



Aqua reports 2022:10

Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk

Årsrapport för 2021

Anders Adill, Per B. Holliland, Carolina Åkerlund



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för akvatiska resurser

Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk

Årsrapport för 2021

Anders Adill	Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser
Per Holliland	Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser
Carolina Åkerlund	Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Rapportens innehåll har granskats av:

Andreas Bryhn, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Finansiär:

Forsmarks Kraftgrupp AB, (SLU-ID: SLU.aqua.2020.5.2-370)

Rapporten har tagits fram på uppdrag av Forsmarks Kraftgrupp AB. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten.

Publikationsansvarig:	Noél Holmgren, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser
Utgivare:	Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser
Utgivningsår:	2022
Utgivningsort:	Lysekil
Illustrationer:	Sjöboden vid Biotestsjön, Foto: Anders Adill
Serietitel:	Aqua reports
Delnummer i serien:	2022:10
ISBN:	978-91-576-9968-8 (elektronisk version)
Nyckelord:	Kärnkraft, kylvatten, recipientkontroll, provfiske, bottenfauna.

Sammanfattning

Forsmarks kärnkraftverk är Sveriges största elproducent. 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 2021 med fokus för samhällena av fisk, bentisk fauna (bottenlevande djur) och sjöfågel.

Under 2021 producerade Forsmarks kärnkraftverk 25,5 terawattimmar (TWh) el i sina anläggningar, vilket var ett produktionsrekord av elektricitet sedan driften inleddes 1980. Den rekordstora produktionen kan härledas till de senaste åren moderniseringar och livstidsförlängande åtgärder i anläggningarna, vilket resulterat i effekthöjningar i kraftverket. Produktionen under 2021 medförde att intag- och utsläpp av kylvatten var i stor omfattning under året. Utsläppsområdet för kylvatten, Biotestsjön, hade vattentemperaturer över 25°C i 55 dagar under sommarperioden. På grund av revisionsarbeten på F1 under juli månad förekom inga extrema temperaturer över 29°C i Biotestsjön, något som vanligtvis brukar förekomma under högsommaren. I utsläppsområdet för F3 däremot noterades vattentemperaturer över 30°C under totalt nio dygn och med högsta notering 31,1°C i mitten av juli.

Förlusterna av fisk i silstationerna vid kylvattenintaget utgjordes som tidigare år av främst småväxta fiskarter och årsyngel. Totalt fastnade cirka 57 miljoner individer i silstationerna under provtagningsperioderna under 2021. Omfattningarna av fiskförlusterna var i nivå med 2020. Likt föregående år var storspigg den dominerande arten i provtagningarna och omfattade cirka 80 % av förlusterna under året. Resultatet för storspigg speglar sannolikt artens stora förekomst i omgivande kust- och havsområden. Antalet ål som fastnade i silstationen var relativt litet och genom framtagen metodik kunde totalt tolv ålar tas hand om och återutsättas till havet levande. Under de senaste åren har varmvattenarterna mört, björkna och sutare blivit allt vanligare i silstationerna, sannolikt en effekt av de gynnsamma förhållandena i Biotestsjön för lek hos dessa arter.

Undersökningarna i Biotestsjön under våren visade att tätheterna av fisk var de absolut största som någonsin förekommit. De arter som förekommer i störst omfattning var likt föregående år abborre, mört, björkna och sarv. Likt tidigare fanns tydliga tecken på att stora mängder fisk lockas till Biotestsjöns varma vatten för lek. Under senare år förefaller även tätheterna för gädda och sutare ha ökat i området. För ålen däremot är utvecklingen den motsatta och förekomsten av arten är i mycket små omfattningar jämfört med tidigare. Till skillnad från nätprovfiskena i Forsmarks skärgård påträffas inga kallvattenarter i Biotestsjön, såsom strömming, nors, sik och tånglake. För varmvattenarter som abborre och mört visade resultaten att förhållandena i Biotestsjön var goda under 2021, då både tillväxt och kondition låg på goda nivåer. Under hösten 2021 noterades äldre individer av abborre vid provfiskena i Biotestsjön; 15 % av undersökta abborrar var fyra år eller äldre. Tidigare år har nästintill samtliga abborrar varit tre år eller yngre.

I Forsmarks skärgård visade undersökningarna att tätheterna av fisk var de största någonsin. För första gången sedan nätprovfiskena inleddes var fångsterna större i Forsmark jämfört med referensområdet i Finbofjärden på Åland. De stora förekomsterna av småväxta individer av mört och björkna i provfisket bidrog mest till de stora fångsterna och det finns tecken på spridningseffekter av dessa arter från Biotestsjön till omgivande Forsmarks skärgård. Under 2021 noterades en stor andel fiskar som sällan fångas vid provfiskena i Forsmark och samtliga var arter som gillar varmvatten. Gös fångades i relativt stor omfattning och ett fåtal individer registrerades av stäm, sutare och vimma, arter som likt mört tillhör familjen karpfiskar (*Cyprinidae*).

Under 2021 års undersökningar av mjukbottenfauna registrerades totalt femton arter i Forsmark och tretton arter i referensområdet Finbofjärden. Till skillnad från föregående år var tätheterna av bottenfauna på djupa botten lägre i referensområdet än i Forsmark. Nyckelarten vitmårle var inte längre en av de vanligaste arterna på djupa botten i Forsmark eller Finbofjärden. Samtliga stationer inom provtagningarna av hårbottenfauna, utom Plymen, visade ett högre artantal jämfört med medelvärdet sedan undersökningarna inleddes år 2016.

Totalt antal individer per substrat var högre under 2021 jämfört med fjolårets provtagningar på stationerna i Biotestsjön och Asphällafjärden. De höga tätheterna av bottenfauna i Biotestsjön förklaras främst av de stora mängderna tångmärla som återigen registrerades på lokalen. Under året har de mest extrema förhållandena med vattentemperaturer upp emot 30°C uteblivit och populationen av tångmärla har återhämtat sig till nivåer som innan den varma sommaren år 2020.

Antalet fåglar i inventeringsområdet har ökat under 2021 efter 2020 års låga förekomster och därmed även brutit de senaste årens nedåtgående trend. Ökningen beror troligen på den kalla vintern 2020-2021 och att isen lade sig tidigt i december 2021. Detta har sannolikt lett till att sjöfåglarna behövt uppsöka de isfria områdena som uppkommer av kärnkraftverkets varma kylvattenutsläpp, och som skapar platser för rast och födosök. De enskilt viktigaste områdena för sjöfågel under 2021 i Forsmarks skärgård var Biotestsjön följt av Asphällafjärden utanför intagskanalen. Vigg var den vanligaste arten i området på nivå med tidigare år. Antalet mellanskarvar var lägre 2021 än 2020, men populationen har fluktuerat de senaste åren. Under 2021 var knipa den näst vanligaste fågelarten och under senaste åren har knölsvanen blivit allt vanligare i inventeringsområdet. De andra tre arterna inom undersökningarna; gräsand, häger och storskrake, förekom i ungefär samma omfattning som tidigare.

Det finns en stor skillnad för vilka funktionella grupper som nyttjar de olika områdena i inventeringsområdet under året. Växt- och fiskätande sjöfåglar föredrar att vistas i Biotestsjön. Bottenfaunaätande fåglar är delade säsongsvis med en täthetstopp i Biotestsjön under hösten och i Asphällafjärden under vintern.

Abstract

Forsmark nuclear power plant is Sweden's largest electricity producer. Due to the intake and discharge of seawater as a coolant, there is an impact on the surrounding coastal environment. This impact is monitored and analysed by the ongoing biological recipient control program. This annual report presents results from the surveys within the control program for 2021 with a focus on the communities of fish, benthic fauna, and waterbirds.

In 2021, Forsmark's nuclear power plant produced 25.5 terawatt hours (TWh) of electricity, which was a production record since operations began in 1980. The record-breaking production can be contributed to modernisations and lifetime-extending measures implemented in recent years. With the increased production the intake and discharge volume of cooling water was high during 2021. During summer, water temperatures in the local recipient, the Biotest basin, exceeded 25°C for a total of 55 days. Due to audit work on F1 during in July, no extreme temperatures above 29°C were recorded in the Biotest basin. In the discharge canal for F3, however, water temperatures above 30 °C were recorded for a total of nine days and with a maximum temperature of 31.1 °C in mid-July.

As with previous years, the losses of fish in the water intake screening stations consisted mainly of small fish species and fry. Approximately 57 million fish were caught on the screens during the sampling periods in 2021, which is similar to the fish losses in 2020. As in previous years, three-spined stickleback was the most common species and made up approximately 80% of the fish losses in the screening station. The large quantities of three-spined sticklebacks is likely indicative of large occurrences of the species in the surrounding coastal and offshore areas. The number of eels caught in the screening stations was relatively low, and 12 live eels could be released in accordance with methodology developed to prevent recapture in the screening stations. During the last few years, the warm water fish species roach, silver bream and tench have become more common in the screening station sampling, likely due to the favourable reproductive conditions in the Biotest

basin. The fish density in the Biotest basin spring survey was at an all-time high, with spawning fish attracted to the warm water in the Biotest basin. The most common species were perch, roach, silver bream and rudd. In recent years, the densities of pike and tench appear to have increased. Eel, however, has become increasingly rare. No cold water species were caught in the Biotest basin, whilst out in the Forsmark archipelago species such as herring, smelt, whitefish and viviparous eelpout were caught. Warm water species such as perch and roach had good condition and high growth rates suggesting favourable conditions in the Biotest basin during 2021. In the Biotest basin, autumn test fishing older individuals of perch were caught, with 15% of the age analysed perch being four years or older. In previous years, almost all perch have been three years or younger.

In the Forsmark archipelago, fish density was the highest ever recorded. For the first time since the net test fishing series began, the catch in Forsmarks archipelago was greater than in the reference area, Finbofjärden, Åland, Finland. Large quantities of small roach and silver bream contributed most toward the large catches, indicative of a possible spreading effect of these species from the Biotest basin to the surrounding archipelago. Notable in 2021 was the presence of species that are rarely caught in the Forsmark archipelago test fishing. All were warm water species, consisting of a few individuals of dace, tench and vimba, species that, like roach, belong to the carp family (*Cyprinidae*) and relatively large numbers of pikeperch.

During the 2021 surveys of soft-bottom benthic fauna, a total of 15 species were found in Forsmark and 13 species at the reference area, Finbofjärden. Unlike the previous years, densities of benthic fauna on deep bottoms were lower in the reference area than at Forsmark. The keystone species *monoporeia* was no longer one of the most common species on deep bottom areas at Forsmark or Finbofjärden. All stations within the hard bottom fauna sampling, except Plymen, had a higher number of species than the average since the surveys began in 2016. The total number of individuals per substrate was higher in 2021 compared with 2020 in the Biotest basin and Asphällafjärden. The high densities of benthic fauna in Biotest basin are largely explained by the large numbers of gammarus. The gammarus population has recovered to a similar level as before the hot summer of 2020, no doubt facilitated by the fact that no extreme water temperatures above 30°C were recorded in the Biotest basin in 2021.

The number of waterbirds in the inventory area was higher in 2021, compared to the low occurrences of 2020 and thus the downward trend of recent years has been broken. The increase is probably due to the cold winter of 2020-2021 and the fact that sea ice formed early in December 2021. This led to the waterbirds congregating, to rest and forage, in the ice-free areas that the nuclear power plant's operations create. In 2021 the most important areas for waterbirds in Forsmark's archipelago were the Biotest basin followed by Asphällafjärden. Tufted duck was the most common species in the inventory area, with numbers back up to similar levels of previous years after the low occurrence in 2020. Cormorant numbers were lower in 2021 than in 2020, but the population has fluctuated in recent years and in 2021 goldeneye was the second most common waterbird species. Mute swan occurrence was higher in the inventory area in 2021 than in 2020. The other three species included in the recipient control program; mallard, heron and goosander had similar occurrences as in previous years or slightly higher. There is a difference in area use between functional groups and seasonally within the inventory area. Plant- and fish-eating seabirds prefer the Biotest basin. Whilst benthic fauna-eating birds have a density peak in the Biotest basin during the autumn and in Asphällafjärden during the winter.

Innehållsförteckning

1.	Inledning	9
2.	Kraftverkets drift och temperaturpåverkan	11
3.	Kontrollprogram och metodik	13
3.1.	Silstationen	13
3.2.	Provfisken	14
3.2.1.	Provfisken med kustöversiktsnät	14
3.2.2.	Provfisken med ryssjor	14
3.2.3.	Provfiske med Nordiskt kustöversiktsnät.....	14
3.2.4.	Provfiske med detonationsteknik.....	14
3.3.	Kontroll av kondition och gonadskador	14
3.4.	Kontroll av fiskens ålder och tillväxt	15
3.5.	Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk	15
3.6.	Bottenfauna	15
3.6.1.	Mjukbottenfauna	15
3.6.2.	Hårdbottenfauna	16
3.7.	Fågelinventeringar	17
3.8.	Insamling av omgivningsdata	18
4.	Resultat	19
4.1.	Silstationen	19
4.2.	Provfisken	22
4.2.1.	Provfisken med kustöversiktsnät	22
4.2.2.	Provfiske med ryssjor	25
4.2.3.	Provfiske med Nordiskt kustöversiktsnät.....	25
4.2.4.	Provfiske med detonationsteknik.....	28
4.3.	Kontroll av kondition och gonadskador hos fisk	29
4.4.	Kontroll av fiskens ålder och tillväxt	31
4.5.	Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk	33
4.6.	Bottenfauna	33
4.6.1.	Mjukbottenfauna	33

4.6.2. Hårbottenfauna	35
4.7. Fågelinventeringar	38
5. Diskussion.....	41
Referenser.....	48

1. Inledning

Svenska kärnkraftverk påverkar kustvattenmiljön främst genom användningen av kylvatten. Denna rapport redovisar resultat från den biologiska kontrollverksamheten i vattenrecipienten utanför Forsmarks kraftstation under 2021 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. 2021). Fördjupade utvärderingar av kärnkraftverkets effekter på den omgivande vattenmiljön 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 kontrollprogrammet för kärnkraftverket. För genomförande av det biologiska kontrollprogrammet ansvarar Kustlaboratoriet vid Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU Aqua).



Figur 1. Biotestsjön sett från sydost. Inloppet av kylvatten från F1 och F2 till Biotestsjön syns till vänster (syd av Biotestsjön), och inloppet från F3 lite högre upp (väster om Biotestsjön). Det gemensamma utloppet till Öregrundsgrepen från de tre reaktorerna syns längst till höger i bilden (norr av Biotestsjön).

