



Aqua reports 2019:11

Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk

Årsrapport för 2018

Anders Adill, Per Holliland, Erik Karlsson



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för akvatiska resurser

Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk

Årsrapport för 2018

Anders Adill, Per Holliland, Erik Karlsson

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

Juni 2019

Aqua reports 2019:11
ISBN: 978-91-576-9676-2 (elektronisk version)

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

Rapportens innehåll har granskats av:
Andreas Bryhn, **Sveriges lantbruksuniversitet**, Institutionen för akvatiska resurser

Vid citering uppgge: Adill, A., Holliland, P. B., Karlsson, E. (2019).
Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk, Årsrapport för 2018.
Aqua reports 2019:11. **Sveriges lantbruksuniversitet**, Institutionen för akvatiska resurser,
Öregrund Drottningholm Lysekil. 42s.

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

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

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

Finansiär:
Forsmarks kraftgrupp AB.

Framsida: Biotestsjön under vintern med Forsmarks kärnkraftverk i bakgrunden.
Foto: Martina Blass.
Baksida: Biotestsjön en solig dag under vintern. Foto: Martina Blass.

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 årsrapport presenterar resultat i undersökningarna inom kontrollprogrammet för 2018 med fokus för samhällena av fisk, mjuk- och hårbottenfauna samt sjöfågel.

Under 2018 producerade Forsmarks kärnkraftverk 25 terawattimmar (TWh) el i sina anläggningar, det tredje mest intensiva produktionsåret sedan starten. För kylning av processen i kondensatorerna kräver driften av kraftverkets tre reaktorer närmare 150 kubikmeter brackvatten per sekund. Kylvattnet som tas in i kärnkraftverket, värms upp med cirka 11°C innan det pumpas ut till närrecipienten Biotestsjön. Under högsommaren var vattentemperaturen extremt hög i Biotestsjön med medeltemperaturer på 28°C och varmare. Från den 14 juli till den 21 juli, höjdes temperaturen kraftigt i kylvattnet som släpptes ut i Biotestsjön och orsakade stor fiskdöd i Biotestsjön, främst av stora och äldre individer.

Förlusterna av fisk i silstationerna vid kylvattenintaget, utgjordes likt tidigare år främst av småväxta fiskarter samt yngel. De beräknade förlusterna av fisk under hösten uppgick till totalt 18,6 miljoner individer fördelade på 28 olika arter. Vanligaste arten i undersökningarna var storspigg som omfattade 13 miljoner individer. Förlusterna av ål var relativt omfattande under hösten och främst av blankål (ådens lekvandringsmogna levnadsstadium). Vid ett provtagningstillfälle noterades 41 blankålar under ett dygn. Under vårperioden uteblev undersökningarna i silstationen på grund av en felande provtagningspump.

De stora nätfångsterna av abborre och mört i Biotestsjön under våren visar att anläggningen fortsatt har stor dragningskraft för varmvattenarter under lekperioden. Under 2018 var tätheterna av mört yngel ovanligt höga i Biotestsjön, vilket tyder på en lyckad rekrytering under året. Analyserna av ålder och tillväxt hos abborre visar att förhållandena i Biotestsjön var nästintill optimala för tillväxt hos unga individer. Medellängden hos årsyngel av abborre under oktober var 153 millimeter under 2018. Konditionen hos abborre och mört i Biotestsjön är på normala nivåer och visar inga tecken på att förhållandena skulle vara skadliga i Biotestsjön. Den negativa utvecklingen av ål i Biotestsjön förstärktes under 2018. Trots att tätheterna av ål är rekordlåga i Biotestsjön sker invandring av små ålar in till anläggningen. Det förekommer sannolikt en del utvandring av ål från Biotestsjön under året, men någon sådan har inte kunnat kvantifieras.

I Forsmarks skärgård var fångsterna i nätprovfisket de lägsta sedan provtagningarna inleddes 2002. Förekomsterna av abborre och mört har negativ utveckling i Forsmarks skärgård och fångsterna 2018 var i rekordlåga nivåer, vilket inte kan ses i referensområdet i Finbofjärden. En svag rekrytering under de senaste åren kan vara en förklaring. Det kan även påverkas av att abborre och mört vistas i högre utsträckning i Biotestsjön eller i kringliggande områden vid utsläppspunkten till Öregrundsgrepen.

En kraftig nedgång av märkräfta och nyzeeländsk tusensnäcka noterades i Biotestsjön under 2018, möjligtvis en effekt av de extrema temperaturerna i Biotestsjön under juli månad. Den invasiva brackvattenmusslan *Mytilopsis leucophaeata* observerades för första gången sedan undersökningarnas början vid lokalen Borgarna, som är opåverkat av kylvattnet. Brackvattenmusslan förekommer i relativt höga tätheter i Biotestsjön samt har noterats i lokalerna Asphällafjärden och Plymen.

Fågelinventeringarna visade att andelen sjöfågel som uppehåller sig i Asphällafjärden har ökat. En förklaring kan vara att viggens föda minskat i Biotestsjön och vigen vistas i större utsträckning i Asphällafjärden jämfört med Biotestsjön. Under 2018 noterades inga häckningar av mellanskarv i Biotestsjön, och de flesta individer har flyttat ut från anläggningen till omgivande skärgårdsområden.

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	5
1.1	Rapportens innehåll och syfte	5
1.2	Bakgrund.....	5
2	Kraftverkets drift och temperaturpåverkan	8
3	Metodik.....	9
3.1	Silstationerna	9
3.2	Biotestsjön	10
3.2.1	Beståndsövervakning med nätprovfiske	10
3.2.2	Beståndsövervakning med ryssjeprovfiske.....	11
3.2.3	Kondition och gonadstatus hos abborre och mört	11
3.2.4	Kontroll av ålder och tillväxt.....	12
3.2.5	Beståndsövervakning av yngel med detonationsteknik	12
3.2.6	Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk	12
3.2.7	Insamling av omgivningsdata	12
3.3	Forsmark och Finbofjärden	13
3.3.1	Beståndsövervakning med nätprovfiske	13
3.3.2	Kontroll av ålder och tillväxt.....	14
3.4	Bottenfauna.....	14
3.4.1	Mjukbottenfauna	14
3.4.2	Hårdbottenfauna	15
3.5	Fågelinventeringar	16
4	Resultat.....	17
4.1	Silstationen	17
4.2	Biotestsjön	19
4.2.1	Beståndsövervakning med nätprovfiske	19
4.2.2	Beståndsövervakning med ryssjefiske.....	21
4.2.3	Kondition och gonadstatus hos abborre och mört	22
4.2.4	Kontroll av ålder och tillväxt.....	23
4.2.5	Beståndsövervakning av yngel med detonationsteknik	24
4.2.6	Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk	25
4.3	Forsmark och Finbofjärden	26
4.3.1	Beståndsövervakning med nätprovfiske	26
4.3.2	Kontroll av ålder och tillväxt.....	27
4.4	Bottenfauna.....	29
4.4.1	Mjukbottenfauna	29
4.4.2	Hårdbottenfauna	29

4.5	Fågelinventeringar	31
5	Diskussion.....	35
5.1	Temperatur och drift.....	36
5.2	Silstationen	37
5.3	Biotestsjön	37
5.4	Forsmark och Finbofjärden	38
5.5	Bottenfauna.....	39
5.6	Fågelinventeringar	39
6	Referenslista	41

1 Inledning

1.1 Rapportens innehåll och syfte

Denna rapport redovisar resultat från den biologiska kontrollverksamheten i vattenrecipienten utanför Forsmarks kraftstation 2018 för samhällena av fisk, mjuk- och hårbottenfauna samt sjöfågel. Undersökningarna i området har pågått sedan 1969 och har under årens lopp främst fokuserat på dödlighet av fisk vid kylvattenintaget och effekter på fisk, bottenfauna och fågel i närrecipienten (Biotestsjön) och fjärrecipienten (Öregrundsgrepen) (figur 1 och 2). Resultaten av undersökningarna jämförs med referensområdet vid Finbofjärden i nordvästra Åland och presenteras i årliga rapporter (Adill m.fl. 2017). Fördjupade utvärderingar görs ungefär vart femte år (Sandström 1985; Sandström 1990; Mo m.fl. 1996; Sandström m.fl. 2002; Karås m.fl. 2010; Adill m.fl. 2013; Adill m.fl. 2018) och kan leda till förändringar i baskontrollprogrammet. För genomförande av det biologiska programmet inom recipientkontrollen ansvarar Kustlaboratoriet vid Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU Aqua).

1.2 Bakgrund

Forsmarks kärnkraftverk drivs av Forsmarks Kraftgrupp AB (FKA) och är beläget vid kusten i nordöstra Uppland (figur 2). Anläggningen har tre kokvattenreaktorer, varav den första togs i drift 1980 (F1) och de andra två 1982 (F2) och 1985 (F3). Produktionen av elektrisk energi har de senaste åren uppgått till 20–25 TWh per år, sammanräknat för samtliga tre reaktorer. För kylning av processen i kondensatorerna kräver driften av kraftverkets tre reaktorer närmare 150 kubikmeter brackvatten per sekund. Kylvattnet tas in till kraftverket från Öregrundsgrepen (mellan fastlandet och Gräsö) via en kanal från Asphällafjärden (figur 2). Brackvattnet innehåller levande organismer i form av bland annat djurplankton och fisk. De största organismerna, fisken, avskiljs med stora bandsilar (maskvidd 2,5 mm) vid intaget till

kraftverket och samlas upp i containrar och går förlorade. Mindre organismer, till exempel djurplankton och fisklarver, kan passera genom silarna (Ehlin m.fl. 2009).

Kylvattnet som tas in i kärnkraftverket värms upp med cirka 11°C innan det pumpas ut till Biotestsjön (reaktor F1 och F2) eller till en kanal i anslutning till Biotestsjön (reaktor F3) (figur 1 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. Kylvattnet pumpas in i Biotestsjöns södra del och släpps ut till det omgivande havsområdet Öregrundsgrepen genom utsläppet i den norra delen. Vattentemperaturen i Biotestsjön är, vid normal energiproduktion vid kraftverket, 7–9 °C högre än i omgivande områden. Fram till maj 2004 var Biotestsjöns utsläppspunkt i den norra delen utrustad med fiskgaller. På detta vis begränsades fiskar större än cirka 10 centimeters längd från att passera ut och in i anläggningen. Sedan 2004 är Biotestsjön ett mer öppet system och fisk kan fritt röra sig mellan anläggningen och områdena utanför i Forsmarks skärgård. För att följa upp hur kärnkraftverket påverkar sitt närområde utförs kontinuerliga miljöundersökningar i ett särskilt biologiskt recipientkontrollprogram. Studier i omgivande vattenmiljö utförs framför allt för att avgöra hur den omfattande kylvattenanvändningen vid kraftverket påverkar fisk och andra vattenlevande organismer längs kusten.



