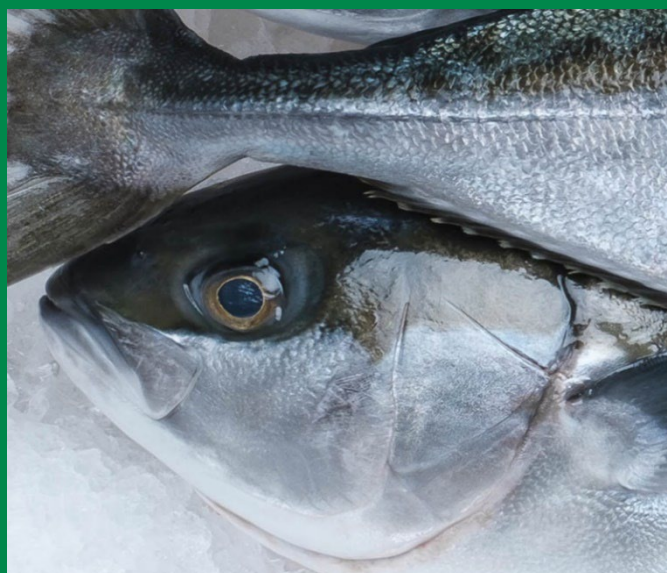




Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

RAS 2020, effektiv og innovativ fiskeproduktion via Best Available Technology MUDP-rapport



MUDP Rapport

November 2023

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Johan Wedel Nielsen, Aquamind

Anne Borggaard Samsing, Sashimi Royal A/S

ISBN: 978-87-7038-568-8

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.

Indhold

1.	Forord	4
2.	Konklusion og sammenfatning	5
3.	Summary and conclusion	6
4.	Strategi for Dansk Akvakultur og anlæggets ide	7
5.	MUDP-projektet	8
5.1	Arbejdspakke 1 - Tilskud til udvikling af demonstrationsanlæg med renseanlæg for spildevand indeholdende havvand	8
5.2	Arbejdspakke 2 - Udvikling og test af nye og intensive miljøteknologier til akvakultur	9
5.3	Arbejdspakke 3 - Fuldskala test og demonstration	11
6.	Økonomi i produktionen	15
7.	Demonstrationsbesøg	17
8.	Salg af anlæg fra Krüger og Gråkjær	18
9.	Konklusion på projektet	19
10.	Perspektivering for fremtiden af dansk fiskeopdræt og eksport af akvakultur teknologi	20
Bilag 1.Evaluering af udledninger fra RAS2020 anlæg, Sashimi Royal. Oprindelig spildevandsrensning		21
Bilag 2.Evaluering af udledning og Skematisk opbygning af aktivt slamanlæg		26

1. Forord

Projektet RAS2020, "Effektiv og innovativ fiskeproduktion via Best Available Technology" blev bevilget som et fyrtårnsprojekt i 2015 under Miljøteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (MUDP) under Miljøministeriet. Projektet blev gennemført i perioden 2016 til 2023.

Denne rapport beskriver resultaterne af projektet, samt perspektivering af fremtiden for opdræt af fisk i recirkulering samt eksport af dansk miljøteknologi.

Hovedformålet med projektet var i fuldskala at udvikle miljøteknologi og demonstrere og afprøve verdens første RAS2020 anlæg for saltvandsfisk, som er en ny innovativ metode til at producere fisk på land, hvor miljøaftrykket er lavere end ved produktion i havbrug.

Projektet blev fra start gennemført af Sashimi Royal i samarbejde med Dansk Akvakultur og miljømålinger blev udført af DTU Aqua. Krüger og Gråkjær leverede anlæggets basis hovedkomponenter. Aquamind indgik som konsulent for Sashimi Royal.

Et samarbejde med Nordic Aquafarms Technology ApS er siden startet i forbindelse med videudvikling og udvidelser, og analyser er i den forbindelse foretaget af SGS Analytech.

Styregruppen bestod af:

Claus Rom fra Sashimi Royal
Kaare Michelsen fra Dansk Akvakultur
Per Bovbjerg Pedersen fra DTU Aqua
Johan Wedel Nielsen fra Aquamind

Nanna Rørbech fra Miljøstyrelsen har fulgt projektet.

Undervejs har Bent Urup, fra Aqua Partners og Thomas Sandahl, Søren Mattesen og Anne Borggaard Samsing, fra Sashimi Royal m.fl., bidraget til projektet.

2. Konklusion og sammenfatning

Målet var at teknologiudvikle og salgsmodne et industrielt modulært koncept for opdræt af saltvands fisk på land. Dette lykkedes, både Krüger A/S og Gråkjær A/S, som byggede RAS2020, har nu færdigudviklet konceptet, som nu kan sælges globalt. Videreudviklingen på anlægget er foretaget af Nordic Aquafarms Technology ApS

Målet var at vise, at RAS2020 med efterfølgende renseanlæg, har bedre renseeffektivitet end Best Available Technology (BAT) i branchen, med en rensegrad på 78% N, 85% P og 98% BI5. I starten lykkedes det kun at vise en begrænset rensning af spildevandet i forhold til det forventede, hvilket formentlig skyldes uforudsigelige driftsforhold.

I 2022 blev der bygget et nyt supplerende rensningsanlæg for at overholde miljøtilladelsen. De første målinger herfra viser en overholdelse af udledningskravet af kvælstof, og en mindre overskridelse af udledningskravet af fosfor. Anlægget er stadig under indkøring og det forventes at alle udledningskrav kan overholdes når indkøringen er færdig i 2023.

Projektet havde også til formål at demonstrere en mere optimal byggeproces via moduler. Det lykkedes at bygge dette anlæg på blot 15 måneder og i fremtiden vil et RAS2020 anlæg kunne bygges på under et år.

Slutteligt havde projektet til formål at demonstrere en positiv driftsøkonomi, som er akilleshælen for landbaseret fiskeopdræt. Sashimi Royal har endnu ikke driftsoverskud, men med gode salgspriser, udvidelser af produktionen og god vækst, er vi på rette vej. Det forventes, at anlægget har en positiv bundlinje i 2023.

Det konkluderes, at det er lykkedes at bygge et modulbaseret anlæg med god performance, der kan eksporteres globalt.

3. Summary and conclusion

The project aimed to develop and mature a modular fish farm concept for land-based fish farming. This goal was achieved and the RAS2020 concept is now sold globally.

Another aim was to demonstrate that the water treatment of the RAS2020 concept is superior to other designs, with an expected treatment efficiency of 78% for nitrogen, 85% for phosphorous and 98% for BI5.

This goal was not achieved at first due to unpredictable operating conditions. A new water treatment plant was designed so to comply to the environmental permit. The first measurements show compliance with the discharge requirements for nitrogen, and a minor exceedance of the discharge requirements for phosphor. The facility is still in upstart, and it is expected that all emission requirements can be met when it is fully up and running, ultimo 2023.

The third aim was to demonstrate a faster and more efficient building process with modular design. We succeeded in building the facility in 15 months. This process can be shortened to around 12 months.

Lastly the project should demonstrate positive operating economy, which is the big drawback of land-based fish farming. Sashimi Royal does not yet have a profit, but with good sales prices, expansion of production and a good growth, we are on the right track. It is expected that the facility will have a positive bottom line in 2023.

We conclude that the project has succeeded in building a modular farm with good performance that is now exported globally.

4. Strategi for Dansk Akvakultur og anlæggets ide

I 2015, hvor projektansøgningen blev indsendt, havde den danske regering udarbejdet en ny strategi 2014 - 2020 for akvakultur i Danmark bl.a.:

- Den samlede produktion skal være steget i 2020, samt at en væsentlig andel skal være økologisk produktion.
- Det er et miljømål, at kvælstofudledningen skal være reduceret med 20% per kg produceret fisk i 2020.
- Det er et eksportmål, at eksporten er øget med 25% i 2020.

RAS2020 konceptet adresserer samtlige aspekter i akvakulturstrategien 2014 – 2020, ved at øge fiskeproduktionen af en højværdi art, hvor vandet renses inden udledning.

Den nye strategi for en bæredygtig akvakultursektor 2021-2027 tager udgangspunkt i Europa-kommissionens strategi for en mere bæredygtig konkurrencedygtig akvakultur. Dette skal sikres gennem fire hovedmål: modstandsdygtighed og konkurrenceevne, grøn omstilling, social accept og forbrugeroplysning, og øget viden og innovation.

Ud over eksport af fisk har konceptet også et stort potentiale for teknologiekspert.

Danmark har en førerposition inden for recirkulationsteknologi, og var tidligere ledende inden for produktion af fisk i Norden. Grundet miljøhensyn kunne Danmark ikke udvide produktionen i gennemstrømningsanlæg og havbrug, hvilket har resulteret i, at Norge nu holder førerpositionen. Derfor var der i Miljøstyrelsens akvakulturstrategi 2014-2020 lagt op til, at der skulle ske en vækst i produktionen samtidig med, at miljøaftrykket per produceret kg blev nedsat med 25%. Yderligere var en del af strategien, at eksporten af akvakulturteknologi skulle øges til 3 milliarder kr.

