



Aqua reports 2014:13

Effekthöjningsprogrammet vid Forsmarks kärnkraftverk

Sammanfattande rapport från de
tre första årens undersökningar

Anders Adill, Yvette Heimbrand, Olavi Kaljuste



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för akvatiska resurser

Effekthöjningsprogrammet vid Forsmarks kärnkraftverk
Sammanfattande rapport från de tre första årens undersökningar

Anders Adill, Yvette Heimbrand, Olavi Kaljuste

Adress

SLU, Institutionen för akvatiska resurser,
Kustlaboratoriet, Skolgatan 6, 742 42 Öregrund

December 2014

SLU, Institutionen för akvatiska resurser

Aqua reports 2014:13

ISBN: 978-91-576-9268-9 (elektronisk version)

Ansvarig utgivare:

Magnus Appelberg

Vid citering uppge:

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.

Rapporten kan laddas ned från

<http://www.slu.se/aquareports>

<http://epsilon.slu.se/>

E-post

Anders.adill@slu.se

Rapportens innehåll har granskats av:

Lena Bergström, SLU, Institutionen för akvatiska resurser, Kustlaboratoriet

Andreas Bryhn, SLU, Institutionen för akvatiska resurser, Kustlaboratoriet

Finansiär:

Forsmarks Kraftgrupp AB

Omslagsfoton

Framsida & baksida: Fredrik Landfors

Sammanfattning

Miljödomstolens deldom 2008-08-21 i målen M 1666-07/M 5786-07 lämnade Forsmark Kraftgrupp AB (FKA) tillstånd att enligt miljöbalken höja den termiska effekten vid kärnkraftverket från 9156 MW till 10281 MW. När effekthöjningen är slutförd beräknas kylvattenflödet ha ökat med cirka 20 procent till 170 kubikmeter per sekund för samtliga tre anläggningar och utsläppstemperaturen i Biotestsjön förväntas ha höjts från 10,3°C till 11,0°C. I samband med effekthöjningarna i kärnkraftverket förväntas den fysiska vattenmiljön och dess organismer påverkas främst genom ökat kylvattenflöde och därmed ytterligare höjda vattentemperaturer i närrecipienten. Enligt prøvotidsförordnanden i domen ska det avgöras vilken betydelse den ökade vattenbortledningen av kylvatten och den ökade värmeförlusten till havet kan få för det allmänna fiskeintresset. FKA ska i samråd med Fiskeriverket (numera SLU, institutionen för akvatiska resurser), som är tillförordnad sakkunnig i utredningen, undersöka påverkan på fisket av den ökade vattenbortledningen och den ökade värmeförlusten enligt program (effekthöjningsprogrammet) som Fiskeriverket och FKA kom överens om. Resultatet av utförda undersökningar och utredningar med förslag till slutligt avgörande av frågorna ska redovisas till miljödomstolen senast fem år från det att effekthöjningarna tagits i drift.

Denna rapport redovisar resultaten och kunskapsunderlaget från undersökningarna inom den första delen av effekthöjningsprogrammet under åren 2009-2014 samt ger en generell beskrivning av utvecklingen för delar av fisksamhället i Forsmarksområdet. Delmoment inom effekthöjningsprogrammet som avser effekter av ökat vattenflöde består av studier för fiskrekrytering av varmvattenarter i intagsområdet för kylvatten, fiskförluster i silstationerna på kraftverket samt effekter på uttransport av yngel från Biotestsjön. Moment som avser effekterna av ökad vattentemperatur i recipienten är ålders- och tillväxtstudier hos abborre, förekomst och överlevnad av sikyngel i plymområdet, samt anlockning av strömming och romöverlevnad i utsläppsområdet. Den första delen av undersökningarna genomförs innan det ökade energiuttaget inletts på kraftverket. När kärnkraftverket färdigställt utbyggnaden och produktionen uppnått den nya effektnivån ska undersökningarna inom effekthöjningsprogrammet upprepas under tre år. I slutrapporteringen av effekthöjningsprogrammet ska resultaten av utförda undersökningar och utredningar presenteras till miljödomstolen med slutligt utlåtande om effekterna för det allmänna fiskeintresset av den ökade vattenbortledningen av kylvatten och ökade värmeförlusten till havet.

