



Aqua reports 2015:10

Undersökning av hårbottenfauna vid Forsmarks kärnkraftverk

Metodikutveckling av artificiella substrat för övervakning av
bottenfaunasamhällen på områden som saknar sediment

Anders Adill, Yvette Heimbrand, Kerstin Mo, Lena Bergström



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för akvatiska resurser

Undersökning av hårbottenfauna vid Forsmarks kärnkraftverk
Metodikutveckling av artificiella substrat för övervakning av
bottenfaunasamhällen på områden som saknar sediment

Anders Adill, Yvette Heimbrand, Kerstin Mo, Lena Bergström

Adress

SLU, Institutionen för akvatiska resurser,
Kustlaboratoriet, Skolgatan 6, 742 42 Öregrund

Augusti 2015

SLU, Institutionen för akvatiska resurser

Aqua reports 2015:10

ISBN: 978-91-576-9329-7 (elektronisk version)

Ansvarig utgivare:

Magnus Appelberg

Vid citering uppgi:

Adill, A., Heimbrand, Y., Mo, K., Bergström, L. (2015). Undersökning av hårbottenfauna
vid Forsmarks kärnkraftverk - Metodikutveckling av artificiella substrat för övervakning av
bottenfaunasamhällen på områden som saknar sediment.

Aqua reports 2015:10. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 35 s.

Rapporten kan laddas ned från

<http://www.slu.se/aquareports>

<http://epsilon.slu.se/>

E-post

Anders.adill@slu.se

Rapportens innehåll har granskats av:

Ann-Britt Florin, SLU, Institutionen för akvatiska resurser, Kustlaboratoriet

Frida Sundqvist, SLU, Institutionen för akvatiska resurser, Kustlaboratoriet

Finansiär:

Forsmarks Kraftgrupp AB

Omslagsfoton:

Yvette Heimbrand

Sammanfattning

Denna rapport är en utvärdering av artificiella substrat som metod för att övervaka bottenfauna på botten som saknar sediment. Undersökningarna utfördes under åren 2010-2014 i Forsmarks skärgård. Rapporten redogör för metodutvecklingen och de biologiska resultaten av undersökningarna. Den syftar dessutom till att grundligt beskriva metodiken för de artificiella substraten, för att möjliggöra en standardiserad och upprepningsbar framtida långtidsövervakning av hårbottenfauna i kustnära vattenområden.

De artificiella substraten, som går under namnet Landforsplattor, konstruerades utgående från en motsvarande metod som används i vattendrag och sjöar och anpassade särskilt för kustnära förhållanden. Undersökningarna genomfördes på fyra lokaler i Forsmarks skärgård, nämligen i utsläppsområdet från Biotestsjön, referensområdet Borgarna, intagsområdet för kylvatten i Asphällafjärden och inne i Biotestsjön. Plattorna sattes ut i slutet av maj och togs upp i mitten av september. Utformningen av de artificiella substraten möjliggjorde att undersökningarna kunde genomföras kvantitativt och resultaten användas för att beräkna artdiversitet, artförekomst, abundanser och biomassor för bottenfauna i de olika lokalerna.

De vanligaste artgrupperna på de artificiella substraten var snäckor, musslor och kräftdjur. De vanligaste arterna var hjärtmusslan (*Cerastoderma glaucum*), nyzeeländsk tusensnäcka (*Potamopyrgus antipodarum*), båtsnäcka (*Theodoxus fluviatilis*), den i Östersjön nyligen introducerade arten *Mytilopsis leucophaeata* (falsk vandrarmussla), märlkräftor (*Gammarus* spp) och fjädermygglarver (Chironomidae). Artrikedomen i undersökningarna med artificiella substrat var större jämfört med provtagningarna på sedimentbotten med Van Veen-huggare under samma period.

Resultaten för artdiversitet visade att substrat från samma område var mer lika varandra än substrat som legat i olika områden. Antalet arter per substrat var högst vid Asphällafjärden. Den lägsta artdiversiteten noterades vid referensområdet Borgarna och i Biotestsjön. Artdiversiteten var högre vid utsläppsområdet från Biotestsjön än vid Borgarna trots att dessa har snarlika bottenförhållanden, vilket skulle kunna förklaras av effekter av kylvattenutflödet från Biotestsjön. Två främmande arter påträffades i undersökningarna, musslan *Mytilopsis leucophaeata* och havsbortsmasken *Boccardiella ligERICA*.

Resultaten av försöken med de artificiella substraten visar att metoden är väl lämpad för att övervaka bentisk fauna på hårda botten i kustvatten. Övervakningen kan både genomföras som långtidsstudier för att undersöka förändringar över tid eller som effektstudier och jämföra skillnader i bottenfauna mellan olika områden eller för tidig upptäckt av främmande arter.

Summary

Surveys were carried out during 2010-2014 in the coastal area near Forsmark nuclear power plant to investigate communities of benthic fauna on hard substrates. The surveys were carried out using artificial substrates, and one main objective was to develop a standardized methodology for monitoring benthic fauna in areas that lack sediment in coastal waters.

The artificial substrates, referred to as Landfors plates, were constructed based on a similar approach used in rivers and lakes, but the design of the substrates and their deployment and collection methods were customized especially for use in coastal conditions. The surveys were conducted at four sites in the Forsmark archipelago; the outlet area for cooling water from the Biotest basin, nearby the island Borgarna (reference area), the intake area for cooling water Asphällafjärden and the central part of the Biotest basin. The plates were deployed in late May and collected in September. The design of the Landfors plates enabled quantitative analyses of the results with respect to species composition, abundances and biomasses of benthic fauna.

The most common groups of species found on the plates were snails, clams and crustaceans. The most common species were common cockle (*Cerastoderma glaucum*), New Zealand mudsnail (*Potamopyrgus antipodarum*), river nerite (*Theodoxus fluviatilis*), amphipods, Chironomid larvae and the newly introduced species in the Baltic Sea, *Mytilopsis leucophaeata* (Conrad's false mussel). The species richness on the Landfors plates was higher than in concurrent sampling of soft bottoms with grab samplers in the same archipelago.

The species composition of benthic fauna was more similar between plates collected from the same site than between plates from different sites. The number of species was highest at Asphällafjärden. The lowest species diversity was recorded at the reference area Borgarna and in the Biotest basin. Species diversity was higher in the cooling water outlet area than at Borgarna, although the type of substrates at these sites was similar. The difference could be explained by influence from the cooling water discharge from the nuclear power plant. Two alien species were found in the surveys, Conrad's false mussel (*Mytilopsis leucophaeata*) and the polychaete *Boccardellaia ligérica*.

The results of the surveys showed that the Landfors plates method is well suited for monitoring benthic fauna in areas lacking sediments in coastal waters. Monitoring can both be implemented as a long term study to investigate changes in benthic fauna community, differences between locations and discovering alien species.

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Rapportens innehåll och syfte	5
1.2	Bakgrund	5
1.3	Utveckling av artificiella substrat och provtagningsmetodik	8
2	Metodik	12
2.1	Artificiella bottensubstrat	12
2.2	Undersökningsområden	13
2.3	Provtagningsmetodik	14
2.3.1	Fältnoment	14
2.3.2	Våtlaboratorium	15
2.3.3	Analys på laboratorium	16
3	Resultat	18
3.1	Artförelkomst på de artificiella substraten	18
3.2	Artdiversitet	22
3.3	Skillnader i artsammansättning mellan stationer och år	23
3.4	Precision i skattningen	28
4	Diskussion	30
4.1	Provtagningar med artificiella substrat	30
4.2	Utformning av artificiella substrat och metodik	30
4.3	Resultaten från undersökningarna 2012-2014	31
4.4	Precision i beräkningarna	32
4.5	Främmande arter	33
5	Slutsatser	34
	Referenser	35

1 Inledning

1.1 Rapportens innehåll och syfte

Denna rapport är en utvärdering och resultatredovisning av försök med artificiella substrat som metod för övervakning av bottenfaunasamhällena på hårda bottenar, som utfördes under åren 2010-2014 i Forsmarks skärgård. Rapporten syftar dessutom till att grundligt beskriva den metodik som utvecklades och användes, för att göra provtagningarna standardiserade och upprepningsbara för framtida långtidsövervakning av hårbottenfauna i kustnära vattenområden. Undersökningarna med de artificiella substraten har finansierats av Forsmark Kraftgrupp AB (FKA) och har administrerats inom recipientkontrollen för Forsmarks kärnkraftverk. Årliga redovisningar av resultaten från provtagningarna har presenterats i samband med årsrapporteringarna inom recipientkontrollprogrammet i Forsmark (Adill m.fl. 2012; Adill m.fl. 2015).

1.2 Bakgrund

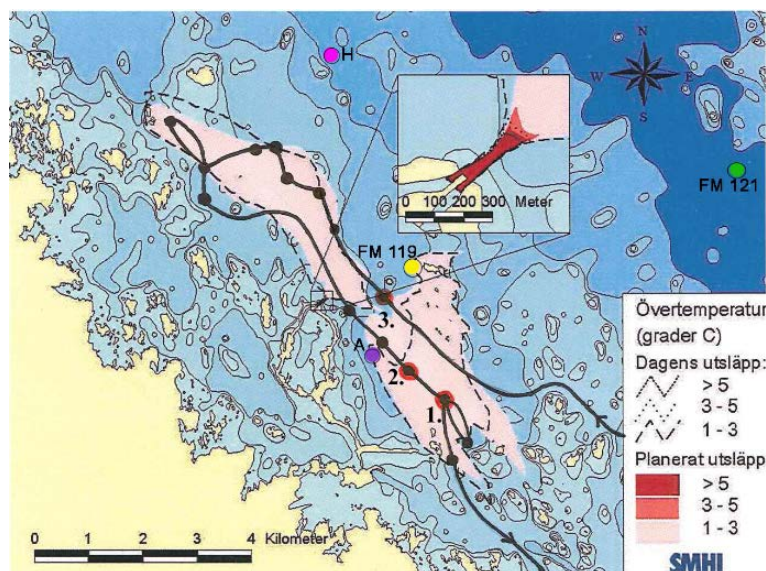
Inom det biologiska recipientkontrollprogrammet vid Forsmarks kärnkraftverk har mjukbottenfaunasamhällena övervakats sedan 1979. Provtagningarna har skett med van Veen-huggare under maj månad på två lokaler i Öregrundsgrepen, en lokal som tidvis berörs av kylvattenplymen (Länsman; FM 119; 16 meter djup) samt en lokal i Öregrundsgrepens djupränna (Engelska grundet; FM 121; 41-42 meter djup; figur 1). Provtagningarna har genomförts enligt vedertagen metodik inom kontrollprogrammet med fem hugg per lokal och år (Thoresson, 1992). Parallellt med undersökningarna har provtagningar genomförts på fyra lokaler i referensområdet i Finbofjärden i nordvästra Åland (figur 1).