Der var behov for, at udvikling af recirkuleringsteknologien for at overholde miljømålene sat i 2014-2021. De største kritikpunkter hertil var: dårlig økonomi, høj anlægspris og dårlig teknisk. Derudover var det vigtigt, at rensningsteknologien blev valideret og udviklet, så den blev bedre og billigere, så fisken "kunne betale" for vandrensningen.

Første spadestik til Sashimi Royal blev foretaget i marts 2016. Efter at man lykkedes med byggeri af anlægget og teknologiudvikling af udstyr til indretning, fodring, drift og rensning, skiftede fokus i projektets sidste fase, til optimering af drift i forhold til vandrensningsdelen for spildevand og validering af vandrensningen.



FIGUR 1. Sashimi Royal ligger i Hanstholm ud til Vesterhavet.

5. MUDP-projektet

5.1 Arbejdspakke 1 - Tilskud til udvikling af demonstrationsanlæg med renseanlæg for spildevand indeholdende havvand

RAS2020 og BAT i byggeriet.

Fordelen ved at bygge et RAS2020 anlæg er, at det er et konceptbyggeri, som er ens fra gang til gang. Samtidig bliver der i meget høj grad bygget med betonelementer, så man dermed opnår et hurtigere bygningsproces sammenlignet med in situ beton-støbning. Således kan en af de tre betonringe, som anlægget består af, rejses i løbet af en dag, når bundpladen er klar.

Da Sashimi Royal anlægget i Hanstholm er det første fuldskalaanlæg i RAS2020 serien med en forventet produktionskapacitet på 1.200 tons fisk pr. år, undgik man ikke opstartsproblemer.

Byggeriet i Hanstholm startede i marts 2016 og sluttede året efter i start juli 2017, så byggeriet tog 1 år og 3 måneder. Forventningen var, at RAS2020 kunne opføres 50% hurtigere end konventionelle anlæg. Krüger forventer, at det vil kunne gøres på cirka et år, hvilket betyder, at målsætningen opnås om en byggetidsreduktion på 50%, sammenlignet med konventionelle anlæg, hvor der laves in situ støbning. Det tog f.eks. flere år at bygge Danish Salmon i Hirtshals. De to efterfølgende RAS2020 anlæg i Fredrikstad i Norge er i drift.

Prisen på selve byggeriet i Hanstholm var omkring 70 millioner, som med den forventede produktion på 1.200 ton ville give en anlægsspris på 58 kr./kg. Erfaringer har vist, at anlægget ikke kan producere de forventede ton, men derimod har anlægget en kapacitet på 500 ton kingfish. Dermed vil prisen for et lignende anlæg til produktion af kingfish være 140 kr./kg.

Krüger har på baggrund af erfaringer lavet et opdateret design, kaldet RAS2020 Mark.3, som har 25% større vandvolumen og en produktionsvolumen på 1.300-1.500 ton fisk - afhængig af fiskeart.

RAS2020 i Hanstholm har vist vejen for dansk akvakultur design, og er at regne for Best Available Technology (BAT) i branchen. Succesen har også fået andre firmaer som Gråkjær og Nordic Aquafarms til at udvikle videre på recirkuleringskoncepter.

Fokus på arbejdsplanen 1 var at bygge et effektivt renseanlæg til saltvand, hvilket blev testet i AP3. Undervejs i projektet blev rensningsanlægget løbende justeret, inden den endelige test, i slutningen af projektet i 2019 da biomassen var opbygget.

Ud over rensningsanlægget, som ligger efter fiskeopdrættet, blev der lavet en speciel rumventilation. Ventilationen kan styre luftfugtighed og temperatur inde i anlægget, samt sikre at CO₂-stripperen fungerer optimalt.

Sidst blev der installeret et nyt udfodringsanlæg, som er en essentiel del af rensningsanlægget. Dette skyldes, at knuste foderpiller bidrager med organisk stof og næringsstofs forurening til anlægget, uden at det bidrager til fiskens vækst. Spild af knuste foderpiller sviner mere end foderpiller, der først har passeret fiskens fordøjelsessystem, hvor størstedelen af næringsstofferne optages. Udfodringsanlægget består af en rustfri stålring som foderet blæses igennem. Herefter fordeler små ventiler foderet til de forskellige fiskekar. Det lykkedes at lave et udfodringsystem, som kun taber 1% af foderet som knuste piller.

Videreudvikling

Driften af anlægget har været en stejl læringskurve, derfor har en videreudvikling af flere af komponenterne i anlægget været nødvendig. Nordic Aquafarms Technology ApS, har i samråd med produktionsfolkene og deres erfaringer, videreudviklet og lavet forbedringer på anlægget, bl.a. ventilation, flowsættere, degasning og skillegitre.

5.2 Arbejdspakke 2 - Udvikling og test af nye og intensive miljøteknologier til akvakultur

I arbejdsplanen 2 var der fokus på udvikling og test af nye intensive miljøteknologier blandt andet indvinding af slam og fosfor fra saltvandsanlæg

Projektet blev i væsentligt omfang forsinket pga. manglende yngelleverancer fra sættefiskanlægget Maximus. Produktionen af marin yngel kan være vanskelig, hvorfor det var planlagt at indkøbe yngel fra Aquanor anlægget i Chile. Dog var indkøb ikke mulig og fokus blev derfor lagt på at optimere Maximus (ikke omfattet af MUDP-projektet).

Produktionen på Maximus blev stabiliseret, og Sashimi Royal modtog stabile leverancer af sættefisk primo 2019. Inden produktionen på Sashimi Royal var stabiliseret, begrænsede Covid19 salget, hvilket førte til begrænset produktion.

I 2022 sås en stabil produktion, og efter et år ser det ud til at produktionskapaciteten i anlægget er på 500 tons pr. år.

Teknisk performance og teknologiudvikling

Det er forventeligt, at der er en risiko ved et nyt konceptdesign, som kræver tilpasninger. Dette har også været tilfældet med RAS2020, som har haft udfordringer med specielt flowsætter og skillegitre.

Formålet med at have skillegitre er at kunne justere karstørrelsen efter biomasse samt at lette fiskehåndtering, da fisken kan samles ved at justere afstand. Skillegitrene er også nødvendige for at kunne bygge én stor tank, som stadig er adskilt i sektioner.

Der var mange udfordringer med at få skillegitrene til at fungere, både fremstillingsprocessen af gitrene, selve installationen og mekanikken til at flytte gitrene voldte udfordringer. Dette er blevet løst ved at bruge plastplader og udfræse lameller i disse. Et skillegitter består af otte mindre lamelplader, som monteres ved hjælp af glideskinner. Ved at lave flere mindre lamelplader, kan de tages op ved håndkraft og serviceres fra overfladen. I fremtidige anlæg, vil disse kunne installeres uden problemer.

Skillegitrene er efterfølgende blevet videreudviklet med fokus på forbedret arbejdsgang for produktionsarbejderne og fleksible kammerstørrelser, hvilket forbedrer vækstforholdene for fiskene. For at holde på små fisk, skal lamellerne i lamelpladerne være meget tætte for at kunne holde de små fisk, hvilket bremser flowet en del.



FIGUR 2. Installation af skillegitre i den indre ring.

Strømsætter og vandstrøm

Strømsætteren er den propel, som skaber vandstrøm i karsektionerne. Dette frakobler vandstrøm i anlægget fra vandflowet gennem den interne renseproces. Denne opfindelse er ny og er den patentbeskyttede del af RAS2020 konceptet.

Installationen og driften af strømsætteren sideløbende en tilpas høj vandstrøm var udfordrende. Specielt ønsket om at få et flow på 0,3 m/s viste sig vanskelig at opnå i praksis.

I løbet af projektet blev strømsætterne skiftet og justeret flere gange, ofte med fisk i bassinerne hvilket krævede dykker, og gjorde det teknisk udfordrende.

Dansk Akvakultur lavede flowmålinger i anlægget med vingemåler og Doppler måleudstyr. Vandstrømmen var god nok til, at fiskene gik godt, og sedimenter transporteredes hen til afløbene. Flowet blev målt til 0,2 m/s. Det vurderes, at med den nuværende metode kan der ikke opnås det planlagte flow på 0,3 m/s.

Dog skaber strømsætterne så meget turbulens i vandet, at fiskene ikke trives i de første meter nedstrøms. Dette gør, at vi har tomme m³, der ikke kan benyttes til produktion.

Sedimentering

Sedimentering af organisk stof er i saltvandsanlæg meget problematisk, da det kan give ophav til dannelse af svovlbrinte (H₂S) i slamansamlinger. Svovlbrinte er meget giftig for fisken og kan føre til pludselige dødsfald af hele den stående fiskebestand. Dette er flere gange observeret i saltvandsanlæggene i Norsk storsmolt produktion og hos Atlantic Sapphire i Hvidesande.

