

## 5. MuMiHus kvalitativ rapport

Den bærende ide i MuMiHus er at udvikle og undersøge brugen af kompensationsopdræt af blåmuslinger, *Mytilus edulis*, som et virkemiddel i relation til opnåelse af god økologisk tilstand i kystnære danske farvande. MuMiHus er inddelt i arbejdsplaner, der skal belyse kompensationsopdræt fra forskellige vinkler: Optimering af muslingeproduktion, miljøeffekter af kompensationsopdræt, økologisk modellering af samlet effekt af kompensationsopdræt, udvikling af forvaltningsmodeller og økonomiske analyser, biologiske begrænsninger for brug af muslinger som virkemiddel primært i relation til saltholdighed og anvendelsespotentiale af kompensationsopdrættede muslinger med særligt fokus på muslingernes potentielle bioakkumulering af miljøfremmede stoffer.

Der blev gennemført en forsøgsproduktion fra maj 2010 til maj 2011 på et fuldskala produktionsanlæg i Skive Fjord på 18 ha bestående af 90 langliner på hver 200 m. Dyrkningsteknikker blev modificeret og optimeret ift. gængs opdrætspraksis med henblik på øget arealudbytte og lave produktionsomkostninger ved bl.a. anvendelse af forskellige tætheder og typer af settlingsbånd samt høsttidspunkt. Ved høst i det sene efterår/tidlig vinter og efter omkring ét år blev den totale biomasse i anlægget estimeret til hhv. 900 og 1.100 t muslinger. På baggrund af målt indhold af kvælstof (N) og fosfor (P) blev de høstede mængder muslinger omregnet til N og P fjernet fra vandmiljøet. Resultaterne er samlet i Tabel 1 og viser, at den største fjernelse kunne opnås ved at lade muslingerne blive på anlægget til maj året efter settling på langlinerne. Som virkemiddel har kompensationsopdræt en høj effektivitet med en N-fjernelse på 0,6-0,9 t N ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>.

**Tabel 1.** Fjernelse af tons kvælstof (N) og fosfor (P) ved høst på forskellige tidspunkter i perioden 2010-2011 og fordelt på hhv. muslingekød, byssustråde og skaller.

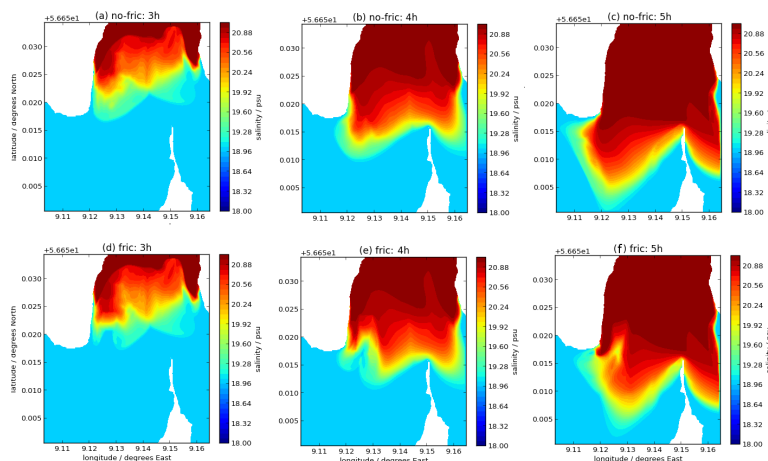
	Kød		Skaller		Byssus		Total	
	N	P	N	P	N	P	N	P
Dec. 10	7	0.5	2.6	0.01	1.3	0.01	11	0.5
Marts 11	6	0.5	2.5	0.01	1.8	0.01	10.5	0.5
Maj 11	9	0.7	4	0.02	3	0.02	16	0.7

