NASJONALT PILOTANLEGG FOR MIKROALGEPRODUKSJON MONGSTAD (NAM)

RAPPORT Des 2017

Prosjektleder Hans Kleivdal

UNIVERSITETET I BERGEN

1 SAMMENDRAG 2
2 INNLEDNING 3
2.1 Faglig bakgrunn for prosjektet 3
2.2 Prosjektets omfang 4
2.3 Prosjektorganisering 5
3 PROBLEMSTILLING OG FORMÅL 5
3.1 Prosjektets effektmål 5
3.2 Prosjektets resultatmål 5
3.2.1 Hovedmål 5
3.2.2 Delmål og Milepæler 5
4 PROSJEKTGJENNOMFØRING 6
4.1 Metodikk 6
4.2 Gjennomføring 6
4.2.1 Delmål 1 – Spesifikasjon, plan og prosjektering av pilotanlegg 6
4.2.2 Delmål 2 – Oppsetting av bygg og installasjon av prosess- og reaktorsystem 7
4.2.3 Delmål 3 – Gjennomføre innkjøring og validering 7
4.2.4 Delmål 4 – Fasilitere forskningsaktivitet på mikroalger 8
5 RESULTATER OG DISKUSJON 9
5.1 Resultater 9
5.1.1 NAM anlegget – produksjon og kapasitet 9
5.1.2 NAM kompetansebygging 10
5.1.3 Forskningsprosjekt ved NAM 11
5.1.4 Formidling 11
5.2 Vurdering 12
5.3 Vurdering om mulighetene for implementering av prosjektresultat 12
6 HOVEDFUNN 12
7 LEVERANSER 13
7.1 Ferdigstilte leveranser i hht prosjektplan 13
7.1 Gjenstående leveranser i hht prosjektplan 13
8 VEDLEGG

1 SAMMENDRAG

Oppdrettsnæringen står overfor en fremtidig underdekning av fiskeolje som kilde til omega-3 fettsyrene EPA og DHA i laksefôr, noe som er begrensende for næringens videre vekst. Fototrofe marine mikroalger er primærprodusenter av disse verdifulle omega-3 fettsyrene, og er derfor en mulig EPA- og DHA-kilde som alternativ til fiskeolje i fôret. Det tidligere prosjektet *ProAlgae* (2012-2013, FHF 900771) sannsynliggjorde at fototrofe mikroalger kan utvikles til en økonomisk drivverdig EPA- og DHA kilde for oppdrettsnæringen, men pekte på en del utfordringer i fht volum og dagens produksjonskostnad. Det ble anbefalt å etablere koordinert forskningsinnsats langs en integrert verdikjede for å utvikle det fulle potensialet av mikroalger til fôr til laks. Mens forskningsmiljøenes fokusområder representerer en solid kunnskapsbase innen algebiologi, økologi og algefysiologi, besitter fôrnæringen kunnskap om råstoffbehandling og definerte spesifikasjoner til et fremtidig fôrråstoff. Det har imidlertid manglet en kobling mellom den basale forskningen (oppstrøms) og ønsket om industriell anvendelse (nedstrøms), fordi det er langt fra reagensglass til den mengden (tonn) råstoff som kreves for å kunne industrielt evaluerer, teste og verdisette mikroalger som fôrkomponent.
Formålet med dette prosjektet har derfor vært å etablere et pilotanlegg for oppskalert dyrking og produksjon, slik at kunnskapen oppstrøms kan kobles til kompetansen nedstrøms i verdikjeden – og man produsere store nok volum for en industriell evaluering og dokumentasjon av mikroalger som fôrkomponent. Prosjektet har omfattet design/spesifikasjon, prosjektering, bygging og installasjon av prosess- og reaktorsystem, innkjøring og validering av Nasjonal Algepilot Mongstad (NAM) som ble åpnet den 22.november 2016. NAM anlegget er fullt operativt med en samlet produksjonskapasitet på 3 500 L. Det er videre demonstrert volumproduksjon og komparative studier av ulike mikroalger under varierende betingelser med god ytelse og kapasitet i fht forventninger.
Den andre delen av prosjektet har vært å etablere forskningsaktivitet ved NAM anlegget gjennom deltakelse i forskningsprosjekt sammen med fôr- og oppdrettsnæringen. De to forskningsprosjektene CO2Food og Algae2Future pågår ved NAM anlegget, og resultatene fra prosjektene skal bidra til tekno-økonomiske analyser som skal gi et godt beslutningsgrunnlag for norske industrielle aktører om en mulig kommersiell produksjon. Det skal legges vekt på å beskrive muligheten til å produsere et råstoff med tilstrekkelig innhold av EPA og DHA til en økonomisk forsvarlig kostnad - som forventes å kunne fungere i et marked til fôrindustrien. De tekno-økonomiske resultatene vil foreligge i 2019 i hht prosjektplanen.

Den siste tidens utvikling av heterotrofe (fermenterende) mikroalger som DHA kilde gjennom kommersielle initiativ kan bidra til å lette trykket på fiskeolje på kort sikt. Men disse produksjonsmetodene er basert bruk av sukker som karbon- og energikilde, og har dermed en del uavklarte forhold rundt den reelle, økologiske og miljømessige bærekraftseffekten. Det er derfor viktig at norske interesser tar en aktiv rolle i evaluering av flere alternativ til fiskeolje for å sikre at løsningene for fremtiden er grunnleggende bærekraftig i flere betydninger.

