



Aqua reports 2017:6

Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk

Årsrapport för 2016

Anders Adill, Anna-Li Jonsson, Erik Karlsson och Alf Sevastik



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för akvatiska resurser

Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk

Årsrapport för 2016

Anders Adill¹, Anna-Li Jonsson¹, Erik Karlsson¹, Alf Sevastik²

¹**Sveriges lantbruksuniversitet**, Institutionen för akvatiska resurser, kustlaboratoriet, Skolgatan 6, 742 42 Öregrund.

²**Kustbild**, Ulriksgatan 43, 742 34 Östhammar.
april 2017

Aqua reports 2017:6
ISBN: 978-91-576-9512-3 (elektronisk version)

E-post till ansvarig författare:
anders.adill@slu.se

Rapportens innehåll har granskats av:
Andreas Bryhn, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för akvatiska resurser
Karl Lundström, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för akvatiska resurser

Vid citering uppge:
Adill, A., Jonsson, A-L., Karlsson, E., Sevastik, A. (2017). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Årsrapport för 2016. Aqua reports 2017:6. **Sveriges lantbruksuniversitet**, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund. 52 s.

Nyckelord: Kärnkraft, kylvatten, recipientkontroll, provfiske, bottenfauna.

Rapporten kan laddas ned från:
<http://pub.epsilon.slu.se/>

Chefredaktör:
Noél Holmgren, prefekt, Institutionen för akvatiska resurser, **Sveriges lantbruksuniversitet**, Lysekil

Uppdragsgivare & finansär:
Forsmarks kraftgrupp AB.

Framsida: Biotestsjön under hösten med Forsmark kärnkraftverk i bakgrunden.
Fotograf: Anders Adill.
Baksida: Forsmark kärnkraftverk under vintern. Fotograf: Yvette Heimbrand.

Sammanfattning

I rapporten redovisas resultaten från undersökningarna i det biologiska recipientkontrollprogrammet för Forsmarks kärnkraftverk under 2016. Elproduktionen i kärnkraftverkets anläggningar var 24 TWh under 2016 och för den äldsta reaktorn Forsmark 1 (F1) var produktionsnivån den största någonsin och uppgick till 8,21 TWh. Stora moderniseringsåtgärder och livstidsförlängande åtgärder har de senaste åren genomförts i Forsmarks anläggningar och speglar sannolikt de stora produktionsresultaten. De effekthöjande åtgärderna i anläggningarna 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 främst av småväxta fiskarter samt yngel. Sammanlagt fastnade drygt 8 miljoner individer under åtta provtagningsveckor på våren och över 29 miljoner individer under tolv veckor på hösten. Storspigg (*Gasterosteus acelatus*) svarade för de största förlusterna med 69 procent av individerna på våren och 87 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 de senaste åren och under 2016 förekom små mängder ål i proverna. Ålarna fastnar främst under senhösten i silstationerna och utgörs främst av blankålar, ålar som är på väg att bli köns mogna. Förlusterna av strömming (*Clupea harengus*) var omfattande under vårperioden och främst vid ett provtagningsstillfälle under april då stor mängd små individer fastnade i silstationerna. Under hösten förekom strömming i liten utsträckning.

Stora nätfångster i Biotestsjön under våren visade återigen anläggningens attraktionskraft och betydelse för fisk i området. Mört (*Rutilus rutilus*) och abborre (*Perca fluviatilis*) var mest förekommande i undersökningarna och båda arterna uppvisar 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 och abborre inne i Biotestsjön anläggningen saknades de i yngelundersökningarna som genomfördes under hösten. Andra arter som har en positiv utveckling i Biotestsjön under våren är sarv (*Scardinius erythrophthalmus*), gers (*Gymnocephalus cernua*) och björkna (*Abramis bjoerkna*). Årsyngel av sarv har dessutom fångats i stora mängder de senaste åren i yngelundersökningarna.

Mängden ål i Biotestsjön har haft en negativ utveckling sedan undersökningarna inleddes 2003, och 2016 fångades små mängder jämfört med tidigare år. 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 och vintern bestod nätfångsterna i Biotestsjön främst av sarv, abborre och mört. Av dessa arter fångades endast sarven i större utsträckning jämfört med

tidigare år. Inga typiska kallvattenarter, t ex sik (*Coregonus lavaretus*), öring (*Salmo trutta*), nors (*Osmerus eperlanus*) eller lake (*Lota lota*), fångades i provtagningarna under denna period. I december månad var fångsterna i nättfiskena likvärdiga med fiskena i oktober och det är sannolikt att de individer som finns i Biotestsjön under hösten övervintrar i anläggningen.

I kontrollerna för gonadstatus och kondition hos abborre och mört påträffades gonadskador hos två abborrhonor från Biotestsjön och hos en mörthona från referensområdet i Forsmark. Det fanns ingen skillnad i kondition mellan individerna i Biotestsjön och Forsmark och inga individer påträffades med kritiska konditionsvärden som kan medföra skador. Åldersanalyserna av abborre i Biotestsjön visade att de allra flesta var ettåriga individer och endast två årsyngel av abborre fångades. Årsynglens storlek, 142 respektive 145 mm långa, visade att individtillväxten var likt tidigare år stor i Biotestsjön. I Forsmark var ett- till treåriga individer vanligast i fångsterna.

Vid yngelundersökningarna i Biotestsjön fångades inga årsyngel av varken abborre eller mört, trots den stora lekaktiviteten av arterna under våren. Tätheterna av årsyngel av sarv var däremot stora. Under de senaste åren har årsyngel av storspigg påträffats i Biotestsjön, vilket inte har gjorts sedan början av 1980-talet.

I nätprovfisket i Forsmarks skärgård fångades likt tidigare år färre fiskar jämfört med referensområdet Finbofjärden. Den vanligaste arten i provtagningarna var abborre. Temperaturförhållandena under provfisket skiljde sig markant från tidigare år och var betydligt lägre 2016. Högsta temperaturen som uppmättes för en enskild station var 18,6°C och lägsta 10,4°C (0-3 meters djup). Fångsterna av mört var små under 2016 och utvecklingen för arten i Forsmarksområdet har under provfiskeperioden varit negativ.

Mjukbottenfaunan i Forsmark och referensområdet Finbo visar små förändringar vad gäller både biomassa och abundans under de senaste åren. Den förändring på bottenfaunasamhället som skedde på den medeldjupa stationen FM 119 år 2011 som en konsekvens av att likströmskabeln Fenno-Skan 2 grävdes ner ter sig ha varit kortvarig och samhället ser ut att gått tillbaka till det tidigare stadiet.

I undersökningarna av hårbottenfauna med så kallade Landforsplattor var skillnaderna stora avseende artförekomst, biomassa och abundans mellan 2015 och 2016. I Biotestsjön var skillnaderna tydligast. Den art som ökat mest var märllkräfta (*Lepidochirus 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.

Fågelinventeringarna inom kontrollprogrammet visade under 2016 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 albilla*) och trut- och måsfåglar (*Larinae*).

Abstract

This report describes the surveys conducted within the biological surveillance program of the Forsmark nuclear power plant in 2016. The electrical energy production in the power plant was 24 TWh in 2016. The production in the oldest reactor, Forsmark 1 (F1), was at the highest level since it was initiated 1980 and was probably an effect of the power uprate started 2013. As a result of the high production in the power plant 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 37 million individuals during eight weeks in spring and twelve weeks in autumn. Three-spined stickleback (*Gasterosteus acelatus*) dominated 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 the Forsmark archipelago. The loss of European eels (*Anguilla anguilla*) in the water intake 2016 was low in comparison to earlier years and most of the individuals were silver (mature) 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 European perch (*Perca fluviatilis*), roach (*Rutilus rutilus*), rudd (*Scardinius erythrophthalmus*), ruffe (*Gymnocephalus cernua*) and white bream (*Abramis bjoerkna*) were high and confirmed the positive trends for the species since the grids in the outlet were removed 2004. However, there were no catches of juvenile perch and roach in the Biotest basin in autumn.

Fyke net surveys in 2016 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 and winter the catches were mainly composed of rudd, perch and roach. In the ocular controls of gonads and calculations of health status of perch and roach two individuals of perch from Biotest basin were found that had bad eggs. The majority of the perch in the Biotest basin were one year old and only two individuals were young-of-the-year. The size of these two individuals (142 and 145 mm total length) corroborated the commonly observed high values of growth rate of perch in the Biotest basin.

There were no young-of-the-year of perch and roach in the Biotest basin in the juveniles survey in 2016, despite the great spawning activity for the species in spring time. In recent years, a large number of young-of-the-year of three-spined sticklebacks has been found in the Biotest basin, which did not happen before since 1981.

In the gill net surveys in Forsmark archipelago the catches were, like in previous years, lower compared to the catches in the reference area Finbofjärden. The temperature conditions differed a lot from previous years and the water temperature was

extremely low during the test fishing period. The catches of roach were low during 2016 and a negative trend can be seen since 2002 when the investigations started.

Soft-substrate macrobenthos in Forsmark and the reference area Finbo displayed minor variations in terms of biomass and abundance during the latest 5-year period. The disturbance that was caused at the intermediate depth station FM 119 in 2011 as a result of the underwater work with cable deployment of the submarine power connection Fenno-Skan 2 appears to have been short-term and the benthic community seems to have recovered to its previous state.

The surveys of hard-substrate benthos was performed by using so-called Landfors tiles and indicated large differences in species richness, biomass and abundance between 2015 and 2016. The differences were the clearest inside the Biotest basin, where the most significant change was the large increase in numbers of the amphipod *Leptocheirus pilosus*. The invasive mussel *Mytilopsis leucophaeata* is abundant in the warm parts of the cooling water passages and may spread freely to the Biotest basin. The species has been found outside the facility in the Forsmark archipelago, but to a much lesser extent compared to the Biotest basin.

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, great cormorant (*Phalacrocorax carbo sinensis*) established a colony for breeding in the Biotest basin and the species had increased in the area. Like in preceding years, no chicks survived, which may be attributed to disturbances from e.g. white-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) and gulls (*Larinae*).

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
1.1	Rapportens innehåll och syfte	7
1.2	Bakgrund	7
2	Kraftverkets drift	11
3	Kontrollprogrammets genomförande 2016	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	26
4.1.3	Öregrundsgrepen och Finbofjärden	34
4.2	Bottenfauna	39
4.2.1	Mjukbottenfauna	39
4.2.2	Hårdbottenfauna	41
4.3	Fågelinventeringar	44
5	Diskussion	46
	Referenser	51

1 Inledning

1.1 Rapportens innehåll och syfte

Denna rapport redovisar resultat från den biologiska kontrollverksamheten i vattenrecipienten utanför Forsmarks kraftstation 2016 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. 2016). 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 (Forsmark 1; F1) togs i drift 1980. Verksamheten utökades därefter 1981 med ett andra aggregat (Forsmark 2; F2) och slutligen 1985 med ett tredje (Forsmark 3; F3). 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 (mellan fastlandet och Gräsö) 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 fisk-larver 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 på Åland.

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 hos de individer som sugts in i kylvattenintaget. Fiskarter med pelagiska (dvs. förekommande i den fria vattenmassan; ej bottenlevande) 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 F1 och F2 via ett tunnelsystem ut till Biotestsjön och för F3 till en närliggande öppen 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 vid 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, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU Aqua), efter avvecklingen av Fiskeriverket, som tidigare var ansvarig utförare. SLU Aqua 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.