Ud fra opgørelser af arbejdstimer, drifts- og anlægsomkostninger samt levetid for anlæggets dele blev de samlede årlige omkostninger for produktion af muslinger beregnet, med både driftsøkonomiske og velfærdsøkonomiske prisforudsætninger. I beregningerne af omkostninger og omkostningseffektivitet blev der udført følsomhedsanalyser for at anskueliggøre de væsentligste omkostninger og hvilken optimering, der vil have størst effekt for omkostningseffektiviteten af kompensationsopdræt. Der er kun beregnet omkostninger, og ikke indtægter, da afsætningsmulighederne for muslingerne ikke er belyst i projektet. Årlige omkostninger kan umiddelbart sammenholdes med den årlige kvælstoffjernelse, og de årlige omkostninger kan sammenlignes med de årlige omkostninger ved andre tiltag til reduktion af N i fx landbruget. Omkostningseffektiviteten blev beregnet til at ligge mellem 111 (maj 11) og 151 kr. kg<sup>-1</sup> N (december 10), afhængigt af høsttidspunkt. Analyser viste, at ved yderligere optimeringer fx anvendelsen af bådene kan omkostningen reduceres til 88 kr. kg<sup>-1</sup> N. Der er yderligere effektiviseringsgevinster at hente på fx arbejdstidsforbruget, som udgør den største del af omkostningerne.

Det målte fødegrundlag omkring de enkelte muslinger i opdrætsanlægget sammenholdt med modellering af muslingernes stofomsætning i den koblede muslingemodel viste, at anlægget i Skive Fjord kan producere en større biomasse, fx ved at øge tætheden af settlingsbånd og reducere afstanden mellem linerne. Der er således potentiale for en større arealeffektivitet af virkemidlet i eutrofe områder. Ved en bedre udnyttelse af arealet kunne det samlede udbytte i form af kg fjernet N have været øget, hvilket ville reducere prisen pr kg fjernet kvælstof. Reduktionen i pris er ikke ligefrem proportional med den øgede mængde, da arbejdsindsatsen ved at vedligeholde et tættere pakket anlæg

vil være større. Der var ingen effekt af de valgte settlingsmaterialer på mængden af muslinger produceret ( $\text{kg m}^{-1}$ ).

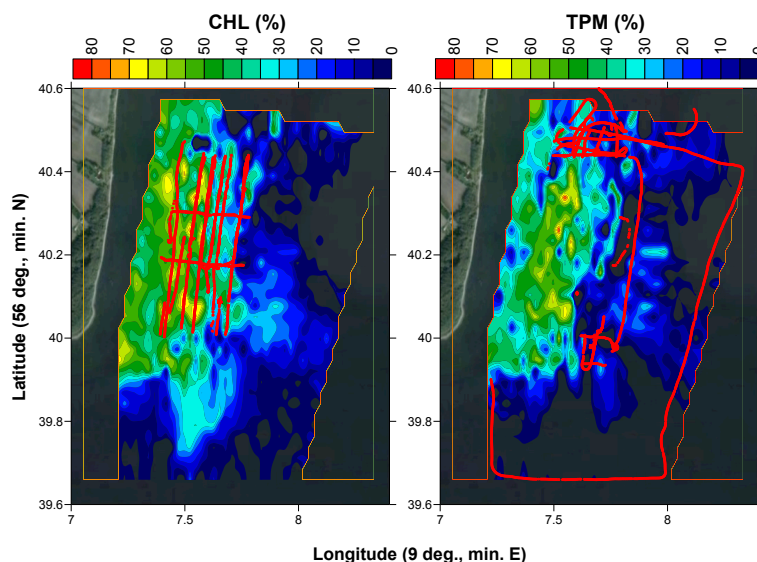
I og omkring anlægget blev der i produktionsperioden foretaget en lang række undersøgelser og målinger til dokumentation af miljøeffekter og som input til de dynamiske modeller. Målingerne omkring opdrætsanlægget viste, at selve anlægget påvirker strømningsmønstre. Den opstillede hydrodynamiske model for selve anlægget understøtter målingerne og viser, at den øgede friktion forårsaget af anlægget påvirker den samlede transport af vand fra Riisgårde Bredning til Skive Fjord (Figur 1).



**Figur 1.** Modelleret transport af bundvand fra nord mod syd med snapshots efter 3, 4 og 5 timer i en situation uden (øverste række) og med et opdrætsanlæg (nederste række).

