

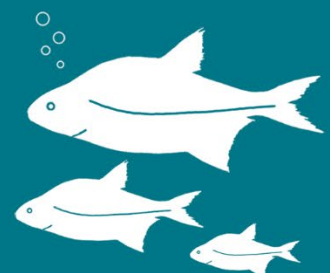
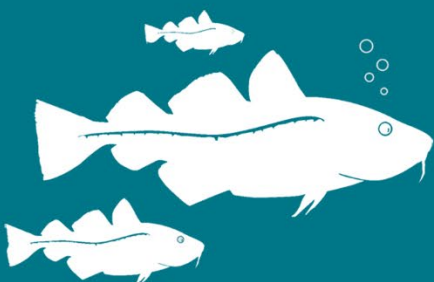


Aqua notes 2023:8

Ekologiska trender och prognoser i recipientområdet för Forsmarks kärnkraftverk

Anders Adill

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för akvatiska resurser



Ekologiska trender och prognoser i recipientområdet för Forsmarks kärnkraftverk

Anders Adill, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Rapportens innehåll har granskats av:

Jens Olsson, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser
Birgit Koehler, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), Institutionen för akvatiska resurser

Finansiär: Forsmark Kraftgrupp AB, Beställningsnr 4501760386 (SLU-ID: SLU.aqua.2022.5.2-370)

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

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:	2023
Utgivningsort:	Uppsala
Illustration framsida:	
Upphovsrätt:	Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel:	Aqua notes
Delnummer i serien:	2023:8
ISBN (elektronisk version):	978-91-8046-858-9
DOI:	https://doi.org/10.54612/a.570suuv8lh
Nyckelord:	Kärnkraft, recipientkontroll, ekosystem, främmande arter, miljö.
Rekommenderad citering:	Anders Adill (2023). Ekologiska trender och prognoser i recipientområdet för Forsmarks kärnkraftverk. Aqua notes 2023:8. Uppsala: Institutionen för akvatiska resurser. 33 s. https://doi.org/10.54612/a.570suuv8lh

© 2023 (Anders Adill)

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

Sammanfattning

Forsmarks kärnkraftverk är en av Sveriges största elproducenter och utgörs av tre stycken kokvattenreaktorer. Vid elproduktionen i kärnkraftverket krävs enorma mängder havsvatten för kylning av processerna i reaktorerna. Kylvattnet tas in till kraftverket från Öregrundsgrepen via en kanal från Asphällafjärden. Brackvattnet innehåller levande organismer i form av bland annat alger, vattenvegetation, djurplankton och fisk. De största organismerna, bland annat vegetation och fisk, avskiljs från vattnet via stora bandsilar som sitter i kylvattenintaget till kraftverket. Periodvis kan mängden rensmaterial i dessa silar vara omfattande, främst under vårperioden och hösten. Kylvattnet värms upp med cirka 11°C när det passerar över reaktorerna och innan det pumpas ut till Biotestsjön (den huvudsakliga recipienten), och sedan ut till det omgivande havsområdet i Öregrundsgrepen. Vattentemperaturen i Biotestsjön är vid normal energiproduktion 7–9 °C högre än i omgivande områden. Intag och utsläpp av kylvatten ger effekter på den närliggande miljön och dess organismer.

Under slutet av 1960-talet påbörjades biologiska förstudier och basundersökningar i Forsmarksområdet för att planera för kärnkraftverket. När elproduktionen inleddes 1980 övergick undersökningarna i fastställda kontrollprogram med syfte att övervaka påverkan på fisk, bottenfauna och fågel i recipientområdet. Under de senaste decennierna har även ett stort fokus riktats för att förbättra miljön i Sveriges havsområden. I havsmiljöförordningen finns ingående beskrivningar för vilka aktiviteter som ska genomföras för att nå fastställda miljömål, bland annat att genomföra miljöövervakning. Övervakningsprogrammen syftar till att ge underlag och följa upp utvecklingen av miljöstatus, som exempelvis beståndsövervakning av fisk och bottenfauna, utveckling i kustfiskbestånden och introduktion av främmande arter. Den samlade miljöövervakningen som genomförs inom recipientkontroll och i nationella övervakningsprogram genererar stor kunskap om rådande miljöstatus, organismsamhällena och utvecklingen för ekosystemen i Forsmarks skärgård och Bottenhavet.

Under åren som kärnkraftverket i Forsmark varit i drift har det skett storskaliga miljöförändringar i Bottenhavet. Trots flertalet förvaltningsåtgärder kan det konstateras att miljömålen för exempelvis övergödning, kommersiellt nyttjande av fisk samt spridning av främmande arter inte uppnåtts. De hydrologiska förhållandena som successivt har förändrats har haft en stor påverkan på ekosystemen i Bottenhavet och Forsmarks skärgård. Beståndet av storspigg gynnas av miljöförändringarna och förekommer nu i höga tätheter i Bottenhavet och Forsmarks skärgård, och förväntas finnas i samma omfattning eller öka de kommande åren. I silstationerna vid Forsmark kärnkraftverk kommer detta medföra att mängden storspigg fortsatt kommer att vara omfattande under vårperioderna. Strömming återfinns relativt glest längs kusten under stora delar av året och har historiskt ansamlats i höga tätheter under lekperioden under våarna. Den negativa beståndsutvecklingen och det omfattande yrkesfisket av strömming i Bottenhavet bidrar sannolikt till att tätheterna minskar de kommande åren. Eftersom strömming förekommer främst som årsyngel i silstationerna kommer biomassorna att vara i låga nivåer. I Forsmarks skärgård har andelen abborre, mört, björkna och löja ökat sedan 1990-talet, arter som föredrar varma vattentemperaturer. Dessa arter förväntas förekomma i liknande tätheter eller något ökande de kommande tio åren. De senaste fyra åren har det noterats en spridningseffekt av mört och björkna från Biotestsjön till övriga delar av skärgården.

Utvecklingen i bottenfaunasamhällena i Öregrundsgrepen visar att arter som gynnas av miljöförändringarna ökar i omfattning. I övervakningen av bottenfaunasamhällena påträffas flertalet främmande invasiva arter. Tre arter av musslor har påträffats i recipienten eller i närliggande område som kan utgöra stor påverkan och negativ ekonomisk inverkan på kraftverket. Trekantig

brackvattenmussla (*Mytilopsis leucophaeata*), amerikanska trågmusslan (*Rangia cuneata*) och vandrarmusslan (*Dreissena polymorpha*) kan samtliga bilda stora kolonier och potentiellt kunna sätta igen vattenledningar och kylvattensystem. En annan djurgrupp som rapporterats ge negativa konsekvenser i kylvattensystem är maneter. I området där Forsmark kärnkraftverk ligger är dock tätheterna av inhemska maneter mycket lågt och utgör sannolikt ingen stor påverkan, men det skulle kunna ändras om främmande arter etableras i Bottenhavet.

Under de senaste decennierna har omfattande moderniseringar genomförts i kraftverket och förändringar i utformningen av kylvattenvägarna. Kylvattenflödena som successivt har ökat den senaste tioårsperioden har bidragit till att större mängder fisk och vegetation sugas in i kylvattenintagen. Musslor är en djurgrupp som gynnas av höga kylvattenflöden och risken finns att främmande arter etablerar sig i kylvattenvägarna. För tillfället genomförs flertalet projekt inom skyddsobjektet, bland annat rivning av piren i utloppet från Biotestsjön och en etablering av elektrobränslefabrik. För att utreda om Forsmarks kylvattenintag och vattenkanaler är tillräckligt robusta i framtiden bör det även vägas in vilka effekter de olika projekten får för omgivande miljö och dess organismer.

Abstract

The Forsmark Nuclear Power Plant is one of Sweden's largest producers of electric energy and harbors three boiling reactors. The production of electricity demands large amount of seawater to cool the processes in the reactors. The water intake to the power plant comes from the local coastal area Öregrundsgrepen by a channel via Asphällafjärden. Seawater contains naturally living organisms like algae, vegetation, zooplankton and fish. Larger organisms as fish and algae are effectively filtered out in the screening station at the water intakes of the power plant. During some periods of the year, usually in spring and autumn, the biomass of biological material are high. The cooling water are heated 11°C when it passes the reactors and before it is discharged to the recipient area Biotest basin. The water temperature in the Biotest basin are usually 7–9 °C higher than in the surrounding coastal areas. Due to the intake and discharge of seawater as a coolant, there is an impact on the surrounding coastal environment.

