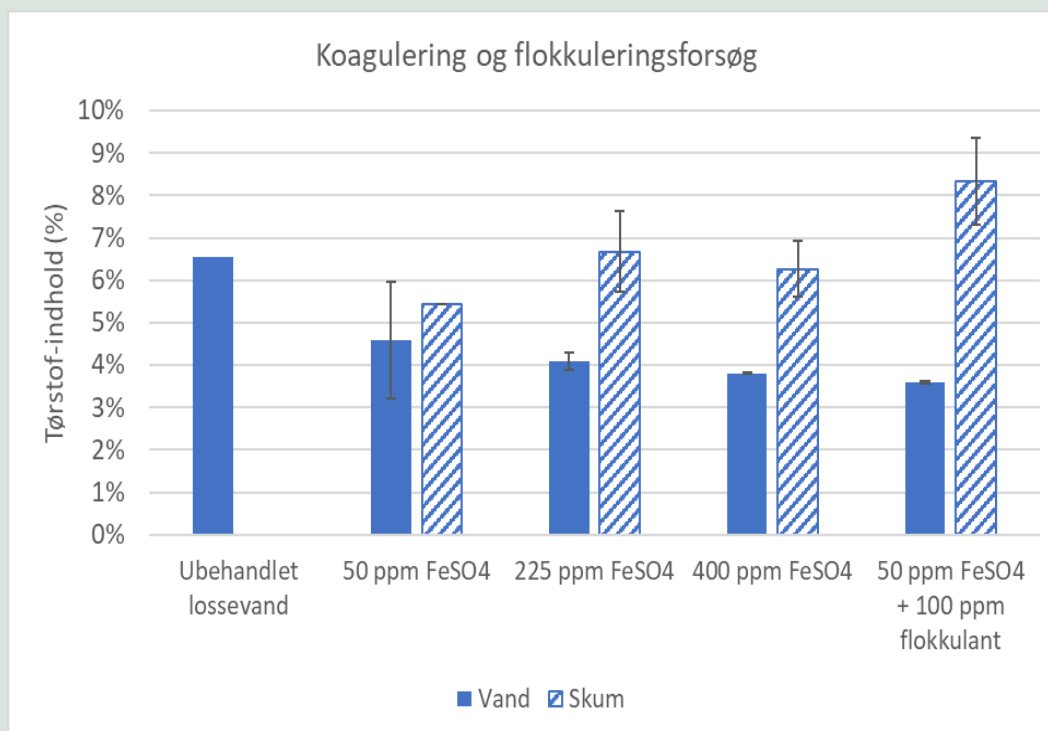
FIGUR 21. Resultater fra pilotforsøg med efterbehandling ved flotation kombineret med tilsætning af konventionel flokkulant. Den venstre graf viser tørstofindholdet i de tre fraktioner, mens højre graf viser COD-indholdet. Udfyldte blå søjler = indløb, skraverede søjler = udløb, ternede søjler = skum.

Den lave reduktion i COD-indhold skyldes sandsynligvis at losse vandet allerede har været igennem flotationsanlægget, hvor størstedelen af den partikulære COD er blevet fjernet. Dermed var der kun det opløste COD tilbage i losse vandet brugt til forsøget, og forsøget indikerer altså at opløst dette ikke i særlig høj grad bliver fjernet med den anvendte flotationsteknologi. Til gengæld sås en koncentration af COD i skumfraktionen, relativt til indløbsvandet (FIGUR 21). Såfremt forsøgene var blevet gennemført ved brug af BIO-AQUAS pilotskala flotationsanlæg, forventes dels en stor reduktion af tørstof og COD i losse vandet, samt en væsentlig opkoncentrering af TS og COD i skummet.