NAM anlegget vil øke kunnskapen om hvordan fotoautotrofe (fotosyntetiske) mikroalger kan produseres kostnadseffektivt og samtidig skånsomt for miljøet ved bruk av lys og avfallsstrømme. Den algebiomassen som hittil er testet ut i laksefôr er i form av tørket mel, noe som ikke er optimalt utgangspunkt for videre prosessering, stabilisering og utnyttelse. Tilgang på fersk og optimalisert algebiomasse vil gjøre det mulig på en helt annen måte å utvikle gode prosedyrer for prosessering og inkludering i fôrproduksjon. Samtidig vil norske aktører ha tilgang til alle ledd i verdikjeden som gir bedre samhandling, muligheter for innovative utviklingsløp og førstehånds kunnskap om mikroalger som en EPA- og DHA kilde i fôr. På kort sikt vil dette bety bedre muligheter å evaluere mikroalger som fôrkomponent, samt at det vil tilkomme norske næringsaktører resultat og analyser som kan danne grunnlag for strategivalg fremover. Dersom fototrofe mikroalger med høyt innhold av EPA-og DHA og høy næringsverdi kan erstatte deler av fiskeoljen som brukes i fiskefôr, kan det ha både økonomiske og miljømessige gevinster.

2 INNLEDNING

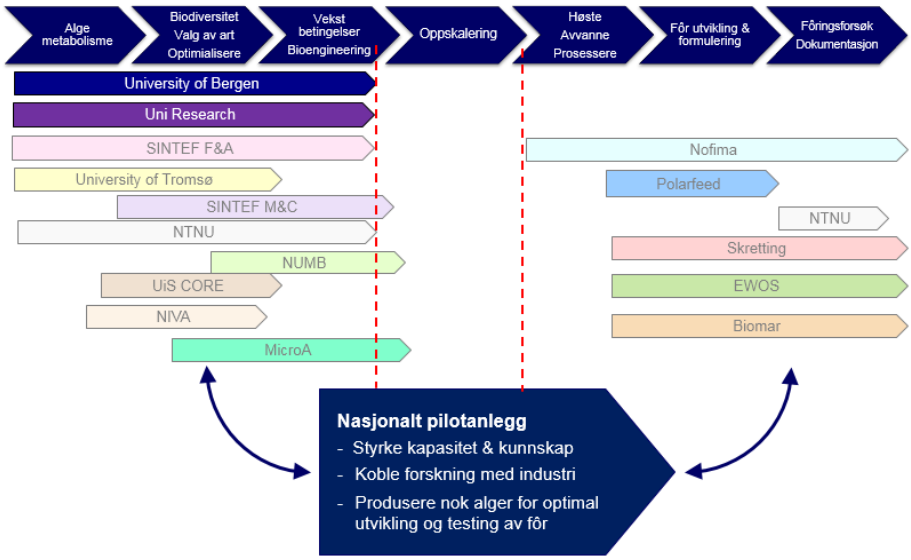
2.1 Faglig bakgrunn for prosjektet

Den norske havbruksnæringen er i rask utvikling med en 7% årlig vekst de siste 10 årene, med et videre potensial til å vokse ytterligere 5 ganger frem mot 2050 (DKNVS/NTNA, 2012). Likevel begrenses denne veksten av tilgangen på bærekraftige fôrresurser til oppdrettsfisk, og spesielt gjelder dette fiskeolje med omega-3 fettsyrene eikosapentaensyre (EPA) og dokosaheksaensyre (DHA). De helsefremmende komponenetene har ført til en økt etterspørsel av fiskeolje som råstoff for høyverdiprodukter innen kosttilskudd, næringsmiddel, og farmasøytiske produkt. Samtidig er tilgangen på fiskeolje fra Chile og Peru svært fluktuerende som følge av lavere kvoter og uttak. Den synkende tilgangen kombinert med den økende etterspørselen fra kompetitive markeder har ført til prisoppgang, og representerer dermed en ytterligere utfordring for fôr- og oppdrettsnæringen. I FHF-rapporten «*Føre Var i laksenæringen: Tid for kollektiv håndtering av underdekning av fiskeolje* (Steine, Tveterås, Pettersen, 2011) vises det til at behovet for fiskeolje vil være betydelig større enn de totalt 1 000 000 tonn pr år som er tilgjengelige i dag, og man ser derfor etter alternative kilder til EPA og DHA.

Både mindre utnyttede fiskearter (sardiner, tunfisk etc), krill, transgene landplanter, genmodifiserte sopp eller bakterier og mikroalger har potensial som fremtidige kilder. Utvikling og utnyttelse av nye marine bioressurser på lavere trofisk nivå er et fokusområde i HAV21 strategien. Fotoautotrofe marine mikroalger er primærprodusenter av omega-3 fettsyrer, og kan dyrkes ved fotosyntese i reaktorsystem ved tilført sollys, CO_2 og næring. Mikroalgenes enkle produksjonskonsept og verdipotensial, i tillegg til svært høy biologisk produktivitet og muliggjørende produksjonsteknologi, har i de senere årene ført til både økt interesse for kommersiell anvendelse. Med dette som bakgrunn gjennomførte Uni Research og SINTEF prosjektet ProAlgae "Industriell produksjon *av marine mikroalger som kilde for EPA og DHA rikt materiale i fiskefôr - Grunnlag*, *kunnskapsstatus og muligheter*" (FHF nr 900771, 2012-2013) for å vurdere muligheten for å utvikle mikroalger til en EPA- og DHA rik fôrressurs (Kleivdal *et al*, 2013). Rapporten anbefalte at EPA og DHA kan tilsettes fôret som en integrert del av algebiomassen, og at andre lipider, proteiner og næringsstoffer også vil bidra til en verdifull og næringsrik algebiomasse som et alternativ til bruk av fiskeolje. Det ble videre gjennomført en tekno-økonomisk analyse av å bruke hele algebiomassen direkte i fôret. Denne viste at EPA- og DHA i mikroalger kan utvikles til å bli kostnadsmessig konkurransedyktig med fiskeolje i fremtiden (Chauton *et al.,* 2015).