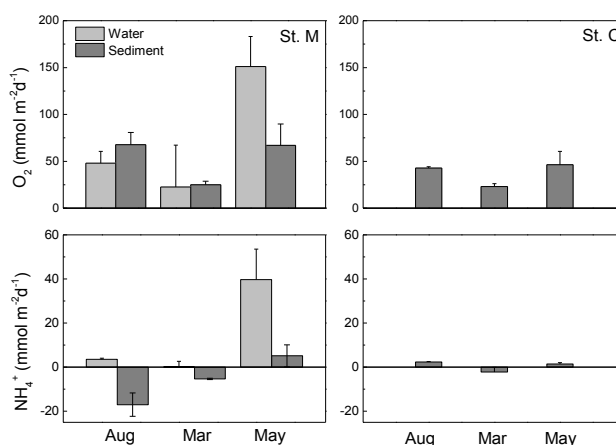
På skala af Skive Fjord viste målingerne, at der er en stor udskiftning af vandmasserne i specielt de øverste dele af vandsøjlen. Dermed er der en naturlig stor rumlig og tidlig variation i fødetilgængeligheden for muslingerne i Skive Fjord. Den høje grad af løbende tilførsel af ny føde forklarer, hvorfor der ikke var rumlig forskel på væksten hos muslingerne i opdrætsanlægget og understøtter forventningen om, at anlægget kan producere større biomasser. Skive Fjord er i særlig grad belastet af tilførsel af næringsalte og koncentrationen af planteplankton i vandsøjlen er højere end gennemsnittet for hele Limfjorden, hvilket samtidig giver et stort potentiale for produktion af linemuslinger.

At der foregår en udtynding af fytoplankton i anlægget blev vist gennem kortlægning af fytoplankton (CHL) og total suspenderet materiale (TPM) i og udenfor anlægget. Den gennemsnitlige reduktion var 13-31% for begge parametre, mens der inde i anlægget var reduktioner på  $>50\%$ , ligesom reduktionszonen strakte sig udover anlæggets grænser (Figur 2). Udtyndingen medfører øget klarhed i vandet og bidrager dermed til opfyldelse af miljømålene for de kystnære områder, fordi kravene til god økologisk tilstand i de kystnære farvande formuleret i EU's Vandrammedirektiv er rettet mod tilstand målt på basis af en række miljøindikatorer, hvoraf vandets klarhed er én af indikatorerne.



**Figur 2.** Konturkort over %-reduktion af fytoplankton (CHL%) og partikulært materiale (TPM%) omkring anlægget i Skive Fjord den 1. september, 2010. De røde linjer viser, hvor der er blevet målt.

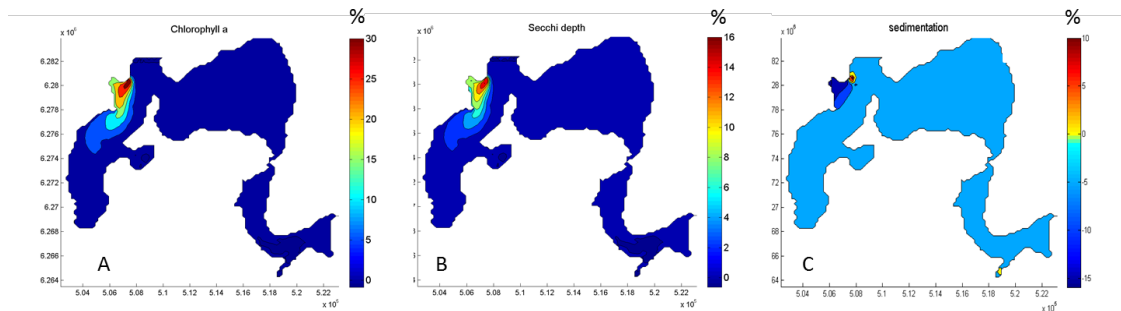
Grundet de stærkt eutrofierede forhold i Skive Fjord var det vanskeligt at måle et miljøsignal af farmen på næringssaltdynamik og iltforhold i vandfasen og sedimentet. Generelt er omsætningen af organisk stof høj både i vandfasen og sedimentet i Skive Fjord, og det er først i slutningen af produktionsfasen, at muslingefarmen bidrager netto til kvælstofbudgettet i Skive Fjord, da der er en frigivelse af opløst N i maj fra muslingeliner og fra sedimentet (Figur 3). Det var imidlertid ikke muligt at måle en effekt heraf på primærproduktionen. Fra august-maj var optaget af kvælstof i sedimenterne større end frigivelse af N fra muslingerne, og dermed øger farmen fjernelse af N fra Skive Fjord udover den mængde N, der bliver inkorporeret i muslingerne.



