



Aqua reports 2018:14

## **Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk**

Sammanfattande resultat av undersökningar  
fram till år 2017

Anders Adill, Andreas Bryhn, Erik Karlsson



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för akvatiska resurser

## Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk

Sammanfattande resultat av undersökningar fram till år 2017

Anders Adill, Andreas Bryhn, Erik Karlsson

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

Juni 2018

Aqua reports 2018:14  
ISBN: 978-91-576-9581-9 (elektronisk version)

E-post till ansvarig författare:  
[anders.adill@slu.se](mailto:anders.adill@slu.se)

Rapportens innehåll har granskats av:  
Per Holliland, **Sveriges lantbruksuniversitet**, Institutionen för akvatiska resurser  
Håkan Wickström, **Sveriges lantbruksuniversitet**, Institutionen för akvatiska resurser

Vid citering uppge: Adill, A., Bryhn, A., Karlsson, E. (2018). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk, Sammanfattande resultat av undersökningar fram till år 2017. Aqua reports 2018:14. **Sveriges lantbruksuniversitet**, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund Drottningholm Lysekil. 81s.

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

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

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

Uppdragsgivare & finansör: Forsmarks kraftgrupp AB.

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

## Sammanfattning

Forsmarks kärnkraftverk är en av Sveriges största producenter av elektrisk energi. På grund av intag och utsläpp av kylvatten från havet som kyler processen i verket sker en påverkan på den omgivande kustvattenmiljön. Denna påverkan övervakas och analyseras i det pågående biologiska recipientkontrollprogrammet. Föreliggande femårsrapport sammanfattar långsiktiga och pågående trender i samhällena av fisk, mjuk- och hårbottenfauna samt sjöfågel. Rapporten kommer att utgöra ett viktigt kunskapsunderlag inför fastställande av ett långsiktigt biologiskt recipientkontrollprogram för Forsmark Kraftgrupp AB från 2019 och framåt.

Den mest påtagliga akvatiska miljöpåverkan från Forsmarksverket sker i silstationen vid kylvattensintaget, där fisk fastnar i bandsilarna. Antalet fisk som dödas där har ökat kraftigt under de senaste två åren. Ökningen kan delvis tillskrivas den effekthöjning som har skett vid Forsmarksverket, vilken har ökat användningen av kylvatten. Vårprovtagningarna i silstationen visade att förlusterna uppgick till cirka 39 miljoner individer 2017, medan höstprovtagningarna samma år angav förlusterna till cirka 24 miljoner individer. Fiskförlusterna består av de arter som förekommer naturligt i Bottenhavet och Egentliga Östersjön, men framför allt av småväxta fiskarter som storspigg (*Gasterosteus acelatus*), småspigg (*Pungitius pungitius*) och mindre havsnål (*Nerophis ophidion*). Storspigg och småspigg har ökat i förekomst i havsbaserade provtagningar, vilket delvis kan förklara varför fler individer av dessa arter återfinns bland silstationernas fiskförluster. Vissa år har även stora antal årssyngel av strömming (*Clupea harengus*) omkommit i silstationen. Från ett hundratal till drygt tusen exemplar av den rödlistade arten europeisk ål (*Anguilla anguilla*) har omkommit i silstationen varje år.

Påverkan från Forsmarksverket sker även genom utsläpp av uppvärmt vatten i reservoaren Biotestsjön, och vidare i dennas utlopp i Forsmarks skärgård. Detta gynnar fiskarter med höga temperaturoptima och missgynnar fiskarter med låga temperaturoptima. Varmvattenarterna abborre (*Perca fluviatilis*) och mört (*Rutilus rutilus*) förekommer i höga tätheter i Biotestsjön och har likt varmvattenarterna gers (*Gymnocephalus cernua*), björkna (*Abramis bjoerkna*) och sarv (*Scardinius erythrophthalmus*) blivit mer vanligt förekommande. Abborryngel är exceptionellt stora i Biotestsjön jämfört med omgivande vatten. Däremot har inte yngeltätheten ökat i Biotestsjön, vilket kan tyda på rekryteringssvårigheter eller stor andel av nykläckta yngel spolat ut ur Biotestsjön. Kallvattenarter som öring (*Salmo trutta*) och sik (*Coregonus lavaretus*) undviker Biotestsjön under stora delar av året men vandrar in i perioder under vintern.

Påverkan på Forsmarks skärgård är också påtaglig, men sker i mindre omfattning jämfört med Biotestsjön. Tillväxten hos unga abborrar har ökat de senaste åren. Perioden fram till 2008 karakteriserades fisksamhället av ett relativt stort inslag av varmvattenarter. De senaste nio åren har den relativa förekomsten av varmvattenarter minskat. Däremot har fisksamhället fått ett större inslag av strömming och gers, två arter som ökat i området. Ett provfiske med samma fångstredskap och på samma årstid sker i referensområdet Finbofjärden på

Åland. I Finbofjärden har större provfångster erhållits och inslaget av kallvattenarter som nors (*Osmerus eperlanus*), hornsimpa (*Myoxocephalus quadricornis*) och skrubbskädda (*Platichthys flesus*) är större än i Forsmarks skärgård. Det finns en tendens att varmvattenarterna i området har ökat, exempelvis björkna uppvisar en positiv utveckling.

Påverkan på bottenfaunasamhället i Biotestsjön är tydlig och varmvattenkänsliga arter missgynnas eller har försvunnit. Påverkan på bottendjurssamhället utanför Biotestsjön är mindre påtaglig än påverkan på fisksamhället. Östersjömussla (*Limecola balthica*) har uppvisat en positiv trend i de djupare delarna av Öregrundsgrepen det senaste decenniet men musslan verkar ha stabiliserat sig i tätheter och biomassa under de senaste fem åren. En liknande utveckling har dock skett i Finbofjärden. Den invasiva havsborstmasken *Marenzelleria* spp. har på senare år minskat i tätheter i utsläppsområdet. En annan invasiv art är musslan *Mytilopsis leucophaeata* (Brackvattenmussla) som är vanligt förekommande på hårda botten i Biotestsjön och har potential att etablera sig i kylvattenintaget och på så sätt orsaka produktionsstörningar.

Det varma utsläppsvattnet skapar gynnsamma förhållanden för sjöfågel i Biotestsjön och skärgården eftersom stora vattenytor hålls isfria på vintern. Intagsområdet Asphällafjärden har ökat sin attraktionskraft för sjöfågel över tid. I Forsmarksområdet har vigg (*Aythya fuligula*), knipa (*Bucephala clangula*) och mellanskarv (*Phalacrocorax carbo sinensis*) varit särskilt vanligt förekommande. De senaste åren har mellanskarven genomfört häckningar i Biotestsjön och kan på sikt utgöra stor påverkan på fisksamhället i anläggningen på grund av dess betydande konsumtion av fisk.

## Abstract

The Forsmark Nuclear Power Plant is one of Sweden's largest producers of electrical energy. Due to the intake and effluent of cooling water from the sea, the surrounding coastal water environment is affected. This influence is monitored and analysed in the ongoing biological recipient control program. The present five-year report compiles long-term and ongoing trends in fish, hard- and soft-substrate benthic fauna, and seabirds. This report will constitute an important knowledge base for the establishment of a long-term biological recipient control program for the Forsmark Power Group, Inc (Forsmark Kraftgrupp AB) from 2019 onwards.

The most apparent effect on the aquatic environment from the Forsmark plant occurs in the cooling water intake stations, where fish are impinged on intake screens. The number of fish which are killed there has increased sharply over the past two years. This increase can partly be attributed to the increased output of the Forsmark plant, resulting in a greater intake of water. The spring sampling in the coolant intake station showed that the losses reached approximately 39 million fish in 2017, while the autumn sampling the same year estimated the losses to about 24 million individuals. The impingement losses consist of the fish species which occur naturally in the Bothnian Sea and the Baltic Proper, in particular small-bodied fish species such as three-spined stickleback (*Gasterosteus acelatus*) and nine-spined stickleback (*Pungitius pungitius*) and straightnose pipefish (*Nerophis ophidion*). Sticklebacks have increased in abundance in sea-based surveys, which can partly explain why more individuals of these species occur among the impingement losses. In some years, large numbers of young-of-the-year herring (*Clupea harengus*) were impinged in the intake station. Between a hundred to a thousand specimens of the red listed species European eel (*Anguilla anguilla*) have died in the intake stations every year.

Effects from the Forsmark plant also occur by means of the release of heated water into the Biotest basin, and further in the discharge of the latter into the Forsmark Archipelago. This release benefits fish species with high temperature optima and disfavours fish species with low temperature optima. The warmwater species perch and roach occur in high densities in Biotest basin and have increased in abundance, as have the warmwater species ruffe (*Gymnocephalus cernua*), white bream (*Abramis bjoerkna*) and rudd (*Scardinius erythrophthalmus*). Juvenile perch are exceptionally large in Biotest basin compared to surrounding waters. However, the density of juvenile fish has not increased in Biotest basin, which can indicate recruitment difficulties or that a substantial portion of juveniles are flushed out. Coldwater species such as trout (*Salmo trutta*) and whitefish (*Coregonus lavaretus*) avoid Biotest basin during large parts of the year but visit periodically during winter.

The Forsmark Archipelago is also affected, albeit less apparently than Biotest basin. The growth of young perch has increased in recent years. During the last nine year period there has been a trend of decreasing warmwater species relative occurrence in the fish community in the Forsmark Archipelago. In the same period there are positive trends for ruffe and herring in the area. Test fishing using the same gear and in the same season is performed in the

reference area Finbofjärden at Åland. In Finbofjärden, larger catches have been obtained and the occurrence of coldwater fish species such as smelt (*Osmerus eperlanus*), fourhorn sculpin (*Myoxocephalus quadricornis*) and flounder (*Platichthys flesus*) is greater than in the Forsmark Archipelago. In Finbofjärden there is a positive trend for the warmwater species white bream.

The effect on the benthic fauna in Biotest basin is obvious and species sensitive to high temperatures have been disfavoured or have disappeared. The effect on the benthic fauna outside of Biotest basin is less apparent than the effects on the fish community. The Baltic clam (*Limecola balthica*) has had a positive trend in the deeper parts of Öregrundsgrepen during the last decade, but both abundance and biomass appear to have stabilised during the past five years. A similar development has, however, been noted at Finbofjärden. The invasive polychaetes *Marenzelleria* spp. has decreased during recent years in Forsmark Archipelago. Another invasive species is the mussel *Mytilopsis leucophaeata* (Conrad's false mussel) which commonly occurs at hard substrates in the Biotest basin and has the potential to establish colonies in the cooling water intake and thereby cause production disturbances.

The warm cooling water discharge creates beneficial conditions for seabirds in Biotest basin and the archipelago because large water surfaces remain ice free in winter. The cooling water intake area Asphällafjärden has attracted more seabirds over time. In the Forsmark area, tufted duck (*Aythya fuligula*), common goldeneye (*Bucephala clangula*) and great cormorant (*Phalacrocorax carbo sinensis*) are particularly common. In recent years, great cormorant has nested in Biotest basin and could in the long run, due to their substantial fish consumption, greatly affect the fish community.

## Innehållsförteckning/Table of contents

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
1.1	Rapportens innehåll och syfte	7
1.2	Bakgrund	7
1.3	Biotestsjön	11
1.4	Fiskgallret i Biotestsjöns utlopp	12
1.5	Effekthöjning i kärnkraftverket	12
1.6	Forskningsverksamhet inom kylvattenanvändningen	13
<b>2</b>	<b>Effekter av kylvattenanvändning</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Metodik</b>	<b>18</b>
3.1	Biologiska recipientkontrollprogrammet	18
3.2	Biologiskt recipientkontrollprogram 2017	20
3.2.1	Silstationerna	20
3.2.2	Biotestsjön	21
3.2.3	Forsmark och Finbofjärden	22
3.2.4	Bottenfauna	24
3.2.5	Fågelinventeringar	27
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>29</b>
4.1	Silstationen	29
4.2	Biotestsjön	33
4.3	Forsmark och Finbofjärden	43
4.4	Bottenfauna	50
4.4.1	Mjukbottenfauna	50
4.4.2	Hårdbottenfauna	52
4.5	Fågelinventeringar	55
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>60</b>

5.1	Fiskförluster i silstationerna	61
5.2	Utveckling för fisksamhället i Biotestsjön	64
5.3	Utvecklingen för fisksamhället i Forsmarks skärgård	66
5.4	Bottenfaunaundersökningar	68
	5.4.1 Mjukbottenfauna	68
	5.4.2 Hårdbottenfauna	68
5.5	Fågelinventeringar inom kontrollprogrammet	69
5.6	Framtidens biologiska recipientkontrollprogram	71
	5.6.1 Biotestsjön	71
	5.6.2 Forsmarks skärgård och referensområde Finbofjärden	73
	5.6.3 Bottenfauna	73
	5.6.4 Fågelinventeringar	74
	<b>Referenslista</b>	<b>75</b>
	<b>Bilaga 1</b>	<b>79</b>
	Varaktighet	79
	Intensivprogram för Biotestsjön 2004-2007	79
	Kontroll av strömmingsrekrytering i Öregrundsgrepen 2004-2007	80
	Baskontrollprogram för Öregrundsgrepen 2004-2007	80



# 1 Inledning

## 1.1 Rapportens innehåll och syfte

Forsmarks kärnkraftverk är en av Sveriges största elproducenter och har varit i drift sedan år 1980. Dess påverkan på de omgivande kustekosystemen undersöks kontinuerligt. Denna rapport redovisar resultat från den biologiska kontrollverksamheten i vattenrecipienten utanför Forsmarks kraftstation fram till 2017 och sammanfattar långsiktiga och pågående trender i samhällena av fisk, mjuk- och hårbottenfauna samt sjöfågel. Rapporten ger dessutom en beskrivning av det biologiska recipientkontrollprogrammet för Forsmarks kärnkraftverk och hur programmet har utvecklats under åren för att få den utformning det har år 2018. Syftet med föreliggande rapport är att sammanfatta kunskapsläget i kontrollverksamheten och utvärdera det biologiska recipientkontrollprogrammet för Forsmarks kärnkraftverk. Rapporten kommer att utgöra ett viktigt underlag inför fastställande av ett långsiktigt biologiskt recipientkontrollprogram för Forsmark Kraftgrupp AB från 2019 och framåt.

## 1.2 Bakgrund

Forsmarks kärnkraftverk är beläget vid kusten i nordöstra Uppland. Placeringen av kraftverket föregicks av omfattande förundersökningar och basundersökningar för att fastställa en lämplig plats för utformning av kylvattnets intags- och utsläppsanordningar (figur 1) (Ehlin m.fl. 2009). Kärnkraftverket producerar 20-25 TWh elektrisk energi årligen. Anläggningen har tre kokvattenreaktorer, varav den första togs i drift 1980 (Forsmark 1) och de andra två 1982 (Forsmark 2) och 1985 (Forsmark 3).



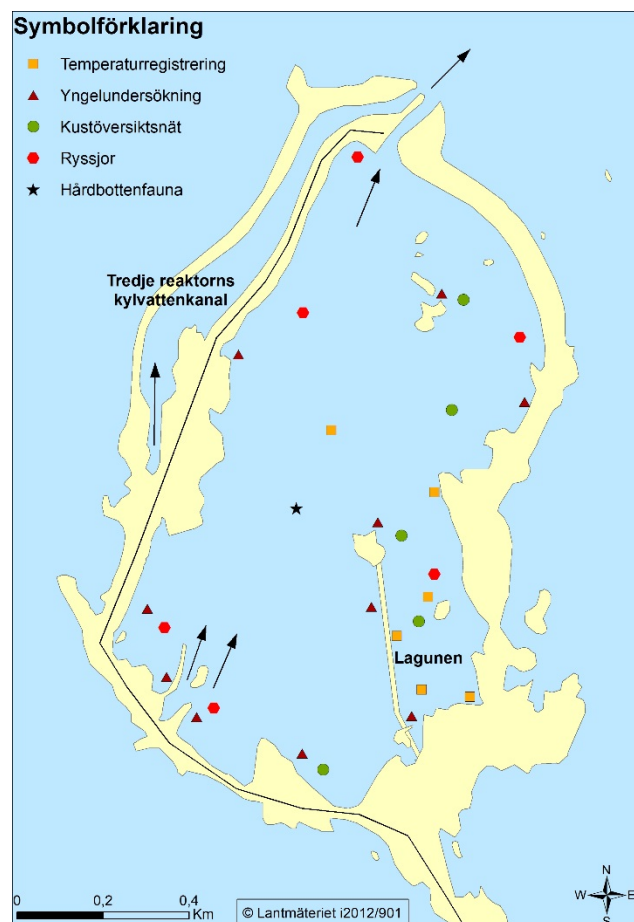
Figur 1. Översikt av undersökningsområdet i södra Bottenhavet och lägena för intagskanalen till kraftverket via Asphällafjärden, Biotestsjön, närrecipienten i Forsmarks skärgård samt lokaliseringen av referensområdet Finbo.

Energiproduktionen i de tre reaktorerna kräver cirka 140 m<sup>3</sup> kylvatten per sekund. Vattnet tas in till kraftverket via en kanal från en närliggande havsvik (Asphällafjärden) (figur 1). Kylvattnet kyler ner kärnkraftverkets kondensorer samt den vattenånga som de transporterar och som bildas inne i kärnreaktorerna. Kylvattnet som tas in i kärnkraftverket värms upp med cirka 11°C innan det pumpas ut till Biotestsjön (reaktor 1 och 2) eller till en kanal i anslutning till Biotestsjön (reaktor 3) (figur 2 och 3). Biotestsjön är ett cirka 90 hektar invallat område för mottagare av kylvatten och byggdes initialt för forskning och uppföljning av kylvattnets effekter på miljön, se avsnitt 1.3 Biotestsjön (figur 2 och 3). Biotestsjön är det område som är mest påverkat av temperaturhöjningen. Kylvattnet pumpas in i Biotestsjöns södra del och släpps ut till det omgivande havsområdet Öregrundsgrepen genom utsläppet i den norra delen. Fram till maj 2004 var Biotestsjön ett slutet område och utsläppspunkten i den norra delen var utrustad med fiskgaller. På detta vis begränsades fiskar större än cirka 10 centimeters längd från att passera ut och in i anläggningen. Vid Biotestsjöns södra del byggdes ett reservutskov som skulle kunna öppnas för att leda ut kylvatten när gallret vid det ordinarie utloppet behövde underhållas eller stängas. Detta inträffade tidvis i relativt stor omfattning, och då leddes kylvattnet i stället direkt in i Forsmarks skärgård (Sandström 2002).



*Figur 2.* Biotestsjön sett söderifrån. Inloppet av kylvatten till anläggningen syns till vänster och utloppet till Öregrundsgrepen längst upp i bilden.

För att följa upp hur kärnkraftverket påverkar sitt närområde utförs kontinuerliga miljöundersökningar i ett särskilt biologiskt recipientkontrollprogram. Studier i omgivande vattenmiljö utförs framförallt för att se hur den omfattande kylvattenanvändningen vid kraftverket påverkar fisk och andra vattenlevande organismer längs kusten.



Figur 3. Punkter för provtagning av fisk- och bottenfaunasamhällen samt temperatur i Biotestsjön

Undersökningarna 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. 2017). Fördjupade utvärderingar har genomförts ungefär 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 kontrollprogrammet. Utöver rapporteringar inom det biologiska

recipientkontrollprogrammet har ytterligare fördjupade rapporter genomförts som kan kopplas till verksamheten i Forsmarks kärnkraftverk; Effekthöjningsprogrammet vid Forsmarks kärnkraftverk, sammanfattande rapport från de tre första årens undersökningar (Adill m.fl. 2014) och Undersökning av hårbottenfauna vid Forsmarks kärnkraftverk, metodikutveckling av artificiella substrat för övervakning av bottenfaunasamhällen på områden som saknar sediment (Adill m.fl. 2015).

### 1.3 Biotestsjön

Biotestsjön är en cirka 90 hektar stor invallad vattenreservoar och är det område som är mest påverkat av uppvärmt kylvatten (figur 2 och 3). Biotestsjön byggdes i samband med att kylvattenvägarna vid Forsmarks kärnkraftverk anlades. Då sprängdes bergtunnlar under havsbotten i Forsmarks innerskärgård och det uppstod stora mängder sprängmassa. Dessa användes för att valla in en del av utsläppsområdet. Syftet med Biotestsjön var att skapa möjlighet till forskning för att studera effekter av kylvattenutsläppet på omgivande miljö. Biotestsjön tar emot kylvatten från reaktor 1 och 2, medan en kanal i nära anslutning tar emot kylvatten från reaktor 3.

Biotestsjön färdigställdes 1977. Driften av reaktor 1 påbörjades våren 1980 och då började uppvärmt kylvatten strömma in. Två år senare, 1982, startade produktionen vid reaktor 2 och kylvattenutsläppet till anläggningen blev maximalt 90 000 liter per sekund. Genom tillståndet att höja den termiska effekten i kraftverket har kylvattenflödet ökat och har under de senaste åren varit cirka 103 000 liter per sekund. Vid normal produktion höjs temperaturen i kylvattnet med cirka 11°C när det passerar kondensornerna. I Biotestsjön är temperaturen normalt ungefär 8°C varmare än vid kraftverkets kylvattenintag. Ett undantag är området Lagunen, där temperaturen är lägre, vanligtvis 3-4°C svalare än i de centrala delarna av Biotestsjön.

I samband med anläggningen försågs Biotestsjön med ett galler vid sitt utlopp, för att hindra större fisk från att vandra in och ut från området. Detta fiskgaller stoppade fisk ner till en storlek på cirka 10 cm längd. Vid Biotestsjöns södra del byggdes ett reservutskov som skulle kunna öppnas för att leda ut kylvatten när det ordinarie utloppet behövde underhållas eller stängas. Detta inträffade tidvis i relativt stor omfattning, och då leddes kylvattnet i stället direkt in i Forsmarks skärgård (Sandström 2002). Sedan våren 2004 har Biotestsjön varit ett öppet system. Då avlägsnades fiskgallret och all fisk fick möjlighet att vandra in och ut ur anläggningen. I samband med gallerborttagandet blev reservutskovet överflödigt, eftersom det inte längre fanns behov av underhållsarbete vid utsläppet. Detta resulterade i att inget kylvatten har släppts ut i Forsmarks innerskärgård sedan 2004.

På grund av det starka vattenflödet är vattnets omsättningstid i Biotestsjön mycket kort. Den största delen av kylvattnet rinner igenom anläggningen på cirka 3-6 timmar. I områden där genomströmningen är som störst är botten eroderad och botten-substratet består av berg, sten och grus. I de mer skyddade delarna av Biotestsjön finns vissa inslag av sediment kvar.

## 1.4 Fiskgallret i Biotestsjöns utlopp

Med anledning av begäran från Forsmark Kraftgrupp AB om att ta bort fiskgallren vid Biotestsjöns utlopp gjordes 2002 en utredning av Fiskeriverket (numera Institutionen för akvatiska resurser vid Sveriges lantbruksuniversitet; SLU Aqua) om möjligheterna att göra detta sett ur forskningens perspektiv. Parallellt med detta genomfördes en utredning om miljökonsekvenserna för dåtidens kylvattenanvändning i Forsmark samt effekterna om Biotestsjöns fiskspärr skulle avlägsnas (Neuman & Sandström 2002). I utredningen om miljökonsekvenserna av att fiskspärren skulle tas bort gjordes bedömningar att effekter på fisk, bottenfauna och fågel skulle ske både i Biotestsjön och i området utanför anläggningen.

Utredningarna resulterade i att det ansågs möjligt att ta bort fiskspärren 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 till ett intensivprogram för att följa förändringarna hos fisk- och bottenfaunabestånden i recipientområdet efter avlägsnandet av gallret och detta program drevs fram till 2008. En stor del av undersökningarna under denna period fokuserade 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).

## 1.5 Effekthöjning i kärnkraftverket

Under 2008 lämnade miljödomstolens deldom M 1666-07/M 5786-07 tillstånd för Forsmark Kraftgrupp AB (FKA) att enligt miljöbalken höja den termiska effekten vid kärnkraftverket från 9 156 MW till 10 281 MW. När effekthöjningen var slutförd beräknades kylvattenflödet ha ökat med cirka 20 procent till 170 kubikmeter per sekund för samtliga tre anläggningar och utsläppstemperaturen i Biotestsjön förväntades höjas från 10,3°C till 11,0°C. I samband med effekthöjningarna i kärnkraftverket förväntades den fysiska vattenmiljön och dess organismer påverkats främst genom ökat kylvattenflöde och därmed ytterligare höjda vattentemperaturer

i närrecipienten. Enligt prövotidsförordnanden i domen skulle det avgöras vilken betydelse den ökade vattenbortledningen av kylvatten och den ökade värmeförseln till havet kunde få för det allmänna fiskeintresset. FKA skulle i samråd med Fiskeriverket (numera med SLU Aqua), som är tillförordnad sakkunnig i utredningen, undersöka påverkan på fisket av den ökade vattenbortledningen och den ökade värmeförseln enligt program (effekthöjningsprogrammet) som Fiskeriverket och FKA kom överens om. Resultatet av utförda undersökningar och utredningar med förslag till slutligt avgörande av frågorna skulle redovisas till miljödomstolen senast fem år från det att effekthöjningarna tagits i drift. Förstudierna av effekthöjningsprogrammet genomfördes under åren 2009-2014 och resultaten och kunskapsunderlaget presenterades i en rapport år 2014 (Adill m.fl. 2014).