De mest sentrale utfordringene for en industriell fremstilling av fotosyntetiske mikroalger er høye produksjonskostnader og lave produksjonsvolum. ProAlgae rapporten omhandlet utfordringene og fremla konkrete strategier for å håndtere flaskehalsene. I første omgang ble det anbefalt å etablere koordinert forskningsinnsats langs en integrert verdikjede for å demonstrere det fulle potensialet av mikroalger som en EPA- og DHA-holdig komponent i fôr til laks (figur 1).

De nasjonale fagmiljøenes aktiviteter og fokusområder representerer en god kunnskapsbase innen basalbiologi, økologi og algefysiologi, mens fôrnæringen besitter kunnskap om råstoffbehandling og definerte spesifikasjoner til et fremtidig fôrråstoff. Det manglet imidlertid en kobling mellom den basale forskningen (oppstrøms) og industriell utnyttelse (nedstrøms) fordi det er langt fra reagensglass til den mengden (tonn) råstoff som kreves for å kunne evaluerer, teste og verdisette mikroalger som fôrkomponent. Det var derfor behov for et pilotanlegg for oppskalert dyrking, slik at kompetansen oppstrøms kan kobles til kompetansen nedstrøms i prosessen – og gjøre det mulig med uttesting av prosessering, innblanding og bruk av algebiomasse som en fôrkomponent. Det er gjennom et slikt samspill mellom FoU og industri at man kan danne et felles grunnlag for en langsiktig satsing på fullskala produksjon. Samtidig kan pilotanlegget benyttes til å optimalisere og effektivisere produksjonen i en relevant målestokk.



Figur 1. ProAlgae prosjektets fremstilling av kunnskaps- og verdikjeden som et veikart for utvikling av mikroalger for fiskefôr fra 2013. Utredningen identifiserte behovet for en nasjonal kapasitet for oppskalering som avgjørende faktor for et videre utviklings- og innovasjonsløp.

Med bakgrunn i dette arbeidet Uni Research, Universitetet i Bergen, CO2Bio AS, Nofima, Wageningen University Research, CO_2Teknologisenter Mongstad (TCM), samt flere aktører i fôr- og oppdrettsnæringen for å etablere et pilotanlegg for produksjon rettet mot EPA/DHA-rik algebiomasse med anvendelse mot fiskefôr, og med plassering på TCM for å mulig kunne utnytte industriell restvarme og nyttiggjøre fanget CO_2. Et slikt pilotanlegget kan danne en felles nasjonal arena for industrirettede prosjekter med verdiskapingspotensial, og sette det norske biomarine forskningsmiljøet i føringen sammen med internasjonale forskningspartnere og havbruksnæringen. Det bygger på et godt samarbeid gjennom flere prosjekt med AlgaePARC, som er et nederlandsk pilotanlegg for industriell algeproduksjon ved Universitetet i Wageningen (NL). Som tette samarbeidspartnere har Universitetet i Wageningen bidratt med sin kompetanse under bygging og etablering av pilotanlegget på Mongstad.

Uni Research og Universitetet i Bergen danner sammen med Nofima, Havforskningsinstituttet, og ledende aktører i norsk oppdrettsnæring et viktig tyngdepunkt for samspill mellom biomarin forskning og næring. På bakgrunn av dette har arbeidet med å utvikle marine mikroalger som fremtidig ressurs pågått gjennom prosjektene «CO_2 to Bio» (Hordaland Fylkeskommune, 2011), ved WP ledelse på screening av nye algestammer og utendørs produksjon i EU prosjektet MIRACLES (EU FP7, 2013-2017), optimaliseringsprosjektet StructLip (NFR 233735/O30*),* samt etablering av algesamling ved Bergen Marine Biobank (NFR, 2013-2016). Det har også blitt etablert et nasjonalt fagforum for mikroalger (SIG Microalgae) for å stimulere økt nasjonal koordinering og samhandling mellom forskning og industri. Det har vært et overordnet mål at aktiviteten ved pilotanlegget skal gjennomføres i fellesskap med andre norske forskningsmiljø, med næringen og med internasjonale referansemiljø.

2.2 Prosjektets omfang

Prosjektet har hatt et totalt budsjett på 18,1 mill NOK ved oppstart, og har omfattet spesifikasjon og utarbeidelse av skisseprosjekt, full prosjektering, anbudsfase, oppsetting av bygg, installasjon av prosess- og reaktorsystem, innkjøring og validering av anlegget og oppstart med pågående forskningsprosjekt. Sentrale aktører, foruten prosjektleder, har vært UiB sin eiendomsavdeling, Multiconsult, GK Elektro og CO2Bio AS.

Den andre delen av prosjektet har vært å etablere forskningsaktivitet ved anlegg gjennom deltakelse i forskningsprosjekt sammen med fôr- og oppdrettsnæringen.

2.3 Prosjektorganisering

Prosjektet har hatt en styringsgruppe med representanter fra partnerne Universitetet i Bergen (Eiendomsavdelingen og Institutt for biologi), Uni Research og CO2Bio AS. Samtidig har FHF representant deltatt som observatør i styringsgruppen.

Prosjektgruppen med ansvar for gjennomføring har bestått av prosjektleder Hans Kleivdal gjennom sin bistilling som førsteamanuensis II ved Institutt for biologi ved UiB, instituttleder Ørjan Totland ved Institutt for biologi, UiB sin Eiendomsavdeling ved Morten Storheim, og CO2Bio AS ved Svein M. Nordvik.

Den utvidede prosjektgruppen har i tillegg omfattet senior forsker Dorinde Kleinegris (Uni Research), og Post doc Jeroen de Vree (UiB), og en uformell referansegruppe med forskere fra AlgaePARC, Universitetet i Wageningen ved Prof Rene Wijffels, Assoc Prof Maria Barbosa, Dr. Rouke Bosma.

3 PROBLEMSTILLING OG FORMÅL

3.1 Prosjektets effektmål

Hensikten med prosjektet er å etablere en kapasitet som muliggjør en forskningsbasert utvikling av industrielt produserte *fototrofe* mikroalger som en fôrkomponent til laksefisk.

