

# KOMBI-OPDRÆT

KOMBINATIONSSOPDRÆT AF HAVBRUGSFISK,  
TANG OG MUSLINGER TIL FODER OG KONSUM



Faglig rapport fra Dansk Akvakultur nr. 2015-12

Technical University of Denmark



## DATABLAD

Serietitel og nummer: Faglig rapport fra Dansk Akvakultur nr. 2015-12

Titel: KOMBI-Opdræt

Undertitel: Kombinationsopdræt af havbrugsfisk, tang og muslinger til foder og konsum

Forfattere: Lisbeth Jess Plesner<sup>1</sup>, Per Andersen<sup>2</sup>, Jonathan Carl<sup>2</sup>, Ditte Tørring<sup>2</sup>, Susan L. Holdt<sup>3</sup>, Goncalo Silva Marinho<sup>4</sup>, Karina Lagoni<sup>5</sup>, Teis Boderskov<sup>5</sup>, Peter Schmedes<sup>5</sup>, Mads Birkeland<sup>6</sup>.

Institutioner: <sup>1</sup>Dansk Akvakultur, <sup>2</sup>Orbicon, <sup>3</sup>DTU Miljø, <sup>4</sup>DTU Fødevareinstituttet, <sup>5</sup>Hjarnø Havbrug, <sup>6</sup>DHI, 999

Udgiver: Akvakultur Forum, Oktober 2015

Finansiell støtte: Fødevareministeriet og EU. Journal nr.3405-11-0375

Projekt: Rapportering af GUDP projekt

Sammenfatning:

Emneord: IMTA, kompensationsopdræt, fangkultur, tangdyrkning, muslingedyrkning, Smart-Farm, sukkertang, prædation fra edderfugle og søstjerner, muslingesettling, virkemiddel

Forsidefoto: Tang og Muslingeanlæg, foto Hjarnø og Orbicon

ISBN: 978-87-93397-01-9

Internetversion: [www.danskakvakultur.dk/images/projektrapporter](http://www.danskakvakultur.dk/images/projektrapporter)

Danmark og EU investerer i bæredygtig akvakultur.

Projektet er støttet af Fødevareministeriet og EU.

Ministeriet for Fødevarer,  
Landbrug og Fiskeri



Den  
Europæiske  
Fiskerifond

## INDHOLD

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>O. ENGLISH SUMMARY .....</b>                                     | <b>5</b>  |
| <b>1. INDLEDNING.....</b>                                           | <b>7</b>  |
| <b>2. LOKALITETER.....</b>                                          | <b>9</b>  |
| 2.1 Muslingeanlæggene .....                                         | 10        |
| 2.2 Tanganlægge .....                                               | 10        |
| <b>3. DRIFTSERFARINGER MED STOR SKALAOPDRÆT AF MUSLINGER.....</b>   | <b>12</b> |
| 3.1 Anvendte teknikker og materiel .....                            | 12        |
| 3.2 Driftsrutiner og praktiske erfaringer .....                     | 15        |
| 3.3 Høst med EasyFarm Maskinen .....                                | 19        |
| 3.4 Sammenfatning og konklusioner .....                             | 20        |
| <b>4. MUSLINGER – YNGELOPSAMLING OG PRÆDATORER .....</b>            | <b>21</b> |
| 4.1 Yngelopsamling .....                                            | 21        |
| 4.2 Materialer og metoder .....                                     | 22        |
| 4.3 Resultater af settling af muslingelarver .....                  | 23        |
| 4.4 Muslingers Vækst og biomasse.....                               | 27        |
| 4.5 Prædation fra Søstjerner.....                                   | 30        |
| 4.6 Prædation af edderfugle.....                                    | 35        |
| 4.7 Sammenfatning - Optimering og perspektivering.....              | 39        |
| <b>5 NÆRINGSSTOFINDHOLD I MUSLINGER.....</b>                        | <b>42</b> |
| 5.1 Kvælstof- og fosforindhold i muslinger .....                    | 42        |
| 5.2 Proteiner og aminosyrer .....                                   | 44        |
| 5.3 Lipider og fedtsyrer .....                                      | 44        |
| 5.4 Vitaminer og mineraler i muslinger.....                         | 45        |
| <b>6. ANVENDELSE AF KOMPENSATIONSOPDRÆTTEDE MUSLINGER .....</b>     | <b>46</b> |
| 6.1 Fiskemel og alternative proteinkilder .....                     | 46        |
| 6.2 Muslingemel – supplement til fiskemel .....                     | 48        |
| 6.3 Muslingeolie og flerumættede fedtsyrer.....                     | 48        |
| 6.4 Muslinger til foder.....                                        | 49        |
| 6.5 Udfordring – adskillelse af kød og skaller .....                | 49        |
| 6.6 Muslinger til human konsum .....                                | 50        |
| 6.7 Konklusion og perspektivering .....                             | 51        |
| <b>7. DRIFTSERFARINGER MED STORSKALA OPDRÆT AF SUKKERTANG .....</b> | <b>53</b> |
| 7.1 Anvendte teknikker .....                                        | 54        |
| 7.2 Driftserfaringer.....                                           | 57        |
| 7.3 Høst og biomasser.....                                          | 60        |
| 7.4 Sammenfatning - Optimering og perspektivering.....              | 62        |
| <b>8. KVÆLSTOF OG FOSFORINDHOLD I TANG.....</b>                     | <b>65</b> |
| 8.1 Længde og biomasse .....                                        | 65        |
| 8.2 Indhold af kvælstof og fosfor .....                             | 67        |
| 8.3 Kvælstof og fosfor fjernelse .....                              | 69        |
| 8.4 Diskussion .....                                                | 70        |
| 8.5 Sammenfatning og vurdering .....                                | 72        |

|                                                                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>9. NÆRINGSINDHOLD I TANG .....</b>                                                                               | <b>73</b>  |
| 9.1 Tørstof og askevægt .....                                                                                       | 73         |
| 9.2 Protein og Aminosyreprofil .....                                                                                | 74         |
| 9.3 Lipider og fedtsyrer .....                                                                                      | 77         |
| 9.4 Spormetaller .....                                                                                              | 82         |
| 9.5 Vitaminer.....                                                                                                  | 86         |
| 9.6 Pigmenter.....                                                                                                  | 87         |
| <b>10. TANGFORÆDLING.....</b>                                                                                       | <b>92</b>  |
| 10.1 Avl af store tangindivider.....                                                                                | 92         |
| 10.2 Kloning med protoplastmetoden .....                                                                            | 92         |
| <b>11. ANVENDELSE AF KOMPENSATIONSOPDRÆTTET TANG.....</b>                                                           | <b>95</b>  |
| 11.1 Anvendelse af tang.....                                                                                        | 95         |
| <b>12. VURDERING AF MILJØEFFEKTER VED KOMPENSATIONSOPDRÆT .....</b>                                                 | <b>100</b> |
| 12.1 Modelberegninger af miljøeffekt af muslingeanlæg.....                                                          | 101        |
| 12.2 Undersøgelse af redox-forhold ved muslingeopdræt .....                                                         | 107        |
| 12.3 Nedtrængning af lys ved tangkultur .....                                                                       | 111        |
| 12.4 Hængende rev .....                                                                                             | 116        |
| 12.5 Miljøeffekter sammenfatning og konklusion.....                                                                 | 121        |
| 12.6 Optimering af drift og produktion i forhold til miljøeffekter .....                                            | 121        |
| <b>13. FORRETNINGSPLAN FOR HAVBRUGSPRODUKTION BASERET PÅ<br/>KOMPENSATIONSPRODUKTION AF MUSLINGER OG TANG .....</b> | <b>123</b> |
| <b>14. FANGKULTURER MED MUSLINGER OG TANG SOM VIRKEMIDDEL TIL KVÆLSTOF- OG<br/>FOSFORFJERNELSE.....</b>             | <b>127</b> |
| 14.1 Forvaltningsgrundlag for anvendelse af fangkulturer .....                                                      | 127        |
| 14.2 Maksimal produktionskapacitet – areal effektivitet.....                                                        | 128        |
| 14.3 Høst.....                                                                                                      | 129        |
| 14.4 Kvælstof- og fosforindhold i muslinger og tang.....                                                            | 130        |
| 14.5 Økonomi ved kobling af havbrugsfisk og fangkulturer .....                                                      | 130        |
| 14.6 Sammenfatning .....                                                                                            | 130        |
| <b>15. SAMMENFATNING OG KONKLUSION .....</b>                                                                        | <b>133</b> |
| <b>16. APPENDIKS TIL KAPITEL 5.....</b>                                                                             | <b>137</b> |
| <b>17. APPENDIKS TIL KAPITEL 9.....</b>                                                                             | <b>141</b> |



## O. ENGLISH SUMMARY

The foundation and objectives for the Project “KOMBI – aquaculture” is to investigate and document the possibility of expanding the mariculture production of fish (Rainbow trout - *Oncorhynchus mykiss*) without increasing the nutrient load (primarily nitrogen (N)) into the marine environment by combining fish production with large-scale production and harvest (removal of nutrients) of mussels (*Mytilus edulis*) and seaweed (*Saccarina latissima*). Further objectives included developing a business case based on the production of mussels and seaweed for human consumption and animal feed.

The project studied the operating conditions, production capacity, nutrient contents in mussels and seaweed including high value substances, and the environmental effects from the establishment and operation of four mussel production sites and one seaweed site.

It is too early to give a verdict on whether mussel production using SmartFarm units can be used as a tool for mitigation of nutrients in the production of fish due to challenges associated with the amount of mussels that can be produced. Challenges include varying success in the amount of settling larvae/juvenile mussels on production units, predation on mussels specifically by starfish and eiders, and insufficient development and sustainable use of the characteristically smaller and thin-shelled suspended “mitigation” mussels produced for the purpose removing nutrients. At present, unless a stable supply of mussels can be ensured to buyers/customers, and challenges associated with settling success of mussels and predation from starfish and eiders can be resolved, inconsistencies in mussel production and their use create uncertainties for the use of this mitigation measure as an effective instrument to capture and remove nitrogen.

Despite some challenges with harvesting etc., the use of SmartFarm units in mussel production is considered an effective production form that requires a minimum amount of effort and attention in the daily production.

Under optimal conditions, it was estimated that up to 117-133 tons of mussels per hectare (ha) per year could be produced. This equals the removal of approximately 1,2-1,8 tons of nitrogen per ha per year. The average amount of nitrogen content in small mussels (1-3,5 cm) is 1,37% and in large mussels (>4,5 cm) is 1,06%. The average amount of phosphor in small and large mussels is 0,11% and 0,08%, respectively.

Due to the large area needed for seaweed (sugar kelp) production and the comparatively low amount of nitrogen and phosphor content in sugar kelp, it is determined that sugar kelp is not an efficient mitigation measure for the removal of nitrogen unless the amount of sugar kelp production or yield per area significantly improves.

The nitrogen content in sugar kelp varied between 0,1-0,5% of wet weight. The period with the lowest content was May and July 2013 and May 2014. The period with the highest content was in September. The phosphor content varied between 0,01-0,1% during the year.

Based on the sugar kelp production at Hjarnø Hage an estimated maximum yield of 6,7-7,1 tons wet weight per hectare (ha) per year can be produced. This equals a removal of between 10-30 kg nitrogen per ha per year.

Various investigations of protein content, amino acid profiles, lipids and fatty acid composition and vitamins in mussels and sugar kelp were also examined in the KOMBI project.

The protein content and amino acid profile is important for the use and utilization of mussels and sugar kelp in food and fish feed, and the results from the KOMBI project show that mussels and sugar kelp have a large potential as a protein and amino acid ingredient.

Modelling results and field investigations indicated that there were no significantly negative effects to water quality or sediment conditions due to large-scale production of mussels and sugar kelp. In contrast, studies indicated that biodiversity increased at both mussel and sugar kelp production sites as these facilities increased habitat diversity in the area and functioned as hanging reefs.

During the KOMBI project a number of improvements of the existing techniques for producing seaweed on suspended line systems have been developed. If development of techniques optimizing sugar kelp and deployment as well as harvesting continues, then sugar kelp can be considered a robust seaweed that can be cultivated in large quantities in Danish waters.

If mussel and sugar kelp production are to be used as viable mitigation tools to remove nitrogen from the environment and allow for the expansion of fish production in mariculture, it is essential that the foundation for management of this practice is both flexible and innovative where nutrient uptake is not the only factor in focus.

# 1. INDLEDNING

*Af Per Andersen, Orbicon og Lisbeth Jess Plesner, Dansk Akvakultur*

Projektet "KOMBI – Opdræt. Kombinationsopdræt af havbrugsfisk, tang og muslinger til foder og konsum" er et GUDP projekt (Grøn Udvikling og Demonstrationsprojekt). Projektets formål er at kunne dokumentere, om kompensationsopdræt af muslinger og tang i storskala er et anvendeligt operationelt og økonomisk bæredygtigt virkemiddel til kvælstoffjernelse ved havbrug.

Projektet er udført i et samarbejde mellem nedenstående deltagere fra 15. december 2011 til 30. juni 2015.

Deltagere: Hjørnø Havbrug: Anders Pedersen, Malene Mølgaard, Karina Lagoni, Teis Boderskov, Peter Schmedes; Orbicon: Per Andersen (ansvarlig for faglig projektledelse), Jonathan Carl og Ditte Tørring; DTU Fødevareinstituttet: Susan L. Holdt; DTU Miljø: Goncalo S. Marinho; DHI: Mads Birkeland; 999 (Tripple Nine): Kjeld Simonsen/Ola Flendsted; SSS (Seaweed Seed Supply): Rasmus Bjerregård (indtil juni 2014); Dansk Akvakultur: Lisbeth Jess Plesner (overordnede projektledelse).

Projektet er finansieret under GUDP ordningen med en egenbetaling på 40 - 60% for virksomhederne. GUDP ordningen er finansieret gennem EU's fiskerifond og gennem den danske stat. Projektdeltagerne vil hermed takke de bevilgende myndigheder for støtten.

Projektets grundidé er at muliggøre en udvidelse af havbrugsproduktionen af fisk uden at forøge belastningen af vandmiljøet med kvælstof (N), samtidig med at der udvikles et forretningsområde baseret på produktion af tang til konsum og muslinger til foder.

Kort sagt går projektet ud på at kombinere opdræt af fisk, muslinger og tang, samtidigt med, at der sikres en kombineret indtjening fra produktion af fisk, muslingeprduktion og tangproduktion.

Akvakultur er verdens hurtigst voksende fødevareproducerende sektor med en årlig vækstrate på omkring 6,5%. I den foregående regeringens handlingsplan "En ny fremtid for dansk fiskeri og akvakultur" var målsætningen, at femdoble den marine fiskeproduktion i Danmark til i alt 40.000 tons/år inden 2015. På trods af dette er havbrugsproduktionen ikke steget de sidste mange år, og produktionen ligger fortsat omkring 10.000 tons produceret fisk pr. år. I den tidligere regerings "Akvakulturstrategi 2014-2020" er der målsat en 25 % forøgelse af akvakulturproduktionen i Danmark, hvor også kompensations-opdræt nævnes som en mulighed for at reducere effekten af kvælstof (N) udledning fra havbrug.

Dansk Akvakultur arbejder for at øge produktionen i havbrug inden for 3 områder:

- Kompensationsopdræt: udvikling af havbrug i vandplansområder, hvor opdræt af muslinger og tang opsamler kvælstof og fosfor.
- Offcoast eller Offshore: udvikling af havbrugsteknologi til mere eksponerede vandområder uden for vandplansområderne uden krav om kompensationsopdræt.
- RAS (recirculated aquaculture systems) er anlæg, hvor havvand pumpes ind på landbaserede bassiner, hvor der opdrættes store laksefisk i recirkulerede systemer.

Med udgangspunkt i en lokalitet 3,5 km syd for Endelave, i vandområdet Horsens Fjord, ønskede Hjørnø Havbrug at etablere et nyt havbrug med en produktion på op til 2.100 tons fisk pr år og en udledning på op til 88 t N, hvor denne mængde, blev opsamlet vha. kompensationsopdræt/fangkulturer af tang og blåmuslinger i As Vig.

Efter flere års ansøgnings- og dokumentationsproces fik Hjørnø Havbrug i maj 2014 godkendt det nye havbrug med krav om 100 % kompensation af kvælstofudledningen og under forudsætning af, at produktionen blev opbygget gradvis, så kompensation og udledning kunne følges ad. Muslinge- og tanganlægget har været drevet på lokaliteten siden opstart i 2011-2012.

Opdræt af muslinger og tang er velkendte produktionsformer i Danmark, men der er ingen driftsmæssige eller økonomiske erfaringer med produktion af muslinger og tang i stor en skala, som der er nødvendigt for at kompensere for den ønskede forøgede produktion af fisk i havbrug.

Ved start af KOMBI-opdræt havde muslinge- og tangproduktion således stort set kun foregået i pilot-skala, så projektet skulle udvikle drifts- og høstmetoder, anbefale bedste høsttidspunkter, vurdere muligheder for tangforædling samt udvikle økonomiske bæredygtige anvendelsesmetoder til store mængder kompensationsopdrættede muslinger og tang.

Samtidigt skulle KOMBI-opdræt undersøge anvendelsesmuligheder for den producerede biomasse af tang og muslinger.

Gennem projektet har der været meget stor national og international interesse for projektet, da tang- og muslingeproduktionen kombineret med udvidelse af havbrug, har været det første fuldskala kompensationsopdræt i verden inspireret af IMTA-konceptet (Integrated Multitrophic Aquaculture = IMTA).

Nærværende rapport er lavet af hele projektgruppen. Hovedforfatterne, der er ansvarlige for de enkelte kapitler, er anført først i kapitlerne. Da projektgruppen er en blandet gruppe fra forskere til praktiske folk, vil skrivestilen i de enkelte kapitler være noget forskellig.

På hjemmesiden [www.kombiopdraet.dk](http://www.kombiopdraet.dk) kan findes yderligere information og resultater fra projektet.

Afslutningsvis skal der gives en varm tak til alle projektparter og -deltagere for et godt og konstruktivt samarbejde. En speciel tak skal gives til Hjørnø Havbrug, der har igangsat og muliggjort projektet.

## **Referencer:**

Miljøneutral udvidelse af havbrugsproduktionen: DHI 2008: F. Møhlenberg, L.E. Holtegård og F.T. Hansen

Ministeriet for Fødevarer. Landbrug og Fiskeri (2006). En ny fremtid for dansk fiskeri og akvakultur, [www.fiskeriudvikling.dk](http://www.fiskeriudvikling.dk)

Regnskabsstatistik for akvakultur: <http://www.dst.dk/da/Statistik/Publikationer/VisPub.aspx?cid=18673>

Regeringens Akvakulturstrategien 2014 – 2020: <http://mst.dk/virksomhed-myndighed/landbrug/akvakultur/akvakulturstrategi-2014-2020/>

## 2. LOKALITETER

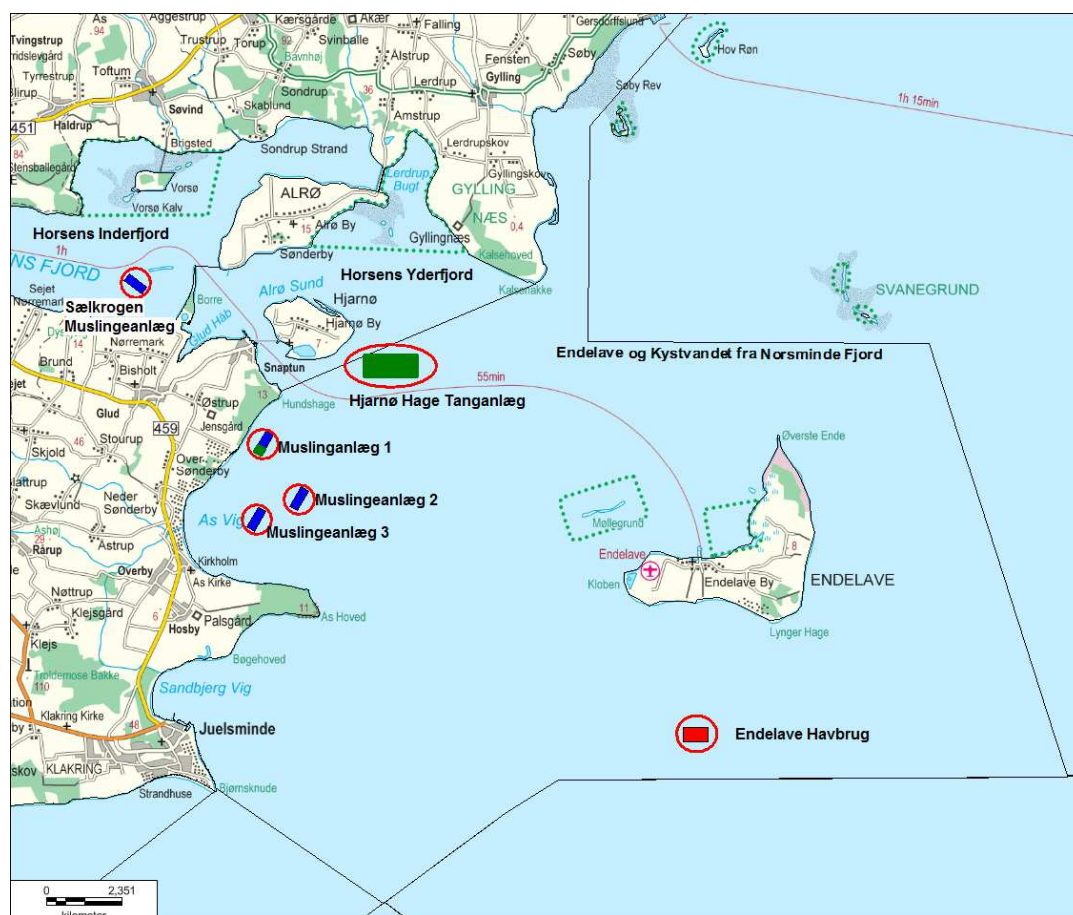
Af Jonathan Carl, Per Andersen, Orbicon; Teis Boderskov, Peter Schmedes, Hjarnø Havbrug; Mads Birke-land, DHI; Susan Holdt, DTU Fødevareinstituttet og Lisbeth Jess Plesner, Dansk Akvakultur.

I forbindelse med tilladelsen til etablering af et nyt havbrug ved Endelave var det et krav, at der ikke måtte ske en forøgelse i belastningen af vandmiljøet med kvælstof. For at kunne imødegå dette krav, blev der etableret 4 muslingeopdrætsanlæg og 1 tanganlæg i Horsens Fjord (Vandområde 1.9), hvor det nye Endelave Havbrug skulle placeres. Udover det store tanganlæg blev der i tilknytning til Hundshage havbrug etableret et mindre tang-testområde ved siden af muslingeopdrætsanlæg 1 (kaldet IMTA-området).

Muslingeopdrætsanlæggene blev placeret både i det beskyttede område Sælkrogen i Horsens Inderfjord og i det mere vind- og strømeksponerede område i As Vig, umiddelbart udenfor Horsens Fjord, figur 2.1.

Tanganlægget blev placeret ved Hjarnø Hage, som er et vind- og strømeksponeret område øst for Hjarnø.

De forskellige placeringer af muslinge- og tanganlæg havde til formål at belyse, i hvor høj grad de hver især er velegnede i forhold til drift og produktion.



Figur 2.1: Placering af Endelave Havbrug, Hjarnø Hage tanganlæg og de 3 muslingeopdrætsanlæg (1, 2 og 3) i As Vig samt muslingeopdrætsanlægget i Sælkrogen i Horsens Inderfjord. Desuden er etableret et mindre testområde for tang ved siden af muslingeopdrætsanlæg 1 (IMTA område).

## 2.1 Muslingeanlæggene

De fire muslingeanlæg er hver på 18,8 hektar (250m x 750m).

### Muslingeanlæggene 1, 2 og 3 i As Vig (produktionsområde nr. 66)

Muslingeanlæg 1 er placeret tæt på kysten i den nordlige del af As Vig, der er beskyttet mod kraftig vind fra nord, vest og sydvest. Gennemsnitsdybden er ca. 7 m og der er gode strømforhold. Bundforholdene er en blanding af sand/finsand med stort lerindhold, mange småsten og muslingeskaller på overflade, se figur 2.2.



Figur 2.2. Bunden ved muslingeanlæg 1 i As Vig.

Muslingeanlæggene 2 og 3 er placeret længere mod øst væk fra kysten, midt i As Vig, se figur 2.1. Området her er mere eksponeret med hensyn til vind og strøm, og der er gode strømforhold. Bundforholdene er overvejende blødt sediment (silt/mudder) under begge anlæg, og vanddybde er 12-16 m.

### Muslingeanlæg Sælkrogen (muslingeproduktionsområde 68)

Muslingeanlægget Sælkrogen ligger i Horsens inderfjord på sydsiden nær ved Borre Knob og syd for Vorsø. Horsens Fjord kan betragtes som et relativt lukket fjordsystem med en lille ferskvandstilstrømning. Vandskiftet er derfor drevet primært af tidevand og vandstandsændringer pga. vindstuvninger etc. Sælkrogen ligger i læ for kraftige vinde fra alle retninger. Gennemsnitsdybden er ca. 5,5 m, og bunden under opdrætsanlægget er forholdsvis blød (finsand/silt) med en del muslingeskaller mm. Der er spredte muslingebanker på bunden i hele inderfjorden inkl. Sælkrogen.

## 2.2 Tanganlæggene

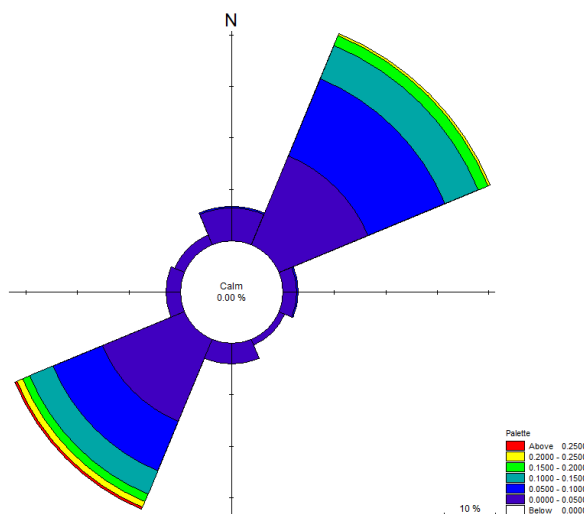
Der blev etableret et tanganlæg, som kaldes Hjarnø Hage Tangkultur (Reference-område til IMTA området ved Hundshage), som er placeret mere end 2 km fra fiskeopdrættet, samt et mindre område tæt på Hundshage Havbrug (IMTA-området). IMTA anlægget blev etableret for at kunne undersøge, om afstanden til et fiskeopdræt havde en effekt på sukkertangens vækst og næringsfjernelse, som det tidligere er vist i flere studier rundt om i verdenen inkl. et norsk studie (Handå *et al.*, 2012). Dog er der ikke (eller meget få) IMTA studier fra en kommerciel-størrelse tangproduktion, men blot i forbindelse med få tangligner ophængt nær fiskeopdræt.

### Hjarnø Hage Tangkultur (reference-område)

Tanganlægget på 96 hektar, er placeret øst for øen Hjarnø og er beskyttet mod kraftig vind fra nord og vest, men eksponeret med vind fra syd og øst, og hovedsageligt nordøst og sydvest-gående strøm (se figur 2.3).

I forbindelse med dykkerbesigtigelse blev bundforholdene i hele området karakteriseret. Bundforholdene er domineret af sand og mudderbund med områder med spredte forekomster af større sten og enkelte meget store sten. Områder med grus og småsten udgjorde lokalt dækningsgrader på op til 50%. Områder med store sten udgjorde overalt i projektområdet <10% med enkelte observationer af 5%

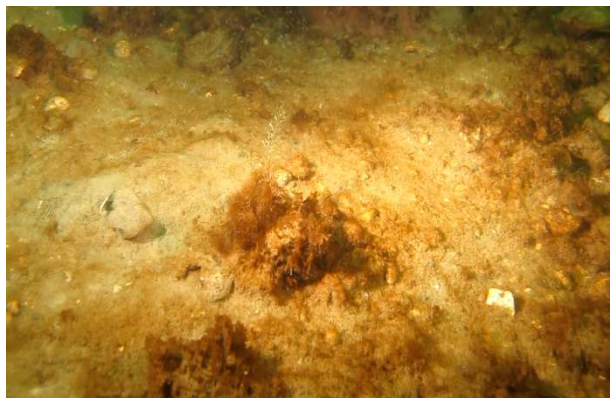
dækning. Bundforholdene var mange steder domineret af tætte bestande af blåmuslinger. Lige udenfor produktionsområdet blev der på lavere vand, ind mod vest, syd og nord, registreret områder med sand- og grusbund.



Figur 2.3. Strømrose for As vig. Udslag for retning og styrke af strøm over et år.

### Hunds Hage tanganlæg (IMTA – området)

På den anden tangdyrkningslokalitet, Hunds Hage anlægget (IMTA-området), var der placeret 3 hovedtanglinjer. Lokaliteten blev valgt pga. den tætte placering (afstand: 570 m) til det eksisterende havbrug Hundshage, hvor der fra forår til høst ved årets udgang opdrættes regnbueørreder.



Figur 2.4. Bundforholdene ved tanganlægget er domineret af sand- og mudderbund med spredte forekomster af større sten og enkelte meget store sten.

### Referencer:

Handå, A., Wang, M., Broch, O., Reitan, K., Reinertsen, H., Olsen, Y., 2012. Seasonal- and depth dependent growth of cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in close proximity to salmon (*Salmo salar*) aquaculture: Implications for macroalgae cultivation in Norwegian coastal waters. *Aquaculture* 328–341.

Vandplan 1.9 for Horsens Fjord [http://naturstyrelsen.dk/media/129454/19-horsensfjord\\_med\\_for-side.pdf](http://naturstyrelsen.dk/media/129454/19-horsensfjord_med_for-side.pdf)



### 3. DRIFTSERFARINGER MED STOR SKALAOPDRÆT AF MUSLINGER

Af Teis Boderskov, Peter Schmedes, Karina Lagoni, Hjarnø Havbrug; Jonathan Carl, Per Andersen og Ditte Tørring, Orbicon

I kølvandet på en øget interesse for dyrkning af muslinger til næringssaltkompensation var der fokus på at finde det udstyr, der giver den mest omkostningseffektive produktion. To systemer var umiddelbart i søgelyset hos Hjarnø Havbrug, hhv. EasyFarm og SmartFarm, hvoraf SmartFarm systemet blev valgt. Begge systemer bygger på samme produktionsprincip, dvs. flydende vertikale net, som opsamler naturligt forekommende muslinge yngel til storskala produktion af muslinge biomasse uden håndtering i form af sortering etc. i produktionsperioden. Røropdriften i EasyFarm systemet er af ca. samme dimensioner udvendig som SmartFarm røret, dog er EasyFarm røret fyldt med en flamingo kuglekegle til opdrift, mens opdriften i SmartFarm systemet består af luft.

Det blev vurderet, at der ikke var væsentlige kvalitetsmæssige forskelle på de 2 systemer, men at SmartFarm systemet var billigst. Dog blev høstmaskinen fra EasyFarm valgt til projektet, da maskinen var udviklet og klar på det rette tidspunkt, og gav gode høstresultater ved afprøvning.

I projektet blev der etableret 90 -100 SmartFarm-rør (SmartUnits) fordelt på de 2 produktionsområder (Sælkrogen og As Vig 1). Produktionsområderne blev udvalgt med det formål at identificere optimale placeringer med hensyn til bl.a. mængden af påslag af yngel, tilvækst, transport, og beskyttelse mod vejrlig. Der var specielt fokus på at dokumentere udviklingen i antal og biomasse af blåmuslinger i 2012-2013.

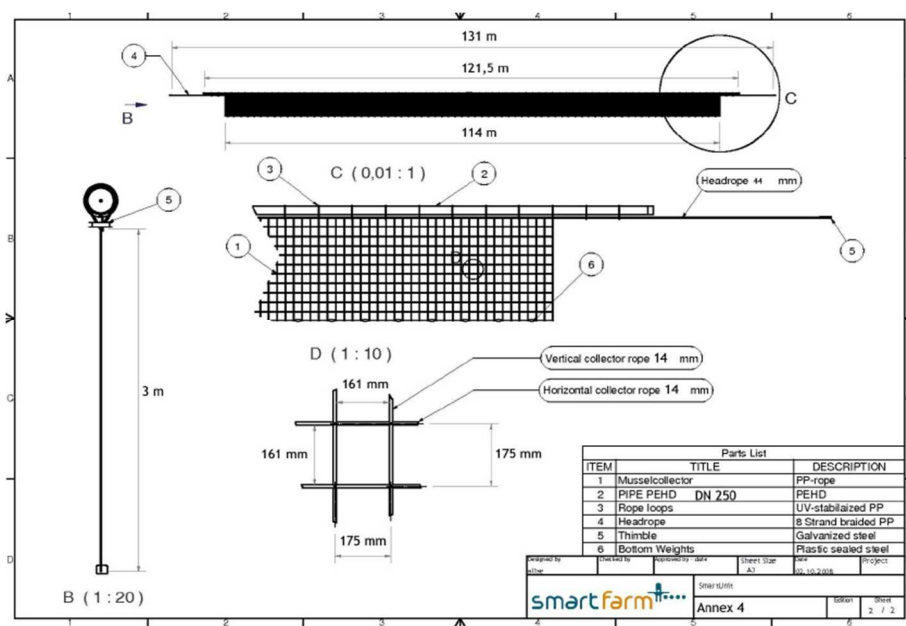
#### 3.1 Anvendte teknikker og materiel

Det norskproducerede SmartFarm™ system er kendetegnet ved en meget høj grad af automatisering i alle produktionens faser. SmartFarm systemet er relativt dyrt i anskaffelse og etablering i forhold til de konventionelle langlinesystemer, men hensigtsmæssigt i produktionsområder med høje lønomkostninger.

SmartFarm-konceptet er udviklet i Norge i slutningen af 1990'erne, og konceptet adskiller sig fra det traditionelle langline-koncept, der i dag anvendes til produktion af store konsummuslinger i blandt andet Limfjorden, på følgende måde:

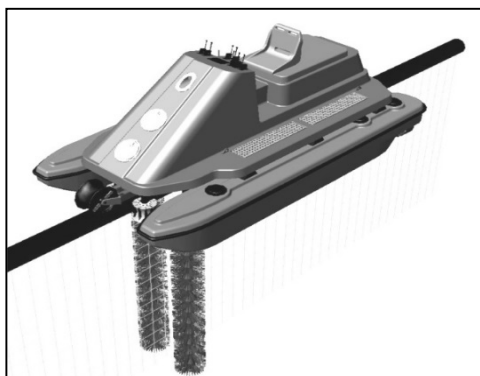
- Opdriften sker ved et langt (130 m) polyethylen-rør (PEH-rør) Ø 250 mm, i stedet for separate opdriftsbøjer.
- Opdrætsmediet er stormaskede net (200 x 250 mm/ 175 x 200 mm) i stedet for kontinuert tov eller afskårne tovestykker hængende lodret i vandsøjlen på en vandret hovedline. Opdrætsmediet udskiftes ikke i løbet af produktionssæsonen.
- Al håndtering, rengøring og udtynding foregår under vandet med specialmaskiner.
- Ved produktion med SmartFarm udstyr er alle processer mekaniseret, og forbruget af arbejdstid minimeret.

Opdræsteknologien blev således baseret på SmartUnits fra SmartFarm, som består af 130 meter lange polyethylenrør, der bærer selve muslinge biomassen på et underhængende net. Rørene er forankret i begge ender med skruer og ankere. Der kan ligge ca. 100 SmartUnits i et standard opdrætsområde på 18,8 ha (250 x 750 m<sup>2</sup>) (figur 3.1).



Figur 3.1. Tekniske specifikationer for en standard SmartUnit. Her gives mål på rør samt mål og dimensioner på rørline, standard nettype samt forankringsøje, galvaniseret eller i plast (pkt. 5). De lodrette reb i netmaskerne virker som bæreliner, og de vandrette reb virker som pegs, der hindrer en afskridning af muslinger fra nettet.

## Scooter til rensning af net



Figur 3.2. Skitsetegning af scooter på SmartUnit ([www.SmartFarm.no](http://www.SmartFarm.no))

I 2003 udviklede SmartFarm en selvdrivende scooter til rensning af net for søstjerner og alger og til at udtynge kraftige yngelpåslag af muslinger. Scooteren kan anvendes på net ned til 2,8 m dybde. Scooteren leverer selv kraft (27 hk), til at drive de to cylinderformede børster, der arbejder under vandet, figur 3.2 og 3.10. Børsterne kan løftes op til vandret position, så scooteren kan bevæge sig frit på vandet, når der ikke børstes. Børsterne, som roterer frit i vandet, kan klemmes sammen om nettet i forskellig afstand, efter at scooteren er sejlet ind over en SmartUnit. Der er fremstillet 2 typer børster til scooteren, en blød og en stiv type. På rammen under scooteren er der monteret 2 afstandsklodser til regulering af børsternes afstand til nettet.

Børstningen kan anvendes i følgende situationer:

- Der kan børstes mod søstjerner, der kan fouragere store mængder muslinger– Ved børstning reduceres antallet af søstjerner væsentligt.
- Forskellige påvækst-organismer, f.eks. alger og søpunge kan, på et tidligt stadie, begrænses i deres antal og vækst.
- Der kan børstes for at udtynge i muslingerne, hvorved væksten af de tilbageblevne forbedres, og et senere, og uønsket, nedslag af muslingeyngel kan børstes væk (bruges ved muslingeproduktion til konsum).
- Produktionsnettet kan rengøres for uønsket algevækst før påslag af muslingeyngel i foråret

## Høstmaskine

EasyFarm høstmaskinen er udviklet af det hollandske firma Murre Techniek b.v. Høstmaskinen er udstyret med en hydraulisk installation, 4 drivhjul, 2 justerbare høstbælter samt en venturi pumpetank med centrifugalpumpe. Maskinen har en vægt på 17 ton, bredde 6 m og længde 14 m. Maskinen er udstyret med

justerbare høstbælter, der gør det muligt at høste i forskellig afstand fra nettet. Bælterne sidder i midten af et rustfrit stål-kammer, som lukkes til ved at blive klemmt sammen om nettet, figur 3.3.

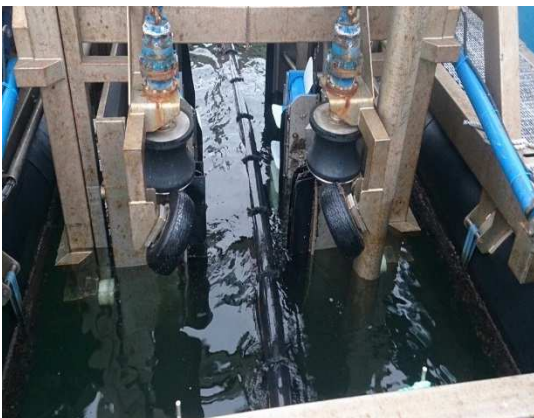


Figur 3.3 Høstbælterne er de blå bælter med hvide lameller, der her ses i midten på maskinen. Når de ikke er i brug, ligger de i vandret position på dækket af maskinen. Kilde: Hjørnø Havbrug

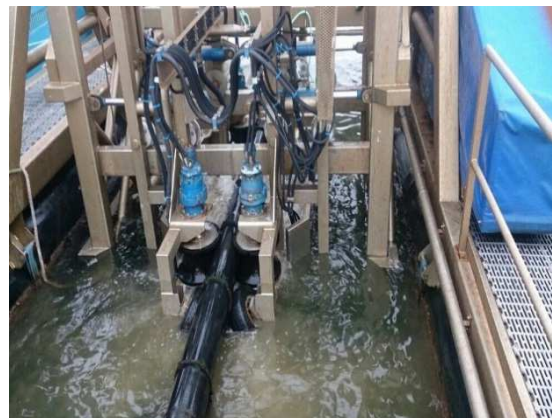
Ved høst skraber bælterne muslingerne af nettet og ned i kammeret, hvorfra de pumpes over i en ekstern lastbåd, figur 3.4-3.7. Der findes også et børstesystem til maskinen til udtynning og rengøring af net. Dette system er endnu ikke afprøvet af Hjørnø Havbrug pga. den tidskrævende udskiftning af udstyret.



Figur 3.4 Her ses den øverste del af stål-kammeret under høst. Kilde: Hjørnø Havbrug



Figur 3.5 Drivhjulene ses her over vandet. Kilde: Hjørnø Havbrug



Figur 3.6 Drivhjulene er her i aktion under høsten. Kilde: Hjørnø Havbrug

Pumpningen af den høstede biomasse fra høstmaskinen til lastbåden foregår ved hjælp af en venturi pumpe. Under selve høsten, når høstbælterne skraber muslingerne af nettet, sørger høstmaskinens drivhjul for fremdriften. Hjulene kører hen over PEH røret i den fart maskinen indstilles til.

Maskinen er ikke udstyret med motorkraft til egen fremdrift (sejlads). Ved høst er der derfor brug for følgebåde til transport af høstmaskinen til høstlokaliteten samt til at fragte en strømgenerator (egenvægt 2 ton) og til at opbevare de afhøstede muslinger.



*Figur 3.7. Fra venstre ses Hjørnø Havbrugs egen båd Thor. I midten ses EasyFarm maskinen. Båden Siff til højre er ejet af Wittrup Seafood A/S, hvori de høstede muslingerne bliver pumpet op i lastrummet. Kilde: Hjørnø Havbrug.*

### 3.2 Driftsrutiner og praktiske erfaringer

Der er i projektets forløb gjort mange erfaringer med håndtering og daglig drift af muslinger på Smart-Units. Den absolut største fordel ved anvendelse af denne metode er, at i hele perioden fra muslingeyngelen har settlet til og med høsten, er muslinger og produktionsnet under vand. Muslingerne vokser sig store på det opdrætsmedie, hvor de settler, og senere bliver afhøstet fra, med en naturlig forskel i størrelse og tæthed. Denne driftsform er langt mindre mandskabskrævende end muslingeproduktion på langliner, hvor ynglen der settler på liner både skal udtyndes; efterfølgende sorteres efter størrelse og endelig derefter genudsættes i "sokker" med mindre tæthed.

Opdræt på SmartFarm-net kræver så til gengæld, at dimensionerne på både rør og netmasker på produktionsnettene skal sammensættes og tilpasses de lokale produktionsforhold allerede ved anlægsetablering. Hvis et område f.eks. er karakteriseret ved stor rekruttering af yngel og relativ dybt vand, kan det, for at sikre optimal vækst, være en fordel at øge netdybden og evt. gøre netmaskerne større i forhold til SmartUnit standardstørrelsen. Dette skal tages i betragtning ved køb af produktionsmaterialet, da diameter på rør og størrelse på netmaskerne ikke er justerbare. Til projektet blev der valgt SmartUnit standardstørrelser, se figur 3.1.

#### Etablering af muslingeanlæg

Samling af SmartUnits: SmartUnits blev leveret på Snavshavn som samlesæt fra SmartFarm. To medarbejdere fra Hjørnø Havbrug færdiggjorde samlingen af PEH rør og monteringen af opdrætsnet på havnen i Hjørnø inden det blev sejlet ud til opdrætslokaliteterne sammen med to teknikere fra SmartFarm, figur 3.8.





Figur 3.8 SmartFarm container, hvor i SmartUnits blev samlet. Kilde: Hjørnø Havbrug

PEH-rør blev leveret fra fabrikken i længder af 12 meter. 10 rør af 12 meter blev svejset sammen til én lang "rørline". Svejsemetoden kaldes stuksvejsning, hvor 2 rørender tilpasses til hinanden og opvarmes. Allerede inden rørene blev svejset sammen, blev de ført ind gennem rebophængene på produktionsnettene. Nettet blev spændt fast 3 steder på rørline, i de 2 rørender og midt på røret. Midt på røret blev der monteret et drejled med 2 led.



Figur 3.9 Efter færdigmontering blev SmartUnits lagt direkte ud i vandet. Kilde: Hjørnø Havbrug.

Samling af SmartUnits på land foregik over en periode på 14 dage. Svejsning og montering foregik mest i en container, der fungerede som værksted, figur 3.8. Containeren var fra SmartFarm og indrettet med maskiner og værktøj, figur 3.9.

### Etablering af ankre

Nedskruning af ankre kan kun lade sig gøre under meget rolige vejrforhold. Der kræves ikke kun lav vindhastighed, men også rolige strømforhold. Nedskruningen foregik ved hjælp af et specialfremstillet hydraulisk boretårn, figur 3.14, som blev monteret på siden af arbejdsbåden. Hjørnø Havbrug har sit eget boretårn og 3 borestænger med hver en længde på 6 meter, dvs. at Hjørnø Havbrug selv er i stand til at bore ned til en totaldybde på 18 m fra boretårnet. Arbejdsbåden var forankret med 3 ankre inden boring. Hjørnø Havbrug har selv fremstillet skrueankerne. Tidsforbruget ved etablering af 1 anker er 1,5-2 timer for en medarbejder. Ved nedskruning blev ankeret boret ned i havbunden, indtil det ikke kunne skrues mere rundt. Boreddybden varierede mellem 2-6 m på de forskellige lokaliteter.

Inden nedskruning blev ankerlinen bundet til ankerets stang og blev skruet med ned i havbunden. Linen der blev anvendt var Ø30 mm. Linen blev fastgjort i siden ved hver netkant, lige under PEH røret.

Klargøring og montering af boretårn på arbejdsbåden tog en dag for to medarbejdere. En arbejdsbåd og fire medarbejdere kunne etablere op til 8 skrueankre per dag.

### **Nedsænkning af SmartUnits – beskyttelse mod islag**

I projektperioden har det været nødvendigt med en nedsænkning af SmartUnits i vintermånederne, når der har været isdannelse på fjorden. Nys kan slide på de fastgørelsesreb, der holder produktionsnettet fast på røret, og iskruning kan ødelægge og trække anlægget med, når isen flytter sig.

Nedsænkningen i 2012 foregik ved, at PEH rørene blev fyldt med havvand. Ved hjælp af et hydraulisk spil blev hver ende af PEH rørene løftet op til båden, studserne blev afmonteret og rørene blev lagt ud i vandet igen. Det var forventet, at rørene så skulle blive fyldt op med vand, men det viste sig, at hullerne i rørenderne ikke var store nok til at vandet kunne trænge ind. Hullerne i hver rørende blev derfor øget fra ½" til 1". Rørene blev herefter hurtigere fyldt med vand og blev tunge nok til, at de kunne synke ned til havbunden med produktionsnettene og forblive nede, til de skulle hæves igen.

Det tog en dag per anlæg at undersøge SmartUnits, og det krævede 10 medarbejdere og 5 både (1 båd med 2 medarbejdere til at afmonterede studserne, og 4 både med 8 medarbejdere sørgede for henholdsvis løftning af rør og udvidelse af huller inden de blev sænket igen). Hjørnø Havbrug nåede at sænke alle rør inden isen gjorde yderligere skade på anlæggene.

I vinteren 2013 nåede man ikke at sænke anlægget ved Sælkrogen i tide. Drivis, der kom fra de indre dele af Horsens Fjord gjorde skade på flere af rebophængene - isen skar rebene over og de måtte efterfølgende udskiftes. Udskiftningen var tidskrævende og hårdt arbejde. Produktionsnettene med muslingebiomassen var meget tunge og det var derfor svært at stramme rebophængene til, så nettet igen sad som det skal, tæt op til PEH røret.

### **Hævning af SmartUnits**

I det tidlige forår, da der ikke længere var risiko for isdannelse på fjorden, kunne anlæggene hæves til overfladen igen. Hævning var en mere omfattende proces end selve sænkningen.

SmartUnits, der lå nede på havbunden skulle hæves til overfladen og tømmes for vand. SmartUnits blev "fanger" ved hjælp af et anker, der blev trukket hen over havbunden og efterfølgende blev rør med produktionsnet løftet op til bådskanten. Til hævingen blev der anvendt et hydraulisk spil. Begge rørender skulle hæves til overfladen. Ved hjælp af en pumpe blev røret fyldt med luft i den ene ende, mens vandet blev presset ud i den anden. Når der ikke var mere vand i røret, kunne begge ender lukkes igen med studserne. Derefter kunne rørene igen sørge for opdriften til produktionsnettene med muslinger.

Det tog gennemsnitlig 1-2 timer for 3 medarbejdere (herunder en dykker) at tømme et PEH rør for vand, alt afhængig af hvor hurtigt ankeret fangede røret nede på havbunden. Arbejdet med at sænke SmartUnits på bunden viste, at der stort set ikke kan registres tab af muslingebiomassen ved nedsænkning. Det blev registreret, at der i nogle tilfælde blev tilført naturligt forekommende bundmuslinger til nettet.

### **Tilpasninger til hårde vindforhold**

Størstedelen af de etablerede SmartUnits blev liggende på positionerne under hele projektperioden. Det var kun få rør, der rev sig løs på grund af skader på tovværk eller rør.

Specielt efter stormen Bodil i december 2013 blev der observeret havari på de 3 lokaliteter i As Vig, da forankringen ikke havde været tilstrækkelig. Efter stormen havde flere rør også revet sig løs i Sælkrogen, som ellers er mindst eksponeret for kraftige strøm- og vindforhold. Det bør nævnes, at stormen

Bodil også forårsagede stor skade på de etablerede ørredbure. Det var ikke de kraftige vindforhold i sig selv, der flere steder i Danmark nåede over grænsen for orkan (33 m/s), men derimod de voldsomme strømforhold, der efterfølgende var i kystområderne, der var skyld i skaderne. Dette kan også have været tilfældet i Sælkrogen. De runde plader på skrueankerne var simpelthen bukket sammen og skrueankrene var efterfølgende hevet op fra havbunden.

Ved havari var det oftest den ene rørende, der løsrev sig, hvorefter rør og net enten lå frit i vandet og slog sig, eller lagde sig ind over de rør og net, der var placeret ved siden af. Begge dele førte til et potentielt stort tab af muslinger på de rør, der var udsat for disse fysiske påvirkninger. Det krævede her både en dykker i vandet og mandskab på båden for at få manøvreret det løsrevne rør på plads; at få genskabt forankringen og få repareret eventuelle skader på net og liner.

Anlægget ved Hundshage var hårdest ramt af havari, specielt på de rør der var etableret parallelt med kysten, mens rørene der var etableret vinkelret på kysten klarede sig bedre.

Den samlede vurdering fra projektet er, at ét anker i hver ende er nok til at holde SmartUnits på plads, også under de fleste stormhændelser. Skal forankringen holde, er det en forudsætning, at havbunden er fast og stabil; at SmartUnits er korrekt samlet og materialet er nyt og/eller velholdt. Oprydning/genetablering af havarerede SmartUnits er forbundet med store omkostninger mandskabsmæssigt. Samlet per år vurderes, at der er blevet brugt 2 mand i 2 uger på oprydning. Derudover kan tillægges 1-2 uger til genetablering af forankring.

### **Vedligeholdelse af SmartUnit opdrætsanlæg**

En vigtig faktor i optimeringen af driften er også den rutinemæssige vedligeholdelse af SmartUnit anlæggene, som er med til at sikre, at materialet har en længere levetid. Under hele projektperioden er produktionsanlæggene rutinemæssigt blevet tilsat. Hvis der blev observeret skader eller andre uregelmæssigheder, såsom løsrevne rør, defekte liner og lignende, blev de repareret med det samme.

I perioderne, hvor søstjerne i forsommeren sætter på opdrætsnettene og æder på den nye muslingeyngel, og hvor edderfuglene i november og december flokkes omkring muslingeanlæggene for at fou-  
ragere og raste, har der været etableret en forøget overvågning af anlæggene. I de nævnte perioder var der betragtelige produktionstab og forskellige foranstaltninger blev derfor iværksat for at mindske tabet af muslingebiomassen.

Børstning (fysisk antibegroning) er en effektiv rensning af nettene under vand. Ved børstningen fjernes uønsket påvækst af alger, søstjerner, søpunge og uønsket settling af nye muslingelarver. Trods flere maskinelle udfordringer, og dermed øget tidsforbrug, har SmartFarm scooteren vist sig at være et effektivt redskab til børstningen. Den største udfordring med scooteren var, at børsterne kunne blive blokeret. Dette skyldtes en for høj friktion og underdimensionering af motoren i børstemaskinen.

Ved afbørstning af alger kunne maskinens hydrauliksystem ikke trække børsterne tilstrækkeligt tæt ind på nettet. Det var derfor nødvendigt at anvende afstandsklodser, så en tilstrækkeligt lille afstand mellem børster og net blev opnået. Afstandsklodserne blev også anvendt ved børstning af søstjerner. Ved fjernelse af søstjerner var det vigtigt, at børsterne ikke ramte selve nettet, da det så ikke kun ville være søstjerner, men også muslinger der blev børstet af nettet. Den vandstrøm, som børsterne lavede, fik søstjerne til at slippe deres greb, mens størstedelen af de muslinger, der var sætlet på nettet, blev siddende. På nogle net var børstning op til 7 gange nødvendigt for, at reduktionen i søstjerner var tilfredsstillende. Tidsforbruget til rensning for søstjerner ved børstning 7 gange over nettet var omkring 35 min. per net.





Figur 3.10 Hjarnø Havbrugs SmartScooter i aktion på SmartUnit, As Vig Kilde: Hjarnø Havbrug.

Ud over maskinens indstilling ind mod nettet, var det også vigtigt at nettet hang roligt og lodret under røret. Maskinen kunne derfor kun anvendes til fjernelse af søstjerner ved svage strømforhold (tværgående strøm) og i situationer med meget små bølger.

Ved den sidste børstning Hjarnø Havbrug foretog, blev SmartScooterens styrerør (de rør som børsterne er monteret på) bøjet. Hjarnø Havbrug har efterfølgende forstærket de aksler, som holder styrerørene, og scooteren skulle dermed kunne tages i brug igen. Scooteren er dog, her inden projektets afslutning, endnu ikke blevet testet, og det vides derfor ikke om forstærkningen har haft en positiv effekt på styringen af børsternes rotation. Det er også uvist om scooterens motor og hydraulik er stærk nok til at vedligeholde og passe alle virksomhedens 4 anlæg, eller om det er nødvendigt med en ekstra scooter.

### 3.3 Høst med EasyFarm Maskinen

Ved høst blev høstmaskinen slæbt ud til høstlokaliteten. Transporten af høstmaskinen foregik ved hjælp af en af følgebådene, som blev gjort fast til høstmaskinen med et slæbetov. Hjarnø Havbrug benyttede sig af, at have 2 følgebåde med til høst. Den ene båd fragtede strømgeneratoren til høstmaskinen, den anden båd blev brugt til opsamling og fragt af de høstede muslinger.



Figur 3.11 De høstede muslinger pumpes ned i lastrummet på følgebåden. Kilde: Hjarnø Havbrug.

EasyFarm høstmaskinen blev sejlet hen til den ene ende af et af de 120 meter lange SmartUnits rør. Maskinen blev herefter sejlet ind over røret, så drivhjulene, der er monteret på undersiden af høstmaskinen, kunne få fat omkring PEH røret. Herefter blev strømgeneratoren tilsluttet og høstbælterne kunne sænkes

ned i vandet på hver side af nettet. Endelig blev det store rør, som muslingerne skulle pumpes op igennem, fastspændt til følgebåden.

Ud fra en vurdering af muslingebiomassen på nettet blev fremdriftshastighed, vandpumpe og høstbælter indstillet. Under selve høsten var det vigtigt at holde øje med den høstede biomasse, der blev pumpet op. Hvis muslingerne blev pumpet for hurtigt op, var der risiko for at de blev smadret. Pumpen skulle derfor indstilles, så den kunne suge muslingerne op, men vandkraften måtte ikke være for kraftig.

### 3.4 Sammenfatning og konklusioner

Det vurderes, at muslingeopdræt ved anvendelse af SmartFarm konceptet er en effektiv opdrætsteknologi baseret på udstyr og maskiner til hensigtsmæssig drift og minimalt forbrug af arbejdstimer i forbindelse med den daglige drift. Etablering af muslingeopdræt baseret på SmartFarm kræver en stor investering, men for det meste af materiellets vedkommende er der tale om en engangsinvestering ved anskaffelse. SmartFarm udstyr har en forholdsvis lang levetid, som yderligere kan forlænges ved god vedligeholdelse og reparation.

Den store fordel ved opdrætssystemet er, at fra muslingeyngelen settler på opdrætsnettet, og frem til høsten skal foregå, er behovet for arbejdstimer minimalt.

Det vurderes dog, at opdrætsteknologien såvel som drift og vedligeholdelsesrutiner skal videreudvikles for at en storskalaproduktion af muslinger kan blive rentabel. Der er i projektforløbet således blevet anvendt store ressourcer, ikke kun økonomisk, men også mandskabsmæssigt, på vedligeholdelse, antibegroning og høst af produktionsanlægget. Især håndteringen af SmartScooteren og EasyFarm høstmaskinen har været ressourcekrævende.

Høst er kun muligt under rolige vejrforhold, ikke kun for at opnå en effektiv afskrabning af muslinger på netterne, men også med hensyn til sikkerheden for medarbejderne, der styrer høstmaskinen.

Kvalitetsmæssigt er SmartUnits opdrætsanlæg robust, men håndteringsmæssigt er det et relativt ressourcekrævende og tungt system.

Det kan i vinterperioder være nødvendigt, at SmartUnits skal undersænkes for at undgå slid og skader på materialet fra is og storme. En undersænkning, 1 – 1,5 m under vand, hele året vil også være hensigtsmæssig for at reducere synligheden af anlægget fra land. Dette vil kræve udvikling af metode til undersænkning.

Rengøring af opdrætsnetterne er tidskrævende, og der er desuden meget tovværk, der skal holdes rent.

Der var ikke mange havarier af SmartUnits i projektperioden, men de reparationer der var, var meget tidskrævende og dermed omkostningstunge. Der eksisterer allerede på markedet fortøjningsbøjer der er særligt fleksible. Det kunne være interessant at teste, om denne fleksibilitet vil sikre forankringerne bedre.

#### **Mere info kan ses på flg. websider:**

Nyrupplast (web-link): <http://www.nyrupplast.dk/Doc/Brochurer/PEror.pdf>

DSC: [http://forskning.skaldyrcenter.dk/media/33134/etablerings-og\\_driftsmanual\\_endelig.pdf](http://forskning.skaldyrcenter.dk/media/33134/etablerings-og_driftsmanual_endelig.pdf)

Smartfarm: <http://www.smartfarm.no/mussel-seed-mussels-seaweed/husbandry-harvesting-machines?lang=en>

## 4. MUSLINGER – YNGELOPSAMLING OG PRÆDATORER

Af Ditte Tørring, Jonathan Carl og Per Andersen, Orbicon

### 4.1 Yngelopsamling

I danske farvande kan larver af blåmuslingen *Mytilus edulis* (L.) observeres stort set hele året, men forekomsterne har ofte et tidsmæssigt udbredelsesmønster med en eller to "peaks" henover året. De største forekomster ses i det sene forår/tidlige sommer. Fra Limfjordsamternes overvågning ses det, at der er larver i vandet fra slutningen af april til midt i september, men også at der er forskel på forekomsterne imellem årene og især imellem de forskellige produktionsområder (Tørring, 2008). Muslingelarver tilbringer fra 3 uger og op til 3 måneder i vandfasen inden de settler.

Timing af både den primære gydning hos blåmuslingerne og den efterfølgende settling af deres larver er primært bestemt af temperaturen (Widdows, 1991; Jacobs, 2014). Et varmt forår medfører således en relativ tidlig gydning. Fortsætter de varme vandtemperaturer, vil det efterfølgende pelagiske larvestadie være relativt kort (ca. 3 uger) (Bayne, 1965; Pechenik et al., 1990). Andre faktorer som fødetilgængelighed og salinitet kan også have betydning for varigheden af det pelagiske larvestadie. En del studier har beskæftiget sig med larvernes vækst under forskellige temperaturforhold (Bayne, 1965; Walne, 1965), og disse viser at larvernes vækst, ved lave temperaturer, forøges med stigende temperaturer. Ved høje temperaturer (13-18 °C) er vækstraten mindre afhængig af temperaturen (Bayne, 1965).

Under optimale føde-, temperatur- og saltforhold bruger larverne ca. 21 dage til at nå settlingsstadiet, hvilket svarer til en gennemsnitlig daglig vækstrate i skallængden på ca. 10 µm. Larverne settler når de når størrelser på 260 – 360 µm (Bayne, 1965, Widdows, 1991). Efter settling/påslag benævnes muslingerne som yngel eller spat.

De fleste danske erfaringer med opsamling af muslingeyngel i vandsøjlen er fra Limfjorden, hvor den primære rekruttering finder sted i det sene forår/først på sommeren. Settlingen i det sene forår er baseret på gydning tidligere på foråret, og ofte falder gydning sammen med planktonalgernes forårsopblomstring (marts-april), der giver larverne optimale fødeforhold. De gode vækstforhold i Limfjorden gør, at muslingeynglen opnår en gennemsnitsstørrelse på 2-3 cm i løbet af kun ca. 3-4 måneder. Ofte kan man i Limfjorden også registrere et mindre men veldefineret nedslag af muslingeyngel i efterårsmånederne omkring september/oktober. Muslingerne fra denne sekundære rekruttering har deres største vækst i det efterfølgende forår, og når en størrelse på 2-3 cm i løbet af marts og april måned. I andre mindre næringsrige områder af de danske farvande er vækstraten ikke så høj som i Limfjorden.

I relation til drift af fangkultur/kompensationsopdræt af muslinger er faktorer som settlingtidspunkt, antal settlede larver, og den efterfølgende vækst af afgørende betydning for compensationens omfang og succes.

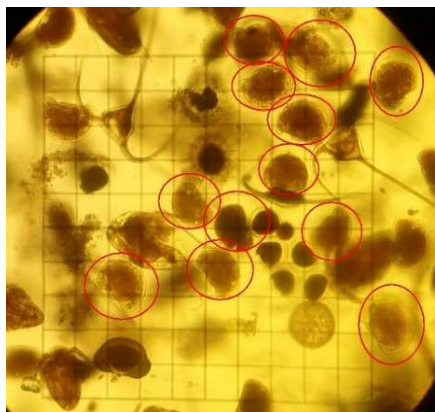
For at kunne identificere de primære og sekundære settlingsperioder samt for at få dokumenteret larvedynamik og larvevækst for de forskellige dyrkningsområder, blev der i løbet af projektet indsamlet vandprøver til analyse for muslingelarver. For at fastslå larvernes settlingtidspunkt blev der, i slutningen af maj måned og 1 måned frem i 2014, udhængt små stykker settlingsmateriale (bændler) til analyse. Muslingernes vækst og udviklingen i biomasse blev desuden fulgt med løbende prøvetagninger på udvalgte SmartUnits i hele projektperioden.

For at kunne påvise eventuelle lokalitetsbestemte variationer, ud over de årstidsbestemte, blev der indsamlet prøver både på Hjarnø Havbrugs anlæg i Sælkrogen og anlægget i As Vig.

## 4.2 Materialer og metoder

### Larvemonitering

Muslingelarveprøverne blev indsamlet med plankton net (60  $\mu\text{m}$ ) i hhv. Sælkrogen og As Vig. Prøverne blev tilsat Lugol til konservering umiddelbart efter prøvetagningen i felten. Efter hjemkomst til laboratoriet blev prøverne omrystet, og en delprøve blev udtaget i et 10 ml sedimentationskammer. Efter 15 minut-



Figur 4.1 Larveprøve til optælling. I denne prøve tælles 12 larver i et enkelt tællegrid (røde ringe).



Figur 4.2 Opmåling af larve. Denne er 44 små streger hvilket svarer til 286  $\mu\text{m}$  (200 X forstørrelse).

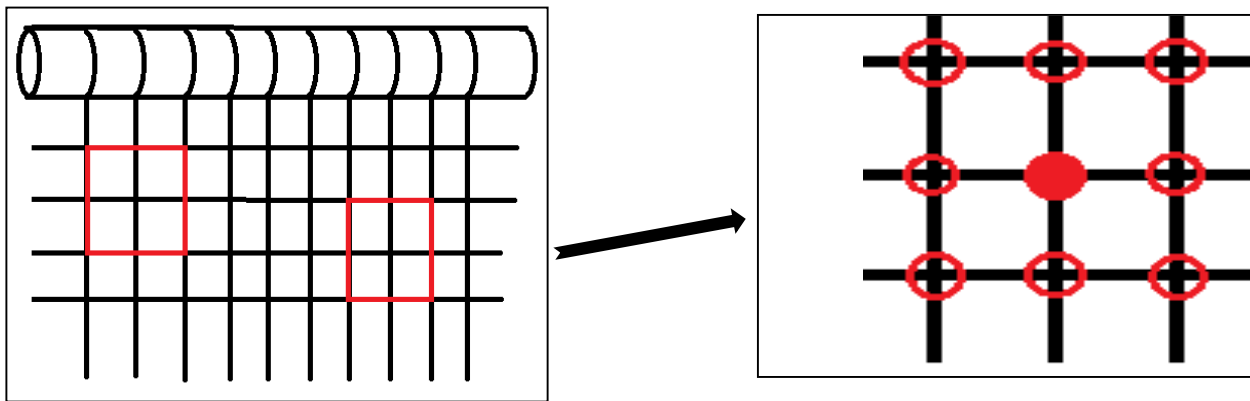
ters sedimentationstid blev kammeret placeret i et omvendt mikroskop (Leitz Labovert FS, 10 x 10 forstørrelse), og larverne blev talt og opmålt, figur 4.1 og 4.2. Ved hver analyse blev der udtaget 1 delprøve til analyse. I tilfælde af for små individantal i prøven, i perioder med store udsving i antalsmålingerne eller ved usikkerhed omkring prøveresultatet, blev der lavet en ekstra måling på en ny delprøve. Størrelsesmålinger blev kun foretaget i 2014.

Da det ikke var 100 % muligt at skelne mellem muslingelarver og larver fra andre muslinger, blev alle muslingelarver i størrelseskategorier mellem 90  $\mu\text{m}$  – 360  $\mu\text{m}$  optalt som larver af blåmuslingen.

Bændelstykkerne, udhængt i slutningen af maj 2014 i hhv. Sælkrogen og As Vig, blev indsamlet hver uge efter udhængning. Tre delprøver blev indsamlet pr. prøvetagning, og stykkerne blev undersøgt under stereolup i laboratoriet. Eventuelle settlinger blev noteret og opmålt. Muslingerne på bændlerne blev ikke kvantificeret.

### Biomasse og størrelse

Prøvetagningsmetoden, til kvantificering af muslingernes vækst og biomasseudvikling, er blevet modificeret løbende igennem projektperioden. I forsøgssæsonen 2012 blev prøvetagningen af muslingerne gennemført på udvalgte forsøgsrør i As Vig og Sælkrogen. Ved prøvetagning blev produktionsnettet hævet op over vandet vha. en kran, således at den øverste meter net var tilgængelig. Prøverne blev udtaget fra 1- 4 netmasker i ca. 1,5 meters dybde, og prøvetagningsstederne på produktionsnettet blev valgt ud fra et ønske om at indsamle repræsentative prøver. I netmaskernes knudepunkter (angivet som åbne cirkler i figur. 4.4) blev kun 1/2-delen af biomassen medtaget i prøven.



Figur 4.4. Illustration af prøvetagningsmetode til estimering af biomasse.

I laboratoriet blev prøverne opbevaret på køl og oparbejdet inden for 1-2 dage. Hele prøvens indhold blev vejjet, hvorefter det blev vurderet hvordan prøven skulle oparbejdes. Det var afgørende i forhold til valg af oparbejdningsskemaet, i hvor høj grad muslingerne var filtreret ind i tang.

Ud fra indfiltreringsgraden blev prøverne oparbejdet på to forskellige fremgangsmåder:

#### Let adskillelige prøver: 1.

- Separer muslinger fra tangen
- Vej muslingeandel
- Udtag delprøve til delprøvetælling og længdemål

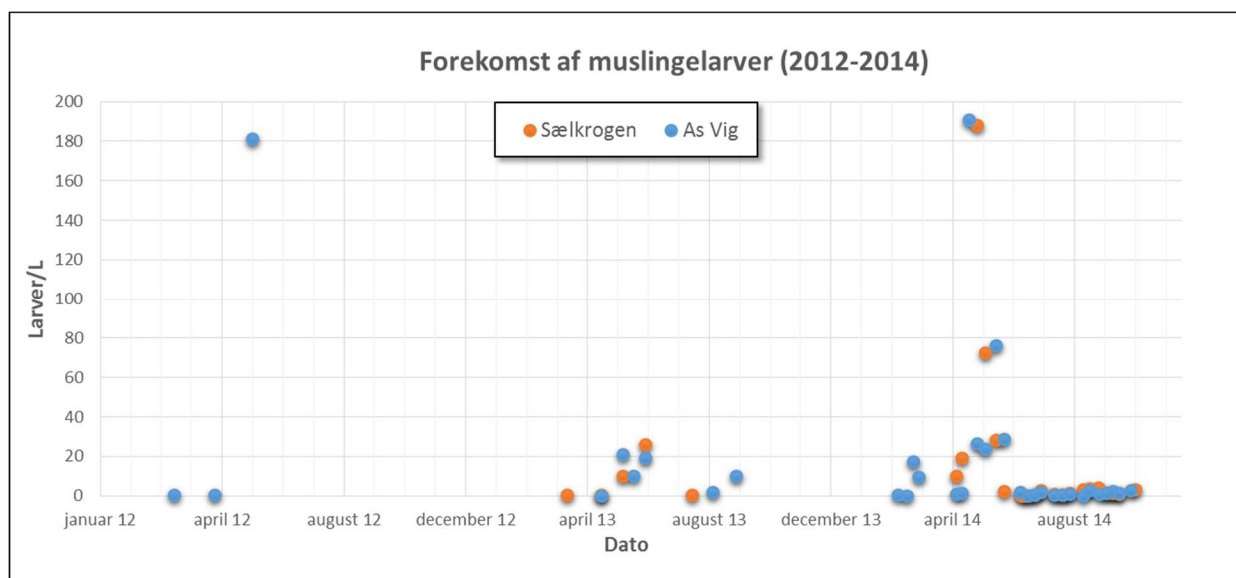
#### Svært adskillelige prøver (prøver med mange små muslinger, store prøver, og indfiltrede muslinger)

- Udtagelse af delprøve til tælling og længdemål
- Så meget som muligt separeret fra muslingerne
- Muslingeandelen estimeres visuelt i den tilbageværende del

En delprøve fra hver prøvetagning blev udtaget til længdemåling og kvantificering af det totale antal muslinger. Delprøverne blev vejjet og antallet af muslinger i delprøven blev talt (hvis nødvendigt i stereolup). Muslingerne (større end 4 mm) blev målt på millimeterpapir.