Resultaten från första delen av effekthöjningsprogrammet visar att tätheterna av abborre, gädda och mört är mycket låga i intagsområdet i Asphällafjärden. Förlusterna av fisk i silstationerna i kärnkraftverket är omfattande. De största mängderna fastnar under våarna och senhöstarna, vilket sammanfaller med när den ordinarie provtagningen inom baskontrollprogrammet äger rum. Storspigg i provtagningarna utgör nästan 80 procent av rensmassorna till antalet.

Tillväxten hos abborre under första levnadsåret är snabb för individer i Biotestsjön jämfört med abborrar i Forsmarks skärgård och Finbofjärden. I Forsmarksområdet har tillväxten hos årsyngel av abborre ökat sedan mitten av 1990-talet och har uppnått likadana tillväxthastigheter som hos abborrar från Biotestsjön. Denna utveckling finns inte hos abborrar i referensområdet Finbofjärden på Åland.

I utsläppsområdet från Biotestsjön finns det en påvisad anlockning av strömning under vårperioden i samband med lek. Lekaktiviteten hos strömning är större inom effektområdet med uppvärmt vatten än på platser som inte påverkas av en temperaturökning.

Förekomsten av sikyngel i utsläppsområdet är extremt låg, vilket sannolikt är en följd av den generella utvecklingen för arten i Bottenhavet.

För att slutrapporteringen till miljödomstolen med slutligt avgörande i frågorna ska vara av erforderlig kvalitet är det nödvändigt att kompletterande studier genomförs för att få tillräckligt med underlag. För att utröna den geografiska omfattningen av effekter av kylvattenutsläppet på strömning är det nödvändigt att utöver de redan planerade ekointegreringarna i kylvattenplymen komplettera med undersökningar i hela Öregrundsgrepen. Larv- och yngelundersökningar borde genomföras vid kylvattenintagen till kraftverket för att uppskatta förlusterna av fisk i dessa livsstadier. Dessutom bör det undersökas hur omfattande lekaktiviteten är för abborre och gädda i Asphällafjärden.

Innehållsförteckning

1	Inledning	5
1.1	Syfte och innehåll	5
1.2	Bakgrund	6
2	Metodik	10
2.1	Effekter av ökat vattenflöde	10
2.1.1	Fiskrekrytering i Asphällafjärden	10
2.1.2	Fiskförluster i silstationer	11
2.1.3	Rekrytering av abborre i Biotestsjön	12
2.2	Effekter av ökad temperatur	13
2.2.1	Ålder och tillväxt hos abborre	13
2.2.2	Strömming – ekointegrering och artificiella substrat	13
2.2.3	Rekrytering sik	18
3	Resultat	22
3.1	Effekter av ökat vattenflöde	22
3.1.1	Fiskrekrytering – Asphällafjärden	22
3.1.2	Fiskförluster i silstationer	25
3.1.3	Rekrytering abborre	35
3.2	Effekter av ökad temperatur	37
3.2.1	Ålder och tillväxt hos abborre	37
3.2.2	Strömming – ekointegrering och artificiella substrat	39
3.2.3	Rekrytering sik	44
4	Diskussion	46
4.1	Utvecklingen av fisksamhället i Forsmarksområdet	46
4.2	Effekter av ökat vattenflöde och höjda temperaturer	47
4.3	Fiskrekrytering – Asphällafjärden	48
4.4	Fiskförluster i silstationer	49
4.5	Rekrytering abborre	50
4.6	Strömming	52
4.7	Rekrytering sik	53
5	Referenslista	55

1 Inledning

1.1 Syfte och innehåll

Denna rapport redovisar och utvärderar resultat från undersökningar genomförda inom effekthöjningsprogrammet under åren 2009-2014, perioden före den tidpunkt då Forsmark Kraftgrupp AB (FKA) påbörjat planerade produktionsökningar i kärnkraftverket. Rapporten sammanfattar och beskriver delar av fiskfaunan i området samt trender för fisksamhällena i vattenrecipienten utanför Forsmarks kraftstation och kommer att utgöra en grund inför uppföljande undersökningar och slutligen till det avslutande utlåtande till miljödomstolen i prøvotidsförordnanden. Resultaten från undersökningarna jämförs även med tidigare studier genomförda inom det biologiska recipientkontrollprogrammet i Forsmark, samt riktade undersökningar som genomförts i Forsmarksområdet, finansierade av FKA.