Muligheten til å produsere større mengder mikroalger ved fotosyntese er viktig for å utvikles et slikt bærekraftig råstoff til en optimal ingrediens eller komponent i laksefôr. Dette utløser mer samhandling langs en ny verdikjede som utvikles gjennom tverrfaglig interaksjoner og tvers av sektorer. Det vil kunne bidra til å omsette kunnskapen og lab-basert forskning fra grunnforskningsmiljø, og koble denne kunnskapen til konkrete krav til nye fôrressurser hos oppdrettsnæringen.

Pilotanlegget er etablert gjennom et tett samarbeid mellom forskning og industri, og har involvert internasjonale kunnskapsmiljø innen oppskalert mikroalgeproduksjon, både rent biologisk, produksjonsteknologisk, kvalitetsmessig og økonomisk.

3.2 Prosjektets resultatmål

3.2.1 Hovedmål

Etablere en funksjonell pilotfasilitet for produksjon av optimaliserte fototrofe mikroalger med høyt innhold av DHA/EPA fettsyrer, og i stor nok skala til at algebiomassen kan utvikles til bruk som fôrkomponent til laksefisk.

3.2.2 Delmål og Milepæler

Delmålene og milepælene reflekterer de fire fasene i prosjektet med planlegging, fysisk etablering av anlegget, innkjøring og bruk (forskning).

<u>Delmål 1: Spesifikasjon, plan og prosjektering av pilotanlegg (2014 Q3-2015 Q4)</u>

M1: Spesifikasjoner for bygg, prosessanlegg og infrastruktur er utarbeidet.
M2: Kontrakt inngått med byggherre for bygg og drivhus.
M3: Kontrakt inngått leverandører av prosessanlegg og grunnleggende reaktorsystem.

Delmål 2: Oppsetting av bygg og installasjon av prosess- og reaktorsystem (2016 Q1 – 2016 Q4)

M4: Infrastruktur for startkulturer installert på BIO (UiB)
M5: Bygg og drivhus oppsatt og klar til bruk.
M6: Prosessanlegg installert og klar til bruk.
M7: Grunnleggende reaktorsystem installert og klar til bruk.

Delmål 3: Gjennomføre innkjøring og validering (2016 Q4-2017 Q4)

M8: Prosedyrer for driftsfasen er etablert.
M9: Sluttgodkjenning av leveranser gjennomført.

Delmål 4: Fasilitere forskningsaktivitet på mikroalger (2017 Q2 – 2019 Q2)

M10: Gjennomføre FoU prosjekt sammen med partnere innen forskning og industri.
M11: Levere algebiomasse til minst 5 forskningsprosjekt.
M12: Midtveisevaluering (styringsgruppen).
M13: Sluttrapportering.

4 PROSJEKTGJENNOMFØRING

4.1 Metodikk

Prosjektets 3 første deler ble gjennomført med UiB Eiendomsavdeling som sentral aktør i hht bestilling fra prosjektgruppens fagpersoner. Den siste fasen har fokus på å utvikle gode forskningsprosjekt hvor pilotanleggets kapasitet fyller en viktig rolle mht optimalisering og oppskalering.

4.2 Gjennomføring

4.2.1 Delmål 1 – Spesifikasjon, plan og prosjektering av pilotanlegg

Under ledelse av UiB sin Eiendomsavdeling ble det utformet et skisseprosjekt med løsning og kalkyle som dannet grunnlag for beslutning i forhold til investering og muligheter for å realisere prosjektet og gå vider til detaljprosjektering.

På bakgrunn av skisseprosjektet ble det besluttet å videreføre prosjektet med å hente inn anbud på detaljert prosjektering og utarbeiding av arbeidsunderlag. Konkurransen ble gjennomført med skisseprosjektet som grunnlag. UiB fikk inn tre tilbud der Multiconsult ble valgt for oppdraget. Videre ble det utarbeidet underlag for konkurranse for utførende entreprenører. Innkomne tilbud på utførende hadde noe høyere kostnad enn budsjettert. Det var dermed nødvendig med en ekstra runde for å kutte kostnader. Dette medførte at oppstart bygging ble forskjøvet med noen måneder.

GK elektro vant kontrakten for utførende arbeider med alle tekniske fag som rør, kjøling, ventilasjon, elektro, SD, tanker og pumper. H Sandvik vant kontrakt på alle de bygningsmessige fagene som grunn og betong, bygg, drivhus, uteområdet maler og gulvlegger.

På bakgrunn av prosjekteringen ble det besluttet å videreføre prosjektet med å hente inn anbud på detaljert prosjektering og utarbeiding av arbeidsunderlag. Konkurransen ble gjennomført med skisseprosjektet som grunnlag. UiB fikk inn tre tilbud der Multiconsult ble valgt for oppdraget. Videre ble det utarbeidet underlag for konkurranse for utførende entreprenører.

Innkomne tilbud på utførende hadde noe høyere kostnad enn budsjettert. Det var dermed nødvendig med en ekstra runde for å kutte kostnader. Dette medførte at oppstart bygging ble forskjøvet med noen måneder. GK elektro vant kontrakten for utførende arbeider med alle tekniske fag som rør, kjøling, ventilasjon, elektro, SD, tanker og pumper. H Sandvik vant kontrakt på alle de bygningsmessige fagene som grunn og betong, bygg, drivhus, uteområdet maler og gulvlegger.

Delmål 1 med alle leveranser ble oppnådd med 9 mnd forsinkelse i fht opprinnelig prosjektplan på grunn av lang prosjekteringsprosess.