Figur 1. Översikt av Forsmarksområdet med provtagningspunkter för undersökningar av mjukbottenfauna (FM 119 och FM 121) och hårbottenfauna (BOR, PLY, ASP och BIO).

Med anledning av provtagningsstationernas placering i Öregrundsgrepen föreslog FKA år 2008 ett tillägg av ytterligare en station i bottenfaunakontrollen. Den nya stationen föreslogs inom utsläppsområdet av kylvatten i den del som tydligt påverkades av övertemperatur, på basen av modelleringar utförda av Ingemansson & Lindahl (2005; figur 2). Länsstyrelsen i Uppsala län, som är tillsynsmyndighet för verksamheten vid Forsmarks kärnkraftverk, föreslog dessutom att en utredning skulle genomföras för att undersöka möjligheten att tillämpa samma provtagningsdesign som inom det nationella marina övervakningsprogrammet för mjukbottenfauna, där flera stationer provtas per område och med endast ett hugg per station (Leonardsson, 2004). Med anledning av detta gav FKA uppdrag till Fiskeriverkets

Kustlaboratorium (numera Kustlaboratoriet vid institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet) att genomföra en rekognoscering i utsläppsområdet för att finna nya lämpliga stationer för provtagning av mjukbottenfauna i den del av utsläppsområdet som tydligt påverkades av kylvatten.



Figur 2. Översikt av utsläppsområdet för kylvatten i Forsmark och båtrutten (svarta linjen) för rekognoscering av möjlig position för ny station. Svarta punkter längs båtrutten anger misslyckade hugg (hårdbotten där finare sediment saknas) och numrerade (1, 2 och 3) svarta och röda punkter är lyckade hugg (förekomst av sediment). Streckade områden på kartan utgör områden för övertemperatur enligt modelleringar utförda av SMHI (Ingemarsson & Lindahl 2005). Punkterna FM 119 (gul) och FM 121 (grön) anger provtagningspunkterna för mjukbottenfauna inom recipientkontrollprogrammet. Punkt H (rosa) och A (lila) anger platser där sediment påträffats men som ligger utanför området med övertemperatur.

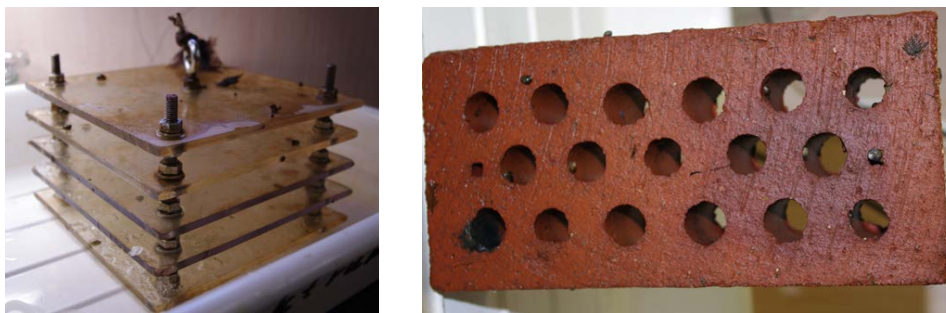
Resultatet av rekognosceringen visade att mjuka bottnar nästintill saknades i det aktuella området och att sediment förekom endast på fåtal platser (figur 2). Avsaknaden av mjuka bottnar i utsläppsområdet är sannolikt ett resultat av kärnkraftverkets drift, genom att sedimenten genom åren har spolats bort av kylvattenflödet från Biotestsjön.

Utifrån karteringen beslutades att en ny station skulle läggas till i recipientkontrollprogrammet och utgöra en provtagningspunkt för övervakning av mjukbottenfauna (nummer 2 i figur 2). Provtagningar på denna station genomfördes dock endast under två år (2009 och 2010). Stationen utgick från recipientkontrollprogrammet 2011 eftersom det bedömdes att bottensedimentet på stationen uppvisade för hög heterogenitet och att stationen inte var lämplig för långsiktig kvantitativ provtagning.

Eftersom det området som främst påverkades av övertemperatur i utsläppsområdet utgjordes av hårda bottnar föreslog länsstyrelsen 2008 att en utredning skulle genomföras för att undersöka möjligheterna att övervaka bottenfaunasamhällena med konstgjorda substrat. Denna utredning inleddes inom recipientkontrollprogrammet för Forsmarks kärnkraftverk 2009 och arbetet påbörjades att utforma en provtagningsmetodik med konstgjorda substrat för att kunna genomföra långtidsövervakning av bottenfauna på hårda bottnar.

1.3 Utveckling av artificiella substrat och provtagningsmetodik

Utvecklingen av plattorna påbörjades 2009. Inledningsvis insamlades kunskaper och erfarenheter genom litteraturstudier från tidigare utförda undersökningar med konstgjorda substrat i akvatiska miljöer (se t. ex. Beatty m.fl., 2006 och Czeniawska-Kusza, 2004). En metod som studerades närmare var Hester-Dendysamlers (Hester & Dendy, 1962) som används främst i vattendrag och i sjöar och som kunde anpassas för att fungera vid kustnära förhållanden. Utifrån dessa studier utformades och testades två olika typer av konstgjorda substrat; en variant av Hester-Dendys substrat som utgjordes av fem plattsektioner av plexiglas, samt ihålliga tegelstenar (figur 3). Syftet var att undersöka omfattningen av kolonisering av bottenfauna på substraten och se om resultatet påverkades av utformningen och materialens karaktär. Dessutom var det betydelsefullt att samla in erfarenheter om tidsåtgång för de olika fältmomenten, hanteringstid vid genomgång av prover på laboratorium, lämplig tidpunkt för läggning och upptag av substraten, och förutsättningar för att utföra statistiska utvärderingar av resultaten.



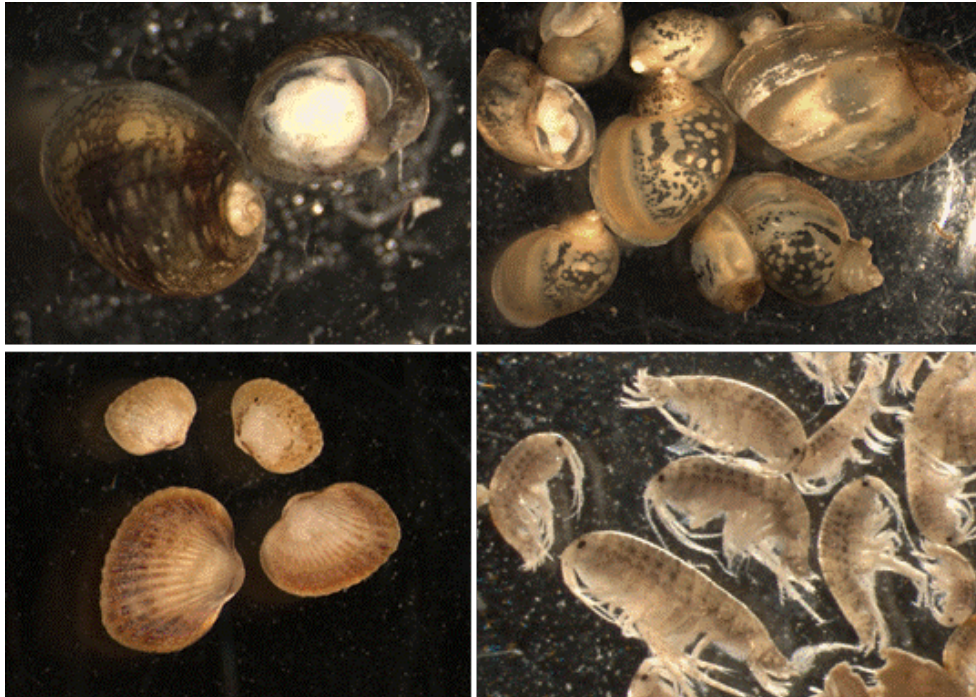
Figur 3. Substraten som användes vid de första provtagningarna år 2010; modifierad Hester-Dendy plattsektioner (till vänster) och tegelsten med hål (till höger).

Den första omgången artificiella substrat sattes ut år 2010 i Forsmarksområdet. Tre stycken modifierade Hester-Dendy substrat samt tre tegelstenar med hål sattes ut i utsläppsområdet (PLY) och i Asphällafjärden (ASP; figur 1). Provtagningsperioden pågick mellan 13 augusti och 1 december. Substraten placerades på plats

med lina från båt på cirka fyra meters djup. När de skulle hämtas in var samtliga substrat försvunna från plymmrådet. Vid upptagandet av substraten i Asphällafjärden lyftes de upp i båten så försiktigt som möjligt och ställdes ner i separata backar. Positioner, djup, botten temperaturer och sedimentstruktur noterades. Djuren från varje platta hanterades separat och konserverades i 70 % etanol. På laboratoriet sorterades djuren under lupp, artbestämdes, räknades och vägdes. Samtliga arter längdmättes till närmsta millimeter.

Slutsatserna av resultaten från dessa försök var att modifierade Hester-Dendy plattsektioner var bättre lämpade som artificiella substrat för övervakning av bottenfauna jämfört med tegelstenar. Det främsta argumentet var att variationen av bottenfaunan vad gäller artdiversitet, abundans och biomassa, var mindre mellan olika Hester-Dendy plattsektioner än mellan tegelstenarna. Dessutom var plattorna lättare att hantera i våtlaboratorium och små djur var enklare att upptäcka på plattornas yta jämfört på tegelstenarna.

Därpå följande år genomfördes en uppföljande studie där metodiken och utförandet modifierades baserat på erfarenheter från 2010 års provtagning. Under 2011 användes uteslutande de modifierade Hester-Dendy plattsektionerna. Fem substrat vardera sattes ut den 26 augusti i utsläppsområdet (PLY) och i referensområdet Asphällafjärden (ASP) (figur 1; Adill m.fl. 2012). Vid upptaget av substraten den 22 november konstaterades dock att två av substraten i utsläppsområdet var försvunna och inte kunde återfinnas. Plattorna fotograferades och kolonier av mossdjuren tångbark (*Electra crustulenta*) räknades och analyserades för varje enskild platta. Resultaten från undersökningar av de kvarvarande substraten kunde påvisa skillnader i bottenfaunasamhällena mellan de två områdena vad gällde artsammansättning, abundans och biomassa (Adill m.fl. 2012). Totalt var bottenfaunan mer artrik och hade högre biomassa i Asphällafjärden än i utsläppsområdet. Arter som var vanliga i utsläppsområdet, såsom båtsnäcka (*Theodoxus fluviatilis*) och oval dammsnäcka (*Radix balthica*), förekom inte i lika hög grad i Asphällafjärden (figur 4). I Asphällafjärden, där botten utgjordes av sediment, var istället märkräftar (*Leptocheirus pilosus*) och hjärtmusslor (*Cerastoderma glaucum*) vanliga (figur 4; Adill m.fl. 2012). Äggbärande märkräftar påträffades dock enbart i utsläppsområdet men inte i Asphällafjärden. I undersökningarna påträffades därtill för första gången i Sverige den främmande arten *Mytilopsis leucophaeata*, en mussla som trivs i brackvatten och ursprungligen kommer från den Mexikanska golfen (figur 5). Musslan upptäcktes i Asphällafjärden där tre juvenila individer hittades (Florin m.fl. 2013; Adill m.fl. 2012).