In the late 1960's when the Forsmark power plant was established several ecological pre studies and surveys were carried out. When the production started in the power plant 1980, the focus of the surveys was to monitor impacts of water intake and discharge on organisms in the nearby environment, specifically fish, benthic fauna and birds. During the last decades a major focus from Swedish authorities have also been directed to improve the environmental status of our seas. To fulfill the this aim, several monitoring program have been initiated to analyze the development of the ecosystem exemplified as monitoring of fish stocks in coastal areas, assess the density of benthic fauna and screen the presence of invasive species. The monitoring undertaken in the Forsmark archipelago as part of the nuclear power plant surveillance program, have specifically contributed with knowledge on the state of the local coastal ecosystem but also more generally on the status of the ecosystem in the Bothnian Sea.

During the period when the Forsmark power plant has been in production, large environmental changes has been observed in the Bothnian Sea. Despite several management activities, several of the environmental goals set for the sea has not yet been achieved. The goals for eutrophication, sustainably fished fish stocks and prevention of introduction of invasive species has for example not been met. The changes of the hydrological conditions in Bothnian Sea have a great impact on the ecosystems. The amount of three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) have benefitted these changes and has increased drastically in the Bothnian Sea and the Forsmark archipelago during recent decades. In the screening stations of the Forsmark power plant, it is therefore expected that the amount of three-spined sticklebacks will still be significant, especially during springtime. Herring (*Clupea harengus*) exists in Forsmark archipelago in relatively low abundances during the most of the year and are only found in larger aggregations during the spawning periods in spring. Due to the intensive commercial fishing in the Bothnian Sea, the herring stocks are expected to decrease in the following years. While the proportion of herring that is caught in the screening stations at the power plant are mainly juveniles and recruits, the biomass of herring in coming years are expected to be low. Since the beginning of the 1990's warm water species perch (*Perca fluviatilis*), roach (*Rutilus rutilus*), silver bream (*Blicca bjoerkna*) and bleak (*Alburnus alburnus*) have increased in the Forsmark archipelago, and these species are expect to occur at similar or slightly higher densities in the next ten years. During the last four years, the abundance of roach and silver bream in the Forsmark archipelago has been exceptionally high, likely as a result of successful recruitment in and spreading from the Biotest basin.

The development of the benthic fauna community shows that species that prefers increased levels of eutrophication are increasing. Several species that are classified as invasive species are found in the monitoring programs .Three invasive species of mussels have been found in the recipient or close to the power plant that could have an effect or economical influence on the production of the

power plant. These are Conrad's false mussel (*Mytilopsis leucophaeata*), Atlantic rangia (*Rangia cuneata*) and Zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) are all capable of establish in large colonies and in that way affect cooling water systems via possibly plugging water pipes. An organism that have been reported to affect water cooling systems in nuclear power plants are jelly fish. In the coastal area of Forsmark the abundances of jellyfish are very low, and should not have an effect on the power plant. If an invasive species of jellyfish are established in the area in the coming years, the conditions could be different.

During the last decades several implements and modernizations have been carried out in the nuclear power plant to mediate a higher efficiency in the production of electricity. The higher efficiency in the power plant has resulted in a larger use of cooling water and hence larger amounts of biological losses in the screening stations. Mussels are organisms who benefit a large water turbulence and larger cooling water flows could hence potentially result in improved conditions for the establishment of invasive species in the cooling water systems. At present there are several ongoing projects at the nuclear power plant, including removal of parts of the outlet from the Biotest basin and the establishment of a new electro fuel factory. To evaluate how robust the cooling water systems are in the Forsmark nuclear power plant for future changes, it is therefore of significant importance to further evaluate the effects on the local environment and its organisms from the different ongoing projects in the area.

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	11
1.1. Bakgrund	11
1.2. Översikt Forsmarks kustområde	12
1.3. Miljöövervakning och kontrollverksamhet i området	12
2. Utveckling av ekosystemen.....	16
2.1. Bottenhavet	16
2.2. Biotestsjön	17
2.3. Öregrundsgrepen och Forsmarks skärgård	18
3. Ekologiska trender och prognoser.....	20
3.1. Organismsamhällena i Forsmarks skärgård.....	21
3.2. Främmande arter	26
4. Förändrade driftförhållanden i kraftverket.....	29
Referenser.....	31

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Forsmarks kärnkraftverk är en av Sveriges största elproducenter och utgörs av tre stycken kokvattenreaktorer. Första reaktorn vid Forsmark kärnkraftverk togs i drift 1980 (F1), och de andra två 1981 (F2) och 1985 (F3). Vid elproduktionen i kärnkraftverket krävs enorma mängder vatten för kylning av processerna i kondensatorerna, de senaste åren drygt 150 kubikmeter brackvatten per sekund. Kylvattnet tas in till kraftverket från Öregrundsgrepen (mellan fastlandet och Gräsö) via en kanal från Asphällafjärden (figur 1). Kylvattnet innehåller levande organismer i form av bland annat alger, vattenvegetation, djurplankton och fisk. De största organismerna, bland annat vegetation och fisk, avskiljs från vattnet med stora bandsilar (maskvidd 2,5 mm) vid intaget till kraftverket, samlas upp i containrar och transporteras för destruktion. Periodvis kan mängden material som fastnar i silarna vara omfattande, främst under vårperioden och hösten. Under dessa perioder aktiveras bandsilarna mer frekvent och containrarna fylls snabbt av rensmassor.

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). 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. Vattentemperaturen i Biotestsjön är, vid normal energiproduktion vid kraftverket, 7–9 °C högre än i omgivande områden. Utsläppen av uppvärmt kylvatten ger effekter på den närliggande miljön och dess organismer, och övervakas och rapporteras kontinuerligt genom fastställt recipientkontrollprogram (Adill m.fl. 2022).

Föreliggande rapport ska användas som ett kunskapsunderlag till en större rapport hos Forsmark Kraftgrupp AB, för att utreda om kärnkraftverkens kylvattenintag och vattenkanaler är tillräckligt robusta för biomassorna i framtida organismsamhällen. I rapporten presenteras populationstrender och prognoser för bland annat storspigg och strömming, två fiskarter som tidigare år förekommit i stor

omfattning i silstationerna. Det ska även utredas om det förväntas stora fluktuationer i dessa bestånd under de kommande åren. Rapporten redovisar även risken för att nya arter i framtiden dyker upp i Forsmarks skärgård, och om det finns risk att främmande invasiva arter kan etablera sig i området som kan påverka kärnkraftverkets driftsäkerhet. Redovisningen av kunskapsläget har tidshorisonten tio år framåt, och innehåller även aktuella erfarenheter från andra kärnkraftverk med liknande kylningssystem.

1.2. Översikt Forsmarks kustområde

Forsmarks kärnkraftverk är beläget vid kusten i nordöstra Uppland, på Igelgrundet vid västra stranden av Öregrundsgrepen. Öregrundsgrepen utgör en vik av södra Bottenhavet och begränsas i väster och söder av fastlandet och i öster av Gräsö och Örskär (figur 1). I norr och nordväst övergår Öregrundsgrepen av öppna havet och i sydost smalnar Öregrundsgrepen av och övergår i en trång förbindelse till Ålandshav via ett skärgårdsområde. De östra delarna av Öregrundsgrepen domineras av en djupränna med djup uppemot 50 meter. Västra delarna, i området där kärnkraftverket är placerat, består främst av grundområden och skärgårdsöar. Hydrografin i havsområdet Öregrundsgrepen utgörs i stort av de förhållanden som råder generellt i södra Bottenhavet, med vattentemperaturer som varierar normalt från 0°C under vinterhalvåret till drygt 20°C på sommaren. I de inre och grundare delarna av skärgården kan det lokalt bli varmare. Salthalten i vattenområdena i Forsmarks skärgård har de senaste decennierna varierat med endast några tiondelar omkring 5 ‰.

1.3. Miljöövervakning och kontrollverksamhet i området

Etableringen av Forsmarks kärnkraftverk föregicks av omfattande förundersökningar och basundersökningar från slutet av 1960-talet fram till 1980, för att slutligen fastställa en lämplig plats för utformning av kylvattnets intags- och utsläppsanordningar (figur 1) (Ehlin m.fl. 2009). Syftena med undersökningarna var att samla kunskapsunderlag för såväl hydrografiska förhållanden som ekologiska variabler i närliggande kustområde samt lokalt i Öregrundsgrepen (Ehlin m.fl. 2009). Parallellt med undersökningarna bedrevs även flertalet forskningsprojekt, bland annat för att klarlägga miljökonsekvenserna av framtida varmvattenutsläpp och öka kunskaperna inom radioekologiska frågor (Mo m.fl. 1996). Resultaten av undersökningarna och forskningen kom sedan att användas

som underlag för att utvärdera effekterna på miljön och dess organismer när kärnkraftverket skulle tas i drift.



Figur 1. Översikt av Öregrundsgrepen i södra Bottenhavet och lägena för intagskanalen till kraftverket via Asphällafjärden, Biotestsjön och närrecipienten i Forsmarks skärgård.