4.2.2 Delmål 2 – Oppsetting av bygg og installasjon av prosess- og reaktorsystem

Arbeidet med bygging startet primo mars 2016, og anlegget ble ferdigstilt i november 2016. Arbeidene har blitt gjennomført innenfor budsjettrammer. Det var beregnet margin på 6% av entreprisekostnad til uforutsette kostnader og tilleggs ønsker. Det ble noe forsinkelser i opprinnelig fremdrift for byggearbeidene dette skyldes i hovedsak utfordringer i forhold til integrering av teknisk utstyr, men det har ikke resultert i ekstra kost for prosjektet. Det ble i 2016 påløpt kostnader som omfatter hele det tildelte beløpet fra FHF på 3 000 000 NOK.

Næringsminister Monica Mæland sto for åpningen som fant sted den 22.november 2016 med 80 inviterte gjester fra nasjonale kunnskapsinstitusjoner, næringsliv og myndigheter.

Delmål 2 (figur 1) med alle leveranser ble oppnådd den 22.november 2017.

4.2.3 Delmål 3 – Gjennomføre innkjøring og validering

Testkjøring av LGem MK-750 reaktorsystemene ble påbegynt umiddelbart etter installasjon av reaktorene og oppstrøms prosessanlegget (inntak, rensing og tilførsel av sjøvann og CO2) i september 2016. I oktober 2016 ble EVODOS 25 sentrifugen installert, som gjorde det mulig å teste hele det integrerte anlegget fra sjøvannsrensing, via reaktorsystemene til høstelinjene. Innkjøring ble i første omgang utført med farget vann. Ved begynnelsen av november 2016 ble hele pilotanlegget testet i full skala med mikroalger, etterfulgt av en ytterligere optimalisering av pilotanlegget for å forbedre kontrollstrategiene basert på den testperioden. Fra mars 2017 ble det etablert jevn produksjons av mikroalgepasta som leveranser til forskningsprosjekt.

Figur 2. Nasjonal Algepilot Mongstad (nederst til høyre) er fint plassert ved CO2 TCM DA sitt pilotanlegg på Mongstad, og består av et drivhus med reaktorer samt et driftsbygg med prosessanlegg og laboratorier.

Hele anlegget ble videre *validert* gjennom første kvartal 2017 i hht entreprenørens plan for prøvedrift. I løpet av 4 besøk gjennomførte fagleverandører befaring med kontroll, justeringer og tilpasninger. Pilotanlegget ble ved validert for sommer- og vinterdrift. Per november 2017 fungerer anlegget tilfredsstillende med god biologisk produksjon i et funksjonelt anlegg. Det pågår imidlertid en oppfølging av reklamasjonssaker i fht mindre punkt rundt byggtekniske forhold og på anlegget for sjøvannsrensing.

Pilotanlegget, som opprinnelig beskrevet, ble i løpet av 2017 ytterligere forsterket ved installering av LED-moduler til alle reaktorsystem, samt et kraftigere kjølesystem for temperaturkontroll. Disse investeringene ble gjennomført av NAM konsortiets deltakere (UiB, Uni Research og CO2Bio AS), og ble behandlet utenom det opprinnelige prosjektbudsjettet.

I juni 2017 var den første versjonen av *standard operasjonsprosedyrer og bruksrutiner etablert* for anlegget, og en *driftsmodell* for forskningsaktiviteten ble vedtatt av NAM Styringsgruppe den 9.juni 2017. Den første HMS runde bel foretatt av UiB den 9.juni 2017 hvor enkelte forhold ble påpekt. Utbedring har pågått med sikte på ny HMS runde i begynnelsen av januar 2018.

Den 1.juli 2017 overtok CO2Bio AS ansvaret som teknisk driftsoperatør ved dagl leder Svein M. Nordvik og driftsoperatør Brita Olaisen (underleverandør til eier UiB). Ansvar for den faglige driften og forskningsaktivitet ligger hos UiB ved senterleder Hans Kleivdal og Jeroen de Vree som har faglig oppfølging av daglig drift, bruksplan og koordinering med prosjektledere.

Under Delmål 3 er 4 av 5 punkt oppnådd per november 2017. Den siste leveransen, *sluttgodkjenning* av totalentreprisen, er planlagt gjennomført i januar 2018.

4.2.4 Delmål 4 – Fasilitere forskningsaktivitet på mikroalger

Etter ferdigstillelse og åpningen av NAM anlegget i november 2016, ble det identifisert muligheter for *videreutvikling* i januar 2017. Dette er som en naturlig følge av at et slikt anlegg ikke er konstruert etter en «standard», og man har ikke kunne brukt lignende anlegg som en mal. For å oppnå en helt optimal produktivitet – samt en fleksibilitet til å utføre planlagt forskningsaktivitet, ble det i løpet av 2017 installert LED-lys moduler til alle reaktorsystem. Disse kan programmeres og styres i fht lysintensitet og tid. Det ble også installert et forsterket kjølesystem. Begge disse installasjonene ble gjennomført med ekstra finansiering av UiB, Uni Research og CO2Bio AS. Det planlagt å utvide reaktorkapasiteten ytterligere i løpet av 2018.

Produktet etter høsting ved sentrifugering med EVODOS 25 er en avvannet pasta med konsistens som leire (tørrstoffinnhold på rundt 30%). Sentrifugen installert på NAM anlegget kan behandle rundt 1000L kultur per time, mens høsttankene tillater oppbevaring av 12000L kultur. Den ferske mikroalgepastaen vakumpakkes og fryses ned til videre bruk. Det er også mulig å levere fersk, nedkjølt pasta avhengig av hva man ønsker å studere. Dette sendes videre til samarbeidspartnere som prosesserer videre i hht det spesifikke sluttproduktet.

