



Aqua reports 2016:7

Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk

Årsrapport för 2015

Anders Adill, Yvette Heimbrand, Erik Karlsson, Alf Sevastik



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för akvatiska resurser

Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk

Årsrapport för 2015

Anders Adill, Yvette Heimbrand, Erik Karlsson, Alf Sevastik

Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser,
Kustlaboratoriet, Skolgatan 6, 742 42 Öregrund

April 2016

Aqua reports 2016:7

ISBN: 978-91-576-9407-2 (elektronisk version)

E-post till ansvarig författare:

anders.adill@slu.se

Rapportens innehåll har granskats av:

Andreas Bryhn, Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet

Frida Sundqvist, Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet

Vid citering uppge:

Adill, A., Heimbrand, Y., Karlsson, E., Sevastik, A. (2016). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Årsrapport för 2015. Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 58 s.

Nyckelord:

Kärnkraft, kylvatten, recipientkontroll, provfiske, bottenfauna

Rapporten kan laddas ned från:

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

Finansiär:

Forsmarks Kraftgrupp AB

Chefredaktör:

Magnus Appelberg, prefekt, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund

Framsida: Forsmark kärnkraftverk i vinterlandskap. Fotograf: Yvette Heimbrand.

Baksida: Forsmark kärnkraftverk under hösten. Fotograf: Yvette Heimbrand.

Sammanfattning

I rapporten redovisas resultaten från undersökningarna i det biologiska recipientkontrollprogrammet för Forsmarks kärnkraftverk under 2015. Energiproduktionen i kärnkraftverkets anläggningar var 21,1 TWh under 2015. För Forsmark 2 (F2) var produktionsnivån den största någonsin, sannolikt ett resultat av de effekthöjningar som trädde i kraft 2013. Effekthöjningarna har bland annat medfört att intaget av kylvatten till kraftverket har ökat från cirka 88 m³/s till 96 m³/s.

Förlusterna av fisk i silstationerna utgjordes likt tidigare år av småväxta fiskarter samt yngel. Sammanlagt fastnade totalt cirka 19 miljoner individer i silstationerna under åtta provtagningsveckor på våren och tolv veckor på hösten. Storspigg (*Gasterosteus acelatus*) svarade för de största förlusterna med 91 procent av individerna på våren och 66 procent under hösten. Under hösten utgjordes den största andelen storspigg av årsyngel vilket speglar artens rekryteringsframgång i kustnära vatten vid Forsmark. Den tidigare ökande förekomsten av ål (*Anguilla anguilla*) i silstationerna har avstannat och 2015 förekom relativt små mängder ål i proverna. Ålarna fastnar främst under senhösten i silstationerna och utgörs främst av köns mogna blankålar. Förlusterna av strömming (*Clupea harengus*) utgjordes 2015 av framförallt vuxna individer och i jämförelse med tidigare år var förekomsterna små.

Stora nätfångster i Biotestsjön under våren visade återigen anläggningens attraktionskraft och betydelse för fisk i området. Abborre (*Perca fluviatilis*), mört (*Rutilus rutilus*), sarv (*Scardinius erythrophthalmus*), gers (*Gymnocephalus cernuus*) och björkna (*Abramis bjoerkna*) uppvisar alla en positiv utveckling i Biotestsjön sedan gallren togs bort från anläggningens utsläpp 2004. Mört fångas främst under mars-april och abborre i maj månad i samband med respektive reproduktionsperiod. Trots den omfattande lekaktiviteten för mört i Biotestsjön under våren var det mycket låga tätheter av yngel under hösten. Årsyngel av abborre fångades i relativt stora mängder under 2015.

Mängden ål i Biotestsjön har haft en negativ utveckling sedan undersökningarna inleddes 2003. Av de 500 000 glasålar som sattes ut 1989 har de allra flesta sannolikt lämnat anläggningen. Det varma vattnet i Biotestsjön har dock en stor dragningskraft för ålen och det sker kontinuerligt nyrekrytering in till anläggningen.

Under hösten bestod nätfångsterna i Biotestsjön främst av abborre, mört och sarv. I kontrollerna för gonadstatus och kondition för abborre och mört påträffades inga individer med skador eller kritiska värden. Åldersanalyserna av abborre visade att de allra flesta var två år eller yngre. De äldre fiskarna skyr sannolikt anläggningen under sommaren då vattentemperaturen är alltför hög. Tillväxten hos abborre och gädda (*Esox lucius*) under 2015 var återigen mycket snabb. I december månad var fångsterna i nätfiskena likvärdiga med fiskena i oktober och det är sannolikt att de individer som finns i Biotestsjön under hösten övervintrar i anläggningen.

I nätprovfisket i Forsmarks skärgård fångades likt tidigare år färre fiskar jämfört med Finbofjärden. Den vanligaste arten i provtagningarna var abborre. Den positiva utvecklingen för fångster av stora abborrar (>25 centimeter) i Forsmark fortsatte under 2015. Detta kopplas till abborrens möjlighet att vandra fritt mellan Biotestsjön och omgivande områden och att de periodvis kan tillgodogöra sig Biotestsjöns goda förhållanden för snabb tillväxt.

Provtagningarna av mjukbottenfauna i Forsmark och Finbofjärden visade små mellanårsvariationer vad gäller biomassa och abundans under senare år. På den mellandjupa stationen FM 119 har bottenfaunasamhället återhämtat sig sedan likströmskabeln Fenno-Skan 2 grävdes ner i området 2011.

I undersökningarna av hårbottenfauna med så kallade Landforsplattor var skillnaderna stora avseende artförekomst, biomassa och abundans mellan 2014 och 2015. I Biotestsjön var skillnaderna tydligast. De arter som ökat mest var falsk vandarmussla *Mytilopsis leucophaeata*, nyzeeländsk tusensnäcka (*Potamopyrgus antipodarum*) och märkräfta (*Leptocheirus pilosus*). Den främmande musselarten *Mytilopsis leucophaeata* förekommer rikligt i de varma delarna av kylvattenvägarna och kan sprida sig obehindrat till Biotestsjön. Arten har även påträffats utanför anläggningen i Forsmarks skärgård, men i mycket mindre omfattning jämfört med i Biotestsjön. Sannolikt är vattentemperaturerna under vintern så låga där att de får svårt att överleva.

Fågelinventeringarna inom kontrollprogrammet visade under 2015 att Biotestsjön var det enskilt viktigaste området i Forsmark för de sjöfågelarter som ingår i programmet. Förekomsten av mellanskarv (*Phalacrocorax carbo sinensis*) har ökat i Forsmarksområdet och häckningar genomfördes återigen inne i Biotestsjön. Likt tidigare år överlevde dock inga ungar och anledningen tillskrivs frekventa störningar från bland annat havsörnar (*Haliaeetus albicilla*) och trut- och måsfåglar.

Abstract

This report describes the surveys conducted within the biological surveillance program of the Forsmark nuclear power plant in 2015. The production of electricity in the power plant was 21,1 TWh in 2015. The production in Forsmark 2 (F2) was at the highest level since it was initiated 1981 and was probably an effect of the power uprate started 2013. As a result of the high production in F2 was an increased use of cooling water in the plant, from 88 m³/s to 96 m³/s.

Impingement losses of fish at the cooling water intake were 19 million individuals during eight weeks in spring and twelve weeks in autumn. The three-spined sticklebacks (*Gasterosteus acelatus*) were dominating the samplings and in autumn most of the individuals were young of the year. The results are an indicator of the good recruitment of the species in Forsmark archipelago. The loss of eels (*Anguilla anguilla*) in the water intake 2015 were low in comparison to earlier years and most of the individuals were silver eels.

The results of the gill net surveys in the Biotest basin during spring time showed the importance of the area as a place for warm water species to spawn. The catches of perch (*Perca fluviatilis*), roach (*Rutilus rutilus*), rudd (*Scardinius erythrophthalmus*), ruffe (*Gymnocephalus cernuus*) and silver bream (*Abramis bjoerkna*) were high and confirmed the positive trends for the species since the grids in the outlet were removed 2004. However, the catches of juvenile roach were low in the Biotest basin in autumn.

Fyke net surveys in 2015 confirmed the negative trend of eels in the Biotest basin since 2003. The length distribution of the eels indicated though that young individuals are attracted to the warm water and are migrating into the Biotest basin.

In the net surveys in Biotest basin during autumn the catches were mainly composed of perch, roach and rudd. In the ocular controls of gonads and calculations of health status of perch and roach there were no bad eggs found or injurious values of health status. The majority of the perch in the Biotest basin were two years or younger. The growth rate of perch and pike (*Esox lucius*) showed like previous years extreme high values.

In the gill net surveys in Forsmark archipelago the catches were like previous years lower compared to the catches in the reference area Finbofjärden. The positive trend of occurrence of big perch (>25 cm) in Forsmark continued 2015. This is probably a result of increased migration pattern of perch between Biotest basin and Forsmark archipelago since 2004 when the grid from the outlet was removed.

Benthic macrofauna biomass and abundance at the Länsman station 2015 had recovered to a normal level like the time before the underwater work with cable laying of the submarine power connection Fenno–Skan 2 between Sweden and Finland that took place in the area in 2011. In the surveys of benthic macrofauna on bottoms that lack sediments using Landfors plates, there were big differences in species

diversity, biomass and abundance between 2014 and 2015. In the Biotest basin the differences were most obvious. Species that had increased in most numbers were the mussel *Mytilopsis leucophaeata*, New Zealand mudsnail (*Potamopyrgus antipodarum*) and amphipods (*Leptocheirus pilosus*). The alien species *Mytilopsis leucophaeata* where abundant in the Biotest basin and in the warmer parts of the cooling water system 2015, but non present in the cooling water intake tunnels.

The bird surveys in the Forsmark archipelago showed that the Biotest basin is the most important area for the species covered by this study. For the third year the Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo sinensis*) established a colony for breeding in the Biotest basin and the species had increased in the area.

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Rapportens innehåll och syfte	7
1.2	Bakgrund	7
2	Kraftverkets drift	11
3	Kontrollprogrammets genomförande 2015	12
3.1	Fiskundersökningar	12
3.1.1	Silstationer	12
3.1.2	Biotestsjön	13
3.1.3	Öregrundsgrepen och Finbofjärden	15
3.2	Bottenfauna	17
3.2.1	Mjukbottenfauna	17
3.2.2	Hårdbottenfauna	17
3.3	Fågelinventeringar	20
3.4	Temperaturövervakning	21
4	Resultat	22
4.1	Fiskundersökningar	22
4.1.1	Silstationer	22
4.1.2	Biotestsjön	25
4.1.3	Öregrundsgrepen och Finbofjärden	32
4.2	Bottenfauna	37
4.2.1	Mjukbottenfauna	37
4.2.2	Hårdbottenfauna	39
4.3	Fågelinventeringar	42
5	Diskussion	44
	Referenser	49
	Bilaga 1	51

1 Inledning

1.1 Rapportens innehåll och syfte

Denna rapport redovisar resultat från den biologiska kontrollverksamheten i vattenrecipienten utanför Forsmarks kraftstation 2015 och sammanfattar långsiktiga och pågående trender i samhällena av fisk, mjuk- och hårbottenfauna samt sjöfågel. Undersökningarna i området har pågått sedan 1969 och har under årens lopp främst fokuserat på dödlighet av fisk vid kylvattenintaget och effekter på fisk, bottenfauna och fågel i närrecipienten (Biotestsjön) och fjärrecipienten (Öregrundsgrepen). Resultaten av undersökningarna jämförs med referensområdet vid Finbofjärden i nordvästra Åland och presenteras i årliga rapporter (Adill m.fl. 2015). Fördjupade utvärderingar görs vart femte år (Sandström 1985; Sandström 1990; Mo m.fl. 1996; Sandström m.fl. 2002; Karås m.fl. 2010; Adill m.fl. 2013) och kan leda till förändringar i baskontrollen.

1.2 Bakgrund

Forsmarks kärnkraftverk drivs av Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA) och är beläget vid kusten i nordöstra Uppland (figur 1). Energiproduktionen startade när den första reaktorn togs i drift 1980. Verksamheten utökades därefter 1981 med ett andra aggregat och slutligen 1985 med ett tredje. Produktionen av elektrisk energi har de senaste åren uppgått till 20–25 TWh per år för samtliga tre reaktorer. För kylning av processen i kondensatorerna kräver driften av kraftverkets tre reaktorer närmare 150 kubikmeter brackvatten per sekund. Kylvattnet tas in till kraftverket från Öregrundsgrepen via en kanal från Asphällafjärden (figur 1). Brackvattnet innehåller levande organismer i form av bland annat djurplankton och fisk. De största organismerna, fisken, avskiljs med stora bandsilar (maskvidd 2,5 mm) vid intaget till kraftverket och går förlorade. Mindre organismer, till exempel djurplankton, fiskägg och fisklarver kan passera genom silarna (Ehlin m.fl. 2009).



Figur 1. Översikt av undersökningsområdet i södra Bottenhavet och lägena för intagskanalen till kraftverket via Asphällafjärden, Biotestsjön, närrecipienten i Forsmarks skärgård samt lokaliseringen av referensområdet Finbo.

När kylvattnet når kondensatorerna i kraftverket sker en cirka tiogradig temperaturhöjning av vattnet. Djurplankton som följer med kylvattnet i processen utsätts för

stora tryck- och temperaturförändringar, som inte är direkt livshotande. Dock kan mekaniska skador uppstå som senare leder till att de dör (Sandström 1990). Fiskägg och fisklarver är känsligare för tryckförändringar och dödligheten är sannolikt stor om de sugts in i kylvattenintaget. Fiskarter med pelagiska ägg och larver förekommer dock främst i Västerhavet och omfattningen av förlusterna i Forsmark är troligtvis på låga nivåer (Ehlin m.fl. 2009).

Det uppvärmda vattnet pumpas gemensamt för Forsmark 1 och 2 via ett tunnel-system ut till Biotestsjön och för Forsmark 3 till en närliggande öppna kanal (figur 3). I tunnarna sker ett stort bortfall av djurplankton. Längs kylvattenvägarna ut från kärnkraftverket mot Biotestsjön har filtrerande djur etablerat sig, till exempel havstulpaner och musslor, som konsumerar stora mängder plankton (Ehlin m.fl. 2009; Sandström 1990; Sandström & Svensson 1990).

Biotestsjön är en invallad cirka 90 hektar stor anläggning som har byggts för forskning och uppföljning av kylvattnets effekter på miljön och är det område som är mest påverkat av temperaturhöjningen. Vattentemperaturen i Biotestsjön är, vid normal energiproduktion på kraftverket, 7–9 °C högre än i omgivande områden. Efter transport genom Biotestsjön och det tredje aggregatets kylvattenkanal släpps kylvattnet slutligen ut vid en gemensam punkt till Öregrundsgrepen.

Med anledning av begäran från FKA om att ta bort fiskgallren vid Biotestsjöns utlopp gjordes 2002 en utredning av Fiskeriverket om möjligheterna att göra detta sett ur forskningens perspektiv. Detta ansågs möjligt förutsatt att en dokumentation av förhållandena innan öppnandet utfördes. Studierna genomfördes under 2003 och berörde framförallt fisksamhällets status, men även bottenfauna, genetik och fisksjukdomar. Under 2004 reviderades kontrollprogrammet för att följa förändringarna hos fisk- och bottenfaunabestånden i recipientområdet efter avlägsnandet av gallret och detta program drevs fram till 2007. En stor del av undersökningarna under denna period fokuserades kring fiskars säsongsmässiga vandringar till kylvattenplymen och kontroll av om fisken anlockades in till Biotestsjön. Utökade studier av bottenlevande djur och fiskyngel kom också att ingå i programmet. Resultaten samt diskussioner kring detta återfinns i Karås m.fl. (2010).

Den nu aktuella utformningen av recipientkontrollprogrammet finns beskriven i metodikavsnittet. I undersökningarna studeras hur de omgivande fisk-, bottenfauna- och fågelsamhällena påverkas av kärnkraftverkens intag och utsläpp av kylvatten. För genomförande av det biologiska programmet inom recipientkontrollen ansvarar från och med 2011-07-01 Kustlaboratoriet vid Institutionen för akvatiska resurser (Aqua), Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), efter avvecklingen av Fiskeriverket, som tidigare var ansvarig utförare. Institutionen utför även insamlandet av prover för det radiologiska programmet inom kontrollverksamheten. Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) ansvarar för redovisningen av detta program. För fågelinventeringarna ansvarar Alf Sevastik, Kustbild.