När reaktor Forsmark 1 startade upp produktionen år 1980 och nyttjandet av kylvatten inleddes, övergick förstudierna och basundersökningarna till kontrollverksamhet. Kontrollundersökningarna, som numer är ett driftsvillkor för

Forsmark Kraftgrupp AB i gällande miljödöm, syftade till att utvärdera effekterna av kärnkraftverkets nyttjande av intag- och utsläpp av kylvatten. Tyngdpunkten i kontrollprogrammen var att utvärdera hur organismerna i närmiljön påverkas av de omfattande kylvattenintagen till kraftverket samt utsläpp av uppvärmt kylvatten till recipientområdet. Under årens lopp har undersökningarna inom recipientkontrollprogrammet främst fokuserat på dödlighet av fisk vid kylvattenintaget och effekter på fisk, bottenfauna och fågel i närrecipienten Biotestsjön och fjärrecipienten Öregrundsgrepen och Forsmarks skärgård (Adill m.fl. 2018; Adill m.fl. 2022).

Den undersökningsverksamhet och forskningsundersökningar som genomförts i kustområdena vid Forsmarks kärnkraftverk har genom åren genererat långa biologiska dataserier för flera delar av ekosystemen. Detta har gett upphov till omfattande ekologiska kunskaper för organismer i kustmiljön och en stor förståelse för olika mekanismer som påverkar deras utveckling (Huss m.fl. 2019; Adill m.fl. 2018). Genom undersökningsverksamheten har Forsmarks skärgård och omgivande kustområden blivit ett av landets mest studerade områden och skapat goda förutsättningar att följa utvecklingen av organismerna i miljön, både regionalt i Bottenhavet och lokalt i de kustnära ekosystemen.

Under de senaste decennierna har ett stort nationellt och internationellt fokus riktats för att förbättra miljön i Europas havsområden. År 2008 upprättade Europaparlamentet ett gemensamt ramdirektiv för EU:s medlemsländer för en gemensam marin strategi och havsmiljöpolitik (Europaparlamentets och rådets direktiv 2008/56/EG). Det fastställda havsmiljödirektivet ger en omfattande beskrivning av åtgärder inom miljöpolitiken och syftar till att uppnå och upprätthålla en god miljöstatus i havsområdena inom Europeiska unionen. Nationellt är Havs- och vattenmyndigheten ansvarig för havsmiljödirektivet, och ska genom svensk lagstiftning via havsmiljöförordningen se till att Sverige uppfyller direktivets åtagande. I havsmiljöförordningen finns ingående beskrivningar för vilka aktiviteter som ska genomföras för att följa havsmiljödirektivet, bland annat bedöma miljöstatus, definiera vad som kännetecknar en god havsmiljö, samt ta fram program för övervakning av och åtgärder i havsmiljön (Havsmiljöförordning 2010:1341). Vad gäller övervakningen av havsmiljön finns det numer 48 enskilda miljöövervakningsprogram, som i många fall täcker in behoven i havsmiljöförordningen (Havs- och vattenmyndigheten 2020). Övervakningsprogrammen syftar till att ge underlag för att bedöma och följa upp utvecklingen av miljöstatus, som exempelvis lekbiomassa av fisk, utveckling i kustfiskbestånd, introduktion av främmande arter i miljön, och tillståndet hos bottenfauna. Genom den omfattande miljöövervakningen som genomförs insamlas viktig data, med målsättning att ge information om rådande miljöstatus och hur tillståndet och utvecklingen ser ut för olika ekosystem i kust- och havsområdena.

Vid sammanställningen av denna rapport har kunskapsunderlaget för analyserna och prognoserna hämtats från data och rapporteringar inom de olika miljöövervakningsprogrammen. Det pågående biologiska recipientkontrollen vid Forsmarks kärnkraftverk är en stor källa till kunskap för olika organismsamhällen lokalt i Forsmarks skärgård. Undersökningarna inom programmet har genomförts med standardiserade metoder och har beskrivits ingående i årsrapporteringarna (Adill m.fl. 2022). I närrecipienten Biotestsjön och i omgivande skärgårdsområden i Forsmark har fisk- och bottenfaunasamhällena undersökts ingående sedan perioden när kärnkraftverket etablerades. De insamlade data från undersökningarna har genererat viktiga underlag för att kunna presentera prognoser och trender i denna rapport. Inom recipientkontrollprogrammet genomförs även fördjupade rapporter ungefär vart femte år, med syfte att göra mer grundliga analyser av effekterna på organismsamhällena av kraftverkets drift (Sandström 1985; Sandström 1990; Mo m.fl. 1996; Sandström m.fl. 2002; Karås m.fl. 2010; Adill m.fl. 2013; Adill m.fl. 2018). De fördjupade rapporterna inom recipientkontrollen har bidragit med viktig information och kunskap som presenterats i föreliggande rapport.

För presentationen av generella miljötrender i svenska havs- och kustområden samt utvecklingen för organismsamhällena i dessa områden, har data och rapporteringar inom de nationella miljöövervakningsprogrammen nyttjas för denna rapport. Inom havsmiljöövervakningens 48 enskilda program finns flertalet undersökningar som genererat tidsserier för olika parametrar, exempelvis utveckling av fiskbestånd, bottenfaunasamhällen och förekomster av främmande arter, som presenteras i denna rapport. De sammanställningar och rapporteringar som är kopplade till övervakningsprogrammen och som bland annat beskriver miljöstatusen för Sveriges havsområden har varit viktiga underlag vid rapportsammanställningen.

2. Utveckling av ekosystemen

2.1. Bottenhavet

Förekomsten av de olika akvatiska växt- och djurarterna vid svenska kusten bestäms främst av sammansättningen av salthalt, temperatur och näringshalten i vattnet (Ehlin m.fl. 2009). Organismerna som lever i Bottenhavet, där kustområdena för Öregrundsgrepen samt Forsmarks skärgård ingår, har till stor del utvecklats utifrån de hydrologiska förhållanden som förekommit under historien. För havsområdena i Bottenhavet har det generellt funnits en stor variation för olika arter utifrån preferenser av salthalt- och temperaturförhållanden (Olsson m.fl. 2014). Inslaget av marina arter, det vill säga arter som har tolerans för relativt höga salthalter, finns generellt i större andel i öppna havet och i djupare vatten (Koehler m.fl. 2022). I grundare områden längs kusten och i skärgårdsmiljö förekommer främst arter med låg tolerans av högre salthalt. Dessa limniska arter har även generellt bättre anpassningsförmåga till varmare vattentemperaturer jämfört med de marina arterna (Olsson m.fl. 2012; Ehlin m.fl. 2009).

Under de decennier som kärnkraftverket i Forsmark varit i drift har det skett tydliga förändringar i den omgivande havsmiljön. I de pågående nationella och regionala miljöövervakningsprogrammen har det dokumenterats resultat som visar på storskaliga miljöförändringar i Bottenhavet orsakade främst av mänskliga aktiviteter (Havs- och vattenmyndigheten 2018). De belastningar som anses påverka mest i svenska havsområden bedöms vara tillförsel av näringsämnen (kväve och fosfor), tillförsel av farliga ämnen, fysisk störning av botten och uttag av arter i våra hav. Trots att flertalet förvaltningsåtgärder har införts under åren kan det konstateras att miljömålen för exempelvis övergödning, kommersiellt nyttjande av fisk, samt spridning av främmande arter inte uppnåtts. De hydrologiska förhållandena som successivt har förändrats i Bottenhavet har haft en stor påverkan på ekosystemen i havsområdena. I Bottenhavet har de pågående miljöförändringarna generellt gynnat arter med preferenser för näringsrika förhållanden och varma vattentemperaturer (HELCOM 2018; HELCOM 2012).

2.2. Biotestsjön

När kärnkraftverket i Forsmark påbörjade produktionen 1980 och uppvärmt kylvatten började strömma genom närrecipienten Biotestsjön, innebar det stora förändringar i ekosystemen lokalt (Adill m.fl. 2013). Förenklat uttryckt gynnades opportunistiska arter, det vill säga arter som har förmåga att snabbt svara på nya och variabla miljösituationer, medan arter med snäva miljökrav minskade eller försvann (Sandström 1990). Resultaten i övervakningsprogrammen visade tydligt att flertalet växtarter, bottenlevande djur och fiskarter försvann från Biotestsjön kort tid efter produktionsstarten. Fiskarter som förekom naturligt i Forsmark skärgård under denna tidsperiod, exempelvis strömming, hornsimpa och lake, försvann helt från Biotestsjön. Även fastsittande- och bottenlevande djur påverkades kraftigt av de onaturliga höga vattentemperaturerna och stora förändringar skedde i bottenfaunans artsammansättning (Sandström 1990). Två vanligt förekommande musselarter i området, blåmussla och östersjömussla, var känsliga för de nya förhållandena och försvann permanent från Biotestsjön med tiden. Parallella förändringar upptäcktes även för undervattensvegetationen i Biotestsjön. Vissa arter minskade tydligt i omfattning i ett tidigt skede av kraftverkets drift. Till de arter som minskade hörde olika arter av nate och kransalger och de tidigare vanligt förekommande blåstången och hårsärv försvann helt (Sandström & Svensson 1990).