Figur 1. Biotestsjön sett söderifrån. Inloppet av kylvatten till anläggningen syns till vänster och utloppet till Öregrundsgrepen längst upp i bilden. Nordväst om inloppet syns inloppet av kylvatten från treans reaktor (F3).

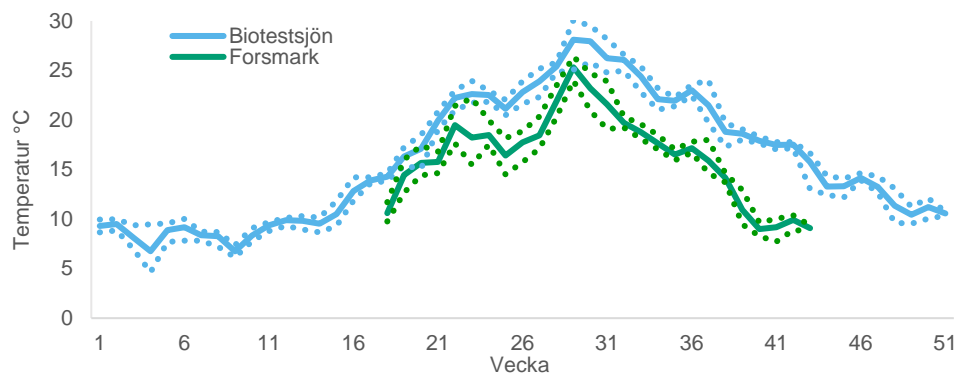


Figur 2. Översikt av undersökningsområdet i södra Bottenhavet och lägena för intagskanalen till kraftverket via Asphällafjärden, Biotestsjön, närrecipienten i Forsmarks skärgård samt lokaliseringen av referensområdet Finbo.

2 Kraftverkets drift och temperaturpåverkan

Under 2018 producerade Forsmarks kärnkraftverk 25 terawattimmar (TWh) el i sina anläggningar, det tredje mest intensiva produktionsåret sedan starten. De senaste åren har en rad moderniseringar och livstidsförlängande åtgärder genomförts i anläggningen vilket bland annat resulterat i en effekthöjning för F2. Åtgärderna har även medfört att kylvattenflödet till det gemensamma intaget för F1 och F2 har ökat till drygt 100 m³/s jämfört med tidigare 88 m³/s och att temperaturen i kylvattenutsläppet har ökat med cirka 1°C. Under 2018 hade Forsmarks kärnkraftverk ett längre avbrott i produktionen i samband med de planerade revisionsavställningarna, för F1 1 juli–15 juli, för F2 19 augusti–17 september och för F3 22 april – 31 maj.

Temperaturen i Biotestsjön varierade under 2018 från drygt 4°C under vintermånaderna till över 30°C i juli (figur 3). Under en lång period under sommaren var temperaturförhållandena extrema i Biotestsjön med medeltemperaturer på 28°C och varmare. Denna period inleddes i anslutning till uppstart av F1 efter avslutad revision och anläggningen återgick till full drift och maximalt kylvattenutsläpp. Under åtta dagar, från 14 juli till 21 juli, höjdes temperaturen kraftigt i kylvattnet som släpptes ut i Biotestsjön, från 23,0°C till 30,7°C.



Figur 3. Vattentemperaturer i Biotestsjön (yttre stationen i Lagunen) och Forsmarks skärgård (Ön) under 2018. Hela dragen linje anger medeltemperaturen per vecka och streckade linjer minimum- och maxtemperatur under respektive vecka.

3 Metodik

Provtagningarna inom recipientkontrollprogrammet 2018 har genomförts enligt fastslagen plan med undantag för några moment. Undersökningarna av fiskförluster i silstationen kunde inte genomföras under vårperioden eftersom provtagningspumpen som används vid undersökningarna var ur funktion och kunde ersättas först i september. Temperaturloggern som registrerar temperaturen centralt i Biotestsjön, gick inte att återfinna i slutet av året och data från stationen uteblev för 2018. Temperaturen som presenteras i denna rapport är från den yttersta stationen i Lagunen som är placerad närmast den centrala stationen. Förhoppningen finns att påträffa loggern under 2019 och presentera data i senare rapporter. Undersökningarna av hårbottenfauna i station Plymen kunde inte genomföras, då provtagningssubstraten försvann eller var för hårt påverkade av hårt väder.

För mer utförliga beskrivningar av kontrollprogrammets metodik hänvisas till Handbok för kustundersökningar, recipientkontroll (Thoresson 1992; 1996), samt till dokumentation för undersökningstyperna Provfiske med kustöversiktsnät, nät-länkar och ryssjor (Andersson 2015) och Provfiske i Östersjöns kustområde – Djupstratifierat provfiske med Nordiska kustöversiktsnät (Karlsson 2015). Statistikberäkningar gjordes i Microsoft Excel och för trendanalys tillämpades 95 procents konfidensnivå.

3.1 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 mindre fiskar än åtta centimeters längd 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

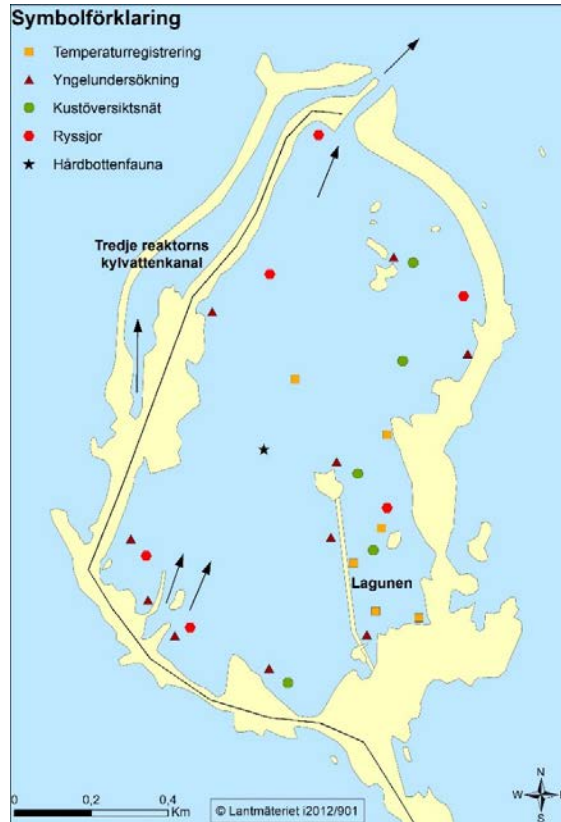
fiskräkningarna görs beräkningar för de totala förlusterna under hela provtagningsperioden, inklusive en uppskattning av förlusterna vid silstationen för den tredje reaktorn, F3. I samband med provtagningarna registreras vattentemperatur och vattenflöde.

Längdmätning av storspigg 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 Biotestsjön

3.2.1 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 4).



Figur 4. Punkter för provtagning av fisk- och bottenfaunasamhällen samt temperatur i Biotestsjön.

3.2.2 Beståndsövervakning med ryssjeprovfiske

Fiske med ryssjor genomförs under fyra veckor i april. Under fiskeperioden fiskas sex stationer med tre parryssjor länkade med varandra (figur 4). Redskapen sätts i sjön vid början av perioden och vittjas en gång per vecka. All fångst artbestäms och längdmäts.

3.2.3 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 och mört 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.

3.2.4 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 (Kustöversiktsnät) för referensprov genomförs enligt samma metodik som ovan (figur 5).

3.2.5 Beståndsövervakning av yngel med detonationsteknik

Yngel och småväxta arter insamlas i Biotestsjön med detonationsteknik på tio fasta stationer vid tre tillfällen i augusti (figur 4). Samtliga fiskar artbestäms och längdmäts. Referensprovtagning genomförs med samma metodik på tio fasta stationer i Forsmarks skärgård under september (figur 5).

3.2.6 Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk

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

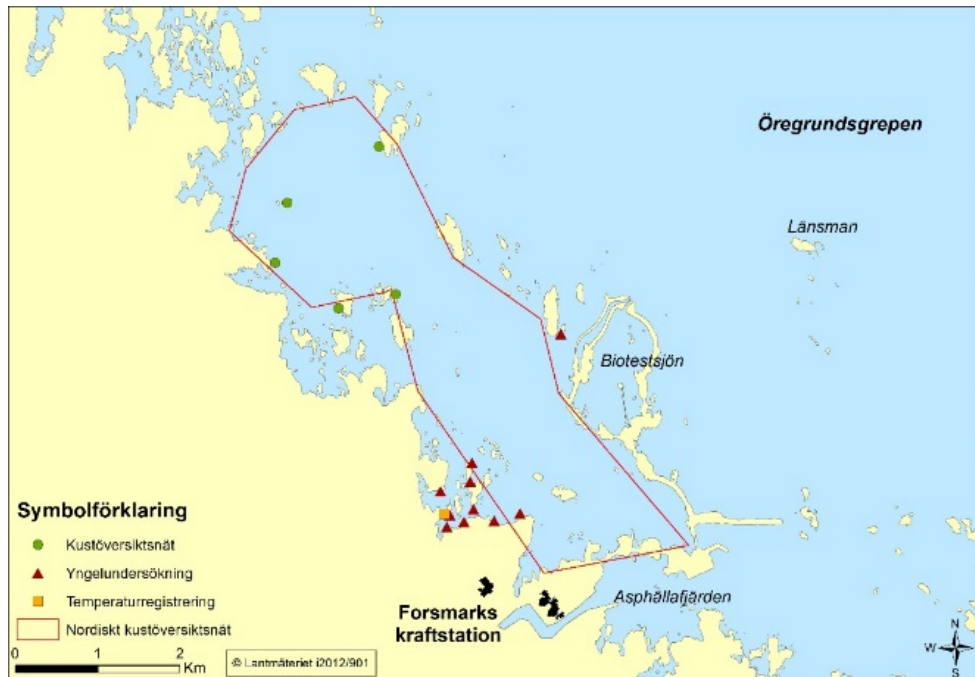
3.2.7 Insamling av omgivningsdata

Temperaturen registreras kontinuerligt med en temperaturlogger centralt i Biotestsjön. Kompletterande registrering görs med fem temperaturloggers utplacerade i en gradient i Lagunen (figur 4). Referensdata insamlas från Forsmarks skärgård (Ön) med en temperaturlogger (figur 5). Data används vid analys av provfiskena.

3.3 Forsmark och Finbofjärden

3.3.1 Beståndsövervakning med nätprovfiske

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

3.3.2 Kontroll av ålder och tillväxt

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

3.4 Bottenfauna

3.4.1 Mjukbottenfauna

Provtagning av mjukbottenfauna genomförs enligt en metodik där insamling sker genom bottenhugg med van Veen-huggare (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 med maximal påverkan av uppvärmt kylvatten, utsläppsområdet för kylvatten (P) som delvis påverkas av kylvatten, området för kylvattenintaget till kraftverket (A) samt Borgarna (B) norr om Biotestsjön som aldrig påverkas av kraftverkets kylvatten.