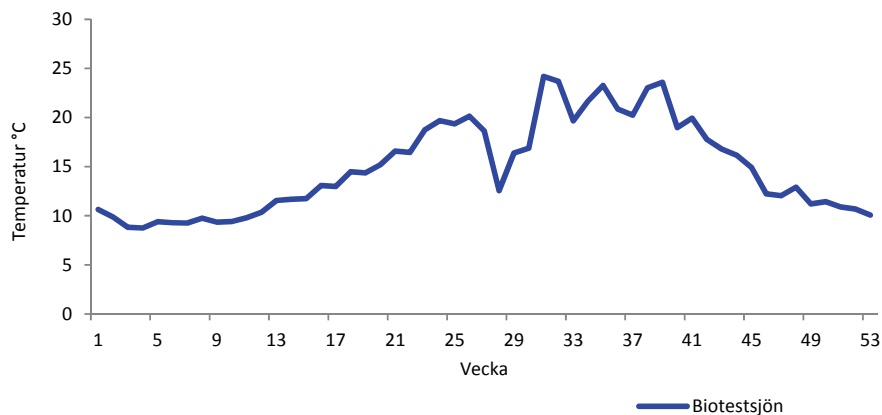
Sedan FKA år 2008 beviljades att höja effekten i samtliga tre reaktorer i Forsmark har förberedelsearbetena inletts på kraftverket. Arbetet med effekthöjningen planeras pågå successivt och sedan 2013 har kärnkraftverket påbörjat produktionen vid en högre effektnivå. Vid F2 uppgår effekthöjningarna till 120 procent av den ursprungliga installerade effekten. I 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 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 (Biotestsjön). När effekthöjningen är slutförd beräknas kylvattenflödet ha ökat med cirka 20 kubikmeter per sekund för F1 och F2. 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 värmeförlusten 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 2016 producerade Forsmarks kärnkraftverk 24 terawattimmar (TWh) el i sina anläggningar. Vid F1 var produktionen den största någonsin, vilket sannolikt var ett resultat av de moderniseringar och livstidsförlängande åtgärder som genomförts de senaste åren. Åtgärderna som genomförts i anläggningarna har medfört att kylvattnets flödet till det gemensamma intaget för F1 och F2 har ökat till 96 m³/s jämfört med tidigare 88 m³/s. Under 2016 hade Forsmarks kärnkraftverk ett längre avbrott i produktionen i samband med de planerade revisionsavställningarna, för F1 3 juli–19 juli, för F2 28 maj–24 juli och för F3 9 oktober–12 november.

Temperaturen i Biotestsjön varierade under 2016 från cirka 8 °C under vintermånaderna till knappt 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 2016. Anledningen till detta var sannolikt en följd av att revisionsperioderna inföll i samband med den varmaste perioden på året och att driften då var reducerad.



Figur 2. Medeltemperaturer per vecka i Biotestsjön (centralt i Biotestsjön) under år 2016.

3 Kontrollprogrammets genomförande 2016

Provtagningen inom recipientkontrollprogrammet 2016 har med få undantag genomförts enligt fastslagen plan. Moment som inte har fullföljts enligt plan är inhämtning av temperaturdata från referenspunkten Ön; temperaturmätarna gick inte att återfinna vid tidpunkten för upptag. Vid provtagningarna i silstationen registrerades inga vattenflöden vid tidpunkterna för räkningarna.

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 (dessa värden saknades under 2016).

Längdmätning av storspigg (*Gasterosteus acelatus*) 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

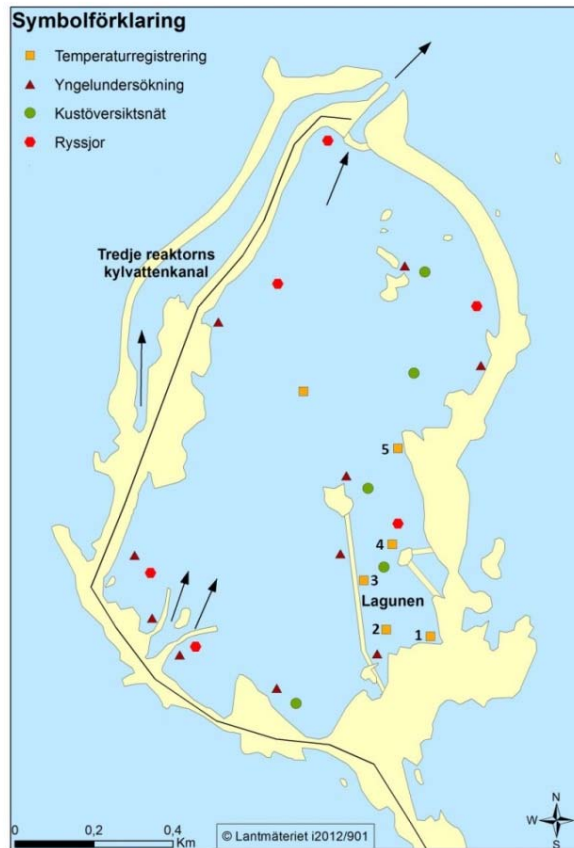
Fiske med ryssjor genomförs under fyra veckor i april. Under fiskeperioden fiskas sex stationer med tre parrysjor länkade med varandra (figur 3). Redskapen sätts i sjön vid början av perioden och vittjas en gång per vecka. All fångst artbestäms och längdmäts.

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 $K = w \times L^{-3} \times 100$, 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 okulärbesiktigas 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

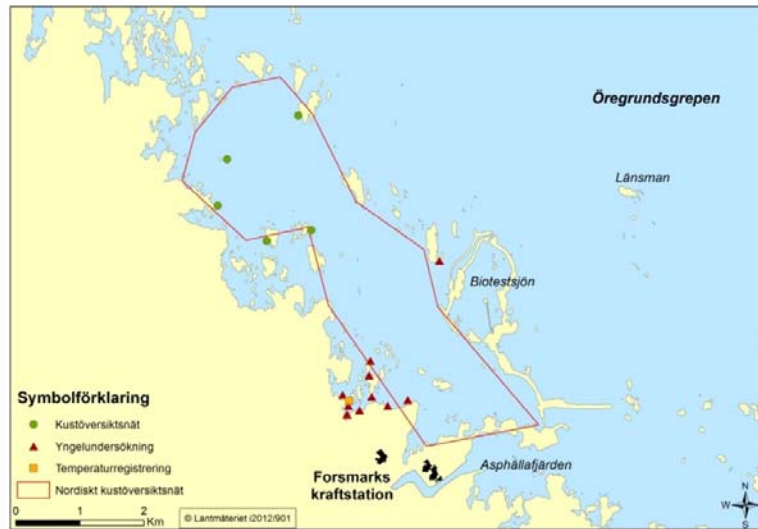
Vid provfisket med Nordiska kustöversiktsnät i Forsmarks skärgård samlas gällock och otoliter in från cirka 300 abborrhonor för analys av ålder och tillväxt. För beräkningar av relativ årsklasstyrka hos abborre används en modifierad version av Svärdsons metodik (Svärdson 1961; Neuman 1974). Antalet fiskar 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 (Thoresson 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 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

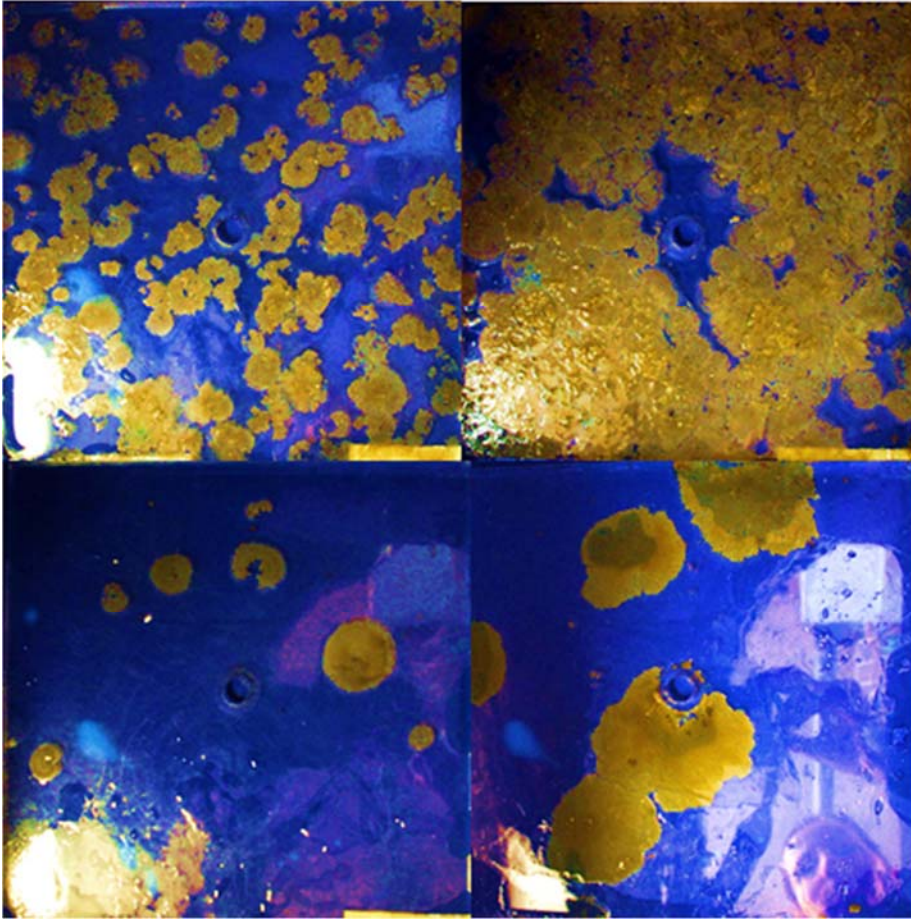
Provtagningen av hårdbottenfauna genomfördes enligt metodik med så kallade Landforsplattor (Adill m.fl. 2015) (figur 7) som placerades ut på fyra provtagnings-

stationer 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.



