



Aqua notes 2024:16

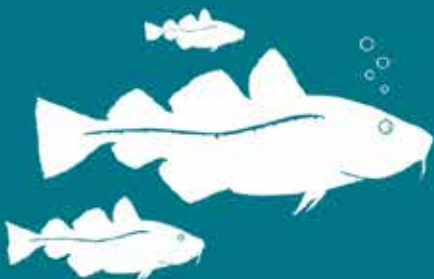
Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk

– Årsrapport för 2023

Anders Adill, Stefan M. Eiler, Per B. Holliland, Isa Wallin Kihlberg, Carolina

Åkerlund

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för akvatiska resurser



Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk – Årsrapport för 2023

Anders Adill, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Akvatiska resurser,

Stefan M. Eiler, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Akvatiska resurser,

Per B. Hollilund, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Akvatiska resurser,

Isa Wallin Kihlberg, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Akvatiska resurser,

Carolina Åkerlund, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för Akvatiska resurser,

Rapportens innehåll har granskats av:

Emma Svahn, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Filip Käll, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Finansiär: Forsmarks Kraftgrupp AB, (SLU-ID: SLU.aqua.2023.5.1-369)

Rapporten har tagits fram på uppdrag av Forsmarks Kraftgrupp AB. Rapportförfattarna ansvarar för innehållet och slutsatserna i rapporten. Rapportens innehåll innebär inte något ställningstagande från uppdragsgivarens sida.

| | |
|------------------------------------|--|
| Rekommenderad citering: | Författare (2024). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk – Årsrapport för 2023. Aqua notes 2024:16. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. https://doi.org/10.54612/a.bh973l8a3l |
| Publikationsansvarig: | Noél Holmgren, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser |
| Redaktör: | Stefan Larsson, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser |
| Utgivare: | Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser |
| Utgivningsår: | 2024 |
| Utgivningsort: | Uppsala |
| Illustration framsida: | Torsk (t.v.): Fredrik Saarkoppel; Braxen (t.h.): SLU |
| Upphovsrätt: | Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd. |
| Serietitel: | Aqua notes |
| Delnummer i serien: | 2024:16 |
| ISBN (elektronisk version): | 978-91-8046-624-0 |
| DOI: | https://doi.org/10.54612/a.bh973l8a3l |
| Nyckelord: | Kärnkraft, kylvatten, recipientkontroll, provfiske, bottenfauna. |

© 2024 Anders Adill, Stefan M. Eiler, Per B. Hollilund, Isa Wallin Kihlberg, Carolina Åkerlund

Detta verk är licensierat under CC BY 4.0, andra licenser eller upphovsrätt kan gälla för illustrationer.

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 2023 med fokus på samhällena av fisk, bentisk fauna (bottenlevande djur) och sjöfågel.

Under 2023 producerade Forsmarks kärnkraftverk 24,3 terawattimmar (TWh) el i sina anläggningar, vilket var något lägre än föregående års produktionsrekord av elektricitet. Den stora produktionen kan härledas till de senaste åren moderniseringar och livstidsförlängande åtgärder i anläggningarna, vilket resulterat i effekthöjningar i kraftverket. Den höga produktionen under 2023 medförde därmed en hög omsättning på kylvatten. Utsläppsområdet för kraftverkets kylvatten, Biotestsjön, hade vattentemperaturer över 25 °C i 38 dagar under sommarperioden. Under en dag i juni uppmättes en dygnsmedeltemperatur över 29 °C. I utsläppsområdet för F3 uppmättes temperaturer över 30 °C under fyra dygn under 2023, och den högsta uppmätta temperaturen var 30,8 °C.

Förlusterna av fisk i silstationerna vid kylvattenintaget utgjordes likt tidigare år av främst småväxta fiskarter och årsyngel. Totalt fastnade cirka 49 miljoner individer i silstationerna under provtagningsperioderna under 2023, nästan 11,5 miljoner fler än de 37,5 miljoner individer som fastnade år 2022. Det större antalet beror främst på att det fastnade fler årsyngel under hösten 2023. Det kan vara ett tecken på att förhållanden för fiskreproduktion varit mer gynnsam i närområdet under året, vilket även återspeglades i yngelundersökningarna i Forsmarks skärgård. Likt föregående år var storspigg den dominerande arten i provtagningarna och omfattade cirka 84 % av förlusterna under året. Resultatet för storspigg speglar sannolikt artens stora förekomst i omgivande kust- och havsområden. Antalet ålar som fastnade i silstationen var betydligt högre än senaste åren, nära tjugo gånger så högt som under 2022. Förlusterna av ål var större under hösten än under våren, och utgjordes främst av stora köns mogna individer på väg mot lekområdena. Totalt kunde 36 ålar tas omhand och återutsättas levande i havet drygt tre mil söder om Forsmark för att förhindra att ålarna åter fångas i silstationerna.

Undersökningarna i Biotestsjön under våren visade att tätheterna av fisk är fortsatt extremt höga. De arter som förekommer i störst omfattning var likt föregående år mört, abborre och björkna. Fångsterna av abborre låg återigen på extremt höga nivåer efter relativt små fångster 2022. Likt tidigare fanns tydliga tecken på att stora mängder fisk lockas till Biotestsjöns varma vatten för lek. Förutom stora mängder lekmogen mört och abborre förekom höga tätheter av björkna under våren. På senare år förefaller även gädda och sutare ha blivit mer vanliga i området. För ålen är däremot utvecklingen den motsatta och förekomsten är låg i jämförelse med tidigare år. I motsats till i nätprovfiskena i Forsmarks skärgård påträffades inga så kallade kallvattenarter, såsom strömming, nors, sik och tånglake, under undersökningarna i Biotestsjön. För varmvattenarter som mört och abborre visade resultaten att förhållandena i Biotestsjön var goda under 2023, då både tillväxt och kondition låg på normala nivåer. Däremot verkar förhållandena för rekrytering ha varit sämre i Biotestsjön och ovanligt låga antal yngel registrerades vid yngelprovtagningen i augusti. Under hösten 2023 noterades ett fåtal äldre individer av abborre vid provfiskena i Biotestsjön; endast 6 procent av undersökta abborrar var fyra år eller äldre.

I Forsmarks skärgård visade undersökningarna att tätheterna av fisk är fortsatt förhållandevis höga. Fångsterna av mört och björkna är lägre än vid toppnoteringarna åren 2019 och 2021, men förekomsten av dessa arter är fortsatt betydligt högre jämfört med innan rekordåren. Under 2023 registrerades en individ av arten ruda för första gången sedan fisket startade i början i 2000-talet.

Under 2023 års undersökningar av mjukbottenfauna registrerades 15 arter vardera i Forsmark och referensområdet Finbofjärden. Till skillnad från tidigare år var individtätheten högre i Forsmark jämfört med i referensområdet. Förekomsten av nyckelarten vitmärkla var i år högre på samtliga stationer i både Forsmarks skärgård och Finbofjärden. Alla hårbottenstationer uppvisade ett lägre artantal än föregående år och även individtätheten var lägre på samtliga stationer utom Borgarna. I Biotestsjön låg individtätheten på samma nivå som under föregående års provtagning, men betydligt lägre jämfört med 2021. Förekomsten av tångmärkla, som var ovanligt låg i Biotestsjön 2022, var i årets provtagning tillbaka på 2020 års nivå. Det är möjligt att tångmärklan gynnats av lägre nivåer av den främmande arten röd pungräka, vilken i år hittades i tätheter motsvarande 12 individer per artificiellt substrat jämfört med nästan 280 individer per substrat under föregående år.

Under 2023 fortsatte den positiva trenden med större antal sjöfåglar i undersökningsområdet, speciellt observationerna av bottendjursätaren vigg var fler än de senaste åren. Till skillnad från föregående år var det totala antalet observerade individer störst i Asphällafjärden, men antalet individer per ytenhet var fortfarande störst i Biotestsjön. Förhållandena i undersökningsområdet är gynnsamma för sjöfåglar hela året, med hög födotillgång och stora isfria zoner för övervintring. Vigg var den vanligast förekommande arten, följd av knipa och mellanskarv. Det fanns skillnader gällande vilka funktionella grupper och arter som nyttjade de olika områdena. Både fisk- och växtätare var vanligast förekommande i Biotestsjön, med de högsta tätheterna av växtätare under hösten. Tätheterna av bottendjursätare var högst i Biotestsjön under hösten och i Asphällafjärden under häckningsperioden och vintern.

Summary

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 2023 with a focus on the communities of fish, benthic fauna, and waterbirds.

In 2023, Forsmark nuclear power plant produced 24.3 terawatt hours (TWh) of electricity, which was slightly lower than the production record from the two previous years. The high production can be attributed to modernisations and lifetime-extending measures implemented in recent years. With continuously high production the intake and discharge volume of coolant water was high during 2023. During summer, water temperatures in the local recipient, the Biotest basin, exceeded 25 °C for a total of 38 days. Only one day of extreme temperatures above 29 °C were recorded in the Biotest basin. In the discharge canal for F3 four days during summer was recorded as having water temperatures over 30 °C with a maximum temperature of 30.8 °C.

As with previous years, the loss of fish in the water intake screening stations consisted mainly of small fish species and fry. Approximately 49 million fish were caught on the screens during the sampling periods in 2023, which is approximately 11,5 million more than in 2022. The greater fish loss can be explained by the fact that more fry were trapped during the autumn, which can indicate increased fish production in the local area during 2023. This result was also mirrored in the fish fry inventory in Forsmark Archipelago. The three-spined stickleback, as in previous years, was the most common species and made up approximately 84 percent of the fish losses in the screening station. The large quantities of three-spined stickleback is likely indicative of large occurrences of the species in the surrounding coastal and offshore areas.

The number of eels entrapped was much higher than the last few years, twenty times greater than in 2022. The losses of eels were highest during the autumn and consisted mainly of large

migrating silver eels. In total thirty-six live eels were released thirty-two km south of Forsmark to prevent recapture in the screening stations.

The fish density in the Biotest basin spring survey was extremely high. The most common species were roach, perch and silver bream. Perch density was much higher than the relatively low densities of 2022. As observed in previous years fish congregate in the Biotest basin to spawn, likely attracted by the warmer water. Apart from high densities of spawning roach and perch, high densities of silver bream were also observed. In recent years, densities of pike and tench have increased. Eel density, however, has decreased and remains extremely low. 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 2023. However, recruitment was low with fewer young of year observed in the fish fry inventory. In the Biotest basin autumn survey, 6 percent of the age analysed perch was four years or older. In the Forsmark archipelago, fish density was relatively high. The densities of roach and silver bream were lower than the record years of 2019 and 2021, though still much higher than prior to those years. Of note in 2023 was that a crucian carp was caught for the first time since the survey began in the early 2000s.

During the 2023 survey of soft-bottom benthic fauna, 15 species were found in both Forsmark and the reference area, Finbofjärden. In contrast to previous years, the densities of benthic fauna were higher in Forsmark than the reference area. The densities of the keystone species *Monoporeia affinis* were higher in both areas this year. In the hard bottom fauna sampling, lower total number of species were found at all stations compared to last year. Also the benthic fauna densities were lower in comparison to the densities last year at all stations, except Borgarna. In the Biotest basin the densities were similar to those last years, although much lower when compared to 2021. The densities of *Gammarus* sp., which were at unusually low levels in the Biotest basin 2022, were this year back at 2020 levels. It is possible that *Gammarus* sp. has benefitted from lower density of the invasive bloody red mysid shrimp *Hemimysis anomala* this year. Only 12 individuals per artificial substrate were found in 2023, in comparison to 2024 when there were almost 280 individuals per substrate.

A greater number of water birds were observed in the inventory during 2023 compared to previous years. This was largely explained by higher numbers of benthic fauna-eating birds, predominately tufted duck. The Biotest basin had the highest densities of water birds and Asphällafjärden the highest number of observed water birds per subarea. The conditions in these subareas are very favourable for water birds all year round due to high food availability and ice free zones for overwintering. Tufted duck was the most common species followed by the goldeneye and cormorant. There are differences in area use between the functional groups and species within the inventory area: fish and plant eating birds preferred the Biotest basin all year round with densities of plant eaters being higher during the autumn. Benthic fauna-eating birds have a density peak in the Biotest basin during the autumn migration period and in Asphällafjärden during breeding and winter seasons. These density peaks can be explained by the amount of breeding goldeneye during breeding season and tufted duck during winter.

Innehållsförteckning

| | |
|--|-----------|
| 1. Inledning | 8 |
| 2. Kraftverkets drift och temperaturpåverkan | 11 |
| 3. Kontrollprogram och metodik | 13 |
| 3.1. Dödlighet i 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 | 16 |
| 3.6.1. Mjukbottenfauna | 16 |
| 3.6.2. Hårdbottenfauna | 17 |
| 3.7. Fågelinventeringar..... | 17 |
| 3.8. Insamling av omgivningsdata | 18 |
| 4. Resultat | 19 |
| 4.1. Dödlighet i silstationen..... | 19 |
| 4.2. Fiskundersökningar i recipient och referensområde | 23 |
| 4.2.1. Provfisken med kustöversiktsnät | 23 |
| 4.2.2. Provfiske med ryssjor | 26 |
| 4.2.3. Provfisken med Nordiskt kustöversiktsnät..... | 27 |
| 4.2.4. Provfiske med detonationsteknik | 31 |
| 4.2.5. Kontroll av kondition och gonadskador hos fisk | 32 |
| 4.3. Kontroll av fiskens ålder och tillväxt | 34 |
| 4.4. Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk..... | 37 |
| 4.5. Bottenfauna | 37 |
| 4.5.1. Mjukbottenfauna | 37 |
| 4.5.2. Hårdbottenfauna | 40 |
| 4.5.3. Fågelinventeringar | 43 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| 5. Diskussion..... | 47 |
| Referenser..... | 54 |

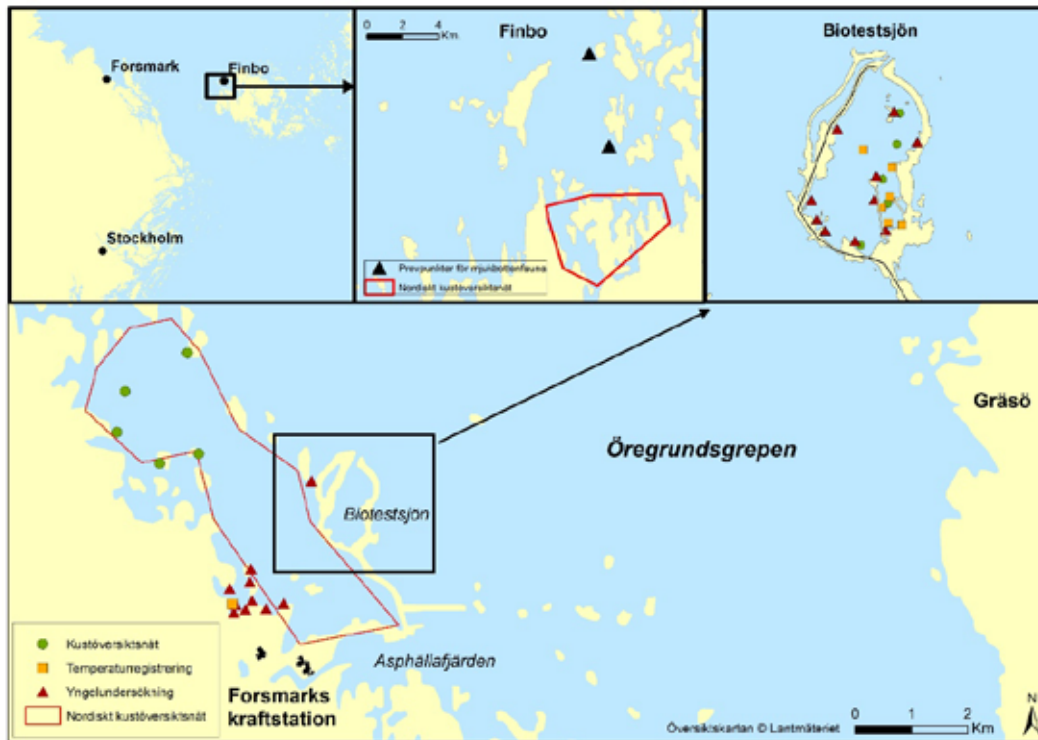
1. Inledning

Svenska kärnkraftverk påverkar kustvattenmiljön främst genom användningen av kylvatten. Denna rapport redovisar resultat från den biologiska kontrollverksamheten i vattenrecipienten utanför Forsmarks kraftstation under 2023 för samhällen 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 på nordvästra Åland och presenteras i årliga rapporter (Adill m.fl. 2023). 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 (söder om 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 om 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 bort för destruktions. 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 mottagning 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 närområdet utförs kontinuerliga miljöundersökningar i ett särskilt biologiskt recipientkontrollprogram. Studier av den omgivande vattenmiljön utförs framförallt för att avgöra hur den omfattande kylvattenanvändningen vid kraftverket påverkar fisk och andra vattenlevande organismer längs kusten.