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 1981 (F2) och 1985 (F3). För kylning av processen i kondensatorerna kräver driften av kraftverkets tre reaktorer drygt 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 från vattnet med stora bandsilar (maskvidd 2,5 mm) vid intaget till kraftverket och samlas upp i containrar och transporteras för destruktion. Ål fångas däremot upp och transporteras söderut till Hargshamn, där de släpps ut i havet. Mindre organismer, till exempel djurplankton och fisklarver, kan passera genom silarna men dör antagligen i hög grad i kylvattenomloppet på grund av snabba förändringar i tryck och temperatur (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 2). Biotestsjön är ett cirka 90 hektar invallat område för mottagare av kylvatten. Kylvattnet pumpas in i Biotestsjöns södra del och släpps ut till det omgivande havsområdet Öregrundsgrepen genom utloppet i sjöns norra del (figur 1). Vattentemperaturen i Biotestsjön är, vid normal energiproduktion vid kraftverket, 7–9 °C högre än i omgivande områden. För att följa upp hur kärnkraftverket påverkar sitt närområde utförs kontinuerliga miljöundersökningar i ett särskilt biologiskt recipientkontrollprogram. Studier i den omgivande vattenmiljö utförs framför allt för att avgöra hur den omfattande kylvattenanvändningen vid kraftverket påverkar fisk och andra vattenlevande organismer längs kusten.



Figur 2. Översikt av undersökningsområdet i Öregrundsgrepen med provtagningspunkter för undersökningarna i Biotestsjön och i närrecipienten Forsmarks skärgård. I figuren visas dessutom referensområdet i Finbofjärden på Åland med provtagningspunkterna i området.

2. Kraftverkets drift och temperaturpåverkan

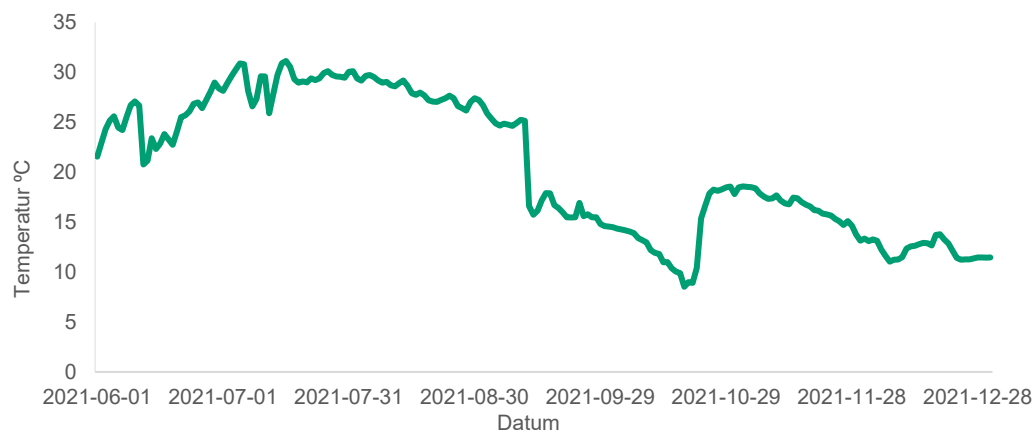
Under 2021 producerade Forsmarks kärnkraftverk 25,5 terawattimmar (TWh) el i sina anläggningar, vilket omfattade drygt en sjättedel av Sveriges elbehov. Elproduktionen under året var den högsta uppmätta sedan kraftverket togs i drift på 1980-talet. Under 2021 var de tre reaktorerna avställda för revision i sammanlagt 93 dygn, från en tidpunkt under våren och fram till hösten (F1; 4 juli-23 juli, F2; 2 maj-30 maj och F3; 12 september-25 oktober).

De senaste åren har en rad moderniseringar och livstidsförlängande åtgärder genomförts i anläggningen, vilket bland annat resulterat i effekthöjningar i kraftverket. Åtgärderna har även medfört att kylvattenflödet till det gemensamma intaget för F1 och F2 vid full drift har ökat till drygt 100 m³/s jämfört med tidigare 88 m³/s, och att temperaturen i kylvattenutsläppet har ökat med cirka 1°C.

Temperaturen i Biotestsjön varierade under 2021 från knappt 9°C under vintermånaderna, till 28,9°C i mitten av juli (figur 3). Vattentemperaturen i Biotestsjön var över 25°C i 55 dagar under högsommarperioden. I utsläppsområdet för kylvatten från F3, treans kanal, var vattentemperaturen över 30°C under totalt nio dygn och med högsta notering 31,1°C i mitten av juli (figur 4). Den högsta uppmätta temperaturen vid referenspunkten Ön i Forsmarks skärgård, infann sig i juli, då temperaturen uppmättes till 23,3°C (figur 3).



Figur 3. Vattentemperaturer centralt i Biotestsjön och Forsmarks skärgård (Ön) under 2021. Helledragen linje anger medeltemperaturen per vecka och streckade linjer minimum- och maxtemperatur under respektive vecka.



Figur 4. Vattentemperaturen (dygnsmedeltemperatur) i utsläppsområdet från reaktor 3 (treans kanal) från 1 juni till 31 december under 2021. Revisionsperioden för F3 pågick under 12 september-25 oktober, och vattentemperaturen sjönk cirka 9°C under det första dygnet i samband vid avställningen. När reaktor 3 startades upp igen i slutet av oktober höjdes vattentemperaturen i treans kanal med cirka 10°C.

3. Kontrollprogram och metodik

Här beskrivs de undersökningar som ska genomföras enligt det biologiska kontrollprogrammet för Forsmarks kraftgrupp AB. Samtlig metodik beskrivs kortfattat. För mer utförliga beskrivningar av kontrollprogrammets metodik hänvisas till Handbok för kustundersökningar, recipientkontroll (Thoresson 1992; 1996), samt till dokumentation för undersökningstyperna Provfiske med kustöversiktsnät, nätlänkar och ryssjor (Andersson 2015) och Provfiske i Östersjöns kustområde – Djupstratifierat provfiske med Nordiska kustöversiktsnät (Karlsson 2020).

3.1. Silstationen

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 av de totala förlusterna av fisk 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 strömning längdmäts ett slumpmässigt prov under hösten om minst 100 individer med en millimeters noggrannhet.

3.2. Provfisken

3.2.1. Provfisken med kustöversiktsnät

Biotestsjön

Provfiske med kustöversiktsnät görs på fem stationer under en natt en gång i månaden under perioden 15 mars – 15 juni (fyra fisken) samt vid tre tillfällen under perioden 20 oktober till 20 december (två gånger i oktober och en gång i december).

Forsmark

Provfiske med kustöversiktsnät görs på sex stationer vid tre tillfällen under perioden 20 oktober – 31 oktober i syfte att samla in referensmaterial enligt moment Kontroll av kondition och gonadskador, på arterna abborre och mört.

3.2.2. Provfisken med ryssjor

Fiske med ryssjor genomförs i Biotestsjön under fyra veckor i april. Under fiskeperioden fiskas sex stationer med tre parryssjor länkade med varandra. Redskapen sätts i sjön vid början av perioden och vittjas två gånger per vecka. All fångst artbestäms och längdmäts.

3.2.3. Provfiske med Nordiskt kustöversiktsnät

Provfiske med Nordiska kustöversiktsnät genomförs i augusti på 45 stationer i Forsmarks skärgård enligt standardförfarande. Samma metodik tillämpas i referensområdet i Finbofjärden på Åland.

3.2.4. Provfiske med detonationsteknik

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

3.3. Kontroll av kondition och gonadskador

Vid provfiskena med kustöversiktsnät under perioden 20 – 31 oktober i Biotestsjön och Forsmarks skärgård samlas tio individer vardera från längdgrupperna 14 till 24 centimeter och samtliga större fiskar (> 24 cm) av abborre och mört in 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 fiskens 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.

3.4. Kontroll av fiskens ålder och tillväxt

Biotestsjön

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.

Forsmark

Vid provfisket med Nordiskt 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 (Svärdsön 1961; Neuman 1974). Antalet fiskar av en viss ålder i ett prov från ett visst fångstår vägs både mot det totala antalet fiskar i provet och mot den procentuella andelen för just denna ålder i det totala materialet från flera år (Thoreson 1996). I referensområdet vid Finbofjärden genomförs provtagningen med samma metodik.

3.5. Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk

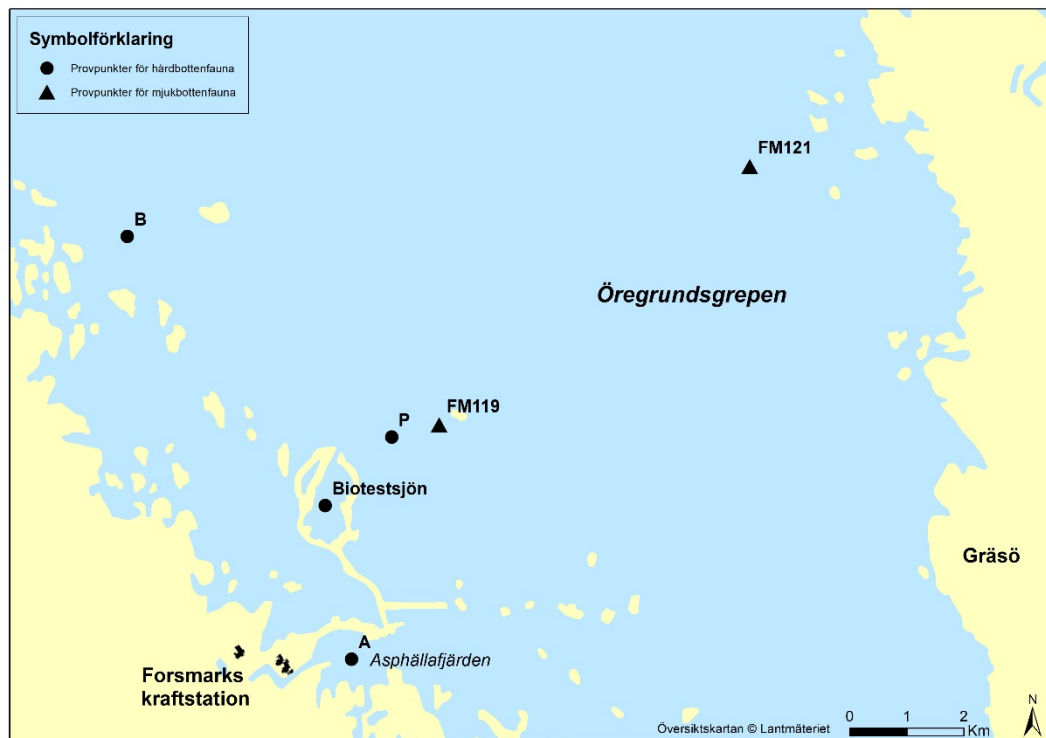
Vid samtliga provfisken med Kustöversiktsnät, Nordiskt kustöversiktsnät och ryssjor, okulärbesiktigas alla fiskar för kontroll av fisksjukdomar och parasitering.

3.6. Bottenfauna

3.6.1. Mjukbottenfauna

Provtagning av mjukbottenfauna genomförs enligt en metodik där insamling sker genom bottenhugg med van Veen-huggare (Thoreson 1992; Girelli m.fl. 2021). Två stationer i Forsmarks skärgård, som påverkas i olika grad av varmvatten-

utsläppet från kraftverket, provtas i maj månad; en djup station (FM 121, 41 meter) och en medeldjup station (FM 119, 16 meter) (figur 5). Två referensstationer med liknande djup utanför det påverkade området provtas i Finbofjärden (FB 2, 44 meter och FB 9, 22 meter) (figur 2). 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 5. 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.

3.6.2. Hårbottenfauna

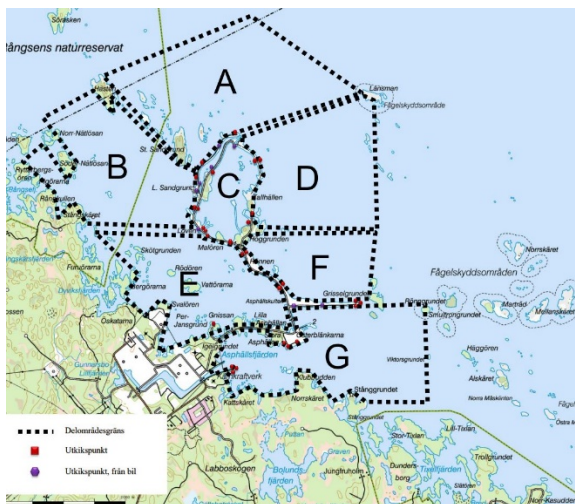
Provtagningen av hårbottenfauna genomförs enligt metodik med så kallade Landforsplattor (Adill m.fl. 2015), som placeras ut på fyra provtagningsstationer i Forsmarks skärgård (figur 5). Stationerna påverkas i olika grad av kraftverkets drift, närrecipienten Biotestsjön med maximal påverkan av uppvärmt 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. Tio

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.

Åtta av 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.

3.7. 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 6). De sju 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. Arterna har valts då de är vanligt förekommande i området året om och därmed bra indikatorer över eventuella förändringar i recipienten.



Figur 6. Inventeringsområdet för sjöfågel och dess indelning i sju zoner (A-G).

3.8. Insamling av omgivningsdata

Temperaturdata insamlas under året och används vid analyser av provfisken inom programmet.

Biotestsjön

Temperaturer registreras kontinuerligt med temperaturloggers vid sex positioner i Biotestsjön; en centralt i Biotestsjön samt fem stycken i en gradient i Lagunen (figur 2).

I Biotestsjön finns även tre fasta mätpunkter som administreras av FKA; F12 – inloppet till Biotestsjön, F12 – utloppet från Biotestsjön och F3 – utloppet i F3:s kanal. Data från de fasta mätpunkterna skickas från FKA till SLU månadsvis. SLU får även månadsvis temperaturen i kylvattenkanalen från mätpunkt vid bron.

Forsmark

Temperaturen registreras kontinuerligt med en temperaturlogger i Forsmarks skärgård vid Ön (figur 2). Utsättning av temperaturlogger sker efter islossning under våren och tas upp under senhösten innan isen hunnit lägga sig. Det finns även en fast mätpunkt i kylvattenkanalen till kraftverket som administreras av FKA. Dessa data skickas från FKA till SLU månadsvis.