Syftet med studierna är att under ett prøvotidsförordnande undersöka vilken betydelse den ökade bortledningen av kylvatten och den ökade värmeförseln till havet kan få för det allmänna fiskeintresset. Det allmänna fiskeintresset avser att fisk är en rörlig resurs som det finns ett stort allmänintresse av att kunna fånga och konsumera. För att undersöka påverkan på fisket av den ökade vattenbortledningen och den ökade värmeförseln har FKA i samråd med Fiskeriverket tagit fram ett program, det så kallade effekthöjningsprogrammet. Resultaten av utförda undersökningar och utredningar inom effekthöjningsprogrammet med slutligt avgörande av frågan kommer att presenteras till miljödomstolen senast fem år från det att effekthöjningarna tagits i drift. Dåvarande Fiskeriverket förordnades sakkunnig inför avgörandet av frågan och att genomföra erforderlig utredning, särskilt med avseende på kylvattenbortledningens effekter på fiskfaunan. Eftersom Fiskeriverket upphörde som myndighet 2011-06-31 övergick sakförkunnandet till Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och den nybildade institutionen för akvatiska resurser, som handhade verksamheten inom effekthöjningsprogrammet.

Föreliggande rapport är den första sammanställningen inom effekthöjningsprogrammet och beskriver fisksamhällena i Forsmarksområdet och uppnådda resultat

inom delmomenten under en period innan effekthöjningen på kärnkraftverket påbörjats. Rapporten skall även fungera som en metodikbeskrivning för effekthöjningsprogrammet och ska kunna användas vid genomförande av den avslutande perioden i undersökningarna efter att effekthöjningarna har genomförts.

Den andra och slutgiltiga utredningen inom effekthöjningsprogrammet kommer att presenteras efter att effekthöjningarna i samtliga reaktorer har tagits i drift, och alla delmomenten inom undersökningsprogrammet genomförts i ytterligare en period av tre år. Resultaten av utförda undersökningar och utredningar ska redovisas till miljödomstolen tillsammans med ett slutligt avgörande i frågan senast fem år från det att effekthöjningarna har tagits i drift.

1.2 Bakgrund

Miljödomstolens deldom 2008-08-21 i målen M 1666-07/M 5786-07 lämnade Forsmark Kraftgrupp AB (FKA) tillstånd att enligt miljöbalken inom fastigheten Östhammar Forsmark 6.5 bedriva verksamhet vid Forsmarks kärnkraftverk vid en termisk effekt i reaktor F1 och F2 om vardera 3253 MW och i reaktor F3 om 3775 MW. Sammanlagt medgavs den termiska effekten höjas på kärnkraftverket från nivåer om 9156 MW till 10281 MW vid total utbyggnad. Det ökade energiuttaget i kärnkraftverket kommer bland annat medföra att behovet av kylvatten till kraftverket kommer att öka. Detta förväntas påverka den fysiska vattenmiljön och dess organismer främst genom ökat kylvattenflöde genom kärnkraftverket samt förhöjd temperatur i närrecipienten.

Effekterna av intag och utsläpp av kylvatten vid Forsmarks kärnkraftverk samt ekologiska konsekvenser av kylvattenanvändningen för havsmiljön har beskrivits av Skärgårdsutveckling SKUTAB AB (Sandström och Neuman, 2005). Utredningen grundade sig främst på data och rapporteringar från den biologiska övervakningen inom recipientkontrollprogrammet för kraftverket och forskning som bedrivits vid Forsmarks kärnkraftverk. Som underlag för denna rapportering genomförde Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) studier för att beskriva Öregrundsgreppens oceanografi samt plymtbredningar vid rådande driftförhållanden (Ingemansson & Lindahl 2005). Dessutom genomfördes beräkningar av kylvattenplymens spridning och rörelsemönster i utsläppsområdet vid ökad drift med modelleringar baserade på driftförutsättningar som preciserats av Forsmarksverket.

Förändringar som blir aktuella vid en förhöjd driftnivå vid kraftverket, som påverkar havsmiljön och dess organismer, är bland annat ökad bortledning och utsläpp av kylvatten i Forsmarksområdet samt utsläpp av vatten med förhöjd temperatur till Biotestsjön. Genom den planerade effekthöjningen kommer kylvattenflödet öka från 140 m³/s till cirka 170 m³/s, fördelat på 109 m³/s för F1/F2 och 61

m³/s för F3, vilket är nivåer som ryms i nuvarande tillstånd. Enligt ansökan förväntas övertemperaturen för kylvattnet i närrecipienten, Biotestsjön, öka från 10,3°C till 11,0°C (F1/F2) och sjunka från 11,4°C till 11,0°C i F3:s utsläppskanal.