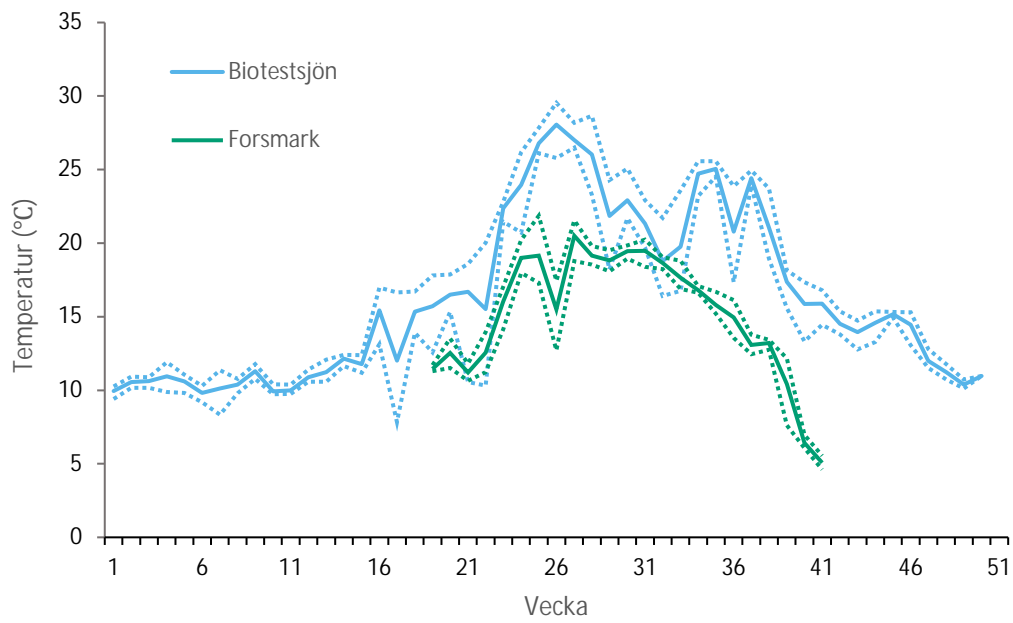


Figur 2. Översikt av undersökningsområdet i Öregrundsgrepen med provtagningspunkter för undersökningarna i Biotestsjön och i närrecipienten Forsmarks skärgård. I figuren visas dessutom referensområdet i Finbofjärden på Åland med provtagningspunkterna i området.

2. Kraftverkets drift och temperaturpåverkan

Under 2023 producerade Forsmarks kärnkraftverk 24,3 terawattimmar (TWh) el i sina anläggningar, vilket täckte nästan en femtedel av Sveriges elkonsumtion. Elproduktionen under året var något lägre än under 2022, då produktionen var den högsta uppmätta sedan kraftverket togs i drift på 1980-talet. Under 2023 var de tre reaktorerna avställda för revision i sammanlagt 83 dygn under olika perioder från våren och fram till mitten av hösten (F1: 7 maj-27 maj, F2: 3 september-14 oktober, F3: 2 juli-22 juli).

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 år 2015, och att temperaturen i kylvattenutsläppet har ökat med cirka 1 °C. Under 2023 varierade temperaturen i Biotestsjön från knappt 8 °C under vintermånaderna till som mest 29,5 °C under slutet av juni (figur 3). Vattentemperaturen i Biotestsjön var över 25 °C i 38 dagar under högsommaren. Den högsta uppmätta temperaturen vid referenspunkten Ön i Forsmarks skärgård uppmättes i slutet av juni och låg på 21,9 °C (figur 3). I utsläppsområdet för F3 uppmättes temperaturer på över 30 °C under fyra dygn under 2023. Den högsta uppmätta temperaturen låg på 30,8 °C under mitten av augusti, vilket kan jämföras med 2022 års högsta temperatur för Biotestsjön på 30,1 °C.



Figur 3. Vattentemperaturer centralt i Biotestsjön och Forsmarks skärgård (Ön) under 2023. Heldragen linje anger medeltemperaturen per vecka och streckade linjer anger minimum- och maxtemperatur under respektive vecka.

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; Thoresson, 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, 2015).

3.1. Dödlighet i 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. För fiskar mindre än åtta centimeter tas fem stycken stickprov om en liter styck. Samtliga fiskar 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 ska ett slumpmässigt prov om minst 100 individer längdmätas med en millimeters noggrannhet. För strömming längdmäts ett slumpmässigt prov under hösten om minst 100 individer med en millimeters noggrannhet.

3.2. 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 som beskrivs under 3.3. Kontroll av kondition och gonadskador.

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 (cm).

3.2.3. Provfiske med Nordiskt kustöversiktsnät

Provfiske med Nordiska kustöversiktsnät genomförs i augusti på 35 stationer i Forsmarks skärgård enligt standardförfarande (Karlsson, 2015). Innan en revidering av provfisket år 2023 så provfiskades 45 stationer. Samma metodik tillämpas i referensområdet i Finbofjärden på Åland.

3.2.4. Provfiske med detonationsteknik

Yngel och småväxta arter insamlas i Biotestsjön med detonationsteknik (Bergström m.fl., 2021) 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 cm 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 cm. 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 Svärdsons metodik (Svärdson, 1961; Neuman, 1974). Antalet fiskar av en viss ålder i ett prov från ett visst fångstår vägs både mot det totala antalet fiskar i provet och mot den procentuella andelen för just denna ålder i det totala materialet från flera år (Thoresson, 1996). I referensområdet vid Finbofjärden genomförs provtagningen med samma metodik.

3.5. 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 parasitförekomst.

3.6. Bottenfauna

3.6.1. Mjukbottenfauna

Provtagning av mjukbottenfauna görs genom bottenhugg med van Veen-huggare (Thoresson, 1992). Två stationer i Forsmarks skärgård, som påverkas i olika grad av kylvattenutsläppet från kraftverket, provtas i maj månad; en djup station (FM 121, 41 meter) och en medeldjup station (FM 119, 16 meter; figur 4). 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 4. 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.

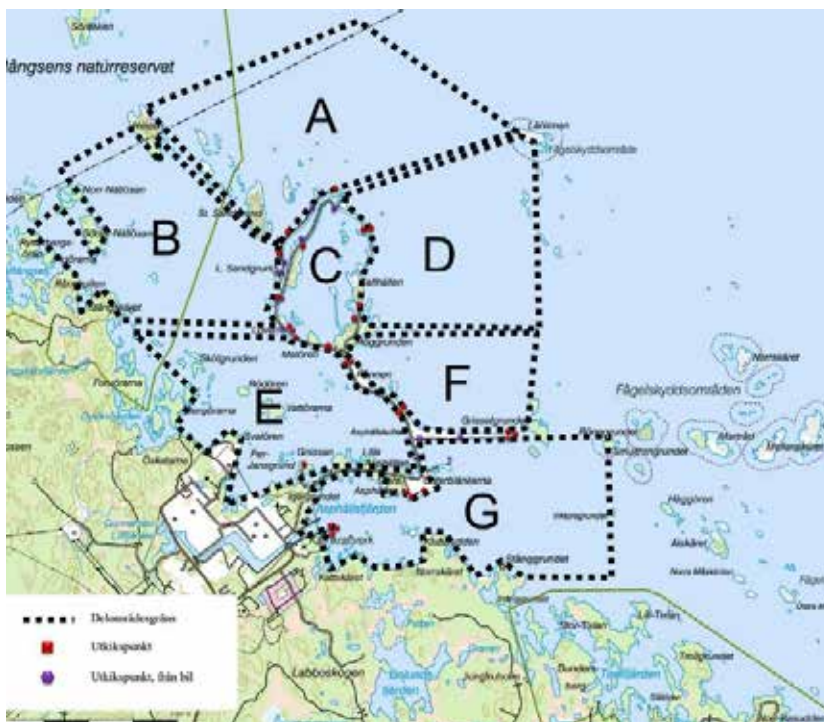
3.6.2. Hårdbottenfauna

Provtagningen av hårdbottenfauna genomförs enligt metodik med så kallade Landforsplattor (Adill m.fl., 2015), som placeras ut på fyra provtagningstationer i Forsmarks skärgård (figur 4). 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 även en temperaturlogger för temperaturregistrering under provtagningsperioden. Landforsplattorna samlas in i slutet av september. Faunan konserveras i plastburkar med 70 procent etanol.

Fem 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 vid olika utvalda observationsplatser. Inventeringsområdet indelas i sju zoner (A-G; figur 5) med Biotestsjön (område C) i centrum. Asphällafjärden (område G) och Biotestsjön representerar områden för kärnkraftverkets kylvattenintag respektive uppsamlingsbassäng för kylvattenutsläpp. Efter Biotestsjön strömmar kylvattnet ut i skärgården mellan område A och D. 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 eftersom de är vanligt förekommande i området året om och därmed bra indikatorer på eventuella förändringar i recipienten.



Figur 5. Inventeringsområdet för sjöfågel och dess indelning i sju zoner (A-G).

3.8. Insamling av omgivningsdata

Temperaturdata samlas in 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 Forsmarks Kraftgrupp AB (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 temperaturdata från kylvattenkanalen, som tas från mätpunkten vid bron.

Forsmark

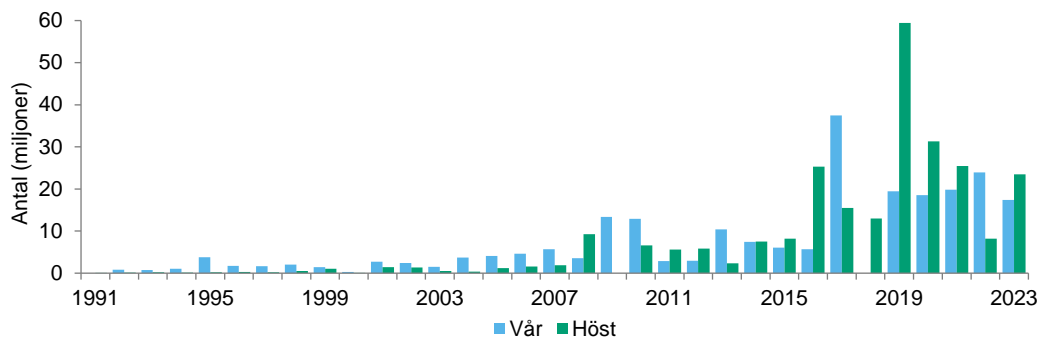
Temperaturen registreras kontinuerligt med en temperaturlogger i Forsmarks skärgård vid Ön (figur 2). Utsättning av temperaturlogger sker efter islossningen under våren och den tas upp under senhösten innan isen hunnit lägga sig. Det finns även en fast mätpunkt i kylvattenkanalen till kraftverket som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

4. Resultat

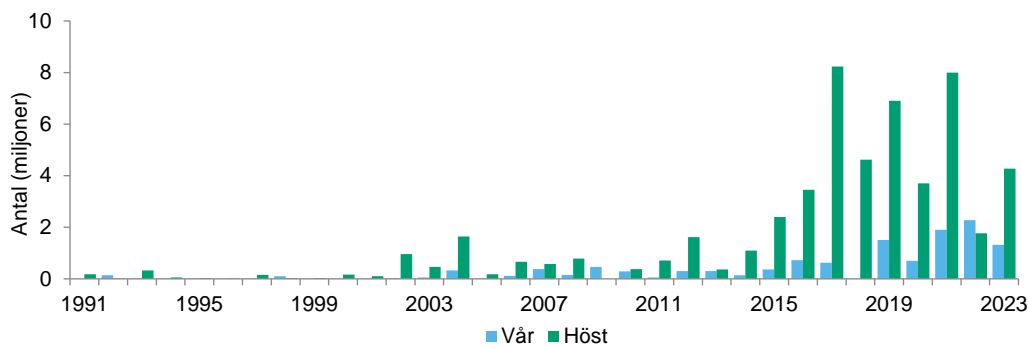
4.1. Dödlighet i silstationen

De beräknade förlusterna av fisk i silstationerna uppgick till drygt 19 miljoner individer fördelade på 23 arter under våren och 29 miljoner individer fördelade på 34 arter under hösten (tabell 1). Under våren var förlusterna av fisk något lägre i omfattning än under 2022. Höstens förlust var tillbaka på liknande nivåer som 2021 efter en extremt låg förlust (endast en tredjedel) under samma period år 2022. Likt föregående år påverkades provtagningarna av revisionsavställningar och i förlängningen minskade kylvattenflöden genom silstationerna. Under våren genomfördes provtagningarna vid fem av åtta tillfällen med maximalt kylvattenflöde. Under hösten genomfördes provtagningarna under normal drift vid fyra av tolv tillfällen. Fullt kylvattenflöde genom silstationen för F1 och F2 är drygt 100 m³/s.

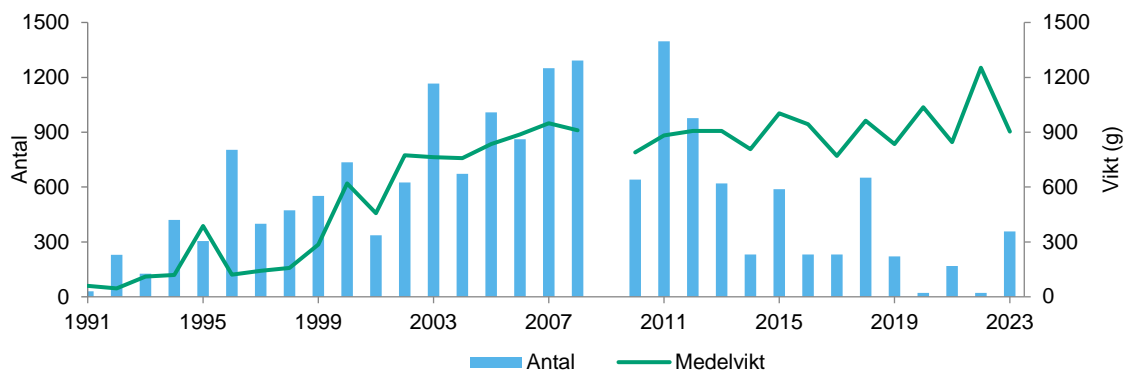
Likt tidigare år utgjordes förlusterna främst av småväxta fiskarter som storspigg, småspigg och mindre havsnål, samt årsyngel av strömming (tabell 1). Under hela 2023 påträffades stora mängder nors i silstationen och under hösten registrerades ett ovanligt stort antal strömmingsyngel (tabell 1). Trots liknande låga flöden som under hösten 2022 var förlusterna större sett till antalet individer under år 2023. Anledningen till detta var att proportionerna mellan små- och storväxta individer var tillbaka på normala nivåer, med en större andel småväxta individer. Storspigg var den art som var vanligast i provtagningarna; den utgjorde 90 respektive 80 procent under vår- och höstperioden. Under våren utgjordes förlusterna främst av vuxna individer och under hösten var utgjordes största delen av förlusterna av årsyngel (tabell 1 och figur 6). Småspigg utgjorde också en väsentlig del av provmängderna under både vår och höst (figur 7). För småspigg gick det dock inte att urskilja något mönster för skillnader i åldersfördelning mellan vår- och höstprovtagningarna.