7.1.2 Effekt af koagulering

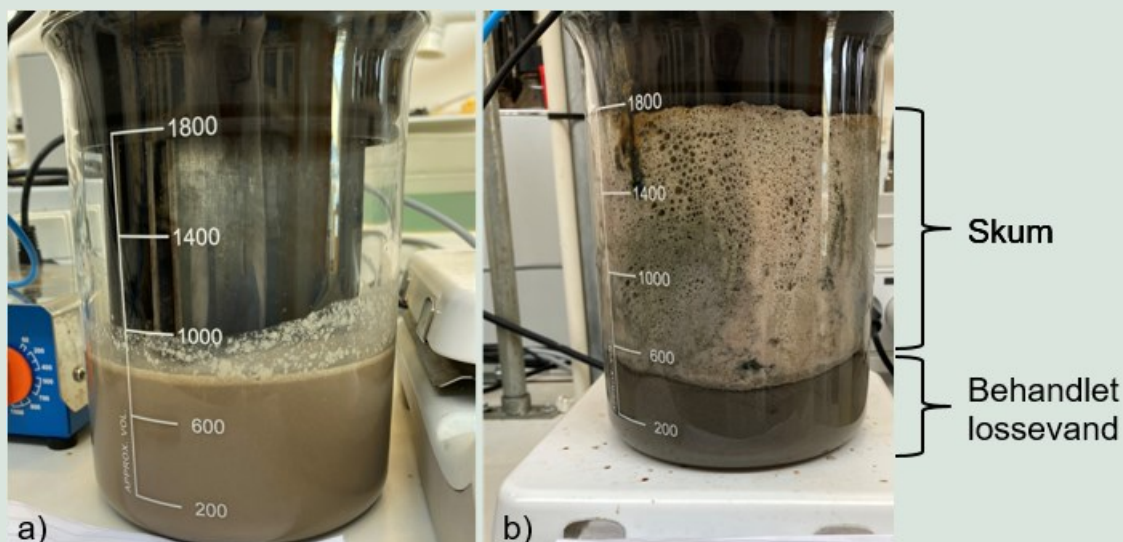
For at teste om separationen af tørstof kunne øges ved brug af en koagulant alene eller sammen med en flokkulant, blev der gennemført flere forsøg. Der blev anvendt en fødevareegnet jernsulfat på pulverform som skal opløses i syre inden dosering, og som derfor bidrager til pH sænkningen.

FIGUR 22 viser resultater fra koaguleringsforsøg i laboratorieskala med brug af fødevareegnet jernsulfat i forskellige doseringer fra 50 ppm til 400 ppm, samt en kombination af jernsulfat med en konventionel flokkulant (Praestol K133L). På trods af at der sker en reduktion af tørstof-indholdet i vandet måles der ikke et højere tørstof indhold i skummet end i det ubehandlede losse vand, når behandlingen udelukkende er med jernsulfat. Til gengæld ses det, at der med en lav dosering af jernsulfat (50 ppm) kombineret med flokkulant (100 ppm) opnås en reduktion af tørstof i vandet fra 6,5 % til 3,5 % og et tørstof indhold i skummet på 8,3% (FIGUR 22).



FIGUR 22. Resultater fra laboratorieforsøg med koagulering og flokkulering af tørstof i losse vandet. De udfyldte søjler repræsenterer vandfraktionen (behandlet eller ubehandlet) og de skraverede søjler repræsenterer skumfraktionen.

Der er også blevet eksperimenteret med elektrokoagulering, hvor koagulanten består af jernioner som frigives direkte fra en elektrode, fremfor at koagulanten tilføres som kemikalie. Derved undgås det at skulle håndtere potentielt farlige kemikalier. Der blev foretaget laboratorieforsøg, illustreret i FIGUR 23, som viser hvordan behandlingen bevirker at tørstofindholdet i losse vandet koncentrerer sig i en skumfraktion, som lægger sig ovenpå det behandlede losse vand.



FIGUR 23. Lossevand fra TripleNine a) før elektrokoagulering og b) efter 10 minutters elektrokoagulering.