Genom de ökade kylvattenflödena och övertemperaturerna i närrecipienten beräknas plymutbredningen öka i utsläppsområdet. Jämförelser av beräknade utsläppsförhållanden före och efter effekthöjning anger att området som någon gång påverkas av 1°C övertemperatur i ytan förväntas öka med cirka 40 %, från 28 km² till 39 km². Vid botten förväntas en ökning av det påverkade området på cirka 10-15 % jämfört med innan effekthöjningen (Ingemansson och Lindahl, 2005).

För att bedöma vilken betydelse den ökade bortledningen av kylvatten och den ökade värmeförlusten till havet kan få för det allmänna fiskeintresset tillsatte miljödomstolen ett provotidsförordnande för att avgöra frågan. FKA skulle i samråd med Fiskeriverket undersöka påverkan på fisket av den ökade vattenbortledningen och den ökade värmeförlusten enligt program som parterna kom överens om. Resultaten av utförda undersökningar och utredningar med förslag till slutligt avgörande av frågorna ska redovisas till miljödomstolen senast fem år från det att effekthöjningarna tagits i drift. Miljödomstolen förordnade dåvarande Fiskeriverket som sakkunnig att inför avgörandet i frågan genomföra erforderlig utredning, särskilt avseende på kylvattenbortledningens effekter på fiskfaunan, och avge utlåtande till miljödomstolen inom angiven tid. Eftersom Fiskeriverket upphörde som myndighet 2011-06-31 övergick sakförkunnandet till Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och den nybildade institutionen för akvatiska resurser. Eftersom FKA var medvetna om att det ökade bortledandet av kylvatten skulle kunna orsaka ytterligare skador på fisket ansåg man att det även kunde bli aktuellt att höja den årliga avgiften, enligt tidigare dom (Vattendomstolen vid Stockholms tingsrätt, 1995-10-10). Skaderegleringen utgick från förhållanden vid det bortledande som då var aktuellt, det vill säga cirka 140 m³/s. Genom det planerade effekthöjningen kommer vattenbortledandet att behöva ökas till cirka 170 m³/s och kan ge konsekvenser för det allmänna fiskeintresset.

Under 2009 påbörjades diskussionerna mellan FKA och dåvarande Fiskeriverket om ett upplägg för ett program som skulle undersöka effekterna för fiskfaunan av den ökade vattenbortledningen och 2009-11-18 enades parterna. Programmet, det så kallade effekthöjningsprogrammet, utformades för att studera och möjliggöra en utvärdering av effekterna av ett ökat kylvattenflöde och ökad vattentemperatur för fiskfaunan i Forsmarksområdet och vilka konsekvenser detta får för det allmänna fiskeintresset. De frågeställningar som ställdes relaterade till hur en situation med ökat vattenflöde i intagsområdet Asphällafjärden och i närrecipienten Biotestsjön skulle påverka fisksamhället och i vilken omfattning. Ett ökat kylvattenflöde genom kraftverket förväntades innebära ökade förluster av fisk i silstationerna, främst av yngel och småväxta fiskarter. Inom intagsområdet i

Asphällarfjärden fanns farhågor om att ett ökat vattenflöde skulle leda till lägre temperatur och därmed en kvalitetsförsämring av rekryteringsmiljöerna i området. En ökad strömhastighet skulle även kunna öka inflödet av organismer till intagskanalen och därmed resultera i försämrade rekrytering. En ökad uttransport av kylvatten från kraftverket och genom Biotestsjön skulle bland annat kunna medföra att fiskars larver och yngel sköljs ut ur anläggningen i större omfattning än tidigare.