**Figur 3.** Iltoptagelsen ( $O_2$ ) og ammoniumflux ( $NH_4^+$ ) på en station midt i muslingefarm (St. M) og en kontrolstation (St. C). På St. M er muslingernes bidrag angivet som "Water".

Det i MuMiHus udviklede modelkompleks består af en koblet 3D hydrodynamisk-økologisk model med forbedrede eller nye beskrivelser af de benthiske processer og lysdæmpning i vandsøjlen samt et ny-udviklet muslingemodul baseret på et dynamisk energi budget (DEB) for individuel vækst kombineret med en populationsmodel, der beskriver antallet og dødeligheden af muslinger, er indbygget. Modelkomplekset forceres af meteorologi og data for vandføring og næringssaltstilførsler i produktionsperioden 2010-2011 fra monitoringsdata fra det nationale overvågningsprogram, samt indsamlede data fra MuMiHus projektet. Resultaterne fra modelkørslerne viste, at kompensations-

opdrættet også har positive miljømæssige effekter på fjordskala. Modelscenarier som sammenligner situationer med og uden opdrætsanlægget viser, at muslinge anlægget reducerer mængden af klorofyl og øger sigtddybden i et område på flere km<sup>2</sup> (Figur 4).



**Figur 4** Modelberegnete miljøeffekter af kompensationsopdræt af muslinger for A) klorofyl koncentration, B) sigtddybde og C) sedimentation. Resultaterne er vist som den %-vise forskel mellem en situation med og uden opdrætsanlæg.

Effekterne er størst i området omkring anlægget, hvor fx den gennemsnitlige sommer koncentration af klorofyl reduceres med op til 30% og sigtddybden i gennemsnit forbedres med op til 16%. Modelleringen viste, at på bassin-skala er kompensationsopdræt relativt mere virksomt på sigtddybden i Skive Fjord end landbaserede reduktioner i tilførsel af kvælstof. De potentielt negative miljøeffekter ved kompensationsopdræt relaterer sig til fækaliereproduktionen og dermed øget sedimentation, hvilket kun blev observeret direkte under anlægget, hvor sedimentationen øges med 8-10%. I et større område udenfor anlægget er sedimentationen derimod reduceret med op til 15% som følge af muslingernes filtration og på fjordskala medfører kompensationsopdræt en reduceret sedimentation af organisk materiale. Kompensationsopdræt er således et effektivt virkemiddel, der ikke kun medvirker til fjernelse af N og P fra de kystnære farvande, men stort set udelukkende medfører positive effekter på vandmiljøet i eutrofe områder.

Effekten af kompensationsopdræt som virkemiddel er betinget af muslingernes væksteffektivitet og overlevelse, og derfor kan der potentielt være regionale forskelle på virkemidlets effektivitet. Især forskelle i saltholdighed fra kystnære farvande omkring Østersøen med lav saltholdighed til den vestlige del af Limfjorden er store. Der blevet gennemført flere forsøg med effekter af saltholdighed på forskellige fysiologiske parametre hos muslinger. Lav og/eller stærkt varierende saltholdighed, som det fx forekommer i Bælthavet, havde negativ effekt på væksten. Undersøgelserne viste endvidere, at dominans af blågrønalger i fytoplankton vil reducere væksten yderligere. Blågrønalger dominerer primært i områder med meget lav saltholdighed. Samlet viser undersøgelserne, at i områder med saltholdigheder  $\leq 10$  PSU er væksten af muslinger så lav, at kompensationsopdræt med blåmuslinger næppe vil være et effektivt virkemiddel.

En model indeholdende data fra deloplandene til Limfjorden vedr. husdyr- og afgrødeproduktion, jordtyper og retention blev brugt til sammenligning af omkostningseffektiviteten ved kompensationsopdræt ift. landbrugsvirkemidler i oplandet til Limfjorden. Modellen indeholder foruden kompensationsopdræt 12 forskellige arealbase-rede virkemidler i oplandet til Limfjorden. Modelberegninger viser, at kompensationsopdræt vil være konkurrencedygtigt ift. virkemidler i oplandet til Limfjorden ved en omkostning på ca. 90 kr. kg<sup>-1</sup> N. Kan kompensationsmuslingerne sælges for selv en beskedne pris, vil kompensationsopdræt være et fuldt ud konkurrencedygtigt virkemiddel. Baseret på kørsler med en landbrugsøkonomisk model viste, at der ved en afgift på ca. 10 kr. kg<sup>-1</sup> N er der økonomisk incitament for landmænd i Limfjordsoplandet til at købe muslingekvoter fra kompensationsopdræt i fjorden. Det er ikke muligt at overføre resultaterne direkte til andre fjorde og opland med andre jordtyper, retention mv.