Figur 4. Schackrutig båtsnäck (*Theodoxus fluviatilis*) överst till vänster, oval dammsnäck (*Radix balthica*) överst till höger, hjärtmusslor (*Cerastoderma glaucum*) nere till vänster och märkräfter (*Leptocheirus pilosus*) nere till höger.



Figur 5. Falsk vandrarmussla (*Mytilopsis leucophaea*) är en brackvattenart som tillhör familjen Dreissenidae (vandrarmusslorna). Arten tål höga temperaturer, så högt som 37°C, och har genom omfattande påväxt orsakat stora problem i kylvattensystem runt om i Europa. I Östersjön har arten endast påträffats utanför kärnkraftverken i Lovisa och Olkiluoto i Finland, samt i Forsmark. Omfattningen av kolonisering av arten i kylvattenvägarna i de finländska kärnkraftverken har varit upp emot 60 000 individer per kvadratmeter.

Inför provtagningarna 2012 förändrades konstruktionen av de konstgjorda substraten. Bland annat utformades substraten så att plattsektionerna utgjordes av tre sektioner av plexiglas istället för fem, som monterades på en metallstång. Metallstången fästes i mitten av enheten, för att minimera risken att substratet skulle ansamlas lösa alger. För att minska risken att förlora substraten vid hårda vindar

och grov sjögång, förankrades metallstången i en betongplatta med ungefärlig vikt på 10 kilogram (figur 6). Även utförandet i fält reviderades något. Substraten lades med hjälp av linor från båt, men en snorklare kontrollerade att substraten placerades bra på botten och vid rätt djup. Vid upptag av substraten på hösten placerades dessutom en nätpåse runt plexiglasplattorna innan substraten togs upp ur vattnet. Momentet utfördes av en snorklare och utfördes för att säkerställa att alla djur kom med i provtagningarna även om de skulle lossna från plexiglasskivorna vid upptaget.

Övervakningen med den nya utformningen av plattsektionerna, så kallade "Landforsplattor", och den uppdaterade fältmetodiken genomfördes under åren 2012 till 2014. Plattorna låg ute, från maj till september varje år. Utöver de tidigare stationerna Asphällafjärden (ASP) och i utsläppsområdet (PLY) kompletterades undersökningen med ytterligare en station norr om Biotestsjön nära ön Borgarna (BOR), i ett område som inte påverkades av kylvattenutsläpp. Med anledning av att den främmande arten *Mytilopsis leucophaeata* upptäckts i Biotestsjön under åren 2011-2013 utökades provtagningarna år 2014 med ytterligare en station centralt inne i Biotestsjön (BIO). Syftet var bland annat att undersöka utbredningen av *Mytilopsis leucophaeata* inne i anläggningen och möjlig spridning till omgivande områden utanför Biotestsjön (figur 1).

2 Metodik

2.1 Artificiella bottensubstrat

De artificiella substraten i sin slutliga utformning, så kallade "Landforsplattor", som användes vid övervakningen åren 2012-2014, finns återgivna i figur 6. Ett provtagningssubstrat utgjordes av ett fundament bestående av en cirka tio kilogram tung betongplatta (350 x 350 x 40 millimeter) som preparerats med ett tio millimeters hål i mitten. I hålet på betongplattan fästes en metallgångstav (10 millimeter i diameter och 350 millimeter långt) med rostfria muttrar (M10) på båda sidor om plattan. På metallstaven monterades tre stycken plexiglasplattor (provtagningsplattor) (200 x 200 x 6 millimeter), som preparerats med ett hål centralt, med muttrar och brickor så att 11 millimeters mellanrum bildades mellan sektionerna. Mellan betongplattan och den nedersta sektionen av plexiglasplattan var mellanrummet 25 millimeter. Längst upp på metallstaven placerades två rostfria muttrar för att underlätta infästning av lägningslina (figur 6). I ena hörnet av betongplattan borrades ett hål för infästning av rep. Repet var cirka tio meter långt och hade en flytboj i andra änden och användes för upptagandet av substratet (figur 6).

Vid upptagningen av substraten användes nätpåsar för att trä över plexiglasplattorna och isolera proverna och säkerställa att ingen fauna skulle försvinna. Påsarnas omkrets i öppningen var cirka 1000 millimeter och djupet 370 millimeter. Näten i påsarna hade maskvidden en millimeter och påsarna kunde förslutas med en nylonlina i öppningen.



Figur 6. Provtagningssubstrat för hårbottenfauna. Från bojen löper en lina till provtagningssubstratet. För att underlätta läggningen av substratet fästs en lina till metallstaven som säkerställer att betongplattan lägger sig platt på botten. Vid upptagningen kan lägningslinan (gul) enkelt knytas upp av en snorklare och en nätpåse kan dras över plexiglasplattorna och isolera provet.

2.2 Undersökningsområden

Studierna med de konstgjorda substraten genomfördes på fyra olika stationer i Forsmarks skärgård (figur 1). Utsläppsområdet utanför Biotestsjön (PLY), intagsområdet för kylvatten till kraftverket i Asphällafjärden (ASP), och Borgarna norr om Biotestsjön (BOR) övervakades samtliga år, och därtill övervakades även en station centralt inne i Biotestsjön (BIO) år 2014. Valet av stationer för övervakning grundade sig främst i hur mycket områdena påverkades av driften från kraftverket. Stationen utanför Biotestsjön (PLY) låg inom området för varmvattenplymen och påverkades periodvis av övertemperatur längs bottenarna. Stationen vid Borgarna (BOR) låg utanför området som påverkades av varmvattenutsläppet och fungerade som en referenslokal. Stationen i Asphällafjärden (ASP) påverkades endast av vattenflödet in mot kraftverket och inte av uppvärmt kylvatten. Stationen inne i Biotestsjön (BIO) påverkades maximalt från kraftverkets varmvattenutsläpp och bottenarna var konstant uppvärmda av kylvatten.

På samtliga stationer placerades substraten på cirka fyra meters djup. Borgarna (BOR) och utsläppsområdet (PLY) låg i typiska ytterskärgårdsmiljöer med stor exponering av vågor. Stationen i utsläppsområdet (PLY) påverkades därtill av vattenströmmar från kylvattenutflödet. Bottenarna på dessa stationer utgjordes av uteslutande stenar, stenblock samt grus. Vegetation förekom väldigt sparsamt på dessa platser.

Lokalen i Asphällafjärden (ASP) låg på en mer skyddad plats i Forsmarks innerskärgård och bottenarna utgjordes främst av sand och mindre stenar. På lokalen fanns rikligt med vegetation, bland annat borstnate (*Potamogeton pectinatus*), axslinga (*Myriophyllum spicatum*) och ålnate (*Potamogeton perfoliatus*). Vattnet i området strömmar konstant i riktning mot kylvattenkanalen och intaget till kärnkraftverket.

I Biotestsjön (BIO) utgjordes bottenarna uteslutande av sand, och ingen vegetation förekom i närheten av substraten. Stationen påverkades stort av kylvattenutsläppet från kraftverket och temperaturerna i området var stora delar av provtagningsperioderna cirka 5-9°C varmare än i lokalerna utanför anläggningen. Vattnet i området strömmade konstant i riktning ut ur Biotestsjön.

2.3 Provtagningsmetodik

2.3.1 Fältmoment

Landforsplattorna placerades ut i slutet av maj samtliga år 2012-2014. På varje station placerades tio substrat. Dessa lades med omkring tio meters avstånd och på cirka fyra meters djup. Vid läggning av substraten kontrollerades placeringen på botten och vattendjupet med hjälp av snorkling. Vid varje station placerades en temperaturlogger som registrerade temperaturen kontinuerligt under provtagningsperioden. Därtill registrerades datum, vattentemperatur vid botten och positionskoordinater.

Upptagandet av substraten genomfördes i slutet av september. Innan substraten togs upp ur vattnet lossades läggningsslinan från metallstången och en nätpåse trädde över plexiglasen och förslöts (figur 7). Dessa moment utfördes genom snorkling. Vid upptagningen av substraten noterades datum och vattentemperatur vid botten. När samtliga substrat var upptagna från en station transporterades de till våtlaboratorium för vidare hantering.



Figur 7. En nätpåse trädde över plexiglasen vid upptagningen av substraten.

2.3.2 Våtlaboratorium

Efter upptagning placerades substraten i varsin plastbalja. Nätpåsarna avlägsnades och sköljdes ur med vatten så att eventuell fauna från påsarna kunde samlas in. En allmän beskrivning av substratets utseende vid upptagning noterades på ett protokoll. Substraten skruvades isär för att ta loss plexiglasplattorna en och en. Plattorna sköljdes och faunan samlades upp i ren plastbalja (figur 8). För att samla upp fauna som eventuellt lossnat från plexiglasplattorna vid demonteringen placerades ett vitt plastark mellan betongplatta och det nedersta plexiglaset. Innehållet i baljan och på plastarket silades genom ett en-millimeters såll och den uppsamlade faunan konserverades i plastburkar med 70 % sprit. Plastburkarna märktes med stationsnamn och substratsnummer.

För att kvantifiera mängden påväxt av arterna tångbark (*Electra crustulenta*) och sötvattenssvamp (*Ephydatia fluviatilis*) fotograferades plexiglasplattorna (figur 9). Båda arterna växte i stort sett uteslutande på undersidan på plattorna och därför valdes denna sida för fotografering. Bilderna sparades för senare analys i bildhanteringsprogram.



Figur 8. Substratet placerades i plastbalja (högst upp till vänster). Nätpåsen avlägsnades och en allmän beskrivning av substratet noterades (högst upp till höger). Substraten skruvades isär (längst ned till vänster). Faunan samlades upp i ren plastbalja (längst ned till höger).



Figur 9. Tångbark (*Electra crustulenta*) är ett mossdjur som bildar kolonier på hårda ytor på havsbotten. Ett ovalt kalkskal bildar höljen (zoecier) runt varje individ som kan bli upp till en knapp millimeter stor. I provtagningarna med konstgjorda substraten var individernas storlek cirka 0,2 millimeter. Tillsammans bildar individerna kolonier som ser ut som ett koralliknande ljust nät på hårbottenstrukturer.