TABEL 6 viser analyseresultater for det ubehandlede lossevand, og de to fraktioner efter behandlingen. Efter 10 minutters behandling blev tørstofindholdet i lossevandet reduceret fra 6,5 % til 3,8 %, mens COD-indholdet mere end halveres fra 71.000 mg/L til 30.000 mg/L. Behandlingen blev desuden testet både ved pH 4 og pH 6, og der blev ikke fundet nogen sammenhæng mellem pH og reduktion i COD. At der ikke forefindes en større COD-koncentration i skummet, skyldes formodentlig at den sidste fraktion primært findes som opløst. En del af tørstofbidraget tilskrives endvidere til jern der frigives.

TABEL 6. Resultater fra laboratorieforsøg med elektrokoagulering.

Prøve	Tørstof (%)	COD (mg/L)
Ubehandlet lossevand	6,5	71.000
Skum	13,9	40.000
Behandlet lossevand	3,8	30.000

8. Konklusion

8.1 Konklusion

De forventede vandbesparelser på 50% og betydelige miljømæssige gevinster, herunder årlige reduktioner på 905 tons CO₂, 590 kg CO, 1.095 kg NO_x og 1.215 kg SO₂, blev ikke opnået i projektet.

Karakteriseringen af losse vandet viste store variationer i sammensætningen, hvilket havde stor betydning for den efterfølgende behandling. Tørstofindholdet varierede fra 2% til 31% med et gennemsnit på 11%, hvor 71-96% bestod af organisk materiale. pH-værdien var stabil mellem 6,4 og 7,8, mens saltkoncentration og COD-indhold svingede markant. Disse variationer skyldtes blandt andet losningsinfrastruktur, råvaresammensætning og sæsonvariationer, som påvirkede fiskenes fedtindhold og konsistens. Driftsforhold som skibenes losningssystemer, konserveringsmetoder (køling eller kemisk), valg af fersk- eller saltvand samt recirkulering under losning bidrog yderligere til forskellene i losse vandets karakteristika.

Den eksisterende håndtering af losse vandet inden flotationstårnene var utilstrækkelig og påvirkede flotationsanlæggets drift negativt, da de implementerede rotosiever ikke effektivt fjernede partikler som fiskeskind, skæl og øresten. Identificering og optimering af både forbehandlingsteknologier og flotationsanlæggene blev forsøgt og dækker over beskrevne forsøg omhandlende: anvendelse af bioflokulanter, elektrokoagulering, syretilsætning og ekstra filtre som cyklonfiltre for at opnå bedre partikelhåndtering.

Der er desuden udført mange forsøg med flotationsanlæggene for at reducere tørstofindholdet og muliggøre produktion af fiskemel og olie. Yderligere forsøg er rettet mod den afsluttende "polering" med henblik på at producere tørstof til biogas og rense losse vandet for tilledning i renseanlæg.

Ambitionen var at udarbejde en økonomisk evaluering af flotationskonceptet ved projektets afslutning med bl.a. data omhandlende energiforbrug, vandforbrug, udgifter til flokkulanter og soft acid, indtægter fra fiskemelsproduktion samt potentielle indtægter ved afsætning af tørstoffractionen fra tredje rensetrin (spildevandsrensning).

Evalueringen har imidlertid været udfordrende, da fiskelandingerne har ændret sig i løbet af projektperioden. Tidligere blev fiskene landet direkte i Lemvig, hvor flotationsanlæggene skulle driftes ift. separation af fisk og vand. Under disse betingelser udgjorde flotationsteknologien en fordelagtig case, hvis fiskene blev beskadiget under landingen grundet kvalitet og sæson, idet flotationsteknologi effektivt kunne anvendes til at separere vand fra tørstof. Flotationsteknologien blev dog irrelevant, når fiskene var af høj kvalitet, da vandet i sådanne tilfælde relativt let kunne drænes fra.