Figur 6. Förluster av storspigg i silstationerna under vår- och höstperioden 2023. Resultat för hösten 2009 och våren 2018 saknas på grund av alltför reducerade provtagningar.



Figur 7. Förluster av småspigg i silstationerna under vår- och höstperioden 2023. Resultat för hösten 2009 och våren 2018 saknas på grund av alltför reducerade provtagningar.



Figur 8. Förluster och medelvikt av ål i silstationerna under höstprovtagningsperioden. 2009 års värden saknas på grund av alltför reducerade provtagningar.

Mängden ål i silstationerna under 2023 var högre än de senaste fyra åren, då förlusterna varit relativt små. Förlusterna under 2023 var närmare tjugo gånger högre jämfört med under 2022 (figur 8). Förlusterna av ål var högre under hösten och utgjordes främst av stora köns mogna individer på väg mot lekområdena, så kallade blankålar (tabell 1). Under året har trettiosex ålar tagits omhand i silstationen och släppts ut till havet levande i Hargshamn, 32 kilometer söder om Forsmark, enligt framtagna metodik.

Förekomsten av så kallade varmvattenarter såsom abborre, mört, gös och sutare var likt föregående år relativt hög (tabell 1). För första gången sedan undersökningarnas början hittades den invasiva arten svartmunnad smörbult i silstationerna. Arten kom sannolikt med barlastvatten från Svarta havet och upptäcktes i svenska vatten 2008. Den har sedan dess spridit sig längst Sveriges kust (Havs- och vattenmyndigheten, 2015).

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).

| Art | Vår | | Höst | |
|----------------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | Antal | Medelvikt (gram) | Antal | Medelvikt (gram) |
| Storspigg | 17 419 710 | 1,7 | 23 456 895 | 0,3 |
| Småspigg | 1 323 105 | 0,7 | 4 278 645 | 0,4 |
| Sandstubb | 131 040 | 0,7 | 93 030 | 0,1 |
| Mindre havsnål | 114 660 | 0,5 | 126 630 | 0,5 |
| Löja | 98 207 | 4,8 | 7 140 | 4,1 |
| Nors | 49 686 | 27,7 | 21 945 | 21,6 |
| Mört | 44 090 | 5,5 | 22 040 | 4,6 |
| Kusttobis | 42 105 | 1,2 | 49 119 | 6,0 |
| Strömming | 38 430 | 10,9 | 1 381 443 | 1,6 |
| Björkna | 25 767 | 6,1 | 6 909 | 29,9 |
| Abborre | 21 840 | 14,5 | 2 667 | 28,0 |
| Tånglake | 5 093 | 3,4 | 5 313 | 3,1 |
| Gärs | 1 323 | 21,3 | 1 407 | 9,3 |
| Gös | 714 | 52,9 | 651 | 81,2 |
| Skarpsill | 609 | 11,0 | 2 405 | 12,6 |
| Svart smörbult | 420 | 2,0 | | |
| Flodnejonöga | 63 | 50,8 | 126 | 54,5 |
| Sarv | 53 | 16,0 | 32 | 25,7 |
| Sutare | 21 | 5,5 | 84 | 77,5 |
| Ål | 21 | 1 191,0 | 357 | 904 |
| Gädda | 11 | 12,0 | 126 | 48,7 |
| Ruda | 11 | 22,0 | 11 | 29,0 |
| Id | 11 | 1 200,0 | 84 | 19,9 |
| Piggvar | | | 462 | 13,9 |
| Stensimpa | | | 420 | 0,5 |
| Sik | | | 63 | 43,8 |
| Braxen | | | 21 | 903 |
| Näbbgädda | | | 21 | 36,5 |
| Bergsimpa | | | 11 | 8,0 |
| Skrubbskädda | | | 11 | 278,0 |
| Svartmunnad smörbult | | | 11 | 10,0 |
| Tångsnälla | | | 11 | 1,0 |
| Vimma | | | 11 | 7,0 |
| Öring | | | 11 | 798,0 |
| Totalt | 19 316 987 | | 29 458 107 | |
| Antal arter | 23 | | 34 | |

4.2. Fiskundersökningar i recipient och referensområde

4.2.1. Provfisken med kustöversiktsnät

Biotestsjön

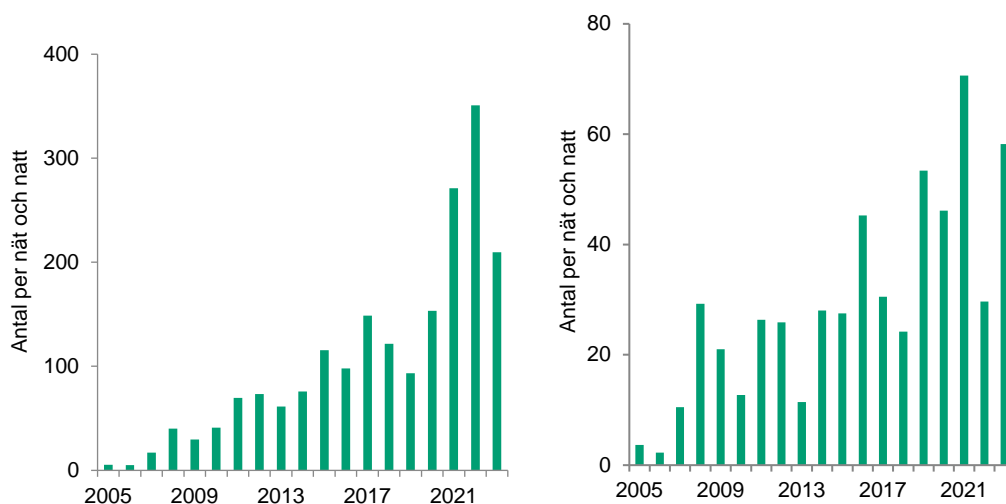
Vid provfiskena med kustöversiktsnät i Biotestsjön fångades det totalt 11 772 individer av nio olika arter vid sju tillfällen under 2023 (tabell 2). De vanligaste arterna i provfiskena var likt föregående år mört, abborre och björkna. Fångsterna var som störst under vårperioden (mars till juni) och trots färre registrerade individer än 2022 så fortsätter de totala fångsterna att vara relativt höga.



Figur 9. Vittjning av kustöversiktsnät i Biotestsjön under maj månad 2023. Gädda fångad vid samma fisketillfälle. Fotograf: Fredrik Landfors.

Tabell 2. Fångster i provfiske med kustöversiktsnät i Biotestsjön under 2023. Fångsterna presenteras som antal och CPUE (fångst per nät och natt), uppdelade på vår (mars-juni), höst (oktober) och vinter (december).

| | Vår | | Höst | | Vinter | |
|------------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|
| | Antal | CPUE | Antal | CPUE | Antal | CPUE |
| Mört | 6 597 | 183,25 | 245 | 24,50 | 81 | 8,10 |
| Abborre | 2 364 | 65,67 | 393 | 39,30 | 114 | 11,40 |
| Björkna | 1 113 | 30,92 | 55 | 5,50 | | |
| Gärs | 296 | 8,22 | 7 | 0,70 | 3 | 0,30 |
| Sarv | 267 | 7,42 | 62 | 6,20 | 110 | 11,00 |
| Gädda | 20 | 0,92 | 7 | 0,70 | 7 | 0,70 |
| Sutare | 9 | 0,25 | 3 | 0,30 | 3 | 0,30 |
| Löja | 4 | 0,11 | | | | |
| Id | 2 | 0,06 | 1 | 0,10 | | |
| Totalsumma | 10 681 | 296,69 | 773 | 77,30 | 318 | 31,8 |



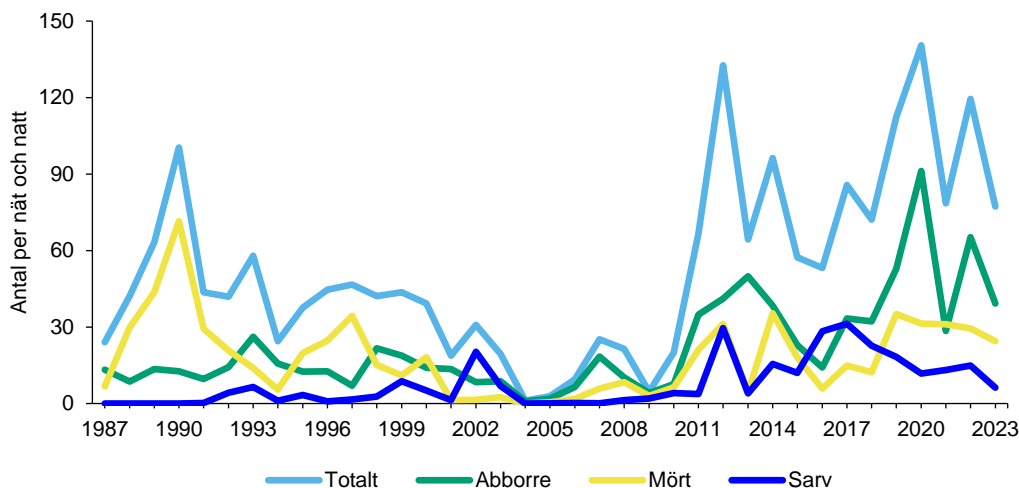
Figur 10. Fångst av mört (t.v.) och abborre (t.h.) i Biotestsjön under vårens provfisken (mars-maj) med kustöversiktsnät mellan år 2005 och 2023.

Likt föregående års provfisken under våren fångades mest abborre och mört under perioden april och maj samt björkna under maj och juni. Förekomsten av mört i vårfiskena nådde inte upp till 2022 års rekordfångster men är fortsatt relativt högt (figur 10). Fångsterna av abborre var tillbaka på extremt höga nivåer (60 individer per nät och natt) efter de relativt låga fångsterna föregående år. Sedan undersökningarnas start i början av 2000-talet har fångsterna av abborre under våren endast varit större under rekordåret 2021 (figur 10). Som tidigare utgjordes den största andelen av de fångade abborrarna och mörtarna av lekmogen fisk eller individer som skulle leka. De mindre totala fångsterna under våren förklaras av att

antalet mörtar som fångades 2023 var drygt 3 000 individer färre än under föregående år.

Under höstperioden var fångsterna i Biotestsjön de lägsta sedan 2018 (figur 11). Att de totala fångsterna var lägre än de senaste åren var ett resultat av generellt låga fångster av de vanligaste arterna (tabell 2 och figur 11). Abborre och mört var, som tidigare år, de vanligast förekommande arterna och utgjorde 51 respektive 32 procent av den totala fångsten (tabell 2).

Under vinterperioden var fångsterna de lägsta sedan 2017 med endast 32 individer per nät och natt (tabell 2). Fångsten kan jämföras med 2022 års rekordfångster på 124,1 individer per nät och natt. Den totala fångsten minskade med mer än 900 individer, vilket bidrar till den något lägre totala fångsten i Biotestsjön (tabell 2). Sarv var den vanligast förekommande arten och utgjorde 35 procent av fångsterna. De senaste fem åren har sarv utgjort mellan 27 och 50 procent av de totala fångsterna under december.



Figur 11. Fångster av mört, sarv, abborre samt totalt vid provfiske med kustöversiktsnät under oktober månad under åren 1987-2023 i Biotestsjön.

Forsmark

Vid referensprovfiskena med kustöversiktsnät i Forsmark vid två vittjningar i oktober fångades totalt 709 individer av tio olika arter (tabell 3). Föregående år var fångsten mer än dubbelt så stor, 1 805 individer. Mört och strömming var de vanligaste arterna under provfisket och utgjorde 42 respektive 21 procent av fångsterna. Fångsterna av abborre i Forsmark utgjorde endast 12 procent (84 individer) av de totala fångsterna, jämfört med de 353 individer som utgjorde 21 procent av fångsterna 2022. Likt föregående år var fångsterna av abborre mer än dubbelt så stor i Biotestsjön som den var i Forsmark. Till skillnad från föregående år var förekomsten av mört lägre i Forsmark än i Biotestsjön. Under provfisket fångades strömming, sik, storspigg och småspigg i Forsmark, fyra arter som inte

påträffades i Biotestsjön. Småspigg fångades för första gången i nätprovfisket under 2023, en art som registreras i stora mängder i silstationen men som vanligtvis inte fastnar i översiktsnäten på grund av sin storlek (< 8 cm).

Tabell 3. Fångster i provfiske med kustöversiktsnät i Forsmark under oktober 2023. Fångsterna presenteras som antal och CPUE (fångst per nät och natt).

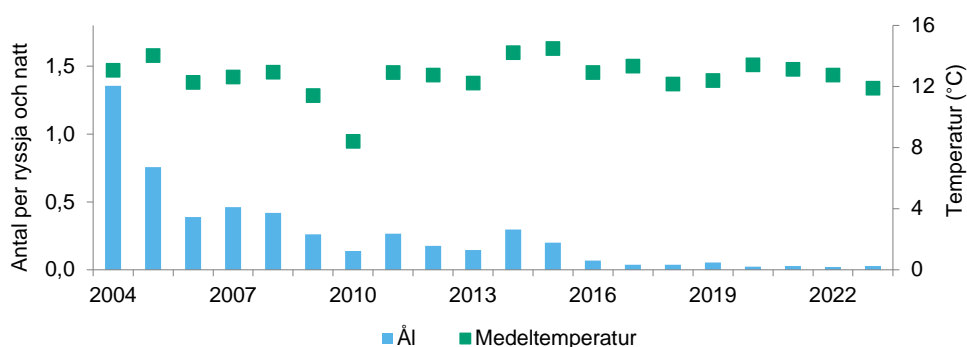
| Art | Antal | CPUE |
|-----------|-------|-------|
| Mört | 293 | 14,65 |
| Strömming | 145 | 7,25 |
| Gärs | 124 | 6,20 |
| Abborre | 84 | 4,20 |
| Björkna | 34 | 1,70 |
| Sik | 10 | 0,50 |
| Storspigg | 6 | 0,30 |
| Sarv | 4 | 0,20 |
| Småspigg | 3 | 0,15 |
| Sutare | 1 | 0,05 |
| Totalt | 704 | 35,20 |

4.2.2. Provfiske med ryssjor

Vid provfiskena med ryssjor i Biotestsjön under april fångades totalt 2 533 individer av 11 olika arter (tabell 4). Fångsten var endast en dryg tredjedel av rekordfångsten 2022, men fortfarande den tredje största sedan undersökningarnas start år 2004. Den förhållandevis låga fångsten förklaras främst av lägre antal mört och abborre i fångsten. Den vanligaste arten i provfiskena var mört, som utgjorde 70 procent av fångsterna. Fångsterna av ål i Biotestsjön 2023 var mycket låga, endast 30 individer, och innebär en fortsättning på den nedåtgående trend som har setts de två senaste årtiondena (Tabell 4, figur 12). Ålarna som fångades varierade mycket i storlek, med längder mellan 46 och 94 cm.

Tabell 4. Fångster i provfiske med ryssjor i Biotestsjön under april månad 2023. Fångsterna presenteras som antal och CPUE (fångst per ryssjehus och dygn).

| Art | Antal | CPUE |
|----------------|-------|------|
| Mört | 1 805 | 1,73 |
| Abborre | 382 | 0,37 |
| Gärs | 240 | 0,23 |
| Sarv | 31 | 0,03 |
| Ål | 30 | 0,03 |
| Sutare | 19 | 0,02 |
| Björkna | 12 | 0,01 |
| Löja | 6 | 0,01 |
| Gädda | 5 | 0,01 |
| Svart smörbult | 2 | 0,01 |
| Braxen | 1 | 0,01 |
| Total | 2 533 | 2,43 |



Figur 12. Fångsterna av ål vid provfiske i Biotestsjön under april månad åren 2004-2023. Gröna boxar anger medeltemperaturen vid vittjningarna under provfiskeperioden.