Forvaltning af kompensationsopdræt som virkemiddel kan udover et kvotesystem for handel mellem landbrug og kompensationsopdræt gennemføres som et PES system (Payment for Ecosystem Services). Der blev gennemført et teoretisk konceptuelt studie af, hvordan der kan etableres handel mellem kompensationsopdræt og landmænd eller andre aktører samt handel med udslipsrettigheder og vandkvalitet. Analysen viser, at der er en øget interesse for denne type regulering i udlandet, og understøttet af de empiriske resultater i dette studie kan denne type regulering være en mulighed. En direkte offentlig støtte til kompensationsopdrættet for de skabte økosystem-tjenester er dog at foretrække for at minimere usikkerhed i produktionen, så længe afsætningsforholdene er usikre og dermed kan virke hæmmende for produktionen af kompensationsmuslinger, hvis virkemidlet direkte pålægges enten landmand eller muslingeproducent.

I de samlede beregninger af de økonomiske omkostninger ved at bruge muslinger som virkemiddel er ikke medtaget evt. indtægter fra salg af muslingerne. En forudsætning for anvendelse af muslingerne til human konsum eller som foderingrediens er, at muslingernes optag af miljøfremmede stoffer ikke overstiger grænseværdierne. Der blev i projektet foretaget målinger af tungmetaller i vandfasen, sedimentet i området, muslingerne og efterfølgende i muslingemel, og derudover dioxin i muslinger og muslingemel. I hverken de ferske muslinger eller i melet blev der målt koncentrationer over grænseværdierne og muslingerne kan derfor bruges til alle de nævnte formål.

Anvendelse af de kompensationsopdrættede muslinger er væsentlig forudsætning for brug af muslinger som virkemiddel. I i sideløbende projekter har forskellige anvendelser været testet på pilotskala:

- Forarbejdningsevirsomheden Vilsund Blue vurderer på baggrund af muslinger høstet fra anlægget i maj 2011, at de kan bruge op til 9.000 tons kompensationsopdrættede muslinger pr år som et supplement til fiskede muslinger, hvilket i sig selv er af kommerciel interesse.
- Foreløbige undersøgelser indikerer, at muslinger har et proteinindhold, en aminosyresammensætning og en fordøjelighed, der gør dem til en potentiel ingrediens i foder til grise og fjerkræ, som erstatning eller supplement til fiskemel.
- I henhold til biproduktforordningen kan muslinger ikke bruges som jordforbedrende middel uden forudgående kompostering eller opvarmning, hvilket vil gøre det urealistisk at bruge muslinger i denne sammenhæng.
- Forsøg på Lemvig biogasanlæg viste, at muslingerne har forholdsvis lav forgasningsværdi og i vid udstrækning stopper rør mm i anlægget og derfor ikke er velegnede til biogas.

Resultaterne fra MuMiHus har direkte samfundsmæssig relevans og er løbende blevet efterspurgt af og formidlet til Fødevarerministeriet og Naturstyrelsen. Som følge af MuMiHus vil kompensationsopdræt med stor sandsynlighed indgå som et virkemiddel i næste generation vandplaner, ligesom resultaterne har været inddraget i Landbrugskommissionens anbefalinger. Følgeprojekterne til MuMiHUs har endvidere dokumenteret nye erhvervsmuligheder i form af anvendelse af kompensationsopdrættede muslinger til enten foder eller human konsum.

- MuMiHus projektet har bidraget til uddannelse af tre PhD studerende og til at opkvalificere en forsker til seniorforsker.
- Resultaterne i MuMiHus er opnået ved et tæt samarbejde mellem forskere fra 10 forskningsinstitutter og virksomheder og som har kompetencer indenfor biogeo-kemi, hydrodynamik, marin økologi, modellering og økonomi. Samarbejdet er bl.a. udmundet i flere fælles publikationer samt nye forskningsidéer og ansøgninger.