



INPROFEED

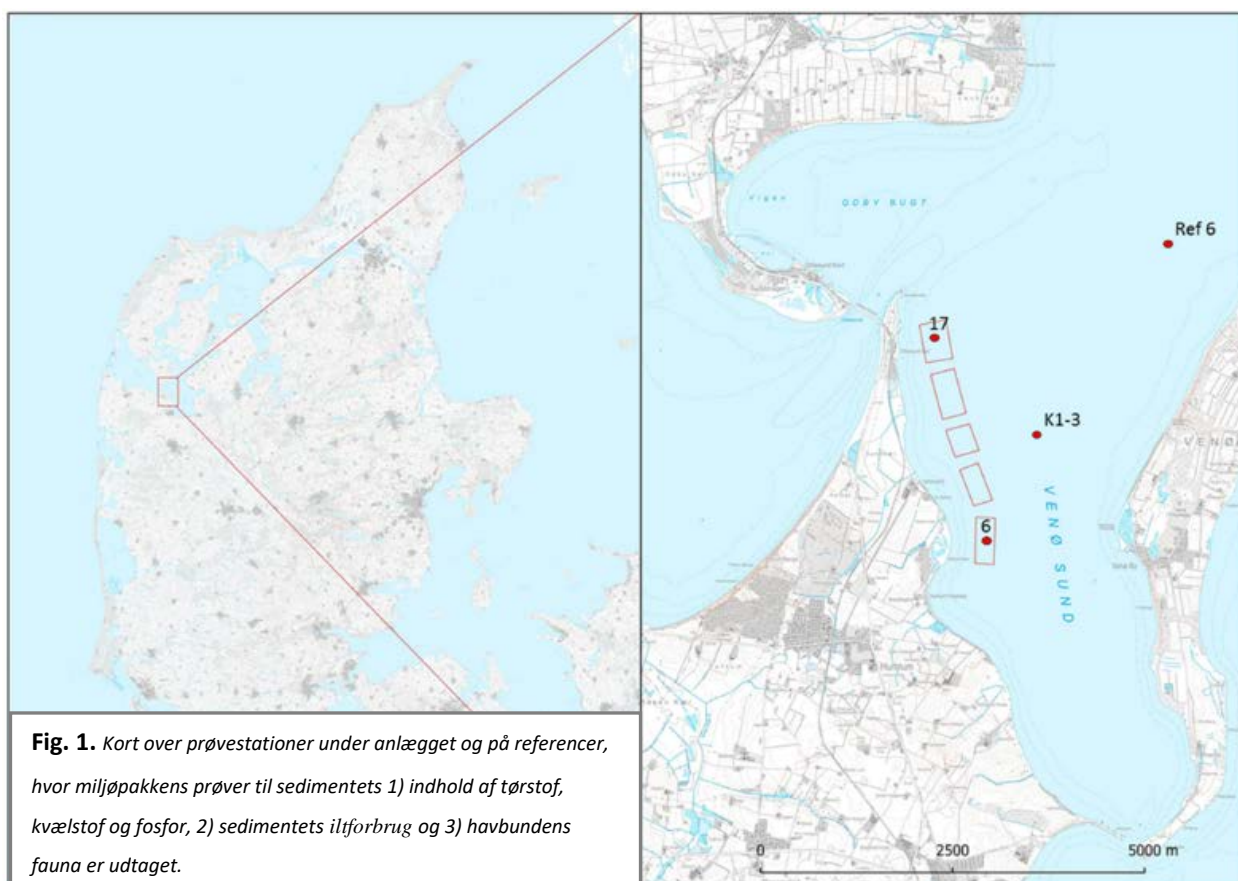
Miljø-arbejdspakken

I dette notat rapporteres INPROFEED-projektets arbejdsplan omkring miljøeffekter af Blå Biomasses muslingeanlæg i Venø Sund.