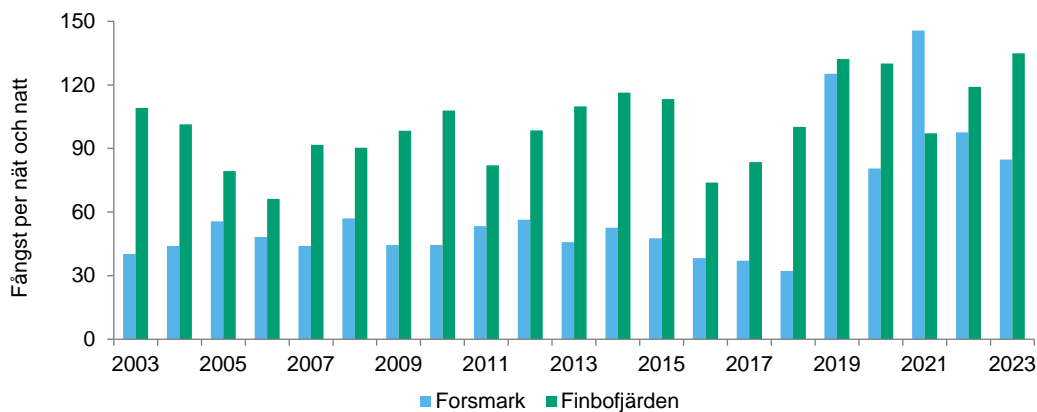
4.2.3. Provfisken med Nordiskt kustöversiktsnät

I provfiskena med Nordiskt kustöversiktsnät i Forsmarks skärgård fångades totalt 2 398 individer av 15 olika arter (tabell 5). Fångsterna per nät och natt under 2023 var något lägre än föregående år, men var fortfarande de fjärde största sedan undersökningarna inleddes i början av 2000-talet (figur 13).

De två vanligast förekommande arterna var abborre och mört (tabell 5) som utgjorde 31 respektive 19 procent av fångsterna. Mellan åren 2019 och 2021 var mört den tveklöst vanligaste arten i provfisket och utgjorde mellan 40 och 50 procent av de totala fångsterna. År 2022 fångades betydligt färre mörtar än de tre föregående åren och precis som 2023 utgjorde de endast 20 procent av den totala fångsten (figur 14).

En annan art som fångades i lägre antal under 2023 var karpfisken björkna (figur 14). Under både 2021 och 2022 var den en av de två vanligaste arterna och utgjorde 26 och 29 procent av de totala fångsterna. 2023 fångades endast 141 individer, vilket utgjorde 6 procent av fångsten.

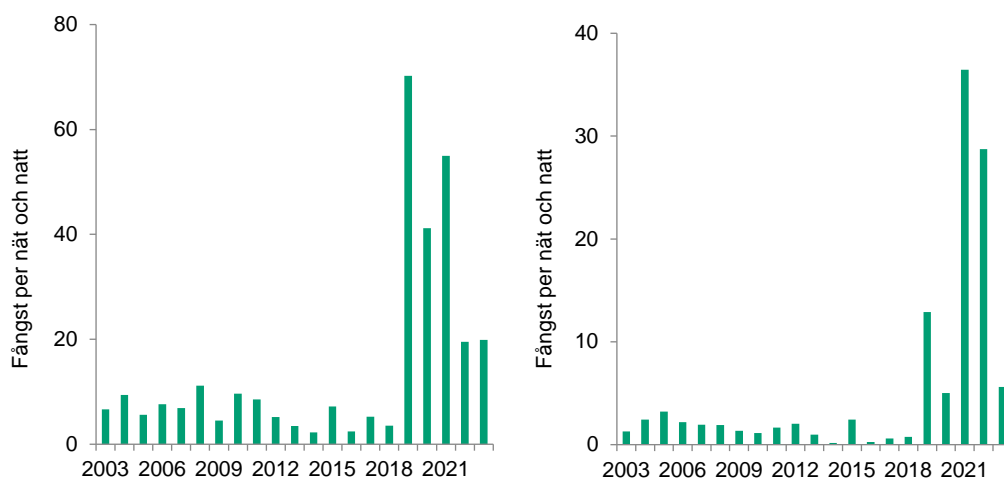
En art som istället blivit allt vanligare i provfiskena i Forsmark är storspigg (tabell 5). Fram till 2018 förekom storspiggen endast sporadiskt i fångsterna, men har sedan dess fångats vid samtliga provfiskena. Under 2023 var antalet individer per nät och natt 8, vilket kan jämföras med den tidigare rekordsiffran 0,83 individer från 2019. På grund av dess storlek (< 8 cm) fångas storspigg inte representativt i näten trots att arten är mycket vanligt förekommande i området. I likhet med 2022 fångades ett förhållandevis stort antal strömmingar under fisket (tabell 5). År 2023 utgjorde de nästan 19 procent av den totala fångsten, vilket gjorde strömming till den tredje vanligast förekommande arten. Vid provfisket 2023 noterades en ruda, en art som likt mört tillhör familjen karpfiskar (Cyprinidae), för första gången sedan provfiskets start.



Figur 13. Totalfångster vid provfiske på 0-6 meters djup med Nordiskt kustöversiktsnät i Forsmarks skärgård (26 stationer) och i referensområdet Finbofjärden (23 stationer).

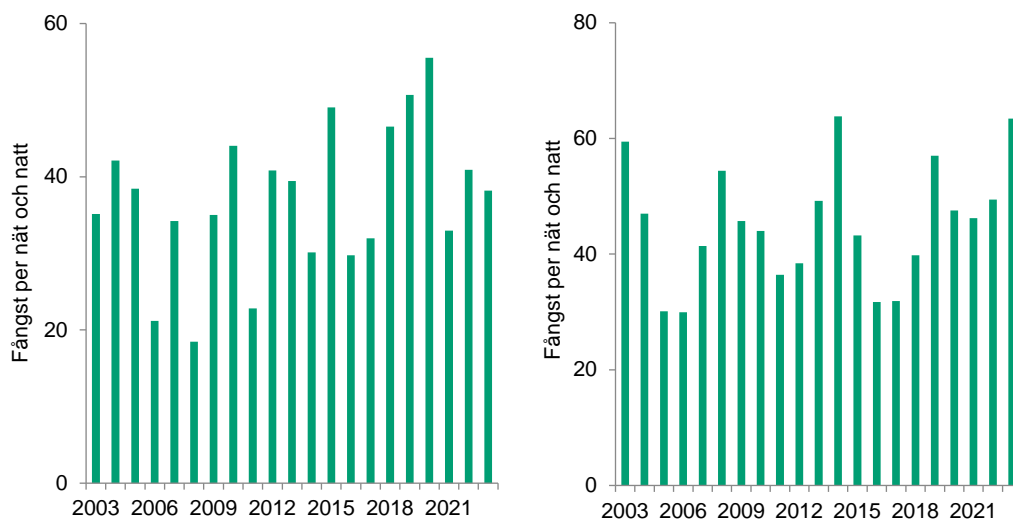
Tabell 5. Fångster i provfiske med Nordiskt kustöversiktsnät i augusti månad 2023 i Forsmark (35 stationer) och i referensområdet Finbofjärden (35 stationer) på Åland. Fångsterna presenteras som antal och CPUE (fångst per nät och natt).

| Art | Forsmark | | Finbofjärden | |
|----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | Antal | CPUE | Antal | CPUE |
| Abborre | 739 | 21,11 | 2 005 | 57,28 |
| Mört | 465 | 13,29 | 1 134 | 32,40 |
| Strömming | 449 | 12,83 | 8 | 0,23 |
| Storspigg | 227 | 6,49 | | |
| Löja | 184 | 5,26 | 342 | 9,77 |
| Gärs | 179 | 5,11 | 182 | 5,2 |
| Björkna | 141 | 4,03 | 775 | 22,14 |
| Gös | 4 | 0,11 | 60 | 1,71 |
| Id | 2 | 0,06 | 2 | 0,06 |
| Sik | 2 | 0,06 | | |
| Sutare | 2 | 0,06 | | |
| Ruda | 1 | 0,03 | | |
| Sarv | 1 | 0,03 | | |
| Skarpsill | 1 | 0,03 | | |
| Tånglake | 1 | 0,03 | | |
| Braxen | | | 30 | 0,86 |
| Gädda | | | 4 | 0,11 |
| Svart smörbult | | | 2 | 0,06 |
| Totalt | 2 398 | 68,51 | 4 544 | 129,83 |
| Antal arter | 15 | | 11 | |

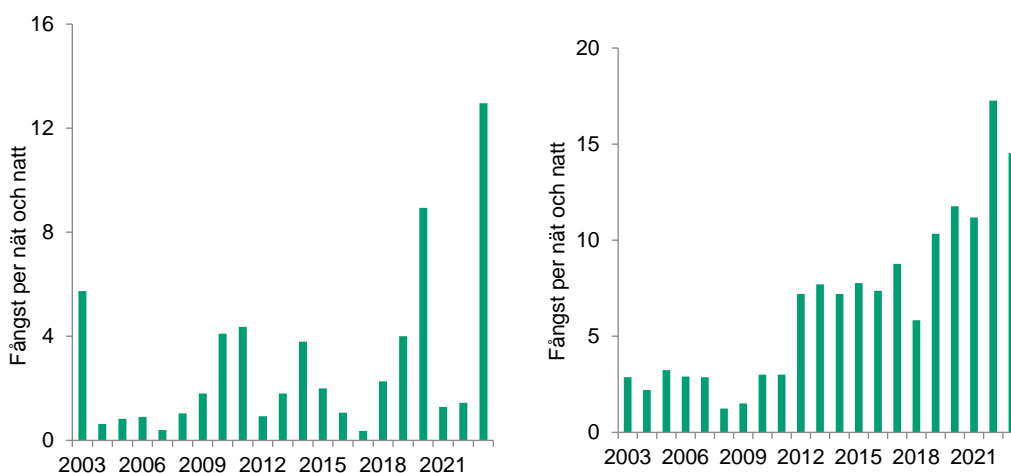


Figur 14. Fångst av mört (t.v.) och björkna (t.h.) i Forsmarks skärgård under augusti månad med Nordiskt kustöversiktsnät mellan år 2003 och 2023.

Vid jämförelser med referensområdet Finbofjärden fångades likt tidigare år färre individer i provfiskena i Forsmarksområdet (figur 13). År 2021 var första och hittills enda gången som det i recipientområdet fångades ett högre antal individer än i referensområdet. I Finbofjärden fångades totalt 4 544 individer av elva olika arter (tabell 5). Trots att fisket reviderades år 2023 och 10 stationer plockades bort så fångades fler individer än 2022. De vanligaste arterna i referensområdet är precis som i Forsmarksområdet abborre och mört, vilka utgör nästan 70 procent av de totala fångsterna. I Finbofjärden nådde förekomsten av mört en topp under 2020 och därefter har fångsterna blivit något lägre igen (figur 15). Antalet fångade abborrar per nät var den näst högsta sedan undersökningarna startade i början av 2000-talet, fler individer fångades endast under rekordåret 2014 (figur 15). Likt föregående år fångades det färre arter i Finbofjärden än i Forsmark och flera varmvattenarter, såsom sarv, sutare och vimma, saknades helt i fångsterna. Två karpfiskar som fångas regelbundet i Finbofjärden är björkna och löja. Björkna har de senaste åren uppvisat en positiv utveckling i Finbofjärden och fångas numera i stort antal (figur 16). Antalet björknor som fångades i år var det näst högsta sedan provfiskets start 2003. År 2023 fångades även ett ovanligt stort antal löjor (tabell 5) och förekomsten var den högsta sedan fiskets inleddes 2003 (figur 16).



Figur 15. Fångst av mört (t.v.) och abborre (t.h.) på 0-6 meters djup i Finbofjärden under augusti månad med Nordiskt kustöversiktsnät mellan år 2003 och 2023.



Figur 16. Fångst av löja (t.v.) och björkna (t.h.) på 0-6 meters djup i Finbofjärden under augusti månad med Nordiskt kustöversiktsnät mellan år 2003 och 2023.

4.2.4. Provfiske med detonationsteknik

Vid provfiskena med detonationsteknik i Biotestsjön fångades totalt 848 individer av 9 olika arter, varav de flesta individerna var årsyngel (tabell 6). De vanligaste arterna i undersökningarna var årsyngel av sarv, björkna, löja och abborre (tabell 6). Överlag var förekomsten av årsyngel låg, mindre än hälften så många som under 2022. Det låga antalet årsyngel förklaras framförallt av det låga antalet årsyngel av björkna. Likt 2022 fångades ovanligt få årsyngel av abborre och mört. Storleken på årsynglen i Biotestsjön tyder på något lägre tillväxt än under 2022.

I Forsmarks skärgård fångades 585 individer av 7 olika arter (tabell 6). De vanligaste arterna i Forsmark var mört, storspigg och björkna. Till skillnad från i Biotestsjön förekommer flera arter som trivs bättre i kallare vatten, till exempel storspigg, elritsa och sandstubb. Fångsterna var betydligt större än 2022 och en tydlig förändring i artsammansättning observerades. Sandstubb och elritsa, två av de tidigare vanligast förekommande arterna, fångades i mycket begränsad mängd, och årsyngel av strömming saknades helt i fångsterna (tabell 6). Efter flera år av låga förekomster fångades åter ett stort antal mörtynghel.

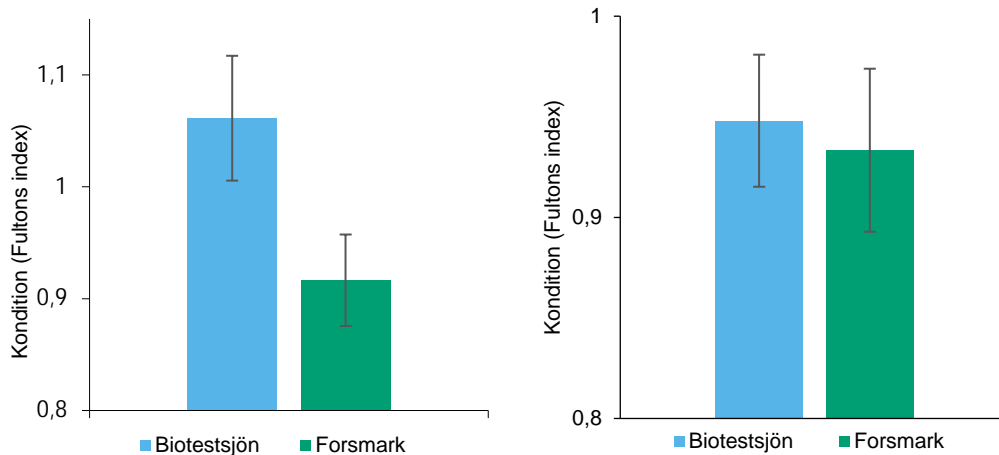
Tabell 6. Förekomst av årsyngel, CPUE för årsyngel (antal per skott), medellängd i mm för årsyngel samt förekomst av juvenil/adult fisk (äldre än årsyngel) i Biotestsjön och Forsmark under 2023.

| | Biotestsjön | | | | Forsmark | | | |
|-----------|-------------|-------|------------|----------------------|-------------|-------|------------|----------------------|
| | Antal Yngel | CPUE | Längd (mm) | Antal Juvenil /Adult | Antal Yngel | CPUE | Längd (mm) | Antal Juvenil /Adult |
| Sarv | 225 | 7,50 | 36 | 18 | - | - | - | - |
| Björkna | 129 | 4,30 | 35 | - | 120 | 4,00 | 51 | 1 |
| Löja | 60 | 2,00 | 31 | 354 | 9 | 0,30 | 25 | 98 |
| Abborre | 28 | 0,93 | 92 | 3 | 7 | 0,23 | 79 | 1 |
| Gädda | 7 | 0,23 | 204 | 4 | - | - | - | - |
| Mört | 6 | 0,20 | 64 | 5 | 151 | 5,03 | 55 | 18 |
| Sutare | 4 | 0,13 | 37 | - | - | - | - | - |
| Gärs | - | - | - | 2 | - | - | - | - |
| Storspigg | 1 | 0,03 | 25 | - | 141 | 4,70 | 20 | - |
| Elritsa | - | - | - | - | - | - | - | 29 |
| Sandstubb | - | - | - | - | 7 | 0,23 | 24 | 3 |
| Total | 462 | 15,40 | | 386 | 435 | 14,50 | | 150 |