Den påverkan som en ökad vattentemperatur skulle kunna få på fisksamhällena i Forsmarksområdet vid effektökningarna förväntas främst beröra fisk i Biotestsjön och området i kylvattenplymen vid utläppsområdet från Biotestsjön. I samband med effekthöjningen kan tänkas att mängden fisk som anlockas till Biotestsjön ökar, på grund av en mer utbredd kylvattenplym. Ur det allmänna fiskintressets synpunkt skulle det vara viktigt att veta hur stor andel fisk som är mer eller mindre stationär i anläggningen och hur omgivningen påverkas av den fisk som kommer från Biotestsjön. I utläppsområdet skulle en ökad temperatur även få konsekvenser hos fisk med avseende på både anlockning till området och skyende. Viktiga arter för det allmänna fiskeintresset är kallvattenarter såsom sik och strömming som tidigare har visat tecken på anlockning till kylvattenplymen, både i samband med lekperioden och under övriga tider. En ökad temperatur i området och en mer utbredd kylvattenplym skulle kunna leda till att mer fisk anlockas till utläppsområdet och därmed lämnar sina ursprungsområden, vilket skulle ge ett sämre underlag för fisket på dessa platser. En ökad temperatur i utläppsområdet skulle också kunna medföra att rekryteringen försämras till följd av att kvalitén på lek- och uppväxtområden påverkas. En ökad temperatur i lekområdena skulle kunna leda till att dödligheten på rom, larver och yngel ökar och därmed försämma rekryteringen för bland annat strömming och sik.

För att undersöka dessa frågeställningar beslutades att programmet med specifika delmoment skulle genomföras under en treårsperiod före effekthöjningen påbörjats, och beskriva tillståndet och trender för fisksamhället baserat på insamlad data. Efter att effekthöjningarna i samtliga reaktorer har tagits i drift upprepas undersökningarna i tre år för att få underlag till att utreda effekterna av det ökade kylvattenflödet och ökade värmeförseln på fiskfaunan. Delmomenten inom programmet, som beskrivs i metodikdelen, fokuserar främst på kommersiella arter såsom strömming, sik och abborre, men innehåller även mer generella undersökningar för hela fisksamhället. Undersökningarna utformades mycket utifrån den kunskap som inhämtats från resultaten från recipientkontrollen och riktade undersökningar i Forsmarksområdet. Under effekthöjningsprogrammets genomförande har årliga verksamhetsrapporter lämnats i samband med de årliga rapporteringarna för det ordinarie recipientkontrollprogrammet för Forsmarks kärnkraftverk (Adill m.fl. 2010; 2011; 2012; 2013). Vid rapporteringarna har det funnits möjlighet till

utvärderingar av programmet och de specifika delmomenten för att komplettera undersökningarna eller genomföra förändringar.

2 Metodik

Effekthöjningsprogrammets utformning och målsättning är att utvärdera effekter på fiskfaunan av ett ökat vattenflöde genom kärnkraftverket och ökade vattentemperaturer i utsläppsområdet. I detta kapitel redovisas metodiken för delmomenten inom programmet, med syfte och utförligare beskrivningar av genomförande. Studierna genomfördes under tre år innan kraftverket påbörjat produktionsökningarna och ska upprepas under en treårsperiod efter att effekthöjningarna tagits i drift.

2.1 Effekter av ökat vattenflöde

2.1.1 Fiskrekrytering i Asphällafjärden

Syftet med undersökningarna är att skatta påverkan av kylvattenströmmen på varmvattenarters rekryteringsmiljöer och rekryteringsutfallet i intagsområdet till kärnkraftverket.

Studierna genomfördes i september månad med detonationsfiske (Bergström m.fl. 2014). Små sprängladdningar (10 gram) detonades i vattnet och fisken som dog eller bedövades samlades in med håv. Provtagningarna genomfördes på 20 slumpmässigt utvalda stationer i Asphällafjärden (figur 1). Samtliga fångade fiskar artbestämdes, längdmättes och sorterades som årsyngel eller äldre fisk.

För att undersöka temperaturförhållandena i Asphällafjärden, placerades fyra automatiska temperaturmätare i en transekt i fjärden under de isfria perioderna av de år som provtagningarna utfördes (figur 1). Temperaturmätarna sattes på cirka två meters djup och registrerade temperaturen från perioden vid islossning fram till slutet av året innan isen lagt sig.



Figur 1. Översikt av undersökningsområdet Asphällafjärden med positioner för detonationsprovfisiket (röda prickar) och temperaturövervakning (svarta trianglar).

2.1.2 Fiskförluster i silstationer

Undersökningarna genomförs för att skatta förluster av fisk i silstationerna som en effekt av ökad vattentransport i samband med effekttökningarna. Betydelsen för de lokala fiskbestånden och det allmänna fiskeintressena av förlusterna ska bedömas.