Det har allerede pågått forskningsaktivitet på mikroalger ved UiB og Uni Research før plan og prosjektering av NAM anlegget, og det ble tidlig etablert flere forskningsprosjekt som tar i bruk NAM pilotanlegget. Det er per november 2017 pågår det 2 større forskningsprosjekt (CO2Food og Algae2Future), det er levert algebiomasse til 4 forskningsprosjekt, og til 3 andre initiativ som er i prosjektutvikling (se under resultater). Det har vært flere besøk av og dialogmøter med eksisterende og nye industripartnere, og det er for tiden flere søknader under arbeid hvor det planlegges bruk av anlegget. Det er estimert belegg på anlegget ut 2018, men det er stadig muligheter til å ta inn mindre prosjekt i løpet av denne perioden. Arbeidet med å utvide reaktorkapasiteten vil påbegynnes i løpet av 2017.

Man har gjennom det siste året vært svært aktive med å formidle både muligheter og pågående aktivitet ved NAM pilotanlegget. Det er gitt flere presentasjoner ved nasjonale og internasjonale

konferanser/workshops, i tillegg til direktemøter og besøk på anlegget av industriaktører og mulige samarbeidspartnere. Dette er også videre formidlet gjennom medieoppslag og publisering av populærvitenskapelige artikler. Det forventes i 2018 at man begynner å publisere de første vitenskapelige artiklene fra forskningsarbeidet som har pågått i 2017.

Under Delmål 4 er 2 av 4 milepæler oppnådd per november 2017. De to siste milepælene (midtveisevaluering og sluttrapportering) skal ferdigstilles i hht prosjektplanen 2019 Q2.

5 RESULTATER OG DISKUSJON

5.1 Resultater

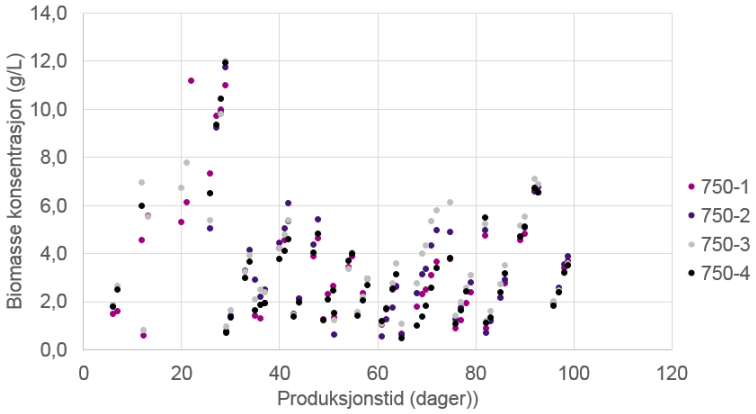
5.1.1 NAM anlegget – produksjon og kapasitet

Nasjonal Algepilot Mongstad er bygget ferdig og innredet til å være et fullt funksjonelt pilotanlegg for dyrkning av fototrofe mikroalger (figur 3). Anlegget ble åpnet av Næringsminister Monica Mæland den 22.november 2016.

NAM anlegget er funksjonelt validert som en integrert og automatisert prosess som kan skaleres videre opp. Anlegget er testet med produksjon av kjente og nye mikroalgestammer – både ferskvann og saltvannsarter. Det ble oppnådd tettheter på over 12 g tørrstoff mikroalger per liter kultur og produktivitet i området 0,5 – 0,8 g/L/dag for ulike algestammer under standardbetingelser (figur 4). Produksjonskapasiteten for hele anlegget kan ligge på rundt 30-50 kilo mikroalgepasta hver uke.

Anlegget har et fleksibelt design hvor det kan gjennomføres komparative studier (ulike stammer, medier, lysforhold, CO2-kilder/kvaliteter) side ved side i sanntid, men hvor det også kan brukes til å produsere større volum av en algestamme. NAM anlegget komplementerer den eksisterende forskningsinfrastruktur for mikroalgeforskning ved UiB på en god måte (figur 5).

Figure 3. NAM anlegget sett fra sør, med produksjon av Tetraselmis chuii.



Figur 4. Produksjonsresultater fra NAM anlegget høsten 2017. Fremstillingen viser biomassetetthet over tid ved standard produksjonsbetingelser av en marin mikroalgestamme som blir dyrket i 4 parallelle reaktorsystem. Kulturen ble her produsert i repeat-batch mode, hvor man tapper 80% av kulturen og bruker resten som startkultur for den neste batchen.

Figur 5. Forskningsinfrastruktur for mikroalgeforskning i Bergen. NAM anlegget for oppskalering og pilotering av mikroalgeproduksjon, er svært komplementær med de etablerte fasilitetene for mikroalgeforskning ved UiB og Uni Research på Marineholmen i Bergen. Slik dekker dette forskningsmiljøet hele «verdikjeden» fra screening og karakterisering av nye mikroalgestammer, til gradvis optimalisering og oppskalering i større volum som er avgjørende for uttesting av industrien.

5.1.2 NAM kompetansebygging

Det er etablert et svært kompetent forskerteam ved NAM gjennom spesifikk rekruttering av Post doc Jeroen de Vree og Førsteamanuensis II Maria Barbosa (Wageningen University, NL) til Institutt for biologi (UiB), samt seniorforsker Dorinde Kleinegris og forskningsassistent Hanna Böpple til Uni Research. Teamet har sterk bakgrunn innen mikroalgeforskning og lang erfaring fra AlgaePARC ved Wageningen Universitet, NL. Dette har forsterket kompetanseoppbygging og forskningsaktivitet både ved Inst for biologi og på NAM anlegget betydelig. Med bakgrunn i dette har det pågått tett samarbeid med Førsteamanuensis Svein Rune Erga og Wageningen Universitet gjennom PhD student Pia Steinrücken i EU FP7prosjektet MIRACLES. Det er planlagt å ta inn nye studenter i forskningsgruppen i 2018.