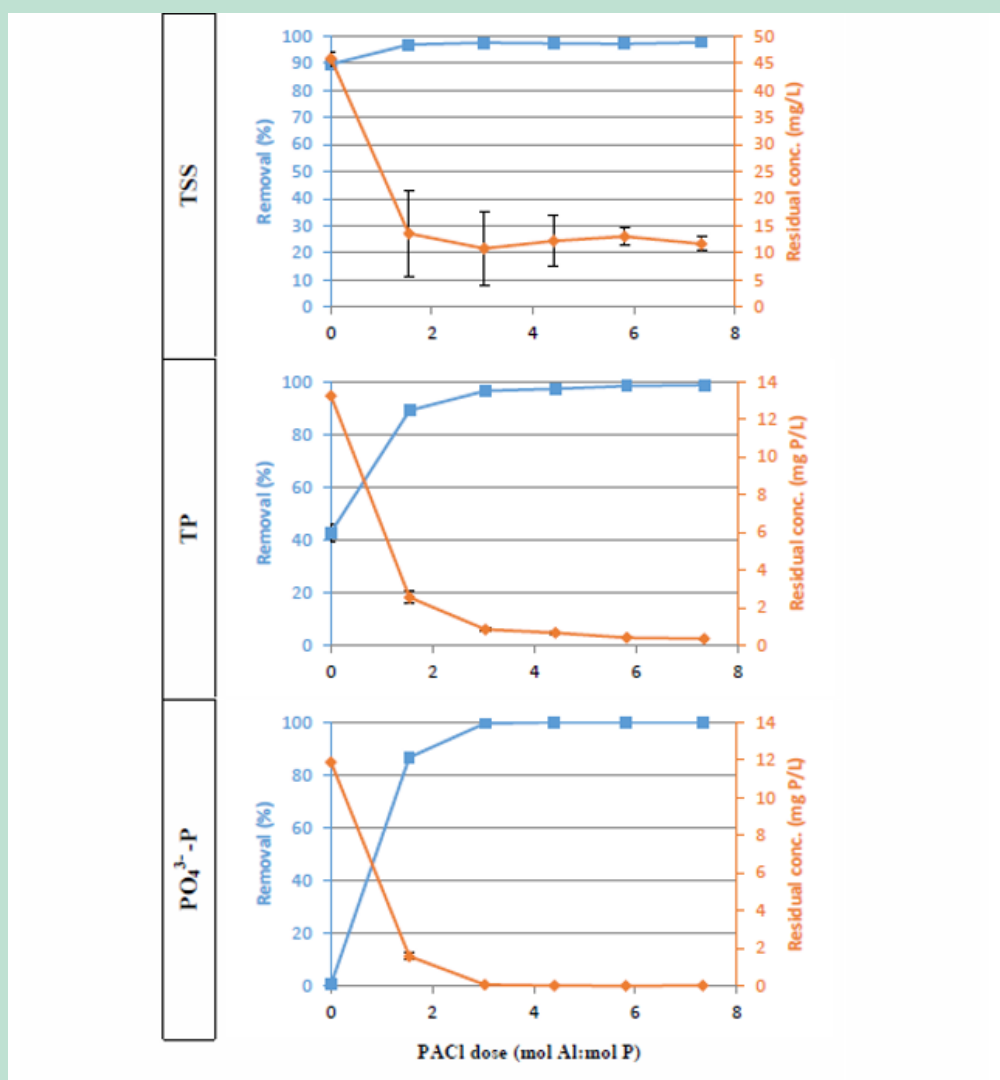
Derfor har der været meget stor fokus på sedimentering af slam i anlægget i designfasen. I løbet af opbygning af fiskeproduktionen har der været fokus på at lave protokoller for at se om der er steder i anlægget, hvor der opstår sedimentering af slam. Dette har ikke været tilfældet på Sashimi Royal, og vi er nu sikre på at anlægget ud fra dette meget kritiske designparameter, performer godt. Der laves dog stadig ugentlige tjek af opdrætstankene med kamerastænger for at tjekke for slam.



FIGUR 3. Båndfilter på Sashimi Royal, som fjerner slam fra afløbsvandet.

Slamfjernelse

Slamfjernelsen voldte problemer i starten, da udstyret ikke var velegnet til saltvand ved 23°C. Der var meget store problemer med at få polymer og aluminiumsklorid til at fungere optimalt sammen og styre pH. pH påvirkes kraftigt af aluminiumstilsætninger, og ved forkert pH begynder polymeren at binde sig til filterdugen, således båndfilteret ikke fungerer. Der har også været problemer med gummilister som fungerede dårligt i varmt saltvand og krøllede. Det lykkedes at få rensningsanlægget kørt ind så det fjernede det meste slam, dog var BI5 stadig for højt i udløbsvandet.



FIGUR 4. Removal rate (removal blue) and residual concentrations (Residual conc., orange) for Total Suspended solids (TSS), Total Phosphorous (TP) and dissolved reactive phosphorous ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$), at the different Al:P molar ratio of PACl ($n=3 \pm \text{S.D.}$).

DTU Aqua lavede i løbet af projektet forsøg med brugen af aluminiumsklorid til fjernelse af fosfor og mikropartikler fra afløbsvandet. Forsøgene viste at det var muligt at fjerne 95% fosfor og 80% mikropartikler ved at bruge aluminium klorid i en molar koncentration på 2:1 mellem Al og P (FIGUR 4).

5.3 Arbejdspakke 3 - Fuldskala test og demonstration

Arbejdet med fuldskala test og demonstration blev væsentligt forsinket, pga. manglende sættefisk produktion på Maximus, som først blev optimal i start januar 2019. Derfor blev anlægget først fuldt belastet med biomasse og daglig fodermængde i løbet af året.

I opstarten af RAS2020 anlægget så det ud til, at foderkoefficienten var noget højere end man havde forudset, og at dette belastede anlægget mere end det var designet til. Gennem erfaringer med at drifte anlægget, har man fundet at faktorer som: tætheder i anlægget, kvaliteten af indtagsvandet og fodertyper, har haft stor indflydelse på væksten og belastningen af anlægget, og ved ændringer af disse faktorer har man forbedret foderkoefficienten.

Da denitrifikationen i RAS2020 ikke ville være i stand til alene at reducere den totale kvælstofudledning tilstrækkeligt, og at produktionskapaciteten på Sashimi Royal skulle udvides yderligere, blev det besluttet at betragte projektet ud fra et friskt perspektiv og i sin helhed, frem for særskilte processer og udledningskilder. Derfor blev projektet endnu engang forsøkt.

Mål: Overholdelse af miljøtilladelsen for det samlede udvidede projekt på bedste mulige måde.

Vurdering af mulige rensningsteknologier for kvælstoffjernelse:

Flere mulige tekniske løsninger for biologisk rensning blev vurderet overordnet i forhold til fordele/ulemper og dertilhørende krav til processtrin før og efter.

Fokusområder for vurdering af tekniske løsningsmuligheder som helhed:

- Skalerbarhed ift. senere udvidelser, der med yderligere forøget kapacitet fortsat ville kunne overholde miljøtilladelsen uden at skulle ansøge om højere kvoter
- Investerings- og driftsomkostninger
- Driftsstabilitet og kompleksitet i drift for personalet
- Sikkerhed for anoxisk biologisk proces i havvand ved 23°C (H₂S mv.)
- Bæredygtighed og socialt ansvar
 - Energi og CO₂
 - Kemikalieforbrug (ekstern kulstofkilde dosering, koagulant og polymer)

Vurdering af eksisterende slambehandlingsanlæg:

Det eksisterende slambehandlingsanlæg blev gennemgået og revurderet med henblik på mulig fortsat anvendelse ift. hydraulisk kapacitet og mængder af forventet slam og rensegrad. Efter rådgøring med producenten af tromlefiltre og båndfilter blev det vurderet, at der ikke ville være tilstrækkelig kapacitet og der skulle foretages en udvidelse af det eksisterende anlæg for at håndtere den fremtidige mængde slamvand.

Da rensningseffektiviteten i forvejen ikke var tilfredsstillende og der dertil skulle etableres et efterpoleringstrin for partikler (BI₅, TP), blev det besluttet at søge en anden løsning, specifikt tilpasset det endelige valg af teknologi for rensningsanlægget.