De nya förhållandena som uppkom i Biotestsjön i samband med när kraftverket togs i drift medförde samtidigt att vissa arter och djurgrupper gynnades. Arter som var genetiskt anpassade att tolerera en föränderlig miljö och höga vattentemperaturer ökade förekomsterna i Biotestsjön under de första driftåren. Under 1980-talet observerades bland annat ökade förekomster av de limniska arterna mört och abborre, framförallt av små och unga individer. Dessutom kunde det fastställas att många av fiskarterna i Biotestsjön kunde tillgodogöra sig det varma vattnet för snabb kroppstillväxt, så länge födotillgången var tillräcklig (Adill m.fl. 2013). För fastsittande och bottenlevande djur ökade tätheterna markant för de värmetåliga arterna såsom slammärlor, tusensnäckor och glattmaskar, och för vattenvegetationen observerades att grönalger, tarmtång och svartskinna blev allt vanligare (Sandström & Svensson 1990). Under åren av kontrollverksamhet har dessutom flertalet organismer som inte naturligt tillhör den svenska floran eller faunan upptäckts. Dessa främmande, ofta opportunistiska arter härstammar från andra delar av världen, har sannolikt förts in till Östersjön via fartygstrafik, som påväxt eller i barlastvattentankar, och har spridit sig till Biotestsjön via kylvattenvägarna. Främmande arter kan ha helt andra temperaturpreferenser jämfört med inhemska arter. Under det senaste decenniet har det bland annat konstaterats att trekantig brackvattensmussla (*Mytilopsis leucophaeata*) etablerat

sig, en art som påvisats kunna utgöra stor negativ inverkan vid kylvattenanläggningar och kärnkraftverk.

2.3. Öregrundsgrepen och Forsmarks skärgård

De undersökningar som genomfördes inom recipientkontrollprogrammen för Forsmarks kärnkraftverk från 1970-talet och framåt visade tydligt hur de storskaliga miljöförändringarna i Bottenhavet påverkade de lokala djursamhällena (Olsson m.fl. 2012). Inom fiskundersökningarna som genomfördes i Forsmarks innerskärgård kunde det påvisas tydliga skiften i artsammansättningen inom fisksamhällena under denna period (Adill m.fl. 2013). Förändringarna i artsammansättningarna hos fisk speglade de ändrade hydrologiska förhållandena och stämde väl överens med de miljöförändringar som generellt förekom. Under de inledande åren förekom relativt mycket strömming i Forsmarks skärgård och andelen sötvattensarter var låg. Från mitten av 1980-talet och fram till 2018 ökade den relativa förekomsten av sötvattensarter, till exempel arterna abborre, mört, björkna och gös (Adill m.fl. 2013). Strömmingen, som hade högsta tätheterna under 1980-talet, minskade i omfattning, framförallt stora individer (Bergström m.fl. 2007). Från år 2010 och framåt observerades dock ett större inslag av strömming, likt de nivåer som observerades under början av tidsserien (Adill m.fl. 2018).

Från slutet av 2010-talet och framåt ökade tätheterna av mört och björkna dramatiskt i Forsmarks skärgård (Adill m.fl. 2022). De största andelarna utgjordes främst av små och unga individer. De höga tätheterna orsakades med största sannolikhet av en spridningseffekt av fisk från Biotestsjön. Sedan år 2004, när fiskgallren avlägsnades från Biotestsjöns utlopp, kunde fisk röra sig fritt mellan Biotestsjön och omgivande skärgård. Biotestsjöns uppvärmda vatten har en stor dragningskraft för många fiskarter. Under vårperioden sker en stor invandring av till exempel abborre, mört, björkna och sarv till anläggningen för lek. De extremt höga tätheterna av fisk i Biotestsjön och de intensiva lekaktiviteterna som infaller under vårarna har resulterat till stor rekrytering av dessa arter. En stor andel av avkommorna för dessa sprider sig till omgivande områden och stärker därmed bestånden lokalt i Forsmarks skärgård (Adill m.fl. 2022). Dragningskraften till Biotestsjöns varma vatten har även observerats i utsläppsområdet utanför anläggningen. I flertalet studier av strömming som genomförts i Öregrundsgrepen under åren har det konstaterats att stora mängder strömming ansamlas i utsläppsområdet vid lek, och att lekaktiviteten hos strömming är större inom effektområdet med uppvärmt vatten än på platser som inte påverkas av en temperaturökning (Adill m.fl. 2014). Trots att det sker en anlockning av

strömningen till det varmare vattnet under våren har inga individer påträffats inne i Biotestsjön ännu.

De största andelarna fisk som fastnar i kylvattenintaget utgörs främst av småväxta fiskarter samt årsyngel, som generellt är sämre simmare jämfört med storvuxna och äldre individer. Resultaten i silstationsprovtagningarna ger sannolikt en representativ bild av artsammansättningarna för dessa småväxta arter i Öregrundsgrepen. Under de senaste decennierna har mängderna av storspigg och småspigg varit extremt stora och har ökat i omfattning under hela 2000-talet (Olin m.fl. 2022). Storspigg är en art som gynnats av de storskaliga miljöförändringarna i Östersjön, och de hydrologiska förhållanden som infunnit sig i Bottenhavet och Forsmarks skärgård. Arten har dokumenterats att ha en stor negativ inverkan på kustnära fiskarter som exempelvis abborre och gädda (Bergström m.fl. 2015). Trots att tätheterna av storspigg har ökat under de senaste åren går det dock inte utvisa några tydliga konsekvenser för andra fiskarter i Forsmarks innerskärgård.

De årsyngel som fastnar i silstationerna har främst utgjorts av storspigg, småspigg och strömning under höstperioderna (Adill m.fl. 2022). Tätheterna av strömmingsyngel i silstationerna har haft stora mellanårsvariationer och sannolikt styrts av rekryteringsframgången för arten i Öregrundsgrepen. Mängden strömmingsyngel är under de senaste åren en bråkdel av hur tätheterna var under vissa år i början av 1990-talet (Adill m.fl. 2020).

Utvecklingen i bottenfaunasamhällena i Öregrundsgrepen under perioden 1980-till 2000-talet visade också tecken på generellt ökande näringsbelastningar i Bottenhavet. I provtagningarna inom kontrollprogrammet visade att antal djur, arter och tätheter hos bottenfaunan hade ökande trender från att undersökningarna inleddes i slutet av 1970-talet och fram till mitten av 2000-talet (Adill m.fl. 2018). Utvecklingen av bottenfaunasamhället uppvisade liknande mönster i både utsläppsområdet utanför Biotestsjön, som påverkas av uppvärmt kylvatten, samt i opåverkade referensområden. Generellt sett minskade förekomsterna av inhemska arter av havsborstmaskar samt arter känsliga för temperaturhöjningar, och opportunistiska arter som gynnades av höga näringskoncentrationer ökade i förekomst (Olsson m.fl. 2013). Eftersom trenderna pekade åt samma riktning i områdena, kopplades resultat till att bottenfaunasamhällena till största del påverkats av de storskaliga miljöförändringarna och inte av kraftverkets kylvattenutsläpp. Under denna period av kontrollundersökningar påvisades även tydliga förändringar i bottenfaunasamhällena orsakade av uppkomst av nya arter. År 1997 upptäcktes den Nordamerikanska havsborstmasken *Marenzelleria* för första gången i Forsmarksområdet, en främmande art som påträffades i Östersjön för första gången på 1980-talet. *Marenzelleria* klassas som en invasiv art och inverkar kraftigt på bottenfaunasamhällena i Öregrundsgrepen kort tid efter den etablerat sig (Adill m.fl. 2018).