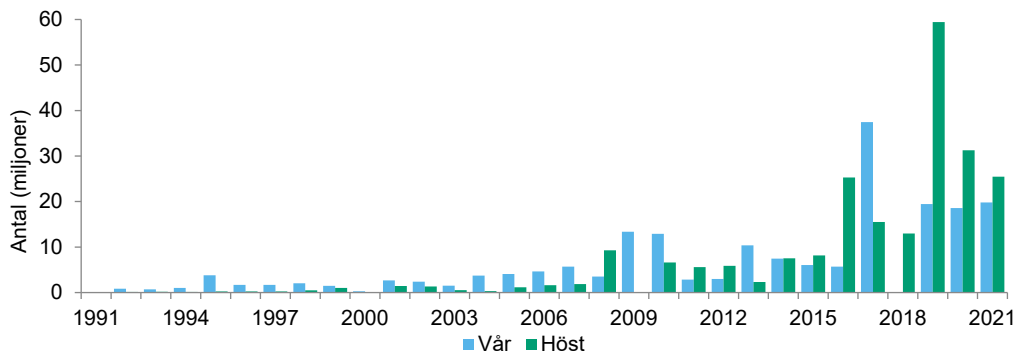
4. Resultat

4.1. Silstationen

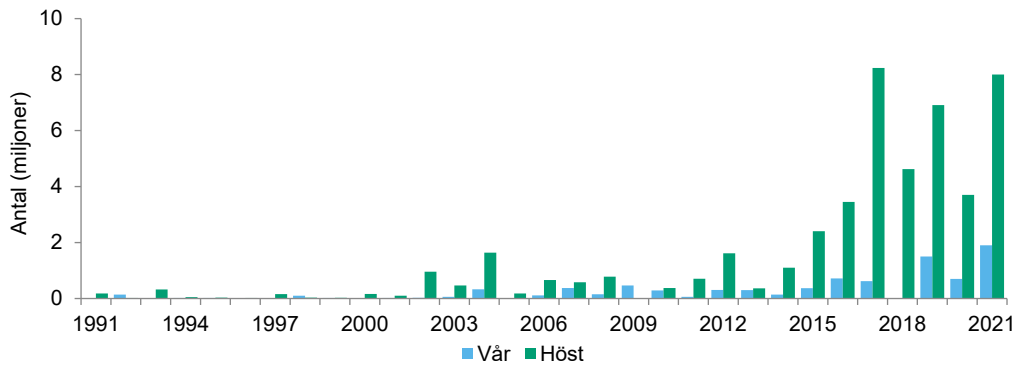
De beräknade förlusterna av fisk i silstationerna uppgick till drygt 22 miljoner individer fördelade på 25 arter under våren och knappt 35 miljoner individer fördelade på 27 arter under hösten (tabell 1). Förlusterna under 2021 var ungefär i samma omfattning som under 2020 och likt föregående år påverkades provtagningarna av revisionsavställningar och minskade kylvattenflöden genom silstationerna. Under våren genomfördes provtagningarna vid endast fyra tillfällen av åtta med maximalt kylvattenflöde. Under hösten genomfördes dock provtagningarna under normal drift och fullt kylvattenflöde (drygt 100 m³/s) genom silstationen för F1 och F2.

Likt tidigare år utgjordes förlusterna främst av småväxta fiskarter som storspigg, småspigg och mindre havsnål, samt årsyngel av strömming (tabell 1). Under hösten 2021 påträffades även ovanligt stora mängder vuxna individer av strömming och nors, vid flertalet tillfällen upp emot tio gånger mer jämfört med tidigare år (tabell 1).

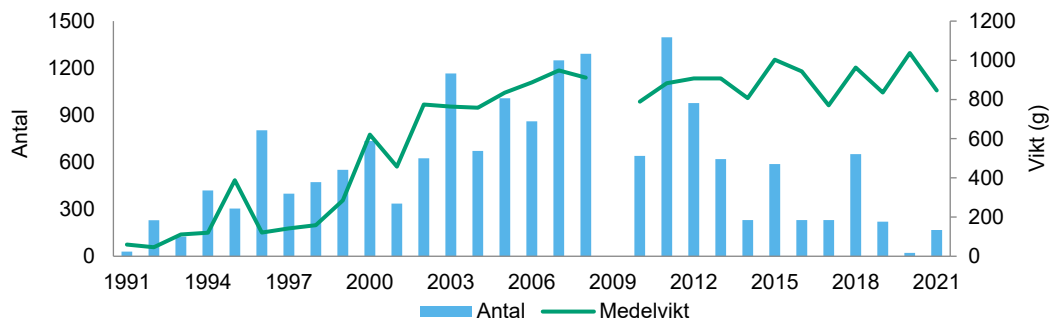
Storspigg var den art som förekom mest i provtagningarna och omfattade 88 % av proverna under våren och 73 % under höstperioden. De stora mängderna storspigg bestod främst av vuxna individer under våren och av årsyngel under höstperioden (tabell 1 och figur 7). Småspigg utgjorde också en väsentlig del av provmängderna och noterades för största mängderna någonsin under vårperioden och stora mängder noterades även under hösten (figur 8). Det gick dock inte att urskilja mönster för skillnader i åldersfördelningar mellan vår- och höstprovtagningarna för småspigg.



Figur 7. Förluster av storspigg i silstationerna under vår- och höstperioden. Resultat för hösten 2009 och våren 2018 saknas på grund av att inga undersökningar genomfördes då.



Figur 8. Förluster av småspigg i silstationerna under vår- och höstperioden.



Figur 9. Förluster och medelvikt av ål i silstationerna under höstprovtagningsperioden. 2009 års värden saknas på grund av alltför reducerade provtagningar.

Mängden ål i silstationerna under 2021 visade likt närmast föregående år att omfattningarna av förlusterna var relativt små (figur 9). Förlusterna av ål var likt tidigare år koncentrerade till senhösten och under 2021 utgjordes förlusterna av både köns mogna individer på väg mot lekrområdena, så kallade blankålar, och uppväxande gulålar som sannolikt uppehållit sig i Forsmarksområdet (tabell 1). Under året har tolv ålar tagits hand om i silstationen och återutsläppts till havet levande i Hargshamn, 32 km söder om Forsmark, enligt framtagen metodik.

Förekomsten av så kallade varmvattenarter såsom abborre, mört, gös och sutare var likt föregående år relativt omfattande (tabell 1). Sutare har tidigare under provtagningsserien endast förekommit sporadiskt men har under de senaste åren

noterats allt oftare. En stor andel av de som fastnar i silstationerna är unga individer och främst under höstperioden (tabell 1).

Tabell 1. Beräknade fiskförluster (antal individer under vår- och höstperioden) och medelvikter (gram) i silstationerna per art. Värdena för ål anges både som blankål och gulål och avser det beräknade antalet som fastnade i silstationerna (gemensamma silstationen för F1 och F2 samt silstation F3) och där tolv ålar i silstationen F1 och F2 kunde återutsättas i havet oskadade.

Art	Vår (antal)	Medelvikt (gram)	Höst (antal)	Medelvikt (gram)
Storspigg	19 804 743	1,64	25 465 860	0,53
Småspigg	1 947 351	0,55	7 992 432	0,48
Sandstubb	408 734	0,49	43 470	0,75
Kusttobis	111 678	1,22	26 313	0,89
Strömming	102 239	12,45	922 898	3,15
Mindre havsnål	73 563	0,79	149 310	0,51
Löja	62 843	2,42	11 540	1,48
Nors	21 221	31,66	15 393	20,27
Björkna	6 248	6,08	578	8,65
Tånglake	5 439	3,96	95	17,22
Abborre	4 032	33,11	13 713	5,85
Svart smörbult	2 478	1,47	1 680	2,12
Mört	1 586	18,28	41 181	1,21
Gärs	725	37,57	704	30,18
Gös	504	71,46	767	49,23
Skarpsill	420	10,88	2 615	11,55
Sarv	315	0,73		
Ruda	42	37,75		
Tobiskung	32	9,00	11	30,00
Blankål	21	1 249,50	125	844,85
Gädda	21	99,50	53	40,00
Sutare	21	68,00	1 764	1,66
Bergsimpa	11	6,00		
Piggvar	11	439,00		
Vimma	11	8,00		
Flodnejonöga			231	58,09
Gulål			32	851,00
Braxen			21	815,50
Lax			21	77,00
Hornsimpa			21	284,50
Stensimpa			21	5,50
Sik			11	442,00
Id			11	4,00
Totalt	22 554 284		34 690 865	
Antal arter	25		27	

4.2. Provfisken

4.2.1. Provfisken med kustöversiktsnät

Biotestsjön

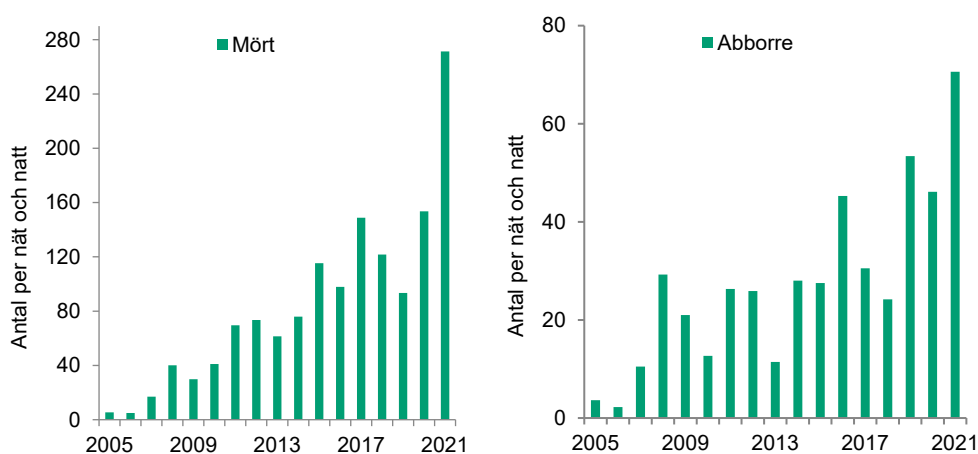
Vid provfiskena med kustöversiktsnät i Biotestsjön fångades det totalt 14 645 individer av elva olika arter vid sju tillfällen under 2021 (tabell 2). De vanligaste arterna i provfiskena var likt föregående år mört, abborre, björkna och sarv. I fångsterna förekom även relativt höga tätheter av gädda och sutare och likt tidigare år påträffades en hybrid av karpfiskar som inte gick att artbestämma, sannolikt en hybridfisk mellan björkna och sarv. Fångsterna var som störst under vårperioden och under 2021 var tätheten av fisk den i särklass högsta sedan vårprovfiskena inleddes 2005 (figur 10 och 11).



Figur 10. Vittjning av kustöversiktsnät vid station 2 (Lagunen) i Biotestsjön under maj månad 2021. Samtliga fiskar på bilden är mörtar.

Tabell 2. Fångster i provfiskena med kustöversiktnät i Biotestsjön under 2021. Fångsterna presenteras som antal och CPUE (fångst per nät och natt), uppdelade på vår (mars-juni), höst (oktober) och vinter (december).

	Vår Biotestsjön		Höst Biotestsjön		Vinter Biotestsjön	
	Antal	CPUE	Antal	CPUE	Antal	CPUE
Mört	8 528	224,42	490	24,5	32	3,2
Abborre	2 762	72,68	512	25,6	278	27,8
Björkna	642	16,89	72	3,6	6	0,6
Sarv	367	9,66	247	12,35	271	27,1
Gärs	283	7,45	23	1,15	25	2,5
Gädda	44	1,16	10	0,5	5	0,5
Sutare	20	0,53	5	0,25		
Löja	16	0,42				
Id	3	0,08				
Vimma	2	0,05				
Stäm	1	0,03				
Karpfisk obestämd	1	0,03				
Totalsumma	12 669	333,39	1 359	67,95	617	61,7

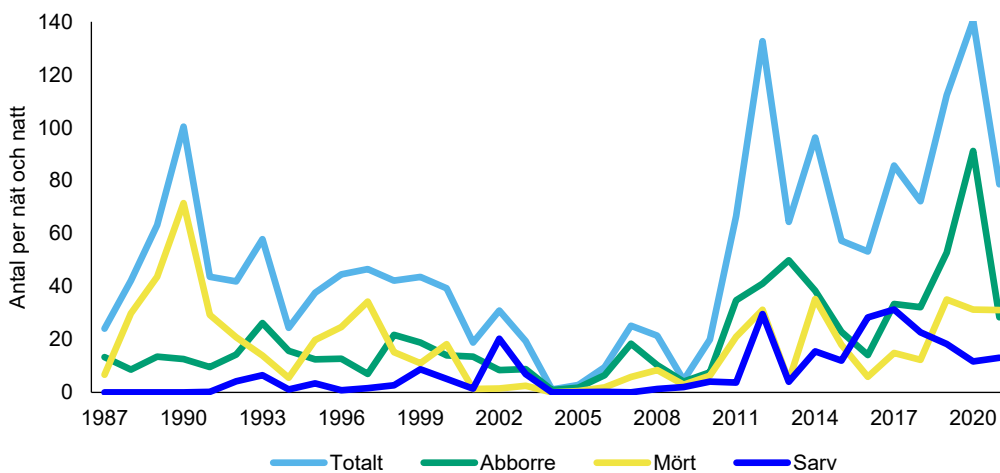


Figur 11. Fångst av mört (t.v.) och abborre (t.h.) i Biotestsjön under vårens provfiskeri (mars-juni) med kustöversiktnät mellan år 2005 och 2021.

Likt föregående års provfiskeri under våren fångades mest abborre och mört under april - maj samt björkna och sarv under maj - juni månad. Fångsterna av abborre och mört under vårperioden var de särklass största sedan fiskundersökningarna inleddes i Biotestsjön på 1980-talet (figur 10). Den största andelen av de fångade abborrarna och mörtarna utgjordes av lekmogen fisk eller individer som skulle leka.

Under höstperioden var fångsterna i Biotestsjön lägre jämfört med rekordnoteringarna under 2020, och det var framförallt fångsterna av abborre som uteblev (figur 12). Tätheterna av de näst vanligaste arterna under hösten, mört och

sarv, var i samma omfattning som år 2020. I Biotestsjön fångades inga individer av till exempel strömming, tånglake och storspigg, arter som återfanns i provfisket i Forsmarks skärgård vid samma tidpunkt.



Figur 12. Fångster av mört, sarv, abborre samt totalt vid provfiske med kustöversiktnät under oktober månad under åren 1987-2021.