Ud fra ovenstående, blev det vurderet at en anoxisk aktivt slam proces var foretrukket, da det relativt store areal der kræves hertil, var tilgængeligt. Ideen med anlægget er at bruge slam fra anlægget til at facilitere denitrifikationsprocessen. Teknologien benyttes i ferskvand, men er relativt ukendt i saltvand, hvor processen blandt andet vanskeliggøres af svovlbrinte. Aquahouse A/S blev engageret til at dimensionere et sådant anlæg ud fra erfaringerne fra Danish Salmons udviklingsprojekt i Hirtshals. Ud fra Aquahouse's grundlag, blev der blandt andet arbejdet med:

- Tilpasning af designforudsætninger for dimensioneringen af anlægget ud fra erfaringstal fra RAS2020 og Yellowtail Kingfish i forhold til næringsstoffer/kg foder
- Strategier til kapaciteten/volumen i det aktive slam anlæg i forhold til den gradvise opbygning af RAS og produktionskapacitet og tilhørende risiko for svovlbrinte
- Masse- og flowbalancer for det udvidede projekt og inkorporering af nødvendige fremtidige rørforinger for udvidelsesprojekter til rensningsanlægget
- Pilottest af skruepresse som slamafvanding blev udført med henblik på at anvende denne teknologi til slamafvanding og opnå højere tørstofindhold i slammet og derved reducere den nødvendige kørsel af slam til biogasanlæg
- Varmetabsberegning for det aktive slam anlæg i forhold til varmeveksling med indtagsvandet til produktionsanlæggene for varmegenindvinding
- Samarbejde med bygningsentreprenør for design af bygning for anlægget
- Vurdering af eksterne kulstofkilder for den biologiske proces. Dencerin blev valgt som foretrukket ekstern kulstofkilde da det er et animalsk biprodukt fra biodiesel produktion og dermed et miljøvenligt, prisgunstigt og ufarligt produkt.

- Planlægning og vurdering for yderligere behov for efterpoleringstrin i fremtidige udvidelsesprojekter ift. tilgængeligt areal for disse, hvis nødvendigt.

Målinger af spildevand:

Der er i løbet af projektets udstrækning foretaget måleserier for at dokumentere rensningsgraden af spildevandet.

DTU Aqua har gennemført tre måleserier, som i deres helhed er afleveret i bilag 1. Kampagne 1 blev udført maj-juli 2018, kampagne 2 blev udført februar-marts 2019, kampagne 3 blev udført september-november 2019.

Yderligere blev en 4. kampagne foretaget efter igangsættelse af det nyudviklede aktive slam anlæg i februar 2023. Denne måling er foretaget af SGS Analytech.

TABEL 1. Målt og beregnet udledning af næringsstoffer og organisk stof (kg næringsstof/dag) fra RAS2020, Sashimi Royal, Danmark.

Parameter		Næringsstoffer udledt (kg/dag)			
		Udløbskoncentrationer er vist i parentes (mg/l)			
Målepunkt	F				
		Kampagne 1 (n=4±SD)	Kampagne 2 (n=5±SD)	Kampagne 3 (n=9±SD)	Kampagne 4 (n=1)
N	TAN	0.98 (1.5±0.4)	2.6 (1.6±0.8)	2.1 (1.5±0.6)	0.16 (0.17)
	NO ₂ -N	8.6 (12.7±5.9)	2.9 (1.78±1.3)	8.1 (5.7±1.9)	0.09 (0.10)
	NO ₃ -N	41.1 (63.3±16.1)	86.2 (54.4±11.7)	90.4 (63.6±14.4)	0.83 (0.91)
	TN	51.0 (79.4±16.1)	104.4 (65.8±3.9)	143.9 (101.2±18.1)	3.24 (3.55)
OM	BI ₅	10.2 (54.8±11.4)	126.3 (78.0±46.0)	74.0 (52.0±49.1)	2.74 (3)
	sCOD	33.6 (31.3±28.4)	63.4 (86.2±43.0)	58.2 (11.9±6.6)	31.08 (34)
	TCOD	113.1 (187.1±131)	312.9 (224.8±107.2)	261 (183.5±67.1)	39.30 (43)
P	PO ₄ -P	3.8 (5.6±3.1)	5.3 (3.22±0.23)	5.2 (3.7±0.7)	1.74 (1.90)
	TP	5.7 (8.3±3.4)	8.6 (5.3±0.7)	13.2 (9.3±5.7)	2.81 (3.07)

TAN: Total ammoniacal nitrogen, TN: Total nitrogen, BI₅: Biologisk iltforbrug totalt i 5 dage, sCOD: opløst kemisk iltforbrug, TCOD: Total kemisk iltforbrug, TP: Total fosfor. Målinger foretaget af DTU Aqua, og SGS Analytech Aalborg.

Denitrifikation

For de første tre kampagner er denitrifikationen i rensning af udløbsvandet endnu ikke tilfredsstillende. Dette skyldes, at denitrifikationsfilteret er for lille. Vandets opholdstid er derfor ikke lang nok; metanolen, som tilsættes, bliver ikke opbrugt som beregnet, og BI₅ stiger som konsekvens efter denitrifikationsfilteret.

Efter etablering af et aktivt slam anlæg, ses der et stort fald i koncentrationerne i 2023, også mere end målet var. Der er tilsat store mængder dencerin for at sætte gang i denitrifikationen i opstarten. Den høje tilsætning har forårsaget høje slamkoncentrationer hvorfor en nedjustering af dencerin er nødvendig. Kvælstofkoncentrationen vil derfor stige lidt, men stadig holde sig inden for grænseværdien.

Fosfor fjernelse

I de første tre kampagner 2018-2019 lykkedes fosforfjernelsen bedre end denitrifikationen, men dog stadig ikke tilstrækkeligt i forhold til oprindeligt beskrevet i ansøgningen, grundet problemerne med at få polymer og aluminiumsklorid til at fungere optimalt sammen og styre pH.

Efter etablering af et aktivt slam anlæg, er fosforreduktionen i 2023 bedre. Den er stadig lidt højere end ønsket, dette skyldes den høje slammængde der er kommet i anlægget grundet tilsætningen af for meget dencerin. Polyaluminiumskloriden binder sig i højere grad til det organiske materiale og i mindre grad til fosforen. Udfældningen af fosfor forventes derfor bedre, når slamkoncentrationen i systemet bliver reduceret.

BI5 fjernelse

I de første tre kampagner 2018-2019 blev BI5, eller organisk stof, ikke fjernet tilstrækkeligt i forhold til forudsætningerne. Samspillet mellem aluminiumstilsætning, som skal binde fosfor, og polymeren, som skal flokkulere BI5, var meget svær at håndtere, som beskrevet ovenfor.

Ligeledes blev BI5 kunstigt øget ved, at denitrifikationen ikke fungerede, selvom der tilsættes løbende methanol for at effektivisere denitrifikationen. Men på grund af den lave opholdstid i filteret blev methanolen ikke opbrugt, og i stedet skyllet ud med afløbsvandet.

Efter etablering af et aktivt slam anlæg, ses en forbedring i 2023, der skal dog fortsat laves flere justeringer på mængden af polyaluminiumschlorid og laves flere forsøg med polymere. Den længere opholdstid og recirkuleringen i rensningssystemet gør, at udsving i produktionen ikke vil have lige så stor indflydelse på rensningsgraden. Alt i alt bliver det nemmere at opretholde en stabil rensning.

6. Økonomi i produktionen

Det har siden 1970'erne været teknisk muligt at producere laksefisk i fuldt recirkulerede anlæg, men en væsentlig hindring for udfoldelse af potentialet har været at driftsøkonomien har været dårlig. Faktisk har driftsøkonomien været dårlig i næsten alle anlæg som er bygget til dato.

Dette er naturligvis en stor hindring for udbredelsen af teknologien samt eksport af teknologi. Men Sashimi Royal har også på dette punkt været pioner ved valg af Kingfish som opdrætsart, idet arten trives i RAS anlæg og opnår en pris på 90-100 kr./kg. Dette er væsentligt mere end hvad der opnås for laks, og betydeligt mere end hvad der opnås for regnbueørred.

Art	Salgspris per kg	Performance i RAS anlæg
Kingfish	90 kr./kg	God, trives, kan ikke gå særlig tæt
Sandart	50-70 kr./kg	Dårlig, stresser nemt og kan ikke gå tæt
Laks	55 kr./kg	Medium, kan ikke gå særlig tæt
Regnbueørred, portion	23 kr./kg	Meget god, kan gå meget tæt.

I ansøgningen til MUDP blev der forventet en forrentning af investeringen på 15%. Det er for tidligt endnu at sige, om dette mål nås, men det ser lovende ud.



FIGUR 5. Højkvalitets sashimi - udskæring af Kingfish, som er opdrættet på anlægget i Hanstholm.

Kingfish sælges til blandt andet sushi og prissættes lidt under søtunger hos fiskehandleren.

Salget af Kingfish går godt, der var i den oprindelige ansøgning forventet en pris på 60-80 kr./kg. men salgsprisen som er opnået i markedet, har været markant højere, omkring 90 kr./kg. Det kan forventes at prisen vil falde lidt efterhånden som produktionen stiger i både Danmark og den nærmeste konkurrent i Holland. Men der er ikke tvivl om, at salgsprisen på kort og mellem-langt sigt vil være over produktionsomkostningerne.

Kvaliteten på den slagtede fisk på Sashimi Royal har generelt været god. Bismag af mudder fra geosmin og methyloborneol, som er velkendt i recirkuleret fiskeopdræt, og er et specielt problem i fede fisk, er undgået. Der har været stor fokus på korrekt udvanding af fisken i Purge tankene, hvor fisken går i rent vand og renses for eventuel bismag.