## 1.6 Forskningsverksamhet inom kylvattenanvändningen

Den långsiktiga kontrollverksamheten vid Forsmarks kärnkraftverk, som varit direkt kopplade till myndigheternas tillståndsgivning och övervakning, har periodvis varit omfattande. Parallellt med denna övervakning har dessutom forsknings- och utvecklingsverksamhet bedrivits, för att utöka kunskapen om kylvattenutsläppens miljöeffekter. Forskningen har i huvudsak varit en komplettering till kontrollverksamheten och var som mest omfattande och intensiv vid etableringen av Forsmarks kärnkraftverk samt under de första drygt tio åren med kraftverket i drift. Finansieringen av ekologiska forskningsprojekt har i perioder skett genom myndigheter; Statens vatteninspektion, Statens naturvårdsverk och Fiskeriverket, samt från kraftindustrin själva genom Vattenfalls Miljövårdsstiftelse (Ehlin m.fl. 2009). I Biotestsjön prioriterades projekt med utgångspunkt för ekologiska miljöeffekter av varmvattenutsläpp. I början av 1990-talet upphörde kraftindustrins finansiering av kylvattenforskning. De ansåg vid den tiden att de allvarligaste effekterna för intag- och utsläpp av kylvatten var kartlagda och att många farhågor inte hade besannats. Sedan 1993 och fram till 2010-talet var forskningsverksamheten kring ekologiska effekter av kylvatten i liten omfattning. Under de senaste åren har dock intresset för klimatforskning intensifierats och för effekter för akvatiska organismer av framtida globala uppvärmning. För att studera effekterna av uppvärmt vatten är Biotestsjön och dess omgivning en nästintill idealisk plats. Under den senaste tioårsperioden har forskningsgrupper från olika svenska universitet genomfört studier i Forsmarksområdet och intresset för att bedriva forskning i området växer.

## 2 Effekter av kylvattenanvändning

Den stora volym havsvatten som krävs för att kyla kondensornas vid energiproduktionen har visat sig ha en direkt miljöpåverkan i närområdet. Dessa effekter på omgivande miljö har dokumenterats i samband med kärnkraftverkets kontrollprogram och de särskilda forskningsprogram som upprättats.

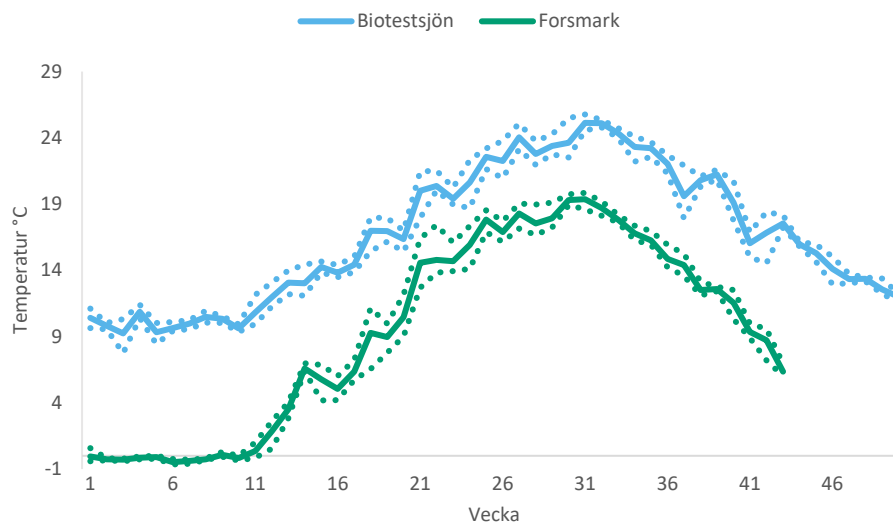
Kylvatten (brackvatten) som tas in via Asphällafjärden innehåller stor mängd levande organismer, som följer med in i kraftverket i samband med intaget. De största organismerna avskiljs med stora bandsilar vid intaget till kraftverket för att inte kylsystemen skall skadas eller täppas igen. Fisk och maneter hör till de organismer som fastnar i silarna och dör. Fiskförlusternas omfattning har under åren varierat kring cirka 10–40 miljoner individer per år och har främst utgjorts av småväxta fiskarter som storspigg, småspigg och mindre havsnål, eller yngel (Adill m.fl. 2013; Bryhn m.fl. 2013; Adill m.fl. 2016).

Mindre organismer, till exempel djurplankton, växtplankton och nykläckta fiskyngel kan däremot passera genom silarna. Dessa utsätts för stora tryck- och temperaturförändringar när kylvattnet når kondensornas. Denna påverkan på planktonorganismerna är som regel inte direkt dödlig. Dock kan mekaniska skador uppstå som senare leder till att de dör (Sandström 1990). Däremot sker ett stort bortfall av djurplankton längs kylvattenvägarna ut från kraftverket. På tunnlarnas väggar har filtrerande djur etablerat sig, till exempel havstulpaner och musslor, som konsumerar enorma mängder plankton (Sandström 1990; Ehlin m.fl. 2009). Under ett år uppgår förlusterna av kräftdjurplankton i Forsmarks kylvattensystem till över etthundra ton. Störst påverkan har noterats för hoppkräftor (copepoder), av vilka uppemot 50 % förloras i kylvattenvägarna (Sandström, 1990; 1991). Fiskägg och fisklarver är i regel mer känsliga för tryck- och temperaturhöjningar än plankton, och kan dö strax efter passagen (Sandström 1990).

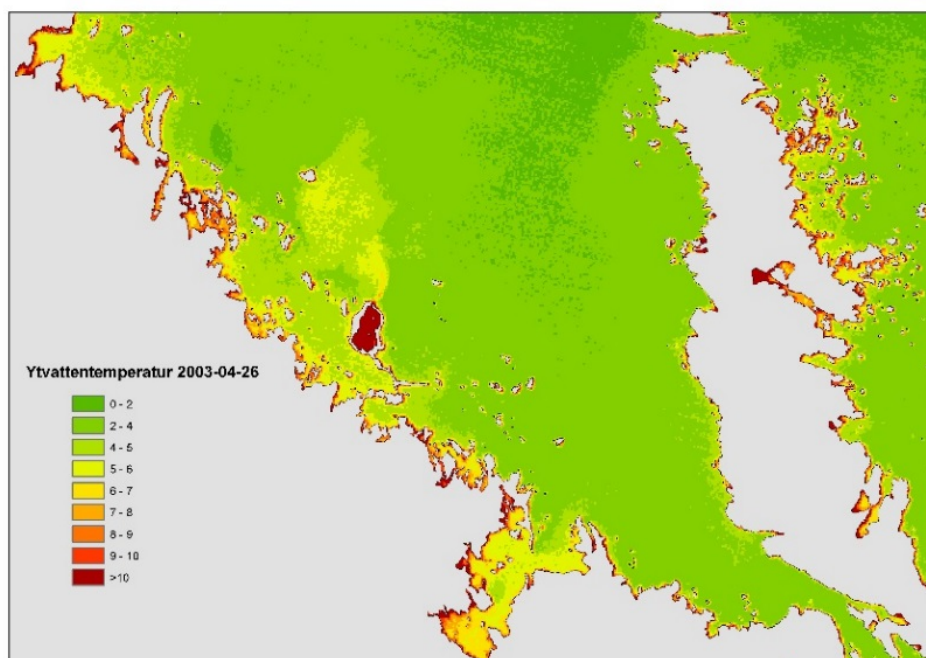
Det utgående kylvattnet påverkar kustområdets organismer på en rad olika sätt. Påverkan beror främst på att kylvattnet orsakar en höjning av närområdets vattentemperatur (figur 4a och 4b). Fiskar och andra vattenlevande djur är växelvarma, vilket innebär att de har samma temperatur som sin omgivning. De är i och med



detta anpassade för att i så stor omfattning som möjligt flytta sig till temperaturförhållanden som är optimala för deras fysiologi. Hur en individuell fisk reagerar på en förhöjd vattentemperatur beror dels på dess genetiska egenskaper, dels på hur väl den är anpassad till sin lokala miljö. En del arter, som mört och abborre, är så kallade varmvattenarter och har en högre temperaturpreferens. Dessa söker sig till områden med högre vattentemperatur under stora delar av året. Kallvattenarter som strömming och sik, å andra sidan, kommer att undvika varmare vattenlager, till exempel de i kylvattenutsläppets närhet, under den största delen av året. Under sen höst och vinter är förhållandena nära kylvattenutsläppet dock gynnsamma även för kallvattenarter, som då kan söka sig dit.



*Figur 4a.* Vattentemperaturer i Biotestsjön och Forsmarks skärgård (Ön) under 2017. Helledragen linje anger medeltemperaturen per vecka och streckade linjer minimum- och maxtemperatur under respektive vecka.



Figur 4b. Satellitbild som illustrerar ytvattentemperatur i Öregrundsgrepen år 2003. I mitten av bilden syns Biotestsjön med förhöjda vattentemperaturer (rött). I Biotestsjöns norra del syns kylvattenutsläppet till Öregrundsgrepen och en norrgående kylvattenplym med varmare vatten jämfört med omgivningen (gult).

Studier av sjöfågelsamhällen inom kontrollprogrammen har tydligt visat hur driften av kärnkraftverket har påverkat områdets fågelliv. Kuststräckan vid Forsmark har historiskt sett varit en viktig rastplats för sjöfågel, främst för sträckande fåglar (Sandström m.fl. 2002). Sedan Biotestsjön färdigställdes och uppvärmt kylvatten började strömma igenom anläggningen har området fått ökad betydelse för fåglarna. Eftersom Biotestsjön, stora delar av utsläppsområdet i Öregrundsgrepen och intagsområdet i Asphällafjärden förblir isfria under vintern skapar detta förutsättningar för fågel att övervintra. Dessa betingelser har gjort att många sjöfåglar föredrar att stanna kvar i Forsmark under vinterhalvåret istället för att flytta söderut (Sandström m.fl. 2002). Förekomsten av sjöfågel i recipienten är som störst under vinterhalvåret, och då är även observationerna av de arter som ingår i kontrollprogrammet som högst (Adill m.fl. 2013).

Kylvattenutsläppet påverkar även bottenfauna och andra bottenbaserade organismer. Stora förändringar har skett i bottenfaunans artsammansättning sedan kraftverket togs i drift (Sandström & Svensson 1990). Förändringarna kan relateras dels till ändrade fysiologiska förhållanden som direkt påverkar djurens tillväxt och över-

levnad, men även till indirekta effekter. Till exempel kan dödligheten av bottenfauna påverkas av förändringar i mängden fisk och fågel, eftersom dessa äter bottenjur i stor omfattning, och även tillgången på bottenfaunans egen föda kan förändras (Mo m.fl. 1996). Bottenfaunasamhällets artsammansättning påverkas därtill starkt av hur havsbotten ser ut. Närmast kylvattenutflödet är bottenkraftigt eroderade på grund av den starka vattenströmmen. Områden som tidigare bestod av mjukbotten har gradvis övergått till hårbotten sedan kärnkraftverket byggdes. Undersökningar i Biotestsjön visar att vissa arter som tidigare har dominerat i området har minskat sedan kärnkraftverket togs i drift. Samtidigt har andra arter ökat, ofta sådana som är mer toleranta mot en föränderlig miljö. Parallella förändringar har även setts hos undervattensvegetationen i Biotestsjön (Sandström & Svensson 1990). Vissa arter minskade i omfattning i ett tidigt skede av kraftverkets drift, i samband med att kylvattnet började strömma genom anläggningen. Till de arter som minskade hörde olika arter av nate och kransalger. Den tidigare vanligt förekommande blåstången och hårsärv försvann helt, medan grönalger blev desto vanligare (Sandström & Svensson 1990).

## 3 Metodik

### 3.1 Biologiska recipientkontrollprogrammet

När Forsmarks kärnkraftverk togs i drift 1980 övergick för- och basundersökningar till kontrollundersökningar enligt villkor som föreskrivits av Koncessionsnämnden och Österbygdens vattendomstol (dessa har ersatts av miljödomstolen) för drift av anläggningen (Ehlin m.fl. 2009; Thoresson 1992). Påverkan på omgivningen, särskilt kylvattnets biologiska effekter och utsläppens betydelse för fisket, skulle kontrolleras enligt program som utarbetats av Vattenfall och som godkänts av tillsynsmyndigheten Länsstyrelsen i Uppsala län. Koncessionsnämnden föreskrev att samråd skulle ske med Statens naturvårdsverk, SMHI och Fiskeriverket (numera SLU Aqua) när man upprättar programmen. Fiskeriverkets kustlaboratorium i Öregrund skrevs som ansvarig för genomförande av recipientkontrollprogrammet.

Inledningsvis var undersökningarna intensiva och omfattade såväl hydrografiska som biologiska undersökningar och skulle ge svar på kylvattenanvändningens effekter på den omgivande miljön. Undersökningarna av biologiska variabler bestämdes i hög grad av påverkan på det lokala fisket av kylvattenanvändningen, och den övervägande delen av programmet bestod av fiskundersökningar. Undersökningar för andra nivåer av ekosystemet kompenseras genom forskningsinsatser (Ehlin m.fl. 2009). Resultaten av undersökningarna inom kontrollundersökningarna rapporterades årligen samt i fördjupade rapporter vart femte år (Sandström 1985; Sandström 1990; Mo m.fl. 1996; Sandström m.fl. 2002).

Inför borttagande av gallren vid utloppet i maj 2004 togs ett reviderat kontrollprogram fram. Detta så kallade intensivprogram var en uppgradering av föregående femårsperiods baskontrollprogram och skulle gälla perioden 2004-2008 (bilaga 1). Förändringarna berörde framför allt provfiskena som anpassades till att kunna avgöra om anlockning av fisk skedde in till anläggningen och när på året detta i så fall inträffade. Programmet skulle bland annat kunna besvara frågor om omfattning av

invandring av fisk till anläggningen, om yngelproduktionen i förändrades i Biotestsjön, om frekvensen av symtom för sjukdomar och parasiter hos fisk förändrades, hur statusen för beståndet av ål påverkades i Biotestsjön och om bottenfaunasamhället i Biotestsjön påverkades som en effekt av betning från invandrad fisk. Intensivprogrammet var uppdelat i två områden, Öregrundsgrepen och Biotestsjön, även om de flesta och mest omfattande undersökningarna genomfördes i Biotestsjön. Resultaten inom intensivprovtagningen presenterades i en fördjupad rapport 2010 (Karås m.fl. 2010) och beskrev de förändringar och trender som uppkommit i samband med borttagandet av fiskgallret. Ytterligare en rapport presenterades 2013 som sammanfattade resultat och trender i recipientkontrollen fram till 2012 (Adill m.fl. 2013). Gemensamt för dessa rapporter var att de belyste många av de förändringar som skett i Biotestsjön och i Forsmarksområdet, bland annat ökad anlockning och skyende av fisk till, respektive från Biotestsjön, förändrade tillväxtnöster hos abborre i Forsmarksområdet och ökad lekaktivitet från främst abborre och mört i Biotestsjön. En av målsättningarna med arbetena inom intensivprovtagningen 2004-2008 var att utifrån analyser av resultaten presentera ett reviderat förslag på ett långsiktigt biologiskt baskontrollprogram för perioden 2008 och framåt. Det skulle även vara möjligt att genomföra revideringar under perioden för intensivprogrammet, om kontrollresultaten i provtagningarna motiverade detta. Dessa ändringar skulle genomföras i samband med årliga resultatpresentationer vid möte mellan FKA, länsstyrelsen och Fiskeriverket.

Undersökningarna inom intensivprogrammet förblev oförändrade under hela provtagningsperioden och kunde genomföras enligt plan. De omfattande undersökningarna inom programmet skapade ett stort kunskapsunderlag för hur fisk-, bottenfauna- och fågelsamhällena påverkades av att fiskspärren i Biotestsjön togs bort. Utifrån analyser av kontrollresultaten från 2008 kunde programmet återgå till ett så kallat baskontrollprogram och undersökningarna reducerades och utformades för att ge svar på hur kärnkraftverket påverkar miljön och dess organismer i sitt närområde. De största förändringarna som infördes i programmet under 2008 var reduceringar av provfiskena i Biotestsjön och borttagande av bottenfaunaundersökningar i Biotestsjön. Dessutom avslutades kontrollerna av strömmingsrekrytering i Öregrundsgrepen, som var en riktad åtgärd under intensivprovtagningens åren.

Under den senaste tioårsperioden, från 2008 och fram till 2017, har undersökningarna genomförts enligt årligen fastslagna program. I samband med resultatredovisningar vid årliga möten mellan FKA, länsstyrelsen och SLU Aqua har resultaten i undersökningarna diskuterats och möjligheter till revideringar givits inom det biologiska recipientkontrollprogrammet. En viktig del i revideringarna har varit att optimera undersökningarna med hänsyn till kostnader och etiska frågeställningar. Det har varit viktigt att få programmet mer kostnadseffektivt samt att minska fiskdödligheten i till exempel nätprovfiskena. Förändringar som införts är bland annat

minskade omfattningar för fiskundersökningarna i Biotestsjön samt reducering av bottenfaunaundersökningarna i referensområdet i Finbofjärden. Det har även tillkommit undersökningar i programmet i form av hårbottenfaunastudier i Forsmarksområdet. En utvärdering av dessa undersökningar genomfördes efter tre års provtagningar och presenterades år 2015 (Adill m. fl. 2015).

## 3.2 Biologiskt recipientkontrollprogram 2017

Provtagningarna inom recipientkontrollprogrammet 2017 har genomförts enligt fastslagen plan. 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).

Trendanalyser av data genomförs i de flesta fall med ln-transformerade data eftersom biologiska variabler ofta är lognormalfördelade. För att indikera statistisk signifikans i trendanalyser tillämpas 95 % konfidensnivå ( $p \leq 0,05$ ; Fisher 1925). Multivariat analys genomförs på kvadratrotstransformerade ( $\sqrt{[x+1]}$ ) data enligt rekommendationer från Patrik Kraufvelin (pers. komm.). Analys av data genomförs i mjukvarorna R v. 3.2.2 (R Foundation), PAST v 3.10 (Hammer m.fl. 2001) samt Excel 2010 (Microsoft corp.).

### 3.2.1 Silstationerna

Kontroll av fiskförluster genomförs i den gemensamma silstationen för de två reaktorerna 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 över åtta centimeter artbestäms, räknas och vägs. Av eller från mindre fiskar än åtta centimeter tas fem stycken stickprov om en liter styck. Fiskarna i stickproverna artbestäms, räknas och vägs; därefter adderas resultaten för en beräkning av förekomsten av små fiskar i hela rensmassan. Från de samlade resultaten av fiskräkningarna görs beräkningar för de totala förlusterna under hela provtagningsperioden, inklusive en uppskattning av förlusterna vid silstationen för den tredje reaktorn, F3. I samband med provtagningarna registreras vattentemperatur och vattenflöde.

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.

### 3.2.2 Biotestsjön

#### *Beståndsövervakning med nätprovfiske*

Provfiske med kustöversiktsnät genomförs vid sex tillfällen på fem stationer under perioden 1 mars–31 maj (två fisken 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 parryssjor 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 K-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.

#### *Kontroll av ålder och tillväxt*

Från de 100 insamlade abborrhonorna för konditions- och gonadkontroll tas även gällock och otoliter (hörselstenar) för analys av ålder och tillväxt. Insamling av abborre från Forsmarks skärgård för referensprov genomförs enligt samma metodik som ovan (figur 5).

#### *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*

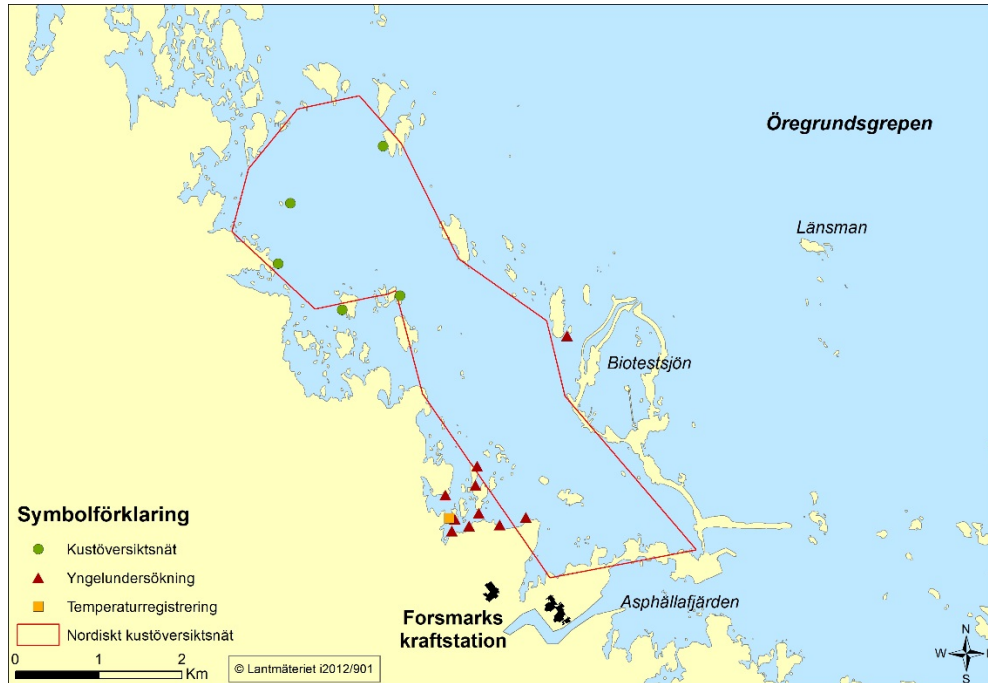
Samtliga fiskar okulärbesiktigas i samband med provfiske för kontroll av fisksjukdomar och parasitering.

### 3.2.3 Forsmark och Finbofjärden

#### *Beståndsövervakning med nätprovfiske*

Provfiske genomförs i augusti med Nordiska kustöversiktsnät på 45 stationer i Forsmarks skärgård enligt standardförfarande (figur 5). Samma metodik genomförs i referensområdet i Finbofjärden (figur 6).





Figur 5. Undersökningsområdet i Forsmark. Inom den röda ramen provfiskas 45 stationer med Nordiskt kustöversiktsnät. Gröna punkter anger positioner för insamling av referensprover till Biotestsjön för analys av ålder, tillväxt och kontroller av gonader samt kondition.



Figur 6. Referensområdet i Finbofjärden. Inom den röda ramen provfiskas 45 stationer med Nordiskt kustöversiktsnät.

### ***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 (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 5). 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.

## **3.2.4 Bottenfauna**

### ***Mjukbottenfauna***

Provtagning av mjukbottenfauna genomförs enligt en metodik där insamling sker genom bottenhugg med van Veen-huggare (figur 7 och 8) (Thoresson 1992). Två stationer i Forsmarks skärgård, som påverkas i olika grad av varmvattenutsläppet från kraftverket, provtas i maj månad; en djup station (FM 121, 41 meter) och en medeldjup station (FM 119, 16 meter) (figur 7). Två referensstationer med liknande djup utanför det påverkade området provtas i Finbofjärden (FB 2, 44 meter och FB 9, 22 meter) (figur 6). Proverna konserveras i 70 procent etanol i fält och analyseras senare på laboratorium, där fauna artbestäms till lägsta möjliga taxonomiska nivå med hjälp av stereolupp. Varje art räknas och vägs (våtvikt i milligram) för varje enskilt prov.



Figur 7. 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.



Figur 8. 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 (*Limecola balthica*).

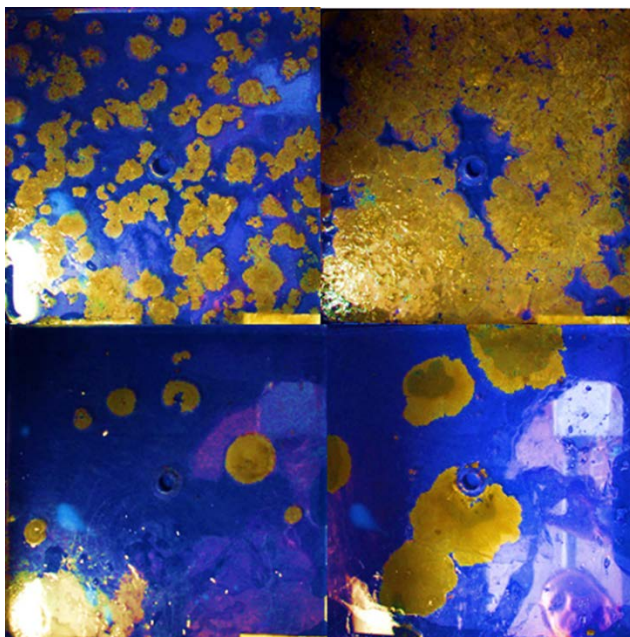
### Hårdbottenfauna

Provtagningen av hårdbottenfauna genomförs enligt metodik med så kallade Landforsplattor (Adill m.fl. 2015) (figur 9) som placeras ut på fyra provtagningsstationer i Forsmarks skärgård (figur 7). 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 Asphällafjärden (ASP) samt Borgarna (BOR) norr om Biotestsjön och utanför det område som påverkas av kylvatten. Åtta Landforsplattor placeras ut i slutet av maj på varje station på ungefär fyra meters djup. På varje station placeras en temperaturlogger för temperaturregistrering under provtagningsperioden. Landforsplattorna insamlas i slutet av september. Faunan konserveras i plastburkar med 70 procent etanol. För att kvantifiera mängden påväxt av arterna tångbark (*Electra crustulenta*) och sötvattenssvamp (*Ephydatia fluviatilis*) fotograferas plattorna (figur 10). Bilderna sparas för senare analys i bildhanteringsprogram.