Tabell 3. Fångster i provfiskena med kustöversiktnät i Forsmark under oktober 2021. Fångsterna presenteras som antal och CPUE (fångst per nät och natt).

Art	Antal	CPUE
Mört	540	54
Abborre	233	23,3
Gärs	71	7,1
Björkna	39	3,9
Strömming	39	3,9
Sarv	25	2,5
Storspigg	4	0,4
Id	2	0,2
Tånglake	1	0,1
Totalt	954	95,4

Forsmark

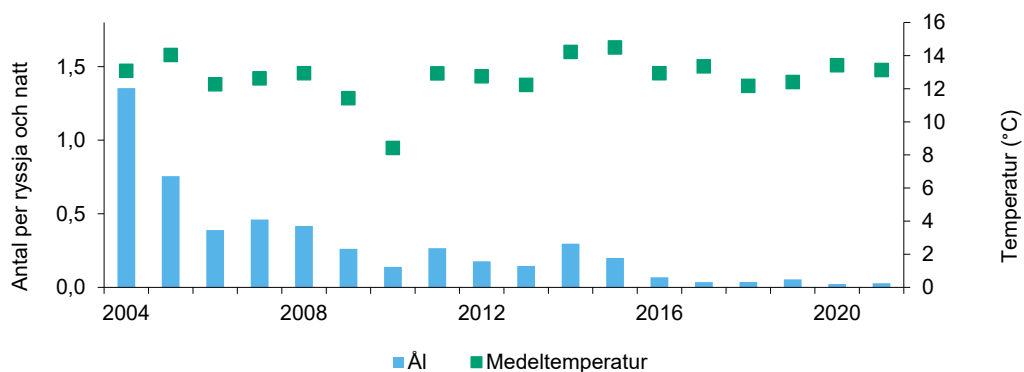
Vid referensprovfiskena med kustöversiktnät i Forsmark vid en vittjning i oktober, fångades totalt 954 individer av nio olika arter (tabell 3). Mört och abborre var de vanligaste arterna under provfisket och utgjorde 57 % respektive 24 % av fångsterna. Vid jämförelse med provfiskena i Biotestsjön under samma period, var fångsterna av abborre dubbelt så stor i Biotestsjön och ungefär i samma omfattning för mört. Under provfisket fångades strömming, storspigg och tånglake i Forsmark, tre arter som inte påträffades i Biotestsjön.

4.2.2. Provfiske med ryssjor

Vid provfiskena med ryssjor i Biotestsjön under april månad fångades totalt 3 902 individer av nio olika arter (tabell 4). Den vanligaste arten i provfiskena var mört, som utgjorde 85 % av fångsterna. Fångsterna av ål i Biotestsjön var likt de senaste åren mycket små och den negativa utvecklingen av arten förstärktes under 2021 (figur 13). Ålarna som fångades varierade mycket i storlek, med längder från 48 till 100 centimeter.

Tabell 4. Fångster i provfiskena med ryssjor i Biotestsjön under april månad 2021. Fångsterna presenteras som antal och CPUE (fångst per ryssjehus och dygn).

Art	Antal	CPUE
Mört	3311	3,07
Abborre	250	0,23
Gärs	159	0,15
Sarv	85	0,08
Sutare	33	0,03
Gulål	29	0,03
Björkna	17	0,02
Gädda	11	0,01
Svart smörbult	7	0,01
Totalt	3902	3,61



Figur 13. Fångsterna av ål vid provfiskena i Biotestsjön under april månad åren 2004-2021. Gröna boxar anger medeltemperaturen vid vittjningarna under provfiskeperioden.

4.2.3. Provfiske med Nordiskt kustöversiktsnät

I provfiskena med Nordiskt kustöversiktsnät i Forsmarks skärgård fångades totalt 6 508 individer av 18 olika arter (tabell 5). Fångsterna under 2021 var de särklass största sedan undersökningarna inleddes i början av 2000-talet (figur 14). Likt de två föregående åren utgjordes fångsterna av mört och björkna en stor andel, 40 % av fångsterna var mört och 26 % björkna (tabell 5 och figur 15). De flesta individer av dessa arter var småväxta och omkring 95 % var i storleken 15 centimeter eller

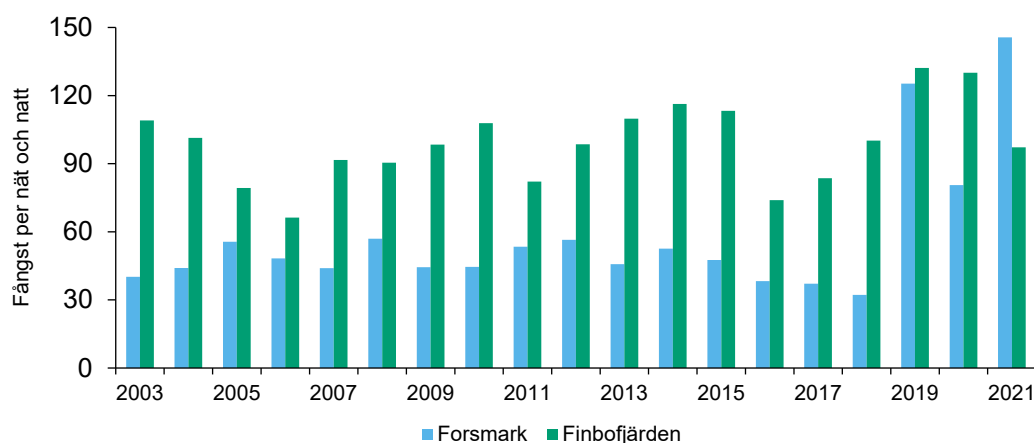
mindre. Den tredje vanligaste arten i provfisket var abborre och fångsterna under 2021 var bland det största under provfiskeserien.

En annan art som har blivit alltmer förekommande i provfiskena de senaste åren är storspigg (tabell 5). Storspiggen har fram till 2018 endast förekommit sporadiskt vid provfiskena med Nordiskt kustöversiktsnät, men har under de senaste åren blivit alltmer vanliga i fångsterna. Under 2021 fångades även ovanligt många gösar, en art som tidigare endast förekommit sporadiskt i provfiskena (tabell 5). Gösarna förekom i storlekarna 13 centimeter upp till största individ som mätte 34 centimeter.

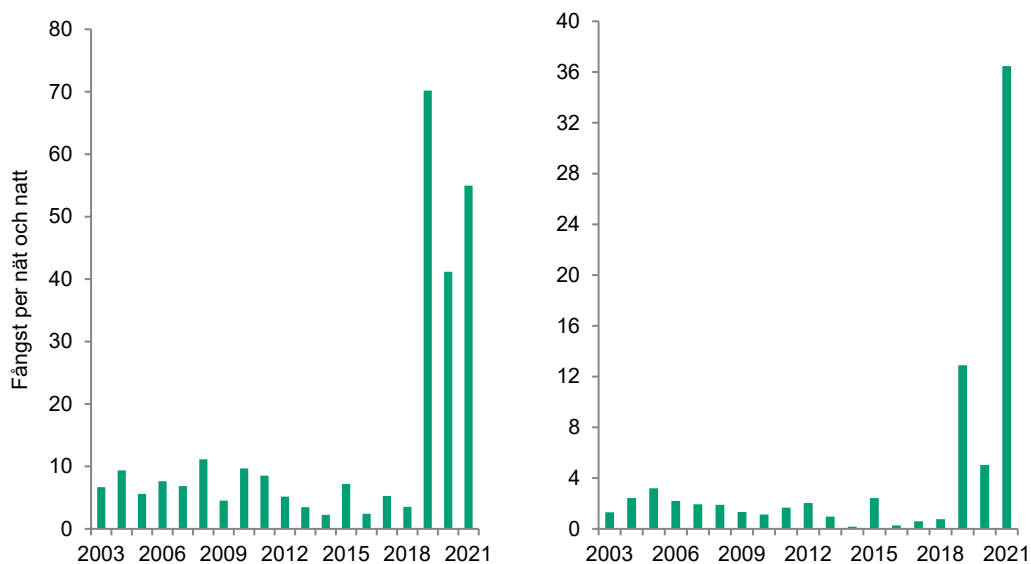
Under 2021 fångades flertalet arter som sällan brukar förekomma eller aldrig har förekommit i provfiskena i Forsmark. Vid provfisket noterades en stäm, en art som likt mört tillhör familjen karpfiskar (*Cyprinidae*), och fångades för första gången i detta fiske. Dessutom återfanns sutare och vimma i fångsterna, två arter som sällan brukar förekomma i provfisket (tabell 5).

Tabell 5. Fångster i provfiskena med Nordiskt kustöversiktsnät i augusti månad 2021 i Forsmark (45 stationer) och i referensområdet Finbofjärden (38 stationer) på Åland. Fångsterna presenteras som antal och CPUE (fångst per nät och natt).

Art	Forsmark	CPUE	Finbofjärden	CPUE
Mört	2 606	57,91	969	25,50
Björkna	1 703	37,84	615	16,18
Abborre	1 337	29,71	1 522	40,05
Löja	370	8,22	50	1,32
Strömming	235	5,22	83	2,18
Gärs	160	3,56	154	4,05
Gös	31	0,69	21	0,55
Braxen	30	0,67	25	0,66
Storspigg	14	0,31		
Id	11	0,24	6	0,16
Sarv	2	0,04		
Sutare	2	0,04		
Svart smörbult	2	0,04		
Gädda	1	0,02	3	0,08
Sik	1	0,02		
Skarpsill	1	0,02	2	0,05
Stäm	1	0,02		
Vimma	1	0,02		
Hornsimpa			2	0,05
Skrubbskädda			1	0,03
Totalt	6 508	144,62	3 454	90,89
Antal arter	18		13	

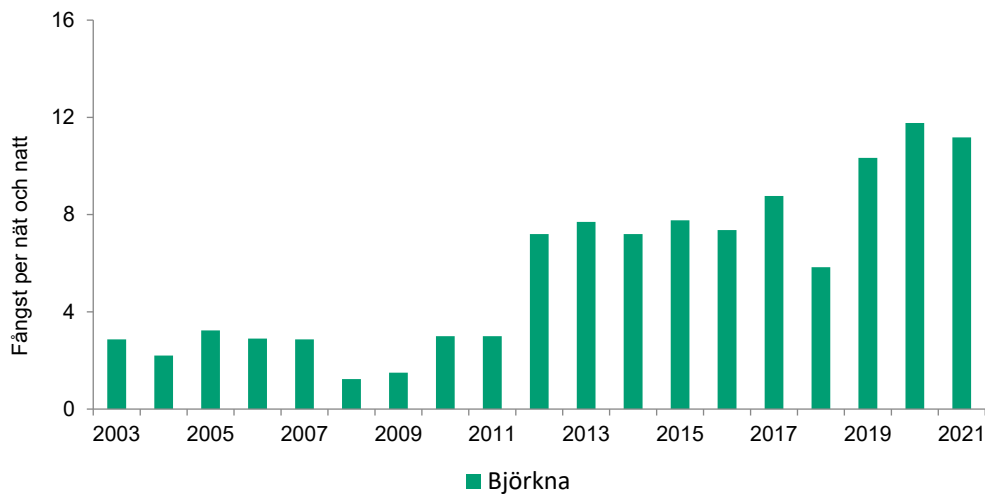


Figur 14. Totalfångster vid provfiskena med Nordiskt kustöversiktsnät vid stationer som har 0-6 meters djup i Forsmarks skärgård (30 stationer) och i referensområdet Finbofjärden (28 stationer).



Figur 15. Fångst av mörts (t.v.) och björkna (t.h.) i Forsmarks skärgård under augusti månad med Nordiskt kustöversiktsnät mellan år 2003 och 2021.

Vid jämförelser med referensområdet Finbofjärden fångades för första gången fler individer inom provfiskena i Forsmarksområdet (figur 14). I Finbofjärden fångades totalt 3 454 individer av tretton olika arter (tabell 5). De vanligaste arterna i referensområdet är likt i Forsmarksområdet abborre, björkna och mörts, vilka utgör 90 % av de totala fångsterna i Finbofjärden. Det fångades betydligt färre arter i Finbofjärden och andelen varmvattenarter, såsom t ex sarv, sutare och vimma, saknades helt i provfisket. Björkna, som tillhör familjen karpfiskar (*Cyprinidae*) och är ännu en varmvattenart, har däremot en positiv utveckling i Finbofjärden och fångas numer i stort antal (figur 16). Däremot fångades fler marina arter som skrubbskädda och hornsimpa, vilket inte återfanns i fångsterna i Forsmark.



Figur 16. Fångst av björkna i Finbofjärden under augusti månad med Nordiskt kustöversiktsnät mellan år 2003 och 2021.

4.2.4. Provfiske med detonationsteknik

Vid provfiskena med detonationsteknik i Biotestsjön fångades totalt 1 333 individer av sju olika arter, varav de flesta individer var årsyngel (tabell 6). De vanligaste fångsterna i undersökningarna var årsyngel av björkna, sarv, abborre och mört (tabell 6). Förekomsterna av årsyngel för abborre och mört var relativt stort jämfört med tidigare år. I likhet med de närmast föregående åren kunde sutare noteras vid provtagningarna, en art som fram till 2018 aldrig har förekommit i yngelundersökningarna i Biotestsjön. Storleken hos årsynglen i Biotestsjön visar på snabb tillväxt under 2021, både abborre och mört var större i Biotestsjön jämfört med Forsmarks skärgård (tabell 6).

I Forsmarks skärgård fångades 959 individer av elva olika arter (tabell 6). Vanligaste fångsterna i Forsmark var storspigg, sandstubb och elritsa. Till skillnad från fångsterna i Biotestsjön förekommer stor andel av arter som trivs bättre i svalare vatten, till exempel storspigg, strömming, elritsa och sandstubb. Förekomsten av abborre var fortsatt mycket lågt och endast sju årsyngel noterades i fångsterna (tabell 6). De årsyngel av mört som fångades i undersökningarna uppehöll sig de flesta vid yttre stationen (nummer 10) som ligger närmast beläget till utloppet av Biotestsjön.