Miljøeffekterne, der er undersøgt, omfatter følgende:

- 1) sedimentets indhold af tørstof, kvælstof og fosfor
- 2) sedimentets iltforbrug
- 3) havbundens dyreliv
- 4) klorofyl

Målingerne af havbunden blev foretaget på to stationer under anlægget og på to referencestationer (Fig. 1). De angivne statistiske sandsynlighedsværdier (P) er, for normalt fordelte data med ens varianser, beregnet med One way ANOVA, og for ikke-normalt fordelte data og/eller data med uens varianser er beregningen udført med Kruskal-Wallis one way ANOVA on ranks. For 1) er anvendt two way ANOVA med post hoc test Holm-Sidak method. Gennemsnitsværdier er angivet med ± 1 SD. I alle analyser er signifikansniveauet sat til $\alpha = 0.05$.



1) Sedimentets indhold af tørstof, kvælstof og fosfor

Sedimentprøver blev i årene 2018, 2019 og 2020 indsamlet om sommeren (juni – august) i Venø Sund. Prøverne blev taget fra båd med håndholdt kajakprøvehenter (vanddybde ca. 7 m) i hht. NOVA Teknisk anvisning for marin overvågning. Der blev udtaget prøver dels under Blå Biomasses muslinge anlæg og dels på referencestationer (se Fig. 1). I 2018 blev der taget seks prøver under anlæg og tre på reference. I 2019 blev der taget fire prøver under anlæg og fem på reference. I 2020 blev der taget tre prøver under anlæg og seks på reference. Prøvernes indhold af tørstof, kvælstof og fosfor blev hvert år analyseret af det DANAK akkrediterede laboratorium EUROFINS Danmark. Da der er indsamlet over flere år, er data analyseret med two way ANOVA, hvor år indgår som parameter.

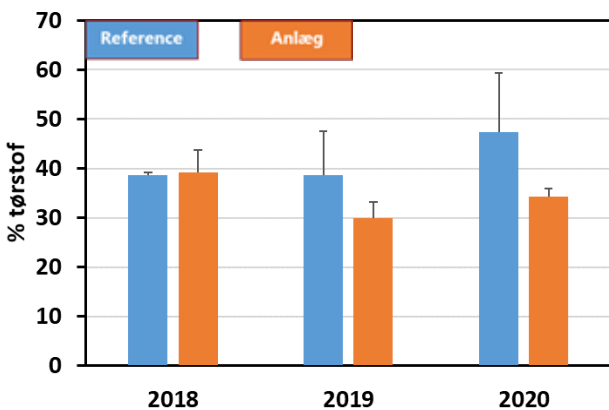


Fig. 2. Sedimentets indhold af tørstof (%).

Tørstof: Analysen for tørstof (Fig. 2) viste, at år ikke spiller ind; men at der var signifikant forskel ($P = 0.032$) på sedimentets indhold af tørstof mellem anlæg og reference.

Tørstofindholdet på referencestationerne var samlet set for de 3 år ca. 16 % højere end under anlægget.

Kvælstof: For kvælstof (Fig. 3) viste analysen at år ikke spiller ind; men at der var signifikant forskel ($P < 0.001$) på sedimentets indhold af kvælstof mellem anlæg og reference.

Samlet for de tre år var der ca. 50 % højere kvælstofindhold i sedimentet under anlægget.

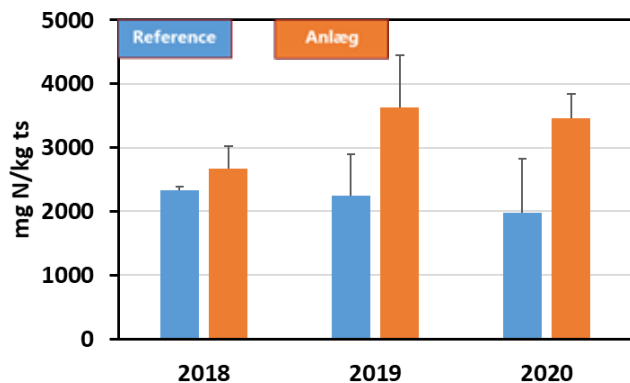


Fig. 3. Sedimentets indhold af kvælstof (mg N/kg ts).