2.3.3 Analys på laboratorium

De konserverade proverna sorterades med hjälp av lupp och djuren som påträffades bestämdes till artnivå om möjligt. Arterna delades in enligt levnadssätt på basen av hur de vanligen förhåller sig till naturliga hårbottensubstrat vid kusten; fastsittande, associerade, mjukbotten och simmande. Antal djur per art räknades

och djuren vägdes per art. Vikten noterades som milligram våtvikt per kvadratmeter, beräknat på de tre plattsektionernas sammanlagda yta (på övre sidan). Abundansen beräknades på samma sätt som antal per kvadratmeter respektive biomassa i gram per kvadratmeter.

Fotografierna av den koloniserande tångbarken på plattorna analyserades och den procentuella täckningsgraden beräknades med bildhanteringsprogrammet ImageJ (<http://rsb.info.nih.gov/ij/download.html>).

3 Resultat

3.1 Artförekomst på de artificiella substraten

De vanligaste artgrupperna på de artificiella substraten var snäckor, musslor och kräftdjur (figur 10). De vanligaste arterna var hjärtmussla, nyzeeländsk tusensnäcka, båtsnäcka, den i Östersjön nyligen introducerade arten *Mytilopsis leucophaeata* (falsk vandrarmussla), märlkräftor och fjädermygglarver. Dessutom förekom omfattande påväxt av tångbark samt sötvattensvamp på plattorna. En lista över samtliga arter som förekommit på de artificiella substraten visas i tabell 1. Arterna är i tabellen grupperade enligt levnadssätt, för att indikera deras typiska koppling till substratet. De fastsittande arterna lever fästa vid substratet, även om de flesta av dem är rörliga och kan flytta sig aktivt. Det här betyder att de kan ha koloniserat substratet antingen som larver/ägg eller i senare livsstadium. Samtliga fastsittande arter var skalförsedda, och tillsammans utgjorde dessa cirka 90 % av den totala biomassan. Till de hårbotten-associerade arterna hör arter som är mer rörliga men som ändå har en tydlig anknytning till hårda substrat. De representerades framför allt av kräftdjur och insekter. Bland kräftdjuren var framför allt märlkräftan *Leptocheirus pilosus* vanlig i Asphällafjärden. Insekter representerades framför allt av fjädermygglarver. De övriga arterna klassades som antingen mjukbottenlevande eller simmande arter. Dessa har inte en tydlig koppling till hårda substrat, även om det kan förväntas förekomma som enstaka exemplar, speciellt om de hårda substraten ligger nära mjukbotten så som i den här studien. Hit hör till exempel havsborstmaskar och pungräkor. Totalt registrerades 43 taxa på samtliga substrat under åren 2012-2014.

Tabell 1. Arter och taxa som påträffades på de artificiella substraten. Kolumnen "Levnadssätt" anger hur arten är associerad till substraten; om den lever fäst på substratet (festsittande, "sessil"), lever på substratet men är krypande eller frisimmande (associerad), om den egentligen primärt påträffas på mjuka botten (mjukbottenlevande), eller om den primärt påträffas simmande i vattenmassan (simmande). För varje art anges andel av biomassa respektive antal beräknat över samtliga prover som ingår i denna studie (2012-2014), som ett grovt mått på hur vanliga de är. Förekomst av tångbark och sötvattenssvamp beräknas genom täckningsgrad (%) på plattorna och anges inte i tabellen. Svenskt namn inom parentes betyder att arten saknar officiellt namn på svenska.

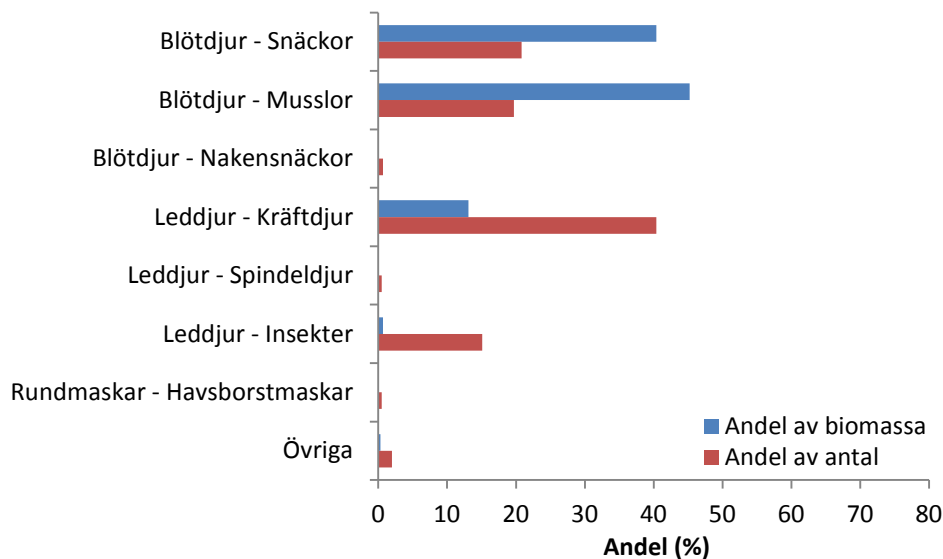
Taxa (latinskt namn)	Svenskt namn	Levnadssätt	Andel (%) av biomassa	Andel (%) av antal
<i>Cerastoderma glaucum</i>	hjärtmussla	Festsittande	36.3	15.7
<i>Mytilopsis leucophaea</i>	(falsk vandrarmussla)	Festsittande	8.8	3.2
<i>Mytilus edulis</i>	blåmussla	Festsittande	<0.1	<0.1
<i>Balanus improvisus</i>	havstulpan	Festsittande	4.8	1.6
Ostracoda (klass)	musselkräfta	Festsittande	<0.1	0.3
<i>Electra crustulenta</i>	tångbark	Festsittande	-	-
<i>Ephydatia fluviatilis</i>	sötvattenssvamp	Festsittande	-	-
<i>Bithynia tentaculata</i>	stor snytessnäcka	Associerad	0.8	0.2
<i>Physa fontinalis</i>	vanlig blåsnäcka	Associerad	0.1	<0.1
<i>Radix balthica</i>	oval dammsnäcka	Associerad	4.9	2.1
<i>Theodoxus fluviatilis</i>	båtsnäcka	Associerad	29.1	8.3
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	nyzeeländsk tusensnäcka	Associerad	4.7	9.4
Hydrobiidae (fam.)	tusensnäckor	Associerad	0.8	0.8
<i>Corophium volutator</i>	slammärla	Associerad	<0.1	<0.1
<i>Leptocheirus pilosus</i>	(märlkräfta)	Associerad	3	26.6
<i>Idotea baltica</i>	vanlig tånggråsugga	Associerad	0.2	0.1
<i>Idotea chelipes</i>	(gråsugga)	Associerad	0.6	0.9
<i>Jaera albifrons</i>	(gråsugga)	Associerad	0.2	4.5
<i>Gammarus</i> spp	märlkräftor	Associerad	3.8	5.8
Chironomidae (fam.)	fjädermygglarver	Associerad	0.6	15.1
Dytiscidae (fam.)	dykare (larv)	Associerad	0.1	<0.1
Coleoptera (ordn.)	skalbaggar obest.	Associerad	<0.1	<0.1
Trichoptera (Klass)	nattsländor (larv)	Associerad	<0.1	<0.1
Oligochaeta (subklass)	fåbortsmaskar	Associerad	0.1	1.3
Nematoda (phylum)	rundmaskar	Associerad	<0.1	<0.1
Turbellaria (Klass)	virvelmaskar	Associerad	0.1	0.3
<i>Elysia viridis</i>	sammetssnigel	Associerad	<0.1	0.6
Nudibranchia (ordn.)	nakensnäcka obest.	Associerad	<0.1	0.1
Acarina (ordn.)	kvalster	Associerad	<0.1	0.5
<i>Piscicola geometra</i>	fiskigel	Associerad	0.1	0.3
<i>Macoma balthica</i>	östersjömussla	Mjukbotten	0.1	0.8
<i>Cyanophthalma obscura</i>	brackvattensnemertin	Mjukbotten	<0.1	0.1
<i>Boccardiella ligierica</i>	(havsborstmask)	Mjukbotten	<0.1	<0.1
<i>Hediste diversicolor</i>	(havsborstmask)	Mjukbotten	<0.1	<0.1
<i>Manayunkia aestuarina</i>	(havsborstmask)	Mjukbotten	<0.1	0.5
<i>Marenzelleria</i> spp	(havsborstmask)	Mjukbotten	<0.1	<0.1
Cladocera (ordn.)	hinnkräftor	Simmande	<0.1	<0.1
Copepoda (ordn.)	hoppkräftor	Simmande	<0.1	0.2
Cyclopoida (ordn.)	(kräftdjur)	Simmande	<0.1	<0.1
<i>Mysis mixta</i>	(pungräka)	Simmande	<0.1	<0.1
<i>Neomysis integer</i>	(pungräka)	Simmande	0.1	0.1
<i>Praunus flexuosus</i>	(pungräka)	Simmande	0.1	<0.1
<i>Praunus inermis</i>	(pungräka)	Simmande	0.3	0.3

Detta kan jämföras med de totalt 15 taxa som förekommit i bottenhugg med Van Veen hämtare vid station FM119 och FM121 under samma period (tabell 2). På de mjuka bottenarna dominerades faunan av havsborstmaskar och musslor (figur 11). De vanligaste arterna inom dessa grupper var östersjömussla respektive havsborstmasken *Marenzelleria* spp. Tillsammans utgjorde dessa två arter 85,9 % av samtliga räknade djur. Typiska mjukbottenarter dominerade, vilket är att förvänta sig i den aktuella miljön. Ett fåtal individer representerade arter som även förekommer i andra typer av miljöer, associerade till olika typer av substrat eller den fria vattenmassan.

Tabell 2. Arter och taxa som påträffades i bottenhugg på mjuka bottenar (FM119 och FM121) under 2012-2014. Kolumnen "Levnadssätt" anger hur arten är associerad till bottenytan; om den lever på eller nedgrävd i botten (mjukbottenlevande eller, på den mjuka botten men rörlig (associerad)). För varje art anges andel av biomassa respektive antal beräknat över samtliga prover under 2012-2014, som ett grovt mått på hur vanliga de är. Svenskt namn inom parentes betyder att arten saknar officiellt namn på svenska.