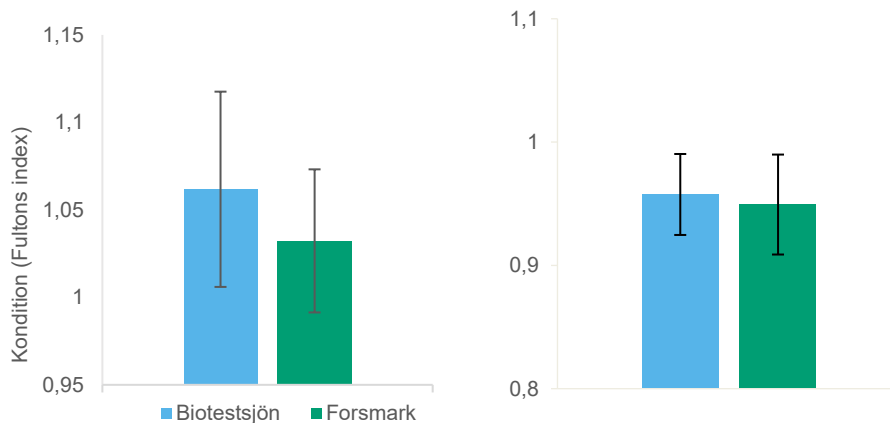
Tabell 6. Förekomst av juvenil/adult fisk (äldre än årsyngel), årsyngel och CPUE för årsyngel (antal per skott) i Biotestsjön och Forsmark under 2021. Längd presenteras som medellängd i millimeter för årsyngel av utvalda arter.

	Biotestsjön				Forsmark			
	Yngel	CPUE yngel	Juvenil/ Adult	Längd (mm)	Yngel	CPUE yngel	Juvenil/ Adult	Längd (mm)
Björkna	608	20,3		52			7	
Sarv	285	9,5	9	43				
Abborre	178	5,9		94	7	0,2		77
Mört	165	5,5	1	93	46	1,5	1	50
Löja	51	1,7	3	35	8	0,3	100	
Sutare	30	1,0		39				
Gädda	3	0,1		268				
Gärs					1	0,03	1	
Elritsa					83	2,8	139	
Sandstubb					146	4,9	0	
Småspigg					3	0,1	1	
Storspigg					402	13,4	0	
Strömming					12	0,4	0	
Svart smörbult					2	0,1	0	
Totalt	1 320	44,0	13		710	23,7	249	

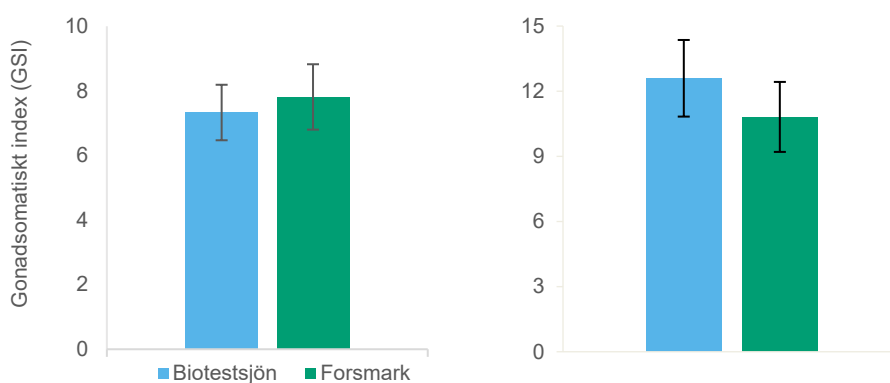
4.3. Kontroll av kondition och gonadskador hos fisk

Kontrollerna av kondition och gonadskador (skador i fortplantningsorganen) hos abborre och mört i Biotestsjön och referensområdet i Forsmarks skärgård omfattade 100 individer per art och område (tabell 7). Abborrarna som ingick i provtagningarna var till stor del unga individer och majoriteten av abborrarna var ett-, två- eller treåriga. I Biotestsjön hade 67 % av abborrarna uppnått könsmognad och knappt 30 % i proverna från Forsmark (tabell 7). För mörten var de flesta könsmogna individer, både från Biotestsjön och från Forsmarks skärgård (tabell 7).

Under provtagningarna noterades inga individer med onormalt låga värden för kondition eller gonadsomatiskt index. En mört från Biotestsjön påträffades med tre gonader jämfört med normalt två gonader. Individen hade dock normala värden för gonadsomatiskt index och kondition. Kontrollerna visade att det inte fanns någon skillnad i kondition hos abborre eller mört mellan Biotestsjön och Forsmark (figur 17). Vid jämförelser av gonadsomatiskt index för abborre och mört mellan områdena fanns inga tecken för skillnader och värdena var i liknande nivåer hos individerna (figur 18).



Figur 17. Kondition hos abborre (t.v.) och mört (t.h.) i Biotestsjön och Forsmark angivet som Fultons index. Felstaplar anger 95 % konfidensintervall.



Figur 18. Gonadosomatiskt index hos abborre och mört i Biotestsjön och Forsmark. Felstaplar anger 95% konfidensintervall.

Tabell 7. Kontroll av kondition och gonadskador hos abborre och mört i Biotestsjön och Forsmark under oktober månad. Tabellen anger antalet individer som ingått i provtagningen, antalet individer som klassats som juvenila (könsorgan ej utvecklade) och köns mogen (könsorgan under tillväxt) samt ålder för abborre. Åldersbestämning för mört ingår inte i programmet. Längst ned i tabellen anges medelvärden för kondition (Fultons index) och gonadosomatiskt index (GSI) hos köns mogna individer av abborre och mört.

	Abborre		Mört	
	Biotestsjön	Forsmark	Biotestsjön	Forsmark
Antal provtagning	100	100	100	100
Könsorgan ej utvecklade	33	72	7	17
Könsorgan under tillväxt	67	28	93	83
Årsyngel	15	0		
Ettåriga	11	32		
Tvååriga	36	57		
Treåriga	23	11		
Fyråriga	12	-		
Fem år eller äldre	3	-		
Konditionsvärde	1,06	1,03	0,96	0,95
Gonadosomatiskt index	7,33	7,81	12,60	10,82

4.4. Kontroll av fiskens ålder och tillväxt

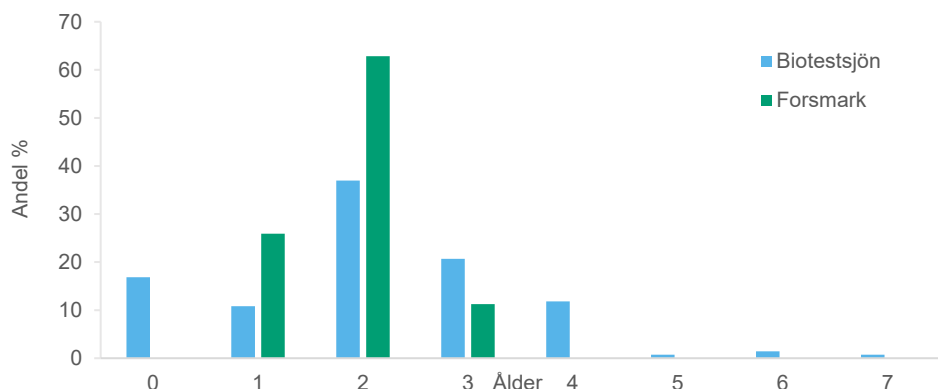
Biotestsjön

Vid kontrollerna av ålder hos abborrhonor i Biotestsjön och i referensområdet Forsmark under oktober månad, visade provtagningarna att fångsterna bestod främst av ett-, två- och treåriga individer (figur 19). I Biotestsjön påträffades en del årsyngel vilket inte gjordes hos abborrar från Forsmark (figur 18). Vid provtagningarna i Biotestsjön förekom relativt många äldre individer, tolv stycken fyraåringar, en fem-, en sex- samt en sjuåring. Individer äldre än tre år saknades helt i Forsmarks skärgård (figur 19).

I kontrollerna av tillväxt hos abborrar i Biotestsjön och Forsmarks under oktober, visade resultaten att abborrarna i Biotestsjön har snabbare tillväxthastighet jämfört med abborrar i Forsmarks skärgård. För abborrar i åldrarna ett år var medellängden drygt 21 centimeter i Biotestsjön jämfört med Forsmarksabborrar som var knappt 16 centimeter (tabell 8).

Tabell 8. Medellängd i centimeter vid ålder hos abborrhonor i Forsmark och Finbofjärden i augusti samt i Biotestsjön och Forsmark i oktober månad.

Ålder	Augusti		Oktober	
	Forsmark	Finbo	Biotestsjön	Forsmark
0	7,77	-	14,39	-
1	13,07	10,52	21,31	15,99
2	19,86	14,76	21,56	20,54
3	24,85	19,11	26,41	24,70
4	28,59	21,36	30,75	
5	28,91	25,28	30,00	
6	33,59	26,99	30,00	
7	34,00	30,12	35,00	
8	-	30,03		
9	-	30,32		
10	-	32,50		
11	-	32,67		

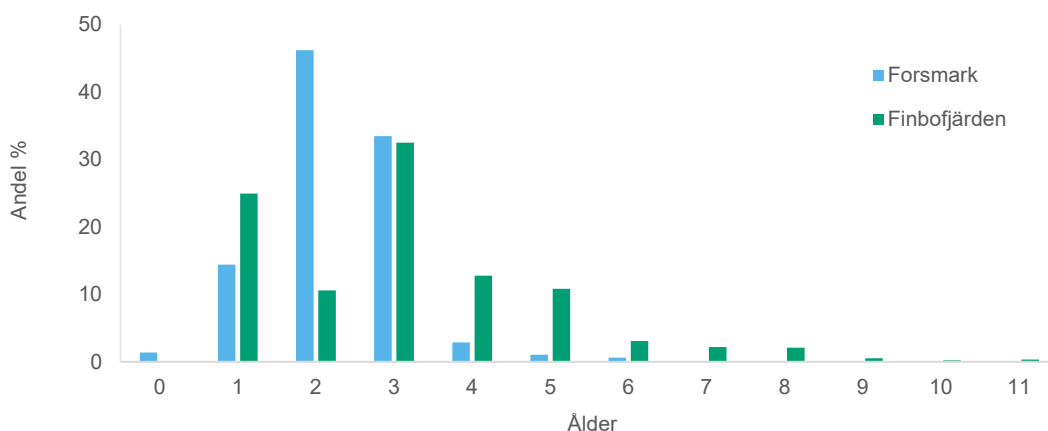


Figur 19. Åldersfördelning hos abborrhonor i Biotestsjön och Forsmarks skärgård under oktober månad 2021.

Forsmark

Vid kontrollerna av ålder hos abborrhonor i Forsmarks skärgård under augusti månad visade provtagningarna att de flesta individer var mellan ett- och tre år gamla (figur 20). Under 2021 fångades en del årsyngel vid provfiskena under augusti månad och förekomsten av individer äldre än tre år var relativt stort jämfört med tidigare år (figur 20). I referensområdet Finbofjärden var ett- och treåriga abborrar mest frekventa i fångsterna (figur 19). Inga årsyngel påträffades vid provfisket. I jämförelse med åldersfördelningen i Forsmark fanns en antydning till en större andel av abborrarna äldre individer, och äldsta abborren som påträffades var elva år gammal (tabell 8). Den äldsta abborren (en individ) som påträffades i Forsmark var sju år gammal (tabell 8).

I analyserna av tillväxt hos abborrarna i Forsmark och Finbofjärden vid tidpunkt i augusti månad, visade resultaten att tillväxthastigheten hos abborrar i Forsmarks skärgård var högre jämfört med abborrar som lever i Finbofjärden (tabell 8). Skillnaden i tillväxten mellan abborrarna i de olika områdena var relativt större under de tidiga livsåren, och redan vid ett års ålder är abborrar i Forsmark drygt två centimeter större jämfört med individer från Finbofjärden (tabell 8).



Figur 20. Åldersfördelning hos abborrhonor fångade med Nordiskt kustöversiktsnät i Forsmark och i referensområdet Finbofjärden under augusti månad.

4.5. Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk

Vid kontroller av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk i samband med provfiskena påträffades endast ett fåtal individer i Biotestsjön med sjukdomar och skador (tabell 9). Likt föregående år påträffades individer med skelettskador, uttryckt främst som ryggradskrökningar (antingen medfödd eller förvärvad). Inga individer med sjukdomssymptom kunde upptäckas från Forsmarksområdet eller referensområdet Finbofjärden. Omfattningarna av svarta fläcksjukan (parasitering av digena trematoder, ögonsugmaskar) på fisken inom undersökningarna var relativt små i samtliga områden.

Tabell 9. Förekomst av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk i provfiske utförda i recipienten (Biotestsjön, närreferens (Forsmark) och fjärrreferens (Finbofjärden) under 2021 med nät och ryssjor.

	Biotestsjön	Forsmark	Finbo, Åland
Ryggradskrökning - Scolios	1		
Ryggradskrökning - Lordos	1		
Skelettdefekt	2		
Tumörer	1		
Prevalens %	0,034	0	0

4.6. Bottenfauna

4.6.1. Mjukbottenfauna

Undersökningarna av mjukbottenfauna visade små variationer i artsammansättning mellan lokalerna utanför Forsmarks kärnkraftverk och i referensområdet Finbofjärden (tabell 10). Förekomsten av bottenfauna var likt föregående år lägre på medeldjupa botten i Forsmarksområdet jämfört med referenslokalerna i Finbofjärden. Till skillnad från föregående år var tätheterna av bottenfauna på djupa botten lägre i referensområdet än i Forsmark. Vid 2021 års undersökningar påträffades mellan åtta och tolv arter av bottenfauna per lokal och tätheterna uppgick till mellan 794 och 2321 individer per kvadratmeter för de fyra olika lokalerna (tabell 10).

Vid provtagningarna på medeldjupa stationer i Forsmark var likt föregående år östersjömussla (*Limecola balthica*) den dominerande arten, följt av bukig tusensnäcka (*Ecrobia ventrosa*) och slammärta (*Corophium volutator*). Av den

invasiva arten nyazeeländsk tusensnäcka (*Potamopyrgus antipodarum*) påträffades färre individer än föregående år och arten var inte längre en av de vanligaste arterna. Den främmande brackvattenmusslan *Mytilopsis leucophaeta* påträffades inte på medeldjupa botten i Forsmark under 2021, vilket dock skedde första gången under 2020. *Mytilopsis* har dock observerats tidigare på samtliga undersökta hårbottenstationer som ligger i samma område. *Mytilopsis* har tidigare visat sig kunna kolonisera kärnkraftverks kylvattenintag och därmed påverka elproduktionen negativt (Florin m.fl. 2013). På motsvarande djup i referensområdet Finbofjärden var förekomsten av östersjömussla, fjädermygglarver (*Chironomidae*) och nyazeeländsk tusensnäcka störst (tabell 10). Av den främmande arten nordamerikansk havsborstmask (*Marenzelleria sp*) påträffades färre individer än föregående år och arten var 2021 den sjätte vanligast förekommande arten på lokalen.