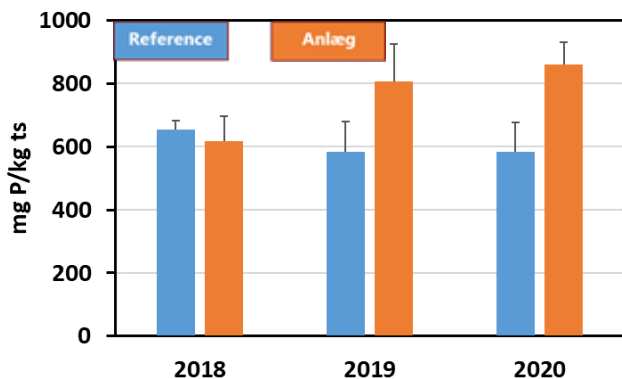


Fig. 4. Sedimentets indhold af fosfor (mg P/kg ts).

Fosfor: For fosfor (Fig. 4) viste analysen, at år spiller ind. Det kan derfor konkluderes, at der var signifikant forskel ($P < 0.05$) på sedimentets fosforindhold mellem anlæg og reference i årene 2019 og 2020; men ikke i 2018. I forhold til 2018-niveauet, er der, under anlægget, akkumuleret fosfor.

Samlet for de tre år var der ca. 27 % mere fosfor i sedimentet under anlægget.

Konklusion: Der blev fundet forhøjede mængder kvælstof og fosfor i sedimentet under anlægget. Dette var forventeligt, da muslingernes ekskrementer vil sedimentere på havbunden under anlægget. Sedimentets tørstof er højere på reference end under anlæg, hvilket kan forklares ved, at muslingernes ekskrementer har en mere porøs karakter end sedimenterende fytoplankton, som på referencestationerne vil være den primære kilde til sedimenterende organisk materiale. Samlet set er det vist, at Blå Biomasses muslingeanlæg i Venøsund sætter et forventeligt, men lokalt, aftryk på den underliggende havbunds indhold af tørstof, kvælstof og fosfor.

2) Sedimentets iltforbrug

I 2020 blev sedimentets iltforbrug analyseret på sedimentkerner med, i gennemsnit, 7 cm overliggende vandsøjle, udtaget med håndholdt kajakprøvehenter under anlægget og på referencestationerne. Kernerne blev analyseret straks efter hjemkomst, hvor de blev placeret i forsøgsopstillingen (custom made), bestående af et termostatstyret vandbad, der havde samme temperatur og salinitet som i området. Kernerne med den overliggende vandsøjle blev lukket med låg, som havde en magnetomrører påmonteret, til at sikre omrøring af vandet. Faldet i vandets iltkoncentration i det lukkede rør blev målt med fiberoptiske ilt-prober (Firesting og Fibox-3). Ud fra faldet i iltkoncentration, som funktion af tid, kan sedimentets iltforbrug ($\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$) beregnes.

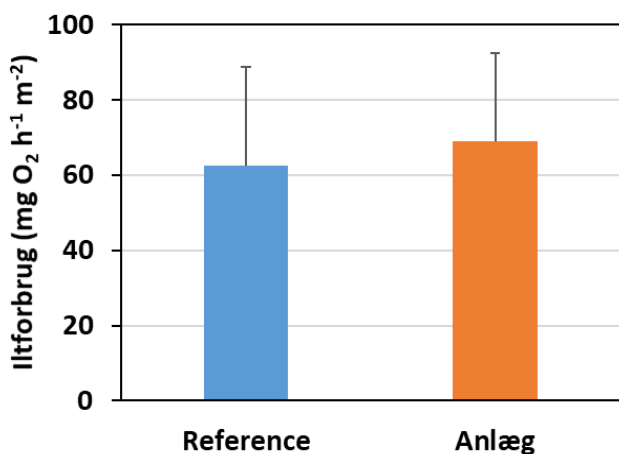


Fig. 5. Sedimentets iltforbrug ($\text{mg O}_2 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-2}$) under anlæg og på reference.

I data indgik der 13 referencemålinger og 22 målinger fra sedimentet under anlægget.

Der kunne ikke registreres nogen signifikant forskel ($P = 0.232$) på sedimentets iltforbrug under anlægget og på referencestationerne (Fig. 5).

Det skal bemærkes, at målingerne viste ganske store standardafvigelser, hvilket kan skyldes, at større sedimentlevende dyr kan have været til stede i nogle af sedimentkernerne. Dette vil give ophav til et forøget iltforbrug, da målinger med en makrofaunal komponent ikke kun repræsenterer de mikrobielle omsætningsprocesser.