3. Ekologiska trender och prognoser

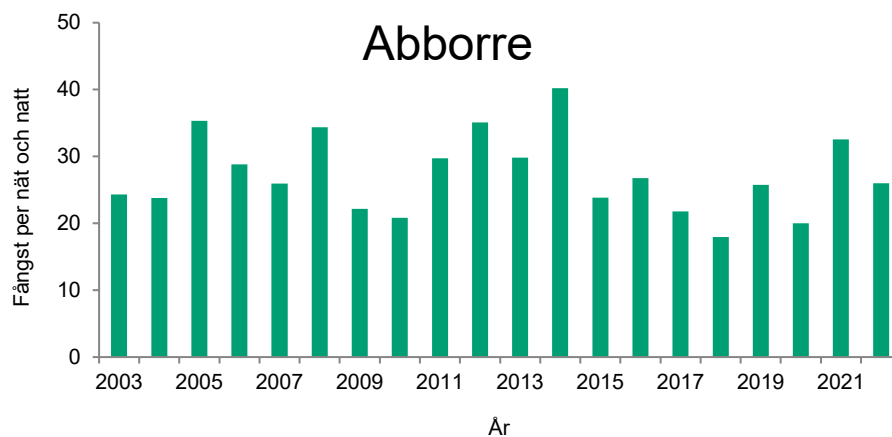
De betydande miljöförbättrande åtgärderna som genomförts i Sveriges under de senaste decennierna har haft målsättningar att bidra till att uppnå nationella fastställda miljö kvalitetsmål. Trots omfattande insatser för att minska miljöbelastningen pekar dock resultaten åt att flertalet miljö kvalitetsmål i våra havs- och kustområden inte uppnås (Havs- och vattenmyndigheten 2018). Det rapporteras att utsläppen av kväve, fosfor och farliga ämnen är fortsatt höga och bidrar därmed till eutrofiering och dålig vattenkvalitet. Den pågående kustnära exploateringen samt fisket på enskilda arter är stort och ger negativa konsekvenser i kustnära ekosystem och ekosystemen i våra havsområden (Havs- och vattenmyndigheten 2021). Generellt sett är återhämtningstiden i haven lång för genomförda insatser, särskilt för till exempel övergödning och utsläpp av farliga ämnen, och åtgärder gjorda under de senaste åren förväntas att långsamt ge resultat för förbättrad miljöstatus. För att påskynda effekterna av särskilda åtgärder för att nå miljö kvalitetsmålen behövs fler fysiska insatser och ökad genomförandetakt.

I den senaste fördjupade rapporten för programområdet ”Hav i balans samt levande kust och skärgård”, redovisas tillståndet i havsmiljön, och vilka åtgärder som krävs för att uppnå de uppsatta miljö kvalitetsmålen till 2030 (Havs- och vattenmyndigheten 2021). I rapporten fastställs att det inte går att göra någon entydig bedömning av utvecklingen i havsmiljön, och att det finns både positiva och negativa resultat utifrån miljö kvalitetsarbetet. I myndigheternas bedömning av måluppfyllelse och utveckling i havsmiljön till år 2030 framkommer att det inte går att se en tydlig riktning för utvecklingen i miljön. För många av miljö målen förväntas de positiva och negativa utvecklingsriktningarna ta ut varandra och det blir svårt att se tydliga förbättringar. Detta innebär bland annat att inom de tio kommande åren kan det inte förväntas att utsjön och kustnära områden uppnår målsättningen ”god miljöstatus”. En god vattenkvalitet är central för vattenlevande alger, växter och djur, men den långsamma miljöförbättringen som sker i våra havs- och kustområden förväntas inte på kort sikt påverka den ekologiska statusen i våra system och ge önskvärd positiv effekt i ekosystemen.

3.1. Organismsamhällena i Forsmarks skärgård

Eftersom den generella utvecklingen av de hydrologiska förhållandena i Östersjön tar lång tid att förändra och kustområden i stor utsträckning påverkas av det generella miljötillståndet, så kommer utveckling i Forsmarks skärgård inte avvika nämnvärt från regionala trender. Då utvecklingen av de kustnära fisksamhällena i stor utsträckning påverkas av klimatförändringarna (Olsson m fl 2012; Östman m fl 2017) kommer de sannolikt att ha liknande mönster som under de senaste decennierna. I Forsmarks skärgård kommer detta innebära att andelen varmvattenarter som trivs i relativt näringsrika vattenområden kommer att utgöra huvuddelen av fisksamhällena.

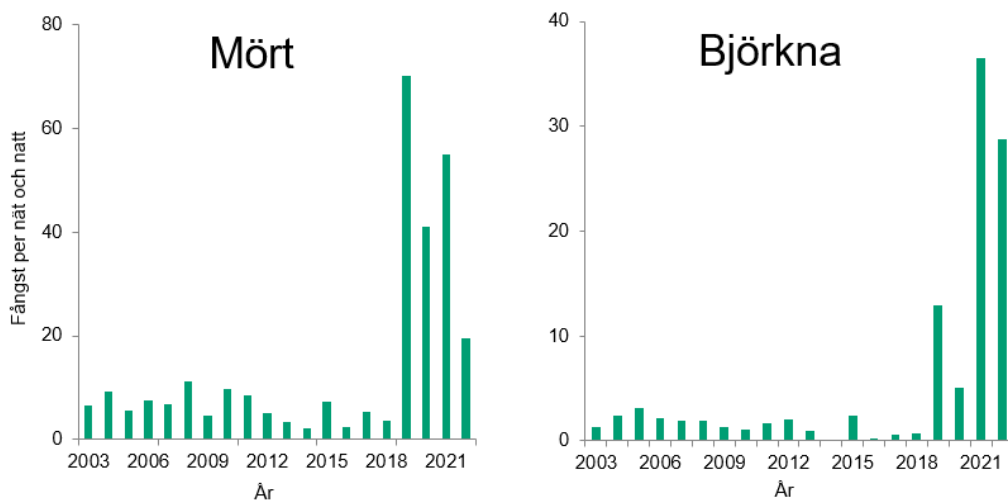
Sedan provfiskena inleddes under 1970-talet har abborre varit den mest förekommande arten i fångsterna. Det finns ingen tydlig trendutveckling för arten i Forsmarks skärgård och mellanårsskillnaderna är relativt stora (figur 2) (Adill m.fl. 2023). För abborren finns dock ett samband mellan gynnsamma temperaturförhållanden under våren-sommaren och rekryteringsframgången för arten. Under år då vattentemperaturerna har varit varma och förhållandena goda under våren och sommaren har abborrpopulationen påverkats positivt och tätheterna har ökat under de nästkommande åren (Adill m.fl. 2014). Under de kommande tio åren kommer tätheterna av abborre i Forsmarks skärgård sannolikt vara i liknande nivåer och det lokala abborrbeståndet förväntas inte uppvisa några större fluktuationer jämfört med tidigare år.



Figur 2. Fångstutvecklingen av abborre i provfiskena i Forsmarks skärgård under åren 2003-2022.

För andra vanligt förekommande varmvattenarter i Forsmarks skärgård, såsom mört, björkna och löja, kommer utvecklingen kommande tio år sannolikt att gå i samma riktning som under hela 2000-talet. Något som har noterats under de senaste årens undersökningar är att det förekommer en spridningseffekt av flera olika arter från Biotestsjön till omgivande Forsmarks skärgård (figur 3; Adill m.fl. 2022). Tätheterna av fisk i Biotestsjön under våarna har varit extremt höga de senaste åren

och stor invandring av abborre, mört och björkna förekommer tidigt under vårarna. De stora lekbiomassorna av varmvattenarterna i Biotestsjön har potential att stärka bestånden av dessa arter i hela Forsmarksområdet, som finns tecken för vid undersökningarna under hösten. Eftersom vattentemperaturerna i Biotestsjön kan stiga till dödliga nivåer under högsomrarna sker sannolikt ett flyende beteende hos fisken och stor andel av individerna lämnar anläggningen under juli och augusti. De vanligt förekommande varmvattenarterna i Forsmarks skärgård har historiskt påträffats i relativt små mängder i kärnkraftverkets silstationer och liknande mönster förväntas även kommande tioårsperiod. De största mängderna av mört, abborre, löja och björkna som sugts in i kylvattenintagen utgörs framförallt av unga individer på hösten och då i relativt låga biomassor, och bör därmed inte utgöra säkerhetsrisk för kraftverkets drift.



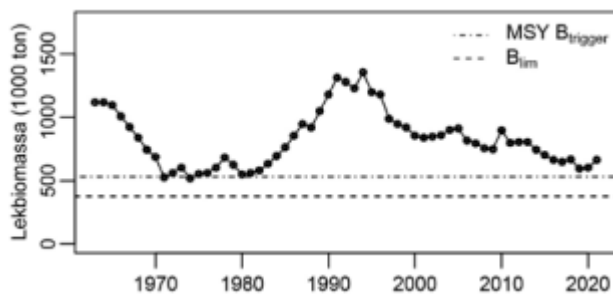
Figur 3. Fångstutvecklingen av mört och björkna i provfiskena i Forsmarks skärgård under åren 2003-2022.