Flere kampagnemålinger er foretaget i årenes løb, og med forbedringer foretaget i vandindtaget, er der ikke fundet bismag i fiskene, eller fundet målbare mængde af geosmin eller methyloborneol i vandet inde i anlægget.

De sættefisk, som blev leveret i 2018, var ikke grundigt sorteret for deformiteter, grundet manglende yngel på daværende tidspunkt. Derfor slagtes der nu fisk ud, med skæv mund og hale, samt andre deformiteter, der gør de kun kan bruges til filetproduktion eller sælges som "skæve" fisk. Dette nedsætter prisen, men dette blev løst efterhånden som denne generation af fisk blev udslagtet. Der er nu i 2023 en bedre sortering af ynglen meget tidligt i udviklingen, og dette, samt forbedringer foretaget på baggrund af de erfaringer gjort på klækkeriet, har sikret et godt flow af sættefisk med en meget lav andel af deformiteter.

Generelt har salget af fisk overgået vores forventninger, og dette betyder også, at økonomien i anlægget forsat vil forblive god, når der opnås fuld produktion.

En positiv driftsøkonomi er helt essentiel for at recirkuleringsteknologien kan udbredes, og der er i 2022 opnået et positivt resultat før afskrivninger og finansiering.

7. Demonstrationsbesøg

Der har været mange hundrede på besøg på Sashimi Royal. Alene i 2019 har der været ca. 300 besøgende. Det være sig kunder, leverandører, generelt interesserede i RAS teknologi, NGO-organisationer som DN og Dansk Sportsfisker Forbund, lokale foreninger og universiteter.

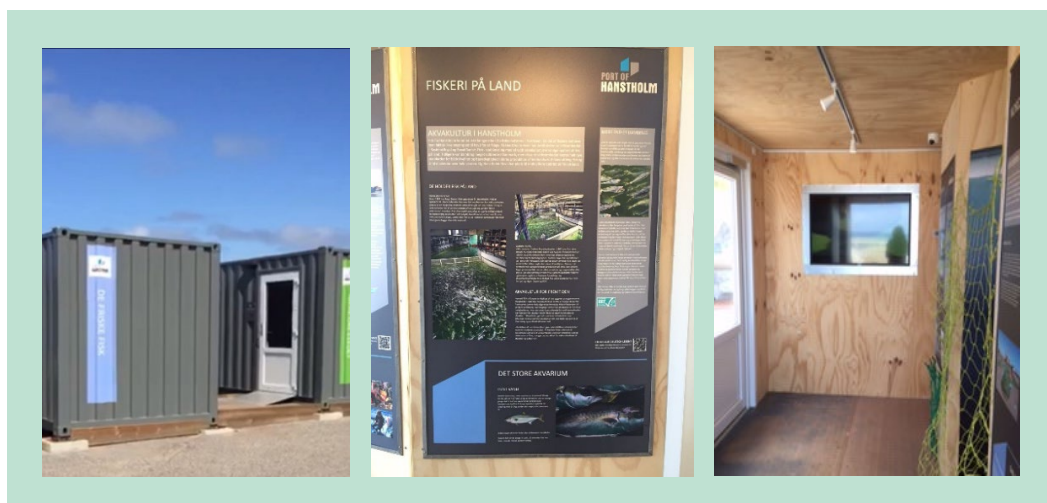
Af særlig prominente besøg har været en delegation fra Nordic Ras Network, som på trods af navnet, er det førende netværk af professionelle aktører inden for forskning og anlæg af recirkuleringsteknologi globalt.

Ligeledes har Krüger flere gange været forbi med kunder og brugt Sashimi Royal som show-case.

Netværket for akvakultur i Danmark, kaldet AquaCircle har været på besøg med 35 mand.

Ligeledes har politikere været på besøg, heriblandt Simon Kollerup (Soc. dem), Karsten Lauridsen (Venstre), Jørn Jespersen (direktør Dansk Miljøteknologi) og senest departementet for Miljø- og Fødevareministeriet, der efterfølgende har inviteret til yderligere informationsmøde i København om landbaseret fiskeopdræt i Danmark ved Miljøminister Lea Wermelin.

Sashimi Royal har samtidig været repræsenteret via plancher og film fra anlægget i et fælles showroom / info bokse placeret over Hanstholm Havn.



FIGUR 6. Showroom placeret på Hanstholm havn.

8. Salg af anlæg fra Krüger og Gråkjær

Krüger, som står for salg af RAS2020 har netop ansat seks yderligere personer til salg af RAS2020. Der er et stort potentiale for salg af recirkuleringsteknologi, og Krüger har projekter under planlægning i EU, Norge, USA og Asien.

Indtil nu har Krüger solgt RAS2020 konceptet til Swiss Alpine Fish i Schweiz, Sashimi Royal i Hanstholm samt to anlæg til Fredrikstad Seafood i Norge.

Gråkjær har solgt et anlæg i Sydafrika kaldet Cape Nordic Corporation, anlægget har blandt andet investorer fra Danmark. Derudover har man solgt et anlæg i Norge som kaldes Salmo Terra, og et anlæg i Saudi Arabien kaldet Viking Label.

Der er flere andre anlæg i pipeline som endnu ikke er offentligt kendte.



FIGUR 7. Billede: Nordic Aquafarms fra Fredrikstad Norge, hvor de første smolt er sat i karrene i to RAS2020 anlæg.

9. Konklusion på projektet

Renseanlægget til RAS2020 krævede et par forsøg, da man fra starten var uvis omkring, hvilke parameter der ville påvirke rensningen, og i hvilken grad. Den efterfølgende løsning med at bygge et aktivt slamanlæg, viser gode resultater, og hjælper med at sikre at miljøtilladelsen kan overholdes, når indkøringsfasen er afsluttet.

Byggetiden og prisen for dambrugsanlægget er en succes. Det blev bygget som planlagt på lidt over et år og overholdte budgettet. Dette skyldes i høj grad, at der ikke er underjordisk rørføring, som meget ofte giver store problemer. Dette viser, at RAS2020 konceptet har stort potentiale for at lave billig og hurtig infrastruktur til recirkuleringsanlæg.

Sidst har økonomien i anlægget udviklet sig positivt - prisen som opnås for fisken, ligger markant højere end de 60-80 kr./kg. som der blev budgetteret med, hvilket kompenserer for den reelt lavere produktion i tons.

Dette vil efter al sandsynlighed være den vigtigste milepæl for udbredelsen af recirkuleringsteknologi på land. En milepæl som kun blev opnået på grund af offentlig støtte til teknologiudviklingen fra MUDP.

Fremtiden for recirkulering og perspektivering.

Fremtiden for landbaseret opdræt i recirkulerede anlæg er stadig uafklaret. Der er flere store fordele blandt andet ved vandrensning, fuldstændig sikkerhed over for udslip og fuldstændig sikkerhed overfor ektoparasitter som lakselus. Lakselus og udslip nævnes ofte som de to primære udfordringer for opdræt af laks i havbrug.

I Danmark er det primært udledning af næringsstoffer, som er fokuspunktet, og også her kan landbaseret opdræt være løsningen, da man i højere grad kan rense for næringsstofferne.

Der er dog også væsentlige udfordringer for den landbaserede akvakultur, heraf er økonomien den største. Der har indtil nu ikke været mange selskaber, som har lavet overskud og hvis ikke dette problem løses, vil det være vanskeligt at finansiere fremtidige projekter.

Sashimi Royal er det første fuldskala landbaserede recirkulationsanlæg, som har udsigt til at blive økonomisk overskudsgivende inden for kort tid. Når det sker, vil det markere en vigtig milepæl i udbredelsen af recirkuleringsteknologi i akvakultur. Det er vores opfattelse, at denne milepæl vil være helt afgørende for hele sektorens fremtidige udvikling.

Der er i 2022 opnået et positivt resultat før afskrivninger og finansiering, og det forventes at anlægget har en positiv bundlinje i 2023.

Projektgruppen takker for støtten fra MUDP, vi mener at Sashimi Royal vil blive en vigtig milepæl i udbredelsen af landbaseret fiskeopdræt.

10. Perspektivering for fremtiden af dansk fiskeopdræt og eksport af akvakultur teknologi

Interessen for landbaseret fiskeopdræt er enorm. Der offentliggøres hele tiden nye projekter rundt omkring i verden, og MUDP-projektet med Sashimi Royal har utvivlsomt været med til at højne interessen for dette spændende felt.

Danske virksomheder er i front når det kommer til at levere løsninger til landbaseret opdræt, som f.eks. RAS2020 konceptet.

Det kunne ligne, at der er et paradigmeskifte på vej fra havbrug til recirkulering på land, men det er bemærkelsesværdigt, at ikke en stor norsk lakseproducent er gået i gang med landbaseret opdræt. Det der er det store usikkerhedsmoment, er driftsøkonomien som indtil nu har været dårlig.

Hvis det lykkedes at opnå positiv driftsøkonomi, vil det få afgørende betydning for dansk akvakultur, som igennem de sidste fyrré år ikke har kunnet udvide produktionen i traditionelle anlæg. Det positive resultat i 2022 peger i den retning.