Under disse omstændigheder skal der langt flere prøver til, for at kunne afgøre, om sedimentets iltforbrug under anlægget er forhøjet. Det kan dog konkluderes, at sedimentets iltforbrug under anlægget ikke var signifikant forøget, da dette ville have været målbart med det antal prøver, som indgik i analysen.

Konklusion: Projektets miljø-arbejdspakke kunne ikke påvise et signifikant forhøjet iltforbrug i sedimentet under Blå Biomasse anlægget. Et signifikant forøget iltforbrug i sedimentet under anlægget ville have været målbart med det anvendte antal prøver. Antagelsen at der ikke er eller har været signifikant forhøjet iltforbrug, og dermed forringede iltforhold, i bundvandet under anlægget i projektperioden understøttes af analysen af faunaen under anlægget (se næste afsnit).

3) Bundens fauna

I 2020 blev der udtaget bundprøver på to stationer under anlægget og på to referencestationer. På hver af de fire stationer blev der taget fire HAPS prøver. Alle prøver blev sigtet igennem 1 mm sigte og konserveret i ethanol. Analyserne af prøvernes bundfauna blev foretaget af det DANAK akkrediterede laboratorium Fishlab.

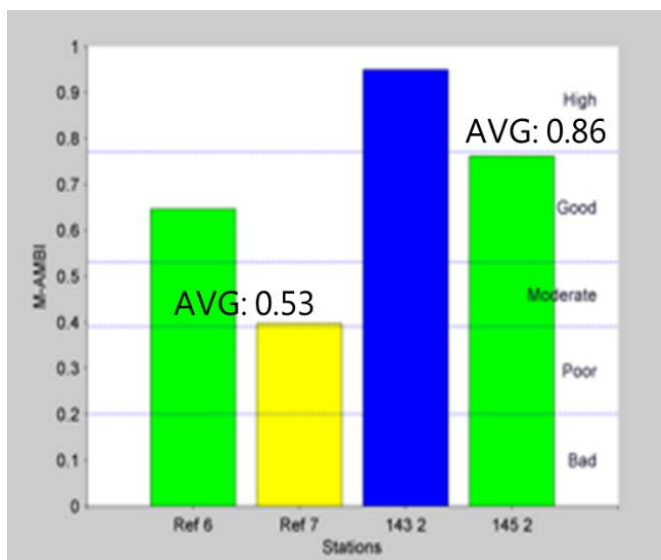


Fig. 6. M-AMBI-indeks for faunaen under anlæg og på reference.

M-AMBI er et flerdimensionelt indeks til bestemmelse af bundfaunaens økologiske status i marine blødbunds-områder. Indekset er i overensstemmelse med det europæiske vandrammedirektivs klassificering af økologiske status.

M-AMBI (Fig. 6) viser, at den økologiske status under anlægget på de to prøvestationer er henholdsvis god (grænsende til høj) og høj; mens den på de to referencestationer er henholdsvis god og moderat (grænsende til dårlig). Gennemsnittet for de to stationer under anlægget viser, at den økologiske status kan klassificeres som høj (0.86) og den økologiske status for referenceområdet kan klassificeres som moderat (0.53).

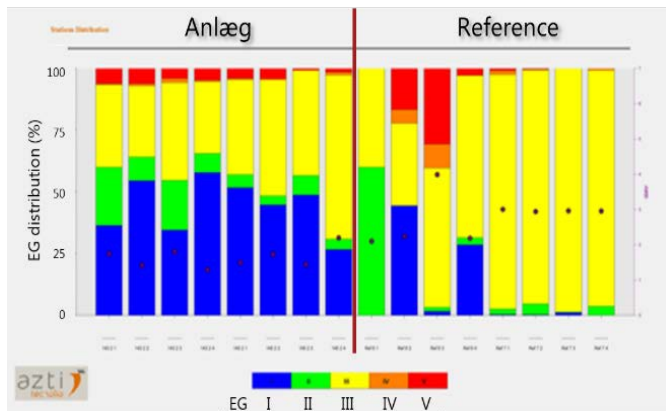


Fig. 7. Faunaens fordeling i de fem økologiske grupper (EG I – V) for de 8 delprøver under anlæg og de 8 delprøver på reference.