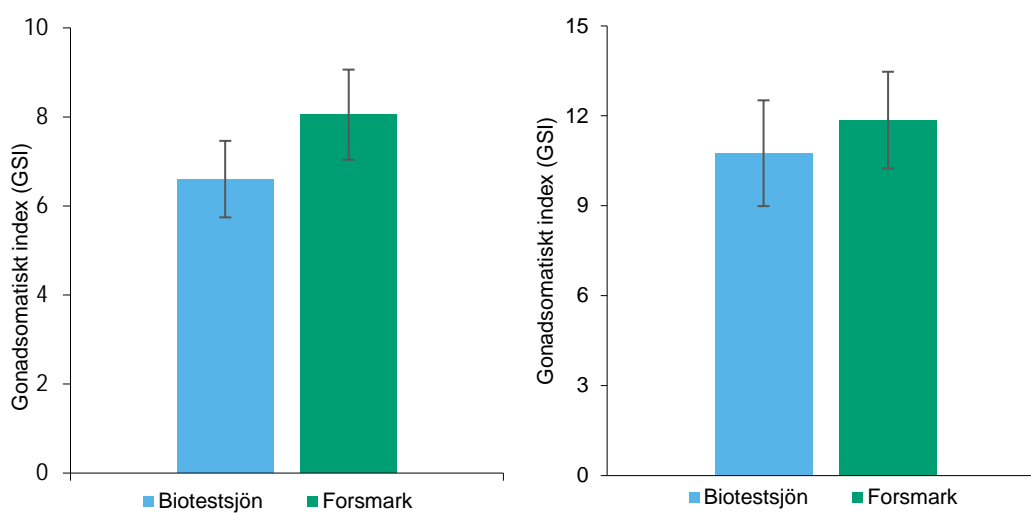
4.2.5. Kontroll av kondition och gonadskador hos fisk

Kontrollerna av kondition och gonadskador (skador i fortplantningsorganen) hos abborre och mört i Biotestsjön och referensområdet i Forsmarks skärgård omfattade mellan 61 och 100 individer per art och område (tabell 7). Majoriteten av abborrarna som ingick i provtagningarna var ett- eller tvååriga. I Biotestsjön hade 58 procent av de fångade abborrarna uppnått könsmognad medan endast 12 procent var könsmogna i fångsterna från Forsmark (tabell 7). För mörten var de flesta individerna könsmogna (92 procent), både i Biotestsjön och i Forsmarks skärgård (tabell 7).

Vid kontrollerna av kondition hos abborre från Biotestsjön och referensområdet Forsmarks skärgård påträffades inga individer med onormalt låga värden (figur 17). Konditionen var något högre för abborrar från Biotestsjön jämfört med individer från Forsmark. Även för mört var konditionen högre i Biotestsjön jämfört med i referensområdet Forsmarks skärgård. I referensområdet i Forsmarks skärgård återfanns ett flertal mörtar med väldigt låga konditionsvärden, i motsats till hur det såg ut för abborre. Vid gonadkontrollerna hos abborre och mört påträffades inga individer med tecken på skador på gonaderna. Vid jämförelse av gonadsomatiskt index för de båda arterna mellan områdena var värdena hos individer från Forsmark högre jämfört med hos individer från Biotestsjön (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 (t.v.) och mört (t.h.) 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 könsmogen (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 gonadsomatiskt index (GSI) hos könsmogna individer av abborre och mört.

| | Abborre | | Mört | |
|--------------------------|-------------|----------|-------------|----------|
| | Biotestsjön | Forsmark | Biotestsjön | Forsmark |
| Antal i provtagning | 100 | 61 | 100 | 100 |
| Könsorgan ej utvecklade | 42 | 53 | 8 | 8 |
| Könsorgan under tillväxt | 58 | 8 | 92 | 92 |
| Årsyngel | 2 | 0 | | |
| Ettåriga | 18 | 16 | | |
| Tvååriga | 72 | 42 | | |
| Treåriga | 1 | 1 | | |
| Fyraåriga | 5 | 0 | | |
| Fem år eller äldre | 2 | 2 | | |
| Konditionsvärde | 1,06 | 0,92 | 0,95 | 0,93 |
| Gonadsomatiskt index | 6,6 | 8,64 | 10,75 | 11,86 |

4.3. Kontroll av fiskens ålder och tillväxt

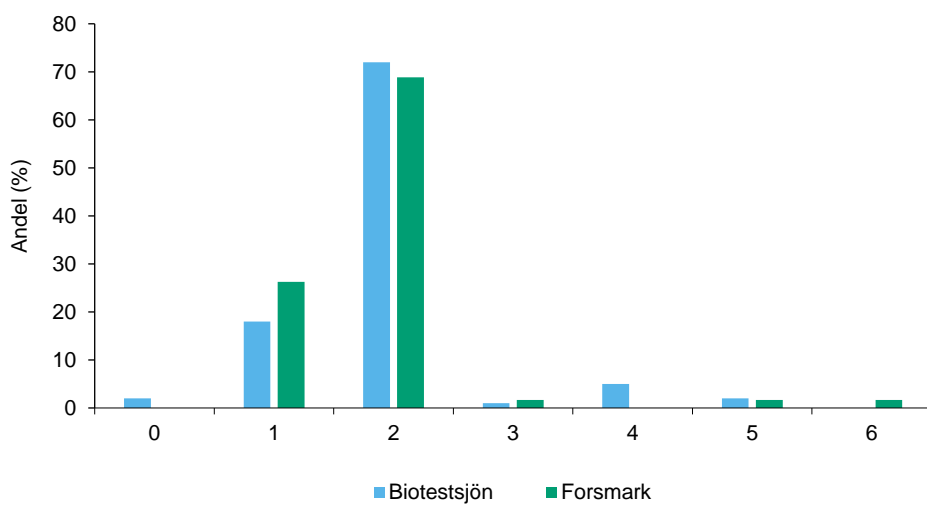
Biotestsjön

Vid undersökningarna av ålder hos abborrhonor i Biotestsjön och i referensområdet Forsmarks skärgård under oktober månad visade provtagningarna att fångsterna bestod främst av ett- och tvååriga individer (figur 19). I proverna från Biotestsjön påträffades två stycken årsyngel (figur 18). Få äldre individer hittades vid provtagningarna i Biotestsjön, endast fem stycken fyraåringar och två stycken femåringar (figur 19). I Forsmarks skärgård fångades en femåring samt en sexåring (figur 19).

I undersökningarna av tillväxt hos abborrar i Biotestsjön och Forsmark visade resultaten att abborrarna i Biotestsjön växer snabbare än abborrarna i Forsmarks skärgård. För ettåriga abborrar var medellängden cirka 19 cm i Biotestsjön jämfört med cirka 15 cm i Forsmark (tabell 8).

Tabell 8. Medellängd i cm vid ålder hos abborrhonor i Forsmark och Finbofjärden i augusti samt i Biotestsjön och Forsmark i oktober år 2023.

| Ålder | Augusti | | Oktober | |
|-------|----------|-------|-------------|----------|
| | Forsmark | Finbo | Biotestsjön | Forsmark |
| 0 | - | - | 14,85 | - |
| 1 | 12,43 | 10,56 | 19,40 | 15,64 |
| 2 | 18,78 | 14,80 | 21,11 | 19,84 |
| 3 | 24,39 | 19,34 | 23,70 | 25,00 |
| 4 | 27,38 | 22,86 | 31,16 | - |
| 5 | 31,03 | 26,87 | 36,90 | 29,90 |
| 6 | - | 27,55 | - | 33,60 |
| 7 | - | 30,44 | - | - |
| 8 | - | 32,80 | - | - |
| 9 | - | - | - | - |
| 10 | - | 33,45 | - | - |
| 11 | - | - | - | - |
| 12 | - | - | - | - |
| 13 | - | 37,30 | - | - |

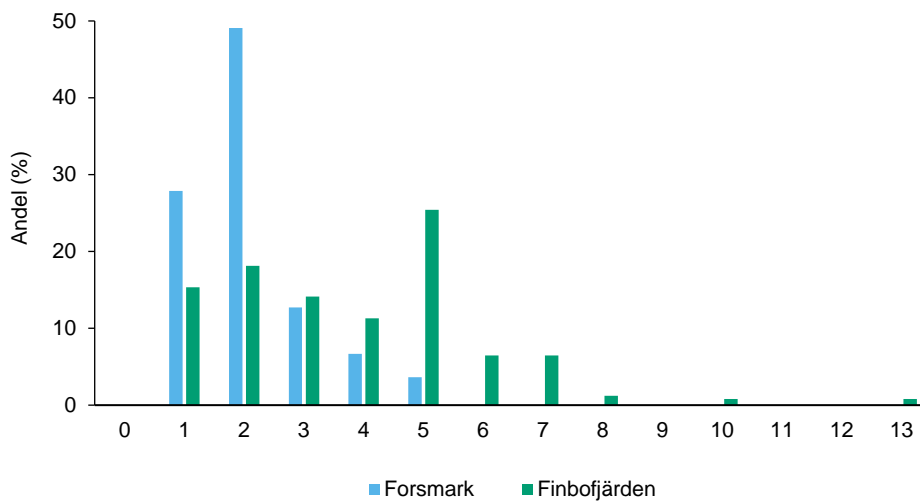


Figur 19. Åldersfördelning hos provtagna abborrhonor i Biotestsjön och Forsmarks skärgård under oktober månad 2023.

Forsmark

Vid undersökningarna av ålder hos abborrhonor i Forsmarks skärgård under augusti visade provtagningarna att de flesta individer var ett eller två år gamla (figur 20). Likt föregående år var det den starka årskullen från 2021 som utgjorde den största andelen av fångsten. Under 2023 fångades inga årsyngel vid nätprovfisket i Forsmark under augusti och förekomsten av individer äldre än fyra år var likt föregående år relativt låg (figur 20). I referensområdet Finbofjärden var femåriga abborrar vanligast i fångsterna (figur 20). Likt föregående år påträffades inga årsyngel vid provfisket i Finbofjärden. Åldersfördelningen visar att Finbofjärden har en större andel äldre abborrar än Forsmark (figur 20). Den äldsta abborren som påträffades i Finbofjärden var 13 år gammal, medan de äldsta individerna (sex stycken) som fångades i Forsmark var fem år gamla (tabell 8).

Tillväxthastigheten hos abborrar fångade i augusti i Forsmarks skärgård var högre jämfört med hos abborrar i Finbofjärden (tabell 8). Skillnaden i tillväxt mellan de två områdena har tidigare år varit som störst under de första levnadsåren. Under 2023 var skillnaden mellan Forsmark och Finbofjärden bara 2 cm för ettåringar och minst 4 cm för tvååringar och äldre (tabell 8).



Figur 20. Åldersfördelning hos abborrhonor fångade med Nordiskt kustöversiktsnät i Forsmark och i referensområdet Finbofjärden under augusti 2023.

4.4. Kontroll av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk

Vid kontroller av sjukdomar, skador och parasitering hos fisk i samband med provfiskena hittades endast två individer med sjukdomar och skador i Biotestsjön (tabell 9).

Likt föregående år var en av dessa skador en typ av skelettskada, uttryckt som ryggradskrökning (antingen medfödd eller förvärvad). Den andra skadan som påträffades var en ovanlig deformation vid nosen på en mört (noterad som övriga symptom i tabell 9). Till skillnad från föregående år påträffades varken individer med mopsskalle eller hudsymptom, såsom öppna sår. Inga individer med sjukdomssymptom kunde upptäckas i Forsmarks skärgård 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 fjärreferens (Finbofjärden) under 2023 med nät och ryssjor.

| | Biotestsjön | Forsmark | Finbo, Åland |
|---------------------------|-------------|----------|--------------|
| Ryggradskrökning - Lordos | 1 | | |
| Övriga symptom | 1 | | |
| Prevalens % | 0,014 | 0 | 0 |

4.5. Bottenfauna

4.5.1. Mjukbottenfauna

Undersökningarna av mjukbottenfauna visade små variationer i artsammansättning mellan lokalerna utanför Forsmarks kärnkraftverk och referensområdet i Finbofjärden på Åland (tabell 10). Vid 2023 års undersökning påträffades mellan 8 och 14 arter av bottenfauna per lokal, och tätheten uppgick till mellan 1 200 och 5 536 individer per kvadratmeter på de olika lokalerna. I motsats till föregående år var antalet individer per kvadratmeter högre på båda lokalerna i Forsmark jämfört med på lokalerna i referensområdet. I genomsnitt var antalet arter något högre på medeldjupa bottnar (13 arter) än på djupa bottnar (10 arter, tabell 10).

Vid provtagning på medeldjupa bottnar i Forsmark var östersjömussla (*Limecola balthica*) likt tidigare år den dominerande arten. Färre individer av den främmande arten nordamerikansk havsborstmask (*Marenzelleria* sp.) hittades 2023 jämfört med föregående år. I årets provtagning var det den fjärde vanligaste arten på lokalen med 102 individer per kvadratmeter, jämfört med 2022 då den var den näst

vanligaste arten med 287 individer per kvadratmeter. Även av den invasiva arten nyzeeländsk tusensnäcka (*Potamopyrgus antipodarum*) påträffades färre individer än föregående år, vilket gjorde snäckan till den sjätte vanligast förekommande arten 2023. För tredje året i rad påträffades inte främmande trekantig brackvattensmussla *Mytilopsis leucophaeta* på Forsmarks medeldjupa botten. Den registrerades första och hittills enda gången på mjuka botten i Forsmark under 2020, men har observerats regelbundet på samtliga undersökta hårbottenstationer i området. Tätheterna av indikatorarten vitmärla (*Monoporeia affinis*) var betydligt högre på lokalen vid årets provtagning än under föregående år. År 2023 var vitmärla näst vanligast på lokalen med 297 individer per kvadratmeter, vilket kan jämföras med 22 individer per kvadratmeter under 2022.

Vid provtagning på medeldjupa botten vid referensområdet i Finbofjärden var östersjömussla och nordamerikansk havsborstmask de vanligast förekommande arterna (tabell 10). Både nyzeeländsk tusensnäcka och individer av familjen fjädermyggor (*Chironomidae*) förekom däremot i lägre antal än 2022. Även i Finbofjärden var förekomsten av vitmärla högre än föregående år, om än inte lika hög som i Forsmark (tabell 10). Under 2023 registrerades 64 individer per kvadratmeter på medeldjupa botten i Finbofjärden, vilket kan jämföras med 2022 års 28 individer per kvadratmeter. För första gången sedan 2018 hittades individer av arten bakborstig rovmask (*Hediste diversicolor*).

På Forsmarks djupa botten dominerades proverna likt tidigare år av nordamerikansk havsborstmask, men arten förekom i betydligt högre tätheter jämfört med de senaste tre åren. Mellan 2020 och 2022 låg antalet individer på under 1 000 individer per kvadratmeter, men i år registrerades mer än 4 000 individer per kvadratmeter. Även östersjömussla noterades i högre täthet per kvadratmeter än under de senaste tre åren. Av indikatorarten vitmärla registrerades ett ovanligt stort antal individer, 483 jämfört med föregående års 44 individer per kvadratmeter. Andra vanligt förekommande artgrupper på lokalen var fåborstmaskar och tångmärlor (*Gammarus* sp.).

På motsvarande djup i Finbofjärden registrerades flest individer av nordamerikansk havsborstmask, östersjömussla och korvmask (*Halicryptus spinulosus*), vilket överensstämmer med föregående års fynd. Även på denna lokal hittades fler individer av amerikansk havsborstmask än året innan, 1 832 individer per kvadratmeter under 2023 jämfört med 751 individer per kvadratmeter år 2022. Individer av artgruppen fåborstmaskar var färre jämfört med föregående år. Fjällborstmask (*Bylgides sarsi*) registrerades på lokalen igen efter att inte ha påträffats sedan 2020. Indikatorarten vitmärla förekom i tätheter motsvarande 24 individer per kvadratmeter, efter att ha saknats i proverna 2022.