En annan vanlig art i provfiskeundersökningarna i Forsmarks skärgård har varit strömming. Strömmingen har tilldragit sig stort intresse inom recipientkontrollprogrammen genom åren och många undersökningar har genomförts med avseende på arten (Ehlin m.fl. 2009). I samband med etableringen av kärnkraftverket i Forsmark fanns stor oro att arten skulle påverkas negativt av kylvattenintaget till kraftverket och varmvattenutsläppen i Öregrundsgrepen. När kärnkraftverket i Oskarshamn togs i drift under 1970-talet studerades strömmingens reaktion på uppvärmt kylvatten ingående, och resultaten i undersökningarna kunde sedan bekräftas vid liknande studier genomförda i Forsmarks skärgård under 1980-talet och senare. Det som har bekräftats i undersökningarna är att det sker en tydlig anlockning av strömming till varmvattenutsläppen, och specifikt under vårarna i samband med lekperioderna. När vattentemperaturerna når intervallet 6-9 °C är det optimala förhållanden för strömmingslek och då har de största ansamlingarna av

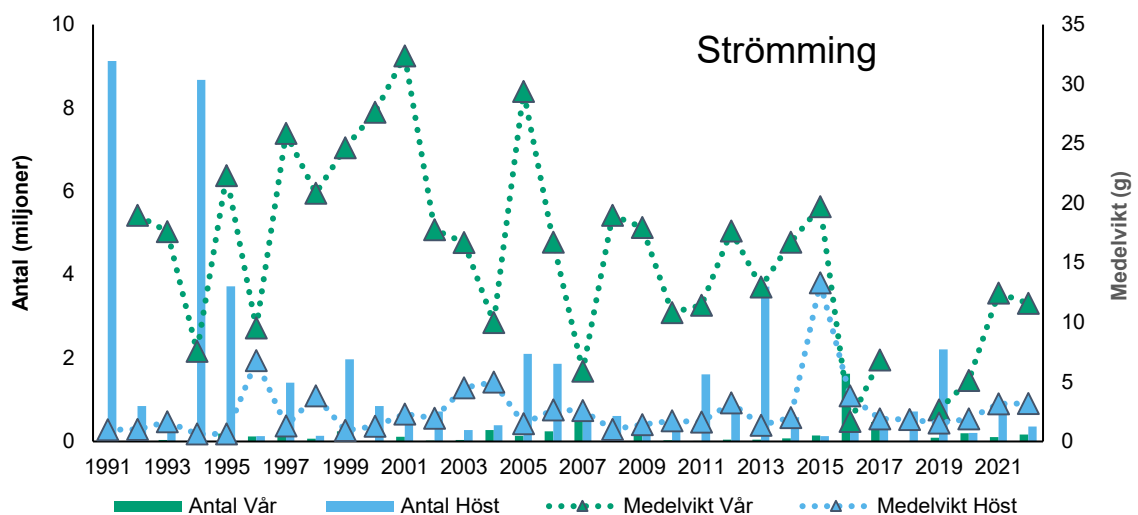
strömning noterats i utsläppsområdet från Biotestsjön (Ehlin m.fl. 2009; Adill m.fl. 2014). Under resterande kalenderåret förefaller ingen anlockning till utsläppsområdet, och det kustnära strömmingsbeståndet är relativt glest och fördelade över hela Forsmarks skärgård.

Förekomsten av strömning i Öregrundsgrepen och Forsmarks skärgård har visats vara starkt kopplade till det generella beståndet av strömning i hela Bottenhavet. Under sex år under perioden 1960- till 1990-talet genomfördes omfattande märkningsstudier med målsättning att utröna vandringsmönster för vårlekande strömning i Öregrundsgrepen (Bergström m.fl. 2007). I studierna fastställdes att strömning som uppehöll sig på lekplatser i Öregrundsgrepen genomförde långa vandringar över hela Bottenhavet när lekperioden var över. De slutliga resultaten visade att strömningen företog årliga vandringar till särskilda lekområden men tillbringade övrig tid på andra ställen i Bottenhavet, ett fenomen och beteende som benämns "homing".

Utvecklingen för förekomsterna av strömning i Bottenhavet har visat på en negativ trend sedan de höga tätheterna i början av 1990-talet (figur 4) (Havs- och vattenmyndigheten 2021). Denna trend har sannolikt påverkat tätheterna av strömning i Forsmarks skärgård under vårarna, med försämrad rekrytering av vårlekande strömning som resultat. Vid undersökningarna i kraftverkets kylvattenintag återkommer ett mönster att största andelen strömning som fastnar i silstationerna under vårarna är vuxna individer, och under höstarna främst årsyngel från strömningens lek under våren (figur 5). Omfattningarna av strömning i silstationerna har genom åren påvisat stora mellanårsvariationer och tätheterna av årsyngel har varit i låga nivåer jämfört med situationen under början av 1990-talet. Under de kommande tio åren finns det inga tecken för att beståndet i Bottenhavet kommer stärkas och tätheterna av strömning i Forsmarks skärgård kommer sannolikt att fortsatt vara i relativt låga nivåer. Under de senaste tre åren har dessutom yrkesfiskekvoterna för strömning ökat markant i Bottenhavet och detta kommer sannolikt att påverka bestånden negativt, så att strömmingsförekomsterna kan bli ännu lägre i Forsmarks skärgård under de kommande åren.



Figur 4. Lekbiomassa (tusen ton) för strömming i Bottniska viken (SD 30-31) under åren 1963-2021 (Källa: Havs- och vattenmyndighetens Fisk och skaldjursbestånd Resursöversikt 2021). $MSY B_{trigger}$ anger ett tröskelvärde för den biomassa som inte bör underskridas när fisket sker vid den nivå som ger maximal hållbar avkastning av ett bestånd. B_{lim} är den gräns för lekbeståndets storlek under vilken det är stor sannolikhet att beståndets förmåga att producera ungfisk minskar.



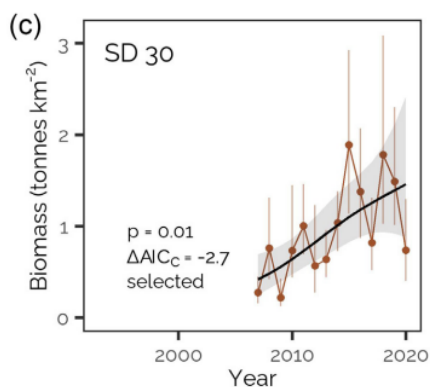
Figur 5. Förluster av strömming samt medelvikter i silstationerna i Forsmarks kärnkraftverk under vår- och höstperioderna under åren 1991-2022.

En fiskart som sannolikt kommer att gynnas av minskade tätheter av strömming och varmare vattentemperaturer i Bottenhavet är storspigg. Beståndsutvecklingen för storspigg har under de senaste decennierna varit på kraftig uppgång, både generellt i Bottenhavet och i kustnära områden (figur 6) (Olin m.fl. 2022). Storspiggen har ett liknande beteende som strömming och genomför vandringar mellan det öppna havet och till lekområdena längs kusterna. I silstationerna i Forsmarks kärnkraftverk har det varit möjligt att följa beståndsutvecklingen för storspiggen i kontrollundersökningarna sedan början av 1990-talet. Under lekperioderna på våarna har stora mängder vuxna individer fastnat i bandsilarna vid kylvattenintagen, en utveckling som accelererat under den senaste tioårsperioden (figur 7). Det finns inga tydliga mönster när tidpunkten för lekperioden infaller under våarna, och mängden storspigg är som störst, utan det styrs mycket av vattentemperaturer och andra hydrologiska förhållanden. Inom de standardiserade provtagningarna som genomförs i det gemensamma

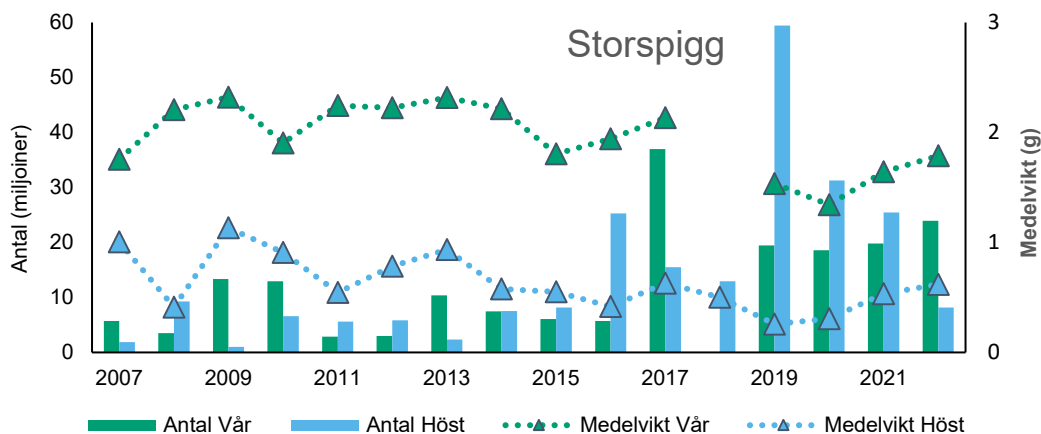
kylvattenintaget för F1 och F2 från slutet av april till mitten av juni varje år, kan det förekomma stora mängder storspigg under hela vårperioden. Sambandet mellan förekomsten av vuxen storspigg under vårperioderna och tätheterna av storspigg i silstationen på hösten är tydligt. Under höstperioderna är antalet storspigg generellt större jämfört med vårperioden, men då utgörs det främst av avkommorna från vårens lek och biomassorna är relativt låga.