### 4.3 Resultater af settling af muslingelarver

Forekomst af muslingelarver i Sælkrogen og As Vig (2012 – 2014) er vist i figur 4.5. I 2012 var der flest larver i vandet i slutningen af maj måned, mens der i 2013 var flest i løbet af juni måned. I 2014 fandt den primære gydning sted i første halvdel af maj måned.



Figur 4.5 Forekomst af muslingelarver (antal/L) i Sælkrogen og As Vig i perioden fra marts 2012 til oktober 2014. NB: I 2012 blev der ikke indsamlet prøver i Sælkrogen.

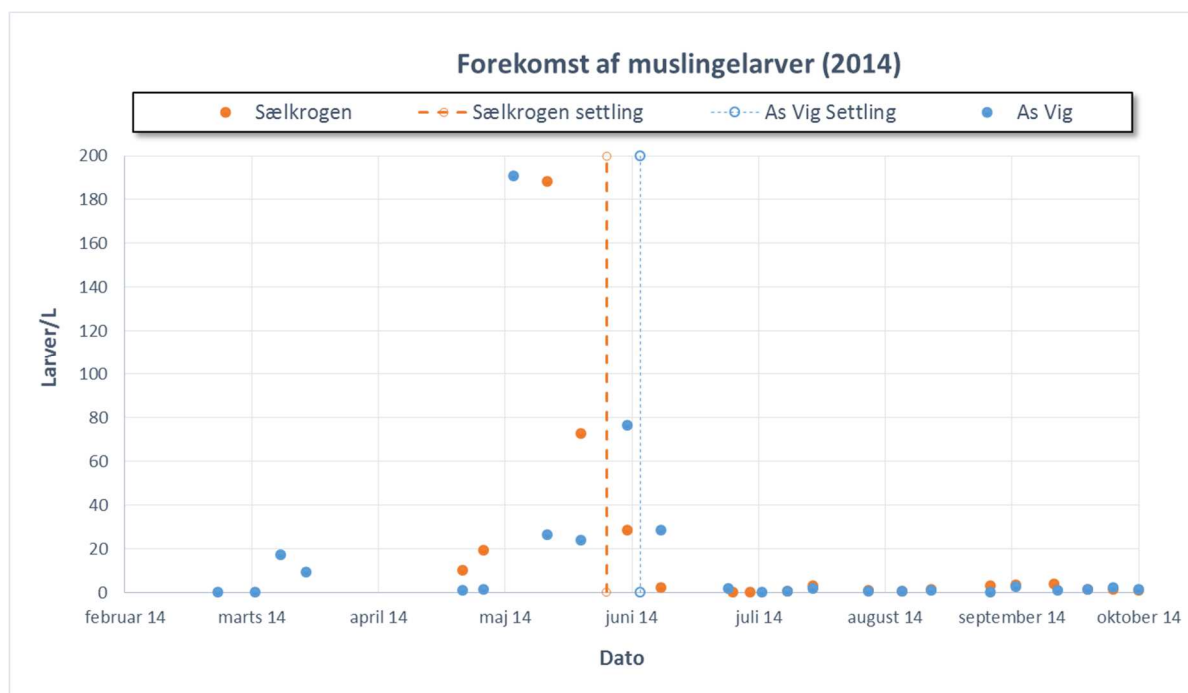
Foråret 2014 (marts, april og maj) havde en middel vandtemperatur på 8,7 °C som landsgennemsnit, hvilket er det næst varmeste forår siden 1874. Til sammenligning var forårets vand-middeltemperatur for Danmark i 2012 og 2013 hhv. 8,0 °C og 5,6 °C (DMI, 2014). Det rekordvarme forår i 2014 vurderes at være afgørende for det relative tidlige gydnings tidspunkt i 2014, mens den relative sene gydning i maj 2013 skyldes det meget kolde forår.

Sammenlignes larveforekomsterne imellem de tre år, er forekomsterne på stationen i As Vig for 2012 og 2014 domineret af tydelige forårstoppe. De relativ få data for 2012 gør dog de sammenlignende konklusioner usikre. I 2013 var der relativ få muslingelarver i vandfasen på begge lokaliteter i forårsperioden, mens der til gengæld blev registreret en mindre top af muslingelarver i efteråret.

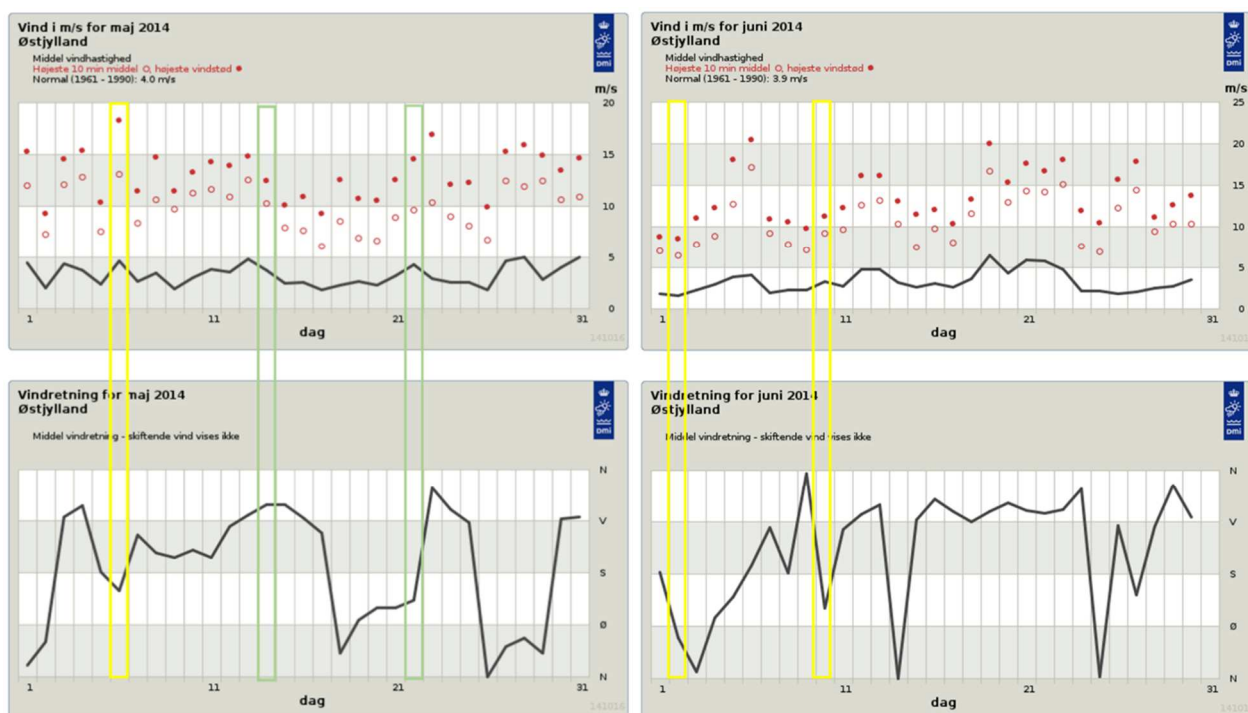
I figur 4.6 er larveforekomsterne for Sælkrogen og As Vig (2014) vist sammen med tidspunkterne for larvesetlingen i de to områder. Setlingstidspunktet er fastlagt ud fra det tidspunkt, hvor der blev noteret den største forekomst af ny-settlet yngel på de udhængte bændelstykker samt ud fra det tidspunkt, hvor larvernes antal falder i vandprøverne.

Den primære gydning fandt sted omkring d. 14/5 og d. 6/5 i 2014 i hhv. Sælkrogen og As Vig med maksimale larvekoncentrationer på hhv. 188 og 174 larver/l. Muslingerne settledes sidst i maj og først i juni måned i begge områder. Der blev registreret muslingelarver i vandet i stort set hele analyseperioden, men uden for gydnings-toppen var koncentrationerne lave. Hvis man betragter forekomsten af larver fra As Vig i maj og juni måned 2014 kan man se, at larvernes forekomst fluktuerer op og ned imellem de enkelte prøvetagninger, hvilket kunne tyde på at andre faktorer end setling kunne være betydende for larvernes tilstedeværelse i området.





Figur 4.6. Forekomst af muslingelarver (antal/L) i Sælkrogen og As Vig i perioden fra midt februar til midt oktober 2014. Der er ikke prøvetaget i perioden uden for dette tidsinterval. De stiplede vertikale linjer angiver settlingstidspunktet i de to områder.



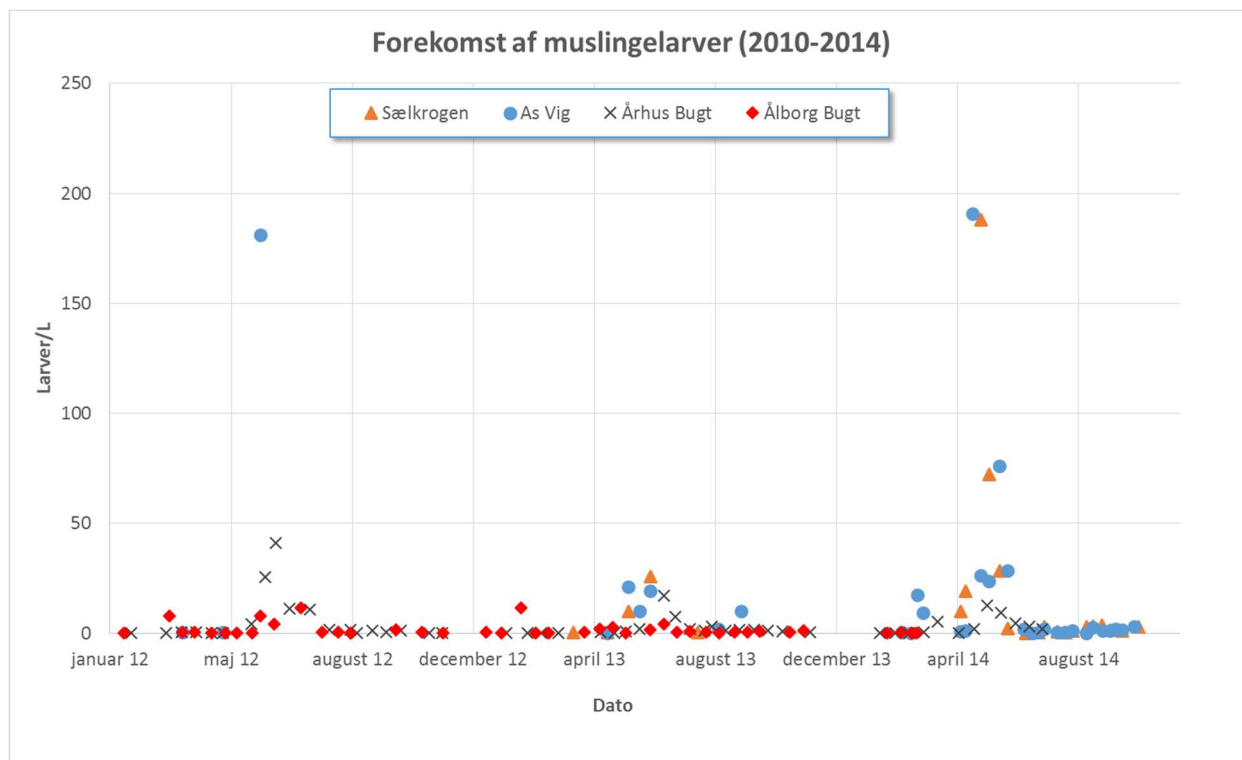
Figur 4.7. Meteorologiske data fra DMI (DMI, 2014), henholdsvis vindretning og styrke i Østjylland for maj og juni 2014. På figuren er udvalgte fluktuationer i larveforekomster i As Vig indtegnet. De gule kasser indikerer mange larver i området, mens de grønne kasser illustrerer perioder, hvor larverne forsvinder fra området.

I figur 4.7 er vist et eksempel, hvor perioder med markante stigninger og fald i koncentrationerne af larver i As Vig for maj og juni måned 2014 er plottet sammen med DMI's meteorologiske data for vindretninger og vindstyrke for Østjylland i samme periode.

I de perioder, hvor der registreres høje koncentrationer af muslingelarver i området, er de dominerende vindretninger primært fra SØ eller østlig retning, hvorimod vinden primært kommer fra V eller SV på de

tidspunkter, hvor larverne forsvinder fra vandprøverne, muligvis som et resultat af, at de kystnære vandmasser skiftes ud pga. up-welling.

For at vurdere, om forsøgsområderne i projektet er placeret hensigtsmæssige i forhold til opsamling af muslingeyngel, var det nærliggende at sammenligne larvemængderne med mængderne i nærliggende områder. I figur 4.8 sammenholdes resultaterne for larvernes forekomst på stationerne As Vig og Sælkrogen med forekomster af muslingelarver på to NOVANA overvågningsstationer i hhv. Ålborg Bugt og Århus Bugt.

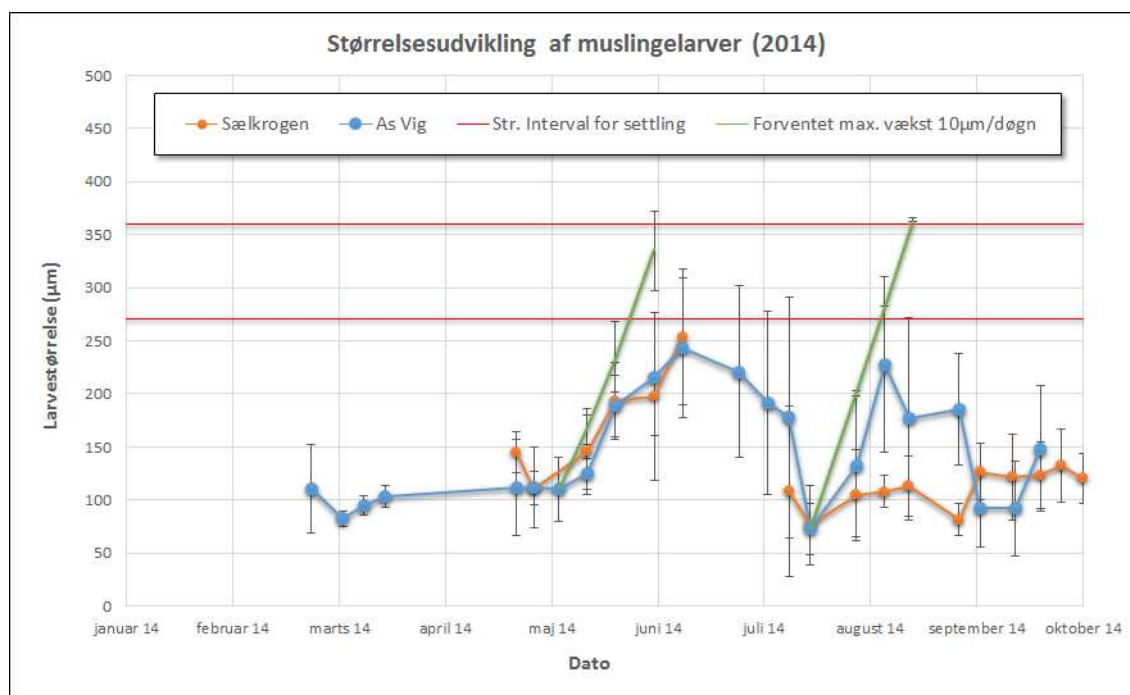


Figur 4.8. Forekomst af muslingelarver på stationer i Århus Bugt og Ålborg Bugt sammenholdt med forekomsterne på KOMBI stationerne i As Vig og Sælkrogen fra 2010 - 2014.

Ved sammenligning af data fremgår det at koncentrationerne af muslingelarver i As Vig og Sælkrogen er relativ store i forhold til Århus Bugt og Ålborg Bugt, og at timingen af forekomsterne af muslingelarver på de forskellige lokaliteter og lokaliteterne i Århus og Ålborg overlapper. Data fra Århus og Ålborg er fra STOQ - Databasen (Danmarks Miljøportal).

Figur 4.9 viser larvernes størrelsesudviklingen fra midt februar til midt oktober 2014 på de to KOMBI-stationer. Sammen med de målte data er der i figuren indsat en forventet vækstkurve, baseret på en længdevækst på 10  $\mu\text{m}$ /døgn i de perioder, hvor der ses en udvikling i larvernes størrelse.

Af figuren fremgår det, at der i løbet af prøvetagningsperioden i As Vig er to perioder, hvor larverne vokser til en settlingskompetent størrelse. Den første periode var omkring gydningsperioden (maj/juni) og 3 – 5 uger frem mod settling, hvor vandtemperaturen var 11 – 18 °C, hvilket betyder at larverne i stort set hele perioden voksede med væksthastigheder tæt på den maksimale på 10  $\mu\text{m}$ /døgn. I den anden periode, juli og august, lå vandtemperaturen på 18 – 19 °C, hvilket også giver mulighed for maksimal vækst hos larverne. For begge perioder ses dog en mindre væksthastighed end den forventede maksimale, hvilket tilskrives at *in-situ* målingerne foretages på flere blandede populationer, eller at larverne alternativt kan have været fødebegrænset.



Figur 4.9. Størrelsen på muslingelarver fra As Vig og Sælkrogen i prøvetagningsperioden 2014. På figuren angiver de vertikale røde streger størrelsesintervallet, hvori larverne forventes at settle. De grønne linjer angiver en forventet vækstkurve baseret på en længdevækst på 10  $\mu\text{m}/\text{dag}$  (startstr. 90  $\mu\text{m}$ ).

Muslingelarverne gydes løbende i de to perioder, og derfor er kurvernes forløb påvirket af nye mindre rekrutter, som løbende tilføres larvebestanden. Dette underbygges også af, at standardafvigelserne øges over tid efter gydning. Ud over temperaturen kan blandt andet fødeforholdene også have haft indflydelse på larvernes vækst. En mere markant efterårsgydning er et meget normalt fænomen for muslinger, og i As Vig ser det ifølge størrelsesudviklingen ud til, at der foregår en markant sekundær settling i slutningen af august måned. Men figur 4.8 (forekomster 2014) viser, at der mængdemæssigt ikke er tale om en særlig markant efterårsgydningstop. Muslingelarverne fra Sælkrogen udviser den samme vækst efter forårsgydningen, men umiddelbart efter prøvetagningen d. 10/6 – 2014 forsvandt larverne fra området. Der kan umiddelbart ikke findes andre forklaringer på dette end settling. I løbet af sommeren/efteråret ses ingen ændring i størrelsesudvikling hos larverne i Sælkrogen.

#### 4.4 Muslingers Vækst og biomasse

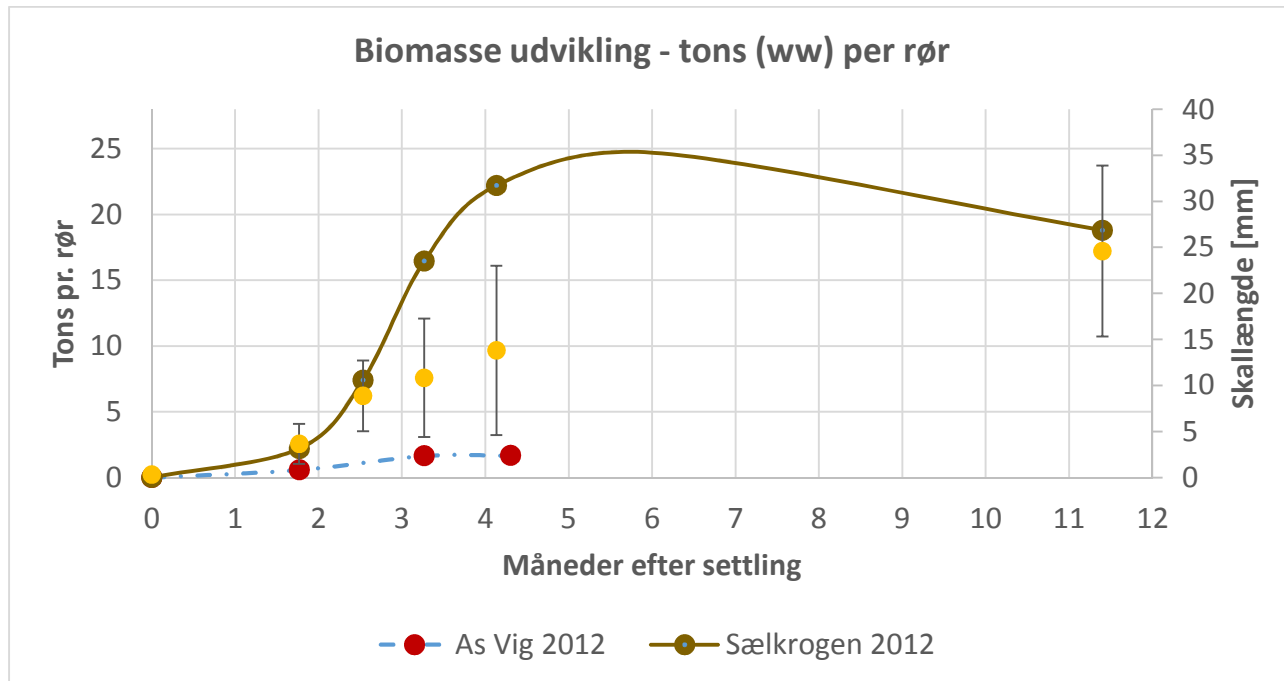
For at opbygge erfaring med at bruge SmartFarm anlæg og samtidig undersøge produktionsmuligheder for at dyrke kompensationsmuslinger i fuldskala i farvandet omkring Horsens Fjord, gennemførte Hjørnø Havbrug et pilotforsøg med at dyrke blåmuslinger på 5 SmartUnits i As Vig i 2010-2011. Efter ca. 18 måneder (maj 2010 til september 2011) blev der i gennemsnit høstet ca. 28 tons muslinger per rør på 5 rør eller i alt ca. 140 tons muslinger (vådvægt) (Anders Pedersen, personlig kommentar). Dette var den første indikation på, at der kunne produceres og høstes store mængde muslinger på SmartUnits i As Vig.

I forhold til kompensationsopdræt af muslinger er muslingers vækst, og den biomasse der kan afhøstes på SmartUnits, af afgørende betydning for kompensationens omfang og succes. I forbindelse med projektet var der derfor fokus på at dokumentere udviklingen i antal og biomasse af blåmuslinger dyrket på SmartUnits i 2012-2013.

SmartUnits var placeret i både Sælkrogen og i As Vig, se kapitel 2 figur 2.1. Nettene på SmartUnits har en længde på 114 m, en dybde på 3 m og et areal per SmartUnit på 342  $\text{m}^2$  samt en maskestørrelse på 175 mm x 175 mm.

Muslingernes biomasseudvikling i Sælkrogen og As Vig er beregnet på baggrund af udtagning af delprøver og efterfølgende omregning til biomasse for hele SmartFarm rør, og eventuelt hele muslingeområdet ved fuld produktion (100 SmartFarm rør).

Resultaterne af målingerne af muslingers vækst både som skallængde (i Sælkrogen) og biomasse på SmartUnits, i både Sælkrogen og As Vig, i månederne efter settling, samt i maj 2012 i det efterfølgende år, er vist i figur 4.10.



Figur 4.10 Biomasseudvikling og størrelsesudvikling på SmartUnit i 2012-13 som funktion af måneder efter settling for Sælkrogen (brune symboler) og As Vig (røde symboler). Længdeudviklingen (gul symboler) er for Sælkrogen i 2012. Det er antaget, at settlingen er startet 1. juni. Det er endvidere antaget, at muslingerne settler når de i gennemsnit er 0,3 mm.

**2012:** I de første måneder efter settling blev der registreret en god vækst i både Sælkrogen og As Vig. I Sælkrogen blev der gennem efteråret registreret en god dækning af blåmuslinger på de undersøgte SmartUnits (se figur 4.11), og der blev registreret en relativ god vækst af biomassen (figur 4.10). Den største biomasse blev registreret i Sælkrogen i efteråret (ca. 4 måneder efter settling), figur 4.10. Ved den sidste prøvetagning i 2012 (oktober) blev der beregnet en muslingebiomasse på ca. 22,2 tons vådvægt pr. SmartUnit. I As Vig blev biomasseudviklingen stærkt påvirket af fouragering af søstjerner og edderfugle allerede efter de første måneder. Søstjerner og edderfugles fouragering på muslingerne er behandlet i afsnit 4.6 og 4.7.



Figur 4.11. Muslingenet med god dækning fra Sælkrogen, efteråret 2012.

Fra vinteren 2012/2013 til foråret 2013 (6-12 måneder efter settling) ses et fald i biomassen, hvilket sandsynligvis skyldes, at muslingerne tabte vægt pga. de lave fødemængder, i form af planktonalger, i vinterperioden, kombineret med tab af muslinger fra nettet, som var nedsænket på bunden i vinterperioden 2012-2013 pga. isdække.

I vinter- og forårsperioden kunne der således ikke udtages prøver, da anlægget lå på bunden, og biomasseudviklingen i den periode kan derfor ikke dokumenteres. Ved prøvetagning i maj 2013 blev der registreret biomasser på ca. 19 tons muslinger (vådvægt) på de undersøgte SmartUnits.

Normalt vil der, i forbindelse med forårsopblomstringen af planteplankton og dermed øget fødemængde, også ses en forøgelse af muslingernes vægt indtil muslingerne gyder i maj. Det vurderes derfor, at der under optimale betingelser, dvs. uden sænkning af SmartUnits til bunden i vinter- og forårsperioden, kunne være opnået en endnu højere maksimalbiomasse i forårsperioden 2013, end det ses på figur 4.10.

Estimerede biomasseniveauer af efterårets og forårets størrelse ville betyde en total biomasse på 2.200-2.500 tons per muslingeanlæg med 100 rør på 18,8 ha. Dette svarer til en skønnet produktion på 117 – 133 tons muslinger pr. ha under optimale betingelser.

Udviklingen i gennemsnitsstørrelsen af muslingerne i Sælkrogen i løbet af de første 11 måneder efter settling er vist i figur 4.10.

Der ses en stigning i de målte muslingelængder gennem hele perioden fra 0,3 mm til større end 20 mm i løbet af ca. 11 måneder. Samtidig stiger standardafvigelsen også, hvilket skyldes at muslingerne vokser forskelligt, og at der løbende tilføres nye små muslingelarver på nettene fra mindre "klatgydninger", som forekommer i løbet af sommeren og efteråret.

Ved fuld dækning af nettet vil der i takt med, at muslingerne vokser blive mere konkurrence om pladsen, og de nysettede små muslinger kan skubbe de større muslinger af nettet. På Sælkrogen blev der i august 2012 estimeret en tæthed på ca. 250.000 muslinger pr. m<sup>2</sup>, mens tætheden faldt til ca. 140.000 muslinger pr. m<sup>2</sup> i oktober og ca. 50.000 muslinger pr. m<sup>2</sup> i maj det efterfølgende forår, tabel 4.1. Dvs. at biomassen og størrelsen af muslinger stiger, mens antallet af muslinger falder.

Tabel 4.1 Antal muslinger pr. m<sup>2</sup> – prøver fra Sælkrogen, 2012 og 2013.

| Dato                         | 16-08-2012 | 07-09-2012 | 03-10-2012 | 09-05-2013 |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Muslinger pr. m <sup>2</sup> | 253.154    | 190.811    | 137.053    | 49.139     |

I As Vig i 2012 var de estimerede biomasser, på de undersøgte SmartUnits væsentlig mindre end for Sælkrogen, figur 4.10. Allerede i løbet af de første måneder i As Vig i 2012, blev der registreret mindre tilvækst i biomassen, hvilket kan skyldes en mindre succesfuld overlevelse efter settling. I As Vig i 2012 blev der således registreret en massiv forekomst af søstjerner på SmartUnits, hvilket afspejler at der også blev registreret høje koncentrationer af søstjernelarver i larveprøverne fra As Vig (se afsnit 4.6). Den mindre biomasseudvikling i løbet af de første måneder efter settling i 2012 kan således primært skyldes fouragering fra søstjerner. Desuden, i takt med at muslingerne voksede, fra begyndelsen af september og igennem efteråret 2012 og vinteren 2013, blev det registreret, at flere og flere edderfugle fouragerede på muslingeanlæggene i både Sælkrogen og As Vig, hvilket betyder at også fouragering fra edderfugle kan være af betydning for muslingernes biomasseudbytte, se afsnit 4.7.

For at undgå/reducere fouragering fra søstjernelarve er der muligvis perspektiv i at starte muslingeproduktionen i det mere beskyttede produktionsanlæg i Sælkrogen og efterfølgende flytte SmartUnits med yngel ud i det åbne farvand ved As Vig. Forsøg med flytning af SmartUnits viste, at det kunne lade sig

gøre uden negative effekter på tilvæksten i muslingebiomassen. Om, eller i givent fald i hvilke år, driftsmetoden med at starte muslingeproduktion i et område og efterfølgende transport af SmartUnits til et andet område bør anvendes, afhænger dog af rekrutteringen af muslinger og graden af fouragering i det enkelte år.

#### 4.5 Prædation fra Søstjerner

Prædation er det forhold, at én art lever af at æde en anden, og både ved opdræt af muslinger og i det traditionelle muslingefiskeri, som fisker på de vilde bestande, har man de seneste år oplevet problemer med massive forekomster af søstjerner. Da søstjerner er et af de vigtigste rovdyr, som præderer på muslinger, har de i perioder medført betragtelige produktionstab for det danske muslingeerhverv.

Ved opdræt på liner/net i vandsøjlen opstår problemet i forsommeren, hvor søstjernerne settler på opdrætsmediet og æder af den ny-settledede muslingeungel. I Limfjorden er der de seneste år set eksempler på, at massive settlinger af søstjerner på opdrætsnet har forårsaget en fuldstændig afrensning af muslingeungel i løbet af et par måneder.

Søstjernerne åbner muslingerne ved at trække skallerne fra hinanden ved hjælp af deres sugefødder. Når muslingen ikke kan modstå trækket længere og skallen åbnes, krænger søstjernen sin mavesæk ud og ind imellem muslingens skaller. Her udskilles mavesaft, der nedbryder muslingens væv, og indholdet suges op.

Den almindelige søstjerne (*Asterias rubens*) gyder æg og sæd frit i vandet, hvorefter befrugtningen sker, og der udvikles en fritsvømmende, planktonisk larve. Larverne lever frit i vandmasserne i ca. 7-8 uger, Gandolf (2004), hvor de gennemgår en række udviklingstrin, inden de settler som ca. 1-3 mm store juvenile individer. I løbet af den planktoniske udvikling vokser larverne fra bipinnaria – stadiet (0,2-0,5 mm) til brachiolaria-stadiet (0,5-2,7 mm) (Zimnes, 2015) Gandolf, 2004). Dermed er larverne i deres sidste udviklingstrin relativt store og tunge. Hvis der er gode fødeforhold, kan søstjernerne vokse sig op til 1 cm i diameter i løbet af den første måned efter settling (Gandolf, 2004).

Timing mellem settling af muslinger og søstjerner er helt central for søstjernernes indflydelse på årets produktion af blåmuslinger. Hvis de to settlinger ligger tæt på hinanden (max. 1 måned), kan de nysettlede søstjerner fouragere effektivt på de små muslinger, som ligger inden for den optimale størrelse som føde for søstjernerne. Tilsvarende har andre studier vist, at søstjerner (*Asteria vulgaris*) der settler to måneder efter blåmuslingerne, ikke på samme måde kan udnytte de nysettlede muslinger, simpelthen fordi muslingerne er blevet for store. Dette forspring kan holde muslingerne fri for fouragering fra søstjerner i deres første leveår (O'Neill, 1983).

Der er ikke nogen tvivl om, at forekomsten af søstjerner kan være af afgørende betydning for en fremtidig produktion af muslinger i opdræt. Der er pt. ikke udviklet egentlige præventive foranstaltninger for at undgå en settling af søstjerner eller efterfølgende "bekæmpe" dem, hvis de først sidder på opdrætsenhederne. Børstning med SmartScooter ser dog ud til at være en effektiv metode til at fjerne de små søstjerne fra SmartUnits (se afsnit om præventive foranstaltninger).

Erfaringer fra Skotland tyder på, at søstjernerne, pga. deres relative tunge vægt omkring settlingstidspunktet, settler på de nederste meter af det opdrætsmateriale, som er udhængt til muslingelarverne. Derfor har man gennemført forsøg, hvor man ruller opdrætsmediet op i overfladen på det tidspunkt, hvor søstjernerne settler, og det har modvirket en settling af søstjernerne. I andre tilfælde, hvor søstjernerne har settlet på medierne, har man kørt produktionslinerne igennem et bad med læsket kalk ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) for at fjerne søstjernerne (Tørring et al., 1995). Til trods for, at begge metoder var effektive



behandlinger mod settling af søstjerner, er begge processer håndteringsmæssig tunge og relativt arbejdskrævende, og det er ikke metoder som anvendes på kommerciel skala i dag, ligesom de ikke vil kunne tilpasses SmartFarm.

For at få en forståelse for dynamikken og timingen imellem settlingen af søstjerner og muslinger er den tidsmæssige forekomst og den rumlige fordeling af søstjernelarver i både As Vig og Sælkrogen blevet undersøgt i 2014. Der blev, som i undersøgelsen for muslingelarver, indsamlet vandprøver med planktonnet (60 µm) for at bestemme antallet af søstjernelarver i forskellige dybder. Ved efterfølgende analyse af prøverne stod det klart, at prøverne fra de forskellige dybder ikke kunne vise et korrekt billede af søstjernelarvernes fordeling i vandsøjlen. Ofte var der flest larver i de prøver, der blev taget på dybden imellem 0-3 meter, og færrest i de prøver som blev taget mellem 0-7 meter, hvor 60 µm planktonnettet blev trukket langsomt igennem hele vandsøjlen. Dette tyder på, at netmaskerne blev tilstoppede relativt hurtigt, og at prøverne ikke blev filtreret tilstrækkeligt effektivt til at fange søstjernelarverne. Larvernes fordeling i de forskellige dybder er derfor ikke medtaget i de videre analyser.

Yderligere blev der gennemført et mindre pilotforsøg til test af præventive foranstaltninger både før og efter søstjernernes settling.

### **Præventive foranstaltninger mod søstjerner**

For at teste teorien om, at søstjerner primært setter på de dybeste dele af opdrætsmedierne, blev der i slutningen af juni 2014 gennemført et præventivt forsøg, hvor en sektion af et SmartFarm net på 20 meter blev bundet op til SmartFarm-røret, således at dyrkningsdybden på denne strækning var halveret til 1,5 m. Herved kunne eventuelle rekrutteringsforskelle mellem dybe net (3 m) og korte net (1,5 m) registreres.

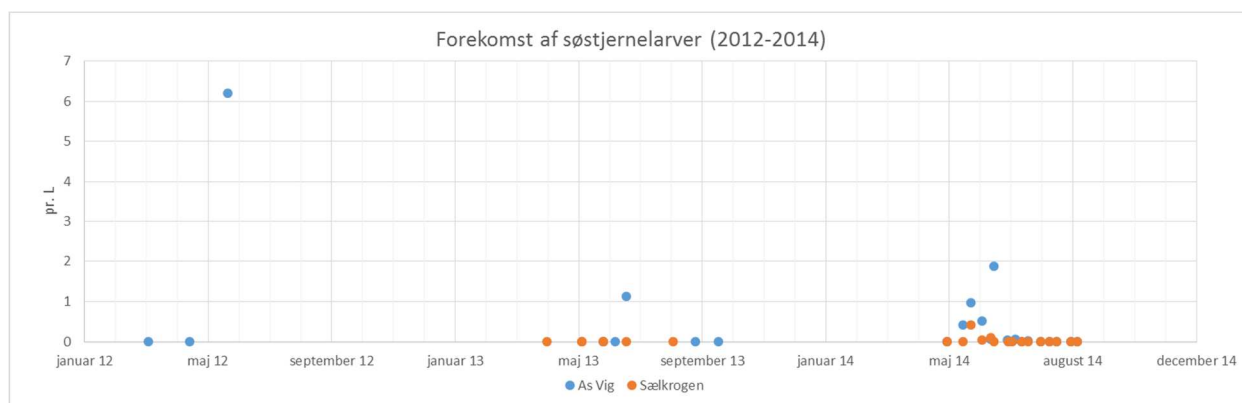
Efter søstjernerpåslaget i juni måned 2014 blev der desuden udført børsteforsøg med SmartScooter på 17 SmartUnits i As Vig. Ved forsøget blev der i første omgang arbejdet en del med at justere scooteren, så der blev skabt en stærk turbulens tæt på muslingenettet, men med minimeret berøring fra børsterne, så blåmuslingerne ikke blev berørt af processen. Før børstningen fandt sted, blev der indsamlet prøver af både muslinger og søstjerner, og selve børstningen blev fulgt og dokumenteret med videooptagelser.

Forsøgsrøret blev børstet 7 gange. Ca. en måned efter børstning blev forsøgsrørene undersøgt og mængden af muslinger samt antallet af søstjerner blev opgjort.

Under prøvetagningen blev nettene opdelt i en øvre og nedre sektion, og for hver prøvetagning blev antallet samt størrelsen af søstjerner opgjort for 2 x 1 maske. Søstjernerne blev målt ved anvendelse af millimeterpapir.

### **Resultater**

Figur 4.12 viser forekomsten af søstjernelarver registreret i løbet af projektperioden. Som det fremgår, blev prøvetagningsfrekvensen i 2013 og 2014 intensiveret i forhold til begyndelsen af projektet. I alle 3 prøvetagningsår ses en tydelig top i forekomsten af søstjernelarver i løbet af juni-juli måned. I 2014 sker der en gradvis øgning i koncentrationerne fra midt-maj og frem til juli. Som allerede nævnt i afsnittet om muslingelarver var prøvetagningsåret 2014 præget af et rekordvarmt forår, og dette kan, som for muslingerne, forklare den lidt tidligere gydning af søstjernelarver. Generelt ses en større koncentration af søstjernelarver i As Vig end i Sælkrogen.

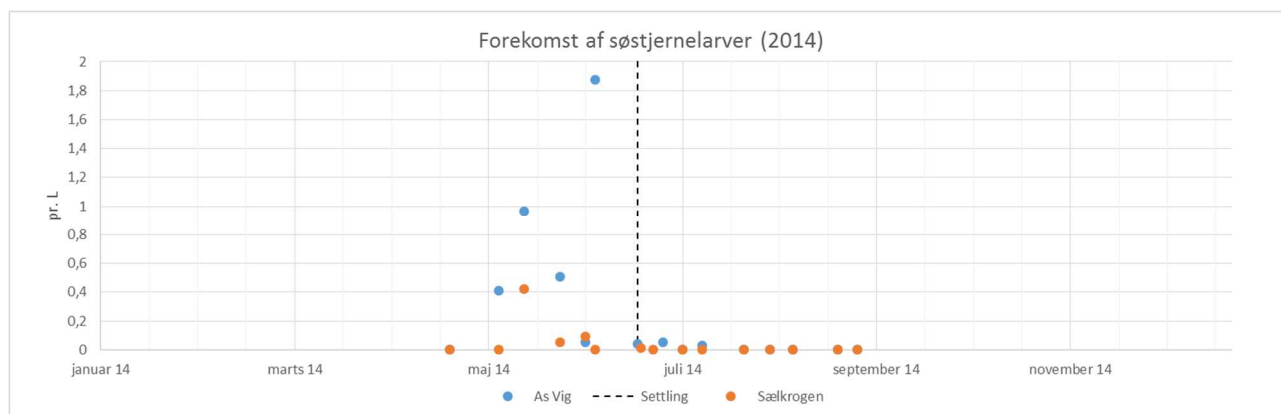


Figur 4.12. Forekomsten af søstjernelarver i vandprøver fra 2012-2014 i As Vig og Sælkrogen.

Resultater for forekomst af søstjernelarver i 2014 alene er vist i figur 4.13 sammen med et estimerede settlingstidspunkt (stiplet vertikal linje). Tidspunktet for settling er fastlagt ud fra, hvornår larverne forsvandt fra vandprøverne samt registrering af og størrelsesmåling af søstjerner på opdrætsnettene.

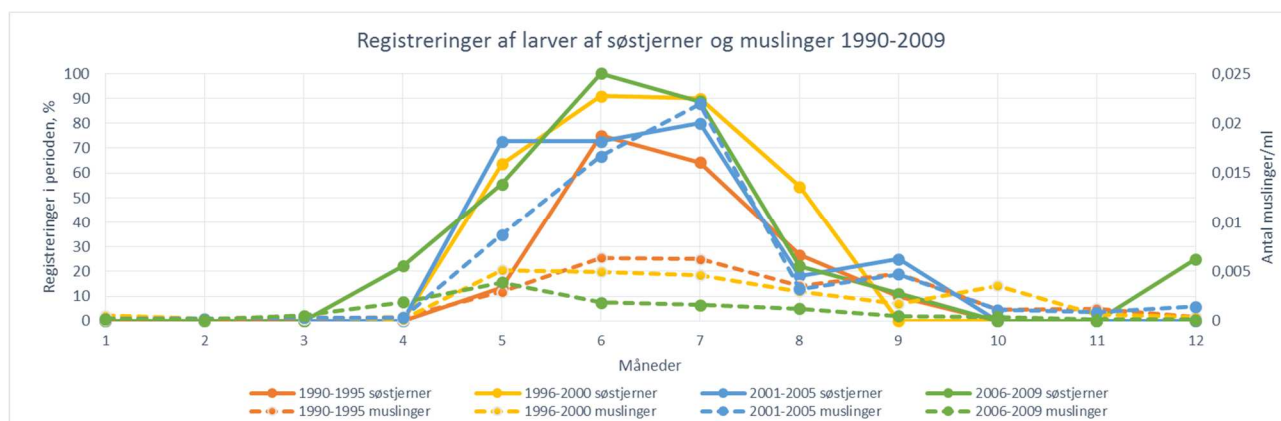
Hvis man følger udviklingen i forekomsten af søstjerner i As Vig må det forventes, at gydningen i 2014 ligger i begyndelse af maj måned, og det ses at settlingen foregår ca. 6-7 uger efter, dvs. midt i juni måned. I 2014 ses muslingernes settling i As Vig i begyndelsen af juni måned, dvs. 14 dage før settlingen af søstjerner på nettene.

Figur 4.14 viser tilstedeværelsen af både søstjerne- og muslingelarver i Århus Bugt i (1990-2009) fordelt på måneder (NOVANA data fra Planktonsys + STOQ database). Data er delt op i 4 års intervaller, for, om muligt, at kunne identificere en tidsmæssig udvikling i forekomsten i hele perioden 1990-2009.



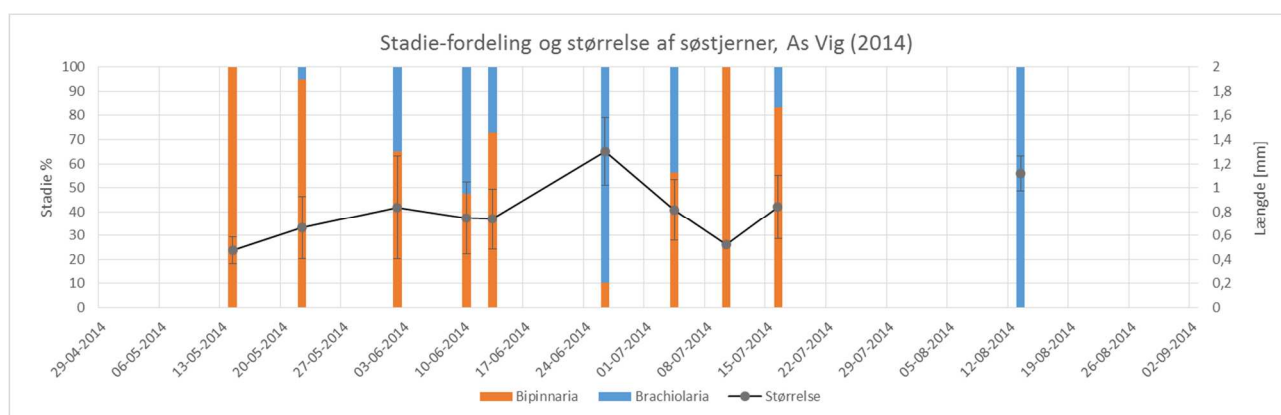
Figur 4.13. Forekomsten af søstjernelarver i vandprøver fra 2014 i As Vig og Sælkrogen. Den stiplede vertikale linje angiver det skønnede tidspunkt for settling.

Søstjernelarver er kun registreret som tilstede/ikke tilstede, og altså ikke med angivelse af deres koncentration. Desuden er antal prøvetagninger i de enkelte måneder ikke konstant. Derfor er søstjernelarver i figuren angivet som procent, og værdierne er et udtryk for hyppigheden af tilstedeværelse i den pågældende måned. Dvs. hvis der i maj måned 1999 er registreret søstjernelarver i 4 ud af 5 prøvetagninger bliver resultatet 80%. Muslingelarver, her betragtet som alle muslingelarver der findes i prøven, er kvantificeret, og disse ses med angivelse af deres koncentration i figuren.



Figur 4.14. Søstjerne- og muslingelarver i Århus Bugt fra år (1990-2009) fordelt på måneder (data fra Planktonsys + STOQ database). Data er delt op i 4 intervaller i perioden. Søstjernelarver er i disse databaser registreret som tilstede/ikke tilstede, og benævnes med antal registreringer i den pågældende måned i den undersøgte periode. Muslingelarverne udgøres af "alle bivalve larver i prøven" og er angivet som antal pr. ml.

Af figuren fremgår det, at søstjerner typisk optræder i planktonet fra midt i april til september, og at hyppigheden af registreringer af larver er størst i maj - juli. Settlingen, angivet som det tidspunkt, hvor larverne forsvinder ud af vandsøjlen, ligger typisk fra juli til september. Den tidsmæssige forekomst af muslingelarverne viser det samme mønster, men muslingernes settling spredt sig typisk fra maj og frem til august. Der ses ikke umiddelbart nogen tidsmæssig udvikling i dette forekomstmønster i den 20 årige periode 1990-2009.



Figur 4.15. Fordelingen (%) af søstjernelarver i udviklingsstadiet bipinnaria og brachiolaria (vist som søjler) og den gennemsnitlige larvestørrelse (vist som kurveforløb) i As Vig 2014. Størrelserne er angivet +/- std. afv. (n=20).

Figur 4.15 viser fordelingen af søstjernelarver fordelt på stadiet bipinnaria (tidligt stadiet) og brachiolaria (sent stadiet) i As Vig i 2014. Som forventet er den procentvise fordeling af det tidlige larvestadie dominerende fra gydningsstart, mens det senere udviklingsstadiet bliver dominerende efterfølgende. Omkring settlingstidspunktet, i midten af juni og frem, er brachiolaria-stadiet dominerende, og det ser ud til at den primære settling er færdig i midten af juli måned, hvor der ikke er flere sen-stadie larver i vandet. Målinger herefter er foretaget på relativ få larver, se figur 4.15.

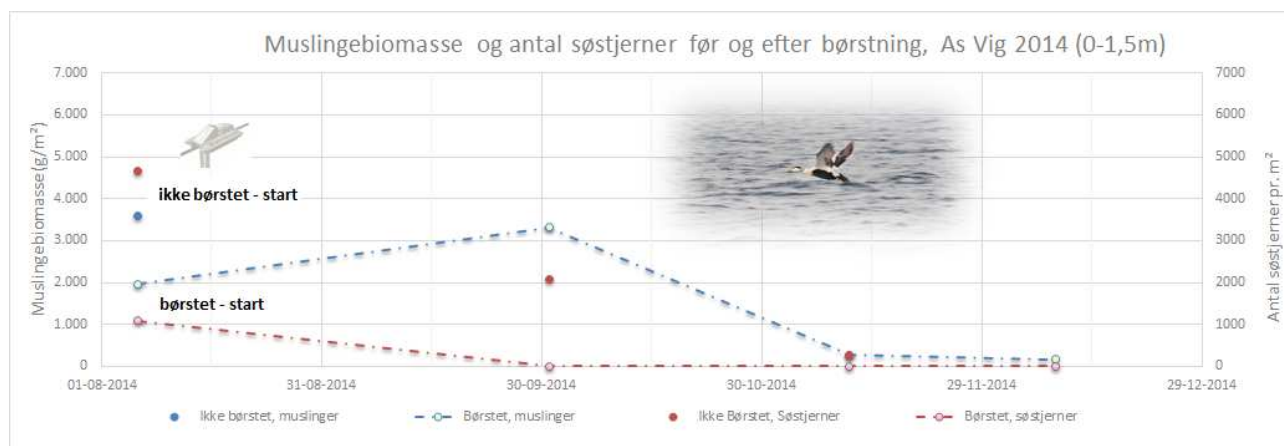
### Erfaringer med præventive foranstaltninger mod søstjerner

Forsøget i juni 2014, med en opfoldning af SmartFarm-nettet, med det formål at teste om søstjerne- og muslingelarverne sætter på de dybeste dele af opdrætsnettet, gik ikke som planlagt. Under selve ophængningen af nettet blev det konstateret, at der, udover store mængder af små muslinger, også allerede var store mængder

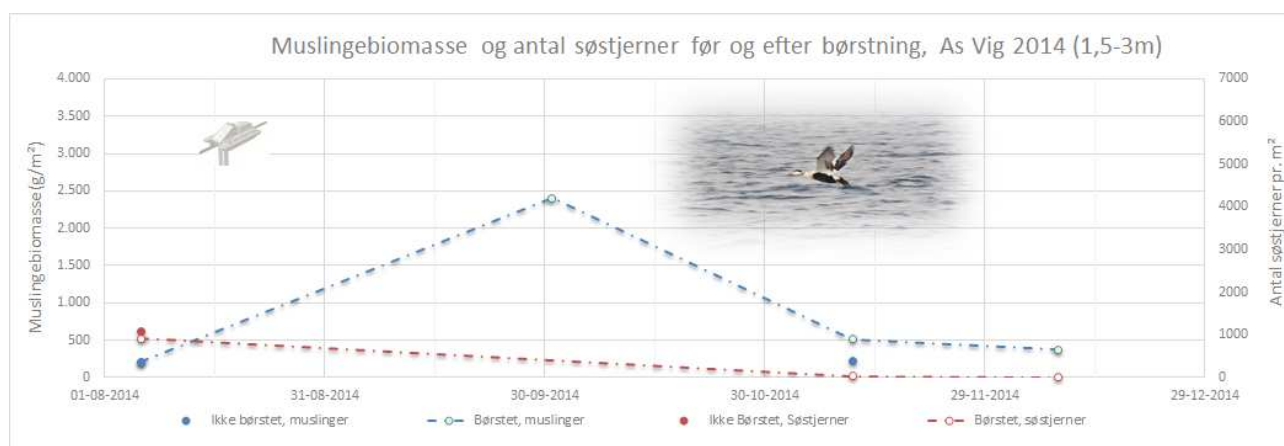
af nysettlede søstjerner på nettene. På trods af dette blev ophængningen gennemført. Ved det efterfølgende tilsyn af forsøgsnettene 14 dage efter, var der tydelige forskelle på det to nettyper (3 m og 1,5 m). På den strækning, hvor nettet var foldet op, havde søstjernerne ædt al den muslingeyngel som var til stede på nettet. På strækningen med de dybe net, havde søstjernerne konsumeret ca. halvdelen af den tilgængelige muslingeyngel, mens den tilbageværende yngel sad på den øverste del af nettet.

Til trods for, at forsøgene blev gennemført for sent i forhold til settlingen af søstjerner på forsøgsnettene, var det tydeligt, at de nysettlede søstjerner havde den største forekomst på den nederste del af opdrætsnettet, og da vi ved forsøget nærmest "foldede" søstjernerne fra den nederste del af nettet op til muslingerne på den øverste del, blev fourageringen her også blev markant.

Nedenstående figur 4.16 og 4.17 viser udviklingen af muslingebiomassen og antallet af søstjerner fra børstningstidspunktet og 3 måneder frem for hhv. toppen og bunden af nettet. Ved opstart af forsøget (6/8-14) er muslinge- og søstjerneforekomster vist før og efter børstning.



Figur 4.16 TOP AF NET: Muslingebiomassen (gram pr. m²) og antallet af søstjerner (antal pr. m²) som funktion af tid efter børstning. Den illustrerede scooter angiver tidspunktet for børstning, og den afbillede edderfugl indikerer tidspunktet for kraftig prædation fra fugle. Data er fra 0-1,5 meters dybde på nettet.



Figur 4.17. BUND AF NET: Muslingebiomassen (gram pr. m²) og antallet af søstjerner (antal pr. m²) som funktion af tid efter børstning. Den illustrerede scooter angiver tidspunktet for børstning, og den afbillede edderfugl indikerer tidspunktet for kraftig prædation fra fugle. Data er fra 1,5-3,0 meters dybde på nettet.

Resultaterne fra børstningsforsøget var forskellige imellem top- og bundprøverne. På den øverste del af nettet blev der registreret et stort fald i koncentrationen af søstjerner og muslinger umiddelbart efter afbørstningen. Lidt under 2/3 af søstjernerne blev fjernet ved børstningen, mens der blev registreret ca. en halvering i muslingebiomassen.

Ved bunden af nettet var antallet af søstjerner og muslingemængden stort set upåvirket. I den efterfølgende periode faldt søstjernerne i antal i både top og bundprøven, mens muslingerne udviste en stigning i biomasse over den første del af perioden, hvorefter biomassen faldt drastisk. Da muslingerne, pga. meget små størrelser på dette tidspunkt, ikke blev kvantificeret, er det usikkert om stigningen i biomasse i den første periode efter settling skyldes nytilkomne individer eller en vækst i den eksisterende biomasse. Da søstjernemængden på samme tidspunkt udviste et drastisk fald, tyder det dog på, at tilvæksten skyldes en øgning i biomassen, mens muslingeantallet antages at falde i samme periode.

## 4.6 Prædation af edderfugle

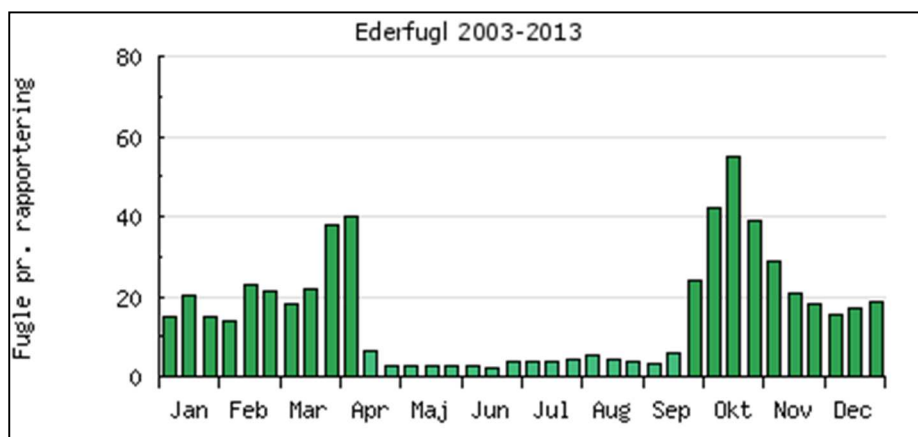
I slutningen af perioden (oktober-november) i 2012 blev der observeret et stort antal edderfugle i As Vig, og deres prædation, sammen med søstjernernes, vurderes at være årsagen til det observerede fald i muslingebiomassen.

Edderfugle ernærer sig af en lang række fødeemner med blåmuslingen som deres foretrukne byttedyr (Ross & Furness, 2000). Normalt spiser de muslinger på dybden på 0-6 m, men de er i stand til at dykke ned til dybder omkring 40 meter for at fouragere (Guillemette; 1993). Edderfuglenes diæt er generelt karakteriseret ved et relativt lavt energiindhold, og da edderfuglene sluger blåmuslingerne hele, inklusiv skaller og saltvand, er de nødt til at have et højt dagligt fødeindtag. Det er estimeret, at en edderfugl skal indtage omkring 2 kg føde pr. dag (Guillemette et al., 1992). Edderfuglene kan spise muslinger fra få millimeter til flere centimeter i længden (Nehs, 2001). Studier fra Ringebjerg Sand og Tunø viser, at edderfugle foretrækker at spise muslinger mindre end 40 mm (Larsen & Guillemette, 2000).

Muslinger dyrket i vandsøjlen vurderes umiddelbart at være både et mere værdifuldt og et lettere tilgængeligt fødeemne for edderfuglene i forhold til bundlevende blåmuslinger. Dette skyldes, at de dyrkede muslinger generelt har tyndere skaller, et højere kødindhold, forekommer i højere tætheder pr. areal og er lettere tilgængelige (0-3 m dybde) end bundmuslinger.

Edderfuglen er en stor dykand, som lever i store flokke på op til flere hundrede. I Danmark yngler de på små øer og holme. Hovedparten af dem er dog trækfugle, og de er kun i Danmark i vinterhalvåret, figur 2.40 (DOF, 2014). Observationer fra Tunø og Ringebjerg Sand, som ligger tæt ved KOMBI-lokaliteterne ved Horsens Fjord, viser, at antallet af edderfugle stiger i løbet af oktober, når trækket begynder. Antallet toppe i november og december, hvorefter antallet falder i april, og stabiliserer sig på et lavt niveau i sommermånederne (Larsen & Guillemette, 2000).

Fra projektets start har Hjarnø Havbrug kunnet observere hvorledes edderfugle flokkes omkring muslingebrugene for at fouragere og raste, og det har været tydeligt fra projektets start, at edderfuglene kunne have en stor betydning for udbyttet af muslingeproduktionen.



Figur 4.18. Ederfugle i Danmark baseret på indtastninger mellem 2003-2013 i DOF's (Danske Ornitologisk Forening) database (DOF, 2014). Værdierne angiver det gennemsnitlige antal individer indtastet pr. rapportering, fordelt på 10-dagesperioder.

For at kvantificere mængden af edderfugle i de 2 muslingeområder, samt for at se på betydningen af edderfuglenes prædation på blåmuslingebiomassen, blev der i vinteren 2013/2014 gennemført en række intensive forsøg på muslingeanlæggene i As Vig og Sælkrogen. Undersøgelserne blev gennemført som en del af et specialeprojekt af Christina Sægren, Københavns Universitet i samarbejde med Orbicon. I denne rapport gengives et sammendrag af undersøgelsens resultater (Sægren, 2014). I løbet af projektperioden blev antallet af edderfugle i de to opdrætsområder registreret af Hjørnø's produktionsmandskab, enten når de arbejdede i et tilstødende område, eller når de besøgte muslingeanlæggene i forbindelse med prøvetagning eller produktion.

I Skotland og Irland har man i forbindelse med muslingeopdræt, mange års erfaring med fouragerende edderfugle, og der er, specielt i Skotland, arbejdet en del med forskellige præventive tiltag til håndtering af edderfugleproblematikken (Galbraith, 1992; Ross & Furness, 2000). I forbindelse med projektet blev der, på baggrund af de udenlandske erfaringer, gennemført nogle skræmmeforsøg, der skulle klarlægge om det var muligt at holde fuglene væk fra områderne med metoder, der ikke krævede daglige besøg fra bemandede både.

### Metode

Ederfuglenes indflydelse på de opdrættede muslinger blev undersøgt gennem 4 feltforsøg ved opdrætsområderne i Sælkrogen og ved As Vig.

#### Eksperiment I: Estimering af muslingetab fra net (nov. 2013 – jan. 2014)

Smartfarmnet med størrelsen 90x90 cm og med en kendt muslingebiomasse blev hængt på produktionsnet i As Vig og Sælkrogen. Efter 91 dage blev nettene indsamlet, og antallet af mistede muslinger blev estimeret.

#### Eksperiment II: Estimering af muslingetab til bund (nov. 2013 – jan. 2014)

Under udvalgte produktionsnet blev der placeret kurve til opsamling af muslinger, der blev tabt fra nettene. Kurvene blev hentet ind efter 91 dage, og muslingetabet blev estimeret ud fra indholdet i kurvene.

#### Eksperiment III: Kvantificering af antallet af edderfugle (intensiv: nov. 2013 – jan. 2014; sporadiske observationer 2012-2014)

Et vildtkamera blev sat op i den ydre ende på et af de midterste rør både i Sælkrogen og As Vig. Videoerne blev brugt til at observere edderfuglenes daglige aktivitetsmønstre samt til estimering af antallet af fouragerende edderfugle i hhv. Sælkrogen og As Vig.

#### Eksperiment IV: Præventive forsøg – bortskræmning af edderfugle

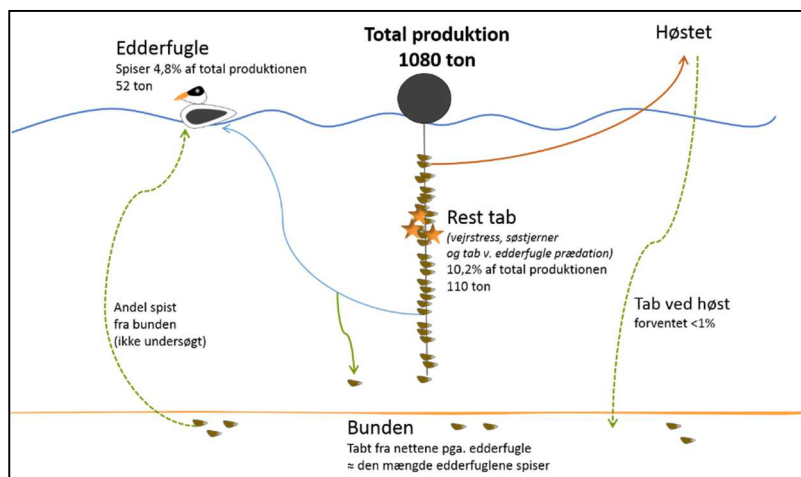
På den mest udsatte lokalitet i Sælkrogen blev der opsat 3 høgeligende drager på glasfiberstænger



(3 m høje) og i perioder også lydudstyr med rovfugleskrik. Både en stor lydskræmmer samt flere mindre blev afprøvet. Begge metoder er dokumenteret effektive mod især duer, og anvendes mange steder på landjorden. Området blev jævnlgt tilset for at vurdere effekten af de forskellige skræmmeteknikker.

## Resultater

Ud fra en beregnet totalproduktion på 1.080 ton fordelt på de to opdrætsområder (ca. 20 ton muslinger pr. SmartUnit) kan det, ud fra observationerne af antallet af edderfugle i eksperiment III, beregnes, at 4,8% (52 ton) af den total muslingebiomasse kan fortæres af edderfuglene, figur 4.19. Det forudsættes, at en edderfugl æder 2 kg blåmuslinger om dagen, og at alle observerede edderfugle kun fouragerer på rørene. Endvidere er resultatet udregnet ud fra, at edderfuglene kun befinder sig i områderne i vinterhalvåret, og tabet er beregnet over en 7 måneders periode fra oktober til april.



Figur 4.19. Oversigt over tab fra smartfarmnettene ved Sælkrogen og As Vig. Tabene er regnet ud på baggrund af resultaterne fra eksperimenterne samt antagelser om, at alle observerede fugle æder 2 kg muslinger pr. dag. Tabet er over en 7 måneders periode fra oktober til april. Til udregningen af den totale produktion antages det, at hver rør producere 20 tons muslinger.

Figur 4.20 og 4.21 viser et eksempel på et opdrætsnet med muslinger før og efter besøg af edderfugle.



Figur 4.20. Prøvetagning af muslingebiomasse - før besøg af edderfugle. Oktober 2014.



Figur 4.21. Prøvetagning af muslingebiomasse - efter besøg af edderfugle. November 2014.

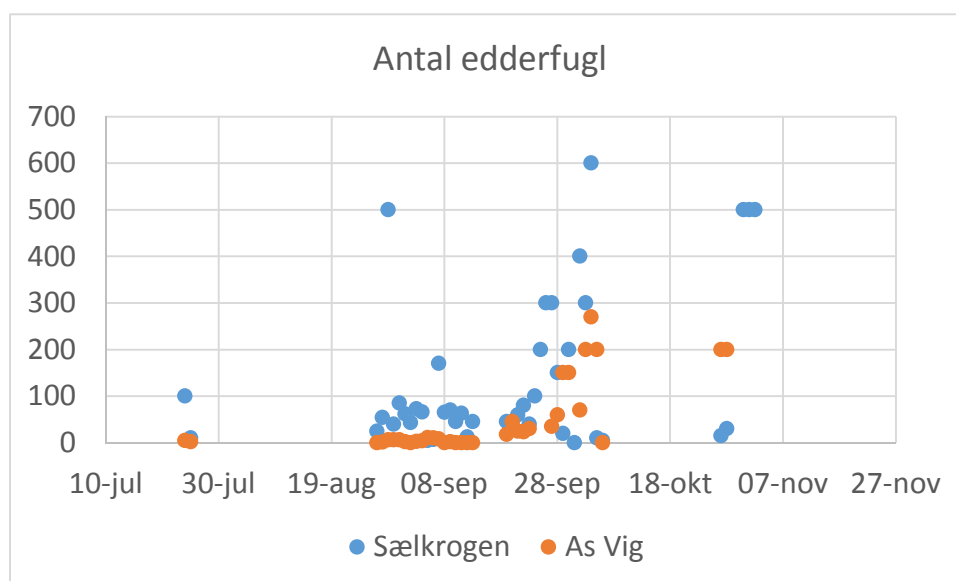
Fra eksperiment I ses det, at der mistes en større andel muslinger fra nettene, end den andel som edderfuglene æder (rest tab, se figur 4.19 og eksempel på tab på figur 4.20 og 4.21). Når andelen af blåmuslinger ædt af edderfugle trækkes fra det samlede tab fra nettene, er der stadig et tab fra nettene på 10,2% af den totale beregnede muslingebiomasse, som ikke kan skyldes edderfuglenes prædation. Dette tab dækker over mængden af muslinger tabt til bunden ved "vejrstress" og pga. forstyrrelser fra edderfuglene (muslinger som ikke ædes af edderfugle, men som falder af når edderfugle rykker de muslinger af nettet som ædes) samt tabet pga. prædation fra søstjerner.

Resultaterne fra eksperiment II var ikke fyldestgørende nok til at bestemme præcist hvor mange muslinger, der endte på bunden, og hvor stor en andel heraf, der var forårsaget af edderfuglernes forstyrrelser. I litteraturen ses det, at når edderfuglene fouragerer på muslinger, der hænger frit i vandsøjlen, tabes en lige så stor del, som de spiser, på bunden (Ross & Furness, 2000). Når edderfuglen river en musling løs fra nettet, er der således en risiko for også at rive andre muslinger ned. De muslinger, der ender på bunden, kan også ædes af edderfuglene, men det vides ikke hvor mange muslinger, der ligger på bunden under opdrætsområderne, eller om edderfuglene også fouragerer på disse muslinger.

Observationer fra eksperiment III viser, at sandsynligheden for at en edderfugl dykker tæt på røret er 38%, mens sandsynligheden for at de dykker mellem rørene ligger på 8%. Det må således konstateres, at hovedparten af edderfuglene æder muslingerne på nettene, mens det er sandsynligt, at nogle af edderfuglene, der dykker mellem rørene, dykker ned på bunden efter muslinger.

Eksperiment III viste, at der på de to muslingeopdræt i gennemsnit var mellem 67-127 fugle pr. dag ved Sælkrogen og 23-45 fugle pr. dag ved As Vig i vinterperioden fra november 2013 til januar 2014. Den registrerede tendens til et højere antal individer ved Sælkrogen end ved As Vig underbygges af observationer foretaget i forbindelse med projektet af Hjørnø Havbrugs personale. Resultaterne viser, at antallet af edderfugle har ligget forholdsvist stabilt siden 2012, og at edderfugleflokkene har bestået af ca. 50-100 individer ved As Vig og >100 individer i Sælkrogen. Enkelte dage er der dog observeret over 200 i As Vig og omkring 500 individer ved Sælkrogen.

Antallet af edderfugle om sommeren er mere begrænset i de to områder, da de er primært repræsenteret af fugle fra mindre lokale bestande. Der observeres langt flere edderfugle i områderne, når trækende edderfugle ankommer i starten af september, og de forekommer i et stort antal vinteren over, se figur 4.22 og tendensen i Danmark på figur 4.18.



Figur 4.22. Estimerede antal edderfugle i Sælkrogen og As Vig baseret på tællinger i løbet af sommeren og efteråret i 2012.

Skræmmeforsøgene opsat af Hjørnø Havbrug A/S, nåede ikke at give målbare resultater, da udstyret brød sammen da det ikke kunne holde til vejrforholdene i området i efteråret. Der var dog en indikation af, at fugleskræmmerne, som anvender lyd, havde en effekt i Sælkrogen, da færre fugle end hidtil blev observeret i området.

## 4.7 Sammenfatning - Optimering og perspektivering

### Muslingesetling og biomasseudvikling

Muslingernes gydnings tidspunkt er afhængig af udviklingen i vandtemperaturen i forårsperioden. Jo varmere temperaturen er i forårmånederne op til gydningen, des tidligere tidspunkt for gydning.

Der kan registreres en markant forårstop af muslingelarver i forbindelse med gydningen i maj, mens der ikke ses en markant efterårstop af muslingelarver på nogle af opdrættene i 2012-2014. Resultaterne fra den intensive prøvetagning i 2014 viser dog, at der findes muslingelarver i vandet i stort set hele prøvetagningsperioden fra sidst i februar og frem til sidst i oktober. Set i forhold til Naturstyrelsens NOVANA prøvetagningsstationer i Ålborg Bugt og i Århus Bugt er de registrerede koncentrationer på projektets forsøgslokaliteter høje, hvilket tyder på, at der i begge områder er et stort potentiale for opsamling af muslingeyngel.

Undersøgelserne af larvernes størrelsesudvikling fra gydnings tidspunktet og frem mod setling viser, at larverne i forsøgsområderne befinder sig i vandfasen i 3-4 uger, hvilket indikerer at de er tæt på at udvise den maksimale længdevæksthastighed på ca. 10 µm pr. døgn.

Det vurderes, at det under optimale forhold og betingelser, dvs. uden nævneværdig prædation fra søstjerne eller edderfugle, er sandsynligt, at der kan produceres op til 22-25 tons muslinger pr. rør til høst om efteråret, min. 6 måneder efter setling. Et biomasseniveau af den størrelse pr. SmartUnit vil medføre en total biomasse på 2.200-2.500 tons per muslinge anlæg med 100 rør på 18,8 hektar (250m x 750m). Dette svarer til et produktionspotentiale på ca. 117 – 133 tons muslinger pr. hektar. Der er dog endnu ikke registreret produktion under optimale forhold.

Hvis produktionsperioden forlænges ind over vinterperioden kan det blive nødvendigt at nedsænke SmartUnits til bunden i vinterperioden for at undgå isskader uden markant tab af biomasse.

I forbindelse med situationer med markant prædation fra søstjerner og edderfugle er der blevet registreret en markant reduktion i produktionen på SmartUnits i begge opdrætsområder. Søstjerner kan således være af stor betydning for muslingernes overlevelse umiddelbart efter setling og i begyndelsen af vækstsæsonen, mens edderfugle efterfølgende kan tage over og kan have stor betydning for overlevelsen af de større muslinger i efterårs- og vinterperioden. I de tilfælde, hvor der observeres stigende prædation, eller hvor der er en formodning om, at prædation i form af søstjernelarver eller edderfugle kan være/blive væsentlig, er det vigtigt at reducere prædationen ved at lave foranstaltninger såsom børstning af SmartFarm nettene for at reducere antallet af søstjernelarve eller sætte tiltag i gang, der holder edderfuglene væk fra produktionsanlæggene for at minimere tab af biomasse og sikre og optimere vækst og biomasseudvikling i anlæggene.

### Prædation af søstjerner og edderfugle

Den tidsmæssige hovedforekomst af søstjernelarver er juni-juli måned. Der registreres større koncentrationer af søstjernelarver i As Vig end i Sælkrogen. I As Vig 2014 blev det registreret, at søstjernelede ca. 14 dage efter muslingerne, og at der efterfølgende var hård prædation på muslingerne på SmartUnits, fordi muslingerne havde en størrelse som søstjernele effektivt kunne æde.

20 års data fra NOVANA-overvågningen i Århus Bugt viser, at søstjerne- og muslingelarver forekommer på samme tidspunkt af året, og det antages derfor, at muslinger dyrket i opdræt har bedst mulighed for at vokse sig ud af søstjernernes størrelsespræferenceområde, hvis de setter tidligt på sæsonen, og hvis fødegrundlaget er tilstrækkeligt til at sikre en optimal vækst, så de når at blive så store, at de ikke græsses effektivt af de nysetlede søstjerner.

En præventiv foranstaltning mod settlingen af søstjerner kan være at folde produktionsnettene op omkring SmartFarmrøret umiddelbart efter settlingen af muslinger og inden settlingen af søstjerner, fordi søstjerne fortrinsvist setter på de nederste sektioner af opdrætsnettene. Tidsforbruget ved opfoldning af nettet med den nuværende praksis skal optimeres og metoden skal udvikles, hvis den skal være anvendelig i praksis.

Afbørstning af produktionsnettet kan reducere antallet af søstjerner betragteligt.

Det er vigtigt, at produktionsnettene er rengjorte for filamentøse alger, inden settling af muslinger finder sted i begyndelsen af juni, fordi muslingerne sidder på de filamentøse algers yderste skud, og derved sidder mere løst og kan børstes af eller falder af, når algerne henfalder. Ynglen, der sidder inde på selve produktionsnettene, sidder bedre fast og børstes ikke så nemt af.

Edderfuglene har deres hovedforekomst i projektområdet i forbindelse med træktiden i efterårs og vinterperioden. I sommerperioden registreres en lille fast bestand i projektområdet, som vurderes at være af mindre betydning for produktionen på muslingeopdrættene.

Den mest effektive metode forventes at være opsætning af net rundt om opdrætsområdet. Opsætning af net er dog en dyr og besværlig metode, da det kræver en del arbejdskraft til opsætning og nedtagning samt vedligeholdelse. Endvidere bliver nettene udsat for påvækst/bio-fouling, der nedsætter vandgennemstrømningen ind til muslingerne. Nettene vil også have en visuel effekt, som kan medføre konflikter med andre brugere.

Erfaringer med skræmmeeffekter viser, at de fleste metoder har en begrænset effekt. Bortskræmning kan være enten med "fugleskræmsler", larm over og under vandet, pyroteknik, laserlys eller ved at jage edderfuglene med båd. Hver for sig har metoderne begrænset effekt og edderfuglene vænner sig hurtigt til dem.

De enkeltstående tiltag, der er gjort i projektet med motorjolle sejlads, auditiv og visuel skræmme-opstillinger på anlæggene, viste ikke en tydelig effekt og kan vurderes til ikke at være effektive. Skræmmeteknikker er påvist mest effektive, når de bliver kombineret med andre metoder, og når de består af uregelmæssige gentagelser, så edderfuglene ikke vænner sig til metoden.

En anden strategi, der kan anvendes for at mindske tabet på grund af edderfugle, kunne være at høste muslingerne før edderfuglene ankommer i efteråret. I så fald vil muslingerne ikke nå at vokse sig så store som de ville have gjort ved at hænge længere tid, men til gengæld kan man undgå tabet fra prædationen, som forventes at blive mere intensiv, efterhånden som flere og flere edderfugle finder området.

## Referencer

Bayne, B.L. (1965) Growth and the delay of metamorphosis of the larvae of *Mytilus edulis* (L.), *Ophelia*, 2:1, 1-47.

Bustnes, J. O. (1998). Selection of blue mussels, *Mytilus edulis*, by common eiders, *Somateria mollissima*, by size in relation to shell content, *Canadian Journal of Zoology* 76, 1993–1996.

Dansk Ornitologisk Forening (DOF) (2014) Ederfugl (*Somateria mollissima*) <http://www.dofbasen.dk-/ART/art.php?art=02060>. Sidst set på d. 26-11-2014.

Galbraith, C. (1992). Mussel farms, their management alongside eider ducks. Scottish Natural Heritage.  
Gandolf, A. (2004): Dyr i natur og museum, Zoologisk Museum, Nr. 1.

- Guillemette, M., Ydenberg, R.C. & Himmelman, J.H. (1992). The role of energy intake rate in prey and habitat selection of common eiders *Somateria mollissima* in winter: a risk-sensitive interpretation. *Journal of Animal Ecology* 61 (3). 599-610.
- Guillemette, M. (1993). Habitat selection by common eiders in winter and its interaction with flock size. *Canadian Journal of Zoology* 71. 1259-1266
- Hamilton, J., Nudds, T.D. & Neate J. (1992). Size-selective predation of blue mussels (*Mytilus edulis*) by common eiders (*Somateria mollissima*) under controlled field conditions the Auk 116 (2). 403-416.
- Jacobs P., et al (2014). Growth of juvenile blue mussels (*Mytilus edulis*) on suspended collectors in the Dutch Wadden Sea, *Journal of Sea Research* 85, 365-371.
- Kirk, M., Esler, D., & Boyd, W. (2007). Morphology and density of mussels on natural and aquaculture structure habitats: implications for sea duck predators. *Marine Ecology Progress Series*, 346, 179–187.
- Larsen, J., & Guillemette, M. (2000). Influence of annual variation in food supply on abundance of wintering common eiders *Somateria mollissima*. *Marine Ecology Progress Series*, 201, 301–309.
- Laursen, K., & Møller, A.P. (2014) Long-Term Changes in Nutrients and Mussel Stocks Are Related to Numbers of Breeding Eiders *Somateria mollissima* at a Large Baltic Colony. *PLoS ONE* 9(4). 1-6.
- Nehls, G. (2001) Food Selection by Eiders - Why Quality Matters. *Wadden Sea Newsletter* (1). 39-41.
- Nyström, K.G.K., & Pehrsson, O. (1988). Salinity as a constraint affecting food and habitat choice of mussel-feeding diving ducks. *Ibis*, 130, 94–110.
- O'Neill, S. et al. (1983): The effects of size-selective feeding by starfish (*Asterias Vulgaris*) on the production of mussels (*Mytilus edulis*) cultured on nets. *Aquaculture*, 35, 211-220.
- Pechenik et al.(1990) The influence of food concentration and temperature on growth and morphological differentiation of blue mussel *Mytilus edulis* L. larvae, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 136, pp. 47-64.
- Ross, B.P. & Furness, R.W. (2000). Minimising the impact of eider ducks on mussel farming. *Ornithology group, University of Glasgow*. 1-54.
- Søegren, C. (2014), Impact of Eiders on Cultures of Blue Mussels - A study in mussel predation of common eiders at two mussel farms at Hjørnø Havbrug in Horsens Fjord, *Speciale ved DTU aqua og Orbicon*.
- Tørring D.B. et al (1995-1997): DSC Rapport: Nye Opdræsteknikker (Delrapport 1, Bilag C), [http://forskning.skaldyrcenter.dk/media/31659/Afsluttende\\_rapport\\_Nye\\_OT.pdf](http://forskning.skaldyrcenter.dk/media/31659/Afsluttende_rapport_Nye_OT.pdf)
- Tørring D. og Petersen J.K. (2008). Blåmuslingeprojekt fase 3-integration og optimering af produktionsformer. DSC Rapport [http://forskning.skaldyrcenter.dk/media/31713/Blaamuslingeprojekt\\_III\\_-\\_Rapport.pdf](http://forskning.skaldyrcenter.dk/media/31713/Blaamuslingeprojekt_III_-_Rapport.pdf)
- Zimnes (Weblink 2015): Zooplankton Identification Manual for North European Seas: <http://192.171.193.133/detail.php?sp=Brachiolaria%20stage>.
- Walne P.R., (1965). Observations on the influence of food supply and temperature on the feeding and growth of the larvae of *Ostrea edulis* L., *Fishery Invest., Lond., II*, Vol. 24: 1-45.
- Widdows L., (1991) Physiological ecology of mussel larvae, *Aquaculture* 94, 147-163.
- DMI (2014): <http://www.dmi.dk/vejir/arkiver/maanedsaesonaar/201401/vejret-i-danmark-foraar-2014/>

## 5 NÆRINGSSTOFINDHOLD I MUSLINGER

Af Per Andersen, Orbicon; Jonathan Carl, Orbicon; Susan Holdt, DTU Fødevareinstituttet og Goncalo S. Marinho, DTU Miljø

I forbindelse med kompensationsopdrætt er det afgørende, at høsten finder sted på det tidspunkt af året, hvor kvælstof- og fosforindholdet i muslingerne er optimalt. På den baggrund er kvælstof- og fosforindholdet i muslinger blevet undersøgt over året.

Der blev udtaget prøver af muslingerne i muslingeanlæggene ved Sælkrogen og i As Vig på forskellige tidspunkter i løbet af året. De udtagne prøver opbevares i en spand, og tages med tilbage til laboratoriet. I laboratoriet udtages der en tilfældig prøve af ca. 1 kg muslinger til bestemmelse af indholdet af kvælstof og fosfor. Prøverne udtages samme dag som de indsamles på anlæggene. De muslingeprøver, der skal analyseres for indholdet af kvælstof og fosfor, renses for tang og dyr ved brug af skalpel og pincet. De færdige prøver pakkes i isanposer sammen med det vand, der er afgivet i spanden, og prøven sendes til analyse hos det akkrediterede laboratorium Eurofins eller til laboratoriet på DTU Miljø og DTU Fødevareinstituttet, hvor indholdet af kvælstof og fosfor bliver bestemt for hele muslingen inkl. skal.

Til bestemmelse af gennemsnitstørrelse udtages og måles en tilfældigt udtaget repræsentativ delprøve på min. 100-200 muslinger. Muslingerne i delprøven måles med 1 mm nøjagtighed ved brug af millimeterpapir. Delprøven vejes, så antallet og størrelsessammensætning kan relateres til hele prøven.

Den generelle sammensætning af muslingerne vises i tabel 5.1. Tørvægten ligger på ca. 46-67%, og de andre indholdsstoffer beskrives nedenfor.

Tabel 5.1 Biomassesammensætningen (udtrykt som våd- eller tørvægt) i muslinger indsamlet i As vig eller Sælkrogen på smartfarms dyrkningsnet i 2012-2013. Tør- og vådvægt markeret med røde tal er baseret på Orbicons data, resten af data er fra analyser foretaget af DTU. Tørvægt og askevægt er hhv. tørret (121 °C) og afbrændt biomasse ved 550 °C, lipid% er den totale mængde lipid. CP betyder "crud protein".

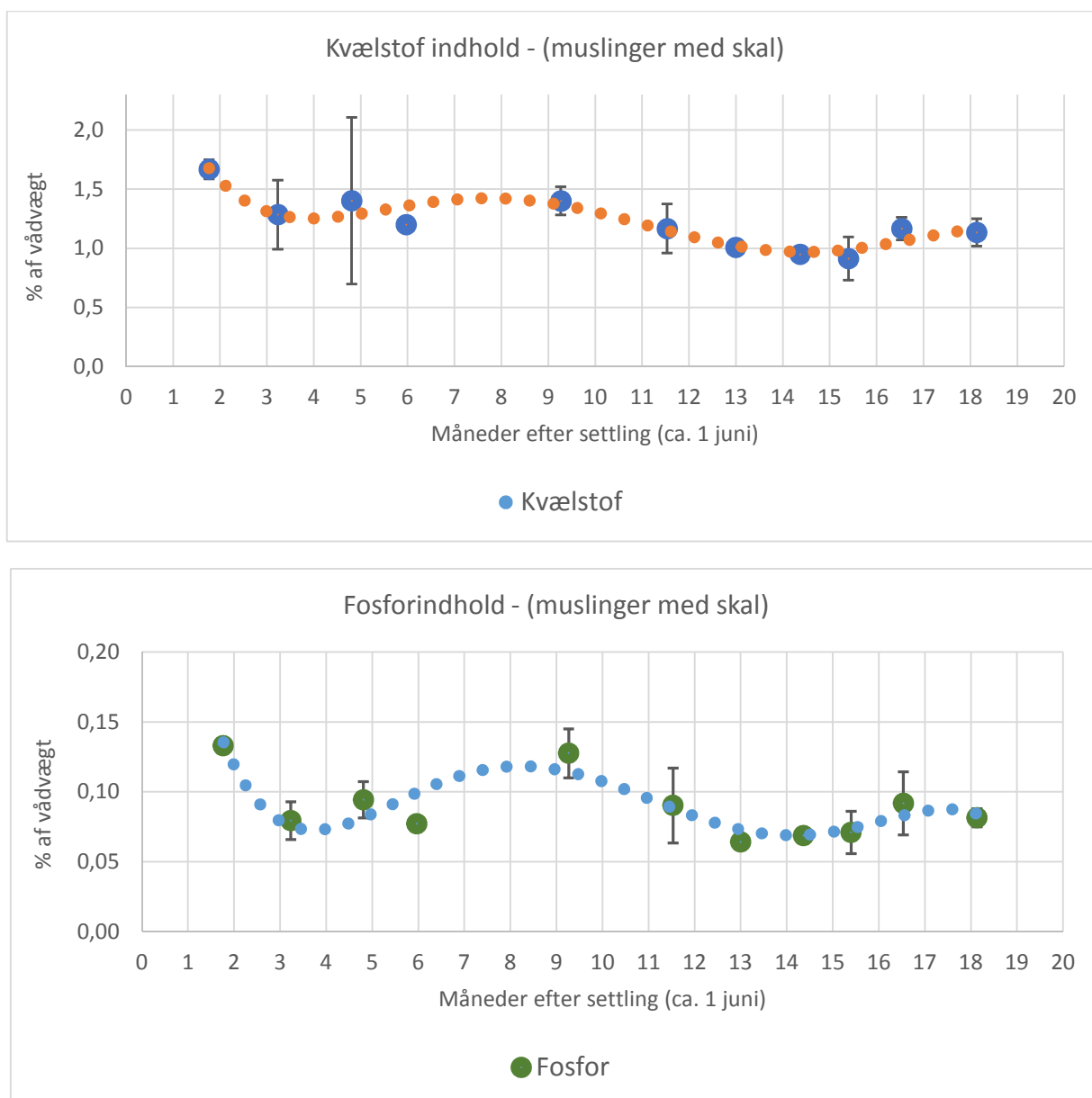
### Hele muslinger

|                            | Sammensætning % tørvægt |        |       |              |      |      | Sammensætning (% vådvægt) |        |       |              |      |      | Størrelse |
|----------------------------|-------------------------|--------|-------|--------------|------|------|---------------------------|--------|-------|--------------|------|------|-----------|
|                            | Tørvægt %               | Aske % | CP %  | Total lipid% | N %  | P %  | % Væske                   | Aske % | CP %  | Total lipid% | N %  | P %  |           |
| 24-07-2012 As Vig          | 67,30                   | 77,85  | 16,03 | 3,54         | 2,56 | 0,19 | 32,70                     | 52,39  | 10,79 | 2,38         | 1,73 | 0,13 | 2-4mm     |
| 24-07-2012 Sælkrogen       | 67,30                   | 76,82  | 14,95 | 3,36         | 2,39 | 0,20 | 32,70                     | 51,70  | 10,06 | 2,26         | 1,61 | 0,14 | 3-8mm     |
| 07-09-2012 As Vig          | 63,20                   | 77,96  | 16,04 | 1,71         | 2,57 | 0,13 | 36,80                     | 49,27  | 10,14 | 1,08         | 1,62 | 0,08 | 5-10mm    |
| 07-09-2012 Sælkrogen       | 63,20                   | 80,66  | 11,19 | 1,47         | 1,79 | 0,12 | 36,80                     | 50,98  | 7,08  | 0,93         | 1,13 | 0,08 | 8-16mm    |
| 04-10-2012 Sælkrogen       | 63,90                   | 86,06  | 8,84  | 1,16         | 1,41 | 0,16 | 36,10                     | 54,99  | 5,65  | 0,74         | 0,90 | 0,10 | 8-25mm    |
| 26-06-2013 Sælkrogen       | 52,81                   |        | 11,93 | 1,08         | 1,91 | 0,12 | 47,19                     |        | 6,30  | 0,57         | 1,01 | 0,06 |           |
| 6-8-2013 Sælkroge 9 masker | 52,16                   |        | 11,37 | 1,52         | 1,82 | 0,13 | 47,84                     |        | 5,93  | 0,79         | 0,95 | 0,07 |           |
| 10-09-2013 AS Vig          | 45,91                   |        | 15,11 | 1,94         | 2,42 | 0,13 | 54,09                     |        | 6,94  | 0,89         | 1,11 | 0,06 |           |
| 15-10-2013, Midt AS Vig    | 49,48                   |        | 13,61 | 1,87         | 2,18 | 0,23 | 50,52                     |        | 6,73  | 0,93         | 1,08 | 0,11 |           |
| 15-10-2013, 6 siden AS Vig | 46,35                   |        | 17,33 | 2,10         | 2,77 | 0,23 | 53,65                     |        | 8,03  | 0,97         | 1,28 | 0,11 |           |

### 5.1 Kvælstof- og fosforindhold i muslinger

Koncentrationerne af kvælstof og fosfor, angivet som procent af vådvægten af hele muslinger, gennem perioden fra 2 til 19 måneder efter settling (estimeret til at være 1. juni) ses i figur 5.1.





Figur 5.1: Procent kvælstof (N) og fosfor (P) af vådvægt af hele muslinger (inkl. skal) på anlæg i Horsens Fjord. Værdierne er baseret på 34 analyser fordelt på 11 forskellige prøvetagninger. Analyserne er udført af Eurofins.

## Kvælstof

Indholdet af kvælstof i hele muslinger (med skal) varierede gennem perioden. I mindre muslinger (skallængde = 1-3,5 cm) indsamlet indenfor de første 10 måneder efter setting var kvælstofindholdet mellem 1,20 - 1,67 % kvælstof i forhold til vådvægt (gennemsnit 1,37 % (N=11)). Kvælstofindholdet i store muslinger (skallængde >4,5 cm), fra 12 - 19 måneder efter setting, lå i gennemsnit på 0,91 - 1,17 % i forhold til vådvægt (gennemsnit 1,06 % kvælstof (N=11)), Tabel 5.2.

Forskellen i kvælstofindholdet mellem de små og store muslinger er både et resultat af, at mindre muslinger har en højere kødprocent end store muslinger (kød indeholder forholdsvis mere kvælstof end resten af muslinger f.eks. skallerne (Riisgård, 2014)), og at større kønsmodne muslinger har mest kvælstof lige før gydning og taber kvælstof i form af kønsprodukter, når de gyder. Gydning finder sted primært i foråret, mens der kan registreres "klatgydninger" i løbet af sommeren og det tidlige efterår.

Tabel. 5.2: Indholdet (% vådvægt) af kvælstof (N) og fosfor (P) i mindre og store muslinger fra 3-19 måneder efter nedslåning. Analyserne er foretaget af Eurofins.

| Størrelses gruppe | Skallængde (cm) | Indsamlingsperiode | Indhold (% vådvægt)<br>hele muslinger (inkl. skal) |                         |                         |                         |
|-------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                   |                 |                    | Kvælstof (N)<br>% vådvægt                          |                         | Fosfor (P)<br>% vådvægt |                         |
| Mindre muslinger  | 1-3,5 cm        | juli-maj 2012/2013 | 1,37 %                                             | (1,20-1,67 %)<br>(N=34) | 0,10 %                  | (0,08-0,13 %)<br>(N=34) |
| Store muslinger   | ≥4,5            | maj-dec 2013       | 1,06 %                                             | (0,91-1,17 %)<br>(N=34) | 0,08 %                  | (0,06-0,09 %)<br>(N=34) |

## Fosfor

Indholdet af fosfor i mindre muslinger (skallængde = 1-3,5 cm) de første 10 måneder efter settling var mellem 0,08-0,13 % fosfor i forhold til vådvægt (gennemsnit 0,10 % (N=15)). Fosforindholdet i store muslinger (skallængde >4,5 cm) fra 12 - 19 måneder efter settling var i gennemsnit på 0,06-0,09 % i forhold til vådvægt (gennemsnit 0,08 % fosfor (N=14)), Tabel 5.2.

## Optimal kvælstof fjernelse fra området

Ved at sammenstille estimaterne af biomassen af muslinger i opdrættene på forskellige tidspunkter (se kapitel 2) med de målte koncentrationer af kvælstof i hele muslinger, kan den optimale fjernelse af kvælstof på forskellige tidspunkter beregnes. I oktober-november blev der beregnet en muslingebiomasse på ca. 22 tons vådvægt pr. SmartUnit. Ved høst vil der således kunne fjernes 20 - 25 tons muslinger per rør. Da der kan være ca. 100 rør i et muslingeanlæg, giver det et fjernelsespotentiale på ca. 27 - 34 tons kvælstof pr. muslingeanlæg for mindre muslinger (<3 cm), og ca. 24 - 29 tons kvælstof pr. muslingeanlæg for større muslinger (>4,5 cm). Det svarer til ca. 1,4-1,8 ton kvælstof pr. ha for mindre muslinger og ca. 1,2-1,5 ton kvælstof pr. ha for store (konsum) muslinger (>4,5 cm).

## 5.2 Proteiner og aminosyrer

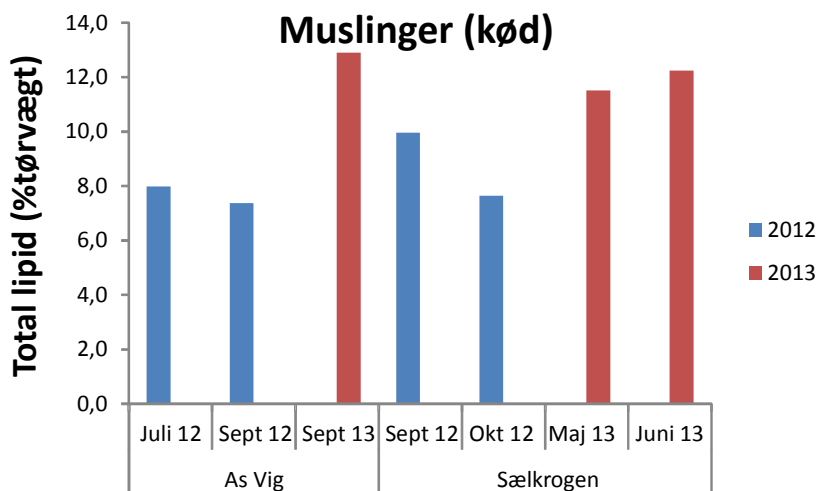
Meget af kvælstoffet i muslinger er bundet i proteiner, aminosyrer samt andet cellemateriale. Aminosyreprofilen er vigtig for næringsværdien af muslinger som fødevarer, men især for potentialet inden for foderområdet. Mere forklaring findes under tangafsnittet for indholdsstoffer.

Proteinindholdet varierer mellem 6,6-38,7% i de forskellige prøver. Glutamin og aspergin var de aminosyrer, der udgjorde størstedelen af aminosyreandelen, og tilsammen udgjorde de to aminosyrer fra 20-34% af den totale aminosyre. Summen af de essentielle aminosyrer var på 0,45 g aminosyrer pr. g protein.

Ved udregning af den essentielle aminosyre score (se mere i Marinho et al., 2015) sås det tydeligt, at histidin var den første begrænsende aminosyre med værdier på 0,36-0,68 og med en anbefaling fra WHO/FAO/UNU (2007) på over 0,52 (data og udregninger ikke vist), der udtrykker kvaliteten af proteinet ved at tage højde for den første begrænsende aminosyre. Dette resulterede i score på  $44 \pm 13$  for As Vig og  $54 \pm 10$  for Sælkrogen.

## 5.3 Lipider og fedtsyrer

Indholdet af lipider og fedtsyresammensætningen er vigtig for næringsværdien og især EPA og DHA (se forklaring under tangafsnittet kap 9). Lipidindholdet var gennemsnitligt  $9,94 \pm 2,31\%$  af tørvægt (figur 5.2), hvoraf PUFA gennemsnitlig udgjorde 37,6% af FAME (heraf EPA og DHA tilsammen 26,1%), de enkeltumættede 19,8% og de mættede fedtsyrer 27,0% (tabel 5.4). Det samlede omega 3 (n-3) indhold udgør 31,4% af FAME. FAME udgør ca. 84% (summen) af den totale mængde lipider, da der også er andre fedtstoffer, end dem man kan lave på methyl ester-form for at kunne analysere dem.



Figur 5.2 Den totale mængde lipider fundet i muslingerne (% af tørvægt) for prøver indsamlet fra dyrkningsnet i As Vig og Sælkrogen i perioden 2012-2013.

## 5.4 Vitaminer og mineraler i muslinger

Indholdet af vitaminer i muslingerne fra As Vig og Sælkrogen er for Vit E (alpha tocopherol) og Vit A (beta-karoten) på hhv. <0,5-194 mg/100g og under 0,2 mg/100g. Vit A, målt som mængden af retinol, blev ikke detekteret. Man ville heller ikke forvente at finde andet pigment (beta-karoten) i muslingerne, end det de havde fået ved filtrering af mikroalger.

Calcium varierer fra 5,4 til 343 g/kg i muslinger uden skal, men har koncentrationer på 242-332 g/kg med skaller (tabel 5.1). For kalium ligger værdierne indenfor 1,3-13,9 g/kg, mens natrium varierer imellem 6,8-50,9 g/kg for både muslinger og muslinger inkl. skaller. Der er ingen jod i muslingerne, men 0,068-1,83 g/kg jern, og flere data af spormetallerne såsom zink, cobolt, krom, selen og mangan kan ses i tabel 5.1.

Af de problematiske stoffer ses meget lave koncentrationer (<0,01-0,34 mg/kg) af uorganisk arsen (samt total arsen). Muslingerne har koncentrationer (0,21-1,4 mg/kg) af bly under grænseværdier i både Frankrig og USA for fødevarer og EU for kosttilskud, og dette gør sig også gældende for kviksølv (<0,01-0,06). Der er ingen grænseværdi for kobber, der i disse muslingeprøver fra As Vig og Sælkrogen 2012-2013 med og uden skaller, havde koncentrationer på 2,0-17,3 mg/kg.

Cadmium (0,07-0,95 mg/kg) ligger under EU grænseværdien for kosttilskud, men fem ud af de 17 prøver lå over den franske grænseværdi for fødevarer (0,5 mg/kg).

Se mere om grænseværdier i kapitel 9.4.

## Referencer

Hans Ulrik Riisgård (2014). Mini-mussels' - New Opportunities and Environmentally Friendly Production. Fish Aquac J. 5:3.

Marinho, G.S., Holdt, S.L., Angelidaki I (2015a). Year-round variations in the amino acid profile and protein nutritional value of *Saccharina latissima* cultivated in a commercial IMTA system. Journal of Applied Phycology, DOI: 10.1007/s10811-015-0546-0

## 6. ANVENDELSE AF KOMPENSATIONSOPDRÆTTEDE MUSLINGER

Af Ditte Tørring, Jonathan Carl og Per Andersen, Orbicon

Da muslingeproduktion med næringskompensation for øje er fokuseret på at producere store muslinge-biomasser pr. areal på kort tid og med et minimum af arbejdsindsats, er de producerede muslinger typisk karakteriseret ved at have relative tynde skaller samt små- og uens skalstørrelser. Disse karakteristika, sammen med det faktum, at der skal hentes forholdsvis store mængder op af vandet over relativ kort tid, gør, at kompensationsmuslinger ikke umiddelbart er velegnet til det konsum muslingemarked, som vi kender i dag.

Et af formålene med projektet er at identificere et marked for de producerede muslinger, og specielt at fokusere produktion af muslingemel, der kan indgå som et supplement eller erstatning for blandt andet fiskemel i foderprodukter til bl.a. akvakultur.

Dette afsnit indeholder en kort gennemgang af fiskemels betydning for foderproduktionen i dag samt en beskrivelse af de alternative proteinkilder, som fremover vil være i fokus på fodermarkedet, herunder muslinger. Derudover vurderes kompensationsmuslinger som supplement til den eksisterende produktion af muslinger til det ferske marked og den industrielle forarbejdningsindustri (konserves).

Muslingekød er karakteriseret ved at have et højt indhold af blandt andet proteiner, fedtsyrer samt de essentielle aminosyrer Lysin og Methionin, og disse komponenter udgør de primære byggesten i dyrefoder.

På verdensplan stiger produktionen af blandt andet opdrætsfisk og dermed også behovet for foderprotein. De naturlige fiskebestande af blandt andet tobis og ansjos, som er den primære kilde til animalsk protein i foder i dag, kan ikke dække det stigende behov, og der er derfor, globalt set, en stigende efterspørgsel på alternative proteinkilder.

Det fremtidige potentiale for at anvende kompensationsmuslinger til muslingemel vurderes umiddelbart som værende stort, men udfordringerne med at få adskilt det proteinholdige kød fra de kalkholdige skaller, på en økonomisk bæredygtig måde, er endnu ikke på plads. Denne problemstilling behandles her, og slutteligt fremlægges resultaterne fra de første pilotforsøg med fremstilling af muslingemel, som er gennemført i projektet.

### 6.1 Fiskemel og alternative proteinkilder

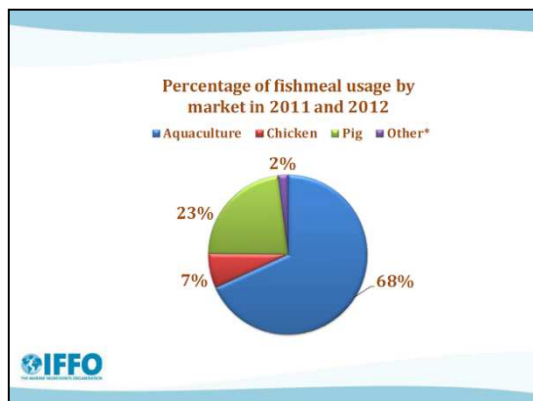
Protein består af en varierende sammensætning af 20 forskellige aminosyrer. Ved produktion i bl.a. akvakultur skal protein, eller rettere dets bestanddele af aminosyrer, tilføres hver dag gennem foderet i mængder, der svarer til dyrenes behov for aminosyrer til vedligehold, vækst og anden produktion som f.eks. æg, mælk og afkom. Behovet for protein varierer derfor i løbet af dyrenes livscyklus. Halvdelen af de 20 aminosyrer kan dyrene danne selv ud fra andre aminosyrer. De resterende betegnes som essentielle aminosyrer, som skal tilføres ved fodring (Hermansen *et al.*, 2011).

Fiskemel er et højkvalitets foderprodukt med et højt indhold af protein. Den kemiske sammensætning af fiskemel, specielt proteinindholdet, varierer afhængig af sæson og de fiskearter, som indgår i produktet. Fiskemel er en værdifuld kilde til at dække behovet for essentielle aminosyrer.

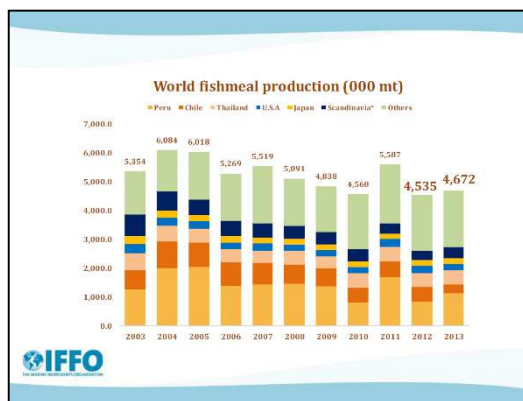
Fedtindholdet i fiskemel er artsspecifik, og normalt er den værdifulde olie trukket ud inden melfremstillingen. Dog indeholder fiskemel fra olieholdige fisk op til 9 % olie, som er rig på de flerumættede fedtsyrer, PUFA'er (Hertrampf, 2000). Fisks benmasse gør, at askeindholdet i fiskemel er relativt højt, og jo højere askeindhold des højere er mængderne af calcium, fosfor og magnesium. Fiskemel indeholder desuden en del selen og vandopløselige vitaminer.

Omkring 2/3 af proteinerne til akvakulturfoder stammer fra fiskemel og den høje fødeværdi, for især fisk, har været årsag til det intensive forbrug på verdensplan i akvakulturproduktionen. Omkostningerne til fiskemel er blandt andet begrænsende for hvor meget, der anvendes i foderet.

Fiskemel anvendes ikke alene ved akvakultur af fisk, men også i foder til fjerkræ, smågrise og endda kæledyr. Den procentvise fordeling imellem de enkelte dyregrupper er givet i figur 6.1.

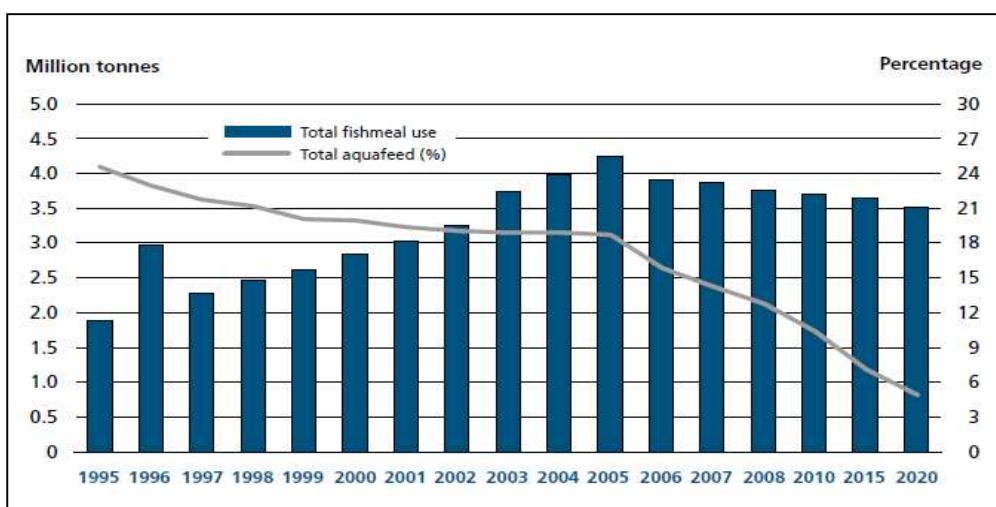


Figur 6.1 Forbruget af fiskemel fordelt på forskellige foderindustrier for 2011 og 2012 (kilde: IFFO).



Figur 6.2 Samlede produktion af fiskemel på verdensplan (kilde: IFFO).

Den årlige produktion af fiskemel har stabiliseret sig omkring 4-6 mil tons (figur 6.2), og det ser ikke ud til, at denne mængde ændres væsentlig i de kommende år, primært fordi de anvendelige fiskeriressourcer synes at være fuldt udnyttede (Chhorn, 1995). Tværtimod peger de nyeste tal fra FAO på, at fremtidens leveringer af industrifisk vil falde; fiskekvoterne bliver sat ned pga. mindre ressourcer, kontrollen på det uregulerede fiskeri bliver øget, og på den baggrund må man forvente, at der sker en øgning i forbruget af alternative og mere kosteffektive erstatomsprodukter til fiskemel. Selvom akvakulturbranchen, som vist i figur 6.3, er den største forbruger af fiskemel på verdensplan, er mængden af fiskemel, der anvendes i denne branche, på verdensplan faldet siden 2006, og det forudsiges, at selvom den globale akvakulturproduktion stiger, vil brugen af fiskemel i foderprodukterne falde yderligere. I figur 6.3 er disse tendenser og forudsigelser illustreret frem til 2020 (FAO rapport, 2012).



Figur 6.3. Årligt realiseret forbrug- samt forventet forbrug af fiskemel i akvakultur af fisk og skaldyr i perioden 1995 – 2020 (Kilde: FAO Rapport 2012).

## 6.2 Muslingemel – supplement til fiskemel

Som sagt står husdyrproduktionen over for en fremtidig udfordring i at supplere den stigende produktion med værdifuldt, proteinrigt foder, og muslinger er de seneste år kommet på banen som et alternativ til fisk som råvarer. Muslinger indeholder omkring 60 % råprotein, og muslingemel har et lavere indhold af akse, fosfor og kalcium end fiskemel (Jan Værum, in press). Muslingemels indhold af de essentielle aminosyrer, som lysin og metionin, ligger på samme niveau som for fiskemel, og dette tyder på at muslingemel i langt de fleste tilfælde ville kunne gå ind og erstatte eller supplere fiskemel som den primære proteinkilde i dyrefoder.

Tabel 6.1 viser en sammenligning af proteinindholdet samt indholdet af udvalgte essentielle aminosyrer (Methionin, Cystein og Lysin) i muslingekød, muslingemel, fiskemel samt andre udvalgte produkter, der ofte anvendes i foder (Lindahl 2013). Det ses her, at indholdet af de udvalgte komponenter for specielt muslingemelet lever op til de høje værdier, som findes i de andre foderingredienser, og ofte ligger værdierne på et højere niveau. Det skal dog gøres opmærksom på, at indholdet af protein i muslinger varierer over året, og er afhængig af blandt andet muslingernes fodermæssige tilstand og tidspunkt for gydning.

Tabel 6.1. Indholdet af protein og den %-vise andel af svovlrige aminosyrer (Methionin og Cystein) samt Lysin i hhv. muslingemel, fiskemel og andre produkter, der ofte anvendes i foderprodukter (efter Lindahl 2013).

|                                    | Mussel meat | Mussel meal | Fish meal | Rape cake | Peas | Soy cake | Wheat |
|------------------------------------|-------------|-------------|-----------|-----------|------|----------|-------|
| Protein, g kg <sup>-1</sup> DW     | 645         | 764         | 670       | 237       | 265  | 520      | 120   |
| Methionine, % of protein           | 1,8         | 2,5         | 2,8       | 2,0       | 1,0  | 1,4      | 1,6   |
| Methionine + Cystine, % of protein | 2,6         | 4,2         | 3,7       | 4,5       | 2,4  | 2,9      | 3,9   |
| Lysine, % of protein               | 6,0         | 7,7         | 7,4       | 5,6       | 7,1  | 6,2      | 2,8   |

## 6.3 Muslingeolie og flerumættede fedtsyrer

Hovedmarkedet for olier fremstillet fra marine ressourcer, primært fisk, er som råvarer til foder til akvakultur, men da marine olier er en væsentlig kilde til essentielle omega 3-fedtsyrer (EPA og DHA), er der også et stadigt voksende marked inden for funktionelle fødevarer, kosttilskud og lægemidler. På verdensplan fremstilles der således omkring 1 mio. tons fiskeolie ([www.999.dk](http://www.999.dk)), hvor af omkring 89 % forbruges af akvakultursektoren i form af foder (Tacon, 2008). Fiskeolie fremstilles i dag primært fra småfisk som tobis, brisling, og ansjoser, som fiskes primært til mel- og oliefremstilling. En mindre del fremstilles ved at udnytte biprodukter fra anden fiskeproduktion (afskær og fiskeben).

Specielt den grønlæbede musling fra New Zealand (*Perna canalicus*) har været i søgelyset de seneste år på grund af sit indhold af vigtige omega-3 fedtsyrer, og i dag fremstilles der olier fra denne musling som kosttilskud. I polske studier gennemførte man forsøg, hvor forsøgsgrupper på 50 patienter med ledgigt skulle indtage oliepillér som kosttilskud fremstillet fra hhv. grønlæbede muslinger og fisk. Efter 4 uger var der en signifikant nedsat smerte, som følge af gigten, hos de patienter som indtog muslingeolien og en bedre trivsel. Der var signifikant mindre forbedrende effekt hos de patienter som indtog fiskeolien, og flere bivirkninger ved indtagelsen af olien.

For at undersøge om vores hjemmehørende art af muslinger kunne have de samme egenskaber, udførte Annette Høyvald i 2009 et sammenlignende studie af fedsyreindhold- og sammensætning hos den New Zealandske grønlæbede musling, blåmuslingen (*Mytilus edulis*) og udvalgte nærliggende fiskeolier. Studiet kunne ikke påvise nævneværdige forskelle mellem indholdet af de vigtige Omega-3 fedtsyrer i de



undersøgte marine olier, men pegede på at indholdet af fedtsyrer, her triglycerider, i muslinger ændres, afhængigt af tilgængeligheden af næringsstoffer, fødesammensætning, sæson/årstid, temperatur og reproduktion-cyklus (Høyvald, 2009).

Generelt vurderes det, at fedtindholdet i muslinger er forholdsvis lavt, men at det eksisterende fedt primært befinder sig i den "sunde" kategori (umættede fedtsyrer). Resultater har vist, at ca. 40 % af de totale fedtsyrer i muslinger består af C 18:3, C 20:4, C 20:5 og C 22:6, og de fleste af dem hører til de essentielle Omega-3 fedtsyrer (Berge og Austreng, 1989).

## 6.4 Muslinger til foder

### Dansk erfaringer – fermentering af muslinger til foder

Det dansk ejede firma European Protein A/S er en virksomhed, der anvender teknologier baseret på fermentering med mælkesyrebakterier til at omdanne biprodukter, fra blandt andet fødevarerindustrien, til anvendelige foderprodukter.

I løbet af projektet modtog European Protein A/S flere prøveleverancer af muslinger fra Hjørnø Havbrug med det formål at klarlægge, om muslinger er et velegnet produkt i fermenteringskæden, og derudover om de kan anvendes til fremtidige foderprodukter til svin, kødhøns og æglæggende høner.

De første forsøg hos European Protein A/S viste, at gæringsprocessen med mælkesyrebakterier forløb planmæssigt, men muslingernes relative høje indhold af væske, som skulle nedbringes inden forgæringsprocessen, gjorde, at processen umiddelbart blev vurderet til at være for dyr i forhold til udbyttet. Inden igangsætning af gæringsprocessen blev muslingerne knust i en skruepresse, og denne forbehandling fungerede hensigtsmæssigt i forhold til den videre behandling.

Ved senere testforsøg viste det sig, at den væske, som udskilles i forbindelse med skruepresning af muslingerne, kunne udnyttes i højere grad i selve fermenteringsprocessen, og herved kunne omkostningerne i forbindelse med forbehandlingen nedbringes til et acceptabelt niveau.

Det er European Protein A/S's vurdering, at potentialet for at udnytte muslinger til fremstilling af et højproteinprodukt er stort, men at der stadig er behov for udvikling og optimering af processerne omkring forbehandling og fermentering, før udnyttelsen kan blive rentabel. Målet skal blandt andet være at skabe en form for muslingepasta med 50-55% vand.

### Rå hele muslinger som foder

I dag anvendes forskellige muslingearter til fodring af blandt andet rejer mange steder i verden, og muslingerne fodres enten som rent produkt (kød) eller som en blanding 50/50 (Hertrampf og Piedad-Pascual, 2000). Foderforsøg med muslingekød til rejer i Asien viste, at rejerne foretrak at spise muslingerne hele, enten som frosne eller nykogte. Dette gav også de bedste vækstresultater sammenlignet med udfordring af fremstillede foderblandinger (sammensat foder), og var særlig signifikant i larvestadierne og hos voksne individer (Hertrampf og Piedad-Pascual, 2000).

## 6.5 Udfordring – adskillelse af kød og skaller

Den primære udfordring med at anvende muslinger til foderindustrien har været at adskille de kalkholdige skaller fra det proteinholdige kød. Forarbejdes muslingerne inkl. skalmaterialet bliver askeindholdet alt for stort, og det relative proteinindhold for lavt, og produktet bliver uinteressant som foder for langt de fleste produktionsdyr.

Triple Nine Group modtog tidligt i projektet 20 tons muslinger til pilottest af forarbejdning og produktanalyse. Oprindeligt var hensigten, at firmaet, som er en af de største producenter af fiskemel og fiskeolie på globalt plan, skulle arbejde med melproduktionen igennem en længere periode, og at man i projektet ville ende op med et melprodukt.

Det stod dog hurtigt klart, at det produktionsudstyr, som til daglig anvendes til fremstilling af fiskemel, ikke kunne anvendes til behandling af muslinger. Muslingernes skaller og byssustråde tilstoppede fabrikens standardanlæg, og den efterfølgende rengøring var besværlig og tidskrævende. Vurderingen fra Triple Nine Group (pers. komm. Kjeld Simonsen, TNG), umiddelbart efter testkørslerne var, at såfremt muslinger fremover skulle anvendes til melproduktion, ville en forkogning, hvor skaller og kød blev adskilt, være nødvendigt. Alternativt skulle fabrikken bygge en særskilt produktionslinje til muslinger, hvilket ville kræve relative store mængder af muslinger. Kjeld Simonsen vurderede, at det ville kræve mindst 200.000 tons muslinger om året, for at en sådan proceslinje kunne være rentabel at etablere.

Siden disse første testkørsler har Triple Nine Group, alene og i samarbejde med Nofima AS, forsøgt sig med testkørsler af muslinger, både ved en konventionel damptørring, som anvendes til fremstilling af fiskemel, samt ved en tørring med en pilotskala mølletørrer. Forsøgene var ikke succesfulde, sandsynligvis på grund af at muslingernes hængsler (proteinligamentet, der er bindingen mellem de to skaller) er for svære at bryde, eller at det udskiller en klæbrig substans, der bliver et problem i maskinerne (pers. komm. Ola Flesland, R & D Manager, Triple Nine Group).

Siden disse undersøgelser har der været en massiv interesse for at løse problematikken omkring separering af muslingernes skaller og kød. Specielt fra norsk side har der det seneste år været stor fokus på at udvikle mel fra muslinger til laks og ørreder. Leroy Seafood Group og Miljøstiftelsen Bellona er gået sammen om at udvikle muslinger som foderressource til fiskehavbrug, og virksomhederne er gået sammen om et fælles selskab kaldet Ocean Forrest, som blandt andet skal arbejder med denne problemstilling ([Bellona, 2014](#)).

Derudover er der været flere danske initiativer i gang med at formulere forskellige forskningsprojekter, der netop har som primær målsætning at undersøge anvendelsen af forskellige teknikker, der skruepresser, fermenterer eller hydrolyserer muslingerne, og derved får adskilt skaller og kød på en økonomisk bæredygtig måde.

## 6.6 Muslinger til human konsum

Den danske muslingeindustri er primært interesseret i størrelsen af bløddelen i den enkelte musling, også kaldet kødklumpen, som gerne skal nå op på 1,5–2,0 g/musling, hvis de skal anvendes som konserverprodukt, og omkring 3 g, hvis de skal anvendes som ferskvareprodukt.

Muslinger, der i dag anvendes i industrien, leveres primært fra muslingeerhvervet som skrabede bundmuslinger fra naturlige muslingebanker i Limfjorden og de indre danske fjorde. Bundmuslingerne er karakteriseret ved relativ gamle individer (2-3 år), tykke skaller samt relativ ens længder over 4,5 cm.

Kompensationsmuslinger er dyrket med henblik på at opnå så høj en biomasse pr. areal som muligt, og når biomassen er højest, er disse muslinger uens i størrelserne, typisk mindre end 4,5 cm (ca. 2-3 cm) og relativ tyndskallede, og derfor er de ikke umiddelbart egnede til de eksisterende produktionsanlæg.

Det er tidligere beskrevet, at det kan lade sig gøre at opdrætte muslinger i Limfjorden med en kødklump svarende til størrelsen på 45 mm store bundmuslinger i løbet af 6-10 måneder, og i 2011 gennemførte Dansk Skaldyrcenter (DSC) i samarbejde med muslingeproducenten Vilsund Blue A/S pilotforsøg, der skulle udvikle metoder, så den nuværende industri fremadrettet kunne modtage tyndskallede muslinger (Petersen og Mattesen, 2011).

De første testkørsler med muslinger i anlægget blev gennemført i november måned, da muslingerne var ca. 6 måneder gamle. På anlægget havde fabrikken på forhånd indstillet maskineriet på små, opdrættede muslinger, men den lille gennemsnitlige størrelse gjorde en egentlig test umulig, fordi for mange af muslingerne faldt igennem i sorteringen og satte sig fast i render, transportbånd mm. Endvidere blev kødklumpen vurderet til at være for lille til at have kommerciel interesse (Petersen og Mattesen 2011). I det efterfølgende forår blev der lavet yderligere test i anlægget, og udstyret blev løbende modificeret, men der opstod specielt problemer under adskillelsen af muslingerne fra byssus, hvor processen var forbundet med stor ødelæggelse fra muslingernes skaller på det eksisterende udstyr.

I maj måned, hvor muslingerne havde en alder på ca. 1 år, blev der for første gang gennemført succesfulde kogeforsøg. 13 tons muslinger blev sendt til kogning som resulterede i 4,4 t kød med en gennemsnitlig kødprocent på 33,8 %. De kogte muslinger havde en gennemsnitlig størrelse af kødklumpen på ca. 1,5-2,0 g og var dermed kommercielt meget attraktive. I rapporten fra DSC blev det konkluderet, at muslinger opdrættet i kompensationsopdræt kan anvendes i kogeindustrien, men at de skal have en vist størrelse og alder for at kunne håndteres i selv et modificeret industrielt anlæg, og før de er interessante at anvendt til human konsum som løsfrosne eller konserverede muslinger (Petersen og Mattesen, 2011).

I et andet forskningsprojektet, MarBioShell (Riisgård H.U. 2013), blev der lanceret en ide om at udnytte muslinger, der ikke har nået størrelsen for konsummuslinger på 4,5 cm, og "brande" produktet som "mini-muslinger". I projektet beskrives, at 35 mm store muslinger dyrket i Storebælt indeholder lige så meget kød som en 45 mm musling skrabet i Limfjorden (tørvægten af kød udgør 15% af vådvægten med skal) (Risgård H.U. 2013). Projektet peger på, at fremtidens udfordringer for konceptet "minimuslinger" primært er produkt- og markedsudvikling samt investeringer i etablering og drift af store rationelle dyrkningsanlæg.

Anvendelse af kompensationsopdrættede muslinger i bundkultur er undersøgt og kan udgøre en væsentlig afsætningsmulighed.

## 6.7 Konklusion og perspektivering

Det er inden for projektet ikke lykkedes at bane vejen for anvendelsen af muslinger dyrket ved compensation, men projektets resultater har bragt udviklingen et vigtigt skridt videre mod dette mål.

Inden for de næste par år kan der måske udvikles en brugbar og rentabel metode, der kan adskille muslingekødet fra deres skaller, så muslinger kan yde et væsentligt supplement til foderindustrien og bl.a. erstatte produkter som soya- og fiskemel. Nye undersøgelser viser, at en brugbar metode evt. kunne være presning af hele muslinger.

Hvis egnede forbehandlingsmetoder udvikles og stabile store leverancer sikres, vil melproducenter som f.eks. Triple Nine Group kunne være interesseret i at arbejde med muslinger som ingrediens i fremtidens foder, og en lokal foderproduktion, baseret på lokalt producerede muslinger, som fodres til eksempelvis havbrugsfisk i samme vandområde, kan måske sikre, at næringsstofferne cirkuleres i et delvist lukket kredsløb.

Som udgangspunkt er muslinger produceret ved compensation velegnet til både human konsum og som dyrefoder. Imidlertid er der dog en række kvalitetsmæssige omstændigheder, der, som udgangspunkt, gør dem mere velegnet til foderproduktion. Industriens krav til kødindhold, skaltykkelse og produktets ensartethed er nogle af de kriterier, som ikke umiddelbart kan efterleves af kompensationsmuslingerne.

Der er i Danmark stor opmærksomhed på forureningsfaren fra miljøfremmede stoffer, og muslinger kan potentielt ophobe miljøfremmede stoffer i deres væv. Studier lavet i Limfjorden, netop på muslinger

fremstillet til kompensationsformål, viste, at koncentrationen af miljøfremmede stoffer var under grænseværdien for foder lavet af havdyr (Direktiv 2002/32/EF) (Kjerulf, 2013), men det er stadig vigtigt at være opmærksom på dette, når man skal vurdere muslingernes egnethed som foderingrediens fremover.

## Referencer:

Black, K.D. og Pickering, A.D. (1998): Biology of Farmed Fish, Sheffield Biological Sciences, CRC Press, England.

Berge G.M. og Austreng E. (1989): Blue Mussel in Feed for Rainbow Trout, Aquaculture 81, 79-90.

Bellona (2014) <http://bellona.no/nyheter/havbruk/2014-11-blaskjell-som-nokkel-til-baerekraftig-havbruk>

Chhorn, E.L. og Sessa D.J. (1995): Nutrition and Utilization – Technology in Aquaculture, Kapitel 1, AOCS Press, Seattle, USA.

EF Nr. 889/2008. Kommissionens forordning (EF) Nr. 889/2008 af september 2008 om gennemførelsesbestemmelser til Rådets forordning (Ef) nr. 834/2007 om økologisk production og mærkning af økologiske produkter, for så vidt angår økologisk production, mærkning og control.

FAO rapport 2012: The State of World Fisheries and Aquaculture 2012 (ISSN 1020-5489).  
<http://www.fao.org/docrep/016/i2727e/i2727e.pdf>

Hermansen *et. al.* (2011): Notat vedrørende muligheder for at opfylde proteinbehovet for én-mavede husdyr med økologiske proteinkilder. Det Nationale Center for Jordbrug og Fødevarer (DJF), Århus Universitet.

Hertrampf, J.W. og Piedad-Pascual, F. (2000): Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Høyvald, A. (2009): Fedtsyrer i muslinger – Danske lineproducerede blåmuslinger (*Mytilus edulis*) mulig anvendelse som kosttilskud af vigtige omega-fedtsyrer til sammenligning med eksisterende muslingeolie fra New Zealandske grønslæbede muslinger (*Perna canaliculus*). Syddansk Universitet, Afgangprojekt – bioteknologi, procesteknologi og kemi.

Jönsson, L. *et al.* (2011): Production and egg quality in layers fed organic diets with mussel meal, Animal, 5:3, pp. 387-393.

Lindahl, O (2013): Mussel meal production based on mussels from the Baltic Sea. Reports of Aquabest project 6. [http://www.aquabestproject.eu/media/12036/aquabest\\_6\\_2013\\_report.pdf](http://www.aquabestproject.eu/media/12036/aquabest_6_2013_report.pdf)

Petersen, J.K. *et al* (2013): Miljømuslinger – muslinger som supplerende virkemiddel, Notat fra DCE-Nationalt Center for Miljø og Energi.

Petersen J.K og Mattesen S. (2011): Muslinger som virkemiddel: Fjernelse af næringssalte gennem kompensationsopdræt – og kommerciel udnyttelse heraf. DSC rapport: h

Nørgaard J.V. *et. al.* (2015): Chemical composition and standardized ileal digestibility of protein and amino acids from blue mussel, starfish, and fish silage in pigs. Qualified and in prep.: Animal Feed Science and Technology.

Riisgård H.U. (2013): Dyrkning af minimuslinger i Storebælt - nye muligheder for rentabel og miljøvenlig produktion af muslinger. <http://www.marbio.sdu.dk/uploads/MarBioShell/Minimuslinger%20-%20notat%201%20september%20%202013.pdf>; <http://www.marbio.sdu.dk/index.php?page=marbioshell>

www.999.dk: <http://www.999.dk/uk/quality/sustainable-raw-material.aspx>

## 7. DRIFTSERFARINGER MED STORSKALA OPDRÆT AF SUKKERTANG

Af: Karina Lagoni, Peder Schmedes, Theis Broderskov, Hjarnø havbrug og Jonathan Carl, Orbicon.

Dyrkning af sukkertang på kommercielt niveau i europæiske og danske farvande oplever stigende interesse, men er stadig i sin begyndende fase.

Dette har i de seneste år igangsat en væsentlig udvikling i flere europæiske lande inden for tangdyrknings teknologi, i form af forskningsprojekter, som i tæt samarbejde med kommercielle virksomheder har sat fokus på at frembringe teknologier til reduktion af produktionsomkostningerne (Reith, 2005). Dette er nødvendigt for at kunne starte en produktion af tang på konkurrencedygtigt omkostningsniveau med andre lande.

Konventionel dyrkning af tang har foregået i mange år i andre lande. Et væsentlig mål med det nuværende projekt har været at anvende og optimere de driftsmæssige udfordringer, der forekommer ved storskala-dyrkning. Selve dyrkningen og den høstede tangbiomasse, udført og opnået i forbindelse med projektet, har skabt en stor interesse fra både fødevare-, kosmetik- og foderindustrien. Dette viser, at der er et kommercielt potentiale med denne "nye" økologiske afgrøde.

Internationalt er der de seneste årtier forsket i konceptet med at dyrke mikro-, og makroalger og udnytte deres evne til at optage næringssalte fra vand. I en nyligt udgivet DCA-rapport "Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering" dokumenteres sæsonvariationen af tørstofindholdet og kvælstof-, og fosforindholdet i danskproduceret sukkertang samt den arealspecifikke kvælstoffjernelse (DCA, 2014). Dyrkning af tang opstilles i denne rapport i kategorien marine virkemidler som ét af mange tiltag, der kan tages i brug for at begrænse næringsstoffkoncentrationen i vandmiljøet i bestræbelse på at opnå god økologisk tilstand.

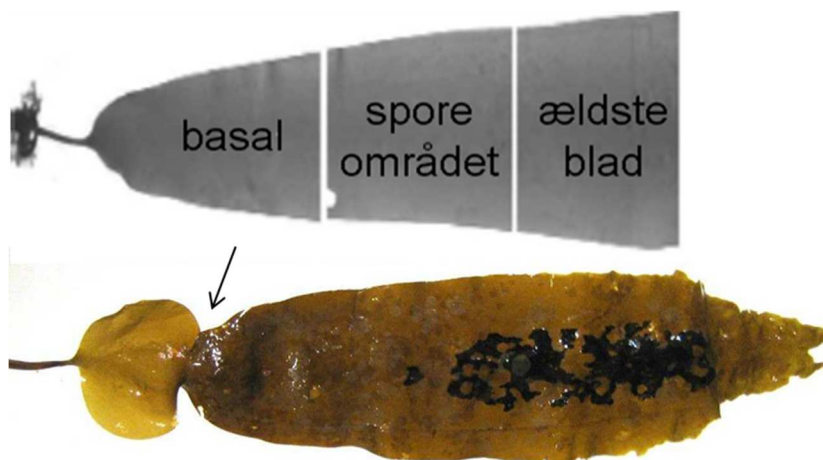
Makroalger vokser i saltvand, hvor de fasthæfter sig på sten eller andet hårdt substrat fra de er helt små. De fleste makroalger spreder sig ved at sende mikroskopiske sporer ud i vandet, og disse fasthæfter sig evt. på nye substrater andre steder/lokaliteter.

Nogle arter af makroalger udvikler ikke et fasthæftningsorgan og lever ved at drive frit med havstrømmen. Arter med fasthæftningsorgan er lettest at anvende til linedyrkning. Fælles for makroalger og havgræsser (tang; fællesbetegnelse) er, at de gennem deres vækst optager solens energi til dannelse af mange forskellige kulhydrater samt, at deres behov for næring dækkes ved at optage næringssalte over hele væsoverfladen. Næringssaltene er livsnødvendige for tangens vækst og anvendes ved produktion af proteiner, enzymer og DNA. Det er denne biologiske mekanisme, hvor de udledte næringsstoffer opsamles af de forskellige trofiske niveauer i økosystemet, som ligger til grund for ideudviklingen bag det miljøforbedrende produktionskoncept med sammendyrkning af marine arter. Her er det tang og muslinger, der er oplagte kandidater.

I Canada er dyrkning af de store brune makroalger og skaldyr/muslinger en veletableret praksis hos nogle fiskeopdrættere (CIMTAN gruppen). Tidligere forskningsmæssige dyrkningsforsøg med de hjemmehørende arter, blåmuslingen (*Mytilus edulis*) og sukkertang (*Saccharina latissima*), har dokumenteret, at dette koncept virker som en biologisk metode til at "genindfange" (biofilter) udledte næringsstoffer (Lindall et al., 2005; MUMIhus-projektet, et strategisk forskningsråds projekt; Holdt og Edwards, 2014; MAB3-projektet, et strategisk forskningsrådsprojekt).

Sukkertang (*Saccharina latissima*), der er den tang der dyrkes i projektet, er en dansk hjemmehørende makroalge, som tilhører familien af store brunalger (*Laminariaceae*). Sukkertang er en flerårig organisme, hvor selve bladpladen er etårig. Sukkertangens bladplade vokser ud i hver vækstsæson, som hovedsa-

geligt er fra september til maj. Væksten sker fra et anterior-stillet vækstpunkt, figur 7.1. Et studie af sukkertang fra Kattegat viser, at den også vokser aktivt om sommeren dog med negativ tilvækst i biomassen i sommermånederne, da tangen udskifter vævet for at slippe af med begroning (Nielsen *et al.*, 2014).



Figur 7.1. Øverst en forenklet teoretisk afbildning af en sukkertangsplante/sporofyt, hvor vækstzonen ligger imellem det basale og sporeområdet (frit efter Pang og Lüning, 2004). Nederst et billede af en sukkertang med et gammelt blad fra året før til højre for pilen, hvor der sidder spore-huse og helt til højre det ældste af bladet går i opløsning. Det nye blad vokser ud fra vækstzonen til venstre for pilen. Det gamle blad til højre for pilen vil med tiden falde af/gå i opløsning.

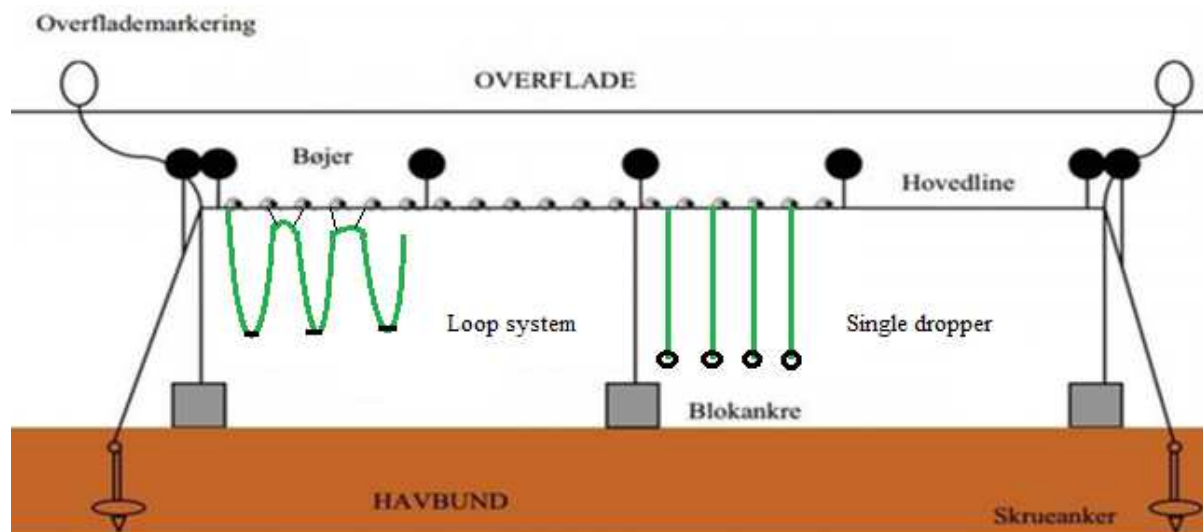
## 7.1 Anvendte teknikker

### Metode

Selve metodikken til produktion af tang i Danmark var ved projektets opstart endnu ikke fuldt udviklet. Ved at optimere på de allerede eksisterende metoder, var formålet primært at udvikle en velegnet produktionsform til storskala dyrkning af sukkertang, samt at undersøge tangs potentiale som næringsstoffjerner.

I projektet anvendes det traditionelle langlinesystem, som består af en langline (220 m) spændt ud mellem to forankrede skrueankre. Langlinen holdes oppe i vandsøjlen vha. opdriftsbøjer, men vil være undersænket et par meter under havoverfladen ved hjælp af 6-8 betonklodser af 40-50 kg (blokankre), figur 7.3. Betonklodserne har Hjørnø Havbrug selv fremstillet. En medarbejder har kunnet støbe 100-125 betonklodser per dag. Forankringerne samt opspænding af hovedlinen foregår vha. hydraulisk drevet grej ombord på etableringsfartøjet, og beskrives ikke nærmere her. På hovedlinen påmonteres tangliner med nye tang-spirer, som hænger ned fra hovedlinen. Ved at justere blokankertorvets længde kan hovedlinens dybde justeres, figur 7.2. Langlinesystemets er synligt på havoverfladen som rækker af mørkegrå bøjer/blæsere, figur 7.3.





Figur 7.2. Koncepttegning af langlinesystemet. En vandret hovedline er spændt ud mellem to ankere og holdes oppe af bøjer. På hovedlinen fastgøres de podede tangliner, enten i form af loops eller single droppere som er enkelthængende tovstykker.



Figur 7.3. Hovedline med opdriftsbøjer samt påmonterede tangliner, som hænger i guirlander ned fra hovedlinen i det anvendte loop-system.

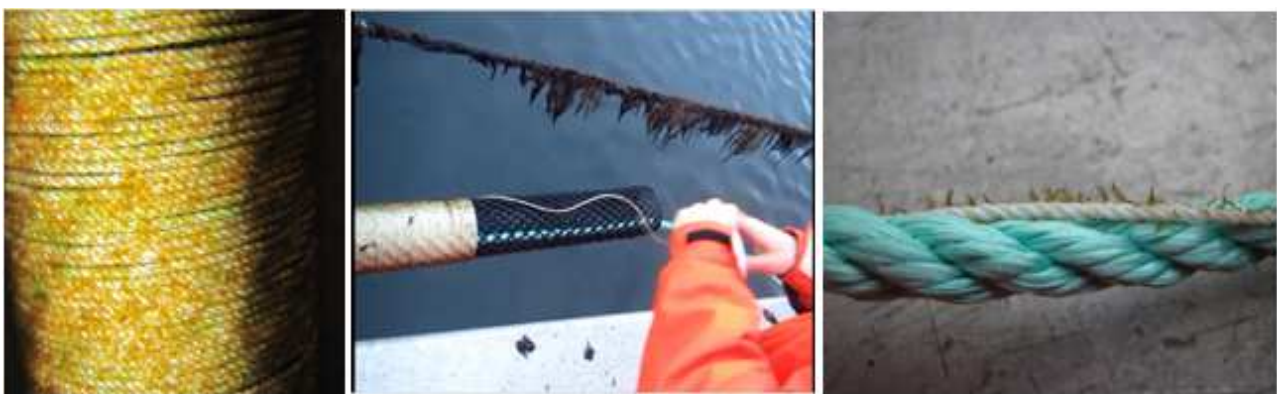
De podede tangliner produceres i landbaserede saltvandskar, i et såkaldt tang-klækkeri (Metodebeskrivelse: DSC – DTU Aqua - manual for dyrkning af sukkertang). Encellede bevægelige sporer udvindes fra fertile moderblade, figur 7.4, hvorefter de påføres tanglinerne i tang-klækkeriet og udvikler sig herefter til små nye flercellede sporofytter/spirer. Under gunstige forhold vil sporofytten efter 6 uger være et par millimeter lang og klar til at gro videre ude i det åbne hav.



Figur 7.4 Modne fertile moderblade hvorfra sporer udvindes til produktion af nye tangliner.

Tanglinen kan enten fremstilles og udsættes som en *single droppers* eller en kontinuert line, *loop-systemet*, figur 7.2 og figur 7.3. Disse påhæftes forskelligt på hovedlinen, mens fælles er at begge systemer kræver påmontering af en vægtskods til neddrift.

**Montering af loop systemet:** De kontinuerte loops består af en tynd kuralon tangline (Ø 1-2 mm), hvorpå der sidder tangspirer fremavlet i klækkeriet. Disse tangliner vikles omkring en bæreline (Ø 10 mm), figur 7.5. Bærelinen fæstes til hovedlinen som guirlander (loops) vha. to opbinder-snore per loop, figur 7.3.



Figur 7.5. I tang-klækkeriet podes den tynde kuralon (Ø 1-2 mm) med tangsporer og sporofytter dyrkes til en længde på 1-10 mm. På vandet vikles kuralon linen med unge sporofytter omkring bærelinen (Ø 10 mm) ved anvendelse af loop-systemet.

**Montering af single droppers:** Hver single dropper leveres som en 5 meter nylonssnor (Ø 6-8 mm) rullet op på et plastikrør. Denne nylonssnor har i klækkeriet haft direkte settling af sporer og fremavlet tangspirer. Ude på vandet af-spoles hver enkelt dropper fra plastikrøret og bindes direkte på den horisontale langline med en meters afstand og hænger lodret ned fra hovedlinen, figur 7.6.



Figur 7.6. Sukkertang vokser på single droppers, som er bundet på en vandret hovedline.

Begge dyrkningsmetoder kan give dyrkningsdensitet på 1.300-2.000 meter podet tangline per hovedline. Der er typisk 10 meter mellem de parallelle hovedliner på et dyrkningsanlæg, hvilket giver 5 hovedliner per hektar.

Firmaet Seaweed Seed Supply A/S (SSS) producerede tangliner i projektets første fase. I sidste fase af projektet blev tangliner leveret både af SSS og af Hjarnø Havbrugs egen tanglineproduktion.

En afgørende forskel mellem droppere produceret af SSS og Hjarnø havbrug, er at SSS dropperne kun er podet på 1/2-2/3 af snoren (skiftevis ca. 7 cm med efterfulgt af 7 cm uden spirer), hvorimod kuralonsnoren produceret af Hjarnø er podet på hele linens længde. Dette kan specielt i den tidlige vækstfase give forskelle i udbyttet, da en tættere vækst er at finde på liner podet langs hele linen. Hvor stor forskellen er efter 1 ½ år, hvor tangen er høstbar og har maksimal størrelse, kunne ikke nås at blive undersøgt inden for projektperioden

## 7.2 Driftserfaringer

### Udsætning af tangliner; single droppers og loops

I første udsætningsperiode (december 2012 til marts 2013) blev der udhængt 70 km tangline som single droppers. På dage med egnede vejrforhold (op til 6 m/s fra S/SØ/NØ) blev der udhængt 2-3 km tangline per dag per båd med tomandsbesætning. I februar 2014 udsatte Hjarnø Havbrug 32,1 km tangline, både produceret af Hjarnø Havbrug A/S og SSS. I 2014 var kapaciteten af tangliner på Hjarnø Hage Tangkultur på 83 etablerede hovedliner. Grundet tidsforsinkelser i tanglineproduktionen hos SSS og opstartsfase ved Hjarnø Havbrugs eget tang-klækkeri, blev der ikke yderligere udhængt tangliner i foråret 2014. Under den næste udsætningsperiode fra oktober til december 2014 blev der udhængt 10 km. Udsætningen fortsatte i januar og februar 2015 med yderligere godt 67 km.

Single droppers af det tykke reb fra SSS blev leveret i dyrkningskasser, hvilket viste sig at fylde betydeligt på båden, og de var vanskelige at beskytte mod frost, sol og vind. Til sammenligning fyldte de tynde tangliner til loop-systemet betydeligt mindre og kunne derfor lettere beskyttes. Udsætningen blev i lange perioder forhindret pga. ugunstige vindforhold, og generelt må arbejdet siges at være meget afhængig af de lokale vejrforhold.

### Vedligeholdelse og tilsyn af anlægget

I løbet af produktionsperioden blev anlægget løbende tilset 1-2 gange om ugen, for at hindre utilsigtede hændelser, som havari eller manglende afmærkning, samt for at følge og dokumentere fysiske parametre såsom saltindhold og lysforhold, som er vigtige for tangvæksten og det omgivende miljø.

I forbindelse med tangproduktionen var den mest omfattende opgave at justere hovedlinerne til den rigtige dybde i løbet af dyrkningsperioden. Ved udsætningsperioden fra efteråret til vinteren var hovedlinerne undersøenket 1-1,5 meter under overfladen. Denne dybde giver de nye tangspirer adgang til lys samtidig med at det undgås at eventuel isdannelse fører bøljerne med sig og river ankrene løs, samt sikre linerne i forbindelse med stormvejr. Derudover skal langliner undersøenkes yderligere om sommeren, for at skåne tangen imod stærk lysintensitet og varme. Sukkertang kan regulere sit pigmentindhold alt efter lysforholdene, derfor er undersøenkning især om sommeren vigtig for at kunne modstå den kraftige belysning. Oplever tangplanten for høj lysintensitet vil det stresse den, og tangen vil udvise langsommere tilvækst (lysinhibering). Ved øget stress kan vævet påvirkes i en sådan grad at det kan give skader og i værste fald føre til vævstab. Dybden for hver hovedline kan justeres med længden af snoren til de 8-10 betonblokke der er påmonteret, hvilket også stabiliserer hovedlinen sidevers i stærk strøm. Betonblokke og opdriftsbøljer skal i efter sommeren og efteråret tilses og vedligeholdes eller udskiftes.

Enkelte steder blev tangliner fra forskellige hovedliner viklet ind i hinanden, hvilket gjorde at der skulle bruge forholdsvis meget tid på en normalisering. Dette opstod hvis langlinerne var for løse efter etablering. Erfaringen viste, at efterstramning af hovedlinen kun kunne gøres når hovedlinen er tom eller med få tangliner, da opstramning af en fyldt hovedline vil resultere i sammenfiltrering af tangliner. Havbundens

hårde beskaffenhed menes også, ved de få havaritifælde, at være årsag til at en langline blev løs. Generelt blev det erfaret at påmonterede blokankre stabiliserede linen og modvirkede løsrivelse/krydsede liner.

Det er vigtigt for udførsel af tangdykningsarbejde, at det foregår fra både med lav ræling. Erfaringen viste at aktiviteter på Hjarnø Hage Tangkultur blev forhindret ved vindstyrker på over 6 m/s fra S/SØ/NØ. Ved vindretninger fra vest kunne der arbejdes på anlægget op til en vindstyrke på 8 m/s afhængig af bølgeforholdene.

### Vækst og optimering af dyrkning

Udsætningen af nye tangliner vurderes at være optimal i perioden september-oktober (ved vandtemperatur på ca. 15°C), hvor sukkertang er kendt for at udvise det største vækstpotentiale i efterår/vintersæsonen (Edwards & Watson, 2011). Dog udviste de tangliner, der blev udsat i december 2012 og dyrket på 2-8 meters dybde, også både god tilvækst samt dækningsgrad af sporofytter efter 16 måneders dyrkning, figur 7.7. Se også resultater af vækst og udbytte i kapitel 8.



Figur 7.7. Høst af sukkertang i maj 2014. Sporofytterne er både længere og tykkere end i april.

Det blev dog også erfaret, at tanglinerne nogle steder var tomme for tang. Et antal single droppers kunne være viklet omkring andre single droppers eller op omkring hovedlinen. Dette kunne tyde på at sporofytterne på disse single droppers var blevet udsat for friktion, der med strømpåvirkning og vandets bevægelse gjorde det umuligt for individerne, at fastholde sig på dropperne, når de var viklet om hovedlinen eller nabodroppers. Derudover vanskeliggjorde de sammenviklede droppers med afrevne sporofytter den operationelle drift på langlinen, da hauler-hjulet havde svært ved at køre hen over disse steder.

Tangliner udsat som loops i februar 2014 udviste en forventelig vækst ned gennem hele dyrkningsdybden fra 1 til 5 meters dybde. Efter 5-6 måneders vækst i foråret og frem til starten af juli havde sporofytterne en længde på 5-15 cm, figur 7.8. Havde udsætningsperioden været synkroniseret med starten af vækstsæsonen i efteråret 2013 ville sporofytterne sandsynligvis havde haft en længde på 30-50 cm.





Figur 7.8. Længde tilvækst på 5-15 cm for sukkertang dyrket på loop-systemet fra slut februar til slut maj 2014.

### Potentialet for genvækst på tangliner



Potentialet for genvækst blev undersøgt, ved at skære tangpladen af over vækstzonen og dermed lade en del af biomassen samt påhæftningsorganet sidde. Denne metode er kendt fra tangdyrkning i Asien, hvor der afhøstes omtrent 40 % af bladpladen, men til forskel på sukkertang, så er de asiatiske arter af store brunalger meget større (FAO, 1989). I det nuværende projekt blev de 2-3 år gamle sporofytter ved høstning i foråret 2014, figur 7.9 og 7.10 skåret af ca. 10 cm over vækstpunktet, hvilket procentvist er væsentlig mere end de 40 % i den asiatiske metode. Derfor var det interessant at undersøge effekten af afskæring for den danske sukkertang.

Der blev gjort flere observationer på disse afskårne sporofytter. Den første måned efter afskæring kunne der observeres en genvækst. Herefter fulgte en varm sommerperiode og i den forbindelse blev de afskårne sporofytter, der hang højest i vandsøjlen nedbrudt. De afskårne sporofytter, der sad dybest på linerne viste derimod en fin genvækst.

Figur 7.9. Dropperne med sukkertang blev hevet ind over dækket og op i høstkar. Sukkertangen blev skåret af og genudsat for at undersøge genvækst potentialet.

Figur 7.10. Høst af sukkertangsbladet foregik ved at skære bladet af ca. 10 cm over vækstpunktet. Tanglinen blev genudsat for at undersøge om sporofyten udviser genvækst samme forår.



### 7.3 Høst og biomasser

Der blev forsøgsvis høstet på nogle af de udsatte hovedliner i august 2013, og den høstede biomasse blev brugt i pilot forsøg på Fredericia Spildevands biogasanlæg. Der blev endvidere høstet i april og maj 2014, efter endnu en vækstsæson, og det kunne erfares, at biomasseudbyttet var højere ved høst efter to vækstsæsoner, se figur 7.7. I maj og juni 2014 høstede Hjørnø Havbrug godt 6 tons frisk sukkertang fra tre hovedliner med droppers, som var dyrket over to vækstsæsoner siden foråret 2013. Det gennemsnitlige udbytte for en meter tangline anslås derfor til at være ca. 2 kg per meter da tre hovedliner har en kapacitet på ca. 3 km tangline. Dette gennemsnitlige udbytte er forventeligt sammenlignet med andre dyrkningsforsøg i danske farvande, men er relativt lavt i forhold til det oplyste i forskningslitteraturen hvor der er opnået udbytter på 5-20 kg per meter tangline (Schmedes & Boderskov, 2013). Forskningslitteraturen præsenterer ofte udbytte fra mindre småskala forsøg og er ekstrapolering af stikprøver, hvorimod det nuværende udbytte er et realiseret gennemsnit på baggrund af høst af over 3 km tangline. Flere enkeltmålinger viste dog et udbytte på 3-5 kg per meter. Denne afvigelse forklares hovedsageligt af den førmtalte svingende dækningsgrad af sporofytter på de enkelte droppers.

Figur 7.11. Høstkar fyldt med sukkertang fra Hjørnø Hage Tangkultur i maj 2014.



Sukkertangen blev enten høstet i et høstnet der hang ud over rælingen, og som sikrede at den afhøstede biomasse altid var under vand, eller direkte ned i høstkar som stod på dækket, figur 7.11. Ved høst i kar var kapaciteten omkring 600-800 kg per tur med to høstkar. Det blev vurderet at anvendelse af et høstnet monteret på siden af båden ville give mulighed for at høste større mængder, da en større båd kunne transportere flere net ad gangen hjem fra anlægget mens mindre både blev brugt til høst. Ved transport blev nettene med den afhøstede tang hevet op i større båd og sænket ned i et høstkar.

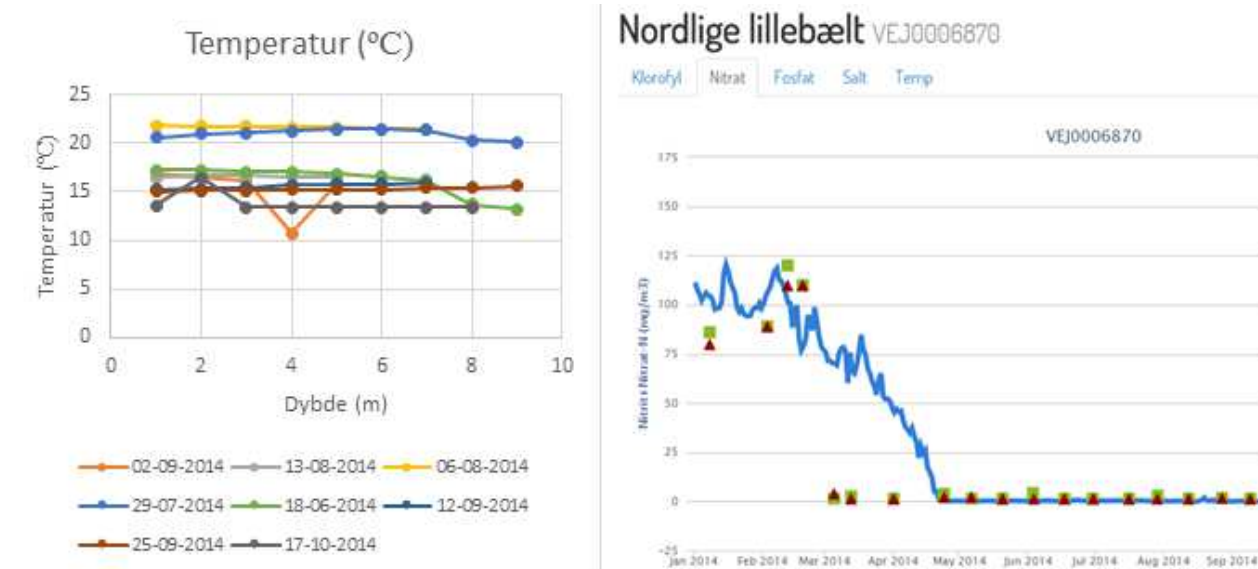
Høstnettene har en størrelse af 5 m x 5 m og er fremstillet af 30 mm nylonnet. Til lukning anvendes et reb, der fungerer som en løkke, så netposen kan strammes og løsnes.

Sukkertangen har en begrænset holdbarhed og skal beskyttes i høstkar eller have tilført friskt havvand kort tid efter høst. Dette sikres ved høstmetoden, hvor der høstes ned i et stort net ude over rælingen. Ved brug af et net til høst kunne 1 båd og 2 mand høste omkring 1,5 tons pr dag. I forbindelse med høsten er der ikke oplevet spild af biomasse.

Kvaliteten af den høstede biomasse var god (ren tang uden påvækst) fra februar til slutningen af maj, hvorefter sukkertangen blev begroet med muslingeyngel, mosdyr, søanemoner og andre epifytter.

## Ekstreme vejrforhold

Vandtemperaturen omkring Hjørnø Hage tangkultur viste sig ekstraordinær høj (op til 23 °C) i løbet af sensommeren 2014, hvor det rolige sommervejr stabiliserede vandsøjlen. I maj 2014 og hen over sommeren, var der ingen nitrat at måle i 5 m dybde på NOVANA målestation (VEJ0006870) i det nordlige Lillebælt, noget sydligere for havbrugsområdet, figur 7.12.



Figur 7.12. Havtemperatur målt i Hjørnø Hage tangkultur. Nitratkoncentration målt ved 5 meters dybde i nordlige Lillebælt. Koncentrationen er nul fra maj og frem (fra havudsigten, 2014)

Kombinationen af høj vandtemperatur og lav næringskoncentration i vandet kan være en fatal stress situation for sukkertang (Birkeland, M. et al, 2009). Det medførte umiddelbart et relativt stort biomassetab på de 2-3 år gamle tangliner, samt tab af mange nye sporofytter på de nye tangliner. Tabet af biomassen kan også skyldes en kombination af den ekstraordinære høje vandtemperatur og sporofytternes alder. Endnu en overraskende observation blev gjort i december 2014 og januar 2015, da det viste sig at nogle af de podede loops udviste genvækst af sukkertang, hvilket betyder at nogle af sporofytterne på en vis dybde ikke var helt døde og kunne regenerere ny biomasse (genvækst som bekræftet ovenfor). Dette indikere at alder kan være en afgørende faktor for om sporofytter overlever en ekstrem temperaturbegivenhed.

Biomassetabet er vurderet til at være forekommet pga. ekstraordinært høje temperatur og lysforhold i kombination med lave næringsforhold, som ødelagde vævet. På baggrund af, at sporofytter overlevede på de største dybder, vil Hjørnø Havbrug A/S fremtidigt sikre sig, at linerne nedsænkes, hvis så ekstrem varme og lysforhold igen forekommer i området.



## Trusler

Gennem projektforløbet med flere stærke storme (inkl. Allan og Bodil i 2013) og kraftig bølgeeksponering, blev det erfaret at tangdyrkning på langline systemet er en robust dyrkningsmetode, da der ikke blev registreret biomassetab af betydning i den forbindelse. Der er dog to ting i forbindelse med linedyrkningsmetoden der kan medføre biomassetab. Single dropper metoden kan medføre tab af sporofytter, hvis de enkelte droppers hænges for tæt og derved gnider op af hinanden ved kraftig bølgeeksponering. En anden mulighed er, at forankringen løsner sig fra bunden så hovedlinen løsnes og kan vikle sig sammen med omkringliggende hovedliner, med biomassetab som resultat.

Yderligere må det konstateres at kombinationen af høj vandtemperatur og kraftigt lyseksponering må betragtes som den største abiotiske trussel for dyrkning af sukkertang. Dette forhold kan gøre sig gældende om sommeren, da dyrkningslinerne hænger i den øverste del af vandsøjlen.

Den dyrkede sukkertangbiomasse var ikke udsat for nogen tydelig græsning. Der blev meget sjældent observeret søpindsvin på tanglinerne, og i de få tilfælde var det enkelte meget små individer. Om end et paradoks, at store brunalger er fyldt med energirige kulhydrater, proteiner og mineraler og samtidig giver fodfæste til andre alger samt ly og skjul til mange marine dyr, er det er kendt, at kun få marine hvirvelløse dyr, såkaldte leddyr, græsser på netop de store brunalger. Søpindsvin er påvist at være en stor trussel mod naturlige bestande af store brunalger, da søpindsvinet græsser/fouragerer på nye algeskud og, når de er sulte nok, gnaver selv algernes påhæftningsorgan over (Christie et al., 2009). Dette sker både langs den norske sydkyst og på danske stenrev, et levested hvor både de store brunalger og søpindsvin trives. De enkelte observationer af søpindsvin på de ophængte tangliner på Hjarnø Hage, tyder på at selvom frit svømmende larver fra en søpindsvin slår sig ned på tanglinerne, vil antallet være begrænset. Antallet af søpindsvin på tangliner reguleres sandsynligvis af hård fysisk bølgepåvirkning som ryster søpindsvinene af samt prædation fra fisk i tangkulturen.

## 7.4 Sammenfatning - Optimering og perspektivering

Det vurderes at afskæring af sukkertang og genudsætning af tanglinen er en mulighed. Det er ikke helt tydeligt om afskæring ved omkring 10 cm over vækstpunktet er det ideelle skæringspunkt, men det var et kompromis imellem biomassehøst og chancen for at sukkertangen groede videre. Det blev observeret, at den afskårne sukkertang-sporofyt godt kan klare denne høstmetode, hvis den tangen nedsænkes til den rigtige dyrkningsdybde.

Gennem projektet har Hjarnø Havbrug taget udgangspunkt i de eksisterende dyrkningsmetoder og teknikker, som kan forbedres i alle driftsfaser. I løbet af projektet blev der udviklet og afprøvet mange forbedringer af de eksisterende teknikker for tangdyrkning på linesystemer. Erfaringerne fra tangdyrkingen peger på at en optimering af det arealspecifikke udbytte er muligt, således at en fremtidig fortsættelse af tangproduktionen vil kunne udnytte det givne areal bedre. Et øget arealudbytte vil også øge tangkulturens nærringsstoffjernelse. Endvidere kan udgifterne til arbejdsløn reduceres betydeligt ved at hæve automatiseringsniveauet i udsætningsfasen. Det kunne lade sig gøre ved en optimering af den nuværende linedyrkningsteknik eller ved anvendelse af et andet dyrkningssubstrat, altså det materielstruktur der dyrkes på.

I løbet af projektet har dyrkingen af sukkertang vist sig at være meget lovende og mulig. Biomasseudbyttet har ikke været så højt som forventet, men dette vurderes være forårsaget af udfordringer, som kan håndteres ved udvikling af en fremtidig dyrkningspraksis. Sukkertangen viste sig meget modstandsdygtig overfor mulige fjender og selv en hedebløge tog ikke livet af unge sporofytter.

Tanglinerne viste tilvækst helt ned til 8 meters dybde, hvilket vurderes til at være den dobbelt dybde sammenlignet med sukkertangdyrkning i Limfjorden. Hvis det lykkes at finde frem til teknikker, der tillader en nemmere håndtering ved udsætningsfasen og høstfasen, må sukkertang anses som en robust organisme, som vil kunne indgå i kompensationsdyrkning i danske farvande (i områder med en salinitet på >20 promille).

En automatisering af høstfasen vil reducere omkostningerne til arbejdslønnen. Hjarnø Havbrug A/S er i øjeblikket i kontakt med andre europæiske virksomheder, som udvikler dyrkningsteknologier, hvilket i fremtiden vil kunne give adgang til mulige forbedrede teknikker.

Umiddelbart er det ønskværdigt at opnå en hurtig høstproces på vandet. Den hurtigste høstproces på vandet består i at skære hele tanglinen af og først separere biomassen fra produktionslinen inde på land. Dette arbejde vil kunne gøres i en kølehal, således at biomassen ikke påbegynder at gå i forrådnelse før endelig lagerstabilisering ved enten tørring eller nedfrysning. Denne høstproces vil potentielt også være en fordel i forhold til en tørreproces da tangen stadig er fæstnet til tanglinen, og dette forhold vil muligvis kunne udnyttes ved ophængning. Det er dog uklart om det vil påvirke de hygiejniske forhold under sådan en tørre metode. Endvidere er det uklart om denne metode vil medføre at de enkelte sporofytter tørrer sammen og dermed ikke kan skilles af. Dette vil dog ikke være et problem hvis tangen skal formales efter tørring.

## Referencer

- Birkeland, M.J., 2009. Nitrogen accumulation and primary production by *Saccharina latissima* (Phaeophyceae) estimated from mathematical modelling and experimental cultivation near a sea cage farm : a case study.
- Bruton, T., Lyons, D.H., Lerat, D.Y., Stanley, D.M., Rasmussen, M.B., 2009. A Review of the Potential of Marine Algae as a Source of Biofuel in Ireland.
- Burg, S.v.d., Stuiver, M., Veenstra, F., Bikker, P., López Contreras, A., Palstra, A., Broeze, J., Jansen, H., Jak, R., Gerritsen, A., Harmsen, P., Kals J., Blanco, A., Brandenburg, W., Krimpen, M. van, Duijn, A.P. van, Mulder, W., Raamsdonk, L. van. (2013). A Triple P review of the feasibility of sustainable offshore seaweed production in the North Sea. Tilgængelig på <http://edepot.wur.nl/276368>, Wageningen UR.
- Chopin, T., Buschmann, A.H., Troell, M., Kautsky, N., Kraemer, G.P., Halling, C., Neori, A., Zertuche-gonzalez, J.A., Yarish, C., Neefus, C., 2001. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. *Journal of Phycology* 37, 975–986.
- DSC – DTU Aqua - manual for dyrkning af sukkertang: <http://www.skaldyrcenter.aqua.dtu.dk/Forskning/De-Lokale-DyderManual>. Set juni 2015.
- Edwards, M., Watson, L., (2011). Cultivating *Laminaria digitata*. *Aquaculture Explained*. BIM. No. 26
- FAO (1989). Culture of Kelp (*Laminaria japonica*) in China. FAO. Training Manual 89/5. Kan downloades på: <http://www.fao.org/3/contents/a772bf3d-29f6-5025-bf95-8cfe046155c4/AB724E00.htm>
- Ergün, S., Soyutürk, M., Güroy, B., Güroy, D., Merrifield, D. (2009). Influence of *Ulva* meal on growth, feed utilization, and body composition of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at two levels of dietary lipid. *Aquaculture International* 17(4), 355-361.
- Fleurence, J. (1999). Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Science & Technology* 10(1), 25-28.

- Handå, A., Wang, M., Broch, O., Reitan, K., Reinertsen, H., Olsen, Y., 2012. Seasonal- and depth dependent growth of cultivated kelp (*Saccharina latissima*) in close proximity to salmon (*Salmo salar*) aquaculture: Implications for macroalgae cultivation in Norwegian coastal waters. *Aquaculture* 328–341.
- Havudsigten (2014). [www.havudsigten.dk](http://www.havudsigten.dk). Data ekstraheret 2014
- Holdt, S.L., Edwards, M.D. (2014) Cost effective IMTA: Comparison between seaweed and mussel biofilter. *Journal of Applied Phycology*, 26, 933-945
- Holdt, S.L., Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology* 23(3), 543-579.
- Huis, A.v., Itterbeeck, J. van, Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P. (2013). Edible insects, Future prospects for food and feed security. FAO (Food and Agriculture Organization), Rome, Italy. Tilgængelig på [www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf](http://www.fao.org/docrep/018/i3253e/i3253e.pdf).
- Lindahl, O., Hart, R., Hernroth, B., Kollberg, S., Loo, L.-O., Olrog, L., Rehnstam-Holm, A.-S., Svensson, J., Svensson, S., Syversen, U., 2005. Improving marine water quality by mussel farming: a profitable solution for Swedish society. *Ambio* 34, 131–8.
- McHugh, D.J. (2003). A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries Technical Paper 441, FAO (Food and Agriculture Organization), Rome, Italy.
- Norderhaug, KM., Christie, H. (2009). Sea urchin grazing and kelp re-vegetation in the NE Atlantic. *Marine Biology Research* 5: 515-528. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 95: 135-144
- Pang, S.J., Lüning, K. (2004). Breaking seasonal limitation: year-round sporogenesis in the brown alga *Laminaria saccharina* by blocking the transport of putative sporulation inhibitors. *Aquaculture* 240; 531–541.
- Poel, A.F.B.v.d., Krimpen, M. van, Veldkamp, T., Kwakkel, R.P. (2013). Unconventional protein sources for poultry feeding: opportunities and threats. Tilgængelig på <http://edepot.wur.nl/274039>, proceedings 19th Symposium on Poultry Nutrition, 26th-29th August 2013, by Wageningen UR in Potsdam, Germany.
- Reith, J.H., Deurwaarder E.P., Hemmes K., Curvers A.P.W.M., Kamermans P., Brandenburg W., Zeeman, G. (2005). BIO-OFFSHORE Grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee. Tilgængelig på <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05008.pdf>, ECN (Energy research Centre of the Netherlands), Wageningen UR, Lettinga Associates Foundation.
- Schmedes, P; Boderskov, T. (2013) Cultivation of two kelp species, *Laminaria digitata* and *Saccharina latissima*, in Danish waters – geographic variation in growth and biochemical composition. Master's degree report.
- Wang, X., Olsen, L., Reitan, K., Olsen, Y., 2012. Discharge of nutrient wastes from salmon farms: environmental effects, and potential for integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions* 2, 267–283.

## 8. KVÆLSTOF OG FOSFORINDHOLD I TANG

Susan L. Holdt, DTU Fødevareinstituttet og Goncalo S. Marinho, DTU Miljø

Ved en produktion af biomasse er udbyttet det man høster, og det er først ved høst man kan opnå en egentlig værdi i form af fjernet næringssalte fra nærmiljøet (biofilter) og en værdi i den ekstra afgrøde. Udbyttet afhænger af væksthastigheden, densiteten, tidsperioden og ikke mindst vækstmønster for sukkertangen og sæsonfaktorer. Disse variable samt længde gældende for sukkertangen dyrket i 2013-2014 i KOMBI projektet ved Hjørnø havbrug er beskrevet i det følgende kapitel.

Tangbiomassens koncentration af især N og P næringssalte er vigtig for at kende biofilterkapaciteten af den tang der er dyrket og høstet ved Hjørnø havbrug. Analyser blev udført ca. hver anden måned, da sæson kan have indflydelse på koncentration af N og P og derved biofilterkapaciteten.

Materialer og metoder kan læses i de refererede videnskabelige artikler, der ligger til grund for resultaterne.

### 8.1 Længde og biomasse

Tangbiomassens udseende ændredes markant i løbet af året. Det blev observeret at begroningen begyndte i juni og havde sit maksimum i september, figur 8.1.



Fig. 8.1 Sukkertang (*Saccharina latissima*) høstet i a) maj, der repræsenterer ren tang og b) september tang dækket af begroning af bl.a. mosdyr, rurer, andre små tangarter og unge blåmuslinger.

Der var en generel tendens til at sukkertangen øgede sin længde fra maj til juni ved reference stationen (REF), efterfulgt af et stigende tab af biomasse/tangblad (den gamle bladdel fra forrige sæson dør bort som beskrevet i kap 3;  $P < 0,05$ ), figur 8.2.

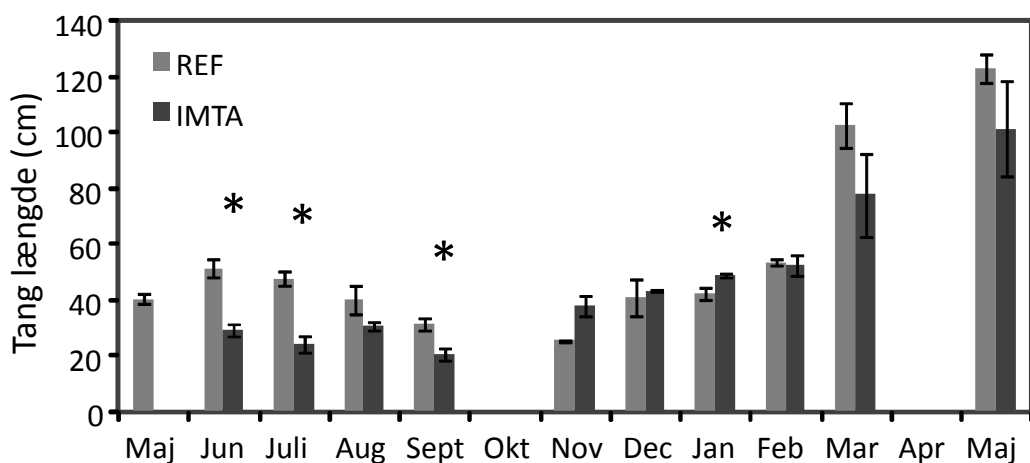


Fig. 8.2 Længdevariation over året for sukkertang (*Saccharina latissima*) dyrket ved både reference (REF) og IMTA stationen ved henholdsvis Hjørnø Havbrug A/S og Horsens fjord i 2013-2014. Data med signifikante forskelle mellem REF og IMTA er markeret med stjerner ( $P < 0,05$ ). Værdier er angivet som gennemsnit  $\pm$  SE ( $n=30$ ).

De korteste tangplanter blev fundet i november ( $25,4 \pm 0,33$  cm), mens de længste tangplanter blev fundet i marts ( $102 \pm 7,93$  cm) og i maj ( $123 \pm 5,08$  cm). Der var ingen signifikant forskel mellem marts og maj ( $P > 0,05$ ). Tangplanternes længde havde en tendens til at mindske fra maj til september (dog uden at være signifikant).

Sukkertangen øgede sin længde fra september til maj. De længste individer blev registreret til slut i eksperimentet i maj ( $101 \pm 16,8$  cm), men var dog ikke signifikant forskellige fra marts ( $77,6 \pm 15,1$  cm). Signifikante forskelle i tanglængde imellem dyrkningsstederne (REF og IMTA) sås i juni, juli og januar ( $P < 0,05$ ).

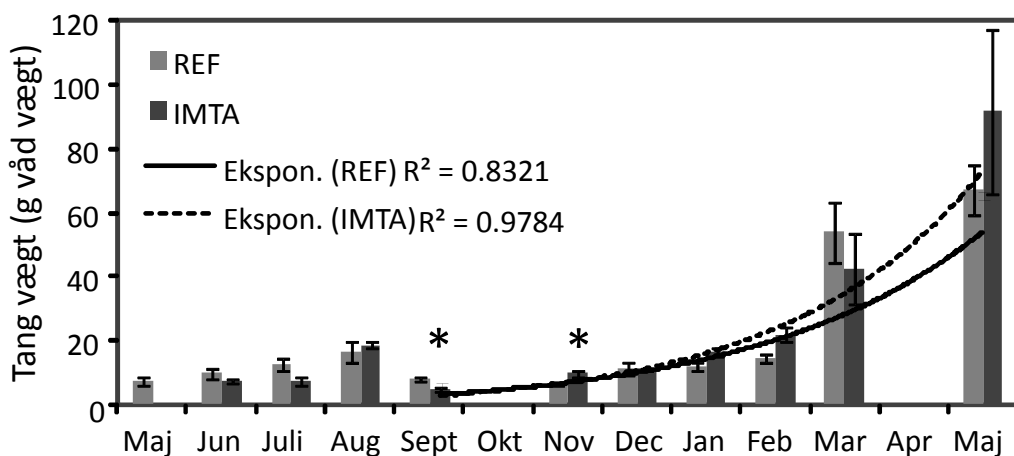


Fig. 8.3 Årstidsvariationer i individuel vægt (g) af sukkertang (*Saccharina latissima*) dyrket ved både reference (REF) og IMTA stationerne nær Hjørnø Havbrug A/S 2013-2014 med indsat tilpasset eksponentiel specifik væksthastighed ( $R^2$ ). Data med signifikante forskelle mellem REF og IMTA er markeret med stjerner ( $P < 0,05$ ). Værdier er angivet som gennemsnit  $\pm$  SE ( $n=30$ ).

Den generelle tendens var at den individuelle sukkertangsvægt øgedes fra maj til august, hvorefter det gamle tangblad blev tabt i september ( $P > 0,05$ ; Figur 8.3). Derefter øger tangen igen sin biomasse fra september-februar og så igen mere fra februar til slutningen af den eksperimentelle periode i maj.

Den største individuelle vægt af en tangplante ( $P<0,05$ ) blev registreret i maj 2014 både ved REF ( $67,2\pm8,07$  g vådvægt) og IMTA ( $91,7\pm25,7$  g vådvægt) stationerne, uden signifikant forskel lokaliteterne imellem. Der var dog signifikant forskel imellem lokaliteterne i september og november. Biomasseforøgelsen fra september til maj fulgte en eksponentiel vækstkurve, som i teorien (REF:  $R^2=0,8404$  and IMTA:  $R^2=0,9591$ ) med en væksthastighed ( $P>0,05$ ) på  $0,0089\pm0,0008$  d<sup>-1</sup> og  $0,0121\pm0,0014$  d<sup>-1</sup> på hhv. REF og IMTA stationen, figur 8.4).

Tangbiomassen øgedes fra maj til august, men ikke signifikant ved REF lokaliteten ( $P>0,05$ ; Figur 8.5). Det største udbytte blev opnået i august ( $1,1\pm0,09$  -  $1,5\pm0,12$  kg m<sup>-1</sup>) og september ( $0,9\pm0,18$  -  $1,5\pm0,16$  kg m<sup>-1</sup>) det første dyrkningsår, med signifikant højere udbytte i IMTA end på REF stationen i august. Det største tab af biomasse blev set i september efterfulgt af en stabil periode, hvorefter biomassen øgedes igen fra februar til maj på begge stationer. Efter to vækstsæsoner blev det største udbytte fundet i maj 2014, da eksperimentet sluttede ( $P<0,05$ ) på begge stationer uden signifikant forskel herimellem ( $3,0\pm0,23$  og  $3,2\pm0,24$  kg m<sup>-1</sup>).

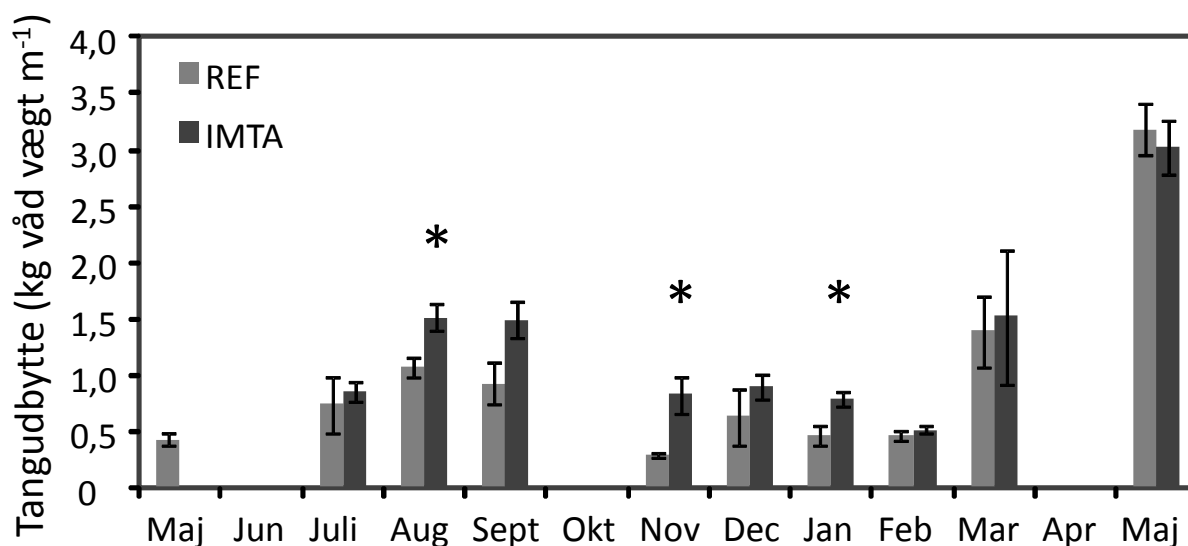


Fig. 8.4 Den årlige variation i biomassen af sukkertang (kg m<sup>-1</sup> af dyrkningsreb) dyrket ved både reference (REF) og IMTA stationen ved Hjørnø havbrug i 2013-2014. Signifikante forskelle imellem REF og IMTA er markeret med stjerner ( $P<0,05$ ). Data er givet som gennemsnit  $\pm$  SE ( $n=3$ ).

## 8.2 Indhold af kvælstof og fosfor

Indholdet af kvælstof og fosfor i den friske tangbiomasse (vådvægt) er præsenteret, da det vil være den friske biomasse der kan afvejes når den høstede og afdryppede tang landes på kajen. Det er dog tørvægten af biomassen, der er udgangspunktet for det meste af denne rapportering, da det så er muligt at sammenligne med andre rapporterede biomasser, som oftest er angivet som tørvægt. De statistiske analyser er udført på tørvægtsbaserede biomassedata.

Kvælstofindholdet varierede fra 0,1-0,5% af vådvægten i løbet af året med det laveste indhold i maj og juli 2013 og maj 2014 og den højeste værdi i september. Begroningen med epifytter havde ikke nogen videre indflydelse på kvælstofindholdet i den høstede biomasse. Der var generelt ingen forskel imellem REF og IMTA stationerne.

Fosforindholdet i sukkertangen fulgte det samme mønster som kvælstofudviklingen. Fosforindholdet varierede over året fra ca. 0,01 til 0,1% fosfor af vådvægten. Fra maj til november 2013 var indholdet sta-



bilt, men steg med en faktor 10 i januar 2014, hvorefter indholdet faldt til ca. 0,04% i maj. I modsætning til kvælstof påvirkede begroingen med epifytter fosforindholdet markant i den høstede biomasse især august og september.

Kvælstofindholdet var signifikant højere i sukkertangen ved REF i forhold til ved IMTA stationen ( $P < 0,05$ ) imellem juli og november, figur 8.5. De laveste kvælstof værdier blev registreret i juli på begge lokaliteter ( $0,89 \pm 0,019$  -  $0,49 \pm 0,048\%$  af tørvægt) mens de højeste værdier blev registreret i november-januar REF ( $3,09 \pm 0,107$  -  $3,12 \pm 0,112\%$  af tørvægt) og i januar ved IMTA lokaliteten ( $3,67 \pm 0,212\%$  af tørvægt). Tilstedeværelsen af epifytter øgede signifikant indholdet af kvælstof i tangen høstet i juli og november ved IMTA stationen, mens der ingen signifikant forskel var at se i tangbiomassen ved REF stationen.

Fosforindholdet var relativt stabilt fra maj til november ( $P > 0,05$ ) efterfulgt af en forøgelse fra november til januar og et fald igen i marts, figur 8.6. Den laveste fosfor koncentrationer blev registreret i juli prøverne ( $0,0529 \pm 0,0003$  -  $0,0526 \pm 0,00006\%$  af tørvægt) mens den højeste koncentration blev registreret i januar ( $0,823 \pm 0,029$  -  $0,791 \pm 0,021\%$  af tørvægt), men uden signifikant forskel imellem de to lokaliteter over hele året ( $P > 0,05$ ). Ligesom for kvælstofs vedkommende så var fosforindholdet også højere med epifytter, men kun signifikant i september prøverne ( $P < 0,05$ ). Epifytterne bestod hovedsageligt af mosdyr, rur, og unge blåmuslinger.

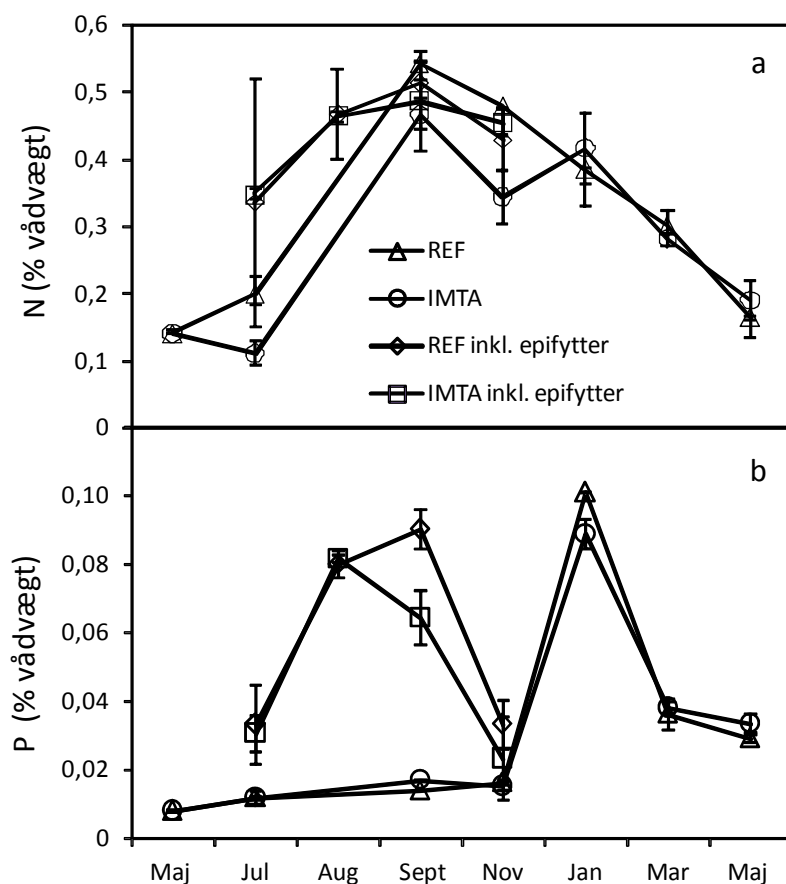


Fig. 8.5 Den tidsmæssige variation af a) kvælstof (N) og b) fosfor (P) indholdet (% af vådvægt) i sukkertang med og uden epifytter dyrket ved reference (REF) og IMTA stationerne ved Hjørnø havbrug i 2013-2014. Værdier er præsenteret som gennemsnit  $\pm$  SE (n=3).

### 8.3 Kvælstof og fosfor fjernelse

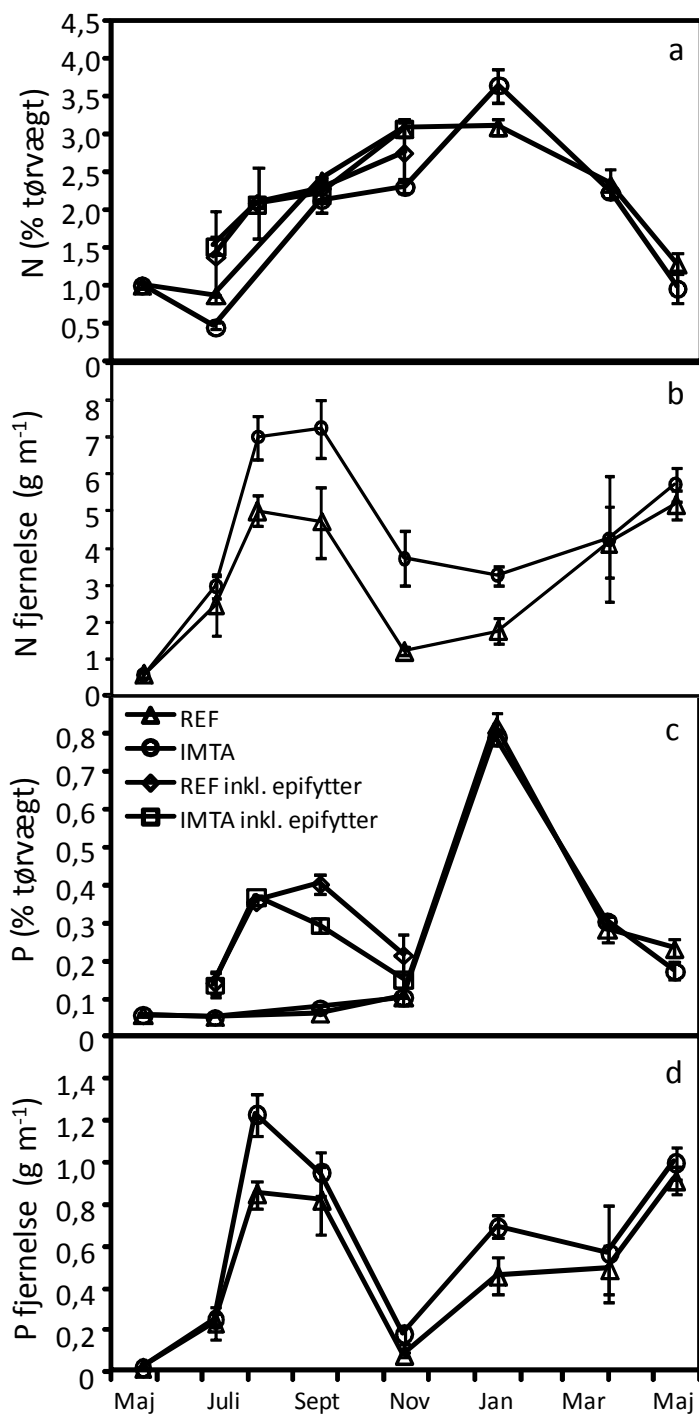


Fig. 8.6 Den tidsmæssige variation af a) kvælstof (N), c) fosfor (P) indholdet (% af tørvægt), b) kvælstof og d) fosforindholdet (g m<sup>-1</sup>) i sukkertang dyrket ved reference (REF) og IMTA stationerne ved Hjørnø havbrug i 2013-2014. kvælstof og fosforindholdet er også anført med tang inkl. epifytter når tilstede. Værdier er præsenteret som gennemsnit ± SE (n=3).

Der var en tendens til en højere kvælstof akkumulering (og derved også fjernelse ved høst) ved IMTA stationen sammenlignet med REF fra juli til januar, og denne forskel var signifikant i august, november og januar, figur 8.5, med størst indhold i august (5,0-7,0 g kvælstof m<sup>-1</sup>) og september (4,7-7,2 g kvælstof

$\text{m}^{-1}$ , ved begge lokaliteter (dog kun signifikant højere i IMTA i august). Det laveste indhold blev registreret i maj ( $0,6 \text{ g kvælstof m}^{-1}$ ) i begyndelsen af prøvetagningsperioden i 2013.

Fosforindholdet var ikke forskellig imellem de to lokaliteter gennem hele prøvetagningsperioden ( $P > 0,05$ ) dog med undtagelse af øget indhold ved IMTA stationen i august ( $P < 0,05$ ), figur. 8.6. Fosforindholdet steg fra maj til august, og faldt da i november og øgedes igen fra november til maj ( $P < 0,05$ ). Det største fosforindhold blev registreret i august og september ved både REF ( $0,86\text{--}0,83 \text{ g fosfor m}^{-1}$ ) og IMTA ( $1,2\text{--}0,96 \text{ g fosfor m}^{-1}$ ) stationerne, men var ikke signifikant højere end registreret i januar, marts og maj (2014) med undtagelse af august i IMTA ( $P < 0,05$ ). De laveste værdier blev registreret i starten af prøvetagningsperioden i maj 2013 ( $0,03 \text{ g fosfor m}^{-1}$ ).

Biomasseproduktion og kvælstof fjernelse er i dette projekt baseret på data indsamlet fra stor-skala produktion med det set up Hjarnø Havbrug har etableret. Disse data kan anvendes til at beskrive et fremtidigt scenarie baseret på ekstrapolering, hvor man kan forvente med en minimum høst på 2,1 ton vådvægt per ha i maj måned og en fjernelse af 3 kg N per ha. Det maksimale udbytte kan dog forventes i september ved en årlig produktion ( $5,1\text{--}7,1 \text{ ton vådvægt per ha}$ ), mens en to årig produktion giver et maksimalt udbytte på  $6,7\text{--}7,1 \text{ ton vådvægt per ha}$  ved at dyrke tangen til efterfølgende maj. Dette resulterer i en kvælstof fjernelse på henholdsvis  $23,7\text{--}39,4 \text{ kg ha}^{-1}$  og  $26,0\text{--}31,2 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Fuldskala dyrkning af tang på Hjarnø Hage tangkultur vil kunne give et udbytte på 506-521 ton vådvægt i august til september (årlig) eller 723 ton vådvægt senere i maj (to år) med hhv. kvælstof fjernelse på 2.589-2.448 kg og 2.663 kg.

Den reelle høst på REF lokaliteten havde et udbytte på 1 kg per meter reb og med en totalhøst på 5.890 kg tang fra januar til maj og med et gennemsnitligt udbytte på 2-4 kg vådvægt per meter fra juni til juli 2014 fra liner udsat i 2012-2013.

## 8.4 Diskussion

Sukkertangernes vækst i biomasse indtil august var nok et resultat af både et forøget indhold af kvælstof (oplagring) og øgning i kulstof i form af f.eks. laminarin og mannitol pga. øget fotosyntese henover sommeren. Dette øger biomassen af tangen, men ikke nødvendigvis længden af tangplanterne. Den eksponentielle biomasseforøgelse også udbytte fandt sted i vinter og forårsperioden, mens længdevæksten hovedsageligt foregik om vinteren.

Data fra dette projekt viser at naturlige faktorer og det biologiske sæsonmønster er de vigtigste faktorer i forhold til dyrkning og høst af sukkertang. Der var en kraftig begroning på sukkertangen af hovedsagelig mosdyr, og denne begroning startede i juli og øgedes hen til august/september, hvor spidsen og derved den ældste del af tangplanten faldt af. Derefter startede ny ren tangbiomasse med at gro ud fra vækstzonen ca. 10 cm over stænglen. I november var det kun i spidsen at der stadig var noget begroning.

At efterlade tang henover sommeren og dyrke den videre i "anden sæson" kan lade sig gøre i farvandede ved Hjarnø havbrug, men ikke alle steder f.eks. i Limfjorden, hvor begroningen er for voldsom og tangen går til pga. begroningen. Den flerårige dyrkning (muligvis med afklipping/høst med mulighed for genvækst) kan evt. øge biomassen yderligere uden at øge omkostningerne forbundet med dyrkning, men der er en øget risiko ved at have afgrøden længere i havet pga. havari i forbindelse med bl.a. storme og islag.

Vi så at der ikke var en øget biofilter kapacitet ved at dyrke tangent to-årigt sammenlignet med den en-årige dyrkning. Hvis man efterlader tangen henover sommeren og ikke afklipper biomasse til genvækst, så vil man i sensommeren miste biomasse og derved også biofilter kapacitet til at indbygge kvælstof og fosfor.

Det højeste indhold af kvælstof blev registreret i januar ved begge lokaliteter. Denne stigning matcher det øgede koncentrationsniveau af uorganisk kvælstof, der ses i det omgivende naturlige havmiljø. På samme måde, så matcher de lave koncentrationer i tangen også de lave koncentrationer i det omgivende miljø fundet i maj-juli (målt og modellerede nitrat koncentrationer (se Marinho et al. 2015)).

Derudover tyder den højere koncentration af kvælstof i tangen fra REF lokaliteten sammenlignet med IMTA på at det uorganiske kvælstof fra havbruget er ubetydeligt for vækst og kvælsfindhold i tangen i forhold til den naturlige koncentration i det omgivende havmiljø. Dette skyldes især at tangproduktionen er placeret 500 m fra havbruget og kun i 50% af tiden nedstrøms (se Marinho et al 2015), og fordi Hjørnø havbrug er relativt småt sammenlignet med andre havbrug havbrug.

Som biofilter ville det være optimalt at have tangdyrkningen placeret tæt på kvælstofkilden/havbruget, men disse "små afstande" er ikke realistiske i en kommerciel IMTA og/eller kompensationsopdræt. Tangdyrkningen skal ikke være til gene for aktiviteterne forbundet med fiskeopdrættet og de store arealer, der er nødvendige for at kompensere kvælstof ved tangdyrkning, resulterer i at ikke "al tangen" kan være tæt på havbruget.

Kvælsfindholdet i tang, der følger de naturlige udsving i det omgivende havmiljø er også påvist i et nyligt dansk studie på naturligt forekommende sukkertang, men her blev den laveste koncentration fundet senere (juli-november) sammenlignet med vores studie (Nielsen et al. 2014).

Fosforindholdet havde samme sæson-mønster som kvælstof med lave (maj-september) og høje (januar) koncentrationer.

De store brunalgers udbytte ved rebdyrkning på verdensplan er rapporteret til at ligge på 12-60 ton tørvægt per ha per år, svarende til 80-100 ton vådvægt per ha per år (Bruton et al. 2009). De højeste udbytter finder man i Asien mens der for Europa mangler værdier for reelle udbytter i opskale-rede/storskala systemer. Sanderson et al. (2012) vurderer maksimumudbyttet til at være 340 ton vådvægt per ha per år i Skotland, mens det er vurderet at der kan produceres et udbytte af sukkertang på 30,4-45,6 ton vådvægt per ha løbet af én vækstsæson ved dyrkning i Spanien (Peteiro and Freire, 2013; Peteiro et al., 2014).

Projektets lavere beregnede udbytter baseret på udbytter opnået i storskala produktion, hvilket burde give mere realistiske værdier for kommerciel dyrkning af sukkertang, specielt i de Nordeuropæiske vande. Derudover er udbytter anvendt ved kommerciel høst af Hjørnø Havbrug A/S ved REF lokaliteten (1 kg vådvægt per meter reb, total høst på 5.890 kg vådvægt fra januar til maj) fra reb udsat med spirende sukkertang i 2012-2013. Et andet vigtigt aspekt er de forskellige dyrkningssystemer, der anvendes i forskellige studier/forsøg (f.eks. langline, droppers og rammer), samt forskellige afstande imellem dyrkningsstrukturerne. Disse forhold vil alle have en effekt på det reelle og estimerede udbytte.

Det højeste udbytte samt højeste kvælstof og fosfor koncentration og derved biofilter kapacitet blev registreret i august-september og det foreslås derfor som bedste årlige høsttid for dyrket sukkertang ved Hjørnø havbrug. Biomassen fra denne periode er svært begroet, hvilket gør tangen uegnet til fødevarer, hvilket for nuværende er den mest oplagte og største kommercielle anvendelse for sukkertang.

Denne begroede tang kunne evt. anvendes som råvarer til fiskefoder, hvor epifytter ikke nødvendigvis medfører en forringelse af kvaliteten (Marinho et al 2015a), men tang som råvarer til fiskefoder har en lavere værdi end tang anvendt som fødevarer.

## 8.5 Sammenfatning og vurdering

Sukkertangen dyrket ved eller udenfor fiskehavbrugs udviser potentiale til at optage og indbygge næringssalte og især kvælstof, der ved høst fjernes med tangbiomassen.

De udbytter vi finder i dette studie er mindre end hvad andre studier finder, men de andre studier er som oftest udført i mindre dyrkningsskala og derefter ekstrapoleret.

For at opnå den største biofiltereffekt skal tangen høstes i august-september i forbindelse med en en-årig produktionscyklus, eller i maj (i en toårig cyklus) for at optimere biomassens værdi i forhold til anvende den som fødevarer.

Disse høstidspunkt foreslås når også epifytternes dækningsgrad tages med i overvejelserne, da dette har en signifikant effekt på anvendelse og værdi af tangbiomassen.

Den generelle tendens var den individuelle sukkertangsvægt (længde) øgedes fra maj til august, hvorefter det gamle tangblad blev tabt i september. Derefter øger tangen igen sin biomasse fra september til maj.

Vådvægtens indhold af kvælstof varierede fra ca. 0,1-0,5% af vådvægt i løbet af året med det laveste indhold i maj og de højeste værdier i september. Begroningen med epifytter viste ikke nogen videre indflydelse på kvælstofindholdet i den høstede biomasse.

Fosfor indholdet varierede over året fra ca. 0,01 til 0,1% kvælstof af vådvægt. Med det størst indhold i januar. Begroningen med epifytter forøgede fosfor indholdet markant i den høstede biomasse i især august og september.

Erfaringerne med biomasseproduktion og kvælstoffjernelse baseret på stor-skala produktion ved Hjørnø Havbrug kan anvendes til at beskrive et fremtidigt scenarie baseret på ekstrapolering, hvor man kan regne med minimum høst på 2,1 ton vådvægt (frisk tang) per ha i maj måned og en fjernelse af 3 kg kvælstof pr. ha.

Det maksimale udbytte var i september med en årlig produktion ((5,1-7,1 ton vådvægt per ha), mens en 2 årig produktion giver et maksimalt udbytte på 6,7-7,1 ton vådvægt per ha ved at dyrke tangen til efterfølgende maj. Dette resulterer i en kvælstoffjernelse på 23,7-39,4 kg ha<sup>-1</sup> og 26,0- 31,2 kg ha<sup>-1</sup>.

Det er endnu for få data til at sige noget entydigt i forhold til anbefalet høst tidspunkt.

### Referenceliste

- Marinho, G.S., Holdt, S.L., Birkeland, M.J. Angelidaki I (2015). Bioremediation of sugarkelp, *Saccharina latissima*, cultivated in a commercial off-shore integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). Journal of Applied Phycology, DOI: 10.1007/s10811-014-0519-8
- Nielsen M.M., Krause-Jensen D., Olesen B., Thinggaard R., Christensen P.B., Bruhn A. (2014) Growth dynamics of *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyceae) in Aarhus Bay, Denmark, and along the species' distribution range. Marine Biology 161:2011–2022.
- Peteiro C, Freire Ó (2013) Biomass yield and morphological features of the seaweed *Saccharina latissima* cultivated at two different sites in a coastal bay in the Atlantic coast of Spain. Journal of Applied Phycology 25:205–213
- Peteiro C, Sánchez N, Dueñas-Liaño C, Martínez B (2014) Open-sea cultivation by transplanting young fronds of the kelp *Saccharina latissima*. Journal of Applied Phycology 26:519–528

## 9. NÆRINGSINDHOLD I TANG

Af Susan L. Holdt, DTU Fødevarerinstitutionen, Goncalo S. Marinho, DTU Miljø

KOMBI projektet har også til formål at karakterisere andre indholdsstoffer i tang, for at evaluere biomassen til især konsum og foderingsrediens.

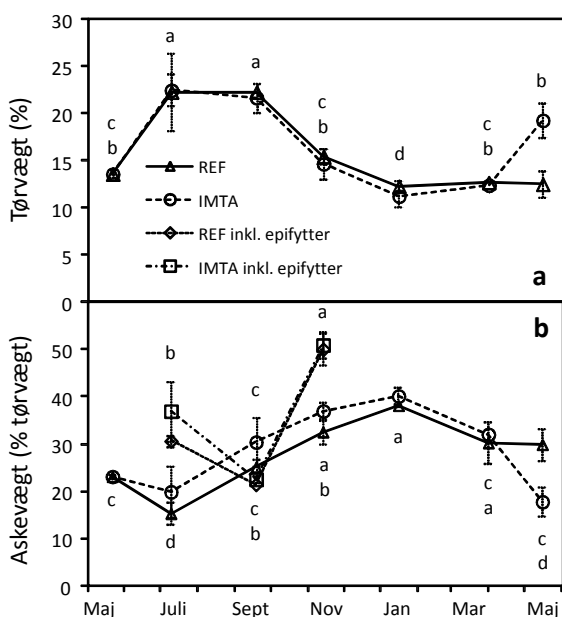
Hovedbestandele som protein, aminosyrer, aske (hovedsageligt mineraler/spormetaller), total lipider, fedtsyrer, og enkelte vitaminer er beskrevet nedenfor, samt sammenlignet med andre fødevarer eller foderingsredienser. Indholdet af tungmetaller og mulige problematiske stoffer såsom jod er også bekræftet og vurderet i forhold til gældende grænseværdier, da dette har stor betydning for anvendelsen. I de følgende afsnit opgives værdierne i tørvægt af tangbiomassen, for mulig sammenligning med f.eks. andre fødevarer og foder.

### 9.1 Tørstof og askevægt

Tørstof beskrives som den biomasse, og derved alle indholdsstoffer (organiske og uorganiske) i tang, men uden vand. Denne opnås ved tørring ved 105 °C i ca. et døgn eller til konstant vægt. Tørvægt er den mest korrekte at anvende ved sammenligning mellem forskellige organismer, da der ikke skal tages højde for deres forskellige vandindhold. Sukkertangen indeholder ca. 83% vand (årgennemsnit), men ændres lidt hen over året med den signifikant højeste tørvægt fra både reference og IMTA område i juli og september (21,7-22,5% tørvægt) og med laveste værdier fundet i januar-marts (11,3-12,7% tørvægt; Figur 9.1a; se også Marinho et al., 2015b). Der er ingen forskel i værdierne imellem de to områder.

Askevægten findes ved at "afbrænde" biomassen i et døgn i 550 °C, og er et udtryk for især hvor mange mineraler, der er i biomassen, da alt organisk (proteiner, sukkerstoffer, fedtstoffer, pigmenter osv.) afbrændes (figur 9.1b).

I de følgende afsnit opgives værdierne i tørvægt af tangbiomassen, for mulig sammenligning med f.eks. andre fødevarer og foder.



Figur. 9.1 Årstidsvariation i a) tørvægt (%) og b) askevægt (% af tørvægt) af sukkertang (*Saccharina latissima*) dyrket ved områderne reference (REF) og Integreret Multi-Trofisk Akvakultur (IMTA), og når epifytter var tilstede fra juli-november. Standard afvigelserne er præsenteret som "barrer" (n=3) og forskelligt bogstav repræsenterer signifikant forskel ( $P<0.05$ ) mellem prøvetagningsmånederne.

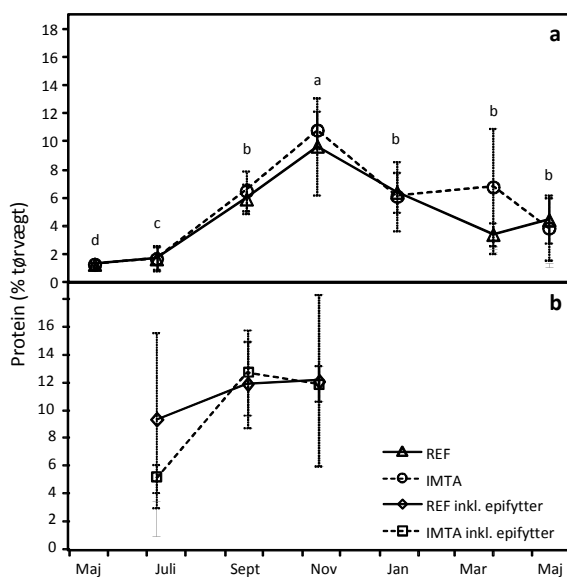


## 9.2 Protein og Aminosyreprofil

Proteiner er lange kæder af aminosyrer. Det er rækkefølgen af aminosyrer, der giver proteinerne i f.eks. kød sine karakteristika i struktur (i musklerne), næringsværdi og smag. Den rigtige sammensætning af aminosyrer i fødevarer og foder er derfor vigtig, for at der kan opbygges bl.a. muskler. Dette er især vigtigt, når det gælder de essentielle aminosyrer, som vi ikke kan danne selv, men skal komme igennem vores føde eller foder. Dette kan også udtrykkes vha. en essentiel aminosyre score (EAS), der udtrykker kvaliteten af proteinet ved at tage højde for den første begrænsende aminosyre. Resultaterne er baseret på kravene fra WHO/FAO/UNU (2007).

Proteinmængden i tang er i KOMBI projektet bestemt ud fra summen af aminosyrerne minus den vand, der ved hydrolisering/kløvning af proteinkæden til aminosyrer tilkobles hver aminosyre. Dette er mere præcist end ved at omregne total Kjeldahl nitrogen (TKN) og ganget med en faktor (f.eks. 5,23 for brunalger), da TKN er al organisk kvælstof (derved også bundet i DNA) og ammonium ( $\text{NH}_4$ ), og tang kan binde/indeholde/opkoncentrere store mængder kvælstof i form af nitrat og/eller ammonium og dette er varierende alt efter sæson.

Den signifikant højeste koncentration af protein i den rene tang blev fundet i november, hvor gennemsnittet var på ca. 10% af tørvægten, og den signifikant laveste koncentration i tangen (under 2%) var i maj måned i 2013. Der var ingen forskel i proteinkoncentrationen i sukkertangen fra reference og IMTA området hen over året. I de måneder hvor der var epifytter tilstede (juli-november), havde disse ikke bemærkelsesværdig indflydelse på proteinindholdet i biomassen (figur 9.2; tabel 9.2, samt Appendiks 17).



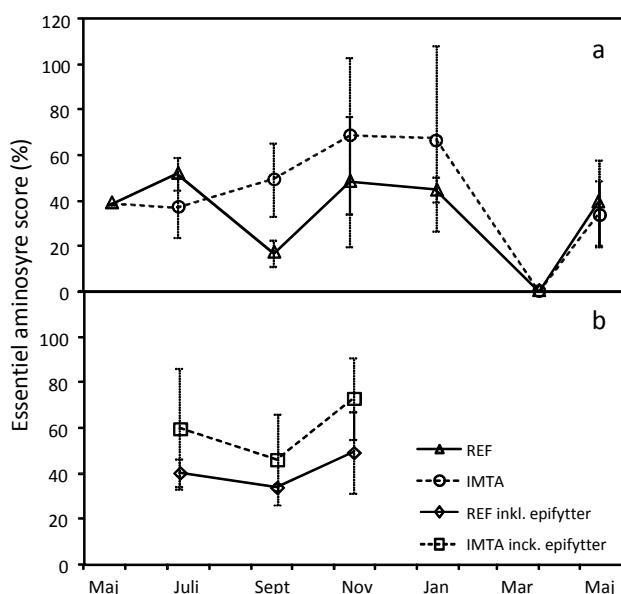
Figur 9.2 Årstidsvariation i proteinindhold af sukkertang (*Saccharina latissima*) dyrket ved a) områderne reference (REF) og Integreret Multi-Trofisk Akvakultur (IMTA), og b) når epifytter var til stede fra juli-november. Standard afvigelserne er præsenteret som "barrer" (n=3) og forskelligt bogstav repræsenterer signifikant forskel ( $P<0.05$ ) mellem prøvetagningsmånederne.

Aminosyreprofilen (altså sammensætningen af mængder af de forskellige aminosyrer) af sukkertangen var forskellig i de forskellige sæsoner, men der var ingen signifikant forskel imellem de to lokaliteter (REF og IMTA; se tabeller i appendiks kap 16 og kap 17. Aminosyresammensætningen i juli var forskellig for alle de andre måneder, og også september var forskellig for november og maj 2014. Det totale aminosyreindhold var ved begge lokaliteter højest i november (11,3–12,7 % tørvægt;  $P<0.05$ ), og med laveste værdi i maj-juli (1,5–2,0% tørvægt; Tabel 9.1, Appendiks 17).

Glutamin- og asparaginsyre udgjorde tilsammen 42–49% af de totale aminosyrer i marts og med den laveste koncentration fundet i juli (19–26%) i begge lokaliteter, hvorimellem der ikke var nogen forskel.

Indholdet af de essentielle aminosyrer varierede markant med sæsonen med de laveste værdier fundet i marts ved begge lokaliteter (248  $\text{mg g}^{-1}$  protein) og med signifikant højere koncentrationer fundet i juli sukkertangen (481–494  $\text{mg g}^{-1}$  protein; Tabel 17.1, Appendiks 17).

Tryptofan blev slet ikke fundet, da den, hvis den er til stede, ødelægges i forbehandlingen til aminosyreanalysen. Histidin blev ikke målt i sukkertang fra begge lokaliteter i marts og var den begrænsende aminosyre resten af året, på nær maj 2013, hvor isoleucin var begrænsende essentielle aminosyre med en score på 38,7%. Den højeste score var for REF lokaliteten 48,4-52,0% i juli og november, og i november og januar ved IMTA lokaliteten (67,7–68,9 %; figur 9.3), dog uden signifikante forskelle.

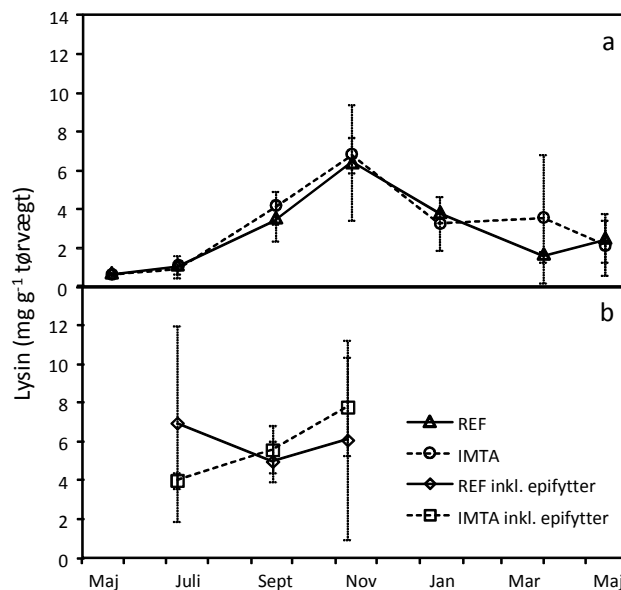
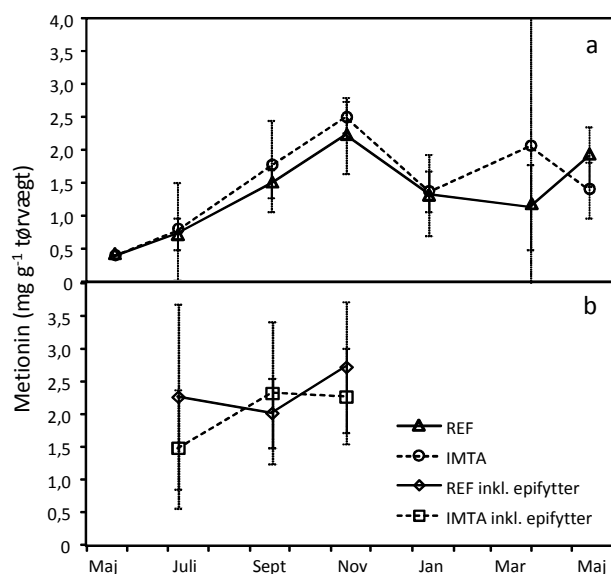


Figur 9.3 Årstidsvariation i den essentielle aminosyre score (%; baseret på aminosyre kravene fra WHO/FAO/UNU (2007)) af sukkertang (*Saccharina latissima*) dyrket ved a) områderne reference (REF) og Integreret Multi-Trofisk Akvakultur (IMTA), og b) når epifytter var tilstede fra juli-november. Standard afvigelserne er præsenteret som "barrer" (n=3).

Lysin og metionin er nogle af de vigtige aminosyrer til fiskemelsingrediens og koncentrationen varierede fra minimum på hhv. 0,68 og 0,38 mg g<sup>-1</sup> tørvægt i maj til et maksimum på 6,5-7,2 og 2,1-2,4 mg g<sup>-1</sup> tørvægt i november for tang fra begge lokaliteter (figur 9.4 og 9.5). Forskellene i indholdet af de to aminosyrer var dog ikke signifikant forskellige hverken hen over året eller mellem lokaliteterne REF og IMTA (P>0.05). Indholdet af aminosyren arginin øgedes dog signifikant fra 0,75 mg g<sup>-1</sup> tørvægt i maj 2013 til 6,1–9,8 mg g<sup>-1</sup> tørvægt i november ved begge lokaliteter. Cystein var ikke til stede fra november til maj 2014, men koncentrationen nåede sit max i september for tang fra begge lokaliteter (0,15–0,19 mg g<sup>-1</sup> tørvægt).

Generelt set, så havde sæson en effekt på protein og aminosyresammensætningen, men der var ingen forskel mellem dyrkningslokaliteterne. Proteinindholdet varierede markant imellem 1,3% til højeste koncentration i november på 10,8% af tørvægt. Med få undtagelser (cystein og histidin i nogle prøvemåned) så indeholdt alle prøver de 10 essentielle aminosyrer (EAA; undtagen tryptofan, der mistes under hydrolysen i metoden), hvilket kvalificerer sukkertang til EAA kilde. Asparagin- og glutaminsyre var de dominerende aminosyrer i maj 2013 og fra november 2013 til maj 2014 (tabel 17.1, Appendiks kap 17) uden effekt af epifytter eller lokalitet (table 17.2, Appendiks kap 17). Glutaminsyre var at finde i højeste koncentration i juli og september sammen med leucin og alanin. EAA andelen varierede signifikant fra højest i juli til lavest i marts for begge lokaliteter. Den højeste EAA score fundet i dette studie er indenfor den værdi, der er rapporteret for japanske spiselige tangarter (60-100%; Murata and Nakazoe 2001), samt andre tangarter (20-67%; Černá 2011) og er højere end de scorer man finder for havre, ris, sojabønner, hvede og peanuts (43-57%; Brody 1999). Indholdet af aminosyrer i sukkertangen over hele året og lokalitet var over kravsmønstret på 305 mg g<sup>-1</sup> protein for WHO/FAO/UNU (2007) på nær prøver af tang indsamlet ved begge lokaliteter i marts.

Figur 9.4 Årstidsvariation for aminosyren lysin ( $\text{mg/g}$  tørvægt) i sukkertang (*Saccharina latissima*) dyrket ved a) områderne reference (REF) og Integreret Multi-Trofisk Akvakultur (IMTA), og b) når epifytter var tilstede fra juli-november. Standard afvigelserne er præsenteret som "barrer" ( $n=3$ ).



Figur 9.5 Årstidsvariation for aminosyren metionin ( $\text{mg/g}$  tørvægt) i sukkertang (*Saccharina latissima*) dyrket ved a) områderne reference (REF) og Integreret Multi-Trofisk Akvakultur (IMTA), og b) når epifytter var til stede fra juli-november. Standard afvigelserne er præsenteret som "barrer" ( $n=3$ ).

Proteinkravene for optimal fiskevækst varierer fra 28 til 50% tørvægt (Wahbeh 1997), og også aminosyredataene viser at sukkertang ikke har tilstrækkelige mængder, hvor EAA i fisk er højere for lysin, metionin, arginin og cystein (Alliot et al. 1974; Harding et al. 1977; Jackson and Capper 1982; Thebault et al. 1985; Tibaldi and Lanari 1991). Sammenlignelig med hvedemel har sukkertangen nogle aminosyrer i højere koncentrationer uanset høsttidspunkt. Sammenligner man med et studie med fiskemel og sojamel sammensætningen af Hertrampf and Piedad-Pascual (2000), så har tangen et lavere proteinindhold og ringere aminosyreprofil.

## Konklusion

Proteinindholdet og aminosyreprofilen er vigtig for anvendelse og udnyttelse af sukkertangen til fødevarer eller fiskefoder. Resultater opnået i dette projekt viser at sukkertangen er egnet som protein/essentiell aminosyreingrediens, men ved inkluderingen i fødevarer eller foder vil tangen også medføre andre gavnlige effekter. Proteinindholdet varierede markant afhængig af høsttidspunkt, hvilket der skal tages højde for, for at optimeret udnyttelse. I nogle måneder var der naturligt forekomster af epifytter, men denne begroning påvirkede hverken aminosyreindholdet eller EAA scoren. Dog var EAA indholdet og

EAA andelen signifikant reduceret sammenlignet med ren tangbiomasse. Der skal tages højde for epifytternes tilstedeværelse, når den potentielle biomasse evalueres, og derved også høsttidspunktet, da dette kan føre til uoverensstemmelser imellem udnyttelse, udbytte og bedste næringsværdi.

Sæsonvariationerne i protein og aminosyreprofilen, samt den næringsmæssige værdi af sukkertang er diskuteret mere i detaljer i kommende videnskabelige artikler.

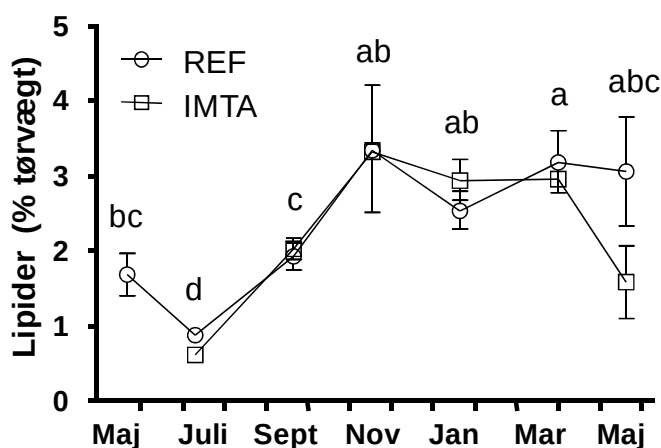
### 9.3 Lipider og fedtsyrer

Lipider (fedtstoffer) og fedtsyrer er vigtige som energikilde i vores fødevarer, men spiller også en stor rolle for opbygningen af cellemembraner. Der er stor forskel på kvaliteten af fedtsyrer og deres evne til at give cellemembraner den rette struktur, samt kvalitet i f.eks. nerve-, hjerne- og synsceller. Derudover har de omega 3 langkædede flerumættede fedtsyrer (PUFA) også vist afgørende betydning for at reducere risici for kredsløbssygdomme, kræft, depression og mentale forstyrrelser (Marinho et al., 2015c). Der er dog også andre fedtsyrer, som er af dårligere kvalitet for organismer såsom især mættede (SFA) men også monumættede fedtsyrer (MUFA). Derudover anbefaler WHO en afbalanceret (lav) andel af omega 6/omega 3, og omega 3 fedtsyrer er essentiel i den daglige kost, samt i foder for vækst og overlevelse af fisk.

Mennesker, dyr og mange andre organismer kan ikke selv syntetisere/danne omega 3 PUFA (eller mere præcis forstadierne hertil), og skal have dem fra kosten/foderet. Fiskeolier og fede fisk er dog stadig en af de bedste kilder til omega 3 PUFA, men de får som sagt fra foderet. De marine mikro- og makroalger (tang) er potentielle direkte kilder til omtalte fedtsyrer. Der er specielt fokus på fysiologiske essentielle EPA (eikosa-pentaen-syre; 20:5n-3) og DHA (dokosa-hexaen-syre; 22:6n-3). Derudover er der ALA (alfa-linolen-syre; 18:3n-3) er en omega-3 fedtsyre i planteverdenen, der i mindre grad bliver omdannet til EPA og DHA i stofskiftet.

For at kunne måle de forskellige fedtsyrer laves de om til methyl-estre og kan således måles på et avanceret instrument. Denne metode og de samlede fedtsyrer kaldes derfor FAME (fatty acid methyl esters).

Lipidindholdet og sammensætningen varierede signifikant over året ( $P < 0.05$ ), men ikke imellem lokaliteterne (REF og IMTA). Indholdet varierede fra 0,62-0,88% af tørvægt i juli til 3,33-3,35% af tørvægt i november ( $P < 0.05$ ; figur 9.6).

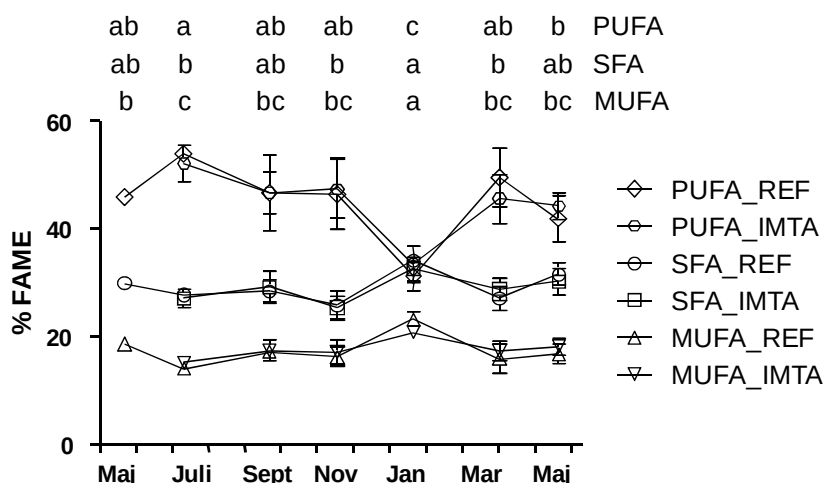


Figur 9.6 Årlig variation i lipidindholdet (% tørvægt) af sukkertangen *Saccharina latissima* (uden epifytter) dyrket ved en reference (REF) og en integreret multi-trofisk akvakultur (IMTA) lokalitet i 2013-2014. Standardafvigelse er præsenteret som "barrer" ( $n=3$ ), og de forskellige bogstaver indikerer signifikant forskel mellem prøvemånederne ( $P < 0.05$ ).

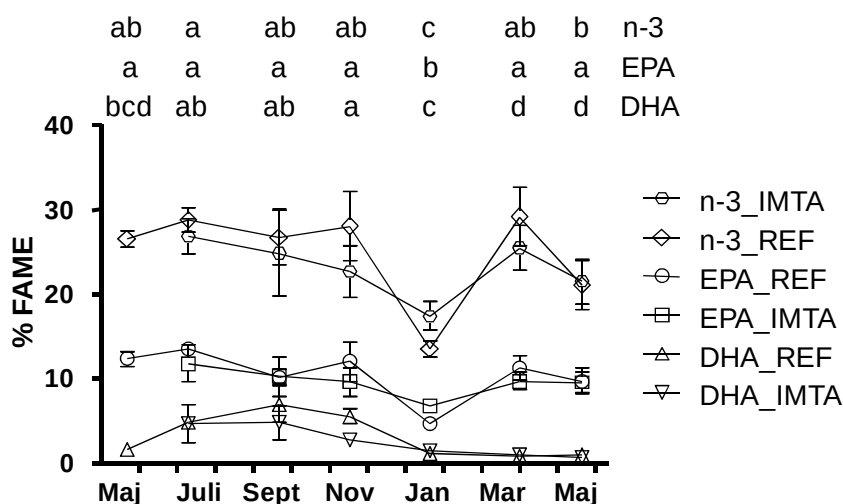
De mættede fedtsyrer (SFA) udgjorde mindst (25,5-25,9%) af FAME i november, mens de mono-mættede fedtsyrer (MUFA) bidrog med et minimum på 14,1-15,2% FAME i juli. I januar øgedes SFA signifikant til 32,6-34,2 og MUFA øgedes til 20,9-23,3% FAME ( $P < 0.05$ ; figur 9.7). Dog udgjorde koncentrationen af de flerumættede fedtsyrer (PUFA) kun et minimum på 31,3-33,6% FAME i januar og toppede med 52,3-54,0% FAME i juli.

Palmsyre (SFA; 16:0) dominerede fedtsyresammensætningen af sukkertang hele året med 14,8-19,4 % FAME (tabel 1), og oliesyre (18:1n-9) var den mest dominerende MUFA, der varierede fra 8,3 til 13,9% FAME. For PUFA, der havde n-3 og n-6 grupperne deres højeste koncentration i juli med hhv. 26,9-28,8 og 22,8-22,9% FAME (figure 9.7 og 9.8), og med laveste i hhv. januar og november-januar ( $P<0.05$ ). Andelen n-6/n-3 varierede fra 0,56 til 1,18 for alle månederne.

Figur 9.7 Årlig variation af PUFA, SFA og MUFA (% FAME) af *Saccharina latissima* (uden epifytter) dyrket ved en reference (REF) og en integreret multi-trofisk akvakultur (IMTA) lokalitet i 2013-2014. Standardafvigelse er præsenteret som "barrer" ( $n=3$ ), og forskellige bogstaver i rækkerne indikerer signifikante forskelle mellem prøvemånederne ( $P<0.05$ ).



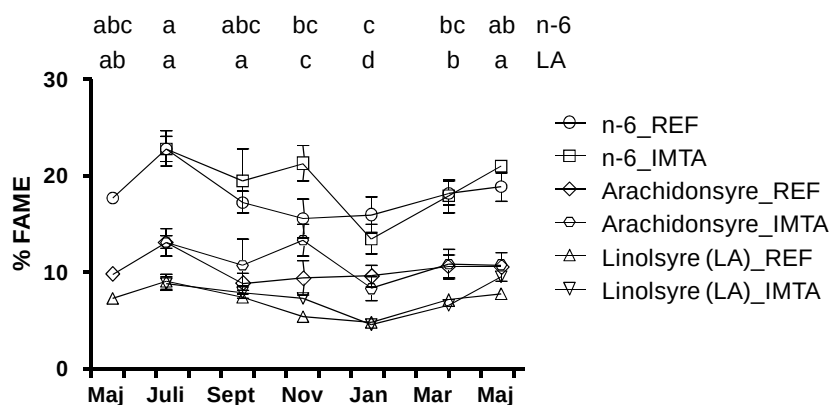
EPA var den mest dominerende n-3 med højeste koncentrationer i juli (11,8-13,5) og lavest indhold i januar måned (4,7-6,8%;  $P<0.05$ ). DHA indholdet varierede fra minimum på 0,6-1,5 (january-maj) til højeste koncentration på 4,7-7,0% i september. EPA og DHA kan dannes ud fra stearidonic acid (SDA; 18-4n-3) og SDA indholdet varierede fra 4,0-4,9 i januar til 9,3-10,9% i marts. Den essentielle fedtsyre  $\alpha$ -linolensyre varierede i indhold fra 2,6-3,1 i november-januar til 4,7-5,4% i marts.



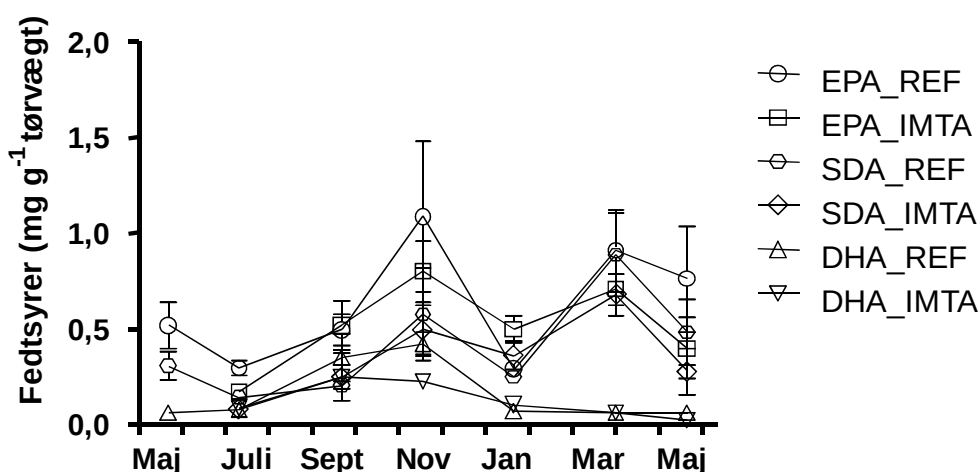
Figur 9.8 Årlig variation af omega 3, EPA and DHA (% FAME) i *Saccharina latissima* (uden epifytter) dyrket ved en reference (REF) og en integreret multi-trofisk akvakultur (IMTA) lokalitet i 2013-2014. Standardafvigelse er præsenteret som "barrer" ( $n=3$ ), og forskellige bogstaver i samme række indikerer forskelle imellem prøvetagningsmåneder ( $P<0.05$ ).

Eicosanoid kan dannes fra arachidonsyre (ARA), som var den mest dominerende n-6. ARA varierede hen over sæsonen fra 8,3 til 13,4% af FAME, dog uden signifikant forskel ( $P>0.05$ ; figur 9.9). Den essentielle linalsyre varierede fra 4,6-4,9 i januar til 7,3-9,6% af FAME i maj-september.

Figur 9.9 Årlig variation af omega 6, arachidon- og linolsyre (% FAME) i *Saccharina latissima* (uden epifytter) dyrket ved en reference (REF) og en integreret multi-trofisk akvakultur (IMTA) lokalitet i 2013-2014. Standardafvigelserne er præsenteret som "barrer" (n=3), og forskellige bogstaver i samme række indikerer forskelle imellem prøvetagningsmåneder ( $P<0.05$ ).

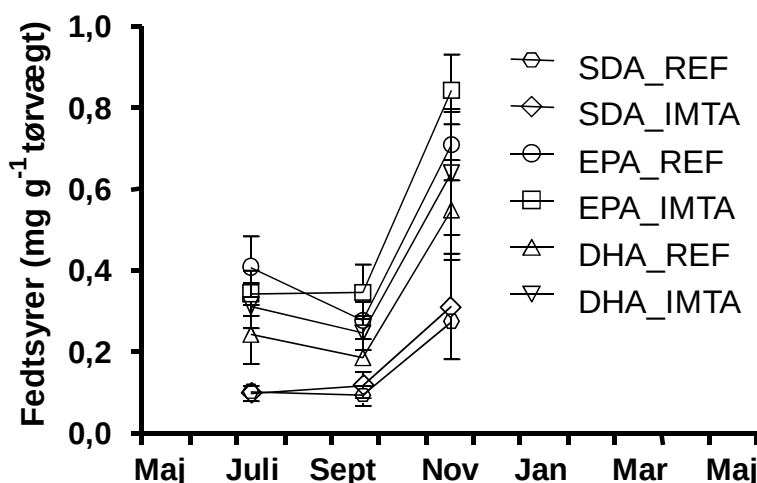


Ved at omregne fedtsyrerprocent af FAME til indholdet i vægt (se forklaring i figurtekst) se figur 9.10 og 9.11, samt Marinho et al., 2015c) vurderes indholdet af EPA til at variere signifikant med et minimum på 0,17-0,30 mg g<sup>-1</sup> af tørvægt i juli til et maksimum på 0,80-1,09 mg g<sup>-1</sup> af tørvægt i november. Det laveste SDA indhold fundet i juli (0,08-0,14 mg g<sup>-1</sup> af tørvægt) øgedes signifikant til 0,68-0,89 mg g<sup>-1</sup> af tørvægt i marts ( $P<0.05$ ). Det højeste indhold af DHA blev fundet i september-november (0,22-0,42 mg g<sup>-1</sup> af tørvægt) mens signifikant lavere indhold blev fundet i alle andre måneder (0,02-0,10 mg g<sup>-1</sup> af tørvægt).



Figur 9.10 Årlig variation af SDA, EPA and DHA koncentration (mg g<sup>-1</sup> tørvægt) i *Saccharina latissima* (uden epifytter) dyrket ved en reference (REF) og en integreret multi-trofisk akvakultur (IMTA) lokalitet i 2013-2014. Koncentrationerne er udregnet baseret på at FAME udgør 24,7% af de totale lipider (Fleurence et al. 1994). Standardafvigelserne er præsenteret som "barrer" (n=3), og forskellige bogstaver i samme række indikerer forskelle imellem prøvetagningsmåneder ( $P<0.05$ ).





Figur 9.11 Årlig variation af SDA, EPA and DHA koncentration ( $\text{mg g}^{-1}$  tørvægt) i *Saccharina latissima* med epifytter dyrket ved en reference (REF) og en integreret multi-trofisk akvakultur (IMTA) lokalitet i 2013-2014. Koncentrationerne er udregnet baseret på at FAME udgør 24,7% af de totale lipider (Fleurence et al. 1994). Standardafvigelse er præsenteret som "barrer" ( $n=3$ ), og forskellige bogstaver i samme række indikerer forskelle imellem prøvetagningsmåneder ( $P<0.05$ ).

Ændringerne i fedtsyresammensætningen blev drevet af sæsonen ( $P<0.05$ ), mens lokaliteterne (REF og IMTA) ikke havde nogen signifikant effekt. Sammensætningen af fedtsyrer i sukkertang i januar var signifikant forskellig fra alle andre måneder. Statistisk analyse viste, at disse forskelle hovedsageligt kunne forklares ud fra det relative indhold af især 20:5n-3 (13,1-33,4 %), 14:0 (11,1-29,4 %) og 18:1n-9 (10,2-16,9 %).

De totale fedtsyrer, MUFA og n-6 (% af FAME) ikke varierede signifikant i de måneder hvor epifytter var tilstede på sukkertangen hverken ved sæson eller lokalitet ( $P>0.05$ ). Der var dog signifikante forskelle i lipidindholdet (% af tørvægt), SFA, PUFA, n-3, n-6/n-3 ratio og EPA+DHA, dog ikke imellem lokaliteterne. Det højeste n-3 indhold var i november (27,5-28,5 % af FAME) og det højeste EPA+DHA var i juli og november (8,6-11,1% af FAME).

Sukkertang med epifytter høstet i november havde højere indhold af EPA (0,71-0,84  $\text{mg g}^{-1}$  af tørvægt), DHA (0,55-0,64  $\text{mg g}^{-1}$  af tørvægt og SDA (0,27-0,31  $\text{mg g}^{-1}$  af tørvægt) sammenlignet med juli og september på hhv. 0,28-0,41, 0,19-0,31 og 0,09-0,12  $\text{mg g}^{-1}$  af tørvægt ( $P<0.05$ ; figur 9.10).

Hvis alle parametrene (3 faktorer) blev inkluderet i den statistiske analyse for de måneder hvor der var epifytter (juli, september og november), lokalitet og begroning af epifytter, så var der ingen signifikant forskel i EPA (% FAME), men der var signifikant højere koncentration af DHA i november tangen med epifytter på. Der var ingen forskel i MUFA, PUFA og n-6 indholdet hverken med sæson, lokalitet eller med eller uden epifytter, dog var SFA signifikant højere i juli og september sammenlignet med november i tang med epifytter sammenlignet med dem uden. Indholdet af n-3 var højere i de tangprøver uden epifytter i juli og september, men det var kun prøver med epifytter hvor der var signifikante sæsonvariationer.

Alger (inkl. tang) har evnen til at kunne ændre metabolismen og derved muligheden for at bruge SFA til at opbygge PUFA, hvilket er unikt sammenlignet med pattedyr. Den eneste måde hvorpå vi pattedyr kan øge vores indre koncentration af PUFA er ved at ændre vores kost og dermed øge vores indtag af PUFA eller de nære forstadier til PUFA'er.

Normalt er der en større andel af PUFA end SFA i tang fra koldvands områder, som vi også ser i dette projekt, hvilket ses som en tilpasning for at vedholde cellemembraners flydeevne. Men vi observerer dog lavest indhold af PUFA netop i den kolde måned januar, men det er også set i et andet studie.

Palmitinsyre, oliesyre, ARA og EPA var de mest dominerende året rundt i sukkertangen, hvilket stemmer overens med andre studier af brune tangarter. EPA var den mest dominerende n-3 fedtsyre året rundt sammen med SDA. Det er værd at bemærke at DHA generelt ikke findes i tang, eller kun i meget små

koncentrationer, mens den her i sukkertangen er relativ høj i koncentration i prøver høstet fra juli til november (2,7-6,9%).

## Diskussion

Når man skal vurdere lipid/fedt kvaliteten af fødevarer ser man på PUFA/SFA andelen, hvor 0,45 er det anbefalede minimum (HMSO 1994), hvilket er under den andel vi finder i sukkertangen på alle årstider. Derudover kan man vurdere n-6/n-3 andelen, der efter WHO's anbefalinger ikke skal overstige 10, hvor sukkertangen varierer imellem 0,56-1,18 over hele året. Disse værdier indikerer at sukkertangen kan være med til at bidrage til en mere balanceret kost.

Sukkertangen er derudover også rig på de langkædede og værdisatte helsefremmende ARA og EPA men også SDA og DHA, som ikke findes i de mere traditionelle grøntsager såsom kål og salat.

Derudover indeholder sukkertangen en højere andel af ARA og DA, med en lavere andel af EPA og DHA end fed fisk såsom laks, men også en mager fisk såsom torsk.

Da både kvaliteten men også kvantiteten af fedtsyrerne er essentielle for at vurdere en fødevarer som reel kilde til PUFA. Ud fra mængderne af lipider i tangen skal man, indtage 1,1-1,6 kg (166-244 g tørvægt) sukkertang om dagen, af den tang, der er høstet i november, hvor der er den højeste koncentration af EPA/DHA, for at opfylde det anbefalede daglige indtag på 250 mg EPA/DHA (Lagiou 2009; flere detaljer om udregninger se Marinho et al., 2015c). Til sammenligning kan et indtag af 45 g og 1,3 kg af hhv. sild og hummer imødekomme det anbefalede indtag (Ward og Singh 2005). Disse mængder tang er ikke realistisk at skulle indtage, og derfor er ekstraktion af n-3 fra tangmængden en mulighed, for at så kunne indtage den tilsvarende mængde ekstrakt.

Regnbueørred har behov for 1% essentielle fedtsyrer (18:3n-3), der kan omdannes til C-20 og C-22 PUFA'er, mens pighvars behov er på 0,8 (FAO 1980). Med sukkertangens lave koncentration af fedtsyrer, samt generelt lave tilsætning til fiskefoderet (maksimalt 10%), så kan sukkertang ikke være en alternativ kilde til fedtsyrer i fiskemel eller foder. Sammenlignet med fiskemel indeholder sukkertangen lavere koncentrationer af EPA og DHA, mens ARA og SDA ikke findes i fiskemel. Men da tangen indeholder mere PUFA end normale grøntsager, så kan tangen evt. erstatte nogle af de vegetabiliske ingredienser i fiskefoderet.

Januar skal undgås som høstmåned hvis man vil opnå højt indhold af PUFA, da andelen af PUFA var signifikant lavere end alle andre måneder. De andre måneders indhold af PUFA var ikke forskellig. Da indholdet af totale fedtsyrer var højest i november og marts, vil disse måneder være optimale for sukkertang som ingrediens eller fødevarer, da dette derved resulterer i øget total lipid indhold i disse måneder. November tang havde epifytter på den ældste del i spidsen af tangen, hvilket ikke er velegnet til konsum, mens fiskefoder kan være et alternativ. Generelt øgedes andelen af SDA og DHA, mens n-3 reduceredes (ingen ændring i EPA), ved tilstedeværelse af epifytter. Dog vil den anden del af tangen (den basale, nærmere stilken) i november, samt marts tangen kunne anvendes til fødevarer, hvilket allerede er hovedsagligt er den kommercielle anvendelse af sukkertang.

## Konklusion

Fedtsyreprofilen af sukkertang indeholder en stor andel af de langkædede og værdisatte helsefremmende PUFA'er (specielt ARA, EPA og også SDA og DHA), selvom sukkertangen har et relativt lavt lipidindhold, og derved også lavt fedtsyreindhold. Der er dog en fordelagtig PUFA/SFA og n-6/n-3 andel. PUFA står for hele 52,3-54,0 % af FAME i juli måned, men ekstraktion af n-3 og -6 skal overvejes. Sammenlignet med traditionelle grøntsager såsom kål og salat, så er sukkertang en bedre kilde til de langkædede PUFA'er, men ikke mht. EPA og DHA sammenlignet med fed fisk som laks eller mager fisk som

torsk. Høsttiden skal være november eller marts for at opnå højest indhold af n-3. Tilstedeværelsen af epifytter ved nogle høst tidspunkter øgede generelt andelen af SFA og DHA, men ikke n-3 indholdet.

For yderligere information se artiklen Marinho et al., 2015c.

## 9.4 Spormetaller

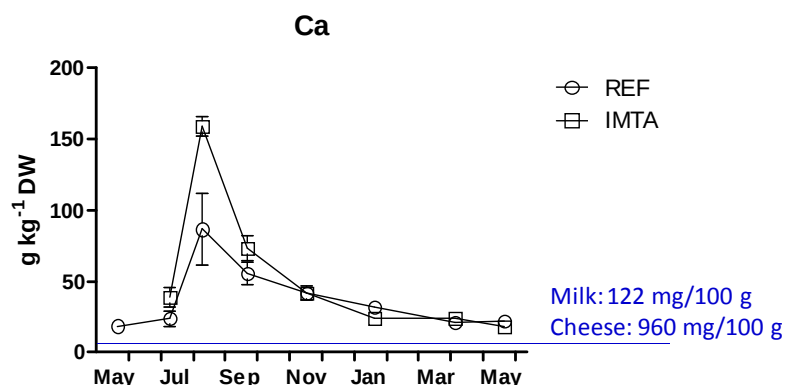
Tang kan opkoncentrere mineraler også kaldet spormetaller (Holdt og Kraan, 2011). De fleste spormetaller er gavnlige, få er ikke gavnlige i store mængder, mens andre er sundhedsskadelige såsom tungmetaller.

Sukkertangen blev analyseret for spormetalindholdet hele året og data er vist nedenfor.

Generelt blev der registreret en årstidsvariation i forekomsten af spormetaller, men der var også en interaktion imellem lokalitet (reference og IMTA). De statistiske forskelle var hovedsageligt drevet af de høje mineralkoncentrationer i IMTA i august, især i nogle prøver, hvilket gav utrolig store variationer.

### De gavnlige spormetaller

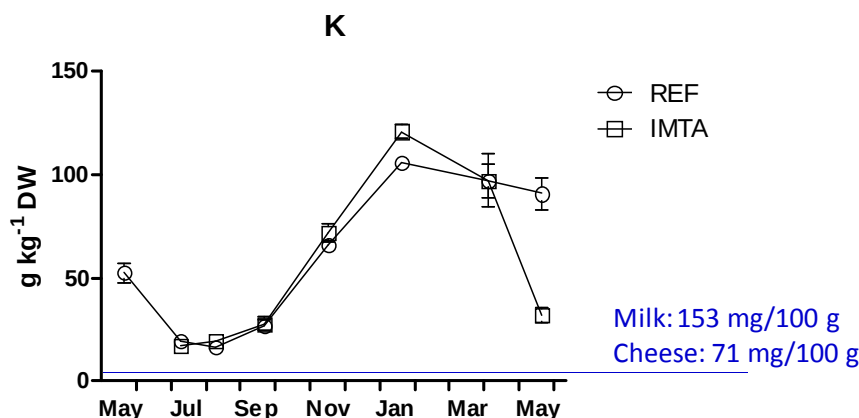
Calcium (Ca) er interessant for knoglestyrke, og én af dagligdagens calciumkilder er mælk og mælkeprodukter. Indholdet i Sukkertang var højere hele året sammenlignet med mælk og ost og med de højeste værdier fundet i august med op til 166 g/kg tørvægt, hvilket er over 10 gange koncentrationen i mælk og ost (figur 9.12).



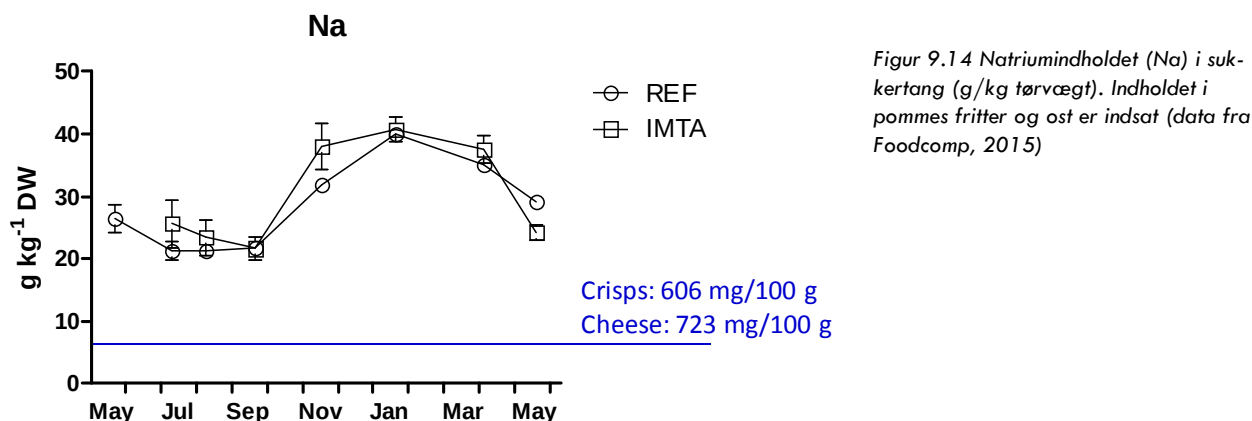
Figur 9.12 Calciumindholdet (Ca) i sukkertang (g/kg tørvægt). Indholdet i mælk og ost er indsat (data fra Foodcomp, 2015)

Natrium (Na) og kalium (K) saltene er interessante, da man gerne vil nedsætte brugen af natrium salt (bordsalt) i dagligdagen. Dette kan gøres ved at anvende kalium i stedet, der faktisk kan erstatte smagen af salt og der i teorien skulle være meget af i tang. Kaliumindholdet i tang varierede over året med lavest indhold i juli-september og højeste indhold om vinteren og forår, med koncentrationer op til 127 g/kg tørvægt (figur 9.13). Her er indholdet i tang næsten 100 gange højere sammenlignet med indholdet i mælk og ost på hhv. 1,5 og 0,7 g/kg tørvægt.

Figur 9.13 Kaliumindholdet (K) i sukkertang (g/kg tørvægt). Indholdet i mælk og ost er indsat (data fra Foodcomp, 2015)



Mønsteret i sæsonvariationerne i naturum følger meget godt den for kalium med højeste koncentration på 44 g/kg. Natriumindholdet og derved saltindholdet i fødevarer ønsker man ikke er højt, men desværre er dette også højt sammenlignet med fødevarer som ost, og også fødevarer man normalt ville forbinde med at være "salte", såsom pommes frites. Disse nævnte fødevarer har natrium koncentrationer på 6-7 g/kg tørvægt (figur 9.14).



Figur 9.14 Natriumindholdet (Na) i sukkertang (g/kg tørvægt). Indholdet i pommes frites og ost er indsat (data fra Foodcomp, 2015)

Der blev også målt jern (op til 5 g/kg), mangan (840 mg/kg), krom (8,8 mg/kg), kobolt (4,5 mg/kg), zink (91 mg/kg) og andre spormetaller, og disse data samt al statistik vil blive præsenteret i en snarligt kommende videnskabelig artikel.

### Problematiske spormetaller inkl. tungmetaller

I Danmark er det ikke tilladt at omsætte en fødevarer, hvor maksimalgrænseværdien overskrides. Der findes en opdateret oversigt over gældende grænseværdier for forurenende stoffer i fødevarer på Fødevarestyrelsens hjemmeside ([www.fvst.dk](http://www.fvst.dk)).

Internationalt er det i Europa EFSA (European Food Safety Authority), som vurderer kemiske kontaminanter i fødevarer (og foder) og foreslår grænseværdier for indhold.

Grænseværdierne fastsættes endeligt af EU kommissionen i direktiver, som efterfølgende implementeres i danske bekendtgørelser og forordninger. Dvs. grænseværdier fastsat af EU er også gældende i Danmark. I de tilfælde, hvor der ikke er specifikke regler, er det i Danmark Fødevarestyrelsen som vil foretage en vurdering om fødevarer ikke må markedsføres, hvis de er farlige, dvs. sundhedsskadelige og/eller uegnede til menneskeføde ud fra EU Forordning 178/2002 artikel 14 (EU 2002).

I EU lovgivningen findes der maksimalgrænseværdier for 3 toksiske metaller i fødevarer – cadmium (Cd), bly (Pb) og kviksølv (Hg) (EU 2006). Disse grænseværdier er også gældende i Danmark. Der er imidlertid ikke fastlagt grænseværdier i EU (og dermed Danmark) for toksiske metaller i tang som fødevarer (og derfor kan resultaterne ikke direkte vurderes på denne måde). Dog er der i EU grænseværdier for toksiske metaller i **kosttilskud**, og disse vil være gældende hvis tang anvendes til dette formål. Det vil i Danmark således være op til Fødevarestyrelsen (som national myndighed) at vurdere hvilke grænser, der er gældende for tang som **fødevarer** i Danmark. Dette gælder indtil EU får fastlagt EU grænseværdier. Der er dog andre lande, som har indført specifikke nationale grænseværdier for tang som fødevarer (tabel ??). Frankrig og USA har specifikke grænseværdier, der således kun gælder i disse lande, der sammenholdes med EU's og derved også de danske gældende grænseværdier for kosttilskud i tabel??.

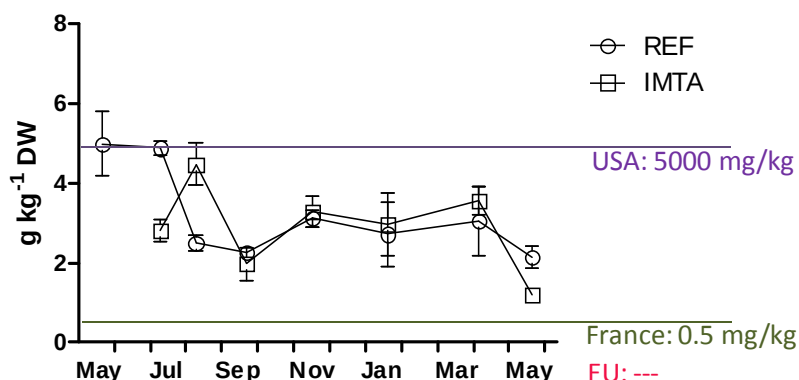
Der er således ingen garanti for at Fødevarestyrelsen (og andre nationale myndigheder i andre lande) vil anvende samme grænser som gælder i Frankrig og USA (tabel 9.1).

Tabel 9.1: Oversigt over EU grænseværdier for **kosttilskud**, samt visse nationale grænseværdier for tang som **fødevarer**. Alle værdier er på tørstofbasis.

|                 | Grænseværdi<br>(mg kg <sup>-1</sup> tørstof) |      |                      |
|-----------------|----------------------------------------------|------|----------------------|
|                 | Frankrig                                     | USA  | EU (kun kosttilskud) |
| Uorganisk arsen | 3                                            | 3    | -                    |
| Cadmium         | 0,5                                          | -    | 3                    |
| Bly             | 5                                            | 10   | 3                    |
| kviksølv        | 0,1                                          | -    | 0,1                  |
| Iod             | 0,5                                          | 5000 | -                    |

**Jod** er nødvendig for vores funktion af skjoldbruskkirtlen, der står for en stor del af vores hormonbalance i kroppen. Jod er nødvendigt og for lidt kan give struma, mens for meget skaber en overreaktion af skjoldbruskkirtlen, hvilket også kan give struma (Holdt og Kraan, 2011). Brunalger inkl. sukkertang kan akkumulere enorme mængder af jod, og derfor er det faktisk én af de stoffer man skal være opmærksom på i tang, og derfor er dette stof placeret i afsnittet om problematiske stoffer. Der er ikke noget klart årstidsmønster i jod-koncentrationen, men niveauet er meget højere (op til 5,8 g/kg) end grænseværdien på 1/10 i Frankrig, men under på nær det ene tilfælde af maksiværdien i maj 2013 for fødevarer i USA. EU har ingen lovgivning omkring grænseværdien (figur 9.15).

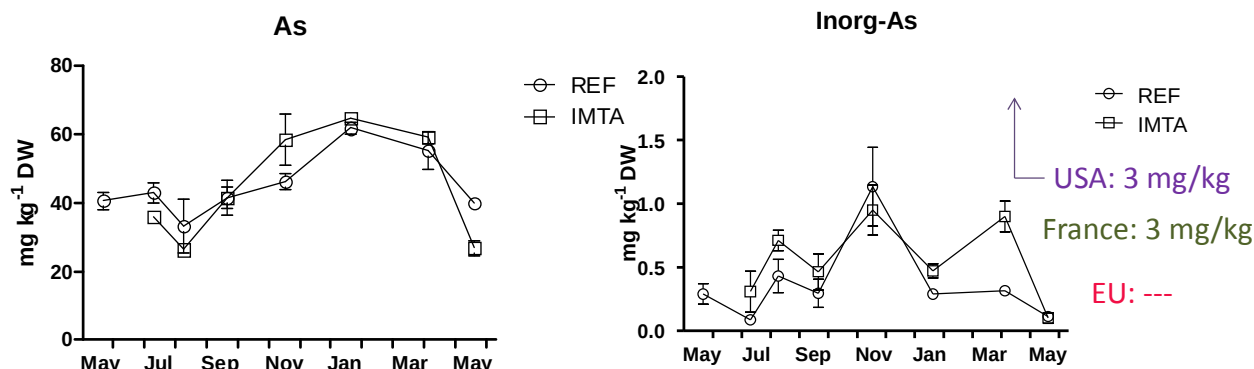
### Iodine



Figur 9.15 Jod i sukkertang dyrket ved reference (REF) og havbrug/muslingeopdræt (IMTA). Grænseværdier for fødevarer i USA og Frankrig, samt kosttilskud i EU er indsat. Hvis ingen grænseværdi opgivet er dette ikke fastsat i landet/unionen.

Marine organismer har generelt et højt indhold af **arsen** (arsenik). Men organismene ombygger normalt mængderne til arseno-sukre, hvilket gør arsenen organisk og ikke problematisk. Der er dog visse arter såsom især *Sargassum* arterne (inkl. Hijiki, en asiatisk art, der kan købes i helsekostforretninger!), der ikke blot akkumulerer større mængder, men også beholder arsenen på den uorganiske og derved pro-

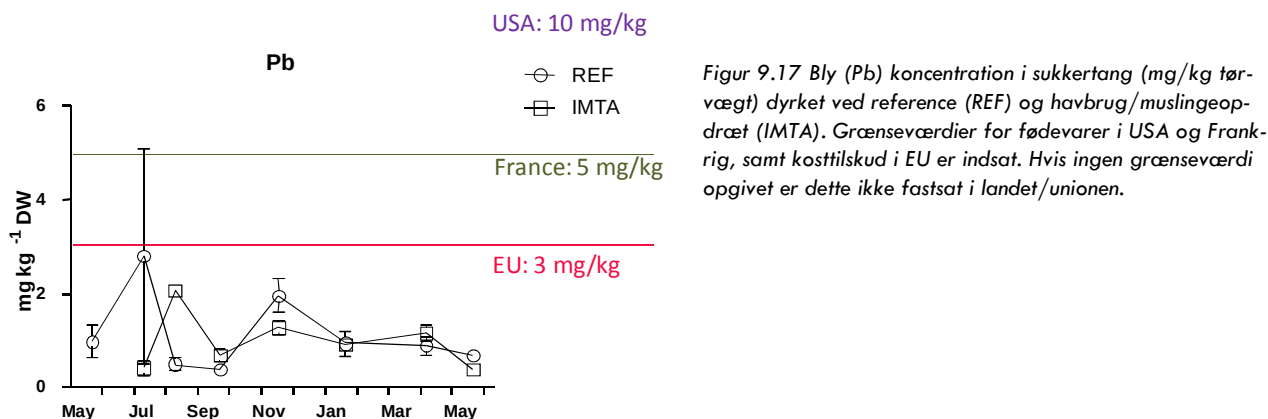
blematiske form (Holdt og Kraan, 2011). Total arsen er vist i figur 9.16, men det er især den uorganiske arsen, der har interesse. Der er ikke noget klart årstidsmønster, men alle målingerne i sukkertang holder sig under grænseværdierne for både USA og EU.



Figur 9.16 Arsen (total) og uorganisk (problematiske) arsen i sukkertang dyrket ved reference (REF) og havbrug/muslingeopdræt (IMTA). Grænseværdier for fødevarer i USA og Frankrig, samt kosttilskud i EU er indsat. Hvis ingen grænseværdi opgivet er dette ikke fastsat i landet/unionen.

**Bly** (med den kemiske betegnelse Pb) har en enkelt værdi for en replikat (7,4 mg/kg), der overskrider både den franske og europæiske grænseværdi på hh. 5 og 3 mg/kg tørvægt (sidstnævnte for kosttilskud), men holder sig under USA's med bly koncentrationer i sukkertangen på op til 2,7 mg/kg (figur 9.17).

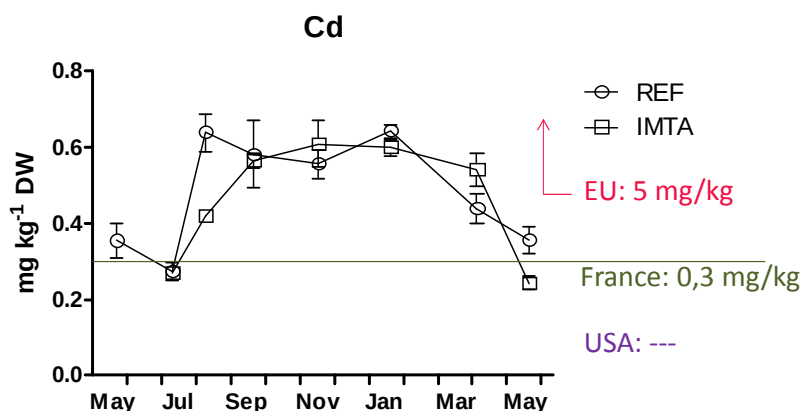
Indholdet af **kviksølv** lå under grænseværdierne for hele sæsonen.



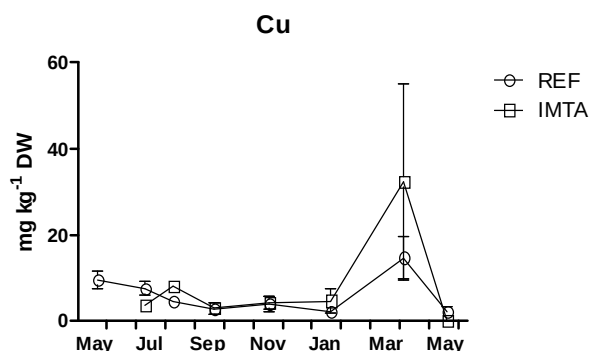
Figur 9.17 Bly (Pb) koncentration i sukkertang (mg/kg tørvægt) dyrket ved reference (REF) og havbrug/muslingeopdræt (IMTA). Grænseværdier for fødevarer i USA og Frankrig, samt kosttilskud i EU er indsat. Hvis ingen grænseværdi opgivet er dette ikke fastsat i landet/unionen.

**Cadmium** koncentrationerne i sukkertangen var for alle årstider langt under (ca. 1/10) grænseværdien for kosttilskud i EU, men stort set for alle målingerne lige over den franske grænseværdi på 0,3 mg/kg (figur 9.18).

Figur 9.18 Cadmium (Cd) koncentration i sukkertang (mg/kg tørvægt) dyrket ved reference (REF) og havbrug/muslingeopdræt (IMTA). Grænseværdier for fødevarer i USA og Frankrig, samt kosttilskud i EU er indsat. Hvis ingen grænseværdi opgivet er dette ikke fastsat i landet/unionen.



**Kobber** er et spormetal, der er nødvendigt, men ikke i store mængder. Der er ikke opsat nogle grænseværdier for kobber.



Figur 9.19 Kopper (Cu) koncentration i sukkertang (mg/kg tørvægt) dyrket ved reference (REF) og havbrug/muslingeopdræt (IMTA). Grænseværdier for fødevarer i USA og Frankrig, samt kosttilskud i EU er indsat. Hvis ingen grænseværdi opgivet er dette ikke fastsat i landet/unionen.

I marts 2014 havde den ene tangprøve (replik) en kobberkoncentration på 76, så er der én replikat på 18 og triplikaten på 2 mg/kg tørvægt, hvilket giver et stort udsving og dermed stor standardafvigelse for sukkertangen dyrket med IMTA faciliteten. Derudover er den højeste koncentration på 22 mg/kg, men der er ingen grænseværdier for kobber (figur 9.19).

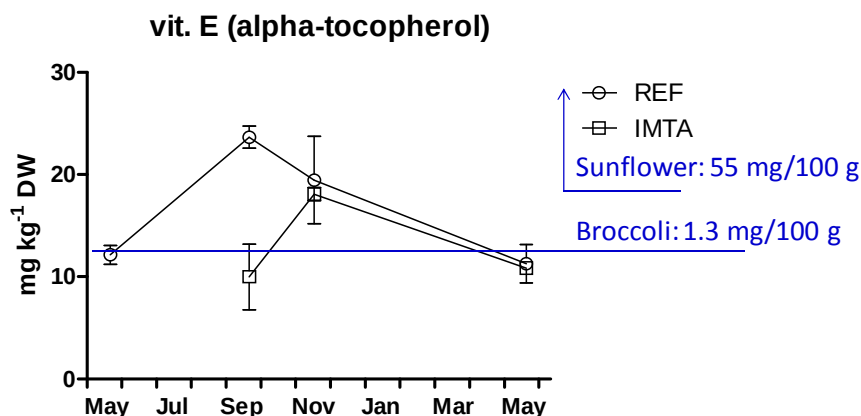
## 9.5 Vitaminer

Tang anses også for at indeholde høje koncentrationer af et bredt udsnit af vitaminer (Holdt og Kraan, 2011) og vi fik i dette projekt målt flere af disse som vi anså for at være vigtige, samt med mulighed for høje koncentrationer i sukkertangen.

Vitamin E (også kaldet alpha tocopherol) er en antioxidant og findes især i høje koncentrationer i solsikkeolie med ca. 550 mg/kg, men ligger på niveau med broccoli (figur 9.20). Der var ikke noget klart årstidsmønster, når de to lokaliteter tages i betragtning, men med koncentrationer op til 26 mg/kg.

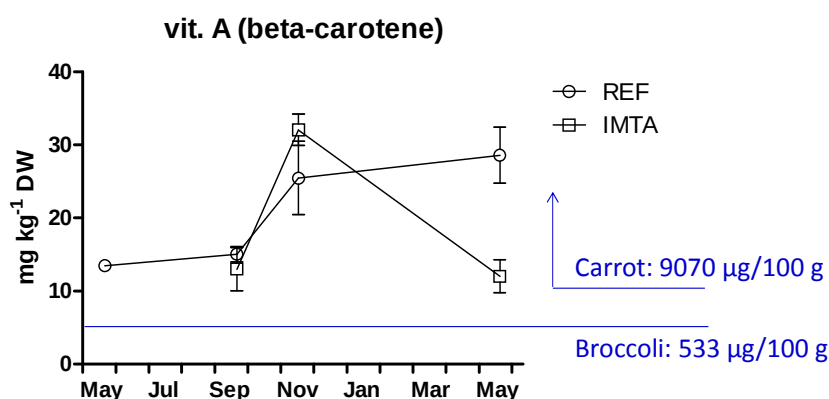


Figur 9.20 Vitamin E i sukkertang (g/kg tørvægt). Indholdet i solsikkeolie og broccoli er indsat (data fra Foodcomp, 2015)



Vitamin A (også målt som forstadiet beta-caroten) er vigtig for f.eks. øjnene. Der var heller ikke noget tydeligt årstidsmønster for dette vitamin med en maksimal koncentration på 34 mg/kg, hvilket er mindre end koncentrationen i gulerødder (90 mg/kg) og broccoli (5,3 mg/kg; figur 9.21).

Retinol, der også er et mål for vit. A, var under detektionsgrænsen.



Figur 9.21 Vitamin A i sukkertang (g/kg tørvægt). Indholdet i gulerødder og broccoli er indsat (data fra Foodcomp, 2015)

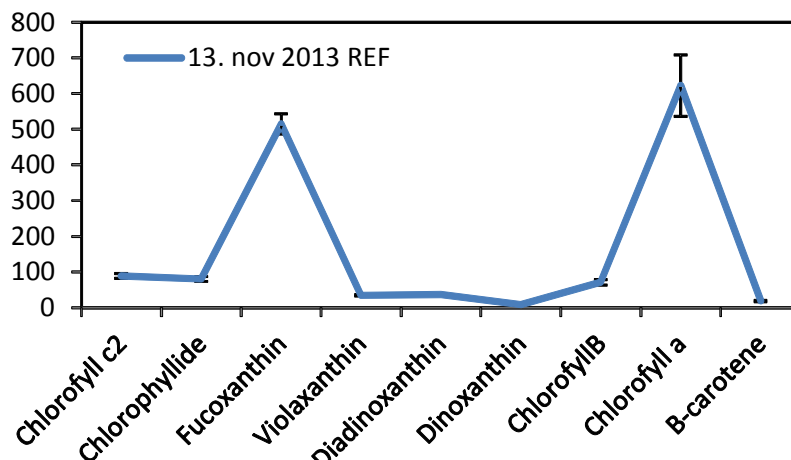
## 9.6 Pigmenter

Pigmenter er de stoffer, der fanger/hæster lys og som fører elektronerne til det aktive center, der udfører fotosyntesen i klorofyl. Der er flere slags klorofyller (såsom klorofyl a, b og c samt klorofyllide), der oftest giver den grønne farve og så er der hjælpepigmenterne/karotenoiderne (såsom fucoxanthin, violaxanthin, diadinoxanthin og beta-caroten), der har brune, orange og røde farver. Pigmenter kan fungere som naturlige farvestoffer i fødevarer, kosmetik og lign. men også fungere som antioxidanter, samt vitaminer (Holdt og Kraan, 2011). Der blev i dette projekt udført pigmentanalyse, hvor en pigmentprofil (hvilke pigmenter) samt i hvilken mængde på prøver indsamlet ved fire årstider/der hvor andre resultater var interessante, eller der ville være en mulig høstning ud fra andre resultater for indholdsstoffer og udbytte (september og november i 2013, og marts og maj 2014).

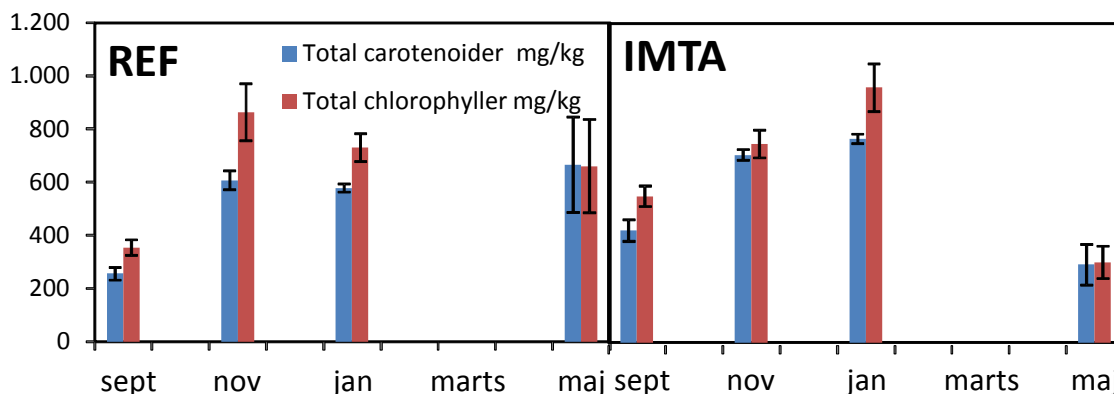
Pigmentprofilerne viste at især indholdet af fucoxanthin (ca. 500 mg/kg) og klorofyl a var højt (ca. 600 mg/kg; figur 9.22). Profilerne så meget ens ud, men dog med forskellige koncentrationer/værdier (se nedenfor). Klorofyl a findes i stort set alle alger og planter og har ikke den store interesse/værdi. Derimod er der stor interesse for fucoxanthin, der i studier har vist sundhedsfremmende effekter såsom UV-

beskyttende og anti-cancer effekt på celle niveau. Der har også været flere studier der har vist anti-fedme effekter i rotte- og museforsøg (Holdt og Kraan, 2011).

Figur 9.22 Eksempel på en pigmentprofil for sukkertangprøve indsamlet ved reference lokaliteten 13. november 2013. Værdierne er opgivet i mg/kg tørvægt.

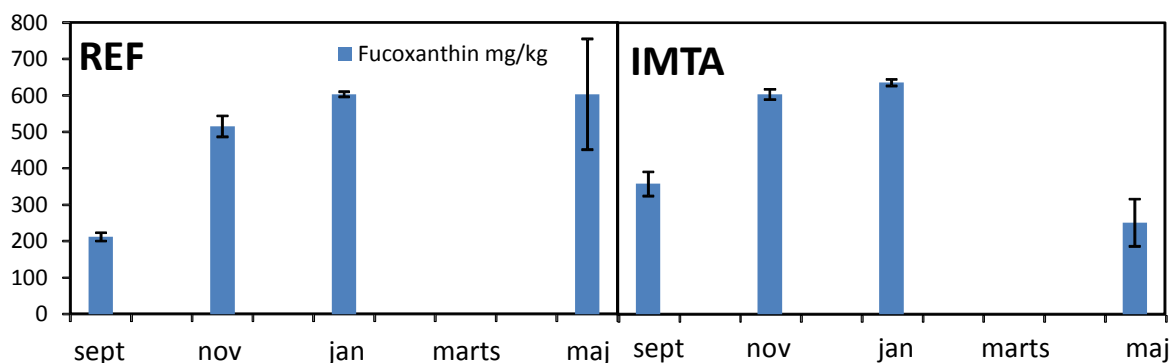


Profilerne over året og for REF og IMTA lokaliteterne havde de samme pigmenter udtrykt, men årstiden og lokalitet gav dog forskelle i koncentrationerne af både karotenoiderne og klorofyllerne (figur 9.21). Den umiddelbare og overraskende lave koncentration i sensommeren (september, hvor der har været sol hele sommeren, og derfor teoretisk flere pigmenter til fotosyntese) kan skyldes at denne øgede fotosyntese over sommeren, medfører til produktionen af sukkerstoffer og derved lager, lange sukkerkæder resulterende i forholdsvis mere biomasse, så pigmentkoncentrationen følgelig reduceres (figur 9.23). Resultaterne er mere detaljeret beskrevet i kommende videnskabelig artikel.



Figur 9.23 Årstidsvariationer i det samlede indhold af carotenoider og klorofyller for sukkertang dyrket og indsamlet ifire måneder ved lokaliteterne reference (REF) og ved fiske- og muslingeopdræt (IMTA). Værdierne er opgivet i mg/kg tørvægt og "barrerne repræsenterer standardafvigelse mellem de tre replikater ( $n=3$ ).

Koncentrationen af det specifikke pigment fucoxanthin (figur 9.22) følger naturligt nok det samlede indhold af karotenoider, da fucoxanthin udgjorde den største andel. Koncentrationerne spænder fra ca. 200 mg/kg til ca. 750 mg/kg (figur 9.24).



Figur 9.24 Årstidsvariationer i fucoxanthin for sukkertang dyrket og indsamlet ifire måneder ved lokaliteterne reference (REF) og ved.fiske- og muslingeopdræt (IMTA). Værdierne er opgivet i mg/kg tørvægt og "barrerne repræsenterer standardafvigelsen mellem de tre replikater (n=3).

## Diskussion og konklusion for spormetaller, vitaminer og pigmenter

Overraskende er calcium og kalium indholdet i tang højere end i mælkeprodukter, men de højeste værdier for de to mineraler ligger på forskellige årstider. Dog er natriumindholdet også højt for hele året. Tang vil pga. både kalium og natrium kunne anvendes som "urtesalt", da begge mineraler smager salt. Sukkertang vil være en rigtig god kilde til jod, men man skal være opmærksom på at det daglige anbefalede indtag af jod meget nemt opfyldes, og tang indtaget hellere skal være begrænset til lidt tilbehør og ikke som en hel salat udgjort af sukkertang, hvis man vil undgå for meget jodindtag.

Arsenindholdet i sukkertang udgør ikke nogen bekymring i sig selv, men man skal selvfølgelig også tage højde den akkumulerende effekt, ved at man også indtager andre fødevarer (inkl. ris) med højt arsenindhold med i betragtningen. Bly og cadmium lå ved enkelte målinger over grænseværdien for Frankrig eller EU, hvilket man skal være opmærksom på. Dog vil det være en vurderingssag for Fødevarerstyrelsen/DTU Fødevarerinstitutionen at risikovurdere, da der i Danmark/EU kun er grænseværdier på tang som kosttilskud og ikke som fødevarer.

Vitaminindholdet af vit E og A ligger indenfor niveauet for andre grøntsager, men tager man mængder i betragtning, så vil man nok i den daglige kost indtage større mængder grøntsager end grøntsager fra havet, som kosten ser ud nu. Men ved anvendelse af tang i kosten vil man kunne bidrage til det daglige anbefalede indtag.

Fucoxanthin indholdet i sukkertangen fra september er lavere end i november og januar, men i september er biomasse udbyttet højere, hvilket muligvis vil udligne det samlede udbytte. Derudover skal også anvendelsesmulighederne samt høsttidspunkt også tages i betragtning. Tidligere i rapporten har været nævnt at høst i forsommeren omkring juni har man et flot rent produkt (uden epifytter), der er salgbart som fødevarer, mens udbyttet og derved biofilterkapaciteten er højere i september, mens tangen er begroet med epifytter. Denne begroning er dog ikke til hindring ved en evt. ekstraktion af fucoxanthin.

## Referencer

- Alliot E, Febvre A, Metailler R, Pastoureaud A (1974) Besoins nutritifs du bar (*Dicentrarchus labrax* L.). Etude du taux de protéine et du taux de lipide dans le régime. Actes Colloq CNEXO 1:215–228.
- Harding DE, Allen OW, Wilson RP (1977) Sulfur amino acid requirement of channel catfish: L-methionine and L-cystine. J Nutr 107:2031–2035.

Brody T (1999) Nutritional biochemistry, 2nd ed. Academic Press, London

Černá M (2011) Seaweed proteins and amino acids as nutraceuticals. *Adv Food Nutr Res* 64:297–312. doi: 10.1016/B978-0-12-387669-0.00024-7

FAO (1980) FAO Fisheries and aquaculture department Lipids and Fatty Acids. In *Aquaculture development and coordination programme. Fish feed technology. Lectures presented at the FAO/UNDP Training Course in Fish Feed Technology, held at the College of Fisheries, University of Washington, Seattle, Washington, U.S.A., 9 October-15 Dec; 1980; p. 400.*

Fleurence J, Gutbier G, Mabeau S, Leray C (1994) Fatty acids from 11 marine macroalgae of the French Brittany coast. *J Appl Phycol* 6:527–532. doi: 10.1007/BF02182406

Foodcomp (2015) DTU Fødevareinstituttets database om fødevarers sammensætning. Data udtrukket maj 2015.

Hertrampf J.W., Piedad-Pascual F. (2000) Handbook on ingredients for aquaculture feeds. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA, USA

HMSO (1994) HMSO *Nutritional aspects of cardiovascular disease. Rep. Health Soc. Subj. No. 46*; London, 1994.

Holdt og Kraan, (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology*, 23, 543-597

Jackson AJ, Capper BS (1982) Investigations into the requirements of the tilapia *Smotherodon mossambicus* for dietary methionine, lysine and arginine in semisynthetic diets. *Aquaculture* 29:289–297.

Lagiou, P.; Løvik, M.; Marchelli, R.; Martin, A.; Moseley, B.; Berg, H. Van Den; Loveren, H. Van; Verhagen, H. (2009) Labelling reference intake values for n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to labelling reference intake values for n-3 and n-6 poly. *EFSA J.*, 1–11.

Marinho, G.S., Holdt, S.L., Angelidaki I (2015a). Year-round variations in the amino acid profile and protein nutritional value of *Saccharina latissima* cultivated in a commercial IMTA system. *Journal of Applied Phycology*, DOI: 10.1007/s10811-015-0546-0

Marinho, G.S., Holdt, S.L., Birkeland, M.J. Angelidaki I (2015b). Bioremediation of sugarkelp, *Saccharina latissima*, cultivated in a commercial off-shore integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). *Journal of Applied Phycology*, DOI: 10.1007/s10811-014-0519-8

Marinho G.S.M., Holdt S.L., Jacobsen C., Angelidaki I. (2015c) Lipids and composition of fatty acids of *Saccharina latissima* as seasonal marine vegetable. *Marine Drugs* 13, 4357-4374

Murata M., Nakazoe J-I. (2001) Production and use of marine algae in Japan. *Japan Agric Res Q* 35:281–290

Nielsen M.M., Krause-Jensen D., Olesen B., Thinggaard R., Christensen P.B., Bruhn A. (2014) Growth dynamics of *Saccharina latissima* (Laminariales, Phaeophyceae) in Aarhus Bay, Denmark, and along the species' distribution range. *Marine Biology* 161:2011–2022.

Opstvedt (1985) *J. Fish lipids in animal nutrition*; Fyllingsdale, 1985.

Peteiro C, Freire Ó (2013) Biomass yield and morphological features of the seaweed *Saccharina latissima* cultivated at two different sites in a coastal bay in the Atlantic coast of Spain. *Journal of Applied Phycology* 25:205–213

Peteiro C, Sánchez N, Dueñas-Liaño C, Martínez B (2014) Open-sea cultivation by transplanting young fronds of the kelp *Saccharina latissima*. *Journal of Applied Phycology* 26:519–528

Thebault H., Alliot E., Pastoureaud A. (1985) Quantitative methionine requirement of juvenile sea-bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 50:75–87. doi: 10.1016/0044-8486(85)90154-1

Tibaldi E., Lanari D. (1991) Optimal dietary lysine levels for growth and protein utilisation of fingerling sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) fed semipurified diets. *Aquaculture* 95:297–304. doi: 10.1016/0044-8486(91)90095-O

Wahbeh M.I. (1997) Amino acid and fatty acid profiles of four species of macroalgae from Aqaba and their suitability for use in fish diets. *Aquaculture* 159:101–109. doi: 10.1016/S0044-8486(97)00183-X

Ward, O. P.; Singh, A. (2005) Omega-3/6 fatty acids: Alternative sources of production. *Process Biochem.*, 40, 3627–3652

WHO/FAO/UNU (2007) Protein and amino acid requirements in human nutrition. In report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation. WHO technical report series 935. WHO Press, Geneva

## 10. TANGFORÆDLING

Af Goncalo S. Marinho, DTU Miljø og Susan L. Holdt, DTU Fødevareinstituttet

Med tangforædling menes der avlsarbejde indenfor tang. I projektet ville vi avle på store individer af sukkertang, så udbyttet øgedes og derved også biofilterkapaciteten and tangdyrkningen. Derudover blev en klonings, den såkaldte protoplast metode også undersøgt.

### 10.1 Avl af store tangindivider

Vi var af flere omgange ude ved tangdyrkningen ved Hjarnø havbrug for at skaffe store individer/moderplanter til at inducere/modne til at producere sporer og avle videre på.

I starten af juni 2012 udvalgte DTU og daværende partner i projektet Bluefood/Seaweed Seed Supply (SSS) i alt 9 moderplanter af "krøllet" udseende med en gennemsnitlig længde på  $129 \pm 31,8$  cm og 10 med "lige" udseende på  $146 \pm 25,7$  (Figur 10.1).



Figur 10.1. Indsamling af store individer af sukkertang til moderplanter i avl arbejdet. Foto SL Holdt 4. juni 2012

Induktionen af sporer blev efterfølgende iværksat af SSS i deres indendørsfaciliteter ved Horsens havn. Desværre lykkedes denne proces ikke, og DTU og SSS indsamlede endnu en gang store individer i efteråret 2013.

Disse moderplanter blev induceret og spiringen af sporer succesfuld, og lineren blev udsat ved SSS's dyrkningsområde. Vinter og flere forsøg på at få adgang til linerne og rykke dem til IMTA og reference området slog desværre fejl, og SSS ophørte som partnere i projektet.

### 10.2 Kloning med protoplastmetoden

Protoplast-metoden består af at tage ikke spore-modne tangplanter, behandle dem med enzymer, der nedbryder cellevæggene, og på den måde frigøre cellerne i deres skrøbelige cellemembraner i en opløsning/medie. Dette stadie er kritisk, men ved at dyrke videre i laboratorium på disse celler, vil de opbygge ny cellevæg rundt om hver celle (regenerering). Nu er hver celle en klon af moderplanten og ved at få denne til at spire vil man kunne få nye "voksne" tangplanter/kloner. Dette er en metode, der er forsøgt på flere tangarter inkl. små brunalger.

DTU's PhD studerende Goncalo S. Marinho tog til en forskningsgruppe i Roscoff, Frankrig, der har ekspertise indenfor protoplast af brunalger, og har senere hen arbejdet videre med det på DTU. Dette har stort potentiale indenfor avlsarbejdet, da man på kort tid vil kunne fremme populationen af den dyrkede tang mod større udbytte ved at vælge bedst egnede og store individer som moderplanter.

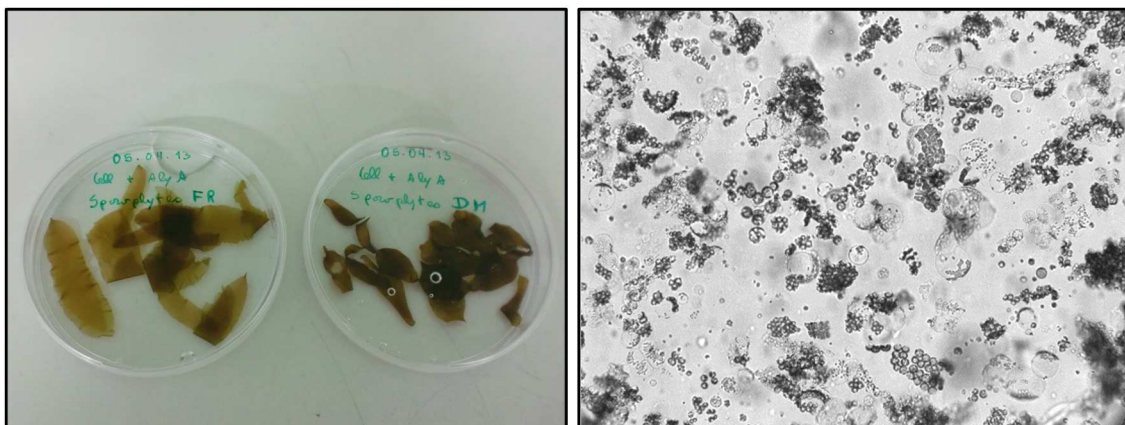


Derudover kan man med denne kloningsteknik være uafhængig af årstid/naturlig livscyklus og også modningstid af sporer ved induktion. Man vil på denne måde også opnå en mere homogen tilvækst, da alle tangplanter har samme genotype/genmateriale. Man skal nok senere hen introducere den seksuelle reproduktion igen, for at opnå f.eks. variationer i genmateriale og flere mutationer for at være mere modstandsdygtige overfor f.eks. lokale- og klimacændringer og evt. sygdomme/parasitter.

Flere variable/behandlinger, der er vigtige for nedbrydning af cellevægge, oprensning, vedligeholdelse og regenerering af cellevægge ved protoplastmetoden blev undersøgt.

Enzymbehandlinger for at se bedste effekt af nedbrydning af cellevægge i tangplanterne (Figur 10.2) uden at cellerne i deres membraner tog skade (Cellulase + Aly A1; Cellulase + Aly A1 + Lyase pseud). Efter nedbrydning af cellevæggene er det vigtigt at fjerne alt materiale, der ikke er celler i membraner, da dette materiale ellers vil kunne skabe bakterievækst (Figur 10.3). Centrifugering er en måde at oprense på og forskellige hastigheder og varighed blev undersøgt (300G i 5 min; 100G i 12 min; 50G i 12 min) og i forskellig temperatur (4 °C vs 10°C).

Det osmotiske tryk blev sænket gradvist over to omgange i mediet for ikke at springe cellemembranerne.

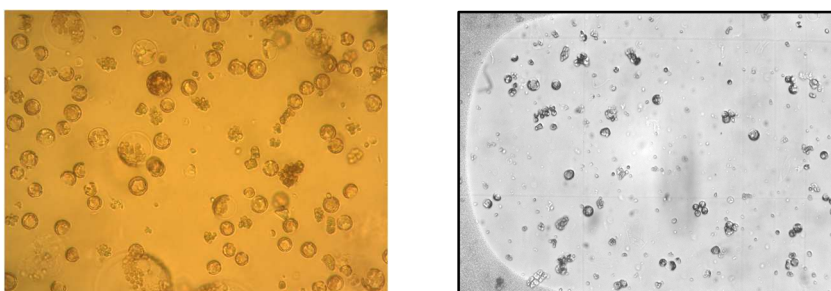


Figur 10.2 Til venstre ses små unge tangplanter af sukkertang til anvendelse i protoplast-forsøg. Til højre ses de nedbrudte tangplanter i mikroskop med cellemembraner og alt andet cellemateriale.

Det man evaluerer på er udbytte af antallet af protoplast per gram sukkertangsplante (Figur 10.2). Der var ikke nogen forskel på de to og tre enzymer i kombination og det maksimale udbytte var:

- **77,8-83,5 x 10<sup>6</sup>** for 350G i 5 min
- **43,0-45,7 x 10<sup>6</sup>** for 100G i 12 min
- **6,9 x 10<sup>6</sup>** for 50G i 12 min

Det var dog kun protoplast, der var isoleret ved 50G i 12 min, der var levedygtige efter en uge (figur 10.3).

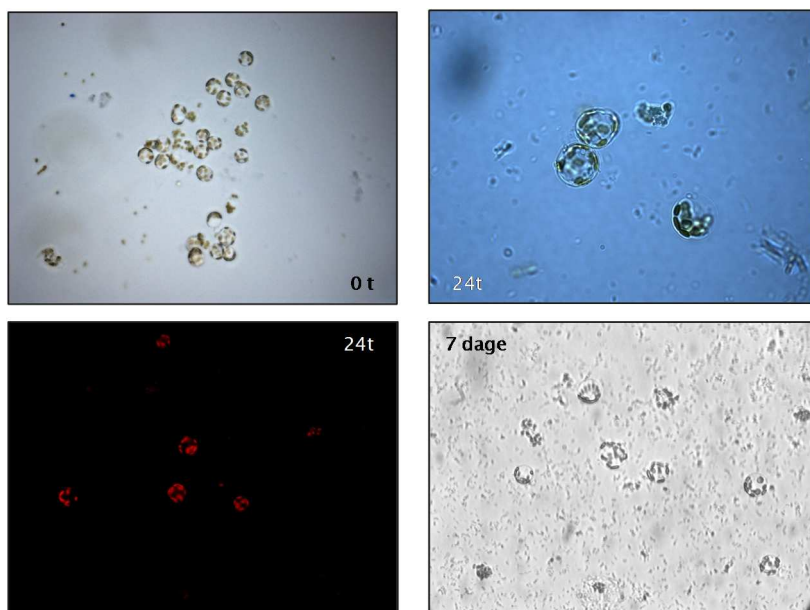




Figur 10.3 Nedbrydningen af cellevægge (tv) og protoplast tætheden/antallet blev talt ved at bruge et Neubauer kammer og ved mikroskop (th).

Disse resultater peger imod at benytte en protokol lydende på nedrydning vha. cellulase + Aly A1 + Lyase pseud eller Cellulase + Aly A1, med 50G centrifugering i 12 min (3 x centrifuge), mens der ikke kunne drages nogen konklusion i forsøgene med den osmotiske balance.

Fremtidige eksperimenter i protoplastmetoden vil også skulle undersøge langtidseffekter inkl. levedygtighed, regenerering af cellevæg og derefter spiring af små tangplanter/sporofytter, samt masseproduktion af dyrkningslinier gennem protoplast regenerering.



Figur 10.4 Protoplast fra sukkertang 0 timer, 24 t, 24 t ved flourosens og 7 dage efter isolering ved 50G i 12 min. Denne behandling var den eneste centrigrerings-behandling, der gjorde at protoplasterne var levedygtig efter en uge. Flourosens-billedet fra mikroskopet viser de levedygtige protoplaster med pimerter/grønkorn, der er det der lyser op med rød, hvor det ellers er brunligt på de andre billeder. Hvis protoplasten var "død" ville pigmenterne ikke flourosere.

## 11. ANVENDELSE AF KOMPENSATIONSOPDRÆTTET TANG

Af Karina Lagoni, Teis Boderskov, Peter Schmedes: Hjørnø Havbrug.

### 11.1 Anvendelse af tang

Udnyttelse af biomasser fra tang er brugt verden over og har en lang tradition. Et samlet estimat af værdier for tanghandel verden over er i dag ca. 40 mia. kr (reference?? FAO??).

Dette skyldes både menneskets lange historie med livet ved havet samt en nyere forståelse af indholdsstoffers anvendte funktioner. Tangbiomassen har et rigt indhold af mange forskellige kulhydrater, proteiner samt et højt indhold af mineraler, såsom jern, calcium, fosfat og magnesium samt A, B og E-vitaminer og andre højværdi indholdsstoffer, som i dag udnyttes i forskellige industrier (Holdt & Kraan, 2011).

Sundhedsfremmende effekter af tangens indholdsstoffer er vist i kliniske undersøgelser, da visse komplekse molekyler fra tang udviser f. eks anti-inflammatoriske effekter, vira, bakterie og tumor hæmmende egenskaber samt øget fedtforbrænding (Woo *et al.*, 2009). Endvidere er tang rig på de livsnødvendige sporstoffer, såsom zink, kobber, mangan, selen, molybdæn, chrom samt omega 3-fedtsyrer (stor procentdel af lipiderne, men lille total lipidindhold).

I Danmark og andre europæiske lande findes der enkelte firmaer som udvinder højværdi indholdsstoffer fra tangbiomasser, hvilket importeres i store mængder fra østen og Canada. Den seneste og nuværende forskning inden for udnyttelse og anvendelse af tangbiomassen bestræber sig på en optimering af udnyttelse af den høstede tangbiomasse gennem en proces der kaldes et bio- raffinaderi (Barbosa *et al.*, 2009). Dette koncept adresserer den verdensomspændende udfordring med begrænsning af efterspurgte ressourcer, såsom marine proteiner, pigmenter, bioaktive stoffer etc. Det er en proces hvor de enkelte grupper af molekyler (kulhydrater, proteiner, pigmenter etc.) udvindes særskilt. Dyrkning af makroalger er blandt andre udpeget som kilden til de efterspurgte biomasser, da en fortsat høst af naturlige bestande vurderes ikke at være et bæredygtigt tiltag.

#### Resultater fra KOMBI-projektet

I løbet af projektet opstod der en efterspørgsel på det dyrkede tang, som ikke kunne opfyldes med den anvendte høstteknik. Dette viser tydeligt, at det teknologiske niveau som blev adopteret til projektet ikke er effektiv nok til en kommerciel efterspørgsel, men denne efterspørgsel forplantede sig i en opstart af en ny tang-grossist virksomhed på øen Endelave, kaldet Endelave Seaweed Aps. Denne nye tangvirksomhed varetog efterbehandling, lagerstabilisering samt salg af den høstede sukkertangbiomasse. Endelave Seaweed Aps oplevede til sidst i projektforsløbet en stigende efterspørgslen på frossen og tørret tang i lagerstabile forme såsom tang-flager og tangmel fra både grossister samt fødevarer- og kosmetiksektoren.

Størstedelen af den afsatte tang er blevet anvendt i pilotprojekter eller små forsøg af både forskningsinstitutioner eller små og store virksomheder. Ud over den direkte anvendelse af tangen har et firma med succes også afprøvet anvendelsen af sukkertang i en niche produktion af en slags nordisk brændevin. Hjørnø Havbrug og Endelave Seaweed Aps har uddelt tangprøver til forskellige virksomheder der vil prøve forskellige anvendelsesmuligheder.

#### Tang som fødevarer og fødevarer ingrediens

De seneste års erfaring har vist at, tang som fødevarer og fødevarer ingrediens har det største perspektiv. Tangen kan anvendes rå, tørret, frossen, spises direkte eller som ingrediens i fødevarer.

Parallelt med KOMBI-projektet blev der afholdt en offentligt prøvesmagnings kampagne med titlen

"Smagens Dag", som var arrangeret af Dansk Skaldyr Center i Nykøbing Mors, hvor den dyrkede sukkertang blev modtaget med succes af omkring tusinde nysgerrige besøgende. De smagte sig gennem en række gængse fødevarer med tang, såsom brød, ost og pølse af lokale fødevareproducenter.



Figur 11.1 Sukkertang fra Hjarnø Havbrug blev anvendt i forskellige fødevarer og smagt af lokale borgere i Nykøbing Mors ved et "Smagens Dag" arrangement afholdt af Dansk Skaldyr Center.

Sukkertang er naturligt rig på iod (som også set i dette projekt), hvilket man skal være opmærksom på hvis tangbiomassen anvendes som kosttilskud eller direkte i konsum. En nyere interessant rapport har dokumenteret, at dyrket sukkertang fra Limfjorden indeholder mere "umami-smag" end andre tang arter, som ellers er kendt for deres umami-indhold (Indholdsstoffer i tang fra Limfjorden, 2014). Umami betegnes som det femte krydderi, efter salt, sødt og bittert, da det for nyligt blev påvist videnskabeligt, at vores tunge er udstyret med umami-smagsløg. Tungen kan detektere umami-smag, når en fødevare indeholder en vis mængde af to aminosyrer som findes i nogle madvarer; glutamat og inosinat (Mouritsen, 2010).

Sukkertangen bliver undersøgt på DTU som mulig kilde til nye fødevareingredienser såsom succinat eller opbygning af proteiner (efter ekstraktion af f.eks. pigmenter) begge ved hver sin fermentering. Sidstnævnte er led i at undersøge bio-rafinaderi potentialet.

Efterspørgslen på marine proteiner er stigende, da det er en kilde til svovlholdige aminosyre (Huis et al, 2013). Der er en hollandsk analyse af anvendelse af tang fremføres det at oprensede proteiner fra især sukkertang kan blive et realistisk scenarie på en alternativ tilskud i fiskefoder (Linden 2014).

### **Tang som fodertilskud**

Som nævnt besidder sukkertangbiomasse et højt mineralindhold og indeholder de fleste essentielle aminosyrer samt et indhold af pigmenter der er anset for at have sundhedsfremmende effekter, hvilket er afgørende for den tilbagevendende interesse dets anvendelse i foderfremstilling (Holdt & Kraan, 2011). Det høje indhold af pigmentet fucoxanthin er specielt i fokus pga. de sundhedsfremmende effekter, som pigmentet har vist i videnskabelige studier (Peng, 2011). I løbet af projektet har vådfoder fabrikantfirmaet Fermentation Experts A/S flere gange bestilt mindre og større prøver af tangbiomasse, og har meldt sig som aftager af økologisk sukkertang i 1000-tons skalaen. Firmaets produktionsteknologi udnytter fermentationsprocessen, en ældgamle anaerob konserveringsmetode, hvorved produktet øger indholdet af probiotiske bakterier. Vådfoderfirmaet betragter sukkertang som en god alternativ kilde til marint protein, antioxidanter samt vigtige mineraler som er vigtige elementer i en sund foderblanding til f.eks smågrise.

At sukkertangen fra Hjørnø Havbrug fik den økologiske certificering gjorde tangbiomassen mere attraktiv for vådfoderfirmaet, som gerne vil producere en økologisk foderblanding, grundet den stigende efterspørgsel på økologisk foder med et godt indhold af svovlholdige proteiner (såsom ?? Jeg tror at det er metionin og lysin som vi har beskrevet). Udmeldinger fra vådfoderfirmaet er, at testforsøg har vist at smågrise spiser foderblandinger med tilsat fermenteret tang, og har generelt fået positive tilbagemeldinger fra landmænd, der har anvendt foderproduktet.

Den primære udfordring ved at fremstille en foderblanding indeholdende tang er, at foderproduktionen kræver meget større mængder af sukkertang end der produceres i øjeblikket. Endvidere, vil lave priser på andre masseproducerede anvendelige biomasser fungere som en tærskel for anvendelsen af tang samt presse produktionsprisen på sukkertang ned. Til trods for dette pris/konkurrence element, er foderproducenter villige til at udfører test, for at frembringe den nødvendige viden for anvendelsespotential. Dette forhold får pilen til at pege på forudsætning for anvendelsen af sukkertang i foder, nemlig at hele dyrkningsprocessen bliver optimeret.

I forskningslitteraturen er der f.eks. vist at fiskefoder kan indeholde 5 % (v/v) tang uden negative effekter på fiskens helbred (Ergün *et al.*, 2009). Den danske fiskefoderproducent Aller Aqua har tidligere gennemført testforsøg med tang som alternativ ingrediens i deres fiskefoder formular. De ser mulighederne i tangbiomassen som en alternativ kilde til marint protein i deres fiskefoder formular. Succeskriterier for at bruge tang direkte i fiskefoderproduktionen er ud fra en markedsøkonomisk betragtning simpel, hvor nye foder formularer skal kunne hamle op med den allerede optimerede ingredienssammensætning, eller i det mindste have en gavnlig egenskab for den samlede foder formular. Forsøgene med direkte anvendelse af tang som alternativ foderingrediens gav dog ikke positive resultater. Dette kunne skyldes, dels at en direkte tilsætning af tang til foderformularen kan øge mængden af eventuelle væksthæmmende stoffer og dels fordi proteinkoncentrationen i tørt tangbiomasse ikke er på samme niveau som andre proteinkilder. På baggrund af disse forsøg vurderes tang som tilskud i fiskefoder uinteressant (Mette Nørlykke, Aller Aqua, personlig kommunikation).

### **Foderpotentiale – fedtsyrer i tang**

I produktionen af fiskefoder er det nødvendigt at tilsætte fiskeolie for at opnå den ønskede kvalitet af fisken. Efterspørgslen på fiskeolie er stigende og følger den udvidelse af akvakulturen som findes sted verden over. Den nuværende og fremtidige udvikling i akvakulturproduktionen er hovedårsag til at de naturlige ressourcer til fremstilling af den eftertragtede fiskeolie, såsom er bestande af olieholdige småfisk, ikke kan efterkomme behovet, hvilket gør at prisen for fiskeolie er stigende (Bimbo, 2007). Alternative kilder til fiskeolie i foderet bliver derfor en nødvendighed i den fremtidige foderproduktion. Anvendelsen af lipider fra tang er derfor oplagt og er en uudnyttet lipidkilde. Tang indeholder generelt kun 0.5-3 % fedt, men andelen af olie i den samlede fedtmasse kan være høj, og derfor kan tang være en alternativ kilde til omega-3-fedtsyrer såsom EPA og DHA (Holdt & Kraan, 2011). Dette er i overensstemmelse med de resultater vi fandt i projektet.

Analyserne på sukkertang fra Limfjorden viste dog, at sukkertang havde et fedtindhold på 1,2-1,79 % af tørstoffet, og med en dominans af mættede fedtsyrer samt et meget lavt niveau af DHA (0,2%). Flere testforsøg har vist at fisk gerne vil spise foder tilsat tang og derfor kan en direkte tilsætning af tang til fiskefoder, men med de små koncentrationer lipider i tang, tyder det på at tang ikkebliver et af midlerne til at imødekomme det stigende behov for lipider i foderet. Der skal for store mængder til, evt. en ekstraktion af lipider, og på nuværende tidspunkt er prisen på tang stadig for høj og leverancen for lav til at kunne opfylde behovet for fiskefoderproducenter.

### **Anden anvendelse af tang**

På verdensplan indgår en bred vifte af forskellige tangarter i fremstillingen af industrielle stabiliserings-, og geléringredienser. Dette gælder også den slægt af tang som sukkertang tilhører, da disse store

brunalger har et højt indhold af et eftertragtet molekyle, som kaldes alginat. Alginat er et sukkermolekyle og fremstilles naturligt af en række brunalger, da molekylet giver styrke til vævet. Den industrielle udvinding og oprensning af alginat-molekylet foregår både i Europa, baseret på biomasser fra høst af vilde brunalge populationer samt en asiatisk alginat fremstilling baseret på dyrkede brunalger. Hjarnø Havbrug A/S har i løbet af projektet erfaret at behovet for brunalge biomasse i den asiatiske alginat fremstilling er umættet, hvilket åbner en potentiel afsætningskanal for dansk dyrket sukkertang. Af andre erfarede afsætningsmuligheder kan nævnes thallasso massage, som er et udbredt fænomen i Nordtyskland, men må siges at være en niche afsætning.

### **Biogas – en potentiel afsætningskanal for tang**

Biogasfremstilling gennem forgæring af biomasser har fået meget fokus i øjemed den politiske vilje til at reducere brugen af fossilt energi og basere samfundets energiforsyning på bæredygtige ressourcer. Biomasser til energifremstilling anses for værende en grøn energiforsyning, da biomasser regenereres hurtigere end kul og olie, således at den udledte kuldioxid på ny kan bindes i en biomasse og derigennem bidrage mindre til den forøgede globale opvarmning. I dag udnyttes en række forskellige biomasser i biogasfremstillingen, og der forskes i udbytteoptimering gennem enzymer, biomasse blandinger og alternative kilder.

Potentialet for biogasproduktionen blev undersøgt i projektforløbet, hvor der blev høstet og leveret ca. 2 tons friskhøstet sukkertang til Fredericia Spildevand & Energi. På deres facilitet drives en biogasreaktor, hvor der omsættes store volumener af spildevandsslam til biogas som er koblet på naturgasnettet.



Figur 11.2 fra Fredericia Spildevand hvor tangen bliver omdannet til tanggrøde.

Flere værdifulde observationer blev gjort under udførelsen af pilotforsøget med sukkertang. Fredericia Spildevand håndterede og behandlede den dræned sukkertang-biomasse fuld automatisk. Tilsætning af vand var nødvendigt for at pumpe tang-grøden op fra opsamlingscontaineren i en lind strøm til biogas reaktoren, men kunne være undgået hvis de brugte drænvandet, erkender driftslederen. Tilsætningen af tangbiomasse gav ikke et målbart udsving. Det blev vurderet at den tilsatte mængde var for lille.

Fredericia Spildevand var opsatte på endnu et testforsøg og efterspurgte en leverance på minimum 20 tons, hvilket de anvendte høstmetoder i projektperioden ikke var udviklet til at kunne.

### **Tang som gødning.**

Endelave Seaweed har i flere år arbejdet med at anvende tang som gødning til grøntsager og senest også til korn. Endelave Seaweed er på nuværende stadie i gang med at lave gødningsekstrakt af sukkertang, med tilførsel af mikroorganismer i form af mælkesyrebakterier for at fjerne lugten efter den nødvendige forrådnelsesproces som frigiver næringsstofferne. I den snarest fremtid vil firmaet forsøge sig med gennemførelse af spirings-, og vækstforsøg med sennepsplanten, med brug af dels tang-ekstrakt, tanggranulat og traditionelt NPK gødning som gødning.

### **Referencer**

Holdt, SL; Kraan, S Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation; Journal of Applied Phycology (2011) 23:543-597.

Woo, MN; Jeon, SM; Shin, YC; Lee MK; Kang MA; Choi MS Anti-obese property of fucoxanthin is partly mediated by altering lipid-regulating enzymes and uncoupling proteins of visceral adipose tissue in mice; Molecular Nutrient & food research

Barbosa, M., Wijffels, R.H. (2009). Marine Biorefineries. Tilgængelig på <http://www.biorefinery.nl/file-admin/biosynergy/user/docs/MarineBiorefinery-Barbosa.pdf>, en præsentation den 17 juni 2009 på Wageningen UR i Wageningen, Holland.

Ergün, S., Soyutürk, M., Güroy, B., Güroy, D., Merrifield, D. (2009). Influence of Ulva meal on growth, feed utilization, and body composition of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at two levels of dietary lipid. Aquaculture International 17(4), 355-361.

Peng J., Yuan JP., Wu CF., Wang JH (2011) Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: metabolism and bioactivities relevant to human health Marine Drugs; 9(10).

Linden, Karlijn van der; An economic analysis of Dutch seaweed (proteins) in the food and feed industry; Master's thesis report with Business Economic Group and PRI Agrosystems Research (2014); Wageningen UR

Bruhn, A; Rasmussen, MB; Larsen, MM; Eybye, KL; Tørring, DB; Oddershede Nielsen, K; *Indholdsstoffer i tang fra Limfjorden* (2014) under projekt De lokale Dyder (DSC, DTU).

Mouritsen, O. G Alger – Tang, grøntsager fra havet (2009) Nyt Nordisk Forlag

<http://www.seagrants.umaine.edu/extension/kelp-mussels>

## 12. VURDERING AF MILJØEFFEKTER VED KOMPENSATIONSOPDRÆT

*Af Per Andersen, Jonathan Carl, Orbicon; Mads Birkeland, DHI; Lisbeth Jess Plesner, Dansk Akvakultur*

Etablering og drift af muslingeopdræt og tangkultur har en række potentielle effekter på det lokale og regionale økosystem.

En reduktion i mængderne af planktonalger i vandet og planktonalgernes primærproduktion samt de tilgængelige koncentrationer af uorganiske næringsstoffer i de frie vandmasser, ses som en positiv virkning på miljøtilstanden. For andre miljøforhold kan muslingeopdræt og tangkultur potentielt have en negativ effekt på miljøtilstanden. Dette gælder f.eks. iltindholdet i bundvandet og skygge af havbunden.

Muslingeopdræt og tangkultur kan potentielt have positive effekter på den lokale og regionale miljøtilstand, mens der er risiko for negative miljøeffekter under opdræt/kulturer. I hvor høj grad de positive og negative lokale miljøeffekter kommer til udtryk er helt afhængigt af produktionsniveau samt strøm- og bølgeforhold på lokaliteten. Hvis opdræt og kulturer placeres i kystvande og fjorde med dårligt vandskifte og ingen eller lille resuspension, kan organisk stof fra produktionen akkumulere lokalt og forværre miljøtilstanden lokalt og kan f.eks. føre til forringede iltforhold under kulturen. Hvis der er effektiv resuspension (som hindrer varig ophobning af organiske partikler på bunden) og vandskiftet er tilstrækkeligt stort vil de lokale negative effekter reduceres eller helt udeblive.

Muslingeopdrættene i As Vig og tangopdrættet ved Hjørnø Hage er placeret i områder med et godt vandskifte pga. tidevand og vindstuvningshændelser i det sydlige Kattegat. Især på de helt kystnære og relativt lavvandede lokaliteter (As Vig Vest og Hjørnø Hage Tangkultur) er bundforholdene karakteriserede ved at være erosions bund med sten, ral, ler og sandbund. På de to muslingeopdræt i As Vig som ligger længere mod øst og på dybere vand, er bunden sandet/mudret som i resten af det nordlige Lillebælt på disse dybder. Muslingeopdrættet på Sælkrogen ligger inde i selve Horsens Fjord på relativt lavt vand – og godt beskyttet mod vind og vejr. Det gode vandskifte og gode strømforhold i området betyder dog at sedimentet også her er karakteriseret ved, at være blandingsbund med spredte muslingebanker, uden markant akkumulering af organisk stof i sedimentet.

Udover miljømæssige påvirkninger kan tang- og muslingeanlæggene medføre gener i form af dels landskabelige forstyrrelser eller visuel gene, og dels optage pladsen for andre aktiviteter f.eks. sejlads, traditionel fiskeri mm.

### Modelberegninger

Der er gennemført modelanalyser af miljøeffekter fra muslingeanlæggende i As Vig, i forbindelse med VVM arbejdet i forhold til etablering af Endelave Havbrug, Hjørnø Havbrug 2014. Modelberegningerne er gennemført under forudsætning en årlig produktion på 10.000 tons muslinger på opdrætsanlæggene, modsvarende optimal produktion/belastning. Resultaterne giver en god indikation af, hvor store effekter der kan forventes for de enkelte miljøparametre og resultaterne kan anvendes ved eventuel planlægning af feltundersøgelser til dokumentation af miljøeffekterne.

Modelberegningerne viser at miljøeffekterne ved maksimal produktion vil være relativt beskedne.

Hverken produktionskapaciteten eller den faktiske produktion af muslinger i anlæggende har på noget tidspunkt været oppe i nærheden af den maksimal potentielle produktion og derved den produktion der er anvendt ved modelberegningerne. Det skyldes at der i projektperioden kun har været etableret SmartUnits til ca. 25% udnyttelse af produktionsområderne, samt at der specielt i årene 2013 og 2014 har været markant prædation på muslingerne fra søstjerner og edderfugle.



Der er ikke gennemført modelanalyser af miljøeffekterne af tangkulturen på Hjørnø Hage.

### **Feltundersøgelser**

Desuden er gennemført undersøgelse af bestemmelse af sulfid-fronten i sedimenterne ved opdrætsanlæg for muslinger. Der er også udtaget enkelte sedimentkerner til bestemmelse af kvælstof og fosfor samt organisk stof. Det bør understreges, at produktionen af blåmuslinger ikke har været oppe på det maksimale niveau i produktionsområderne.

For tangkulturens vedkommende gælder det, som for muslingeopdrættene at, kulturområdet ikke på noget tidspunkt har været drevet med fuld produktion og det blev derfor besluttet at koncentrere undersøgelserne af miljøeffekter omkring dokumentation af skyggeeffekterne fra tangkulturen på lysnedtrængningen til bunden umiddelbart under tangen. Den anvendte metoden er i overensstemmelse med egenkontrolprogrammet for Hjørnø Hage tangkultur som gennemføres på foranledning af Kystdirektoratet.

Ud over dokumentation af lysforhold i tangkulturen og sulfidfrontens placering ved muslingeopdræt, er biodiversiteten i muslingeopdrættene og tangkulturen - "hængende rev" effekten – blevet undersøgt. Biodiversiteten er dokumenteret primært ved at udtage og analysere prøver fra SmartUnits og i mindre omfang også af sukkertangen på såliner, til analyse for forekomst af smådyr og tang/alger.

Undersøgelserne omfatter ikke fiskefaunaen, fordi det ville være for ressourcekrævende. Mht. til fugle er det velkendt at edderfugle, og andre dykænder der lever af muslinger, tiltrækkes af muslingekulturer.

## **12.1 Modelberegninger af miljøeffekt af muslingeanlæg**

Miljøeffekterne ved fuld produktion af fisk ved Endelave Havbrug og fuld produktion ved de tre muslingeopdræt i As Vig er beregnet af DHI vha. en koblet hydraulisk/vandkvalitets model, se Hjørnø Havbrug 2013. Modelberegningerne omfatter ikke tangproduktionen på Hjørnø Hage.

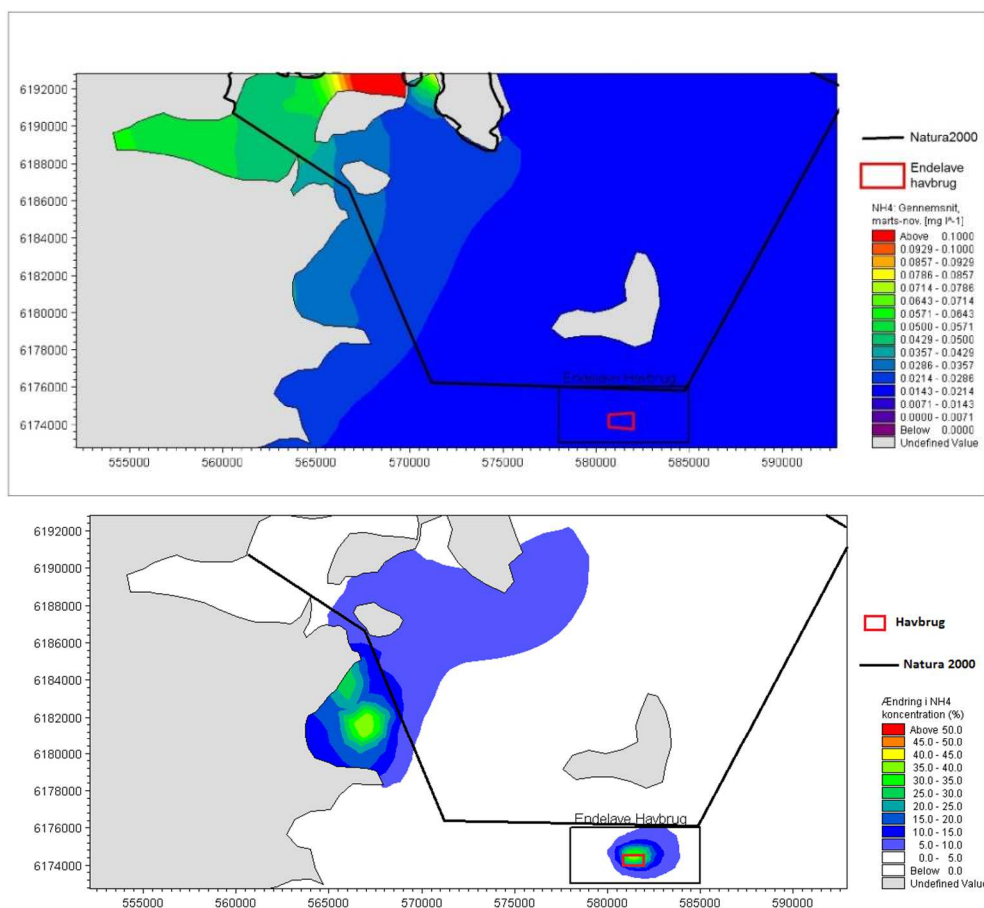
### **De frie vandmasser**

Muslinger filtrerer vandet for klorofyl og partikulært organisk stof, mens de til gengæld udskiller ammonium, orthofosfat og silikat. Da ammonium er en let tilgængelig kvælstofkilde for mikroalgerne og som ofte er begrænsende for deres vækst, kan muslingernes ekskretion i sig selv være stimulerende for mikroalgernes vækst (Nielsen et al. 2014).

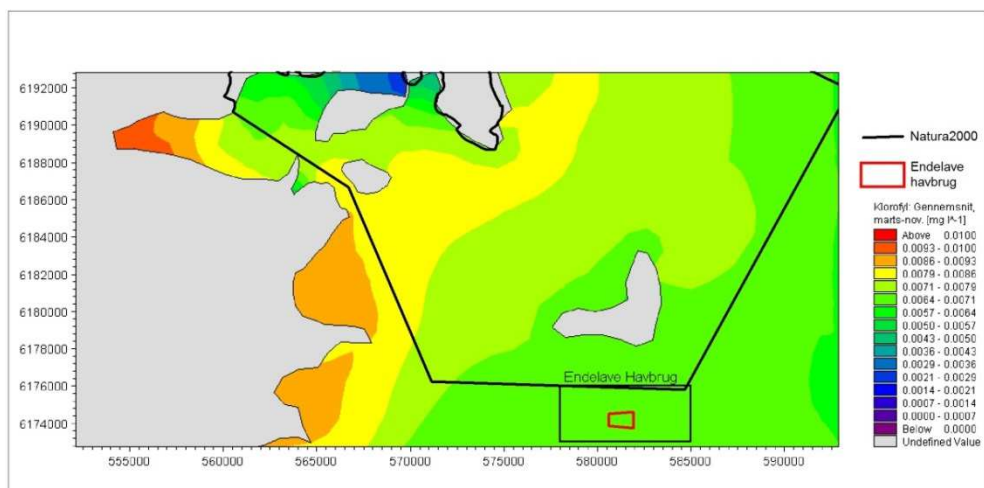
Modelberegningerne viser lokalt forhøjede koncentrationer af ammonium ( $\text{NH}_4$ ) ved muslingeopdrættene på op til 35-40 % i forhold til baggrundskoncentrationerne, som er meget lave, figur 12.1.

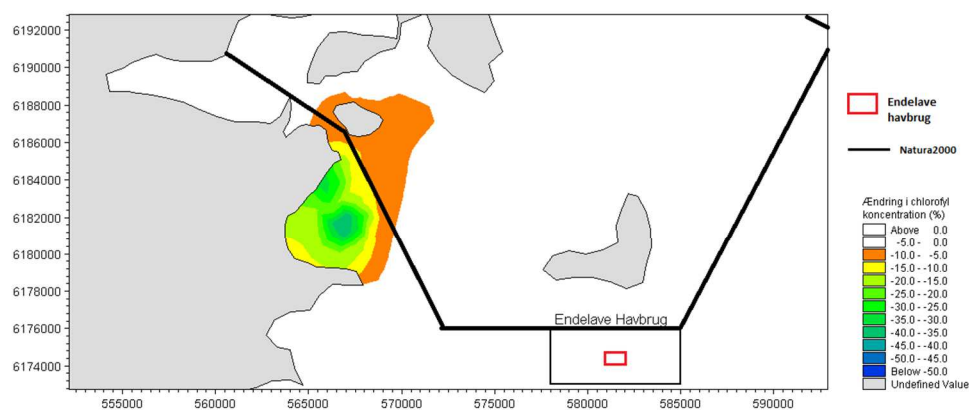
Trods den forøgede koncentration (og dermed større biotilgængelighed) af ammonium ( $\text{NH}_4$ ) beregner modellen markante reduktioner i koncentrationerne af planktonalger og som en konsekvens af dette også forøgelse i sigtdybden (op til 30-40 %) lokalt ved muslingeopdrættene, se figurer 12.2 og 12.3. Reduktionen i koncentrationerne af planktonalger og den forøgede sigtdybde kan tilskrives muslingernes græsning på planktonalgerne som ikke kan nå at respondere – via en forøgelse i primærproduktionen, på den forøgede tilgængelighed af ammonium ( $\text{NH}_4$ ).

Der ses en reduktion i planktonalgernes primærproduktion (op til 20%) som afspejler reduktionen i koncentrationerne af planktonalger, figur 12.4. At klorofylreduktionen er markant større end reduktionen i primærproduktionen viser at algernes produktivitet og væksthastighed øges lokalt grundet den større tilgængelighed af uorganisk kvælstof.

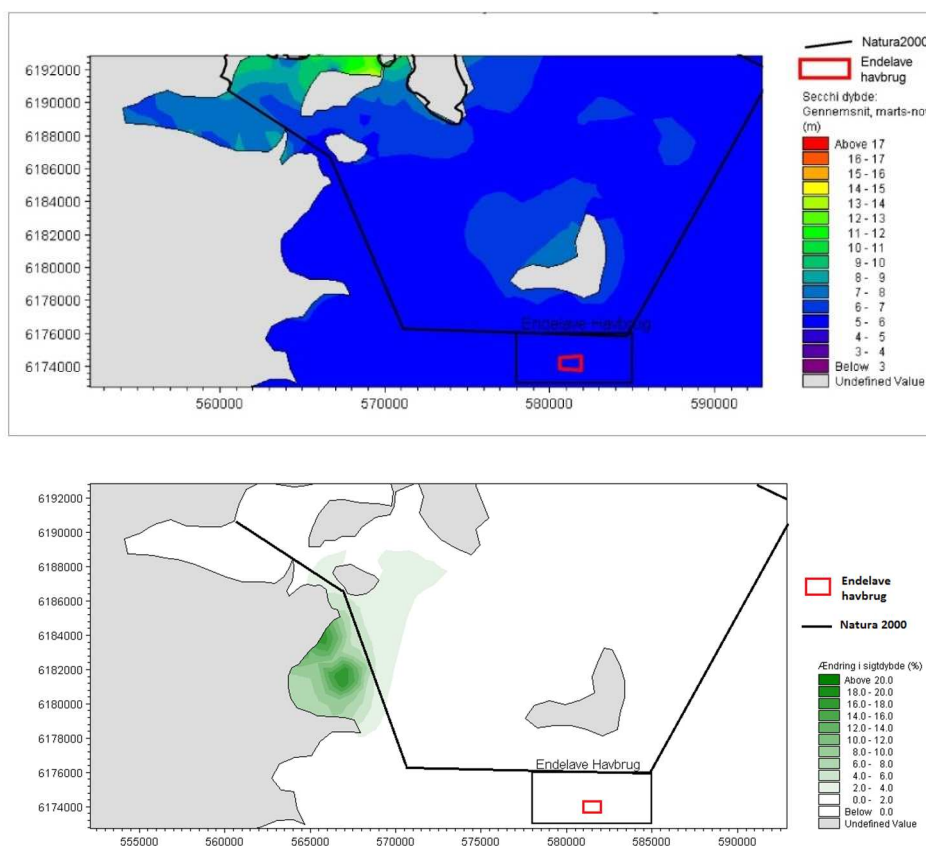


Figur 12.1. Modellerede gennemsnitlige koncentrationer af NH<sub>4</sub> samt ændringer i procent i forhold til de gennemsnitlige koncentrationer i projektområdet over en produktionssæson ved etablering af havbrug ved Endelave og de 3 planlagte muslingeopdræt i As Vig. Endelave havbrug er repræsenteret med en rød firkant og indrammet med sort firkant for at kunne lokalisere området på kortet.

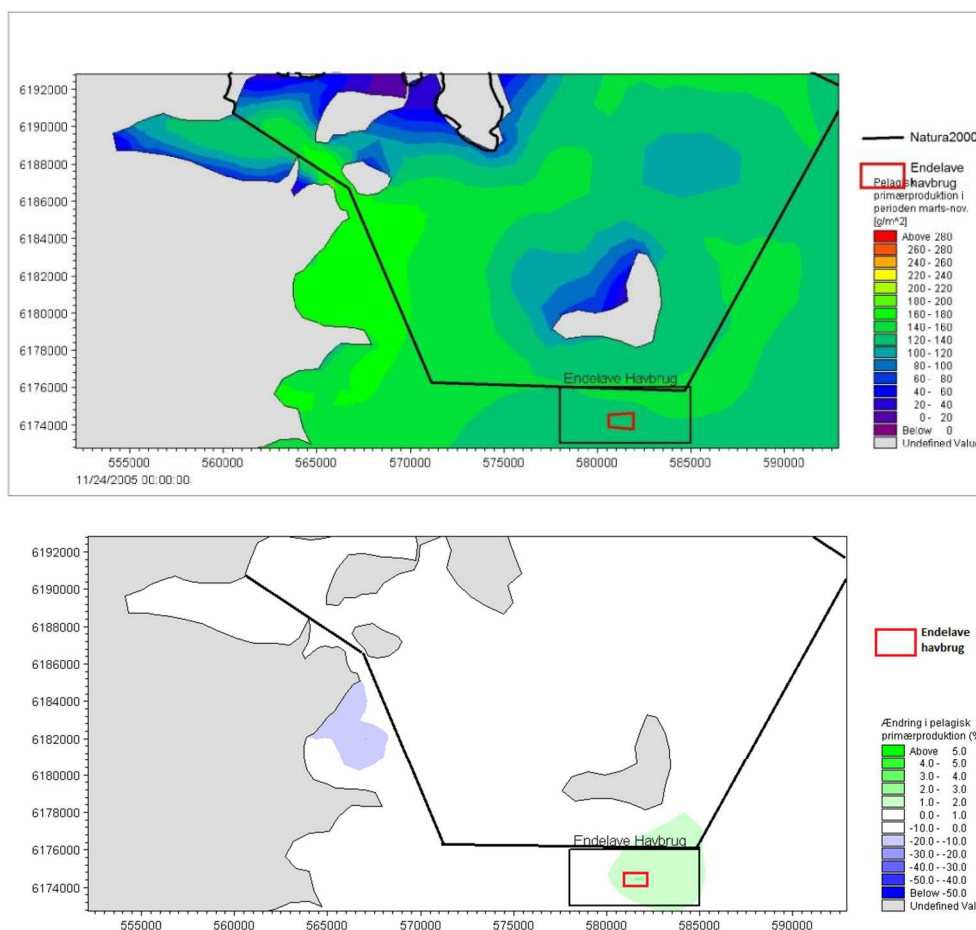




Figur 12.2. Modellerede gennemsnitlige koncentrationer af klorofyl samt ændringer i procent i forhold til de gennemsnitlige koncentrationer over en produktionssæson ved etablering af havbrug ved Endelave og de 3 planlagte muslingeopdræt. Endelave havbrug er repræsenteret med en rød firkant og indrammet med sort firkant for at kunne lokalisere området på kortet.

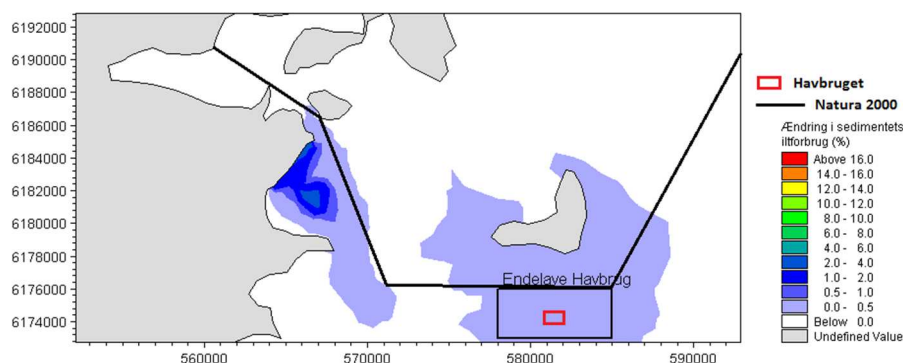


Figur 12.3. Modellerede ændring i sigtdybden i procent i forhold til de gennemsnitlige sigtdybder i projektområdet over en produktionssæson ved etablering af havbrug ved Endelave og de 3 planlagte muslingeopdræt i As Vig. Endelave havbrug er repræsenteret med en rød firkant og indrammet med sort firkant for at kunne lokalisere området på kortet.

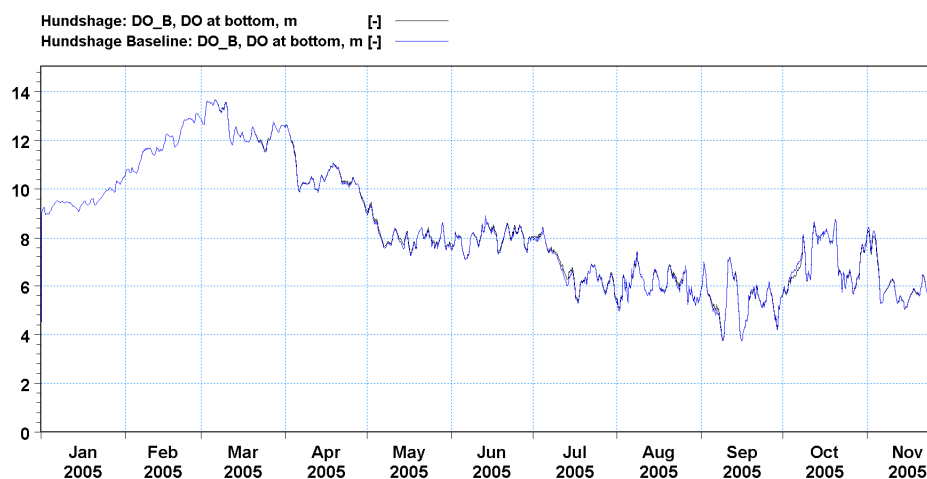


Figur 12.4. Modelleret årlig pelagisk primærproduktion samt ændringer i procent i forhold til primærproduktion i projektområdet over en produktionssæson ved etablering af havbrug ved Endelave og de 3 planlagte muslingeopdræt. Endelave havbrug er repræsenteret med en rød firkant og indrammet med sort firkant for at kunne lokalisere området på kortet.

Lokalt under og ved muslingeopdrættene beregnes forøgelse i sedimentets iltforbrug på op til 2-4 %, se figur 12.5. Modelberegningerne viser, at dette ikke medfører nogen markant reduktion i bundvandets iltkoncentration på noget tidspunkt af året, heller ikke i højsæsonen for iltsvind i juli/oktober, hvor der i 2005 (som også er modelåret) blev registreret lave koncentrationer i projektområdet i situationen uden opdræt, figur 12.6.



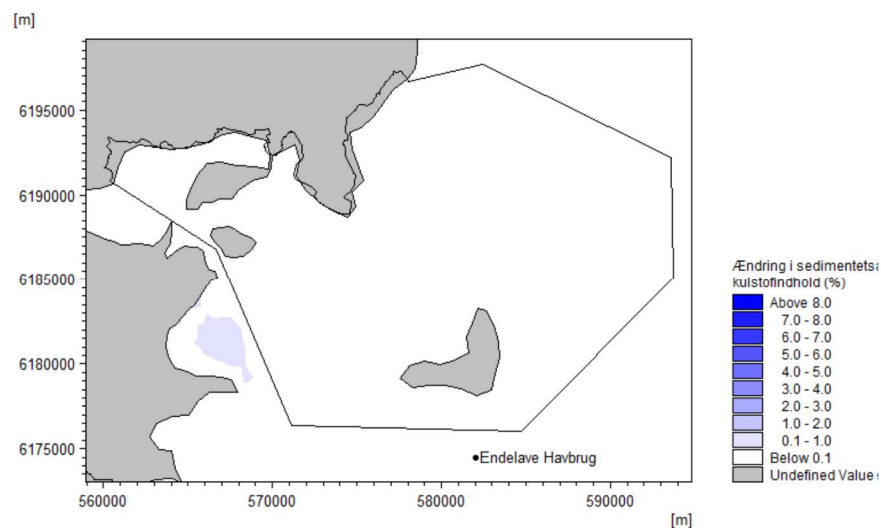
Figur 12.5. Modellerede ændringer i procent af sedimentets iltforbrug i projektområdet over en produktionssæson ved etablering af havbrug ved Endelave og de 3 muslingeopdræt i As Vig.

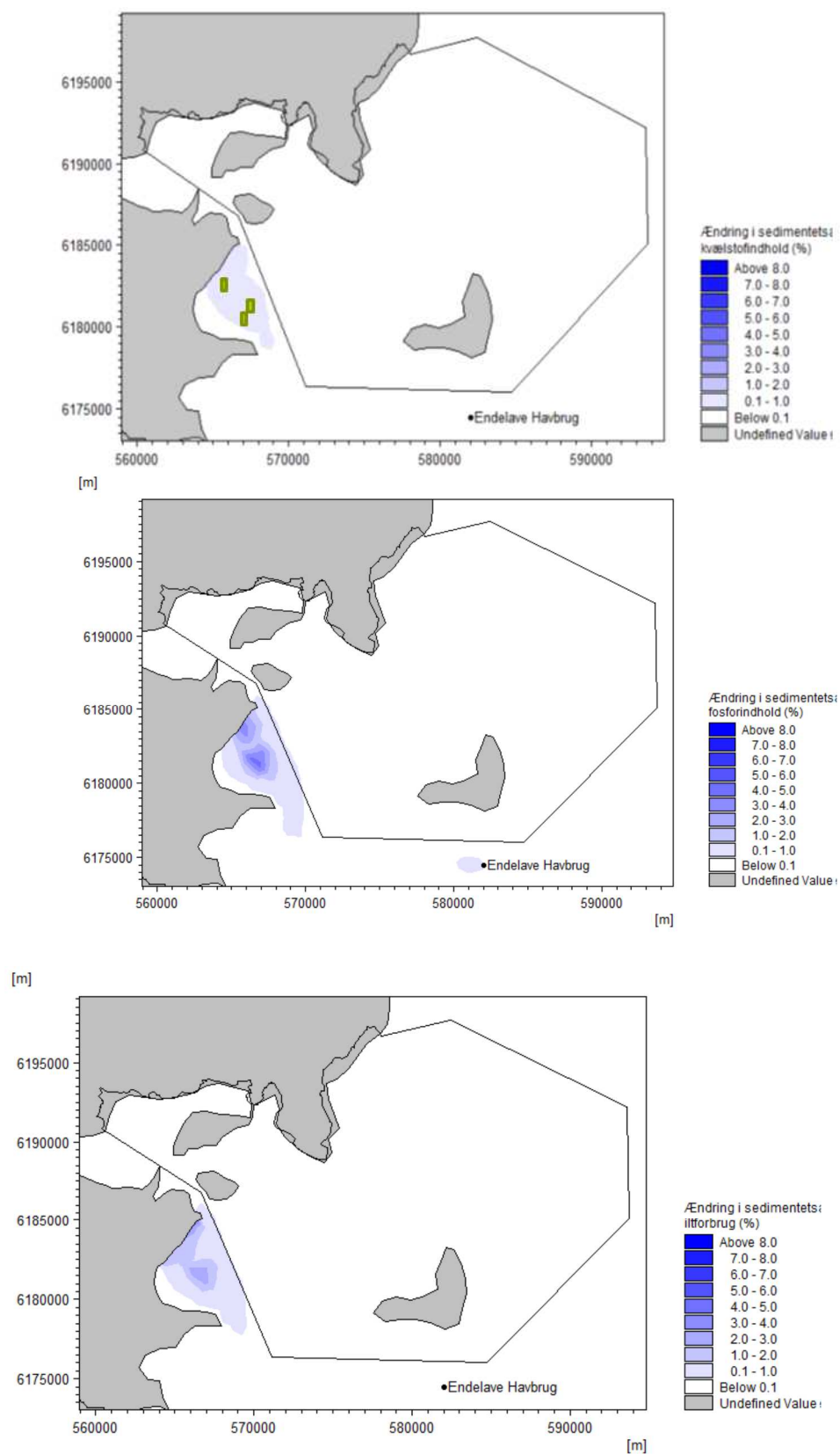


Figur 12.6. Modellerede iltkoncentrationer (mg/l) i bundvandet ved Hundshage Havbrug uden Endelave havbrug og muslingeopdræt (basis) og med Endelave Havbrug og 3 muslingeopdræt (Hundshage. 266 og nr. 267) etableret. NB: i de tilfælde, hvor der kun ses en blå linje betyder det, at der er sammenfald i iltkoncentrationerne mellem de to situationer.

## Sedimentforhold

I forbindelse med etablering og drift af fuldskala muslingeopdræt i As Vig kan det beregnes, at sedimentets kulstofindhold, lokalt i As Vig ved muslingeopdrættene, kan blive forøget med 0,1-1 %, mens kvælstof- og fosforindholdet kan blive forøget med op til henholdsvis 1% og op til 5% på årsbasis, figur 12.7.





Figur 12.7. Modellerede procentvise ændringer i sedimentkoncentrationerne af kulstof, kvælstof og fosfor i projektområdet ved havbruget og 3 muslingeopdræt i As Vig over hele året, som inkluderer perioden om vinteren, hvor der ikke foregår produktion på havbruget ved Endelave og aktivitet på de 3 muslingeopdrætsanlæg.



## Konklusion på modelberegninger

Modelberegningerne viser, at der ved maksimal produktion i muslinge anlæggene i As Vig 1-3 kan være en markant forbedring af sigtddybden umiddelbart ved muslingeopdrættene. Den forbedrede sigtddybde skyldes reduktion i mængden af planktonalger pga. muslingernes filtration af havvandet. Maksimal produktion af muslinger vil ligeledes medføre en markant lokal forøgelse af koncentrationen af uorganiske næringsstoffer (især  $\text{NH}_4$ ), men denne forøgelse vil ikke give anledning til forøget pelagisk primærproduktion pga. muslingernes effektive filtrering af havvandet.

Modelberegningerne tager ikke højde for musling – og tangopdrættenes skyggeeffekt. Det betyder at en eventuel forringelse af lysforholdene for naturlige forekomster af ålegræs og tang under opdrættene, ikke er vurderet i modelberegningerne. Den uønskede skyggeeffekt kan dog let undgås, ved at placere opdrætsområderne uden for ålegræssets dybdegrænse og i områder uden tætte bestande af tang.

Der er beregnet en forøgelse i sedimentets iltforbrug, lige under selve opdrættene på maksimalt 4%. Det forøgede iltforbrug resulterer dog ikke i forringede iltforhold i bundvandet på lokaliteten på noget tidspunkt af året, heller ikke i iltsvindsæsonen juli/oktober. Årsagen til at iltforholdene i bundvandet ikke forringes er, at det øgede iltforbrug er ubetydeligt i forhold til bundens samlede (basis) iltforbrug.

Det kan beregnes at kulstofindholdet i sedimentet, lokalt i As Vig ved muslingeopdrættene, kan blive forøget med 0,1-1 %, mens kvælstof- og fosforindholdet kan blive forøget med op til henholdsvis 1% og 5% på årsbasis. Det vurderes at forøgelsen i sedimenternes indhold af kulstof, kvælstof og fosfor ikke vil have nogen væsentlig negativ betydning for miljøforholdene ved muslingeopdrættene.

## 12.2 Undersøgelse af redox-forhold ved muslingeopdræt

Sulfidfrontmetoden eller mere præcist bestemmelse af sulfidfrontens dybde-placering i sedimentet, er en metode som kan anvendes til at beskrive den organiske belastning af sedimenter i fjorde og kystnære områder (DMU 1998). Dette blev udført under muslingeopdrættet i SartFarms for at analysere og evaluere især pseudofaeces' påvirkning/organiske belastning af sedimentet, som led i helhedsvurderingen af muslingeopdrættet. Reduceret ilt i sedimentet pga. bakteriers omdannelse af øget organisk materiale vil medføre mere iltfrie forhold højere oppe i sedimentet udtrykt ved øget sortfarvning (pga. øget  $\text{H}_2\text{S}$ ) af sølvstavende som indikation. Disse undersøgelser blev udført af Orbicon.

Sulfidfrontens placering i sedimentet bestemmes ved hjælp af sortfarvning ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ) af sølvpinde som opstår når sølvpindene stikkes ned i  $\text{H}_2\text{S}$ -holdige dele af sedimentet. Sølvpindene blev placeret i uforstyrrede sedimentkerner udtaget med kajak-rør. Længden af den del af sølvpindene som stikkes ned i sedimentet var 9 cm mens ca. 1 cm af sølvpinden var oppe i vandfasen. For at forbedre sværtningsprocessen var den del af sølvpindene som stak op over sedimentoverfladen belagt med sølvklorid ( $\text{AgCl}$ ). Sølvpindene blev inkuberet i sedimentet i 1/2-1 time. Herefter kunne det aflæses i hvilken dybde i sedimentet sværtningen af sølvpindene startede, da dette er en indikation på at de har været i kontakt med frit sulfid, som medfører at sølvpindene farves sorte eller brunlige (som af udfældning af  $\text{Ag}_2\text{S}$ ). Sulfidfrontens placering kan således aflæses som den dybde, hvor sværtningen af sølvpindene begynder, se figur 12.8 og 12.9.

Metoden er forholdsvis simpel rent teknisk og tager udgangspunkt i NOVANA programmets tekniske anvisninger men er ikke rutinemæssigt anvendt i forbindelse med egenkontrolundersøgelser ved muslingeopdræt, så der foreligger ingen dokumentation af i hvor høj grad metoden er velegnet.

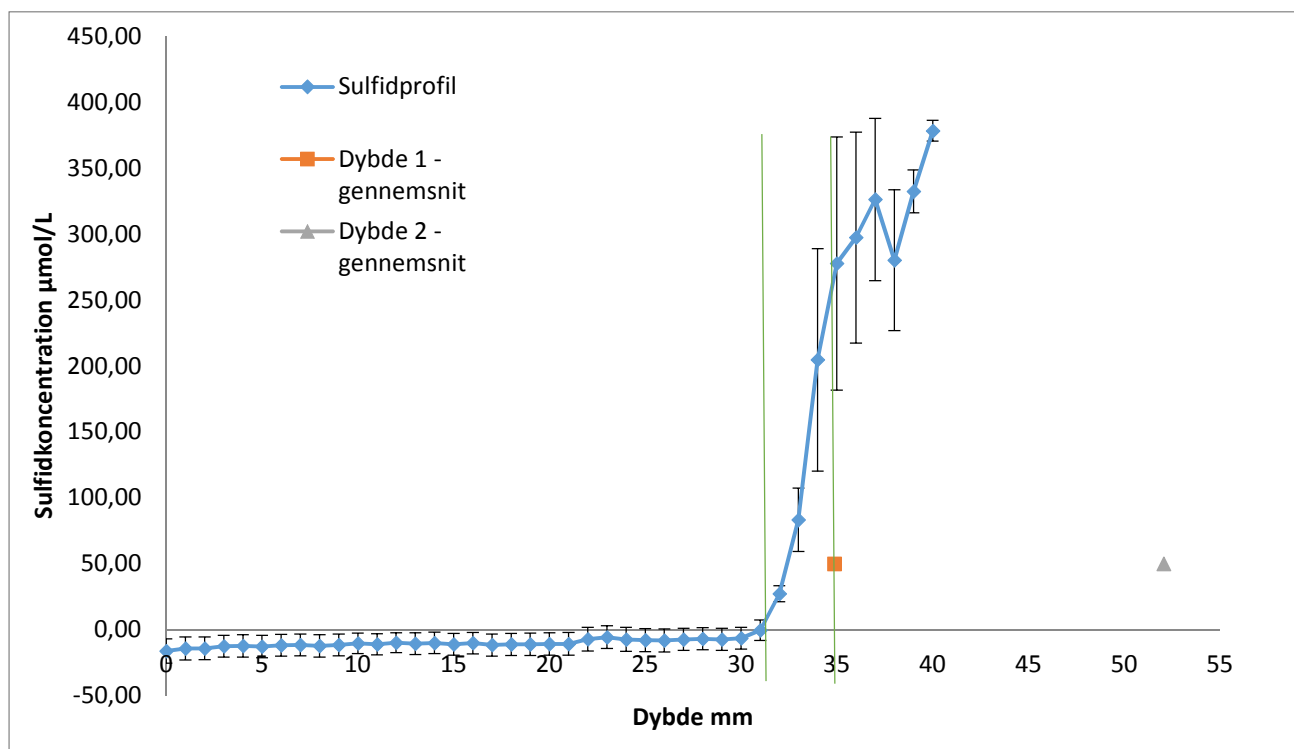
Det er vigtigt at det afklares om sulfidfronten er placeret hvor sværtningen begynder oppe på sølvpindene eller om den er placeret nede i den dybde hvor sværtningen af sølvpinden bliver konstant og er



maksimal. Foreløbige resultater fra kontrollerede laboratorieforsøg som omfatter måling af sulfid, indikerer at sulfidfrontens placering i dybden er sammenfaldende med den dybde, hvor der registreres begyndende sværtning øverst på sølvpindene.



Figur 12.8 a og b. a: Et eksempel på sværtning af sølvpinde fra et kontrolleret laboratorieforsøg. Sværtning af sølvpindene ses nederst på stængerne. Den sorte markering øverst på stængerne angiver sedimentoverfladens placering. Bemærk at sværtningen af sølvpindene er stærkest dybt i sedimentet og at der kan registreres en glidende overgang fra stærk sværtning til ingen sværtning når man nærmer sig sedimentoverfladen. b: sedimentsøjler udtaget med kajak-rør med sølvpinde til bestemmelse af sulfid-front.



Figur 12.9. Profil af sulfidkoncentrationen gnsn. og standard error (SE). Sulfidfronten er markeret med lodrette, grønne striber. Gennemsnitsværdierne for dybde 1 (n=83) samt dybde 2 (n=83) er angivet med henholdsvis orange firkant og lille trekant. NB: Dybde 1 er den dybde i sedimentet hvor sværtningen af sølvpinden "starter", Dybde 2 er den dybde hvor der registreres markant sortsværtning af sølvpinden, Goul Andersen & Andersen, upubliceret teknisk rapport.

Muslingeopdrættet ved Sælkrogen er placeret inde i selve Horsens Fjord, figur 12.10. I Sælkrogen blev der produceret blåmuslinger på ca. 30 SmartUnits.



Figur 12.10. Kort over placering af Sælkrogen muslinge anlæg (Tilladelse nr. 268), med angivelse af målestation under selve opdrættet (2012 og 2014) og referencestationen (2014) uden for opdrættet.

**2012:** I september 2012, hvor muslinge biomassen var ca. 15 tons muslinger per rør, blev der udtaget 4 uforstyrrede sedimentkerner midt i anlægget. I hver af de 4 uforstyrrede sedimentkerner blev der placeret 3 sølvpinde. Sølvpindene blev inkuberet i sedimentet i ca. én time.

**2013:** I efterårsperioden 2012 og det meste af 2013 var muslingproduktion i Sælkrogen lav pga. prædation fra edderfugl. Dette betød at biomassen af muslinger i 2013 var stærkt reduceret. Samtidig var der usikkerhed omkring gennemførsel og aflæsning af sølvstænger i forbindelse med egenkontrol (sulfidfront metode). Det blev besluttet at teste sølvstangsmetoden ved kontrollerede laboratorieforsøg for at få et forbedret grundlag for at anvende og vurdere resultaterne (Goul Andersen & Andersen, teknisk rapport). På den baggrund blev der ikke gennemført egenkontrolundersøgelse i 2013.

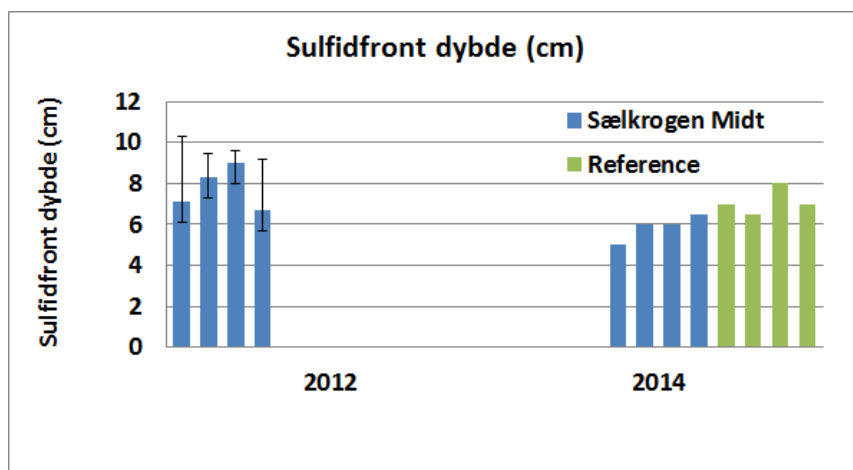
**2014:** Sulfidfrontsbestemmelse blev gennemført ved anlægget i september 2014. På dette tidspunkt var muslinge biomassen på rørene i anlægget beskeden (ca. 1 tons muslinger per rør). Der blev udtaget 4 uforstyrrede sedimentkerner midt i anlægget og 4 uforstyrrede sedimentkerner i et referenceområde ca. 200 meter fra anlægget, se figur 6.11. Referenceområdet var valgt fordi det var forholdsvis tæt på anlægget og at området "lignede" muslingeopdrætsområde hvad angik vanddybde, sedimentforhold og strømforhold. I hver af de 4 uforstyrrede sedimentkerner blev der placeret 1 sølvpind. Længden af den del af sølvstængerne som blev stukket ned i sedimentet var 9 cm. Sølvpindene blev inkuberet i sedimenterne i ca. ½ time, da resultater fra nye laboratorieforsøg viste at sulfidfrontens placering i dybden kunne aflæses tydeligt efter ½ time. Resultaterne er vist i figur 6.12.

Der blev desuden udtaget 3 sedimentkerner midt i anlægget og 3 sedimentkerner i referenceområdet som blev analyseret for mængden af total N, total fosfor og glødetab. Resultaterne er vist i figur 6.12.

## Resultater

Resultatet af sulfidfrontsbestemmelsen baseret på undersøgelsen af 4 sedimentkerner fra Sælkrogen indsamlet i september i 2012 og 2014 viser, at sulfidfrontens dybdeplacering i sedimentet under muslinge anlægget varierede mellem 5,0 til >9,0 cm, figur 6.12. Sulfidfronten lå således forholdsvis dybt nede i sedimentet. I 2014 blev der ikke registreret forskel mellem dybden af sulfidfronten under muslinge anlægget og referenceområdet, figur 6.12.

De oxiderede forhold i overfladesedimentet kunne også registreres ved observation af sedimentets farve på de indsamlede sedimentkerner.

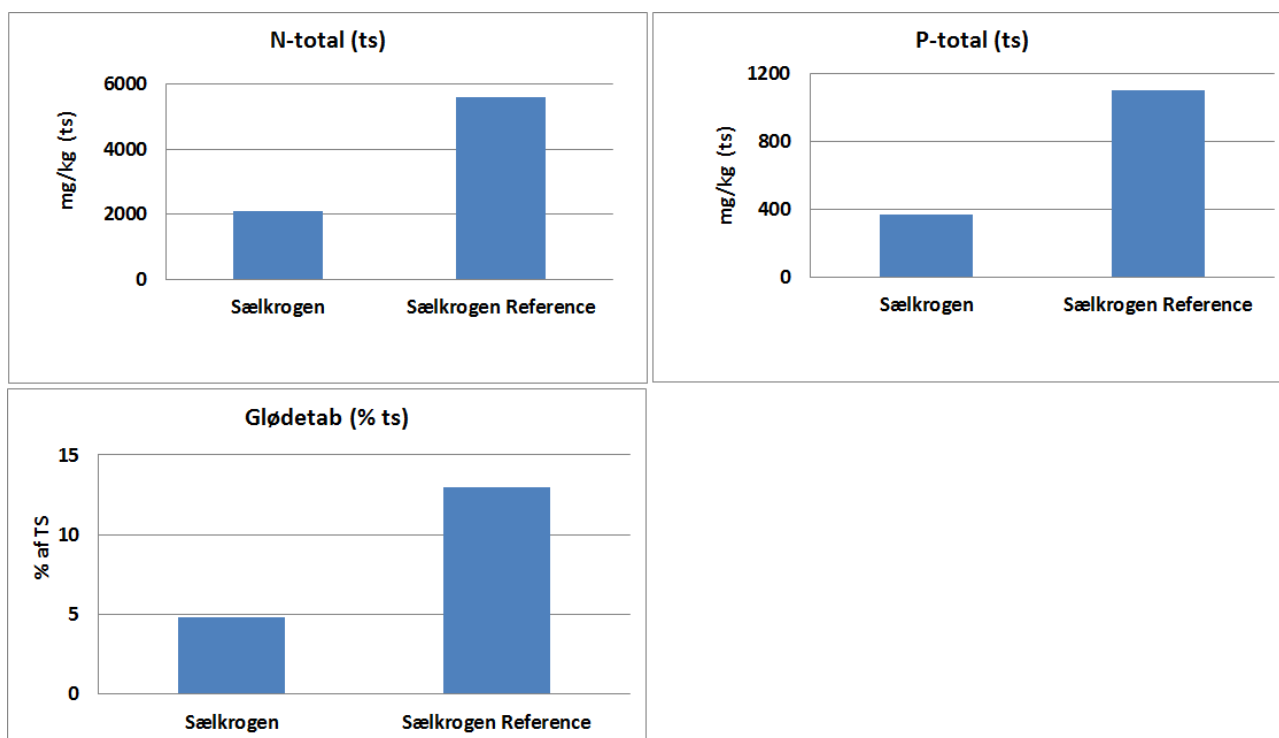


Figur 12.11. Sulfidfrontens dybde ved undersøgelse af 4 sedimentkerner udtaget midt i Sælkrog muslinge anlæg (tilladelsesnummer "268") fra d. 12 september 2012 og d. 23 september 2014, og fra referenceområdet d. 23 september 2014.

Resultaterne af dybdemålinger af sulfidfronten under muslinge anlægget i 2012 og 2014 viser at belastningen af bunden med organisk stof fra muslinge produktionen ikke har medført markant forøget risiko for at der blev reducerede og dermed iltfrie forhold ved sedimentoverfladen på det tidspunkt på året hvor der ellers er størst risiko for reducerede forhold i overfladesedimentet og resulterende iltvind i bundvandet.

Iltmålinger foretaget i vandfasen og i bundvandet ved Sælkrogen i samme periode som sulfidfrontsbestemmelsen (august-oktober 2014) viste, ligesom kortlægningen af sulfidfrontens placering i sedimentet også indikerede, at iltkoncentrationen var høj (>8 mg/l eller >90 % mætning) i bundvandet.

I september 2014 blev bundsedimentet under muslinge anlægget i Sælkrogen og i referenceområdet desuden analyseret for indholdet af totalkvælstof (N), totalfosfor (P) samt glødetab (indikator for organisk indhold), figur 12.13. Resultaterne viser at i alle tilfælde var koncentrationen af kvælstof, fosfor og organisk materiale (målt som glødetab) mindre under muslinge anlægget end i det nærliggende referenceområde. Dvs. at der i løbet af de 3 år, der er gået siden muslinge anlægget blev taget i brug, tilsyneladende ikke er sket en ophobning af organisk materiale, kvælstof eller fosfor under muslinge anlægget i forhold til det nærliggende referenceområde.



Figur 12.12. Koncentration af total kvælstof tørstof (N) og Fosfor tørstof (P) samt glødetab i sediment under muslinge anlægget (Sælkrogen) og i referenceområdet (Sælkrogen Reference). Søjlen repræsenterer en blandings prøve af de øverste 5 cm fra 3 kajakprøver.

### Konklusion på målinger af sulfidfronten

Resultaterne fra kontrolundersøgelsen ved muslingeopdrættet i Sælkrogen i 2012, hvor der var ca. 15 tons muslinger pr. rør og i 2014 da der var ca. 1 tons muslinger pr. rør viser, at sulfidfrontens dybdeplacering i sedimentet under muslinge anlægget var  $\geq 5,0$  cm og at iltforholdene i vandfasen samt i bundsedimentet under muslinge anlægget var gode på det tidspunkt af året, hvor der ellers er maksimal iltforbrug i sedimentet pga. høje vandtemperaturer.

Målinger fra 2014 viste, at der ikke kunne registreres forskel mellem dybden af sulfidfronten under muslinge anlægget og det nærliggende referenceområde.

På den baggrund kan det konkluderes at målingerne af sulfidfrontens placering under muslinge anlægget i 2012 og 2014 viser, at den eventuelle belastning af bunden med organisk stof fra muslinge produktionen, på op til ca. 15 tons muslinger per rør, svarende til ca. (450 tons i produktionsområdet), ikke har medført forøget risiko for at reducerede og/eller iltfrie forhold ved sedimentoverfladen på det tidspunkt af året hvor der ellers er størst risiko for reducerede forhold i overfladesedimentet og resulterende iltvind.

### 12.3 Nedtrængning af lys ved tangkultur

I 2014 blev der gennemført undersøgelser af skyggeeffekten/lysnedtrængningen i tangkulturen ved Hjørnø Hage. Kvantificering af skyggeeffekter fra tangkulturer er ikke tidligere gennemført i danske farvande og det blev derfor besluttet at gennemføre detaljerede målinger af skyggeeffekten, dels lige under tanglinier med varierende biomasse og dels i stigende afstand fra tanglinier, så der kunne etableres et datagrundlag for at vurdere "worst case" skyggeeffekten på havbunden, dvs. ved fuld besætning af tangle anlægget og maksimal biomasse på de enkelte tanglinier.

Lyssvækkelsen i vandsøjlen blev målt direkte ved sigtdybdemålinger samt beregnet ud fra målinger af vertikale profiler ved anvendelse af lys-sonde (Li-Cor).

Sigtdybde målingerne blev foretaget inde i tangområdet med referencemålinger umiddelbart uden for området.

Målingerne med lyssonde blev foretaget ved at sænke lyssonden ned gennem vandsøjlen og målingerne blev foretaget med 1 m dybdeintervaller ned til ca. 1 m over bunden. Lysmålingerne blev foretaget som gennemsnit inden for et tidsinterval på 15 sekunder. Der blev målt både på vej ned gennem vandsøjlen og på vej op igen. Lysmålingerne blev foretaget på "lyssiden" af undersøgelsesbåden for at minimere skyggeeffekten fra båden. Målingerne blev foretaget på skyggesiden af tanglinerne så skyggeeffekten er maksimal.

Baseret på lysmålingerne beregnes lyssvækkelseskoefficienten  $K_d$  som senere anvendes ved beregning af den relative lysmængde i udvalgte dybder. For at supplere lysmålingerne er der desuden målt sigtdybde på alle stationer, hvor der er foretaget lysmålinger.

Der blev foretaget målinger d. 12. og d. 28. marts samt igen d. 18. juni 2014.

Den 12. marts (i tidsrummet kl. 10-13) blev der målt på 6 stationer inde i tangkulturen samt på 4 referencestationer uden for selve tangkulturen (min. 50 m, uden for kulturområdet), med fokus på at få dokumenteret "worst case" dvs. lysdæmpningen/skyggeeffekten umiddelbart i/under tanglinerne som havde varierende biomasse med en maksimal biomasse på 2-3 kg per m produktionsline, figur 6.14. Vejrforholdene på dagen var vindstille og med solskin.

Efterfølgende, d. 28. marts og 18. juni blev der målt på 6 stationer udlagt på et transekt gående fra selve tanglinen ud til en afstand af 4 m, for at få dokumenteret hvor langt væk fra tanglinen skyggeeffekten strækker sig.

Ved målingen d. 18. juni blev det estimeret at tanglinen (5 m) havde en biomasse på 11 kg tang (vådvægt) med hovedparten af tangen koncentreret på de øverste 3 m. Dette svarer til ca. 3-4 kg tang per m. Desuden blev der foretaget lysmåling på en referencestation 50 m fra tangkulturen ved markeringsbøjen i den SØ del af kulturområdet.

Tabel 12.1. Placering af stationer i tangkulturen og uden for tangkulturen

| Station ved tang  |             |
|-------------------|-------------|
| N 55 48.871       | E 10 07.017 |
| Reference station |             |
| N 55 48.730       | E 10 07.072 |

## Resultater – sigtdybde

Sigtdybde målingerne viste ved alle tre prøvetagninger, at der på alle stationer både inden for tangkulturområdet og på referencestationer uden for tangområdet, var sigtdybder til bunden dvs. 8,5-9 m.

Dette viser, at tangen har så lille effekt på lysforholdene i produktionsområdet, at den ikke kan registreres ved måling af sigtdybde.



Figur 12.13. Kort over projektområdet ved Hjørnø Hage med angivelse af placering af de tangliner der blev målt på.

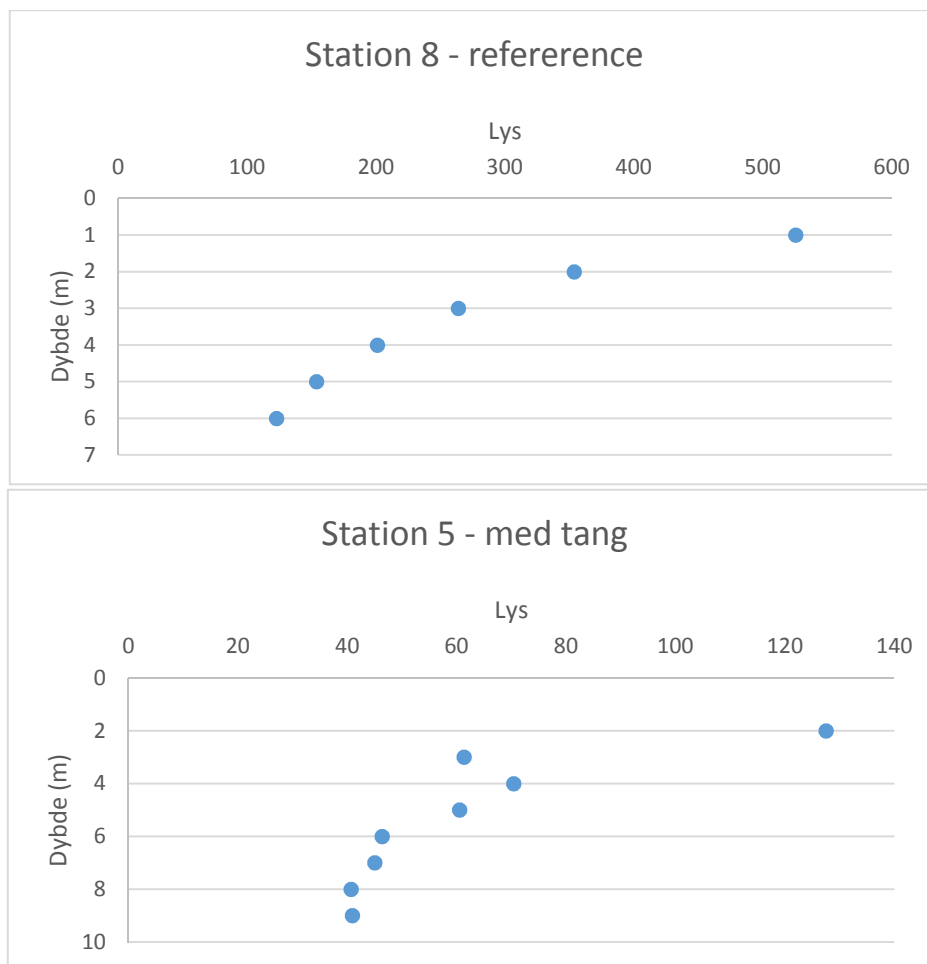
### Resultater – lysmålinger

Ved lysmålingerne d. 12 marts ses det, at der kan registreres en lille, men dog reduktion i lysintensiteten (i forhold til referencestationen) på ca. 20 % i 7-8 m dybde inde i selve tangbevoksningen, figur 12.15 og 12.16 og tabel 12.2. Det vurderes at tangbiomassen på stationerne 1-6 var på 0,5-1,5 kg per m med en enkelt observation med en maksimal biomasse anslået maks. 3 kg per m (station 4).

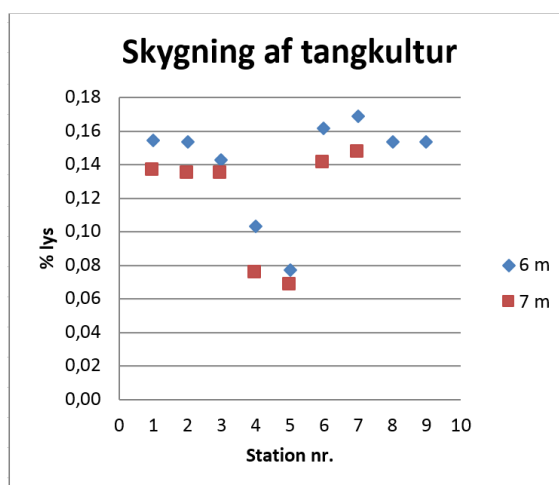
Lysdæmpningskoefficienten ( $K_d$ ) på referencestationerne blev beregnet til 0,26 - 0,29 per m svarende til en sigtdybde på 8-9 m. Hvilket er i god overensstemmelse med sigtdybdemålingerne.

Reduktionen i lysintensiteten lige under tangen i 6 og 7 m dybde, svarer således til den lysmængde, der ville trænge ned til en dybde på henholdsvis ca. 6,8 m og 7,9 m uden tang.

Det kan beregnes, at reduktionen i lysmængden til bunden lige under tanglinerne er ca. 20 %. Beregningen forudsætter at tanglinerne dækker ca. 10 % af tangkulturens areal, svarer til en gennemsnit reduktion af lysmængde til bunden inden for området på ca. 2 %. Dette er en mindre påvirkning af lysforholdene sammenlignet med den maksimale potentielle skyggeeffekt på 10%, som blev beregnet under forudsætning af en 100% reduktion i lysmængden lige under tanglinerne i forbindelse med miljøvurderingen af tangkulturen ved Hjørnø Hage, Hjørnøsund Havbrug 2011 (Orbicon 2011).



Figur 12.14a og b. Øverst (figur a) ses et eksempel på lysnedtrængningen (%) på en station 8 som er en reference lokalitet uden tang. Nederst (figur b) ses et eksempel på lysnedtrængningen på station 5 med tang i dybden 3-5 m, 12 marts 2014.



Figur 12.15. Skygning af tangkulturen ved måling lige under tangliner ((angivet som % af overfladelyset som når henholdsvis 6 og 7 m dybde d. 12 marts 2014) med varierende biomasse af tang, 12 marts 2014. NB: vanddybden på station 9 og 10 var maks. 6 m.



Tabel 12.2. gennemsnitligt % lys målt ved selve tanglinen (i tang) i forhold til overfladelys i henholdsvis 6 og 7 m dybde med angivelse af reduktionen i lysmængden i de pågældende dybder i forhold til reference stationer uden tang, 12 marts 2014.

|                               | 6m  | 7m  |
|-------------------------------|-----|-----|
| Tang (% af overfladelys)      | 13  | 11  |
| Reference (% af overfladelys) | 16  | 14  |
| Reduktion tang (%)            | -19 | -21 |

Lysmålingerne, der blev foretaget d. 28 marts, var fokuseret på at få kvantificeret reduktionen i lysmængden som funktion af afstanden til tanglinerne. I modsætning til ved undersøgelsen foretaget d. 12 marts blev der registreret meget små skyggeeffekter ved selve tanglinen i forhold til i en afstand på 4 m (reference) ved denne prøvetagning, tabel 12.3.

Det kan beregnes at reduktionen i lysmængden til bunden lige under tanglinerne var på ca. 1%. Under forudsætning at tanglinerne dækker 10% af tangkulturens areal, svarer dette til en gennemsnitlig reduktion af lysmængden til bunden indenfor hele tangkulturens areal på <1%.

Tabel 12.3. gennemsnitligt % lys målt ved selve tanglinen (i tang) i forhold til overfladelys i henholdsvis 6 og 8 m dybde med angivelse af reduktionen i lysmængden i de pågældende dybder i forhold til referencen uden tang, 28 marts 2014.

|                               | 6m   | 8m   |
|-------------------------------|------|------|
| Tang (% af overfladelys)      | 16,5 | 11,3 |
| Reference (% af overfladelys) | 17   | 11,4 |
| Reduktion tang (%)            | -3   | -1   |

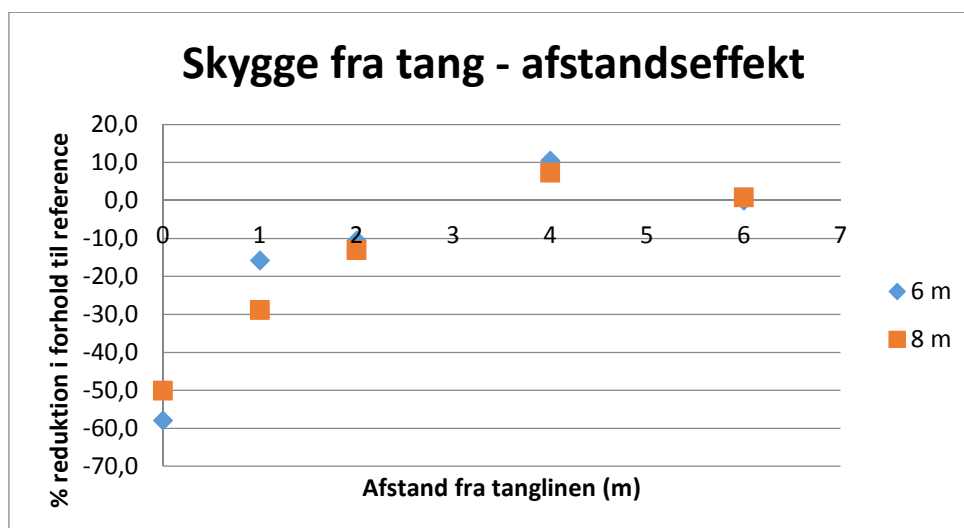
Lysmålingerne der blev foretaget d. 18 juni var fokuseret på at få kvantificeret reduktionen i lysmængden som funktion af afstanden til tanglinerne.

Lyset som når bunden (8 m) umiddelbart under tanglinen reduceres med ca. 50%, tabel 6.4. I en afstand på 1 m er lyset ved bunden reduceret med ca. 30%. Ved større afstand fra tanglinen ses ingen skyggeeffekt fra tangen. I en zone omkring tanglinen på ca. 1,5 m bredde reduceres lysmængden således med i gennemsnit 40%.

Under forudsætning af at tanglinerne ligger med 10 m afstand kan det beregnes at, lyset reduceres med ca. 40% i 15% af tangkulturarealet, mens der ikke er nogen skyggeeffekt i de resterende 85% af arealet.

Ved at forudsætte 40% reduktion eller 60% nedtrængning i området fra tanglinen til en afstand på 1,5 m og en reduktion på 0% svarende til 100% nedtrængning i de resterende 8,5 m kan der beregnes en gennemsnitlig lysnedtrængning for hele tangkulturarealet på 94%, svarende til en skyggeeffekt på ca. 6% i gennemsnit over hele arealet.

Samlet set viser målingerne i marts og juni således at der kan registreres en lokal skyggeeffekt lige under tanglinen, og at den kan være meget variabel. I 6 m dybde ses skyggeeffekter på fra 3-55% mens den ved en dybde på 7-8 m varierede mellem 1-45%. Variabiliteten skyldes sandsynligvis dels forskelle i biomasse på tanglinen, dels i hvor høj grad målingerne foretages inde i eller ved siden af selve tang "dropperen".



Figur 12.16. Reduktionen i lysmængden i 6 og 8 m dybde på måletransektet i stigende afstand fra tanglinen (0-6 m), målt d. 18 juni 2014.

Tabel 12.4. Gennemsnitligt % lys målt ved selve tanglinen (i tang) i forhold til overfladelys i henholdsvis 6 og 8 m dybde med angivelse af reduktionen i lysmængden i de pågældende dybder i forhold til referencen uden tang (afstand 4 m), 28 marts 2014.

|                               | 6m  | 8m  |
|-------------------------------|-----|-----|
| Tang (% af overfladelys)      | 8   | 5   |
| Reference (% af overfladelys) | 18  | 10  |
| Reduktion tang (%)            | -55 | -45 |

### Konklusion på skyggeeffekt

Hvis der tages udgangspunkt i at beskrive "worst case" scenariet – dvs. hvor tangen skygger maksimalt (18 juni 2014), kan det beregnes, at skyggevirkningen i gennemsnit over hele tangkulturområdet maksimalt vil medføre en gennemsnitlig reduktion på 6 % i den lysmængde, der når ned til havbunden. En skyggevirkning af denne størrelse betyder, at lysmængden, der når havbunden i tangkulturområdet, svarer til det lys, der ville nå havbunden i en situation uden tangkultur, men med en forøget dybde på 0,2-0,3 m. Det vurderes at en skyggeeffekt af denne størrelse er uden væsentlig betydning for de naturlige vegetationsforhold i tangkulturområdet.

## 12.4 Hængende rev

Muslingeopdræt på SmartFarm og eller langliner samt tangkulturer vil, udover de arter som ønskes produceret, også indeholde en hel række andre arter af dyr og planter som kan leve sammen med blåmuslinger og sukkertang. Denne tiltrækning af/etablering af andre arter medfører at opdrættene kommer til at fungere som "hængende rev". En øget biomasse af "andre arter" og deres produktion i de hængende rev kan medføre at fisk, fugle og pattedyr kan udnytte de hængende rev både som fødekilde og som skjul og rasteplass.

Tidligt i projektet blev det besluttet at lave screeninger af biodiversiteten i både muslingeopdræt og tangkultur for at få et indblik i biodiversiteten og variabiliteten i forekomsten af arter. Undersøgelserne omfatter Hundshage i både 2011 og 2014. De andre opdræt i As Vig samt Sælkrogen blev kun screenet i 2014.

## Muslingeopdræt

Biodiversiteten i muslingeopdrættet ved Hundshage blev undersøgt i 2011 og igen i 2014. I 2011 blev der registreret 30 arter/grupper af epifauna associeret med muslingekulturen på SmartUnits. Af disse var 10 arter/grupper børsteorm, 3 arter husbærende snegle, 1 nøgensnegl, 8 arter/grupper af krebsdyr, 1 art og 1 gruppe af pighuder. Desuden blev der fundet 1 art af både rur og slimbændel samt 1 art/gruppe af søanemone, rundorme og mosdyr og en række ubestemte filamenttøse makroalger, figur 6.18.

Foruden blåmuslinger blev der også registreret store forekomster af alm. søstjerne (*Asteria rubens*) og kølet rur (*Balanus crenatus*). Tilsammen udgjorde disse tre arter mere end 97 % af den samlede biomasse.



Figur 12.17. Eksempler på "hængende rev" baseret på muslinger opdrættet på SmartUnits.

Der blev registreret en stor variation i både artsantal, individantal og biomasse af organismer tilknyttet det hængende rev på SmartUnits.

I eftersommer-/efterårsperioden (28/8-11/11) 2014 blev der gennemført et detaljeret studie af faunaen på de 4 muslingeanlæg. Da blev der registreret 45 arter/artsgrupper fordelt på de 3 geografiske placeringer – Sælkrogen (16 arter), As Vig 1 (25 arter) og As Vig 2/3 (36 arter).

Ved den tilsvarende undersøgelsen ved As Vig 1 fra 2011 blev der fundet 29 arter. Der blev således fundet 4 arter færre ved undersøgelsen i 2014 ved Hundshage end ved undersøgelsen i 2011.

Den mest bemærkelsesværdige forskel mellem 2011 og 2014 er at, der i 2014 blev registreret tætte bestande af skeletkrebs (*Caprella linearis*) overalt i muslingeopdrættet og at den kolonidannende søpung (*Botryllus schlosseri*) også blev registreret – dog ikke ved Hundshage men i Sælkrogen. Begge arter er velkendte i muslingopdræt f.eks. i Limfjorden – men blev ikke registreret ved undersøgelsen i 2011. Desuden kan det nævnes at også børsteormen skælryg (*Ampithoe rubricata*) var meget almindeligt forekommende i 2014 mens den ikke blev registreret i 2011.

Nogle arter er således forsvundet siden 2011, mens andre er kommet til fra 2011 til 2014. Denne variation i sammensætningen af arter på muslingenettene – med større eller mindre udskiftning af arter er som forventet, da revsamfund ikke er statiske, men vil være i udvikling i tiden efter etableringen. Dette skyldes, at nogle arter er meget hurtige til at etablere sig og udnytte ressourcerne i muslingeopdrættet, mens andre arter langsommere og mere specialiserede i forhold til ressourcerne.

Tabel 12.5. Artsliste for muslingeopdrættet ved Hundshage baseret på undersøgelser i 2011 og 2014.

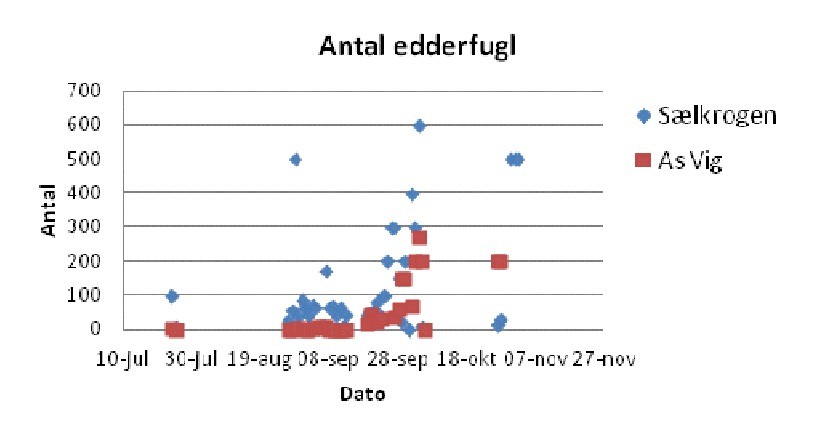
| Grupper               | Arter                     | 2011 | 2014 |
|-----------------------|---------------------------|------|------|
| <b>Søanemoner</b>     | Sagartiogeton sp.         | X    | X    |
| <b>Nemertiner</b>     | Lineus ruber              | X    |      |
| <b>Nematoder</b>      | Nematoda indet.           | X    |      |
| <b>Børsteorm</b>      | Harmothoe sp.             | X    | X    |
|                       | Phyllodoce maculata       | X    |      |
|                       | Lepidonotus squamatus     |      | X    |
|                       | Nereimyra punctata        | X    |      |
|                       | Nereis pelagica           | X    | X    |
|                       | Nereis sp.                | X    | X    |
|                       | Hediste diversicolor      | X    | X    |
|                       | Neanthes irrorata         |      | X    |
|                       | Neanthes succinea         | X    |      |
|                       | Neanthes virens           | X    |      |
|                       | Neanthes sp.              | X    | X    |
|                       | Polydora caeca            | X    |      |
| <b>Krebsdyr</b>       | Ampithoe rubricata        |      | X    |
|                       | Balanus balanus           |      | X    |
|                       | Balanus crenatus          | X    | X    |
|                       | Carcinus maenas           |      | X    |
|                       | Caprella linearis         |      | X    |
|                       | Corophium insidiosum      | X    | X    |
|                       | Corophium sp.             | X    |      |
|                       | Dexamine spinosa          |      | X    |
|                       | Gammaridae indet.         | X    |      |
|                       | Microdeutopus gryllotalpa | X    | X    |
|                       | Microdeutopus maculatus   | X    |      |
|                       | Microdeutopus sp.         | X    |      |
|                       | Jassa falcata             | X    |      |
|                       | Idothea granulosa         |      | X    |
|                       | Idotheabaltica            |      | X    |
| <b>Havedderkopper</b> | Chelicerata sp.           |      | X    |
| <b>Snegle</b>         | Rissoa sp.                | X    |      |
|                       | Aclis minor               | X    |      |
|                       | Aclis sp                  | X    |      |
| <b>Nøgensnegl</b>     | Onchidoris sp.            | X    | X    |
|                       | Nudibranchia sp.          |      | X    |
| <b>Musling</b>        | Mytilus edulis            | X    | X    |
| <b>Pighuder</b>       | Asterias rubens           | X    | X    |
|                       | Echinoidea indet.         | X    |      |
| <b>Fimreorm</b>       | Turbellaria sp.           |      | X    |
| <b>Mosdyr</b>         | Bryozoa indet.            | X    | X    |

De første arter som ankommer/registreres på opdrættet kan således have en lav konkurrencedygtighed, som medfører at de med tiden vil blive udkonkurreret af andre, der ikke etablerer sig så hurtigt, men som til gengæld er langt bedre til at udnytte revstrukturernes ressourcer.

Med tiden kan det forventes, at der vil indstille sig en ligevægt mellem de forskellige arters populationer, som afspejles i et modent "klimaks" samfund. Det er dog ikke sikkert, at den proces kan nå at forløbe i løbet af de 1-2 år, som muslingerne hænger på SmartUnits.

Ud over de biologiske interaktioner mellem arterne og inden for de enkelte arter, er der også en række abiotiske faktorer som kan være af betydning for udviklingen af samfundene i muslingekulturerne, bl.a. fysisk forstyrrelse/ødelæggelse i forbindelse med storme eller islag, ændringer i saltholdighed og ilt-svind. Forstyrrelse kan påvirke udviklingen af samfundene så vejen frem mod "klmaks" samfundet forlænges og der kan opstå "huller" i samfundene, som kan betyde at nye arter får mulighed for at etablere sig.

Ud over etablering af "revsamfund" af smådyr, som kan tiltrække fisk som fouragerer på smådyrene i "revet" har især muslingeopdrættene også betydning for edderfuglen, som fouragerer på muslingeopdrættene. I projektperioden er det blevet registreret, at både den lokale bestand af edderfugle, og især de trækkende edderfugle tiltrækkes af muslingeopdrættene. I edderfuglenes trækperiode i efterårs-/vinterperioden kan der således registreres 200-300 edderfugle både ved opdrættet i Sælkrogen og ved Hundshage, figur 6.19.



Figur 12.18. Observerede antal af edderfugle ved henholdsvis muslingeopdrættet i Sælkrogen og i As Vig, 2013.

### Tang opdræt på langliner

Under projektet blev det observeret at tangområdet i høj grad fungerede som et hængende rev (Figur 12.18). Sukkertangen ved Hundshage blev screenet ved undersøgelse i 2011. Sukkertangen selv var relativt fin og ren for påvækst. Tovværket var dog meget begroet med specielt rurer og blåmuslinger, som det også var lykkedes at settle på selve sukkertangens bladplader. I enkelte tilfælde var bladpladerne "klisteret" sammen af byssustråde fra blåmuslinger.

Udover den påsåede sukkertang blev der registreret 4 arter af makroalger på produktionslinerne; brunalgen og fedtemøgsarten *Ectocarpus* sp., grønalgen rørhinde (*Enteromorpha* sp.) og rødalgerne *Callithamnion* sp. og ledtang (*Polysiphonia* sp) og 13 arter af smådyr, tabel 6.6.

Tabel 6.6. Associerede tang- og smådyrarter i tangområdet Hundshage – hængende rev effekt.

| Tanganlægget ved Hundshage | Andre makroalger arter                                                                                                                                                                | Associerede smådyr                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                            | Brunalgen-fedtemøgsarten ( <i>Ectocarpus</i> sp.)<br>Grønalgen rørhinde ( <i>Enteromorpha</i> sp.)<br>Rødalgerne ( <i>Callithamnion</i> sp.)<br><br>Ledtang ( <i>Polysiphonia</i> sp) | Polypdyr ( <i>Hydrozoa</i> )<br>Søanemone ( <i>Sagartiidae</i> sp.)<br>Havbørsteorme ( <i>Nereididae</i> )<br><br>Blåmusling ( <i>Mytilus edulis</i> )<br>Lavvandsrur ( <i>Semibalanus balanoides</i> )<br>Kølet rur ( <i>Balanus crenatus</i> )<br>Tangloppe ( <i>Gammaridae</i> spp.)<br>Alm. strandkrabbe ( <i>Carcinus maenas</i> ) |

|  |  |                                                                                                                                                                                  |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  | Glat hindemosdyr ( <i>Membranipora membranacea</i> )<br>Mosdyr (ikke bestemt)<br>Alm. søstjerne ( <i>Asterias rubens</i> )<br>Stikkelsbærsøpung ( <i>Dendrodoa grossularia</i> ) |
|--|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Der var generelt flest sukkertangplanter øverst på linerne. Desuden var de enkelte planter længst/størst øverst på linen. På alle linerne var der massivt påslag af blåmuslinger og rurer og nederste på linerne blev der registreret påvækst af mosdyr.

Erfaringen med drift af tangelægget ved Hjørnø Hage var bl.a. at der sås en påvækst på tangen af andre organismer såsom mosdyr, søanemoner, blåmuslinger, søstjerner og andre tangarter, men også tanglopper var tydeligt associeret med tangen. Under høsten i 2014 observeredes tilmed store mængder krabber på linerne, men også fisk såsom tangnål og stenbidder var associeret med tangområdet.



Figur 12.19 Billeder af andre organismer associeret med tanglinerne ved Hjørnø.

### Konklusion på hængende rev - biodiversitet

Screeningsundersøgelserne af biodiversiteten i hængende rev af både muslingeopdræt og sukkertangkultur viser, at der kan forekomme et stort antal smådyrsarter (og makroalger).

Undersøgelserne af smådyrssamfundet i muslingeopdrættet viser, at der kan være stor forskel i artssammensætningen mellem årene – og at enkelte arter, som f.eks. skeletkrebsen *Caprella linearis* kan blive helt dominerende. Forekomsten af kolonidannende søpunge som *Botryllus schlosseri* samt påvækst af bl.a. rurer og tilstedeværelse af store mængder søstjerner kan udgøre et problem dels pga. fødekonekurrence (søpunge), dels pga. forringet kvalitet i forhold til human konsumtion (rur), og dels pga. prædation (søstjerner), som kan medføre en væsentlig reduktion i både produktion og kvalitet af de producerede muslinger. På samme vis kan påvækst af bl.a. mosdyr og blåmuslinger på tang reducere både kvalitet og produktion.

De mange arter af smådyr i kulturer af både blåmuslinger og sukkertang medfører at opdrættene kommer til at fungere som hængende rev. Tilstedeværelsen af de mange arter tilknyttet de hængende rev kan medføre at fisk, fugle og pattedyr kan udnytte de hængende rev dels som fødekilde, og dels som skjul og rasteplass. Der er ikke gennemført undersøgelse af forekomst af fisk og pattedyr i forbindelse med projektet, mens det står klart, at edderfuglen effektivt kan anvende muslingeopdrættene til fouragering.



## 12.5 Miljøeffekter sammenfatning og konklusion

Modelberegningerne viser, at der ved en maksimal produktion kan være en markant forbedring af sigtdybden umiddelbart ved muslingeopdrættene. Den forbedrede sigtdybde skyldes reduktion i mængden af planktonalger pga. muslingernes filtration af havvandet. Maksimal produktion af muslinger vil ligeledes medføre en markant lokal forøgelse af koncentrationen af uorganiske næringsstoffer (især  $\text{NH}_4$ ), men denne forøgelse vil ikke give anledning til forøget pelagisk primærproduktion pga. muslingernes effektive filtrering af havvandet.

Der er beregnet en forøgelse i sedimentets iltforbrug, lige under selve opdrættene på maksimalt 4 %. Det forøgede iltforbrug resulterer dog ikke i forringede iltforhold i bundvandet på lokaliteten, da det er ubetydeligt i forhold til bundens samlede iltforbrug.

Det vurderes at den minimale forøgelsen i sedimenternes indhold af kulstof, kvælstof og fosfor ikke vil have nogen væsentlig negativ betydning for miljøforholdene ved muslingeopdrættene.

På baggrund af sulfidfront målinger i 2012 og 2014 kan det konkluderes, at den eventuelle belastning af bunden med organisk stof fra muslingeproduktionen, på op til ca. 15 tons muslinger per rør, svarende til ca. (450 tons i produktionsområdet), ikke har medført forøget risiko for at reducerede og eller iltfrie forhold ved sedimentoverfladen på det tidspunkt af året, hvor der ellers er størst risiko for reducerede forhold i overfladesedimentet og resulterende iltsvind.

På baggrund af lysmålinger konkluderes at tangkulture maksimalt vil reducere den lysmængde, der når bunden, med 6 %, hvilket svarer til en forøget dybde på 0,2 - 0,3 m. Samlet vurderes at en skyggeeffekt af denne størrelse er uden væsentlig betydning for de naturlige vegetationsforhold i tangkulturområdet.

De mange arter af smådyr der er registreret både i muslinge- og tanganlæggene, medfører at anlæggene fungerer som hængende rev. Tilstedeværelsen af de mange arter tilknyttet de "hængende rev" medfører en større biodiversitet på opdrættene i form af fødekilde, skjul og rasteplads, men vil også medføre fødegrundlag for en række andre arter i nærområdet.

## 12.6 Optimering af drift og produktion i forhold til miljøeffekter

En optimering af de positive miljøeffekter i form af reducerede mængder af planktonalger og deres primærproduktion samt forøget sigtdybde lokalt ved opdrættene kan ske f.eks. ved at de etablerede muslingeopdræt afhøstes i det sene efterår, hvor mængderne af planktonalger alligevel er på vej ned på det lave vinterniveau. På denne måde opnås en situation, hvor der er maksimal biomasse af muslinger i sommer- og efterårsperioden, hvor mængderne af planktonalger i produktionsområdet ellers er store, således at muslingernes græsning på planktonalger får maksimal "klarende effekt" med optimering af sigtdybden som resultat.

Afhøstning af muslingerne i efterårsperioden vil også betyde at produktionen af muslinger er minimal i vinterperioden, som således ligger brak. Dette betyder at en eventuel akkumulering af kulstof, kvælstof og fosfor fra den højproduktive sommer- og efterårsperioden kan reduceres eller fjernes i forbindelse med re-suspension/gen-opblanding af bundvandet.

Driften af tangproduktion kan optimeres i forhold til eventuelle miljøeffekter ved afhøstning af sukkertangen i sensommerperioden (august/september) før sukkertangens naturlige tab af biomasse. Ved høst i forsommer (senest juni) vil man dog undgå påvækst, men kan opnå en højere værdi for tangen, der er af spisekvalitet. Ved høst i forsommer sikrer man at tangkulturen bidrager mindst muligt til produktion af "dødtang"/tabt biomasse der driver rundt eller falder til bunds (dog stadig levende), som kan drive op på kysten eller akkumulere lokalt. Desuden vil skyggeeffekten af sukkertangen blive minimeret i en del



af den efterfølgende sommerperiode indtil den tilbageblivende biomasse af sukkertang har produceret ny biomasse eller til der udhænges nye såliner i september/oktober.

## **Referencer**

Hjarnø Havbrug 2014. Etablering af nyt havbrug ved Endelave 2013. VVM-redegørelse. Udarbejdet af Orbicon A/S.

DMU 1998. NOVA – Teknisk anvisning for marin overvågning. 14: Sediment – ilt og næringsstoffer, udarbejdet af H. Fossing, P. B. Christensen, T. Dalsgaard & S. Rysgaard. Miljø- og Energiministeriet, DMU.

P. Nielsen, C. Saurel, A.J.T. Dalsgaard og S. Steinfeldt. Samtidigt opdræt af blåmuslinger og tang i forbindelse med havbrug. DTU Rapport nr. 297-2015.

Orbicon 2011. Miljøundersøgelser af hængende rev 2011. Udarbejdet for Dalgas Innovation.

# 13. FORRETNINGSPLAN FOR HAVBRUGSPRODUKTION BASERET PÅ KOMPENSATIONSPRODUKTION AF MUSLINGER OG TANG

Af Karina Lagoni, Hjørnø havbrug; Per Andersen, Orbicon og Lisbeth Jess Plesner Dansk Akvakultur

Hjørnø Havbrug driver en akvakulturvirksomhed med en samlet omsætning på ca. 70 mio. kr./år, og med 27 fastansatte i hele virksomheden. I slagteperioden er yderligere ca. 50 personer ansat fra september til januar. Virksomheden har sikret produktionsstabilitet ved at håndtere hele værdi- og produktionskæden, fra klækning af regnbueørred, opdræt af ørred i ferskvandsdambrug til portionsørred eller udsætningsfisk (600g), videreopdræt i havbrug (3- 3,5 kg), til slagtning og videresalg. Der opdrættes udelukkende hunner, og rogn udgør en stor del af omsætningen.

Hjørnø Havbrug har igennem flere år arbejdet på at udvikle et produktionskoncept, hvor produktionen sætter nye standarder for udledning af næringsstoffer og hjælpestoffer. Der arbejdes på drift af havbrug uden anvendelse af kobber som anti-fouling på net, opdræt på lokaliteter med kraftig strøm på virkning og vaccineret af fisk før udsætning, for at minimere mediciforbrug.

Hjørnø Havbrug har gennem projektet etableret en omfattende storskala produktion af både blåmuslinger og tang, i forsøget på at opsamle en næringsstofmængde (N og P) svarende til den merudledning der sker ved en forøget produktion af fisk i havbruget i kystområdet. Virksomheden har i tæt samarbejde med vidensinstitutioner indsamlet et stort erfaringsgrundlag og faktisk viden, om både drift og effekter af koblingen mellem fiskeproduktion i havbrug og andre typer af akvakulturaktiviteter. Udviklingsarbejdet omfatter etablering af tangproduktion og muslingeproduktion som kompensationsopdræt til havbrug.

Markedet for regnbueørred er stigende, og allerede nu kan der ikke leveres de mængder af fisk, der efterspørges af kunderne. Hjørnø Havbrug har de senere år investeret betydelige summer i etablering af en miljøskånsom produktion af udsætningsfisk, og halvdelen af produktionen sker nu i recirkulerede anlæg med lav miljøpåvirkning.

Den hårde internationale konkurrence, især fra Norge og Chile, har i stadig højere grad gjort mindre havbrug urentable. Hvis havbruget skal overleve de skærpede markedsvilkår – og samtidig efterleve de særligt strenge danske miljøkrav - er det nødvendigt at etablere store og effektive produktionsenheder. En opretholdelse og fortsat vækst af virksomhedens produktionsmuligheder er således en forudsætning for virksomhedens langsigtede overlevelse.

## De politiske og forvaltningsmæssige rammebetingelser

Miljøstyrelsen har givet godkendelse til at anvende muslinger til fjernelse af næringsstoffer udledt fra Hjørnø Havbrugs forøgede produktion i forbindelse med etablering af det nye Endelave Havbrug. Der var således etableret et administrationsgrundlag, der muliggjorde anvendelse af muslingeproduktion som reduktion for udledning af næringsstoffer i forbindelse med etablering af et nyt havbrug. Desværre ophævede Natur- og Miljøklagenævnet Miljøstyrelsens miljøgodkendelse af Endelave Havbrug december 2014.

Det "politiske landskab" er pt. forholdsvist dynamisk, og der er igangsat væsentlige forvaltningsmæssige processer, som i større eller mindre grad vil påvirke fremtiden for kompensationsopdræt. Disse omfatter:

Den Nationale akvakultur Strategi – strategien er endeligt besluttet og skal implementeres i forvaltningsplanerne. Strategien anbefaler udvikling af forskellige former for fiskeproduktion: 1) i recirkulerede systemer med opsamling af næringsstoffer, 2) i offshore områder uden for vandområderne, hvor der ikke vil

blive stillet krav om kompensation i form af næringsstoffjernelse, og endelig 3) ved havbrug i vandområderne, hvor der vil blive stillet krav om kompensationsopdræt. Det er forventningen, at væksten inden for produktionen af regnbueørred bl.a. vil foregå i havbrug evt. med krav om kompensationsopdræt.

En Ny Muslingepolitik i 2014 – er besluttet og er ved at blive implementeret. Muslingepolitikken indeholder beslutninger om, at muslingefiskeriet dels skal gøres mere skånsomt ved brug af mere skånsomme redskaber, og dels skal produktionen omlægges til bundkultur. I Politikken nævnes det, at bundkultur-dyrkningen kan anvende kompensationsopdrættede muslinger til videredyrkning i bundkultur. Produktion af udlægningsmuslinger til bundkultur kan blive et forretningsområde for virksomheden.

Forvaltningsmæssige udfordringer ved etablering af kompensationsopdræt: Vandrammedirektiv, Havstrategidirektiv, Habitatdirektivet, Borgerprotester og Interesseorganisationer.

Forventninger til forbedret regulering: ændret administrationsgrundlag, Marin Zoneplanlægning, Akvakultur strategi

### **Projektforløbet:**

#### **2011 - 12**

Selvom udfordringer i form af is, edderfugle og søstjerner gav anledning til justeringer og udgifter til afværgeforanstaltninger, så fastholdes sigtet i den oprindelige forretningsplan. Hvilket betød at Hjørnø Havbrug iværksatte et arbejde med VVM redegørelse og Habitatkonsekvensvurdering med henblik på at opnå tilladelse til ørredopdræt syd for Endelave.

I februar måned overraskede isen og ødelagde tang. Alle efterfølgende etableringer blev undersøgt for at undgå problemer med isen.

Muslingeanlægget var rigtigt godt besøgt af edderfugle begyndende i slutningen af juli med tiltagende belastning hen over efteråret. Der blev etableret foranstaltninger til dagligt at drive edderfuglene ud af anlægget. I starten var der mellem 0 og 100 stk. Senere var der flokke på 500 edderfugle. Edderfuglene åd en væsentlig del af muslingerne. Prædation af søstjerner var ikke et problem på Sælkrogen.

#### **2012-2013**

Hjørnø Havbrug deltager løbende i formidling og erfaringsudveksling med de øvrige havbrugsvirksomheder og til øvrige andre relevante projekter. Hjørnø har udarbejdet et specifikt KOMBI opdræt site, som kan findes på: [www.kombiopdraet.dk](http://www.kombiopdraet.dk).

I forbindelse med efterårsstormene i 2013 oplevede Hjørnø Havbrug at der var enkelte Smart Farm units der løsrev sig og "svømmede" ind over anlægget. Der fulgte et stort oprydningsarbejde, men intet materiel var gået tabt eller itu. Efterfølgende blev forankring gjort mere robuste og holdbare.

Der blev igangsat et samarbejde med Fødevarestyrelsen og Dansk Akvakultur om økologisk omlægning af 3 muslingeanlæg, samt Danmarks første økologiske certificerede sukkertanganlæg ved Hjørnø Hage.

#### **2013-2014**

Hjørnø Havbrug har i foråret 2014 fået økologisk certificering af både tang- og muslingeproduktionen. Endvidere fik Endelave Havbrug Miljøgodkendelse til etablering af nyt havbrug af Miljøstyrelsen i maj 2014. Dette betød at forudsætningerne for at gennemføre den koblede drift af fiskeproduktion med tang- og muslingeproduktion nu var til stede.

Månedlige prøvetagninger etableres regelmæssigt fra maj 2013 og 1 år frem imellem DTU og Hjørnø Havbrug.

Der laves endnu en indsamling af store sukkertang individer til avlsarbejde/inducering af sporer til produktion af nye spireliner i samarbejde med DTU og SSS.

Hjørnø Havbrug har gode afsætningsmuligheder for de producerede fisk. Den økologiske certificering af både muslinge- og tangproduktionen betød at forudsætningen for den del af forretningsplanene som omfatter anvendelse af muslinge- og tangbiomassen til økologisk fiskefoder – og andet foder i øvrigt, er faldet på plads.

Hjørnø Havbrug ansætter 2 marinebiologer til at håndtere prøvetagninger, registreringer og indsamling af dokumentation til den økologiske drift, samt til at undervise elever på efterskoler og gymnasier i det moderne havbrug.

Hjørnø Havbrug oplever en stor interesse for levering af den økologiske tang som et højværdiprodukt til human konsum og som kan høstes i forsommerperioden. Der er dog stadig uafklarede spørgsmål vedr. anvendelse og derfor også vedr. afsætning af de store mængder af tang som kan produceres og høstes i sommerperioden med fokus på kompensationsproduktion. I forhold til muslingeproduktionen arbejdes der, ud over udvikling af produktet og afsætning/anvendelse til human konsum og foder, også med at få etableret en administrativ og driftsmæssig praksis som omfatter genudlægning af de producerede "linemuslinger" i bundkultur.

Der opsættes forsøgsvis lyd-skræmmere og silhuet-rovfugle på 6 m høje glasfiberstænger for at holde edderfuglene fra muslingeanlæggene, dog uden større succes. Det viser sig at fuglene blot holder sig på afstand i 3-5 dage, hvorefter de forsætter deres "ædegilde" ved muslingeanlægget.

## 2014-2015

Sommeren i 2014 var hård for både tang- og muslingeproduktionen, da den usædvanlige varme sommer viste sig at have stor negativ effekt på produktiviteten.

Tangen voksede fint i foråret, men det meste af produktionen gik tabt da anlægget ikke var undersøenket tilstrækkeligt. Tangen kunne ikke tåle det kraftige sollys og det varme vand.

Muslingernes gydning var spredt ud over en længere periode end normalt, og der blev ikke gydt i de mængder, der tidligere er oplevet i både As Vig og ved Sælkrogen. Derudover var der stor vækst af rødalger der "forhindrede" en god massiv settling, og derved formindskedes antallet af muslinger som fandt en plads på Smart Farm nettene. Endeligt medførte den meget tørre sommer (ingen regn) at mængderne af kvælstof tilført fra land var stærkt begrænset, og det bevirkede at muslingerne ikke havde nær den samme fødebiomasse at græsse på som i de tidligere år.

Udbyttet ved produktion af 2 årige muslinger er for lille i forhold til driftstiden. Det ses tydeligt, at jo længere tid muslingerne opholder sig på anlægget desto mere falder antallet pr. m<sup>2</sup> net.

Stormen i efteråret 2014 havde meget lille negativ effekt på Hjørnø Havbrugs driftsanlæg, og der var stort set ingen tab eller ekstra arbejde.

Hjørnø Havbrug modtog d. 23. dec. 2014 Natur- og Miljøklagenævnets afgørelse om at Endelave Havbrug ikke kunne bevare miljøgodkendelse og VVM tilladelse til forsat drift.

## 2015 og fremtiden

Det første kvartal i 2015 har virksomheden og bestyrelsen anvendt til at revurdere driftsmulighederne, efter Natur- og Miljøklagenævnets afgørelse i klagen over Endelave Havbrug med dertil hørende kompensationsanlæg.

Der viser sig naturligvis en del forhindringer for den videre drift af de rensende biogene rev/fangkulturer, da øget fiskeproduktion klart var det bærende økonomiske incitament for virksomheden til at drive disse eksperimenterende/kompenserende akvakulturanlæg. Derudover bærer virksomheden nu på den økonomiske belastning af store investeringer både i driftsmaterialer, betalte konsulenttydelser, betalingsrater fra Styrelsernes arbejde og en uanvendelig mængde 2 årige udsætningsfisk, planlagt til produktionsåret 2015. Konsekvenserne af disse investeringer forgrener sig ud i alle kroge af virksomheden, men er alle foretaget i forbindelse med den forventede øgende produktionsmængde.

## Handlingsplan

Første indsats var at trimme virksomheden til den nuværende produktion mht. medarbejdere, planlagte bygningsudvidelser og investeringer, samt iværksatte andre forsøg for at minimere udgifterne. Bestyrelsen og virksomheden vurderer, at driften bør videreføres på allerede eksisterende akvakultur anlæg, så den etablerede produktion og driftserfaring bevares. Det er dog udelukket, at de planlagte udvidelser kan effektiviseres før, der er en sikker lovmæssig kobling mellem en øget fiskeproduktion og driften af muslinger og tang.

Opbremsningen og stagningen betyder at en del samhandelsaftaler og rammeordre til afsætning af både muslinger og tang, nu må enten annulleres eller nedjusteres i foråret 2015, samt naturligvis tab af samarbejdspartnere, der ønskede at aftage større biomasser som f.eks. foder og større fødevarer produceret.

Derudover har virksomheden set sig nødsaget til, på trods af medarbejdernes udfordringer under driften, at annullere bestillinger af udstyr til forbedringer og sikkerhedsoptimeringer på anlæggene. Derudover bremses udviklingen af tangdriften kraftigt ned, da den er udfordret af både uhensigtsmæssig driftspraksis samt langsommelige høstmetoder, som er stærkt fordyrende for slutproduktet.

## Udvikling i fremtiden

Det er stadig Hjørnø havbrugs målsætning, gennem driftsoptimering og øgning af produktionsmængder at kunne gøre muslingedrift til en økonomisk stabil del af virksomheden. Når og hvis de forvaltningsmæssige udfordringer omkring placeringer og lovgivning er på plads, er produktionsplatformen klar.

Virksomheden mener stadig, at det er muligt at koble havbrugsdrift med biogene rev, og derved have en primær produktion, der har en meget lille samlet påvirkning af miljøet – samt et højt social økonomisk bidrag til både lokalområdet og den nationale økonomi.

## 14. FANGKULTURER MED MUSLINGER OG TANG SOM VIRKEMIDDEL TIL KVÆLSTOF- OG FOSFORFJERNELSE

Af Per Andersen, Orbicon; Lisbeth Jess Plesner, Dansk Akvakultur og Mads Birkeland, DHI.

Et af projektets formål er at vurdere om fangkultur, i form af dyrkning af muslinger og tang, er et operationelt og økonomisk bæredygtigt virkemiddel til kvælstoffjernelse i forbindelse med vækst i havbrug. Kort sagt om det er muligt at kombinere opdræt af fisk, muslinger og tang, samtidigt med at der sikres en bæredygtig økonomi ved en kombineret indtjening fra produktion af fisk, muslinger og tang.

Den tidligere regerings Akvakulturudvalg (2010) fandt, at udvikling og anvendelse af fangkultur er en mulighed for vækst i akvakultur: *"Udvalget finder, at en fortsat produktionsudvikling af dansk havbrug kan ske bl.a. ved en udvikling af fangkulturer som muslinger og tang, der kan sikre, at fiskeproduktionen efterhånden bliver kvælstofneutral, og som samtidig kan give grundlag for nye produkter, der kan anvendes kommercielt i føde- eller foderindustrien."*

Anvendelse af muslinger og tang som fangkultur for kvælstof og fosfor er ligeledes en af Dansk Akvakultur udviklingsstrategier for vækst i havbrug: *"Kompensationsopdræt (IMTA- integrated multitrophic aquaculture) er en mulighed for udvikling af havbrug i vandplansområder, hvor en merudledning af kvælstof kan "fjernes" med integreret opdræt af muslinger eller tang. Der er flere udfordringer ved kompensationsopdræt. Kompensationsanlæg kræver mere plads på havet, og der er behov for at inddrage interessenter i kortlægning af egnede områder til placering af nye anlæg. Teknologi og drift skal optimeres og afstemmes med havbrugets produktion af fisk. Der er kommercielle og praktiske udfordringer i at finde egnede markeder og anvendelser for muslinger og tang, og der er også behov for at videreudvikle det administrative grundlag for regulering af kompensationsopdræt"*.

I rapporten Virkemidler til realisering af 2. generationsvandplaner (DCE 2014) vurderes, at et fjernelsespotentiale for muslingeproduktion på 1 t kvælstof pr ha pr år vil være tæt på det optimalt opnåelige under danske forhold, og at der er stor variation fra lokalitet til lokalitet. Samt at der er en række forhold, som gør det vanskeligt at vurdere effekten af tangdyrkning, men at en effekt, beregnet for høst af biomasse uden begroning, kan være ca. 16 kg kvælstof pr ha pr år.

I et udviklingsprojekt for Dansk Akvakultur gennemført af DHI og DSC (2008) blev kapaciteten til fjernelse af kvælstof ved etablering af muslingedyrkning på forskellige havbrugslokaliteter, som repræsenterede forskellige vandområder undersøgt. Den største kapacitet blev beregnet for lokaliteten i Storebælt, primært begrundet i den store gennemstrømning af vand med en forholdsvis høj algekoncentration, samt det forhold, at der kan produceres til en dybde på mindst 10 m. Sammenlignet med "Virkemiddelrapportens" fjernelsespotentiale på 1 t N/ha var potentialet her 3 gange højere. Ved lokaliteter med lavere middelstrøm var kapaciteten betydeligt mindre.

I Natur- og Landbrugs Kommissionens rapport (2013) fremgår fangkulturer som et muligt nyt virkemiddel til reduktion af næringsstofbelastning: *"En række nye, potentielle virkemidler er under udvikling og afprøvning, f.eks. konstruerede minivådområder, drænfiltre, kontrolleret dræning, "intelligente randzoner" og tiltag, som iværksættes direkte i vandmiljøet, bl.a. etablering af stenrev, en aktiv indsats for retableringen af ålegræs og dyrkning af kompensationsafgrøder som muslinger og tang"*.

### 14.1 Forvaltningsgrundlag for anvendelse af fangkulturer

Der er endnu ikke besluttet et forvaltningsgrundlag for anvendelse af fangkulturer af muslinger og tang.

Der blev i miljøgodkendelsen af Endelave havbrug (maj 2014) stillet en række vilkår af Miljøstyrelsen, der skulle sikre, at 100 % af den kvælstofmængde, der blev "tabt" til havmiljøet ved foderspild, fækalier og metabolisme, blev opsamlet af fangkulturer af muslinger og tang inden for samme kalender år. Desuden skulle fiskeproduktionen opbygges over en årrække til ca. 2.000 tons netto producerede fisk, så opbygningen af kompensationsopdrættet dvs. opsamling af kvælstof og fosfor ved høst af muslinger

og tang kunne følge med produktionen af fisk. Da tangproduktion endnu er et nyt område, blev tangproduktionen ikke i første omgang medtaget som fangkultur i miljøgodkendelsen af Endelave Havbrug. Desuden blev stillet som vilkår at opsamlingen af næringsstoffer i fangkulturer skulle følge det enkelte kalenderårs udledninger fra fiskeproduktionen.

Hjarnø Havbrug startede det nye havbrug, Endelave Havbrug, i maj 2014 og udsatte jf. vilkår i miljøgodkendelsen en fiskemængde svarende til 5 - 10 % af den maksimale produktion. Miljøgodkendelsen til Endelave Havbrug blev påklaget af en række interessenter og 23. december 2014 traf Natur- og Miljøklagenævnet afgørelse (nmk-10-00807-og-nmk-34-00371) om at ophæve Miljøgodkendelsen.

Der findes således hverken et anerkendt forvaltningsgrundlag eller retningslinjer i forhold til anvendelse af fangkulturer til næringsstofoptagelse i forbindelse med havbrug eller andet.

#### **Fra vilkår i Miljøgodkendelse af Endelave havbrug (ophævet december 2014):**

Del af Vilkår B16: "Hjarnø Havbrug A/S skal årligt dokumentere overfor Miljøstyrelsen, at der er dyrket og høstet en mængde muslinger, eller tang svarende til den mængde næringsalte der udledes fra havbruget".

Vilkår B21: "Til brug for beregning af indholdet af kvælstof og fosfor i blåmuslinger fra kompensationsopdræt skal der som minimum udtages repræsentative prøver til bestemmelse af muslingernes vådvægt, skallængde, samt muslingernes indhold af kvælstof og fosfor. "

Vilkår B22: "Ved manglende dokumentation anvendes følgende standardværdier for indhold af N og P i blåmuslinger: • N indhold (1,0 % af samlet musling vådvægt) • P indhold (0,06% af samlet musling vådvægt)"

Link til VVM vurdering:

[http://mst.dk/media/mst/Attachments/VVM\\_EtableringafnythavbrugvedEndelave2013\\_11122013.pdf](http://mst.dk/media/mst/Attachments/VVM_EtableringafnythavbrugvedEndelave2013_11122013.pdf)

Link til Habitatkonsekvensvurdering

[http://mst.dk/media/mst/Attachments/EndelavehavbrugN2000konsekvensredegrelse\\_12122013H.pdf](http://mst.dk/media/mst/Attachments/EndelavehavbrugN2000konsekvensredegrelse_12122013H.pdf)

*Figur 14.1 Vilkår om fangkulturer i Miljøgodkendelse af Endelave havbrug 2014*

## **14.2 Maksimal produktionskapacitet – areal effektivitet**

Jf. kapital 3 punkt 3.5 er vurderingen at under optimale forhold og betingelser, dvs. uden nævneværdig prædation fra edderfugle og muslinger, god settling og gode vejrforhold, kan der i et fuld opbygget muslinge anlæg (18,8 ha og 90 - 100 SmartFarmUnits) høstes en biomasse på 2.000-2.500 tons muslinger pr. anlæg pr år, svarende til 117-133 tons muslinger pr hektar pr år eller 1,2 – 1,8 tons kvælstof pr hektar pr. år med et kvælstofindhold som målt i dette projekt på 1,06 – 1,37%; og for fosfor en fjernelse på mellem 0,094 – 0,133 tons, beregning i forhold til et fosforindhold som målt i dette projekt på mellem 0,08 – 0,1% .

Tilsvarende kan beregnes en fremskrevet tangproduktion jf. kap 8 punkt 8.3, med minimum høst på 2,1 ton vådvægt (frisk) tang per ha i maj måned, svarende til en kvælstof fjernelse på 5-10 kg pr ha pr år, og et maksimalt udbytte i september med en årlig produktion (5,1-7,1 ton vådvægt per ha), mens en to-årig produktion giver et maksimalt udbytte på 6,7-7,1 ton vådvægt per ha ved at dyrke tangen til efterfølgende maj, hvilket svarer til 10-30 kg kvælstof pr ha pr år.

Ved produktion af 1.000 tons havbrugsfisk (regnbueørreder) er der jf. DTU Rapport om samtidigt opdræt af blåmuslinger og tang beregnet et produktionsbidrag (tab til omgivelserne) på 39,4 tons kvælstof og 6,04 tons fosfor.



For at opsamle 39,4 tons kvælstof svarende til en produktion af 1.000 tons havbrugsfisk ved muslingeproduktion med et kvælstof indhold på 1-1,37% vil det kræve 21,9 - 39,4 ha.

Tilsvarende vil det for tangproduktion med en fjernelse på 10 - 30 kg kvælstof pr hektar pr år kræve mellem 1.320 – 2.460 ha tangareal at opsamle 39,4 tons kvælstof svarende til en produktion af 1000 tons havbrugsfisk.

Tabel 14.1: Areal effektivitet. Krævet areal af hhv. muslingeanlæg og tanganlæg for fjernelse af produktionsbidraget for produktion af 1.000 tons regnbueørreder i havbrug.

|                            | Forventet kvælstof fjernelse pr ha pr år | Arealkrav for fjernelse af 39,4 tons kvælstof svarende til tabet ved produktion af 1.000 tons regnbueørreder pr år |
|----------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Muslingeanlæg (blåmusling) | 1,2-1,8 tons                             | 21,9 - 39,4 ha.                                                                                                    |
| Tanganlæg (sukkertang)     | 0,01-0,03 tons                           | 1.320 – 2.460 ha                                                                                                   |

Den i projektet vurderede kvælstoffjernelse stemmer rimeligt med vurderingen i rapporten Virkemidler til realisering af 2. generationsvandplaner, hvor det vurderes at der er et fjernelsespotentiale ved muslingeproduktion på 1 t kvælstof pr ha pr år, samt en beregnet høst af biomasse for tangproduktion på ca. 16 kg kvælstof pr ha pr år.

### 14.3 Høst

I 2014 indvejede Hjørnø Havbrug 555 tons blåmuslinger, som primært blev aftaget af European Protein. Den indvejede tanghøst var i opstartsårene i 2013 og 2014 på henholdsvis 3 og 8 tons. Hovedparten af tangen blev afsat til human konsum. Udover den indvejede høst er der gennem forsøgsårene løbende høstet betydelige mængder af både muslinger og tang, der er anvendt til forsøg med anvendelse af muslinger og tang som råmateriale ved produktion af "fiskemel" til fiskefoder og øvrige formål inkl. test af transport af muslinge yngel til udlægning i andre vandområder og levering af muslinger til "opfædning" i havhaver.

Tabel 14.2: Indvejede mængder (vådvægt) afhentet til økologi, European Protein og konsum. Kvælstof og fosfor indhold er ikke målt, men fastlagt ud fra værdier i miljøgodkendelsen

| Muslinger 2014       | Tons | N %  | P%   | N total tons | P total tons |
|----------------------|------|------|------|--------------|--------------|
| European protein     | 553  | 1,00 | 0,06 | 5,5          | 0,3          |
| Levering via økologi | 2,5  | 1,00 | 0,06 | 0,02         | 0,002        |
| I alt                | 555  | 1,00 | 0,06 | 5,6          | 0,3          |

| Tang 2013 og 2014 | Tons | N %  | P%   | N total tons | P total tons |
|-------------------|------|------|------|--------------|--------------|
| Tang 2013, konsum | 3,1  | 0,24 | 0,03 | 0,007        | 0,0009       |
| Tang 2014, konsum | 8,0  | 0,24 | 0,03 | 0,02         | 0,0024       |

## 14.4 Kvælstof- og fosforindhold i muslinger og tang

Gennem projektet er der foretaget analyser af kvælstof- og fosforindhold i både tang og muslinger over sæsonen. I kap 5 beskrives indhold af kvælstof og fosfor i hele muslinger over året. I tabel 5.1 ses et gennemsnitligt kvælstofindhold i små muslinger (1-3,5 cm) på 1,37 % og for store muslinger (større end 4.5) på 1,06%. Tilsvarende for fosfor for små muslinger 0,1 % og for store muslinger 0,08%.

I kap 8 er beskrevet kvælstof- og fosforindhold i tang. Indholdet af kvælstof varierede fra ca. 0,1-0,5% af vådvægt i løbet af året med laveste indhold i maj og juli 2013 og maj 2014 og højeste værdi i september. Fosfor indholdet i sukkertangen varierede over året fra ca. 0,01 til 0,1% kvælstof af vådvægt.

Hvis muslinger og tang kun skal høstes for at opfylde kompensationskrav, kan det være væsentligt at time høst i forhold til højest indhold af næringsstoffer, fordi det kan have stor betydning for hvilken biomasse der skal høstes.

## 14.5 Økonomi ved kobling af havbrugsfisk og fangkulturer

Et muslinge anlæg med 100 Smartfarm Units koster omkring 5 millioner kr. inkl. afmærkning, forankring osv. Det kræver et mandskab på ca. 2 mand per år pr anlæg at drive anlægget. Desuden er der investeret i høstmaskiner, både mm. (kommentar Anders Pedersen, Hjørnø Havbrug). Såfremt der forventes en afskrivning på 10% per år på produktionsanlægget kan der laves flg. grove beregning:

|                                                                      |                 |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Afskrivning af anlæg, 10% per år af en investering på kr. 5.000.000  | = kr. 500.000   |
| Forrentning af investering, 5% per år af en investering på 5.000.000 | = kr. 250.000   |
| Mandskabsbehov, 2 mandår per anlæg á kr. 300.000                     | = kr. 600.000   |
| Totale omkostning er ekskl. høstmaskine                              | = kr. 1.350.000 |

Ved en optimal produktion med høst af op mod 2.000 - 2.500 tons muslinger om året, vil det medføre en kostpris per kg muslinger produceret på 0,5-0,7 kr./kg som modsvarer en pris per kg kvælstof fjernet på 50-75 kr./kg N. Det er stadigvæk for tidligt at sige noget om, hvad den reelle pris bliver pr tons produceret musling, når produktionen er fuld udbygget. Indtil videre har der været mange omkostninger forbundet med muslinge produktionen til både opbygning af anlæg, udvikling af drift og uforudsete hændelser, ligesom høsten har været begrænset i forhold til optimal produktion og høst.

Det er ikke muligt at angive en realistisk kostpris for storskalaproduktion af tang på baggrund af det tilgængelige datagrundlag som er præget af udvikling af teknikker og driftsmetoder uden en egentlig rutinemæssig drift. Der har været mange omkostninger forbundet med etablering og drift af tunganlægget. Ikke mindst den manuelle høst af tangen har været uforholdsmæssig ressourcekrævende. Der er kun høstet en mindre mængde tang med et begrænset næringsstof indhold, så indtil videre er erfaringen, at produktion af tang som fangkultur ikke er rentabel, både pga. det lave indhold af næringsstoffer, men også fordi produktion og høst endnu kræver meget manuelt arbejde.

## 14.6 Sammenfatning

Der har været en række udfordringer i forbindelse med produktionen af muslinger og tang i forsøgsårene 2013-2014, som i opstartsårene har umuliggjort en optimal produktion og høst. Muslinge anlæggene er endnu ikke udbygget til fuld kapacitet, og der produceres og høstes endnu ikke maksimalt.

Muslinge produktionen skulle tilpasses vilkårene i Miljøgodkendelsen af Endelave Havbrug. Planen var at udbygge muslinge anlæggendes kapacitet til 100 SmartFarm units pr anlæg og optimere høst og drift,

samtidigt med at fiskeproduktionen blev udvidet op til max godkendt kapacitet. Natur- og Miljøklagenævnet ophævede miljøgodkendelsen til Endelave havbrug i december 2014, så "driveren" til at optimere og udbygge muslingeproduktionen mangler pt.

Det er endnu ikke endeligt afklaret, om der kan produceres den planlagte biomasse i muslingeanlægene i As Vig (og Sælkrogen), der er nødvendige for at kompensere for næringsstoffabet ved den planlagte fulde produktion af fisk i Endelave Havbrug.

Der er således for tidligt, at konkludere om fangkultur, baseret på produktion af blåmuslinger i As Vig og Sælkrogen kan komme op på et niveau, så det kan anvendes som et operationelt økonomisk bæredygtigt virkemiddel i forbindelse med produktion af havbrugsfisk i området.

Såfremt muslingeproduktionen kommer op på den optimale kapacitet og med stabil årlig leveringsgaranti til aftagere, vil den måske kunne fungere som operationelt virkemiddel. Hvorvidt muslingeproduktionen vil fordyre havbrugsproduktionen i forhold til havbrug, hvor der ikke er krav om kompensation, vil være afhængig af omkostninger og pris for kompensationsopdrættede muslinger.

Der er målt en betydelig variation i indholdet af næringsstoffer over året bl.a. i forhold til alder og størrelsen på muslinger og tang, hvorfor det er væsentligt at time høsten til det tidspunkt, hvor næringsindholdet er størst, såfremt fokus fortsat vil ligge på kvantitativ næringsstoffjernelse ved høst fremfor kvalitet til konsum eller foder.

Produktionen af tang er baseret på driftsmetoder, som ikke er så velafprøvede og udviklede som for muslingeproduktionens vedkommende. Der er bl.a. endnu ikke udviklet effektive høstmetoder ved stor-skalaproduktion. Hertil kommer, at tangproduktionen stadig er forholdsvis lille pr ha og forholdsvis dyr. Det lave indhold af de akkumulerede næringssalte kvælstof og fosfor i tang er en grundlæggende udfordring for anvendelsen af tang som effektiv fangkultur for næringsstoffer. Dette betyder, at der skal produceres meget store mængder af tang på meget store arealer for at dække behovet som fangkultur.

På baggrund af det store arealforbrug vurderes, at tang som effektiv kvælstof-fangkultur ikke er attraktivt, medmindre der kan optimeres væsentligt på arealudbyttet samt specielt høst.

Hvis der skal arbejdes videre med anvendelse af fangkulturer af muslinger og tang i forbindelse med udvidelse af havbrugsproduktion, er det en forudsætning at der laves et smidigt og innovativt forvaltningsgrundlag.

Det betyder bl.a. at det skal anerkendes et fangkultur-koncept, der ikke skal baseres på faneprikket (IMTA) – dvs. at fangkulturerne ikke skal optage netop de næringsstoffer som frigives fra fiskeproduktionen i havbruget, men skal opfattes som en egentlig kompensationsproduktion, som fjerner tilsvarende mængder af næringsstoffer inden for samme vandområde, eller placeret uafhængigt af vandområder, hvor fangkulturerne er mest effektive og gør mest gavn, samtidigt med at fiskeopdræt placeret hvor det er mest hensigtsmæssigt. Selvfølgelig under forudsætning af, at der ikke kan forventes/registreres nogen væsentlig negativ miljøpåvirkning af hverken havbrug, muslinge- eller tanganlæg.

En forvaltningspraksis hvor fiskeproduktionens tab af kvælstof skal opsamles inden for samme kalenderår i fangkulturer vil medføre, at havbrugene skal opbygge en meget stor ekstra produktionskapacitet for at opnå sikkerhed for at kunne samle tilstrækkelige næringsstoffer op. Derfor anbefales, at der laves et mere smidigt forvaltningsgrundlag, der kan tage hensyn til produktionssvingninger fra sæson til sæson.

Desuden bør det vurderes, om der i et forvaltningsgrundlag bør anvendes andre parametre end kvantitativ kvælstofopsamling ved høst. Af andre parametre foreslås kvælstoffjernelse pr ha, effekt på sigtedybde, effekt på vandplanernes kvalitetsparametre eller lign.

## Referencer

Akvakulturudvalgets rapport (2010): <http://mst.dk/media/mst/Attachments/HovedrapportfraAkvakulturudvalgetaf20091.pdf>

Dansk Akvakulturs strategi: [http://www.danskakvakultur.dk/media/11000/Havbrug\\_teknologi\\_politik\\_141016.pdf](http://www.danskakvakultur.dk/media/11000/Havbrug_teknologi_politik_141016.pdf)

DHI & DSC (Møhlenberg F, Holtegård LE & Hansen FT) (2008) Miljøneutral udvidelse af havbrugsproduktion - Undersøgelse af rentable muligheder for dyrkning og høst af muslinger som kompensation for tab af næringsstoffer fra havbrug. 48 sider.

Mohlenberg SJ. 2007. Blue mussel cultivation for nitrogen removal in fjords - Assessment of an alternative measure to comply with the Water Framework Directive using Odense Fjord as a case study. Specierapport fra Fødevareøkonomisk Institut.

Muslinger som virkemiddel – et pilotstudie: By- og landskabsstyrelsen 2010

Virkemidler til realisering af 2. generations vandplaner og målrettet arealregulering, DCE, [http://pure.au.dk/portal/files/84646400/Virkemiddelkatalog\\_web.pdf](http://pure.au.dk/portal/files/84646400/Virkemiddelkatalog_web.pdf)

P. Mielsen, C. Saurel, A.J.T. Dalsgaard og S. Steinfeldt. Samtidigt opdræt af blåmuslinger og tang i forbindelse med havbrug. DTU Rapport nr. 297-2015.

## 15. SAMMENFATNING OG KONKLUSION

Af Lisbeth Jess Plesner, Dansk Akvakultur; Per Andersen, Jonathan Carl, Ditte Tørring, Orbicon.

På baggrund af erfaringer med etablering og drift af fire muslingeanlæg og et tangelanlæg er driftsforhold, produktionskapacitet, næringsstofindhold, indhold af højbærdstoffer, anvendelsesmuligheder og miljøeffekter undersøgt i projektperioden fra 2012 til 2015.

Hjarnø Havbrug fik i maj 2014 miljøgodkendelse til et nyt havbrug - Endelave Havbrug, med bl.a. et vilkår om at 100 % af det "tabte" kvælstof skulle opsamles i fangkulturer (muslinge- og tangopdræt), samt at produktionen skulle opbygges over en årrække. Endelave Havbrug startede i 2014 med en mindre fiskeproduktion samtidig med muslinge- og tangproduktion. Herefter var forventningen at øge produktionen i både havbrug og muslingeanlæg til den tilladte fiskemængde blev opnået samtidigt med kvælstofneutralitet. Men sådan skulle det ikke gå, eftersom Natur- og Miljøklagenævnet ophævede Endelave Havbrugs miljøgodkendelsen i december 2014. Forventningen om en øget fiskeproduktion var klart det bærende økonomiske incitament for at drive fangkulturerne.

### Muslingeproduktion

Det er for tidligt at vurdere, om opdræt af muslinger på SmartFarmsystemet er et operationelt og økonomisk bæredygtigt virkemiddel. Der er usikkerheder forbundet med produktionsmængder, herunder udfordringer med settling og prædation fra specielt søstjerner og edderfugle, ligesom der endnu ikke er udviklet en effektiv metode til forbehandling i forbindelse med anvendelse af kompensationsopdrættede muslinger som foderingrediens.

Muslingeopdræt ved anvendelse af SmartFarm konceptet er dog en effektiv opdrætsteknologi med minimalt forbrug af arbejdstimer i den daglige drift. Dog skal anvendes mange ressourcer til etablering, vedligeholdelse, håndtering af påvækst og specielt høst. Muslingeanlægget har krævet store investeringer, men det forventes at have en lang levetid. Det vurderes, at opdrætsteknologien såvel som drift, vedligeholdelsesrutiner og høst kan videreudvikles og effektiviseres.

Muslingelarver fra den naturlige bestand af blåmuslinger settler om foråret, og det vurderes at der ved optimale forhold herunder vellykket settling, ingen nævneværdig prædation samt gode vejrforhold, kan produceres op til 22 - 25 tons muslinger per SmartUnit til høst om efteråret ca. 6 måneder efter settling. Dette vil svare til en biomasse på 2.200 - 2.500 tons per standard muslingeanlæg på 18,8 ha (250 x 750 m<sup>2</sup> og 90 -100 SmartUnits), eller 117 - 133 tons muslinger pr. hektar eller 1,2 - 1,8 tons kvælstof pr hektar pr. år.

Der blev registreret en markant prædation fra både søstjerner og edderfugle. Søstjerner kan have en stor betydning for muslingernes overlevelse umiddelbart efter settling, mens edderfugle kan have en stor betydning for overlevelsen af de større muslinger i efterårs- og vinterperioden.

Problemerne med prædation fra søstjerner kan sandsynligvis håndteres ved enten at reducere søstjernerne settling på produktionsnettene ved at folde dem op umiddelbart efter settlingen af muslinger og inden settlingen af søstjerner, eller ved at børste søstjerneerne af produktionsnettene med SmartScooter eller høstmaskine.

Den mest effektive metode for at afværge prædation af edderfugle vurderes, at være opsætning af net rundt om opdrættet. Alternativt kan bruges skræmmeeffekter, såsom visuelle effekter, lys, båd mm. Erfaringen er dog, at de fleste skræmmemetoder har en begrænset effekt, da edderfuglene hurtigt vænner sig til det.

For at undgå prædation af edderfugle kan der sættes på en strategi med en kort produktionsperiode på 5-6 måneder og høst af muslinger i løbet af efteråret inden ankomst af edderfugle. Såfremt hovedparten af muslingerne høstes om efteråret, skal der findes aftagere, der kan anvende store mængder muslinger leveret over en kortere periode i efteråret.

Ved etablering af nye muslingeanlæg skal der tages højde for potentialet for settling af muslingelarver og prædation.

Hvis der er krav om en bestemt kvælstof fjernelse, kan det være afgørende, at høsten finder sted på det tidspunkt af året, hvor kvælstof og forfor indholdet i muslingerne er størst. I forhold til vådvægt er der registreret et gennemsnitligt kvælstofindhold i små muslinger (1-3,5 cm) på 1,37% og for store muslinger (>4,5 cm) på 1,06%. For fosfors vedkommende er der registreret henholdsvis 0,1% for små muslinger og 0,08% for store muslinger.

Meget af kvælstoffet i muslinger er bundet i proteiner og aminosyrer. Aminosyreprofilen er vigtig for næringsværdien af muslinger som fødevarer, men især for potentialet for anvendelse til foder. Proteinindholdet varierede mellem 6,6-38,7%. Glutamin og asparagin var de dominerende aminosyrer som tilsammen udgjorde 20-34 % af den totale mængde af aminosyre. Summen af de essentielle aminosyrer var på 0,45 g aminosyrer per g protein. Beregning af den essentielle aminosyre score (EAA) viste at histidin er den første begrænsende aminosyre med værdier på 0,36-0,68 og med en anbefaling på over 0,52.

Indholdet af lipider og fedtsyresammensætningen i muslingerne er også vigtig for næringsværdien og der er især fokus på PUFA'erne EPA og DHA. Lipidindholdet var i gennemsnitligt  $9,94 \pm 2,31\%$  af tørvægten, hvoraf PUFA'er udgjorde 37,6% af FAME (heraf EPA og DHA tilsammen 26,1%), de enkeltumættede 19,8% og de mættede fedtsyrer 27,0%. Det samlede omega 3 (n-3) indhold udgør 31,4% af FAME. FAME udgør ca. 84% af den totale mængde lipider. Indholdet af vitaminer i muslingerne er for Vit E (alpha tocopherol) og Vit A (beta-karoten) på hhv. <0,5-194 mg/100g og under 0,2 mg/100g.

### **Anvendelse af muslinger**

Som udgangspunkt er muslinger produceret ved kompensationsdrift velegnet til både human konsum og som råvarer til foder. Der er dog en række kvalitetsmæssige omstændigheder, som gør "kompensations"-muslingerne mest velegnet til foderproduktion.

Det er i projektet ikke lykkedes at bane vejen for operationel og økonomisk bæredygtig anvendelsen af muslinger dyrket ved fangkultur. Forhåbninger er dog, at der inden for de næste par år kan udvikles en brugbar forbehandlingsmetode, der kan adskille muslingekødet fra deres skaller eller en metode f.eks. baseret på presning, så muslinger kan anvendes som råvarer til foderindustrien og måske erstatte produkter som soya- og fiskemel.

Såfremt der findes en egnet forbehandlingsmetoder, og stabile og store leverancer sikres, kan muslinger måske blive interessant som ingrediens for fiskemelsproducenter. Det vil dog også kræve at prisen på muslinger som ingrediens vil være konkurrencedygtig i forhold til andre ingredienser.

### **Tangopdræt**

På baggrund af det store arealforbrug samt det begrænsede indhold af kvælstof og fosfor vurderes, at tangproduktion som effektiv kvælstoffangkultur eller virkemiddel ikke er attraktivt, medmindre der kan optimeres væsentligt på arealudbyttet.

I forbindelse med projektet blev der udviklet en række forbedringer af eksisterende teknikker for tangdyrking på linesystemer. Såfremt udlægning og specielt høstteknikker videreudvikles, må sukkertang anses som en robust organisme, som kan dyrkes kommercielt i danske farvande.

Indholdet af kvælstof i sukkertang varierede fra ca. 0,1-0,5% af vådvægt, og fosforindholdet varierede fra ca. 0,01 til 0,1% i forhold til vådvægt. En sammenligning af kvælstofindholdet i tang produceret tæt på havbruget (ca. 500 m) med tang produceret på en reference lokalitet viste at, der ikke var nogen positivt effekt fra havbrugsproduktion på kvælstofindholdet i tangen.

For at opnå den største kompensationskapacitet skal høsttidspunktet være i august-september ved anvendelse af enårig produktionscyklus. Ved produktion til konsum i forbindelse med en toårig produktionsperiode er det optimale høsttidspunkt i maj. Tilstedeværelsen af påvækst på tangen skal tages med i overvejelserne, da den reducerer tangens værdi til konsum mens påvæksten, men forøger tangens værdi i forhold til kompensationsproduktion fordi påvæksten bidrager med den fosfor og kvælstofmængde, der fjernes fra lokalområdet ved høst af tangbiomassen.

På baggrund af erfaringerne med tangproduktionen ved Hjarnø Hage kan der beregnes en minimum høst på 2,1 ton vådvægt tang per ha i ved høst i maj måned, svarende til en kvælstoffjernelse på 5-10 kg pr ha pr år. Det maksimale udbytte vurderes at kunne høstes i september ved en en-årig produktion (5,1-7,1 ton vådvægt per ha). Ved en to-årig produktion, med høst i maj kan der forventes et maksimalt udbytte på 7,1-6,7 ton vådvægt per ha, hvilket svare til 10-30 kg kvælstof pr ha pr år.

Gennem projektet har der været en stor efterspørgsel for tang til konsum og til fremstilling af mange forskellige nicheprodukter. Den tidskrævende høstmetode for tang har i mange tilfælde betydet at efterspørgslen ikke kunne efterkommes. Desuden er gennemført et succesfuldt pilotprojekt med anvendelse af tang i biogasanlæg. Det vurderes at tang kan have et stort potentiale både til konsum og som ingrediens.

### **Højværdistoffer i tang**

Proteinindholdet og aminosyreprofilen er vigtig for anvendelse og udnyttelse af sukkertangen til fødevarer eller fiskefoder, og projektets resultater viser, at sukkertangen er egnet som protein/essentiell aminosyreingrediens, og at tangen ved inkluderingen i fødevarer eller foder også vil medføre andre gavnlige effekter.

Fedtsyreprofilen af sukkertang indeholder en stor andel af de langkædede og værdifulde helsefremmende PUFA'er, men sukkertang har et relativt lavt lipidindhold, og derved også lavt fedtsyreindhold. Høsttiden skal være november eller marts for at opnå højest indhold af n-3. Tilstedeværelsen af påvækst ved nogle høst tidspunkter øgede generelt andelen af SFA og DHA, men ikke n-3 indholdet.

Det var overraskende at calcium og kalium indholdet i tang er højere end i mælkeprodukter. Natriumindholdet er højt hele året. Sukkertang er en rigtig god kilde til jod, men man skal være opmærksom på at det daglige anbefalede indtag af jod meget nemt opfyldes/overskrides.

Vitaminindholdet af vit E og A ligger på niveau med andre grøntsager, men tager man mængder i betragtning, så vil man nok i den daglige kost indtage større mængder vitaminer fra landbaserede grøntsager end fra tang fra havet, som kosten ser ud nu.

### **Miljøeffekt**

Modelberegninger og feltundersøgelser viser, at der ikke vil være væsentlige negative miljøeffekter ved storskala opdræt af muslinger og tang, hverken i forhold til vandkvalitet eller sedimentforhold.

Modelberegningerne viser, at der ved en optimal produktion (op til 2.500 tons muslinger pr anlæg) vil være en markant forbedring af sigtddybden umiddelbart ved muslingeopdrættene, at der ikke vil være



forringede iltforhold i bundvandet ved muslingeopdrættene, samt at den minimale forøgelse i sedimenternes indhold af kulstof, kvælstof og fosfor ikke vil have nogen væsentlig negativ betydning for miljøforholdene.

På baggrund af redoxmålinger kan konkluderes, at den eventuelle belastning af bunden med organisk stof fra den eksisterende muslingeproduktion ikke har medført forøget risiko for iltfrie forhold ved sedimentoverfladen på det tidspunkt af året, hvor der ellers er størst risiko for reducerede forhold i overfladesedimentet og resulterende iltvind.

På baggrund af lysmålinger konkluderes at tangkulture maksimale vil reducere den lysmængde der når bunden med 6 %, hvilket svarer til den lysmængde, som når bunden ved en forøget dybde på 0,2-0,3 m. Samlet vurderes at en skyggeeffekt af denne størrelse er uden væsentlig betydning for de naturlige vegetationsforhold i tangkulturområdet.

De mange arter af smådyr i kulturer af både blåmuslinger og sukkertang, der er registreret, medfører at opdrættene fungerer som hængende rev. Tilstedeværelsen af de mange arter tilknyttet de hængende rev kan medføre at fisk, fugle og måske pattedyr kan udnytte de hængende rev dels som fødekilde dels som skjul og rasteplass.

### **Virkemiddel og administrationsgrundlag**

Der endnu for tidligt, at konkludere om fangkultur, baseret på produktion af blåmuslinger i As Vig og Sælkrogen kan komme op på et niveau, så det kan anvendes som et operationelt økonomisk bæredygtigt virkemiddel i forbindelse med havbrugsproduktionen i området.

På baggrund af det store arealforbrug vurderes, at tang som effektiv kvælstoffangkultur ikke er attraktivt, medmindre der kan optimeres væsentligt på arealudbyttet.

Ved en optimal produktion af muslinger med optimal settling, gode vejrforhold, høst og uden nævneværdig prædation, vil det medføre en kostpris per kg muslinger produceret på 0,5-0,7 kr./kg som modsvarer en pris per kg kvælstof fjernet på 50-75 kr./kg kvælstof. Der er dog stadig for tidligt at sige noget om, hvad den reelle pris bliver pr tons produceret musling, når produktionen er fuld udbygget.

For tangproduktion er det endnu ikke muligt at angive en realistisk kostpris for storskalaproduktion af tang. Dog er erfaringen indtil videre, at produktion af tang som fangkultur ikke er rentabel både pga. det lave indhold af næringsstoffer, men også fordi produktion og høst endnu kræver meget manuelt arbejde.

Hvis der skal arbejdes videre med anvendelse af fangkulturer af muslinger og tang i forbindelse med udvidelse af havbrugsproduktion, er det en forudsætning, at der laves et smidigt og innovativt forvaltningsgrundlag, hvor der ikke kun er fokus på næringsstofoptagelse.

## 16. APPENDIKS TIL KAPITEL 5

Tabel 16.1 Aminosyreprofilerne af muslinger fra As vig og Sælkrogen 2012-2013 udtrykt som gram aminosyrer per g prøve tørvægt.

| g aminosyrer/g prøve tørvægt |                   |                   |                      |                      |                      |                      |                   |
|------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| Muslinger (kød)              | 03-07-2012 As Vig | 07-09-2012 As Vig | 07-09-2012 Sælkrogen | 04-10-2012 Sælkrogen | 30-05-2013 Sælkrogen | 20-06-2013 Sælkrogen | 10-09-2013 As Vig |
| LYS                          | 0,0049            | 0,0059            | 0,0153               | 0,0157               | 0,0258               | 0,0164               | 0,0171            |
| ALA                          | 0,0082            | 0,0112            | 0,0204               | 0,0189               | 0,0234               | 0,0190               | 0,0167            |
| ARG                          | 0,0045            | 0,0068            | 0,0143               | 0,0146               | 0,0217               | 0,0171               | 0,0124            |
| C-C                          | 0,0003            | 0,0003            | 0,0023               | 0,0027               | 0,0032               | 0,0033               | 0,0025            |
| MET                          | 0,0023            | 0,0030            | 0,0076               | 0,0098               | 0,0118               | 0,0110               | 0,0083            |
| LEU                          | 0,0077            | 0,0114            | 0,0349               | 0,0400               | 0,0475               | 0,0507               | 0,0354            |
| TYR                          | 0,0026            | 0,0030            | 0,0083               | 0,0104               | 0,0128               | 0,0127               | 0,0088            |
| PHE                          | 0,0052            | 0,0073            | 0,0176               | 0,0188               | 0,0230               | 0,0235               | 0,0183            |
| PRO                          | 0,0039            | 0,0050            | 0,0133               | 0,0163               | 0,0183               | 0,0181               | 0,0137            |
| THR                          | 0,0018            | 0,0028            | 0,0105               | 0,0127               | 0,0154               | 0,0140               | 0,0114            |
| ASP                          | 0,0070            | 0,0097            | 0,0313               | 0,0466               | 0,0552               | 0,0518               | 0,0394            |
| SER                          | 0,0049            | 0,0065            | 0,0179               | 0,0235               | 0,0271               | 0,0267               | 0,0186            |
| HYP                          | 0,0003            | 0,0006            | 0,0023               | 0,0034               | 0,0044               | 0,0047               | 0,0022            |
| GLU                          | 0,0086            | 0,0133            | 0,0488               | 0,0609               | 0,0970               | 0,0731               | 0,0679            |
| VAL                          | 0,0014            | 0,0023            | 0,0106               | 0,0128               | 0,0145               | 0,0126               | 0,0109            |
| HIS                          | 0,0004            | 0,0006            | 0,0020               | 0,0037               | 0,0033               | 0,0034               | 0,0029            |
| TRP                          | 0,0000            | 0,0000            | 0,0000               | 0,0000               | 0,0000               | 0,0000               | 0,0000            |
| ILE                          | 0,0014            | 0,0017            | 0,0104               | 0,0134               | 0,0154               | 0,0140               | 0,0122            |
| GLY                          | 0,0128            | 0,0189            | 0,0254               | 0,0273               | 0,0321               | 0,0312               | 0,0201            |
| SUM                          | 0,0782            | 0,1102            | 0,2931               | 0,3512               | 0,4520               | 0,4031               | 0,3187            |

Tabel 16.2 Aminosyreprofilerne af muslinger fra As vig og Sælkrogen 2012-2013 udtrykt som gram aminosyrer per g protein.

| Korrigeret for protein (g aminosyrer/g protein)                                                                                                      |                   |                   |                      |                      |                      |                      |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
|                                                                                                                                                      | 03-07-2012 As Vig | 07-09-2012 As Vig | 07-09-2012 Sælkrogen | 04-10-2012 Sælkrogen | 30-05-2013 Sælkrogen | 20-06-2013 Sælkrogen | 10-09-2013 As Vig |
| Muslinger (kød)                                                                                                                                      |                   |                   |                      |                      |                      |                      |                   |
| Protein (%)*                                                                                                                                         | 6,6004            | 9,2968            | 25,0250              | 30,0380              | 38,7433              | 34,5094              | 27,3390           |
| LYS                                                                                                                                                  | 0,0735            | 0,0630            | 0,0610               | 0,0521               | 0,0667               | 0,0474               | 0,0625            |
| ALA                                                                                                                                                  | 0,1245            | 0,1204            | 0,0814               | 0,0628               | 0,0604               | 0,0552               | 0,0611            |
| ARG                                                                                                                                                  | 0,0688            | 0,0728            | 0,0570               | 0,0485               | 0,0561               | 0,0494               | 0,0453            |
| C-C                                                                                                                                                  | 0,0045            | 0,0037            | 0,0092               | 0,0089               | 0,0082               | 0,0097               | 0,0092            |
| MET                                                                                                                                                  | 0,0349            | 0,0320            | 0,0302               | 0,0327               | 0,0303               | 0,0317               | 0,0304            |
| LEU                                                                                                                                                  | 0,1166            | 0,1225            | 0,1394               | 0,1332               | 0,1227               | 0,1469               | 0,1295            |
| TYR                                                                                                                                                  | 0,0395            | 0,0322            | 0,0332               | 0,0347               | 0,0331               | 0,0368               | 0,0321            |
| PHE                                                                                                                                                  | 0,0788            | 0,0788            | 0,0705               | 0,0624               | 0,0593               | 0,0680               | 0,0670            |
| PRO                                                                                                                                                  | 0,0591            | 0,0536            | 0,0530               | 0,0544               | 0,0473               | 0,0525               | 0,0500            |
| THR                                                                                                                                                  | 0,0273            | 0,0302            | 0,0420               | 0,0422               | 0,0397               | 0,0407               | 0,0416            |
| ASP                                                                                                                                                  | 0,1059            | 0,1044            | 0,1253               | 0,1550               | 0,1425               | 0,1502               | 0,1442            |
| SER                                                                                                                                                  | 0,0750            | 0,0695            | 0,0715               | 0,0781               | 0,0699               | 0,0773               | 0,0680            |
| HYP                                                                                                                                                  | 0,0042            | 0,0069            | 0,0094               | 0,0114               | 0,0113               | 0,0136               | 0,0082            |
| GLU                                                                                                                                                  | 0,1304            | 0,1428            | 0,1949               | 0,2026               | 0,2504               | 0,2117               | 0,2483            |
| VAL                                                                                                                                                  | 0,0207            | 0,0246            | 0,0422               | 0,0426               | 0,0374               | 0,0364               | 0,0398            |
| HIS                                                                                                                                                  | 0,0065            | 0,0066            | 0,0081               | 0,0122               | 0,0086               | 0,0097               | 0,0106            |
| TRP                                                                                                                                                  | 0,0000            | 0,0000            | 0,0000               | 0,0000               | 0,0000               | 0,0000               | 0,0000            |
| ILE                                                                                                                                                  | 0,0214            | 0,0187            | 0,0416               | 0,0446               | 0,0399               | 0,0404               | 0,0445            |
| GLY                                                                                                                                                  | 0,1933            | 0,2028            | 0,1016               | 0,0909               | 0,0828               | 0,0905               | 0,0736            |
| TOTAL AA                                                                                                                                             | 1,1850            | 1,1857            | 1,1714               | 1,1693               | 1,1666               | 1,1682               | 1,1659            |
| TOTAL EAA                                                                                                                                            | 0,4239            | 0,4125            | 0,4773               | 0,4657               | 0,4459               | 0,4679               | 0,4672            |
| EAA/Total AA (inkl. histidin)                                                                                                                        | 0,3577            | 0,3478            | 0,4075               | 0,3982               | 0,3823               | 0,4005               | 0,4008            |
| EAA/AA (inkl. arginin og hisdistin)                                                                                                                  | 0,4158            | 0,4093            | 0,4562               | 0,4397               | 0,4304               | 0,4428               | 0,4396            |
| ASP+GLU/total AA                                                                                                                                     | 0,1994            | 0,2085            | 0,2734               | 0,3059               | 0,3367               | 0,3098               | 0,3367            |
| *Protein indhold (sum af aminosyrer minus massen af den vand, der sætter sig på aminosyrerne, når de hydrolyseres efter at have siddet kædet sammen) |                   |                   |                      |                      |                      |                      |                   |

Tabel 16.3 Fedtsyreprofilerne af muslinger fra As vig og Sælkrogen 2012-2013 udtrykt som procent FAME (fatty acid methyl esters) af total lipidindholdet.

|     | FAME %             | 03-07-2012 As Vig | 07-09-2012 As Vig | 07-09-2012 Sælkrogen | 04-10-2012 Sælkrogen | 30-05-2013 Sælkrogen | 20-06-2013 Sælkrogen | 10-09-2013 As Vig |
|-----|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
|     | 14:00              | 3,73              | 4,88              | 6,80                 | 4,53                 | 2,00                 | 3,68                 | 4,79              |
|     | 14:01              | 0,06              | 0,10              | 0,06                 | 0,09                 | 0,06                 | 0,09                 | 0,12              |
|     | 15:00              | 0,56              | 0,67              | 0,49                 | 0,50                 | 0,52                 | 0,45                 | 0,46              |
|     | 16:00              | 17,56             | 24,65             | 17,24                | 17,16                | 17,37                | 15,94                | 18,41             |
|     | 16:1(n-7)          | 13,19             | 4,94              | 15,52                | 11,02                | 3,57                 | 4,76                 | 10,49             |
|     | 16:2(n-4)          | 0,72              | 0,43              | 1,04                 | 0,88                 | 0,22                 | 0,22                 | 0,63              |
|     | 16:3(n-4)          | 0,77              | 0,92              | 0,70                 | 0,83                 | 0,91                 | 0,86                 | 0,65              |
|     | 17:00              | 0,15              | 0,09              | 0,12                 | 0,13                 | 0,10                 | 0,16                 | 0,13              |
|     | 16:4 (n-1)         | 0,54              | 0,56              | 0,66                 | 0,57                 | 0,46                 | 0,93                 | 0,48              |
|     | 18:00              | 4,18              | 3,99              | 1,56                 | 3,30                 | 3,81                 | 3,19                 | 2,51              |
|     | 18:1(n-9)          | 3,86              | 2,12              | 3,36                 | 1,52                 | 1,57                 | 1,65                 | 2,06              |
|     | 18:1(n-7)          | 1,58              | 2,23              | 0,08                 | 3,33                 | 1,96                 | 1,97                 | 2,45              |
|     | 18:2(n-6)          | 1,17              | 1,44              | 1,60                 | 1,24                 | 1,61                 | 1,95                 | 1,89              |
|     | 18:2(n-4)          |                   |                   |                      | 0,14                 | 0,29                 |                      |                   |
|     | 18:3(n6)           |                   |                   |                      |                      |                      |                      |                   |
|     | 18:3(n-4)          |                   |                   |                      |                      |                      |                      |                   |
| SDA | 18:3(n-3)          | 0,89              | 0,45              | 0,68                 | 1,08                 | 3,06                 | 3,11                 | 1,14              |
|     | 18-4(n-3)          | 1,21              | 0,58              | 1,48                 | 1,69                 | 3,73                 | 3,44                 | 3,07              |
|     | 20:00              | 1,12              | 1,00              |                      | 1,24                 | 0,06                 | 0,05                 | 0,10              |
|     | 20:1(n-11) + (n-9) | 2,77              | 4,91              | 1,96                 | 2,52                 | 4,55                 | 3,64                 | 2,55              |
|     | 20-1 (n-7)         | 3,24              | 4,18              | 2,52                 | 3,44                 | 2,95                 | 3,26                 | 2,29              |
|     | 20:2(n-6)          | 0,53              | 0,75              | 0,58                 | 0,62                 | 0,87                 | 0,87                 | 0,66              |
|     | 20:3(n-6)          |                   |                   |                      |                      |                      |                      |                   |
|     | 20:4(n-6)          | 1,53              | 2,14              | 1,63                 | 1,85                 | 1,48                 | 2,20                 | 2,00              |
|     | 20:3(n-3)          | 0,24              |                   | 0,30                 | 0,31                 | 0,39                 | 0,39                 | 0,45              |
|     | 20:4(n-3)          |                   |                   |                      |                      |                      |                      |                   |
| EPA | 20:5(n-3)          | 14,98             | 6,43              | 14,68                | 13,42                | 14,15                | 11,48                | 11,92             |
|     | 22:1(n-11)         | 0,11              | 0,04              |                      |                      |                      |                      |                   |
|     | 21:5(n-3)          | 0,47              | 0,10              | 0,37                 | 0,38                 | 0,43                 | 0,42                 | 0,40              |
|     | 22:5(n-3)          | 0,84              | 0,81              | 0,79                 | 0,95                 | 1,51                 | 1,33                 | 0,92              |
| DHA | 22:6(n-3)          | 10,81             | 11,12             | 8,93                 | 11,13                | 17,91                | 17,85                | 17,88             |
|     | 24:1(n-9)          |                   |                   |                      |                      |                      |                      |                   |
|     | SUM                | 86,76             | 79,52             | 83,15                | 83,79                | 85,49                | 83,84                | 88,41             |
|     | SFA                | 27,30             | 35,27             | 26,21                | 26,85                | 23,85                | 23,47                | 26,39             |
|     | MUFA               | 24,69             | 18,59             | 23,54                | 21,90                | 14,66                | 15,35                | 19,95             |
|     | PUFA               | 34,66             | 25,73             | 33,44                | 35,05                | 46,99                | 45,02                | 42,07             |
|     | n-3                | 29,42             | 19,49             | 27,23                | 28,94                | 41,17                | 38,01                | 35,77             |
|     | n-6                | 3,22              | 4,33              | 3,81                 | 3,71                 | 3,95                 | 5,02                 | 4,55              |
|     | n-6/n-3            | 0,109             | 0,222             | 0,140                | 0,128                | 0,096                | 0,132                | 0,127             |
|     | EPA+DHA            | 25,79             | 17,55             | 23,61                | 24,55                | 32,06                | 29,33                | 29,80             |
|     | C18/C20PUFA        | 0,19              | 0,27              | 0,22                 | 0,26                 | 0,51                 | 0,57                 | 0,41              |



## 17. APPENDIKS TIL KAPITEL 9

TABEL 17.1 AMINOSYREPROFILER FOR SUKKERTANG. FRA ARTIKLEN MARINHO ET AL. 2015A

**Table 1** Year-round variation in the amino acid composition (mg amino acid g<sup>-1</sup> protein), total amino acid content (Σ AA; % DW), total essential amino acids (Σ EAA), essential amino acid ratio (EAA/AA), and EAA score of *S. latissimus* cultivated at both reference (REF) and IMTA sites

| Amino acid       | July         |            | September    |            | November     |            | January       |            | March         |            | May          |            | Param <sup>a</sup> | FM <sup>d</sup>   | SM <sup>e</sup> | WMP <sup>f</sup> |
|------------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|--------------|------------|--------------------|-------------------|-----------------|------------------|
|                  | Initial      | REF        | IMTA         | REF        | IMTA         | REF        | IMTA          | REF        | IMTA          | REF        | IMTA         | REF        |                    |                   |                 |                  |
| LYS <sup>a</sup> | 53.1±0.9     | 61.8±8.2   | 58.7±16.1    | 56.7±8.3   | 64.6±14.9    | 65.1±7.3   | 62.8±1.4      | 58.4±11.1  | 53.5±2.4      | 47.4±8.1   | 45.9±16.3    | 52.3±8.9   | 52.0               | 113.15            | 139.56          | 21.68            |
| ALA              | 155.2±17.5   | 121.2±31.2 | 95.7±27.7    | 141.8±6.9  | 135.9±8.8    | 112.9±30.9 | 120.8±12.3    | 109.9±31.0 | 106.2±28.0    | 197.8±56.9 | 138.4±17.0   | 107.0±58.9 | 90.6±45.1          |                   |                 |                  |
| ARG <sup>b</sup> | 58.6±2.4     | 69.4±6.1   | 66.3±6.1     | 40.9±17.1  | 49.9±20.8    | 80.6±32.3  | 50.3±18.5     | 44.0±13.0  | 32.5±7.2      | 68.2±16.9  | 59.5±5.6     | 71.1±25.9  | 69.1±36.9          | 83.45             | 154.22          | 31.47            |
| CYS              | 4.1±0.6      | 1.0±0.6    | 1.1±0.3      | 2.9±0.7    | 2.9±2.4      | n.d.       | n.d.          | n.d.       | n.d.          | n.d.       | n.d.         | n.d.       | n.d.               |                   |                 |                  |
| MET <sup>a</sup> | 29.8±5.1     | 60.4±55.9  | 39.6±17.5    | 26.3±9.0   | 26.7±5.5     | 24.3±9.2   | 23.2±0.7      | 22.9±16.2  | 26.2±15.7     | 31.4±13.2  | 24.3±15.0    | 44.2±6.1   | 43.0±19.6          | 26.0 <sup>c</sup> | 41.02           | 30.67            |
| LEU <sup>a</sup> | 102.5±1.2    | 128.7±35.4 | 128.1±43.3   | 82.3±15.0  | 107.3±36.8   | 64.2±8.7   | 66.1±10.4     | 79.2±6.4   | 73.3±10.4     | 53.0±17.7  | 53.1±37.2    | 69.1±11.4  | 59.4±11.8          | 63.0              | 108.91          | 167.36           |
| TYR              | 28.9±1.8     | 23.6±1.7   | 22.9±0.5     | 19.9±1.4   | 22.4±4.5     | 20.2±0.2   | 17.6±2.0      | 19.7±4.3   | 21.7±9.0      | 15.1±3.6   | 17.2±8.3     | 25.3±5.8   | 21.6±2.8           | 46.0 <sup>f</sup> | 16.97           | 26.22            |
| PRO              | 51.6±3.5     | 61.3±4.4   | 51.5±4.6     | 46.7±2.6   | 50.7±4.5     | 47.4±5.0   | 45.8±10.9     | 59.1±9.3   | 65.5±10.2     | 47.1±10.8  | 43.7±23.7    | 42.8±3.9   | 37.4±6.5           |                   | 59.41           | 111.78           |
| THR <sup>a</sup> | 26.5±2.3     | 33.7±2.5   | 38.4±7.7     | 35.5±3.9   | 32.9±7.6     | 33.7±15.8  | 37.8±2.4      | 39.3±3.2   | 25.8±3.6      | 23.9±4.7   | 27.0±8.5     | 41.4±9.7   | 43.0±13.8          | 27.0              | 62.23           | 109.33           |
| ASP              | 157.5±10.9   | 121.6±23.4 | 117.3±19.5   | 112.0±19.1 | 117.4±15.9   | 193.4±36.8 | 181.5±35.8    | 182.5±32.1 | 190.7±49.7    | 211.2±85.3 | 270.1±114.4  | 205.3±12.4 | 174.7±17.4         |                   |                 |                  |
| SER              | 75.2±2.3     | 79.5±25.6  | 68.4±6.3     | 55.5±8.1   | 43.6±17.7    | 54.3±25.6  | 52.9±19.4     | 69.7±34.2  | 125.1±50.6    | n.d.       | n.d.         | 73.3±7.1   | 70.1±8.1           |                   |                 |                  |
| TRP <sup>a</sup> | 4.1±0.4      | 19.1±13.3  | 8.4±3.5      | 31.7±11.5  | 28.3±10.7    | 18.4±16.5  | 17.9±8.6      | 12.0±2.8   | 8.7±3.7       | 10.3±2.8   | 5.8±1.4      | n.d.       | n.d.               |                   |                 |                  |
| GLU              | 160.2±36.6   | 146.9±0.6  | 190.1±62.9   | 266.5±33.3 | 204.2±40.6   | 233.6±17.2 | 260.9±93.2    | 236.1±72.8 | 213.5±32.3    | 281.9±64.0 | 304.4±42.0   | 225.3±8.3  | 299.9±29.5         |                   |                 |                  |
| VAL <sup>a</sup> | 25.1±4.6     | 57.0±12.7  | 50.0±4.2     | 53.6±6.0   | 57.0±7.7     | 45.0±19.6  | 64.2±14.3     | 52.1±5.4   | 44.0±4.3      | 21.7±4.8   | 22.8±23.7    | 37.5±8.6   | 39.5±10.9          | 42.0              | 76.38           | 104.89           |
| HIS <sup>a</sup> | 10.5±0.9     | 9.4±1.3    | 6.7±2.4      | 3.0±1.0    | 8.9±2.9      | 8.7±5.1    | 12.4±6.2      | 8.1±1.0    | 12.2±7.3      | n.d.       | n.d.         | 7.1±3.3    | 6.2±2.6            | 18.0              | 35.36           | 58.67            |
| TRP <sup>a</sup> | n.d.         | n.d.       | n.d.         | n.d.       | n.d.         | n.d.       | n.d.          | n.d.       | n.d.          | n.d.       | n.d.         | n.d.       | n.d.               |                   |                 |                  |
| ILE <sup>a</sup> | 12.0±0.1     | 35.9±2.4   | 38.1±3.3     | 28.1±4.6   | 43.2±9.1     | 30.8±14.7  | 33.6±2.4      | 39.5±5.0   | 28.7±3.1      | 17.4±5.1   | 16.6±9.9     | 28.1±13.2  | 31.4±10.9          | 31.0              | 66.48           | 111.33           |
| GLY              | 109.4±8.1    | 119.9±9.3  | 91.8±7.4     | 121.1±21.3 | 118.5±15.7   | 101.6±36.1 | 86.1±12.9     | 91.7±41.6  | 112.8±44.9    | 87.5±28.7  | 77.8±39.4    | 87.5±37.1  | 77.4±32.6          |                   |                 |                  |
| Σ AA (%DW)       | 1.5±0.2 d    | 2.0±0.9    | 2.0±1.1 c    | 7.0±1.2    | 7.6±1.7 b    | 11.3±4.0   | 12.7±1.6 a    | 7.5±1.6    | 7.2±2.9 b     | 4.0±1.0    | 8.0±4.9 b    | 5.2±1.9    | 4.5±2.7 b          |                   |                 |                  |
| Σ EAA            | 405.0±20.4 b | 484.2±40.8 | 400.7±65.3 a | 368.3±13.1 | 428.6±76.0 b | 330.4±73.8 | 356.5±35.1 bc | 368.5±18.2 | 327.5±36.9 bc | 247.5±54.7 | 248.2±41.6 c | 352.1±58.0 | 341.5±48.4 bc      | 306.0             |                 |                  |
| EAA/AA           | 0.34±0.02 b  | 0.42±0.03  | 0.41±0.06 a  | 0.31±0.01  | 0.36±0.07 b  | 0.28±0.06  | 0.30±0.08 bc  | 0.31±0.01  | 0.28±0.03 bc  | 0.21±0.05  | 0.28±0.12 c  | 0.30±0.06  | 0.29±0.04 bc       |                   |                 |                  |
| EAA score (%)    | 38.7±0.4     | 52.0±7.3   | 37.1±13.3    | 16.7±5.7   | 49.5±16.2    | 48.4±28.4  | 68.9±34.4     | 45.0±5.5   | 67.7±40.8     | n.d.       | n.d.         | 39.3±18.6  | 34.2±14.4          |                   |                 |                  |

Data expressed as mean±standard deviation (n=3). Different letters in the same row indicate significant differences (P<0.05) for total amino acids, total EAA, EAA ratio, and EAA score between sampling months

n.d. not detected

<sup>a</sup> Essential amino acids in human and fish nutrition

<sup>b</sup> Essential amino acid in fish nutrition

<sup>c</sup> EAA requirement pattern (WHO/FAO/UNU 2007)

<sup>d</sup> Essential amino acid composition of fish meal (FM) soybean meal (SM) and wheat meal (WMP) reported by Hertampf and Prod'homme (2000)

<sup>e</sup> Methionine+cytosine

<sup>f</sup> Phenylalanine+tyrosine



TABEL 17.2 AMINOSYREPROFIELEN FOR SUKKERTANG INKL. EPIFYTTER.

**Table 2** Amino acid composition (mg amino acid g<sup>-1</sup> protein), total amino acid content ( $\Sigma$  AA; % DW), total essential amino acids ( $\Sigma$  EAA), essential amino acid ratio (EAA/AA), and EAA score of *S. latissima* cultivated at both reference (REF) and IMTA sites, including epiphytes (July–November)

| Amino acid         | July         |               | September    |              | November     |                |
|--------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
|                    | REF          | IMTA          | REF          | IMTA         | REF          | IMTA           |
| LYS <sup>a</sup>   | 72.92±7.76   | 83.74±11.37   | 43.17±2.64   | 44.83±1.25   | 48.14±19.49  | 65.31±15.41    |
| ALA                | 89.68±19.70  | 83.85±18.37   | 132.32±39.85 | 122.54±16.86 | 103.39±9.41  | 111.75±22.68   |
| ARG <sup>b</sup>   | 84.02±38.83  | 96.85±39.07   | 63.93±2.70   | 51.41±17.32  | 83.91±37.21  | 73.52±28.19    |
| CYS                | n.d.         | n.d.          | n.d.         | n.d.         | n.d.         | n.d.           |
| MET <sup>a</sup>   | 27.48±5.99   | 29.53±13.19   | 17.35±0.10   | 17.98±4.01   | 24.42±6.61   | 19.16±4.71     |
| LEU <sup>a</sup>   | 66.13±13.00  | 63.86±11.90   | 54.26±7.41   | 48.62±2.13   | 63.18±7.49   | 60.06±10.96    |
| TYR                | 19.98±1.67   | 22.38±4.19    | 14.01±2.23   | 13.69±2.44   | 26.97±9.07   | 18.46±3.13     |
| PHE <sup>a</sup>   | 39.45±9.19   | 39.24±14.47   | 29.15±5.73   | 29.14±6.01   | 37.51±8.30   | 36.15±11.52    |
| PRO                | 55.56±2.18   | 45.70±3.97    | 41.66±2.40   | 37.48±2.05   | 51.28±3.74   | 54.22±14.03    |
| THR <sup>a</sup>   | 34.08±14.47  | 33.25±19.82   | 27.92±6.18   | 29.10±6.38   | 35.06±9.42   | 31.63±3.55     |
| ASP                | 189.94±43.89 | 180.37±24.82  | 198.74±15.46 | 169.16±25.24 | 202.22±40.44 | 200.72±35.71   |
| SER                | 49.14±9.46   | 63.12±17.12   | 44.54±7.01   | 36.47±23.01  | 69.97±20.19  | 37.62±6.71     |
| HYP                | 20.33±10.77  | 10.83±2.00    | 17.21±4.78   | 31.19±30.33  | 30.20±16.82  | 28.90±6.04     |
| GLU                | 212.42±41.24 | 211.16±27.15  | 342.86±0.10  | 366.65±24.59 | 184.87±34.70 | 220.93±39.29   |
| VAL <sup>a</sup>   | 41.37±9.98   | 42.47±17.60   | 40.70±7.43   | 47.76±11.35  | 37.82±4.45   | 48.83±15.47    |
| HIS <sup>a</sup>   | 7.36±1.10    | 10.86±4.80    | 6.22±0.26    | 8.41±3.56    | 8.98±3.19    | 12.19±5.59     |
| ILE <sup>a</sup>   | 37.60±10.64  | 30.67±7.36    | 27.21±6.60   | 25.56±2.45   | 33.70±8.27   | 35.95±15.92    |
| GLY                | 126.38±22.73 | 124.81±15.09  | 68.10±6.62   | 91.18±38.52  | 135.64±31.11 | 119.48±14.43   |
| $\Sigma$ AA (% DW) | 10.69±7.41   | 5.72±1.16     | 13.65±3.74   | 14.69±3.66   | 14.08±7.24   | 13.78±1.46     |
| $\Sigma$ EAA       | 346.37±53.6  | 355.99±53.6 a | 259.98±38.1  | 265.09±1.8 b | 315.79±12.1  | 327.74±63.5 ab |
| EAA/AA             | 0.30±0.05    | 0.30±0.05 a   | 0.22±0.03    | 0.23±0.00 b  | 0.27±0.01    | 0.28±0.05 ab   |
| EAA score (%)      | 40.89±6.09   | 60.32±26.68   | 34.53±1.42   | 46.73±19.75  | 49.91±17.74  | 73.69±18.10    |

Data expressed as mean±standard deviation (n=3). Different letters in the same row indicate significant differences ( $P<0.05$ ) for total amino acids, total EAA, EAA ratio, and EAA score between sampling months

n.d. not detected

<sup>a</sup> Essential amino acids in human and fish nutrition

<sup>b</sup> Essential amino acid in fish nutrition



**Table 1.** Year-round variation in the fatty acid composition (% fatty acid methyl esters: FAME) of *S. latissima* cultivated at both reference (REF) and integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) sites.

| Fatty Acid          | May 2013     |              |              | July         |              |              | September    |              |              | November     |              |              | January      |      |      | March |      |     | May 2014 |  |  | Salmon <sup>1</sup> | Lettuce <sup>1</sup> | Cabbage <sup>1</sup> | Cod <sup>1</sup> |
|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|------|-------|------|-----|----------|--|--|---------------------|----------------------|----------------------|------------------|
|                     | INITIAL      | REF          | IMTA         | REF          | IMTA         | REF          | IMTA         | REF          | IMTA         | REF          | IMTA         | REF          | IMTA         | REF  | IMTA | REF   | IMTA | REF | IMTA     |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 14:0                | 7.71 ± 0.27  | 8.32 ± 1.11  | 6.83 ± 1.24  | 6.13 ± 1.57  | 7.19 ± 1.39  | 6.61 ± 0.24  | 7.95 ± 0.59  | 12.66 ± 1.13 | 12.44 ± 0.99 | 11.03 ± 0.14 | 12.19 ± 0.49 | 11.94 ± 0.87 | 9.87 ± 1.02  | 4.29 |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 14:1                | 0.18 ± 0.02  | 0.50 ± 0.27  | 0.51 ± 0.14  | 0.35 ± 0.01  | 0.31 ± 0.17  | 0.32 ± 0.10  | 0.47 ± 0.14  | 1.96 ± 0.62  | 1.93 ± 0.79  | 1.52 ± 0.05  | 1.86 ± 0.19  | 0.88 ± 0.26  | 0.95 ± 0.20  |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 15:0                | 0.49 ± 0.05  | 0.45 ± 0.03  | 0.39 ± 0.01  | 0.46 ± 0.05  | 0.53 ± 0.13  | 0.45 ± 0.14  | 0.39 ± 0.08  | 0.59 ± 0.12  | 0.51 ± 0.05  | 0.45 ± 0.00  | 0.44 ± 0.05  | 0.60 ± 0.10  | 0.74 ± 0.10  |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 16:0                | 19.41 ± 1.05 | 16.71 ± 0.35 | 17.33 ± 0.45 | 17.87 ± 0.95 | 18.08 ± 1.52 | 16.10 ± 1.79 | 14.79 ± 1.07 | 19.27 ± 0.96 | 18.62 ± 1.50 | 14.78 ± 1.65 | 15.39 ± 1.40 | 18.04 ± 1.37 | 18.28 ± 1.54 | 17.1 |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 16:1 (n-7)          | 5.17 ± 0.03  | 3.20 ± 0.82  | 3.84 ± 0.75  | 5.05 ± 0.12  | 4.84 ± 0.86  | 4.95 ± 0.72  | 4.60 ± 0.22  | 5.60 ± 0.49  | 4.82 ± 0.49  | 2.87 ± 0.51  | 4.37 ± 0.42  | 2.41 ± 0.28  | 3.73 ± 0.18  | 2.38 |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 16:2 (n-4)          | 0.35 ± 0.00  | 0.34 ± 0.13  | 0.65 ± 0.02  | 0.65 ± 0.07  | 0.47 ± 0.01  | 0.32 ± 0.13  | 0.34 ± 0.01  | 0.97 ± 0.36  | 1.00 ± 0.33  | 0.98 ± 0.40  | 0.91 ± 0.35  | 0.27 ± 0.16  | 0.42 ± 0.18  |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 16:3 (n-4)          | 0.31 ± 0.03  | 0.45 ± 0.04  | 0.45 ± 0.17  | 0.59 ± 0.13  | 0.38 ± 0.15  | 0.41 ± 0.07  | 0.20 ± 0.04  | 0.30 ± 0.05  | 0.26 ± 0.06  | 0.15 ± 0.01  | 0.20 ± 0.02  | 0.16 ± 0.01  | 0.11 ± 0.00  |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 17:0                | 0.17 ± 0.01  | 0.24 ± 0.05  | 0.21 ± 0.04  | 0.48 ± 0.11  | 0.38 ± 0.07  | 0.51 ± 0.11  | 0.37 ± 0.06  | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 16:4 (n-1)          | 0.20 ± 0.01  | 0.19 ± 0.08  | 0.15 *       | 0.21 ± 0.02  | 0.23 ± 0.05  | 0.86 ± 0.17  | 0.52 ± 0.20  | 0.16 ± 0.04  | 0.25 ± 0.03  | 0.15 ± 0.03  | 0.14 ± 0.02  | 0.16 ± 0.02  | 0.16 ± 0.01  |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 18:0                | 1.76 ± 0.38  | 1.69 ± 0.24  | 2.00 ± 0.38  | 3.16 ± 0.26  | 2.58 ± 0.67  | 1.98 ± 0.61  | 1.74 ± 0.48  | 1.38 ± 0.49  | 0.97 ± 0.10  | 0.95 ± 0.50  | 0.73 ± 0.19  | 0.78 ± 0.11  | 0.98 ± 0.18  | 2.86 |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 18:1 (n-9)          | 11.75 ± 0.22 | 8.85 ± 0.90  | 8.89 ± 0.21  | 9.15 ± 0.83  | 9.64 ± 0.89  | 8.31 ± 0.19  | 10.74 ± 1.81 | 13.89 ± 1.88 | 12.29 ± 0.93 | 10.77 ± 1.87 | 10.26 ± 1.08 | 12.38 ± 0.97 | 12.25 ± 1.12 | 4.29 |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 18:1 (n-7)          | 0.76 ± 0.14  | 0.60 ± 0.18  | 0.67 ± 0.17  | 0.95 ± 0.08  | 0.79 ± 0.17  | 1.15 ± 0.30  | 0.60 ± 0.07  | 0.61 ± 0.15  | 0.60 ± 0.10  | 0.44 ± 0.24  | 0.47 ± 0.13  | 0.35 ± 0.08  | 0.34 ± 0.04  |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 18:2 (n-6)          | 7.28 ± 0.13  | 9.05 ± 0.79  | 8.89 ± 0.68  | 7.47 ± 0.21  | 7.97 ± 0.68  | 5.49 ± 0.23  | 7.29 ± 0.28  | 4.88 ± 0.22  | 4.63 ± 0.27  | 7.15 ± 0.15  | 6.59 ± 0.07  | 7.75 ± 0.28  | 9.57 ± 0.51  | 4.29 |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 18:2 (n-4)          | 0.77 ± 0.02  | 1.43 ± 0.11  | 1.51 ± 0.14  | 1.31 ± 0.11  | 1.35 ± 0.13  | 1.34 ± 0.39  | 2.32 ± 0.39  | 1.19 ± 0.17  | 1.17 ± 0.12  | 1.27 ± 0.11  | 1.06 ± 0.10  | 1.38 ± 0.06  | 1.12 ± 0.07  |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 18:3 (n-6)          | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 18:3 (n-4)          | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 18:3 (n-3)          | 4.26 ± 0.16  | 4.34 ± 0.60  | 3.62 ± 0.85  | 3.40 ± 0.35  | 3.40 ± 0.61  | 3.13 ± 0.66  | 3.07 ± 0.46  | 2.64 ± 0.06  | 3.10 ± 0.25  | 5.55 ± 0.45  | 4.73 ± 0.21  | 3.54 ± 0.25  | 3.76 ± 0.40  | 54.3 |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 18:4 (n-3)          | 7.24 ± 0.59  | 6.60 ± 0.49  | 5.70 ± 1.40  | 4.27 ± 0.18  | 4.95 ± 1.25  | 6.03 ± 1.99  | 5.93 ± 1.36  | 3.95 ± 0.16  | 4.86 ± 0.73  | 10.88 ± 1.58 | 9.29 ± 1.39  | 6.09 ± 0.93  | 6.51 ± 1.09  | 1.43 |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| SDA                 |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 20:0                | 0.41 ± 0.07  | 0.55 ± 0.02  | 0.61 ± 0.08  | 0.63 ± 0.05  | 0.75 ± 0.03  | 0.31 ± 0.01  | 0.36 ± 0.02  | nd           | nd           | nd           | nd           | nd           | 0.52 ± 0.03  |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 20:1 (n-11) + (n-9) | 0.23 ± 0.03  | 0.65 ± 0.08  | 0.77 ± 0.21  | 1.04 ± 0.11  | 0.93 ± 0.20  | 0.74 ± 0.33  | 0.43 ± 0.19  | 0.40 ± 0.14  | 0.34 ± 0.16  | nd           | nd           | nd           | nd           | 1.43 |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 20:1 (n-7)          | nd           | nd           | nd           | 0.09 ± 0.02  | 0.31 ± 0.05  | 0.68 ± 0.51  | 0.14 ± 0.02  | 0.25 *       | 0.20 ± 0.03  | nd           | nd           | nd           | nd           |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |
| 20:2 (n-6)          | 0.18 *       | 0.30 ± 0.06  | 0.56 ± 0.34  | 0.86 ± 0.06  | 0.51 ± 0.32  | 0.35 ± 0.07  | 0.30 ± 0.00  | 0.22 ± 0.02  | 0.19 ± 0.00  | 0.08 ± 0.04  | 0.14 ± 0.02  | 0.20 ± 0.01  | 0.17 ± 0.00  |      |      |       |      |     |          |  |  |                     |                      |                      |                  |

Table 1. Cont.

| Fatty Acid    | May 2013                    |              |                           | July         |                            |              | September                  |              |                           | November     |                           |              | January                   |     |      | March |      |     | May 2014 |  |  | Cabbage <sup>1</sup> | Lettuce <sup>1</sup> | Salmon <sup>1</sup> | Cod <sup>1</sup> |
|---------------|-----------------------------|--------------|---------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|-----|------|-------|------|-----|----------|--|--|----------------------|----------------------|---------------------|------------------|
|               | May 2013                    |              |                           | July         |                            |              | September                  |              |                           | November     |                           |              | January                   |     |      | March |      |     | May 2014 |  |  |                      |                      |                     |                  |
|               | INITIAL                     | REF          | IMTA                      | REF          | IMTA                       | REF          | IMTA                       | REF          | IMTA                      | REF          | IMTA                      | REF          | IMTA                      | REF | IMTA | REF   | IMTA | REF | IMTA     |  |  |                      |                      |                     |                  |
| 20:3 (n-6)    | 0.50 ± 0.02                 | 0.44 ± 0.02  | 0.47 ± 0.04               | 0.36 ± 0.02  | 0.41 ± 0.03                | 0.36 ± 0.06  | 0.47 ± 0.08                | 0.41 ± 0.04  | 0.42 ± 0.03               | 0.37 ± 0.03  | 0.38 ± 0.02               | 0.43 ± 0.03  | 0.59 ± 0.03               |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| 20:4 (n-6)    | 9.85 ± 0.03                 | 13.13 ± 0.65 | 13.13 ± 1.46              | 8.88 ± 1.01  | 10.79 ± 2.66               | 9.43 ± 1.76  | 13.38 ± 1.64               | 9.67 ± 1.12  | 8.33 ± 1.27               | 10.64 ± 1.17 | 10.87 ± 1.59              | 10.58 ± 1.48 | 10.81 ± 0.27              |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| ARA           |                             |              |                           |              |                            |              |                            |              |                           |              |                           |              |                           |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| 20:3 (n-3)    | 0.91 ± 0.07                 | 0.73 ± 0.20  | 0.81 ± 0.26               | 0.69 ± 0.09  | 0.72 ± 0.14                | 0.49 *       | 0.37 *                     | 0.32 ± 0.02  | 0.28 ± 0.02               | 0.23 ± 0.05  | 0.21 ± 0.04               | 0.26 ± 0.02  | 0.30 ± 0.07               |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| 20:4 (n-3)    | nd                          | 0.91 *       | 0.70 *                    | 0.45 *       | 0.36 *                     | 0.58 ± 0.11  | 0.59 ± 0.04                | 0.27 ± 0.02  | 0.30 ± 0.06               | 0.56 ± 0.08  | 0.50 ± 0.08               | 0.57 ± 0.13  | 0.76 ± 0.01               |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| 20:5 (n-3)    | 12.32 ± 0.89                | 13.48 ± 0.61 | 11.80 ± 2.11              | 10.20 ± 0.90 | 10.22 ± 2.29               | 11.98 ± 2.40 | 9.61 ± 1.69                | 4.70 ± 0.55  | 6.78 ± 0.55               | 11.18 ± 1.44 | 9.69 ± 1.04               | 9.65 ± 1.53  | 9.54 ± 1.27               |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| EPA           |                             |              |                           |              |                            |              |                            |              |                           |              |                           |              |                           |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| 22:1 (n-11)   | 0.35 ± 0.10                 | 0.41 ± 0.02  | 0.58 ± 0.08               | 0.43 ± 0.06  | 0.51 ± 0.04                | 0.18 ± 0.09  | 0.19 ± 0.04                | 0.55 ± 0.11  | 0.34 ± 0.04               | 0.30 ± 0.12  | 0.30 ± 0.13               | 0.50 ± 0.19  | 0.56 ± 0.33               |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| 21:5 (n-3)    | nd                          | 0.68 *       | 0.15 ± 0.03               | 0.61 ± 0.06  | 0.48 ± 0.14                | 0.18 ± 0.00  | 0.05 ± 0.01                | 0.30 ± 0.17  | 0.41 ± 0.04               | 0.12 ± 0.03  | 0.13 ± 0.00               | nd           | nd                        |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| 22:5 (n-3)    | 0.28 ± 0.07                 | 0.25 ± 0.04  | 0.75 *                    | 0.69 ± 0.08  | 0.60 ± 0.08                | 0.55 ± 0.09  | 0.62 ± 0.13                | 0.35 ± 0.05  | 0.34 ± 0.01               | 0.10 ± 0.05  | 0.12 ± 0.02               | 0.17 ± 0.04  | 0.11 ± 0.03               |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| 22:6 (n-3)    | 1.54 ± 0.72                 | 4.81 ± 0.15  | 4.65 ± 2.22               | 6.95 ± 2.20  | 4.74 ± 1.99                | 5.50 ± 0.85  | 2.74 ± 0.43                | 1.11 ± 0.24  | 1.44 ± 0.12               | 0.81 ± 0.11  | 0.90 ± 0.14               | 0.88 ± 0.13  | 0.61 ± 0.03               |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| DHA           |                             |              |                           |              |                            |              |                            |              |                           |              |                           |              |                           |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| 24:1 (n-9)    | 0.32 ± 0.08                 | 0.37 ± 0.04  | 0.28 *                    | 0.25 ± 0.02  | 0.40 ± 0.11                | nd           | nd                         | 0.43 ± 0.08  | 0.52 ± 0.03               | 0.13 ± 0.01  | 0.13 ± 0.01               | 0.28 ± 0.03  | 0.28 ± 0.04               |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| Σ IFA         | 94.56 ± 0.33 <sup>abc</sup> | 95.90 ± 1.45 | 94.58 ± 1.35 <sup>a</sup> | 92.54 ± 1.26 | 93.54 ± 2.11 <sup>ab</sup> | 88.76 ± 1.95 | 90.08 ± 0.99 <sup>bc</sup> | 88.76 ± 2.12 | 87.02 ± 0.64 <sup>c</sup> | 92.69 ± 0.50 | 91.98 ± 0.75 <sup>b</sup> | 90.43 ± 1.73 | 92.83 ± 2.26 <sup>a</sup> |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| n-6/n-3 ratio | 0.67 ± 0.03                 | 0.80 ± 0.08  | 0.85 ± 0.04               | 0.66 ± 0.08  | 0.84 ± 0.16                | 0.56 ± 0.01  | 0.96 ± 0.07                | 1.18 ± 0.10  | 0.78 ± 0.07               | 0.63 ± 0.04  | 0.71 ± 0.04               | 0.91 ± 0.07  | 1.01 ± 0.12               |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
|               |                             |              |                           |              |                            |              |                            |              |                           |              |                           |              | (SxM)                     |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |
| EPA + DHA     | 13.87 ± 0.17 <sup>ab</sup>  | 16.69 ± 1.93 | 16.45 ± 0.61 <sup>a</sup> | 17.15 ± 3.04 | 14.95 ± 3.32 <sup>ab</sup> | 17.47 ± 1.55 | 12.35 ± 1.48 <sup>a</sup>  | 5.82 ± 0.78  | 8.22 ± 0.58 <sup>c</sup>  | 12.00 ± 1.34 | 10.59 ± 0.92 <sup>b</sup> | 10.52 ± 1.55 | 10.15 ± 1.25 <sup>b</sup> |     |      |       |      |     |          |  |  |                      |                      |                     |                  |

Data expressed as mean ± standard error ( $n = 3$ ). Different letters in the same row (a, b and c) indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) for total identified fatty acids (Σ IFA), n-6/n-3 ratio and eicosapentaenoic

(EPA) + docosahexaenoic acid (DHA) between sampling months; SxM, interaction of the factors site and month; nd, not detected; \* Detected in only one of the tree analysed replicates; <sup>1</sup> Fatty acid composition

(% FAME) of raw cabbage (*Brassica oleracea*), lettuce (*Lactuca sativa*), salmon (*Salmo salar*) and cod (*Gadus morhua*) reported by Foodcomp [29].

**Table 2.** Fatty acid composition (% FAME) of *S. latissima* cultivated at both reference (REF) and integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) sites, including epiphytes (July–November).

| Fatty Acid                            | July         |                          | September    |                           | November     |                          | FM <sup>1</sup> |
|---------------------------------------|--------------|--------------------------|--------------|---------------------------|--------------|--------------------------|-----------------|
|                                       | REF          | IMTA                     | REF          | IMTA                      | REF          | IMTA                     |                 |
| 14:0                                  | 7.47 ± 1.40  | 7.63 ± 0.50              | 10.09 ± 0.83 | 8.81 ± 1.37               | 6.74 ± 0.56  | 5.90 ± 1.29              | 4.9             |
| 14:1                                  | 0.29 ± 0.13  | 0.36 ± 0.11              | 0.42 ± 0.09  | 0.76 ± 0.50               | 0.40 ± 0.17  | 0.32 ± 0.04              |                 |
| 15:0                                  | 0.55 ± 0.03  | 0.56 ± 0.04              | 0.48 ± 0.03  | 0.65 ± 0.20               | 0.50 ± 0.07  | 0.44 ± 0.03              |                 |
| 16:0                                  | 19.72 ± 1.19 | 18.30 ± 0.91             | 19.82 ± 1.48 | 20.28 ± 1.75              | 18.28 ± 0.92 | 15.65 ± 0.64             | 14.8            |
| 16:1 ( <i>n</i> -7)                   | 5.68 ± 0.24  | 6.71 ± 0.30              | 6.90 ± 0.41  | 6.57 ± 0.04               | 5.84 ± 0.19  | 4.73 ± 0.27              | 5.8             |
| 16:2 ( <i>n</i> -4)                   | 0.44 ± 0.24  | 0.38 ± 0.14              | 0.25 ± 0.04  | 0.55 ± 0.21               | 0.63 ± 0.07  | 0.48 ± 0.03              |                 |
| 16:3 ( <i>n</i> -4)                   | 0.37 ± 0.13  | 0.50 ± 0.14              | 0.48 ± 0.05  | 0.40 ± 0.02               | 0.55 ± 0.16  | 0.59 ± 0.22              |                 |
| 17:0                                  | 0.72 ± 0.21  | 0.78 ± 0.03              | 0.30 ± 0.06  | 0.64 ± 0.38               | 0.76 ± 0.08  | 0.97 ± 0.34              |                 |
| 16:4 ( <i>n</i> -1)                   | 0.70 ± 0.31  | 4.84 ± 0.34              | 0.64 ± 0.28  | 1.16 ± 0.12               | 1.75 ± 0.59  | 2.48 ± 1.12              |                 |
| 18:0                                  | 4.28 ± 1.60  | 3.19 ± 0.27              | 2.21 ± 0.29  | 4.16 ± 1.95               | 2.82 ± 0.23  | 3.57 ± 0.97              | 2.1             |
| 18:1 ( <i>n</i> -9)                   | 8.37 ± 1.02  | 6.52 ± 0.14              | 10.80 ± 0.72 | 10.43 ± 0.83              | 8.39 ± 0.67  | 7.43 ± 0.80              | 14.4            |
| 18:1 ( <i>n</i> -7)                   | 1.54 ± 0.57  | 2.09 ± 0.10              | 0.92 ± 0.09  | 1.27 ± 0.51               | 1.78 ± 0.05  | 1.52 ± 0.33              |                 |
| 18:2 ( <i>n</i> -6)                   | 5.15 ± 1.82  | 4.26 ± 0.25              | 7.04 ± 0.99  | 5.87 ± 1.75               | 3.55 ± 0.27  | 3.53 ± 0.98              |                 |
| 18:2 ( <i>n</i> -4)                   | 0.66 ± 0.18  | 0.65 ± 0.07              | 1.20 ± 0.34  | 1.04 ± 0.40               | 0.76 ± 0.13  | 0.92 ± 0.41              |                 |
| 18:3 ( <i>n</i> -6)                   | nd           | nd                       | nd           | nd                        | nd           | nd                       |                 |
| 18:3 ( <i>n</i> -4)                   | nd           | nd                       | nd           | nd                        | nd           | nd                       |                 |
| 18:3 ( <i>n</i> -3)                   | 1.99 ± 0.51  | 1.82 ± 0.11              | 1.56 ± 0.29  | 1.63 ± 0.13               | 2.34 ± 0.08  | 2.22 ± 0.71              |                 |
| 18:4 ( <i>n</i> -3) SDA               | 2.69 ± 0.75  | 2.34 ± 0.29              | 1.88 ± 0.47  | 1.81 ± 0.42               | 4.16 ± 0.22  | 3.97 ± 1.57              |                 |
| 20:0                                  | 0.64 ± 0.17  | 0.37 ± 0.03              | 0.85 ± 0.05  | 0.77 ± 0.05               | 0.29 ± 0.02  | 0.35 ± 0.06              |                 |
| 20:1 ( <i>n</i> -11) + ( <i>n</i> -9) | 1.44 ± 0.68  | 1.42 ± 0.28              | 0.41 ± 0.17  | 1.34 ± 0.95               | 1.12 ± 0.19  | 0.90 ± 0.25              | 10.9            |
| 20:1 ( <i>n</i> -7)                   | 0.82 ± 0.18  | 1.72 ± 0.41              | 0.15 ± 0.05  | 0.22 ± 0.11               | 0.70 ± 0.13  | 0.53 ± 0.28              |                 |
| 20:2 ( <i>n</i> -6)                   | 0.32 ± 0.09  | 0.48 ± 0.19              | 0.51 ± 0.02  | 0.41 ± 0.02               | 0.53 ± 0.01  | 0.75 ± 0.02              |                 |
| 20:3 ( <i>n</i> -6)                   | 0.57 ± 0.21  | 0.66 ± 0.45              | 0.36 ± 0.07  | 0.58 ± 0.13               | 0.36 ± 0.09  | 0.28 ± 0.08              |                 |
| 20:4 ( <i>n</i> -6) ARA               | 6.54 ± 1.61  | 5.38 ± 0.29              | 8.60 ± 2.07  | 7.52 ± 2.60               | 4.61 ± 0.45  | 6.76 ± 2.19              |                 |
| 20:3 ( <i>n</i> -3)                   | nd           | nd                       | nd           | nd                        | nd           | nd                       |                 |
| 20:4 ( <i>n</i> -3)                   | 0.59 ± 0.08  | 0.28 ± 0.02              | 0.37 ± 0.02  | 0.28 ± 0.05               | 0.58 ± 0.05  | 0.71 ± 0.26              |                 |
| 20:5 ( <i>n</i> -3) EPA               | 9.83 ± 0.61  | 8.18 ± 0.28              | 5.60 ± 0.79  | 5.27 ± 0.65               | 10.68 ± 1.13 | 10.87 ± 0.74             | 10.1            |
| 22:1 ( <i>n</i> -11)                  | 0.28 ± 0.12  | 0.28 ± 0.07              | 0.24 ± 0.11  | 0.56 ± 0.09               | 0.24 ± 0.08  | 0.25 ± 0.09              | 11.9            |
| 21:5 ( <i>n</i> -3)                   | 0.32 ± 0.14  | 0.61 ± 0.04              | 0.11 ± 0.04  | nd                        | 0.37 ± 0.13  | 0.24 ± 0.05              |                 |
| 22:5 ( <i>n</i> -3)                   | 0.88 ± 0.44  | 0.63 ± 0.07              | 0.43 ± 0.01  | 0.53 ± 0.11               | 0.92 ± 0.15  | 1.92 ± 0.69              |                 |
| 22:6 ( <i>n</i> -3) DHA               | 5.72 ± 1.55  | 7.42 ± 0.50              | 3.77 ± 0.06  | 3.72 ± 0.15               | 8.27 ± 1.84  | 8.40 ± 2.18              | 15.4            |
| 24:1 ( <i>n</i> -9)                   | nd           | nd                       | nd           | nd                        | nd           | nd                       |                 |
| Lipids (% DW)                         | 1.67 ± 0.21  | 1.70 ± 0.25 <sup>b</sup> | 2.00 ± 0.05  | 2.68 ± 0.40 <sup>ab</sup> | 2.69 ± 0.17  | 3.13 ± 0.12 <sup>a</sup> |                 |

Table 2. *Cont.*

| Fatty Acid                     | July             |                                | September        |                               | November         |                               | FM <sup>1</sup> |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|
|                                | REF              | IMTA                           | REF              | IMTA                          | REF              | IMTA                          |                 |
| $\Sigma$ IFA                   | 88.36 $\pm$ 1.83 | 86.30 $\pm$ 1.56               | 86.35 $\pm$ 1.58 | 87.00 $\pm$ 1.19              | 87.74 $\pm$ 0.44 | 86.43 $\pm$ 2.31 n.s.         |                 |
| SFA                            | 33.17 $\pm$ 1.20 | 30.70 $\pm$ 1.44 <sup>a</sup>  | 33.74 $\pm$ 2.72 | 35.06 $\pm$ 2.72 <sup>a</sup> | 29.29 $\pm$ 1.54 | 26.76 $\pm$ 0.93 <sup>b</sup> |                 |
| MUFA                           | 18.41 $\pm$ 1.82 | 19.09 $\pm$ 1.30               | 19.83 $\pm$ 1.03 | 21.15 $\pm$ 1.32              | 18.46 $\pm$ 1.20 | 15.68 $\pm$ 0.18 n.s.         |                 |
| PUFA                           | 36.78 $\pm$ 3.01 | 36.50 $\pm$ 1.34 <sup>ab</sup> | 32.78 $\pm$ 5.32 | 30.79 $\pm$ 5.22 <sup>b</sup> | 40.00 $\pm$ 3.15 | 43.99 $\pm$ 2.2 <sup>a</sup>  |                 |
| <i>n</i> -3                    | 22.14 $\pm$ 0.76 | 20.97 $\pm$ 0.56 <sup>b</sup>  | 13.71 $\pm$ 1.56 | 13.41 $\pm$ 0.89 <sup>c</sup> | 27.46 $\pm$ 3.21 | 28.45 $\pm$ 0.7 <sup>a</sup>  |                 |
| <i>n</i> -6                    | 12.47 $\pm$ 3.33 | 10.78 $\pm$ 1.01               | 16.51 $\pm$ 3.16 | 14.25 $\pm$ 4.35              | 8.86 $\pm$ 0.62  | 11.07 $\pm$ 2.99 n.s.         |                 |
| <i>n</i> -6/ <i>n</i> -3 ratio | 0.57 $\pm$ 0.17  | 0.52 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>   | 1.19 $\pm$ 0.09  | 1.03 $\pm$ 0.28 <sup>a</sup>  | 0.34 $\pm$ 0.07  | 0.39 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>  |                 |
| EPA + DHA                      | 10.05 $\pm$ 0.49 | 8.58 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>   | 5.70 $\pm$ 0.75  | 5.27 $\pm$ 0.65 <sup>b</sup>  | 11.04 $\pm$ 1.25 | 11.11 $\pm$ 0.69 <sup>a</sup> |                 |

Data expressed as mean  $\pm$  standard error ( $n = 3$ ); Different letters in the same row (a, b and c) indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) for total lipids (% DW), total identified fatty acids ( $\Sigma$  IFA), saturated fatty acid (SFA), monounsaturated fatty acid (MUFA), polyunsaturated fatty acid (PUFA), *n*-3, *n*-6, *n*-6/*n*-3 ratio and eicosapentaenoic (EPA) + docosahexaenoic acid (DHA) between sampling months; n.s., not significant; nd, not detected; <sup>1</sup> Fatty acid composition (% FAME) of fish meal from herring (average values for capelin, mackerel and herring) [30].