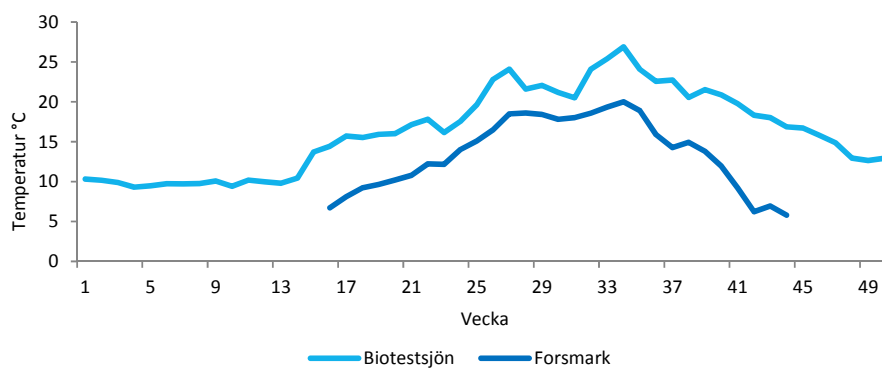
Sedan FKA år 2008 beviljades att höja effekten i samtliga tre reaktorer i Forsmark har förberedelsearbetena inletts på kraftverket. Arbetet med effekthöjningen planeras pågå successivt och sedan 2013 har kärnkraftverket påbörjat produktionen vid en högre effektnivå. Vid Forsmark 2 (F2) uppgår effekthöjningarna till 120 procent av den ursprungliga installerade effekten. I Forsmark 1 (F1) har merparten av installationerna genomförts och effekthöjningarna planeras att starta upp under 2017 eller 2020. Under 2014 beslutade FKA att inte genomföra installationerna för att höja effekten vid Forsmark 3 (F3).

Effekterna av det ökade energiuttaget i kärnkraftverket förväntas påverka den fysiska vattenmiljön och dess organismer främst genom ökat kylvattenflöde genom kraftverket och höjda vattentemperaturer i närrecipienten. När effekthöjningen är slutförd beräknas kylvattenflödet ha ökat med cirka 20 kubikmeter per sekund för F1 och F2 samt att utsläppstemperaturen i Biotestsjön förväntas höjas från 10,3 °C till 11,0 °C. För att bedöma vilken betydelse den ökade bortledningen av kylvatten och den ökade värmetillförseln till havet kan få för det allmänna fiskeintresset tillsatte miljödomstolen ett prövotidsförordnande för att avgöra frågan. FKA skulle i samråd med Fiskeriverket, numera SLU Aqua, undersöka frågan enligt program som parterna kom överens om. Under hösten 2009 inrättades ett undersökningsprogram, Effekthöjningsprogrammet, som ska utreda effekterna på fiskfaunan av ökat kylvattenflöde och höjda vattentemperaturer i recipienten. Under 2014 rapporterades den första delen av undersökningarna, förstudierna från 2009 fram till 2014 (Adill m.fl. 2014). De uppföljande studierna inom programmet kommer att påbörjas när kraftverket genomfört effekthöjningarna och ska pågå under tre år. Den slutliga rapporteringen ska redovisas till miljödomstolen senast fem år efter att produktionen vid kraftverket legat på den nya effektnivån.

2 Kraftverkets drift

Under 2015 producerade Forsmarks kärnkraftverk 21,1 terawattimmar (TWh) el i sina anläggningar. Vid Forsmark 2 (F2) var produktionen den största någonsin, vilket sannolikt var ett resultat av de effekthöjande åtgärder som genomförts sedan 2012. Effekthöjningarna har medfört att kylvattenflödet till det gemensamma intaget för F1 och F2 har ökat till 96 m³/s jämfört med tidigare 88 m³/s. Under 2015 hade Forsmarks kärnkraftverk ett längre avbrott i produktionen i samband med de planerade revisionsavställningarna, för F1 3 maj–14 juni, för F2 5 juli–30 juli och för F3 2 augusti–22 december.

Temperaturen i Biotestsjön varierade under 2015 från cirka 8 °C under vintermånaderna till drygt 27 °C i augusti (figur 2). De extrema temperaturförhållandena som har förekommit de föregående åren i Biotestsjön, uppemot 30 °C och varmare, förekom inte alls under 2015. Anledningen till detta var sannolikt en följd av att revisionsperioderna inföll i samband med den varmaste perioden på året och att driften var reducerad. I referensområdet Ön uppgick de högsta temperaturerna till drygt 21 °C.



Figur 2. Medeltemperaturer per vecka i Biotestsjön (centralt i Biotestsjön) och Forsmark (Ön) under år 2015.

3 Kontrollprogrammets genomförande 2015

Provtagningen inom recipientkontrollprogrammet 2015 har med få undantag genomförts enligt fastslagen plan. Moment som inte har fullföljts enligt plan är genomförandet av yngelundersökningarna i Biotestsjön och Forsmark samt längdmätningar av strömming (*Clupea harengus*) och storspigg (*Gasterosteus acelatus*) under våren i silstationen. Yngelprovtagningarna utfördes två veckor senare än planerat i Biotestsjön och två veckor tidigare i Forsmarksområdet.

Med anledning av utvecklingen för den nyligen invandrade musslan *Mytilopsis leucophaeata* i Forsmarksområdet infördes under 2015 extra undersökningar vid kraftverket. Syftet var att i samband med revisionsperioden och när tunnelsystemen tömdes för F1 inventera och dokumentera eventuella förekomster av arten i intagstunnlarna för kylvatten. Resultaten av detta arbete presenteras i bilaga 1.

Trendanalys gjordes med ln-transformerade data i de flesta fall eftersom de analyserade variablerna var lognormalfördelade. För att indikera statistisk signifikans tillämpades 95 % konfidensnivå ($p \leq 0,05$).

3.1 Fiskundersökningar

För mer utförliga beskrivningar av kontrollprogrammets metodik hänvisas till Handbok för kustundersökningar, recipientkontroll (Thoresson 1992; 1996), samt till de så kallade undersökningstyperna Provfiske med kustöversiktsnät, nätlänkar och ryssjor (Andersson 2015) och Provfiske i Östersjöns kustområde – Djupstratifierat provfiske med Nordiska kustöversiktsnät (Karlsson 2015). Då avvikelser skett från uppsatt kontrollprogram anges det i slutet av varje stycke nedan.

3.1.1 Silstationer

Kontroll av fiskförluster genomförs i den gemensamma silstationen för F1 och F2 under veckorna 17–24 och 37–48. Undersökningarna omfattar all fisk som avskiljs i silstationen under ett dygn per vecka under provtagningsperioderna. All fisk artbestäms, räknas och vägs. Beräkningar görs av de totala förlusterna under hela

provtagningsperioden, inklusive en uppskattning av förlusterna vid silstationen för F3. I samband med provtagningarna registreras vattentemperatur och vattenflöde.

Längdmätning av storspigg sker vid ett tillfälle under våren och ett under hösten, tidigt under provtagningsperioden. Vid varje mätning skall ett slumpmässigt prov om minst 100 individer längdmätas med en millimeters noggrannhet. För strömming längdmäts ett slumpmässigt prov under hösten om minst 100 individer med en millimeters noggrannhet.

3.1.2 Biotestsjön

Beståndsövervakning med nätprovfiske

Provfiske med kustöversiktsnät genomförs vid sex tillfällen på fem stationer under perioden 1 mars–31 maj (två fisker per månad, ett i början av månaden och ett i mitten av månaden) samt vid tre tillfällen på fem stationer under perioden 20 oktober–20 december (två gånger i oktober och en gång i december) (figur 3).

Beståndsövervakning med ryssjeprovfiske

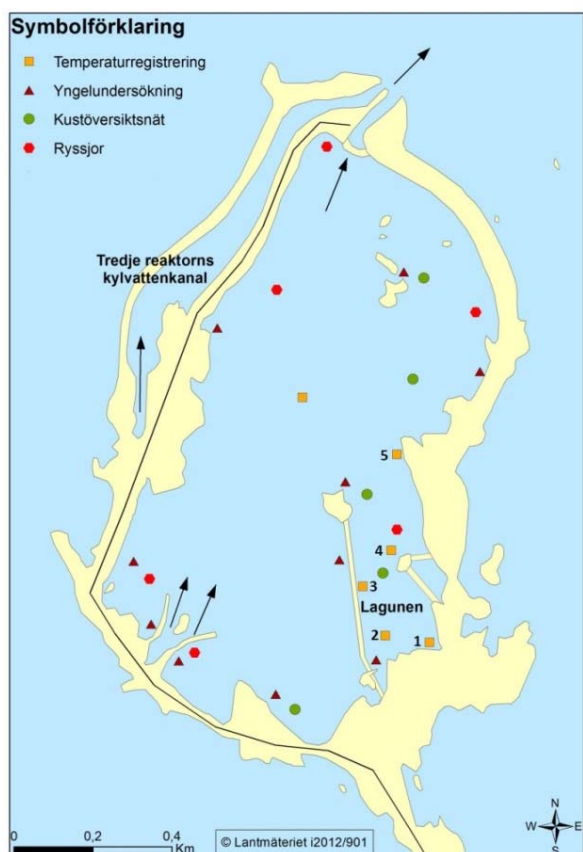
Fiske med ryssjor genomförs under fyra veckor i april. Under fiskeperioden fiskas sex stationer med tre parrysjor länkade med varandra (figur 3). Redskapen sätts i sjön vid början av perioden och vittjas en gång per vecka. All fångst artbestäms och längdmäts.

Kontroll av kondition och gonadstatus hos abborre och mört

Vid nätprovfiskena under perioden 20 – 31 oktober insamlas tio individer vardera från längdgrupperna 14 till 24 centimeter och samtliga större fiskar av abborre (*Perca fluviatilis*) och mört (*Rutilus rutilus*) för kontroll av kondition och gonadstatus. Kondition enligt Fultons index (K) beräknas med formeln: $K = w * L^{-3} * 100$, där w är vikten i gram och L är längden i centimeter. Ett värde över 1,0 anses motsvara god kondition hos fisken. För att kontrollera gonadstatus genomförs en okulärbesiktning av gonaderna samt en beräkning av gonadsomatiskt index (GSI), vilket motsvarar gonadvikt i förhållande till kroppsvikt (somatisk vikt). Gonadsomatiskt index analyseras per gonadstatus enligt en fyrgradig skala;

1. Könsorgan ej utvecklade
2. Könsorgan under tillväxt, dock ej lekmogen
3. Lekmogen
4. Utlekt.

Insamling av abborre och mört från Forsmarks skärgård för referensprov genomförs enligt samma metodik och under samma period som ovan.



Figur 3. Översikt av Biotestsjön med provtagningspunkter för undersökningar av fisk och vattentemperatur.

Kontroll av ålder och tillväxt

Från de 100 insamlade abborrhonorna för konditions- och gonadkontroll tas även gällock och otoliter för analys av ålder och tillväxt. Insamling av abborre från Forsmarks skärgård för referensprov genomförs enligt samma metodik som ovan.

Beståndsövervakning av yngel med detonationsteknik

Yngel och småväxta arter insamlas med detonationsteknik på tio fasta stationer vid tre tillfällen i augusti (figur 3). Samtliga fiskar artbestäms och längdmäts.

Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk

Samtliga fiskar okulärbesiktas i samband med provfiske för kontroll av fisksjukdomar och parasitering.

3.1.3 Öregrundsgrepen och Finbofjärden

Beståndsövervakning med nätprovfiske

Provfiske genomförs i augusti med Nordiska kustöversiktsnät på 45 stationer i Forsmarks skärgård enligt standardförfarande (figur 4) (Karlsson 2015). Samma metodik genomförs i referensområdet i Finbofjärden (figur 5).

Kontroll av ålder och tillväxt

Vid provfisket med Nordiska kustöversiktsnät i Forsmarks skärgård samlas gällock och otoliter in från cirka 300 abborrhonor för analys av ålder och tillväxt. För beräkningar av relativ årsklasstyrka hos abborre används en modifierad version av Svärdsöns metodik (Svärdsö 1961; Neuman 1974). Antalet fiskar av en viss ålder i ett prov från ett visst fångstår vägs både mot det totala antalet fiskar i provet och mot den procentuella andelen för just denna ålder i det totala materialet från flera år (Thoreson 1996). I referensområdet vid Finbofjärden genomförs provtagningen med samma metodik.

Beståndsövervakning med detonationsteknik

Yngel och småväxta arter insamlas med detonationsteknik på tio fasta stationer i Forsmarks skärgård vid tre tillfällen i september (figur 4). Samtliga fiskar artbestäms och längdmäts.

Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk

Samtliga fiskar som fångas vid provfiskena okulärbesiktigas för kontroll av fisksjukdomar, skador och parasitering.



Figur 4. Undersökningsområdet i Forsmark. Inom den röda ramen provfiskas 45 stationer med Nordiskt kustöversiktsnät.



Figur 5. Referensområdet i Finbofjärden. Inom den röda ramen provfiskas 45 stationer med Nordiskt kustöversiktsnät.

3.2 Bottenfauna

3.2.1 Mjukbottenfauna

Provtagning av mjukbottenfauna genomfördes enligt en metodik där insamling sker genom bottenhugg med van Veen-huggare (figur 6) (Thoresson 1992). Två stationer i Forsmarks skärgård, som påverkas i olika grad av varmvattenutsläppet från kraftverket, provtogs i maj månad; en djup station (FM 121, 41 meter) och en medeldjup (FM 119, 16 meter) (figur 9). Två referensstationer med liknande djup utanför det påverkade området provtogs i Finbofjärden (FB 2, 44 meter och FB 9, 22 meter; figur 5). Proverna konserverades i 70 procent etanol i fält och analyserades senare på laboratorium, där fauna artbestämdes till lägsta möjliga taxonomiska nivå med hjälp av stereolupp. Varje art räknades och vägdes (våtvikt i milligram) för varje enskilt prov. Analys av data genomfördes i R v. 3.2.2 (R Foundation), PAST v 3.10 (Hammer m.fl. 2001) samt Excel 2010 (Microsoft corp.).



Figur 6. Överst till vänster: Van Veen-huggaren töms på sediment innehållande bottenfauna i plastback. Överst till höger: Personal på SLU Aqua, kustlaboratoriet, plockar bottenfauna från sållet till provburk. Nederst till vänster: Materialet i bottenhugget spolas försiktigt med havsvatten genom ett 1 mm såll för att samla upp de bottenlevande djuren. Nederst till höger: Östersjömussla (*Macoma balthica*).