5.1.3 Forskningsprosjekt ved NAM

Det er etablert flere forskningsprosjekt som skal pågå ved anlegget, som belegger store deler av anlegget ut 2019 (tabell 1). De sentrale pågående prosjektene er *CO2Food* (http://www.co2bio.no/prosjekter/) og *Algae2Future* (https://www.nibio.no/en/projects/algae-to-future-a2f), hvor våre sentrale forskere leder konkrete arbeidspakker innen optimalisering og produksjon av spesifikke mikroalgestammer.I prosjektet *CO2FOOD* utvikler forskere og industrieksperter en spesifikk produksjonslinje for produksjon av fotoautotrofe mikroalger som kilde til marint omega-3 i fiskefôr. Det nasjonale prosjektet *Algae2Future* fokuserer på fleire mulige bruksområder for mikroalger rettet også mot næringsmidler som brød og bryggeriprodukter, i tillegg til fiskefôr. Begge forskningsprosjektene er interdisiplinære, med målsetning om å integrere hele verdikjeden fra mikroalger til produkter, inkludert bruk av sidestrømmer som næringskilder.

Det er i tillegg innsendt flere søknader til NFR og ERA-Net i løpet av 2017, både med nasjonale og internasjonale partnere. Samtidig planlegges nye søknader med konkrete industripartnere for å sikre prosjektaktivitet i årene fremover. Et sentralt tema er å etablere grunnlagsdata som kan brukes inn i tekno-økonomiske analyser og danne et godt beslutningsgrunnlag for en videre oppskalering.

Tabell 1. Oversikt over prosjekt

Prosjekt	Finansiering	Periode	Koordinator	Totalbudsjett
CO2Food	IN, NCE Seafood, CO2Bio AS	2016-2019	CO2Bio AS (adm) Uni Research (FoU)	11,9 mill NOK
Algae2Future	NFR BIONÆR	2017-2021	NIBIO UiB WP leder	55 mill NOK
Aquafeed Technology Centre	NFR INFRA	2016-2019	Nofima	33,9 mill NOK
MIRACLES	EU FP7	2013-2017 Avsluttet	Wageningen University	95 mill NOK
Structure Lipids	NFR Biotek2021	2013-2017 Avsluttet	UiB	10 mill NOK

5.1.4 Formidling

I løpet av NAM anleggets driftstid har det pågått forskningsaktivitet som skal publiseres i løpet av 2018. Det er dermed for tidlig å rapportere vitenskapelige publisering, men NAM anlegget har mottatt flere invitasjoner til å presentere NAM senteret.

I løpet av 2017 har senterleder Hans Kleivdal og prosjektleder Dorinde Kleinegris holdt muntlige innlegg om NAM anlegget og relatert forskning på tilsammen 11 nasjonale og 4 internasjonale konferanser – blant annet på Algal Biomass Organization Summit (Salt Lake City, UT, USA) som er av de største algekonferansene globalt (vedlegg).

Det har vært avholdt flere møter med 9 industriaktører i fbm prosjektutvikling, og man har tatt imot 12 besøk av potensielle partnere på NAM anlegget.

Det har blitt publisert en populærvitenskapelig artikkel i en spesial utgave om fôr av Norsk Fiskeoppdrett, i tillegg til profilering i flere magasin som Invest in Bergen (https://www.investinbergen.com/news/feeding-the-future/) og for Bergen Næringsråd (http://marin.bergen-chamber.no/innovasjonco2-blir-omega-3/).

5.2 Vurdering

Prosjektets hoveddel ved fysisk etablering av NAM pilotanlegget har gått svært bra, til tross for forsinkelsene innledningsvis i prosjekteringsfasen. Kun få måneder etter åpningen kunne anlegget produsere med full kapasitet, til tross for behov for enkelte justeringer i løpet av året. Den samme prosessen tok mer enn 2 år ved pilotanlegget AlgaePARC (https://www.wur.nl/en/Expertise-Services/Facilities/AlgaePARC.htm) i Nederland. Grunnen til at NAM anlegget har kommet raskt i produksjon er mye fordi man har rekruttert kompetent personell med riktig praktisk erfaring og «know-how» i fht å ta frem et slikt anlegg.

5.3 Vurdering om mulighetene for implementering av prosjektresultat

I løpet av de siste årene er det utviklet nye samarbeidslinjer mellom oppdrettsnæringen og selskaper som Evonik, DSM, BioMar og TerraVia, samtidig som flere fôrselskap innfører nå algekomponenter fra heterotrof produksjon i noen av sine fôrprodukter.. Dette viser næringens interesse for å utforske potensialet til fermenterende mikroalger som kan bidra til å lette trykket på fiskeolje på kort sikt. På den annen side er disse løsningene basert bruk av sukker som karbon- og energikilde, og har dermed en del uavklarte forhold rundt reell, økologisk bærekraftseffekt samtidig som det kan sees på som konkurranse med annen matproduksjon. Det er dermed viktig at norske interesser tar en aktiv rolle i evaluering av flere alternativ til fiskeolje for å sikre at løsningene for fremtiden er grunnleggende bærekraftig i flere betydninger.

På verdensbasis er kommersiell produksjon av både heterotrofe og fotoautotrofe mikroalger økende. Til tross for potensialet fototrofe mikroalger representerer er kostnadene for slik produksjon av mikroalger ved dagens teknologi en begrensning for storskala produksjon av algebaserte produkter og ingredienser. De store produksjonsanleggene i verden er stort sett på 1-10 hektar, med noen unntak. Nylig viste en tekno-økonomisk studie at kostnaden for å produsere ett kilo tørr biomasse fra et 100-hektars fotoautotrof anlegg i Spania er ned mot 3.4 euro (Ruiz et al. 2016 Energy Environ. Sci. DOI: 10.1039/c6ee01493c). Studien sannsynliggjør at dagens produksjonskostnad kan reduseres ned til 0.5 euro per kilo de neste 5-10 årene, gjennom biologisk og teknologisk utvikling og optimalisering av dagens produksjonssystem. Samtidig vil faktorer som skala, geografisk plassering i forhold til lys, CO2-kilder, næringstilgang og logistikk kjeder ha en stor betydning for kostnader.