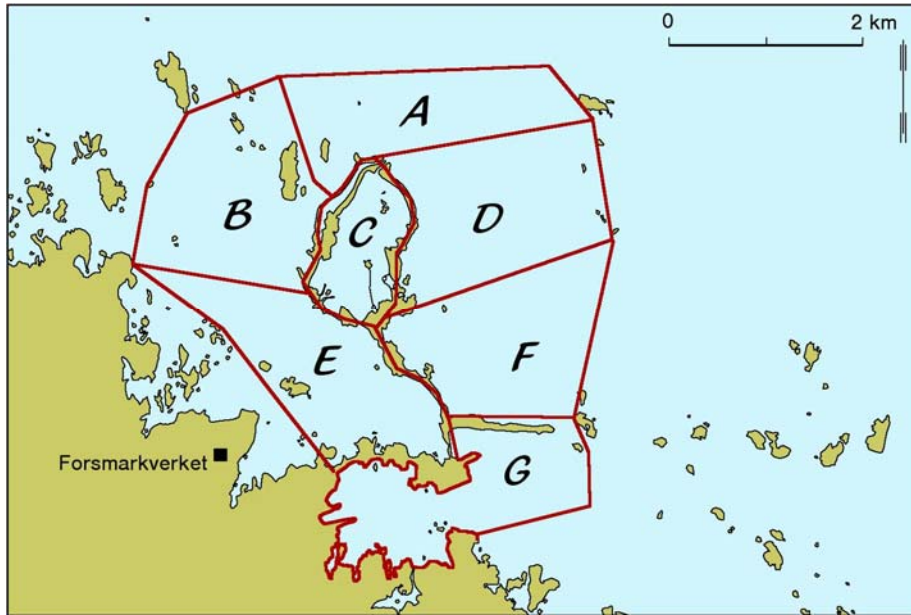
Figur 8. Påväxt av tångbark (*Electra crustulenta*) på Landforsplattor från Asphällafjärden (uppe till vänster), plymen (uppe till höger) och Borgarna (nere till vänster) samt påväxt av sötvattensvamp (*Ephydatia fluviatilis*) på Landforsplatta från Biotestsjön (nere till höger). Areal av påväxten analyseras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

3.3 Fågelinventeringar

Inventering av sjöfågel har utförts två gånger i månaden under hela året enligt punkt-taxeringsmetoden (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 2016 utgjordes liksom tidigare år av småväxta arter som storspigg, småspigg (*Pungitius pungitius*), mindre havsnål (*Nerophis ophidion*), sandstubb (*Pomatoschistus minutus*) och på hösten av årsyngel av bland annat strömming (tabell 1). Under 2016 förekom även ett provtagningstillfälle under våren med stor omfattning av förluster av strömmingsyngel (tabell 1; figur 15). Förlusterna av fisk i Forsmarks silstationer under 2016 beräknades till drygt 8 miljoner individer under vårperioden av 24 olika arter. Förekomsten var mer omfattande än under 2015 då 6,7 miljoner individer fastnade i silstationen. Under höstperioden beräknades förlusterna i silstationerna till hela 29,2 miljoner individer. Förlusterna var de särklass största sedan provtagningarna inleddes och kan jämföras med 2015 års resultat då 12,4 miljoner individer fastnade i silstationerna, därtills de största förlusterna som förekommit (tabell 1).

De dominerande arterna under provtagningarna var storspigg, småspigg och strömming. Storspigg svarade för 69 procent av alla fiskar under våren och 87 procent under hösten (tabell 1). Förlusterna av storspigg var extremt stora under hösten, främst vid ett provtagningstillfälle i oktober, då stora mängder årsyngel fastnade i silstationerna. Utvecklingen av storspigg i provtagningarna visar på ökande förekomster sedan provtagningarna startade¹ (figur 11). Förlusterna av storspigg utgörs framförallt av unga individer under höstarna (tabell 1; figur 12).

¹ Linjär regression 1989-2016, ln-trans, $R^2=0,57$, $p<0,001$ för våren, $R^2=0,82$, $p<0,001$ för hösten

Mest förekommande art efter storspigg under provtagningarna var småspigg, som under hösten likt 2015 uppvisade mycket stora förluster. Förekomsten av småspigg har ökat i silstationerna² (figur 13).

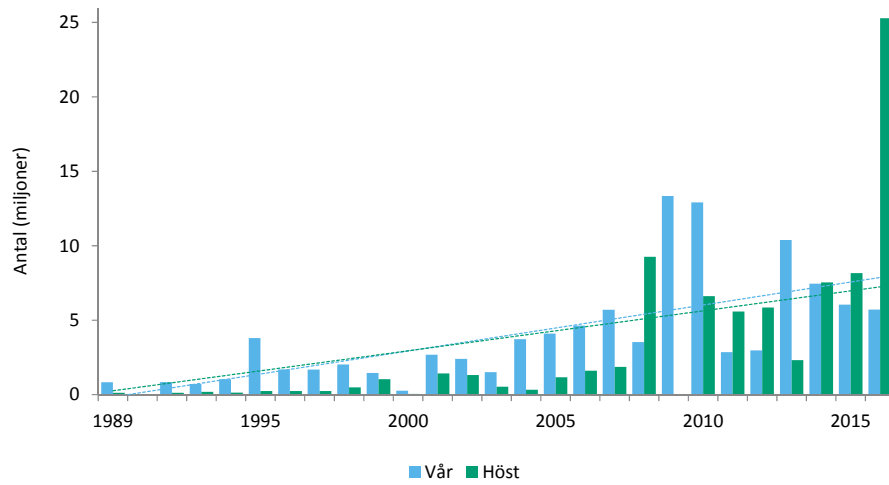
Förlusterna av ål (*Anguilla anguilla*) i silstationen under 2016 var liksom föregående tre år små jämfört med tidigare och omfattningarna påminner om början av 1990-talet (figur 14). Medelvikten av de ålar som fastnade i silstationen under hösten var dock fortfarande hög och inslaget av vuxen ål, så kallade blankålar, var stor (figur 14).

Strömming förekom i stor utsträckning i proverna under vårperioden och främst vid provtagningstillfället i slutet av april då stora mängder unga individer fastnade i silstationerna (tabell 1; figur 15). Mängden strömming under hösten var liksom 2015 liten i jämförelse med tidigare år och den vanligtvis stora andelen årsyngel som brukar förekomma i provtagningarna fanns inte under 2016 (tabell 1; figur 15).

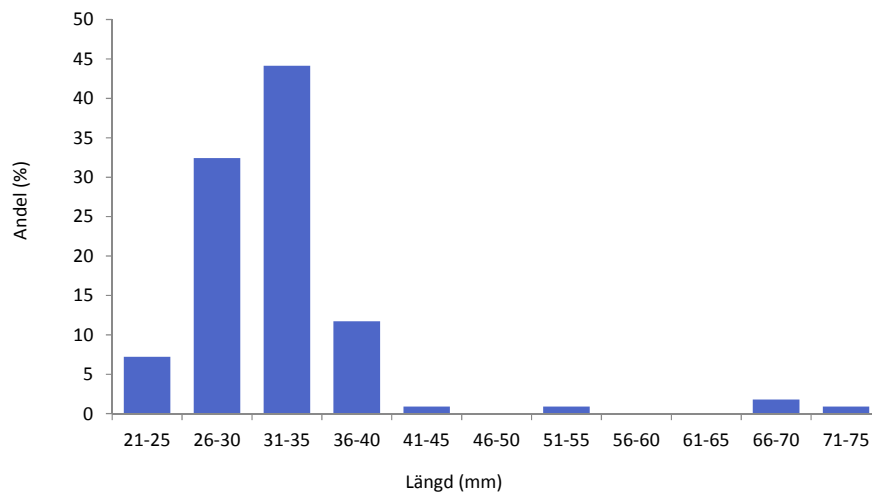
Tabell 1. Beräknade fiskförluster (antal individer) och medelvikter (gram) i silstationerna per art och uppdelat på vår och höst.

Art	Vår (antal)	Vår (medelvikt)	Höst (antal)	Höst (medelvikt)
Abborre	22 722	29	1 029	62
Björkna	95	15		
Braxen	158	7	231	167
Flodnejonöga	21	50	179	64
Gers	6 468	26	1 071	34
Gös	599	65	95	256
Havsnål	63 494	1	55 199	1
Hornsimpa			32	200
Lax			11	410
Löja	15 057	5	13 356	3
Mört	2 793	44	158	14
Nors	35 795	29	43 691	23
Piggvar	11	100		
Ruda	21	20		
Sik	11	220		
Skarpsill	1 575	11	1 691	11
Småspigg	719 796	1	3 451 959	1
Svart smörbult	1 050	7		
Storspigg	5 713 670	2	25 275 800	1
Strömming	1 626 440	13	284 204	6
Sandstubb	44 132	1	8 946	1
Kusttobis	10 500	3	36 183	2
Tånglake	1 491	19	168	18
Tångspigg	11	10		
Vimma	137	4	336	128
Ål	63	885	231	943
Summa	8 266 104		29 174 565	

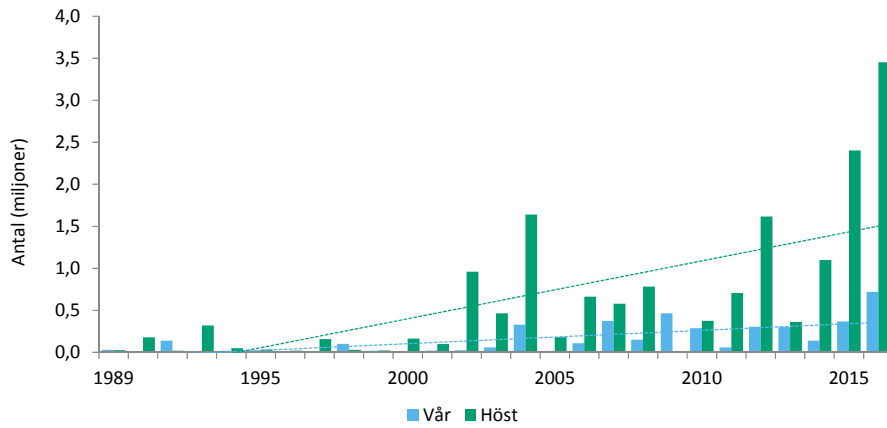
² Linjär regression 1989-2016, ln-trans, $R^2=0,46$, $p<0,001$ för våren, $R^2=0,60$, $p<0,001$ för hösten



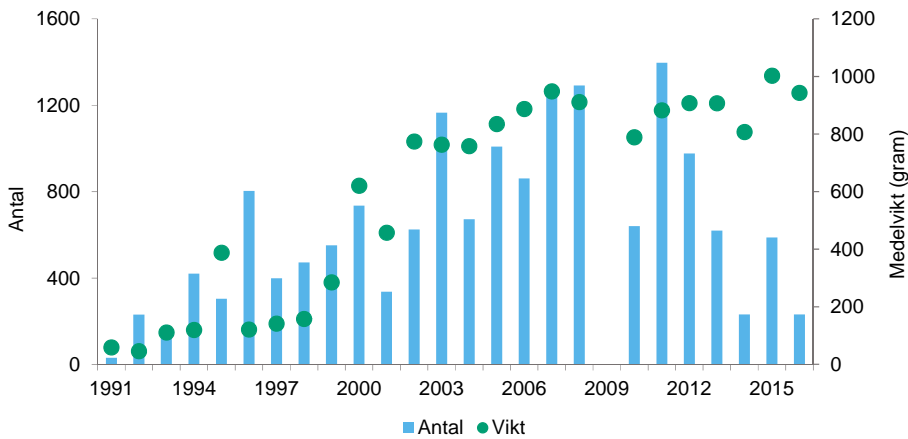
Figur 11. Förluster av storspigg i silstationerna under provtagningsperioderna. Streckad linje anger linjär trend över tid.



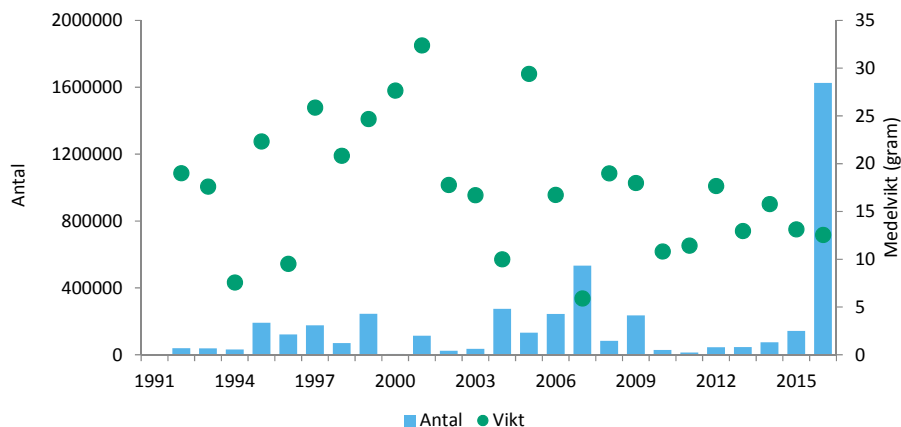
Figur 12. Längdfördelningen för storspigg i silstationerna den 27 september 2016. Stickprovet utgjordes av 111 individer.