Proverna analyseras på laboratorium, där fauna artbestäms till lägsta möjliga taxonomiska nivå med hjälp av stereolupp. Varje art räknas och vägs (våtvikt i milligram) för varje Landforsplatta. Fotografierna av koloniserande tångbark och sötvattenssvamp på plattorna analyseras och den procentuella täckningsgraden beräknas med bildhanteringsprogrammet ImageJ (Abramoff m.fl. 2004).



Figur 9. Landforsplatta som används vid provtagning av hårdbottenfauna. Åtta stycken Landforsplattor placeras ut vid varje station på cirka fyra meters djup.



Figur 10. 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). Arealen av påväxten analyseras med verktyget ImageJ.

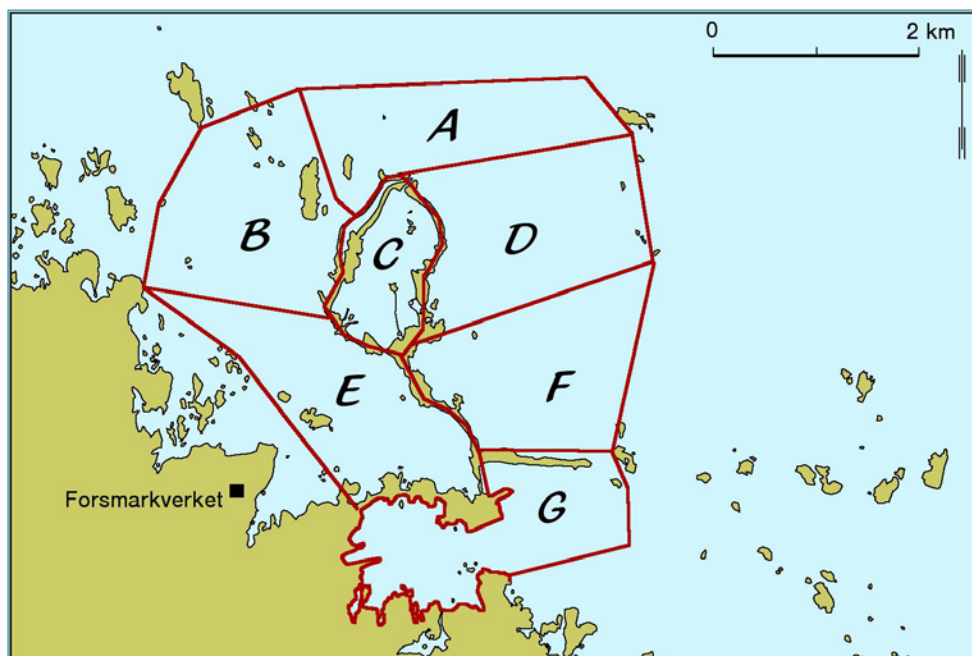
### 3.2.5 Fågelinventeringar

Inventering av sjöfågel utförs två gånger i månaden under hela året enligt punkttaxeringsmetoden (Naturvårdsverket 1978) där vissa utvalda arter räknas under en bestämd tid från olika observationsplatser. Inventeringsområdet indelas i sju zoner (A–G) (figur 11). De arter som studeras delas in i tre olika funktionella grupper beroende på huvudsakligt födoval. Dessa grupper är 1) växtätare: gräsand (*Anas platyrhynchos*) och knölsvan (*Cygnus olor*), 2) bottendjursätare: knipa (*Bucephala clangula*) och vigg (*Aythya fuligula*), samt 3) fiskätare: storskrake (*Mergus merganser*), mellanskarv (*Phalacrocorax carbo sinensis*) och häger (*Ardea cinerea*).

Fram till 2011 benämndes mellanskarv för storskarv (*Phalacrocorax carbo carbo*) i fågelinventeringarna. Genom debatter mellan ornitologer och annan fågel-expertis har det enats om att namnge skarven längs våra kuster till mellanskarv (*Phalacrocorax carbo sinensis*). Det är numer allmänt accepterat att storskarven som förekommer i Sverige består av två underarter, storskarv (*Phalacrocorax carbo carbo*) och mellanskarv (*Phalacrocorax carbo sinensis*). Den fågel som till allra största del häckar i Sverige, både utmed kusten och i inlandet, är *P. c. sinensis* som



kallas mellanskarv. Den andra sorten, *P. c. carbo*, har sina häckningsplatser i Norge och nordvästra Ryssland och förekommer i Sverige endast under vintersäsongen och i mindre omfattning.



Figur 11. Inventeringsområdet för sjöfågel och dess indelning i sju zoner (A-G).

## 4 Resultat

### 4.1 Silstationen

Omfattningen av fiskförlusterna i kraftverkets silstationer har under de senaste två åren ökat avsevärt jämfört med tidigare år<sup>1</sup>. Under vårprovtagningarna, åtta veckor under våren, har de beräknade förlusterna under de senaste åren varierat från cirka tre miljoner individer under 2011 till 39 miljoner individer 2017 (tabell 1). Samma utveckling syns för provtagningarna under höstarna (tolv veckor) där förlusterna av fisk för 2017 uppgick till cirka 24 miljoner individer. Fiskförlusterna utgörs av de arter som lever naturligt i Bottenhavet och Egentliga Östersjön, men främst av småväxta fiskarter som storspigg, småspigg och mindre havsnål. Under vissa tider på året förekommer stor andel yngel i proverna, bland annat av strömming, storspigg och småspigg på höstarna.

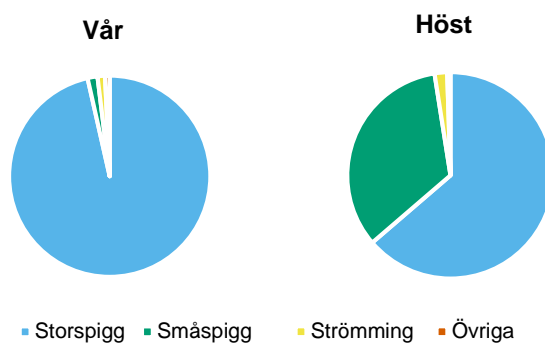
---

1. Linjär regression 1990-2017,  $R^2=0,59$ ,  $p<0,01$  för våren,  $R^2=0,54$ ,  $p<0,01$  för hösten

Tabell 1. Beräknade förluster av fisk (antal) och medelvikt (gram) i silstationerna under åtta veckor på våren och tolv veckor på hösten under 2017.

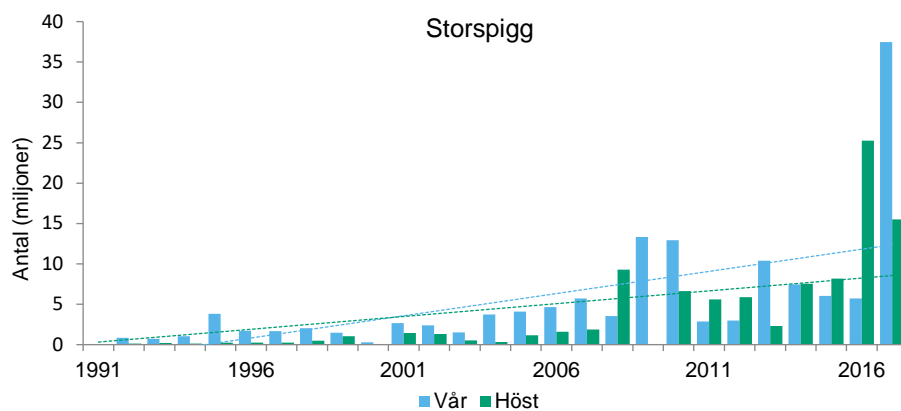
Art	Vår	Medelvikt	Höst	Medelvikt
Abborre	7 917	66,7	200	59,9
Björkna	21	170,0	11	20,0
Braxen	11	550,0		
Flodnejonöga	42	61,7	105	60,4
Gers	3 917	31,0	305	26,4
Gädda			11	1120,0
Gös	231	114,9	11	10,0
Mindre havsnål	23 531	1,3	54 747	0,6
Hornsimpa			42	212,5
Lax	11	220,0		
Löja	23 825	4,9	1 155	6,1
Mört	9 534	66,3	42	55,0
Nors	22 533	29,1	6 426	23,5
Piggvar	11	60,0	11	510,0
Sik			11	40,0
Skarpsill	1 061	12,0	263	11,2
Småspigg	619 815	0,7	8 237 345	0,8
Storspigg	37 470 300	2,1	15 514 968	0,8
Strömming	465 812	5,9	479 178	2,5
Sandstubb	212 625	0,8	64 176	0,7
Kusttobis	52 763	1,1	4 358	5,7
Tånglake	641	32,5	137	13,5
Ål	242	926,4	231	789,6
<b>Totalt</b>	<b>38 914 838</b>		<b>24 363 728</b>	





Figur 12. Artfördelning för fiskförluster i silstationerna under vår- och höstperioden under 2017.

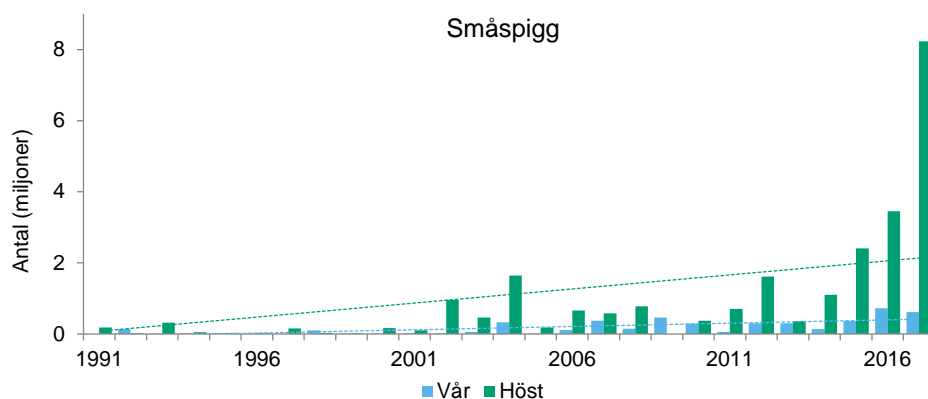
Den klart dominerande arten i provtagningarna är storspigg som utgjorde cirka 96 % av förlusterna under våren och 63 % på hösten (figur 12). Sedan provtagningarna inleddes under 1990-talet har förlusterna av storspigg ökat avsevärt under de senaste åren<sup>2</sup> (figur 13). Under våren består förlusterna av vuxna individer och på hösten ett större inslag av årsyngel. Även småspigg har ökat i förekomst i provtagningarna och främst under höstarna<sup>3</sup> (figur 14). Under hösten 2017 var förlusterna av småspigg som störst och drygt åtta miljoner individer fastnade i silstationerna. Likt storspiggen förekommer som tidigare nämnts en stor andel yngel under höstprovtagningarna (tabell 1).



Figur 13. Förluster av storspigg i silstationerna under provtagningsperioden 1991-2017. Trendlinjerna anger signifikant förändring över tid.

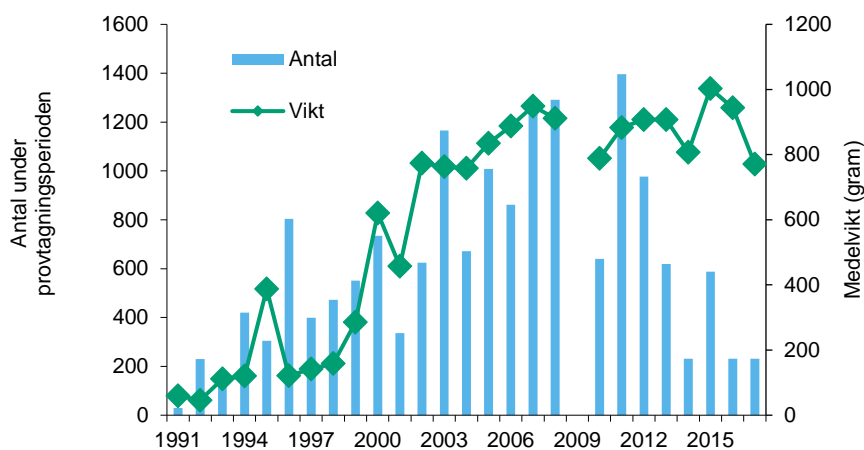
2. Linjär regression 1991-2017,  $R^2=0,63$ ,  $p<0,01$  för våren,  $R^2=0,84$ ,  $p<0,01$  för hösten

3. Linjär regression 1991-2017,  $R^2=0,49$ ,  $p<0,01$  för våren,  $R^2=0,67$ ,  $p<0,01$  för hösten



Figur 14. Förluster av småspigg i silstationerna under provtagningsperioden 1991-2017. Trendlinjerna anger signifikant förändring över tid.

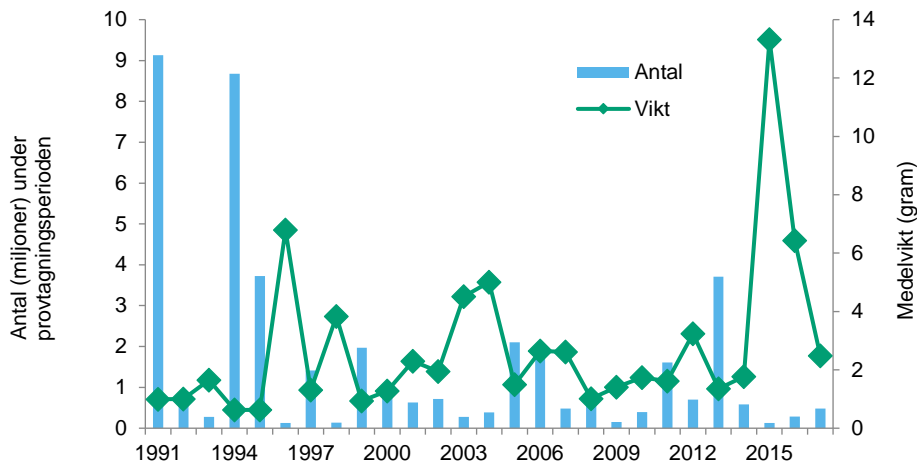
Förlusterna av ål i silstationerna har genom åren varit omfattande med en toppnotering i proverna hösten 2011 (figur 15). De senaste tre åren har dock utvecklingen varit negativ och ett mindre antal ålar förekommer i provtagningarna. Under 2017 fastnade totalt cirka 470 individer i silstationerna varav 231 under hösten. Likt tidigare år visade medelviktarna för ålarna att det rör sig om vuxna individer, sannolikt en stor andel blankålar som har uppnått könsmognad och har påbörjat sin vandring mot lekrområdena i Sargassohavet.



Figur 15. Förluster och medelvikter av ål i silstationerna under höstarna åren 1991-2017.

Förekomsten av strömming i silstationerna var relativt låga under 2017 och till största del utgjordes proverna av unga individer (figur 16). Med enstaka undantag under höstprovtagningarna har förlusterna av strömming under åren utgjorts av en

stor andel unga individer, sannolikt årsyngel. För de år förlusterna har varit små har provena dominerats av vuxna individer. Av varmvattenarterna abborre, mört, gös (*Sander lucioperca*), gädda (*Esox lucius*) och björkna var förlusterna små jämfört med tidigare år och andelen vuxna individer var stor.

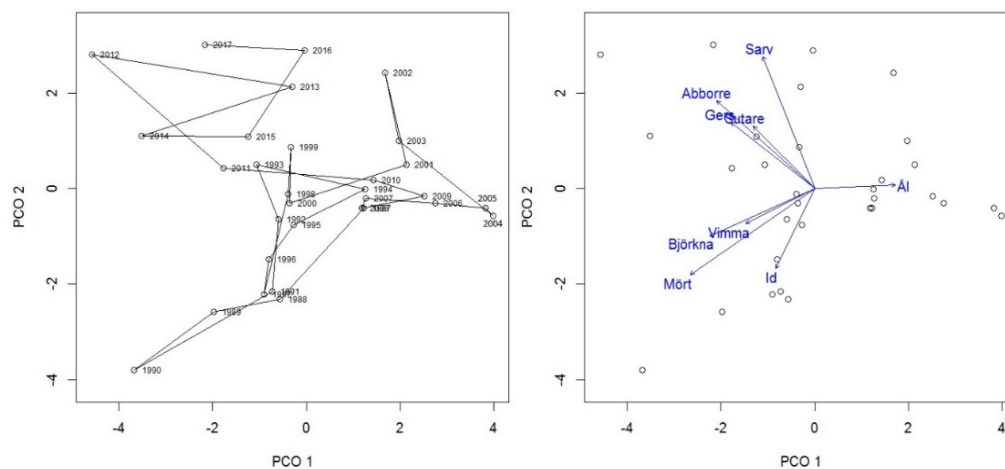


Figur 16. Förluster och medelvikt av strömming i silstationerna under höstarna åren 1991-2017.

## 4.2 Biotestsjön

Fiskbeståndens utveckling i Biotestsjön har undersökts från tiden innan anläggningen var färdigställd (1977) fram till idag. Inledningsvis innan elproduktionen drog igång i kraftverket visade resultaten att fisksamhället i Biotestsjön var likt det som fanns i övriga Forsmarksområdet. När produktionen inleddes 1980 och varmt kylvatten började flöda genom Biotestsjön förändrades fisksamhället drastiskt. Samtliga fiskarter med lågt temperaturoptimum, så kallade kallvattenarter, som hornsimpa, strömming och sik, försvann i anläggningen. Istället gynnades varmvattenarter som mört, abborre, löja (*Alburnus alburnus*) och björkna och blev alltmer vanligt förekommande. Framförallt ökade tätheterna av mört och abborre under de första åren efter driftstart, och då främst unga och små individer (Mo m.fl. 1996). Från 1987 och fram till idag sker en långsiktig undersökning av fiskbestånden i Biotestsjön som övervakas med standardiserat nätprovfiske under oktober månad varje år. Sedan slutet av 1980-talet har fisksamhällena genomgått större förändringar i artsammansättningen vid tre tillfällen. Under sent 1980-tal och 1990-tal var mängden fisk stor i Biotestsjön och mört utgjorde en stor del av fångsterna (figur 17 och 19). Relativt sett var även andra karpfiskar som id (*Leuciscus idus*), vimma (*Vimba vimba*) och björkna vanliga i anläggningen. Abborre har alltid funnits i Biotestsjön undersökningsperioden och periodvis har tätheterna varit stora. Under 2000-talet

minskade mängden fisk i Biotestsjön och perioden innan gallret togs bort i utloppet var fångsterna nästintill obefintliga.

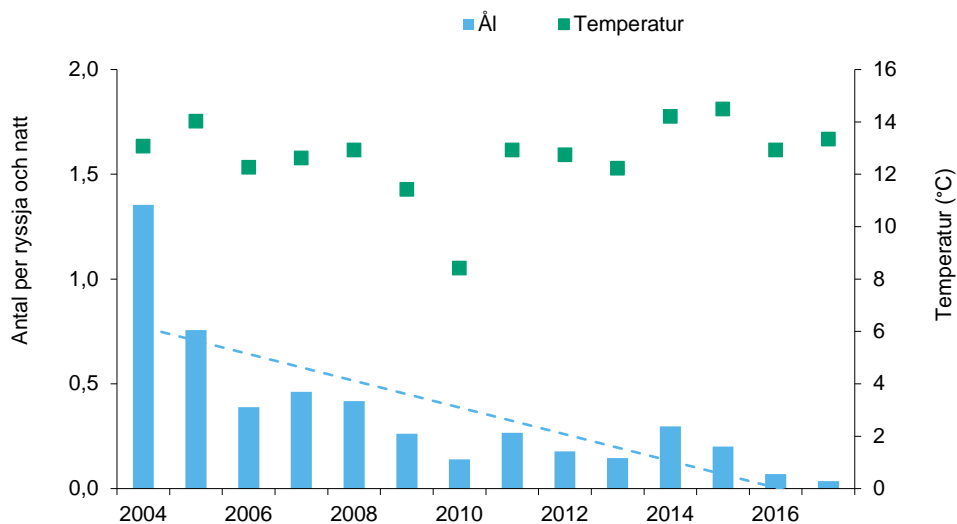


Figur 17. En multivariat analys (principle component ordination; PCO) av fisksamhället i Biotestsjön 1988-2017. X-axeln (PCO 1) förklarar 51 % av fisksamhällets variation över tid medan y-axeln (PCO 2) förklarar ytterligare 32 % av variationen.

En multivariat analys (principle component ordination; figur 17) visar Biotestsjöns fisksamhälles förändringar över tid samt även vilka fiskarter som förändringarna bestod i. På 1990-talet bestod fångsterna relativt ofta av vimma, björkna, mört och id, medan det under 2004-2006 skedde relativt stora fångster av ål. Sedan 2011 har abborre, gers, sutare (*Tinca tinca*) och sarv varit särskilt vanliga i fångsten.

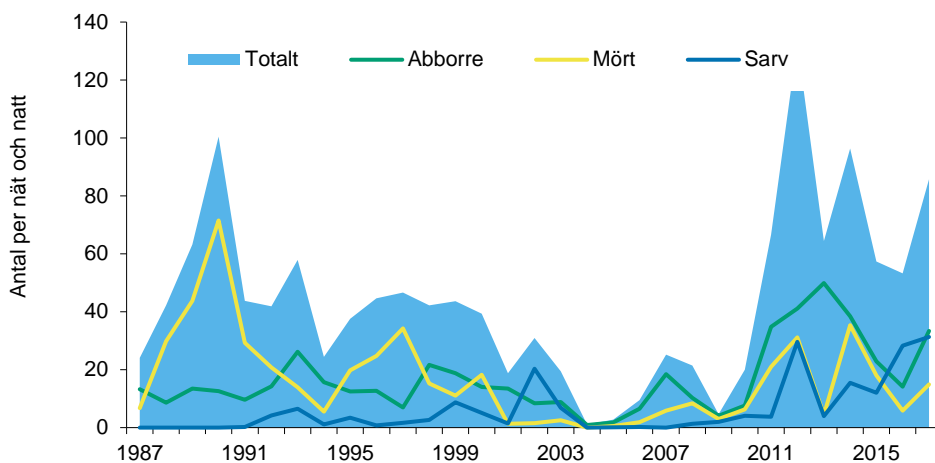
Samtidigt som mängden fisk minskade i Biotestsjön från mitten av 1990-talet och under 2000-talet fanns även en stor påverkansfaktor i nätprovfiskena av det lokala ålbeståndet. Tätheterna av ål i anläggningen var sedan slutet av 1980-talet extremt stora. År 1989 planterades 500 000 ålyngel, så kallade glasålar, ut i Biotestsjön i ett försök att kompensera ålförlusterna i silstationerna. En stor andel av ålarna blev kvar i anläggningen och resten spreds successivt i omgivande områden runt Biotestsjön. Under slutet av 1990-talet fram till 2004, när fiskgallren togs bort, fanns cirka 20 000 vuxna ålar i Biotestsjön. Det stora ålbeståndet i Biotestsjön hade sannolikt en påverkan på övriga fiskarter. Dessutom hade ålarna en negativ inverkan på nätundersökningarna som genomfördes i området. Ålarna plockade loss och tuggade sönder fiskarna som fastnade i nätet vilket medförde störningar i undersökningarna. Under denna period blev provfiskeresultatet svåra att analysera. När fiskgallren togs bort 2004 beräknades att ålbeståndet halverades och att cirka 12 000 ålar fanns i Biotestsjön. Från 2004 och fram till 2017 har tätheterna av ål minskat och sannolikt finns endast få individer kvar sedan den stora utsättningen 1989 (figur 18). Trots att mängden ål har minskat i Biotestsjön sker nyrekrytering av unga ålar till området.

Ålen räknas också till varmvattenarterna och har gynnsamma livsförutsättningar i Biotestsjöns varma vatten.



Figur 18. Fångster av ål i ryssjeundersökningarna i Biotestsjön under åren 2004-2017. Trendlinjen anger signifikant förändring över tid.