På djupa botten i Forsmarksområdet var tätheterna av nordamerikansk havsborstmask, fjädermygglarver och fåborstmaskar (*Oligochaeta*) störst. Trots att tätheterna av östersjömussla var fortsatt förhållandevis hög, var arten inte längre en av de vanligaste på lokalen. År 2021 var första året sedan 2010 då östersjömussla inte var bland de vanligaste arterna på djupa botten i området. Orsaken till detta var de stora förekomsterna av fjädermygglarver och fåborstmaskar. Nyckelarten vitmärkla var år 2021 den femte vanligast förekommande arten på djupa botten i Forsmarksområdet. På motsvarande djup i Finbofjärden var östersjömussla den dominerande arten, följt av nordamerikansk havsborstmask. Föregående år var nordamerikansk havsborstmask den mest förekommande arten på stationen med 1475 individer per kvadratmeter. Under 2021 var motsvarande siffra endast 199 individer. Detta resultat var den främsta anledningen till att tätheterna av bottenfauna på djupa botten var lägre i referensområdet jämfört med i Forsmark. Under 2021 påträffades endast 14 individer av nyckelarten vitmärkla och arten var inte längre en av de vanligast förekommande.

Tabell 10. Medelantal av bottenfauna per kvadratmeter för medeldjupa- och djupa stationer i Forsmark och referensområdet Finbofjärden år 2021. * innebär att flera arter innefattas.

Artnamn	Latinskt namn	Forsmark Medeldjup 17–20 m	Finbofjärden Medeldjup 17–20 m	Forsmark Djup 22–24 m	Finbofjärden Djup 22–24 m
Östersjömussla	<i>Limecola balthica</i>	844	1445	226	609
Amerikansk havsborstmask	<i>Marenzelleria sp*</i>	36	38	619	199
Fjädermygglarv	<i>Chironomidae*</i>	-	88	453	2
Fåborstmask	<i>Oligochaeta*</i>	86	10	253	-
Bukig tusensnäcka	<i>Ecrobia ventrosa</i>	156	59	6	4
Vitmärsla	<i>Monoporeia affinis</i>	78	51	60	14
Slammärsla	<i>Corophium volutator</i>	97	8	-	-
Nyazeeländsk tusensnäcka	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	72	72	20	4
Skorv	<i>Saduria entomon</i>	18	26	48	-
Muskelkräftor	<i>Ostracoda*</i>	-	-	14	8
Strandvattengräsugga	<i>Jaera albifrons</i>	-	-	6	-
Tängmärsla	<i>Gammarus sp*</i>	4	-	-	-
Hoppkräfta	<i>Copepoda</i>	-	-	4	-
Nordlig hjärtmussla	<i>Cerastoderma glaucum</i>	2	-	-	-
Bakborstig rovmask	<i>Hediste diversicolor</i>	2	-	-	-
Korvmask	<i>Halicryptus spinulosus</i>	-	32	-	34
Blåmussla	<i>Mytilus edulis</i>	-	26	-	-
Slät havstulplan	<i>Amphibalanus improvisus</i>	-	2	-	-
Totalantal/m ²		1395	1855	1709	874
Artantal		11	12	11	8

4.6.2. Hårdbottenfauna

Undersökningarna av hårdbottenfauna i Forsmarksområdet visade betydande skillnader mellan stationerna när det gäller både artförekomst och vilka arter som förekommer i högst tätheter. Under 2021 års provtagningar registrerades mellan 17 och 32 arter per lokal och totalantalet per Landforsplatta uppgick till mellan 124 och 5 049 individer per substrat (tabell 11). Samtliga stationer utom Plymen visade ett högre artantal jämfört med medelvärdet sedan undersökningarna inleddes år

2016 (tabell 12). Både vid Plymen och i den starkt kylvattenpåverkade Biotestsjön registrerades färre arter jämfört med föregående år. Totalt antal individer per substrat var högre under 2021 jämfört med fjolårets provtagningar på stationerna i Biotestsjön och Asphällafjärden. Vid stationerna Plymen och Borgarna var tätheterna lägre jämfört med 2020.

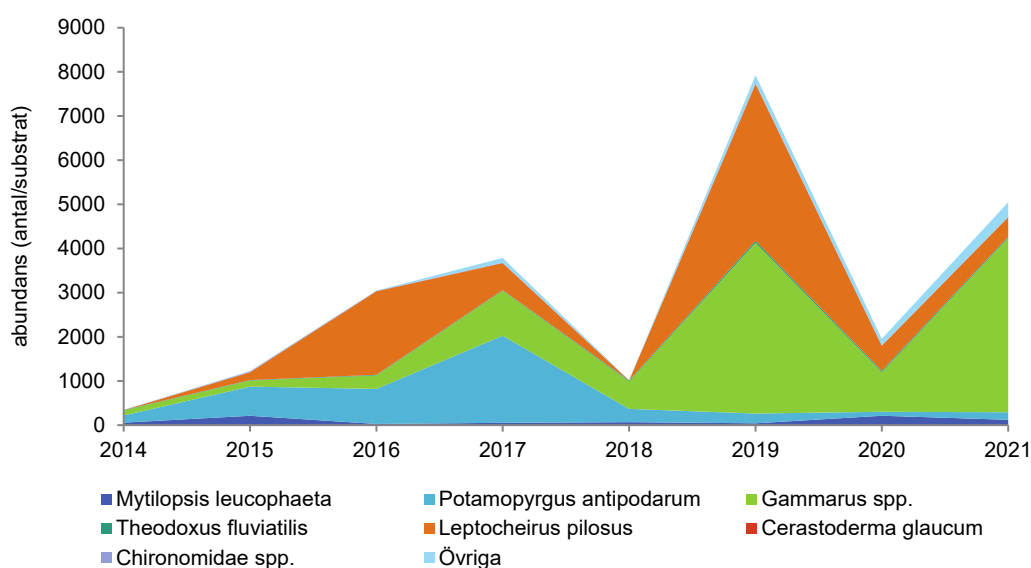
Provtagningarna i Biotestsjön visade ett relativt högt artantal, om än något lägre än vid fjolårets undersökningar. Förekomsten av bottenfauna var likt tidigare högre i Biotestsjön jämfört med den opåverkade- och de två mindre påverkade lokalerna (tabell 11). I Biotestsjön var antalet registrerade individer per substrat under 2021 högre än vid föregående års provtagningar. De höga tätheterna förklaras främst av den stora mängden tångmärla (*Gammarus sp.*) som återfanns under 2021 (figur 21). Under 2020 var förekomsten av både tångmärla och den tidigare vanligt förekommande märkräftan (*Leptocheirus pilosus*) tydligt decimerad till följd av en period av väldigt höga vattentemperaturer. Förekomsten av märkräfta *Leptocheirus* var till skillnad från tångmärla fortsatt låg under 2021. Av den främmande arten brackvattenmusslan *Mytilopsis leucophaeta* registrerades färre individer under 2021 jämfört med föregående år och arten var inte längre en av de tre vanligaste arterna (tabell 11). Trots detta är förekomsten av *Mytilopsis* på Landforsplattorna den tredje största sedan undersökningarna inleddes år 2016. Den introducerade nyzeeländska tusensnäckan (*Potamopyrgus antipodarum*) påträffades i förhållandevis låga tätheter likt föregående år (tabell 11). I Biotestsjön påträffades även en individ av arten röd pungräka (*Hemimysis anomala*), en art som inte påträffats i undersökningarna sedan starten år 2016.

Vid 2021 års undersökningar av lokalen Plymen återfanns samtliga utsatta Landforsplattor, något som har varit en utmaning tidigare år vid den väderutsatta stationen. De vanligaste arterna var brackvattenmussla *Mytilopsis*, märkräfta *Leptocheirus* och fjädermygglarver (*Chironomidae*). Lokalen Asphällafjärden hade fortsatt det högsta antalet arter av samtliga områden i undersökningarna och tätheterna av bottenfauna var endast högre i Biotestsjön (tabell 11). Resultaten i Asphällafjärden visar en viss variation för vilka arter som förekommer i högst tätheter mellan olika år. I likhet med 2020 års provtagningar dominerades bottenfaunan av nordlig hjärtmussla (*Cerastoderma glaucum*) och bukig tusensnäcka (*Ecrobia ventrosa*). Under 2021 var den tredje vanligaste arten storhövdad marsipansnäcka (*Limapontia capitata*), och förekom i mycket större tätheter jämfört med 2020 då endast 8,13 individer per substrat noterades (tabell 11). Tätheterna av den främmande brackvattenmusslan *Mytilopsis* var högre under 2021 jämfört med de två senaste åren och arten var den sjunde vanligaste. I Asphällafjärden påträffades likt i Biotestsjön två individer av arten röd pungräka (*Hemimysis anomala*), en art som inte förekommit i provtagningarna sedan de startade år 2016. Vid den opåverkade referenslokalen vid Borgarna var tångmärla, båtsnäcka (*Theodoxus fluviatilis*) och fjädermygglarver de dominerande arterna

(tabell 11). Under 2021 påträffades flera juvenila individer av den främmande brackvattenmusslan *Mytilopsis*. Sedan de påträffades för första gången vid Borgarna år 2018, har de endast varit frånvarande i undersökningarna år 2019.

Tabell 11. Medelantal av bottenfauna per Landforsplatta för stationerna i Forsmarksområdet; Biotestsjön, utsläppsområdet för kylvatten utanför Biotestsjön kallat Plymen, området för kylvattenintaget till kraftverket i Asphällaffjärden samt Borgarna norr om Biotestsjön som aldrig påverkas av kylvatten. * innebär att flera arter innefattas.

Artnamn	Latinskt namn	Biotestsjön (antal/substrat)	Plymen (antal/substrat)	Borgarna (antal/substrat)	Asphällaffjärden (antal/substrat)
Stor snytesnäcka	<i>Bithynia tentaculata</i>	-	-	0,40	60,80
Nordlig hjärtmussla	<i>Cerastoderma glaucum</i>	1,20	2,60	0,60	633,80
Fjädermyggor	<i>Chironomidae*</i>	9,40	17,80	12,20	84,20
Bukig tusensnäcka	<i>Ecrobia ventrosa</i>	298,2	-	0,80	221,8
Tångmärla	<i>Gammarus sp*</i>	3 944,00	9,80	52,80	36,40
Röd pungräka	<i>Hemimysis anomala</i>	0,20	-	-	0,20
Strandvatten-gråsugga	<i>Jaera albifrons</i>	0,20	14,40	8,40	71,80
Märkräfta <i>Leptocheirus</i>	<i>Leptocheirus pilosus</i>	440,80	19,40	0,60	153,00
Storhövdad marsipansnäcka	<i>Limapontia capitata</i>	8,00	-	1,20	106,20
Saknar svenskt namn	<i>Mytilopsis leucophaeta</i>	121,20	25,20	0,60	67,80
Blåmussla	<i>Mytilus edulis</i>	-	0,20	-	67,80
Nyazeeländsk tusensnäcka	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	172,20	14,60	1,60	30,80
Oval dammsnäcka	<i>Radix balthica</i>	-	0,60	1,20	43,20
Båtsnäcka	<i>Theodoxus fluviatilis</i>	31,20	12,80	33,80	20,80
Totalantal/Landforsplatta		5 048,60	129,40	124,20	1 817,20
Artantal		20	17	24	32



Figur 21. Antal av olika bottenfaunaarter per Landforsplatta i Biotestsjön sedan undersökningarna inleddes år 2016.

Tabell 12. Antal arter per år och station sedan undersökningarna inleddes 2016. År 2018 återfanns inga av de utplacerade Landforsplattorna i Plymen, därav saknas data från det året.

År	Biotestsjön	Plymen	Asphällafjärden	Borgarna
2016	17	17	21	15
2017	16	23	26	18
2018	13	-	26	16
2019	25	14	28	18
2020	25	20	33	25
2021	20	17	32	24
Medelantal arter per år	19,3	18,2	27,6	19,3

4.7. Fågelinventeringar

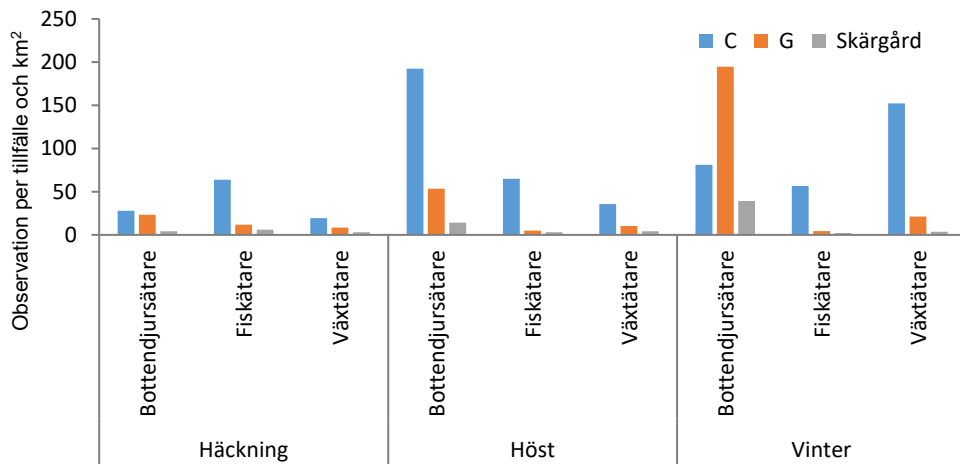
Under 2021 års fågelinventeringar i Forsmark gjordes totalt 42 487 observationer av de arter som ingår i kontrollprogrammet under totalt 24 tillfällen (tabell 13). Därmed finns det tecken för att de senaste årens nedåtgående trend av fågelförekomsterna av arterna i undersökningsområdet har bromsats upp. De viktigaste lokalerna, där närmare två tredjedelar av fåglarna observerats under 2021, var i Biotestsjön (område C; figur 6) och Asphällafjärden (kylvattenintaget, område G; figur 6), där 13 853 respektive 12 077 individer observerades.

Tabell 13. Sammanlagda fågelförekomster (24 tillfällen) för prioriterade arter inom fågelinventeringarna i zonerna A–G i Forsmark under 2021. Sammanlagda förekomster används här som ett index för att följa populationsförändringar.