Tabell 10. Medelantal av bottenfauna per kvadratmeter för medeldjupa och djupa stationer i Forsmark och referensområdet Finbofjärden år 2023. * innebär att flera arter omfattas.

| 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> | 1 012 | 950 | 653 | 782 |
| Amerikansk havsborstmask | <i>Marenzelleria sp*</i> | 102 | 72 | 4 120 | 1 832 |
| Fjädermygglarv | <i>Chironomidae*</i> | 2 | 6 | 50 | - |
| Nyazeeländsk tusensnäcka | <i>Potamopyrgus antipodarum</i> | 54 | 6 | 2 | - |
| Fäborstmask | <i>Oligochaeta*</i> | 130 | 4 | 110 | 2 |
| Bukig tusensnäcka | <i>Ecrobia ventrosa</i> | 48 | 10 | 2 | 2 |
| Slammärla | <i>Corophium volutator</i> | 64 | - | - | - |
| Skorv | <i>Saduria entomon</i> | 43 | 12 | 32 | - |
| Vitmärla | <i>Monoporeia affinis</i> | 297 | 64 | 483 | 24 |
| Bakborstig rovmask | <i>Hediste diversicolor</i> | 4 | 6 | - | 2 |
| Släkte av pungräka | <i>Praunus sp.*</i> | 2 | - | - | - |
| Korvmask | <i>Halicryptus spinulosus</i> | - | 24 | - | 36 |
| Blåmussla | <i>Mytilus edulis</i> | - | 8 | 2 | - |
| Sandmussla | <i>Mya arenaria</i> | - | 8 | - | - |
| Art av pungräka | <i>Mysis mixta</i> | - | - | 2 | - |
| Fjällborstmask | <i>Bylgides sarsi</i> | - | - | - | 4 |
| Nordlig hjärtmussla | <i>Cerastoderma glaucum</i> | - | 2 | - | - |
| Tångmärla | <i>Gammarus sp.*</i> | 20 | 28 | 78 | - |
| Hoppkräfta | <i>Copepoda*</i> | - | - | 2 | - |
| Totalantal/m ² | | 1 778 | 1 200 | 5 536 | 2 684 |
| Artantal | | 12 | 14 | 12 | 8 |

4.5.2. Hårdbottenfauna

Undersökningarna av hårdbottenfauna i Forsmarksområdet visade betydande skillnader mellan lokalerna både beträffande artförekomst och individtäthet. Under provtagningen 2023 registrerades mellan 16 och 32 arter per lokal, och antalet individer per Landforsplatta på de olika lokalerna varierade mellan i genomsnitt 110 och 1 825 stycken (tabell 11). Vid samtliga stationer hittades färre arter jämfört med föregående år (tabell 12). Även individtätheten var lägre på samtliga stationer utom Borgarna.

Förekomsten av hårdbottenfauna var likt tidigare år högre i Biotestsjön än på de mindre påverkade lokalerna (tabell 11). Tångmärlor (*Gammarus* sp.) var den talrikaste artgruppen. Medelantalet tångmärlor per Landforsplatta var högre än föregående år, men betydligt lägre än rekordåret 2021 då nästan 4 000 individer per substrat registrerades i genomsnitt (figur 21). Även bukig tusensnäcka (*Ecrobia ventrosa*) och märlkräfta (*Leptocheirus pilosus*) var fortsatt vanligt förekommande. Den främmande arten röd pungräka (*Hemimysis anomala*) hittades för första gången i undersökningsområdet under 2021 och då endast enstaka individer. Vid 2022 års provtagning var den betydligt vanligare och hela 279 individer per Landforsplatta registrerades i medeltal. Under 2023 var antalet avsevärt lägre med ett genomsnitt på 12 registrerade individer per substrat. Den främmande arten trekantig brackvattensmussla (*Mytilopsis leucophaeata*) hade återigen blivit vanligare på lokalen, efter förhållandevis låga förekomster de senaste två åren (i genomsnitt 35 respektive 42 individer per substrat). Under 2023 registrerades det lägsta antalet individer av den invasiva arten nyzeeländsk tusensnäcka sedan 2019 (figur 21).

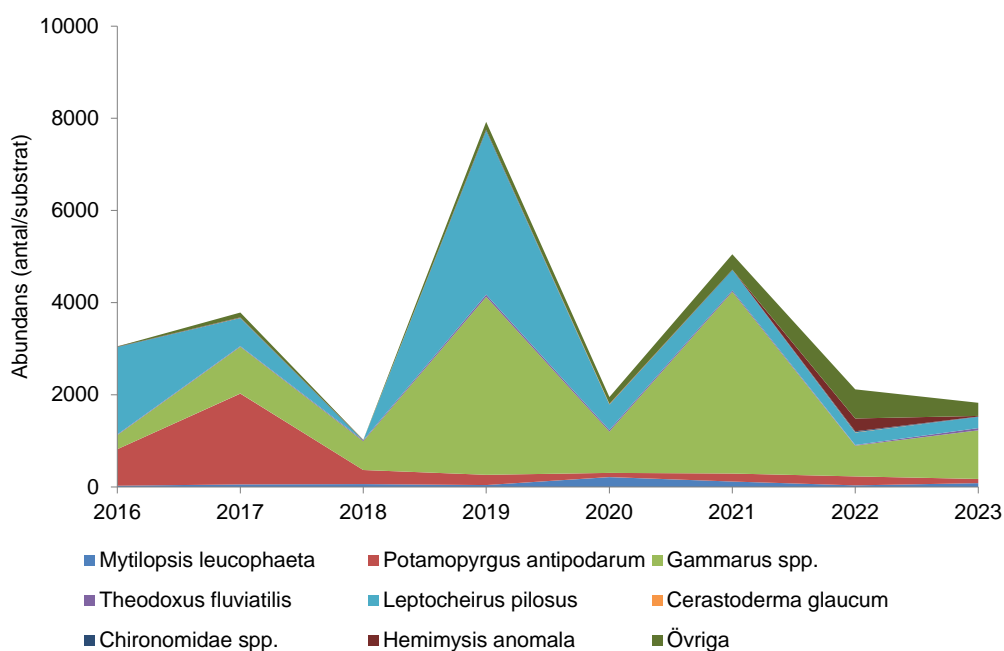
Vid lokalen utanför kylvattenintaget i Asphällafjärden förekom nordlig hjärtmussla (*Cerastoderma glaucum*) i högst tätheter, följt av blåmussla (*Mytilus edulis*) och oval dammsnäcka (*Radix balthica*). Färre individer av storhövdad marsipansnäcka (*Limpontia capitata*) hittades i årets provtagning, både jämfört med 2022 och jämfört med den ovanligt höga nivån 2021. 2023 hittades heller inga individer av den invasiva arten röd pungräka, efter att ha registrerats på lokalen de två senaste åren. Asphällafjärden hade liksom tidigare år det högsta totala artantalet, och individtätheten var bara högre i Biotestsjön (tabell 12).

Vid 2023 års undersökning av lokalen Plymen var artgruppen tångmärlor den mest talrika, även om tätheterna generellt var låga på denna lokal. Andra vanliga arter var märlkräfta, trekantig brackvattensmussla och båtsnäcka. Individerna av märlkräfta och trekantig brackvattensmussla har med stor sannolikhet transporterats med utloppsvattnet från Biotestsjön. För andra året i rad registrerades juvenila individer av nordamerikansk havsborstmask på lokalen, dock i lägre antal än föregående år. Även betydligt färre individer av familjen fjädermyggor hittades, jämfört med 2022.

Vid referenslokalen Borgarna var, liksom tidigare år, båtsnäcka den vanligast förekommande arten, följt av tångmärla och oval dammsnäcka. Efter att ha saknats i provtagningarna de två senaste åren återfanns i år den främmande arten trekantig brackvattensmussla på lokalen. Borgarna uppvisade 2023 det lägsta artantalet av alla lokalerna, men något högre individtäthet jämfört med Plymen (tabell 11, tabell 12).

Tabell 11. Medelantal av utvald bottenfauna per Landforsplatta för stationerna i Forsmarksområdet år 2023; Biotestsjön, utsläppsområdet för kylvatten utanför Biotestsjön kallat Plymen, området för kylvattenintaget till kraftverket i Asphällafjärden samt Borgarna norr om Biotestsjön som aldrig påverkas av kylvatten. * innebär att flera arter omfattas.

| Artnamn | Latinskt namn | Biotestsjön (antal/substrat) | Plymen (antal/substrat) | Borgarna (antal/substrat) | Asphällafjärden (antal/substrat) |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Stor snytesnäcka | <i>Bithynia tentaculata</i> | 0,40 | - | - | 15,40 |
| Nordlig hjärtmussla | <i>Cerastoderma glaucum</i> | 0,40 | - | 0,40 | 293,40 |
| Fjädermyggor | <i>Chironomidae*</i> | 8,20 | 8,00 | 2,20 | 20,60 |
| Bukig tusensnäcka | <i>Ecrobia ventrosa</i> | 274,60 | 7,80 | 4,80 | 44,80 |
| Tängmärla | <i>Gammarus sp*</i> | 1 056,40 | 32,20 | 10,40 | 15,00 |
| Röd pungräka | <i>Hemimysis anomala</i> | 11,80 | - | - | - |
| Strandvatten-gråsugga | <i>Jaera albifrons</i> | - | 3,80 | 0,40 | 19,60 |
| Märkräffa <i>Leptocheirus</i> | <i>Leptocheirus pilosus</i> | 241,60 | 15,40 | 1,20 | 24,80 |
| Storhövdad marsipansnäcka | <i>Limapontia capitata</i> | 2,00 | 1,00 | - | 18,40 |
| Nordamerikansk havsborstmask | <i>Marenzelleria sp*</i> | - | 0,20 | - | 55,00 |
| Trekantig brackvattensmussla | <i>Mytilopsis leucophaeata</i> | 86,20 | 15,00 | 0,20 | 42,20 |
| Blåmussla | <i>Mytilus edulis</i> | - | 1,40 | 0,40 | 76,20 |
| Trollsländor | <i>Odonata*</i> | - | - | - | 0,20 |
| Nyazeeländsk tusensnäcka | <i>Potamopyrgus antipodarum</i> | 88,20 | - | - | 2,40 |
| Oval dammsnäcka | <i>Radix balthica</i> | - | - | 8,40 | 71,60 |
| Båtsnäcka | <i>Theodoxus fluviatilis</i> | 48,00 | 14,00 | 85,60 | 18,80 |
| Medelantal/Landforsplatta | | 1 824,80 | 110,20 | 123,20 | 772,60 |
| Artantal | | 18 | 20 | 16 | 32 |



Figur 21. Antal individer 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, därför saknas data från det året.

| År | Biotestsjön | Plymen | Borgarna | Asphällafjärden |
|-------------------------|-------------|--------|----------|-----------------|
| 2016 | 17 | 17 | 15 | 21 |
| 2017 | 16 | 23 | 18 | 26 |
| 2018 | 13 | - | 16 | 26 |
| 2019 | 25 | 14 | 18 | 28 |
| 2020 | 25 | 20 | 25 | 33 |
| 2021 | 20 | 17 | 24 | 32 |
| 2022 | 21 | 30 | 18 | 35 |
| 2023 | 18 | 20 | 16 | 32 |
| Medelantal arter per år | 19,38 | 20,14 | 18,75 | 29,13 |

4.5.3. Fågelinventeringar

Under 2023 års fågelinventeringar i Forsmark gjordes totalt 50 846 observationer av de arter som ingår i kontrollprogrammet under totalt 24 tillfällen (tabell 13). Förekomsten var den högsta sedan undersökningarna inleddes under 2002 och de senaste årens positiva utveckling har fortsatt med ett större antal observationer för

varje år. De viktigaste lokalerna, där mer än hälften av alla fåglar observerades under 2023, var i Biotestsjön (område C; figur 6) och Asphällafjärden (kylvattenintaget, delområde G; figur 6). Till skillnad från tidigare år var Asphällafjärden ett viktigare delområde än Biotestsjön under 2023 (Adill m.fl., 2023). Antalet observerade individer var större i Asphällafjärden (16 946) än i Biotestsjön (12 069), men däremot var antalet individer per ytenhet fortfarande större i Biotestsjön än i Asphällafjärden (tabell 13).

Tabell 13. Sammanlagda fågelförekomster (24 tillfällen) för prioriterade arter inom fågelinventeringarna i zonerna A-G i Forsmark under 2023. Sammanlagda förekomster används här som ett index för att följa populationsförändringar.

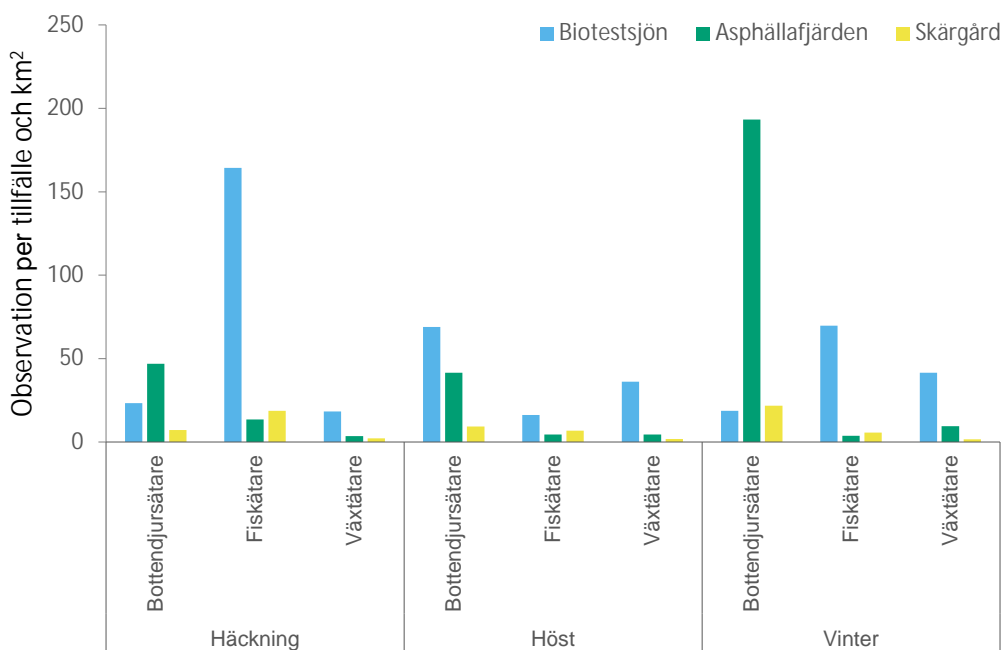
| 2023 | A | B | C | D | E | F | G | Total |
|----------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Gräsand | 89 | 53 | 1 686 | 49 | 7 | 97 | 388 | 2 369 |
| Häger | 5 | 17 | 185 | 14 | 14 | 13 | 31 | 279 |
| Knipa | 2 283 | 1 577 | 68 | 1 371 | 811 | 1 583 | 4 146 | 11 839 |
| Knölsvan | 406 | 175 | 850 | 286 | 118 | 375 | 533 | 2 743 |
| Mellanskarv | 1 807 | 281 | 5 246 | 1 034 | 1 618 | 431 | 613 | 11 030 |
| Storskrake | 1 787 | 767 | 1 177 | 509 | 411 | 398 | 505 | 5 554 |
| Vigg | 678 | 854 | 2 857 | 349 | 1 161 | 403 | 10 730 | 17 032 |
| Totalt | 7 055 | 3 724 | 12 069 | 3 612 | 4 140 | 3 300 | 16 946 | 50 846 |
| Totalantal/km ² | 2 822 | 3 103 | 10 972 | 1 246 | 1 533 | 1 179 | 7 703 | 28 557 |