3.4.2 Hårbottenfauna

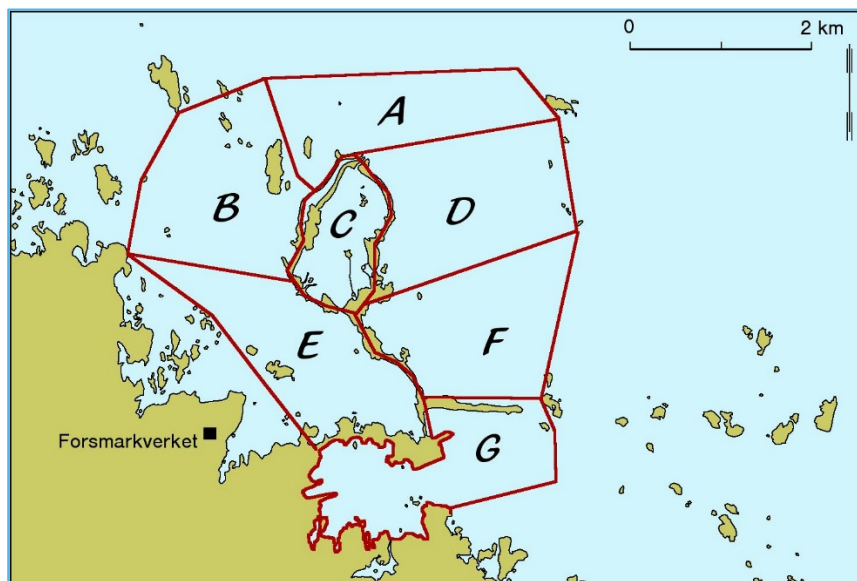
Provtagningen av hårbottenfauna genomförs enligt metodik med så kallade Landforsplattor (Adill m.fl. 2015) som placeras ut på fyra provtagningsstationer i Forsmarks skärgård (figur 7). Stationerna påverkas i olika grad av kraftverkets drift, närrecipienten Biotestsjön med maximal påverkan av uppvärmt kylvatten, utsläppsområdet från Biotestsjön (P), som delvis påverkas av kylvatten, området för kylvattensintaget till kraftverket Asphällafjärden (A) samt Borgarna (B) 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. De Landforsplattor som placerats ut vid utsläppsområdet för Biotestsjön (P) förlorades som en följd av kraftiga vindar 2018. Faunan konserveras i plastburkar med 70 procent etanol.

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.

3.5 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 8). De arter som studeras delas in i tre olika funktionella grupper beroende på huvudsakligt födoval. Dessa grupper är 1) växtätare: gräsand och knölsvan, 2) bottendjursätare: knipa och vigg, samt 3) fiskätare: storskrake, mellanskarv och häger.



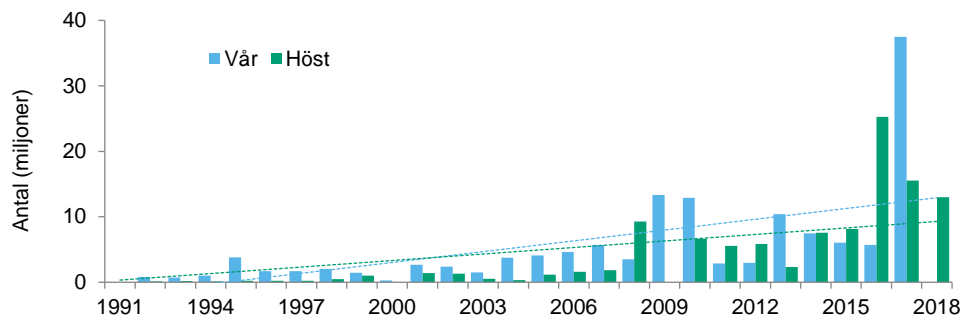
Figur 8. Inventeringsområdet för sjöfågel och dess indelning i sju zoner (A-G).

4 Resultat

4.1 Silstationen

De beräknade förlusterna av fisk i silstationerna under hösten uppgick till totalt 18,6 miljoner individer fördelade på 28 olika arter (tabell 1). Likt tidigare år utgjordes förlusterna av främst småväxta arter som storspigg, småspigg och sandstubb samt årsyngel av strömming.

De arter som förekom mest i undersökningarna var storspigg och småspigg som omfattade 13- respektive 4,6 miljoner av förlusterna. De låga medelviktarna för dessa arter visar att en stor andel av förlusterna utgjordes av årsyngel (tabell 1). Omfattningarna påminner om tidigare år och förekomsterna har ökat sedan provtagningarna startade (figur 9 och 10).



Figur 9. Förluster av storspigg i silstationerna under provtagningsperioderna. Streckad linje anger linjär trend över tid.

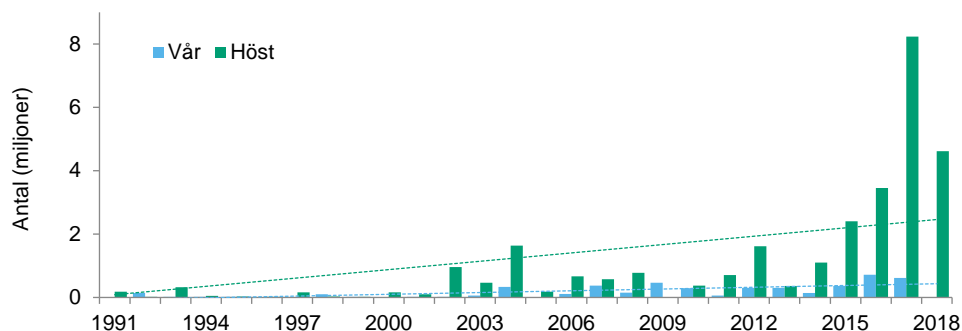
Förlusterna av ål var relativt omfattande under hösten och främst av blankål (ålens lekvandringsmogna levnadsstadium; figur 11). Vid ett tillfälle i slutet av oktober noterades bland annat 41 blankålar i undersökningarna, där medelvikten hos ålarna var över 1 kilogram. Trots att förlusterna varit lägre de senaste åren, jämfört med åren kring 2007-2012, finns ändå en ökande trend av förlust av ål sedan början av

1990-talet.

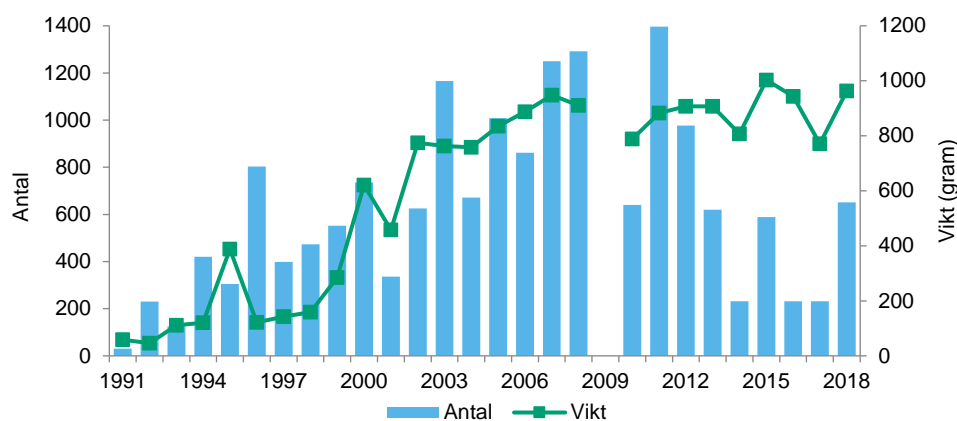
Under höstprovtagningarna var förlusterna av årsyngel av mört samt kusttobis ovanligt stora i silstationerna. Skärkniv, en art som aldrig tidigare har förekommit i undersökningarna, påträffades i provtagningarna vid ett tillfälle i september.

Tabell 1. Beräknade fiskförluster (antal individer) och medelviker (gram) i silstationerna per art under hösten.

Art	Antal under period	Medelvikt (g)
Storspigg	12 967 805	0,5
Småspigg	4 621 953	0,4
Strömming	715 607	1,8
Sandstubb	126 105	0,2
Mindre havsnål	46 515	0,5
Mört	40 289	2,7
Kusttobis	35 207	1,0
Nors	9 839	11
Löja	6 458	3,1
Björkna	2 604	3,4
Abborre	2 468	6,9
Skarpsill	2 457	6,2
Blankål	609	1019
Sutare	368	10
Gers	294	38
Id	168	4,2
Gös	158	118
Tånglake	126	16
Flodnejonöga	105	61
Sarv	53	9,0
Gulål	42	155
Braxen	21	266
Gädda	21	37
Hornsimpa	21	212
Piggvar	21	2,0
Svart smörbult	21	4,5
Bergsimpa	11	3,0
Skärkniv	11	4,0
Vimma	11	4,0
Totalt	18 579 362	



Figur 10. Förluster av småspigg i silstationerna under provtagningsperioderna. Streckad linje anger linjär trend över tid.



Figur 11. Förluster och medelvikt av ål i silstationerna under höstprovtagningsperioden. 2009 års värden saknas på grund av alltför reducerade provtagningar.

4.2 Biotestsjön

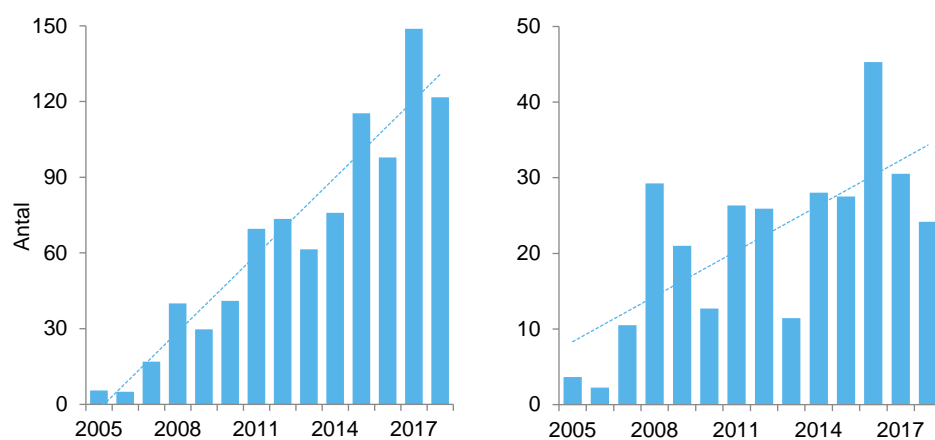
4.2.1 Beståndsövervakning med nätprovfiske

Under vårens nätprovfiske i Biotestsjön fångades totalt 8 812 individer av nio olika arter (tabell 2). Den mest förekommande arten var mört som utgjorde cirka 75 % av antalet individer i fångsterna. Även abborre fångades i stor omfattning och liksom mörten var tätheterna störst under maj månad. Sedan provfiskeserien inleddes i samband med galleröppningen i Biotestsjöns utlopp 2004 har fångstutvecklingen varit positiv i Biotestsjön, främst för mört, abborre, björkna, gers och sarv (figur 12).