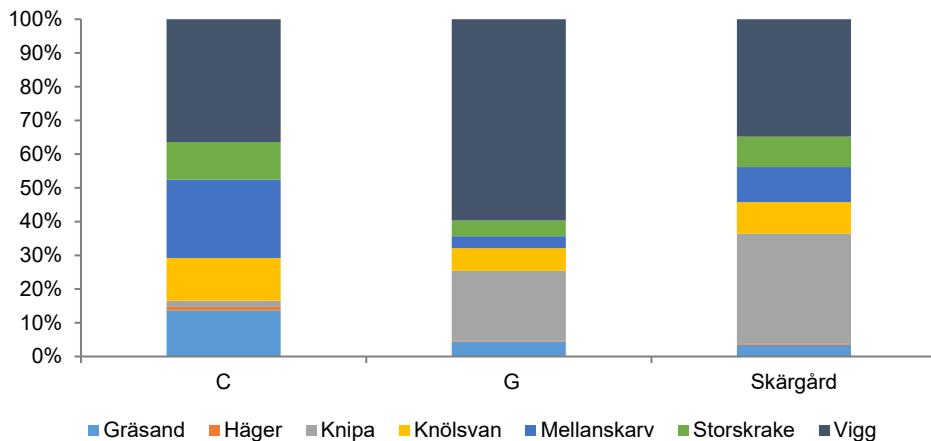
2021	A	B	C	D	E	F	G	Totalt
Gräsand	108	31	1892	85	98	261	525	3000
Häger	5	17	141	12	9	21	27	232
Knipa	1960	733	258	563	1172	956	2732	8374
Knölsvan	196	337	1757	194	265	560	884	4193
Mellanskarv	641	572	3216	331	25	146	483	5414
Storskrake	307	187	1542	269	263	467	608	3643
Vigg	2743	558	5047	799	1207	459	6818	17631
Totalantal	5960	2435	13853	2253	3039	2870	12077	42487
Totalantal/km ²	2384	2029	12594	777	1126	1025	5490	25425

Den vanligaste arten i undersökningsområdet under 2021 var likt tidigare år vigg, med 17631 observationer vid 24 tillfällen. Viggen uppehöll sig främst i Biotestsjön och i Asphällafjärden (tabell 13). Efter 2020 års låga förekomster (7831 observationer) av vigg var förekomsterna åter på nivåer jämförbara med tidigare år och över medeltal för alla år som inventeringarna utförts. Knipa var den näst vanligaste arten i undersökningsområdet med 8374 observationer, med högst tätheter i G och i övriga Forsmarks skärgård (Tabell 13). Mellanskarvens förekomst har fluktuerat de senaste åren och var under 2021 lägre jämfört med 2020, totalt 5414 jämfört med 7313 (Adill m.fl. 2021). Flest observationer av mellanskarv gjordes i Biotestsjön (C), men under 2021 genomfördes inga häckningar i Biotestsjön. Inga spår av häckning syntes heller till på Länsman, som kunde ha upptäckts i samband med besök för insamling av grönslick inom radiologiska omgivningsprogrammet. Knölsvan tycks ha blivit allt vanligare och under 2021 noterades 4193 observationer, vilket var dubbelt så många som genomsnittet för samtliga år som inventeringarna utförts. Observationerna för övriga arter inom recipientkontrollprogrammet var i ungefär samma omfattning som tidigare år.

Vid mer ingående undersökningar av inventeringsområdet fanns det tendenser till skillnader i vilka funktionella grupper och arter som utnyttjade de olika delområdena. Övergripande under 2021 med avseende på tätheter, så föredrog fisk- och växtätande fåglar Biotestsjön året om. Bottendjursätande fåglar uppehöll sig i Biotestsjön på hösten och Asphällafjärden under vintertid (Figur 22). Artmässigt under 2021 dominerade mellanskarv och vigg Biotestsjön och vigg samt knipa Asphällafjärden. I övriga delområdena i skärgården var knipa och vigg vanligast, dock med något mer jämn fördelning av övriga arter inom programmet (Figur 23).



Figur 22. Tätheter av funktionella grupper över säsong i område C-Biotestsjön, G-Asphällafjärden och Skärgården som innefattar resterande zonerna i inventeringsområdet (A,B,D,E,F). Varje säsong avser en fyra månaders period och är uppdelad efter fåglarnas aktivitet; häckning: April-Juli, höst: Augusti-November, vinter: December-Mars.



Figur 23. Relativ fördelning (%) av de studerade fågelarterna i C- Biotestsjön, G-Asphällafjärden och Forsmarks skärgård (A,B,D,E,F).

5. Diskussion

I driften av Forsmarks kärnkraftverk pumpas stora mängder brackvatten genom kraftverket för att kyla kondensatorerna. Kylvattnet tas in via en kanal från Asphällafjärden i Öregrundsgrepen. Efter användning pumpas det använda kylvattnet ut i närrecipienten Biotestsjön och kanalen från F3, som ger en temperaturhöjning med cirka 7-9°C. Många fiskar dör i kylvattenintaget, en fiskförlust som undersöks kvantitativt i denna rapport. Kylvattenhanteringen har en direkt påverkan på omgivande kustekosystemen genom att det havsvatten som används innehåller levande organismer som dras med in i systemet, eller filtreras bort vid intaget och dör. Det uppvärmda kylvatten som släpps ut i Biotestsjön och treans kanal har därtill effekter på djurens fysiologi, födotillgång och beteendemönster, vilket i sin tur kan påverka deras tillväxt, reproduktion och förekomst. Dessa förändringar är väl dokumenterade i årsrapporteringar och fördjupade rapporter under de år som kontrollprogrammet har pågått, framförallt när det gäller fisk, bottenfauna och fågel (Adill m.fl. 2013, Adill m.fl. 2018, Adill m.fl. 2020).

Under verksamhetsåret 2021 uppnådde Forsmarks kärnkraftverk ett produktionsrekord i sina anläggningar och producerade totalt 25,5 terawattimmar (TWh) el, ungefär 15 % av elproduktionen i Sverige. Bidragande orsaker till den stora produktionen under 2021 kom sannolikt från de omfattande moderniseringsåtgärder som genomförts de senaste åren, med effekthöjningar i kraftverket som resultat och därmed ökat kylvattenbehov och höjda temperaturer i utsläppsvatten. Under 2021 var dessutom driftstörningar orsakade av tekniska problem ovanliga och produktionsstopp infann sig främst under perioderna med planerade revisions- och underhållsarbeten i kraftverket. Driftsituationen i kraftverket under 2021 medförde därmed att påverkan på omgivande miljö var stort med avseende på behovet av kylvatten till anläggningarna samt utsläppen av uppvärmt kylvatten till närrecipienten Biotestsjön och kylvattenkanalen från reaktor tre.

I temperaturdata från Biotestsjön kunde det konstateras att perioder med extrema vattentemperaturer upp emot 30°C uteblev under 2021, något som tidigare år vanligtvis inträffar under högsommaren. Vattentemperaturer upp emot 30°C är skadligt för många fiskarter och påverkar individerna på ett negativt sätt. Vid plötsliga temperaturökningar som når extrema temperaturer kan det dessutom vara

dödligt för många fiskarter, särskilt större och äldre individer (Adill m.fl. 2018). Under 2021 inföll revisionsperioden för F1 under större delen av juli månad och detta medförde att utsläppen av varmvatten till Biotestsjön var reducerat under högsommaren, vilket sannolikt minskade den negativa påverkan för fisken i området. I utsläppsområdet för kylvatten från F3 däremot var vattentemperaturerna omkring och över 30°C under långa perioder under 2021. Under högsommaren noterades vattentemperaturer över 30°C i totalt nio dygn och med högsta temperatur på 31,1°C. Det förekommer sannolikt stor skyende av fisk från området under de perioderna under sommaren då förhållandena är som mest extrema. Eftersom inga undersökningar genomförs i detta område under året blir det svårt att fastställa.

Vid undersökningarna i kylvattenintaget till kraftverket kunde provtagningarna av fiskförlusterna genomföras till stor del vid ordinarie kylvattenflöde om drygt 100 m³ vatten per sekund, endast fyra veckor under våren påverkades av revisionsavställningar och halverat flöde. Likt föregående år var storspigg den klart dominerande arten och cirka 45 miljoner individer fastnade i rensgallren vid kylvattenintagen. De enorma mängderna storspigg i provtagningarna speglar med stor sannolikhet de höga tätheterna av arten i omgivande kustnära områden och i Bottenhavet. Vid andra fiskundersökningar som genomförs i Bottenhavet och Östersjön (till exempel Baltic International Acoustic Survey), finns likt i silstationsdata från Forsmark tydliga trender för storspiggens ökande förekomst. De senaste decennierna beståndsutveckling för storspigg har till stor del orsakats av storskaliga miljöförändringar i våra havsområden och på ett tydligt sätt påverkat befintliga ekosystem de senaste åren. Fiskarter som var vanliga i våra kustområden tidigare, t ex abborre och gädda, har haft en negativ påverkan och på flertalet kustområden minskat i omfattning (Donadi m.fl. 2020). Storspigg var dessutom den fiskart inom provtagningarna 2021 som tydligast påverkades av mängden kylvatten som togs in i kraftverket. Under perioden av halverat kylvattenflöde på grund av revisionsavställningar var förekomsten av storspigg märkbart mindre.

Antalet ål som fastnade i silstationerna under 2021 låg fortsatt på låga nivåer jämfört med föregående år. Majoriteten av ålarna kommer in till silstationerna under senhösten och största andelen utgörs av lekvandrande ålar, så kallade blankålar, som lockats in till kraftverket under deras naturliga vandringar ut från Östersjön och mot lekområdena i Sargassohavet. Vid analyser av utvecklingen för ålens förekomst i silstationerna under provtagningsåren blir det alltmer tydligt att de stora mängderna ål som fastnade i silstationerna under slutet av 1990-talet och fram till åren runt 2010, påverkades av tidigare kompensationsutsättningar av ålyngel i Biotestsjön. Under åren 1985 och 1989 genomfördes ett fiskevårdsprojekt i området och drygt 500 000 ålyngel sattes ut i Biotestsjön. Många av ålarna blev kvar i Biotestsjön och en hel del spred sig till omgivande områden i Forsmarks skärgård. I takt med att ålarna tillväxte och uppnådde könsmognad påträffades de i högre grad i silstationsprovtagningarna. Numera är det sannolikt att samtliga

individer från utsättningarna försvunnit från området och ej förekommer i data från provtagningarna längre. Resultaten av provfiskena med ryssjor i Biotestsjön visar också att tätheterna av ål är mycket lågt jämfört med situationen i början av 2000-talet.

Eftersom ålen är en rödlistad och skyddad art, är det dock av stor betydelse att de ålar som sugts in i kylvattenintaget och fastnar i silstationen återutsätts till havet igen. Den metodik som skapats under de senaste åren för att kunna återutsätta ålarna levande fungerar delvis. Möjligen behöver metodiken omarbetas för att fungera på ett bra sätt. På grund av de stora rensmassorna som sugts in i silstationen, som främst utgörs av alger, växtdelar och storspigg, orsakar skador på ålarna när de samlas upp i container eller i provtagningskorgen. Skadorna på ålarna blir emellanåt så omfattande att möjligheten att återutsätta dem i gott skick minimeras.

Inom nätprovfiskena i Biotestsjön under vårperioden fångades enorma mängder fisk, främst varmvattenarterna abborre och mört. Omfattningarna av fångsterna var i rekordnivåer jämfört med föregående år, och majoriteten av fiskarna var lekmogna individer. Fångstdata från provfiskena under vårarna har tydligt visat att lekaktiviteten i Biotestsjön har ökat under de senaste femton åren (Adill m.fl. 2018). En stor andel av fiskarna som genomför leken i Biotestsjön har lockats in till anläggningens varma vatten från omgivande skärgårdsområde. Biotestsjön har på grund av sina förhållanden blivit ett mycket viktigt område för rekrytering av många arter. Eftersom Biotestsjön har varit ett öppet system under flera år har området nyttjats av fisk att vistas i under kortare perioder eller längre perioder under flertalet år. I undersökningarna har det konstaterats att lekperioderna för många arter varit utdragna processer, vilket kan förklaras med att stationära individer uppnår lekmognad tidigare på våren jämfört med individer som lever i Forsmarks skärgård och i kallare vatten (Adill m.fl. 2018).

Undersökningarna under hösten i Biotestsjön visade att tätheterna av de vanligaste fiskarterna förefaller vara betydligt lägre jämfört med våren. Detta tyder på att en stor andel av fisken som uppehåller sig i Biotestsjön under våren för lek lämnar anläggningen under sommarhalvåret när vattentemperaturerna blir som mest extrema, och sprider sig till omgivande skärgårdsområden. De abborrar och mörtar som stannar kvar i Biotestsjön verkar dock vara välmående och med god kondition under senhösten. Vid analyserna av abborrens och mörtens välmående tycks individerna i Biotestsjön vara i samma goda kondition som individer i referensområdet. Förekomsterna av skador eller sjukdomar hos fisk i Biotestsjön var nästintill obefintliga; endast ett fåtal individer påträffades i undersökningarna med sjukdomssymptom. Vid kontrollerna av tillväxten hos abborre kunde det dessutom konstateras att förhållandena i Biotestsjön ger upphov till snabb kroppstillväxt, något som kan ge fördelar i abborrens liv. Vid jämförelse med abborrar som lever i Forsmarks skärgård växer individerna i Biotestsjön snabbare, åtminstone i de lägre åldrarna. Upphovet till detta kan härledas både till en längre

tillväxtsång i Biotestsjön samt att det råder lämpliga förhållandena med god födotillgång och långa perioder med lämpliga vattentemperaturer för snabb tillväxt.

Provfisket i Forsmarks skärgård i augusti visade på anmärkningsvärda resultat jämfört med tidigare år under provfiskeserien. Under 2021 fångades för första gången mer fisk i Forsmarks skärgård jämfört med referensområdet Finbofjärden sedan provfisket inleddes 2002. Det var framför allt fångsterna av mört och björkna som bidrog till de stora fångsterna och båda arterna har fångats i stor omfattning sedan 2019. En väldigt stor andel av individerna av björkna och mört var småväxta och sannolikt unga individer. Utan att ha genomfört djupare statistiska analyser av de senaste årens provfisken tyder resultaten på att aktiviteterna i Biotestsjön gett ytterligare effekter för fisksamhällena i Forsmarks skärgård. De höga tätheterna av fisk i Biotestsjön och de intensiva lekaktiviteterna som infaller under vårarna har sannolikt resulterat till stor rekrytering av varmvattenarter som björkna och mört. En stor andel av avkommorna för dessa arter sprider sig till omgivande områden och stärker därmed bestånden lokalt i Forsmarks skärgård. Resultaten från undersökningarna i silstationen stärker denna slutsats då omfattningarna av varmvattenarter som mört och sutare förekommer allt mer frekvent i dessa undersökningar. Det finns dock mönster om liknande utveckling i Finbofjärden, där många varmvattenarter uppvisar en positiv utveckling. Det finns däremot inte lika uppenbara fångstökningar de sista tre åren i Finbofjärden jämfört med Forsmarks skärgård.