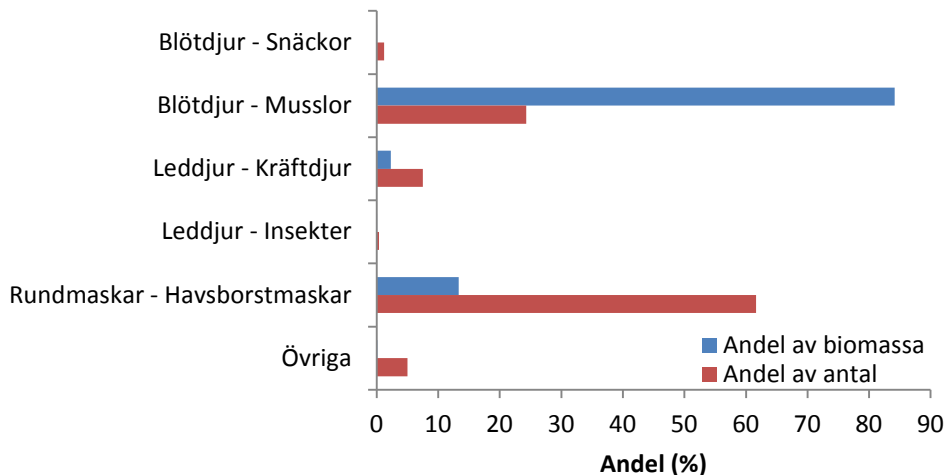
Taxa (latinskt namn)	Svenskt namn	Levnadssätt	Andel (%) av biomassa	Andel (%) av antal
<i>Corophium volutator</i>	slammärla	Mjukbotten	0,2	2,1
<i>Monoporeia affinis</i>	vitmärla	Mjukbotten	0,3	2,4
<i>Saduria entomon</i>	ishavsgråsugga	Mjukbotten	1,8	3,0
<i>Macoma balthica</i>	östersjömussla	Mjukbotten	84,2	24,3
<i>Marenzelleria</i> spp	(havsborstmask)	Mjukbotten	13,3	61,6
<i>Hediste diversicolor</i>	bakborstig rovmask	Mjukbotten	0,1	0,1
<i>Cyanophthalma obscura</i>	brackvattensnemertin	Mjukbotten	<0,0	<0,0
Oligochaeta	fåbortsmaskar	Mjukbotten	0,1	4,9
Chironomidae (Fam.)	fjädermygglarver	Mjukbotten	<0,0	0,4
Ostracoda	musselkräfta	Mjukbotten	<0,0	0,1
<i>Jaera albifrons</i>	(gråsugga)	Associerad	<0,0	<0,0
<i>Piscicola geometra</i>	fiskigel	Associerad	<0,0	<0,0
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	nyzeeländsk tusensnäck	Associerad	0,1	1,2

Artificiella substrat



Figur 10. Fördelningen av djur inom olika taxonomiska grupper i de artificiella substraten, baserat på antal respektive biomassa. Blötdjur = Mollusca; Leddjur = Arthropoda, Rundmaskar = Annelida, Plattmaskar = Platyhelminthes, Slemmaskar = Nemertini. Snäckor = Gastropoda, Musslor = Bivalvia, Nakensnäckor = Nudibranchia, Kräftdjur = Crustacea, Spindeldjur = Arachnida, Insekter = Insecta, Havsborstmaskar = Polychaeta, Fåbörstmaskar = Oligochaeta. Övriga utgörs av Rundmaskar – Fåbörstmaskar, Rundmaskar – övriga, Plattmaskar och Slemmaskar.

Mjukbottenprovtagning



Figur 11. Fördelningen av djur inom olika taxonomiska grupper i mjukbottenprovtagningen vid FM119 och FM121, baserat på antal respektive biomassa. Blötdjur = Mollusca; Leddjur = Arthropoda, Rundmaskar = Annelida, Slemmaskar = Nemertini. Snäckor = Gastropoda, Musslor = Bivalvia, Kräftdjur = Crustacea, Insekter = Insecta, Havsborstmaskar = Polychaeta, Fåbörstmaskar = Oligochaeta. Övriga utgörs av Rundmaskar – Fåbörstmaskar, Rundmaskar – övriga och Slemmaskar.

3.2 Artdiversitet

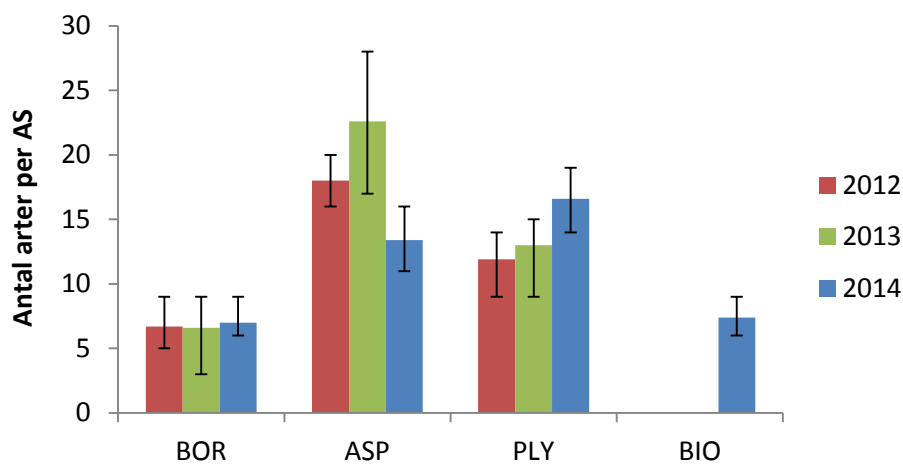
Artdiversiteten beräknades dels som antal arter, dels enligt Shannons diversitetsindex¹. Båda måtten beräknades per artificiellt substrat, och därefter beräknades medelvärden för respektive station och år (figur 12 och 13). För båda sätten att beräkna var skillnaden mellan stationer större än skillnaden mellan år inom varje område. Skillnaden mellan år var större beräknat som antal arter än enligt Shannon index (tabell 3).

Den lägsta artdiversiteten noterades vid Borgarna och vid Biotestsjön. Det är av intresse att notera att artdiversiteten var högre vid Plymen än vid Borgarna, eftersom dessa har likartade bottenförhållanden. Det är därför troligt att artdiversiteten vid Plymen är påverkad av närheten till kylvattenutflödet. Antalet arter per substrat var högst vid Asphällafjärden, vilket sannolikt kan förklaras av att bottenförhållandena är mer varierade här än vid de övriga stationerna. Framför allt finns det mer omgivande vegetation, vilket gör att man kan förvänta sig att fler arter förekommer naturligt vid Asphällafjärden, och även har möjlighet att kolonisera substraten. Denna skillnad framkommer inte när diversiteten beräknas som Shannon index, eftersom indexet även beaktar hur vanliga de olika arterna är. För Asphällafjärden fanns en stark dominans av vissa arter, vilket drar ned indexet (figur 13).

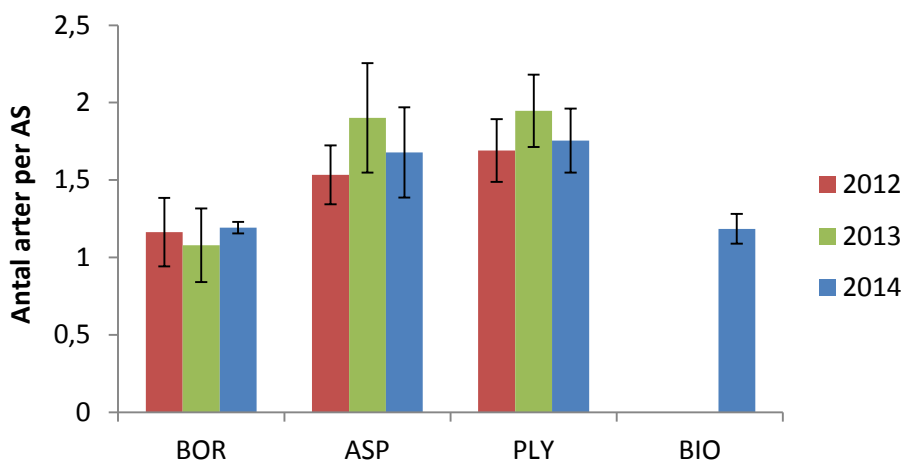
Tabell 3. Resultat av tvåvägs-variationsanalys (ANOVA) för att beräkna om det finns statistiskt signifikanta skillnader mellan de undersökta stationerna beträffande Shannon diversitetsindex och antal arter, och om det finns skillnader mellan år (2012-2014).

		Shannon index		Antal arter	
	df	F	p	F	p
Station	3	26.58	<0.001	66.7	<0.01
År	2	3.17	0.053	7.07	<0.01
Station x År	4	2.05	0.106	10.97	<0.01

¹ Shannon index: $H' = -\sum (P_i \cdot \log P_i)$, där P_i är proportionen av den i:e arten i provet angivet som antal.



Figur 12. Antal arter i medeltal på de artificiella substraten. Felstaplarna anger det högsta och det lägsta antalet arter på något av substraten respektive station och år.



Figur 13. Artrikedom beskriven enligt Shannons diversitetsindex. Staplarna anger indexets medelvärde på de artificiella substraten respektive station och år. Felstaplarna anger standardavvikelsen.

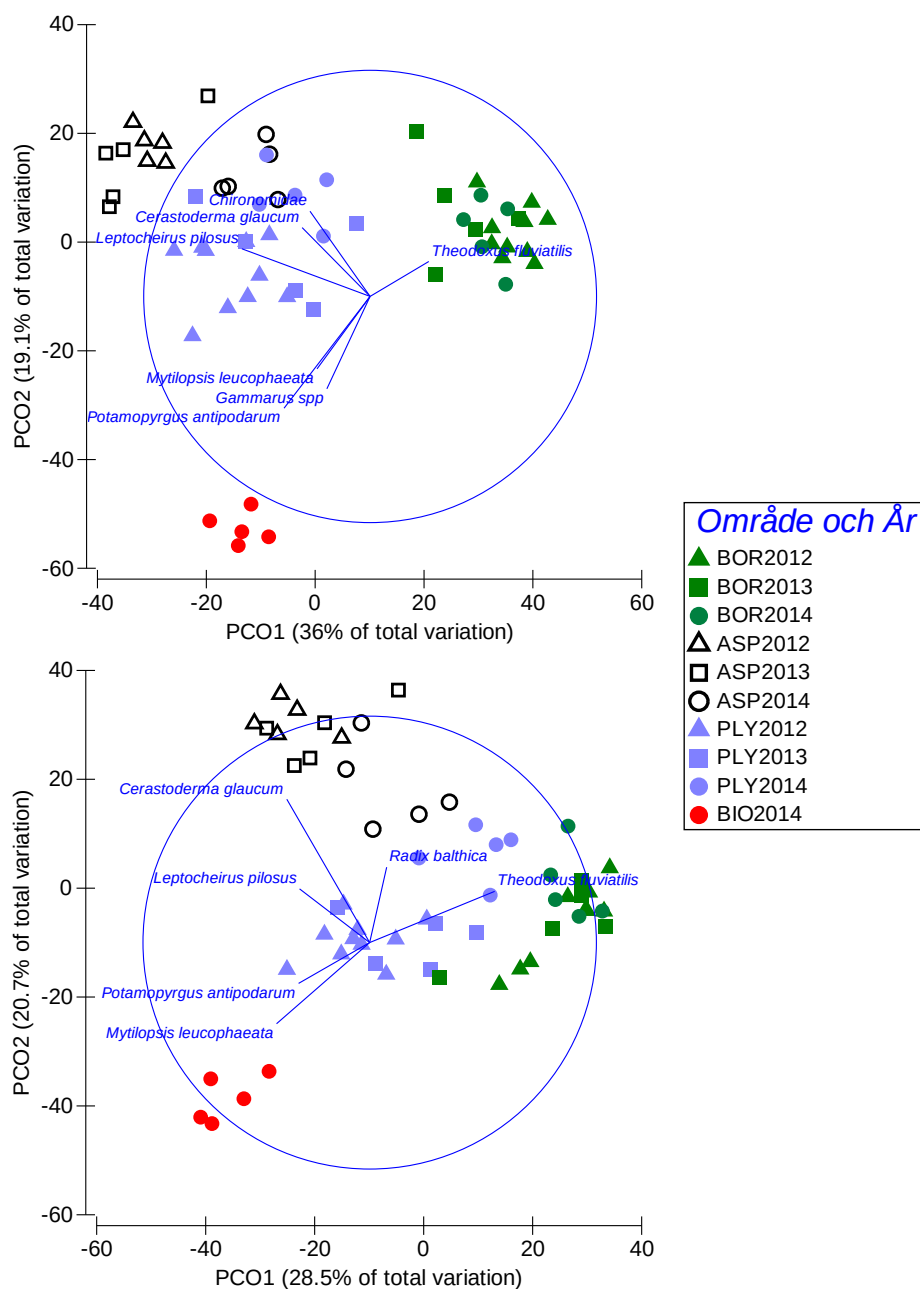
3.3 Skillnader i artsammansättning mellan stationer och år