I analysen opdeles de fundne arter i fem økologiske grupper (EG: I – V), hvor EG I er karakteriseret ved arter, som er meget følsomme overfor organisk belastning og derfor hyppigt findes i og på ikke forurenede sedimenter. Under anlægget tilhørte $44 \pm 11\%$ af de fundne arter EG I, hvorimod andelen på referencen kun var på $9 \pm 16\%$. Der var således en signifikant forskel ($P = 0.002$) på andelen af EG I organismer under anlægget og på referencen (Fig. 7).

Ovenstående M-AMBI-klassificering af bundfaunaen under anlæg og på reference afspejles også i den tilsvarende AMBI-klassificering, hvor indekset under anlæg var 1.83 ± 0.407 og på reference 2.80 ± 0.621 . De to AMBI-værdier er signifikant forskellige ($P = 0.002$). I AMBI-klassificeringen betyder det, at såvel havbunden under anlæg og på reference klassificeres som i god økologisk tilstand. Det Danske Kvalitets Indeks (DKI) var under anlægget 0.61 ± 0.097 og på referencen 0.44 ± 0.123 . De to DKI-værdier er signifikant forskellige ($P = 0.01$). DKI klassificerer den økologiske status af havbunden under anlægget som moderat (grænsende til god) og referencen som dårlig (grænsende til moderat).

Artsdiversiteten udtrykt ved det endimensionelle Shannon-Wiener indeks (H) under anlæg og på reference var henholdsvis 2.26 ± 0.73 og 1.49 ± 1.19 . Artsdiversiteten var størst under anlægget; men forskellen er

dog ikke signifikant ($P = 0.234$). Antallet af arter under anlæg og på reference var henholdsvis 45 ± 12.7 og 17.5 ± 0.7 . Der var et signifikant større antal arter under anlægget end på referencen ($P < 0.001$). Under anlægget fandtes 38 arter, som ikke var til stede på referencen og på referencen fandtes 8 arter, som ikke var repræsenteret under anlægget. Arterne, der forekom under anlæg og på reference, havde en samlet abundans (ind. m^{-2}) på henholdsvis $189,615 \pm 104,780$ og $64,580 \pm 78,968$. Abundansen under anlægget var signifikant større end på referencen ($P = 0.017$). Biomassen (g vådvægt m^{-2}) under anlæg og på reference var henholdsvis $76,808 \pm 45,554$ og 324 ± 237 . Biomassen var signifikant større under anlægget end på referencen ($P < 0.001$). I biomassen indgår også blåmuslinger, der under anlægget skyldes blåmuslinger der er faldet af anlæggets net og ned på havbunden. Mængden af blåmuslinger, der var faldet ned på bunden, var $74,802 \pm 44,432$ g vådvægt m^{-2} . Hvis biomassen analyseres, uden at medtage blåmuslinger, så var biomassen under anlæg og på reference henholdsvis 2006 ± 1122 og 324 ± 237 . Biomassen eksklusive blåmuslinger var signifikant større under anlægget end på referencen ($P < 0.001$).

Af de 38 arter, som udelukkende blev fundet under anlægget, var 34 epifaunale arter (= 89 %) og af de 8 arter der kun fandtes på referencen var 2 epifaunale (= 25 %). Under anlægget blev der i alt identificeret 55 arter, hvoraf 47 var epifaunale (= 85 %). På referencen blev der i alt identificeret 27 arter, hvoraf de 11 var epifaunale (= 41 %). Det skal desuden bemærkes, at under anlægget blev krebsdyrene *Gitana sarsi* og *Selioides bolbroei*, kammuslingen *Palliolium striatus*, samt skælryggen *Sthenelaris boa* fundet. Alle disse er sjældne arter, som tilhører EG I og som ikke er observeret af analyse-laboratoriet i Limfjorden siden 1990'erne (se Fig. 8).



Fig. 8. Sjældne arter fundet under anlægget i Venøsund: **Kammusling** *Palliolium striatus* (a). **Krebsdyr** *Gitana sarsi* (b), **Skælryg** *Sthenelaris boa* (c), **Krebsdyr** *Selioides bolbroei* (d). Billeder er taget af Fishlab.