3.2.2 Hårdbottenfauna

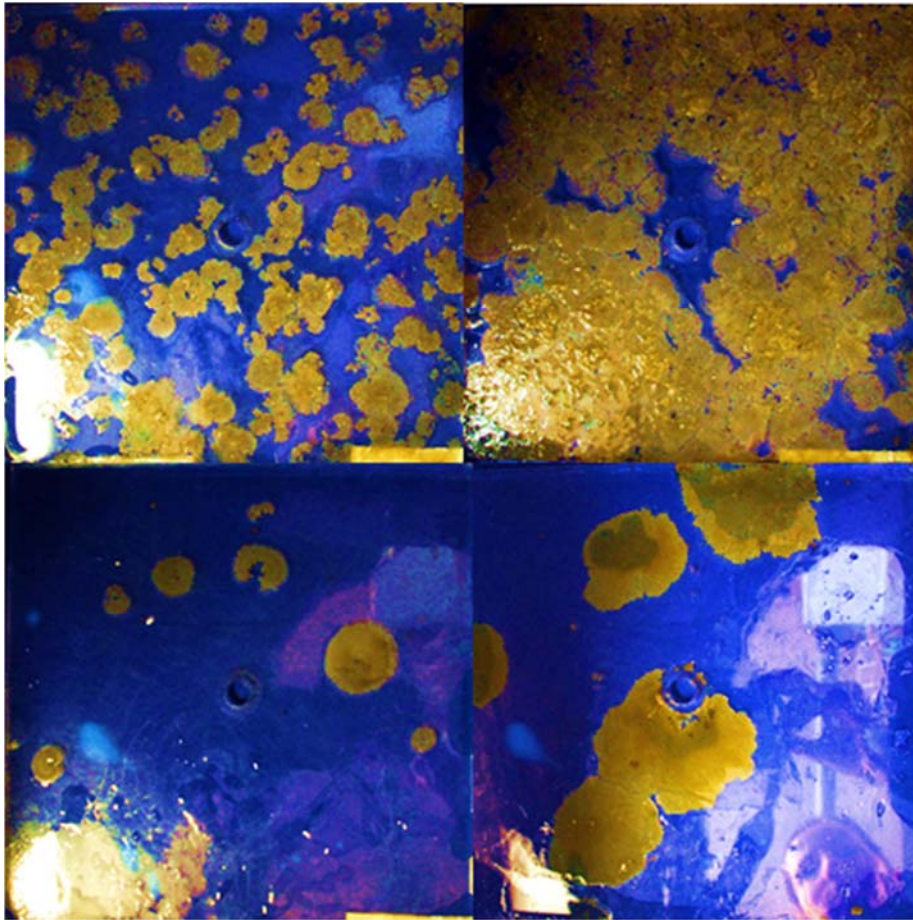
Provtagningen av hårbottenfauna genomfördes enligt metodik med så kallade Landforsplattor (Adill m.fl. 2015) (figur 7) som placerades ut på fyra provtag-

ningsstationer i Forsmarks skärgård (figur 9). Stationerna påverkas i olika grad av kraftverkets drift, närrecipienten Biotestsjön (BIO) med maximal påverkan av uppvärmt kylvatten, utsläppsområdet från Biotestsjön (PLY), som delvis påverkas av kylvatten, området för kylvattensintaget till kraftverket Asphällfjärden (ASP) samt Borgarna (BOR) norr om Biotestsjön och utanför det område som påverkas av kylvatten. Åtta Landforsplattor placerades ut i slutet av maj på varje station på ungefär fyra meters djup. På varje station placerades en temperaturlogger för temperaturregistrering under provtagningsperioden. Landforsplattorna insamlades i slutet av september. Faunan konserverades i plastburkar med 70 procent etanol. För att kvantifiera mängden påväxt av arterna tångbark (*Electra crustulenta*) och sötvattenssvamp (*Ephydatia fluviatilis*) fotograferades plattorna (figur 8). Bilderna sparades för senare analys i bildhanteringsprogram.

Proverna analyserades på laboratorium, där fauna artbestämdes till lägsta möjliga taxonomiska nivå med hjälp av stereolupp. Varje art räknades och vägdes (våtvikt i milligram) för varje Landforsplatta. De statistiska analyserna genomfördes i R v. 3.2.2 (R Foundation), PAST v 3.10 (Hammer m.fl. 2001) samt Excel 2010 (Microsoft corp.). Fotografierna av koloniserande tångbark och sötvattenssvamp på plattorna analyserades och den procentuella täckningsgraden beräknades med bildhanteringsprogrammet ImageJ (Abramoff m.fl. 2004).



Figur 7. Landforsplatta som används vid provtagning av hårbottenfauna. Åtta stycken Landforsplattor placeras ut vid varje station på cirka fyra meters djup.



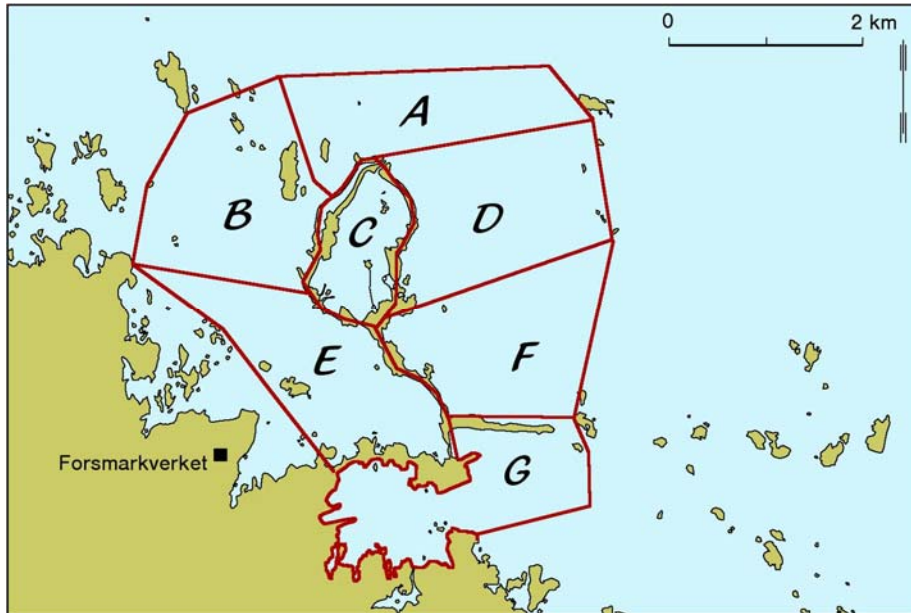
Figur 8. Påväxt av tångbark (*Electra crustulenta*) på Landforsplattor från Asphällafjärden (uppe till vänster), plymen (uppe till höger) och Borgarna (nere till vänster) samt påväxt av sötvattensvamp (*Ephydatia fluviatilis*) på Landforsplatta från Biotestsjön (nere till höger). Areal av påväxten analyseras med verktyget ImageJ.



Figur 9. Översikt av Forsmarksområdet med provtagningspunkter för undersökningar av mjuk- och hårbottenfauna. Provtagningspunkterna för mjukbottenfauna påverkas i olika grad av kylvattenutsläppet och ligger på olika djup; FM 119 på 16 meter och FM 121 på 41 meters djup. Provtagningspunkterna för hårbottenfauna påverkas på olika sätt och grad av kylvatten; Biotestsjön (BIO) med maximal påverkan av uppvärmt kylvatten, utsläppsområdet för kylvatten (PLY) som delvis påverkas av kylvatten, området för kylvattenintaget till kraftverket (ASP) samt Borgarna (BOR) norr om Biotestsjön som aldrig påverkas av kylvatten.

3.3 Fågelinventeringar

Inventering av sjöfågel har utförts två gånger i månaden under hela året enligt punkttaxeringsmetoden (Naturvårdsverket 1978) där vissa utvalda arter räknas under en bestämd tid från olika observationsplatser. Inventeringsområdet har indelats i sju zoner (A–G; figur 10). De arter som studerats har delats in i olika funktionella grupper beroende på födoval. Dessa har varit växtätare; gräsand (*Anas platyrhynchos*) och knölsvan (*Cygnus olor*), bottendjursätare; knipa (*Bucephala clangula*) och vigg (*Aythya fuligula*), samt fiskätare; storskrake (*Mergus merganser*), mellanskarv (*Phalacrocorax carbo sinensis*) och häger (*Ardea cinerea*).



Figur 10. Inventeringsområdet för sjöfågel och dess indelning i sju zoner (A-G).

3.4 Temperaturövervakning

Temperaturen registreras kontinuerligt med dataloggers i en position i mitten av Biotestsjön samt i fem punkter i en gradient från innersta delen av lagunen till dess yttre del (figur 3). Från en referenspunkt i Forsmarks innerskärgård, Ön (figur 4), registreras temperaturen under den isfria perioden.

4 Resultat

4.1 Fiskundersökningar

4.1.1 Silstationer

De fiskar som omkom i silstationerna under 2015 utgjordes liksom tidigare år av småväxta arter som storspigg, småspigg (*Pungitius pungitius*), mindre havsnål (*Nerophis ophidion*), sandstubb (*Pomatoschistus minutus*) och på hösten av år-syngel av bland annat strömming (tabell 1). Förlusterna av fisk i Forsmarks silstationer under 2015 beräknades till cirka 6,7 miljoner individer under vårperioden av 24 olika arter. Förekomsten var något mindre än under 2014 (7,9 miljoner individer). Under höstperioden beräknades förlusterna i silstationerna till 12,4 miljoner individer. Förlusterna var de största sedan provtagningarna inleddes och kan jämföras med föregående års resultat (2010–2014), då cirka 7–10 miljoner individer fastnade i silstationerna (tabell 1).

Den dominerande arten under provtagningarna var storspigg, som svarade för 91 procent av alla fiskar under våren och 66 procent under hösten (tabell 1). Förlusterna av storspigg har under en tioårsperiod varit ungefär i samma storleksordning och utvecklingen visar på ökande förekomster sedan provtagningarna startade¹ (figur 11). Under höstprovtagningarna var förlusterna av samma storleksordning som under 2014 och enligt medelvikten och längdfördelningarna bestod förlusterna av främst unga individer (figur 12).

Mest förekommande art efter storspigg under provtagningarna var småspigg, som under hösten uppvisade mycket stora förluster jämfört med tidigare år. Förekomsten av småspigg har ökat i silstationerna² (figur 13). En annan småväxt

¹ Linjär regression 1989-2015, ln-trans, $R^2=0,59$, $p<0,001$ för våren, $R^2=0,80$, $p<0,001$ för hösten

² Linjär regression 1989-2015, ln-trans, $R^2=0,40$, $p<0,001$ för våren, $R^2=0,60$, $p<0,001$ för hösten

fiskart som förekom i stor utsträckning i provtagningarna under hösten var mindre havsnål, som mångdubblade sin förekomst jämfört med tidigare år (tabell 1).

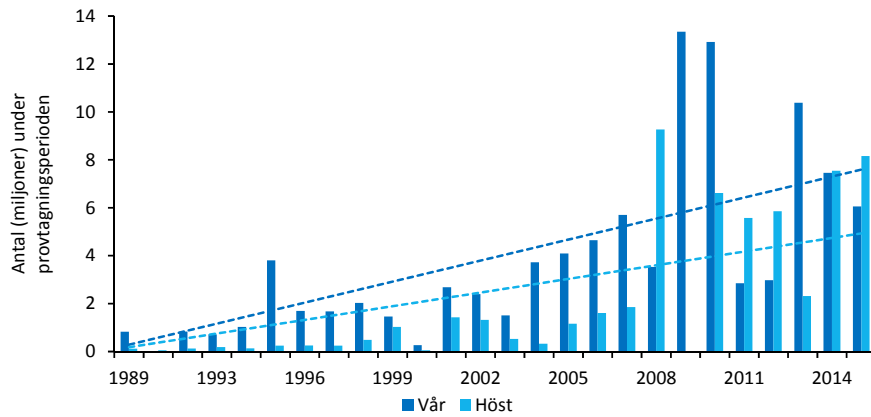
Förlusterna av ål (*Anguilla anguilla*) i silstationen under höstperioden var liksom föregående två år lägre än tidigare och den ökande trenden av ål som från början av 1990-talet har brutits³ (figur 14). Medelvikten av de ålar som fastnade i silstationen under hösten var dock fortfarande hög och inslaget av vuxen ål, så kallade blankålar, var mycket stort (figur 14).

Mängden strömming under hösten var liten i jämförelse med tidigare år och den vanligtvis stora andelen årsyngel som brukar förekomma i provtagningarna fanns inte under 2015 (tabell 1; figur 15). Förlusterna av typiska varmvattenarter som abborre, mört, gädda (*Esox lucius*) och gös (*Sander lucioperca*) bedöms vara relativt små 2015 i förhållande till övriga år (tabell 1).

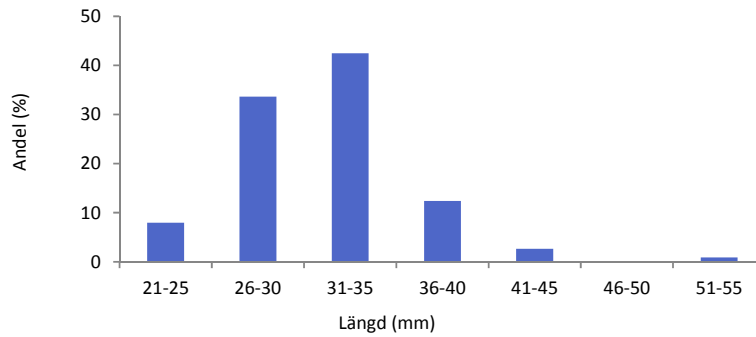
Tabell 1. Beräknade fiskförluster (antal individer) i silstationerna per art och uppdelat på vår och höst.

Art	Vår	Höst
Abborre	2 846	3 854
Björkna	200	473
Braxen	21	399
Flodnejonöga	147	116
Gers	2 205	704
Gädda	21	74
Gös	84	137
Havsnål	10 479	1 638 987
Lax	0	34
Löja	21 987	16 727
Mört	536	210
Nors	48 521	24 003
Piggvar	11	21
Ruda	11	0
Sik	11	0
Siklöja	0	21
Skarpsill	242	2 174
Småspigg	367 983	2 403 608
Storspigg	6 053 240	8 162 175
Strömming	142 433	124 950
Stubb	22 880	7 581
Svart smörbult	189	0
Tobis	1 796	12 548
Tånglake	105	95
Tångsnälla	0	42
Vimma	63	74
Ål	210	588
Summa	6 676 215	12 399 589

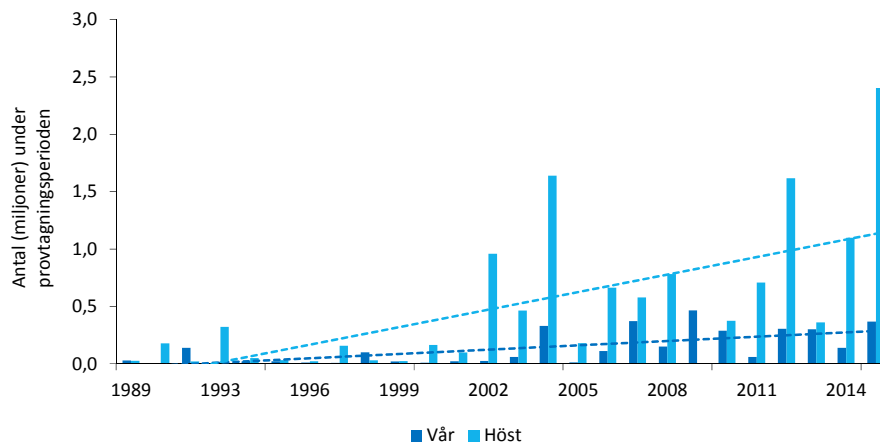
³ Linjär regression 1991-2015, ln-trans, $R^2=0,33$, $p<0,01$



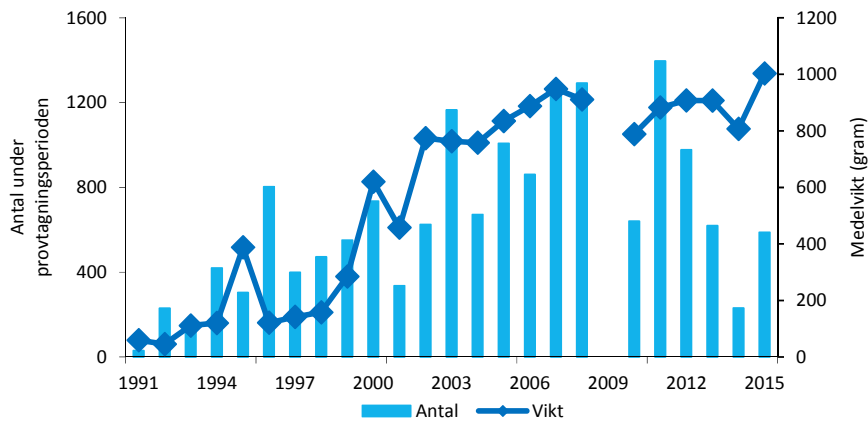
Figur 11. Förluster av storspigg i silstationerna under provtagningsperioderna. Streckad linje anger linjär trend över tid.