Skillnader i artsammansättning mellan de undersökta stationerna undersöktes på en övergripande nivå med hjälp av Bray-Curtis likhetsindex. Indexet beräknar hur lika artsammansättningen varit på de olika substraten, och tar hänsyn både till förekomsten av olika arter och hur vanliga de är. Resultaten kan visualiseras i ordinationsgrafer som visar den huvudsakliga skillnaden mellan olika substrat. I figur 14 har resultaten visualiserats med hjälp av PCO (*Principal Coordinates analyses*), som placerar stationerna i inbördes ordning så att de stationer som har mest lika artsammansättning ligger närmast varandra. Grafen kan göras i lika

många dimensioner som det finns prover, men huvuddelen av variationen kan beskrivas i två dimensioner med hjälp av en x-axel (PCO1) och en y-axel (PCO2). För likheter i artsammansättning beräknat på basen av antal kunde 56 % av variationen beskrivas på de första två axlarna och beräknat på biomassa kunde 49 % beskrivas (figur 14).

PCO analyserna visar att substrat från samma station var mer lika varandra än substrat som legat i olika stationer. Det fanns även en viss skillnad mellan år inom varje station, men den skillnaden var lägre. Enligt både biomassa och antal så var substrat från Asphällafjärden, Borgarna och Biotesten lätta att särskilja på basen av deras karakteristiska artsammansättning (figur 14). Substraten från Borgarna hade en hög förekomst av båtsnäcka jämfört med övriga stationer, medan Asphällafjärden karakteriserades av hjärtmussla (*Cerastoderma glaucum*) och märkräcka (*Leptocheirus pilosus*). Beräknat enligt antal var även fjädermygglarver (fam. Chironomidae) vanligast vid Asphällafjärden, men eftersom de har så låg vikt syntes inte denna skillnad i beräkningar baserat på biomassa. Substraten från Biotestsjön karakteriserades av höga förekomster den nyligen introducerade främmande arten *Mytilopsis leucophaeata* och av nyzeeländsk tusensnäcka. Substraten från Plymen var mer lika substraten från Asphällafjärden baserat på antal, men sett till biomassa var de mer lika substraten från Biotestsjön. De flesta arter var färre till antal och biomassa per substrat i Biotestsjön än på de andra stationerna. Skillnader i antal mellan stationer och år visas mer detaljerat i figur 15 för de vanligaste arterna.

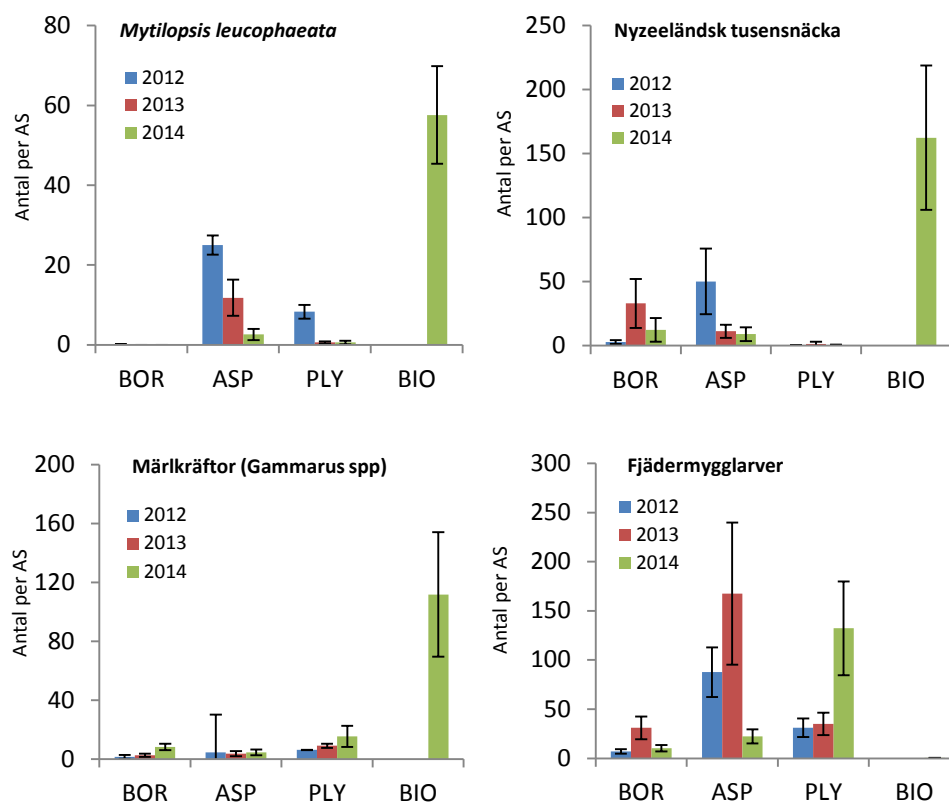
Resultaten analyserades med hjälp av en multivariat variansanalys (PERMANOVA) för att jämföra graden av skillnader mellan stationer och mellan år. Analysen visade att det fanns statistiskt signifikanta skillnader i artsammansättning både mellan stationer och mellan år. Det fanns även en interaktionseffekt mellan dessa båda, så att förändringarna från ett år till ett annat såg olika ut på olika stationer. Den största skillnaden fanns mellan stationer. Med avseende på antal kunde 54 % av variationen förklaras av vilken station substratet funnits i. Med avseende på biomassa var motsvarande siffra 52 %. Systematiska skillnader mellan år stod för den minsta delen av variationen (8 respektive 6 %; tabell 4).

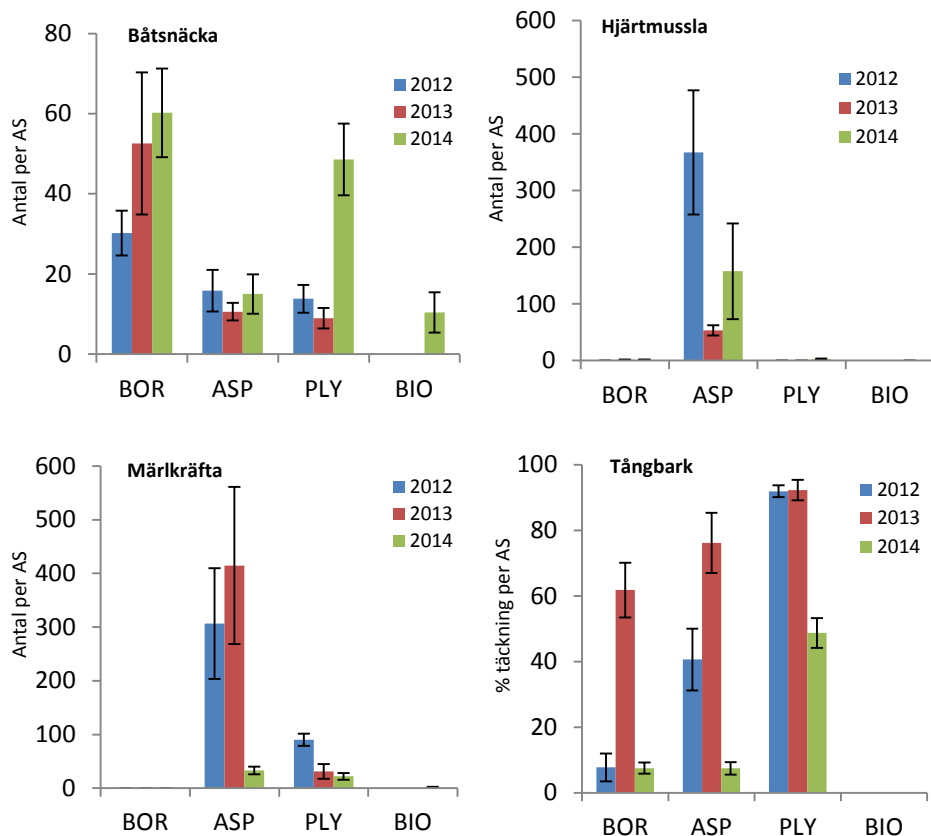


Figur 14. Graf som visar likheter i artsammansättning mellan substrat från olika stationer och år. För artsammansättning angiven som antal (övre bilden) och som biomassa (nedre bilden). Varje substrat representeras av en punkt, som är färgkodad enligt område där den placerats: grön = Borgarna, gul = Asphällafjärden, blåvit = Plymen, röd = Biotestsjön. Utsättningsåret är kodat enligt triangel = 2012, fyrkant = 2013 och cirkel = 2014. Punkter som ligger nära varandra i grafen har en mer lika artsammansättning än punkter som ligger på längre avstånd från varandra. De blå linjerna är vektorer som visar riktningen för de arter som framför allt karakteriserar skillnader mellan punkter. Långa linjer anger att arten har ett stort bidrag till grafens utseende, och vektorerna pekar i den riktning där arten är vanligast.