Konklusion: Ovenstående resultater viser samlet, at blåmuslinger, der er faldet af anlæggets net, har etableret biogene rev på havbunden under Blå Biomasses produktionsanlæg. På revene har et stort antal hovedsagelig epibentiske arter etableret sig, og lever tilknyttet de biogene rev. Dette har givet ophav til, at havbunden under anlægget er i en signifikant bedre økologisk status end området udenfor anlægget. Næsten halvdelen (44 %) af arterne, som kun findes på de biogene rev under anlægget, tilhører EG I, hvilket er signifikant flere end på referencen. Dette viser, at anlæggets effekt på havbundens iltforbrug over tid ikke har bevirket dårlige iltforhold i bundvandet, da arterne tilhørende EG I ellers ikke ville have været til stede. Dette underbygger resultaterne fra målingerne af sedimentets iltforbrug, hvor der ikke kunne vises et forhøjet iltforbrug under anlægget. De etablerede biogene rev bidrager med et lokal mere rigt bunddyrssamfund i et område, hvor den økologiske status generelt er dårlig til moderat. Omend projektets miljøpakke ikke har undersøgt antallet af fisk og deres fødeoptagelse i og under anlægget, så udgør selve anlæggets net et levested og beskyttelse for områdets fisk (visuelt observeret ved snorkeldykning). De biogene rev udgør givetvis en lokal fødekilde for områdets fisk og anlægget bidrager dermed positivt til Limfjordens fiskebestand.

4) Vandsøjlels klorofylkoncentration

Muslinger ernærer sig primært ved at filtrere vandet for planteplankton. Vandets koncentration af planteplankton indenfor og omkring anlægget blev kvantificeret ved vandets klorofylkoncentration ($\mu\text{g l}^{-1}$). Klorofylkoncentrationen blev målt som fluorescens og omsat til klorofylkoncentration ved lineær regression mellem samhörrende fluorescens- og klorofylmålinger. Sammenhængen mellem fluorescens og klorofylkoncentration varierer afhængigt af hvilke planteplankton samfund der er tale om, og hvor meget lys, de har oplevet forud for målingen. Der blev derfor lavet individuelle regressioner for alle prøvetagninger. Ved hver prøvetagning blev der målt fluorescensprofiler fra overfladen og til bunden på et antal stationer indenfor og omkring anlægget. På stationerne blev vandets klarhed også målt ved at nedsænke en Secchi-skive indtil skiven ikke længere var synlig fra overfladen (= Secchi-dybde (m)). Ved et antal prøvetagninger blev fluorescensen desuden målt i 1,5 m dybde over en periode på 4 – 5 timer, hvor fluorescensmåleren kontinuerligt blev flyttet rundt i området af en sejlede båd. De kontinuerlige målinger sammenholdt med bådens GPS-position blev efterfølgende anvendt til at generere isopleth-kort over klorofylkoncentrationen indenfor og omkring anlægget. Der blev desuden målt klorofyl i 1,5 m dybde kontinuerligt over tid på faste positioner indenfor og udenfor anlægget. Målingerne af klorofyl og Secchi-dybde blev foretaget af projektpartneren WSP Danmark og de kontinuerlige klorofylmålinger og efterfølgende databehandling blev udført af Daniel Taylor, Sektion for Kystøkologi, DTU Aqua.

Det generelle billede fra alle prøvetagninger er, at klorofylkoncentrationen er reduceret betydeligt indenfor anlægget sammenlignet med opstrøms for anlægget. Klorofylkoncentrationen indenfor anlægget er, i forhold til udenfor anlægget, reduceret med en faktor 2 (d. 18/10 2018), en faktor 3 (d. 29/4 2019) og en faktor 3 - 4 (d. 5/7 2019) (Fig. 9). Det ses også på figur 9, hvordan det klorofylreducerede vand bevæger sig nord for anlægget ved nordgående strøm.



Fig. 9. isopleth-kort af klorofylkoncentrationen indenfor og udenfor anlægget på tre forskellige datoer (18/10 2018, 29/4 2020 og 5/7 2020). Gule rammer indikerer placering af anlæggets fem opdrætsenheder. Kortene er genereret ud fra kontinuerlig fluorescensmåling på 1,5 m dybde målt fra sejlede båd over 4 - 5 timer. Målingerne og kort er udført af Daniel Taylor, Sektion for Kystøkologi, DTU Aqua.