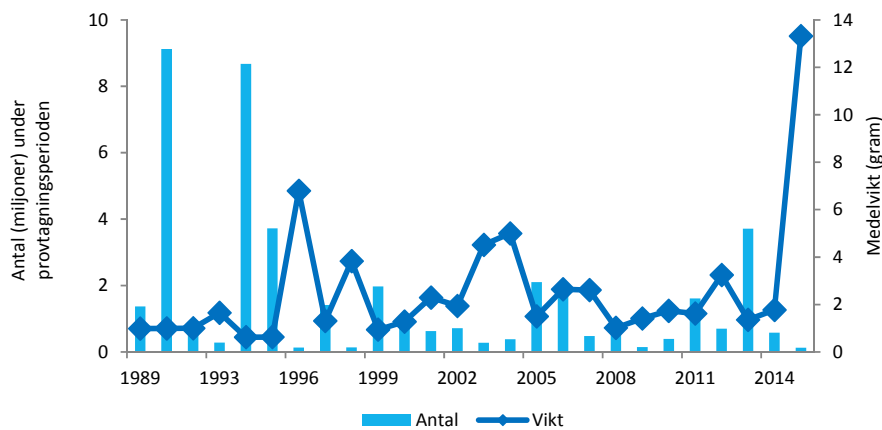
Figur 12. Längdfördelningen för storspigg i silstationerna den 22 september 2015. Stickprovet utgjordes av 113 individer.



Figur 13. Förluster av småspigg i silstationerna under provtagningsperioderna. Streckad linje anger linjär trend över tid.



Figur 14. Förluster och medelvikt av ål i silstationerna under höstprovtningsperioden. 2009 års värden saknas på grund av allt för reducerade provtagningar.



Figur 15. Förluster och medelvikt av strömming i silstationerna under höstprovtningsperioden.

4.1.2 Biotestsjön

Beståndsövervakning med nätprovfiske

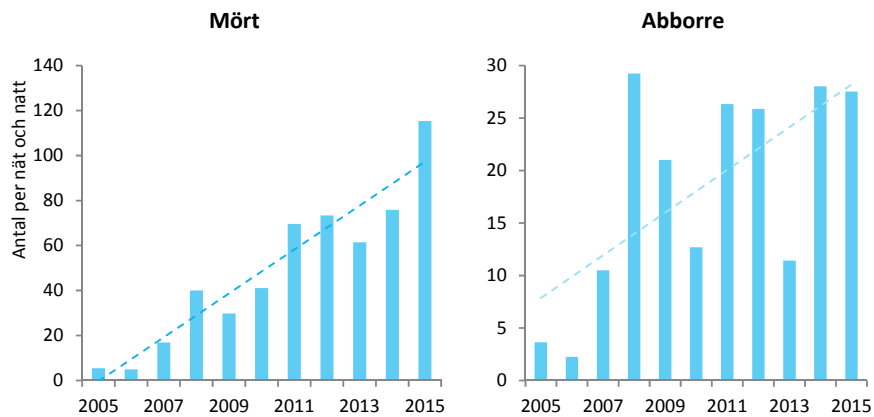
Under 2015 års vårprovfiske med nät fångades sammanlagt 9 739 individer av 12 olika arter, vilket var i samma storleksordning som under 2014 (9 979 individer av 13 arter) (tabell 2). Mört var vanligast i nätfisket och svarade för 61 procent av alla individer och fångsterna var rekordstora och har ökat sedan galleröppnandet 2004⁴ (figur 16). Fångsterna av abborre var ungefär lika stora som under 2014, främst under maj månad, och svarade för 17 procent av de totala fångsterna. Abborren har

⁴ Linjär regression, ln-trans, 2005-2015, $R^2=0,86$, $p<0,001$

uppvisat en positiv utveckling sedan galleröppningen⁵ (figur 16). Utvecklingen för gers (*Gymnocephalus cernuus*), sarv (*Scardinius erythrophthalmus*) och björkna (*Abramis bjoerkna*) uppvisade en fortsatt positiv trend i Biotestsjön⁶ (figur 16).

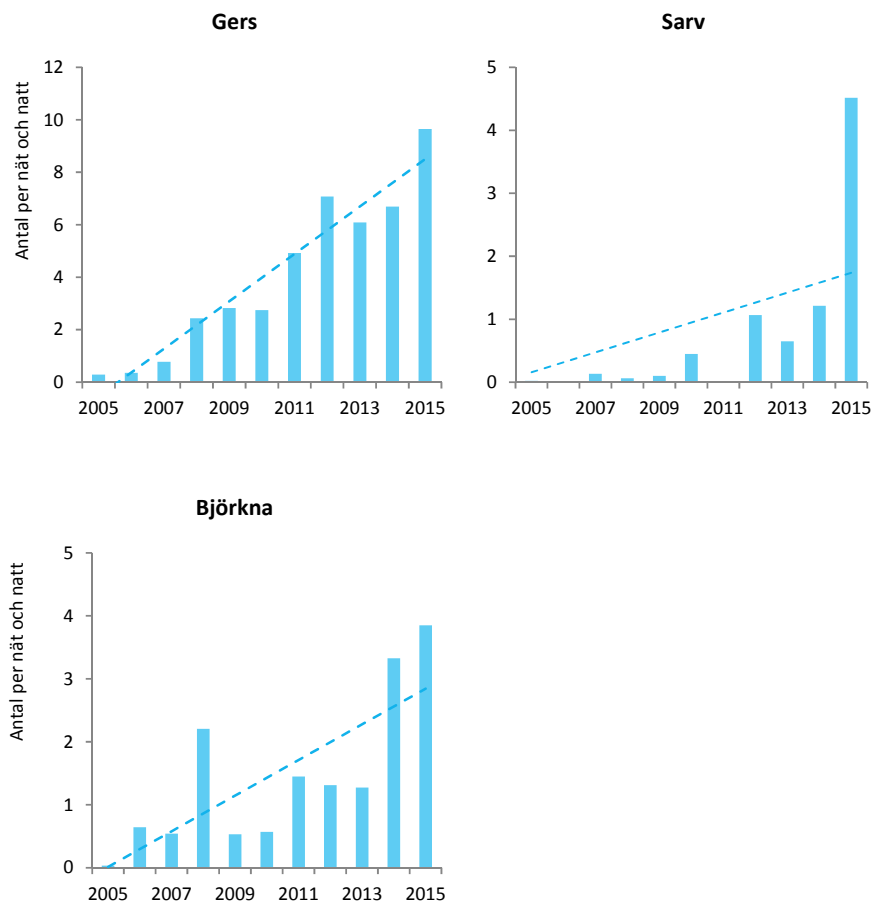
Tabell 2. Fångster i nätprovfiskena i Biotestsjön under vårperioden 2015.

Art	Totalantal	Andel (%)
Mört	6 077	60,90
Abborre	2 597	26,02
Björkna	573	5,74
Gers	498	4,99
Sarv	135	1,35
Löja	41	0,41
Gädda	27	0,27
Vimma	10	0,10
Sik	8	0,08
Id	6	0,06
Sutare	4	0,04
Braxen	1	0,01
Gös	1	0,01
Karpfisk hybrid	1	0,01
Totalt	9 979	



⁵ Linjär regression, ln-trans, 2005-2015, $R^2=0,49$, $p=0,02$

⁶ Linjär regression, ln-trans, 2005-2015, $R^2=0,58$, $p<0,01$ för björkna, $R^2=0,88$, $p<0,001$ för gers, $R^2=0,49$, $p=0,02$ för sarv



Figur 16. Fångster av mört, abborre, gers, sarv och björkna i nätprovfisken i Biotestsjön under våren 2005–2015. Streckad linje anger linjär trend över tid.

Likt de senaste åren påverkades nätfisket av störningar från ål som tuggar sönder och äter upp fisken i näten, så kallade ålbulor (Adill m.fl. 2012). Under 2015 var frekvensen av dessa störningar lägre än tidigare år och uppgick under vårfisket till cirka 150 stycken ålbulor, med högst frekvens i april.

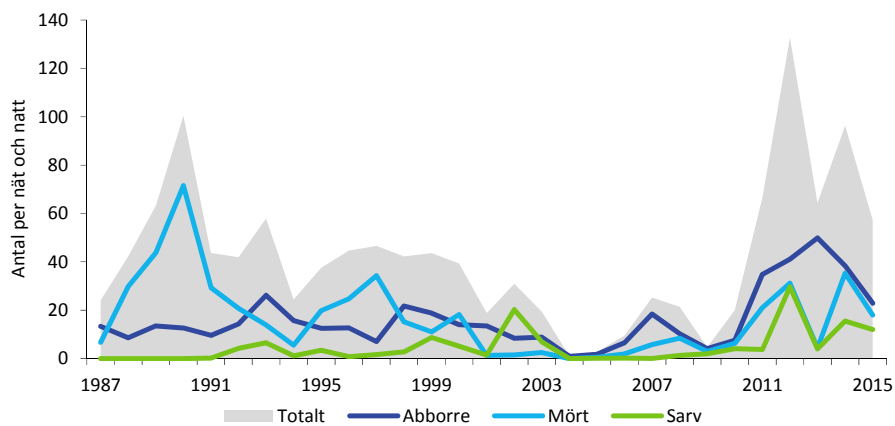
Provfisken med nät i Biotestsjön under hösten och vintern fångade 1 314 individer (381 individer i december) av nio olika arter (tabell 3). Fångsterna utgjordes främst, som föregående år, av abborre, mört och sarv, som svarade för 90 procent av individerna. Dessa arter har haft en positiv utveckling i anläggningen sedan galleröppningen 2004⁷ (figur 17). Fångsterna av de olika arterna fördelades unge-

⁷ Linjär regression, ln-trans, 2005-2015, $R^2=0,55$, $p<0,01$ för abborre, $R^2=0,48$, $p=0,02$ för mört, $R^2=0,40$, $p=0,04$ för sarv

får likadant i oktober som december, men antalet individer var färre i decemberfisket (tabell 3).

Tabell 3. Fångster i nätprovfiskena i Biotestsjön under höst- och vinterperioden 2015. Totalt anger fångster för två vittjningar i oktober och en vittjning i december. December anger en vittjning i december. Andel (%) anger fördelning i fångsterna under samtliga vittjningar.

Art	Totalt	December	Andel (%)
Abborre	462	94	35,16
Mört	389	104	29,60
Sarv	326	117	24,81
Gers	91	56	6,93
Gädda	24	7	1,83
Björkna	19	2	1,45
Löja	1	0	0,08
Sik	1	1	0,08
Sutare	1	0	0,08
Totalt	1 314	381	



Figur 17. Fångster av dominerande arter vid nätprovfisket i Biotestsjön under höstarna 1987–2015.

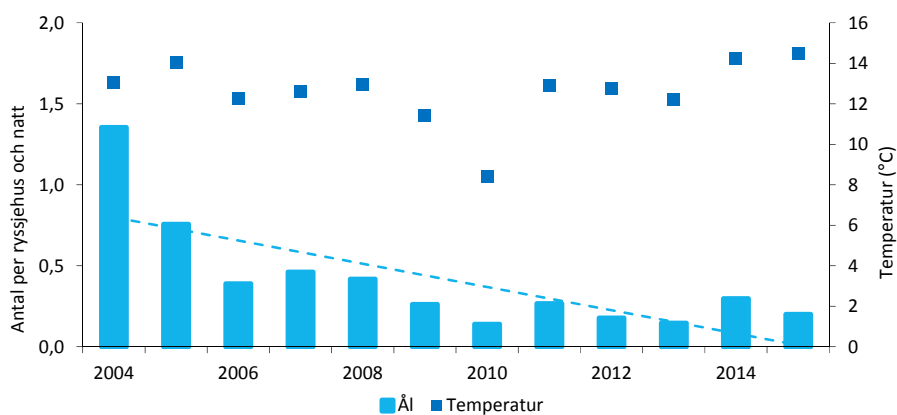
Vid höstfisket fångades, liksom 2013 och 2014, stora fångster av gädda i Biotestsjön och samtliga individer förutom en var årsrekryter (tabell 3). Storleken hos gäddorna fördelade sig liksom föregående år inom längdintervallet 30–40 cm. Av typiska kallvattenarter som sik (*Coregonus lavaretus*), öring (*Salmo trutta*), nors (*Osmerus eperlanus*) eller lake (*Lota lota*) fångades under denna period endast en sik i december. Inga nya eller ovanliga arter för Biotestsjön fångades i provfisket.

Beståndsövervakning med ryssjeprovfiske

Under ryssjefisket i april fångades 217 ålar (0,2 per ryssjehus och dygn), vilket var små mängder jämfört med perioden kring 2004 då fiskspärren avlägsnades i Biotestsjöns utlopp⁸ (figur 18). Den negativa trenden för ålen sedan galleröppningen har avstannat de senaste sju åren och mängden ål i Biotestsjön har sedan dess varit nästintill oförändrad (figur 18). Likt de senaste åren fanns en stor spridning hos ålarnas längder och medellängden under 2015 var 67 cm. De minsta ålarna var knappt 40 cm långa och de största var 86 cm (figur 19).

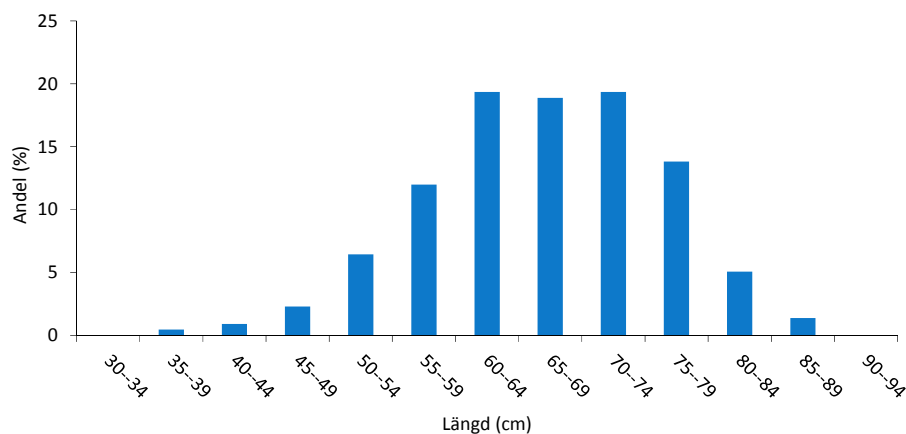
Tabell 4. Fångster i ryssjeprovfiskena i Biotestsjön under april 2015.

Art	Antal	Andel (%)
Gulål	217	41,7
Abborre	150	28,8
Gers	116	22,3
Mört	33	6,3
Björkna	3	0,6
Mindre havsnål	2	0,4
Totalsumma	521	



Figur 18. Fångster av ål vid ryssjeprovfiskena under våren samt medeltemperaturen vid fisketillfällena. Streckad linje anger linjär trend över tid.

⁸ Linjär regression 2004-2015, ln-trans, $R^2=0,65$, $p<0,01$



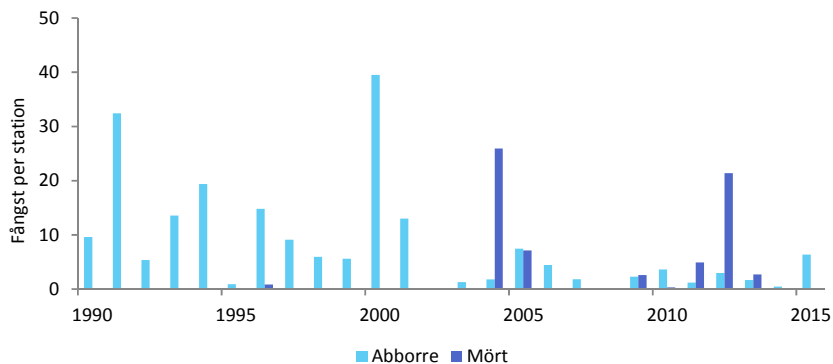
Figur 19. Längdfördelning hos ål från ryssjeprovfiskena i Biotestsjön.