I de seneste år er fiskene oftest blevet landet i en anden havn med forskellige lossefaciliteter, hvorefter de transporteres med lastbil til Thyborøn. Dette har betydet, at mængden af vand, der skal drænes fra fiskene, er væsentligt reduceret og ikke nødvendiggør opstart af flotationsanlægget. Derudover er der blevet installeret tårne til opbevaring af syre, hvilket muliggør separation af fedt og protein fra vand gennem syredosering.

Flotationsanlæggene anvendes derfor primært i dag til at håndtere den afsluttende vandrensning, hvor den sidste rest af fedt og protein fjernes ved hjælp af konventionelle flokkulanter, hvorefter tørstofandelen sendes til biogasproduktion, og det rensede losse vand ledes til renseanlæg.

9. Næste skridt

Det lykkes ikke at komme helt i mål med alle delelementer i Innoflotprojektet under projektperioden. Dog har teknologien vist sig lovende, både ift. adskillelse af tørstof så det er muligt at opnå en vandbesparelse, samt en økonomisk gevinst ift. konventionel inddampning af alt lossevand. Der vil efter projektet pågå yderligere forsøg med optimeringer af i særdeleshed forbehandlingsteknologien, og det forventes at der skal implementeres flere cyklonfiltre før flotationsstærnene.

Ved TripleNine kigges der ind i etablering af syrefastetanke til opbevaring af syre mellem losninger. Dog kræves denne etablering både tekniske forberedelser og tilladelser. Flotationsanlægget vil være i drift i perioder hvor de landede fisk er bløde og derfor nemt går i stykker. I perioder hvor fiskene overvejende er hele, vil flotationsanlægget ikke benyttes i samme grad.

Teknologikonceptet udviklet i nærværende projekt var møntet på håndtering af fisk målrettet fiskeolie- og mel produktionen. Denne produktion finder sted i Sydamerika med Chile og Peru som nogle af de største producenter.

Perspektiver i anvendelse af flotationsteknologien, er store, da teknologien er velegnet til at separere partikulært stof fra en vandfase og især inden for andre fødevareegnede segmenter som fx slagterier, grøntproduktion, evt. mejerier etc. Dog er der behov for at udvikle billigere fødevareegnede flokkulanter for at kunne nyttiggøre en større andel af tørstoffet.

InnoFlot-projektet havde som mål at udvikle og implementere et fuldskaflotationssystem hos TripleNine i Thyborøn for at forbedre den ressourceeffektive genanvendelse af lossevand fra losning af fisk til produktion af fiskemel og -olie. Projektet, støttet af Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP), som administreres af Miljøstyrelsen, byggede videre på lovende pilotskala-forsøg med op til 75% vandbesparelse gennem flotation og recirkulation, men mødte udfordringer som store variationer i lossevandets sammensætning, utilstrækkelig forbehandling, lav leverance af fisk samt eksterne forhold som COVID-19, Brexit og stigende energipriser.

Det installerede flotationsanlæg inkluderede tre trin: De første til recirkulering og separation af tørstof fra vand, ofte med brug af fødevaregodkendte kitosan-baserede flokkulanter, og det tredje til efterbehandling og konditionering inden udledning til renseanlæg. Forsøg viste, at den rette kombination af pH-justering (syretilsætning), valg af flokkulant og brug af cyklonfiltre kunne forbedre separationen og hæmme bakterievækst, men at især forbehandlingen skal optimeres for at opnå kontinuerlig drift og fuldt udbytte. Sundheds- og miljørisikovurderinger viste ingen væsentlig risiko ved recirkulering, da vælgte kemikalier forbliver langt under grænseværdier.

Samlet konkluderer projektet, at flotationsteknologien har stort potentiale for at reducere vand- og energiforbrug i fiskeindustrien, og den kan udbredes til andre sektorer med lignende behov. Implementering på stor skala kræver dog videreudvikling, især af forbehandlingsenheder, og udvikling af økonomisk attraktive fødevareegnede flokkulanter.



Miljøstyrelsen
Lerchesgade 35
5000 Odense C

www.mst.dk