Den vanligaste arten i undersökningsområdet var likt tidigare år vigg, med totalt 17 032 observationer vid de 24 inventeringstillfällena. Efter 2022 års förhållandevis låga förekomster (12 864 individer) var antalet vigg i undersökningsområdet tillbaka på nivåer jämförbara med år 2021 och över medelantalet för alla år som inventeringarna utförts. Vigg påträffades huvudsakligen i Asphällafjärden och till skillnad från tidigare år verkade Biotestsjön inte vara ett särskilt viktigt delområde. Knipa och mellanskarv var de näst vanligaste arterna i undersökningsområdet med 11 839 respektive 11 030 observationer. För knipa var Asphällafjärden det viktigaste delområdet och de påträffades mycket sällan i Biotestsjön. De senaste åren har förekomsterna av knipa visat en generellt positiv utveckling i undersökningsområdet. 2023 års förekomster av knipa var de näst högsta i tidsserien, endast 2010 års förekomster på 12 743 observerade individer var högre. Förekomsten av mellanskarv var lägre än 2022 men fortfarande den tredje största sedan undersökningarnas start 2002. Flest observationer av mellanskarv gjordes i Biotestsjön. Under 2023 observerades inga häckningsförsök av mellanskarv. Antalet storskrake var något lägre än föregående år och för första gången var inte Biotestsjön det viktigaste delområdet för arten. Under 2023 var tätheterna istället störst i delområde A (tabell 13). Trots att ett mindre antal knölsvanar observerades än under 2021 och 2022 så var förekomsten en av de högsta sedan

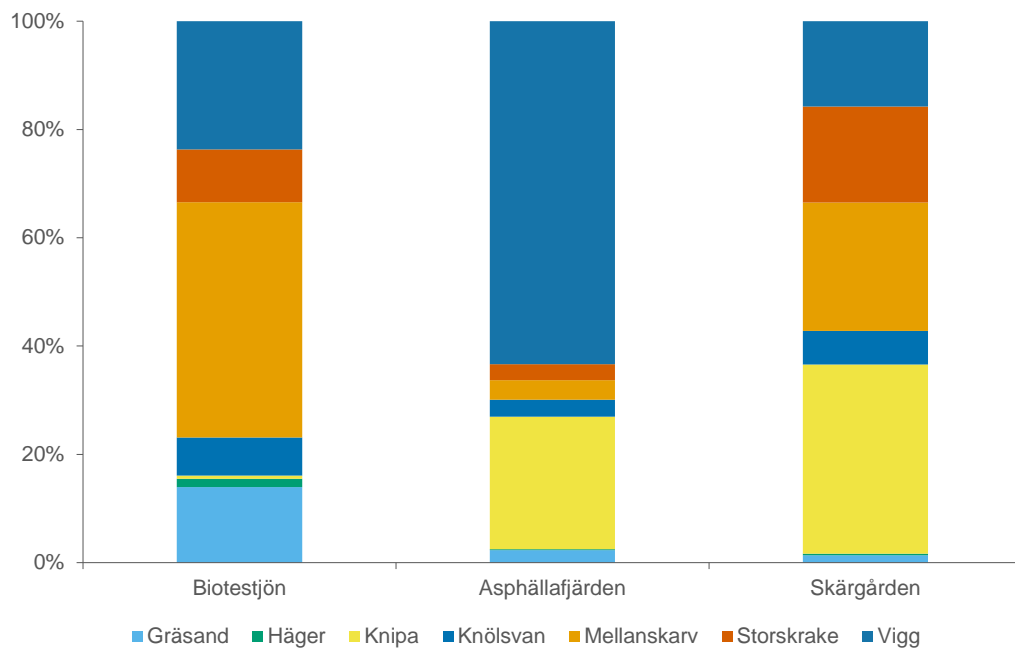
undersökningarnas start. Under 2023 gjordes fler observationer av både gräsand och häger; förekomsten för vardera art (2 389 respektive 279 individer) var högre än medelvärdet för samtliga år som inventeringarna utförts.

Mer ingående undersökningar av inventeringsområdet visar skillnader i vilka funktionella grupper och arter som nyttjade de olika delområdena (figur 22). Förekomsten av både fisk- och växtätande fåglar var högre i Biotestsjön än i något annat delområde. Förekomsten av fiskätande fåglar var oproportionerligt hög i Biotestsjön under häckningsperioden. Under hösten var deras spridning i undersökningsområdet betydligt jämnare. Likt tidigare år var förekomsten av bottendjursätare högst under hösten i Biotestsjön, men under resten av året nyttjade de främst Asphällafjärden. Speciellt höga var förekomsterna i Asphällafjärden under vintersäsongen.

I Biotestsjön var mellanskarv och vigg de vanligast förekommande arterna under 2023 (tabell 13, figur 23). Vigg var även den vanligast förekommande arten i Asphällafjärden med nästan dubbelt så många observationer som under år 2022. I övriga delområden i Forsmarks skärgård var knipa och mellanskarv de vanligast förekommande arterna (figur 23).



Figur 22. Tätheter av funktionella grupper per observationstillfälle över säsong i delområde C - Biotestsjön, G - Asphällafjärden och Skärgården som innefattar resterande delområdena i inventeringsområdet (A, B, D, E, F) under 2023. Varje säsong avser en fyramånadersperiod och är uppdelad efter fåglarnas aktivitet; häckning: April-Juli, höst: Augusti-November, vinter: December-Mars.



Figur 23. Relativ fördelning (%) av de studerade fågelarterna i Biotestsjön - C, Asphällafjärden - G och övriga Forsmarks skärgård (A, B, D, E, F) under 2023.

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, som då har värmts upp med cirka 7-9 °C, ut i närrecipienten Biotestsjön och kanalen från F3. 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 för fisk, bottenfauna och fågel (Adill m.fl., 2013; Adill m.fl., 2018; Adill och Åkerlund, 2020).

Under verksamhetsåret 2023 producerade Forsmarks kärnkraftverk 24,3 terawattimmar (TWh) el i sina anläggningar, vilket motsvarar nästan en femtedel av elproduktionen i Sverige. Omfattande moderniseringsåtgärder har genomförts de senaste åren, med effekthöjningar i kraftverket som resultat. Därför har också kylvattenbehovet och temperaturhöjningen i utsläppsvattnet ökat. Driftstörningar orsakade av tekniska problem var fortsatt ovanliga 2023 och produktionsstopp genomfördes främst under perioderna med planerade revisions- och underhållsarbeten i kraftverket. Driftsituationen i kraftverket under 2023 medförde därmed stor påverkan på omgivande miljö, med avseende på behovet av kylvatten till anläggningarna och utsläppen av uppvärmt kylvatten till närrecipienten Biotestsjön samt kylvattenkanalen från reaktor tre.

I temperaturdata från Biotestsjön kunde det konstateras att det under kortare perioder var extrema vattentemperaturer med upp emot 30 °C under 2023 och att temperaturen under långa perioder låg över 25 °C. Under slutet av 2010-talet uppmättes sådana extrema temperaturer allt oftare, men de senaste åren har perioder med temperaturer över 30 °C undvikits på grund av revision under de varmaste sommarmånaderna. Vattentemperaturer på upp emot 30 °C är skadligt för många fiskarter, och plötsliga temperaturökningar som når extrema temperaturer kan

dessutom vara dödliga för många fiskarter, särskilt större och äldre individer (Adill m.fl., 2018). Likt föregående år var vattentemperaturerna i utsläppsområdet för kylvatten från F3 över 30 °C under sju dygn 2023, med en maxtemperatur på 30,8 °C i mitten av augusti. Sannolikt flyr stora mängder fisk från området under de perioder då förhållandena är som mest extrema, men eftersom inga undersökningar genomförs i detta område blir det svårt att fastställa.

Provtagningarna av fiskförluster i kylvattenintaget kunde de flesta veckorna genomföras vid normalt kylvattenflöde, motsvarande drygt 100 m³ vatten per sekund. Två av åtta veckor under våren och fyra av tolv veckor på hösten påverkades dock av revisionsavställningar, vilket innebar ett halverat flöde. Totalt fastnade cirka 49 miljoner individer i silstationen under provtagningsperioderna 2023, vilket är mer än 10 miljoner fler än under föregående år. Ökningen beror till stor del på att det fastnade fler årsyngel under hösten. Det kan tyda på att reproduktion och rekrytering till fiskesamhället var sämre i närområdet under 2022 och att förhållandena åter var mer gynnsamma 2023. Detta antagande styrks av resultaten från yngelprovtagningen i Forsmarks skärgård. Likt föregående år var storspigg den dominerande arten och cirka 41 miljoner individer, knappt 84 procent av de totala förlusterna under året, fastnade i rensvallren vid kylvattenintagen. De enorma mängderna storspigg i provtagningarna speglar med stor sannolikhet de höga tätheterna av arten i omgivande kustnära områden och i Bottenhavet. Storspiggens starka populationsutveckling, som ses i silstationsdata från Forsmark, ses även i andra fiskundersökningar som genomförs i Bottenhavet och Östersjön, till exempel Baltic International Acoustic Survey. Storspiggens populationsutveckling under de senaste decennierna har orsakats av storskaliga miljöförändringar i våra havsområden, och populationsutvecklingen har tydliga ekosystemeffekter (Olin m.fl., 2022). Fiskarter som tidigare var vanliga i våra kustområden, till exempel abborre och gädda, har påverkats negativt och har som en följd därav minskat i omfattning i flera kustområden (Donadi m.fl., 2020).

Antalet ålar som fastnade i silstationerna under 2023 var betydligt högre än de senaste åren. Majoriteten av ålarna kom in till silstationerna under senhösten och utgjordes främst 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 av ålförekomster 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 även 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 har försvunnit från området och inte längre förekommer i data från provtagningarna. Resultaten från provfiskena med ryssjor i Biotestsjön visar också att tätheterna av ål är mycket låga jämfört med i början av 2000-talet. Eftersom ålen är en rödlistad och skyddad art är det dock av stor betydelse att de ålar som fastnar i silstationen återutsätts i havet igen. Den metodik som tagits fram under de senaste åren för att kunna återutsätta ålarna levande fungerar delvis. Det finns behov av att omarbeta metoden eftersom hanteringen av rensmassorna orsakar skador på ålarna. Efter åläggande från Länsstyrelsen Uppsala har arbete påbörjats med att ta fram nya metoder för att hindra ålar från att hamna i silstationens rensapparater och minska skadorna på de som tillslut hamnar i silstationen ändå. För att öka ålarnas överlevnadchanser och möjligheten att återutsätta dem i gott skick.

Inom fiskundersökningarna i Biotestsjön kunde det återigen konstateras att förekomsterna av varmvattenarter, till exempel mört och abbore, är enormt höga även om den totala omfattningen var lägre än under rekordåret 2022. Fångstdata från provfiskena under våren har tydligt visat att lekaktiviteten i Biotestsjön har ökat sedan början av 2000-talet och kan kopplas ihop med avlägsnandet av fiskgallret vid utloppet år 2004 (Adill m.fl., 2018). En stor andel av fiskarna som leker i Biotestsjön har lockats in till anläggningens varma vatten från den omgivande skärgården. Biotestsjön har på grund av sina särskilda förhållanden blivit ett mycket viktigt område för rekrytering av många arter. Att fisktätheterna varit höga under hela vårperioden tyder på att lekperioderna varit utdragna för många arter, vilket kan förklaras med att stationära individer uppnår lekmognad tidigare på våren jämfört med individer som lever i Forsmarks skärgårds kallare vatten och endast vistas i Biotestsjön vid lek (Adill m.fl., 2018). Att lekaktiviteten under 2023 generellt var något lägre bekräftas av sämre rekrytering med lägre fångster i yngelundersökningarna i Biotestsjön, särskilt av björkna- och mört yngel. Undersökningarna under hösten i Biotestsjön visade att tätheterna av de vanligaste fiskarterna förefaller vara betydligt lägre under höstperioden än under 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. Under 2023 var fångsterna de lägsta sedan 2017 vilket kan förklaras av de lägre vattentemperaturerna under senhösten och vintern vilket gör fiskarna mindre aktiva och att de därför fångas i mindre utsträckning i näten. Dock verkar de abborrar och mörtar som stannar kvar i Biotestsjön vara välmående och i god kondition. Vid de mer ingående 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 tillväxt hos abborre kunde det dessutom konstateras att förhållandena i Biotestsjön resulterar i snabb kroppstillväxt, något

som kan ge fördelar under abborrens liv. I jämförelse med abborrar som lever i Forsmarks skärgård växer individerna i Biotestsjön snabbare under flera av de tidiga levnadsåren. Detta kan härledas både till en längre tillväxtsång i Biotestsjön samt god födotillgång och långa perioder med lämpliga vattentemperaturer för snabb tillväxt (Niu m.fl., 2023). Att levnadsförhållandena är gynnsamma för varmvattenarterna i Biotestsjön stöds av konditionsmått för abborre i Biotestsjön, som uppvisar generellt högre konditionsvärde jämfört med abborrar i Forsmarks skärgård. För så kallade kallvattenarter är förhållandena i Biotestsjön lämpliga endast under korta perioder; till exempel fångades inte sik och öring alls under de ordinarie provfiskena. Detta tyder på att dessa arter endast uppehåller sig under kortare perioder i Biotestsjön.

Vid undersökningarna i Forsmarks skärgård med provfisken med Nordiskt kustöversiktsnät visade resultaten att tätheterna av fisk var förhållandevis höga trots succesivt lägre förekomster sedan rekordåret 2021. Av de flesta arter fångades färre individer än de senaste två åren, men den låga totala fångsten är till stor del ett resultat av det låga antalet björkna som fångades i augusti. Fram tills för fyra år sedan låg förekomsten av både björkna och mört på en jämn, relativt låg nivå i Forsmarks skärgård. Under 2019 och 2021 ökade förekomsten explosionsartat för att sedan bli lägre igen, men förekomsterna förblir betydligt högre än innan 2019. Något som kan ha bidragit till den enorma ökningen av dessa varmvattensarter kan vara sommaren 2018 som var ovanligt varm och medförde gynnsamma rekryteringsförhållanden. Fångsterna under de följande åren utgjordes till stor del av små och unga individer. Den stora förekomsten av mört och björkna i Forsmark kan ha bidragit till ökad konkurrens och i förlängningen möjligtvis även högre mortalitet och spridning till andra områden. Efterföljande år har inte förhållandena för rekrytering varit lika gynnsamma, vilket troligen har bidragit till lägre populationstillväxt. Alternativt kan den tidigare ökningen i Forsmarks skärgård ha orsakats av en temporär spridning av individer från Biotestsjön där fångsten av mört och björkna fortsätter vara hög.

Under höstens yngelundersökningar noterades extremt låga tätheter av årsyngel av mört och björkna i Biotestsjön. Däremot var tätheterna av mört yngel mycket högre än normalt i Forsmarks skärgård. Likt tidigare år finns frågetecken om rekryteringen fungerat som den ska i Biotestsjön eftersom de stora mängderna lekmogen fisk under våarna inte har genererat så höga tätheter av yngel under höstarna. Antalet mörtar var högre i silstationen under höstperioden, vilket tyder på lyckad rekrytering i Forsmarks skärgård trots en generell minskning av mört i provfiskefångsterna.