Vid 2021 års undersökningar av bottenfauna på mjuka bottnar påträffades nyckelarten vitmärla, *Monoporeia affinis*, i låga tätheter på djupa bottnar i Forsmark och i referensområdet Finbofjärden. Efter att ha varit en av de mest förekommande arterna på djupa bottnar i båda områdena år 2020 så var abundansen den lägsta sedan år 2018. Sedan millennieskiftet har vitmärlan minskat i områdena, troligtvis en följd av ökad konkurrens vid introduktionen av den invasiva *Marenzelleria spp.* (Kotta och Ólafsson, 2003; Adill m.fl., 2018). Vitmärlan anses vara en nyckelart på djupa mjukbottnar i Östersjön (Lopez och Elmgren, 1989) på grund av sin förmåga att syresätta sediment samt som viktig föda för rovlevande evertebrater och fiskar. Minskad förekomst av vitmärla kopplas, utöver konkurrens från *Marenzelleria*, även ihop med en minskad syrehalt i sediment (Gorokhova m.fl., 2013) en minskad massa av partikelbundna näringsämnen som når botten (Wiklund och Andersson 2014, Tamelander m.fl., 2017).

Vid 2021 års provtagningar av bottenfauna på hårda bottnar visade samtliga stationer förutom Plymen ett större antal arter jämfört med medelvärdet sedan undersökningarna inleddes år 2016. Det höga antalet arter i provtagningarna de senaste två åren kan tyda på att 2020 års förändring av provtagningsmetodiken påverkat resultaten. De senaste två åren har upptagen av de artificiella substraten genomförts med apparatdykare, vilket inneburit en förbättrad och mer noggrann provtagning i samband med upptag. Förändringen var främst en

arbetsmiljöanpassad åtgärd för personalen och innebar att en grupp apparatdykare utförde det tunga undervattensarbetet. Innan förändringen utfördes arbetet istället av fridykare som hade begränsad tid att hantera substraten vid upptagningstillfällena.

De höga tätheterna av bottenfauna i Biotestsjön under 2021 förklaras främst av de stora mängderna tångmärla som återigen registrerades på lokalen. År 2020 påträffades väldigt få individer av både tångmärla och märkräfta *Leptocheirus*, sannolikt orsakat av de höga vattentemperaturerna som förekom i Biotestsjön. De låga förekomsterna av bottenfauna påverkades troligtvis både genom en direkt effekt av att de två arterna inte överlevde de periodvis extremt höga vattentemperaturerna eller indirekt genom ökat predationstryck från fisk som får ökad metabolism och födokrav av höga temperaturer. Under 2021 har de mest extrema förhållandena med vattentemperaturer upp emot 30°C uteblivit och populationen av tångmärla har återhämtat sig till nivåer som innan den varma sommaren år 2020. En minskad konkurrens från andra arter i kombination med en obegränsad parningssäsong i Biotestsjön skulle kunna vara en anledning till den stora ökningen av tångmärla.

Av den främmande brackvattenmusslan *Mytilopsis* registrerades färre individer i Biotestsjön än under föregående år. Arten är trots detta den tredje mest förekommande sedan undersökningarna inleddes 2016. Arten har möjlighet att reproducera sig inom ett brett temperaturspann och anses vara generellt tålig mot höga vattentemperaturer (Rajagopal m.fl., 2005; Verween m.fl., 2007). Det är möjligt att 2021 års relativt normala sommartemperaturer i Biotestsjön inte gynnade den opportunistiska *Mytilopsis*. Under 2021 påträffades inga individer av brackvattenmusslan *Mytilopsis* på mjukbottenstationerna i Forsmarksområdet. Trots detta visar de förhållandevis höga tätheterna av *Mytilopsis* på hårbottenstationerna i undersökningarna för att arten de senaste åren blivit mer allmän i Forsmarks skärgård. I likhet med 2018 och 2020 års undersökningar påträffades endast juvenila individer vid referensområdet Borgarna, vilket sannolikt visar att arten inte överlever de kalla vintrarna. Det kommer dock att vara angeläget att undersöka om arten kan övervintra i områden utan kylvattenpåverkan, och därmed kunna etablera sig över större områden. I sammanhanget bör nämnas att *Mytilopsis* är känd för benägenheten att kolonisera och täppa till industriella kylvattenintag (Florin m.fl. 2013; Zhulidov m.fl., 2021). Detta har dock hittills inte skett i Forsmark.

Antal fåglar i inventeringsområdet har ökat under 2021 efter 2020 års låga antal och därmed även brutit de senaste årens nedåtgående trend. Vintern 2020-2021 var kall och isen la sig i skärgården och även så tidigt på vintern i december 2021. I februari inträffade en köldknäpp som höll i sig och till och med Asphällafjärden frös samt större delen av Grepen. Endast Biotestsjön och direkt utanför utloppet höll sig isfria med stora ansamlingar av sjöfågel i båda. Sjöfåglar behöver isfria områden för att övervintra, för födosök och skydd. Kärnkraftverkets

kylvattenutsläpp skapar isfria områden, bland annat Biotestsjön och vanligtvis Asphällafjärden. Dessa isfria områden utgör lämpliga övervintringslokaler och som syns med höga antal fågelobservationer och tätheter av sjöfågel per ytenhet.

Biotestsjön och Asphällafjärden är viktiga lokaler för sjöfågel och de mest påverkade av kärnkraftverkets drift. Närmare två tredjedelar av alla sjöfåglar som räknades under 2021 befann sig i Biotestsjön och Asphällafjärden, vilket tyder på att områdena bjuder på gynnsamma förhållanden. Biotestsjön var den enskilt viktigaste lokalen 2021 med både högst antal observationer och högst tätheter av sjöfågel per ytenhet.

Antalet vigg var åter igen på en normal nivå, efter att ha legat runt hälften av det som normalt räknas 2020, och står för den största delen av de ökade fågelförekomsterna. Störst andel av vigg räknade var i Asphällafjärden under vintern, där de har övervintrat.

Att knipa har ökat jämfört med 2020 har sannolikt att göra med övervintringsmöjligheter, och antalet ligger på samma nivå som tidigare år med kalla vintrar.

Mellanskarvens förekomst fortsätter fluktuera, med lägre förekomster under 2021 jämfört med 2020. Minskningen i förekomst var relativt mindre i Biotestsjön där flest mellanskarv förekommer. Mellanskarven väljer Biotestsjön, sannolikt på grund av de gynnsamma födoförhållandena med enormt stora mängder fisk i området. Dock nyttjade skarven Biotestsjön endast för uppehåll och födosök då inga häckningsförsök observerades. Mellanskarvens ökning i inventeringsområdet skulle på sikt kunna innebära en risk för framtida effekt på de lokala fiskbestånden och andra fågelarter i området. Det finns dock inga resultat inom det biologiska recipientkontrollprogrammet för någon sådan påverkan.

Knölsvan har ökat i inventeringsområdet, särskilt under 2021. Närmare hälften av alla knölsvansobservationer är i Biotestsjön. Att de har ökat är potentiellt att fler hittar de goda förhållandena med hög växtproduktion i Biotestsjön. Men att förekomsterna har skenat iväg 2021 har att göra med att vid ett inventeringstillfälle i februari under en köldknäpp då resten av omgivande skärgård, inklusive Asphällafjärden var isbelagt, befann sig 779 svanar i Biotestsjön. Normalantalet under vintern ligger på runt 50 individer.

Det finns en stor skillnad för vilka funktionella grupper samt arter som nyttjar de olika områdena under året. Kraftverkets drift och utsläpp av uppvärmt kylvatten har resulterat i höga vattentemperaturer i Biotestsjön, vilket har bidragit till stor växtproduktion och höga fisktätheter i området. Detta har sannolikt attraherat växt- och fiskätande sjöfåglar till att vistas i Biotestsjön. Bottenfaunaätande fåglar är delade säsongvis med en täthetstopp i Biotestsjön under hösten och Asphällafjärden under vintern. Täthetstoppen under hösten är sannolikt flyttfåglar som rastar, efter att sjöarna i norra delarna av Sverige har frusit. Dessa flyger sedan vidare, vilket syns i den stora variationen mellan inventeringstillfällena under hösten.

Under vinterhalvåret är variationen mindre och det handlar om fåglar som övervintrar i området. Det finns mönster om att bottenfaunaätande sjöfåglar föredrar områdena i Asphällafjärden, sannolikt på grund utav höga tätheter av lämplig föda i området samt mindre konkurrens från andra individer och fågelarter.

Biotestsjön, som utöver att vara ett viktigt område för fågelarterna som ingår i recipientkontrollprogrammet, utgör en skyddad rastplats för många arter under flyttiderna och lämpligt habitat till andra arter som normalt inte befinner sig i skärgårdsmiljö. Under 2021 års fågelinventeringar skådades kungfiskare (*Alcedo atthis*) och smådopping (*Tachybaptus ruficollis*) och vattenrall (*Rallus aquaticus*), arter som vanligtvis lever vid sjöar och åar. Ett ovanligare besök var en ägretthäger (*Ardea alba*) som gästade några dagar under vårvintern. Däggdjuret utter (*Lutra lutra*) har överlag en stabil förekomst i Forsmarksområdet (Broman och Truvé 2021), men tycks ändå ha blivit alltmer vanlig i inventeringsområdet, med regelbundna observationer, och som nu även har fortplantat sig i området. Flertalet observationer gjordes av en utterunge med förälder under hösten.

Referenser

- 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., 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.
- 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
- Adill, A., Åkerlund, C. (2020). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk, Årsrapport för 2019. Aqua reports 2020:7. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund Drottningholm Lysekil. 37s.
- Adill, A., Holliland, P. B., Åkerlund, C. (2021). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk, Årsrapport för 2020. Aqua reports 2021:6. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund Drottningholm Lysekil. 47s.
- 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>
- Broman, E., Truvé, J. Övervakning av däggdjursfaunan i Forsmark, Inventeringsresultat 2021. Svensk kärnbränslehantering AB, Rapport R-21-19 December 2021
- Donadi, S., Bergström, L., Berglund, J. M. B., Bäck, A., Mikkola, R., Saarinen, A., Bergström, U. (2020). Perch and pike recruitment in coastal bays limited by stickleback predation and environmental forcing. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 246.
- Ehlin, U., Lindahl S., Neuman E., Sandström O. & J. Svensson, (2009). Miljöeffekter av stora kylvattenutsläpp. Erfarenheter från de svenska kärnkraftverken. Elforsk rapport 09:79.
- Florin, A-B., Mo, K., Svensson, F., Schagerström, E., Kautsky L., Bergström, L. First records of Conrad's false mussel, *Mytilopsis leucophaeata* (Conrad,

- 1831) in the southern Bothnian Sea, Sweden, near a nuclear power plant. *BioInvasions Records* (2013) Volume 2, Issue 4: 303–309.
- Girolli, D., Futenma de Lima, M., Aparecida de Oliveira Sanches, N., Colombo-Corbi, V., Corbi, J., Rossi, G. Aquatic oligochaetes (Annelida: Clitellata) in reservoirs in São Paulo State: list of occurrence and ecological observations on the species. *Biota Neotrop.* 21 (3) 2021.
- Gorokhova, E., Löf, M., Reutgard, M., Lindström, M., Sundelin, B. (2013). *Exposure to contaminants exacerbates oxidative stress in amphipod Monoporeia affinis subjected to fluctuating hypoxia.* *Aquatic Toxicology* 127: 46–53.
- 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.
- Kotta, J., Ólafsson, E. Competition for food between the introduced polychaete *Marenzelleria viridis* (Verrill) and the native amphipod *Monoporeia affinis* Lindström in the Baltic Sea. *Journal of Sea Research*, Volume 50, Issue 1, August 2003, Pages 27-35.
- Lopez, G., Elmgren R. (1989) *Feeding depths and organic absorption for the deposit feeding benthic amphipods Pontoporeia affinis and Pontoporeia femorata.* *Limnology and Oceanography*, 34.6: 982-991.
- 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.
- Rajagopal S., Van der Gaag M., Van der Velde G., Jenner H.A. (2005) Upper temperature tolerances of exotic brackish-water mussel, *Mytilopsis leucophaeata* (Conrad): An experimental study. *Marine Environmental Research* 60:512-530.
- 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.
- Tamelander, T., Spilling, K., Winder, M. (2017). *Organic matter export to the seafloor in the Baltic Sea: Drivers of change and future projections.* *Ambio* 46, 842–851.
- Thoreson, G. (1992). Handbok för kustundersökningar, Recipientkontroll. <http://www.slu.se//Documents/externwebben/akvatiskaresurser/publikationer/FIV/KLAB/PM029-%20handbok%20recip.pdf>

- Thoreson, G. (1996). Guidelines for coastal fish monitoring.
<http://www.slu.se/Documents/externwebben/akvatiskaresurser/publikationer/FIV/KLAB/PM087-eng%20hand%201996-2.pdf>
- Verwee A., Vincx M., Degraer S. (2007). The effect of temperature and salinity on the survival of *Mytilopsis leucophaeata* larvae (Mollusca, Bivalvia): The search for environmental limits. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 348:111-120.
- Wiklund AKE, Andersson A (2014). Benthic competition and population dynamics of *Monoporeia affinis* and *Marenzelleria* sp. in the northern Baltic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 144: 46-53.
- Zhulidov AV, Kozhara AV, Son MO, Morhun H, van der Velde G, Leuven RSEW, Gurtovaya TY, Zhulidov DA, Kalko EA, Kuklina YA, Kosmenko LS, Santiago-Fandino VJR, Nalepa TF (2021). Additional records of the bivalves *Mytilopsis leucophaeata* (Conrad, 1831) (Dreissenidae) and *Arcuatula senhousia* (Benson, 1842) (Mytilidae) in the Ponto Caspian region. *BioInvasions Records* 10 (1): 119–135.