Den ökande trenden i beståndsutvecklingen för storspigg förväntas inte avta de kommande åren. De hydrologiska och ekologiska förhållandena som råder i Bottenhavet gynnar arten och storspiggen kommer sannolikt att fortsätta att öka i omfattning. Det storskaliga yrkesfisket av strömming i Bottenhavet kan dessutom förbättra förhållandena för storspiggen, eftersom predation och konkurrens av strömmingen sannolikt kommer att minska kommande period. Under de kommande tio åren antas därför att storspiggsbestånden kommer att förekomma i samma tätheter eller öka i Bottenhavet enligt rådande förhållanden, och mängderna storspigg som fastnar i silstationerna fortsatt kommer att vara omfattande. Beroende på när lekperioderna infaller under kommande år kommer det förekomma variationer för när tätheterna av storspigg är som störst i Öregrundsgrepen, och därmed fastställa när mängderna storspigg är som störst i silstationerna.

Något som dock skulle kunna påverka prognosen för storspigg är om de kommersiella fiskena för strömming och storspigg ändras inom de närmsta åren. För tillfället pågår en intensiv debatt angående de yrkesmässiga kvoterna för strömming, som från många håll anses vara alltför stora i Östersjön och Bottenhavet. Därtill finns planer om att påbörja fiske av storspigg kommersiellt inom en tioårsperiod, och nyttja arten som en resurs. Om det skulle ske ett förändrat fiske efter dessa arter inom relativt kort tid skulle sannolikt bestånden förändras väsentligt inom en tioårsperiod, och tätheterna av storspigg försvagas och tätheterna minska kraftigt i både Bottenhavet och i kustnära områden vid Forsmark.



Figur 6. Biomassa (per km²) av storspigg vid trålningsundersökningar i Bottenhavet inom ICES Baltic International Acoustic Survey genomförda under september-oktober. Felstaplarna anger 95 % konfidensintervall och det grå området avser GAM (generaliserade additiva modeller) prediktioner.



Figur 7. Förluster samt medelvikter av storspigg i silstationerna i Forsmarks kärnkraftverk under vår- och höstperioderna under perioden 2007-2022.

3.2. Främmande arter

I den senaste uppföljningen av Sveriges miljö kvalitetsmål inom ”Hav i balans samt levande kust och skärgård” fastställdes att god miljöstatus inte kunde uppfyllas för det preciserade målet för främmande arter (Havs- och vattenmyndigheten 2021). Under kommande tioårsperiod förväntas en fortsatt negativ utveckling för introduktionen av främmande arter och att miljö kvalitetsmålet inte kommer att nås till år 2030. Antalet främmande arter som introducerats i svenska vatten har under de senaste decennierna ökat markant (Havs- och vattenmyndigheten 2018). Bara under 2000-talet påträffades över 40 olika främmande arter varav många var av typen invasiva, det vill säga arter som hotar eller har en direkt negativ inverkan på inhemska arter och ekosystem. I beträffande kustområdet omkring Forsmarks kärnkraftverk och i recipientområdet för kylvatten har flertalet främmande arter upptäckts de senaste åren, varav många anses utgöra en stor påverkan och ekonomisk skada för kylvattenanläggningar likt Forsmark kärnkraftverk. Kärnkraftsanläggningar med kylvattensystem anses generellt utgöra så kallade ”hotspots” för främmande arter, som i dessa miljöer snabbt kan etablera sig och slå ut inhemska arter.

De arter som särskilt anses utgöra påverkan och negativ ekonomisk inverkan vid kärnkraftverk är ofta olika typer av musslor andra fastsittande filterare, som kan etablera stora kolonier och påverka rörledningar och tunnlar i kylvattensystemen. Det har tidigare observerats att enorma mängder musslor och havstulpaner koloniserar kylvattenvägarna i Forsmark och kan effektivt filtrera plankton i stora mängder (Adill m.fl. 2013). En invasiv främmande musselart som relativt nyligen observerades i Forsmarks recipient är trekantig brackvattensmussla (*Mytilopsis*

leucophaeata), som påträffades i Biotestsjön för första gången år 2011 och som sedan dess har ökat i förekomst. Trekantig brackvattenmussla har på flera håll i USA och i Västeuropa vållat problem genom massförökning i anslutning till utlopp av spill- och kylvatten (Florin m.fl. 2013). Troligen ger det varma vattnet goda möjligheter för arten att övervintra och fortplanta sig. I Forsmarksområdet finns de största tätheterna i Biotestsjön där de kan föröka sig och sprida sina avkommor till övriga Forsmarksområdet.

En annan främmande invasiv musselart som hittats i Forsmarks närområde är den amerikanska trågmusslan (*Rangia cuneata*), som år 2022 noterades i Kallrigafjärden inom det nationella övervakningsprogrammet för främmande arter i havsmiljön. Den amerikanska trågmusslan har ännu inte påträffats inom kontrollundersökningarna i recipientområdet men kommer sannolikt att etablera sig i recipientområdet inom relativt kort tid. Ytterligare en invasiv främmande musselart som finns i närområdet och som inte upptäckts inom kontrollprogrammet är vandrarmusslan (*Dreissena polymorpha*). Gemensamt för amerikansk trågmussla och vandrarmussla är att de på längre sikt kan utgöra påverkan på kylvattenanläggningar och bilda massförekomst och sätta igen vattenledningar och kylvattensystem (Grandin m.fl. 2007).



Figur 8. Fotografier av trekantig brackvattenmussla (*Mytilopsis leucophaeata*) (uppe till vänster), vandrarmusslan (*Dreissena polymorpha*) (nere till vänster) och amerikanska trågmusslan (*Rangia cuneata*) (till höger).

Främmande arter i Sveriges havsområden förekommer i samtliga organismgrupper och upptäcks kontinuerligt inom övervakningsprogrammen. En potentiell risk för Forsmarks kärnkraftverk vore om främmande arter av maneter skulle etablera sig i Bottenhavet. Djurgruppen maneter har tidigare rapporterats utgöra betydande störningar vid kärnkraftsanläggningar globalt och nationellt. När ansamlingar av maneter blir stora finns risker att kylvattenvägarna påverkas, likt snabbstoppet i reaktor 3 i Oskarshamns kärnkraftverk september månad år 2013 när stora biomassor öronmaneter fastnat i kylvattenrören till kärnkraftverkets turbiner (Andersson 2014). I breddgrader för Forsmark kärnkraftverk förekommer inhemska arter av maneter i låga tätheter och utgör därmed inga väsentliga säkerhetsrisker för kärnkraftverket. Övervakningen av maneter är dock begränsad i Sverige och förekommer endast i liten omfattning inom till exempel trålningsexpeditioner inom ramen för *Baltic International Trawl Survey* (BITS) och *Baltic International Acoustic Survey* (BIAS). Inom BIAS för norra Östersjön (SD 29N) finns en tendens att tätheterna av öronmanet har ökat sedan 2010 men det är för tidigt för att dra slutsats om tätheterna kommer öka längre norrut på grund av de låga salthalterna. Skulle tätheterna av öronmanet öka i Bottenhavet eller om främmande art av manet etablerar sig i området skulle förutsättningarna ändras och det behövs ta med i beräkningarna att störningar i kylvattenvägarna kan störas.

Vad gäller främmande arter av fisk har en del fynd noterats i Forsmarks närområde. Den mest aktuella fiskarten som relativt nyligen (under tidigt 1990-tal) etablerats i Östersjön är svartmunnad smörbult (*Neogobius melanostomus*) (Sapota, M.R. 2004). Svartmunnad smörbult kan utgöra en hög risk negativa effekter på ekosystemet (Behrens m.fl. 2022). Den utgör ett hot mot biologisk mångfald genom att den kan konkurrera ut andra arter med liknande livsmiljöer men också genom att den äter rom och yngel och kan beta ned musselbankar. Svartmunnad smörbult har ännu inte påträffats i Forsmarksområdet men förväntas att dyka upp i kontrollundersökningarna inom de närmsta åren. Svartmunnad smörbult kommer sannolikt att förekomma i relativt låga tätheter under sin etableringsfas och därmed inte utgöra säkerhetsrisker för kärnkraftens drift eller påverka kylvattenvägarna nämnvärt under de kommande tio åren (ICES 2022).