Resultaten av undersökningarna av bottenfauna på mjuka bottnar under 2023 liknar i stort sett de från tidigare års provtagningar, men med några viktiga skillnader. Sedan 2000-talets början har vitmärlan kontinuerligt minskat i antal i området och i Östersjön som helhet (Adill m.fl., 2018). Under 2023 påträffades ett

stort antal individer av vitmärla både i Forsmark och i referensområdet Finbofjärden. Under 2022 förekom arten i mycket låga tätheter i Forsmarksområdet (Adill m.fl., 2023), men 2023 tycks arten haft ett år med lyckad föryngring. Förekomsten av vitmärla på medeldjupa och djupa bottnar i Forsmark var 13 respektive 11 gånger högre än under föregående år. Även i referensområdet Finbofjärden var förekomsten större än de senaste åren och på djupa bottnar påträffades arten igen efter att ha saknats i provtagningen år 2022. Vitmärlan anses vara en nyckelart på djupa mjukbottnar i Östersjön genom sin förmåga att syresätta bottensedimentet och sin fundamentala roll i näringsväven (Lopez och Elmgren, 1989). Den negativa trenden för vitmärla sedan tidigt 2000-tal kan bero på ökade halter av miljögifter och lägre syrehalt i bottarna, speciellt i kombination med ökande vattentemperaturer (Wiklund och Sundelin, 2001; Jacobsson m.fl., 2008; Gorokhova m.fl., 2013). Även minskad näringstillgång (oligotrofiering) påverkar vitmärlan negativt (Tamelander m.fl., 2017). Sådan yttre påverkan kan leda till minskad populationstillväxt och reproduktiv framgång (Jacobsson m.fl., 2008), vilket i längden leder till minskad populationsstorlek. Dessutom kan etableringen av den främmande nordamerikanska havsborstmasken i området under tidigt 2000-tal (Havs- och vattenmyndigheten, 2022) ha bidragit till vitmärlans nedåtgående trend. Arterna har liknande ekologiska nischer, vilket kan leda till konkurrerens och på sikt förändrad födotillgång, tillväxt och förekomst av vitmärla (Kotta och Ólafsson, 2003; Neideman m.fl., 2003). I årets provtagning på Forsmarks djupa bottnar var dock både vitmärla och nordamerikansk havsborstmask betydligt vanligare än föregående år. Det har spekulerats om nischseparering kan innebära att vitmärla delvis undviker konkurrens med nordamerikansk havsborstmask, och därmed slipper en del av de negativa effekterna av att samexistera med nordamerikansk havsborstmask (Wallin, 2012). Att båda arterna förekom i högre tätheter på djupa bottnar i Forsmark 2023 talar för att även andra mekanismer, utöver närvaro/frånvaro av nordamerikansk havsborstmask, är viktiga för vitmärlans populationsutveckling, eller att de både arterna gynnas av samma mekanismer. Det återstår att se om årets lyckade föryngring av vitmärla är en engångsföreteelse eller en början till en mer positiv trend med ökande populationstillväxt.

På hårda bottnar registrerades trekantig brackvattensmussla i liknande tätheter som föregående år, förutom i Biotestsjön där tätheterna var högre i årets provtagning. Trekantig brackvattensmussla är en euryterm art som kan tolerera ett stort temperaturspann (Rajagopal m.fl., 2005; Kennedy, 2010), men som tillväxer bäst i högre temperaturer (Verween m.fl., 2006). Temperaturen i Biotestsjön är högre jämfört med på de andra lokalerna, så förändringarna i täthet av trekantig brackvattensmussla påverkas antagligen även av andra faktorer än temperatur. Det är möjligt att 2022 års höga tätheter av den främmande röda pungråkan *Hemimysis anomala* kan ha påverkat musselpopulationen negativt eftersom de

juvenila räkorna och musslorna troligen konkurrerar om samma typ av föda (växtplankton; Ives m.fl., 2013). Dessutom har det spekulerats i om äldre individer av arten kan äta mussellarver (Ketelaars m.fl., 1999). Hypotesen stärks av att den främmande röda pungräkan var betydligt ovanligare i proverna från Biotestsjön i årets provtagning, samtidigt som föryngringen av trekantig brackvattensmussla på lokalen tycks ha varit bättre än under föregående år. Musslan har på flera platser runt Östersjön skapat problem genom att växa på industriella kylvattenintag (Jenner och Taylor, 1998; Verween m.fl., 2007). Denna risk finns även vid Forsmarks kärnkraftverk, och en etablering av arten vid intagen skulle kunna innebära negativ påverkan på elproduktionen (Florin m.fl., 2013).

Biotestsjön uppvisade i årets provtagning liknande individtäthet per Landforsplatta som under 2020 och 2022. Individdensiteterna var dock betydligt lägre än under 2021 då det stora antalet tångmärlor bidrog till den höga individtätheten. Likt tidigare år uppvisade Biotestsjön den högsta individtätheten av alla lokaler i undersökningsområdet. Under 2023 var tätheten av tångmärla ungefär dubbelt så hög som 2022, medan arten märlkräfta fortsatte på den nedåtgående trend som kunnat skönjas sedan 2020. Det är möjligt att den förbättrade situationen för tångmärla under 2023 delvis kan förklaras av den lägre förekomsten av den främmande arten röd pungräka. Den röda pungräkan är en allätande generalist som håller till i skyddade habitat under dagtid och söker föda i vattenkolumnen under natten (Ketelaars m.fl., 1999; Brown m.fl., 2012). Arten frodas i högre temperaturer (Evans m.fl., 2018), vilket förklarar att den påträffas i större antal i Biotestsjön än i Asphällafjärden, där arten också registrerades för första gången under 2021. Under rätt förhållanden kan honorna få flera kullar per säsong (Ketelaars m.fl., 1999), och populationstillväxten kan därför vara mycket snabb. Som nämnts ovan äter juvenila röda pungräkor främst växtplankton, medan vuxna individer även äter mindre bottenlevande evertebrater, djurplankton och detritus (Ricciardi m.fl., 2012; Penk m.fl., 2018). Den röda pungräkan är alltså predator på vissa organismgrupper och konkurrerar dessutom om föda med flera andra organismgrupper, och kan därför ha stor negativ påverkan på alla trofiska nivåer (Ketelaars m.fl., 1999; Brown m.fl., 2012). Förekomsten borde inte ha direkta negativa effekter för kraftverkets funktion, men kan ha desto större effekter för den akvatiska ekologin i närområdet.

Likt föregående år var antalet sjöfåglar i undersökningsområdet förhållandevis stort och resultaten tyder på att förekomsten av sjöfågel blivit successivt större de senaste tre åren. De viktigaste lokalerna för sjöfåglar i undersökningsområdet var Biotestsjön och Asphällafjärden som även är mest påverkade av kärnkraftverkens drift. Förhållanden verkar vara mest gynnsamma i dessa områden, speciellt under vintertiden då kärnkraftverkens kylvattenutsläpp skapar isfria områden i Biotestsjön och Asphällafjärden men också direkt i utsläppsområdet (område A och D). Isfria områden är en förutsättning för övervintring, födosök och skydd för sjöfåglar. Förekomsten av dessa viktiga isfria områden förklarar det höga antalet

observationer och den höga tätheterna av sjöfåglar per ytenhet i Biotestsjön och Asphällafjärden under vintern. Att det totala antalet observationer var störst i Asphällafjärden under 2023 kan förklaras av det stora antalet dykänder, framför allt övervintrande vigg.

Det finns stora skillnader i vilka funktionella grupper och arter som nyttjar de olika områdena under året. Bottenfaunaätande fåglar är säsongsvist uppdelade med en täthetstopp i Biotestsjön under hösten och Asphällafjärden under häckningssäsong och vinter. Både Biotestsjön och Asphällafjärden har väldigt höga förekomster av bottenfauna (se 4.6.2 Hårdbottenfauna). Förekomsten av den bottenfaunaätande arten knipa var särskilt hög i Asphällafjärden under häckningsperioden. Under resten av året var kniporna förhållandevis jämt utspridda i undersökningsområdet, förutom i Biotestsjön där tätheterna av arten generellt var väldigt låga. De senaste två åren har inga observationer av knipa gjorts i Biotestsjön under höstperioden. Fiskundersökningarna visar att Biotestsjöns varma vatten är väldigt gynnsamt för fisk, vilket kan leda till att den stora mängden abborre och mört i området konkurrerar med knipa och andra bottenfaunaätande fåglar om födan. Det skulle kunna förklara varför knipa verkar undvika Biotestsjön som uppehållsområde (Eriksson 1979, Winfield & Winfield 1994). Dessutom attraherar troligen Biotestsjön stora mängder fisk- och växtätande fåglar på grund av sin höga växt- och fiskproduktion. Det innebär att konkurrensen om utrymme stundvis kan vara väldigt hög och det kan vara ytterligare en anledning till att Asphällafjärden blir ett mer attraktivt delområde för bottendjursätare.

Utsläpp av det uppvärmda kylvattnet i Biotestsjön resulterar i högre temperaturer, som i sin tur leder till stor växtproduktion och höga fisktätheter. Detta har sannolikt gjort att både växt- och fiskätande sjöfåglar trivs i Biotestsjön. Både fisk- och växtätande fåglar var vanligt förekommande i Biotestsjön året om. Fiskätare var generellt mer vanligt förekommande än växtätare med undantag för under höstperioden. Den stora förekomsten fiskätare under häckningstiden förklaras av den höga förekomsten av mellanskarv som vistades i området. Under häckningstiden sammanföll perioderna med störst förekomst av mellanskarv med de högsta tätheterna av fisk i Biotestsjön. Mellanskarven väljer Biotestsjön, sannolikt på grund av de gynnsamma födoförhållandena med stora mängder fisk i området. På längre sikt skulle de stora förekomsterna av mellanskarv kunna innebära en risk för den lokala fiskpopulationen (Östman m.fl., 2012) men inga resultat inom det biologiska recipientkontrollprogrammet tyder på någon negativ påverkan.

Speciellt Biotestsjön är ett viktigt delområde och habitat också för fågelarter som inte ingår i recipientprogrammets inventeringar och som normalt inte befinner sig i skärgårdsmiljö. Till exempel skådades kungsfiskare (*Alcedo atthis*), en art som vanligtvis lever vid sjöar och åar, i Biotestsjön under 2023 års fågelinventeringar.

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., 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., Bergman, I., Eiler, S. M., Holliland, P. B., Åkerlund C. (2023). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk, Årsrapport för 2022. Aqua reports 2023:8. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund Drottningholm Lysekil. 57s.
- Andersson, J. (2015). Provfiske med kustöversiktsnät, nätlänkar och ryssjor på kustnära grunt vatten <https://www.havochvatten.se/hav/vagledning--lagar/vagledningar/miljoovervakningens-metoder-och-undersokningstyper-inom-programomrade-kust-och-hav.html>
- Bergström, U., Sundblad, G., Fredriksson, R., Karås, P., Sandstrom, A., Halling, C. (2021) Övervakningsmanual: ” Fisk i kustvatten - Yngelprovfiske med tryckvåg.” p. 23.
- Brown, M.E., Morse, R., O'Neill, K. (2012). Spatial, seasonal, and diel distribution patterns of *Hemimysis anomala* in New Yprk State's Finger Lakes. Journal of Great Lakes Research 38(2): 19-24.
- 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.

- Eriksson, M. O. G. (1979). Competition between Freshwater Fish and Goldeneyes *Bucephala clangula* (L.) for Common Prey. *Oecologia* Vol. 41, No. 1, pp. 99-107.
- Evans, T.M., Naddafi, R., Weidel, B.C., Lantry, B.F., Walsh, M.G., Boscarino, B.T., Johansson, O.E., Rudstam, L.G. (2018). Stomach contents and stable isotopes analysis indicate *Hemimysis anomala* in Lake Ontario are broadly omnivorous. *Journal of Great Lakes Research* 44(3): 467-475.
- 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.
- 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.
- Havs- och vattenmyndigheten (2022). Nordamerikanska havsborstmaskar. URL: <https://www.havochvatten.se/arter-och-livsmiljoer/arter-och-naturtyper/nordamerikanska-havsborstmaskar.html>, besökt 2024-02-14.
- Havs- och vattenmyndigheten (2015). [Svartmunnad smörbult - Arter och livsmiljöer - Havs- och vattenmyndigheten \(havochvatten.se\)](https://www.havochvatten.se/arter-och-livsmiljoer/arter-och-naturtyper/nordamerikanska-havsborstmaskar.html), besökt 2024-03-05.
- Ives, J.T., Marty, J., De Lafontaine, Y., Johnson, T.B., Koops, M.A., Power, M. (2013) Spatial variability in trophic offset and food sources in *Hemimysis anomala* in lentic and lotic ecosystems within the Great Lakes basin. *Journal of Plankton Research* 35(4): 772-784.
- Jacobson, T., Prevodnik, A. & Sundelin, B. (2008). Combined effects of temperature and a pesticide on the Baltic amphipod *Monoporeia affinis*. *Aquatic Biology*, 1, 269-276.
- Jenner, H.A., Taylor & C.J.L. (1998). Cooling water management in European power stations: biology and control. *Hydroécologie Appliquée* 1-2.
- Niu, J., Huss, M., Vasemägi, A. & Gårdmark, A. (2023) Decades of warming alters maturation and reproductive investment in fish. *Ecosphere* 14.1: e4381.
- Karlsson, M. (2015). Provfiske i Östersjöns kustområden – Djupstratifierat provfiske med Nordiska kustöversiktnät. <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.
- Kennedy, V.S. (2010). The invasive dark false mussel *Mytilopsis leucophaeata* (Bivalvia: Dreissenidae): a literature review. *Aquatic Ecology* 45: 163-183.
- Ketelaars, H.A.M., Lambregts-van de Clundert, F.E., Carpentier, C.J., Wagenvoort, A.J., Hoogenboezem, W. (1999). Ecological effects of the mass occurrence of the Ponto-Caspian invader, *Hemimysis anomala* G.O. Sars, 1907 (Crustacea: Mysidacea), in a freshwater storage reservoir in the Netherlands, with notes on its autecology and new records. *Hydrobiologia* 394: 233-248.

- Kotta, J., Ólafsson, E. (2003). 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: 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: 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.
- Neideman, R., Wenngren, J., Ólafsson, E. (2003). Competition between the introduced polychaete *Marenzelleria* sp. and the native amphipod *Monoporeia affinis* in Baltic soft bottoms. *Marine Ecology Progress Series* 264: 49-55.
- Olin, A., Olsson, J., Eklöf, J., Klemens Eriksson, B., Kaljuste, O., Briekmane, L. and U. Bergström (2022) Increases of opportunistic species in response to ecosystem change: the case of the Baltic Sea three-spined stickleback. *ICES Journal of Marine Science*, 2022, 1-16.
- Penk, M.R., Donohue, I., Irvine, K. (2018). Temporally variable niche overlap and competitive potential of an introduced and native mysid shrimp. *Hydrobiologia* 823: 109-119.
- 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.
- Ricciardi, A., Avlijas, S., Marty, J. (2012). Forecasting the ecological impacts of the *Hemimysis anomala* invasion in North America: Lessons from other freshwater mysid introductions. *Journal of Great Lakes Research* 38(2): 7-13.
- Sandström, O. (1985). Recipient monitoring at Forsmark nuclear power station. Report summary 1984. SNV Report 1915, 26 pp.
- 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.
- Tameler, 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.
- Thoresson, G. (1992). Handbok för kustundersökningar, Recipientkontroll. <http://www.slu.se/Documents/externwebben/akvatiskaresurser/publikationer/FIV/KLAB/PM029-%20handbok%20recip.pdf>
- Thoresson, G. (1996). Guidelines for coastal fish monitoring. <http://www.slu.se/Documents/externwebben/akvatiskaresurser/publikationer/FIV/KLAB/PM087-eng%20hand%201996-2.pdf>

- Verween, A., Vincx, M., Degraer, S. (2006). Growth patterns of *Mytilopsis leucophaeata*, an invasive biofouling bivalve in Europe. *Biofouling* 22(4): 221-231.
- Verween 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.
- Wallin, I. (2012). Swimming behaviour and mortality of the indigenous amphipod *Monoporeia affinis* in presence of the invasive polychaete *Marenzelleria* spp. in the Baltic Sea. Examensarbete, Högskolan på Gotland, 29 pp.
- Wiklund AKE, Sundelin B (2001) Impaired reproduction in the amphipods *Monoporeia affinis* and *Pontoporeia femorata* as a result of moderate hypoxia and increased temperature. *Marine Ecology Progress Series* 222: 131-141.
- Winfield, I. J., Winfield D. K. (1994). Feeding ecology of the diving ducks pochard (*Aythya ferina*), tufted duck (*A. fuligula*), scaup (*A. marila*) and goldeneye (*Bucephala clangula*) overwintering on Lake Neagh, Northern Ireland. *Freshwater Biology* (1994) 32, 467-477.
- Östman, Ö., M. Bergenius, M.K. Boström & S.-G. Lunneryd. (2012) Do cormorant colonies affect local fish communities in the Baltic Sea? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 69: 1047-1055.