Under mars månad fångades en sik, en typisk kallvattenart som sällan brukar förekomma i Biotestsjön under den varma delen av året.

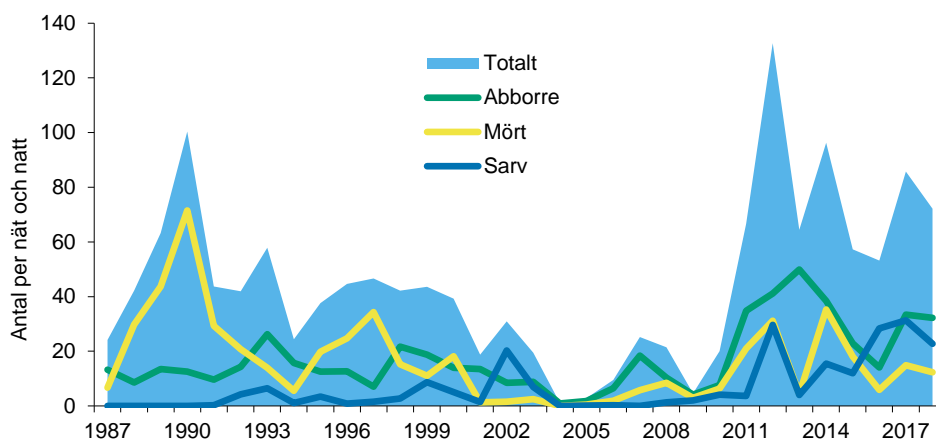
Tabell 2. Fångster i nätprovfiskena i Biotestsjön under 2018. Fångsterna presenteras som CPUE (fångst per nät och natt) och antal, uppdelade på vår (mars-maj), höst (oktober) och vinter (december).

Art	CPUE (vår)	Antal (vår)	CPUE (höst)	Antal (höst)	CPUE (vinter)	Antal (vinter)
Mört	117,3	6 568	12,9	258	16,1	161
Abborre	22,3	1 249	31,2	624	18,7	187
Björkna	6,8	382	3,6	72	7,8	78
Gers	6,4	356	0,2	4	0,1	1
Sarv	3,9	220	14,3	286	26,0	260
Gädda	0,4	23	1,1	22	1,9	19
Löja	0,2	9				
Sutare	0,1	4	0,1	2		
Sik	0,02	1				
Id			0,05	1	0,2	2
Totalt	157,4	8 812	63,45	1 269	70,8	708
Antal arter	9		8		7	



Figur 12. Fångst av mört (till vänster) och abborre (till höger) i Biotestsjön under vårens provfiske. Streckad linje anger linjär trend över tid.

Under höstens nätprovfiske fångades 1 269 individer, varav ungefär hälften utgjordes av abborre (tabell 2). Andra vanliga fångster i provfisket var mört och sarv (figur 13). Omfattningarna av fångsterna var likt föregående år stora jämfört med perioden för galleröppningen i Biotestsjön (figur 13). Det har skett en positiv utveckling för fångsterna av sarv under den senaste tioårsperioden.



Figur 13. Fångster av mört, sarv, abborre samt totalt vid nätprovfiske under oktober månad under åren 1987-2018.

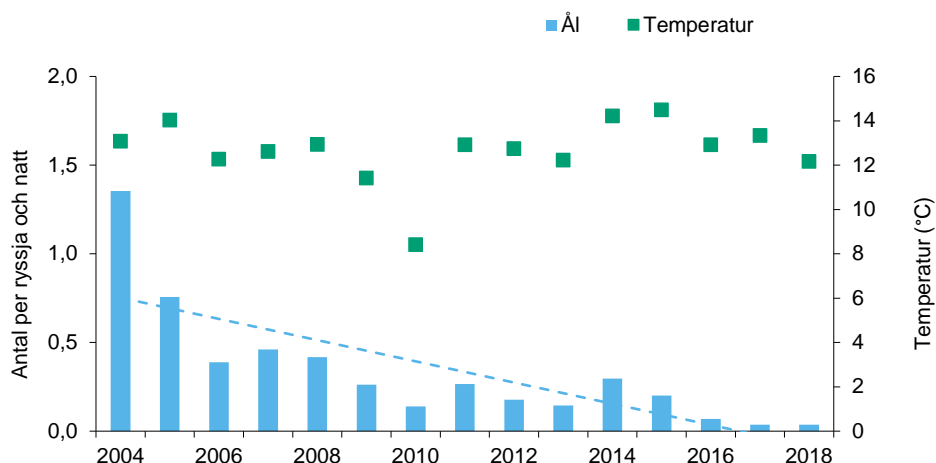
4.2.2 Beståndsövervakning med ryssjefiske

Under provfisket med små parrysjor under april månad fångades 1 214 individer av tio olika arter (tabell 3). Vanligaste förekommande art var mört som omfattade ungefär 50 % av individerna i fångsterna. De flesta av mörtarna var stora lekmogna individer. Den näst vanligaste arten i provfisket var abborre och en stor andel var små individer som sannolikt till stor grad bestod av yngel från 2017.

Fångsterna av ål under året var likt 2017 rekordsmå och den negativa fångstutvecklingen förstärktes därmed (figur 14). Medellängden för ålarna var cirka 69 centimeter och endast ett fåtal individer var under 40 centimeters total kroppslängd.

Tabell 3. Fångster i ryssjeprovfiskena i Biotestsjön under april 2018. CPUE: fångst per ryssjehus och natt.

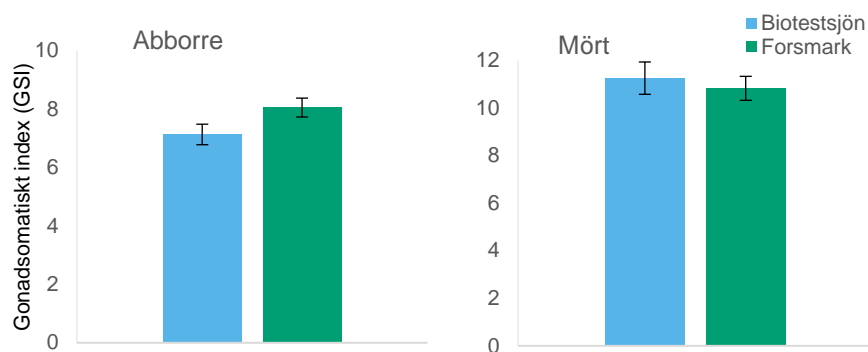
Art	CPUE	Antal
Mört	0,54	659
Abborre	0,26	321
Gers	0,13	153
Gulål	0,04	46
Sarv	0,01	15
Svart smörbult	0,01	12
Sutare	0,01	5
Björkna	0,01	2
Löja	0,01	1
Totalt	0,99	1214
Antal arter	10	



Figur 14. Fångster av ål vid ryssjeprovfiskena under april månad samt medeltemperaturen vid fiske-tillfällena. Streckad linje anger linjär trend över tid.

4.2.3 Kondition och gonadstatus hos abborre och mört

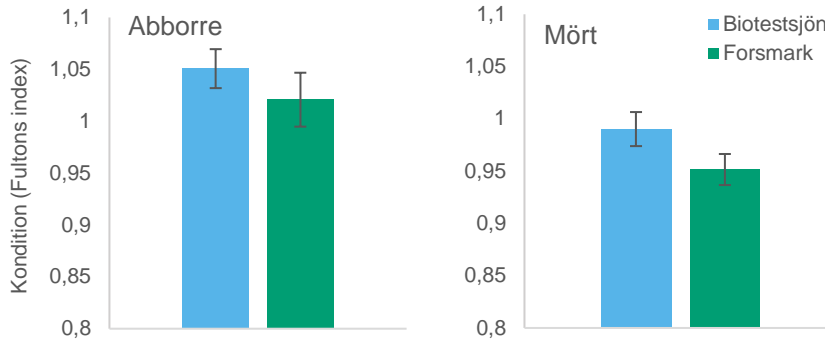
För kontroll av kondition och gonadstatus i Biotestsjön provtogs 100 honor av abborre och 100 honor av mört. Som referensmaterial provtogs 100 individer av abborre och 100 individer av mört från Forsmarks innerskärgård. Bland de undersökta individerna av abborre och mört från Biotestsjön fanns inga tecken på några gonadskador (figur 15). I referensområdet Forsmark påträffades två mörthonor med gonadskador, där båda individerna hade partier av döda ägg i gonaderna. Abborrarna i Forsmark hade högre gonadsomatiskt index under 2018 jämfört med individer i Biotestsjön. För mört kunde ingen skillnad avgöras mellan områdena.



Figur 15. Gonadsomatiskt index hos abborre och mört i Biotestsjön och Forsmark. Felstaplar anger 95 % konfidensintervall.

Konditionen hos abborre och mört i Biotestsjön och i Forsmarks innerskärgård låg inom normala nivåer och inga individer påträffades med extremt låga värden

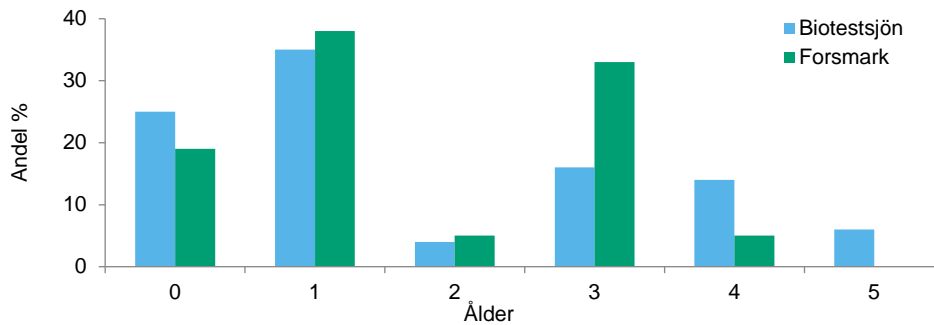
som kan anses vara skadliga (figur 16). Vid perioden för provtagningarna hade mört bättre kondition i Biotestsjön jämfört med individerna i Forsmark. Ingen skillnad i kondition kunde observeras för abborre mellan områdena (figur 16).