Provtagningarna genomfördes enligt standardmetodik för baskontrollprogrammet (Adill, 2012) vid silstationen för reaktorerna 1 och 2 en gång per vecka under

hela året (2010-2012). Vid varje tillfälle samlades rensmassorna in under ett dygns tid och alla större fiskar artbestämdes, räknades och vägdes. För mindre fisk och yngel togs stickprov, fem stycken 1-litersprover, som artbestämdes, räknades och vägdes. Resultaten från provtagningarna räknades upp så att de representerade de totala kylvattenmängderna som användes för samtliga tre reaktorer. Vid samtliga provtagningar registrerades kylvattenflöde och vattentemperatur.

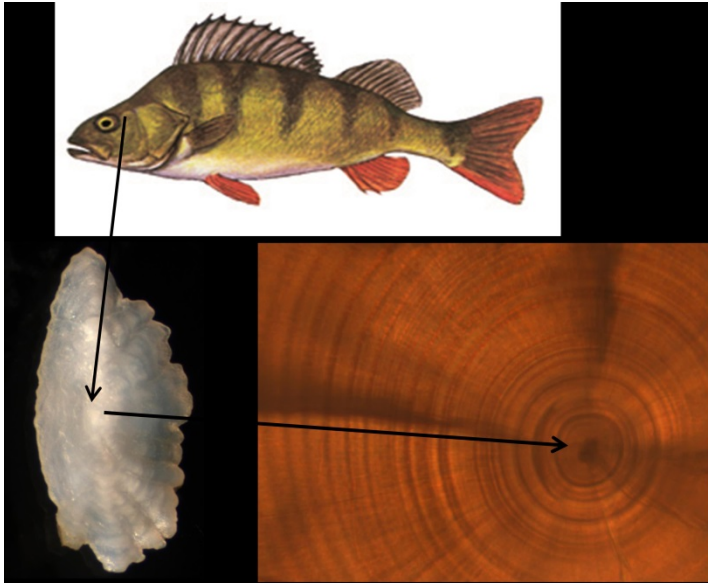
Förutom ordinarie räkning av fiskförluster längdmättes årsyngel av abborre, gädda, gös, sik och strömming, som är viktiga arter för det allmänna fiskeintresset. Strömming mättes vid ett tillfälle i september månad och ett i oktober. Abborre, gädda, gös och sik mättes under augusti-oktober. Vid varje tillfälle längdmättes minst 100 individer per art, med en millimeters noggrannhet.

2.1.3 Rekrytering av abborre i Biotestsjön

Studierna syftar till att undersöka flödets effekter på uttransport av yngel från Biotestsjön och dess effekter på abborrbeståndet utanför anläggningen i Forsmarks skärgård. Utifrån analyser av tillväxtmönster på hörselstenarna (otoliterna) ska det undersökas om det går att fastställa födelsedatum och därmed kontrollera om det förekommer abborrar i Forsmarksområdet som härstammar från Biotestsjön.

Insamling av abborryngel genomfördes med detonationsteknik under tre år i augusti-oktober i Biotestsjön, Forsmarks skärgård och i områden som ligger så långt ifrån Forsmark geografiskt att de inte kan ha påverkats av kärnkraftverkets kylvattenflöde. Från samtliga år och varje delområden insamlades 50 individer. Samtliga yngel längdmättes och provtogs genom att otoliterna (hörselstenarna) plockades ut. Undersökningarna utfördes årligen 2011-2013.

Abborrarnas ålder analyserades genom att otoliterna monterades på objektglas och preparerades genom slipning och polering så att ett tunt tvärsnitt erhöles där kärnan och dagliga tillväxtzoner framträdde (figur 2) (Secor 1992). De färdiga otolitproven fotograferades i mikroskop och bilderna analyserades i bildanalysprogram för att bestämma ynglens ålder i antal dygn. Genom att fastställa ålder på individerna kan abborrarnas födelsedatum bestämmas. Med abborrarnas ålder tillsammans med temperaturdata insamlat från fångstområdena kan det urskiljas ifall Biotestfödda abborrar förekommer i Forsmarks skärgård. Individer som är födda tidigt på säsongen förmodas härstamma från Biotestsjön eftersom vattentemperaturerna varit för låga i Forsmarks skärgård för att lekaktivitet skulle vara möjlig.



Figur 2. Abborrens otoliter plockas ut, prepareras med slipning och polering till dess de dagliga tillväxtzonerna framträder. Den mörka prickan i mitten av otoliten anger kärnan där tillväxten utgår ifrån. De ljusa och mörka fälten runt kärnan anger tillväxtzonerna i otoliten, de ljusa partierna är under dagtid och de mörka under nattetid.