4. Förändrade driftförhållanden i kraftverket

Under de senaste decennierna har omfattande moderniseringar och livstidsförlängande åtgärder genomförts i Forsmarks kärnkraftverk, vilket bland annat resulterat i effekthöjningar i anläggningen och ökade kylvattenflöden. Det har även genomförts betydande förändringar i utformningen av kylvattenvägarna, kanske mest påtagligt i samband med att fiskgallren avlägsnades i Biotestsjöns utlopp år 2004. Samtliga effekthöjande åtgärder som genomförts i kraftverket har genererat tydliga effekter på de lokala organismsamhällena. De senaste årens höjning av kylvattenflödena i kraftverket har sannolikt bidragit till de tidvis mycket omfattande mängderna storspigg i silstationerna under vårarna (Adill m.fl. 2018). Det finns tydliga samband mellan att fiskförlusterna ökar i silstationerna och höjning av kylvattenflödena, framförallt för storspigg (Bryhn m.fl. 2013). Vad gäller utvecklingen av förlusterna av storspigg i silstationerna är det sannolikt ett resultat av både en generell beståndsökning i Bottenhavet samt ökade kylvattenflöden i kraftverket.

Även filtrerande organismer gynnas av höjda kylvattenflöden, och förändringar i kylvattenflödena skulle kunna få effekten att främmande invasiva arter så som musselarter gynnas och öka risken för etablering i området. De höjda flödena påverkar även mängden vegetation och alger som suges in i kylvattenintagen. Det finns inga standardiserade provtagningar för vegetation och alger vid silstationen, men det förefaller att omfattningarna av dessa tenderat att öka under de senaste åren, framförallt vid tidpunkter då väderförhållandena ger kraftiga pålandsvindar (Adill pers. kommentar).

För tillfället pågår flertalet projekt vid Forsmarks kärnkraftverk som på något vis kommer att påverka närmiljön och organismsamhällena. Bland annat ska den yttre delen av piren vid Biotestsjöns utlopp avlägsnas, en elektrobränslefabrik ska etableras i närområdet, och det projekteras för en solenergi-park inom skyddsobjektet. För att upprätthålla tillräcklig beredskap och kontroll av kylvattenintag och vattenkanaler kommer det att bli väsentligt för Forsmark Kraftgrupp AB att även förutspå vad ingreppen i närmiljön, förändringarna i utformningen av kylvattenvägarna samt ändrade driftförhållanden kommer att få för konsekvenser i organismsamhällena i Forsmarksområdet. För att utreda om Forsmarks kylvattenintag och vattenkanaler är tillräckligt robusta i framtiden bör

det även vägas in vilka effekter olika projekt får för omgivande miljö och dess organismer.

Referenser

- Adill, A., Bergman, I., Eiler, S., Holliland, P. B., Åkerlund, C. (2023). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk, Årsrapport för 2022. Aqua reports 2023:xx. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund Drottningholm Lysekil.
- Adill, A., Holliland, P. B., Åkerlund, C. (2022). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk, Årsrapport för 2021. Aqua reports 2022:10. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser, Öregrund Drottningholm Lysekil. 51 s.
- 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., 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., Heimbrand, Y., Sevastik, S. (2014). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Årsrapport för 2013. Aqua reports 2014:5. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 42 s.
- Adill, A., Heimbrand, Y., Kaljuste, O. (2014). Effekthöjningsprogrammet vid Forsmarks kärnkraftverk - Sammanfattande rapport från de tre första årens undersökningar. Aqua reports 2014:13. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 56 s.
- Adill, A., 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.
- Andersson, J., Franzén F., Lingman A. och S. Tärnlund. (2014). Biologisk recipientkontroll vid Oskarshamns kärnkraftverk. Årsrapport för 2013. Aqua reports 2014:4. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. 80 s.
- Behrens, J.W., Ryberg, M.P., Einberg, H., Eschbaum, R., Florin, A.-B., Grygiel, W., Herrmann, J.P., Huwer, B., Hüseyin, K., Knospina, E., Nöomaa, K., Oosterwind, D., Polte, P., Smoliński, S., Ustups, D., van Deurs, M., Ojaveer, H., 2022. Seasonal depth distribution and thermal experience of the non-indigenous round goby *Neogobius melanostomus* in the Baltic Sea: implications to key trophic relations. *Biol. Invasions* 24, 527–541. <https://doi.org/10.1007/s10530-021-02662-w>.
- Bergström, U., Olsson, J., Casini, M., Eriksson, B. K., Fredriksson, R., Wennhage, H., and Appelberg, M. 2015. Stickleback increase in the Baltic

- Sea – a thorny issue for coastal predatory fish. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 163: 134–142.
- Bergström, L., Karås, P., Modin, J. 2007. Biologiska förändringar hos strömming i Öregrundsgrepen, SV Bottenhavet. Finfo 2007. 29 s.
- Ehlin, U., Lindahl S., Neuman E., Sandström O. & J. Svensson, 2009. Miljöeffekter av stora kylvattenutsläpp. Erfarenheter från de svenska kärnkraftverken. Elforsk rapport 09:79. Fisher, R. A. (1925). *Statistical Methods for Research Workers*. Edinburgh, UK: Oliver and Boyd, s. 43.
- Florin, A-B., Mo, K., Svensson, F., Schagerström, E., Kautsky, L. and Bergström, L. 2013. First records of Conrad's false mussel, *Mytilopsis leucophaeata* in the southern Bothnian Sea, Sweden, near a nuclear power plant. *BioInvasions Records* (2013) Volume 2, Issue 4.
- Grandin, U. och Larson, D. 2007. Riskanalys och metodik för övervakning av vandarmussla (*Dreissena polymorpha*): Rapportering av uppdrag 216 0634 från Naturvårdsverket.
- Havs- och vattenmyndighetens Fisk och skaldjursbestånd Resursöversikt 2021.
- Havs- och vattenmyndighetens rapport 2021:20. Marin strategi för Nordsjön och Östersjön Åtgärdsprogram för havsmiljön 2022-2027 enligt havsmiljöförordningen.
- Havs- och vattenmyndighetens rapport 2020:26. Marin strategi för Nordsjön och Östersjön – Övervakningsprogram 2021-2026.
- Havs- och vattenmyndighetens rapport 2018:27. Marin strategi för Nordsjön och Östersjön 2018-2023, bedömning av miljötillstånd och socioekonomisk analys.
- HELCOM (2018): State of the Baltic Sea – Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. *Baltic Sea Environment Proceedings* 155.
- HELCOM, 2012. Indicator based assessment of coastal fish community status in the Baltic Sea 2005-2009. *Balt. Sea Environ. Proc. No. 131*
- Huss, M. Lindmark, M., Jacobson, P., van Dorst, R. and Gårdmark, A. 2019. Experimental evidence of gradual size-dependent shifts in body size and growth of fish in response to warming. *Global change Biology*, Volume 25, Issue 7, Pages 2285-2295
- ICES. 2022. Workshop on Stickleback and Round Goby in the Baltic Sea (WKSTARGATE). *ICES Scientific Reports*. 4:77. 56 pp. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.21345291>
- Koehler, B., Erlandsson, M., Karlsson, M. and Bergström, L. 2022. Species richness and functional attributes of fish assemblages across a large-scale salinity gradient in shallow coastal areas. *Biogeosciences*, 19, 2295–2312
- Mo, K., Karås P., Neuman E., Sandström O. & H. Svedäng. 1996. Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk 1980–1995. Fiskeriverket, Kustrapport 1996:6.
- Olin, A., Olsson, J., Eklöf, J., Klemens Eriksson, B., Kaljuste, O., Briekmane, L., Bergström, U. 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, 0, 1–16.
- Olsson J, Bergström L, Gårdmark A (2013) Top-Down Regulation, Climate and Multi-Decadal Changes in Coastal Zoobenthos Communities in Two Baltic Sea Areas. *PLoS ONE* 8(5): e64767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064767>

- Olsson, J., Bergström, L., and Gårdmark, A. 2012. Abiotic drivers of coastal fish community change during four decades in the Baltic Sea – ICES Journal of Marine Science, 69: 961–970.
- Sandström, O. 1990. Vattenmiljön vid Forsmarks kraftstation. Naturvårdsverket, Rapport 3867. 42s.
- Sandström, O. & B. Svensson, 1990. Kylvattnets biologiska effekter, Forskning i Biotestsjön, Forsmark, 1984-1988.
- Sapota, M.R. The Round Goby (*Neogobius Melanostomus*) in the Gulf of Gdańsk - A Species Introduction into the Baltic Sea. *Hydrobiologia* **2004**, 514, 219–224, doi:10.1023/B:hydr.0000018221.28439.ae.
- Östman, Ö., Lingman, A., Bergström, L. and Olsson, J. 2017. Temporal development and spatial scale of coastalfish indicators in reference ecosystems: hydroclimateand anthropogenic drivers. *Journal of Applied Ecology*, Volume 54, Issue 2, Pages345-679