Figur 16. Kondition hos abborre och mört i Biotestsjön och Forsmark angivet som Fultons index. Felstaplar anger 95 % konfidensintervall.

4.2.4 Kontroll av ålder och tillväxt

Ålder och tillväxt undersöktes hos 100 abborrhonor från Biotestsjön och 100 abborrhonor i referensområdet Forsmark. Resultaten visade att unga abborrar, noll- och ettåriga individer, var mest förekommande i Biotestsjön. I Forsmarks skärgård var fångsterna av ett- och treåriga abborrhonor vanligast i undersökningarna men även ovanligt många individer av årsyngel (figur 17). I både Biotestsjön och Forsmarks skärgård var fångsterna små av tvååriga individer, abborrar som alltså föddes under 2016 (figur 17).



Figur 17. Fångst per ålder av abborre i Biotestsjön och Forsmark under oktober.

I analyserna av tillväxt hos abborre visade resultaten för årsyngel att förhållandena har varit goda under 2018, både i Biotestsjön och Forsmarks skärgård. I Biotestsjön var medellängden för årsyngel 153 millimeter och i Forsmarks skärgård 134 millimeter.

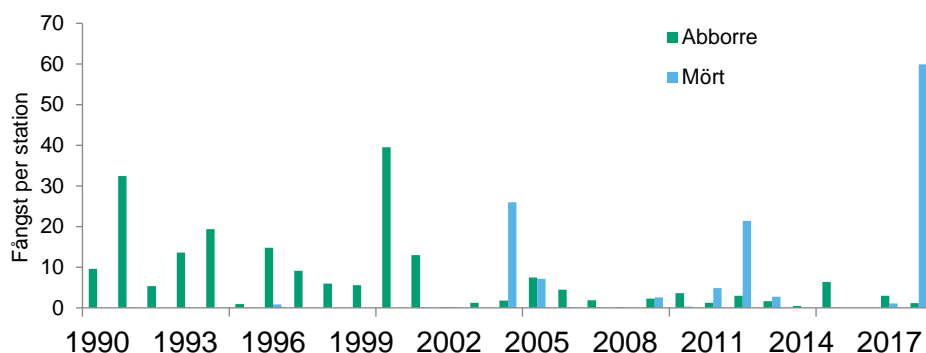
4.2.5 Beståndsövervakning av yngel med detonationsteknik

Vid undersökningarna av yngel- och småväxta fiskarter i Biotestsjön under 2018 fångades sammanlagt 2 750 individer av sex olika arter (tabell 4). Största fångsterna utgjordes av årsyngel av mört och under 2018 noterades de högsta tätheterna av mört yngel sedan studierna inleddes i mitten på 1970-talet (figur 18). Tätheterna av abborryngel var likt föregående år lågt och i ungefär samma nivåer som den senaste tioårsperioden. Vid undersökningstillfällena observerades väldigt höga tätheter av yngel och småfisk över hela Biotestsjön.

Under yngelinventeringen i referensområdet Ön i Forsmarks skärgård var fångsterna av storspigg störst (tabell 4). Jämfört med Biotestsjön fångades fler arter i Forsmark under 2018 och flertalet arter som normalt inte vistas i Biotestsjön, exempelvis elritsa, strömming och småspigg. Tätheterna av mört var likt i Biotestsjön höga i Forsmark och fångsterna var de största på många år. Under yngelinventeringarna påträffades endast ett årsyngel av abborre, en stor individ med längden 10,7 centimeter.

Tabell 4. Förekomst av årsyngel, juvenil och adult fisk i Biotestsjön och Forsmark under 2018.

Art	Årsyngel Biotestsjön	Juvenil/Adult Biotestsjön	Medellängd årsyngel (mm)	Årsyngel Forsmark	Juvenil/Adult Forsmark	Medellängd årsyngel (mm)
Mört	1 797	183	7,58	121		6,16
Sarv	463	2				
Löja	172	91		46		
Abborre	35		10,26	1	1	10,7*
Gädda	5		18,54			
Björkna	1					
Gers		1				
Storspigg				272		
Elritsa				29	120	
Sandstubb				12	179	
Björkna/Braxen				7		
Småspigg					2	
Strömming				2		
Totalt	2 473	277		490	302	
Antal arter	6	4		8	4	



Figur 18. Fångster vid yngelundersökningar i Biotestsjön under höstarna 1990–2018.

4.2.6 Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk

Vid fiskundersökningarna i Biotestsjön under 2018 påträffades 43 individer av abborre, björkna, gers, gädda och mört med yttre sjukdomssymtom (tabell 5). Mest förekommande sjukdom var fenröta som påträffades på 30 abborrar, tre mörtar och två gersar. Fenröta orsakas oftast av bakterier men har även noterats i förhöjda frekvenser hos fisk utan att bakterier varit den sjukdomsframkallande faktorn (Thulin m.fl. 1989). Övriga sjukdomar som påträffades hos fisk var mopsskalle (skelettskada uttryckt i förkortning av pannben) samt lymfocystis (tumörliknande bildningar orsakad av virus). Omfattningarna av svarta fläcksjukan (parasitering av digena trematoder) var likt tidigare år relativt omfattande hos karpfisken (bland annat mört och björkna) i samtliga områden.

Tabell 5. Förekomst av sjukdomar/skador hos fisk i provfiskena utförda i Biotestsjön, Forsmarks skärgård samt referensområdet Finbofjärden.

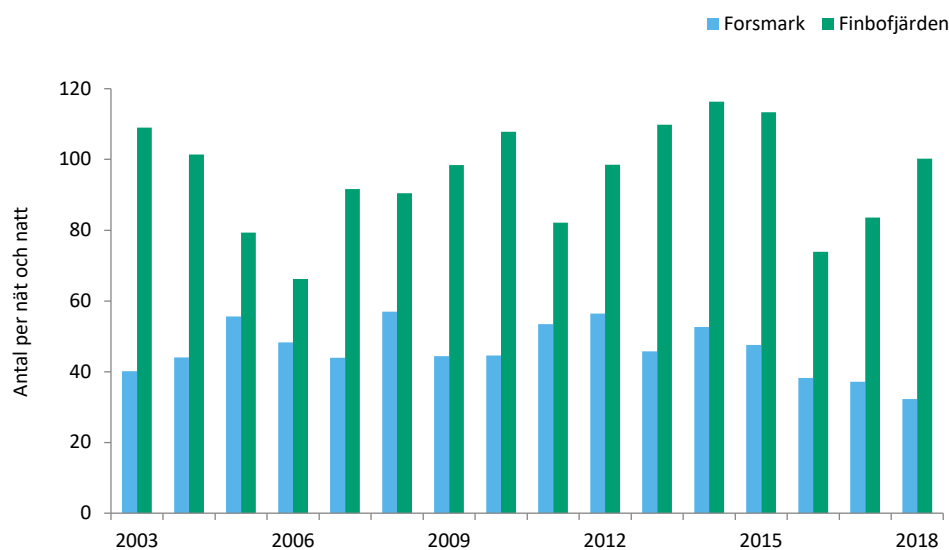
Sjukdom/skada	Biotestsjön	Forsmark	Finbofjärden
Fenröta, akut	35		
Mekanisk oläkt skada	3		
Mopsskalle	1		
Fena defekt	3		
Lymfocystis	1		
Totalt antal sjuka	43	0	0
Totalfångst	12 003	2 655	4 114

4.3 Forsmark och Finbofjärden

4.3.1 Beståndsövervakning med nätprovfiske

I provfisket med Nordiska kustöversiktsnät i Forsmarks skärgård fångades 1 384 individer, vilket var de lägsta fångsterna sedan undersökningarna inleddes 2002 (tabell 6; figur 19). I fångsterna fanns 15 olika arter varav sarv noterades för första gången i provfisket. Abborre var den vanligaste arten i provfisket och uppgick till 41 % av individerna i de totala fångsterna. Omfattningarna av abborrfångsterna under 2018 var dock de lägsta under provfiskeserien och det finns en tendens till minskade förekomster av abborre i Forsmarks skärgård sedan början av 2000-talet. Förekomsten av strömming i provfisket var relativt stor och utgjorde 36 % av fångsterna. Det finns en negativ utveckling av fångsterna av mört sedan provfisket inleddes 2002.

Vid provfisket med Nordiska kustöversiktsnät i referensområdet Finbofjärden fångades 4 114 individer av 17 olika arter (tabell 6). De mest förekommande arter i provfisket var abborre och mört som utgjorde 71 procent av fångsterna. Likt de föregående åren fångades fler fiskar i Finbofjärden än i Forsmark och inslaget av så kallade kallvattenarter (t ex hornsimpa, stensimpa, tånglake och öring) var större (figur 19 och tabell 6).



Figur 19. Fångst i antal per nät och natt av samtliga arter i Forsmark och Finbofjärden i augusti månad mellan 2003 och 2018.

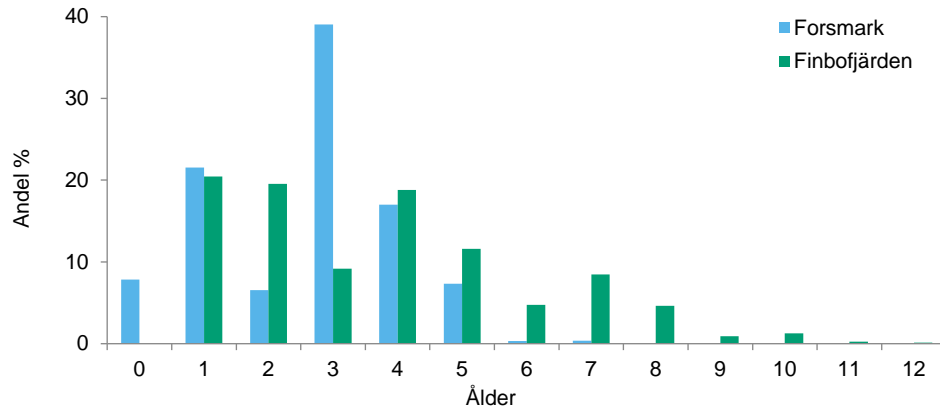
Tabell 6. Fångster i Nordiskt kustöversiktsnät i Forsmarks skärgård och referensområdet Finbofjärden under augusti 2018. CPUE: antal per nät och natt.