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 höstprovtagningarna. 2009 års värden saknas på grund av allt för reducerade provtagningar.



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

4.1.2 Biotestsjön

Beståndsövervakning med nätprovfiske

Under 2016 års vårprovfiske med nät fångades sammanlagt 10 276 individer av 10 olika arter, vilket var något mer än under 2015 (9 739 individer av 12 arter) (tabell 2). Mört var vanligast i nätfisket och svarade för 59 procent av alla individer och fångsterna var likt tidigare år stora och har ökat sedan galleröppnandet 2004³ (figur 16). Fångsterna av abborre var rekordstora, främst under maj månad, och svarade för 26 procent av de totala fångsterna. Abborren har uppvisat en positiv utveckling sedan galleröppningen⁴ (figur 16). Utvecklingen för gers (*Gymnocephalus cernua*), sarv (*Scardinius erythrophthalmus*) och björkna (*Abramis bjoerkna*) uppvisade en fortsatt positiv trend i Biotestsjön⁵ (figur 16).

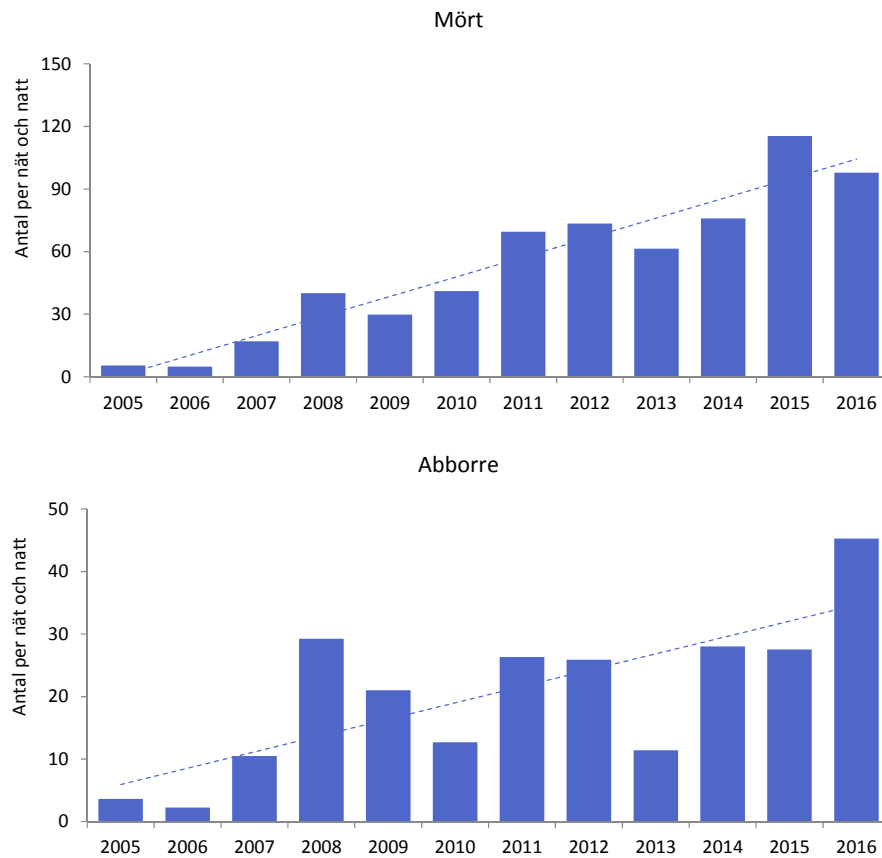
³ Linjär regression, ln-trans, 2005-2016, $R^2=0,82$, $p<0,001$

⁴ Linjär regression, ln-trans, 2005-2016, $R^2=0,56$, $p<0,01$

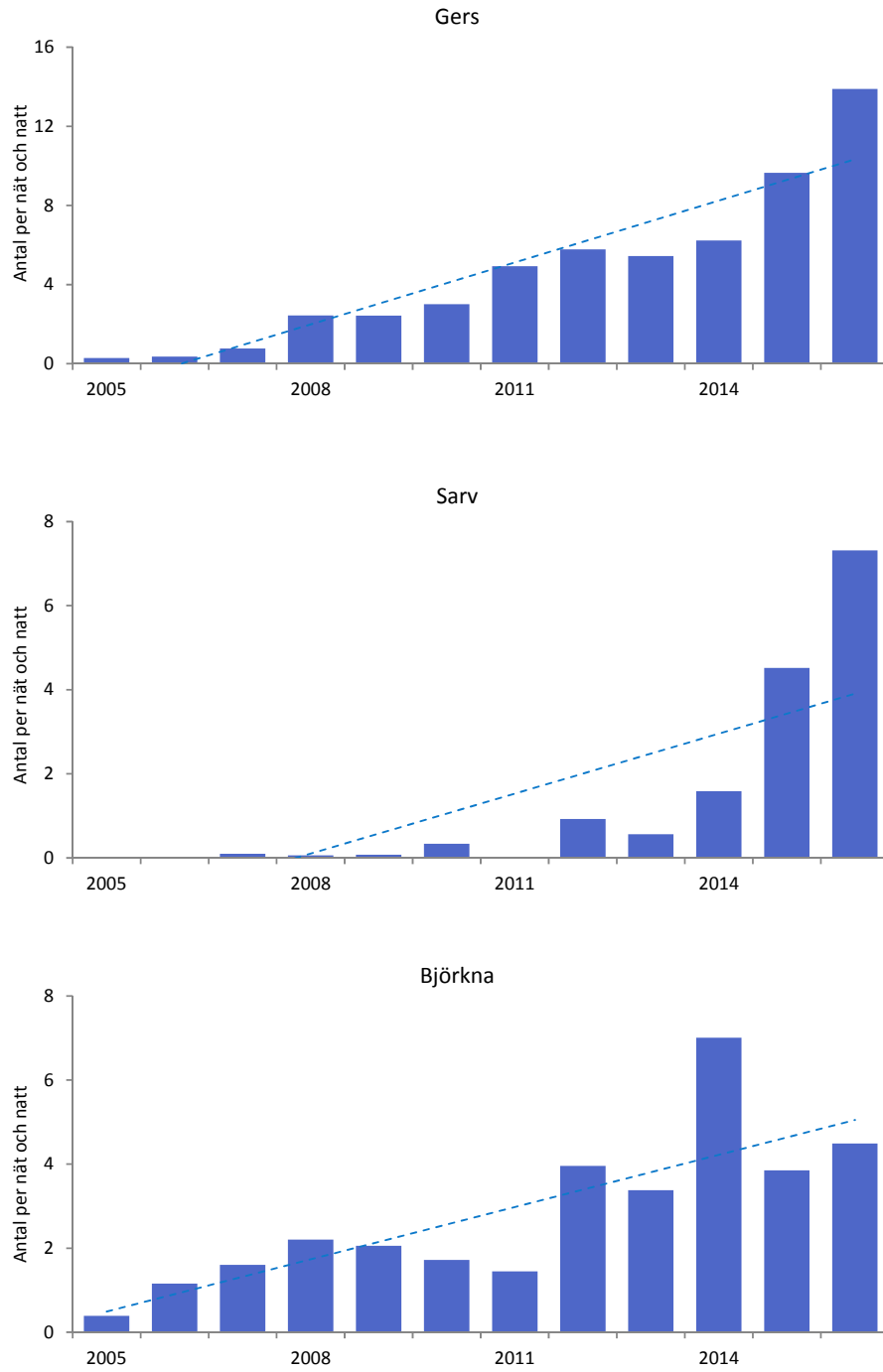
⁵ Linjär regression, ln-trans, 2005-2016, $R^2=0,73$, $p<0,01$ för björkna, $R^2=0,90$, $p<0,001$ för gers, $R^2=0,75$, $p<0,01$ för sarv

Tabell 2. Fångster i nätprovfiskena i Biotestsjön under vårperioden 2016.

Art	Totalantal	Andel (%)
Mört	6049	58,87
Abborre	2629	25,58
Gers	814	7,92
Sarv	429	4,17
Björkna	285	2,77
Löja	36	0,35
Gädda	23	0,22
Sik	5	0,05
Vimma	4	0,04
Id	2	0,02
Totalt	10 276	



Figur 16a. Fångster av mört och abborre i nätprovfiskena i Biotestsjön under våren 2005–2016. Streckad linje anger linjär trend över tid.



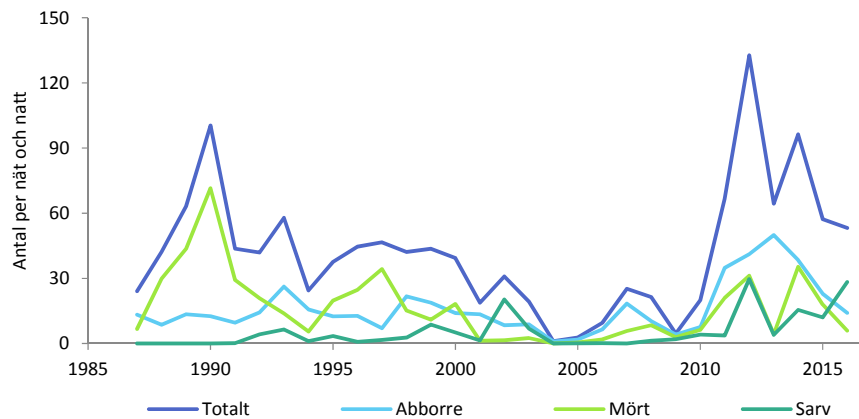
Figur 17b. Fångster av gers, sarv och björkna i nätprovfisken i Biotestsjön under vårarna 2005–2016. Streckad linje anger linjär trend över tid.

Under vårens nätprovfiske i Biotestsjön kunde ytterst få störningar i form av ålbulor upptäckas, som uppkommer när ålen tuggar sönder och äter upp fisken i näten (Adill m.fl. 2012).

Provfisket med nät i Biotestsjön under hösten och vintern fångade 865 individer av tio olika arter (tabell 3). Fångsterna utgjordes främst av sarv, abborre och mört, som svarade för 90 procent av individerna. Endast sarv fångades i större omfattning jämfört med föregående år.

Tabell 3. Fångster i nätprovfiskena i Biotestsjön under hösten 2016. Totalt anger fångster för två vittjningar i oktober. Andel (%) anger fördelning i fångsterna under båda vittjningar.

Art	Totalantal	Andel (%)
Sarv	392	45,32
Abborre	242	27,98
Mört	143	16,53
Gers	44	5,09
Björkna	27	3,12
Gädda	6	0,69
Vimma	6	0,69
Löja	2	0,23
Sutare	2	0,23
Id	1	0,12
Totalt	865	



Figur 18. Fångster av dominerande arter vid nätprovfisken i Biotestsjön under höstarna 1987–2016.

Av typiska kallvattenarter som sik (*Coregonus lavaretus*), öring (*Salmo trutta*), nors (*Osmerus eperlanus*) eller lake (*Lota lota*) fångades endast sik under 2016, fem individer under vårprovfisket. Inga nya eller ovanliga arter för Biotestsjön fångades i provfiskena.