2.2 Effekter av ökad temperatur

2.2.1 Ålder och tillväxt hos abborre

Undersökningarna genomförs för att jämföra tillväxt- och åldersstruktur hos abborrar mellan Biotestsjön, Forsmarks skärgård och i referensområdet i Finbofjärden, som är helt opåverkat av kylvattenutsläpp. Resultaten av analyserna kan ge en bild på hur abborrbestånden i de olika områdena förändras och därmed påverkar fiskfaunan i Forsmarksområdet.

Provtagningarna utfördes som en utökning av ordinarie recipientkontrollprogram (Adill, 2014). Prover för att mäta ålder och tillväxt togs från 300 abborrar per år under tre år. Baserat på förhållandena mellan längd och ålder i stickproven och fångsterna så kunde den totala åldersstrukturen i fångsten räknas ut. Analyserna genomfördes i första hand på gällock, och vid behov otoliter, från abborre i Biotestsjön. Resultaten från undersökningarna jämfördes med motsvarande studier i Forsmarks skärgård och referensområdet i Finbofjärden.

2.2.2 Strömming – ekointegrering och artificiella substrat

Syftet med undersökningarna är att studera omfattningen av anlockning av strömming till kylvattenplymen, samt effekten av detta för strömmingsbeståndet i Öregrundsgrepen. Studierna skall även skapa ett underlag för att utreda om en eventu-

ell anlockning av lekmogen strömming till kylvattenplymen kan påverka strömmingsbeståndet på en större geografisk skala, genom effekter på strömmingens rekryteringsframgång i kylvattenplymen.

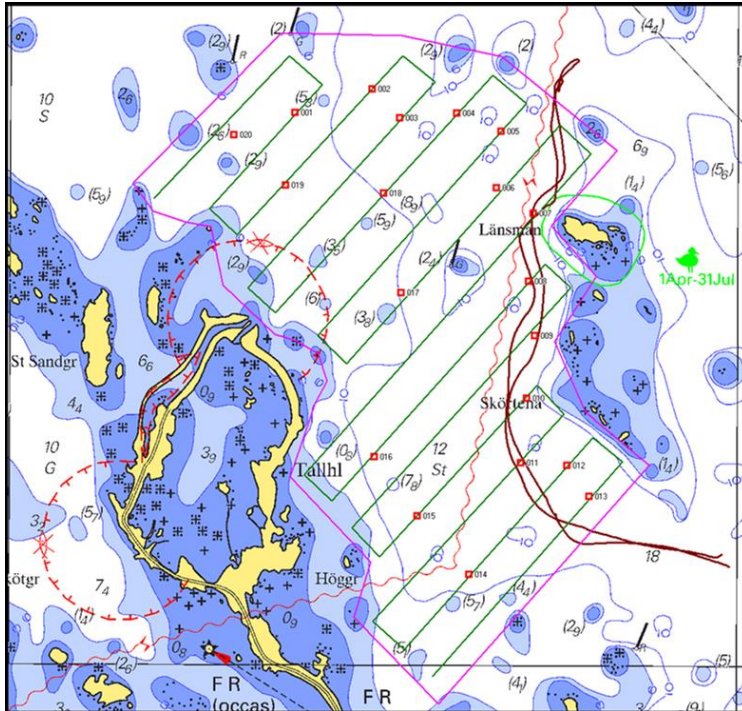
Undersökningarna genomförs med ekointegrering, en metod att uppskatta fisktätheter genom ekolodning, i en gradient från området med störst kylvattenpåverkan till områden med förhållanden av referenskaraktär. Ekointegreringen kompletteras med trålningar för att samla in stickprov för att identifiera artsammansättning och storleksfördelning av fisken. Från fångsterna av strömming samlas data in för att identifiera åldersstruktur och gonadutveckling i populationen.

För att studera reproduktionsmönster hos strömming i plymområdet genomförs undersökningar med artificiella substrat där lekaktivitet kan identifieras genom att rommen fastnar på substraten.

Ekointegrering

Effekter av kylvattenutsläppen studeras framför allt med avseende på strömmingens fördelning under lektiden. Området som är påverkat av kylvattenplymen undersöks med ekolodteknik. Undersökningen utförs längs parallella transekter under våren när strömming ansamlas för lek i kustområdet. Undersökningen utfördes tre år i rad (2012-2014).