Forskningsresultater fra NAM anlegget vil i tiden frem til 2019 Q2 danne grunnlag for grundige tekno-økonomiske analyser og kostnadsestimat for fototrof mikroalgeproduksjon i stor skala. Samtidig vil man ha tilegnet seg inngående kunnskap og «know-how» om rammene og suksesskriterier for en eventuell industriell implementering. Dette vil gi et bredt beslutningsgrunnlag for etablering av fullskala produksjon og nye verdikjeder som bygger på gjenvinnbare ressurser, sirkulærøkonomi og fornybar energi - med et langsiktig bærekraftsperspektiv.

6 HOVEDFUNN

- Nasjonal Algepilot Mongstad er etablert som et automatisert, velfungerende og fleksibelt anlegg for oppskalering og optimalisering av fototrof mikroalgeprodukjon.
- NAM anleggets parallelle reaktorsystem kan opereres uavhengig og kan brukes for å direkte sammenligne ulike innsatsfaktorer som ulike næringskilder, ulike CO2 kvaliteter, ulike lyskilder samt evaluering av ulike produksjonsstammer.
- NAM anlegget har en produksjonskapasitet på til sammen 3 500 liter, og kan produsere flere hundre kilo årlig.

- Det har blitt dyrket flere ulike algestammer med målte tettheter over 12 g tørrstoff /liter kultur, og målt produktivitet på oppunder 0,8 g tørrstoff/Liter/dag under standardbetingelser.
- Det pågår 2 større forskningsprosjekt ved NAM anlegget, og anlegget har så langt levert algebiomasse til 5 ulike forskningsprosjekt.

7 LEVERANSER

7.1 Ferdigstilte leveranser i hht prosjektplan

Leveranse 1: Funksjonelt pilotanlegg for oppskalert mikroalgeproduksjon - klar for forskningsaktivitet 31.12.2015.

Leveransen ble ferdigstilt januar 2017 da de første forskningsaktiviteten ble igangsatt. Leveransen ble 12 mnd forsinket på grunn av lange prosjekterings- og anbudsfase.

Leveranse 3: Minst 5 presentasjoner på nasjonale og internasjonale møter innen 01.08.2019.

NAM anlegget med pågående forskningsprosjekt er presentert ved muntlig innlegg på til sammen 15 nasjonale og internasjonale konferanser/seminarer i 2017. Leveransen er dermed ferdigstilt per november 2017.

7.2 Gjenstående leveranser i hht prosjektplan

Leveranse 2: Resultatrapport med beslutningsgrunnlag for videre utvikling med leveringsdato innen 01.08.2019.

Forskningsprosjektene (CO2Food og Algae2Future) som skal danne grunnlag for en tekno-økonomisk analyse pågår. Fremdriften er i hht prosjektplan og resultatrapporten skal foreligge innen 01.08.2019.

Leveranse 4: Bidrag til minst 5 vitenskapelige publikasjoner gjennom samarbeidsprosjekt innen 01.08.2019.

Forskningsaktiviteten ved NAM anlegget ble påbegynt i mars 2017, og vil danne grunnlag for vitenskapelige publikasjoner frem mot 01.08.2019 i hht prosjektplan.

8 VEDLEGG

8.1 Formidling om NAM anlegget ved muntlig presentasjoner

Konferanse/Seminar	Tittel, foredragsholder	Sted, Dato
CLIMMIT Summit, US-Norway side event	National Algaepilot Mongstad - CCUS/Algae, Dorinde Kleinegris	Oslo, 08.03.2017
Sats Marint konferanse Norsk Sjømatsenter	Norges første mikroalgeanlegg tatt i bruk på Mongstad i Hordaland, Hans Kleivdal	Bergen, 15.03.2017
UiB Christiekonferansen 2017	«Mikroalger for lavtrofisk matproduksjon», Hans Kleivdal	Bergen, 25.04.2017
AquaNor 2017, Vestlandets fellesstand	Nasjonal Algepilot Mongstad, Hans Kleivdal	Trondheim, 17.08.2017
"Future feed and ingredients" SINTEF,	Nasjonal Algepilot Mongstad, Hans Kleivdal	Trondheim, 17.08.2017
Prestasjonskonferansen Vest, Olympiatoppen	Prestasjon I forskning, Hans Kleivdal	Bergen, 18.09.2017
Avfall Norge Bioseminar BiR	Industrial application of microalgae in the circular bioeconomy, Dorinde Kleinegris	Bergen, 28.09.2017
EU Microalgae Biorefineries conference,	Searching for Superalgae, Dorinde Kleinegris	Brussels, 18.10.2017
Algal Biomass Organization Summit	National Algaepilot Mongstad – production of microalgae for aquaculture, Dorinde Kleinegris	Salt Lake City, USA. 31.10.2017
Biomass for energy: Potentials and sustainability Seminar	Industrial application of microalgae in the circular bioeconomy, Dorinde Kleinegris	26.10.2017
ERA-MBT Marine Biotechnology Final Conference, NFR	“Algae Product Innovation – Needs, drivers, gaps and possibilities”, Hans Kleivdal	Lysaker, 20.11.2017
Omstillingslaboratorium, Klimafestivalen §112	Nasjonal Algepilot Mongstad, Hans Kleivdal	Bergen, 06.02.2017
TCM Workshop on Carbon Capture and Utilisation CO2 TCM DA	Bioconversion of CO2 - Industrial Applications of Microalgae, Hans Kleivdal	Mongstad, 19.10.2016
"Ny giv med ny kunnskap" Seminar Bergen Næringsråd	Forskning for verdiskaping, Hans Kleivdal	Mongstad, 12.05.2016
Grønn onsdag: Kva er eigentlig grønn industri? Naturvernforbundet Hordaland	Mikroalger som fiskefor, Hans Kleivdal	Bergen, 05.10.2016

UNIVERSITAS BERGENSIS