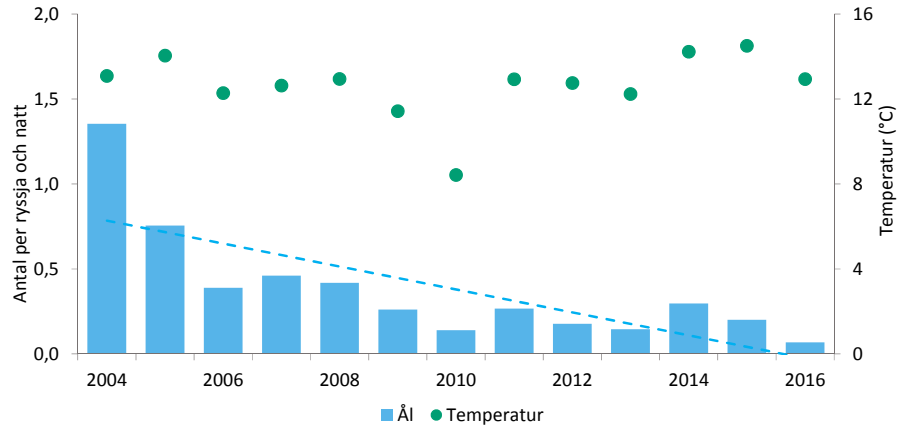
Beståndsovervakning med ryssjeprovfiske

Under ryssjefisket i april fångades 76 ålar (0,2 per ryssjehus och dygn), vilket var mycket små mängder jämfört med föregående år och perioden kring 2004 då fiskspärren avlägsnades i Biotestsjöns utlopp (figur 18). Den negativa trenden för ålen sedan galleröppningen är tydlig och mängden ål i Biotestsjön är den minsta på många år⁶ (figur 18). Likt de senaste åren fanns en stor spridning hos ålarnas längder och medellängden under 2016 var 67 cm. Den minsta ålen var 39 cm lång och den största 89 cm lång (figur 19).

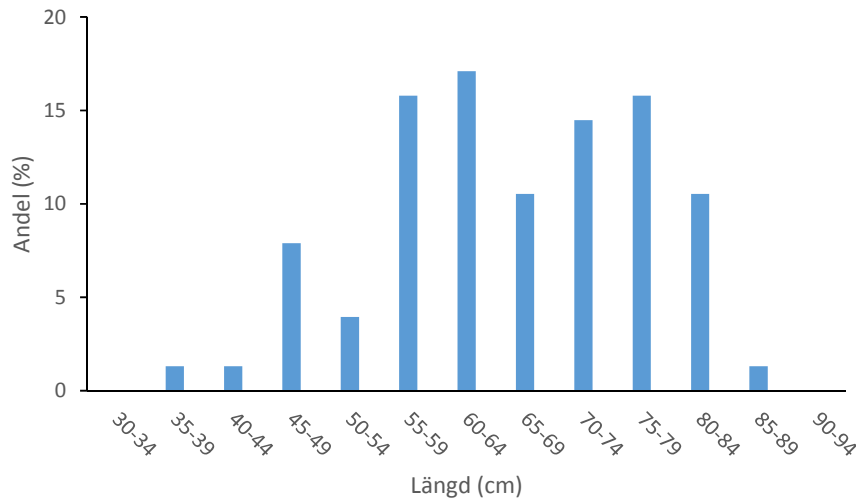
Tabell 4. Fångster i ryssjeprovfiskena i Biotestsjön under april 2016.

Art	Antal	Andel (%)
Abborre	542	63,54
Gers	134	15,71
Ål	76	8,91
Mört	48	5,63
Sarv	41	4,81
Svart smörbult	4	0,47
Löja	3	0,35
Björkna	2	0,23
Sutare	2	0,23
Gädda	1	0,12
Totalsumma	853	

⁶ Linjär regression 2004-2016, ln-trans, $R^2=0,72$, $p<0,001$



Figur 19. Fångster av ål vid ryssjeprövfiskena under våren samt medeltemperaturen vid fisketillfällena. Streckad linje anger linjär trend över tid.



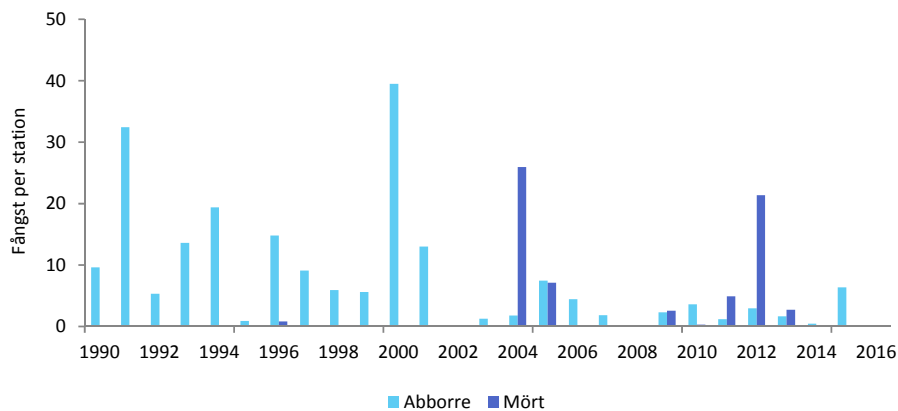
Figur. Längdfördelning hos ål från ryssjeprövfiskena i Biotestsjön.

Beståndsovervakning av yngel med detonationsteknik

Vid yngelundersökningarna i Biotestsjön var löja den vanligaste arten bland årsynglen och svarade för 82 % av fångsterna (tabell 5). Tätheten av sarvyngel var likt föregående år stor och fångsterna av storspigg var de största sedan undersökningarna inleddes (tabell 5). Under 2016 fångades inga årsyngel av varken abborre eller mört (figur 20).

Tabell 5. Fångster av årsyngel i detonationsprovfisken i Biotestsjön under hösten 2016.

Art	Antal	Andel (%)	Per station
Löja	780	82	26,0
Sarv	107	11	3,6
Storspigg	62	7	2,1
Totalt	949		

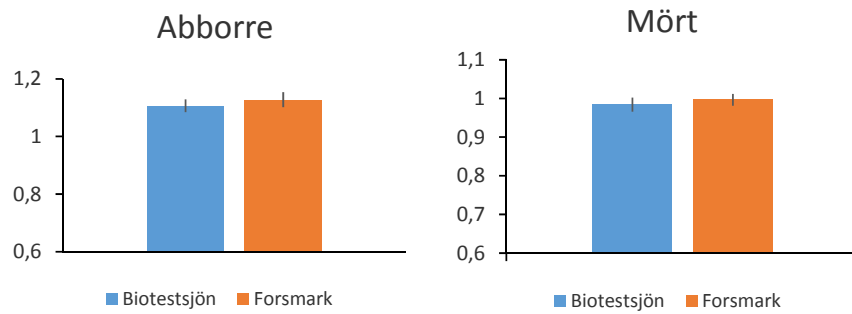


Figur 20. Fångster av abborre och mört vid yngelundersökningar (detonationsprovfisken) i Biotestsjön under höstarna 1990–2016.

Kontroll av kondition och gonadstatus hos abborre och mört

För kontroll av kondition och gonadstatus i Biotestsjön provtogs 94 honor av abborre och 68 honor av mört. Som referensmaterial provtogs 100 individer av abborre och 100 individer av mört från Forsmarks innerskärgård. Bland de undersökta individerna påträffades gonadskador hos två abborrhonor från Biotestsjön och en mört-hona från Forsmark.

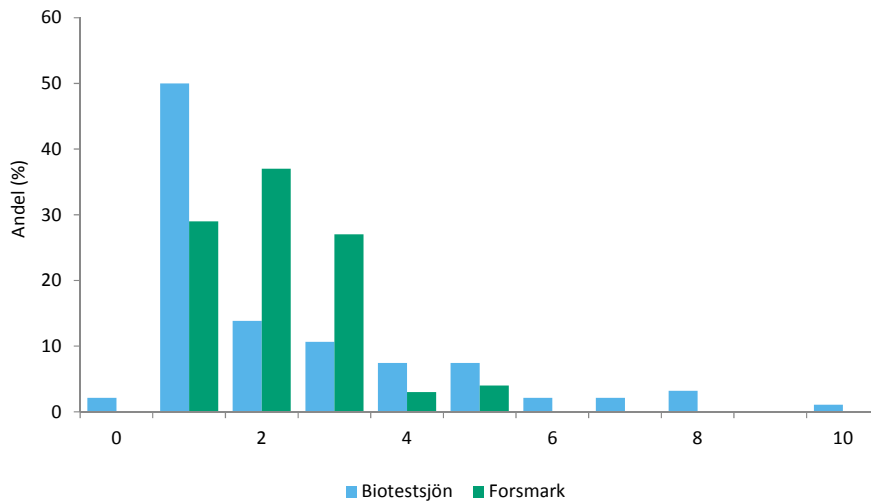
Konditionen hos abborre och mört i Biotestsjön och i Forsmarks innerskärgård var inom normala nivåer och inga individer påträffades med extremt låga värden som kan anses vara skadliga (figur 21). Det fanns ingen skillnad i kondition mellan områdena för abborre och mört (figur 21).



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

Kontroll av ålder och tillväxt

Ålder och tillväxt undersöktes hos 94 abborrhonor från Biotestsjön. Resultatet visade att ettåriga abborrhonor dominerade fångsterna under provfisket. I referensområdet i Forsmarks skärgård var ett-, två- och treåriga abborrhonor vanligast i fångsterna (figur 22). Få individer från Biotestsjön och Forsmark var fyra år eller äldre (figur 22). I Biotestsjön fångades endast två årsyngel av abborre, 142 respektive 145 mm långa. I Forsmarksområdet fångades inga årsyngel av abborre i undersökningarna i oktober månad.



Figur 22. Ålder hos abborrhonor i fångsterna i oktober från Biotestsjön och Forsmark 2016.

Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering

Vid fiskundersökningarna i Biotestsjön under 2016 påträffades endast ett fåtal individer med yttre sjukdomssymtom, karpfiskar (bland annat mört och björkna) som var parasiterade av digena trematoder (svarta fläcksjukan; Thulin m.fl. 1989).

4.1.3 Öregrundsgrepen och Finbofjärden

Beståndsövervakning med nätprovfiske

I provfisket med Nordiska kustöversiktsnät i Forsmark fångades 1 624 individer av 14 olika arter, vilket var i lägre omfattning än under föregående år (tabell 6). Abborre var vanligast i provfisket och uppgick till 66 % av fångsterna. Temperaturförhållandena under provfisket skiljde sig markant från tidigare år och var betydligt lägre. Högsta temperaturen som uppmättes för en enskild station var 18,6°C och lägsta 10,4°C (0-3 meters djup). Anledningen till de låga vattentemperaturerna tillskrivs kraftiga västliga vindar som pågick perioden strax innan provfiskets start och orsakade att kyligt bottenvatten från Öregrundsgrepen trycktes in i Forsmarks innerskärgård.

De totala fångsterna i provfisket visar på små mellanårsvariationer jämfört med tidigare år och nivåerna har varit relativt stabila sedan provtagningarna inleddes 2003 (figur 23). Fångsterna av mört var små under 2016 och utvecklingen för arten i Forsmarksområdet har under provfiskeperioden varit negativ⁷ (figur 24). Trots att fångsterna av stor abborre (≥ 25 cm) var lägre än 2015 finns en positiv trend för stora abborrindivider i Forsmark⁸ (figur 25).