Satellitbilleder af områdets klorofylkoncentrationer før og efter etablering af anlægget viser også en tydelig reduktion af klorofylkoncentrationen indenfor anlægget, forårsaget af filtrationen fra den stående biomasse på 4927 tons blåmuslinger (Fig. 10).

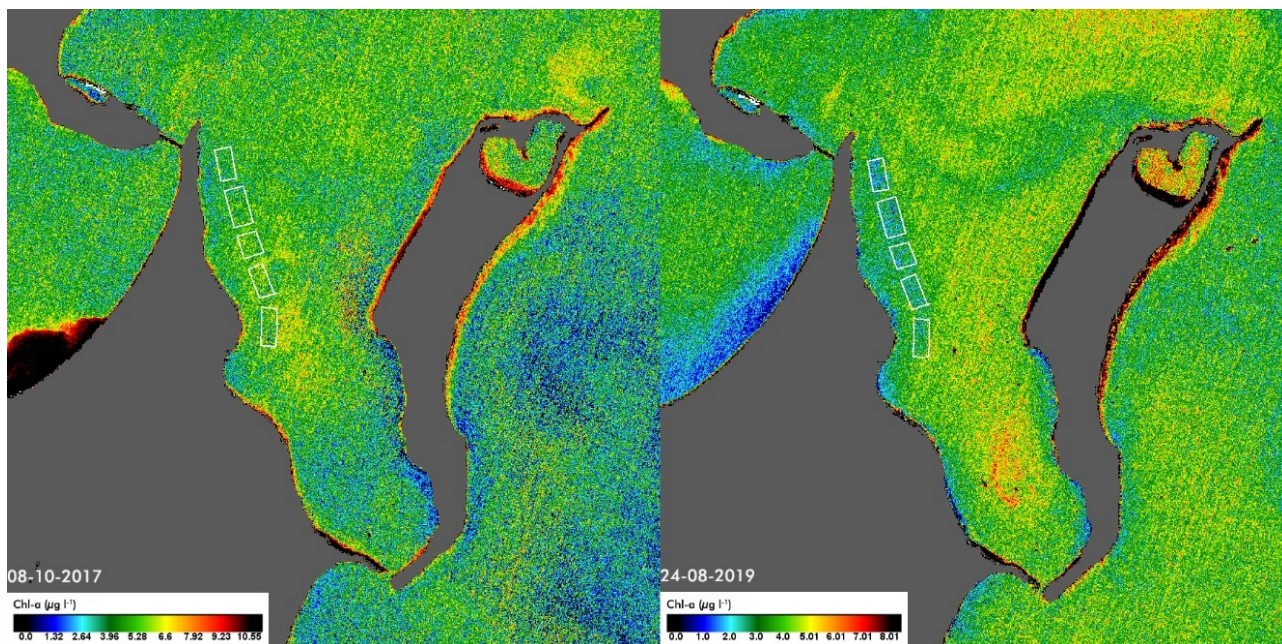


Fig. 10. Satellitbilleder, der viser klorofylkoncentration i Venø Sund før etablering af anlægget i oktober 2017 (venstre billede) og i august 2019 efter anlægget var etableret (højre billede). I august 2019 var der samlet 4927 tons blåmuslinger på de 5 opdrætsenheder. Bemærk det ændrede mønster indenfor anlægget på billedet til højre. Satellitbillederne er lånt fra (Taylor, Jakobsen, Darecki, Lyngsgaard, & Saurel, In review.)

De kontinuerlige målinger af klorofylkoncentration indenfor og udenfor anlægget viste ved alle målinger en reduktion af klorofylkoncentrationen indenfor anlægget, hvor der i gennemsnit blev observeret reduktioner på 27 – 47 %, samt 200 m nedstrøms fra anlægget (Taylor, Jakobsen, Darecki, Lyngsgaard, & Saurel, In review.).