Tabell 4. Resultat av permutationsbaserad variansanalys (PERMANOVA) för att beräkna om det finns statistiskt signifikanta skillnader mellan de undersökta stationerna beträffande artsammansättning. Artsammansättningen jämfördes med hjälp av Bray-Curtis likhetsindex och beräknades separat för antal och biomassa.

	df	Antal			Biomassa		
		Pseudo-F	P (perm)	%	Pseudo-F	P (perm)	%
Station	3	30.97	0.0001	54.90	24.73	0.0001	51.60
År	2	6.67	0.0001	8.09	4.80	0.0001	6.25
Station x År	4	4.32	0.0001	13.69	3.87	0.0001	13.97
Residual	49			23.32			28.18
Total	58						

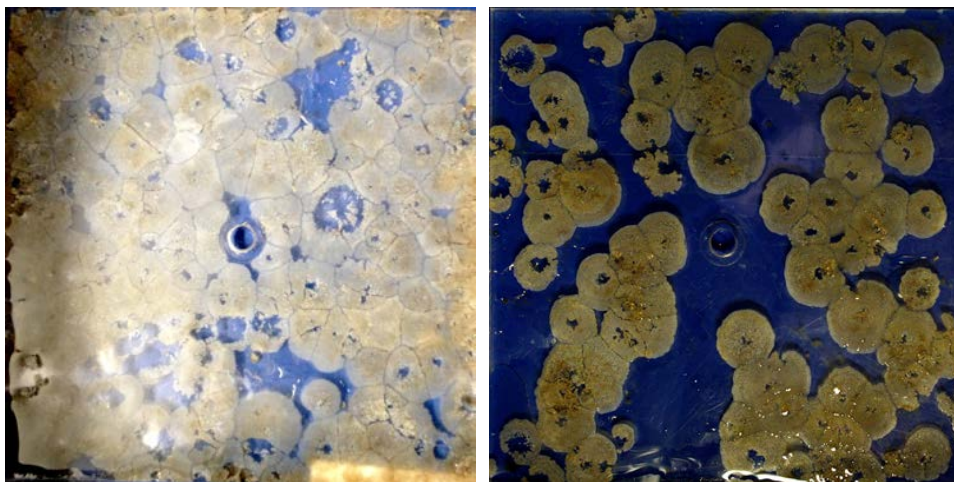




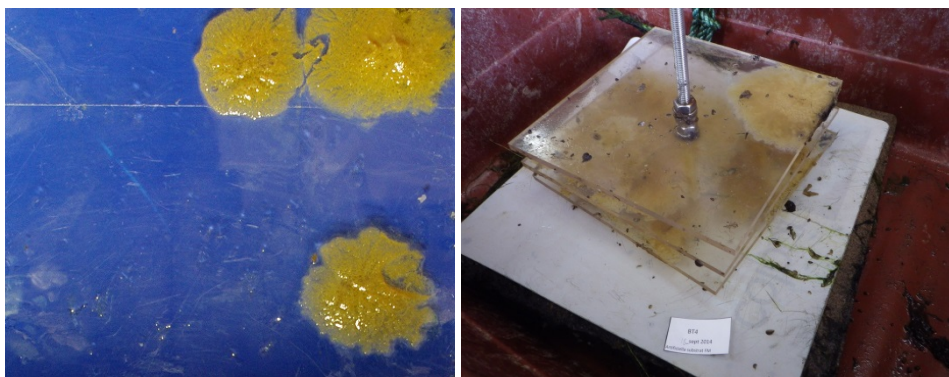
Figur 15. Förekomst av de vanligaste arterna på de artificiella substraten, grupperat per station och år. Felstaplarna visar standardfelet baserat på fem prover för samtliga stationer och år förutom Asphällafjärden och Plymen år 2012 som är baserat på tio prover.

Förekomsterna av tångbark (*Electra crustulenta*) på substraten visade stora variationer mellan stationer och år. Vid en jämförelse av täckningsgraden av tångbark mellan olika år visade sig 2013 vara mest gynnsamt och 2014 vara det år med lägst förekomst (figur 16). Plymen var området med högst procentuell täckningsgrad. Under 2012 och 2013 var i princip alla plattornas undersida täckt av tångbark, och på vissa plattor hade den även börjat växa i lager när ingen ledig yta fanns kvar att täcka. Under 2014 var täckningsgraden lägre och endast halva plattornas yta hade påväxt av tångbark. Asphällafjärden visade stora mellanårsvariationer med högst täckningsgrad 2013 (76 %) och lägst 2014 (7 %). Borgarna visade också stora mellanårsvariationer med högst täckningsgrad 2013 (62 %) och lägst 2012 och 2014 (8 %). I Biotestsjön som ingick i provtagningarna enbart under 2014 saknades tångbark helt på plattorna. Däremot återfanns en annan art, platt sötvattenssvamp (*Ephydatia fluviatilis*), som bildade liknande kolonier som tångbark. Sötvattenssvampen koloniserade undersidorna på plattorna och täckte i ge-

nomsnitt 22 % av ytorna (figur 17). Trots att arten är vanligt förekommande i Bottenhavet återfanns den inte på övriga provtagningsstationer i Forsmarksområdet.



Figur 16. Skillnader i påväxt av tångbark mellan olika stationerna Plymen (vänster) och Borgarna (höger).



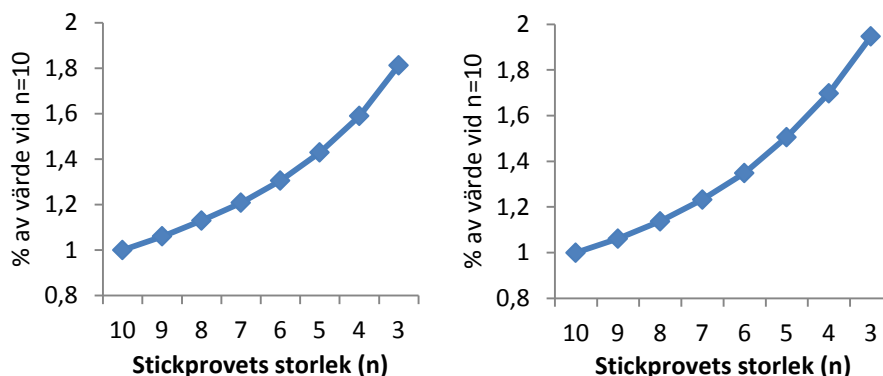
Figur 17. Sötvattenssvampen *Ephydatia fluviatilis* förekom i stor omfattning på substraten i Biotest-sjön under 2014. Arten är ett svampdjur bestående av flercelliga djur som filtrerar vattnet på mikroskopiska partiklar och bildar porösa gulaktiga kolonier med ett skelett av kisel. Sötvattenssvampen trivs på hårda strukturer på havsbotten som stenar, klippor och är vanligt förekommande i Östersjön och Bottenhavet.

3.4 Precision i skattningen

På basen av information från de stationer där ett större antal prover hade analyserats gjordes en beräkning av hur antalet prover påverkade precisionen i mätningen. För Plymen och Borgarna hade 10 prover per station analyserats år 2012. Den

vanligaste arten vid Plymen var märkräftan *Leptocheirus pilosus* och den vanligaste arten vid Borgarna var båtsnäcka. För dessa arter och dataurval beräknades standardfelet för skattningen av ett medelvärde baserat på stickprov på mellan 3 och 10 prover, för att se hur mycket standardfelet förändrades med provstorleken. Dessa drogs slumpmässigt med återsättning ur den befintliga mängden prover (10 stycken), det vill säga samma prov kunde dras mer än en gång. Proceduren upprepades 1000 gånger för varje stickprovstorlek och på basen av utfallet beräknades ett medel-standardfel för respektive provstorlek.

Standardfelet ökade, som förväntat med minskad provstorlek. I jämförelse med standardfelet vid en stickprovstorlek på 10, ökade standardfelet ungefärligt linjärt fram till provstorlekar omkring 6 prover, men därefter ökade avvikelsen i snabbare takt (figur 18). Vid en stickprovstorlek på 5, som använts i de biologiska utvärderingar som utförts i den här rapporten, var standardfelet 1,4 till 1,5 gånger högre än vid en stickprovstorlek på 10. Vid en stickprovstorlek på 7 var skillnaden fortfarande omkring 1,2 men vid en stickprovstorlek på 8 var den nere på drygt 1.1 gånger värdet vid 10.



Figur 18. Den procentuella förändringen i standardfelet vid olika stora stickprovstorlekar för de vanligaste arterna märkräfta (*Leptocheirus pilosus*) i Plymen (vänster) och båtsnäcka vid Borgarna (höger) i provtagningarna.

4 Diskussion

4.1 Provtagningar med artificiella substrat

Målsättningarna i arbetet med de artificiella substraten var att utvärdera möjligheterna till en provtagningsmetodik för att kunna utföra långsiktiga kvantitativa provtagningar för bottenfauna på havsbottnar som saknar sediment. Utifrån provtagningarna skulle ett dataunderlag av bottenfauna kunna insamlas för att genomföra rumsliga och tidsmässiga analyser gällande artdiversitet, abundans och biomassa. Under projektets genomförande har dessutom nya frågeställningar uppstått och nya användningsområden med artificiella substrat diskuterats. Med anledning av Naturvårdsverkets reviderade handlingsplan för förebyggande samt hantering av introducerande av främmande arter (Naturvårdsverket 2014) har ett behov uppkommit att utöka provtagningarna för att inventera bottenfauna i områden som saknar sediment i Forsmarksområdet, framförallt med avseende på *Mytilopsis leucophaeata*.

4.2 Utformning av artificiella substrat och metodik

En viktig del i utvecklingen av de konstgjorda substraten och framtagandet av metodiken var att säkerställa att provtagningarna kunde genomföras med hög kvalitet och minimera riskerna för att yttre faktorer påverkar övervakningen, som exempelvis hårda vindar och vattenströmmar. Konstruktionen och utformningen av substraten har under utredningstiden gradvis förbättrats för att kunna användas effektivt både i det fältbaserade arbetet samt vid analysarbetet på laboratorium, för att samla in kvantitativ data för bottenfauna av hög kvalitet.

Den stadiga betongplattan som utgjorde fundamentet för den slutliga utformningen av de artificiella substraten skapade förutsättningar för att substraten fick en bra position på bottenarna och säkerställde att de stod kvar på provtagningsplatsen under hela försökstiden, trots perioder med mycket sjögång och kraftiga vattenströmmar. Valet av plexiglasplattor som substrat för kolonisering av botten-

fauna visade sig fungera bra. Bottenfauna ansamlades på plattorna i tillräcklig omfattning för att ge ett bra underlag att beräkna både artdiversitet och abundans. Plexiglasplattorna var dessutom fördelaktiga att arbeta med vad gäller skrapning och insamling av fauna jämfört om substraten skulle vara ojämna i formen och skrovliga. Storleken på plattorna och den symmetriska formen underlättade även analysarbetet och gjorde beräkningarna av abundans och biomassa både enklare och mer precisa. Den jämna ytan på plattorna skapade också en bra grund för att analysera koloniseringen av tångbark och sötvattenssvamp genom fotografering och bildanalys.

Den tidsperiod som övervakningen omfattade sträckte sig under större delen av tillväxtsången, från slutet av maj till september. Ett stort antal djur koloniserade under denna tidsperiod, och även tångbark och sötvattenssvamp. Skulle provtagningstiden utökas kan det finnas en risk att dessa arter skulle kolonisera i sådan omfattning att de täcker plattorna helt och påbörjar tillväxt i flera lager, vilket skulle försvåra analyserna av deras täckningsgrad.