Sashimi Royal er allerede i gang med at udvide i 2023; i første omgang bygges der til juvenile anlæg, der vil fordoble den nuværende produktion. Udviklingen af teknologien går hurtigt og det nye anlæg, designet af Nordic Aquafarms Technology ApS, bygger på helt andre systemer, der er tilpasset den værdifulde erfaring opnået ved at kende driften på RAS2020, med netop denne fiskeart – Yellowtail Kingfish.

Bilag 1. Evaluering af udledninger fra RAS2020 anlæg, Sashimi Royal. Oprindelig spildevandsrensning

Rapportering af specifik underleverandør-opgave vedrørende udledning for MUDP-projektet: "Sashimi Royal RAS2020 - effektiv og innovativ fiskeproduktion via Best Available Technology (BAT)"



Udarbejdet af:
Carlos O. Letelier-Gordo, DTU Aqua
December 2019

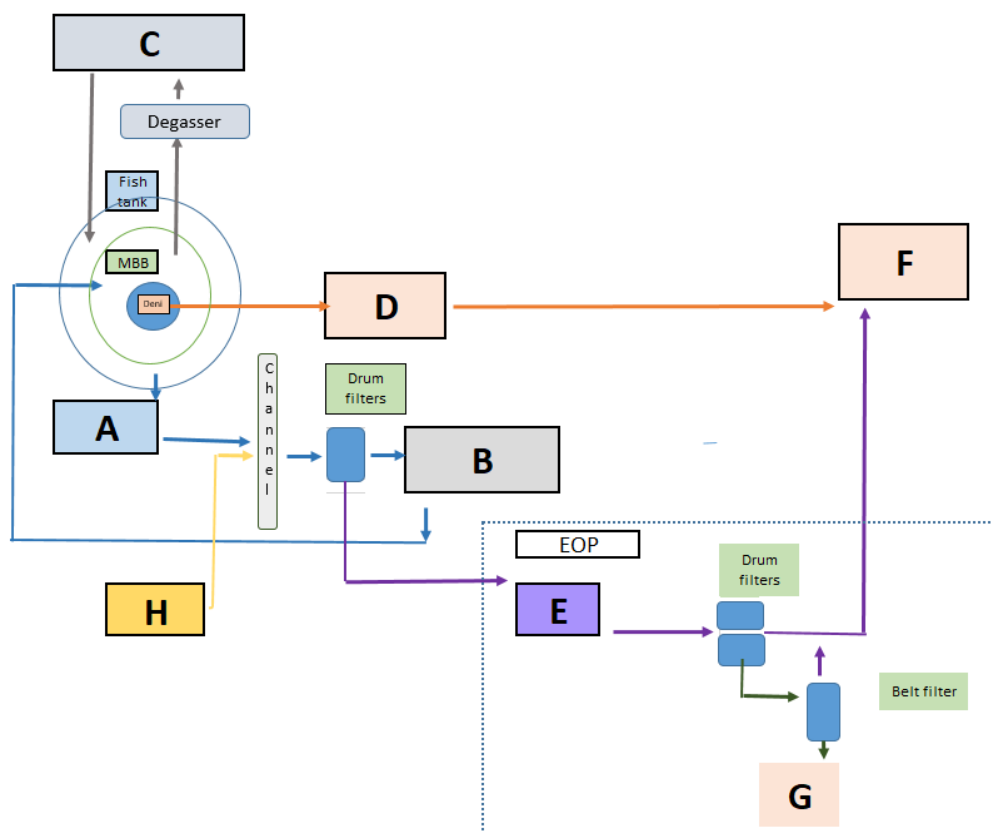
Dette notat beskriver stoffjernelse og udledning fra et studie med en række målinger på et RAS2020 anlæg (Fig. 1), som det drives og anvendes på Sashimi Royal i Hanstholm, Danmark.

Undersøgelserne bestod af tre separate målekampanjer. To af disse med fuld beskrivelse af massebalancer blev foretaget i perioderne hhv. 29. maj – 19. juli, 2018 (n=4) og 15. februar – 13. marts, 2019 (n=5).

En tredje kampagne blev gennemført mellem 29. september og 26. november, 2019 (n=9). I denne blev alene udledningsvand (F), opdræts-/anlægsvand (A) og indtagsvand (H) analyseret

og beregnet (Fig. 1). Prøvetagning blev udført som ugentlige 24 timers puljede døgnprøver udtaget med automatisk, kølet prøvetager (ISCO 4700).

Figur 1: Skematisk fremstilling af RAS2020, Sashimi Royal, Danmark.



Under de to første kampagner blev der udfodret ca. 1,58 ton foder/dag til fiskene og der var således ingen betydelige forskelle i fodringsregimet mellem de to perioder.

I den tredje periode var udfodringen øget til 2,43 t foder/dag. Flowet i udledningen (punkt F) var reduceret fra 1647 m³/dag i 2. periode til 1422 m³/dag i 3. periode.

Resultaterne viser, at mængden af næringsstoffer udledt (kg/dag) steg for alle parametre undtagen BI5 total som blev reduceret med 41% og TCOD (-17%), Tabel 1.

Udtrykt som udledning pr. kg. foder tildelt, blev N reduceret med 10%, BI5 med 55% og TP med 47% i kampagne 3 sammenlignet med kampagne 2 (Tabel 2).

Selv om der således på enkelte parameter ses en reduktion i periode 3 sammenlignet med de to tidligere kampagner, så er udledningen væsentligt over hvad der fra Sashimi var forventet. Dette skyldes hovedsageligt den lave fjernelse (performance) i End-Of-Pipe rensningen, samt til dels en høj foderkonvertering (FK) på 1,8 i de to første perioder og 1,5 i 3. periode (Tabel 3).

Tabel 1: Målt og beregnet udledning af næringsstoffer og organisk stof (kg næringsstof/day) fra RAS2020, Sashimi Royal, Danmark

	Parameter	Næringsstoffer udledt (kg/dag)		
		Udløbskoncentrationer er vist i parentes (mg/l)		
Målepunkt		F		
		Kampagne 1 (n=4±SD)	Kampagne 2 (n=5±SD)	Kampagne 3 (n=9±SD)
N	TAN	0.98 (1.5±0.4)	2.6 (1.6±0.8)	2.1 (1.5±0.6)
	NO ₂ -N	8.6 (12.7±5.9)	2.9 (1.78±1.3)	8.1 (5.7±1.9)
	NO ₃ -N	41.1 (63.3±16.1)	86.2 (54.4±11.7)	90.4 (63.6±14.4)
	TN	51.0 (79.4±16.1)	104.4 (65.8±3.9)	143.9 (101.2±18.1)
OM	BI ₅	10.2 (54.8±11.4)	126.3 (78.0±46.0)	74.0 (52.0±49.1)
	sCOD	33.6 (31.3±28.4)	63.4 (86.2±43.0)	58.2 (11.9±6.6)
	TCOD	113.1 (187.1±131)	312.9 (224.8±107.2)	261 (183.5±67.1)
P	PO ₄ -P	3.8 (5.6±3.1)	5.3 (3.22±0.23)	5.2 (3.7±0.7)
	TP	5.7 (8.3±3.4)	8.6 (5.3±0.7)	13.2 (9.3±5.7)

TAN:Total ammoniacal nitrogen, TN:Total nitrogen, BI₅:Biologisk iltforbrug totalt i 5 dage, sCOD:opløst kemisk iltforbrug, TCOD:Total kemisk iltforbrug, TP:Total fosfor.

Tabel 2: Målt og beregnet udledning udtrykt som kg næringsstof/t foder tildelt fra RAS2020, Sashimi Royal, Danmark

	Parameter	Næringsstof udledt per ton foder tildelt (kg/ton foder)			¹ Teoretisk produktionsbidrag fra fiskene (kg/t foder) #3
Målepunkt		F			
		Kampagne #1 (n=4±SD)	Kampagne #2 (n=5±SD)	Kampagne #3 (n=9±SD)	
N	TAN	0.63	1.6	0.9	54.2
	NO ₃ -N	26.1	54.7	37.2	
	NO ₂ -N	5.5	1.9	3.3	
	TN	32.4	66.3	59.2	63.1
OM	BI ₅	6.5	80.2	30.45	92.6
	sCOD	21.3	40.2	24.0	83.0
	TCOD	72	199	107.4	306.5
P	PO ₄ -P	2.4	3.4	2.2	5.5
	TP	3.6	13.2	5.44	12.6

I periode #1 og #2 blev der tildelt 1,58 ton foder/dag. I periode #3 2,43 ton/dag.

TAN:Total ammoniacal nitrogen, TN:Total nitrogen, BI₅:Biologisk iltforbrug totalt i 5 dage, sCOD:opløst kemisk iltforbrug, TCOD:Total kemisk iltforbrug, TP:Total fosfor.