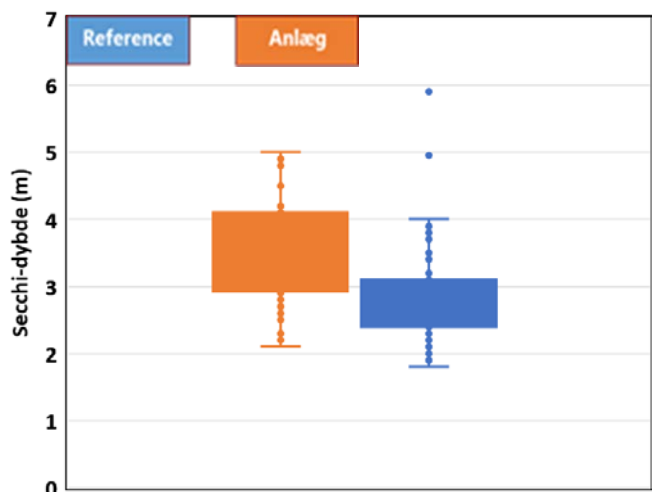


Fig. 11. Secchi-dybder (m) indenfor anlæg (n = 76) og på referencestation (n = 81) udenfor anlæg

Anlæggets effekt på vandets klarhed målt som Secchi-dybde i perioden juni 2018 til august 2020 (157 målinger) viste, i gennemsnit, en Secchi-dybde på $3,5 \pm 0,8$ m under anlægget og $2,8 \pm 0,67$ m på referencestationen (Fig. 11). Forskellen mellem de gennemsnitlige Secchi-dybder var signifikant ($P < 0.001$). I nogle tilfælde var Secchi-dybden indenfor anlægget øget med op til to meter i forhold til udenfor.

Anlæggets effekt på såvel klorofylkoncentration som Secchi-dybde kan anskueliggøres med et estimat af anlæggets potentielle filtreringskapacitet. Med udgangspunkt i anlæggets stående biomasse på 4820 tons (august 2020) kan det, ud fra en gennemsnitsvægt af en blåmusling i

anlægget på 7 g, beregnes hvor mange blåmuslinger, der var i anlægget. Hvis det anslås, at den gennemsnitlige tørvægt af disse blåmuslinger var 0.5 g, og den vægtspecifikke filtrationsrate sættes til $5.5 \text{ l h}^{-1} \text{ g}^{-1}$, kan det (under antagelse at alle blåmuslinger er aktivt filtrerende) estimeres, at anlægget potentielt set kan rense omkring 1,9 millioner kubikmeter i timen. Anlægget har således en størrelse, hvor filtreringskapaciteten bevirker målbare effekter.

Konklusion: Projektets miljøpakke har påvist, at filtrationen, som anlæggets bestand af blåmuslinger udfører, resulterer i en reduktion af klorofylkoncentrationen indenfor anlægget, og i op til 200 m nedstrøms for anlægget. Muslingernes filtration kunne også måles som en forøget klarhed af vandet.

5) Samlet konklusion

Blå Biomasses anlæg i Venøsund giver et forventet lokalt miljømæssigt fodaftryk i form af forhøjede næringsstofværdier i sedimentet under anlægget. Dette kunne dog ikke påvises at have en effekt på bundens iltforbrug, og dermed har anlægget i sig selv ikke medvirket til at fremprovokere iltsvind i området. Dette understøttes klart af faunaanalyserne, da næsten halvdelen af arterne under anlægget tilhører EG I. Blåmuslinger, der er faldet af anlæggets net, har skabt lokale, biogene rev på den underliggende havbund, som bidrager positivt til områdets dyreliv. Således har de biogene rev stor artsrigdom med høj abundans og biomasse. I forhold til EU's vandrammedirektiv kan bunden under anlægget kvalificeres som værende i høj-god økologisk tilstand, og er dermed i bedre økologisk tilstand end det omkringliggende område, som er i god-moderat økologisk tilstand. Blåmuslingerne i anlægget reducerer, ved deres filtration, vandets klorofylkoncentration og øger klarheden af vandet i og 200 m nedstrøms for anlægget.

Ovenstående effekter knytter sig til anlæggets placering i Venøsund, hvor der er gode strømforhold i et i øvrigt generelt næringsstofbelastet område. Miljøpakkens resultater viser samlet, at muslingeopdrætsanlæg ved en gunstig geografisk placering kan bidrage positivt til områdets miljø og dyreliv. Det må derfor konkluderes, at produktion af blåmuslinger på industriskala i et område som Venøsund kan være både bæredygtigt og bidrage positivt til områdets miljø og dyreliv.

Bent Vismann
Lektor, Lic. Scient., Ph.d.
Januar 2021