Beståndsövervakning av yngel med detonationsteknik

Vid yngelundersökningarna i Biotestsjön var sarv den vanligaste arten bland årsynglen. Fångsten uppgick till 17,2 yngel per station och svarade för 64 procent av den totala fångsten (tabell 5). Tätheten av abborryngel var relativt stor under 2015 (6,37 yngel per station) och fångsterna var de största på många år (figur 20). Årsyngel av mört förekom med endast fyra individer i undersökningarna (tabell 5; figur 20). Under 2015 fångades för första gången ett årsyngel av sutare (*Tinca tinca*) i Biotestsjön (tabell 5).

Tabell 5. Fångster av årsyngel i detonationsprovfisken i Biotestsjön under hösten 2015.

Art	Antal	Andel (%)	Per station
Sarv	515	63,7	17,2
Abborre	191	23,6	6,37
Löja	87	10,8	2,90
Mört	4	0,5	0,13
Storspigg	4	0,5	0,13
Gers	3	0,4	0,10
Gädda	3	0,4	0,10
Sutare	1	0,1	0,03
Totalt	808		

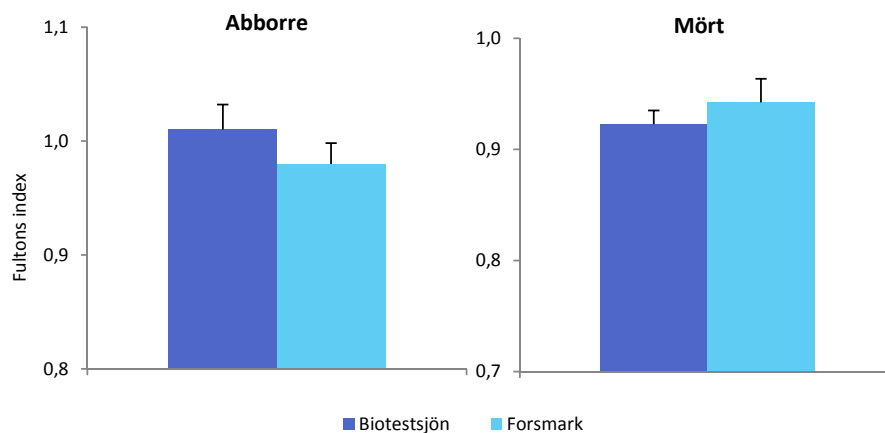


Figur 20. Fångster vid yngelundersökningar i Biotestsjön under höstarna 1990–2015.

Kontroll av kondition och gonadstatus hos abborre och mört

För kontroll av kondition och gonadstatus i Biotestsjön provtogs 84 honor av abborre och 97 honor av mört. Som referensmaterial provtogs 119 individer av abborre och 33 individer av mört från Forsmarks innerskärgrård. Inga av de undersökta abborrarna eller mörtarna från Biotestsjön och Forsmark påträffades med gonadskador.

Konditionen hos abborre och mört i Biotestsjön och i Forsmarks innerskärgrård var inom normala nivåer och inga individer påträffades med extremt låga värden som kan anses vara skadliga (figur 21). Skillnaden i kondition mellan områdena var små. Abborrarna i Biotestsjön var dock i något bättre kondition än individerna utanför anläggningen⁹ (figur 21).

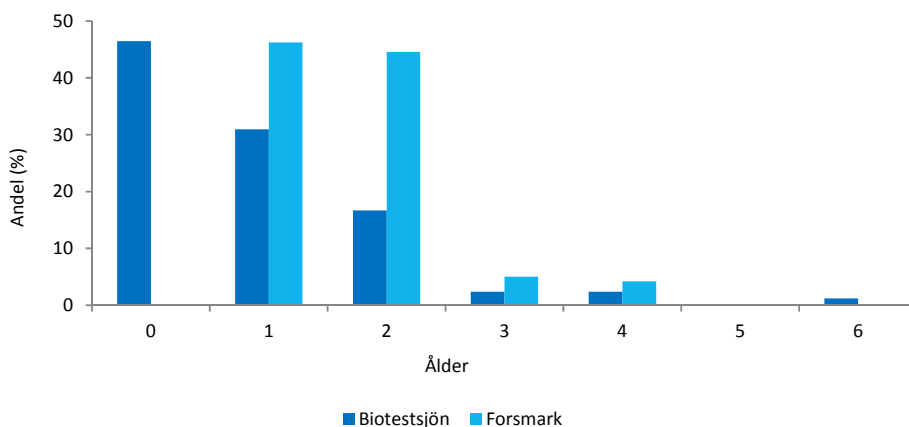


Figur 21. Kondition hos abborre och mört i Biotestsjön och Forsmark angivet som Fultons index. Felstaplar anger 95 % konfidensintervall.

⁹ Variansanalys Anova, $F_{1,202} = 4,44$, $p = 0,04$

Kontroll av ålder och tillväxt

Ålder och tillväxt undersöktes hos 84 abborrhonor från Biotestsjön. Resultatet visade en stor dominans av årgamla och ettåriga abborrhonor i fångsterna under provfisket. I referensområdet i Forsmarks skärgård var ett- och två åriga abborrhonor vanligast i fångsterna (figur 22). Få individer från Biotestsjön och Forsmark var tre år eller äldre (figur 22). Likt föregående år visade analyserna av abborre från Biotestsjön på hög tillväxthastighet och längderna hos årsyngel i Biotestsjön var uppemot 160 millimeter. I Forsmarksområdet fångades inga årsyngel i undersökningarna i oktober månad.



Figur 22. Ålder hos abborrhonor i fångsterna i oktober från Biotestsjön och Forsmark 2015.

Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering

Vid fiskundersökningarna i Biotestsjön påträffades under 2015 sju individer med yttre sjukdomssymtom. Två abborrar påträffades med ryggradskrökning, en ål med så kallad blomkålssjuka (godartad tumör som är virusbetingad) och fyra gäddor med hudskador. Av karpfiskarna (bland annat mört och björkna) var cirka 10 procent parasiterade av digena trematoder (svarta fläcksjukan; Thulin 1989), vilket var i ungefär samma omfattning som föregående år.

4.1.3 Öregrundsgrepen och Finbofjärden

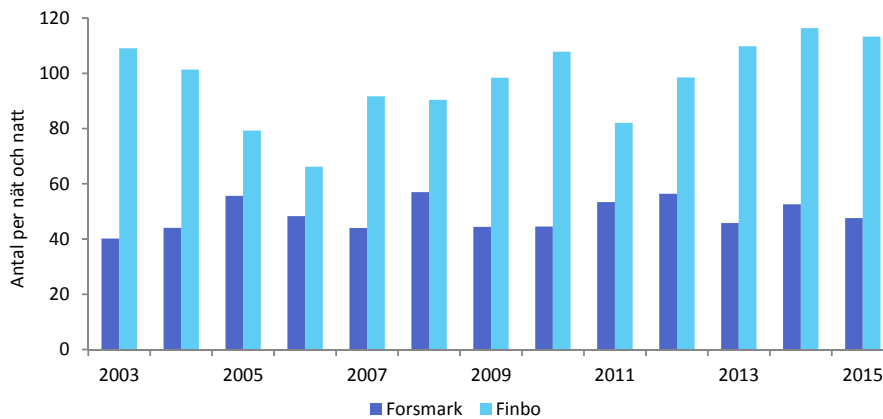
Beståndsövervakning med nätprovfiske

I provfisket med Nordiska kustöversiktnät i Forsmark fångades 2 211 individer av 14 olika arter, vilket var i liknande omfattning som under 2014 (2 176 individer) (tabell 6). Abborre var vanligast i provfisket och uppgick till nästan hälften av individerna. De totala fångsterna i provfisket visade på små mellanårsvariationer och nivåerna har varit stabila sedan provtagningarna inleddes 2003 (figur 23). Den

positiva utvecklingen för gers i Forsmarksområdet bestod även under 2015 och fångsterna var likt de föregående sex åren höga¹⁰ (figur 24). Fångsterna av mört, som under de senaste åren har minskat i Forsmark, var relativt stora under 2015 och den negativa utvecklingen har avstannat¹¹ (figur 24). Trenden i Forsmark med ökande fångster av stor abborre (≥ 25 cm) fortsatte även 2015¹² (figur 25).

Tabell 6. Fångster i fisken med Nordiska kustöversiktsnät i Forsmark under 2015.

Art	Totalt	Andel (%)
Abborre	1032	46,7
Strömming	374	16,9
Gers	347	15,7
Mört	277	12,5
Björkna	128	5,79
Löja	16	0,72
Braxen	13	0,59
Gös	7	0,32
Vimma	6	0,27
Id	4	0,18
Skarpsill	2	0,09
Svart smörbult	2	0,09
Lax	1	0,05
Tånglake	1	0,05
Totalt	2211	

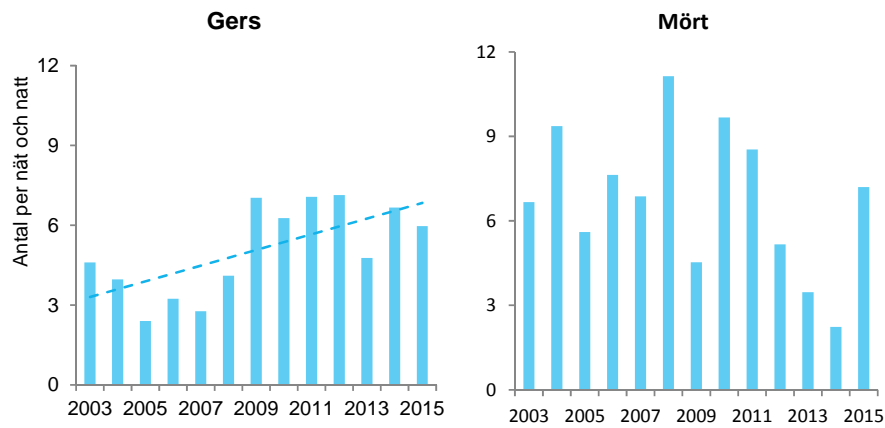


Figur 23. Fångster av samtliga arter per nät och natt vid provfiske med Nordiska kustöversiktsnät i Forsmark och Finbofjärden 2003–2015.

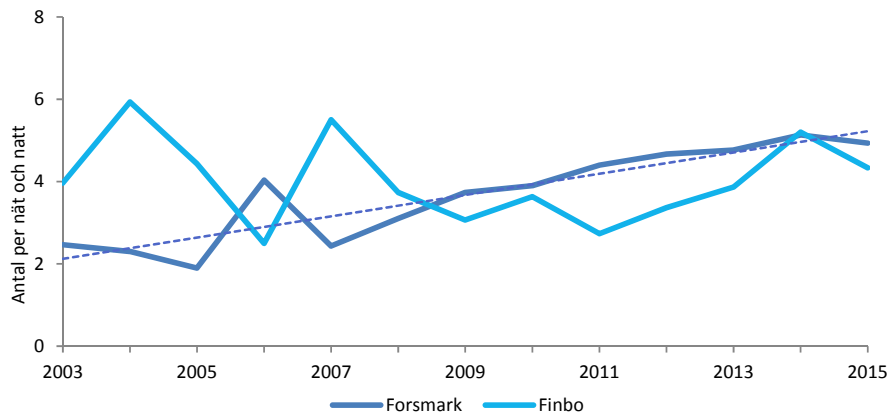
¹⁰ Linjär regression, ln-trans, 2003-2015, $R^2=0,44$, $p=0,01$

¹¹ Linjär regression, ln-trans, 2003-2015, $p=0,12$

¹² Linjär regression 2003-2015, $R^2=0,81$, $p<0,001$



Figur 24. Fångst (antal) av gers och mört per nät och natt vid provfiske med Nordiska kustöversiktsnät i Forsmark 2003–2015. Streckad linje anger linjär trend över tid.



Figur 25. Fångster (antal) per nät och natt av abborre större än 25 cm vid provfiske med Nordiska kustöversiktsnät i Forsmark och Finbofjärden 2003–2015. Streckad linje anger linjär trend över tid.

Vid provfisket med Nordiska kustöversiktsnät i referensområdet Finbofjärden fångades 4 386 individer av 15 olika arter (tabell 7). Mest förekommande i provfisket var mört och abborre som utgjorde 74 procent av fiskarna i fångsterna. Likt de föregående åren fångades fler fiskar i Finbofjärden än i Forsmark¹³ (figur 23).

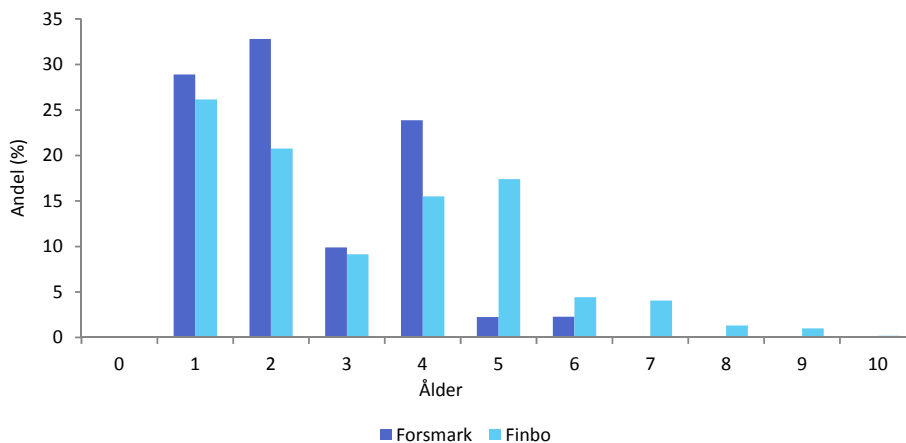
¹³ Variansanalys Anova, In-trans, 2003-2015, $F_{1,25}=153,24$, $p<0,01$

Tabell 7. Fångster av olika arter (totalt och andel (%)) vid provfiske med Nordiska kustöversiktsnät i Finbofjärden under 2015.

Art	Totalt	Andel (%)
Mört	1649	37,6
Abborre	1595	36,4
Björkna	382	8,71
Strömming	349	7,96
Gers	222	5,06
Löja	61	1,39
Braxen	46	1,05
Gös	44	1,00
Skarpsill	11	0,25
Nors	10	0,23
Hornsimpa	6	0,14
Id	5	0,11
Gädda	3	0,07
Skrubbskädda	2	0,05
Svart smörbult	1	0,02
Totalt	4 386	

Kontroll av ålder och tillväxt

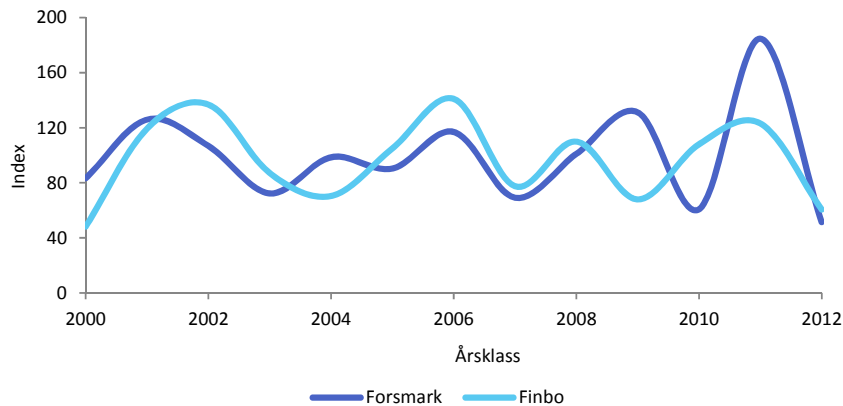
Fångsten av abborre i Forsmark under augusti bestod främst av ett-, två- och fyraåriga individer. Dessa svarade för 86 procent av den totala fångsten av abborre (figur 26). Under 2015 fångades inga årsyngel i Forsmark. I Finbofjärden fångades som tidigare år en större andel äldre abborrar jämfört med i Forsmark och individer i åldrarna ett till fem år var vanligast där (figur 26).



Figur 26. Fångst per ålder av abborre i Forsmark och Finbofjärden 2015.

Analyserna av årsklasstyrka hos abborre i Forsmark och Finbofjärden visar på en samvariation mellan områdena från år 2000 fram till 2008, därefter bryts mönstret¹⁴ (figur 27). Den starkaste årsklassen hos abborre i Forsmarksområdet föddes 2011. Andra starka årskullar i området var de från 2001, 2006 och 2009 (figur 27).

Vid arbetet med ålders- och tillväxtanalyserna av abborrarna från Forsmark påträffades individer med stor variation i tillväxt mellan olika år. Den höga tillväxten under vissa år hos dessa abborrar påminde om tillväxtmönstret hos abborrar från Biotestsjön.



Figur 27. Relativ årsklasstyrka (modifierad Svårdson) anges som ett index för abborre i Forsmark och Finbofjärden.

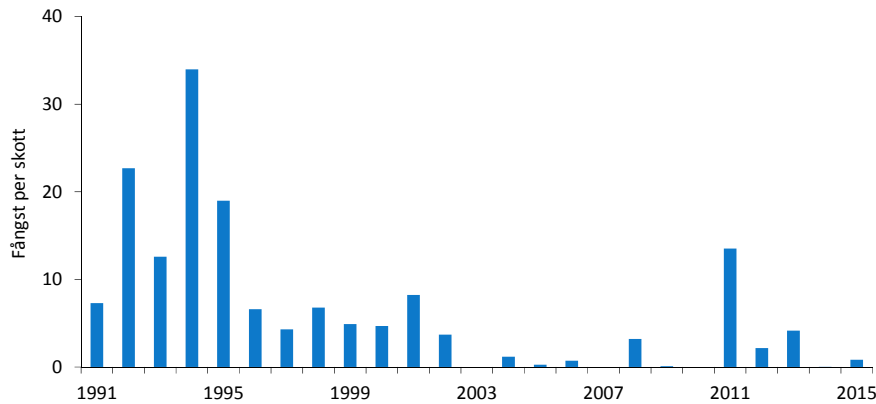
Beståndsovervakning med detonationsteknik

Vid yngel- och småfiskundersökningar i Forsmark 2015 fångades sammanlagt 159 individer av fem olika arter (tabell 8). Den vanligaste arten var storspigg, som utgjorde 62 procent av fångsterna. Under provtagningarna fångades ett fåtal år-syngel av abborre och mört (tabell 8). De stora fångsterna av abborryngel 2011 sammanfaller med den goda årsklass från detta år som påvisades vid analyserna av årsklasstyrka (figur 27 och 28).

¹⁴ Pearsons korrelationskoefficient, $r=0,14$, $p=0,11$ för åren 2000-2012, $r=0,49$, $p=0,04$ för åren 2000-2008

Tabell 8. Fångster av yngel av olika arter uppdelat på totalantal, andel (%) och antal per station vid detonationsfisken i Forsmark 2015.

Art	Antal	Andel (%)	Per station
Storspigg	99	62,3	3,3
Abborre	25	15,7	0,8
Elritsa	19	11,9	0,6
Sandstubb	9	5,7	0,3
Mört	7	4,4	0,2
Totalt	159		



Figur 28. Fångster av årsyngel av abborre vid yngelundersökningarna i Forsmarks skärgård 1991–2015.

Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering

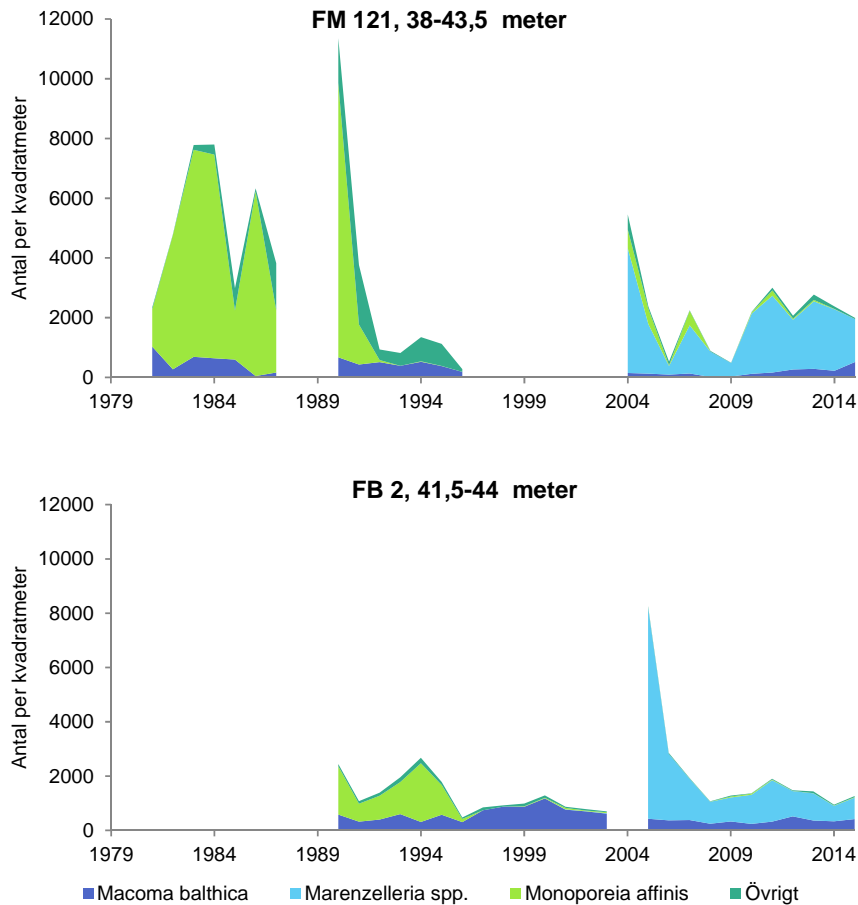
Vid fiskundersökningarna i Forsmark påträffades två individer med sjukdomssymtom, en abborre med mopsskalle och en lax (*Salmo salar*) drabbad av hudskador och akut fenröta (orsakad av bakterier; Thulin 1989). I referensfisket i Finbofjärden påträffades två individer med hudsjukdomar, en braxen (*Abramis brama*) och en mört.

4.2 Bottenfauna

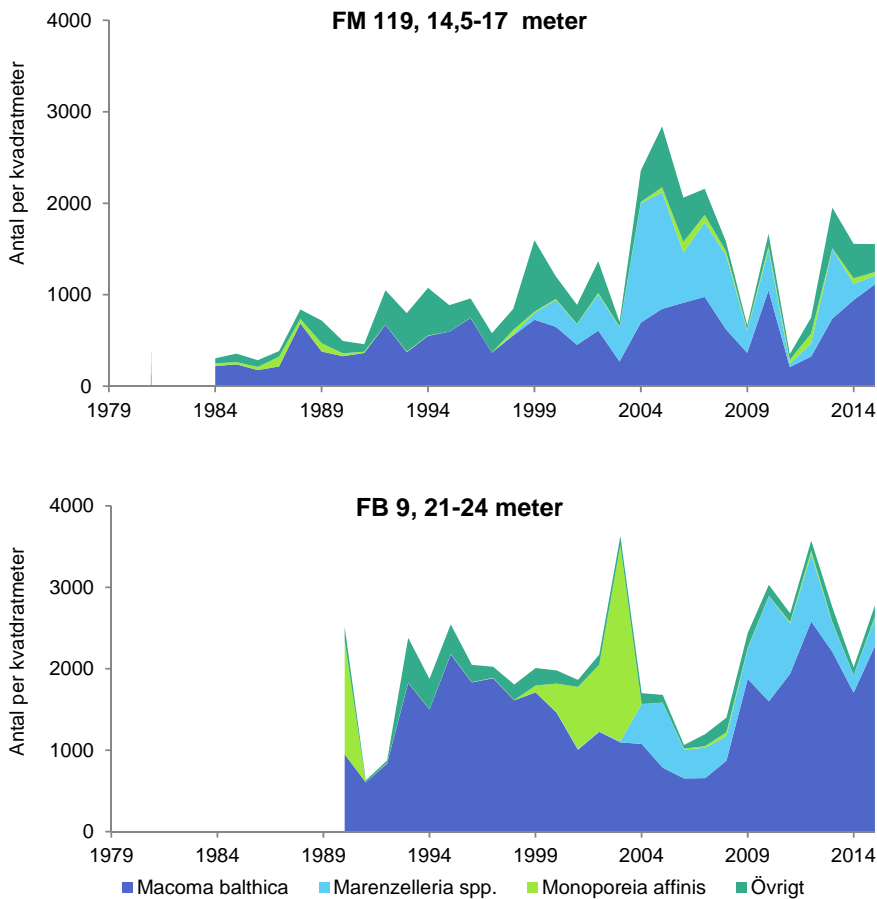
4.2.1 Mjukbottenfauna

Provtagningarna på de djupa stationerna i Forsmark och Finbofjärden visar små mellanårsvariationer för bottenfaunasamhällena de senaste åren, både vad det gäller biomassa och abundans (figur 29). Sett till antalet individer har invasiva havsborstmaskar av släktet *Marenzelleria* dominerat stort på dessa botten. Östersjömussla (*Macoma balthica*) har tillsammans med *Marenzelleria* dominerat på

medeldjupa bottnar under det senaste decenniet i både Forsmark och Finbo. Individriekedomen har legat på en hög nivå i Forsmark i förhållande till perioden dessförinnan, med undantag för en markant nedgång 2011 och 2012, som tolkats som en effekt av att likströmskabeln Fenno-Skan 2 grävdes ner i området 2011 (figur 30). Bottenfaunasamhällena på denna station verkar dock ha återhämtat sig. Under de senaste tre åren har förekomsterna av bottenfauna varit relativt stabila och samhällena har nu återgått till de värden som observerades innan nedgrävningen (figur 30).



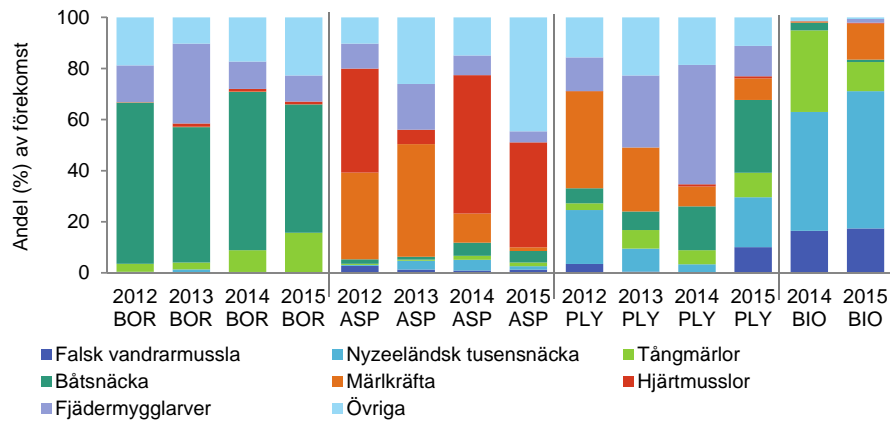
Figur 29. Antal av bottenfauna per kvadratmeter från de djupa stationerna från Forsmark (FM 121) för åren 1981–2015 samt referensområdet Finbo (FB 2) för åren 1990–2015. Provtagningen sker i maj varje år. De år som data saknas för FM 121 har provtagningsmetodiken avvikit från standard och ej tagits med i rapporten. Under 2004 tillkom tekniska problem med utrustningen vid FB 2 och data saknas.



Figur 30. Antal av bottenfauna per kvadratmeter från de medeldjupa stationerna från Forsmark (FM 119) för åren 1984–2015 samt referensområdet Finbo (FB 9) för åren 1990–2015. Provtagningen sker i maj varje år.

4.2.2 Hårdbottenfauna

Undersökningarna av hårdbottenfauna i Forsmarksområdet visar att det förekommer stora skillnader mellan stationerna när det gäller förekomst av olika arter och vilka arter som dominerar samhällena på de olika platserna (figur 31). De vanligast förekommande arterna var musslan *Mytilopsis leucophaeata* (falsk vandrar-mussla), nyzeeländsk tusensnäcka (*Potamopyrgus antipodarum*), båtsnäcka (*Theodoxus fluviatilis*), hjärtmussla (*Cerastoderma glaucum*), tångmärlor (*Gammarus* spp.), märlkräfta (*Leptocheirus pilosus*) samt fjädermygglarver (*Chironomidae* spp.)



Figur 31. Procentuell artfördelning av antal individer på de fyra olika provtagningsstationerna i Forsmarksområdet; Biotestsjön (BIO), utsläppsområdet för kylvatten utanför Biotestsjön (PLY), området för kylvattenintaget till kraftverket (ASP) samt Borgarna (BOR) norr om Biotestsjön som aldrig påverkas av kylvatten (se figur 9).

Det skedde en kraftig ökning av både antal och biomassa i Biotestsjön mellan 2014 och 2015, en ökning på över 200 procent¹⁵. De arter som ökade kraftigast var arterna falsk vandrarmussla och nyzeeländsk tusensnäcka. Även märkräfta, som 2014 bara fanns i några enstaka exemplar, ökade till att 2015 förekomma i genomsnitt 170 individer per Landforsplatta (figur 32 och 33).

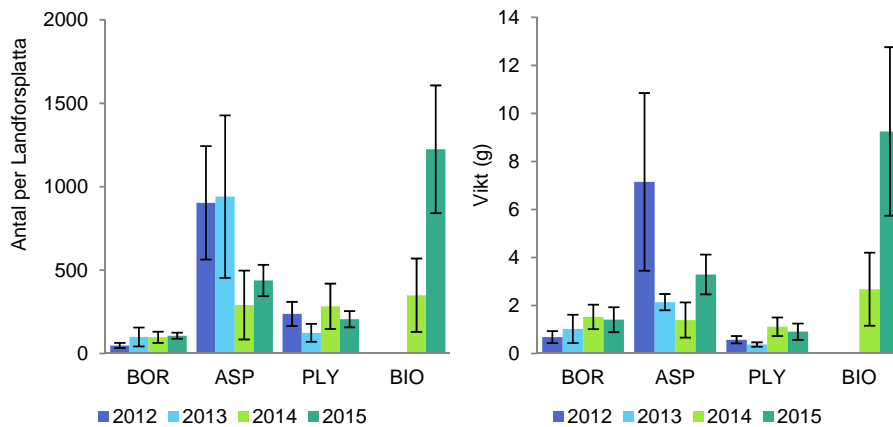
Förekomsten av olika slags arter, artdiversiteten, var mer omfattande på samtliga stationer under 2015 jämfört med 2014 och hade ökat mellan åren¹⁶. Artsammansättningen var mer lika inom samma område jämfört mellan olika områdena¹⁷. Utvecklingen för artsammansättningen av bottenfaunan visade en skillnad mellan år och plats¹⁸.

¹⁵ Tukey HSD, *ln-trans*, $p < 0,01$

¹⁶ Variansanalys ANOVA, *ln-trans*, $F=9,396$, $p < 0,01$

¹⁷ Variansanalys PERMANOVA, $F=34,152$, $p < 0,01$

¹⁸ Variansanalys PERMANOVA, $F=0,96781$, $p < 0,01$

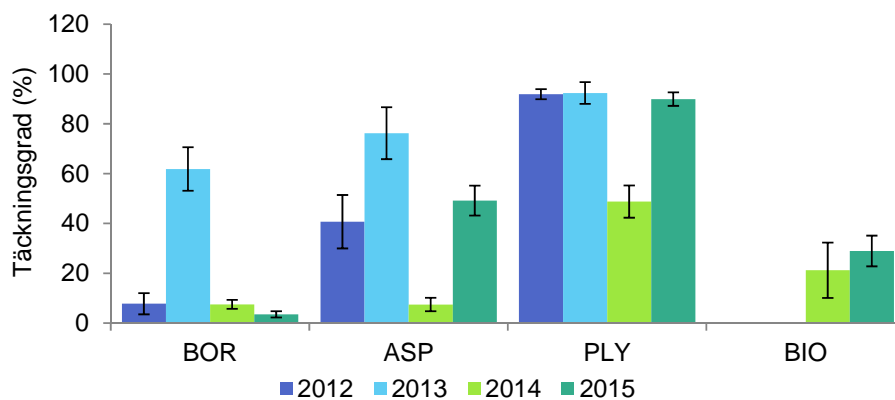


Figur 32. Medelantal och medelbiomassa av bottenfauna per Landforsplatta för stationerna i Forsmarksområdet; Biotestsjön (BIO), utsläppsområdet för kylvatten utanför Biotestsjön (PLY), området för kylvattenintaget till kraftverket (ASP) samt Borgarna (BOR) norr om Biotestsjön som aldrig påverkas av kylvatten (se figur 9). Felstaplar markerar konfidensintervall (95 % CI). Under 2012 och 2013 förekom ingen provtagning i Biotestsjön.

Påväxt av tångbark (*Electra crustulenta*) observerades på Landforsplattorna i plymen, Asphällafjärden och Borgarna. I Biotestsjön däremot påträffades ingen tångbark utan istället återfanns påväxt av sötvattensvamp (*Ephydatia fluviatilis*) (figur 33). Förekomsten av tångbark visar tydliga skillnader mellan områdena och stationen i plymen hade högst täckningsgrad (figur 33). Skillnader i påväxt av tångbark mellan olika år och station kunde observeras, vilket innebär att skillnaderna i förekomst mellan år är olika på de olika stationerna¹⁹. 2015 års prover hade generellt högre täckningsgrad av tångbark jämfört med 2014²⁰.

¹⁹ Variansanalys ANOVA, *ln-trans*, $F=30,87$, $p<0,01$

²⁰ Tukey HSD, *ln-trans*, $p<0,01$



Figur 33. Medelvärde av procentuell täckningsgrad för tångbark (*Electra crustulenta*) på Landforsplattorna för stationerna; PLY, utsläppsområdet för kylvatten utanför Biotestsjön, området för kylvattenintaget till kraftverket (ASP) samt Borgarna (BOR) norr om Biotestsjön som aldrig påverkas av kylvatten (se figur 9) samt täckningsgrad för påväxten av sötvattenssvamp (*Ephydatia fluviatilis*) på Landforsplattorna vid stationen i Biotestsjön (BIO) (se figur 9). Felstaplar markerar konfidensintervall (95 % CI).

4.3 Fågelinventeringar

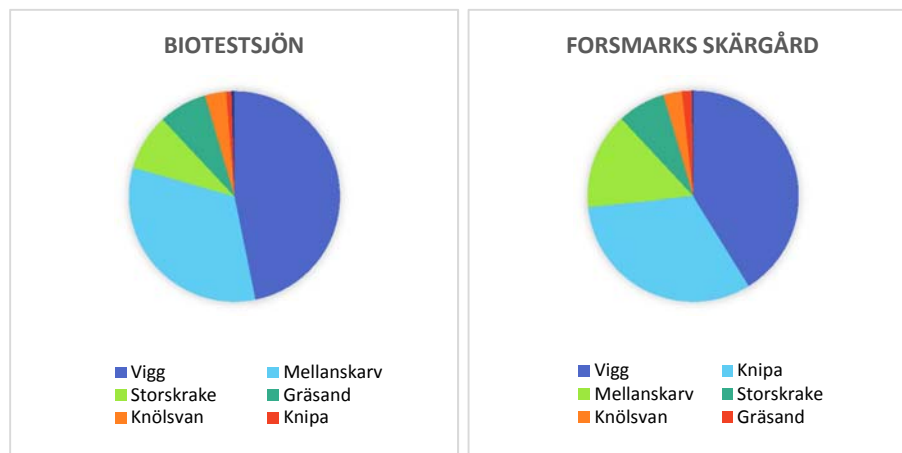
Under 2015 års fågelstudier i Forsmark gjordes totalt 43 290 observationer vid 24 tillfällen av de prioriterade arterna inom kontrollprogrammet (tabell 9). Mest fågel av de arter som ingår i kontrollprogrammet återfanns i Biotestsjön (område C) där drygt 15 000 individer observerades (tabell 9).

Tabell 9. Sammanlagda fågelförekomster (24 tillfällen) för prioriterade arter inom fågelinventeringarna i områdena A–G i Forsmark under 2015.

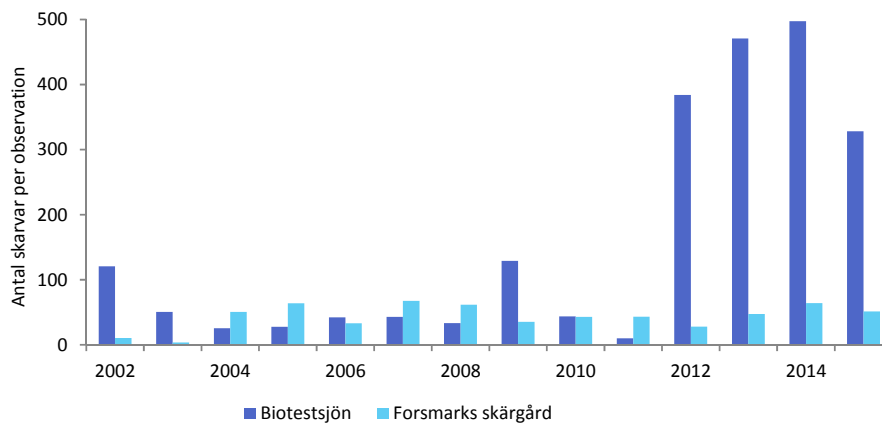
2015	A	B	C	D	E	F	G	Totalt
Gräsand	15	40	1138	76	66	134	98	1567
Häger	4	1	71	14	9	2	17	118
Knipa	1227	1968	126	547	1330	957	2967	9122
Knölsvan	89	47	499	100	86	61	417	1299
Mellanskarv	886	24	5010	1563	230	853	552	9118
Storskrake	166	120	1327	218	211	530	805	3377
Vigg	299	1619	7189	726	2259	1024	5573	18689
Totalt	2686	3819	15360	3244	4191	3561	10429	43290

Den vanligaste arten i undersökningarna under 2015 var vigg, som förekom i stor omfattning inne i Biotestsjön och i området för kylvattenintaget till kraftverket (område G) (tabell 9; figur 34). Vigg observerades främst under höst- och vinterperioden och förekomsterna har visat på en positiv utveckling i område G²¹.

Mellanskarven har under de senaste tre åren genomfört häckningar inne i Biotestsjön och tätheterna av arten har ökat markant i området²² (figur 35). Under 2015 noterades att häckningarna misslyckades och inga ungar överlevde.



Figur 34. Relativ artfördelning (%) vid fågelobservationer i Biotestsjön och i Forsmarks skärgård utanför Biotestsjön under 2015.



Figur 35. Observationer av mellanskarv under häckningsperioden i Biotestsjön och i Forsmarks skärgård utanför Biotestsjön åren 2002–2015.

²¹ Linjär regression, ln-trans, 2002-2015, $R^2=0,77$, $p<0,01$

²² Linjär regression, ln-trans, 2002-2015, $R^2=0,32$, $p=0,03$

5 Diskussion

Förlusterna av fisk i silstationerna 2015 utgjordes likt tidigare år av främst småväxta arter såsom storspigg, småspigg och havsnål. I jämförelse med föregående år var förlusterna under året mest omfattande under hösten och förekomsterna av fisk i silstationerna var de största någonsin. För arterna småspigg och havsnål var antalet individer i provtagningarna mycket större än tidigare år och för storspigg noterades det näst största resultatet sedan undersökningarna inleddes. Storleken av förlusterna i silstationerna för dessa arter speglar sannolikt deras omfattning i kustnära områden i Bottenhavet och utvecklingen för bestånden har under flera år ökat. Att andelen unga individer var så omfattande under höstprovtagningarna indikerar att arterna rekryterats med framgång i området och att storspigg sannolikt kommer att finnas i stora tätheter i Forsmarks silstationer även under kommande år. Andra fiskundersökningar som genomförts i Bottenhavet, bland annat Baltic International Acoustic Survey, har också påvisat en ökande trend för främst storspigg. Under den senaste tioårsperioden har storspiggsbeståndet ökat markant i utsjön samt i kustnära områden och arten har påvisats ha en negativ effekt för andra fiskarter. Höga tätheter av storspigg har till exempel påvisats ha en negativ inverkan på abborre genom att vuxna individer av storspigg åter abborrens rom och larver eller att konkurrensen ökar om födoresurserna för uppväxande abborre och gädda (Ljunggren m.fl. 2005; Eriksson m.fl. 2009).

Andelen fiskyngel i provtagningarna under höstarna kan vara en indikation på hur rekryteringen av olika arter sett ut under året. Under 2015 var omfattningarna av förlusterna för yngel låga i silstationerna och den enda art som förekom i stor utsträckning var storspigg. Förlusterna av strömming under höstarna brukar vanligtvis domineras av årsyngel och förekomsterna i silstationerna kan vara stora. Under 2015 var dock förlusterna väldigt små och andelen unga individer var liten, vilket kan kopplas till svag rekrytering av arten i Forsmarksområdet. Förekomsterna för varmvattenarterna av bland annat abborre, gädda, mört, och gös var också i ringa omfattning och andelen yngel var små.

Den ökande trenden för förlusterna av ål i silstationerna har under de senaste åren avstannat och ål har förekommit i betydligt mindre omfattning. De största förlusterna av ål under 2015 noterades likt tidigare år under senhösten, vilket sannolikt kan kopplas till ålens biologi och lek beteende. Enligt den höga medelvikten hos ålarna var sannolikt de flesta individer könsmogna blankålar, som var på vandring mot lekplatserna i Sargassohavet. Anledningen till att förlusterna av ål har varit mindre de senaste åren kan kopplas till de ålutsättningar som genomfördes i slutet av 1980-talet. De massiva utsättningar av 500 000 glasålar som genomfördes 1989 har sannolikt visat sig i silstationerna och utveckling för tillväxt och tidpunkt för könsmognad hos ålarna har kunnat följas. Enligt utvecklingen i provtagningarna för silstationerna skulle de flesta av ålarna nått sin könsmognad vid 20 års ålder, vilket ligger inom det intervall som anges i litteraturen (Muus 1997). Enligt undersökningarna av ålbeståndet i Biotestsjön med ryssjor under vårarna har tätheterna av ål minskat i anläggningen sedan fiskgallren togs bort 2004 och mängden ål har varit relativt oförändrat de senaste åren. Det har dock påvisats att Biotestsjöns varma vatten har en stor dragningskraft för ål och att nyrekrytering sker kontinuerligt. Detta betyder sannolikt att uppväxande ål i Biotestsjön även i fortsättningen riskerar att fastna i silstationerna i samband med lekvandringarna. Ål från Biotestsjön torde dock inte löpa större risk att hamna i silstationerna jämfört med ålar som kommer längre norrifrån.

Mängden fisk i Biotestsjön har fortsatt att öka under vårarna och 2015 registrerades rekordfångster för de flesta varmvattenarter som förekommer i anläggningen. Likt tidigare år fanns tydliga tecken på att fisk attraheras av Biotestsjöns varma vatten och att varmvattenarterna mört och abborre söker sig till anläggningen för lek under våren, mört främst under mars–april och abborre i maj. Trots de stora tätheterna av lekmogen fisk i Biotestsjön under våren återfanns väldigt få eller inga individer av årsyngel av mört, gers eller björkna. Frågetecken kvarstår om rekryteringen fungerar som den ska i Biotestsjön eller om anledningen till de låga förekomsterna av årsyngel beror på att de i tidigt livsstadium spolas ut från anläggningen till Öregrundsgrepen. Enligt kontrollerna av gonadstatus och kondition hos mört finns det inget som tyder på att dålig äggkvalité eller något annat har påverkat reproduktionen negativt. För abborre och sarv däremot fanns tecken på att reproduktionen var relativt god under 2015 och tätheterna av årsyngel för dessa arter var högre än på många år. Dessutom fångades ett årsyngel av sutare i anläggningen vilket bevisar att arten kan reproducera sig i Biotestsjön.

Under hösten var fångsterna i nätprovfiskena i Biotestsjön relativt stora och andelen av abborre, mört och sarv var hög. De senaste årens goda rekrytering av sarv i anläggningen återspeglas i resultaten från nätfiskena under höstarna, då förekomsten av sarv stadigt ökat. Fångsterna av abborre visade liksom de närmast föregående åren att fångsterna dominerades av unga individer och äldre fiskar än

två år var ovanliga. Anledningen till detta kopplas sannolikt till en stor utvandring av äldre individer under sommaren, när vattentemperaturen är som högst i anläggningen och levnadsmiljön blir alltför extrem för stora och gamla individer. För yngre individer visade dock undersökningarna att miljön i Biotestsjön var näst intill idealisk och tillväxten hos de fångade abborrarna var snabb, uppemot 160 millimeter för årsyngel. Detsamma gällde för gädda, som fångades i stor omfattning på hösten och uppvisade extremt hög tillväxt, uppemot 40 centimeter för årsrekryterna.

Nätfisket under december månad visade att förekomsterna av fisk var relativt stor och att fördelningarna i fångsterna påminde om hur det såg ut i oktober. De något mindre fångsterna i december jämfört med oktober är sannolikt en följd av skillnaden i dagsljus och vattentemperaturen mellan perioderna, vilket påverkar fiskarnas rörelseaktivitet negativt och därmed fångstbarheten. Utifrån dessa resultat kan man förmoda att majoriteten av de fiskar som finns i Biotestsjön i slutet av oktober är de individer som stannar kvar i anläggningen under hela vintern. Det har i tidigare studier påvisats att det kan vara skadligt för fisken att vara långtids-exponerad i uppvärmt vatten på grund av att gonaderna tar skada och kan bli defekta (Mo m.fl. 1996). Risken finns alltså att äggkvaliteten blir sämre om fisken uppehåller sig i anläggningen under vintern, vilket skulle leda till sämre reproduktion under våren. De okulära besiktningarna av gonaderna hos abborre och mört under höstarna har dock inte kunnat påvisa detta problem.

Likt tidigare år var fångsterna i nätprovfiskena i Forsmark hälften så stora som i referensområdet i Finbofjärden. Fångsterna i Forsmark bestod främst av abborre och den positiva utvecklingen för fångster av stora abborrindivider (>25 centimeter) fortsatte under 2015, vilket inte kan påvisas i Finbofjärden. En förklaring till detta skulle kunna vara galleröppningen i Biotestsjön 2004 och att abborre sedan dess har möjligheten att vandra i mellan skärgårdsområdet i Forsmark och anläggningen och tillgodogöra sig varmvattnets påverkan för snabb tillväxt. I åldersanalyserna av abborre har individer påträffats som haft perioder av sitt liv med hög tillväxt. Dessa abborrar har sannolikt vuxit upp i Biotestsjön eller tillbringat delar av livet där och gynnats av anläggningens goda förutsättningar för snabb tillväxt.

Analyserna av årsklasstyrka hos abborre i Forsmark och Finbofjärden visar på en samvariation mellan områdena från år 2000 fram till 2008, därefter bryts mönstret. Denna utveckling kan påverkats av ökande vandring för abborre mellan Biotestsjön och Forsmarks skärgård sedan fiskgallren togs bort från Biotestsjön 2004. Temperaturförhållandena under abborrens första levnadsår har en stark påverkan för rekryteringen och kylslagna år kan medföra svaga årsklasser (Karås 1987). Temperaturen i Biotestsjön påverkas främst av kylvattenflödet och rekryteringen av abborre styrs sannolikt av andra påverkansfaktorer än låga vattentemperaturer. Biotestsjön har varit ett öppet system sedan 2004 och spridningen av ab-

borre från anläggningen skulle kunna kompensera för rekryteringssvackor i skärgården under kalla år. Därmed kan det vara så att årsklasstyrkorna för abborre i Forsmarksområdet inte längre är så tydligt kopplade till temperaturen jämfört med tidigare år och inte längre samvarierar med årsklasstyrkorna för abborre i Finbofjärden.

Årets mjukbottenfaunaundersökning visade att bottenfaunasamhället hade stabiliserat sig på den medeldjupa stationen Länsman (FM 119) till motsvarande status som före undervattensarbetet med Fenno-Skan 2 under 2011. Övriga mjukbottenfaunastationer visade inga större skillnader i abundans och biomassa jämfört med de senaste fem åren.

Hårdbottenfaunan visade stora variationer i både tid och rum gällande artdiversitet, abundans och biomassa. Skillnaden mellan 2014 och 2015 var påfallande stor i framförallt Biotestsjön, där 2015 års resultat visade klart mycket större antal individer och biomassa. De arter som speciellt verkar ha gynnats var invasiva främmande arter som nyzeeländsk tusensnäcka och musslan *Mytilopsis leucophaeata*. En förklaring till de stora förekomsterna av hårdbottenfauna under 2015 var sannolikt driftförhållandena på kraftverket med långa revisionsavställningar under sommarhalvåret, vilka sammanföll med tidpunkten då sommartemperaturerna var som högst. Den reducerade driften i kraftverket och minskat utsläpp av kylvatten i Biotestsjön medförde att de extrema vattentemperaturerna som kan förekomma i anläggningen sommartid uteblev vilket sannolikt gynnade vissa arter. Utanför anläggningen har båda arterna nyzeeländsk tusensnäcka och *Mytilopsis leucophaeata* påträffats, men i mycket mindre omfattning. Anledningen till detta är troligtvis att dessa arter är känsliga för de naturliga vintertemperaturer som råder utanför anläggningen och att de därmed får svårt att överleva. I Biotestsjön däremot är temperaturförhållandena sannolikt så pass gynnsamma att de klarar vinterhalvåret bättre. Det har även visat sig att *Mytilopsis leucophaeata* har etablerat sig i de varma delarna av kylvattenvägarna och att de därför kan sprida sig obehindrat till närrecipienten Biotestsjön. Det ska tilläggas att det är svårt att dra stora slutsatser av provtagningarna i Biotestsjön, eftersom undersökningarna med Landforsplattor endast genomförts under två år i anläggningen.

Fågelinventeringarna kunde det återigen visa att mellanskarven uppehöll sig i stor omfattning i inventeringsområdet och ännu en gång genomförde häckningar inne i Biotestsjön. Häckningarna misslyckades dock och inga ungar kunde påträffas på boplatserna. Anledningarna till att häckningarna misslyckades var sannolikt frekventa störningar från havsörnar, trutar och måsar i området. Mellanskarvens utveckling i inventeringsområdet de senaste åren, med höga tätheter i framförallt Biotestsjön, skulle kunna innebära en risk för framtida påverkan på de lokala fiskbestånden och på andra fågelarter i området. Det finns dock i dagsläget inga resul-

tat från det biologiska recipientkontrollprogrammet som tyder på en sådan påverkan.

Referenser

- Abramoff, M.D., Magalhaes, P.J., Ram, S.J. (2004). Image Processing with ImageJ. *Biophotonics International*, volume 11(7): pp. 36–42.
- 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.
- Adill, A., Heimbrand, Y. (2015). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Årsrapport för 2014. *Aqua reports 2015:7*. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 52 s.
- Adill, A., Heimbrand, Y., Kaljuste, O. (2014). Effekthöjningsprogrammet vid Forsmarks kärnkraftverk - Sammanfattande rapport från de tre första årens undersökningar. *Aqua reports 2014:13*. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 56 s.
- Adill, A., Heimbrand, Y., Sevastik, S. (2014). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Årsrapport för 2013. *Aqua reports 2014:5*. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 42 s.
- Adill, A., Mo, K., Sevastik, S., Olsson, J., Bergström, L. (2013). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Sammanfattande resultat av undersökningar fram till år 2012. *Aqua reports 2013:19*. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 69 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.
- Andersson, J. (2015). Provfiske med kustöversiktsnät, nätlänkar och ryssjor på kustnära grunt vatten <https://www.havochvatten.se/hav/vagledning--lagar/vagledningar/miljoovervakningens-metoder-och-undersokningstyper-inom-programomrade-kust-och-hav.html>
- Ehlin, U., Lindahl S., Neuman E., Sandström O. Svensson, J. (2009). Miljöeffekter av stora kylvattenutsläpp. Erfarenheter från de svenska kärnkraftverken. *Elforsk rapport 09:79*.
- Eriksson, B.K., Ljunggren, L., Sandström, A., Johansson, G., Mattila, J., Rubach, A., Råberg, S. Snickars, M. (2009). Declines in predatory fish promote bloom-forming macroalgae. *Ecol. Appl.* 19 (8): 1975–1988.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and Ryan, P. D., (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, volume 4(1): pp 9.
- Karlsson, M. (2015). Provfiske i Östersjöns kustområden – Djupstratifierat provfiske med Nordiska kustöversiktsnät. <https://www.havochvatten.se/hav/vagledning--lagar/vagledningar/miljoovervakningens-metoder-och-undersokningstyper-inom-programomrade-kust-och-hav.html>

- Karås, P., Adill, A., Boström, M., Mo, K & Sevastik, A. (2010). Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk år 2000–2007. Fiskeriverket informerar, FINFO 2010:2.
- Karås, P. & Thoresson, G. (1992). An application of a bioenergetics model to Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.). J. Fish. Biol. 41:217–230.
- Karås, P. 1987. Food consumption, growth and recruitment in perch (*Perca fluviatilis* L.). FD avh. Uppsala Universitet.
- Ljunggren, L., Sandström, A., Johansson, G., Sundblad, G. & Karås, P. (2005). Rekryteringsproblem hos Östersjöns kustfiskbestånd. Finfo 2005:5.
- Mo, K., Karås, P., Neuman, E., Sandström, O. & Svedäng, H. (1996). Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk 1980–1995. Fiskeriverket, Kustrapport 1996:6
- Muus, B. & Nielsen, J. (1997). Havsfisk och fiske i nordvästeuropa. Prisma. ISBN 91-518-3505-3. 337s.
- Naturvårdsverket. (1978). Biologiska inventeringsnormer, BIN, Fåglar. Punkt-linjekartering.
- Neuman, E. (1974). Temperaturen inverkan på abborrens (*Perca fluviatilis* L.) tillväxt och årsklassstorlek i några östersjöskärgårdar. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm.
- Persson, J., Loreth, T. & Johansson, G. (2011). Förstärkta fiskbestånd i Roslagens skärgård. Verksamhet 2010.
- Sandström, O. (1985). Recipient monitoring at Forsmark nuclear power station. Report summary 1984. SNV Report 1915, 26 pp.
- Sandström, O. & Svensson, B. (1990). Kylvattnets biologiska effekter, Forskning i Biotestsjön, Forsmark, 1984-1988.
- Sandström, O. (1990). Vattenmiljön vid Forsmarks kraftstation. Naturvårdsverket, Rapport 3867. 42s.
- Sandström, O., Mo, K., Karås, P., Saulamo, K. & Sevastik, A. (2002). Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk 1995–2000. Fiskeriverket informerar, FINFO 2002:3.
- Sandström, O., Abrahamsson, I., Andersson, J. & Vetemaa, M. (1997). Temperature effects on spawning and egg development in Eurasian perch. Jour. Fish. Biol. 51(5): 1015-1024.
- Svenska Kraftnät december 2006. Utbyggnad av Fenno-Skan, sjö- och markkabel Dannebo – svenska territorialgränsen. Miljökonsekvensbeskrivning.
- Svärdson, G. (1961). Ingen effekt av sikodlingen i Kalmarsund. Svensk Fiskeri Tidskrift. 70:23–26.
- Thoresson, G. (1992). Handbok för kustundersökningar, Recipientkontroll.
<http://www.slu.se/Documents/externwebben/akvatiska-resurser/publikationer/FIV/KLAB/PM029-%20handbok%20recip.pdf>
- Thoresson, G. (1996). Guidelines for coastal fish monitoring.
<http://www.slu.se/Documents/externwebben/akvatiska-resurser/publikationer/FIV/KLAB/PM087-eng%20hand%201996-2.pdf>
- Thulin, J., Höglund, J. & Lindesjö, E. (1989). Fisksjukdomar i Kustvatten. Naturvårdsverket Informerar. 126 s.

Bilaga 1

Sammanfattning

På myndighetsmötet våren 2015 togs det ett beslut att SLU ska fortsätta kartläggningen av förekomsten av den invasiva främmande arten musslan *Mytilopsis leucophaeata* (ML) i kylvattenvägarna på Forsmarks kärnkraftverk. Detta skedde under revisionen i maj 2015, då både norra och södra intagstunnlarna inspekterades på Forsmark 1 (F1). Tidigare kartläggning har omfattat ett område i intagskanalen och partier av utloppstunneln, svallbassängen och kanalen från Forsmark 3 (F3). ML har blivit en allt vanligare påväxtorganism i industriella kylvattensystem och därmed också ett ökande problem både ekonomiskt och driftmässigt. Kunskap om dess spridning kan vara värdefull för att förhindra driftkonsekvenser.

Bakgrund

Musslan *Mytilopsis leucophaeata* (figur 1) även kallad falsk vandrarmussla är en främmande art som till utseendet påminner om vår inhemska blåmussla (*Mytilus edulis*), men tillhör familjen Dreissenidae (vandrarmusslorna). Den kommer ursprungligen från estuarier i området mellan Mexikanska golfen och New England på nordamerikanska ostkusten. Musslan är en tålig brackvattenart som tolererar salthalter mellan 0,5 – 18 ‰ och överlever temperaturer på 37 °C. Skalhalvorna är olikstora och skalytan har koncentriska linjer i krämfärgat mot mörkbrunt som ger ett randigt intryck (figur 1).



Figur 1. Bilden till vänster visar upp mot 3 cm stora exemplar av musslan *Mytilopsis leucophaeata* (ML) som påträffats i svallbassängen vid F3. Bilden till höger visar de två tandliknande utskotten inuti musslan, vilka är de främsta kännetecknen.

Vid resultatredovisning av undersökningarna 2013 inom Forsmarks recipientkontrollprogram diskuterades bland annat utbredningen av den främmande arten, musslan *Mytilopsis leucophaeata* (ML) i Forsmarksområdet. Ett förslag som för-

des fram då var att personal från SLU skulle göra en kontroll om och i vilken utsträckning denna art koloniserat kylvattenvägarna inne i kraftverket.

Under revisionsperioden (2014-08-18) på Forsmark 3(F3) inspekterades de platser som var åtkomliga att undersöka på grund av sänkt vattenflöde i kylvattensystemet och vid samtliga undersökta platser hittades musslan ML. I de centrala utloppskanalerna från F3, med störst vattenflöde, samt i svallschaktet återfanns upp emot ett tiotal musslor per kvadratmeter. I områden med mindre påverkan av vattenflödet var tätheterna högre. I svallbassängen var stenarna på botten täckta av musslor. En okulär uppskattning gav cirka 2 500 musslor per kvadratmeter. I utloppet till treans kanal var det svårt att avgöra tätheten på grund av reparationsarbete. Där det gick att komma åt att se fanns det förekomst av ML, dock inte i samma stora täthet som i svallbassängen. Majoriteten av musslorna var 2–3 cm stora.

I Biotestsjön påträffas ML på hårbotten, speciellt på undersidan av stora stenar och i springor på klippformationer där det inte är så ljust. På dessa platser är musslorna mer skyddade från födosökande fåglar. Ingen eller sparsam påväxt av alger underlättar för musslan att få fäste och kolonisera. Under hösten 2014 samlades det för första gången in ML för omgivningskontrollen för att ersätta Radix/Theodoxus, vilka hade varit problematiska att samla in.

Vid undersökningen av intagskanalen vid Forsmark 1 och 2 (F1 och F2) återfanns inga ML. Undersökningsområdet bestod av den grunda delen, mitt emot det centrala intaget för F1 och F2 från strandkanten, 30 meter ut och ner till cirka 2 meter djup.

Metodik

När norra och södra intagstunnlarna till F1 torrlades i samband med revisionen i maj 2015 undersöktes påväxt och bentisk fauna på tunnarnas väggar, golv och tak. En okulär besiktning gjordes längs hela tunnelsystemet som går från intagssportarna till huvudkylvattenpumparna och hjälpkylvattenpumparna. Partier fotograferades för att uppskatta tätheten på djur och prover togs på ett flertal ställen i tunnelsystemen för vidare analys på Kustlaboratoriet, Institutionen för akvatiska resurser på SLU.

Det första provet av påväxt och fauna i tunneln togs nedanför stegen, cirka 18 meter under jord vid intagssportarna. Döda och levande blåmusslor hade rasat från väggarna i samband med tömningen och låg i högar på golvet. Påväxten på väggarna var 0–3 cm tjock. Det var glest med blåmusslor på väggarna, 0–50 stycken per kvadratmeter (figur 2).



Figur 2. Golv och vägg vid intagsportarna i den norra tunneln.

Det andra provet togs i tunneln cirka 40 meter före huvudkylvattenpumparna (vid drift 5 kbm/s). Här var det mer påväxt på väggarna, varierande mellan upp till 5 cm tjockt lager. Även här hade det rasat ner blåmusslor från tak och väggar i tunneln. De största blåmusslorna mätte cirka 3,5 cm i längd. Tätheten av blåmusslor uppskattades till 50–100 stycken per kvadratmeter. Där tunneln löper upp mot huvudkylvattenpumpen längst in i tunneln avtog påväxten och betongväggen var helt ren. I tunnlarna till hjälpkylvattenpumparna fanns på väggarna uppskattningsvis 50 – 150 blåmusslor per kvadratmeter (figur 3).



Figur3. Bilderna visar olika provtagningsställen längs med den norra tunneln.



Figur 4. De översta bilderna visar golvet i norra tunneln till hjälpkylvattenpumparna. Där fanns ett cirka 10 cm tjockt lager av döda och levande musslor och skal. Bilden längst ner till vänster visar ett cirka 5–10 cm tjockt lager av påväxt i taket i tunneln. Bilden längst ner till höger visar kuddartad sötvattenssvamp (*Ephydatia fluviatilis*).

Resultat

Det påträffades inga levande exemplar av musslan ML i intagstunnlarna. Vid mikroskopisk undersökning på Kustlaboratoriet av prover tagna i tunnlarna påträffades endast två små skaldelar av ML som troligtvis följt med intagsvattnet.

Den faunan som påträffades i proverna från intagstunnlarna var:

Svenskt namn	Taxa (latinskt namn)
Blåmusslor	<i>Mytilus edulis</i>
Hjärtmussla	<i>Cerastoderma glaucum</i>
Östersjömussla	<i>Macoma balthica</i>
Havstulpan	<i>Balanus improvisus</i>
Märkräfter	<i>Gammarus spp</i>
Märkräfta	<i>Leptocheirus pilosus</i>
Gråsugga	<i>Jaera albifrons</i>
Båtsnäcka	<i>Theodoxus fluviatilis</i>
Oval dammsnäcka	<i>Radix balthica</i>
Bukig tusensnäcka	<i>Ecrobia ventrosa</i>
Stor snytessnäcka	<i>Bithynia tentaculata</i>
Liten havssnigel	<i>Limapontia spp</i>
Fjädermygglarver	<i>Chironomidae</i>
Kuddartad sötvattenssvamp	<i>Ephydatia fluviatilis</i>
Virvelmaskar	<i>Turbellaria</i>
Hydroid klubbpolyp	<i>Cordylophora caspia</i>
Tångbark	<i>Electra crustulenta</i>



Figur 5. Röda ringar på kartan markerar områden där ML har etablerat sig, samtliga inom den varma delen av kylvattenutsläppet. Svarta ringar visar kartlagda delar av intagskanalen och intagstunnlarna där musslan inte påträffats. Bildkälla: corporate.vattenfall.se

Referenser

- Erfkaående 24581; Besiktningar visar att F3:s kylvattenutlopp har en riklig förekomst av en ny typ av mussla. 2014-08-21.
- Norderf DE FKA 14/003 Resultat från omgivningskontroll utförd av Sveriges lantbruksuniversitet Kustlaboratoriet
- 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 Records* 2(4): 303–309.
- Laine, A. O., Mattila, J., Lehtikoinen, A., 2006. First record of the brackish water dreissenid bivalve *Mytilopsis leucophaeata* in the northern Baltic Sea. *Aquatic Invasions* 1(1): 38–41.
- Främmande arter i svenska hav; *Mytilopsis leucophaeata* (Musslor). www.frammandearter.se (hämtad 2014-10-06).