Art	CPUE Forsmark	Antal Forsmark	CPUE Finbo	Antal Finbo
Abborre	13,02	573	33,04	1 487
Strömming	11,23	494	14,84	668
Gers	3,43	151	2,91	131
Mört	2,45	108	31,84	1 433
Björkna	0,52	23	5,02	226
Löja	0,43	19	1,51	68
Storspigg	0,14	6		
Nors	0,07	3	0,11	5
Gös	0,02	1	0,09	4
Id	0,02	1		
Sarv	0,02	1		
Sik	0,02	1		
Skarpsill	0,02	1	1,00	45
Skrubbskädda	0,02	1	0,04	2
Vimma	0,02	1		
Braxen			0,71	32
Gädda			0,13	6
Svart smörbult			0,07	3
Hornsimpa			0,02	1
Stensimpa			0,02	1
Tånglake			0,02	1
Öring			0,02	1
Totalt	31,45	1 384	91,42	4 114
Antal arter		15		17

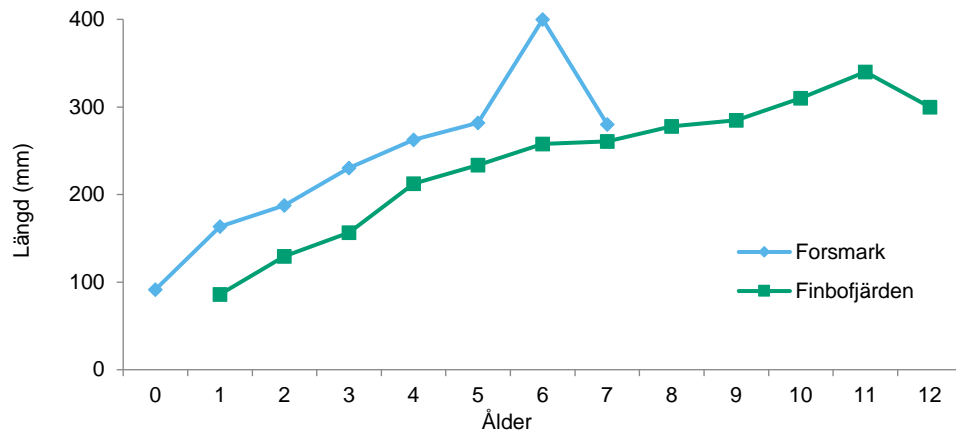
4.3.2 Kontroll av ålder och tillväxt

Fångsterna av abborrhonor i Forsmark under augusti bestod främst av ett-, tre och fyraåriga individer. Under 2018 fångades även en stor andel årsyngel (nollåringar) i provfisket i Forsmarks skärgård (figur 20). I Finbofjärden fångades liksom föregående år en större andel äldre abborrar jämfört med i Forsmark och den äldsta individen i provfisket var 12 år. Det fanns inga årsyngel av abborre i provfisket i Finbofjärden (figur 20). Tillväxten hos abborre i Forsmarks skärgård är generellt högre jämfört med individer i Finbofjärden. Av de fångade årsynglen (nollåringar) i Forsmark var medellängden 92 millimeter, vilket var ungefär i samma storlek som ett år

äldre abborrar i Finbofjärden, som i medeltal mätte 86 millimeter (figur). Medellängden för ettåriga abborrar i Forsmark var under 2018 164 millimeter (figur). Anledningen till att inga årsyngel av abborre fångas i Finbofjärden är sannolikt att ynglen är för små för att fastna i provfiskeäten.



Figur 20. Fångst per ålder för abborre i Forsmark och Finbofjärden under augusti månad 2018.



Figur 21. Medellängd hos abborrhonor av olika åldrar i Forsmark och Finbofjärden i fångsterna 2018.

4.4 Bottenfauna

4.4.1 Mjukbottenfauna

Undersökningarna av mjukbottenfauna visade små variationer i artsammansättning och abundanser av bottenfauna mellan de lokaler som finns utanför Forsmarks kärnkraftverk och i referensområdet Finbofjärden (tabell 7). Abundansen av bottenfauna har generellt sett varit lägre på lokalerna i Forsmark jämfört med dess referenslokaler i Finbo. Den invasiva arten amerikansk havsborstmask (*Marenzelleria* spp) är den dominerande arten både på den djupa lokalen i Forsmark och den djupa lokalen i Finbo, medan östersjömussla är den dominerande arten på de medeldjupa lokalerna. På den djupa lokalen i Forsmark registrerades en abundans på 565 individer/m² av amerikansk havsborstmask, vilket är en kraftig nedgång sedan föregående år och är den lägsta abundansen som observerats på 10 år.

Tabell 7. Medelantal av bottenfauna per kvadratmeter för grunda och djupa stationer i Forsmark (FM) och referensområdet Finbo (FB).

Art	FM 119 Medeldjup (antal/m ²)	FB 9 Medeldjup (antal/m ²)	FM 121 Djup (antal/m ²)	FB 2 Djup (antal/m ²)
Östersjömussla (<i>Limecola balthica</i>)	953	1513	158	563
Amerikansk havsborstmask (<i>Marenzelleria</i> spp)	125	104	565	772
Vitmärsla (<i>Monoporeia affinis</i>)	17	2	68	-
Skorv (<i>Saduria entomon</i>)	47	2	8	-
Nyazeeländsk tusensnäcka (<i>Potamopyrgus antipodarum</i>)	160	72	-	2
Korvmask (<i>Halicryptus spinulosus</i>)	-	34	-	30
Totalantal/m ²	1477	1739	884	1371
Artantal	8	12	6	5

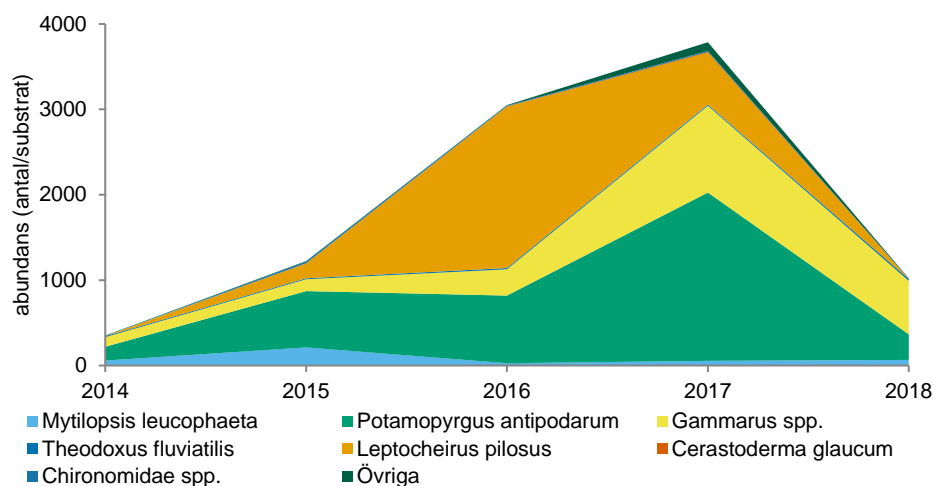
4.4.2 Hårdbottenfauna

Resultaten från undersökningarna av hårdbottenfauna i Forsmarksområdet visar att det förekommer stora skillnader mellan stationerna (tabell 8). Den station som är till högst grad påverkad av kylvattenutsläppet, Biotestsjön, visar fortsatt ha en större abundans av bottenfauna samtidigt som den visar ett lägre artantal än de stationer som anses vara mindre påverkade av kylvattensutsläppet. Antalet bottenfaunaindivider vid provtagningarna i Biotestsjön 2018 var lägre än de närmaste tidigare åren och det observerades enbart enstaka individer av märkräftan *Leptocheirus pilosus*

(figur 22). Märkräfta har de senaste åren återfunnits i stora antal i Biotestsjön och dess låga förekomst 2018 kan delvis förklara det minskade totalantalet bottenfauna-individer i Biotestsjön. Även nyzeeländsk tusensnäcka har minskat i antal för första gången sedan undersökningarna inledde i Biotestsjön. Bottenfauna i Biotestsjön domineras av tre arter; brackvattenmusslan *Mytilopsis leucophaeta*, nyzeeländsk tusensnäcka samt tångmärla *Gammarus* spp., Borgarna domineras av fjädermygglarv *Chironomidae* spp. och båtsnäcka medan Asphällafjärden inte har någon tydligt dominerande art. Förekomst av små individer av den invasiva brackvattenmusslan *Mytilopsis* observerades för första gången sedan undersökningarnas början vid Borgarna, den station som bedöms vara opåverkad av kylvattenutsläppet och används som referenslokal. Denna mussla har dock tidigare observerats på andra lokaler i området.

Tabell 8. Medelantal av bottenfauna per Landforsplatta för stationerna i Forsmarksområdet; Biotestsjön, utsläppsområdet för kylvatten utanför Biotestsjön kallat Plymen, området för kylvattenintaget till kraftverket i Asphällafjärden samt Borgarna norr om Biotestsjön som aldrig påverkas av kylvatten. Landforsplattor utsatta vid Plymen förlorades till följd av kraftigt väder och data saknas till följd av detta.

Art	Biotestsjön (ant/sub- strat)	Plymen (ant/sub- strat)	Asphällafjärden (ant/substrat)	Borgarna (ant/substrat)
Tångmärla (<i>Gammarus</i> spp.)	622,6	-	11,0	5,5
Märkräfta (<i>Leptocheirus pilosus</i>)	1,3	-	23,4	-
Tånggråsugga (<i>Idotea chelipes</i>)	-	-	14,5	-
Tånglus (<i>Jaera albifrons</i>)	-	-	21,4	2,1
Fåbortmask (<i>Oligochaeta</i> spp.)	0,3	-	3,6	28,3
Mygglarv (<i>Chironomidae</i> spp.)	2,6	-	60,1	176,8
Båtsnäcka (<i>Theodoxus fluviatilis</i>)	22,4	-	15,0	89,8
Stor snytesnäcka (<i>Bithynia tentaculata</i>)	0,5	-	13,0	-
Nyzeeländsk tusensnäcka (<i>Potamopyrgus antipodarum</i>)	301,6	-	47,6	-
Tusensnäcka (<i>Ecrobia ventrosa</i>)	-	-	5,3	4,3
Oval dammsnäcka (<i>Radix balthica</i>)	-	-	46,6	11,1
Blåmussla (<i>Mytilus edulis</i>)	-	-	3,1	-
<i>Mytilopsis leucophaeta</i>	65,8	-	113,3	0,9
Hjärtmussla (<i>Cerastoderma glaucum</i>)	-	-	50,5	4,4
Östersjömussla (<i>Limecola balthica</i>)	-	-	3,9	-
Totalantal/Landforsplatta	1 022,0	-	435,1	331,1
Artantal	12	-	22	16



Figur 22. Medelantal av bottenfauna per Landforsplatta för Biotestsjön som är direkt påverkad av varmvattenutsläppet.