Konstruktionen med läggning- och vittjningslina visade sig vara ändamålsenliga och nödvändig för att plexiglasskivorna skulle kunna isoleras innan upptagningen. På så sätt förlorades ingen fauna från plattorna vid upptagningsmomentet och det säkerställdes att all fauna som uppehöll sig på plattorna, fastsittande, krypande och simmande, kunde samlas in.

4.3 Resultaten från undersökningarna 2012-2014

Förekomsten av bottenfauna på de artificiella substraten var under provtagningsåren omfattande med stor artdiversitet samt höga abundanser av vissa arter. De arter som påträffades på substraten var till stor del olika musslor, snäckor och kräftdjur, vilket sannolikt speglar den fauna som naturligt återfinns i hårbottenmiljöer i kusten. De små variationerna i resultaten inom samma station, i kombination med stora skillnader mellan stationer, förstärker bilden av att de artificiella substraten ger en representativ bild av artförekomst och täthet av bottenfauna vid varje station.

Det är troligt att skillnaderna i artförekomst och abundans mellan de olika stationerna återspeglar de lokala förhållandena i miljön, och att olika arter föredrar vissa områden. Förhållandena i Asphällafjärden med stort inslag av vegetation och strömmande vatten visade sig till exempel ha avsevärt större artdiversitet än området vid Borgarna. Dessutom var abundansen av många arter större i Asphällafjärden än i övriga områden.

Det fanns även tecken på att driften av kraftverket påverkade bottenfaunasamhällena i närrecipienten, både i Biotestsjön och i området utanför anläggningen i varmvattenplymen. I Biotestsjön var bottenfaunasamhället, som väntat, olika det i

områdena utanför anläggningen. Artantalet i Biotestsjön var relativt lågt och den fauna som förekom på substraten dominerades av andra arter än i områdena utanför. De extrema temperaturer som förekommer i Biotestsjön förväntas naturligtvis ge konkurrensfördelar till värmetåliga arter, såsom nyzeeländsk tusensnäcka och *Mytilopsis leucophaea*, som då kan kolonisera området i större utstäckning. Dessutom får sannolikt många naturligt förekommande arter i Forsmarksområdet svårigheter att överleva i anläggningen under de varmaste perioderna på sommarhalvåret. År 2014 var dessutom extremt varmt i Biotestsjön, med temperaturer över 30°C i slutet av juli.

Resultaten påvisade även skillnader i artförekomst och artsammansättning mellan stationen i varmvattenplymen och i referensområdet vid Borgarna, vilket indikerar att de periodvisa övertemperaturerna som förekommer på bottenarna i utsläppsområdet påverkar bottenfaunan. Det är även möjligt att vattenströmförhållandena har en inverkan. Till exempel var likheterna i artförekomst och abundanser större mellan plymområdet och Asphällafjärden, som båda är utsatta för stark ström, än mellan plymområdet och referensområdet Borgarna som inte har starka vattenströmmar.

Vid jämförelser mellan provtagningar utförda med artificiella substrat och de ordinarie bottenfaunaprovtagningarna på mjuka bottenar inom kontrollprogrammet, var skillnaderna tydliga vad gäller artförekomst och artdiversitet. Många arter som påträffades på de konstgjorda substraten saknades helt i mjukbottenfaunaproverna eller förekom i väldigt få exemplar och vice versa. Skillnaderna återspeglar tydligt vilka arter som är typiska på respektive bottensubstrat, till exempel havsborstmask (*Marenzelleria* spp) i mjuka sediment och båtsnäcka på hårda bottenar. De arter som påträffades både inom mjuk- och hårbottenprovtagningarna, bland annat östersjömussla, nyzeeländsk tusensnäcka och fjädermygglarver, var endast vanligt förekommande i den ena och förekom sparsamt i den andra.

4.4 Precision i beräkningarna

Vid undersökningarna med de artificiella substraten användes tio provtagningssubstrat per station. Under undersökningarna 2012-2014 analyserades vanligen fem av dessa medan resten av proverna finns sparade. Denna omfattning av prover skapade grunddata för att genomföra beräkningar av både artförekomster och abundanser för bottenfauna på hårda bottenar. Analyserna av precisionen vid olika stickprovstorlek tyder på att fem substrat per station är ett tillräckligt minsta antal om syftet är att studera skillnader mellan stationer. Om syftet i stället är att övervaka förändringar över tid inom samma station, till exempel för att följa utvecklingen av *Mytilopsis* och se om den ökar i abundans även utanför Biotestsjön, finns

det anledning att öka provtagningen upp till 8 prover per station för att få en bättre precision i skattningen.

4.5 Främmande arter

Redan under 2011 års pilotstudier med artificiella substrat upptäcktes små juvenila exemplar av den främmande invasiva musselarten *Mytilopsis leucophaeata* i Asphällafjärden (Florin m.fl. 2013). De nästföljande åren påträffades den även på de övriga stationerna och utbredningen av arten verkar omfatta större delen av Forsmarks skärgård. Vid referensstationen Borgarna var förekomsten dock låg och endast en juvenil mussla har hittats, år 2012. De särklass högsta tätheterna och största biomassorna av *Mytilopsis leucophaeata* förekom inne i Biotestsjön, vilket påvisar artens tolerans för höga vattentemperaturer. Det är sannolikt att musslan kan fortplanta sig inne i anläggningen och att juveniler sprids med kylvattnet ut i övriga områden i Forsmark. Det finns dock inga tecken på att arten kan reproducera sig utanför Biotestsjön, och den begränsas sannolikt av de låga vattentemperaturerna vintertid. Eftersom *Mytilopsis leucophaeata* har orsakat omfattande störningar i kylvattensystemen vid kärnkraftverk i Finland finns det stor anledning att följa utvecklingen av arten vid Sveriges kärnkraftsanläggningar och på så sätt förebygga eventuella problem som de kan orsaka.

Under 2013 påträffades ytterligare en främmande art i Forsmarksområdet, havsborstmasken *Boccardiella ligERICA* som fanns i nio exemplar i Asphällafjärden. Spridningen av invasiva och främmande arter anses som ett av de största hoten mot kustens ekosystem (Naturvårdsverket 2014). Den största spridningen sker via intag och utsläpp av ballastvattnet i fartyg i samband med lastning och transport mellan hamnar. Det ballastvatten som fylls på i en hamn kan innehålla arter som sedan kan visa sig vara invasiva och skadliga för den ursprungliga faunan eller florin i den hamn där vattnet sedan släpps ut. Ett gemensamt arbete för att förhindra spridningen av främmande arter i Östersjön genomförs bland annat inom HELCOM (HELCOM 2013; 2014). För att avgöra vilka främmande arter som kan anses vara ett allvarligt hot mot den biologiska mångfalden pågår ett arbete för att identifiera dessa i enlighet med EU-förordningen om förebyggande och hantering av introduktion och spridning av invasiva arter (EU-förordningen om IAS). De artificiella substraten kan ses som ett lämpligt verktyg för att följa utbredningen och förekomsten av främmande arter i Forsmarksområdet även ur detta perspektiv.

5 Slutsatser

Utredningen av provtagningar med artificiella substrat i Forsmarks skärgård resulterade i följande slutsatser:

- Metoden som utvecklats var väl lämpad för att genomföra övervakning av bottenfauna på hårda bottenar i kustnära vatten. Övervakningen kan både genomföras som långtidsstudier för att undersöka förändringar över tid eller för att undersöka utbredningen av bottenfauna över olika områden.
- För att användas inom övervakningen borde antalet replikat uppgå till åtta per provtagningsstation.
- Tidsperioden som undersökningarna genomförs med substraten bör inte överstiga fyra månader under sommarhalvåret, för att undvika att analyserna försvåras av överväxt av tångbark (*Electra crustulenta*).
- Artificiella substrat visar resultat för en annan typ av bottenfaunasamhälle än den som provtas med bottenhugg på sedimentbottenar. Metoderna kompletterar varandra genom att de provtar olika typer av livsmiljöer, och för att få en bild av båda typerna av bottenfaunasamhällen i ett område bör undersökningar genomföras med båda metoderna.
- De artificiella substraten är lämpliga för övervakning av främmande arter som lever på hårda bottenar i kustnära områden. Hittills har två främmande arter upptäckts med de artificiella substraten, musslan *Mytilopsis leucophaeata* och havsbortsmasken *Boccardiella ligerica*.

Referenser

- Adill, A., Heimbrand, Y. (2015). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Årsrapport för 2014. Aqua reports 2015:7. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 52 s.
- Adill, A., Landfors, F., Mo, K., Sevastik, A. (2012). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk. Årsrapport för 2011. Aqua reports 2012:7. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 43 s.
- Beatty, J. M., McDonald, L. E. & Westcott, F. M. (2006). Guidelines for sampling benthic invertebrates in British Columbia streams. Ministry of Environment, British Columbia.
- Czerniawska-Kusza, I. (2004). Use of Artificial Substrates for Sampling Benthic Macroinvertebrates in the Assessment of Water Quality of Large Lowland Rivers. Polish Journal of Environmental Studies Vol. 13, No. 5 (2004), 579-584
- EU-förordningen om IAS Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 1143/2014 om förebyggande och hantering av introduktion och spridning av invasiva främmande arter
- Florin, A.-B., Mo, K., Svensson, F., Schagerström, E., Kautsky, L., Bergström, L. (2013) First records of Conrad's false mussel, *Mytilopsis leucophaeata* (Conrad, 1831) in the southern Bothnian Sea, Sweden, near a nuclear power plant. *BioInvasions* 2 (4):303-309
- HELCOM 2013. HELCOM ALIENS 2- Non-native species port survey protocols, target species selection and risk assessment tools for the Baltic Sea. 34 pp.
- HELCOM 2014. HELCOM ALIENS 3 – Tests of the Harmonized Approach to Ballast Water Management. Exemptions in the Baltic Sea. 56 pp.
- Hester, F. E. & Dendy J. S. 1962. A multiplate sampler for aquatic macroinvertebrates. *Trans. Am. Fish. Soc.* 91: 420-421.
- Ingemansson, A. & Lindahl, S. (2005). Simulering av kylvattenplymer från Forsmarks kraftverk. SMHI-rapport.
- Leonardsson, K. (2004). Metodbeskrivning för provtagning och analys av mjukbottenlevande makrovertebrater i marin miljö. Umeå universitet, Institutionen för ekologi och geovetenskap, 26 s.
- Naturvårdsverket, 2014. Invasiva främmande arter, Redovisning av ett regeringsuppdrag. Ärendenr: NV-00684-14. 87 sidor.
- Thoreson, G. 1992. Handbok för kustundersökningar, Recipientkontroll.
<http://www.slu.se/Documents/externwebben/akvatiskaresurser/publikationer/FIV/KLAB/PM029-%20handbok%20recip.pdf>