¹ Baseret på "Produktionsbidragsmodellen" fra DTU Aqua med brug af FK=1,5

Tabel 3: Specifik udledning (kg næringsstof/kg fisk produceret) fra RAS2020, Sashimi Royal, Danmark

	Parameter	Specifik udledning (kg/t fisk produceret)			Mål (kg/t fisk produceret)
Målepunkt		F			
		Kampagne #1 (n=4±SD)	Kampagne #2 (n=5±SD)	Kampagne #3 (n=9±SD)	
N	TAN	1.1	2.9	1.35	
	NO ₃ -N	47.0	98.5	55.8	
	NO ₂ -N	9.9	3.4	4.9	
	TN	58.3	120.0	88.8	20
OM	BI ₅	11.7	144.4	45.7	6
	sCOD	38.3	72.4	36.0	
	TCOD	129.6	358.2	161.1	
P	PO ₄ -P	4.3	6.12	3.3	
	TP	6.5	23.8	8.2	2.4

TAN:Total ammoniacal nitrogen, TN:Total nitrogen, BI₅:Biologisk iltforbrug totalt i 5 dage, sCOD:opløst kemisk iltforbrug, TCOD:Total kemisk iltforbrug, TP:Total fosfor.

Der er anvendt en FK på 1,8 for periode #1 og #2 og 1,5 for periode #3 som oplyst/estimeret af Sashimi Royal.

Input data for fodersammensætningen som er brugt til beregninger i Produktionsbi-dragsmodellen (DTU Aqua)

	Feed type 1
Name of feed	
Pellet size	
Period applied	
Amount applied (ton)	2.430
Declaration (% wet weight) :	-
Protein (%)	50.4
Fat (%)	17.3
Carbohydrates (NFE, without crude fibres, %) ^{b)}	16.4
Crude fibres (%) ^{c)}	1.0
Ash (incl. phosphorous, %)	9.5
Phosphorous (%) ^{d)}	1.5
Water (%)	2.9
Sum (%)	99.0

^{a)} Recommended, default apparent digestibility values. Can be changed manually

^{b)} Be aware if carbohydrates have been calculated with or without crude fibres. If crude fibre:

^{c)} Be aware that crude fibres have not all ready been included in "Carbohydrates" in the cell

^{d)} Be aware that phosphorous often is declared as dry matter in which case it should be con

Input production- and operation parameters

Parameter	Input value
Feed conversion ratio (FCR)	1.50
Feed waste (estimated, % of feed fed) ^{a)}	1.0
Adjusted FCR	1.49
Total amount of feed applied in the modelling period (ton)	2
Total amount of fish produced within the modelling period (ton)	1.62

^{a)} Default feed waste is 1% of feed applied. Can be changed manually

Bilag 2. Evaluering af udledning og Skematisk opbygning af aktivt slamanlæg

2023 – Kampagne 4

Grundet de tidligere problemer med overholdelse af udledningskravene er der nu bygget et nyt aktivt slamanlæg på Sashimi royal. Anlægget er stadig under indkøring, men de første analyser på udledningen er igangsat. Prøverne er analyseret af SGS Analytech i Aalborg. Slamanlæggets kapacitet er designet til at håndtere en produktion der er dobbelt så stor som den nuværende, da et større byggeri pt. er i gang på adressen hvilken vil fordoble produktionskapaciteten. Det nye byggeri er planlagt til at være i fuld drift ultimo 2023, og dermed også det aktive slamanlæg.

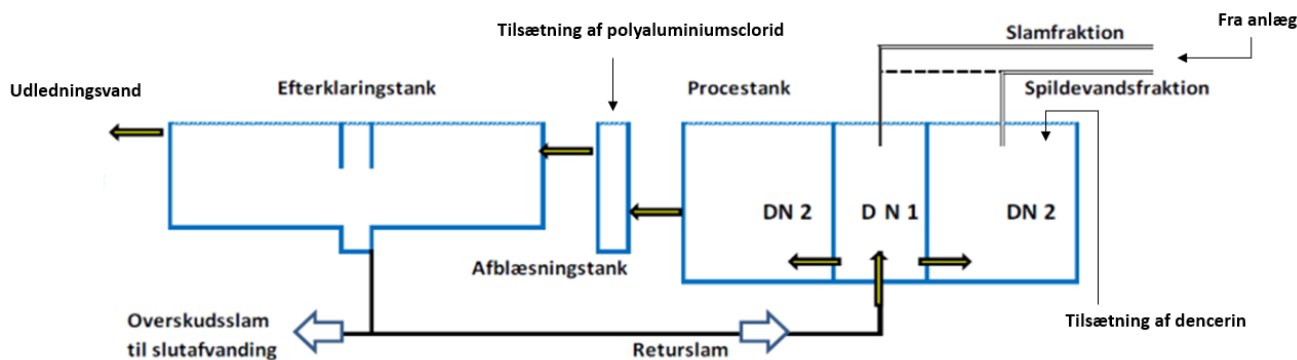
Aktivt slamanlæg:

Anlægget er opbygget med tre enheder. Slammet kommer først i en denitrifikations tank, hvor kvælstof omdannes til N_2 gas og fjernes fra vandet. I denitrifikationstanken tilsættes dencerin, et restprodukt fra Daka der, sammen med den organiske fraktion af slammet, fungerer som en kulstofkilde til bakteriernes omsætning.

Herfra overføres slammet til en afblæsningstank, der belufter slammet for at fjerne gasser.

Heri tilsættes polyaluminiumsclorid som fosforfædningsmiddel.

Til sidst flyttes slammet til en efterklaringstank hvor slammet bundfældes og den rene fraktion af vandt udtages fra toppen.



Analyser og beregninger:

Her er den nyeste analyse sammenholdt med de tidligere udførte, som er beskrevet i bilag 1.

Tabel 1: Målt og beregnet udledning af næringsstoffer og organisk stof (kg næringsstof/dag) fra RAS2020, Sashimi Royal, Danmark

Målepunkt	Parameter	Næringsstoffer udledt (kg/dag)			
		Udløbskoncentrationer er vist i parentes (mg/l)			
		F			aktivt slam anlæg
		Kampagne 1 (n=4±SD)	Kampagne 2 (n=5±SD)	Kampagne 3 (n=9±SD)	Kampagne 4
N	TAN	0.98 (1.5±0.4)	2.6 (1.6±0.8)	2.1 (1.5±0.6)	0.16 (0.17)
	NO ₂ -N	8.6 (12.7±5.9)	2.9 (1.78±1.3)	8.1 (5.7±1.9)	0.09 (0.10)
	NO ₃ -N	41.1 (63.3±16.1)	86.2 (54.4±11.7)	90.4 (63.6±14.4)	0.83 (0.91)
	TN	51.0 (79.4±16.1)	104.4 (65.8±3.9)	143.9 (101.2±18.1)	3.24 (3.55)
OM	BI ₅	10.2 (54.8±11.4)	126.3 (78.0±46.0)	74.0 (52.0±49.1)	2.74 (3)
	sCOD	33.6 (31.3±28.4)	63.4 (86.2±43.0)	58.2 (11.9±6.6)	31.08 (34)
	TCOD	113.1 (187.1±131)	312.9 (224.8±107.2)	261 (183.5±67.1)	39.30 (43)
P	PO ₄ -P	3.8 (5.6±3.1)	5.3 (3.22±0.23)	5.2 (3.7±0.7)	1.74 (1.90)
	TP	5.7 (8.3±3.4)	8.6 (5.3±0.7)	13.2 (9.3±5.7)	2.81 (3.07)

TAN: Total ammoniacal nitrogen, TN: Total nitrogen, BI₅: Biologisk iltforbrug totalt i 5 dage, sCOD: opløst kemisk iltforbrug, TCOD: Total kemisk iltforbrug, TP: Total fosfor. Målinger foretaget af DTU Aqua.

Under indkøringsfasen har tilsætningen af dencerin været højere end egentligt nødvendigt og kombineret med forsinket indkøring af slamafvandingen af rest-slam, er der opbygget for stor slammængde i anlægget. Slammængden og dosering af eksternt kulstof er nu ved at blive reduceret til passende niveau.

Denitrifikation

I kampagne 4 ses der tydeligt en nedgang i kvælstofkoncentrationerne, hvor den totale kvælstofkoncentration er faldet, fra i de første tre målekampagner at ligge på hhv. 51.5, 104.4 og 143.9 kg/dag til nu at ligge på 3.24 kg/dag

Der mangler stadig en endelig justering af hvor meget dencerin der skal tilsættes for at sikre en god oprensning, uden at vi får opbygget for meget organisk materiale i tanken, som vi har gjort under dette forsøg.

BI₅

Målingerne på BI₅ har været meget svingende i de tre første kampagner, og har ligget mellem 10.2 og 126.3 kg/dag. Den nyeste måling viser en udledning på 2,74 kg/dag, og er en væsentlig forbedring.

Det vil fremover være nemmere at sikre en mere stabil udledning, da der er en bedre styring på dette anlæg end der var på det gamle.

Fosfor

Total fosfor lå i kampagne 1 til 3 på hhv. 5.7, 8.6 og 13.2 kg/dag. Med det nye slam anlæg er den nedsat til 2.81 kg/dag.