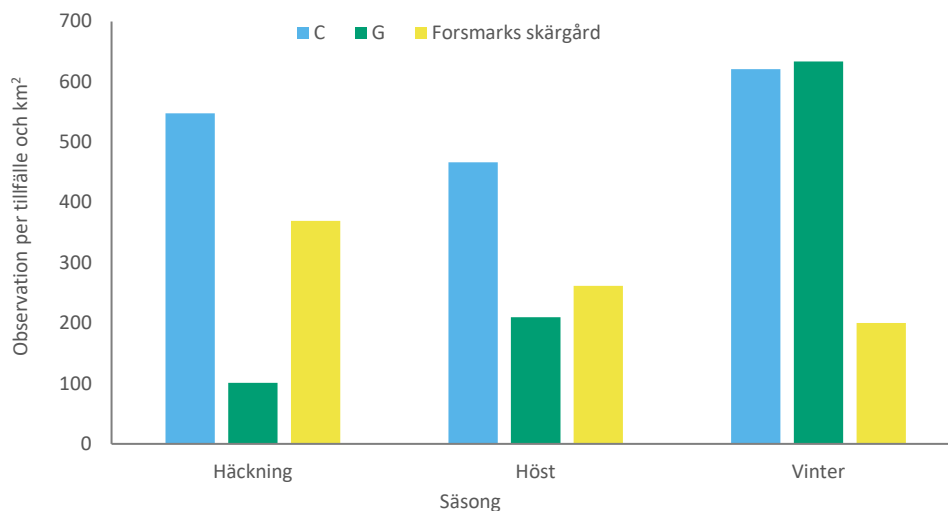
4.5 Fågelinventeringar

Under 2018 års fågelinventering i Forsmark gjordes totalt 42 788 observationer vid 22 tillfällen av de arter som ingår i kontrollprogrammet (tabell 9). De viktigaste lokalerna där mest fågel har observerats var Asphällafjärden (kylvattensintaget, område G) där 14 080 individer observerades och Biotestsjön (område C) där 12 938 individer observerades; dock förekom sjöfågel i nästan dubbelt så höga tätheter i Biotestsjön (tabell 9).

Tabell 9. Sammanlagda fågelförekomster (22 tillfällen) för prioriterade arter inom fågelinventeringarna i områdena A–G i Forsmark under 2018.

	A	B	C	D	E	F	G	Total
Gräsand	39	30	1487	34	189	132	462	2373
Häger	9	6	101	10	12	8	44	190
Knipa	994	174	201	432	1264	708	2397	6170
Knölsvan	198	105	1342	199	77	176	705	2802
Mellanskarv	1971	128	2862	3865	47	562	665	10100
Storskrake	347	124	1006	338	96	408	615	2934
Vigg	428	209	5939	647	1353	451	9192	18219
Totalantal	3986	776	12938	5525	3038	2445	14080	42788
Totalantal/km ²	1594	647	11762	1905	1125	873	6400	24306

Biotestsjön utgör en viktig lokal för sjöfågel året om med ett högt antal individer per inventeringstillfälle, troligtvis med anledning av den höga tillgången till föda på grund utav det varma vattnet som ökar produktionen, samt att det är öppet, isfritt vatten året om. Dock blir Asphällafjärden viktigare under vintersäsongen då sjöfågel från Forsmarks skärgård söker sig till öppet vatten (Figur 23). Emellertid skiljer sig artsammansättningen påtagligt åt mellan områdena då Biotestsjön hyser en mycket bredare artsammansättning (Figur 24).

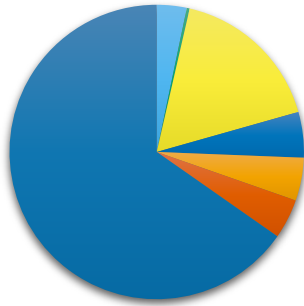


Figur 23. Fågelförekomster per inventering och area i Biotestsjön (C), Forsmarks skärgård (område A-B, D-F) samt Asphällafjärden (G) uppdelade över säsong. Observera att staplarna visar täthet av sjöfågel och inte totalantal.

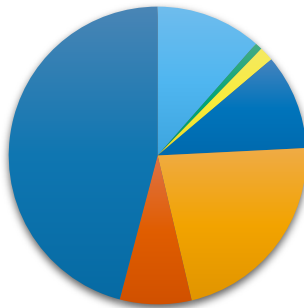
Den vanligaste arten i undersökningarna under 2018 var likt tidigare år vigg som har haft en stabil förekomst sedan inventeringarna inleddes 2002. Vigg observerades i stor omfattning inne i Biotestsjön och Asphällafjärden främst under höst- och vinterperioden (tabell 9; figur 24).

Den näst vanligaste arten var mellanskarv, som för första gången sedan 2012 inte har genomfört någon häckning inne i Biotestsjön. Tätheten av arten har även minskat i Biotestsjön men ökat i Forsmarks skärgård. Dock har antalet mellanskarvar ökat i hela Forsmarksområdet under 2018 jämfört med föregående år (figur 25).

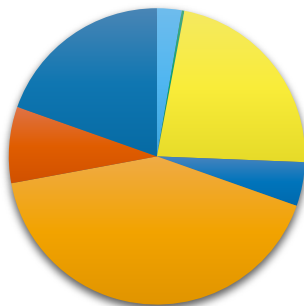
Asphällafjärden



Biotestsjön

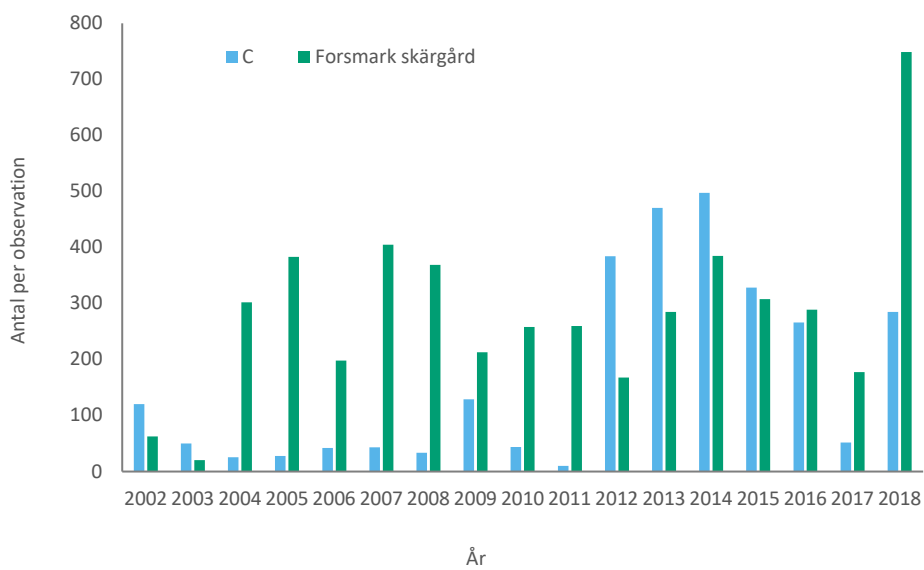


Forsmarks skärgård



■ Gräsand ■ Häger ■ Knipa ■ Knölsvan ■ Mellanskarv ■ Storskrake ■ Vigg

Figur 24. Relativ fördelning av de studerade fågelarterna i Asphällafjärden (överst), Biotestsjön (mit-ten) och i Forsmarks skärgård (underst).



Figur 25. Observation av mellanskarv under häckningsperioden i Biotestsjön (område C) och Forsmarks skärgård 2002-2018.

5 Diskussion

Resultaten och analyserna inom den biologiska recipientkontrollen visar att driften i Forsmarks kärnkraftverk har en direkt miljöpåverkan på det närliggande kustområdet (Adill m.fl. 2018). Den stora mängd havsvatten som nyttjas för kylning vid energiproduktionen i kraftverket medför att fisk omkommer stor omfattning i silstationerna vid kylvattenintagen. Kylvattnet som värms upp vid processerna i kraftverket och därefter släpps ut i Biotestsjön samt till utsläppskanalen för F3, höjer vattentemperaturen i närrecipienten med omkring 7-9 grader jämfört med omgivande kustområden. Detta påverkar organismerna i närrecipienten på en rad olika sätt.

För fiskar som är växelvarma organismer utgör det uppvärmda kylvattnet lockelse eller skyende beroende på vilken fiskart eller säsong det handlar om. Fiskarter som har en preferens för varmt vatten finns stationärt i Biotestsjön eller lockas in till anläggningen från omgivande kustområden. Under högsommaren när vattentemperaturerna blir alltför extrema flyr stor andel av fisken från Biotestsjön, framför allt äldre och större individer. Fiskarter som har lägre temperaturpreferenser, så kallade kallvattenarter, uppehåller sig i Biotestsjön främst under vinterhalvåret och vandrar ut till omgivande kustområden under våren. Fiskars vandringar mellan Biotestsjön och omgivande kustområden har dessutom medfört att fisksamhällets sammansättning, struktur och funktion i Forsmarks skärgård har påverkats.

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 härledas till de ändrade hydromorfologiska förhållanden som förekommer i Biotestsjön och organismernas förmåga att hantera de höga vattentemperaturerna. Många arter av bottenlevande djur, vegetation och alger har försvunnit från anläggningen sedan kylvatten började strömma genom Biotestsjön, exempelvis blåstång och östersjömussla (Ehlin m.fl. 2009). Sedan finns det arter som istället kan tillgodogöra sig värmen

och därmed gynnas av höga vattentemperaturer. Dessa arter, till exempel värmegynnande vegetationen svartskinna och storsärv, har här en konkurrensfördel och förekommer i stor utsträckning i Biotestsjön.

Intag och utsläpp av kylvattnet medför att stora områden i Forsmarks skärgård blir isfria året om. Studier av sjöfågelsamhällen inom kontrollprogrammen har tydligt visat hur driften av kärnkraftverket har påverkat områdets fågelliv (Adill m.fl. 2013). 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.

5.1 Temperatur och drift

Temperaturförhållandena i Biotestsjön under 2018 var under långa perioder extrema jämfört med omgivande kustvattenområden. Temperaturen uppgick exempelvis till omkring 30°C under stora delar av högsommaren. Uppstarten av F1 efter avslutad revision i mitten av juli resulterade dessutom till en hastig temperaturhöjning i Biotestsjön inom ett fåtal dagar. Detta snabba förlopp av temperaturhöjning påverkade sannolikt flertalet akvatiska organismer negativt och orsakade sannolikt stor stress för många individer. För fiskarter som lever stationärt i Biotestsjön, till exempel mört och abborre, överlever de flesta individer temperaturer upp mot 30°C. Blir det varmare vattentemperaturer överstiger de vad fisken kan hantera och den löper då stor risk att avlida.

Vid arbetena med fågelinventeringarna inom recipientkontrollprogrammet den 23 juli påträffades stora mängder död fisk längs stränderna i Biotestsjön, främst stora och äldre individer. Fiskdöden kan troligtvis kopplas direkt till de höga vattentemperaturerna i anläggningen och framför allt till den hastiga temperaturhöjningen som inföll när F1 startades efter revisionsperioden. Dödlighet hos fisk i kylvattenutsläppen har rapporterats tidigare och då i F3:s kylvattenkanal efter en revision då temperaturen höjdes snabbt (Karås m.fl. 2010). Det finns sannolikt en stor negativ påverkan för andra akvatiska djurgrupper också, som dock är svåra att identifiera inom kontrollprogrammet. Provtagningarna av hårbottenfauna i Biotestsjön visar tecken på att arterna märkräfta och nyzeeländsk tusensnäcka har minskat, vilket kan vara en direkt följd av den snabba uppvärmningen.