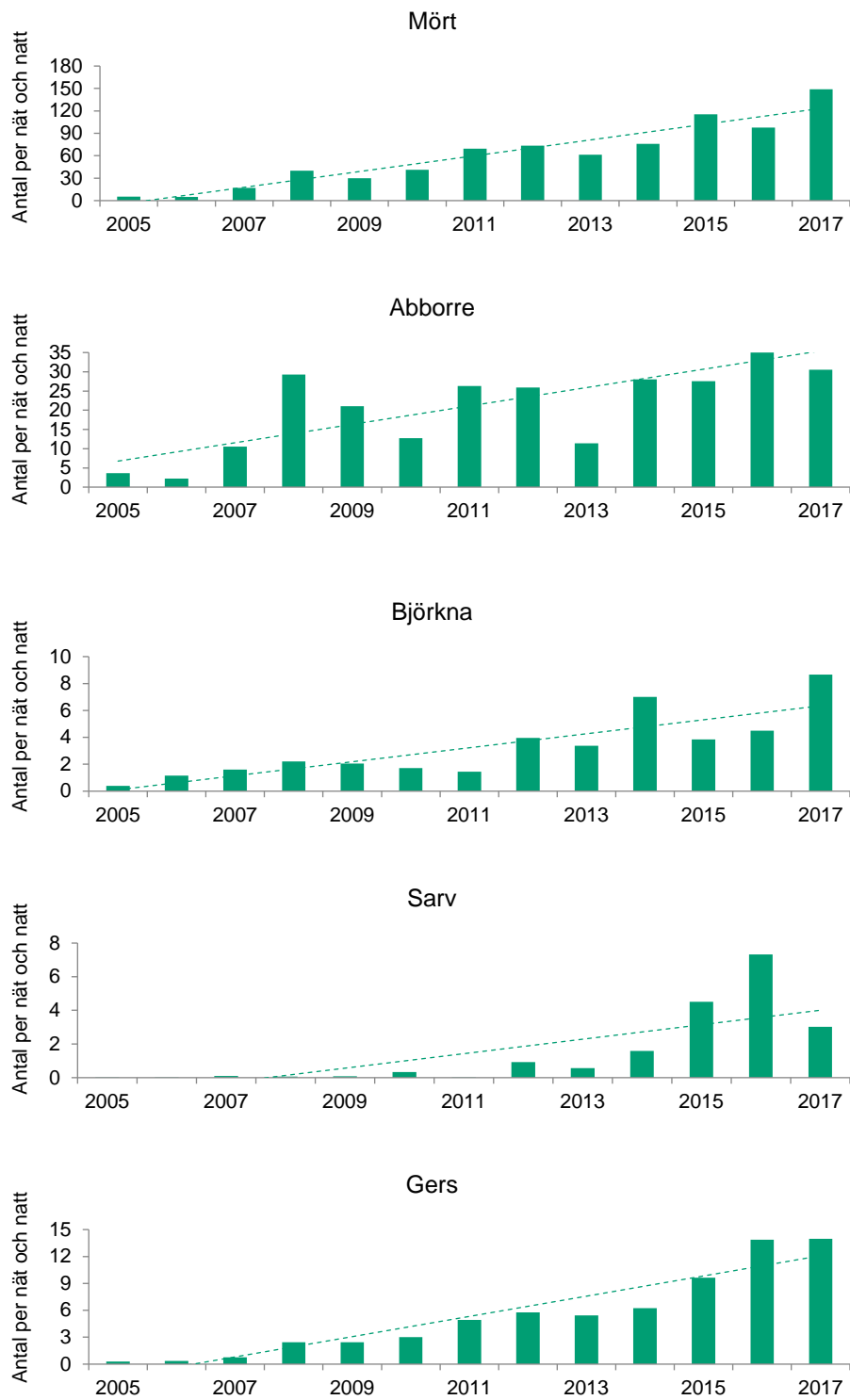
Sedan fiskgallren togs bort har tätheterna av fisk i Biotestsjön ökat igen, framförallt av varmvattenarter som abborre, mört och sarv. Från 2011 och framåt har artsammansättningen i Biotestsjön förändrats och förekomsterna av abborre, gers och sarv har blivit större (figur 19). Det finns fortfarande ett stort inslag av mört i anläggningen under höstarna och numera förekommer inga störningar orsakade av ål.



*Figur 19.* Fångster vid nätprovfiske under oktober månad under åren 1987-2017.

En följd av att fiskgallren togs bort under 2004 var att undersökningarna inom recipientkontrollprogrammet utökades med nätprovfiske i Biotestsjön under vårarna. Den största förändringen för fisken i Biotestsjön och i Forsmarksområdet var att den fritt kunde vandra mellan insidan och utsidan anläggningen. En förväntad effekt för fisksamhällena var att varmvattenarter skulle gynnas positivt av en öppen Biotestsjön som de kunde vandra in till och nyttja som rekryteringsområde. En stor farhåga som fanns inför gallerborttagandet var att omfattningarna av fiskvandringarna skulle bli stora och risken att till exempel stora stim av strömming skulle leta sig in i Biotestsjön (Neuman & Sandström 2002). Om strömming skulle använda Biotestsjön som lekområde skulle sannolikt beståndet påverkas negativt med stor ekologisk skada som följd. En intensiv lek för strömming då tjocka romlager bildas längs bottarna, skulle innebära hög dödlighet för äggen. För de ägg som överlever och larver kläcks, skulle flertalet följa med strömmarna och spolas ut ur Biotestsjön och sannolikt dö på grund av de låga temperaturerna i omgivande vattnet.

Under de första åren av en öppen Biotestsjön var tätheterna av fisk låga och undersökningarna påverkades av de höga tätheterna av ål. Det upptäcktes tidigt efter galleröppningen att Biotestsjöns varma vatten attraherade fisk. Fiskarter som försvann från Biotestsjön när elproduktionen inleddes på 1980-talet, t ex nors, lake och sik, fanns återigen i undersökningarna. Dessutom förekom perioder under vårarna med stora tätheter av främst abborre och mört i Biotestsjön, vilket kunde förklaras av ökad lekaktivitet för varmvattenarter i området (Adill m.fl. 2013; Karås m.fl. 2010). Denna utveckling kom sedan att successivt öka och följande år fram till 2017 syns en positiv utveckling för nästintill samtliga varmvattenarter i området (figur 20).

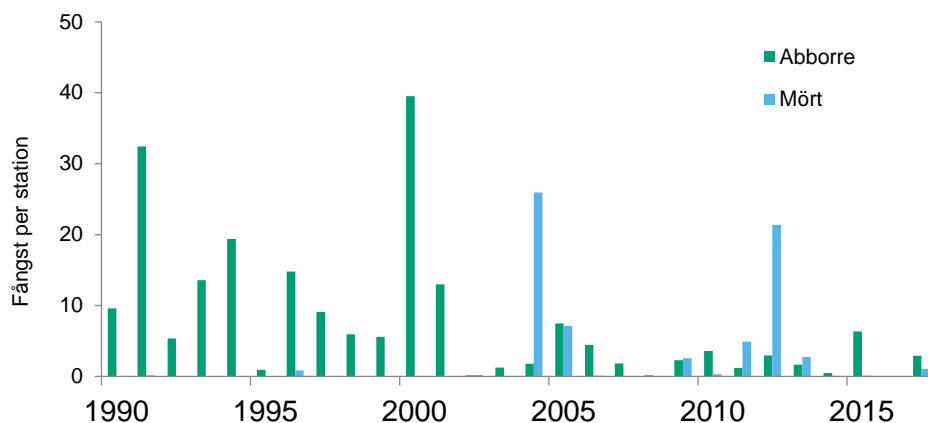


Figur 20. Fångster av mört, abborre, björkna, sarv och gers i nätprovfiskena under vårarna i Biotestsjön under åren 2005-2017. Trendlinjerna anger signifikanta förändringar över tid.

Utvecklingen för fisksamhällena under vårarna i Biotestsjön visar tydligt på ökade förekomster av fisk och en stor dominans av varmvattenarter, främst mört och abborre. Den förväntade effekten av gallerbortagandet har infallit; Biotestsjön har blivit ett betydande rekryteringsområde för varmvattenarter i Forsmark och vandringsarna in till anläggningen har successivt ökat. De största tätheterna för mört har infallit under april och för abborre i maj, vilket sammanfaller med naturliga lekperioder utanför anläggningen (Adill m.fl. 2012). Fångsterna i vårprovfiskena har under de senaste åren varit så omfattande att näten tidvis knappast kan fånga mer fisk. Detta har inneburit att mängden fisk varit svår att hantera samt att fiskdöden blir stor.

Det förekommer även perioder då fisk skyr Biotestsjön och söker sig till områdena utanför anläggningen, bland annat under högsommaren när vattentemperaturen i Biotestsjön är som mest extrem. Under perioder under sommaren kan vattentemperaturen stiga till 30°C, vilket är förhållanden som är ohälsosamma för många arter. Somliga arter vistas endast i Biotestsjön under vinterhalvåret, bland annat sik, öring och lake. Dessa arter söker sig till Biotestsjöns varmare vatten under vinterhalvåret och vandrar ut ur anläggningen när vattentemperaturen blir för hög.

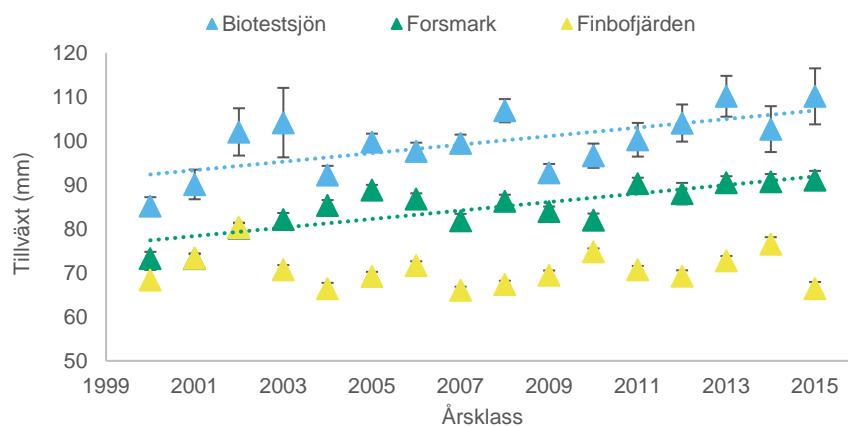
Trots att lekaktiviteten för varmvattenarter är stor i Biotestsjön finns inga tecken på att rekryteringen särskilt har gynnats. Förekomsterna av årsyngel för abborre och mört har varit relativt små jämfört med 1990-talet och vissa år har inga yngel påträffats (figur 21). Det har tidigare spekulerats i att risken finns att stor andel av ynglen spolats ut ur Biotestsjön strax efter kläckning. Under de senaste åren har dock tätheterna av sarv och storspigg blivit större och är ett tecken på att rekryteringen av dessa arter gynnas i Biotestsjön.



Figur 21. Fångst av årsyngel för abborre och mört i Biotestsjön under åren 1990-2017.

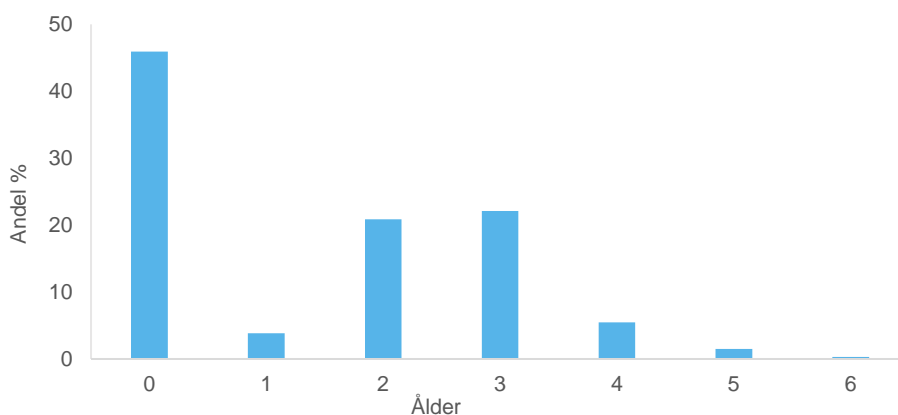


De årsyngel av abborre som fångas i Biotestsjön är i regel större jämfört med yngel som växer upp utanför anläggningen i Forsmarks skärgård (Adill m.fl. 2014) (figur 22). Det har konstaterats att förhållandena i Biotestsjön är nästintill optimala för uppväxande yngel med lämpliga vattentemperaturer och gott om föda (Adill m.fl. 2013). Dessutom har det påvisats att abborre i Biotestsjön kan genomföra leken tidigare på säsongen jämfört med områdena utanför. I dagzonsanalyser för årsyngel av abborre visade resultaten att ynglen kläckts redan i april, vilket är ett tecken på att lekbeståndet av abborre i Biotestsjön består både av övervintrande individer samt lekinvandrande abborre (Adill m.fl. 2014). De individer som kläcks tidigt på våren i Biotestsjön är sannolikt de årsyngel som påträffats i undersökningarna med längder upp till 180 mm under första tillväxtsåsonen (Adill m.fl. 2015).



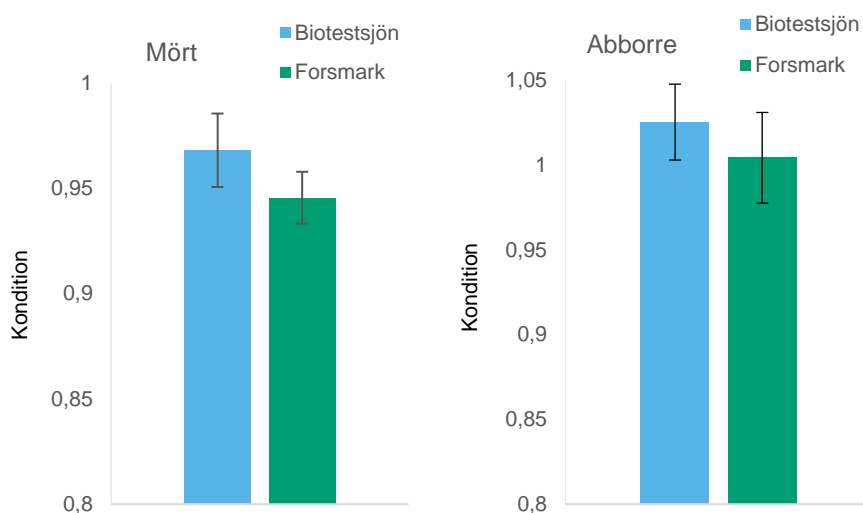
Figur 22. Första årets tillväxt för årsklasserna 2000-2015 för abborrar i Biotestsjön, Forsmark och Finbofjärden. Trendlinjerna anger signifikant förändring över tid. Felstaplar markerar konfidensintervall (95 % CI).

Abborre som befinner sig i Biotestsjön under höstarna är framförallt unga individer och under 2017 var 93 % av abborrarna tre år eller yngre (figur 23). Endast fyra procent av abborrarna var ettåriga individer och detta speglar sannolikt 2016 års låga rekrytering i Biotestsjön (Adill m.fl. 2017).



Figur 23. Ålder för abborre i nätfångsterna i Biotestsjön under oktober 2017.

Konditionen hos abborre och mört i Biotestsjön har under åren varit inom normala nivåer och få individer har påträffats med extremt låga värden som kan anses skadliga. Under 2017 var konditionen hos abborre och mört på liknande nivåer i Biotestsjön som i referensområdet i Forsmarks innerskärgård (figur 24). Det har dock förekommit år då konditionen hos mört i Biotestsjön varit betydligt lägre jämfört med individer i Forsmarks skärgård, bland annat 2011 och 2014 (Adill m.fl. 2015; Adill m.fl. 2012).



Figur 24. Fultons index (kondition) för mört och abborre i Biotestsjön och Forsmark under oktober 2017. Felstaplar markerar konfidensintervall (95 % CI).

Vid kontrollerna av gonader (könskörtlar) hos abborr- och mörthonor i Biotestsjön och Forsmarks skärgård, har nästintill inga individer påträffats med skador eller missbildningar i fortplantningsorganen den senaste tioårsperioden. Studier genomförda i kylvattenutsläppet under 1990-talet visade att en stor andel av abborrhonorna hade döda, resorberade ägg i romsäckarna (Mo m.fl. 1996). Skadorna på gonaderna noterades vara en effekt av anlockning till det uppvärmda kylvattnet, så att långtids-exponeringen ledde till missbildningar i äggen. De undersökningar som genomförts de senaste åren har visat att denna negativa trend försvunnit i området.

Vid jämförelser av gonadsomatiskt index (GSI) mellan abborre som befinner sig i Biotestsjön och Forsmarks skärgård visar att abborre i Biotestsjön har lägre värden än individer i Forsmarks skärgård<sup>4</sup> (figur 25). Skillnaderna i GSI har varit större mellan områdena de senaste åren. Ett lågt GSI kan påverka reproduktionen negativt eftersom äggproduktionen hos fisken är låg relativt till individens storlek. Vid Holmöarna i norra Kvarken har undersökningarna inom den nationella miljöövervakningen visat en negativ trend för GSI hos abborre sedan början av 1990-talet, vilket inte förekommer hos abborre i Biotestsjön eller Forsmark (Förlin m.fl. 2017). Det är inte möjligt att göra direkta jämförelser mellan GSI hos abborre i Holmöarna och för Forsmarksområdet, provtagningarna genomförs ungefär med en månads mellanrum (september i Holmöarna). Det är inte heller möjligt att göra jämförelser för GSI hos abborre från referensområdet i Finbofjärden eftersom provtagning av gonader inte ingår i recipientkontrollprogrammet. Någon skillnad i GSI för mört mellan Biotestsjön och Forsmarks skärgård förekommer inte (figur 25).

---

4. Variansanalys Anova, 2009-2017,  $p < 0,05$



Figur 25. Gonadosomatiskt index (GSI) för abborre och mört i Biotestsjön och Forsmark i oktober under åren 2009-2017. Felstaplar markerar konfidensintervall (95 % CI).

Vid kontrollerna av yngeltätheter i Biotestsjön har fångsterna väl överensstämmt med de vanligast förekommande arterna i nätprovfiskena. Högsta tätheterna av årsyngel de senaste åren har utgjorts av varmvattenarterna abborre, löja, björkna, sarv och mört. Under perioden efter att fiskspärren tagits bort i Biotestsjön har årsyngel av nya arter noterats i undersökningarna, bland annat storspigg, elritsa och sutare. Tätheterna för årsyngel av abborre har varit relativt små de senaste åren jämfört med 1990-talet (figur 21). Årsyngel av mört, som nästintill saknades i undersökningarna under 1990-talet, har funnits i höga tätheter vid tillfällena under den senaste perioden (figur 21). De senaste åren har tätheterna för årsyngel av sarv varit höga i Biotestsjön, en stor förändring jämfört med tiden innan fiskspärren togs bort då inga årsyngel påträffades i undersökningarna.

### 4.3 Forsmark och Finbofjärden

Fisksamhällets utveckling i Forsmarks skärgård har övervakats sedan år 2002 med Nordiska kustöversiktsnät. Under de 16 år som undersökningarna pågått har sammanlagt 23 olika arter fångats. Den vanligast förekommande arten i undersökningarna har varit abborre, som utgjort över hälften av fångsterna (tabell 2). Andra arter som har varit vanliga i undersökningarna är mört, gers och strömming.

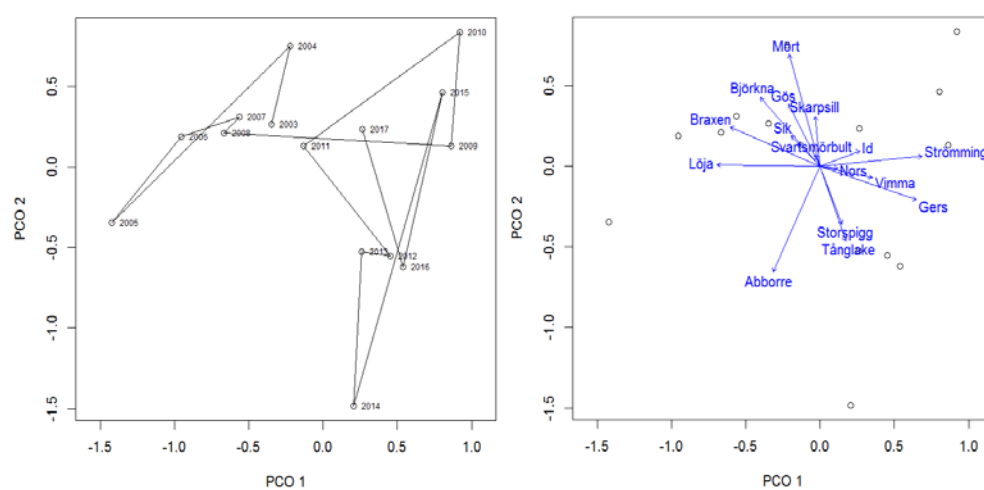
Tabell 2. Fångster i nätprovfiskena i Forsmark och referensområdet Finbofjärden under augusti månad åren 2003-2017.

Art	Forsmark	Andel (%)	Finbofjärden	Andel (%)
Abborre	20 301	56,23	26 729	43,68
Strömming	4 435	12,28	6 749	11,03
Gers	4 163	11,53	3 403	5,56
Mört	3 990	11,05	17 895	29,25
Björkna	1 498	4,15	3 229	5,28
Löja	942	2,61	1 395	2,28
Gös	297	0,82	392	0,64
Braxen	227	0,63	572	0,93
Skarpsill	59	0,16	222	0,36
Svart smörbult	48	0,13	11	0,02
Sik	47	0,13	18	0,03
Storspigg	26	0,07		
Vimma	19	0,05		
Id	14	0,04	11	0,02
Tånglake	13	0,04	4	0,01
Nors	8	0,02	372	0,61
Gädda	5	0,01	53	0,09
Mindre havsnål	3	0,01	5	0,01
Skrubbskädda	3	0,01	62	0,10
Ål	2	0,01		
Lax	1	0,01		
Stensimpa	1	0,01		
Sutare	1	0,01		
Hornsimpa			62	0,10
Piggvar			3	0,01
Sarv			2	0,01
<b>Totalt</b>	<b>36 103</b>		<b>61 189</b>	

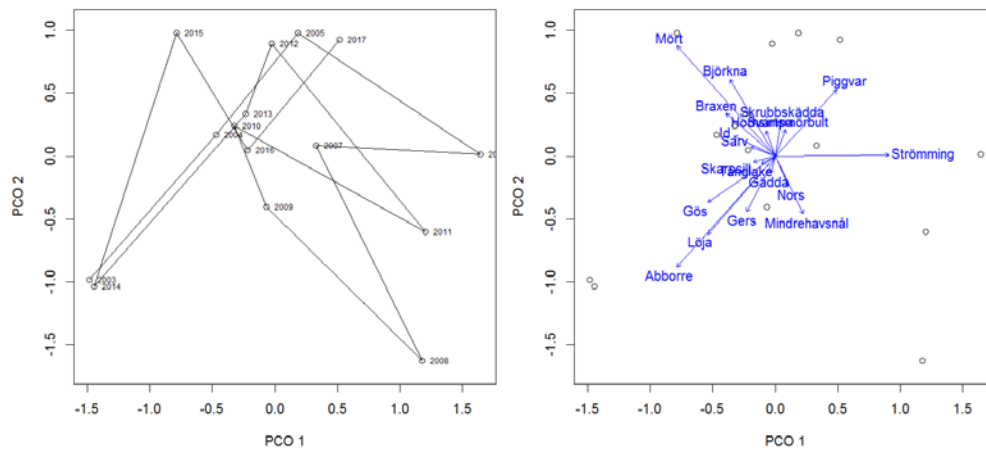
Under åren undersökningarna genomförts har fisksamhället genomgått en riktad förändring i artsammansättning mellan åren 2008 och 2009 (Figur 26). Perioden fram

till 2008 karakteriserades fisksamhället av ett relativt stort inslag av varmvattenarter som abborre, mört, björkna, braxen (*Abramis brama*) och löja. Från år 2009 och framåt har fisksamhället fått ett större inslag av strömming och gers, två arter som ökat i området (figur 28).

En multivariat analys (principle component ordination; PCO) av fisksamhället i Forsmark (figur 26) visar att fisksamhällets sammansättning grupperade sig i två tidsperioder, 2003-2008 och 2009-2017. Under den första perioden var exempelvis braxen och björkna relativt vanliga i fångsten, medan strömming och gers har varit desto vanligare under den senare perioden. En PCO över fisksamhället i Finbofjärden 2003-2017 (figur 27) tyder inte på några långsiktiga förändringar i fisksamhället i detta område.

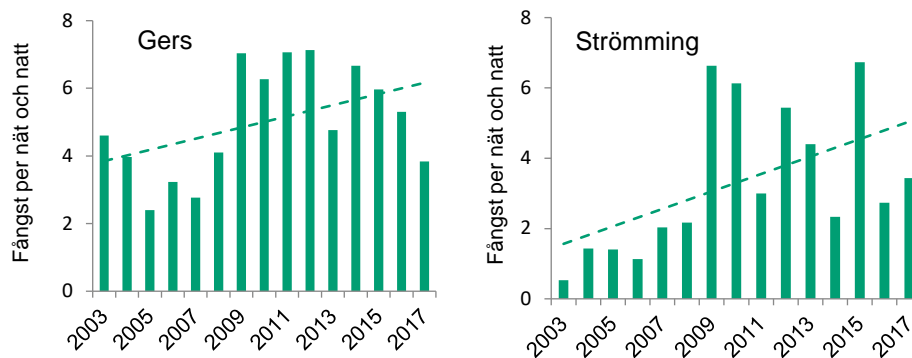


Figur 26. Multivariat analys (principle coordinate ordination; PCO) av fisksamhället i Forsmark 2003-2017. X-axeln (PCO 1) förklarar 40 % av variationen över tid medan y-axeln förklarar ytterligare 30 %.