Vid provfisket med Nordiska kustöversiktsnät i referensområdet Finbofjärden fångades 3 249 individer av 14 olika arter (tabell 7). Mest förekommande i provfisket var mört och abborre som utgjorde 78 procent av fiskarna i fångsterna. Likt de föregående åren fångades fler fiskar i Finbofjärden än i Forsmark⁹ (figur 23).

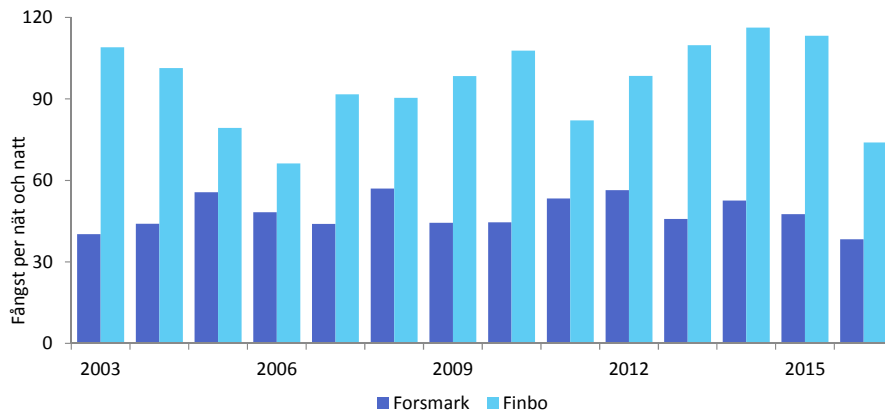
⁷ Linjär regression, *ln-trans*, 2003-2016, $R^2=0,30$, $p<0,05$

⁸ Linjär regression *ln-trans*??? 2003-2016, $R^2=0,62$, $p<0,01$

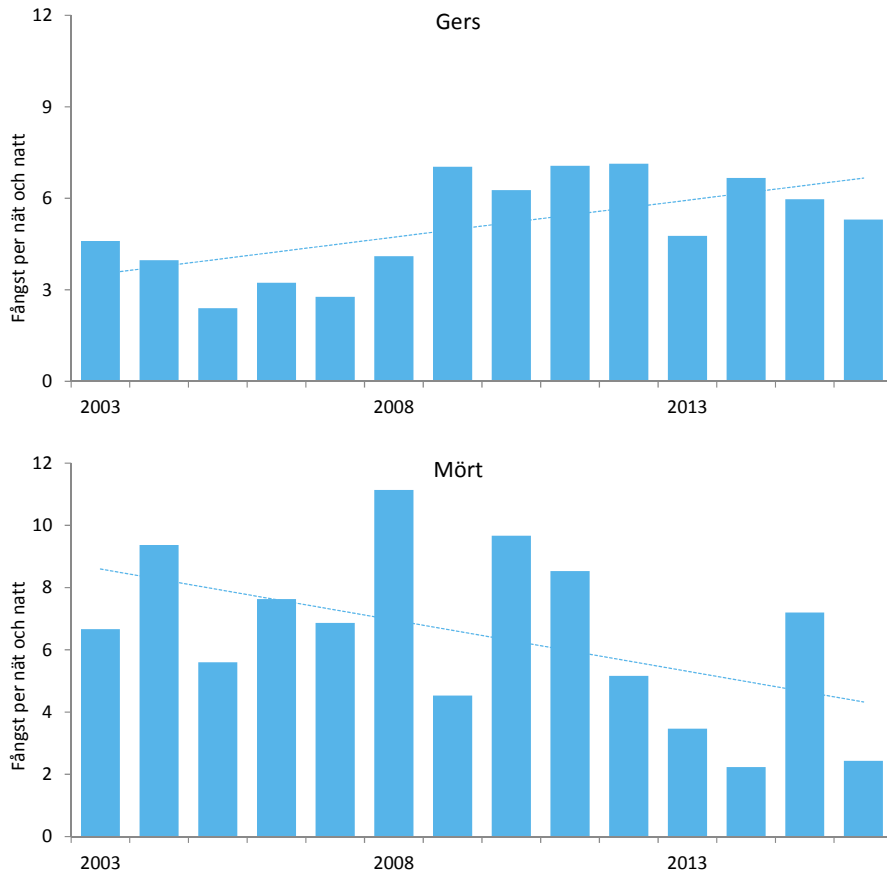
⁹ Variansanalys Anova, *ln-trans*, 2003-2016, $F_{1,13} = 19,37$, $p<0,01$

Tabell 6. Fångster i fisken med Nordiska kustöversiktsnät i Forsmark och Finbo under 2016.

Art	Forsmark	Andel (%)	Finbo	Andel (%)
Abborre	1071	65,95	1569	48,29
Gers	234	14,41	98	3,02
Strömming	195	12,01	193	5,94
Mört	83	5,11	949	29,21
Löja	16	0,99	33	1,02
Björkna	10	0,62	337	10,37
Sik	5	0,31		
Svart smörbult	3	0,18	2	0,06
Gös	2	0,12	13	0,40
Braxen	1	0,06	30	0,92
Stensimpa	1	0,06		
Sutare	1	0,06		
Tånglake	1	0,06		
Vimma	1	0,06		
Nors			12	0,37
Gädda			5	0,15
Skarpsill			5	0,15
Hornsimpa			2	0,06
Sarv			1	0,03
Totalt	1624		3249	



Figur 23. Fångster av samtliga arter per nät och natt vid provfiske med Nordiska kustöversiktsnät i Forsmark och Finbofjärden 2003–2016.



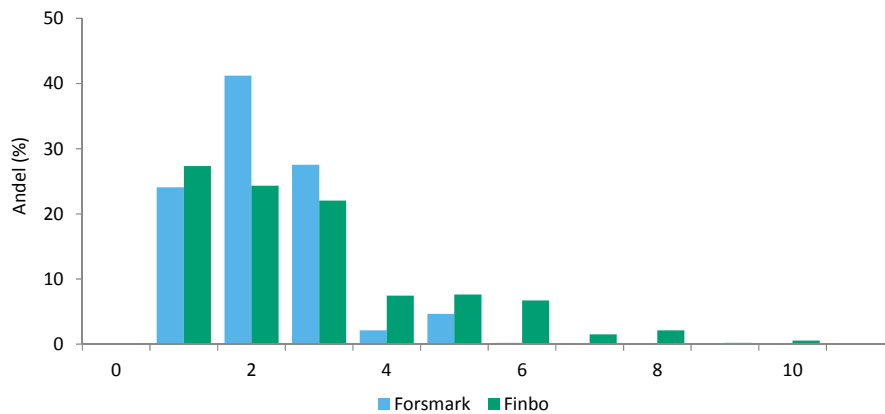
Figur 24. Fångst (antal) av gers och mört per nät och natt vid provfiske med Nordiska kustöversiktnät i Forsmark 2003–2016. Streckad linje anger linjär trend över tid.



Figur 25. Fångster (antal) per nät och natt av abborre större än 25 cm vid provfiske med Nordiska kustöversiktnät i Forsmark och Finbofjärden 2003–2016. Streckad linje anger linjär trend över tid.

Kontroll av ålder och tillväxt

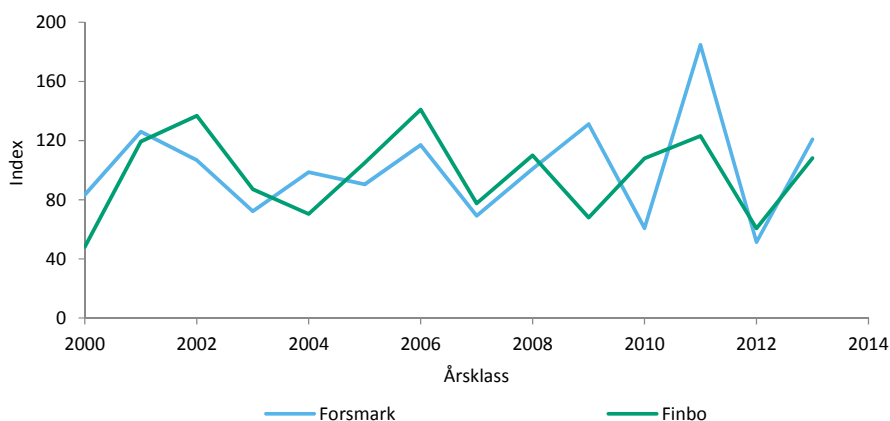
Fångsten av abborre i Forsmark under augusti bestod främst av ett- till treåriga individer. Dessa svarade för 93 procent av den totala fångsten av abborre (figur 25). Under 2016 fångades inga årsyngel i Forsmark. I Finbofjärden fångades som tidigare år en större andel äldre abborrar jämfört med i Forsmark och individer i åldrarna ett till tre år var vanligast där (figur 25). Äldsta abborren i Finbofjärden var 11 år.



Figur 26. Fångst per ålder av abborre i Forsmark och Finbofjärden 2016.

Analyserna av årsklasstyrka hos abborre i Forsmark och Finbofjärden visar på en samvariation mellan områdena från år 2000 fram till 2008, därefter bryts mönstret¹⁰ (figur 26). Den starkaste årsklassen hos abborre i Forsmarksområdet föddes 2011.

¹⁰ Pearsons korrelationskoefficient, $r=0,47$, $p=0,09$ för åren 2000-2013, $r=0,70$, $p=0,03$ för åren 2000-2008



Figur 27. Beräknad relativ årsklasstyrka (modifierad Svärdsön) anges som ett index för abborre i Forsmark och Finbofjärden. Starka årsklasser för abborre i Forsmark förekom bland annat 2009 och 2011 och i Finbofjärden 2002, 2006 och 2011.

Beståndsövervakning med detonationsteknik

Vid yngelundersökningar i Forsmark 2016 fångades sammanlagt 463 individer av sex olika arter (tabell 7). Den vanligaste arten var likt 2015 storspigg, som utgjorde 62 procent av fångsterna. Under provtagningarna fångades ett fåtal årsyngel av abborre, mört och gädda (tabell 7).

Tabell 7. Fångster av yngel av olika arter uppdelat på totalantal, andel (%) och antal per station vid detonationsfiske i Forsmark 2016.

Art	Antal	Andel (%)	Per station
Storspigg	286	61,8	9,53
Elritsa	107	23,1	3,57
Sandstubb	42	9,1	1,40
Abborre	23	5,0	0,77
Mört	4	0,9	0,13
Gädda	1	0,2	0,03
Totalt	463		

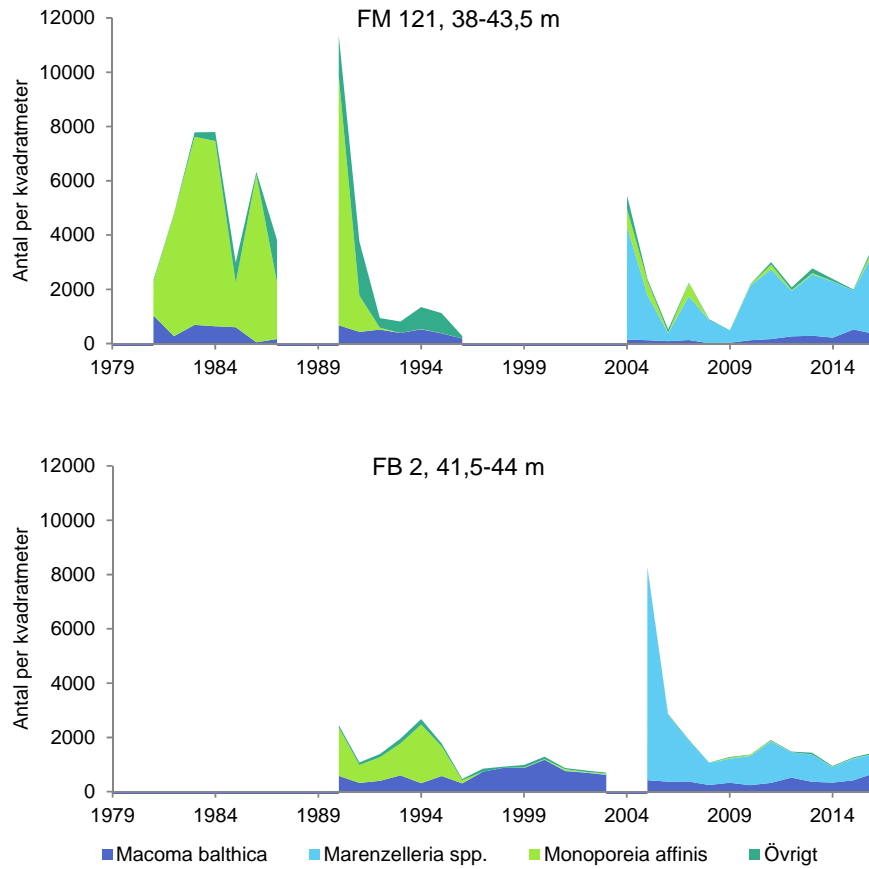
Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering

Vid fiskundersökningarna i Forsmark påträffades inga individer med sjukdomssymtom, endast en abborre med en skada (defekt gällock). I referensfisket i Finbofjärden påträffades inga individer med sjukdomssymtom eller skador.

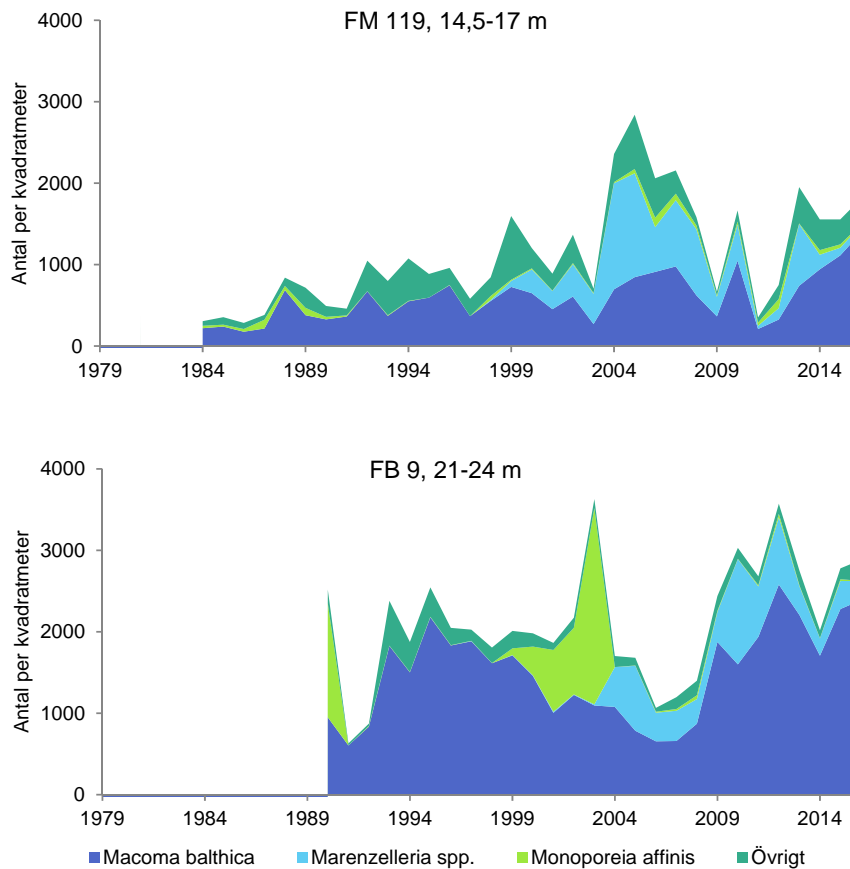
4.2 Bottenfauna

4.2.1 Mjukbottenfauna

Resultaten från provtagningarna av bottenfaunasamhällen på de djupa stationerna i Forsmark och Finbofjärden visar små variationer mellan åren de senaste åren, både vad det gäller biomassa och abundans (figur 27). Det invasiva släktet av havsbortmaskar, *Marenzelleria*, har dominerat dessa samhällen. *Marenzelleria* har tillsammans med Östersjömussla, *Macoma balthica*, varit de mest framträdande arterna på de medeldjupa bottenarna det senaste decenniet både i Forsmark och Finbofjärden. Abundansen har legat på en hög nivå i Forsmark i förhållande till perioden dessförinnan, med undantag för en markant nedgång 2011 och 2012, som har tolkats som en effekt av att likströmskabeln Fenno-Skan 2 grävdes ner i området 2011 (figur 28). 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 28).



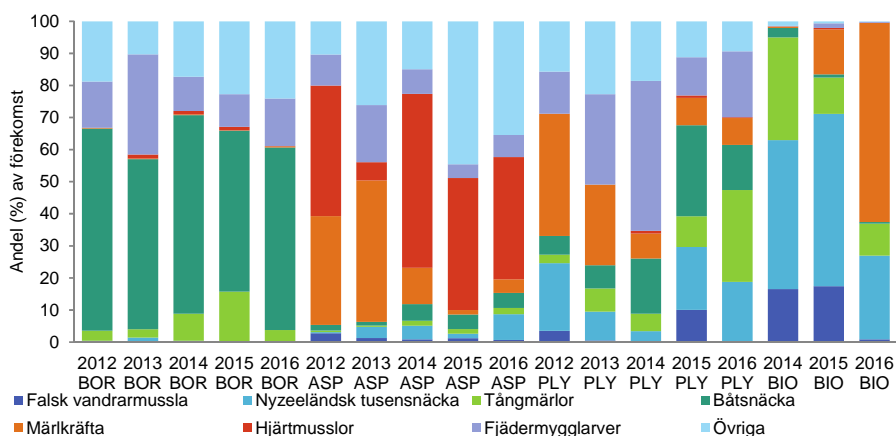
Figur 28. Antal av bottenfauna per kvadratmeter från de djupa stationerna från Forsmark (FM 121) för åren 1981–2016 samt referensområdet Finbo (FB 2) för åren 1990–2016. Provtagningen sker i maj varje år. De år som data saknas för FM 121 har provtagningsmetodiken avvikit från standard och ej tagits med i rapporten. Under 2004 tillkom tekniska problem med utrustningen vid FB 2 och data saknas.



Figur 28. Antal av bottenfauna per kvadratmeter från de medeldjupa stationerna från Forsmark (FM 119) för åren 1984–2016 samt referensområdet Finbo (FB 9) för åren 1990–2016. 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 29). De vanligast förekommande arterna var musslan *Mytilopsis leucophaeata* (falsk vandrarmussla), nyzeeländsk tusensnäcka (*Potamopyrgus antipodarum*), båtsnäcka (*Theodoxus fluviatilis*), hjärtmussla (*Cerastoderma glaucum*), tångmärlor (*Gammarus* spp.), märlkräfta (*Leptocheirus pilosus*) samt fjädermygglarver (*Chironomidae* spp.).



Figur 29. 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 bottenfauna i antal i Biotestsjön mellan 2015 och 2016¹¹ (Figur 30). Den art som ökade mest i antal var *Leptocheirus pilosus* (märkräfta) som i genomsnitt ökat med närmare 1000 % (figur 29). Förekomsten av olika arter, artdiversiteten, hade minskat på samtliga stationer under 2016 jämfört med 2015¹². Artsammansättningen var mer likartad inom ett område jämfört med de andra områdena¹³. Utvecklingen för artsammansättningen av bottenfaunan visade skillnad mellan år¹⁴ och plats¹⁵.

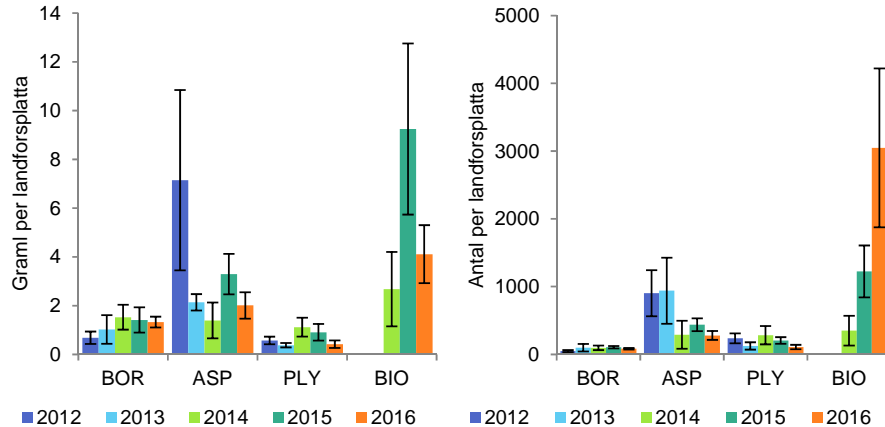
¹¹ Tukey HSD, *ln-trans*, $P=0.03$

¹² Tukey HSD, *ln-trans*, $P=0.04$

¹³ Variansanalys PERMANOVA, $F=58.7$, $P<0.01$

¹⁴ Variansanalys ANOVA, $F=97.9$, $P<0.01$

¹⁵ Variansanalys ANOVA, $F=5.7$, $P<0.01$

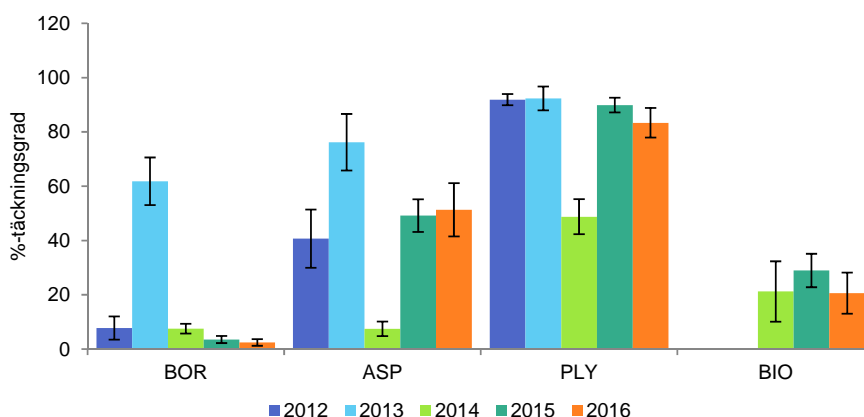


Figur 30. Medelantal och medelbiomassa av bottenfauna per Landforsplatta för stationerna i Forsmarksområdet; Biotestsjön (BIO), utsläppsområdet för kylvatten utanför Biotestsjön (PLY), området för kylvattenintaget till kraftverket (ASP) samt Borgarna (BOR) norr om Biotestsjön som aldrig påverkas av kylvatten (se figur 9). Felstaplar markerar konfidensintervall (95 % CI). Under 2012 och 2013 förekom ingen provtagning i Biotestsjön.

Påväxt av mossdjuret 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 31). Förekomsten av tångbark visar tydliga skillnader mellan områdena¹⁶ och stationen i plymen hade högst täckningsgrad (figur 31). Skillnader i påväxt av tångbark mellan olika år och station kunde observeras, vilket innebär att skillnaderna i förekomst mellan år avviker mellan de olika stationerna¹⁷.

¹⁶ Variansanalys ANOVA, $F=483.8$, $P<0.01$

¹⁷ Variansanalys ANOVA, $F=31.3$, $P<0.01$



Figur 30. 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

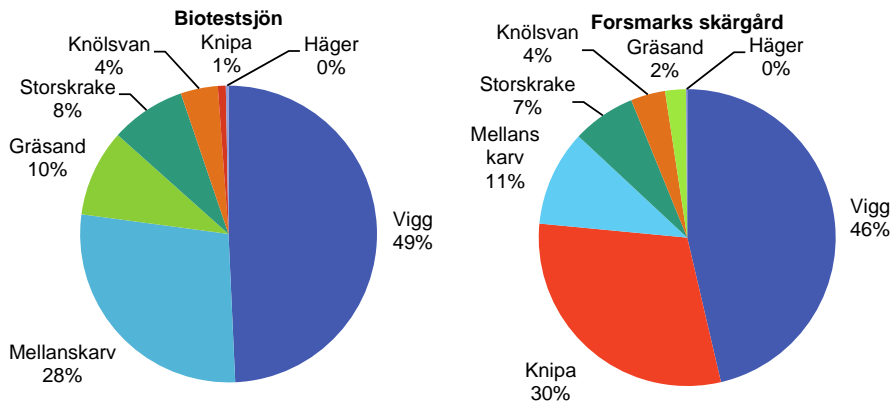
Under 2016 års fågelstudier i Forsmark gjordes totalt 42 583 observationer vid 23 tillfällen av de prioriterade arterna inom kontrollprogrammet (tabell 8). Mest fågel av de arter som ingår i kontrollprogrammet återfanns i Biotestsjön (område C) där 16 666 individer observerades (tabell 8).

Tabell 8. Sammanlagda fågelförekomster (23 tillfällen) för prioriterade arter inom fågelinventeringarna i områdena A–G i Forsmark under 2016.

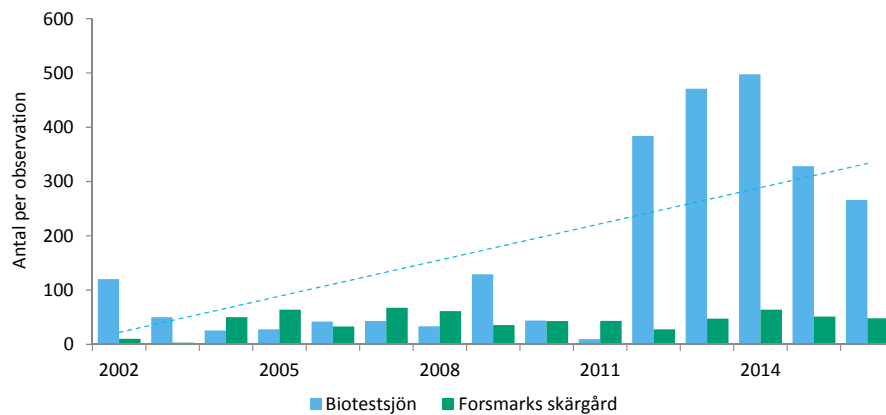
2016	A	B	C	D	E	F	G	Totalt
Gräsand	15	23	1519	46	74	272	193	2142
Häger	1	3	50	8	7	1	17	87
Knipa	1663	659	144	1287	900	896	2738	8287
Knölsvan	80	51	677	115	94	209	487	1713
Storskarv	558	7	4658	1625	18	540	530	7936
Storskrake	434	98	1370	395	125	290	597	3309
Vigg	483	1988	8248	492	551	1042	6305	19109
Totalt	3234	2829	16666	3968	1769	3250	10867	42583

Den vanligaste arten i undersökningarna under 2016 var likt tidigare år vigg, som förekom i stor omfattning inne i Biotestsjön och i området för kylvattenintaget till kraftverket (område G) (tabell; figur). Vигgen observerades främst under höst- och vinterperioden och förekomsterna har visat på en positiv utveckling i område G¹⁸.

Mellanskarven har sedan 2012 genomfört häckningar inne i Biotestsjön och tätheterna av arten har ökat markant i området under denna period¹⁹ (figur 33).



Figur 31. Relativ artfördelning (%) vid fågelobservationer i Biotestsjön och i Forsmarks skärgård utanför Biotestsjön under 2016.



Figur 32. Observationer av mellanskarv under häckningsperioden i Biotestsjön och i Forsmarks skärgård utanför Biotestsjön åren 2002–2016.

¹⁸ Linjär regression, ln-trans, 2002-2016, $R^2=0,75$, $p<0,01$

¹⁹ Linjär regression, ln-trans, 2002-2016, $R^2=0,50$, $p<0,01$

5 Diskussion

Förlusterna av fisk i silstationerna 2016 utgjordes likt tidigare år av främst småväxta arter såsom storspigg och småspigg samt strömming under våren. I jämförelse med föregående år var förlusterna mest omfattande under hösten och förekomsterna av fisk i silstationerna var de klart största någonsin, vilket åtminstone delvis kan sägas ha varit en förväntad effekt av den ökade användningen av kylvatten (Bryhn m.fl. 2013). Förlusterna av storspigg var extremt omfattande under 2016 och de största sedan provtagningarna inleddes på slutet av 80-talet. Detta speglar sannolikt deras omfattning i kustnära områden i Bottenhavet och den generella utvecklingen för bestånden i Östersjön. 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 äter abborrens rom och larver eller att konkurrensen ökar om födoresurserna för uppväxande abborre och gädda (Ljunggren m.fl. 2005; Eriksson m.fl. 2009).

Mängden strömming i provtagningarna under våren 2016 var de klart största sedan undersökningarna inleddes och förlusterna utgjordes främst av små individer under ett provtagningstillfälle under april månad. Tidigare år har förlusterna av strömming varit relativt små under våren och andelen vuxna individer varit stora. 2016 års resultat kan vara en indikation på att rekryteringen av arten varit god i Öregrundsgrepen under hösten 2015 och att stora mängder strömming uppehåller sig i Forsmarksområdet.

Den ökande trenden för förlusterna av ål i silstationerna har under de senaste åren avstannat och ål har förekommit i betydligt mindre omfattning. Under 2016 var förlusterna av ål likt 2014 de minsta sedan början av 1990-talet. De största förlusterna

av ål under 2016 noterades likt tidigare år under senhösten, vilket sannolikt kan kopplas till ålens biologi och lekbeteende. Enligt den höga medelvikten hos ålarna var sannolikt de flesta individer köns mogna 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 köns mognad hos ålarna har kunnat följas. Enligt utvecklingen i provtagningarna för silstationerna skulle de flesta av ålarna nått sin köns mognad 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..

Mängden fisk i Biotestsjön har fortsatt att öka under vårarna och 2016 registrerades återigen 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 inga individer av årsyngel av mört och abborre. 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 spolats 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 sarv däremot finns tydliga tecken på att reproduktionen fungerar som den ska i anläggningen och förekomsterna av vuxen fisk samt tätheterna av årsyngel i undersökningarna har under de senaste åren varit goda i Biotestsjön. En annan art som påvisats fortplanta sig i Biotestsjön är storspigg och förekomsterna av årsyngel var under 2016 relativt stor och möjligen kan detta vara ett tecken på att de påbörjat etablering inne i anläggningen.

Under hösten var fångsterna i nätprovfiskena i Biotestsjön relativt stora men i mindre omfattning än de närmast föregående åren. Den stora andelen sarv i fångsterna, tillsammans med stora tätheter av årsyngel i yngelundersökningarna, återspeglar den goda rekryteringen som arten har inne i anläggningen. Fångsterna av abborre och mört visade liksom de närmast föregående åren att tätheterna av arterna var lägre. Fångsterna av abborre dominerades av ettåriga individer och endast fåtal individer av äldre årgångar 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 145 millimeter för årsyngel. Detsamma gällde för gädda, som fångades i höstnätfisket och uppvisade extremt hög tillväxt, uppemot 39 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 långtidsexponerad 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. Under 2016 års provfiske var väderförhållandena speciella med kraftiga ihållande västliga vindar under perioden innan undersökningarna. Det medförde att kyligt bottenvatten från Öregrundsgrepen trycktes in i Forsmarks skärgård och sänkte vattentemperaturerna i området. Vid de grunda stationerna (0-3 meter) varierade vattentemperaturerna från 10,4°C till 18,6°C och påverkade sannolikt fångsterna av så kallade varmvattenarter (abborre, mört, björkna m.fl.) negativt.

Fångsterna i Forsmark bestod främst av abborre och trots att omfattningen av storvuxen abborre var något mindre under 2016 finns en positiv utvecklingen för fångster av stora abborrindivider (>25 centimeter) sedan studierna inleddes, 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 i Finbofjärden visar på starka årsklasser under bland annat 2006 och 2011. Det finns 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 på 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 abborre 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 undersökningar av mjukbottenfaunan utanför Forsmarks kärnkraftverk visade inga större skillnader när det gäller abundans och biomassa jämfört med den senaste femårsperioden. Sedan 2013 har inga större skillnader kunnat observeras på den medeldjupa stationen Länsman (FM 119) och statusen är tillbaka till vad den var innan undervattensarbetet med Fenno-Skan 2 utfördes 2011.

Hårdbottenfaunaundersökningarna från 2016 visar fortsatt stora skillnader mellan plats och år, både vad det gäller antal individer och vad det gäller biomassa. Den mest påfallande skillnaden från 2015 är en kraftig ökning av antal bottenfauna i Biotestsjön till 2016. Där den största anledningen är att märkräftan *Leptocheirus pilosus* har fortsatt att öka mycket i antal; det skedde en stor ökning redan från 2014 till 2015 och i år är nivåerna mer än 10 ggr så höga som 2015. De stora mängder individer av den invasiva musslan *Mytilopsis leucophaeata* som observerades under 2015 kunde inte ses i årets prover. Utanför Biotestsjön ter sig nivåerna vara i linje med tidigare år. Detta stärker hypotesen som föreslogs i föregående års rapport om att den reducerade driften i kärnkraftverket år 2015 var orsak till minskad efterföljande förekomst av denna mussla. 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 bör noteras att provtagningarna i Biotestsjön med Landforsplattor endast har utförts under tre år och att det därför är svårt att dra långtgående slutsatser av resultaten ännu.

Fågelinventeringarna kunde 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 framför allt i Bio-

testsjön, skulle kunna innebära en risk för framtida påverkan på de lokala fiskbestånden och på andra fågelarter i området. Det finns dock i dagsläget inga resultat 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, A. (2014). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Årsrapport för 2013. *Aqua reports 2014:5*. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 42 s.
- Adill, A., Mo, K., Sevastik, A., 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>
- Bryhn, A. C., Bergenius, M. A. J., Dimberg, P. H. and Adill, A., 2013. Biomass and number of fish impinged at a nuclear power plant by the Baltic Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185: 10073-10084
- 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): 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(2):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). Temperaturens 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. J. 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.