5.2 Silstationen

Förlusterna av fisk i silstationerna under hösten 2018 var likt föregående år stora och utgjordes främst av storspigg, småspigg och strömming. En stor andel av förlusterna av dessa arter utgjordes av årsyngel, vilket visar på att dessa rekryterats med framgång i Forsmarksområdet och sannolikt kommer att finnas i stora tätheter i Forsmarks silstationer även under kommande år.

Den ökande trenden för förlusterna av ål i silstationerna har under de senaste åren avstannat och ål har förekommit i betydligt mindre omfattning. Under 2018 var dock förlusterna av ål relativt stora och utgjordes som föregående år av lekvandringsmogna blankålar. De största förlusterna av ål sammanföll med en höststorm i slutet av oktober då 41 blankålar fastnade i bandsilarna under ett dygn. Förlusterna av blankål i silstationerna har sannolikt en koppling till ålens biologi och lekvandringsbeteende. Under höstarna påbörjar blankålar sina vandringar mot lekplatserna i Sargassohavet och följer strömmarna söderut mot Egentliga Östersjön. När de kommer i kontakt med kylvattenflödena i Öregrundsgrepen lockas de sannolikt in mot kylvattenkanalen och sedan in i kylvattenintagen.

Under hösten förekom även ovanligt stora mängder mörtyngel i silstationsprovtagningarna. Detta är ett tecken på att rekryteringen av mört i Forsmarksområdet har varit bra under 2018, vilket även kunde påvisas inom andra undersökningar inom recipientkontrollprogrammet. I yngelundersökningarna för både Biotestsjön och Forsmarks skärgård noterades höga tätheter av årsyngel av mört under hösten.

5.3 Biotestsjön

Abundansen av fisk i Biotestsjön var fortsatt stor under 2018 och tätheterna av vuxen fisk var särskilt höga under våren. Under 2018 noterades återigen höga tätheter av varmvattenarterna mört, abborre och sarv i Biotestsjön. Likt tidigare år fanns tydliga tecken på att fisk attraheras av Biotestsjöns varma vatten och att varmvattenarterna mört och abborre söker sig till anläggningen för lek under våren. Under höstens yngelundersökningar noterades ovanligt höga tätheter av mörtyngel i Biotestsjön vilket är ett tecken på att rekryteringen var lyckad under 2018. Tidigare år har frågetecken funnits om rekryteringen fungerat som den ska i Biotestsjön eftersom de stora mängderna lekmogen mört och abborre under våren inte har genererat höga tätheter av yngel under höstarna.

Tätheterna av ål i Biotestsjön under våren var likt föregående år lågt. De stora mängder ål som uppehöll sig i Biotestsjön omkring tiden när fiskgallren togs bort 2004 förekommer inte längre. Trots att tätheterna av ål numera är lågt jämfört med

tidigare finns tecken på att Biotestsjöns varma vatten lockar arten. De minsta individerna i fångsterna är sannolikt ålar som nyligen vandrat in i anläggningen. Trots att ålbeståndet har minskat i Biotestsjön är tätheterna sannolikt mycket högre jämfört med omgivande kustområden, på grund av att ålen har en hög temperaturpreferens.

Under hösten var tätheterna av fisk hög i Biotestsjön och andelen abborre var stor. De samlade resultaten från höstens undersökningar visar att förhållandena i Biotestsjön varit goda under 2018, framför allt för varmvattenarter och yngre individer. I analyserna av ålder och tillväxt hos abborre visar resultaten att andelen unga individer är stort och att de växer väldigt snabbt. Vid jämförelse av kondition hos abborre och mört under 2018 fanns inga tecken på att förhållandena skulle vara skadliga i Biotestsjön. Det har tidigare visats att Biotestsjön kan vara 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 (Adill m.fl. 2018). För äldre och större abborrar tycks dock vattentemperaturen i Biotestsjön blivit alltför hög under sommarhalvåret 2018 och de har då vandrat ut ur Biotestsjön. Med bakgrund av de extrema temperaturförhållanden som förekom under juli månad finns även farhågor om att en stor andel äldre och större individer omkom i samband med att F1 startades efter revisionen.

5.4 Forsmark och Finbofjärden

I Forsmarks skärgård var tätheterna av fisk, främst varmvattenarter, de lägsta sedan provtagningarna inleddes med Nordiskt kustöversiktsnät 2002. Förekomsterna av abborre och mört har negativ utveckling i Forsmarks skärgård och fångsterna 2018 var på rekordlåga nivåer, vilket inte kunde ses i referensområdet i Finbofjärden. En förklaring till de låga förekomsterna av abborre i Forsmark kan vara att rekryteringen verkar ha varit ogynnsam under de senaste åren. Fångsterna av unga abborrar, främst tvååriga individer, var under 2018 relativt små vilket tyder på att rekryteringen var särskilt svag under 2016. Den svaga rekryteringen av abborre i Forsmark skulle möjligen kunna förklara den negativa utvecklingen för mört i området, och att mört liksom abborre har haft några år av misslyckad rekrytering. Under 2018 visade dock flertalet undersökningar inom programmet att förekomsten av årsyngel av mört var de största under undersökningarnas historia. En annan förklaring till de minskade förekomsterna av abborre och mört i Forsmarks skärgård skulle kunna vara att en större andel av dessa bestånd i högre utsträckning vistas i Biotestsjön eller i kringliggande områden vid utsläppspunkten till Öregrundsgrepen.

5.5 Bottenfauna

Den drastiska nedgången av märkräfta och nyzeeländsk tusensnäcka i Biotestsjön kan vara en följd av de extrema temperaturerna i Biotestsjön under juli 2018. Anningen genom en direkt effekt att arterna inte har klarat av de höga temperaturerna eller indirekt som en effekt av ett ökat predationstryck från fisk som fått en ökad metabolism och födokrav av den ökade temperaturen.

De arter som dominerar bottenfaunan i Biotestsjön, brackvattenmussla, nyzeeländsk tusensnäcka och tångmärla, är alla arter som inte har en begränsad parningsssäsong. De gynnsamma förhållandena i Biotestsjön skulle kunna möjliggöra att dessa arter kan reproduceras kontinuerligt under hela året, vilket därför kan förklara deras framgång.

Koloniseringen av brackvattenmussla vid lokalen Borgarna kan ha skett genom starka nordgående strömmar från Biotestsjön. Endast juvenila individer återfanns och det kommer att vara angeläget att undersöka huruvida dessa klarar vintern till följande år, och om de kan etablera sig vid Borgarna.

5.6 Fågelinventeringar

Fågelinventeringarna visade att den positiva trenden för sjöfågel att uppehålla sig i Asphällafjärden har fortsatt och 2018 vistades fler individer i Asphällafjärden än i Biotestsjön. Att Asphällafjärden gått förbi Biotestsjön i antalet individer kan förklaras av att viggan omlokaliserats från Biotestsjön till Asphällafjärden i större omfattning än tidigare år. Förklaringen ligger troligen i att viggens föda av bottendjur minskat i Biotestsjön på grund av den höga sommarvärmerna, men har ökat i Asphällafjärden och därmed har Asphällafjärden blivit mer attraktiv för viggan. En alternativ förklaring är att vigg från omgivande skärgård lockas av den öppna vattenytan och väljer Asphällafjärden på grund utav redan höga tätheter av och konkurrens från större fågelarter i Biotestsjön.

Mellanskarv som på senare år utfört misslyckade häckningar i Biotestsjön har inte försökt häcka i anläggningen 2018 och har flyttat till omliggande skärgård i större utsträckning. Antalet mellanskarv har ökat till liknande nivåer som 2014 i Forsmarksområdet efter att i flera år ha minskat. Mellanskarvens ökning i inventeringsområdet skulle kunna innebära en risk för framtida påverkan på de lokala fiskbestånden och andra fågelarter i området. Dock visade inga resultat från det biologiska recipientkontrollprogrammet att någon sådan påverkan skett tidigare när mellanskarven har varit lika vanlig.

Biotestsjön som utöver att vara viktig för de fågelarter som ingår i recipientkontrollprogrammet skapar även habitat till andra arter som kanske inte normalt befinner sig i skärgården. Under 2018 års fågelinventeringar skådades kungfiskare och smådopping, som vanligtvis lever vid sjö och å. Andra intressanta observationer är att flera tecken på utter sågs runt Biotestsjön, samt att individer även observerades i Asphällafjärden och i Forsmarks skärgård. Spår från större rovdjur har även hittats. Lodjur uppehöll sig flera veckor runt Biotestanläggningen under vintern. Även spår efter en förbipasserande varg upptäcktes.

6 Referenslista

- 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., 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., 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.
- 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.
- Andersson, J. (2015). Provfiske med kustöversiktsnät, nätlänkar och ryssjor på kustnära grunt vatten <https://www.havochvatten.se/hav/vagledning--lagar/vagledningar/miljoovervakningens-metoder-och-undersokningstyper-inom-programomrade-kust-och-hav.html>
- Ehlin, U., Lindahl S., Neuman E., Sandström O. & J. Svensson, 2009. Miljöeffekter av stora kylvattenutsläpp. Erfarenheter från de svenska kärnkraftverken. Elforsk rapport 09:79.
- 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., A. Adill, M. Boström, K. Mo & A. Sevastik, 2010. Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk år 2000–2007. Fiskeriverket informerar, FINFO 2010:2.
- Mo, K., P. Karås, Neuman, E., Sandström, O. & H. Svedäng, 1996. Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk 1980–1995. Fiskeriverket, Kustrapport 1996:6
- Naturvårdsverket. (1978). Biologiska inventeringsnormer, BIN, Fåglar. Punktlinjekartering.
- 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., K. Mo, P. Karås, K. Saulamo & A. Sevastik, 2002. Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk 1995–2000. Fiskeriverket informerar, FINFO 2002:3.

Svärdson, G. (1961). Ingen effekt av sikodlingen i Kalmarsund. Svensk Fiskeri Tidskrift. 70:23–26.

Thoresson, G. 1992. Handbok för kustundersökningar, Recipientkontroll.

[http://www.slu.se/Documents/externwebben/akvatiskaresurser/
publikationer/FIV/KLAB/PM029-%20handbok%20recip.pdf](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](http://www.slu.se/Documents/externwebben/akvatiskaresurser/publikationer/FIV/KLAB/PM087-eng%20hand%201996-2.pdf)