Figur 27. Multivariat analys (principle coordinate ordination; PCO) av fisksamhället i Finbofjärden 2003-2017. X-axeln (PCO 1) förklarar 40 % av variationen över tid medan y-axeln förklarar ytterligare 30 %.

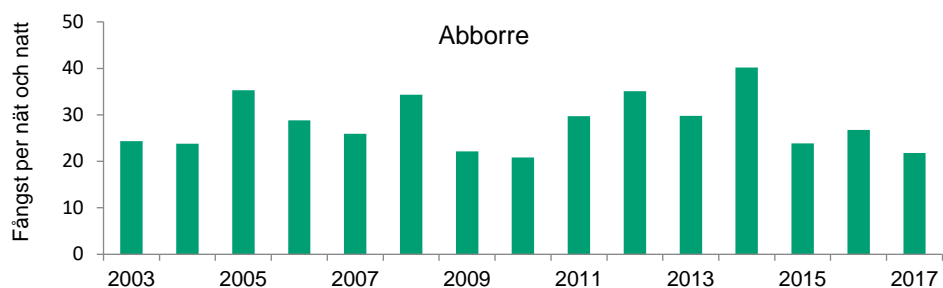
I undersökningarna i referensområdet Finbofjärden syns inga tydliga förändringar i relativa artsammansättningen som i Forsmark (figur 27). I Finbofjärden utgörs fångsterna framförallt av abborre och mört (tabell 2). Det finns en tendens att varmvattenarterna i området har ökat i fisksamhället den senaste femårsperioden. Björkna är en av dessa arter som uppvisar en positiv utveckling (figur 31). En skillnad mellan undersökningarna i Forsmarksområdet och referensområdet är att fångstnivåerna är betydligt högre i Finbofjärden och att inslaget av kallvattenarter, som nors, hornsimpa och skrubbsskädda är större (tabell 2).



Figur 28. Fångst av gers och strömming i nätprovfiskena i Forsmark under augusti månad.

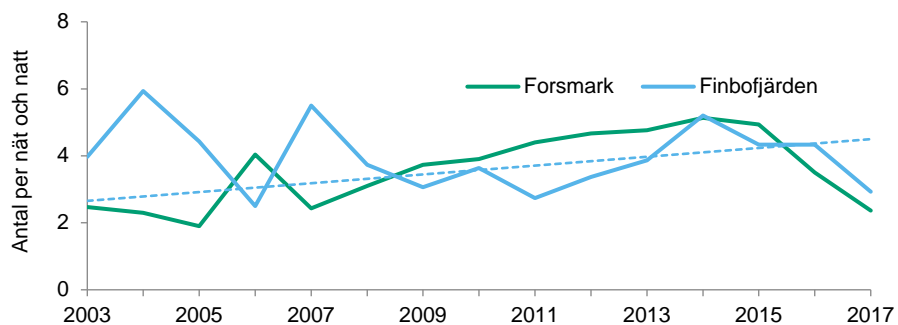
Mellanårsvariationerna för fångsterna av abborre har varit liten under perioden, samtliga år har dock abborre utgjort de största fångsterna (figur 29). Det har dock förekommit stora skillnader i fångstens storlek mellan de olika djupstratifieringarna.

Fångsterna av abborre i de djupaste stratifieringarna (6-10 meter) visar ett tydligt samband med temperatur, så att förekomsten av abborre är betydligt lägre när temperaturen sjunker ner mot cirka 16°C (Adill m.fl. 2013). Motsvarande mönster ses inte inom de grundare stratifieringarna (0-3 meter och 3-6 meter) där fångsten av abborre är oberoende av temperaturen. Detta samband indikerar att det främst är temperaturen, inte populationsstorleken, som styr fångsterna av abborre på de djupare stationerna (6-10 meter). Med anledning av detta genomförs analyserna av abborrfångsterna i denna rapport endast avseende stratifieringarna 0-3 meter och 3-6 meter.



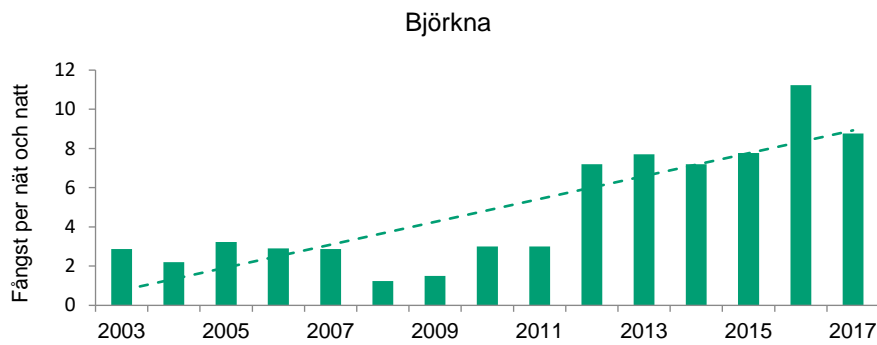
Figur 29. Fångst av abborre i nätprovfiskena i Forsmark under augusti månad.

Fångsterna av abborre i Forsmark har uppvisat små mellanårsvariationer under undersökningsperioden, däremot har mängden stor abborre (>25 cm) ökat. Motsvarande trend förekommer inte i Finbofjärden (figur 30).



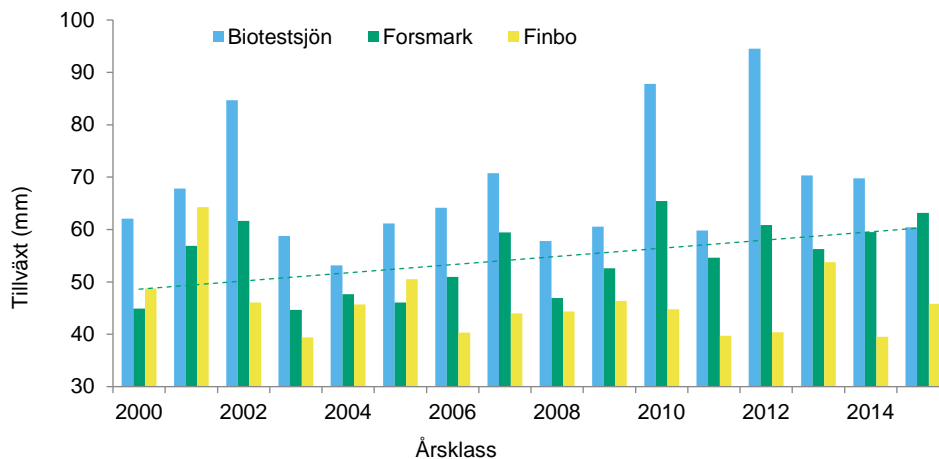
Figur 30. Fångst av stor abborre (>25 centimeter) i nätprovfiskena i Forsmark och Finbofjärden under augusti månad.





Figur 31. Fångst av björkna i nätprovfiskena i Finbofjärden under augusti månad.

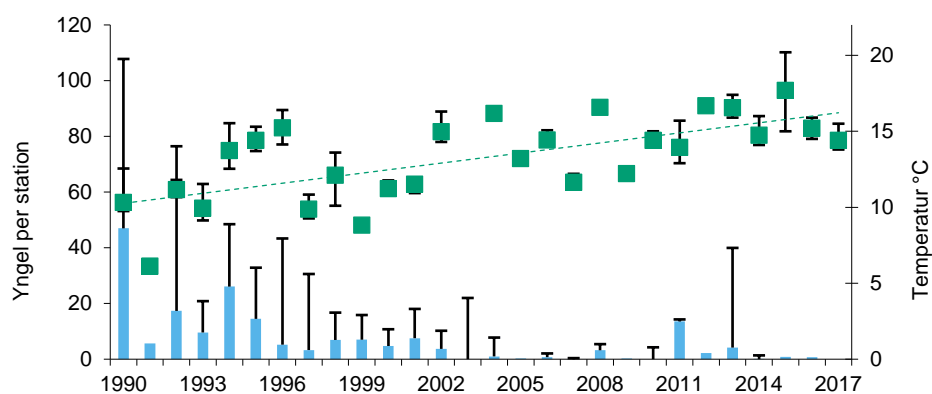
Vid arbetet med ålders- och tillväxtanalyser av abborre har det upptäckts att vissa individer har tydliga tecken på att de levit i perioder av mycket snabb tillväxt. Det är sannolikt att dessa individer härstammar från Biotestsjön eller har tillbringat delar av livet där och har gynnats av anläggningens goda förutsättningar för tillväxt (Adill m.fl. 2015). Det finns en positiv trend för tillväxt hos abborrar som fångats i Forsmarks skärgård, både första- och andraårstillväxten har ökat sedan början av 2000-talet<sup>5</sup> (figur 22 och 32). Motsvarande tillväxtökning förekommer inte för abborrar i Finbofjärden. Abborrar som lever i Biotestsjön har generellt snabbare tillväxttakt jämfört med abborrar i Forsmarks skärgård. De senaste åren har dock skillnaden blivit mindre.



Figur 32. Tillväxt hos abborrar under andra levnadsåret i Biotestsjön, Forsmarks skärgård och Finbofjärden.

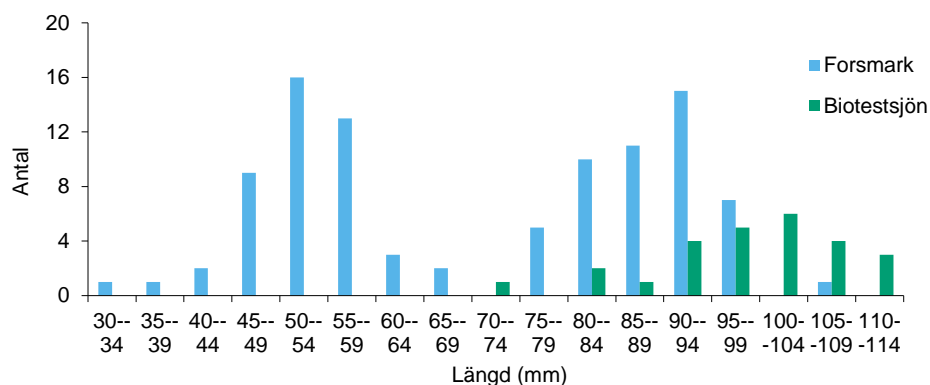
5. Linjär regression, 2000-2015, förstaårstillväxt  $r^2=0,66$ ,  $p<0,01$ , andraårstillväxt  $r^2=0,28$ ,  $p<0,05$

Vid undersökningarna av yngeltätheterna i Forsmarks skärgård har fångstutvecklingen för abborre varit negativ sedan 1990<sup>6</sup> (figur 33). Den negativa trenden för rekryteringen av abborre har delvis förklarats av storskaliga miljöförändringar och har noterats på andra platser i Egentliga Östersjöns kustområden, där rekryteringen av abborre har varit kraftigt reducerad sedan andra hälften av nittioalet (Ljunggren m.fl. 2005). Det har dock förekommit år då rekryteringen av abborre tycks varit lyckad och tätheter av yngel varit relativt hög, exempelvis under 2008, 2011 och 2013. Resultaten av undersökningarna 2008 var särskilt intressanta eftersom längdfördelningarna visade att abborrynglen härstammade både från Forsmarks skärgård och Biotestsjön (figur 34) (Adill m.fl. 2013). Trots minskade förekomster av abborryngel i Forsmarks skärgård finns inga tecken på att det vuxna beståndet av abborre har påverkats negativt. Förekomster av andra varmvattenarter i provtagningarna har varit generellt lågt under de senaste tjugo åren, vid enstaka tillfällen har årsyngel av mört och gädda påträffats. Under 1980- och 90-talet var bilden annorlunda med år av relativt höga tätheter av mört, gädda, id och björkna.



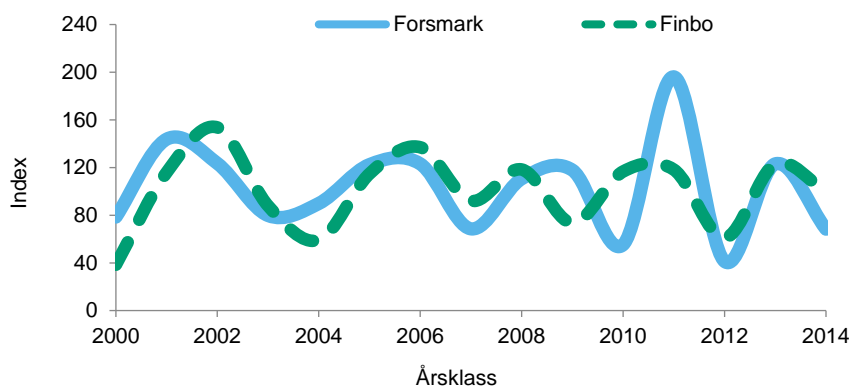
Figur 33. Fångster av årsyngel abborre i Forsmarks skärgård under åren 1990-2017. Gröna punkter anger medelvattentemperaturen under provtagningarna. Trendlinjen anger statistisk förändring över tid.

6. Linjär regression, 1990-2017,  $r^2=0,36$ ,  $p<0,05$



Figur 34. Längdfördelning av abborryngel i Forsmark och Biotestsjön år 2008.

Analyserna av årsklasstyrka hos abborre i Forsmark och Finbofjärden visar på en samvariation mellan områdena från år 2000 fram till 2008, därefter bryts mönstret<sup>7</sup> (figur 35). De starkaste årsklasserna föddes 2001, 2002 och 2006. De senaste åren har de starkaste årskullarna i Forsmarksområdet rekryterats under år 2009 och 2011, vilket överensstämmer med resultaten från yngelundersökningarna. I nätprovfiskena syns att fångsterna av abborre är större åren strax efter de starka årskullarna och visar på betydelsen av reproduktionsframgång för att få starka fiskbestånd (figur 29 och 35).



Figur 35. Beräknad relativ årsklasstyrka (modifierad Svårdson) anges som ett index för abborre i Forsmark och Finbofjärden. Starka årsklasser för abborre i Forsmark förekom bland annat 2009, 2011 och 2013 och i Finbofjärden 2002, 2006 och 2013.

7. Pearsons korrelationskoefficient,  $r=0,51$ ,  $p>0,05$  för åren 2000-2014,  $r=0,72$ ,  $p=0,03$  för åren 2000-2008

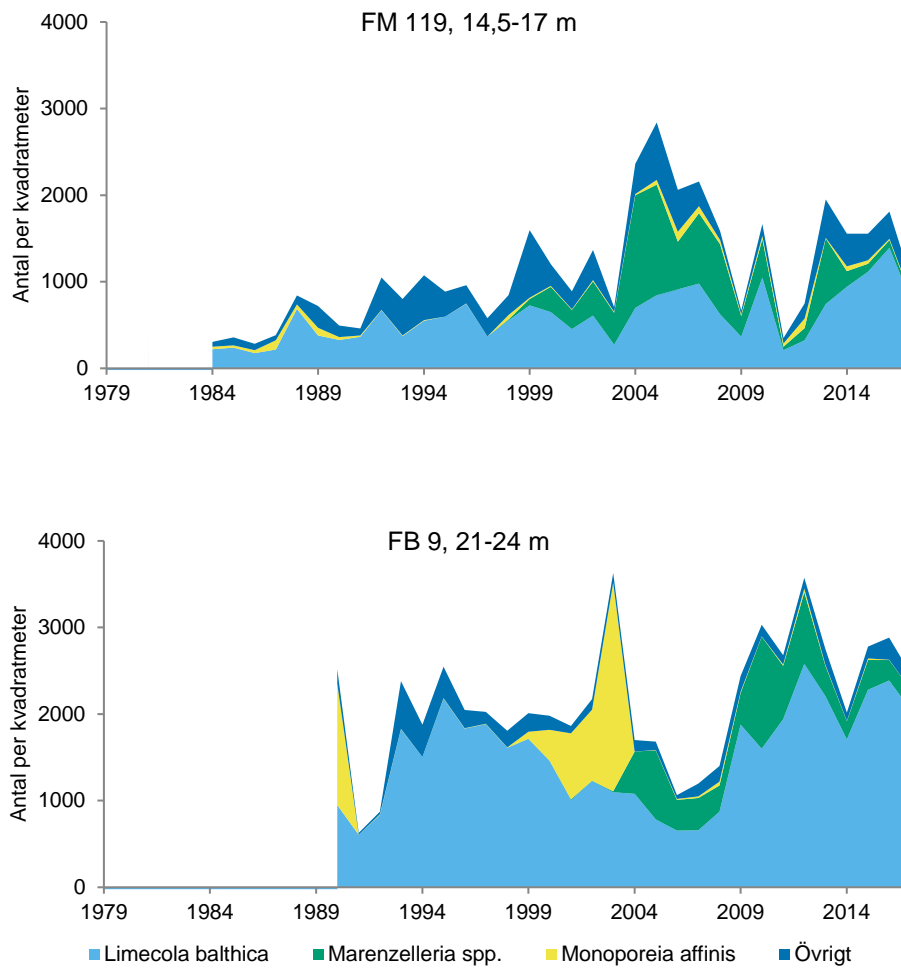
## 4.4 Bottenfauna

### 4.4.1 Mjukbottenfauna

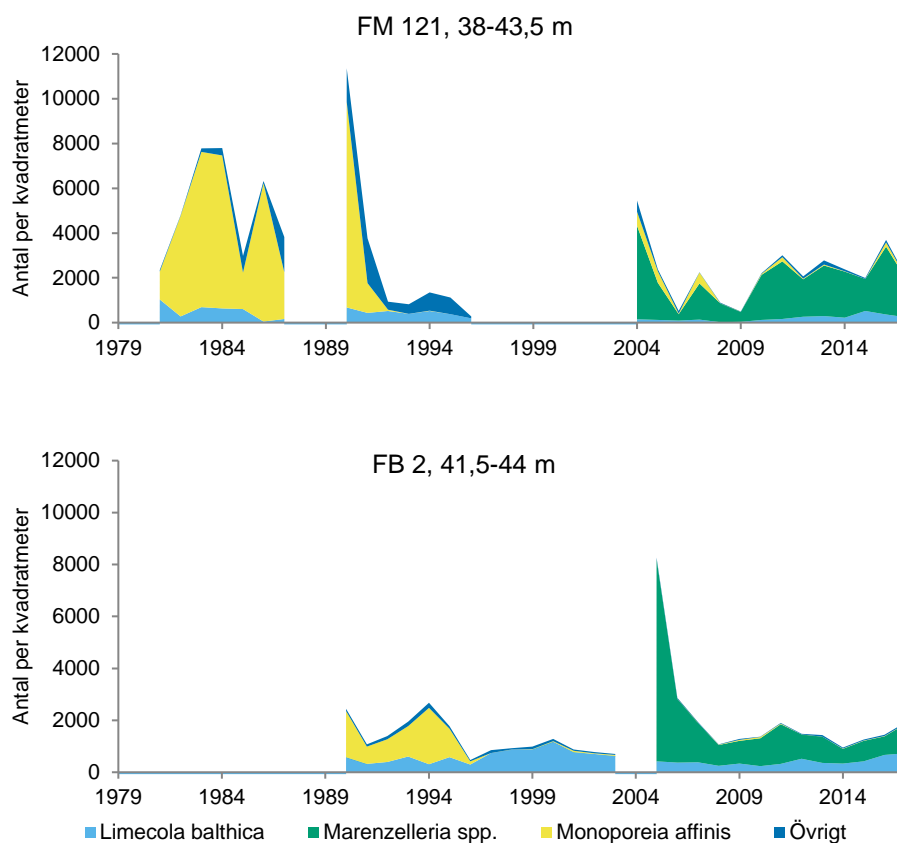
På den bottenfaunastation som tidvis berörs av kylvattenplymen, station 119 vid Länsman, ökade antal djur, arter och tätheter hos bottenfaunan fram till 1990-talet (Adill m.fl. 2012). En sådan trend brukar ofta sammankopplas med en begynnande eutrofiering (Pearson & Rosenberg 1978). Ett liknande mönster sågs dock även på referensstationerna, där jämförbara undersökningar inleddes 1990, vilket gör det svårt att direkt särskilja om förändringen berodde på kylvattenutsläppet, eller på storskaliga förändringar, såsom förändrade klimatförhållanden, allmän eutrofiering eller interaktion mellan arter (Adill m.fl. 2013).

På den medeldjupa stationen i Forsmark har tätheterna av Östersjömussla, *Limecola balthica* ökat sedan 2011, en trend som inte kan påvisas i referensstationen i Finbofjärden (figur 36). Den positiva utvecklingen förklaras sannolikt av arbetet som genomfördes i området 2011, då likströmskabeln Fenno-Skan 2 grävdes ned i bottarna vid bottenfaunastationen. Grävarbetet hade initialt en negativ inverkan på östersjömusslan men har nu återhämtat sig till tidigare nivåer. För den invasiva havsborstmasken *Marenzelleria* spp. har tätheterna minskat under den senaste femårsperioden (figur 36). På referensstationen syns inte samma trend, där *Marenzelleria* har en stabil abundans.

Resultaten för den djupa stationen i Forsmark under de senaste åren visar att bottenfaunasamhällena endast har små variationer. Östersjömussla, *Limecola balthica*, som haft en positiv trend det senaste decenniet verkar nu ha stabiliserat sig när det kommer till både tätheter och biomassa. De senaste fem åren kan ingen trend utskiljas (figur 37). Referensstationen i Finbofjärden har visat samma utveckling när det gäller östersjömussla (figur 37).



Figur 36. Antal av bottenfauna från de medeldjupa stationerna från Forsmark (FM 119) för åren 1984-2017 samt referensområdet Finbo (FB 9) för åren 1990-2017. Provtagningen sker i maj varje år.



Figur 37. Antal av bottenfauna från de djupa stationerna från Forsmark (FM 121) för åren 1981-2017 samt referensområdet Finbo (FB 2) för åren 1990-2017. Provtagningen sker i maj varje år. Åren som saknas i graferna utgår p.g.a. annan provtagningsmetodik samt tekniska problem med utrustningen 2004 vid FB 2.

#### 4.4.2 Hårdbottenfauna

Undersökningarna av hårdbottenfauna i Forsmarksområdet visar att det förekommer stora skillnader mellan stationerna när det gäller både förekomst av olika arter och vilka arter som dominerar samhällena på de olika platserna (figur 38). De vanligast förekommande arterna var brackvattenmusslan (*Mytilopsis leucophaeata*), nyzeeländsk tusensnäcka (*Potamopyrgus antipodarum*), båtsnäcka (*Theodoxus fluviatilis*), hjärtmussla (*Cerastoderma glaucum*), tångmärlor (*Gammarus spp.*), märlkräfta (*Leptocheirus pilosus*) samt fjädermygglarver (*Chironomidae spp.*).

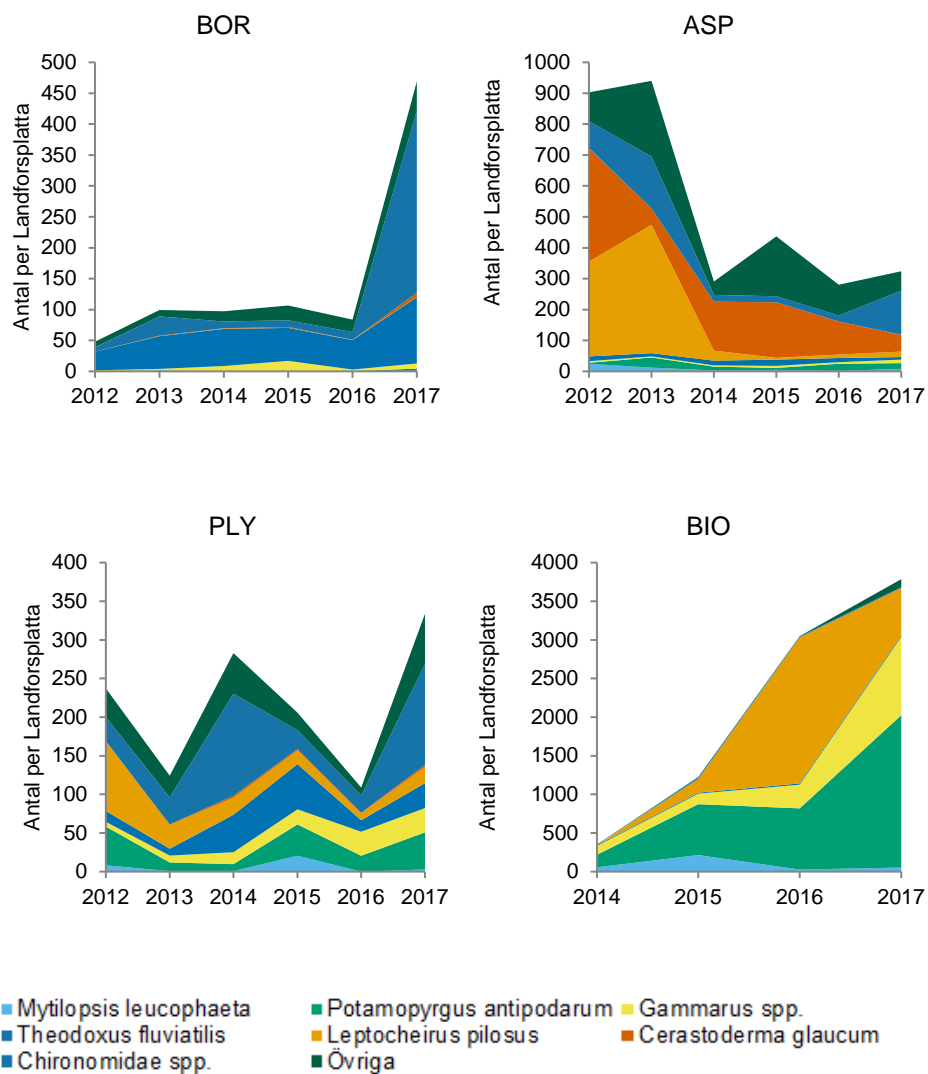
Resultaten från undersökningarna av hårbottenfauna visar en positiv trend för tångmärlor, *Gammarus* spp., på de områden som är påverkade av kylvattenintaget/utsläppet<sup>8</sup>. Vid Borgarna kunde inte någon sådan trend urskiljas. Fjädermygglarver, *Chironomidae* spp., har ökat på alla områden utom Biotestsjön under 2017 jämfört med tidigare år (figur 38). I Biotestsjön har det totala antalet bottenfauna, specifikt Nyazeeländsk tusensnäcka, ökat kraftigt under 2017 (figur 38). Sannolikt är detta ett resultat av kraftig påväxt av fintrådiga alger på substraten i Biotestsjön 2017, vilket innehöll höga mängder av bottenfauna.

Påväxt av tångbark (*Electra crustulenta*) observerades på Landforsplattor i Plymen, Asphällafjärden och Borgarna. Ingen tångbark påträffades på Landforsplattorna i Biotestsjön, där plattorna istället täcktes av sötvattenssvamp (*Ephydatia fluviatilis*) i olika grad (figur 39). Förekomsten av tångbark skiljer mellan områdena, där Plymen har högst täckningsgrad och Borgarna lägst<sup>9</sup>. I Borgarna var dock förekomsten av tångbark större under 2017 jämfört med tidigare år (figur 39).

---

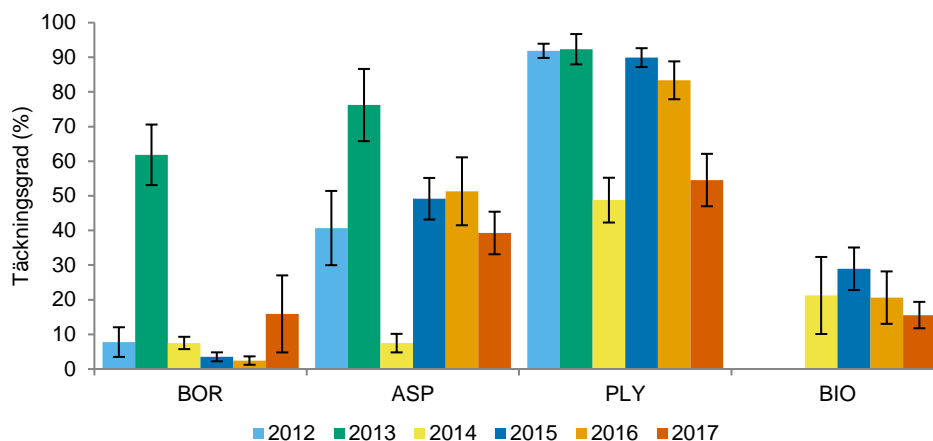
8. Linjär regression, 2012-2017,  $p=0,02$  för Asphällafjärden,  $p<0,01$  för Plymen och  $p<0,01$  för Biotestsjön.

9. Variansanalys Anova, 2012-2017,  $p<0,05$



Figur 38. Medelantal 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.





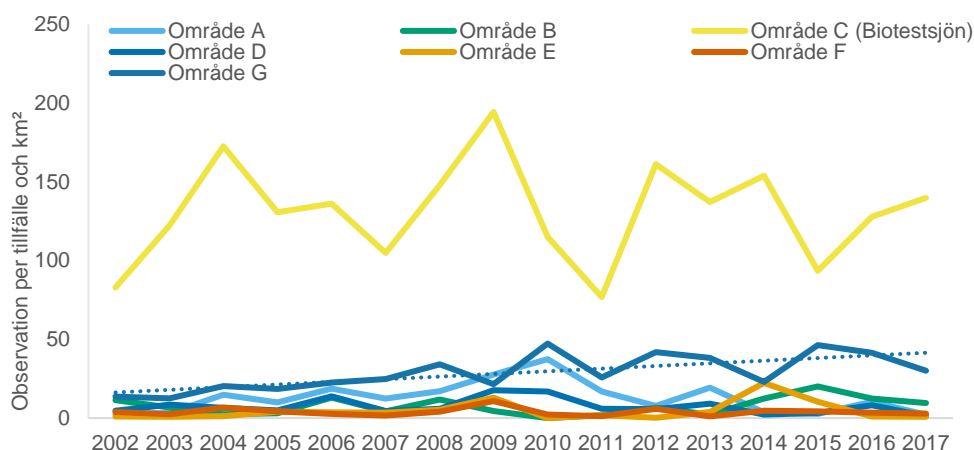
Figur 39. Medelvärde av procentuell täckningsgrad för tångbark (*Electra crustulenta*) på Landforsplattorna för stationerna; Borgarna (BOR) norr om Biotestsjön som aldrig påverkas av kylvatten, området för kylvattenintaget till kraftverket (ASP), utsläppsområdet för kylvatten utanför Biotestsjön (PLY), samt täckningsgrad för påväxten av sötvattenssvamp (*Ephydatia fluviatilis*) på Landforsplattorna vid stationen i Biotestsjön (BIO) (se figur 9). Felstaplar markerar konfidensintervall (95 % CI).

## 4.5 Fågelinventeringar

Det har varit väl känt bland ornitologer samt miljöövervakare inom recipientkontrollen att sjöfågel attraheras till kylvattenrecipienter (Ehlin m.fl. 2009). De förutsättningar som främst påverkar var de olika arterna vistas inom recipientområdet är tillgången av lämplig föda, möjligheten till öppet vatten och väderförhållanden (Adill m.fl. 2013; Sandström m.fl. 2002). Det enskilt viktigaste området i Forsmarks skärgård för sjöfågel är i närrecipienten Biotestsjön (område C), särskilt under vintern<sup>10</sup> (figur 40). Under vintern har dessutom intagsområdet för kylvatten, Asphällafjärden (område G), ökat i attraktion för sjöfågel och allt fler har vistats i den isfria lokalen de senaste åren<sup>11</sup>.

10. TukeyHSD, 2002-2017,  $p < 0,01$

11. Linjär regression, 2002-2017,  $r^2 = 0,50$ ,  $p < 0,01$

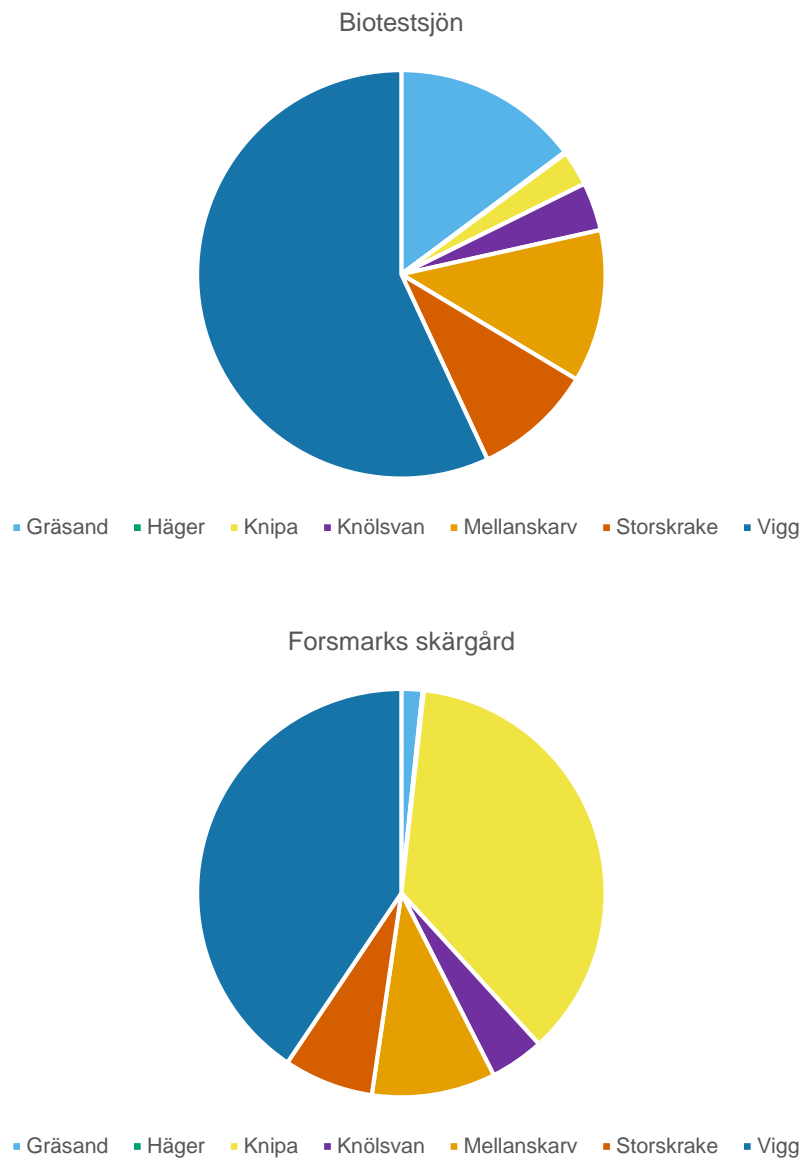


Figur 40. Förekomsten av sjöfågel i de olika delområdena (A-G) i Forsmarks skärgård under vinterperioden. Trendlinjen anger statistisk förändring över tid för område G.

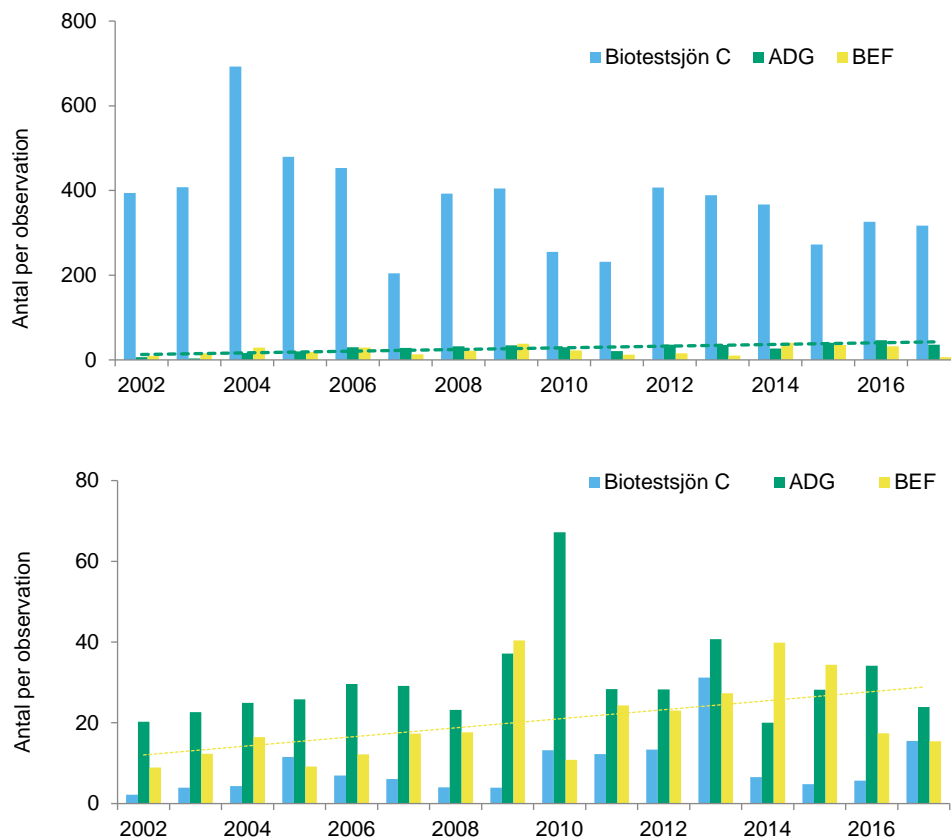
Den mest förekommande arten inom fågelinventeringarna är vigg, som utgjorde över hälften av observationerna i Biotestsjön 2017 (figur 41). Omfattningarna av vigg har varit relativt oförändrade i sedan undersökningarna inleddes 2003 och har varit den dominerande arten av sjöfågel i Biotestsjön. Vigg utgör även en stor andel av observationerna utanför Biotestsjön i Forsmarks skärgård (figur 41). I de isfria områdena vid kylvattenintaget (G) och i utsläppsområdet för kylvatten från Biotestsjön (A och D), har vigg en positiv utveckling de senaste åren<sup>12</sup> (figur 42). Tillsammans med vigg är knipa den art som har högsta tätheterna i områdena utanför Biotestsjön (figur 41). Knipa har under senaste åren blivit alltmer vanligt förekommande i delområdena som inte direkt påverkas av kraftverkets drift och kylvattenflöden<sup>13</sup> (figur 42).

12. Linjär regression 2002-2017,  $r^2=0,66$ ,  $p<0,01$

13. Linjär regression 2002-2017,  $r^2=0,27$ ,  $p<0,05$



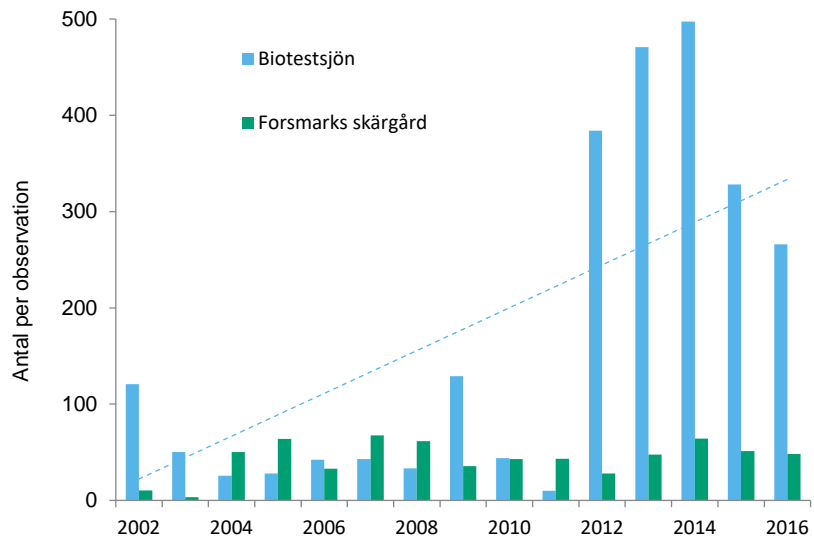
Figur 41. Relativ fördelning (%) av de studerade fågelarterna i Biotestsjön (överst) och i Forsmarks skärgård (underst).



Figur 42. Förekomst av vigg (övre figuren) och knipa (undre figuren) i Biotestsjön, och i områdena A,D,G och B,E,F. Trendlinjen anger signifikant förändring över tid.

Av de fiskätande fågelarterna som ingår i kontrollprogrammet är mellanskarv den mest vanliga i undersökningsområdet (figur 41). Mellanskarven har under de senaste åren ökat markant och har högsta tätheterna inne i Biotestsjön<sup>14</sup> (figur 43). Under tidigt 1980-tal noterades skarv vid endast ett tillfälle, därefter har arten kontinuerligt ökat i Forsmarksområdet (Sandström 1986). Mellanskarven har främst nyttjat Biotestsjön och dess omgivningar som rastplats och för födosök under stora delar av året. De senaste åren har dessutom mellanskarven genomfört häckningar i Biotestsjön och tätheterna har varit höga på klippor och skär inne i anläggningen. Häckningarna har inte varit framgångsrika och inga överlevande ungar har noterats. Frekventa störningar och attacker från bland annat havsörn i området har sannolikt missgynnat mellanskarvens fortplantning.

14. Linjär regression, 2002-2016,  $r^2=0,48$ ,  $p<0,01$



Figur 43. Förekomst av mellanskarv i Biotestsjön samt i områdena i Forsmarks skärgård.

## 5 Diskussion

När Forsmarks kärnkraftverk togs i drift 1980 och uppvärmt kylvatten började strömma igenom Biotestsjön, inleddes övervakningarna genom recipientkontrollprogrammet enligt vad som föreskrivits som villkor av myndigheterna. Undersökningarna inom recipientkontrollprogrammet var inledningsvis omfattande och täckte stora delar av ekologiska systemen i Forsmarksområdet. Syftet med recipientkontrollprogrammet har främst varit att studera miljöeffekterna för intag och utsläpp av kylvatten och tyngdpunkten av undersökningarna har genomförts i Biotestsjön. Det upptäcktes tidigt att vissa arter gynnades av höga vattentemperaturer och ökade i förekomst i närrecipienten Biotestsjön. Andra arter missgynnades och minskade eller försvann från Biotestsjön. Detta innebar till exempel att fiskesamhället förändrades och samtliga kallvattenarter försvann från Biotestsjön, samtidigt som varmvattenarterna mört, löja, björkna och abborre började bli alltmer vanligt förekommande (Karås m.fl. 1984).

Parallellt med intensiva studier inom kontrollprogrammet genomfördes även omfattande forskningsprojekt under de första åren med kraftverket i drift. Forskningens huvudsakliga syfte var att komplettera undersökningarna inom recipientkontrollen och utöka kunskapen för kylvattenutsläppens miljöeffekter. Efter drygt tio års omfattande studier inom kontrollverksamheten och forskningen, upphörde kraftindustrins finansiering av kylvattenforskning och undersökningarna inom recipientkontrollen minskade omfattningen till en så kallad basnivå. Vid den här tidpunkten ansågs effekterna av kylvatten vara kartlagda och många av farhågorna hade inte bekräftats.

I samband med borttagandet av fiskspärren från Biotestsjöns utlopp 2004 inleddes en ny period av intensiva undersökningar inom recipientkontrollprogrammet. Kontrollprogrammet reviderades och skulle omfatta studier för fisk, bottenfauna och fågel. Det förväntades ske stora förändringar i de akvatiska ekosystemen i samband med en öppen Biotestsjön och undersökningarna planerades för att övervaka dessa. I miljökonsekvensbeskrivningen som genomfördes inför galleröppningen beskrevs de effekter som bedömdes ske av att fiskspärren togs bort. Många av dessa

bedömningar har besannats och har kunnat verifieras genom undersökningarna. Det som främst har skett i Biotestsjön är att fisktätheterna har blivit höga under våren och minskat under höst och vinter. Många fiskar utnyttjar Biotestsjön för lek, framförallt varmvattenarter som abborre och mört. Biodiversiteten i fisksamhället har ökat i Biotestsjön genom att nya arter periodvis vandrat in i anläggningen, däribland kallvattenarter som sik, nors och lake. Det finns även tecken på att nya arter har etablerat sig i Biotestsjön, även mindre vanliga karpfiskar som sutare. Det har också varit tydligt att främst vuxen fisk har vandrat ut från Biotestsjön under perioder vid extremt höga vattentemperaturer och på så vis undvikit svår fysiologisk stress.

I samband med tillståndet att höja den termiska effekten i kraftverket utökades övervakningarna med ett effekthöjningsprogram under åren 2008-2012. Effekthöjningarna skulle innebära ökade behov av kylvatten till kraftverket och höjda utsläppstemperaturer för kylvatten till Biotestsjön. Detta förväntades innebära förändrade förutsättningar för den fysiska vattenmiljön och dess organismer och skulle övervakas i särskilt kontrollprogram. Första delen av undersökningarna redovisades 2014 där en beskrivning av kunskapsläget genomfördes. De slutliga undersökningarna inom effekthöjningsprogrammet planeras att genomföras när effekthöjningen är utbyggd enligt ansökan till Miljödomstolen. Enligt beslut hos FKA finns för tillfället inget som tyder på att kraftverket kommer genomföra effekthöjningarna fullt ut.

Avsikten med undersökningarna inom recipientkontrollprogrammet är att successivt minska dess omfattning för att slutligen uppnå en basnivå för återstående drifttid på kärnkraftkraftverket. I vilken omfattning undersökningar ska genomföras för basnivå, bör rimligtvis styras av nuvarande kunskapsläge och resultat för dagens recipientkontrollprogram. De senaste årens förändringar vad gäller kraftverkets drift samt fysiska anläggningsändringar har tydligt gett effekter på organismer och närliggande ekosystem. De långsiktiga och pågående trenderna för fisk, bottenfauna och fågel i Biotestsjön och Forsmarksområdet påvisar att organismsamhällena är ständigt under förändring och inte visar tecken på stabilisering.

## 5.1 Fiskförluster i silstationerna

Fiskar som sugas in och omkommer i kärnkraftverkets kylvattenintag utgörs främst av småväxta fiskarter och årsrekryter av fiskarter som lever i närområdet. Förlusterna av fisk har sedan studierna inleddes varit omfattande och de senaste åren ökat markant. Totalt miljoner individer omkommer årligen i kylvattenintaget. Fisk som sugas in i kylvattenintagen och dör på rensgaller och silar anses utgöra den allvarligaste miljöpåverkan från kärnkraftverk regionalt (Ehlin m.fl. 2009). I Forsmark utgörs förlusterna till största andel av storspigg som vanligtvis omfattar 70-95 % av

de omkomna fiskarna. Under höstarna förekommer även stora mängder småspigg och vissa år årsyngel av strömming i kylvattenintaget. År 2013 omkom över tre miljoner strömmingsyngel under tolv veckor på hösten.

De senaste årens utveckling med ökande mängder fisk som förloras i kylvattenintaget kan sannolikt vara en effekt av den ökande användningen av kylvatten i kraftverket (Bryhn m.fl. 2013). Sedan effekthöjningar genomfördes 2012 har kylvattenbehovet ökat i kraftverket och flödet höjts jämfört med tidigare år. Vilken effekt det ökade vattenflödet har för olika fiskarter är i dagsläget inte möjligt att beräkna; data av högre kvalitet för kylvattenflöden under perioden innan effekthöjningar krävs för detta. Det finns dock inga tecken på att förlusterna av varmvattenarter har ökat efter genomförd effekthöjning på kraftverket. Förlusterna av till exempel abborre, mört, gös och gädda är på relativt låga nivåer. Det finns heller inga tydliga kopplingar till att förlusterna av varmvattenarter påverkar bestånden i Forsmarks skärgård, där övrig övervakning inom recipientkontrollen genomförs.

Förlusterna av storspigg och småspigg, två arter som ökat markant under de senaste åren, var väldigt omfattande under 2016 och 2017. 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 har rekryterats med framgång i området och 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 (Larson 2017), har också påvisat en ökande trend för främst storspigg. Med tanke på spiggars anatomi och simförmåga är det rimligt att tro att det ökade kylvattenflödet de senaste åren påverkar stor- och småspigg negativt och fler individer sugts in i kylvattenintaget och omkommer. Storspigg och småspigg är inga kommersiellt gångbara arter. Deras ökade förekomst har knappast heller stärkt några ekosystemtjänster från Bottenhavet. Tvärtom har deras ökade förekomst sammankopplats med födokonkurrens med, yngel- och äggdödlighet hos, och nedgång, för rovfiskarter som gädda och abborre (Bergström m.fl. 2015).

En art som omkommer i silstationerna som vuxna individer är ålen. Den europeiska ålen är en art med en komplex fortplantningsbiologi med lekområden i Sargassohavet (någonstans mellan Puerto Rico och Bermuda), flera tusen kilometer bort från uppväxtplatserna i Europa (Muus m.fl. 1997). De nykläckta larverna driver med havsströmmarna från kläckningsplatserna mot norra Afrika och den europeiska kusten, i uppmot ett år. Efter ankomsten till kustområdena uppsöker ålarna lämpliga uppväxtområden, både i vattendrag och i havsområden. Vid en ålder av cirka 15-20 år genomgår ålarna en förvandling och närmar sig könsmognad. Nu påbörjas vandringen tillbaka mot lekområdena i Sargassohavet och ålarna som vuxit upp längs Bottenhavets kuster eller anslutande vattendrag ska ut ur Östersjön. Tidpunkten för



dessa vandringar är troligtvis på hösten och sammanfaller med perioden för höstprovtagningarna i silstationerna. Ålarna förflyttar sig längs kusterna och vid ankomst till intagsområdet till kraftverket lockas de sannolikt nedströms och fastnar slutligen i silstationerna.

Från början av 1990-talet och fram till 2011 var de ökande trenderna tydliga för både medelvikter och förekomsterna av ål i silstationerna. Under hösten 2011 noterades de största förlusterna av ål sedan provtagningarna inleddes, med 1400 individer och en medelvikt på nästan 900 gram. Under åren från 2012 fram till 2017 har förlusterna successivt minskat och omfattningarna av ålförlusterna påminner numer om nivåerna som förekom under inledningen av provtagningarna på 1990-talet. Utvecklingen av ålförlusterna i silstationerna kan sannolikt kopplas samman med de massiva utsättningarna av ål som genomfördes 1989 då 500 000 glasålar sattes ut i Biotestsjön. Eftersom dessa ålar skulle ha uppnått en ålder på nära 30 år idag finns sannolikt endast ett fåtal av dessa individer kvar i Forsmarksområdet, och förlusterna i silstationen speglar numer ålbeståndet i en större geografisk skala. Förlusterna av ål har dock en särskild betydelse eftersom ålen är akut utrotningshotad. Enligt förordningar har Sverige genomfört åtgärder för att minska dödligheten för ålen, bland annat genom åtgärder inom vattenkraftverksamheten samt kraftiga reduceringar inom yrkesfisket och ett totalt stopp för fritidsfiske efter ål.

Beräkningarna av mängden fisk som omkommer i kylvattenintaget till kraftverket genomförs en gång i veckan under en åttaveckorsperiod på våren samt en tolvveckorsperiod under hösten. När fiskräkningarna inleddes i silstationen i slutet av 1980-talet genomfördes provtagningar året om. Efter revidering av recipientkontrollprogrammet 1990 valdes veckorna 17-24 på våren samt 37-48 under hösten, eftersom de största förlusterna visat sig ske då. I samband med undersökningarna i Effekthöjningsprogrammet upprepades helårsprovtagningar under tre år, från vecka 49 år 2009 till vecka 48 år 2012. Resultaten bekräftade att fiskförlusterna likt tidigare var som störst under ordinarie provtagningsveckor och tidpunkten för undersökningarna lämnades oförändrade.

Undersökningarna i silstationen ger tydlig information om de allvarligaste effekterna av kärnkraftverkets drift för den omgivande miljön. Artfördelningarna och mängden fisk som sugas in i kylvattenintaget ger sannolikt bra information för beståndsutveckling av några arter, främst storspigg, småspigg och mindre havsnål. Dessutom kan resultaten påvisa goda rekryteringsår för utvalda varmvattenarter samt lokala bestånd av strömming.

## 5.2 Utveckling för fiskesamhället i Biotestsjön

En av de tydligaste förändringarna som skett i fiskesamhället i Biotestsjön sedan fiskspärren togs bort är ökad lekaktivitet för varmvattenarter under vårarna, främst av mört, abborre, björkna och sarv. Under de senaste åren har tätheterna av lekmogen fisk varit extremt höga i Biotestsjön och periodvis har fångsterna i nätundersökningarna varit svåra att hantera. Till följd av att nätundersökningarna i Biotestsjön har utförts under hela vårperioderna, från början av mars fram till slutet av juni, har flertalet frågetecken kring lekbeteende hos varmvattenarter i anläggningen kunnat kartläggas. Det har till exempel varit tydligt att olika arter har haft olika tidpunkter för den mest intensiva lekperioden, mört har haft lektoppen i april månad och abborre i maj. Lekperioderna har dock varit långdragna för samtliga vårlekande arter och det har konstaterats att övervintrande fiskar kan genomföra leken tidigare på året jämfört med individer som vandrar in till anläggningen. Ett tydligt tecken på detta är upptäckten av att abborryngel kan kläckas redan i början av april, långt tidigare än ordinarie lekaktivitetstopp för abborre i Biotestsjön (Adill m.fl. 2014). Innan 2004, då Biotestsjön var ett slutet system, var dock det normala att abborre och mört lekte tidigare i anläggningen jämfört med individer i områdena i Forsmarks skärgård. I samband med att fiskspärren togs bort från Biotestsjön har en förskjutning i tid skett så att leken för abborre och mört närmar sig tidpunkten för lek i Forsmarks skärgård (Adill m.fl. 2010).

Tidigare undersökningar har visat att abborre kan vandra relativt långa sträckor, över 10 km, för att nå speciellt attraktiva lekplatser (Saulamo & Neuman 2002). Undersökningar av lekbeteende hos mört i sjöar har visat att de i stor omfattning uppsöker samma lekplatser varje år (L'Abée-Lund 1985). Dessa studier stärker antagandet att Biotestsjön har stor dragningskraft på lek för abborre och mört i hela Forsmarksområdet. Trots stora omfattningar av lekvandringar av abborre och mört till Biotestsjön under vårarna har inte ökade tätheterna av yngel kunnat påvisas genom yngelundersökningarna på höstarna. Detta kan vara ett tecken på försvagad rekryteringsframgång för arter som genomför lek i Biotestsjön. En förklaring till låg yngelförekomst i Biotestsjön kan vara att en stor andel av de nykläckta larverna inte överlever i Biotestsjön, eller att de snabbt sköljs bort från anläggningen på grund av den starka vattenföringen. Tidigare observationer i utsläppspunkten antyder att en sådan uttransport av yngel kan vara av betydande omfattning. Det är dock osannolikt att fiskyngel i ett tidigt utvecklingsstadium kan klara den temperaturskillnad som uppstår i transporten mellan Biotestsjön och området utanför. Abborryngel som utsätts för vattentemperaturer under 10° C får ofta svårt att simma och sjunker ned till botten där risken att dö är överhängande (Karås 1987).

Att en försvagad rekryteringsframgång skulle kunna bero på fysiologiska faktorer hos fisken, till exempel skador och defekter i gonader, är möjligt. I årliga kontroller

för gonadskador hos abborre och mört som genomförts i Biotestsjön har dock endast få individer påträffats med defekter eller skador i gonaderna. Det har under senaste åren noterats att abborre i Biotestsjön har relativt mindre gonader jämfört med individer i Forsmarks skärgård. Hur mycket detta påverkar rekryteringsframgången och bestånden i området är oklart och svårt att avgöra. För att undersöka detta krävs fördjupade undersökningar och ryms inte inom recipientkontrollprogrammet. I studier genomförda i tredje reaktorns kylvattenskanal under 1990-talet var omfattningen stor för abborre som led av skador i gonaderna och missbildningar i äggen, orsakade av långtidsexponering av uppvärmt kylvatten (Mo m.fl. 1996). Sådana tendenser har inte påträffats vid de okulära besiktningar av abborre som genomförts från Biotestsjön under senaste tioårsperioden. Det har dock observerats att abborre i kylvattenrecipienter vid Oskarshamnsverket har haft hög dödlighet hos tidiga livsstadier av abborre på grund av dålig äggkvalitet (Sandström 1997). För att kunna upptäcka sådana skador i äggen krävs fördjupade studier och undersökningar med hjälp av mikroskop.

En förväntad konsekvens av att fiskspärren avlägsnades i Biotestsjöns utlopp var att förändringar skulle ske för biodiversiteten i lokala fiskesamhället samt en ökad aktivitet för vandringar av fisk mellan Biotestsjön och skärgårdsområdena utanför anläggningen. Förutom de omfattande lekinvandringar av varmvattenarter som sker under vårarna har andra fiskarter, som tidigare inte funnits i Biotestsjön, kommit in i anläggningen och uppehållit sig periodvis eller blivit permanenta i området. Genom undersökningarna med olika metodiker, nät-, ryssje- och detonationsfiske, har det upptäckts att typiska kallvattenarter som till exempel sik, nors och lake lever delar av året i Biotestsjön. Allt tyder på att dessa typiska kallvattenarter är tillfälliga besökare i Biotestsjön och det har aldrig noterats att dessa genomför lek i området. Detsamma gäller för kallvattenarten strömming, för vilken det fanns farhågor om att stora stim kunde vandra in i Biotestsjön för lek, vilket hittills inte har skett. Biotestsjöns varma vatten har dock en stark dragningskraft på det lokala strömmingsbeståndet i Forsmark och stora mängder samlas vid utsläppsområdet norr om anläggningen (Adill m.fl. 2014). Om kallvattenarter skulle genomföra lek i Biotestsjön skulle detta sannolikt leda till dåligt resultat och stora förluster i yngelproduktionen för berörda bestånd. För arter som klarar av att leva i Biotestsjön året om kan däremot rekrytering i anläggningen medföra att arten etablerar sig och tätheterna ökar.

En påtaglig risk som fanns inför galleröppningen var att tätheter av fisk periodvis kunde bli extremt höga i Biotestsjön och att detta kunde ge konsekvenser på födotillgången i anläggningen. En ökad konkurrens om tillgängliga födoresurser kan i sin tur påverka tillväxt, kondition och rekryteringsframgång. Forskning och övervakning kring fiskars energifördelning, och hur denna regleras av omgivande vattentemperatur, har varit omfattande inom kärnkraftsprogrammen genom åren och beskrivits i flertalet rapporter (Karås & Toresson 1992; Mo m.fl. 1996; Adill m.fl.

2013). Omgivande vattentemperatur har stor påverkan på fiskars ämnesomsättning och ett liv i Biotestsjöns varma vatten medför att konsumtionen periodvis måste vara hög, för att upprätthålla viktiga fysiologiska funktioner samt tillväxt. En risk med att befinna sig i förhöjda temperaturer under vinterhalvåret är att fisken då kommer att ha en relativt hög metabolism (ämnesomsättning). För att upprätthålla energinivåerna måste fisken då konsumera en större mängd föda. Abborre, som är direkt beroende av synen för att jaga, är dock hänvisad till att födosöka endast under dygnets ljusa timmar, vilka är få under vinterhalvåret. Ett tydligt tecken på hur höga tätheter av fisk påverkar bottenlevande djur upptäcktes tidigt efter galleröppningen. En dramatisk nedgång för bottenfaunan noterades åren direkt efter att Biotestsjön öppnades orsakade av fiskars predation (Karås m.fl. 2010).

Vid kontrollerna av kondition hos abborre och mört under senhöstarna har inga särskilda tecken observerats för att fiskar i Biotestsjön lider av födobrist eller skadats av att leva i anläggningen. Mört, som vanligtvis har en stor andel bottenfauna i sitt födoval, har under de senaste åren gjort anpassningar och har alltmer växtmaterial i sin föda (Adill m.fl. 2013). Detta bidrar sannolikt att energiintaget kan bibehållas på höga nivåer trots att avsaknad av mjukbottenfauna kan råda. För abborre, som relativt tidigt i livet övergår till fiskdiet i sin föda, har Biotestsjön nästintill optimala förhållanden för snabb tillväxt. De höga vattentemperaturerna tillsammans med stora mängder föda i Biotestsjön möjliggör att unga individer av abborre kan växa snabbt. Under de senaste åren har extremt höga värden noterats för årsrekryter, upp till 182 millimeter under första tillväxtåret för abborre (Adill m.fl. 2014). Detta visar att Biotestsjön är en idealisk uppväxtplats för ung abborre, som snabbt växer sig stor och därmed minskar risken för att bli bytesdjur och ökar chanserna till att fortplanta sig. För äldre och större abborrar tycks dock vattentemperaturen i Biotestsjön bli alltför hög under sommarhalvåret vilket leder till fysiologisk stress. En stor andel av dessa flyr sannolikt Biotestsjön under sommarmånaderna och sprider sig till omgivande områden i Forsmarks skärgård. Detta medför att andelen ung fisk är övervägande i Biotestsjön under stora delar av året och att äldre individer förekommer främst under lekperioden under våren.

### 5.3 Utvecklingen för fisksamhället i Forsmarks skärgård

Fisksamhället i Forsmarks skärgård har genomgått tydliga förändringar under de år som kärnkraftverket varit i drift. Förändringarna har skett i artfördelningarna i området samt förekomster av fisk inom samma art. Många av förändringarna som noterats kan framför allt relateras till storskaliga förändringar i Bottenhavet och Östersjön, såsom generellt minskande salthalter och ökande vattentemperaturer (Adill m.fl. 2013). Under de senaste tretton åren, när Biotestsjön har varit öppen, finns

även tydliga tecken på att driften i kärnkraftverket utgör en betydande påverkansfaktor för fiskesamhällena i områdena utanför anläggningen. Det förekommer omfattande vandringar av fisk från Forsmarks skärgård in till Biotestsjön, främst för lek under vårperioden av varmvattenarter. Utvecklingen har under åren varit accelererande och mängden fisk som söker sig till Biotestsjön ökar kontinuerligt. Under sommarhalvåret, när vattentemperaturerna blir alltför extrema i Biotestsjön, förekommer stort skyende från området och stor andel av äldre individer lämnar anläggningen. Särskilt vuxna och större individer drabbas av fysiologisk stress av höga vattentemperaturer. Dessa individer sprider sig sannolikt till stora delar av Forsmarks skärgård och lämpliga lokaler i området. Det finns dock inga tydliga trender för hur bestånden av vuxen fisk av dessa arter påverkas. För abborre finns dock tydliga tecken på att individer har levt delar av sina liv både i skärgårdsvatten i Forsmarkområdet, samt i närrecipienten Biotestsjön med uppvärmt kylvatten.

Det är inte uteslutande vuxen fisk som vandrar ut från Biotestsjön och sprider sig till skärgårdsområdena i Forsmark. Vid tillfällen under de senaste åren har grupper om årsyngel av abborre observerats vid yngelundersökningarna som bevisligen kläckts i Biotestsjön och spridit sig till de innersta delarna av Forsmarks skärgård. Uttransport av yngel från Biotestsjön är sannolikt vanligt förekommande och frågetecken finns angående hur stor andel som överlever temperaturskillnaderna som uppstår mellan det uppvärmda kylvattnet och i utläppsområdet i Öregrundsgrepen. Mycket tyder på att nykläckta yngel drabbas hårt av uttransport från Biotestsjön och att dödligheten är hög. För yngel som vandrar ut från Biotestsjön senare under vår och sommar är temperaturskillnaderna sannolikt inte något problem och dessa individer kan förstärka bestånden i omgivningen. Sträckan mellan Biotestsjöns utlopp till innersta delarna av Forsmarks skärgård är lång, uppemot tre kilometer. De abborryngel från Biotestsjön som påträffats i Forsmarks skärgård har sannolikt lämnat Biotestsjön relativt tidigt under uppvuxen och vandrat in i skärgården. Tillskottet av abborryngel från Biotestsjön till omgivande vattenområden kan sannolikt förstärka bestånden lokalt i Forsmarks skärgård.

Vandringar av abborrar mellan Biotestsjön och omgivande skärgårdsområden tycks vara vanligt förekommande. I analyserna för tillväxt hos abborre syns tydliga mönster om perioder i abborrars liv med snabb tillväxt. Det finns stora fördelar för individer att växa snabbt och uppnå stor storlek i tidig ålder, detta påverkar både överlevnaden och fortplantningsframgången hos individen positivt (Wootton 1998). Den positiva trend som finns för stora abborrar (>25 centimeter) i Forsmarks skärgård påverkas rimligtvis av abborrar som härstammar från eller lever perioder i sitt liv i Biotestsjön, och på så vis växer snabbt under delar av livet. Det finns även ett generellt mönster för kustlevande abborre i Sverige, som på många platser visat positiva trender för tillväxt under de senaste åren (Förlin m.fl. 2017:2; Förlin m.fl.

2017:3). Denna trend tillsammans med effekterna av kylvattnet i Biotestsjön stimulerar sannolikt ytterligare tillväxtökningar hos abborre i Forsmarks skärgård. Dessutom ska betydelsen av rekryteringsframgången för olika årsklasser av abborre vägas in. Starka årsklasser har förmåga att förbättra lokala bestånd under de närmsta kommande åren och fler individer uppnår stor storlek. Under 2011 var rekryteringen av abborre särskilt lyckad i Forsmark och har påverkat det lokala beståndet positivt.

## 5.4 Bottenfaunaundersökningar

### 5.4.1 Mjukbottenfauna

Undersökningar av mjukbottenfauna utanför Forsmarks kärnkraftverk utförda 2017 visade inga markanta skillnader mot tidigare år med undantaget för en nedåtgående trend hos den invasiva havsborstmasken *Marenzelleria* spp. på den medeldjupa stationen. Den nedåtgående trenden av *Marenzelleria* är i linje med andra observationer som gjorts inom internationell och nationell miljöövervakning i Östersjön de senaste åren (HELCOM 2013; Agrenius m.fl. 2016). Sett över hela provtagningsperioden är den tydligaste skillnaden vitmärlans (*Monoporeia affinis*) nedgång till följd av introduktionen av den invasiva *Marenzelleria* spp. som skedde kring millennieskiftet. Samma skifte kunde observeras i hela Östersjön där höga förekomster av *Marenzelleria* spp. rapporterades in. Till följd av ökade tätheter av *Marenzelleria* spp försvann vitmärlan i många fall, orsakat av ökad konkurrens. Den mjukbottenfaunaprovtagning som utfördes inne i Biotestsjön mellan 1978 och 2008 visade på ett bottenfaunasamhälle med låg artrikedom och låga biomassor sedan kärnkraftverket togs i drift (Adill m.fl. 2013).

### 5.4.2 Hårdbottenfauna

Hårdbottenfaunaundersökningarna visar fortsatt stora skillnader mellan områden och år för både antal individer och biomassa. Bottenfaunan inne i Biotestsjön har avsevärt högre abundanser och högre biomassa än områdena utanför. Bottenfauna i Biotestsjön domineras av tre arter: tångmärla (*Gammarus* spp.), märlkräfta (*Lep-tocheirus pilosus*) samt nyazeeländsk tusensnäcka (*Potamopyrgus antipodarum*) som inte förekommer i samma tätheter utanför Biotestsjön. Nyazeeländsk tusensnäcka, den dominerande arten i Biotestsjön, är en invasiv art i svenska vatten och kan reproducera sig året runt till skillnad från inhemska arter av tusensnäcka som har en avgränsad parningssäsong. Detta är en troligen förklaring till dess framgång

i Biotestsjön, där förhållandena för arten är gynnsamma året runt. Även den invasiva brackvattensmusslan (*Mytilopsis leucophaeata*) är en art som etablerat sig i Biotestsjön och återfinns där kontinuerligt. I områdena utanför Biotestsjön förekommer endast enstaka juvenila individer. Det uppvärmda kylvattenutsläppet möjliggör sannolikt att arten kan överleva vintern i Biotestsjön. Brackvattensmusslan har koloniserat och skadat kylvattenintag vid andra industrier (Florin m.fl. 2013) och det har funnits farhågor för att detta även kan ske i Forsmark, vilket dock hittills inte har besannats.

Bottenfaunan i Biotestsjön har fortsatt att öka sedan undersökningarna startades 2014 och tätheterna är nästan det tiodubbla för 2017. Den troliga förklaringen till 2017 års uppgång är den mängd fintrådiga alger som växt på Landforsplattorna i Biotestsjön, där en stor mängd bottenfauna har befunnit sig (främst nyazeeländsk tusensnäcka). Huruvida djur som koloniserar just dessa alger ska tas med eller ej i framtida undersökningar bör utredas.

I stationerna för de övriga områdena sågs en ökning i antal individer, främst genom en kraftig uppgång av antalet fjädermygglarver. Denna trend finns inte för fjädermygglarver som lever i Biotestsjön, där tätheterna av arten varit låg sedan fiskgallret togs bort. Huruvida tätheterna av fjädermygglarver påverkas direkt eller indirekt av uppvärmt kylvatten är svårt att bedöma. Sannolikt påverkas omfattningarna av fjädermygglarver i hög grad av de ökade tätheterna av fisk i Biotestsjön, som periodvis kan utgöra ett stort predationstryck på arten.

## 5.5 Fågelinventeringar inom kontrollprogrammet

Sedan produktionen inleddes i kärnkraftverket 1980 har fågelpopulationerna i Öregrundsgrepen och Forsmarks skärgård genomgått stora förändringar. Det stora kylvattenbehovet för kraftverket samt uppförandet av Biotestsjön innebar att levnadsförhållandena ändrades för många sjöfåglar, både lokalt och på större områden längs Sveriges östkust. Intaget och utsläppet av kylvatten från kraftverket påverkade förhållandena lokalt och skapade tillgång till öppet vatten året om, även under vinterhalvåret. Fåglar som tidigare behövde flyttade söderut för att hitta övervintringslokaler med öppet vatten kunde i samband med produktionsstarten hitta rätt förhållanden i Biotestsjön samt i omgivande vatten. När de första fågelinventeringarna genomfördes i Forsmark i början av 1980-talet, var tätheterna av sjöfågel låga under vinterhalvåret. Med tiden har en positiv utveckling skett och idag har Forsmarksområdet, främst Biotestsjön, höga tätheter av sjöfågel jämfört med tidigare. De höga tätheterna av sjöfågel påverkar sannolikt andra delar av ekosystemen i Forsmark, både delar som utgör föda för sjöfågel samt överliggande trofinivåer som nyttjar

sjöfågel som en födoresurs. Tätheterna av havsörn i Forsmark är väl känd liksom de förekommande observationerna av mink.

Den art som ökat mest i Forsmarksområdet sedan driften påbörjades, och som de senaste åren förekommer i de största tätheterna, är vigg. Från att bara ha varit ett fåtal övervintrande individer under 1980-talet har vigg ökat i antal och har de senaste åren omfattat upp emot tvåtusen individer under vintermånaderna. Vigg uppehåller sig främst i Biotestsjön och har sannolikt god tillgång av lämplig föda i anläggningen som har orsakats av kylvattentillförseln. Vigg konsumerar gärna bottenfauna och i synnerhet tusensnäckor, vilka gynnas av Biotestsjöns varma vatten. Under de senaste åren har dock fler individer sökt sig till andra delar i Forsmarksområdet, främst lokaler som har direkt påverkan av kylvattenflödena. I intagsområdet för kylvatten, Asphällafjärden, samt i områdena kring utsläppet från Biotestsjön har tätheterna av vigg ökat. Möjligen kan födoresurserna i Biotestsjön vara begränsade periodvis och individer kan då förflytta sig till andra områden för födosök.

Knipa förekommer i relativt stora mängder i Forsmarks skärgård men inte alls i samma utsträckning som vigg inne i Biotestsjön. De mest lämpliga lokalerna för knipa är i de delar som inte direkt påverkas av kylvattenflödena. Knipan är liksom vigg en bottenfaunakonsument och föredrar östersjömussla i sin föda. Östersjömussla är en art som påverkas negativt av värmen från kylvattenutsläpp och förekommer inte i Biotestsjön. Detta är sannolikt anledningen till de låga tätheterna av knipa i Biotestsjön och att de uppehåller sig där till största del för rastning.

Under de första sjöfågelundersökningar som genomfördes i Forsmark i början av 1980-talet noterades mellanskarv vid endast ett tillfälle (Sandström 1986). När undersökningarna återupptogs 1999 var mellanskarv vanligt förekommande i Forsmarksområdet och nyttjade området som viloplats och för födosök. Från tidigt 2000-tal fram till 2009 ökade mellanskarv kraftigt i Forsmark och hade ett antal lyckade häckningar i området, bland annat på Länsman utanför utsläppspunkten i Öregrundsgrepen (Adill m.fl. 2013). Under åren 2012 och framåt har mellanskarven etablerat sig i Biotestsjön och har genomfört häckningar i stora kolonier på klippor och hällar. Häckningarna har inte varit framgångsrika och några överlevande ungar har inte observerats. Anledningarna till detta har tillskrivits områdets täta populationer av havsörn och trutfåglar som frekvent har stört och attackerat skarvkolonierna.

De höga tätheterna av mellanskarv i Forsmarksområdet, och i synnerhet Biotestsjön, visar en allmän trend för arten längs kustområdena längs ostkusten. Med bakgrundskunskaper för hur mycket fisk en enskild individ kan konsumera under ett dygn, finns farhågor om att fiskpopulationerna i området kraftigt kan reduceras (Östman m.fl. 2012). I Biotestsjön, som är ett begränsat område med periodvis höga tätheter av fisk, tycks dock inte närvaron av mellanskarven påverkat bestånden ne-



gativt. En stor andel av födosöken sker sannolikt utanför Biotestsjön i utsläppsområdet, där periodvis stora mängder av strömming samlas. Det går dock inte uttala sig om effekterna av mellanskarven på strömmingsbestånden utifrån undersökningarna i recipientkontrollprogrammet.

## 5.6 Framtidens biologiska recipientkontrollprogram

Ett av syftena med föreliggande rapport är att utvärdera det biologiska recipientkontrollprogrammet för Forsmarks kärnkraftverk. Rapporten ska utgöra ett viktigt kunskapsunderlag inför diskussioner om fastställande av ett långsiktigt biologiskt recipientkontrollprogram för Forsmark Kraftgrupp AB från 2019 och framåt.

Nuvarande biologiska recipientkontrollprogram följer till största del metodikbeskrivningar i ”Handbok för kustundersökningar, recipientkontroll” (Thoresson 1992; 1996), ”Undersökning av hårbottenfauna vid Forsmarks kärnkraftverk - Metodikutveckling av artificiella substrat för övervakning av bottenfaunasamhällen på områden som saknar sediment” (Adill m.fl. 2015) samt de så kallade undersökningstyperna ”Provfiske med kustöversiktsnät, nätlänkar och ryssjor” (Andersson 2015) och ”Provfiske i Östersjöns kustområde – Djupstratifierat provfiske med Nordiska kustöversiktsnät” (Karlsson 2015). De förstnämnda handböckerna; ”Handbok för kustundersökningar, recipientkontroll” (Thoresson 1992; 1996), bör vid revidering av recipientkontrollprogrammet uppdateras till nya aktuella versioner. De undersökningstyper som följs i huvuddelen av provfiskena inom recipientkontrollen har nyligen uppdaterats av SLU och finansieras av Havs- och Vattenmyndigheten. Det pågår revideringsarbete för den nationella kustfiskövervakningen och möjligen kan delar av denna utvärdering påverka innehållet i recipientkontrollprogrammet.

### 5.6.1 Biotestsjön

Provfiske med kustöversiktsnät vid sex tillfällen under våren ger viktig information om förändringar i fisksamhällena och övervakar effekterna av Biotestsjön som attraktiv rekryteringslokal för Forsmarksområdets varmvattenarter. Sedan 2004 har stora förändringar skett i fisksamhällena och efter tretton år av övervakning har fortfarande ingen stabilisering skett för fångsterna. Tätheter av fisk under våarna har ökat kontinuerligt och var 2017 tidvis extremt höga. Övervakningen ger en god överblick över stationära varmvattenarter och en klar bild av hur driften i kärnkraftverket påverkar fiskbestånden i Forsmarksområdet. Nätprovfisket under våarna möjliggör även övervakning av tillfälliga arter som på sikt kan etablera sig i Biotestsjön och därmed utgöra stor påverkan på fisksamhällena i området. Dessutom kan undersökningarna effektivt kontrollera förekomsten av främmande fiskarter,

som eventuellt gynnas av kylvattenutsläppen och snabbt kan etablera sig i Biotestsjön. En sådan utveckling kan utgöra ett stort hot för lokala fiskbestånd och för större områden om spridning sker. I dagsläget kan svartmunnad smörbult (*Neogobius melanostomus*) utgöra ett sådant hot, en art som har hög reproduktionstakt och hög tålighet mot en stor bredd av miljöfaktorer. Svartmunnad smörbult rapporterades för första gången 2008 och har blivit alltmer omfattande i södra delarna av Sverige (Florin & Karlsson 2011).

Höstprovtagningarna med nätprovfiske i oktober ger goda beskrivningar för långtidstrender av fisksamhällena i Biotestsjön. Övervakningen under denna period är värdefull eftersom den beskriver rekryteringsframgången för arter som leker i Biotestsjön och ger en bild av hur artsammansättning och förekomster av fisk ser ut under största delen av året. Nätprovfisket tillsammans med kontroller av gonader, kondition, ålder och tillväxt, ger även en hälsostatus för fisken i Biotestsjön och kunskaper om hur fiskbestånden påverkas av utsläpp av uppvärmt kylvatten. Nätprovfisket som sker i december var till en början en provtagning som genomfördes i samband med oktoberprovfisket. Syftet med att flytta en vittjning från oktober till december var att kontrollera hur mycket fisk som förväntades övervintra i Biotestsjön och därmed riskera att drabbas av negativa hälsoeffekter och försämrad reproduktion. Resultaten tyder på att denna övervakning kan genomföras i samband med oktoberfisket. Den fisk som noteras under detta provfiske skulle sannolikt stannat kvar över vinterhalvåret. Insamlingarna av referensprover för abborre och mört i Forsmarks skärgård har genomförts parallellt med provfisket i Biotestsjön. Proverna har samlats in standardiserat och enligt metodbeskrivningen ”Provfiske med kustöversiktsnät, nätlänkar och ryssjor”. Enligt detta förfarande erhålls jämförbart provmaterial samtidigt som värdefull övervakningsdata för fisksamhällena fås för senhösten. Vissa år har det varit svårt att uppnå rätt provmängd, särskilt för mört, och insamlingarna bör ändras något för att mer effektivt samla in referensprover.

Undersökningarna med ryssjor var initialt ett komplement till nätprovfiskena med syfte att undersöka den lokala ålpopulationen, eftersom till skillnad från nät fångar ryssjor ål effektivt. Övervakningen med ryssjeprovfiske har de senaste åren begränsats till april månad och har en relativt liten omfattning (en vittjning i veckan). Resultaten i undersökningarna har dock varit värdefulla och gett en tydlig bild av förändringarna av ålpopulationen sedan fiskgallren togs bort. Minskningarna av ål i Biotestsjön har varit tydlig men betyder inte att det endast sker utvandring från anläggningen. Provtagningarna visar även att det förekommer stor invandring och att Biotestsjöns varma vatten attraherar stora mängder ål. Provfiske med ryssjor är dessutom värdefull för att följa utvecklingen av andra fiskarter och storlekar av fisk som inte fångas med nät. Genom övervakningen med ryssjor har tillfälliga kallvattenarter som lake och nors noterats samt småväxta arter och unga fiskar. På sikt kan ryssjeprovfiske även vara värdefullt för övervakning av främmande arter.

Övervakningen av yngeltätheterna i Biotestsjön genomförs med detonationsfiske och resultaten jämförs med provtagningar i Forsmarks innerskärgård under samma period. Provtagningarna ger viktiga indikationer om hur rekryteringarna fungerar för de etablerade arterna i Biotestsjön. Dessutom fås tydliga indikationer om nya arter i Biotestsjön lyckats med fortplantningen, som på längre sikt kan påverka fiskbestånd lokalt i anläggningen och på sikt regionalt. Provtagningarna har utvärderats i omgångar och 2009 fastställdes att undersökningarna skulle genomföras årligen under augusti månad på tio stationer i Biotestsjön. Referensprovtagningarna i Forsmarks innerskärgård, i ett område som tidigare utpekats som ett viktigt rekryteringsområde för abborre, genomförs några veckor senare i september.

### 5.6.2 Forsmarks skärgård och referensområde Finbofjärden

Övervakningen av fisksamhällena i Forsmarks skärgård genomförs under augusti månad enligt undersökningstypen ”Provfiske i Östersjöns kustområde – Djupstratifierat provfiske med Nordiska kustöversiktsnät” (Karlsson 2015). Provfiske med Nordiska kustöversiktsnät är standardmetodik för kustfiskövervakning längs hela Östersjökusten och metodiken infördes i recipientkontrollprogrammet 2002. Undersökningarna ger viktig information om de stationära fiskpopulationerna i Forsmark skärgård, särskilt fisksamhällena för varmvattenarterna i området. Den standardiserade metodiken möjliggör att följa långsiktiga förändringar i fiskbeståndens artsammansättning, artrikedom och storleksstruktur. I samband med provfisket genomförs provtagning av abborre och data insamlas för analys av ålder, tillväxt och årsklassstyrka. Parallellt med undersökningarna i Forsmark utförs jämförbart provfiske i referensområdet Finbofjärden på nordvästra Åland. Genom undersökningarna kan direkta jämförelser göras mellan områdena och därmed påvisa eventuella effekter för lokala fiskbestånd från Forsmarks kärnkraftverk. Eftersom den nationella och regionala kustfiskövervakningen genomförs med samma metodik finns dessutom möjligheter att jämföra resultat och trender från andra områden längs Sveriges ostkust, som i mindre omfattning påverkas av industrier och annan mänsklig påverkan.

### 5.6.3 Bottenfauna

Övervakningen av bottenfauna sker dels genom provtagning med bottenhugg för mjukbottenfauna (Thoreson 1992) sedan 1978 och dels genom provtagning med Landforsplattor för hårbottenfauna sedan 2012 (Adill m.fl. 2015). Metodiken som följs för mjukbottenfauna är en förenklad version av den standard som används vid den nationella övervakningen av mjukbottenfauna i svenska vatten, anpassat efter kontrollprogrammets behov. Detta möjliggör jämförelser med nationella data vid

behov. Metodiken med Landforsplattor är en metodik som utformats specifikt för Forsmarks recipientkontrollprogram. Metodiken utformades för att kunna undersöka det område som påverkas mest av övertemperatur i utsläppsområdet. I dessa områden saknas till stor del sediment och vanlig provtagningsmetodik är inte applicerbar där. Provtagning av mjukbottenfauna sker under maj månad på två lokaler som är olika påverkades av kylvattenutsläppet, samt två referenslokaler belägna på Åland. Provtagning av hårbottenfauna sker i en period från maj till september månad på tre lokaler som är påverkade av kylvatten i olika grad, samt en referenslokal norr om utsläppsområdet som aldrig påverkas av uppvärmt kylvatten.

Undersökningarnas ger möjlighet att på lång och kort sikt följa hur artsammansättning, artdiversitet och storleksstruktur av bottenfauna eventuellt påverkas av kylvattenutsläppet från Forsmarks kärnkraftverk. Undersökningar har även visat sig fungera som ett verktyg att upptäcka och övervaka främmande arters ankomst och utbredning. Observationen för det första svenska fyndet av brackvattenmussla (*Mytilopsis leucophaeata*) gjordes genom hårbottenfaunaundersökningar inom kontrollprogrammet. Upptäckter av främmande arter i våra ekologiska system kan dessutom utgöra värdefull information till de svenska kärnkraftverken, eftersom fastsittande organismer kan etablera sig i kylvattenvägarna och därmed påverka driftsäkerheten (Florin m.fl. 2013; Adill m.fl. 2015).

#### 5.6.4 Fågelinventeringar

Fågelinventeringarna inom recipientkontrollprogrammet genomförs två gånger i månaden under hela kalenderåret. Metodiken medför att värdefulla data insamlas, som ger en bra överblick var de olika arterna av sjöfågel befinner sig och under vilken tid på året. Genom att jämföra Biotestsjön med övriga områden blir det möjligt att analysera effekterna av kylvatten för fågelpopulationerna. Tillgången till goda rast- och övervintringslokaler har sannolikt stor betydelse för överlevnad och kondition, vilket medför positiva effekter för fågelbestånd långt utanför kärnkraftsrecipienten. Långtidstrenden tyder på att mängden sjöfågel gradvis har ökat i Forsmarksområdet och att tätheterna varit höga under vintrarna. Detta understryker att Biotestsjön och omgivande områden blivit betydelsefulla för många sjöfågelarter.

## Referenslista

- Abramoff, M.D., Magalhaes, P.J., Ram, S.J., (2004). Image Processing with ImageJ. *Biophotonics International*, volume 11(7): pp. 36-42.
- Adill, A., Mo, K. & A. Sevastik, 2010. Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk, Årsrapport för 2009. Fiskeriverkets kustlaboratorium.
- Adill, A., Mo K. & A. Sevastik, 2011. Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk. Årsrapport för 2010. Fiskeriverket Kustlaboratoriet.
- Adill, A., Landfors, F., Mo, K. & A. Sevastik, 2012. Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk. Årsrapport för 2011. *Aqua reports 2012:7*. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 43 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., Heimbrand, Y., Sevastik, S. (2014). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Årsrapport för 2013. *Aqua reports 2014:5*. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 42 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. (2015). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Årsrapport för 2014. *Aqua reports 2015:7*. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 52 s.
- 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., Karlsson, E. (2016). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Årsrapport för 2015. Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 58 s.
- 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.
- Agrenius, S., Pleijel, F., Norlinder, E., Raymond, C., Svensson, O., Gunnarsson, J., Albertsson, J. (2016). HAVET – Om miljötillståndet i svenska havsområden – Makrofauna mjukbotten. Göteborg: Havsmiljöinstitutet.

- 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>
- Bergström, U., Olsson, J., Casini, M., Eriksson, B. K., Fredriksson, R., Wennhage, H., Appelberg, M. (2005). Stickleback increase in the Baltic Sea - a thorny issue for coastal predatory fish. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 163, 134-142.
- Beukema J.J., Dekker R. & J.M. Jansen, 2009. Some like it cold: populations of the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.) suffer in various ways from a warming climate. *Mar Ecol Prog Ser* 384:135–145.
- Boström, M.K., Östman, Ö., Bergenius, M.A.J. & S.-G. Lunneryd, 2012. Cormorant diet in relation to temporal changes in fishcommunities. *ICES J. Mar. Sci.* 69(2): 175–183. doi:10.1093/icesjms/fss002.
- 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
- Casini, M., Hjelm, J., Molinero, J. C., Lövgren, J., Cardinale, M., Bartolino, V., Belgrano, A. & G. Kornilovs, 2009. Trophic cascades promote threshold-like shifts in pelagic marine ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 106: 196–202.
- Ehlin, U., Lindahl S., Neuman E., Sandström O. & J. Svensson, 2009. Miljöeffekter av stora kylvattenutsläpp. Erfarenheter från de svenska kärnkraftverken. *Elforsk rapport 09:79*.
- Fisher, R. A. (1925). *Statistical Methods for Research Workers*. Edinburgh, UK: Oliver and Boyd, s. 43
- Florin, A.-B., Karlsson, M. (2011). Svartmunnad smörbult i svenska kustområden. *Finfo* 2011:2.
- Florin, A.-B., Mo, K., Svensson, F., Schagerström, E., Kautsky, L., Bergström, L., 2013. First records of Conrad's false mussel, *Mytilopsis leucophaeata* in the southern Bothnian Sea, Sweden, near a nuclear power plant. *Bioinvasions Records* 2, 303-309.
- Förlin, L., Larsson, Å., Parkkonen, J., Ericson, Y., Ek, C., Faxneld, S., Danielsson, S., Nyberg, E., Olsson, J., Franzén, F. (2017). Faktablad från integrerad kustfiskövervakning 2017:2. Holmöarna (Bottniska viken) 1989-2016.
- Förlin, L., Larsson, Å., Parkkonen, J., Ericson, Y., Ek, C., Faxneld, S., Danielsson, S., Nyberg, E., Olsson, J., Franzén, F. (2017). Faktablad från integrerad kustfiskövervakning 2017:3. Kvädöfjärden (Egentliga Östersjön) 1988-2016.
- Gollasch S., & E. Leppäkoski, 1999. Initial Risk Assessment of Alien Species in Nordic Coastal Waters. *Nord 1999:8*. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 244 pp
- 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.
- HELCOM, 2012. Indicator based assessment of coastal fish community status in the Baltic Sea 2005-2009. *Balt. Sea Environ. Proc.* No. 131
- HELCOM Sekretariat (2013) HELCOM Core Indicator of Biodiversity – State of the soft-bottom macrofauna communities. Helsingfors: HELCOM.
- 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., Neuman, E. & O. Sandström, 1984. Provfiskefångster i Forsmark 1977-1983. Stencil. Statens naturvårdsverk 1984-12-14
- Karås, P. 1987. Food consumption, growth and recruitment in perch (*Perca fluviatilis* L.). *FD avh.* Uppsala Universitet.
- Karås, P. & G. Thoreson, 1992. An application of a bioenergetics model to Eurasian perch (*Perca*

- fluviatilis L.). J. Fish. Biol. 41:217–230.
- Karås, P., A. Adill, M. Boström, K. Mo & A. Sevastik, 2010. Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk år 2000–2007. Fiskeriverket informerar, FINFO 2010:2.
- Kennedy, V.S. & J.A. Mihursky, 1971. Upper temperature tolerances of some estuarine bivalves. Chesapeake Sci 12:193–204.
- L'Abée-Lund, J.H. & L.A. Völlestad, 1985a. Homing precision of roach *Rutilus rutilus* in Lake Arungen, Norway. Env. Biol. Fish. 13: 235-239.
- Larson, N. (2017). Baltic International Acoustic Survey report, October 2016. Aqua Reports 2017:12. Sveriges lantbruksuniversitet, Lysekil.
- Laine A.O., Mattila J. & A. Lehtikoinen, 2006. First record of the brackish water dreissenid bivalve *Mytilopsis leucophaeata* in the northern Baltic Sea. Aquatic Invasions 1:38-41.
- Legendre, P. & L. Legendre, 1998. Numerical Ecology, 2nd edn. Elsevier Science BV, Amsterdam. 870 pp.
- Ljunggren, L., A. Sandström, G. Johansson, G. Sundblad & P. Karås, 2005. Rekryteringsproblem hos Östersjöns kustfiskbestånd. Finfo 2005:5.
- Luksienė, D. & O. Sandström. 1994. Reproductive disturbance in a roach (*Rutilus rutilus*) population affected by cooling water discharge. J. Fish Biol. 45: 613–625.
- Mo, K, 1984. Mjukbottenfaunan i Biotestsjön, Forsmark, 1978-1983. Statens Naturvårdsverk SNV PM 1914.
- Mo, K., P. Karås, Neuman, E., Sandström, O. & H. Svedäng, 1996. Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk 1980–1995. Fiskeriverket, Kustrapport 1996:6
- Muus, B., J. Nielsen, 1997. Havsfisk och fiske i nordvästeuropa. Prisma. ISBN 91-518-3505-3. 337s.
- Möllman, C., Diekmann, R., Müller-Karulis, B., Kornilovs, G., Plikshs, M. & P. Axe, 2009. Reorganization of a large marine ecosystem due to atmospheric and anthropogenic pressure: a discontinuous regime shift in the Central Baltic Sea. Global Change Biology, 15: 1377–1393.
- Naturvårdsverket. (1978). Biologiska inventeringsnormer, BIN, Fåglar. Punktlinjekartering.
- Neuman, E. (1974). Temperaturens inverkan på abborrens (*Perca fluviatilis* L.) tillväxt och årsklassstorlek i några östersjöskär-gårdar. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm.
- Neuman, E. & O. Sandström. 2002. Utredning av miljökonsekvenserna vid dagens kylvattenanvändning i Forsmark samt bedömning av effekterna om Biotestsjöns fiskspärr avlägsnas. Skargardsutveckling AB, opublicerad.
- Olsson, J., Bergström, L., & A. Gårdmark, 2012. Abiotic drivers of coastal fish community change during four decades in the Baltic Sea – ICES Journal of Marine Science, 69: 961–970.
- Olsson J, Bergström L, Gårdmark A 2013 Top-Down Regulation, Climate and Multi-Decadal Changes in Coastal Zoobenthos Communities in Two Baltic Sea Areas. PLoS ONE 8(5): e64767. doi:10.1371/journal.pone.0064767
- Pearson TH & R. Rosenberg, 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr Mar Biol Annu Rev 16: 229–311
- Sadler, K. 1979. Effects of temperature on the growth and survival of the european eel *Anguilla anguilla*. J. Fish. Biol. 15: 499–507
- Sandström, O. 1985. Recipient monitoring at Forsmark nuclear power station. Report summary 1984. SNV Report 1915, 26 pp.
- Sandström, O. & B. Svensson, 1990. Kylvattnets biologiska effekter, Forskning i Biotestsjön, Forsmark, 1984-1988.
- Sandström, O. 1990. Vattenmiljön vid Forsmarks kraftstation. Naturvårdsverket, Rapport 3867. 42s.
- Sandström, O., Abrahamsson I., Andersson J. & M. Vetemaa. 1997. Temperature effects on spawning and egg development in Eurasian perch. J. Fish Biol. 51:1015–1024.

- Sandström, O., K. Mo, P. Karås, K. Saulamo & A. Sevastik, 2002. Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk 1995–2000. Fiskeriverket informerar, FINFO 2002:3.
- Saulamo, K. & E. Neuman, 2002. Local management of Baltic fish stocks – significance of migrations. Fiskeriverket informerar, FINFO 2002:9
- Svärdson, G. (1961). Ingen effekt av sikodlingen i Kalmarsund. Svensk Fiskeri Tidskrift. 70:23–26.
- Söderberg, K. 2009. Provfiske i Östersjöns kustområden – Djupstratifierat provfiske med Nordiska kustöversiktsnät. Naturvårdsverket rapport.  
<https://www.havochvatten.se/4.77581c8213364cf66b38000109846.html>
- Thoresson, G. 1992. Handbok för kustundersökningar, Recipientkontroll.  
<http://www.slu.se/Documents/externwebben/akvatiskaresurser/publikationer/FIV/KLAB/PM029-%20handbok%20recip.pdf>
- Thoresson, G. 1996. Guidelines for coastal fish monitoring.  
<http://www.slu.se/Documents/externwebben/akvatiskaresurser/publikationer/FIV/KLAB/PM087-eng%20hand%201996-2.pdf>
- Verween A., Vincx M. & S. Degraer, 2010. Mytilopsis leucophaeata: The brackish water equivalent of Dreissena polymorpha? A review. In: Van der Velde G., Rajagopal S. & Bij de Vaate A., editors. The Zebra Mussel in Europe Leiden: Backhuys Publishers. 29–43.
- Wootton, R. J., 1998. Ecology of Teleost Fishes, second edition.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & G. M. Smith, 2007. Analysing Ecological Data. Springer Science + Business Media, LLC. 672 pp.
- Österblom, H., Hansson, S., Larsson, U., Hjerne, O., Wulff, F., Elmgren, R. & C. Folcke, 2007. Human-induced trophic cascades and ecological regime shifts in the Baltic Sea. *Ecosystems*, 10: 877–889.
- Östman, Ö., M. Bergenius, M.K. Boström & S.-G. Lunneryd, 2012. Do cormorant colonies affect local fish communities in the Baltic Sea? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 69: 1047–1055 (2012)



## Bilaga 1

Revision av kontrollprogram vid Forsmarks kärnkraftverk

### Varaktighet

Förslaget till nytt program gäller perioden 2004-2007. Efter analys av kontrollresultat skall ett reviderat programförslag presenteras för perioden 2008 och framåt. Om kontrollresultaten motiverar revideringar under perioden fram till 2008 skall dessa kunna genomföras efter beslut vid årliga resultatpresentationer.

<b>Tidsplan för kontrollverksamheten i Forsmark 2004-2008</b>		
<i>År</i>	<i>Öregrundsgrepen</i>	<i>Biotestsjön</i>
2004	Basprogram. Strömmingsyngel	Intensivprogram
2005	Basprogram. Strömmingsyngel	Intensivprogram
2006	Basprogram. Strömmingsyngel	Intensivprogram
2007	Basprogram. Utvärdering av kontroll av strömmingsyngel	Intensivprogram. Utvärdering
2008	Basprogram. Femårsrapport	Revision av program, övergång till basprogram. Femårsrapport

### Intensivprogram för Biotestsjön 2004-2007

#### *Bottenfauna*

Prov tas med Ekmanshämtare två gånger per år (vår och höst). Provtagningen utföras med ledning av resultat från inventeringen 2003.

#### *Provfiske*

Fiske med kustöversiktsnät görs på fem stationer en natt varannan vecka under hela året. Fiske med ålryssjor görs på fyra stationer under fyra veckor i april, två veckor i juli samt sex veckor i augusti-september.

#### *Kontroll av yngel och småfisk*

Yngel och småfisk insamlas med sprängteknik från ca 30 stationer vid två tillfällen under perioden juli-september. Den slutliga utformningen av programmet görs med ledning av resultat från inventeringar 2003.

### *Ålder och tillväxt hos fisk*

Analys görs på abborre, mört och gädda som insamlas under hösten. Konditionskontroll görs på samtliga insamlade fiskar.

### *Skador på könsorgan hos fisk*

Under hösten insamlas abborre och mört (ca 100 fiskar per art) samt gädda (samtliga fångade under perioden) för okulärbesiktning av könsorganens status. Insamlingen görs i samband med kontrollen av ålder, tillväxte och kondition.

### *Fisksjukdomar*

All fisk som fångas vid provfiske okulärbesiktigas.

### *Fågelinventeringar*

Månatliga inventeringar av sjöfågel görs enligt program som fastställs 2003.

### *Omgivningsdata*

Kontinuerlig övervakningen sker med fast monterat temperaturmätningssystem. Kompletterande mätningar görs med registrerande sonder utplacerade efter gradient i Lagunen.

### Kontroll av strömmingsrekrytering i Öregrundsgrepen 2004-2007

#### *Kontroll av årsyngel*

Undersökning av förekomst av årsyngel av strömming i Öregrundsgrepen görs årligen i augusti-september med ekointegreringsteknik. Programmet utformas i samråd mellan FKA och Fiskeriverket.

### Baskontrollprogram för Öregrundsgrepen 2004-2007

#### *Fiskförluster i silstationerna*

Allt rensmaterial från silstationen vid block 1 och 2 avskiljs under två dygn per vecka under perioderna vår v 17-24 och höst v 37-48. Alla fiskar artbestäms, räknas och vägs. Programmet utvärderas under vintern 2003-2004. Resultaten kan föranleda revision av programmet.

#### *Bottenfauna*

Två stationer provtas med van Veenhämtare i Öregrundsgrepen (stn 119 och 121). Referensprov tas på stn 2, 3 och 9 i Finbofjärden. Stn 10 utgör reserv.

### *Provfiske*

Provfiske med kustöversiktsnät görs under sex nätter på åtta stationer i skärgården i augusti. Referensfiske sker på åtta stationer i Finbofjärden.

### *Kontroll av yngel och småfisk*

Yngel och småfisk insamlas med sprängteknik på ca 30 stationer vid två tillfällen under perioden juli-september. Den slutliga utformningen fastställs med ledning av inventering i Biotestsjön 2003.

### *Ålder och tillväxt hos fisk*

Analys görs på abborre fördelat på längdklasser. Referensmaterial insamlas från Finbofjärden.

### *Fisksjukdomar*

All fisk som fångas vid provfiske okulärbesiktigas.

### *Omgivningsdata*

Temperaturregistrering sker kontinuerligt i rekryteringsområden. SMHI-s mätstation S vid Hästen ger kontinuerliga temperaturdata på olika djupnivåer.