Fosforreduktionen håbes at øges, da den nu begrænses af for meget organisk materiale i systemet. Derved når polyaluminiumschloriden i mindre grad til fosforen, men bliver i højre grad bundet til det organiske materiale. Udfældningen af fosfor forventes at blive bedre når slamkoncentrationen er blevet reduceret.

Foder

I samarbejde med vores foder firma, er der en stadig udvikling i fodersammensætning. De fodertyper der er brugt under kampagne 4, er beskrevet i tabellen herunder.

Pille str.	4,5 mm	6 mm	8 mm
Råprotein (%)	54	54	48
Råfedt (%)	18	20	24
Kulhydrat (NFE) (%)	12,2	11,4	11,2
Rå cellulose	0,9	0,9	0,9
Aske	10	9,3	9
Total fosfor (%)	1,6	1,5	1,4
Fordøjelig energi (MJ/kg)	19,6	20,3	20,5
- Andel protein (%)	60,7	60,7	51,6
- Andel fedt (%)	34,2	34,2	43,7
- Andel stivelse (%)	5,1	5,1	4,6
Kvælstof (%)	8,6	8,6	7,7

FCR 1.14

Tabel 2: Målt og beregnet udledning udtrykt som kg næringsstof/t foder tildelt fra RAS2020, Sashimi Royal, Danmark

	Parameter	Næringsstof udledt per ton foder tildelt (kg/ton foder)			
Målepunkt		F			Aktivt slamanlæg
		Kampagne #1 (n=4±SD)	Kampagne #2 (n=5±SD)	Kampagne #3 (n=9±SD)	kampagne 4
N	TAN	0.63	1.6	0.9	0,12
	NO ₃ -N	26.1	54.7	37.2	0,63
	NO ₂ -N	5.5	1.9	3.3	0,07
	TN	32.4	66.3	59.2	2,46
OM	BI ₅	6.5	80.2	30.45	2,08
	sCOD	21.3	40.2	24.0	23,64
	TCOD	72	199	107.4	29,89
P	PO ₄ -P	2.4	3.4	2.2	1,32
	TP	3.6	13.2	5.44	2,14

I periode #1 og #2 blev der tildelt 1,58 ton foder/dag. I periode #3 2,43 ton/dag. Under kampagne 4 blev der fodret 1,3 ton om dagen.

TAN: Total ammoniacal nitrogen, TN: Total nitrogen, BI₅: Biologisk iltforbrug totalt i 5 dage, sCOD: opløst kemisk iltforbrug, TCOD: Total kemisk iltforbrug, TP: Total fosfor

Der fodres mindre i kampagne 4 end der har været i de tre andre, da tætheden i anlægget er mindre. Samtidigt er der i mellemtiden foretaget ændringer i udfodringsmetoden, dette sikre at foderspildet holdes på et minimum, eller helt fjernes. Dette giver en mindre belastning og bi-drager derfor også til en bedre vandrensning.

Tabel 3: Specifik udledning (kg næringsstof/kg fisk produceret) fra RAS2020, Sashimi Royal, Danmark

	Parameter	Specifik udledning (kg/t fisk produceret)			Mål (kg/t fisk produceret)	
Målepunkt		F			Aktivt Slamanlæg	
		Kampagne #1 (n=4±SD)	Kampagne #2 (n=5±SD)	Kampagne #3 (n=9±SD)	Kampagne #4	
N	TAN	1.1	2.9	1.35	0.19	
	NO ₃ -N	47.0	98.5	55.8	0.98	
	NO ₂ -N	9.9	3.4	4.9	0.11	
	TN	58.3	120.0	88.8	3.83	20
OM	BI ₅	11.7	144.4	45.7	3.24	6
	sCOD	38.3	72.4	36.0	36.71	
	TCOD	129.6	358.2	161.1	46.42	
P	PO ₄ -P	4.3	6.12	3.3	2.06	
	TP	6.5	23.8	8.2	3.32	2.4

TAN: Total ammoniacal nitrogen, TN: Total nitrogen, BI₅: Biologisk iltforbrug totalt i 5 dage, sCOD: opløst kemisk iltforbrug, TCOD: Total kemisk iltforbrug, TP: Total fosfor.

Der er anvendt en FK på 1,8 for periode #1 og #2 og 1,5 for periode #3 som oplyst/estimeret af Sashimi Royal. Produktionen for kampagne 4 er lavere beregnet ud fra produktionsdata for den ene måned hvor det aktive slamanlæg har været i drift.

Kvælstof

Total kg. kvælstof pr. ton fisk produceret ligger nu på 3,83 og vores tilladelse er på 20 kg. Så her er udledningstilladelsen overholdt, og lidt til. Den væsentligt lavere udledning end det tilladte skal dog ses i lyset af, at slammængden i anlægget er meget høj og at anlægget ikke er fuldt belastet endnu.

BI₅

Kg. BI₅ pr. ton fisk produceret ligger nu på 3,24 og vores udledningstilladelse er på 6 kg. Så her er udledningstilladelsen overholdt.

Fosfor

Total kg. fosfor pr. ton fisk produceret ligger på 3,32 og vores tilladelse ligger på 2.4 kg. Dette tilskrives den store slamkoncentration i anlægget som nævnt ovenfor, som begrænser koagulantens effektivitet i forhold til udfældning af fosfor.

Der er tidligere målinger hvor der viste meget lavere koncentrationer af fosfor i udledningsvandet, og er derfor et spørgsmål om justeringer af anlægget her i indkøringsfasen.

Resume

Første analyse på udledningen fra det nye aktiv slamanlæg, viser flotte resultater. Anlægget er dimensioneret til det dobbelte af den nuværende produktion, derfor vil de sidste justeringer i indkøringen først være færdige ultimo 2023 når begge anlæg kører i fuld drift. Af samme grund vil de endelige udledningsværdier heller ikke kunne dokumenteres før, da kvaliteten og mængden af slammet ikke kendes på forhånd.

Der ses i de nuværende resultater et godt udgangspunkt, og det giver os stor tiltro til, at udledningskravene kan overholdes under fuld drift.

RAS 2020, effektiv og innovativ fiskeproduktion via Best Available Technology

The project aimed to develop and mature a modular fish farm concept for land-based fish farming. This goal was achieved and the RAS2020 concept is now sold globally. Another aim was to demonstrate that the water treatment of the RAS2020 concept is superior to other designs, with an expected treatment efficiency of 78% for nitrogen, 85% for phosphorous and 98% for BI5.

This goal was not achieved at first due to unpredictable operating conditions. A new water treatment plant was designed so to comply to the environmental permit. The first measurements show compliance with the discharge requirements for nitrogen, and a minor exceedance of the discharge requirements for phosphor. The facility is still in upstart, and it is expected that all emission requirements can be met when it is fully up and running, ultimo 2023.

The third aim was to demonstrate a faster and more efficient building process with modular design. We succeeded in building the facility in 15 months. This process can be shortened to around 12 months.

Lastly the project should demonstrate positive operating economy, which is the big drawback of land-based fish farming. Sashimi Royal does not yet have a profit, but with good sales prices, expansion of production and a good growth, we are on the right track. It is expected that the facility will have a positive bottom line in 2023. We conclude that the project has succeeded in building a modular farm with good performance that is now exported globally.

Målet var at teknologiudvikle og salgsmodne et industrielt modulært koncept for opdræt af saltvands fisk på land. Dette lykkedes, både Krüger A/S og Gråkjær A/S, som byggede RAS2020, har nu færdigudviklet konceptet, som nu kan sælges globalt. Videreudviklingen på anlægget er foretaget af Nordic Aquafarms Technology ApS.

Målet var at vise, at RAS2020 med efterfølgende renseanlæg, har bedre renseeffektivitet end Best Available Technology (BAT) i branchen, med en rensegrad på 78% N, 85% P og 98% BI5.

I starten lykkedes det kun at vise en begrænset rensning af spildevandet i forhold til det forventede, hvilket formentlig skyldes uforudsigelige driftsforhold.

I 2022 blev der bygget et nyt rensningsanlæg for at overholde miljøtilladelsen. De første målinger herfra viser en overholdelse af udledningskravet af kvælstof, og en mindre overskridelse af udledningskravet af fosfor. Anlægget er stadig under indkøring og det forventes at alle udledningskrav kan overholdes når indkøringen er færdig i 2023.

Projektet havde også til formål at demonstrere en mere optimal byggeproces via moduler. Det lykkedes at bygge dette anlæg på blot 15 måneder og i fremtiden vil et RAS2020 anlæg kunne bygges på under et år.

Slutteligt havde projektet til formål at demonstrere en positiv driftsøkonomi, som er akilleshælen for landbaseret fiskeopdræt. Sashimi Royal har endnu ikke driftsoverskud, men med gode salgspriser, udvidelser af produktionen og god vækst, er vi på rette vej. Det forventes, at anlægget har en positiv bundlinje i 2023.

Det konkluderes, at det er lykkedes at bygge et modulbaseret anlæg med god performance, der kan eksporteres globalt.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk