

# MUSSELODLING SOM NÄRSALTSREDUCERANDE ÅTGÄRD I NORRA ÖSTERSJÖNS VATTENDISTRIKT

Delrapport 1 av LIFE IP Rich Waters delprojekt C14 Innovative mussel farming to reduce nutrients



## ECOPELAG

Delrapport 1 LIFE IP Rich Waters C14 Innovative mussel farming to reduce nutrients

Författare: Martin Karlsson och Martin Reutgard

Ecopelag 2019-12-30

Finansiärer:



Haninge  
kommun

Trosa  
KOMMUN



NACKA  
KOMMUN



NORRTÄLJE  
KOMMUN



Havs  
och Vatten  
myndigheten

## Sammanfattning

Projektet "Innovative mussel farming to reduce nutrients" ("Små musslor med stort värde") är ett samarbete med Nacka kommun, Haninge kommun, Norrtälje kommun samt Skärgårdsstiftelsen. Projektet utgör ett av 20 delprojekt inom LIFE IP Rich Waters där projektet går under namnet "C14: *Innovative mussel farming to reduce nutrients*". LIFE IP Rich Waters sträcker sig över 7,5 år (1 jan 2017 - 30 juni 2024) och har som övergripande målsättningen att öka takten på och effektivisera arbetet med åtgärdsprogrammet för Norra Östersjöns vattendistrikt. Rich Waters innefattar fem temaområden; övergödning från extern- respektive internbelastning, miljögifter, konnektivitet samt kommunal vattenplanering och är idag ett av Sveriges största miljöprojekt med sammanlagt 34 myndigheter, kommuner, företag, universitet och vattenvårdsförbund (Figur 1). Under projektets livslängd kommer en rad konkreta åtgärder att implementeras och ett antal handböcker, rapporter och riktlinjer publiceras för att underlätta vattenplanering och prioritering av åtgärder ([www.richwaters.se](http://www.richwaters.se)).

Tillsammans med ett komplementerande projektet i Trosa kommun har delprojektet placerat ut 28 st pilotodlingar i Norra Östersjöns vattendistrikt i syfte att utvärdera förutsättningarna för musselodling. Settling och tillväxt (skallängd och vikt) har utvärderats löpande på odlingarna som var utplacerade i fält uppåt tre år i fyra kommuner: Norrtälje, Nacka, Haninge och Trosa. Resultaten från odlingarna analyserades tillsammans miljövariabler (salthalt, temperatur, klorofyll, vågexponering) för att anpassa och validera en statistisk modell. Denna modell användes sedan för prediktering och framtagande av ett GIS-underlag som är tänkt att användas för exempelvis kommunal vattenplanering för att identifiera möjliga produktionsområden för mussla. Förutom att identifiera möjliga områden för musselodling så undersöktes även olika odlingssubstrat, odlingsdjup, närings- och köttinnehåll samt miljögiftsinnehåll.

Resultaten visar att nyazeeländska odlingsrep kan producera 1 - 2 kg mussla/m/år inom samtliga deltagande kommuner vilket kan jämföras med tidigare studier som visat att musselodling skulle kunna vara kostnadseffektivt redan vid 0,55 kg mussla/m/år respektive 0,66 kg mussla/m/år. Näringsinnehållet varierade från 0,56 - 1,01 g fosfor/kg skörd och halten kväve varierade från 6,41 till 11,38 g/kg. Miljögiftshalterna var genomgående låga och majoriteten av föreningarna var under detektionsgränserna vid alla de tre lokaler som testades. Halterna jämfördes med satta gränser för foder, gödsel och livsmedel och samtliga halter underskred respektive gränsvärde.

### *Nedsänkt odling*

Musslor odlas på olika sätt världen över vilket både underlättar skörd och bevarar naturligt förekommande bestånd av musslor. På de allra flesta platser används utrustning och odlingar anpassade och modifierade för de lokala förhållandena. Av de tidigare odlingsförsök som gjorts i Östersjön har flertalet haft problem med kraftig påverkan från is och isdrift (Karlsson, 2015; Lindahl, 2012). Av den anledningen valdes en nedsänkt metod. Två andra aspekter som motiverat utvecklandet av nedsänkta odlingar, framförallt i skärgårdsmiljö, är att de inskränker betydligt mindre estetiskt jämfört med ytnära odlingar samt att det inte hindrar fritidsbåtar att passera direkt över odlingarna. Efter konstruktion och lokal anpassning placerades odlingen ut i Jungfrufjärdens vattenförekomst (Haninge kommun) i maj 2017. Lokalen valdes bland annat utifrån de strömma förhållandena som råder på platsen vilka är positiva dels för att det ökar musslornas födotillgång och dels för att det minskar risken för en alltför hög punktbelastning av näring under odlingen.

Den nedsänkta prototypodlingen har under projektiden varit utsatt för två stycken isvintrar utan någon negativ påverkan. Settling har även bekräftats ner till ca 20 meters djup. Endel av odlingen skördades efter ca 26 månader under sommaren 2019 vilket resulterade i upp emot 5kg/m odlingsrep. Odlingen ligger i dagsläget kvar och de kvarvarande musslorna kommer användas som testunderlag i kommande avsättningsstudier. En uppskalning kommer även ska under fas 2 och 3 för att undersöka metodens effektivitet i större skala samt eventuell miljöpåverkan.

## Summary

"Innovative mussel farming to reduce nutrients" ("Små musslor med stort värde") is a collaboration project between Ecopelag with Nacka municipality, Haninge municipality, Norrtälje municipality and the Archipelago Foundation (Skärgårdsstiftelsen). The project is one of 20 sub-projects within LIFE IP Rich LIFE IP Rich Waters extends over 7.5 years (Jan 1, 2017 - June 30, 2024) and the overall goal is to increase the pace and effectiveness of the program for environmental measures in the Northern Baltic Water District. Rich Waters includes five thematic areas; eutrophication from external and internal loads, environmental toxins, connectivity and municipal water planning and is today one of Sweden's largest environmental projects with 34 partners representing authorities, municipalities, companies, universities and water conservation associations (Figure 1). During the life of the project, a number of concrete measures will be implemented and a number of manuals, reports and guidelines will be published to facilitate water planning and prioritization of measures ([www.richwaters.se](http://www.richwaters.se)).

Together with a complementary project in the municipality of Trosa, Ecopelags sub-project has deployed 28 pilot farms in the Northern Baltic's water district with the aim of evaluating the conditions for mussel cultivation. Settlement and growth (scale length and weight) have been evaluated continuously during three years in four municipalities: Norrtälje, Nacka, Haninge and Trosa. The results from the farms were analyzed together with environmental variables (salinity, temperature, chlorophyll, wave exposure) to adapt and validate a statistical model. This model was then used for predicting and developing a GIS layer that is intended to be used, for example, municipal water planning to identify possible mussel production areas. In addition to identifying possible areas for mussel cultivation, different cultivation substrates, depth of cultivation, nutritional and meat content and environmental toxin content were also investigated.

The results show that New Zealand cultivation ropes can produce 1 - 2 kg mussel / m / year in all participating municipalities, which can be compared with previous studies that have shown that mussel cultivation could be cost-effective already at 0.55-0.66 kg mussel / m / year. The nutrient content ranged from 0.56 - 1.01 g phosphorus / kg harvest and the nitrogen content varied from 6.41 to 11.38 g / kg. The pollutant levels were consistently low and the majority of the compounds were below the detection at all the tested farming locations. The levels were also compared with set limits for feed according to X, fertilizers according to X and foodstuffs according to X and all levels were below the respective limits.

### *Submerged farm*

Mussels are grown in different ways around the world which both facilitate harvesting and preserve naturally occurring populations of mussels. In most places, equipment and methods are adapted to local conditions. Of the previous cultivation attempts made in the Baltic Sea, the majority have had problems with negative impacts from ice and ice drift (Karlsson, 2015; Lindahl, 2012). For this reason, a submerged method was chosen for this part of the project.

Two other aspects that motivated the development of submerged farms, especially in the archipelago environment, are that they are significantly less aesthetic invasive compared to surface cultivations and that they do not prevent recreational boats from passing directly over the cultivations. After construction and local adaptation, the farm was deployed in Jungfrufjärden (Hanninge municipality) in May 2017. The location was chosen mainly based on the current conditions on the site which are positive since it increases the mussel's food supply and because it reduces the risk of a too high point load of nutrition during cultivation.

During the project period, the lowered prototype cultivation has been exposed to two ice winters without any negative impact. Settling has also been confirmed down to about 20 meters depth. Some of the mussels were harvested in the summer of 2019, which resulted in up to 5 kg / m cultivation rope. The farm is currently still in place and the remaining mussels will be used as test basis in future end-use-trials. Upscaling at the location will also take place during phases 2 and 3 to examine the effectiveness of the method on a larger scale as well as possible environmental impact.

## Table of Contents

|   |    |
|---|----|
| Sammanfattning .....  | 2  |
| 1. Inledning.....   | 7  |
| 2. Material och metod.....                                  | 9  |
| 2.1 Pilotodlingar – placering .....                         | 9  |
| 2.2 Pilotodlingar – substrat.....                           | 10 |
| 2.3 Odlingsdjup .....                                       | 12 |
| 2.4 Settling och konkurrens från andra arter.....           | 13 |
| 2.5 Skallängd .....   | 14 |
| 2.6 Skördevikt.....   | 15 |
| 2.7 Näringsinnehåll och torrsubstans .....                  | 16 |
| 2.8 Miljögiftsinnehåll .....                                | 17 |
| 2.9 Statistik .....   | 17 |
| 2.10 Modellering av förutsättningar för musselodling.....   | 18 |
| 3. Resultat.....  | 18 |
| 3.1 Settling och konkurrens från andra arter.....           | 19 |
| 3.2 Skallängd .....   | 20 |
| 3.3 Skördevikt.....   | 22 |
| 3.4 Samband mellan skallängd år 1 och skördevikt år 2 ..... | 25 |
| 3.5 Odlingssubstrat .....                                   | 25 |
| 3.6 Odlingsdjup .....                                       | 26 |
| 3.7 Näringsvärden och torrsubstans.....                     | 28 |
| 3.8 Miljögifter .....                                       | 29 |
| 4. Diskussion .....   | 30 |
| 4.1 Lokala förutsättningar .....                            | 30 |
| 4.1.1 Norrtälje kommun .....                                | 31 |
| 4.1.2 Nacka kommun .....                                    | 32 |
| 4.1.3 Haninge kommun.....                                   | 32 |
| 4.1.4 Trosa kommun .....                                    | 32 |
| 4.2 Predation och konkurrens från andra arter .....         | 33 |
| 4.3 Substrat.....   | 34 |
| 4.4 Djuputbredning - lämpligt djupintervall för odling..... | 35 |
| 4.5 Näringsinnehåll och köttinnehåll .....                  | 35 |
| 4.6 Miljögifter .....                                       | 37 |
| 4.7 Lärdomar.....   | 37 |
| 4.7.1 Löst sittande musslor .....                           | 37 |

|   |    |
|---|----|
| 4.7.2 Samband mellan skallängd och odlingspotential ..... | 37 |
| 4.7.3 Underdimensionering av pilotodlingar .....          | 38 |
| 5. Nedsänkt prototypodling.....                           | 39 |
| 5.1 Bakgrund.....   | 39 |
| 5.2 Odlingslokal .....                                    | 39 |
| 5.3 Utplacering.....                                      | 40 |
| 5.3 Resultat.....   | 42 |
| 6. Nästa steg - Fas 2 och 3.....                          | 42 |
| 6. Referenser .....                                       | 45 |
| Appendix 1. GIS-modell.....                               | 48 |
| A1.1 Norrtälje kommun.....                                | 48 |
| A1.2 Nacka kommun.....                                    | 49 |
| A1.3 Haninge kommun .....                                 | 50 |
| A1.4 Trosa kommun.....                                    | 51 |
| Appendix 2. Näringshalter .....                           | 52 |
| Appendix 3. Metadata, predation och täckningsgrad .....   | 53 |
| Appendix 4. Miljögifter .....                             | 55 |

## 1. Inledning

Östersjön har under det senaste århundradet förvandlats från att vara ett näringsfattigt inlandhav med klart vatten till att bli kraftigt övergödd med en förändrad artsammansättning, onaturliga algbloomningar och en utbredd bottendöd som följd (Reffar). Effektivare reningssystem, åtgärder inom jordbruket och nedlagda industrier har minskat tillförseln av näringsämnen till att idag motsvara 1950-talets nivå (ref Helcom). Trots detta visar mätningar att halterna av näringsämnen förblir höga, eller till och med ökar. HELCOMs rapport från 2018, "Implementation of the Baltic Sea Action Plan", visar exempelvis att 7 av 17 områden i Östersjön har försämrats, 8 är oförändrade och endast 2 har förbättrats sedan den förra mätningen (HELCOM, 2018). Även den senaste regionala övervakningen utmed Svealands kustvatten visar på ett försämrat tillstånd och konstaterar bland annat att fosforhalterna fortsätter öka i Stockholms norra, mellan- och ytterskärgård samt vidare söderut (Walve och Rolff, 2019). Orsaken tros till stor del vara utbredningen av syrefria bottnar vilka leder till ökad frisättning av näringsämnen från sediment som är belastade från decennier av övergödning (interngödning) (reff). Om dagens nivå av näringstillförsel består visar beräkningsmodeller att halterna fosfor och kväve inte kommer att förändras nämnvärt under de närmaste 200 åren (HELCOM, 2014).

Förutom övergödningens negativa påverkan på Östersjöns ekosystem så är det även angeläget att adressera det faktum att fosfor är en ändlig resurs som i mineralform är omgiven av ytterligare problematik såsom höga kadmiumhalter, energikrävande gruvdrift och det politiska läget i flera av produktionsländerna (Cordell, 2014). Inom forskarvärlden finns det idag konsensus kring att vi inom en överskådlig framtid kommer nå "peakfosfor" då efterfrågan överstiger produktionskapaciteten av mineralfosfor - något som riskerar få negativa konsekvenser för människor världen över då priset på fosfor skjuter i höjden (Cordell, 2018). För att sätta detta i ett svenskt perspektiv så hade enbart svenskt lantbruk 2011 en import av mineralfosfor i gödsel på ca: 10 000 ton (Linderholm & Mattsson, 2013). En annan betydande import av näring till länderna kring Östersjön är fiskmjöl som idag används som basingrediens i flertalet djurfoder. Detta fiskmjöl kommer i många fall från överfiskade bestånd som inte bara riskerar att påverka specifika arter utan kan även få konsekvenser för andra delar av ekosystemen (bifångster, minskad föda för predatorer, trålskador etc. (Engvall, 2012)

För att kunna övergå till en hållbar livsmedelsproduktion i framtiden som varken orsakar övergödning eller är beroende av ändlig fosfor är det nödvändigt att vi hittar sätt att återcirkulera näringen som läcker ut i Östersjön. För snart tio år sedan föreslog Gren et al. (2009) och Lindahl och Kollberg (2009) att musselodling kunde nyttjas som åtgärd mot övergödning i Östersjön. Principen för musselodling är enkel och går ut på att naturligt förekommande mussellarver fäster in till utplacerade odlingssubstrat. Där livnar de sig genom att filtrera vattnet på alger och organiska partiklar och lagrar in näringsämnen från sin föda under tillväxt. På så sätt kan musselodling minska närsaltsbelastning i Östersjön och skapa en grund för att återcirkulering av näring till land och därmed minska beroendet av ändligt fosfor. Flera studier har utförts av universitet och intresseorganisationer som visar att musslor är lämpliga för såväl gödsel som en rad olika typer av djurfoder. Försök visar exempelvis att musselbaserat foder fungerar väl för både röding, *Salvelinus alpinus* (Vidakovic et al. 2015) och regnbåge, *Oncorhynchus mykiss* (Árnason et al. 2015). Ett annat exempel är ekologisk produktion av värphöns där det idag är en utmaning att hitta lokala proteinkällor (oftast vegetabiliska) som innehåller rätt aminosyrasammansättning. Här visar bland annat Kolberg och Lindahl (2004) att musselbaserat foder är ett fullgott alternativ till fiskmjölbaserat foder (Jönsson 2009). Ytterligare ett alternativt som påtalats för just skärgården är att nyttja musslor som föda till fluglarver som sedan används till foder (Ellqvist 2017, Hernandez 2018). På detta sätt kan man lösa flera logistiska utmaningar inom produktionen av mussla. För det första kan



man minska den skördade volymen betydligt då steget via larver eliminerar stora delar av musslornas vatteninnehåll. För det andra kan man undgå behovet av kylning av musslorna vid transport då larverna kan tillgodose sig härsken biomassa. Ett annat förhållandevis enkelt sätt för återcirkulering är att nyttja musslorna inom jordbruket. På västkusten har bland annat Hushållningssällskapet i samarbete med Kristinebergs Marina Forskningsstation genomfört fältförsök för att utvärdera musslor som gödning och kalkningsmedel (Olrog och Christensson 2003). Förutom ett visst luktproblem, som kan minskas med kompostering, så tyder resultaten från studien att musslorna har en god effekt på grödorna och de involverade lantbrukarna var positiva till att fortsätta använda musslorna i sin odling.

En annan potentiell fördel som ofta förs fram är att musselodling skulle kunna ge positiva socioekonomiska effekter, framfällt genom att bidra till ökad sysselsättning i glesbygd. En utvecklad musselproduktion skulle exempelvis kunna skapa kompletterande arbetstillfällen hos lokala yrkesfiskare men också underlätta ägarskiftet och nyrekrytering genom möjlighet till en utökad verksamhet och långsiktig lönsamhet. Dessutom, beroende på vilket avsättning man väljer, kan ett antal andra branscher/yrkeskategorier aktiveras.

Den långsiktiga målsättningen med att utveckla musselodling i Östersjön illustreras i Figur 1 och kan sammanfattas som att genom skörd och effektiv avsättning kan musselodling bidra till att återföra näringsämnen från hav till land och samtidigt omvandla ett miljöproblem till en hållbar jobbskapande naturresurs.

#### Illustration

*Figur 1. Principen för musselodling är enkel och går ut på att naturligt förekommande mussellarver fäster in till utplacerade odlingssubstrat. Där livnar de sig genom att filtrera vattnet på alger och organiska partiklar och lagrar in näringsämnen från sin föda under tillväxt. Genom odling, skörd och effektiv avsättning kan blåmusslan alltså hjälpa till att återföra näringsämnen från hav till land och samtidigt omvandla miljöproblem till en hållbar jobbskapande naturresurs.*

En grundförutsättning för att musselodling ska kunna utvecklas inom Norra Östersjöns vattendistrikt (NÖVD) är emellertid att det finns kunskap om lokala förutsättningar. Tidigare studier både norr och söder om NÖVD har visat att det finns potential för närsaltsreduktion med hjälp av musselodling (Lindahl, 2008; Ek Henning & Åslund, 2012, Minnhagen, 2017). Resultaten från dessa studier är emellertid inte direkt överförbara till kustvattenförekomsterna inom NÖVD eftersom de lokala förutsättningarna varierar kraftigt på grund av ett flertal faktorer som t.ex. salthalt, födotillgång, vågexponering och predationstryck (Diaz och Kraufvelin 2013, Kautsky 1982, Lappalainen et al. 2005, Westerbom et al. 2002, Westerbom och Jattu 2006, Öst och Kilpi 1998). En studie som tydligt visar detta är "Pilotmusselodlingar i Östergötlands skärgård" som visar att odlingspotentialen kan variera hundrafalt inom ett och samma län (Ek Henning & Åslund, 2012).

Då ingen tidigare studie undersökt förutsättningarna i NÖVD var det första huvudsakliga syftet för Fas 1 (2017-2019) att med hjälp av små pilotodlingar utvärdera de regionala förutsättningarna inom vattendistriktets kustvattenförekomster. Förutom att identifiera möjliga områden för musselodling så adresserades även två andra aktuella frågeställningar:

- Närings- och köttinnehåll. Musslornas näringsinnehåll/köttinnehåll undersöktes för att utvärdera näringsupptag. Eftersom näringsinnehåll/köttinnehåll varierar över året provtogs detta vid ett flertal tillfällen för att utvärdera när odlingarna bör skördas för att optimera näringsupptag.

- Miljögiftsinnehåll - Om de odlade musslorna ska användas som livsmedel, djurfoder, gödningsmedel och/eller jordförbättringsmedel måste halterna av olika föroreningar ligga under fastställda riktlinjer och gränsvärden. Ett antal metaller och organiska ämnen (PCB, dioxiner och PAH) analyserades därför i musslor från olika delar av vattendistriktet.

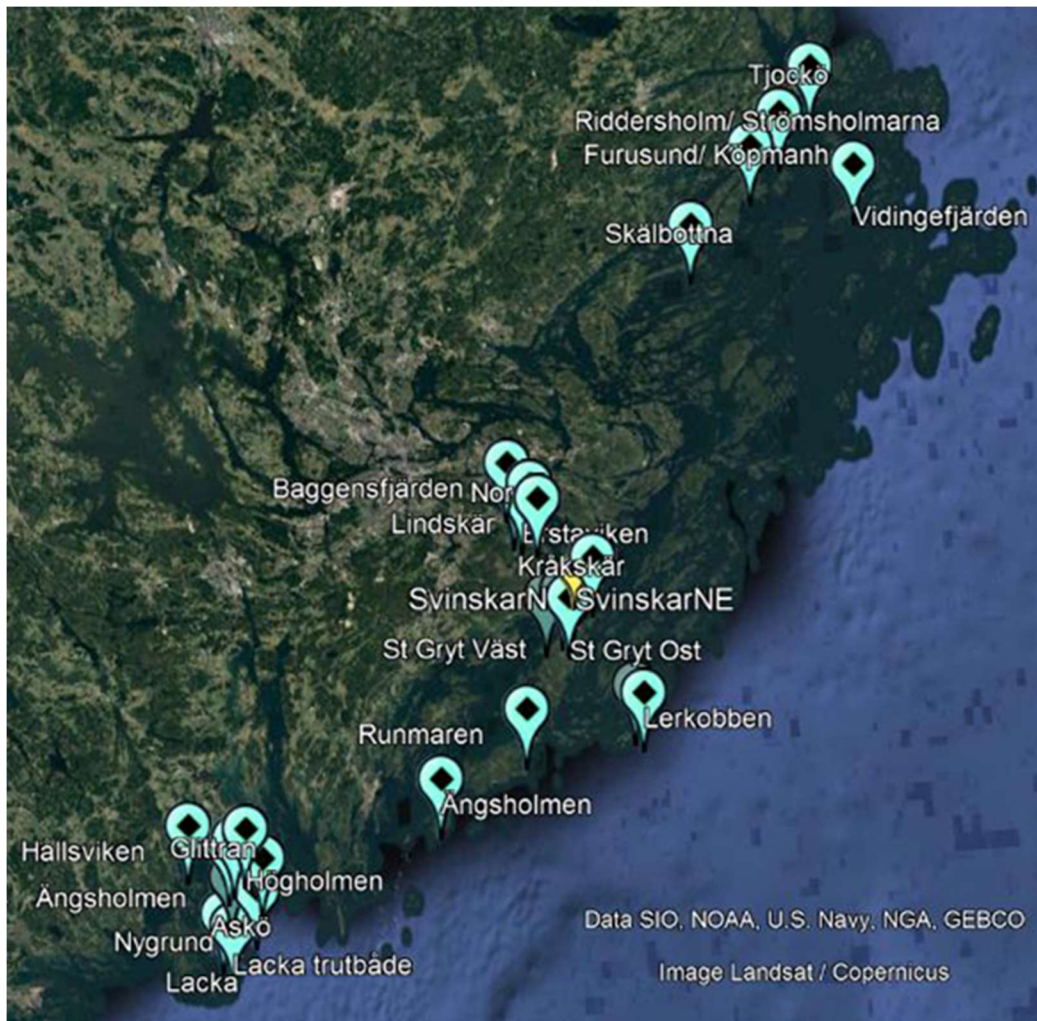
Resultaten från pilotodlingarna analyserades tillsammans miljövariabler (salthalt, temperatur, klorofyll, vågexponering) för att anpassa och validera en statistik model. Denna model användes sedan för prediktering och framtagande av ett GIS-underlag som kan användas inom kommunal vattenplanering för att identifiera lämpliga produktionsområden av mussla.

Det andra huvudsakliga syftet för fas 1 har varit att utveckla och utvärdera teknik och material för musselodling. Tidigare odlingsprojekt har bland annat upplevt problem med is och isdrift. Under 2009 till 2012 finansierade stiftelsen Baltic 2020 en undersökning av förutsättningarna för musselodling utmed den svenska ostkusten (Lindahl 2012). Projektet drabbades av förhållandevis kalla vintrar med tjock is och kraftig isdrift vilket ledde till att de ytbaserade odlingarna totalförstördes. Slutsatsen i projekten vara att odlingstekniken kräver vidareutveckling och anpassning så att de kan klara den tjocka is och isdrift som förekommer i Östersjön. Inom detta projekt adresserar vi problemet genom att testa, anpassa och vidareutveckla en odlingsteknik som är nedsänkt och utvecklat för off-shore odling i atlanten utanför Massachussetts kust (USA). Tidigare studier har även visat att musslors förmåga att fästa in och tillväxa kan skilja sig kraftigt mellan olika odlingssubstrat. Inom projektet utvärderades därför flera typer av odlingssubstrat för att maximera infästning och därmed också odlingspotential. Eftersom musslors tillväxt är starkt kopplat till djup utfomades även en del pilotodlingar för att utvärdera potentiellt odlingsdjup inom vattendistriktet. Resultat, erfarenheter och lärdommar av denna odlingsteknik redovisas separat under avsnitt 5 Nedsänkt prototypodling.

## **2. Material och metod**

### **2.1 Pilotodlingar – placering**

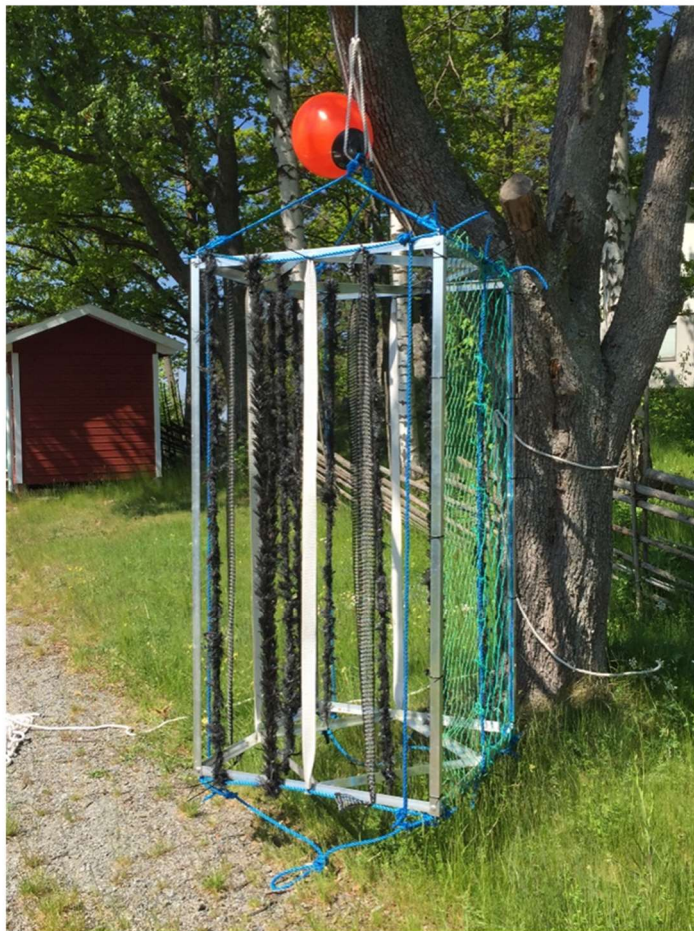
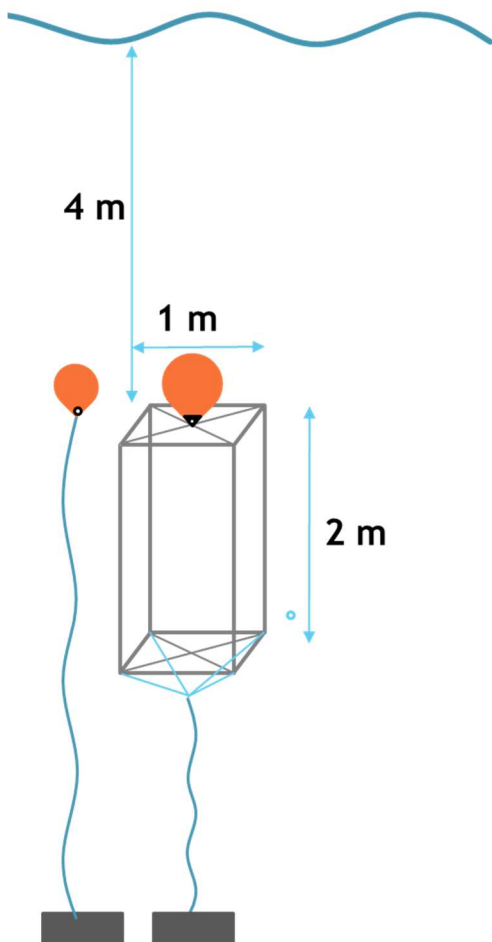
Förutsättningarna för musselodling i Norra Östersjöns vattendistrikt undersöktes med hjälp av 28 st pilotodlingar längs kusten i de deltagande kommunerna Norrtälje, Nacka, Haninge och Trosa. Lokalerna valdes utifrån en geografisk fördelning som förenklat sett representerar en nord-sydlig transekt från Tjockö i norr (Norrtälje) till Lacka i söder (Trosa), och en transekt från Baggensfjärden i Nackas innerskärgård till Huvudskär i Haninges ytterskärgård. Lokalerna har valts för att representera ett brett spektra av de olika förhållanden som förekommer inom vattendistriktet, framförallt gällande salthalt, näringshalt (klorofyll), temperatur och exponeringsgrad (Figur 1).



Figur 1. Översiktskarta över projektets pilotodlingar. Kartunderlag från Google Earth.

## 2.2 Pilotodlingar – substrat

Två typer av pilotodlingar har placerats ut - en så kallad buroodling och en så kallad djupodling (Figur 2). Burodlingen bestod av ett ramverk av aluminiumprofiler (1 x 1 x 2 meter) varvid olika odlingssubstrat fästes in.



Figur 2. Principskisser av djupodling (tv) och buroddling (th) samt foto av en buroddling med samtliga sju odlingssubstrat.

Totalt har sju olika substrattyper utvärderats för att bedöma skördeväkt (Tabell 1). Substraten som har utvärderats är blårep (PP-lina mm), odlingsband, odlingsstrumpa, extra weighted christmas tree (CTW), super christmas tree unweighted (CTUW) samt trålnät med en maskstorlek på 5x5cm respektive 10x10cm. Buroddlingarna förseddes med tre replikat av varje odlingssubstrat för att möjliggöra repetativ mätning över hela projektperioden. Buroddlingarna placerades så att djupet vid odlingens mittpunkt var ca 5 meter vilket således innebär att burens övre kant och nedre kant var placerad på 4 meter, respektive 6 meter.

Tabell 1. Beskrivning av de sju odlingssubstrat som utvärderas inom projektet.

| <b>Benämning</b>                         | <b>Typ</b>                    | <b>Material</b> | <b>Dimensioner</b>                        |
|--|-------------------------------|-----------------|---|
| Blårep                                   | Rep                           | Polypropen      | Diameter 8mm                              |
| Band                                     | Danskt odlingssubstrat        | Polyeten        | Bredd 40 mm                               |
| Strumpa                                  | Danskt odlingssubstrat        | Polyeten        | Maskstorlek 10x10mm                       |
| CTUW (Super Christmas Tree Rope)         | Nyazeeländskt odlingssubstrat | Polypropen      | Diameter 14 mm                            |
| CTW (Extra Weighted Christmas Tree Rope) | Nyazeeländskt odlingssubstrat | Polypropen      | Diameter 14 mm                            |
| Nät 5x5cm                                | Trålnät Euroline              | Polyeten        | Maskstorlek 50x50mm - trådtjocklek 2,5 mm |
| Nät10x10cm                               | Trålnät Polyethylen           | Polyeten        | Maskstorlek 100x100mm - trådtjocklek 4 mm |

### 2.3 Odlingsdjup

För att undersöka lämpligt odlingsdjup i vattendistriktet så placerades sju stycken djupodlingar ut under projektets första fas. Dessa djupodlingar bestod av det nyazeeländska odlingssubstratet CTUW (Super Christmas Tree Rope) och hade substrat från botten upp till ca 4 meters djup (Figur 2). Odlingarna provtogs vid upptag efter två odlingssäsonger. Proverna klipptes i meterlånga sektioner som sedan vägdes och med hjälp av ekolodsdata kunde djupet bestämmas för respektive provsektion (Figur 3).

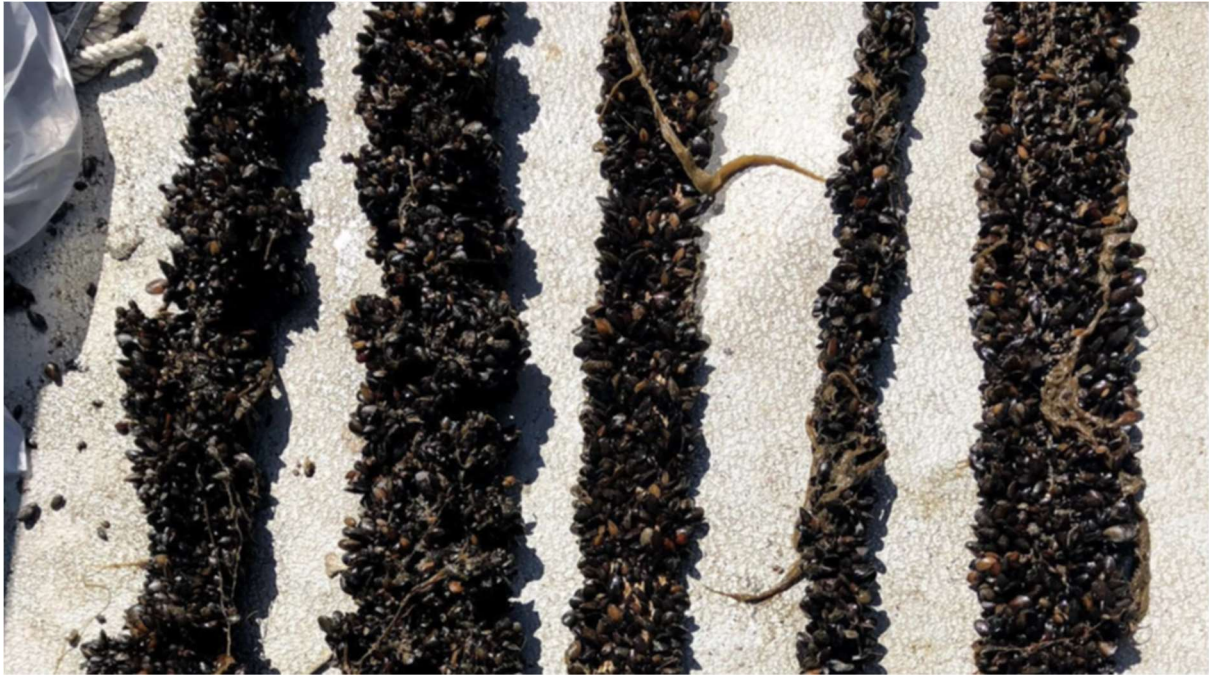


*Figur 3. provtagning av djupodling vid Lacka, Trosa kommun.*

#### 2.4 Settling och konkurrens från andra arter

Settlingen bedömdes efter en tillväxtsäsong genom att visuellt uppskatta täckningsgraden av blåmussla på odlingssubstraten. Täckningsgraden delades in i en femgradig skala där 1 var lägst

(ca 0-20 procent) och 5 högst (ca 80-100 procent). Även förekomst av andra potentiellt sett konkurrerande arter noterades, framförallt hjärtmussla (*Cerastoderma glaucum*), havstulpan (*Balanus improvisus*), tångbark (*Electra crustulenta*) och fintrådiga alger (ex. *Cladophora glomerata*).



Figur 4. Provbitar av olika substrat för jämförelse av skördevikt vid Rågholmen, Haninge kommun. Substrat från höger till vänster: CTUW, CTW, band, blårep och odlingsstrumpa

## 2.5 Skallängd

För att uppskatta tillväxten för säsong 1 sorterades 20 av de längsta individerna ut från en 10 cm lång provbit av det två meter långa odlingssubstratet. Längden mättes med ett skjutmått med en noggrannhet på  $\pm 0,03$  mm (Figur 5). För säsong 2 och 3 togs ett slumpvis utvalt prov innehållandes  $81 \pm 29$  musslor (medel  $\pm$  standardavvikelse).



*Figur 5. Mätning av skallängd.*

## 2.6 Skördevikt

Musselvikten på buroodlingarna bestämdes genom att väga och mäta ett replikat av respektive odlingssubstrat vid tre tillfällen: maj 2018, november 2018 samt april 2019. Vågens noggrannhet var +/- 10 gram. Från näten klipptes ett ca 600 – 900 cm<sup>2</sup> prov ut vars totala längd och vikt mättes. Även täckningsgraden (1-5) bedömdes visuellt för alla substrat vid samtliga provtagningar. Utöver denna provtagning genomfördes även en extramätning som endast innehöll Nya Zeeländska odlingsrep i april 2018 vid Nackas fem stationer samt vid två av Haninges stationer (Genböte och Rågholmen). Materialvikten för respektive substrat, som sedan subtraherades från provvikten, bestämdes för provbitar som blötlagts i en vecka.





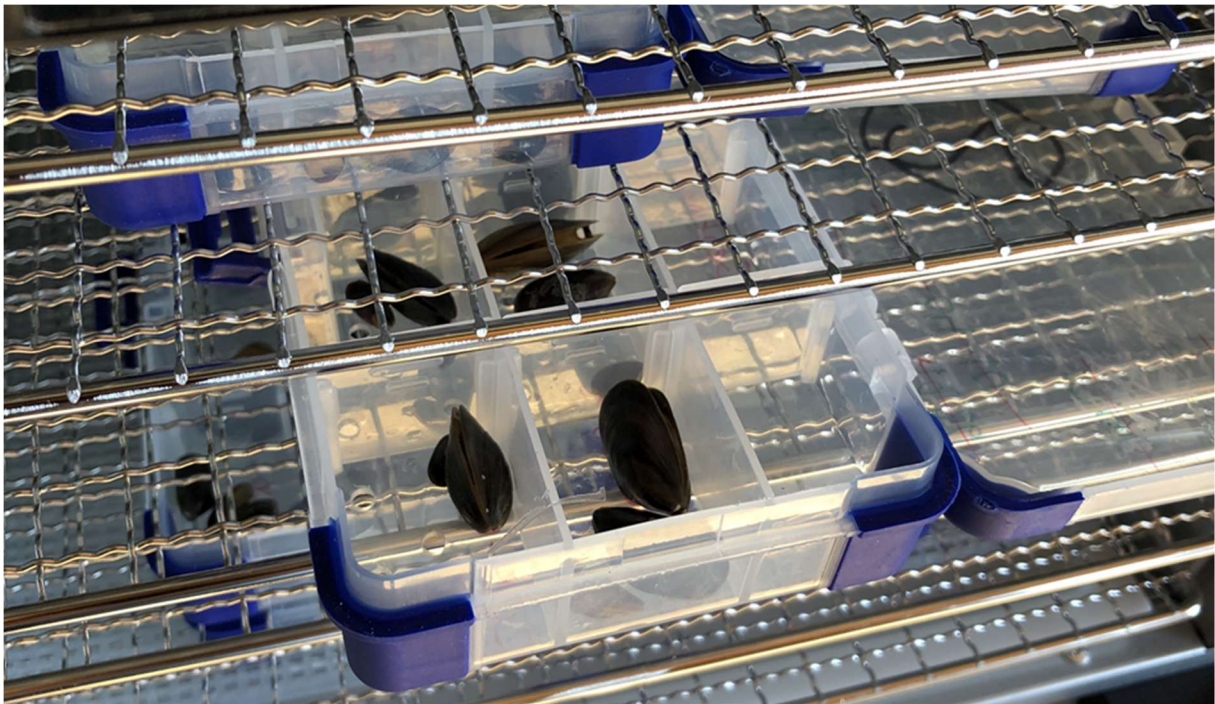
*Figur 6. Vägning av en provbit från burodlingen i Riddersholms naturreservat, Norrtälje kommun.*

## 2.7 Näringsinnehåll och torrsubstans

Under projektets gång har prover kontinuerligt samlats in för mätning av kväve- och fosforhalter. Proverna har hållits frysta i  $-20^{\circ}\text{C}$  sedan insamlingstillfälle och under våren 2019 skickades de in för analys. Sammanlagt analyserades 30 prover som var tagna från 9nio olika stationer, vid fyra olika tillfällen: 22-24-maj 2018 ( $n = 9$ ), 13-27 september ( $n = 3$ ), 5-9 november 2018 ( $n = 9$ ) och 16-25 april 2019 ( $n = 9$ ). Musslorna analyserades enligt standardiserade metoder där kväveanalyserna utfördes av Institutionen för husdjurens utfodring och vård vid Sveriges Lantbruksuniversitet (Nordic Committee on Food Analysis 1976, Instrument: 2520 Digestor, Kjeltec 8400 Analyser unit and 8460 sampler unit) och fosforanalyserna av Agrilab (Bahlsberg-Pålsson 1990, Instrument: SPECTRO BLUE, Model: FMS26). Torrsubstans bestämdes efter torkning i  $103^{\circ}\text{C}$  i 16 timmar. Aska bestämdes efter varmugn  $550^{\circ}\text{C}$  i 3 timmar. Proverna fick svalna i exsickator innan vägning.

För att resultaten skulle kunna kopplas direkt till "rå" skördevikt så vägdes och analyserades hela innehållet i respektive prov, det vill säga inklusive fritt vatten på och i musslorna samt eventuell påväxt. Provernas andel påväxt av andra arter bedömdes emellertid vara mycket liten och i det närmaste obetydlig i sammanhanget (<1 %).

Som komplement till analyserna av näringsinnehåll genomfördes analyser av musslornas vikt i förhållande till längd som proxy för köttinnehåll. Dessa prover togs från två stationer i Haninge kommun, Genböte och Rågholmen. Prover samlades in vid fem tillfällen (10 april 2018, 24 maj 2018, 27-28 september 2018, 9 november 2018 samt 25 april 2019) under projektets första fas bestående av 12 st musslor i ett storleksintervall mellan ca 4-25 mm per station och tillfälle (120 musslor totalt). De insamlade musslornas längd mättes och de placerades sedan i torkugn i 48 timmar vid 60 grader varefter de vägdes för att beräkna och avgöra om förhållandet mellan skallängd och vikt (kötthalten) varierade mellan olika delar av året.



*Figur 7. Bestämning av musslors torrsubstans (köttinnehåll) vid olika tidpunkter på året.*

## 2.8 Miljögiftsinnehåll

Tre lokaler som uppvisat hög skördevikt valdes ut för miljögiftanalyser i slutet av fas 1 – en lokal för respektive deltagande kommun. Lokalerna som valdes ut var: Riddersholm (Norrtälje kommun), Torskholmsgrynnan (Nacka kommun) samt Tillögorna (Haninge kommun). Cirka 500-1000g osorterande musslor samlades in mellan den 16 – 23 april 2019 från respektive station och placerades i en isfylld kylväska för transport till frys (-20°C) för vidare förvaring fram till analystillfället. Analyserna utfördes av ALS Scandinavia AB enligt standardiserade metoder med detektionsgränser anpassades för att möjliggöra jämförelser med satta gränsvärden för foder, gödsel och livsmedel. Skal och kött analyserades tillsammans och totalt undersöktes halterna av 113 grundämnen och organiska föreningar enligt följande fördelning 14 grundämnen, 16 polyaromatiska kolväten (PAH), 19 polyklorerade bifenylter (PCB), 17 dioxiner och furaner, 10 tennorganiska föreningar, 22 klorerade pesticider samt 15 bromerade flamskyddsmedel (PBDE).

## 2.9 Statistik

Skallängd analyserades med Kruskal-Wallis följt av parvis jämförelse enligt Dunn's test (Dinno 2017). P-värdena korrigerades enligt Benjamini-Hochbergs method. För jämförelser av skallängd efter 2 och 3 säsonger inkluderades endast de 25 procent längsta individerna för att inte nysettlade små musslor skulle påverka utfallet. Så kallade linear mixed models användes för att analysera huruvida skördevikten påverkades av predation, antal tillväxtsåonger, station och odlingssubstrat. Interceptet för olika stationer sattes som slumpmässig faktor (1|Station) vid analys av skördevikt för de olika odlingssubstraten. Interceptet för olika odlingssubstrat sattes som slumpmässig faktor (1|Odlingssubstrat) vid analys av skördevikt på de olika stationerna. Linear mixed models användes även för att analysera kött halt och eventuella skillnader mellan olika provtagningstillfällen. Skallängd och vikt (torrsubstans) logtransformerades och odlingssubstrat (1|Odlingssubstrat) sattes som slumpmässig faktor. All statistik beräknades i statistikprogrammet R (R Core Team 2019). Paketet *lme4* användes för linear mixed models (Bates et al. 2015) och för efterföljande parvisa jämförelser mellan stationer respektive odlingssubstrat användes "Least square means" enligt Russell (2016).

## 2.10 Modellering av förutsättningar för musselodling

För att åskådliggöra resultaten och för att skapa ett användbart kartunderlag för exempelvis kommunal vattenplanering genomfördes en modellering av datan från denna studie. Syftet var att skapa ett GIS-skikt som på ett visat förutsättningarna för musselodling i de deltagande kommunernas samtliga 71 kustvattenförekomster.

I steg ett av modelleringen anpassades en statistik modell med relevanta miljövariabler som till så hög grad som möjligt förklarar skallängd efter en tillväxtsåong respektive skördevikt efter två tillväxtsåonger. Som förklarande variabler hämtades data från tre olika källor. För det första hämtades data över vattentemperatur, salthalt, näringshalter, klorofyll, syrgas och siktdjup för respektive kustvattenförekomst från SMHIs kustzonmodell (Sahlberg, 2009). För respektive kustvattenförekomst beräknades ett årligt medelvärde (juli-juni) för ytvattnet (0-10 meter), dels för enskilda projektår och dels ett medel över samtliga år från och med 2004 som sedan användes i prediktionen (se nedan). För det andra så inhämtades data från Svealands kustvattenvårdsförbunds regionala miljöövervakningsprogram innehållandes medianvärdet för juli-augusti mellan åren 2012-2017 för ytvatten (Svealands kust vattenvårdsprogram 2019). Utöver denna data extraherades även värden över vågexponering (simplified wave model) för respektive lokal (Isaeus 2004, Naturvårdsverket 2006). Vågexponering logtransformerades innan analys. Miljövariablerna kontrollerades för hög kolinjäritet (Pearsons korrelations koefficient > 0,7) för att undvika problem i modelanpassningen.

Eftersom modellen ska användas för prediktion är det viktigt att modellen utvärderas mot datapunkter som inte använts för att anpassa själva modellen. För skallängd anpassades en multipel linjär regression som sedan utvärderades med *k*-delad korsvalidering där *k* sattes till 5. Den modell som uppvisade bäst prediktiv förmåga (lägst MSE) användes sedan för att prediktera skallängd i de deltagande kommunernas kustvattenförekomster.

För skördevikt efter två tillväxtsåonger anpassades en linjär mixed model där odlingssubstrat sattes som slumpmässig variabel. Modellerna för skördevikt utvärderades med en repeterad slumpmässig sub-samlingsvalidering. Datan delades in i ett träningsdataset i vilket prover från en lokal plockades bort och användes som testdataset. Beräkningarna repeterades en gång per station varpå ett medel RMSE beräknades som sedan användes för att välja den bästa modellen för prediktion av skördevikt.

## 3. Resultat

### 3.1 Settling och konkurrens från andra arter

Settlingen av mussla varierade kraftigt mellan olika stationer, från 1 till 5 på den femgradiga skalan (Tabell 1). Settlingen var mycket låg på 4 av 5 testodlingar i Norrtälje kommun, endast Vidingefjärden uppvisade en högre täckningsgrad än 1 efter första sommaren och bedömdes till 3. I Norrtälje uppvisade endast Själbottna en uppenbar konkurrens från andra arter, här bedömdes hjärtmussla (*Cerastoderma glaucum*) vara den dominerande arten.

I Nacka kommun var täckningsgraden högre, mellan 2 till 4. Hjärtmussla återfanns i noterbar mängd på samtliga stationer som provtogs i Nacka efter första säsongen. Emellertid var det bara Lindskär som bedömdes vara dominerad av hjärtmussla. I Baggensfjärden noterades förutom hjärtmussla även flera andra potentiellt sett konkurrerande arter, framförallt havstulpan (*Balanus improvisus*), tångbark (*Electra crustulenta*), och fintrådiga alger (ex. *Cladophora glomerata*).

I Haninge kommun provtogs åtta stationer efter en tillväxtsäsong och täckningen varierade från 2 vid Kråkskär upp till 5 vid Rågholmen och Tillögorna. Tre stationer bedömdes vara dominerade av hjärtmussla (Gryt ost, Kråkskär samt Runmaren) men efter två tillväxtsäsonger var täckningsgraden av mussla nästan 100 procentig (4-5 av 5) (Appendix 3, Tabell 1).

Inga andra arter återfanns som bedömdes utgöra en betydande konkurrens för musslorna.

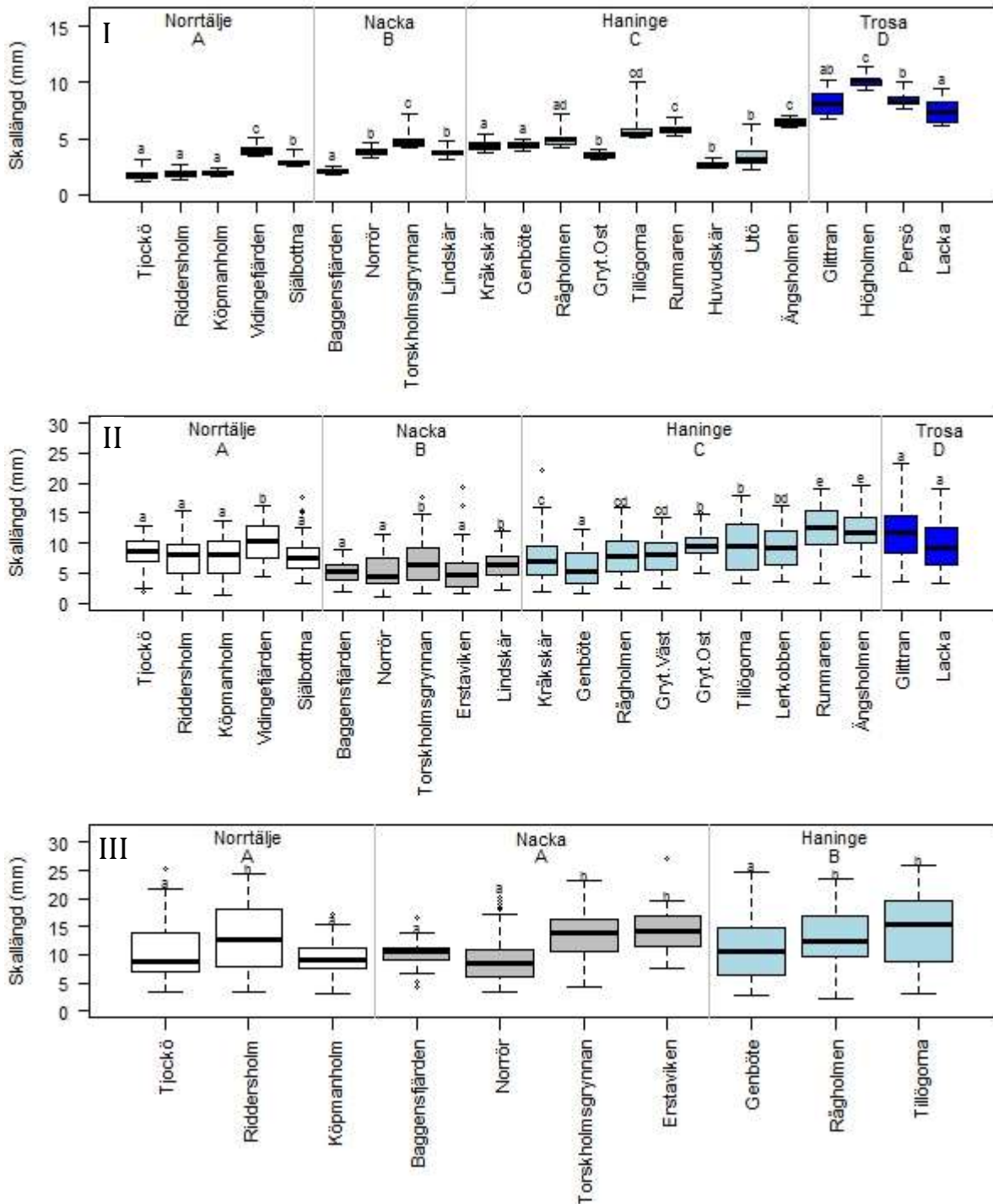
I Trosa kommun provtogs fyra stationer efter en säsong och samtliga stationer uppvisade full täckningsgrad (5) och konkurrensen från andra arter bedöms följaktligen som obetydlig på samtliga stationer.

Tabell 2. Settling (täckningsgrad 1-5) och konkurrens från andra arter efter en tillväxtsång.

| Kommun    | Station        | Täckning (1-5) | Konkurrens  | Sjunkit |
|-----------|----------------|----------------|---|---------|
| Norrtälje | Köpmanholm     | 1              | Obetydlig   | Nej     |
|           | Riddersholm    | 1              | Obetydlig   | Ja      |
|           | Själbottna     | 1              | Hjärtmussla (dom)                                   | Nej     |
|           | Tjockö         | 1              | Obetydlig   | Nej     |
|           | Vidingefjärden | 3              | Obetydlig   | Nej     |
| Nacka     | Baggensfjärden | 2              | Havstulpan, tångbark, hjärtmussla, fintrådiga alger | Nej     |
|           | Lindskär       | 2              | Hjärtmussla (dom)                                   | Nej     |
|           | Norrör         | 3              | Hjärtmussla   | Nej     |
|           | Torskholmsgr.  | 4              | Hjärtmussla   | Nej     |
| Haninge   | Genböte        | 4              | Hjärtmussla   | Ja      |
|           | Gryt Ost       | 3              | Hjärtmussla (dom)                                   | Nej     |
|           | Huvudskär      | 2              | Obetydlig   | Ja      |
|           | Kråskär        | 2              | Hjärtmussla (dom)                                   | Nej     |
|           | Runmaren       | 3              | Hjärtmussla (dom)                                   | Nej     |
|           | Rågholmen      | 5              | Obetydlig   | Nej     |
|           | Tillögorna     | 5              | Obetydlig   | Ja      |
|           | Ängsholmen     | 4              | Hjärtmussla   | Nej     |
| Trosa     | Glittran       | 5              | Obetydlig   | Nej     |
|           | Högholmen      | 5              | Obetydlig   | Nej     |
|           | Lacka          | 5              | Obetydlig   | Nej     |
|           | Persö          | 5              | Obetydlig   | Nej     |

### 3.2 Skallängd

Musslornas medianlängd var 4,2 mm (1,2 - 11,4 mm) efter ett år, 7,8 mm (1,1 - 23,2) efter två år och 11,1 (2,3-27,2) mm efter tre år (Figur 11). Efter tillväxtsång 1 kunde ett mönster skönjas med ökande storlek kommunvis från norr till söder och från väst till ost med minst musslor i Norrtälje (median: 2,2 mm ), följt av Nacka (median: 3,8 mm ) , Haninge (median: 4,6 mm ) och störst musslor observerades i Trosa (median: 8,5 mm). Under säsong 2 såg mönstret liknande ut men stationerna i Norrtälje hade emellertid vuxit ikapp och passerat skallängden i Nacka (median: 8,1 vs median: 5,6). Kommunvisa skillnader i skallängd kunde stärkas statistiskt mellan samtliga kommuner efter en och två tillväxtsångar ( $p < 0,05$ , Kruskal-Wallis parvis jämförelse). Under tillväxtsång 3 hade skillnaderna mellan Nacka och Norrtälje emellertid jämnats ut och ingen signifikant skillnad gick längre att påvisa. Den längsta musslan som påträffades efter tre tillväxtsångar mätte 27,2 mm.

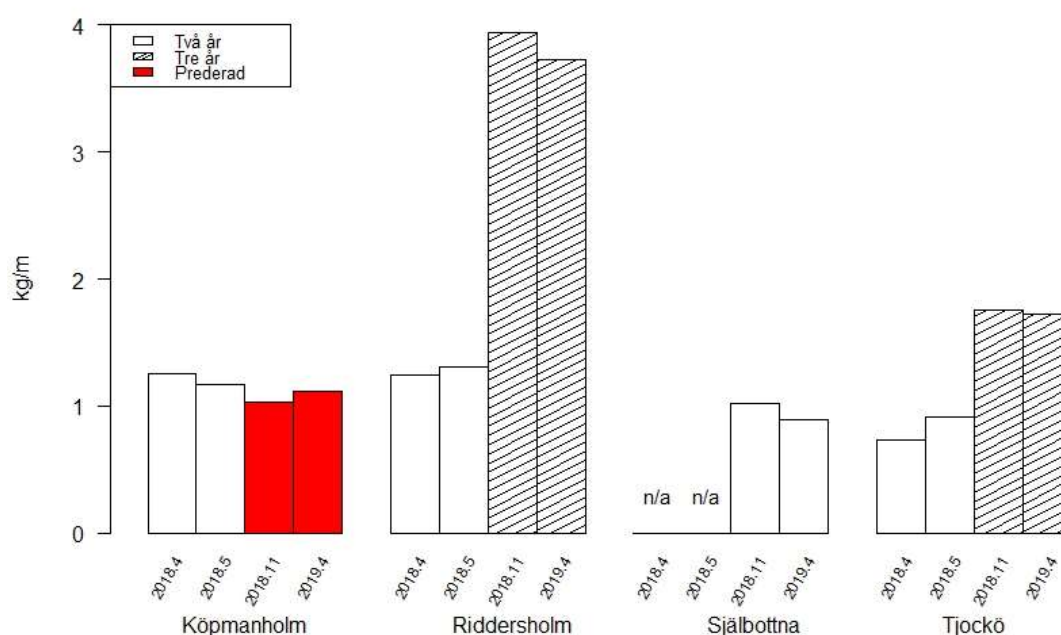


Figur 8. Skallängd (mm) efter en (I), två (II) respektive tre (III) tillväxtsåsonger. "Boxarna" representerar data mellan 25:e och 75:e percentilen (d.v.s. 50% av värdena) och den kraftiga svarta linjen i "boxarna" representerar medianvärdet. Olika versaler under kommunnamnen indikerar statistiskt fastställda skillnader mellan olika kommuner, och olika gemener ovan "boxarna" indikerar statistiskt fastställda skillnader mellan olika stationer inom respektive kommun ( $p < 0.05$ ). Stationer som saknas i diagrammen för tillväxtsång 1 och 2 har av en eller annan anledning inte provtagits (väder, sjunkit, predation etc.). I diagrammet för tillväxtsång 3 beror avsaknaden av data på att vissastationer endast låg ute under två tillväxtsåsonger.

Inom respektive kommun så är det stationerna Vidingefjärden (median 3.9 mm) i Norrtälje, Torskholsgrynnan (median 4.6 mm) i Nacka, Tillögorna (median 5.5 mm) i Haninge respektive Högholmen (median 10.1 mm) i Trosa kommun som uppvisade längst skallängd (Figur 8).

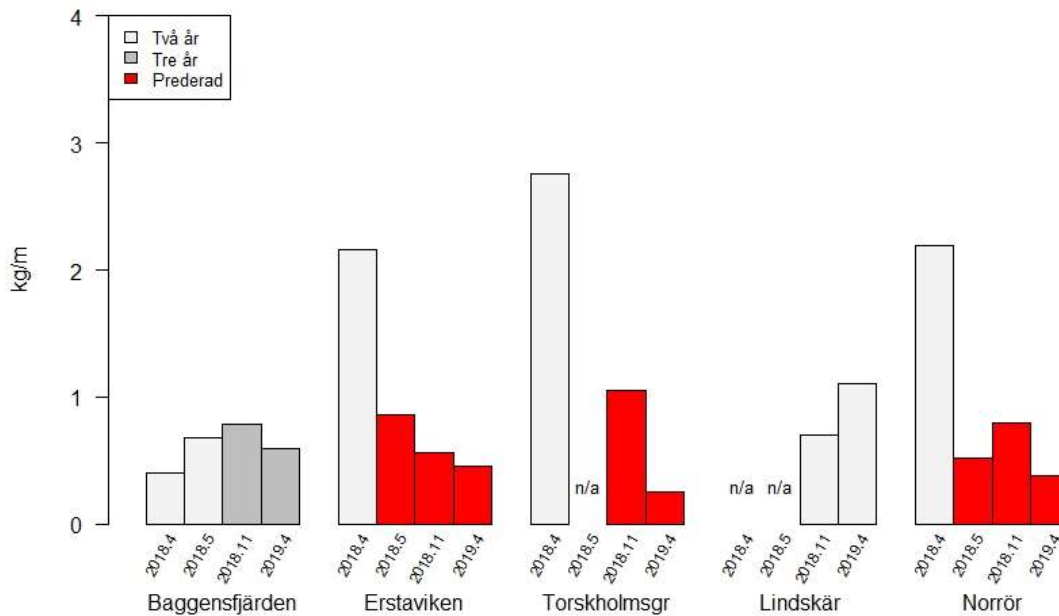
### 3.3 Skördevikt

Initialt gjordes en övergripande statistisk analys för att utvärdera huruvida station, odlingssubstrat, antal tillväxtssäsonger och/eller förekomst av predation påverkar skördevikt. Samtliga av faktorer visade sig vara starkt signifikanta ( $p < 0,001$ ). Nedan redovisas skördevikten för CTW och CTUW som är de substrat som producerade mest av de utvärderade odlingsrepen.



Figur 9. Skördevikt vid de fyra burodlingarna i Norrtälje kommun. Vikterna är ett medel för CTW och CTUW och är angivna för fyra olika provtillfällen mellan april 2018 (2018.4) och april 2019 (2019.4). Röda staplar indikerar predation och n/a indikerar att stationen ej provtagits vid detta tillfälle.

Efter två tillväxtssäsonger hade samtliga stationer i Norrtälje kommun en förhållandevis låg skördevikt i jämförelse med de andra kommunerna - kring 1 kg/m substrat (Figur 9). Skördevikten var förhållandevis låg även efter tre säsonger vid Köpmanholm (1,2 kg/m) och Tjockö (2,1 kg/m), men vid Riddersholm hade biomassan nästintill tredubblades (upp till 4.5 kg/m). Riddersholm hade signifikant högre skördevikt jämfört Köpmanholm, Tjockö respektive Själbottna ( $p < 0.01$ ). Inga statistiska skillnader kunde säkerställas mellan Köpmanholm, Tjockö respektive Själbottna.



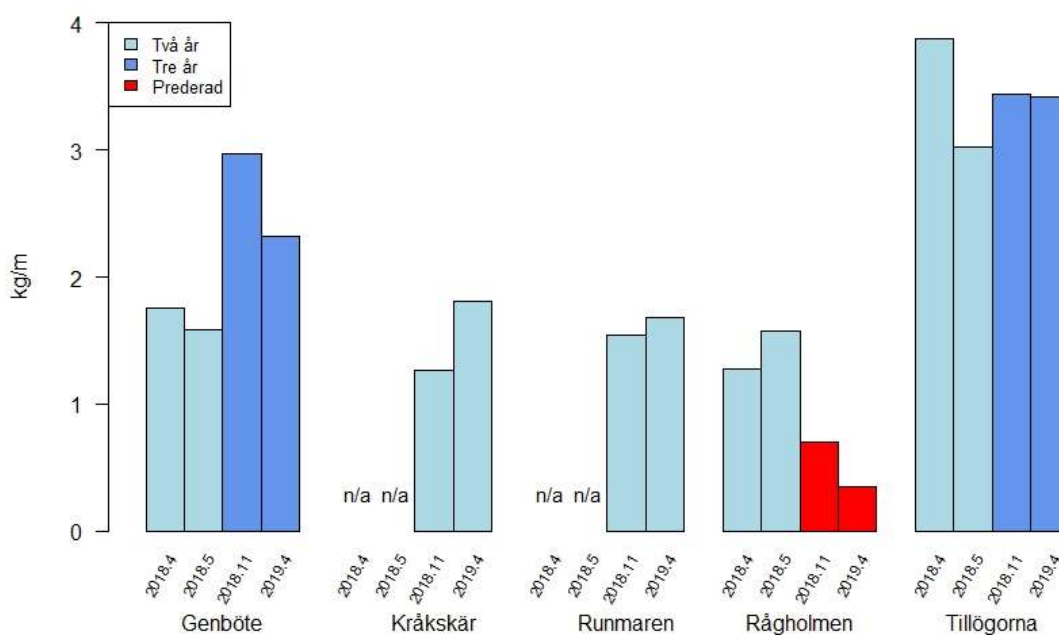
Figur 10. Skördevikt vid de fem buroddlingarna i Nacka kommun. Vikterna är ett medel för CTW och CTUW och är angivna för fyra olika provtillfällen mellan april 2018 (2018.4) och april 2019 (2019.4). Röda staplar indikerar predation och n/a indikerar att stationen ej provtagits vid detta tillfälle.

Efter två säsonger i Nacka kommun hade lokalerna Norrör, Torskholsgrynnan och Erstaviken skördevikter över två kilo per meter (2,2 kg/m, 2,8 kg/m respektive 2.2 kg/m) (Figur 13). Dessvärre kan dessa skillnader inte styrkas statistiskt då båda dessa stationerna blev kraftigt prederade under senhösten 2018 innan den tredje tillväxtsäsongen. Predationen innebar att endast en liten fraktion kvarstod, i vissa fall mindre än 10 % av den maximalt uppmätta skördevikten innan predation (Figur 14). Baggenfjärden och Lindskär klarade sig från predation men stationerna hade låg täckningsgrad och betydande konkurrens från andra arter vilket resulterade i förhållandevis låg skördevikt (Tabell 2 och Figur 13).





Figur 11. Förmodad ejderpredation på station Torskholmsgrynnan i Nacka kommun. I bakgrunden kan man se ett orört substrat som klarat sig då det är monterat inne i buren.



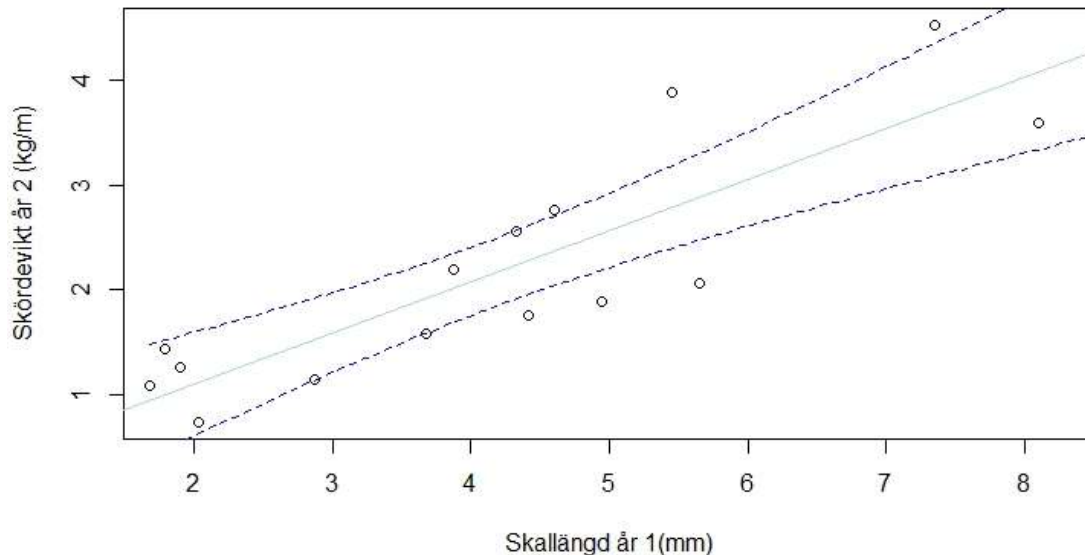
Figur 12. Skördeväkt vid de fem buroddlingarna i Haninge kommun. Vikterna är ett medel för CTW och CTUW och är angivna för fyra olika provtillfällen mellan april 2018 (2018.4) och april 2019 (2019.4). Röda staplar indikerar predation och n/a indikerar att stationen ej provtagits vid detta tillfälle.

I Haninge var det Tillögorna som nådde den högsta skördevikten efter två och tre år ( $p < 0,01$ ) (Figur 4). Mängden mussla ökade emellertid inte från år två till år tre. Resterande stationer var tämligen likvärdiga efter två år. Av Haninges stationer låg även Genböte och Rågholmen ute

under tre år. Genbötes biomassa ökade markant under år tre men Rågholmen blev prederad vilket kraftigt minskade skördevikten.

### 3.4 Samband mellan skallängd år 1 och skördevikt år 2

För att ge en fingervisning om huruvida man kan förutspå produktionspotential (skördevikt) redan efter en tillväxtssäsong gjordes en analys av sambandet mellan skallängd år 1 och skördevikt år 2. Analysen visar att finns ett signifikant samband och att ca 73 % av variationen i skördevikt år 2 kan förklaras med uppmätt skallängd år 1 (Adjusted R-squared: 0.73,  $p < 0.001$ ) (Figur 16).

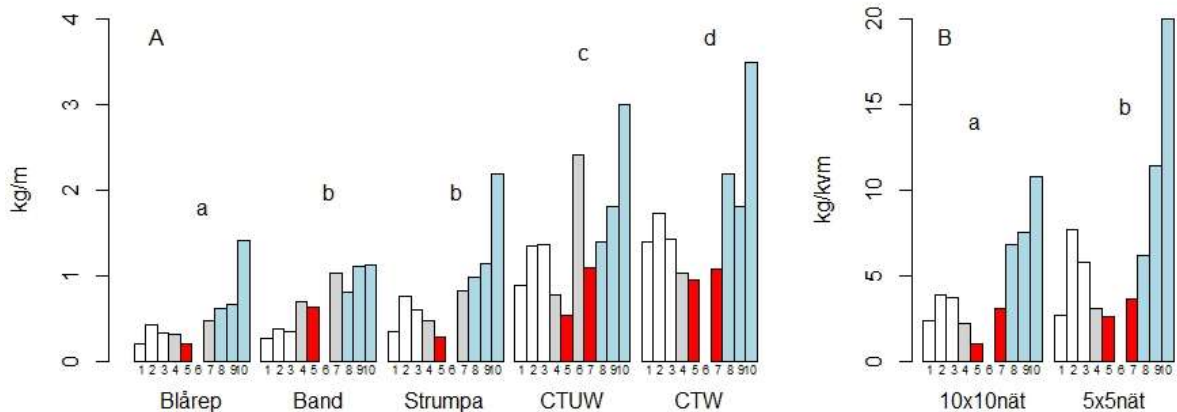


Figur 13. Samband mellan skallängd efter en tillväxtssäsong och skördevikt per meter efter två tillväxtssäsonger.

### 3.5 Odlingssubstrat

Av de fem odlingsrepen som testades var skördevikten i medel lägst på blårep 0,5 kg/m (min – max: 0 - 1,9), följt av band 0,8kg/m (min – max: 0,2 - 2,9), strumpa 0,9 kg/m (min – max: 0,1 - 3,3), CTUW 1,4 kg/m (min – max: 0,2 - 4,3) och CTW 1,6 kg/m (min – max: 0,2 - 4,5) (Figur 17 A). Ingen statistisk skillnad kunde säkerställas mellan band och strumpa men i övrigt är alla skillnader mellan odlingsrepen signifikanta ( $p < 0.05$ ).

Som mest observerades 22,5 kg/kvm på det finmaskiga nätet (5 x 5 cm) och 17,6 kg/kvm på det mer grovmaskiga nätet (10 x 10 cm) (Figur 17 B). I medel producerade de finmaskiga näten 6,6 kg/kvm och det grovmaskiga nätet 5,5 kg/kvm. Skillnaden i skördevikt mellan de olika näten är statistiskt sett osäker ( $p = 0.09$ ).

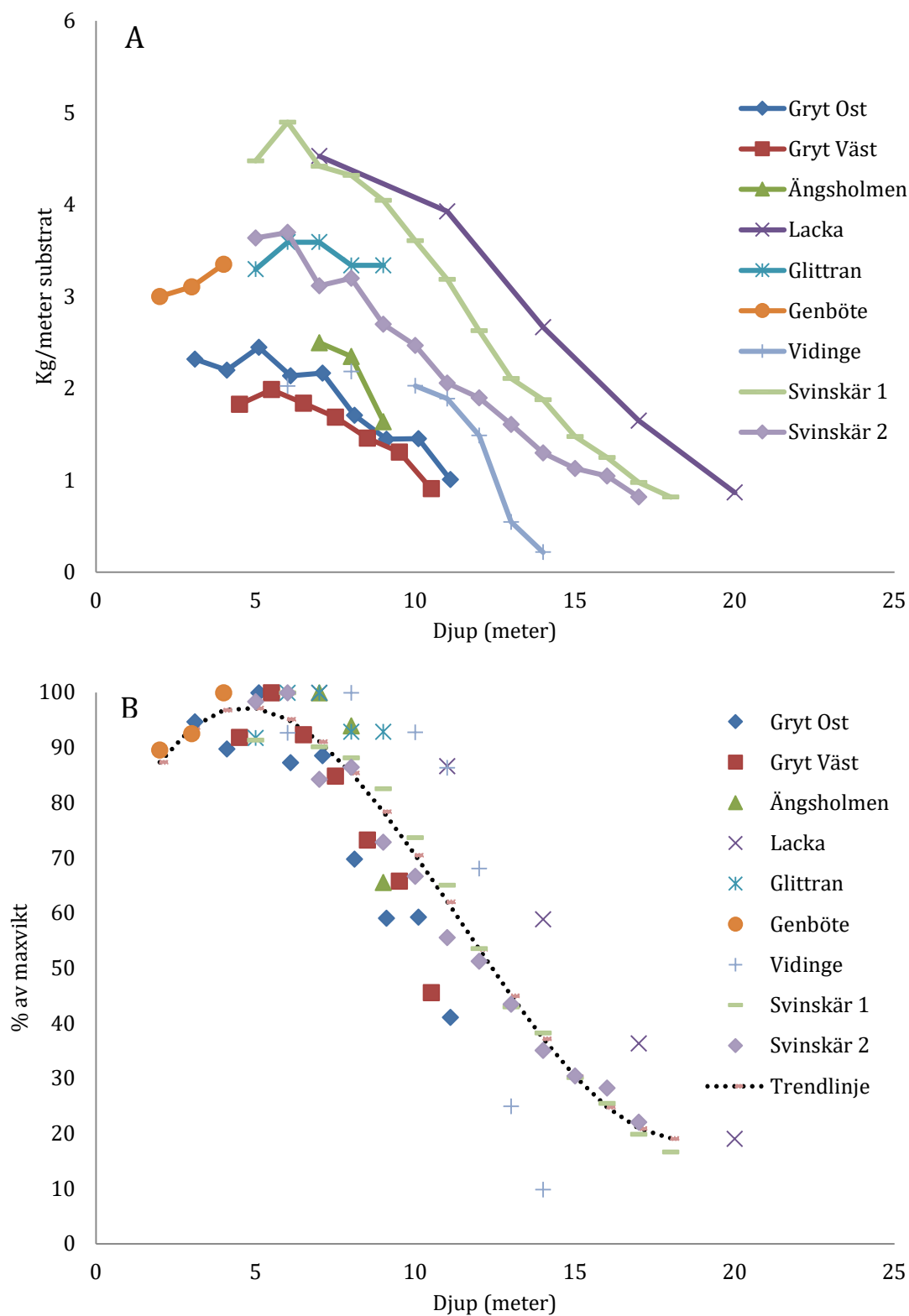


Figur 14. Exempel på skörde vikt (kg/m substrat) från maj 2018 efter två tillväxtsäsonger. Figur A visar olika odlingsrep och figur B visar nät med olika maskstorlek (5x5 cm respektive 10x10 cm). Olika bokstäver ovan staplarna betyder statistiskt fastställda skillnader mellan substraten ( $p < 0.05$ ). Siffrorna under staplarna motsvarar de olika stationerna; (1) Tjockö; (2) Riddersholm; (3) Köpmanholm; (4) Baggensfjärden; (5) Norrör; (6) Torskholmsgrynnan; (7) Erstaviken; (8) Rågholmen; (9) Genböte; (10) Tillögorna. Röda staplar representerar substrat som varit utsatta för ejderpredation. Från Torskholmsgrynnan redovisas endast data från ett substrat (CTUW) som var centralt placerat i buren och därför skyddat från ejderpredation. Övriga substrat vid Torskholmsgrynnan var kraftigt prederade av ejder och provtogs därför inte.

### 3.6 Odlingsdjup

Skörde vikt i förhållande till odlingsdjup utvärderades vid sju djupodlingar, projektets stora prototypodling (Svinskär 1 och 2) samt vid en markeringsbojslina från Genböte (Figur 15 A). Den maximala skörde vikten efter två säsonger varierar från 2,0 - 4,5 kg/m. Projektets prototypodling som legat ute i ca två och en halv säsong (maj 2017 - juni 2019) hade som mest 5,0 kg/m. Markeringsbojen vid Genböte hade legat ute under tre säsonger och gav en maximal vikt på 3,4 kg/m.

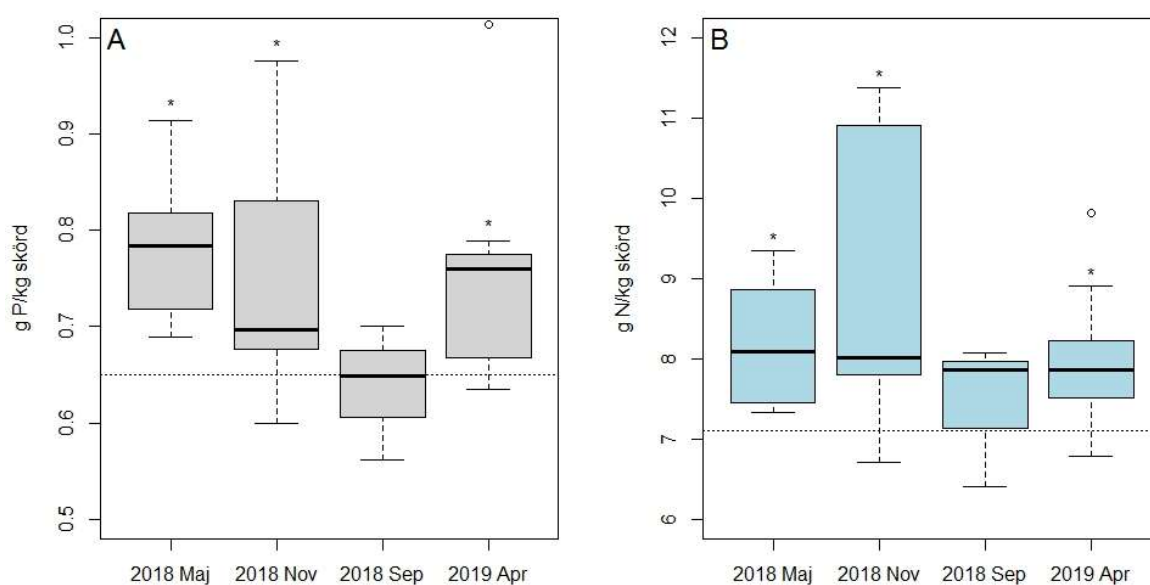
För att undersöka djupets inverkan på skörde vikt i förhållande till maximala skörde vikten normaliserades skörde vikterna mot respektive stations maximala skörde vikt (Figur 15 B). Detta visar att skörde vikten avtar mer markant kring 8-10 meter, och att ca 75 % av maximala skörde vikten återstår vid 9-10 meter.



Figur 15. Skördevikt i förhållande till odlingsdjup (kg/m respektive % av maxvikt) vid djupodlingarna. Station Lerkobben visas ej eftersom den sjunkit till 16 meters djup. Diagrammet inkluderar även två odlingsrep från projektets stora prototypodling (Svinskär 1 och 2) samt en markeringsbojslina från station Genböte (obs. icke direkt jämförbar med övriga odlingar).

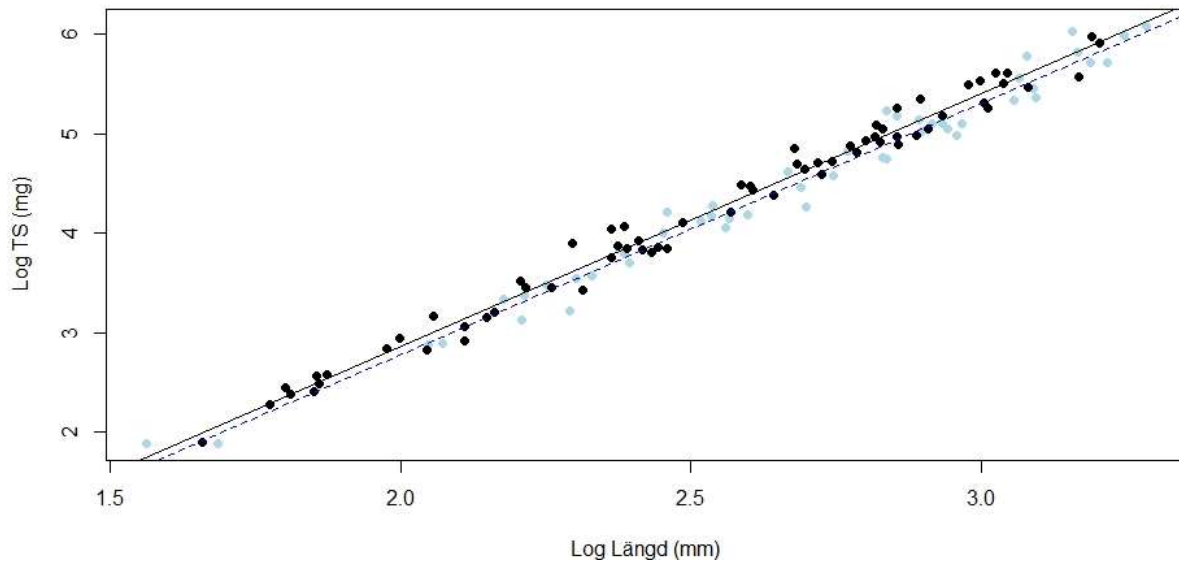
### 3.7 Näringsvärden och torrsubstans

Halten fosfor varierade från 0,56 - 1,01 g/kg skörd med en medelhalt på 0,74 g/kg skörd. Halten kväve varierade från 6,41 till 11,38 g/kg och hade en medelhalt på 8,29 g/kg skörd. Medelhalten är förhållandevis jämn vid provtagningstillfällena i april (0.75 g/kg, n= 9), maj (0.78 g/kg, n= 9) och november (0.75 g/kg, n = 9) (Figur 19 A). September uppvisar lägre medelhalt, 0,64 g/kg, emellertid är antalet prover lågt (n = 3) och det går därför inte styrka att denna medelhalt är statistiskt sett lägre. Mönstret var liktydligt för kväve (april: 8.0 g/kg, maj: 8.3 g/kg, september: 7.5 g/kg och november: 8.9 g/kg) och inga statistiska skillnader kunde påvisas mellan olika provtagningstillfällen (Figur 19 B). Halterna kväve och fosfor var signifikant högre än vad som rapporterades i Hedberg et al. (2018) vid samtliga provtagningstillfällen utom i september 2018.



Figur 16. Uppmätta halter av fosfor (A) och kväve (B) i skördade musslor från fyra olika provtagningstillfällen. Antalet prover var 9 per provtagningstillfälle utom i september 2018 då provtatnalet var 3. Den sträckade linjen indikerar de halter som uppmättes av Hedberg et al. (2018) och asterixen (\*) ovan boxarna indikerar hurvida värdena är statistiskt högre än dessa halter (0,65 g P/kg respektive 7,3 g/kg N).

Som ett komplement till analyserna av musslornas näringsinnehåll gjordes även en analys av huruvida musslornas torrsubstans i förhållande till skallängd skiljde sig över året. Resultaten visar att musslor provtagna i april har en signifikant lägre torrsubstans jämfört med september ( $p < 0.001$ ), november ( $p < 0,01$ ) och sannolikt även maj månad ( $p = 0,06$ ) (Figur 9). I övrigt finns inget stöd för att musslornas torrsubstans skiljer sig mellan provtagningarna i maj, september och november.



Figur 17. Samband mellan musslors längd och torrsbstans (TS). Svarta punkter och svart trendlinje illustrerar musslor provtagna i maj, september och november (ej signifikant skilda åt), och blåa punkter och trendlinje illustrera musslor provtagna i april.

### 3.8 Miljögifter

Överlag var halterna för grundämnen och föreningar låga och majoriteten föreningarna var under detektionsgränserna vid alla tre stationer. Halterna jämfördes med satta gränser för foder, gödsel enligt och livsmedel enligt. Samtliga halter underskred respektive gränsvärde. Föreningar som saknar gränsvärden redovisas i Appendix 3, Tabell 1.

Tabell 3. Analysresultat för oorganiska och organiska föroreningar samt gränsvärden för användning som foderråvara, livsmedel eller gödsel. Tabellen visar halter från tre stationer, Riddersholm i Norrtälje kommun, Torskholmsgrynnan i Nacka kommun och Tillögorna i Haninge kommun. Gränsvärdena för foderråvara har räknats om till torrsbstans (TS) från 12% vattenhalt, och gränsvärdena för livsmedel (musselköttet) ha gjorts om från våtvikt (VV) till TS (uppmätt värde på 30% från utförda kemanalyser har använts). Observera att gränsvärdet för livsmedel redovisas för musselkött medan de uppmätta värdena är halter för både musselkött och skal. Värdena redovisas som mg/kg.

| Grundämne/<br>förening | Torskholmsgr.<br>Nacka kommun | Tillögorna<br>Haninge<br>kommun | Riddersholm<br>Norrtälje<br>kommun | Foderråvara<br>mg/kg foder<br>(12 %<br>vattenhalt) | Gödsel -<br>slam<br>mg/kg TS | Livsmedel -<br>Musselkött<br>TS (VV) |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--|------------------------------|--------------------------------------|
| Arsenik                | 2,88                          | 1,81                            | 2,43                               | 28 (25)  | -                            | 3,33 (1)                             |
| Kadmium                | 0,352                         | 0,267                           | 0,316                              | 2,24 (2)   | 2                            | 3,33 (1)                             |
| Bly                    | 1,23                          | 0,225                           | 0,348                              | 11,2 (10)  | 100                          | 5 (1,5)                              |
| Kvicksilver            | 0,0128                        | 0,00814                         | 0,00945                            | 0,56 (0,5)   | 2,5                          | 1,66 (0,5)                           |
| Koppar                 | 4,93                          | 4,9                             | 4,05                               | -  | 600                          | -                                    |
| Zink                   | 30,3                          | 17,2                            | 17,5                               | -  | 800                          | -                                    |
| Nickel                 | 1,98                          | 0,896                           | 1,3                                | -  | 50                           | -                                    |
| Krom                   | 1,94                          | 0,444                           | 0,8                                | -  | 100                          | -                                    |
| Tenn                   | 0,0317                        | 0,0111                          | <0.01                              | -  | -                            | 666,67<br>(200)                      |
| Aldrin                 | <0.001                        | <0.001                          | <0.001                             | 0,0112 (0,01)                                      | -                            | -                                    |
| Dieldrin               | <0.001                        | <0.001                          | <0.001                             | 0,0112 (0,01)                                      | -                            | -                                    |
| DDT                    | <0.0002                       | <0.0002                         | <0.0002                            | 0,056 (0,05)                                       | -                            | -                                    |

|  |                       |                       |                       |   |   |                                      |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---|---|--------------------------------------|
| Endosulfan                                 | <0.001                | <0.001                | <0.001                | 0,112 (0,1)                             | - | -                                    |
| Endrin                                     | <0.001                | <0.001                | <0.001                | 0,0112 (0,01)                           | - | -                                    |
| Heptaklor                                  | <0.001                | <0.001                | <0.001                | 0,0112 (0,01)                           | - | -                                    |
| Hexaklorbensen                             | <0.001                | <0.001                | <0.001                | 0,0112 (0,01)                           | - | -                                    |
| alfaisomerer                               | <0.0002               | <0.0002               | <0.0002               | 0,0224 (0,02)                           | - | -                                    |
| betaisomerer                               | <0.0002               | <0.0002               | <0.0002               | 0,0112 (0,01)                           | - | -                                    |
| gammaisomerer                              | <0.0002               | <0.0002               | <0.0002               | 0,224 (0,2)                             | - | -                                    |
| Dioxiner (upper bound)                     | $3,5 \times 10^{-7}$  | $2,60 \times 10^{-7}$ | $3,5 \times 10^{-7}$  | 0,0000014<br>( $1,25 \times 10^{-6}$ )  | - | $1,17 \times 10^{-5}$<br>(0,0000035) |
| Dioxiner + dioxinlika PCB:er (upper bound) | $5,20 \times 10^{-7}$ | $3,70 \times 10^{-7}$ | $4,35 \times 10^{-7}$ | 0,00000448<br>( $4,00 \times 10^{-6}$ ) | - | $2,17 \times 10^{-5}$<br>(0,0000065) |
| Icke dioxinlika PCB:er                     | 0,0015                | 0,00057               | 0,00048               | 0,0336 (0,03)                           | - | -                                    |
| Bens(a)pyren                               | 0,0047                | 0,0034                | 0,0034                | -                                       | - | 0,01                                 |

## 4. Diskussion

### 4.1 Lokala förutsättningar

Tillsammans med det komplementära projektet i Trosa kommun har projektet utvärderat förutsättningarna för musselodling i Norra Östersjöns vattendistrikt med hjälp av på 28 pilotodlingar. Lokalerna representerar en nord-sydlig gradient, från Norrtälje till Trosa, och en gradient från innerskärgård (Nacka), till ytterskärgård (Haninge och Trosa). Lokalerna täcker in ett spektra av olika miljöer med olika förutsättningar vad gäller både abiotiska och biotiska faktorer som är viktiga för blåmusslans tillväxt och förekomst, exempelvis salthalt, temperatur, strömhastighet, vågexponering, födotillgång, konkurrens och predation (Diaz och Kraufvelin 2013, Kautsky 1982, Lappalainen et al. 2005, Westerbom et al. 2002, Westerbom och Jattu 2006, Öst och Kilpi 1998).

Framförallt, och sannolikt viktigast i detta sammanhang, så skiljer sig salthalten utmed dessa gradienter vilket är starkt positivt kopplat till blåmusslans tillväxt och sätter gränsen för blåmusslans utbredning (~ 4,5 PSU) (Westerbom et al. 2002). Det finns även en trend med ökande näringshalter (och födotillgång) ju längre söderut man kommer i vattendistriktet vilket tillsammans med salthalt kan ses som de två viktigaste faktorerna för musslornas tillväxt (Kautsky 1982). Generellt sett stämmer detta väl överens med resultaten som mycket riktigt visar att musslorna växer snabbare och skördevikten ökar söderut, och ju längre ut från innerskärgården man kommer i distriktet. Resultaten visar emellertid att samtliga kommuner i projektet har minst en lokal som lyckats producera väl över 1 kg mussla/m/år. Denna skördevikt kan jämföras med Kalmar kommuns och Gren et al (2009) som i sina beräkningar visat att musselodling skulle kunna vara kostnadseffektivt redan vid 0,55 kg /m/år respektive 0,66 kg/m/år (Minnhagen 2018). Som bäst är skördevikten drygt 2 kg/m/år vilket således är 200-300 procent högre än de värden som användes i beräkningarna för kostnadseffektivitet. Variationen mellan lokaler inom respektive kommun har emellertid varit betydande på grund av skillnader i ovan nämnda abiotiska och biotiska faktorer. Och även om dessa siffror är lovande bör man också ha i åtanke att de är baserade på små testodlingar som inte är direkt översättningsbara till större produktionsodlingar. Under kommande fas 2 och fas 3 är målsättningen därför att successivt skala upp dessa odlingarna för att bland annat belysa just denna fråga och förhoppningsvis kunna verifiera den relativt höga produktionspotentialen.

Baserat på dessa resultat från denna studie skapades två modeller för att prediktera förutsättningarna inom respektive kommuns samtliga vattenförekomster. Modellanpassningen påvisade signifikanta positiva samband mellan skallängd respektive skördeviktt och salthalt, temperatur, klorofyll samt vågexponering. Emellertid visar korsvalideringen att modellen som inkluderar klorofyll har sämre prediktiv förmåga jämfört med en modell som endast inkluderar salthalt, temperatur och vågexponering (Appendix 1). En möjlig förklaring till den sämre prediktiva förmågan är att det finns en ko-variation mellan de förklarande variablerna som blir problematisk i själva modellanpassningen. GIS-kartorna kommenteras nedan i stycket för respektive kommun. GIS-kartorna är framförallt menade att användas inom kommunal vattenplanering. Observera att GIS-kartorna som bifogas denna rapport endast visar modellvärden. För att mer precist identifiera områden för musselodling bör man även inkludera lämpligt djupintervall (~10-40 m) och bottenstrukturer (hårdbotten bör undvikas) samt även andra eventuella hinder såsom sjötrafik, farleder, närhet till hamn, turism och det rörliga friluftslivet.

Viktigt att beakta när man tolkar de prediktiva kartorna är att de är generella och är en förenkling av verkligheten. Det finns många faktorer som en modell av den här typen inte kan förmedla och det är därför bra att vara medveten om att lokala variationer och avvikelser kan och kommer förekomma som inte överensstämmer med GIS-modellerna. Man bör även ha mellanårsvariationerna i åtanke då många faktorer som påverkar musslornas settling och tillväxt kan variera från år till år.

#### *4.1.1 Norrtälje kommun*

I Norrtälje kommun var produktionen genomgående låg efter en respektive två säsonger. Trots att skallängden hade kommit ikapp och till och med gått förbi lokalerna i Nacka kommun så var skördevikten fortfarande blygsam, i storleksordningen 50 % av skördevikten i Nacka. Utöver en lägre tillväxt så observerades även andra potentiella hinder såsom misstänkt predation vid Köpmanholm, och en betydande konkurrens från andra arter vid Tjockö. Emellertid visar en av stationerna, Riddersholm, att det finns skäl till att förlänga odlingsperioden från två till tre säsonger. Vid denna lokal nästintill tredubblades skördevikten efter tre säsonger vilket resulterade i en maximal skördeviktt uppåt 4,5 kg/meter odlingsrep. Den uppmätta skördevikten motsvarar en årlig produktion på 1,5 kg/m/år vilket är i paritet med den årliga skördeviktt som observerades bland länets bästa stationer efter två säsonger.

En möjlig bidragande förklaring till den oväntat höga skördevikten vid Riddersholm skulle kunna vara den betydande färjetrafiken i området. Färjetrafiken har en kraftig påverkan på vattenkvaliteten och kan orsaka en lokal övergödningseffekt på grund av ökad vertikal omrörning vilket leder till resuspension av sedimentpartiklar/ökad turiditet, ökad återförsett av näring från botten till ytan samt högre temperaturer (Lindblom et al. 2001). Förutom själva övergödningseffekten kan det även antas att de ökade vattenrörelserna bidrar till bättre födotillgång för musslorna. Den ökade turbiditeten behöver alltså nödvändigtvis inte vara negativ. Studier har visat att upp till en viss turbiditetsnivå gynnas musslors tillväxt eftersom detta kan förenkla musslornas födotintaget (Kiørboe et al. 1980).

Huruvida det är intressant att odla även på mer långsamtväxande lokaler som kräver tre år är svårt att säga. Att odla över tre år kommer innebära en högre kostnad för exempelvis tillsyn och underhåll samt en högre risk för incidenter innan musslorna är skördade. Å andra sidan, med en väl utvecklad odlingsmetod där riskerna är hanterbara och där behovet av underhåll och tillsyn är litet är det tänkbart att musselodling kan vara aktuellt. En avvägning behöver sannolikt göras som tar hänsyn till möjligheten och kostnaden av att implementera alternativa närsaltsreducerande åtgärder.



GIS-modellerna över predikterad skördeavkastning visar att förutsättningarna är relativt dåliga innanför Blidö/Yxlan, Björkö/Väddö och Singö (Appendix 1, Figur 1). Bäst förutsättningar finner man i de yttre delarna av kommunen som är mer exponerade och mindre påverkade av söttvattenutflöde från mälaren och/eller land.

#### 4.1.2 Nacka kommun

Efter två säsonger i Nacka kommun hade lokalerna Norrör, Torskholmsgrynnan och Erstaviken skördeavkastning över två kilo per meter (2,2 kg/m, 2,8 kg/m respektive 2.2 kg/m) (Figur 13). Dessvärre kan dessa skillnader inte styrkas statistiskt då båda dessa stationerna blev kraftigt prederade under senhösten 2018 innan den tredje tillväxtsäsongen. Predationen innebar att endast en liten fraktion kvarstod, i vissa fall mindre än 10 % av den maximalt uppmätta skördeavkastningen innan predation (Figur 14). Mer kan läsas om predation i ett eget stycke nedan. Baggensfjärden och Lindsjärn klarade sig från predation men stationerna hade låg täckningsgrad och betydande konkurrens från andra arter vilket resulterade i förhållandevis låg skördeavkastning (Tabell 2 och Figur 13).

Modellen för predikterad skördeavkastning visar att de bästa förutsättningar (gul-grönt) för musselodling i Nacka kommun återfinns i Erstaviken och de områden som ingår i Ingaröfjärdens vattenförekomst. Baggensfjärden är orange (dåliga förutsättningar), Skurusundet och Nackas norra vattenförekomster närmst Mälarens utlopp är röda (ingen förutsättning för musselodling) eftersom vattenförekomsterna är alltför utsötade för att det överhuvudtaget ska finnas någon nämnvärd mängd blåmussla. Baggensfjärden har visserligen något högre salthalt och det ligger inom blåmusslans utbredningsområde, men, förutsättningarna för musselodling är mycket dåliga eftersom fjärden ligger innanför ett förhållandevis lågt tröskeldjup vid Fällström (~13 m) vilket hindrar salt djupvatten från Ingaröfjärden att tränga in. Detta leder till att salthalten minskar markant och närmar sig gränsen för blåmusslans utbredning vilket resulterar i att det blir svårare att konkurrera med andra arter som är bättre anpassade för låg salthalt (Appendix 1, Figur 2).

#### 4.1.3 Haninge kommun

Haninge kommun har förhållandevis jämna förutsättningar för musselodling. Samtliga buroddingar i mellanskärgården (Rågholmen, Genböte, Kråksjärn och Runmaren) uppvisar skördeavkastning kring eller strax under 2 kilo. Viktigt att påpeka är att flera av dessa stationer dessvärre sjönk vilket sannolikt har påverkat tillväxten negativt av två anledningar. Dels är födotillgången troligen lägre vid botten och dessutom föll en betydande del av musslorna av från substraten innan vägning då de satt förhållandevis löst (se diskussion om löst sittande musslor nedan). Högst skördeavkastning noterades i Norstensfjärden vid station Tillögorna där nästan 4 kg/m CTW noterades redan efter två tillväxtsäsonger. Intressant är att notera att skördeavkastningen inte ökade vid Tillögorna efter tre tillväxtsäsonger till skillnad från de mer långsamt växande lokalerna Genböte och Ridderholm som ökade markant från två till tre tillväxtsäsonger. En möjlig förklaring till det skulle kunna vara att den maximala bärformågan per meter rep nås vid en viss vikt, det vill säga, att inomartskonkurrensen blir för hög vilket hindrar ytterligare viktökning.

Modellen för predikterad skördeavkastning efter två tillväxtsäsonger visar att den bör ligga mellan 2-3 kg/m i Jungfrufjärden och Mysingen och att över tre kilo per meter kan förväntas i de yttre vattenförekomsterna såsom Norstensfjärden (Appendix 1, Figur 3).

#### 4.1.4 Trosa kommun

Försöken i Trosa kommun är i skrivande stund inte avslutande och i samband med denna rapport finns det endast data från fyra testodlingar. Rapport och modell kommer uppdateras/kompletteras under sommaren 2020 och då innehålla mer data från totalt åtta stationer och tre provtagningstillfällen. Hitills är resultaten emellertid mycket lovande med mycket snabbt tillväxt (medianlängd 8,5 mm efter en säsong) och skördevikter uppåt 4,5 kg/m efter två säsonger.

Med reservation för att GIS-modellen kan förändras efter det att ytterligare data inhämtas så visar modellen över predikerad skördevikt att skördevikter över 3 kg/m/år (mörkgrönt) kan förväntas i stora delar av Trosa kommuns vattenförekomster, framförallt i områdena söder om Askö (Appendix 1, Figur 4). Det bör dock påpekas att dessa områden förmodligen kräver en odlingsteknik som är anpassad för exponerade förhållanden. Emellertid visar även de mindre exponerade områdena norr om Askö och inne i Hållsviken god potential med en förväntad skördevikt på 2-3 kg/m/år och egentligen är det endast de inre delarna kring Öbolandet och Trosa hamn som uppvisar dåliga förutsättningar.

#### 4.2 Predation och konkurrens från andra arter

Blåmusslan är den dominerande arten på norra Egentliga Östersjöns hårdbottnar mycket tack vare ett lågt predationstryck som kan anses näst intill försumbar på den mycket täta blåmusselpopulationen (Kautsky 1981). Predationstrycket är lågt framförallt på grund av avsaknaden av everterbrater såsom sjöstjärna (*Asterias rubens*) och strandkrabba (*Carcinus maenas*) som utgör ett starkt predationstryck utmed västkusten och i andra mer salina havsområden. Emellertid förekommer predation från sjöfågel, framförallt ejder (*Somateria mollissima*) och alfågel (*Clangula hyemalis*) och även till viss del från svärta (*Melanitta fusca*), vigg (*Aythya fuligula*) och knipa (*Bucephala clangula*) (Kautsky 1981 och referenser däri). Det finns dessutom fiskarter som prederar på blåmussla varav skrubbskäddan (*Platichthys flesus*) anses vara den mest betydande men även mört (*Rutilus rutilus*) har blåmusslan som stapelföda i områden med för blåmusslan låg salthalt (Lappalainen et al. 2005).

I detta projekt har predation förekommit på minst sex stationer (Appendix 3, Tabell 1). Vi kan inte säkert säga vilken art eller vilka arter som prederat våra odlingar, men vi förmodar att det är ejder av två skäl. För det första har ejder varit en vanlig syn i samband med tillsyn och provtagning i flera områden - framförallt i Nacka kommun och i de inre delarna av Haninge kommun som också har varit de områden som drabbats värst av predation. Mellan andraårsprovtagningarna i april och maj blev samtliga odlingar i Nacka kommun, utom den i Baggensfjärden, prederade. För det andra, något som framgår tydligt av Figur 11 och som styrker att det var ejder eller åtminstone sjöfågel som prederat på odlingarna var att endast de yttre odlingsrepen i buroodlingarna var prederade, medan de inre skyddade odlingsrepen var helt orörda. En förklaring till det skulle kunna vara att de yttre repen utgjort ett hinder för fågel, något som vi inte tror gäller för fisk.

Ejdrar lever av kräftdjur och blötdjur och den viktigaste födan utgörs av just blåmusslor. Ejdern har dessutom kapacitet att dyka till förhållandevis stora djup, ner till 20 meter för att söka föda. Sammantaget med våra resultat indikerar det att predation av ejder är något som man i vissa områden med stor sannolikhet kommer behöva ta i beaktning vid etablering av en storskalig odling. Ejderpredation har varit ett reellt problem på ett antal platser i bland annat Sverige och Danmark men det finns ett flertal försök där man tittat på metoder för att stoppa predationen (Dansk akvakultur 2015) Exempelvis har man experimenterat med olika typer av skyddsbarriärer och skrämsetekniker så som ljus, ljud, attrapper och drönare. En alternativ lösning, och kanske den enklaste och mest ekonomiska lösningen, skulle kunna vara att skörda musslorna under odlingsperiodens andra höst då musslorna troligtvis är för små under första

våren för att de ska vara intressanta för ejdern. Denna teori får stöd av Öst och Kilpi (1998) som visar och argumenterar för att små musslor förmodligen bara är en sekundärt föda som i princip bara sväljs av bara farten tillsammans med större musslor. En annan enkel lösning som förespråkats är att från början välja lokaler som inte är attraktiva för ejder. Ejder vill ha låga kobbar och skär där de kan ligga mellan sina dykningar (Miljöforskningsberedningen 2012). Detta har varit ett tydligt mönster på de lokaler som prederats i projektet. Det behöver emellertid poängteras att de större odlingarna som idag finns i Egentliga Östersjön inte har haft problem med ejder och anledningen till att predationen på projektets buroddingar varit så betydande kan bero på den lilla storleken (endast 1x1x2m). Möjligen skulle påverkan från ejder inte vara något problem i en större odling då prederingen skulle vara en försvinnande liten del av den totala odlingsvolymen.

När det gäller förekomst och eventuell konkurrens från andra arter så är det främst hjärtmussla som noterats. Av de 21 stationer som utvärderades efter en tillväxtsäsong uppvisade nio stationer en noterbar mängd hjärtmussla. Emellertid var erfarenheten att mängden hjärtmussla minskade drastiskt under den andra tillväxtsäsongen och provtagningarna visar att 6 av de 9 stationerna med hjärtmussla bedömdes ha 90-100% blåmussla vid efterföljande tillväxtsäsonger. Två av de tre resterande stationerna blev prederade och är därför svåra att uttala sig om. Sammantaget var det således endast 1 av 9 odlingar som inte visade en återhämtning i täckningsgrad efter första säsongen.

Samttaget bedömdes konkurrens från andra arter bara vara ett betydande problem på två lokaler, Tjockö och Baggensfjärden. Gemensamt för dessa stationer är att flera arter utöver hjärtmussla förekommit i noterbar mängd, exempelvis havstulpan, tångbark, och fintrådiga alger. En sannolikt viktig förklaring till varför dessa stationer är värst påverkade är att Tjockö är den nordligaste stationen, och Baggensfjärden är den inre stationen vilket gör att dessa stationer har de lägsta salthalterna vilket, som ovan nämnt, medför att det blir svårare för blåmusslan att konkurrera med andra arter som är bättre anpassade för låg salthalt.

Preliminära resultat från pågående försök i Trosa och Östergötland indikerar att havstulpan sannolikt kan utgöra en betydande konkurrens. Detta problem tycks emellertid endast vara ett problem om odlingarna placeras ut senare under sommaren (skiftet juni/juli) vilket då medför att havstulpanens larver hinner settla före blåmusslans larver. Erfarenheten är dock att blåmusslan återtar den dominerande rollen och täcker havstulpanerna under nästföljande tillväxtsäsong. Hur mycket det påverkar den slutliga skördevikten är svårt att säga, litteraturen visar att havstulpan och blåmusslan uppvisar en så kallad kommensalism där havstulpanen gynnas av blåmusslan medan blåmusslan varken gynnas eller missgynnas (Laihonen och Furman 1986). För att minska risken för negativ påverkan av havstulpan rekommenderas det emellertid att substraten placeras ut innan mitten av juni.

#### 4.3 Substrat

Resultaten visade att de två Nya Zeeländska substraten, CTW följt av CTUW, genererade signifikant högre skördevikt i jämförelse med bandet och övriga rep. Som mest har de Nya Zeeländska odlingsrepen producerat ca 4.5 kg/m/två säsonger och motsvarande siffra för näten är 22,5 kg/kvm på det finmaskiga nätet (5 x 5 cm) och 17,6 kg/kvm på det mer grovmaskiga nätet (10 x 10 cm). Det innebär således att man behöver ca 4-5 meter odlingsrep för att producera lika mycket mussla som en kvadratmeter nät. Beroende på utformning av en odling, skulle nät förmodligen kunna generera lika mycket eller till och med mer skördevikt per ytenhet som odlingsrep och odlingsband. Eftersom de Nya Zeeländska odlingssubstraten är förhållandevis kostsamma (> 10 kr/m) finns det förmodligen skäl att vidare jämföra produktionskostnaden för rep respektive nät. För att bedöma kostnadseffektiviteten skulle förutom materialkostnad även utplacerings- och skördemetod behöva vägas in då dessa skiljer

sig mellan nät - och repsubstrat. Mot bakgrund av dessa resultat kommer vi i fas 2 och 3 (2020-2024) gå vidare med både repsubstrat och nätsubstrat för få en bättre uppfattning om vilken typ av odlingssubstrat som är mest kostnadseffektiva för Norra Östersjön vattendistrikt.

#### 4.4 Odlingsdjup

Som väntat varierar den maximalt uppmätta skördevikten per meter kraftigt mellan de olika djupodlingarna. Precis som för burodlingarna så täcker djupodlingarna in ett spektrum av olika miljöer med olika förutsättningar som påverkar blåmusslans tillväxt. Exempelvis så ligger den högsta skördevikten runt 4,5 kg per meter i Lacka (Trosa kommun) medan den endast är runt 2 kg som högst vid Gryt väst. Trots att skördevikten varierar kraftigt mellan olika stationer finns det emellertid ett förhållandevis samstämmigt mönster över hur skördevikten minskar proportionellt sett till den maximalt uppmätta skördevikten. När den anpassades till datan kan man se skördevikten börjar minska kraftigare i ett djupintervall kring 8-10 meter och ger en grov bild av ungefär vilket som kan anses som ett maximalt lämpligt odlingsdjup. Trendlinjen visar att i genomsnitt kan man förvänta sig ca 75 % av den maximala skördevikten ner till ett djup av nästan 10 meter (15 B).

Intressant att notera är att den maximalt uppmätta skördevikten inte genomgående observeras längst upp på repen. Faktum är att 7 av 10 rep har något högre skördevikt 1 - 2 meter ner från den översta metern. Normalt sett ser man ökad produktion närmre ytan eftersom det är där primärproduktionen sker och således födotillgången är som störst. En möjlig förklaring är att flytkroppen som generellt sett var övertäckt med mussla och havstuplan har påverkat födotillgången för den översta biten rep. Alternativt har de översta meterna upplevt en större stress på grund av vågexponering vilket möjligtvis skulle kunna hemma tillväxten.

#### 4.5 Näringsinnehåll och köttthalt

En viktig aspekt för att avgöra hur kostnadseffektiv musselodling är som åtgärd är att ha ett tillförlitligt underlag för näringsinnehåll i musslorna. I denna studie valde vi analysera "rå" musselskörd, det vill säga, att hela storleksfördelningen, vattnet på och i musslorna, byssustrådar samt eventuella påväxtorganismer inkluderades i analyserna. Anledningen till detta vara att minimera antalet felkällor som riskerar att uppkomma i samband med subsampling och dissekering, något som är svårt i synnerhet för de allra minsta musslorna (1 - 5 mm). Tidigare studier kring musselodling i Östersjön har uppskattat halten till att ligga mellan 0,85 - 1,2 % kväve och 0,06-0,1 % fosfor (Gren et al. 2009, Kraufvelin and Diaz 2013, Bucefalos 2015). Dessa uppskattningar har emellertid ifrågasatts på senare tid av Hedberg et al. 2018 som genomförde analyser på musslornas olika beståndsdelar (skal, kött, byssustrådar och vatteninnehåll) och visade att halter på 0,71% kväve och 0,065% fosfor. Författarna medger emellertid att provantalet är begränsat och att mer studier behövs. Vid jämförelse av värdena från denna studie visar det sig att halterna är signifikant högre ( $p < 0,001$ , ensidigt t-test) jämfört med Hedberg et al. 2018, och att uppskattningar i de förstnämnda studierna ligger nära de värden som denna studie visar, kväve 0,64 - 1,14 % (jmf 0,85 - 1,2 %) med ett snitt på 0,83 %, och fosfor mellan 0,056 - 0,101 (jmf 0,06 - 0,1) med ett snitt på 0,75 %. Även en jämförelse mellan prover från samma provtagningsmånad (November) visar signifikant högre kväve respektive fosfor jämfört med Hedberg et al. 2018.

Förklaringen till varför näringsinnehållet skiljer sig kan vara flera. En av förklaringarna kan vara att kötthalten i blåmussla varierar kraftigt i tid och rum naturligt sett, till och med mellan enkilda musslor inom en och samma studie (Kautsky 1982, Öst och Kilpi 1998). Blåmusslans förmåga att klara varierande födotillgång medför att den är mycket anpassningsbar och har hög resiliens mot naturliga fluktuationer. Kautsky (1982) visade exempelvis att blåmusslan kan

överleva en minskning i kött halt med så mycket 78%. Analysresultaten från denna studie visar förvisso inte att kväve och fosfor skiljer sig signifikant åt mellan olika provtagningstillfällen, men resultaten visar att det finns en påtaglig variation mellan olika prover. Faktum är att de högsta näringshalterna är ca 80 % högre jämfört med de lägsta värdena. Även Hedberg et al. 2018 visar detta, exempelvis genom att vattenhalten varierar så mycket som 55% (standardavvikelse) mellan enskilda musslor. Förutom att naturliga fluktuationer i födotillgång kan påverka näringsinnehållet så är även musslornas livscykel en betydande faktor. Musslorna släpper sina köns celler på våren när temperaturen når ca 10 °C och det medför att näringsinnehållet sjunker drastiskt (Kautsky 1981). Detta skulle kunna vara en anledning till att Tillögorna hade ett betydligt högre kväve och fosforinnehåll i april 2019 (0,98 % N, 0,10% P) eftersom temperaturen då var lägre här (längre ut i kustbandet) jämför med andra stationer i inner- och mellanskärgård.

Att kött halten (och näringsinnehållet) kan skilja kraftigt mellan enkilda musslor medför att medelvärdet kan bli kraftigt påverkat av icke representativa individer med ovanligt högt eller lågt köttinnehåll. Det är därför möjligt att Hedberg et al 2018 förhållandevis låga provantal i jämförelse med denna studie (20 st vs 1000-tals) kan ha bidragit till det låga medelvärdet för kväve respektive fosfor. En annan förklaring kan vara att själva provurvalet skedde på olika sätt. Hedberg et al. 2018 provtog endast musslor i storleksspannet 25-32 mm (medel: 28.3 mm) medan musslorna i denna studie var ett samlingsprov med musslor mellan 1,1 – 27,3 mm (snitt 9,7 mm). Detta riskerar underskatta det sanna näringsinnehållet då det är känt att kött halten i Östersjöns musslor minskar med ökad skalstorlek (Öst och Kilpi 1998). Det ska även påtalas att Hedberg et al. 2018 valde att exkludera påväxt medan det inkluderades i denna studie. Emellertid bedöms det inte ha stor påverkan då mängder påväxt var minimal, uppskattningsvis mindre än 1% av den totala biomassan.

Under senare tid har kostnadseffektiviteten för musselodling diskuterats ur ett åtgärds perspektiv (Gren 2019, Hedberg et al 2018). Anledningarna till detta är bland annat att det funnits väldigt lite tillväxtdata från musselodling i Östersjön samt att näringsinnehållet i musslor varierar över året, beroende på exempelvis födotillgång och reproduktion - vilket det gör det svårt att uppskatta upptag och kostnad. Kalmar kommun, som arbetat med musselodlingar i över 10 år, har dock dragit slutsatsen att musselodling kan vara lika, eller mer kostnadseffektivt än åtgärder på land - detta utan ersättning för de producerade musslorna (Minnhagen 2018). Vidare menar de att det är i princip omöjligt att nå målen i Baltic Sea Action Plan (BSAP) med enbart landbaserade åtgärder. Förutsatt att alla landbaserade åtgärder implementeras kommer kommunen som bäst kunna rena tre fjärdedelar av kvävet och knappt hälften av fosfor. Här ser de musselodling som en lösning som ensamt skulle kunna stå för 40% av det totala behovet av närsaltsreduktion och samtidigt ersätta 75% av det importerade fiskmjölet till den lokala foderfabriken. Även Gren et al. (2009) visar att musselodling kan vara en kostnadseffektiv åtgärd i förhållande till landbaserade åtgärder och kan bidra med betydande besparingar i arbetet att uppnå satta reduktionsmål. Kritik har emellertid framförts att tidigare kostnadsberäkningar är tveksamma, bland annat för att de baserar sina beräkningar på för höga halter av P och N (Hedberg et al. 2018). Gren et al. (2009) baserade sin analys på att halterna låg mellan 0,85 – 1,2 % N och 0,6 - 0,8 % P och Minnhagen utgick från en tumregel på 1 % N och 0.1 % P. Resultaten från denna studie visar att fosforhalterna i Minnhagen (2018) är möjliga, men att det i medel ligger lägre och det är därför troligt att kostnadseffektiviteten kan ha överskattats om man endast tittar på näringsinnehåll. Den eventuella överskattningen av kväveinnehållet ser dock ut att kunna kompenseras baserat på den senaste skördedatan från Baltic Blue Growth från vintern 2017/2018 samt skördedata från denna studie (Minnhagen et al. 2019). Minnhagen (2018) utgick från en skördemängd på 0,55 kg /m / år och Gren et al. (2009) utgick från en skördemängd på 0,66 kg/meter och 1,33 kg/meter för norra respektive

södra Egentliga Östersjön. Baserat på det senaste årets skörde-data (1,6 - 2 kg/m/år) betyder det att skördevikten kan ha underskattats med flera hundra procent. Som nämndes ovan bör man dock ha i åtanke att dessa värden är baserade på små testodlingar som inte är direkt översättningsbara till större produktionsodlingar. Under kommande fas 2 och fas 3 kommer odlingarna skalas upp för att bättre utvärdera produktionspotential. Utöver produktionspotential så kommer även fas 2 och 3 även genomföra fler och tätare provtagningar av näringsinnehåll för att försöka identifiera när man bör skörda för att maximera närsaltsupptaget och därmed kostnadseffektivitet.

#### 4.6 Miljögifter

Halterna av miljögifter var låga för samtliga ämnen och föreningar. Halterna låg betydligt under alla satta gränsvärden för foder, livsmedel och gödsel vilket betyder att alla dessa avsättningsalternativ är möjliga utifrån ett miljögiftsperspektiv. Detta stämmer väl överens med tidigare studier på odlad mussla från Östersjön. Liknande resultat har bland annat uppmätts i Kalmarsund (Nilsson,2009) där man kunde konstatera låga halter av miljögifter som samtliga låg under satta gränsvärden för foder. Även analyser från projektet Baltic Blue Growth med ett flertal odlingar runt om i Östersjön har redovisat låga halter (<https://www.submariner-network.eu/balticbluegrowth> . Detta kan tyckas oväntat med tanke på att Östersjön har förhållandevis hög miljögiftsbelastning och halterna är framförallt kopplat till tillståndet i den omgivande miljön då blåmusslor är fastsittande organismer som filtrerar stora mängder vatten och som dessutom har dålig förmåga att metabolisera organiska miljögifter (Azizi et al. 2018.) Emellertid finns det flera möjliga förklaringar till varför låga halter har observerats. En viktig förklaring är att blåmusslan återfinns långt ner i näringsväven vilken gör att ämnen inte biomagnifieras som i organismer längre upp i näringsväven. Dessutom växer musslorna snabbare i en odling jämfört med bottenlevande vilda musslor och skördas vid låg ålder vilket förhindrar bioackumulation över tid. Musslor i en pelagisk odling är också sannolikt mindre exponerade för miljögifter eftersom de högsta halterna återfinns ackumulerade i bottensedimentet.

#### 4.7 Lärdomar

##### 4.7.1 Löst sittande musslor

Det har förekommit en diskussion om huruvida musslorna i östersjön sitter fast tillräckligt hårt för att det ska vara möjligt att odla musslor. Hur hårt musslorna sitter fast styrs av många faktorer som påverkar formation av byssustrådar, exempelvis temperatur och salhalt. Den i särklass viktigaste faktor för formation av byssustrådar är emellertid agitation (rörelse) (Young 1985). Detta kan sannolikt varit en av de huvudsakliga anledningarna till varför musslorna satt olika hårt på olika stationer eftersom exponeringsgraden varierade mellan de olika stationerna. Young (1985) visade även att mängden byssustrådar återgår förhållandevis snabbt, inom två veckor, om agitation upphör. Detta kan förmodligen förklara varför musslorna var mycket löst sittande på de buroodlingar som plockades upp efter att ha varit stillasittande på botten under en längre tid.

##### 4.7.2 Samband mellan skallängd och odlingspotential

Skallängden efter en tillväxtsäsong visade ett starkt samband mellan skördevikt år 2 - hela 73 % av variationen i skördevikt kunde förklaras endast med skallängden efter en tillväxtsäsong. Detta betyder att en kort testodling över en säsong kan ge en god uppfattning om vilken odlingspotential en lokal har. Emellertid är det viktigt att belysa att det kan finnas en stor

mellanårsvariation i faktorer som styr hur god tillväxten är under ett visst år såsom födotillgång och konkurrens från andra arter.

#### *4.7.3 Underdimensionering av pilotodlingar*

Ett flertal pilotodlingar sjönk på grund av den oväntat höga tillväxten och höga skördevikten kombinerat med att odlingarnas flytkropparna komprimerades mer än beräknat. Detta har sannolikt lett till en lägre skördevikt eftersom födotillgången minskar med ökat djup. Samtliga stationer har därför kompletterats med ytterligare flytkraft vid fler tillfällen. För merpraten av de sjunkna stationerna bedömer vi att det har haft marginell/liten påverkan på settling och tillväxt eftersom odlingarna inte sjunkit speciellt djupt och sent på säsongen då settling och tillväxt stannat av.

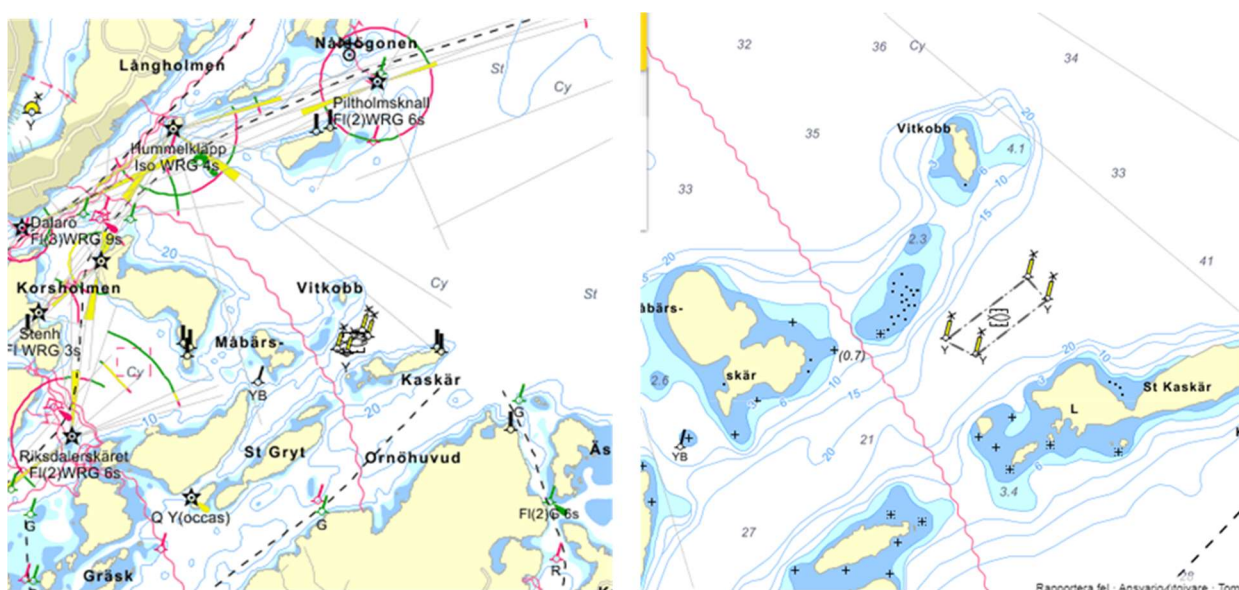
## 5. Nedsänkt prototypodling

### 5.1 Bakgrund

Musslor odlas på olika sätt världen över vilket både underlättar skörd och bevarar naturligt förekommande bestånd av musslor (då dessa inte trålas). På de allra flesta platser används utrustning och odlingar anpassade och modifierade för de lokala förhållandena. De tidigare odlingsförsök som gjorts i Östersjön har flertalet haft problem med kraftig påverkan från is och isdrift (Karlsson, 2015; Lindahl, 2012). Av den anledningen valdes en metod som tidigare testats med framgång i bland annat i Massachusetts då denna visat sig klara tuffa väderförhållanden. Två andra aspekter som motiverat utvecklandet av nedsänkta odlingar, framförallt i skärgårdsmiljö, är att de inskränker betydligt mindre estetiskt jämfört med ytnära odlingar, samt att det inte hindrar fritidsbåtar att passera direkt över odlingarna. Tekniken har under projektets anpassats till Östersjöns förhållanden och utvärderats utifrån ett antal viktiga aspekter så som substrattyp, utplacering, ankring, flytkraft och odlingsdjup.

### 5.2 Odlingslokal

Under projektets uppstartsfas fick Ecopelag kontakt med Vilhelm Herlin, mark- och vattenägare på Ornö. Efter en genomgång av de lokala förutsättningarna togs beslutet att placera projektets nedsänkta prototypodling på Herlins vatten inom fastighet Svinåker 1:8 (Figur 18). Det aktuella området ligger i södra delen av Jungfrufjärdens vattenförekomst (SE590835-183000) och angränsar i söder till Fåglaröfjärdens vattenförekomst (SE590500-182000). En viktig anledning för valet av lokal förutom lämpligt djupintervall (10-40 m) var att området är känt för att vara förhållandevis strömt då stora mängder vatten passerar fram och tillbaka mellan Jungfrufjärden och Mysingen. De ströma förhållandena är positivt framförallt ur två perspektiv, dels för att det ökar musslornas födotillgång och dels för att det minskar risken för en alltför hög punktbelastning av näring under odlingen från musslornas fekalier. Andra viktiga aspekter för odlingens placering var att närområdet är fritt från farleder och bedöms vara mycket lite trafikerat och bör således inte utgöra ett betydande hinder för turism eller det rörliga friluftslivet.



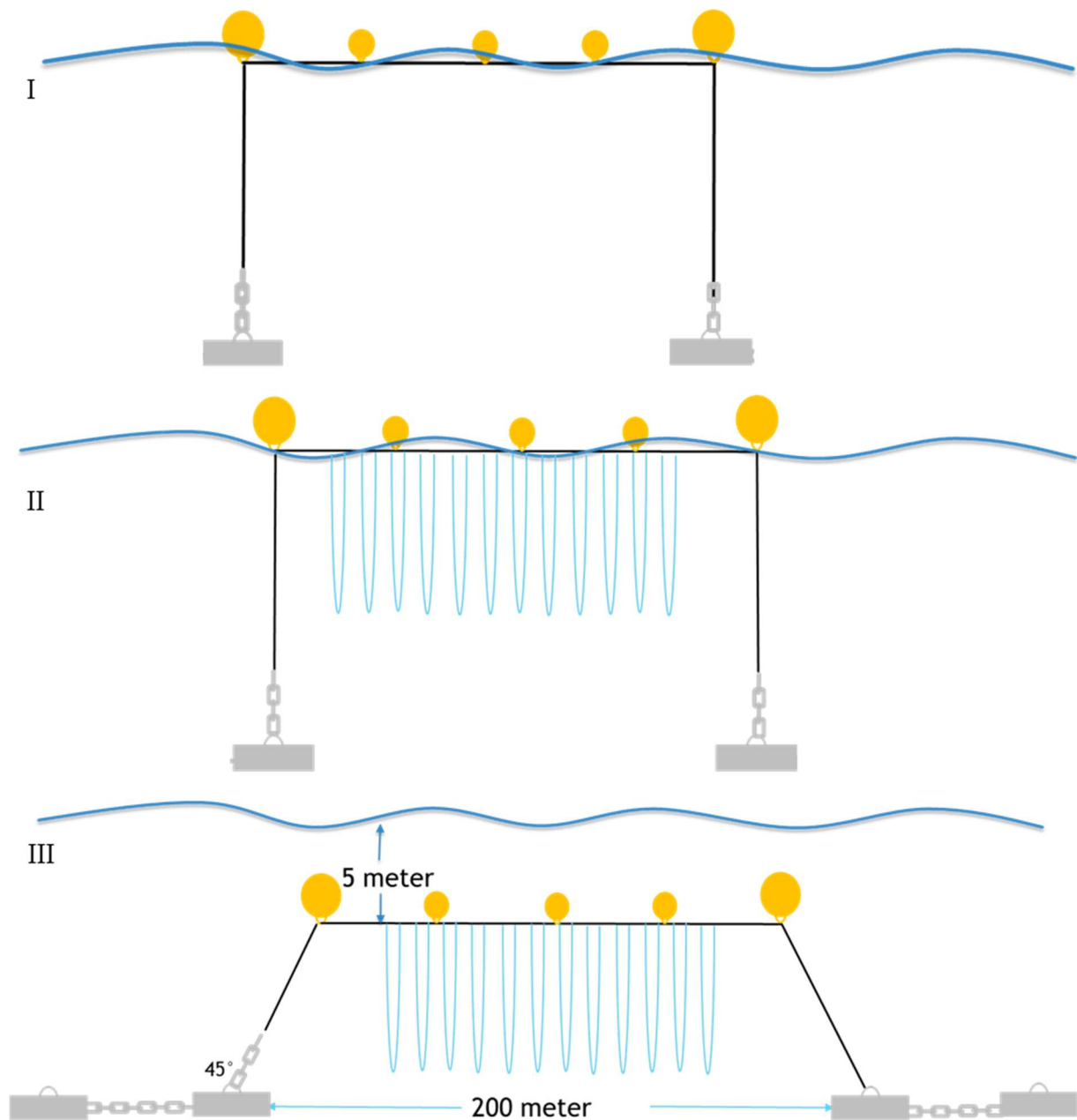
Figur 18. Sjökort över odlingsområdet utanför Dalarö, Haninge kommun (Svinåker 1:8). Sjökort från Eniro.se.



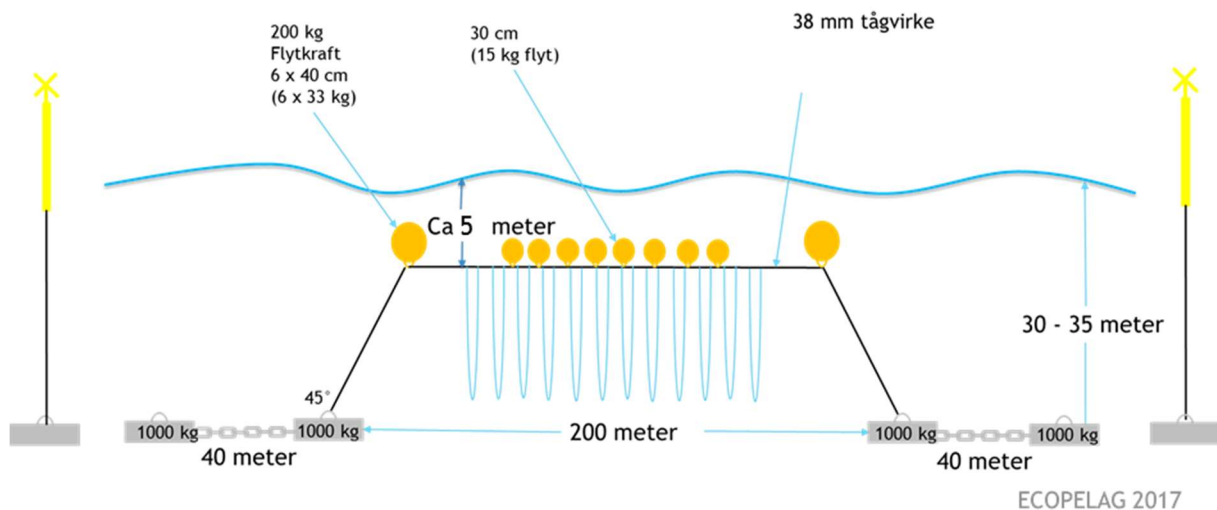
Förarbetet i fält påbörjades i april 2017 med inmätning av områdets batymetri och scanning av botten beskaffenhet (hård- eller mjukbotten). Efter att en detaljerad batymetrisk karta skapats kunde odlingens exakta placering bestämmas till en svagt sluttande mjukbottenplatå (30-35 meter) centralt i området.

### 5.3 Utplacering

Odlingens bärlina (Seaflex 34 mm) och förankring (1 ton i vardera ände) placerades ut den 10 maj tillsammans med Sjöliv AB om normalt sett arbetar med allehanda anläggningsarbeten i Stockholms skärgård. Vid det första tillfälle placerades odlingens bärlina i ytan utan infästa substrat (Figur 9 A). Substraten fästes sedan in av Ecoplelag under den kommande veckan (Figur 9 B). Substratlängden anpassades till 20 m så att odlingssubstraten skulle hamna ca fem meter under ytan och minst fem meter ovan botten. Totalt fästes 1600 meter substrat in av typen CTW (Extra Weighted Xmas Tree från Donaghys Ltd) i huvudlinan. När infästningen var klar drogs den ena sidans ankringsstenar till position så att odlingen sänktes till rätt djup (Figur 9 C). I samband med utdragningen förflyttades den andra sidans förankring vilket medförde att odlingens förankring förstärktes med ytterligare 1 ton i vardera ände (Figur 9 C). Området märktes avslutningsvis ut med fyra fristående gula specialmärken - ett i vardera hörn av odlingsområdet. För detaljerad information om utformning se Figur 10.



Figur 19. Odlingen installerades i tre steg: (I) huvudlinan placerades i ytan utan substrat; (II) huvudlinans försågs med odlingssubstrat; (III) huvudlinan drogs ner till ca 5 m genom att flytta den ena sidans förankring utåt.



Figur 20. Principskiss med mått och djup av projektets prototypodling utanför Dalarö, Haninge kommun (Svinskär 1:8).

### 5.3 Resultat

Den nedsänkta prototypodlingen klarade isförhållanden under projektiden utan någon negativ påverkan. Odlingen var enligt SMHIs iskartor täckt under såväl vintern 2018 som vintern 2019. Vid tillsyn under fas 1 har det dock noteras att odlingen legat djupt vid ett antal tillfällen då tillväxten på substraten gjort den tyngre. Detta har korrigerats, i och med det löpande underhållet, genom att extra flytkraft monterats. För att underlätta bedömningen av hur djupt odlingen legat monterades en tamp med bojar på 3, 4 och 5 meter på odlingens mitt. Genom att notera vilken boj som legat i ytan har odlingens djup enkelt kunnat bestämmas och korrigeras vartefter vikten ökat. Odlingen har även filmats för att säkerställa att allt såg bra ut även under vattenytan. Från videoupptagningen har bedömningen gjorts att att odlingen legat bra placerad och att inga substrat har trasslat sig (Foto 21 & 22). En visuell bedömning efter år ett bekräftade även att settlement skett ner till ca 20 meters djup. En del av odlingen skördades efter ca 26 månader under sommaren 2019 vilket resulterade i upp emot 5kg/m odlingsrep. För mer ingående data se figur 18, Svinskär 1 och 2. Odlingen ligger i dagsläget kvar och de kvarvarande musslorna kommer användas som testunderlag i kommande avsättningsstudier.

### 6. Nästa steg - Fas 2 och 3

Med en odlingsteknik som klarar is och isdrift samt en tillväxt över förväntan så kommer Ecopelag gå vidare med fas 2 och 3 av delprojekt C14 Innovative musselfarming to reduce nutrients. Projekt ämnar att omsätta resultaten från fas 1 och implementera lokalt anpassade musselodlingar som åtgärd i Stockholms län, samt fortsätta utvärdera möjligheterna till upptag och återcirkulering av näringsämnen och därmed skapa en grund för hållbar tillväxt inom blåa och gröna näringar.

Projektets utformning kommer till viss del vara avhängd på vilka kommuner som kommer att delta. Ecopelags målsättning är att engagera fyra stycken kommuner och placera ut odlingar i två huvudområden där varje område kommer att delas av två kommuner. För att hitta lämpliga lokaler har vi tagit kontakt med Skärgårdsstiftelsen som ställt sig positiva till en fortsatt användning av deras naturreservat. Vi kommer initialt titta på fyra vattenförekomster som kommer utvärderas innan slutgiltiga lokaler bestäms med hjälp av resultat och erfarenheter från fas 1. Områden som är av särskilt intresse är (Figur X):

1. Erstaviken (Nacka/Tyresö)
2. Jungfrufjärden (Haninge)
3. Mysingen (Haninge/Nynäshamn)
4. Norrstensfjärden (Värmdö/Haninge)



Figur X. Aktuella områden i Stockholms län.

Samtidigt som projektet kommer ge en betydande närsaltsreduktion syftar det även till att adressera flera aktuella och viktiga frågeställningar:

- **Kostnadseffektivitet (upptag närsalter):** projektet kommer öka kunskapen om kostnadseffektivitet genom att visa faktisk skördemängd och näringsinnehåll. Settling och tillväxt har under fas 1 varit över förväntan på ett flertal lokaler men behöver utvärderas i större skala då mängden biomassa på pilotriggarna inte är direkt skalbar. Projektet kommer även adressera kunskapsluckan vad gäller musslornas näringsinnehåll genom mätningar vid ett flertal tillfällen.
- **Återcirkulering av näringsämnen:** en fundamental del för att etablera musselodling som miljöåtgärd är att finna effektiva sätt att återcirkulera näringen i musslorna. Detta ger även en grund för en cirkulär ekonomi med ett minskat beroende av mineralbaserad fosfor. Ett flertal alternativ kommer att testas och utvärderas tillsammans med externa partners.
- **Miljöpåverkan:** projektet kommer säkerställa att odlingen har positiv inverkan på miljön och öka kunskapen om hur musselodlingar påverkar miljön genom kontinuerliga mätningar i och kring odlingen. Miljöövervakningen kommer ske med utgångspunkt i det regionala övervakningsprogrammet.

Utöver projektets egna mål och syften kommer odlingarna även ligga till grund för en kompletterande vetenskaplig studie, "Ökad kunskap om hur musselodlingar kan påverka

ekosystem i Östersjön”, (finansierad av Havs- och vattenmyndigheten) för att öka kunskapen om de potentiellt sett negativa miljöeffekterna på ekosystem kopplade till musselodling i Östersjön.

## 6. Referenser

- Azizi, G., Akodad, M., Baghour, M., Layachi, M., & Moumen, A. (2018). The use of *Mytilus* spp. mussels as bioindicators of heavy metal pollution in the coastal environment. A review. *J. Mater. Environ. Sci.*, 9(4), 1170-1181.
- Bahlsberg-Pålsson, A.M., ed. 1990. Förbehandling, uppslutning och extraktberedning av växt- och förnaprov. Swedish. Pp 18-19 i Handledning i kemiska metoder vid växtekologiska arbeten. Meddelande från Växtekologiska avdelningen, Lunds Universitet, Lund, Sweden. In Swedish.
- Baltic Blue growth 2019. <https://www.submariner-network.eu/balticbluegrowth>
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S., 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48. <[doi:10.18637/jss.v067.i01](https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01)>.
- Bucefalos 2015. Design of full scale blue mussel cultivation site in Öresund (2015). Report from the Bucefalos project. [[http://malmo.se/download/18.5f3af0e314e7254d70eab884/1491301409655/Utformning+a+v+fullskalig+musselodling+i+%C3%96resund\\_med+bilagor.pdf](http://malmo.se/download/18.5f3af0e314e7254d70eab884/1491301409655/Utformning+a+v+fullskalig+musselodling+i+%C3%96resund_med+bilagor.pdf)].
- Dansk Akvakultur 2015. Faglig rapport fra nr. 2015-12 KOMBINATIONSSOPDRÆT AF HAVBRUGSFISK, TANG OG MUSLINGER TIL FODER OG KONSUM.
- Díaz E., Kraufvelin P., 2013. A mussel farm in the Baltic proper. In: Vollmann, T (ed.) Perspectives from the Åland Aquaculture Week, Mariehamn, Åland 9–12 October 2012, Mussel Farming in the Baltic Sea Region: Prerequisites and Possibilities, pp. 12-13.
- Dinno, A., 2017. dunn.test: Dunn's Test of Multiple Comparisons Using Rank Sums. R package version 1.3.5. <https://CRAN.R-project.org/package=dunn.test>
- Engvall, M. (2012). VET DU VAD DIN MIDDAG ÅT TILL FRUKOST? En rapport om fiskmjöl. Swedwatch rapport #46. [https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/vetduvaddinmiddagattillfrukost\\_fiskmjol.pdf](https://www.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/vetduvaddinmiddagattillfrukost_fiskmjol.pdf)
- Gren, I.M., Lindahl, O., Lindqvist, M., 2009. Values of mussel farming for combating eutrophication: An application to the Baltic Sea. *Ecol. Eng.* 35, 935–945. doi:10.1016/j.ecoleng.2008.12.033
- Gren I-M., 2019. The economic value of mussel farming for uncertain nutrient removal in the Baltic Sea. *PLoS ONE* 14(6): e0218023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218023>
- Hedberg, N., Kautsky, N., Kumblad, L., & Wikström, S. A. (2018). Limitations of using blue mussel farms as a nutrient reduction measure in the Baltic Sea. *Report from Baltic Sea Centre*, 2, 2018.
- Isaeus, M. 2004. Factors structuring *Fucus* communities at open and complex coastlines in the Baltic Sea. Martin Isæus. Diss, Botaniska institutionen, Stockholms Universitet.
- Jönsson, L. (2009). *Mussel meal in poultry diets* (Vol. 2009, No. 83).
- Kautsky, N. (1981). On the trophic role of the blue mussel (*Mytilus edulis* L.) in a Baltic coastal ecosystem and the fate of the organic matter produced by the mussels. *Kieler Meeresforsch., Sonderh.*, 5, 454-461.
- Kalmar. Workshop - "Musselodling – en workshop om nya affärsmöjligheter (Malmö, 1 mars 2018).

- Kautsky, N. (1982). Growth and size structure in a Baltic *Mytilus edulis* population. *Marine Biology*, 68(2), 117-133.
- Kraufvelin, P., & Díaz, E. R. (2015). Sediment macrofauna communities at a small mussel farm in the northern Baltic proper.
- Kjørboe, T., Mølenberg, F., & Nøhr, O. (1980). Feeding, particle selection and carbon absorption in *Mytilus edulis* in different mixtures of algae and resuspended bottom material. *Ophelia*, 19(2), 193-205.
- Laihonen, P., Furman, E.R. (1986). The site of settlement indicates commensalism between blue mussel and its epibiont. *Oecologia* 71, 38–40.
- Lappalainen, A., Westerbom, M., & Heikinheimo, O. (2005). Roach (*Rutilus rutilus*) as an important predator on blue mussel (*Mytilus edulis*) populations in a brackish water environment, the northern Baltic Sea. *Marine Biology*, 147(2), 323-330.
- Lindah, O. 2012. Mussel farming as an environmental measure in the Baltic. Slutrapport Baltic 2020.
- Lindholm, T., M. Svartström, L. Spoo & J. Meriluoto. 2001. Effects of ship traffic on archipelago waters off the Långnäs harbour in Åland, SW Finland. *Hydrobiologia* 444:217-225.
- Milgöforskningsberedningen (2012). Rapport - Ejderns och andra musselätande dykänders minskning i Östersjön
- Minnhagen, S. (2018). Presentation - Mussel farming on the Swedish east coast: Business case
- Minnhagen S., Lyngsgaard M. M., Wallach T., Staufenberger T., Emilsson M., Bailey J., Bertilius K., Purina I., Dolmer P. (2019). Results from Baltic Blue Growth project's mussel farms and way forward for mussel farming in the Baltic Sea. [https://www.submariner-network.eu/images/GoA\\_3\\_2\\_Results\\_from\\_the\\_BBG\\_mussel\\_farms\\_corrected\\_version\\_190820.pdf](https://www.submariner-network.eu/images/GoA_3_2_Results_from_the_BBG_mussel_farms_corrected_version_190820.pdf)
- Naturvårdsverket (2006). Sammanställning och analys av kustnära undervattensmiljö. NV Rapport 5591.
- Nordic Committee on Food Analysis, 1976. Nitrogen. Determination in food and feed according to Kjeldahl, No 6, Third Edition.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Russell V. Lenth (2016) Least-Squares Means: The R Package lsmeans. *Journal of Statistical Software*, 69(1), 1-33. doi:10.18637/jss.v069.i01
- Sahlberg, J. (2009). The Coastal Zone Model. SMHI Oceanography No.98.
- Svealands kust vattenvårdsprogram (2019). <http://www.skvvf.se/miljoanalys/>
- Walve, J., & Rolff, C. (2019). Svealandskusten 2018: Tillståndet i kustvattnet-resultat från förbundets mätprogram.
- Westerbom, M., Kilpi, M., & Mustonen, O. (2002). Blue mussels, *Mytilusedulis*, at the edge of the range: population structure, growth and biomass along a salinity gradient in the north-eastern Baltic Sea. *Marine Biology*, 140(5), 991-999.

Westerbom, M., & Jattu, S. (2006). Effects of wave exposure on the sublittoral distribution of blue mussels *Mytilus edulis* in a heterogeneous archipelago. *Marine Ecology Progress Series*, 306, 191-200.

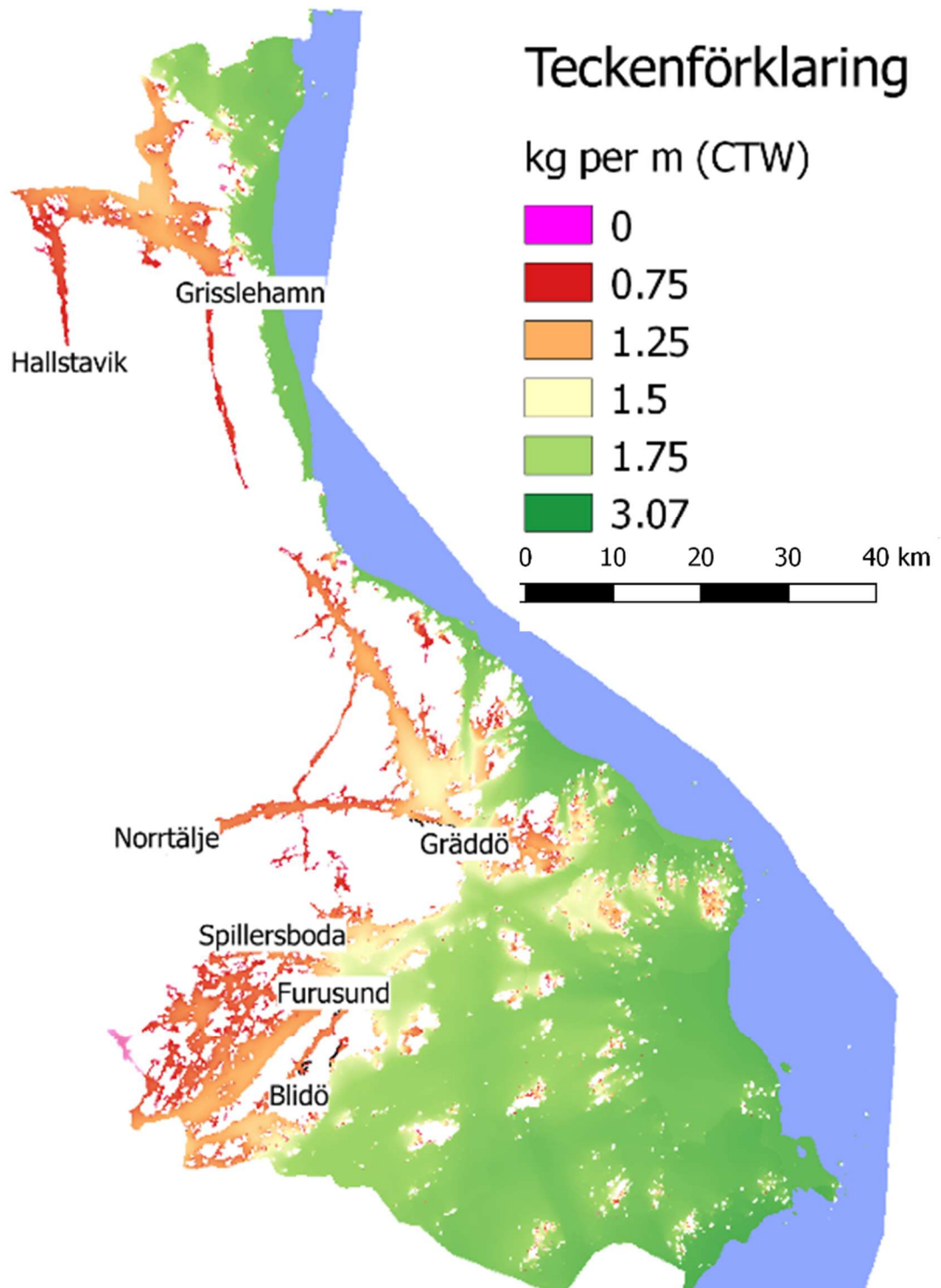
Young, G. A. (1985). Byssus-thread formation by the mussel *Mytilus edulis*: Effects of environmental factors. *Marine ecology progress series. Oldendorf*, 24(3), 261-271.

Öst, M., & Kilpi, M. (1998). Blue mussels *Mytilus edulis* in the Baltic: good news for foraging eiders *Sterna mollissima*. *Wildlife Biology*, 4(2), 81-89.



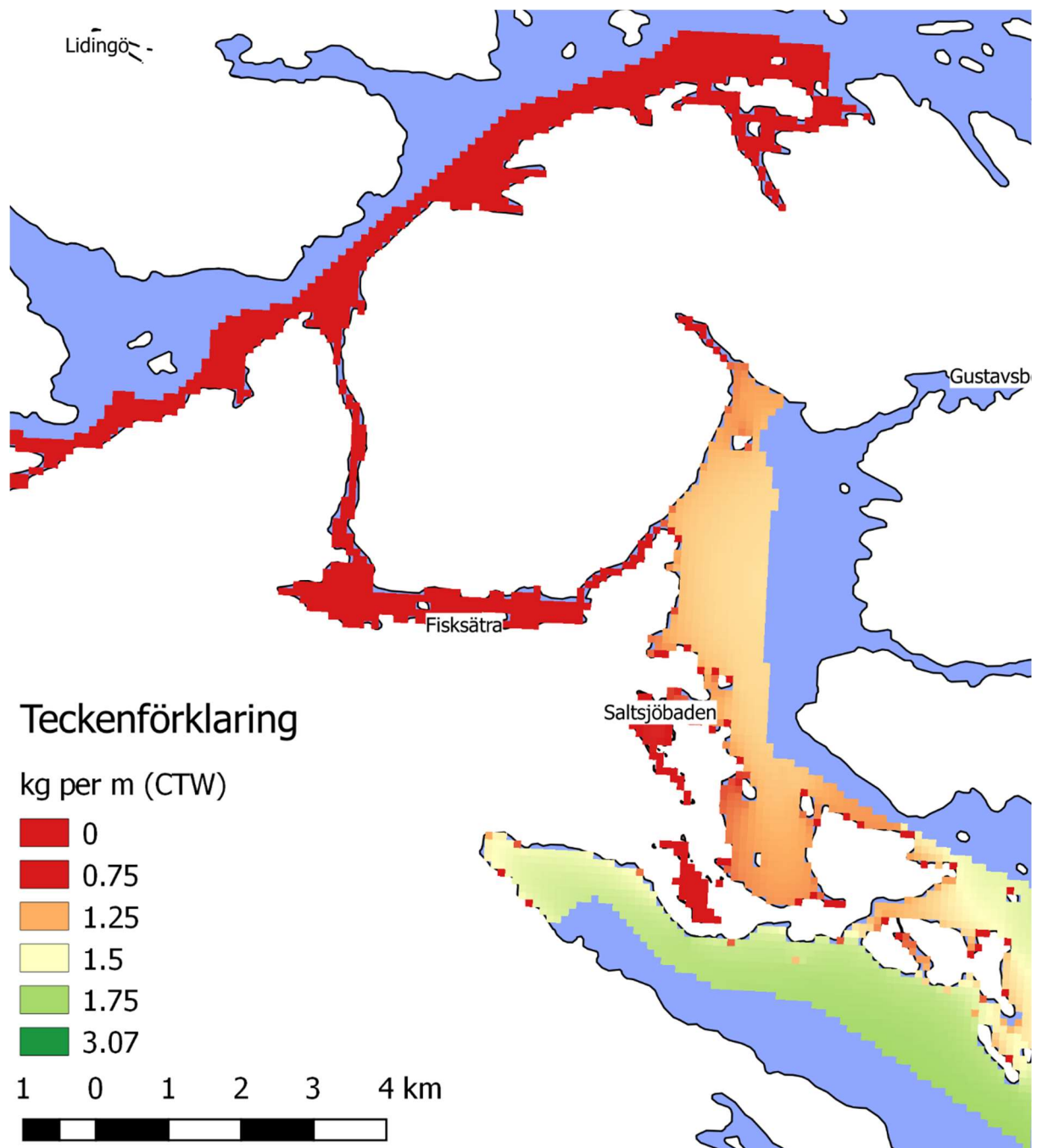
## Appendix 1. GIS-modell

### A1.1 Norrtälje kommun



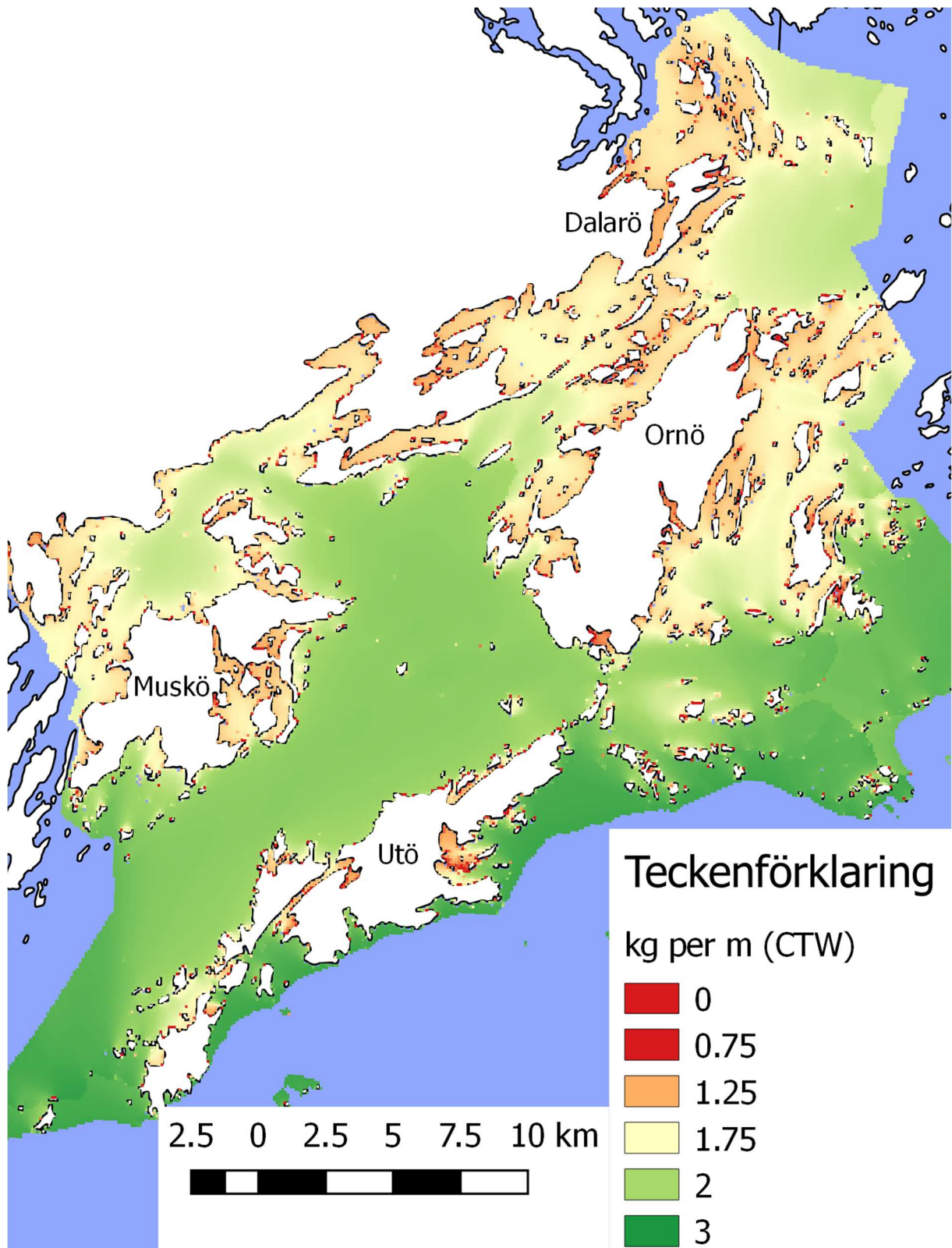
Figur 21. Predikterad skördevikt för Nya Zeeländska odlingsrep (CTW) i Norrtälje kommun.

## A1.2 Nacka kommun



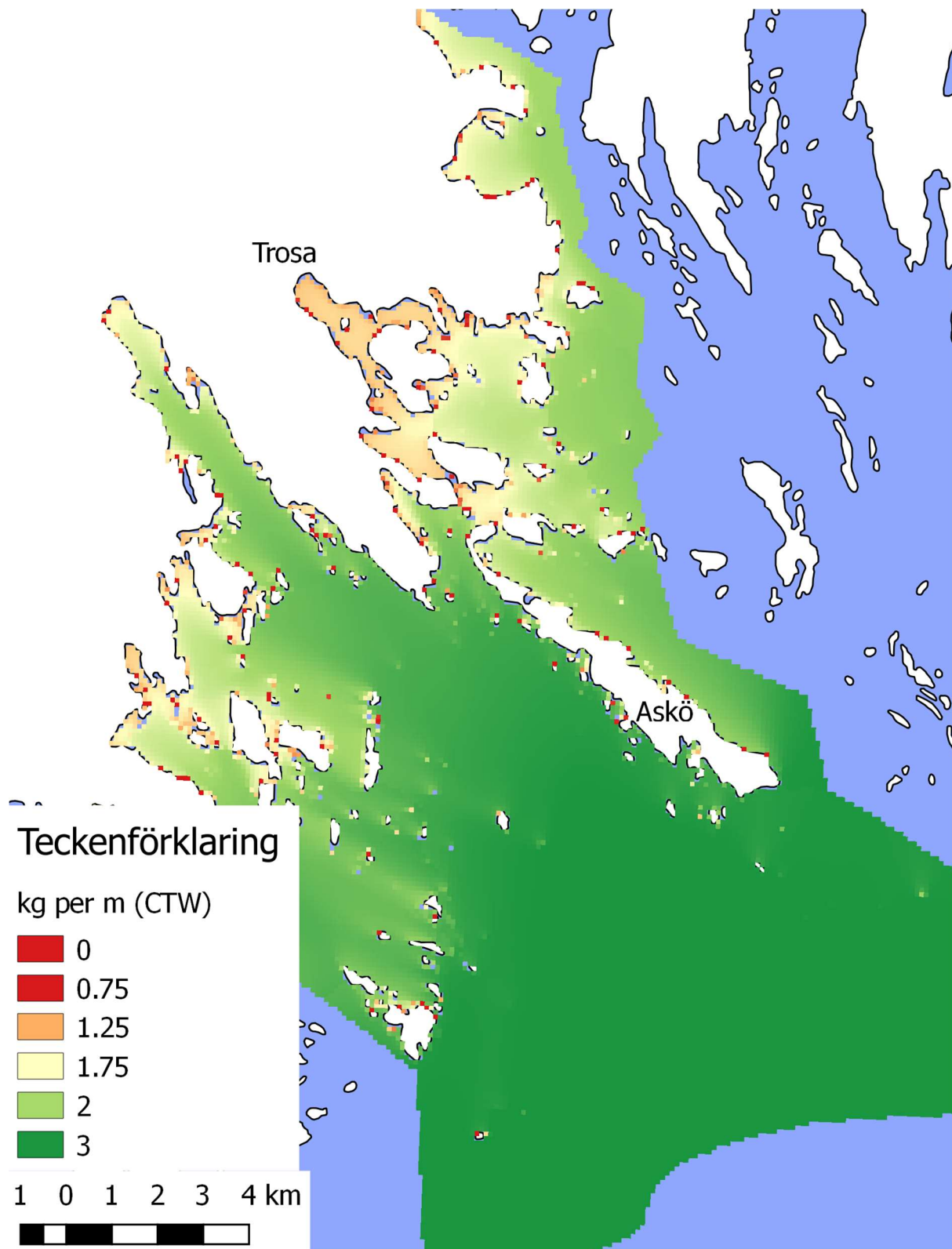
Figur 22. Predikterad skördeväkt för Nya Zeeländska odlingsrep (CTW) i Nacka kommun.

A1.3 Haninge kommun



Figur 23. Predikterad skördevikt för Nya Zeeländska odlingsrep (CTW) i Haninge kommun.

#### A1.4 Trosa kommun



Figur 24. Predikterad skördevikt för Nya Zeeländska odlingsrep (CTW) i Trosa kommun.

## Appendix 2. Näringshalter

Tabell 1. Provtagningsdatum, torrsubstans (TS) samt halter (g/kg) av N,Ca,K,Mg,Na,P och S i skördade musslor (våtvikt) från 9 stationer och 3-4 provtagningstillfällen.

| Kommun      | Stationsnamn | Datum     | TS (%)   | N     | Ca    | K    | Mg   | Na   | P    | S    |      |
|-------------|--------------|-----------|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Nacka       | Norrör       | 20180523  | 27,9     | 7,5   | 77,7  | 0,61 | 0,49 | 1,08 | 0,69 | 1,35 |      |
|             |              | 20181108  | 31,7     | 10,9  | 78,5  | 0,91 | 0,47 | 1,27 | 0,98 | 1,67 |      |
|             |              | 20190417  | 28,5     | 7,5   | 84,1  | 0,52 | 0,69 | 1,14 | 0,64 | 1,58 |      |
|             | Torskholsgr. | 20180523  | 27,2     | 8,1   | 75,2  | 0,58 | 0,44 | 1,1  | 0,71 | 1,34 |      |
|             |              | 20180913  | 29,9     | 7,9   | 89,7  | 0,59 | 0,56 | 1,32 | 0,7  | 1,6  |      |
|             |              | 20181108  | 30,2     | 10,9  | 80,9  | 0,79 | 0,45 | 1,27 | 0,83 | 1,52 |      |
|             | Erstaviken   | 20190417  | 26,7     | 7,3   | 74,1  | 0,62 | 0,52 | 1,3  | 0,67 | 1,35 |      |
|             |              | 20180523  | 28       | 7,3   | 80,1  | 0,59 | 0,54 | 1,24 | 0,72 | 1,41 |      |
|             |              | 20181108  | 29,7     | 9     | 79    | 0,68 | 0,62 | 1,33 | 0,74 | 1,6  |      |
|             | 20190417     | 25,7      | 7,8      | 72,6  | 0,58  | 0,41 | 1,05 | 0,72 | 1,35 |      |      |
|             | Norrhälje    | Tjockö    | 20180522 | 25,7  | 7,3   | 64,6 | 0,72 | 0,85 | 1,27 | 0,72 | 1,3  |
|             |              |           | 20181105 | 27,7  | 7,8   | 74,5 | 0,62 | 0,63 | 1,38 | 0,7  | 1,43 |
| 20190416    |              |           | 25,3     | 8     | 64    | 0,69 | 0,63 | 1,32 | 0,76 | 1,32 |      |
| Riddersholm | 20180522     | 28,6      | 8,9      | 74,8  | 0,75  | 0,72 | 1,3  | 0,78 | 1,48 |      |      |
|             | 20181105     | 29,4      | 8        | 84,6  | 0,56  | 0,53 | 1,25 | 0,63 | 1,5  |      |      |
|             | 20190416     | 28,7      | 8,9      | 77,4  | 0,68  | 0,51 | 1,25 | 0,79 | 1,46 |      |      |
| Köpmanholm  | 20180522     | 27,8      | 8,1      | 71,7  | 0,83  | 0,61 | 1,24 | 0,78 | 1,49 |      |      |
|             | 20180918     | 33,2      | 8,1      | 98,4  | 0,57  | 0,74 | 1,31 | 0,65 | 1,7  |      |      |
|             | 20181105     | 34        | 6,7      | 102,2 | 0,51  | 0,96 | 1,53 | 0,6  | 1,81 |      |      |
|             | 20190416     | 26,9      | 6,8      | 76,2  | 0,56  | 0,65 | 1,16 | 0,64 | 1,38 |      |      |
|             | Haninge      | Rågholmen | 20180524 | 28,4  | 8,7   | 73,6 | 0,79 | 0,51 | 1,29 | 0,84 | 1,44 |
|             |              |           | 20181109 | 30,9  | 7,9   | 90,1 | 0,58 | 0,54 | 1,39 | 0,69 | 1,54 |
| 20190425    |              |           | 24,7     | 8,2   | 64,6  | 0,71 | 0,42 | 1,14 | 0,77 | 1,28 |      |
| Genböte     | 20180524     | 29,8      | 9,3      | 75,8  | 0,81  | 0,47 | 1,24 | 0,91 | 1,49 |      |      |
|             | 20180927     | 20,7      | 6,4      | 53,5  | 0,5   | 0,32 | 1,09 | 0,56 | 1,06 |      |      |
|             | 20181109     | 26,8      | 7,7      | 75,8  | 0,61  | 0,45 | 1,44 | 0,68 | 1,42 |      |      |
|             | 20190425     | 25,6      | 7,9      | 68,6  | 0,72  | 0,45 | 1,36 | 0,77 | 1,35 |      |      |
|             | Tillögorna   | 20180524  | 28       | 9,1   | 74,9  | 0,75 | 0,43 | 1,27 | 0,82 | 1,41 |      |
|             |              | 20181109  | 39       | 11,4  | 108,4 | 0,84 | 0,64 | 1,94 | 0,87 | 1,97 |      |
| 20190423    |              | 27,2      | 9,8      | 66,4  | 0,9   | 0,42 | 1,3  | 1,01 | 1,43 |      |      |

### Appendix 3. Metadata, predation och täckningsgrad

Tabell 1. Vattenförekomst, koordinater, förekomst av andra arter (Hj = hjärtmussla, Br = bryozoa, Ha = havstulpan, Fa = fintrådiga alger), tillväxtmånader, tecken på predation samt täckningsgrad vid olika provtagningstillfällen.

| Kommun    | Station       | VFK                               | Lat       | Long      | Andra arter             | Mån   | Datum    | Pred.      | Sjunkit   | Täckn (%) |
|-----------|---------------|-----------------------------------|-----------|-----------|-------------------------|-------|----------|------------|-----------|-----------|
| Norrtälje | Köpmanholm    | Ålandsfj.                         | 59.661817 | 18.948417 | Hj, Br, Ha, Fa          | 13    | 170608   | Nej        | Nej       | 20        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 23    | 180428   | Nej        | Nej       | 60        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 24    | 180522   | Nej        | Nej       | 60        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 30    | 181105   | Ja         | Nej       | 40        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 35    | 190416   | Ja         | Nej       | 30        |
| Norrtälje | Riddersholm   | Ålandsfj.                         | 59.700967 | 19.024217 | Hj, Br, Ha, Fa, rödalg  | 13    | 170608   | Nej        | Ja        | 20        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 23    | 180428   | Nej        | Nej       | 60        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 24    | 180522   | Nej        | Nej       | 60        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 30    | 181105   | Nej        | Ja        | 70        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 35    | 190416   | Nej        | Nej       | 100       |
| Norrtälje | Själbottna    | Skatfj.                           | 59.568832 | 18.791964 | Hj, Br, fintrådig alger | 10    | 180428   | Nej        | Nej       | 20        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 17    | 181105   | Nej        | Nej       | 40        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 22    | 190418   | Osäker     | Nej       | 30        |
| Norrtälje | Tjockö        | Tjocköfj.                         | 59.755433 | 19.106767 | Hj, Br, Ha, Fa, rödalg  | 13    | 170608   | Nej        | Nej       | 20        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 23    | 180428   | Nej        | Nej       | 20        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 24    | 180522   | Nej        | Nej       | 14        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 30    | 181105   | Nej        | Nej       | 48        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 35    | 190416   | Nej        | Nej       | 25        |
| Norrtälje | Vidingefj.    | Vidingefj.                        | 59.630638 | 19.1976   | Hj                      | 10    | 180428   | Nej        | Nej       | 60        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 22    | 190416   | Nej        | Nej       | 100       |
| Nacka     | Baggensfj.    | Baggensfj.                        | 59.28818  | 18.313983 | Ha, Br, Hj, Fa          | 13    | 170601   | Nej        | Nej       | 40        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 23    | 180413   | Nej        | Ja        | 20        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 24    | 180523   | Nej        | Ja        | 5,5       |
|           |               |                                   |           |           |                         | 30    | 181108   | Nej        | Nej       | 20        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 35    | 190417   | Nej        | Nej       | 20        |
| Nacka     | Erstaviken    | Erstaviken                        | 59.2478   | 18.346933 | Hj, Ha                  | 23    | 180413   | Nej        | Ja        | 100       |
|           |               |                                   |           |           |                         | 24    | 180523   | Ja         | Ja        | 70        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 30    | 181108   | Ja         | Nej       | 20        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 35    | 190417   | Ja         | Ja        | 20        |
|           |               |                                   |           |           |                         | Nacka | Lindskär | Erstaviken | 59.242824 | 18.383313 |
| 17        | 181108        | Nej                               | Nej       | 32        |                         |       |          |            |           |           |
| 22        | 190417        | Ja                                | Nej       | 30        |                         |       |          |            |           |           |
| Nacka     | Norrör        | Ingaröfj.                         | 59.26111  | 18.366517 | Hj, Ha, Fa              |       |          |            |           |           |
|           |               |                                   |           |           |                         | 23    | 180413   | Nej        | Ja        | 100       |
|           |               |                                   |           |           |                         | 24    | 180523   | Ja         | Ja        | 27        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 30    | 181108   | Ja         | Nej       | 30        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 35    | 190417   | Ja         | Nej       | 20        |
| Nacka     | Torskholmsgr. | Erstaviken                        | 59.2546   | 18.328817 | Hj, Br, Ha              | 13    | 170601   | Nej        | Nej       | 80        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 23    | 180413   | Nej        | Ja        | 100       |
|           |               |                                   |           |           |                         | 24    | 180523   | Ja (nej*)  | Ja        | 100*      |
|           |               |                                   |           |           |                         | 30    | 181108   | Ja         | Nej       | 40        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 35    | 190417   | Ja         | Nej       | 20        |
| Haninge   | Genböte       | Fåglaröfj.                        | 59.128217 | 18.433667 | Hj, Fa                  | 12    | 170529   | Nej        | Ja        | 80        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 23    | 180410   | Nej        | Ja        | 100       |
|           |               |                                   |           |           |                         | 24    | 180524   | Nej        | Ja        | 100       |
|           |               |                                   |           |           |                         | 30    | 181109   | Nej        | Ja        | 100       |
|           |               |                                   |           |           |                         | 35    | 190425   | Nej        | Ja        | 100       |
| Haninge   | Gryt Ost      | Fåglaröfj.                        | 59.116988 | 18.448963 | Hj                      | 10    | 180426   | Nej        | Nej       | 60        |
|           |               |                                   |           |           |                         | 17    | 181108   | Nej        | Nej       | 100       |
| Haninge   | Gryt Väst     | Fåglaröfj.                        | 59.118855 | 18.447086 | n/a                     | 17    | 181114   | Nej        | Nej       | n/a       |
| Haninge   | Huvudskär     | Stockholms skärgårds s kustvatten | 58.963133 | 18.58773  | Hj                      | 12    | 170529   | Nej        | Ja        | 40        |

|                |            |                                   |           |           |            |    |        |     |     |      |
|----------------|------------|-----------------------------------|-----------|-----------|------------|----|--------|-----|-----|------|
| <b>Haninge</b> | Kråkskär   | Jungfrufj.                        | 59.166647 | 18.509045 | Hj         | 10 | 180426 | Nej | Nej | 40   |
|                |            |                                   |           |           |            | 17 | 181108 | Nej | Nej | 90   |
|                |            |                                   |           |           |            | 22 | 190423 | Nej | Nej | 92,5 |
| <b>Haninge</b> | Lerkobben  | Norstensfj.                       | 58.996318 | 18.613544 |            | 22 | 190423 | Nej | Ja  | 100  |
| <b>Haninge</b> | Runmaren   | Mysingen                          | 58.984135 | 18.330925 | Hj, Ha     | 10 | 180426 | Nej | Nej | 60   |
|                |            |                                   |           |           |            | 17 | 181114 | Nej | Ja  | 100  |
|                |            |                                   |           |           |            | 22 | 190425 | Nej | Nej | 100  |
| <b>Haninge</b> | Rågholmen  | Sandemarsfjärd                    | 59.120917 | 18.393117 | Hj, Ha, Fa | 12 | 170529 | Nej | Nej | 100  |
|                |            |                                   |           |           |            | 23 | 180410 | Nej | Ja  | 100  |
|                |            |                                   |           |           |            | 24 | 180524 | Nej | Ja  | 95   |
|                |            |                                   |           |           |            | 30 | 181109 | Ja  | Nej | 27,5 |
|                |            |                                   |           |           |            | 35 | 190425 | Ja  | Nej | 20   |
| <b>Haninge</b> | Tillögorna | Norstensfj.                       | 59.006217 | 18.5944   | Hj         | 12 | 170529 | Nej | Ja  | 100  |
|                |            |                                   |           |           |            | 23 | 180417 | Nej | Ja  | 100  |
|                |            |                                   |           |           |            | 24 | 180524 | Nej | Ja  | 92,5 |
|                |            |                                   |           |           |            | 30 | 181109 | Nej | Ja  | 100  |
|                |            |                                   |           |           |            | 35 | 190423 | Nej | Nej | 100  |
| <b>Haninge</b> | Utö        | Stockholms skärgårds s kustvatten | 58.946133 | 18.32335  |            | 12 | 170529 | Nej | Nej | 20   |
| <b>Haninge</b> | Ångsholmen | Mysingen                          | 58.902939 | 18.11712  | Hj         | 10 | 180426 | Nej | Nej | 80   |
|                |            |                                   |           |           |            | 17 | 181114 | Nej | Nej | n/a  |
| <b>Trosa</b>   | Glittran   | Asköfj.                           | 58.839505 | 17.615354 | Obetyd.    | 11 | 180530 | Nej | Nej | 100  |
|                |            |                                   |           |           |            | 18 | 181206 | Nej | Nej | 100  |
| <b>Trosa</b>   | Högholmen  | Fifångsdjupet                     | 58.851889 | 17.642557 | Obetyd.    | 10 | 190429 | Nej | Nej | 100  |
| <b>Trosa</b>   | Lacka      | Krabbfj.                          | 58.747567 | 17.58055  | Obetyd.    | 11 | 180530 | Nej | Nej | 100  |
|                |            |                                   |           |           |            | 17 | 181114 | Nej | Nej | 100  |
| <b>Trosa</b>   | Persö      | Krabbfj.                          | 58.793491 | 17.605612 |            | 10 | 190429 | Nej | Nej | 100  |

## **Appendix 4. Miljögifter**