Baslinjestudiens första år var 2012 (figur 3). Tre replikstudier gjordes nattetid varje år. För ekolodningen användes ett 120 kHz ekolod (Simrad EY60 med svängare 120-7C). Ekolod och svängare var kalibrerade enligt rekommendation av tillverkaren och standarder framtagna av Internationella havsforskningsrådet (ICES; Simrad 2008, Foote m.fl. 1987). Pulslängden sattes till 0,128 ms och strömstyrkan till 200 W. Ekolodningarna under baslinjeåren gjordes från U/F Hålabben, ett 12 meter långt forskningsfartyg som framfördes i en hastighet på fyra till fem knop. Svängaren var fäst på en så kallad "tow body" 1,5 meter ut på babords sida på 1,5 meters djup. Akustiska data bearbetades och analyserades med Echoview (version 5.4.90) från Myriax i enlighet med Higginbottom m.fl. (2009). Tröskelvärden för total ekointegrering och ekostyrka hos enskilda fiskar sattes till -60 dB.



Figur 3. Översiktskarta om undersökningsområdet (markerat med lila linje), ekolodningstransekt (grön linje), typiska trålningstransekter (mörkröd linje) och STD-stationer (markerad med nummer).

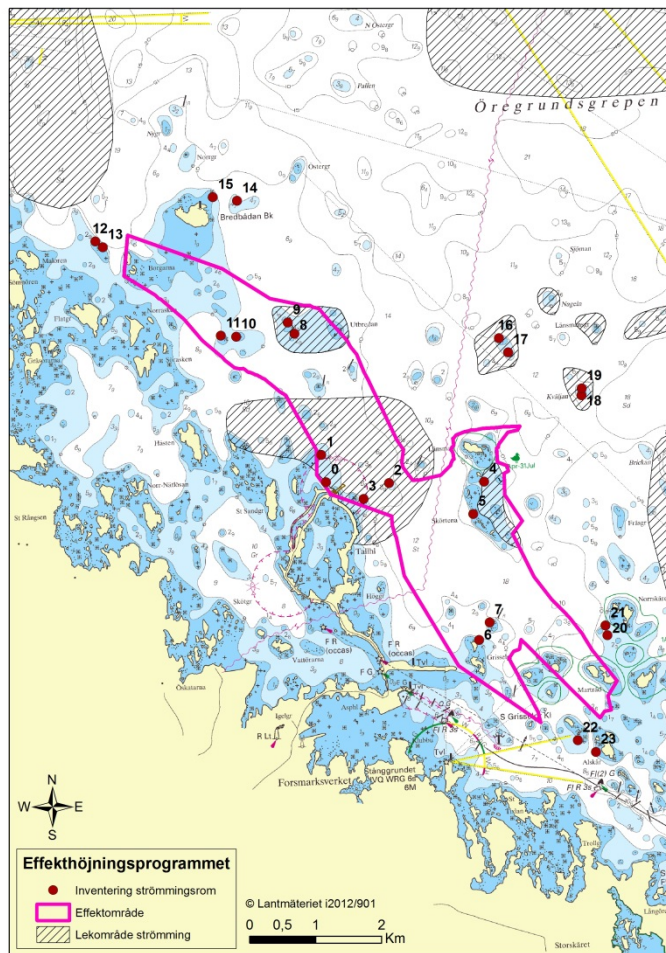
Vid varje undersökningstillfälle gjordes två pelagiska trålningar i området för att få en uppfattning om storleks- och artsammansättning och för att justera ekodata till artnivå (figur 3). Strömmingarna i fångsterna provtogs genom att könsmogna den fastställdes på minst 100 individer per provtagningstillfälle. Vid ett tillfälle per år provtogs 100 individer genom insamling av otoliter för fastställande av ålder samt kontroll av könsmognad. Trålningar genomfördes under den mörkaste tiden av natten eller i direkt anslutning till ekolodningen när det fortfarande var mörkt. Lämpligt trålningsdjup bestämdes vid varje tillfälle med stöd av den fördelning av fisk som iaktogs vid den föregående ekolodningen. Tråldjupet kontrollerades med ett Scanmarsystem. Tråldragen genomfördes under 20-40 minuter i en fart på 2,2–2,6 knop. Trålens lodräta öppning var cirka 5 meter och fångstpåsen hade en maskstorlek av 6 millimeter för att även kunna fånga småfisk.

I samband med undersökningarna togs också djupprofiler av temperatur och salthalt i 20 stationer med en CTD-sond (SAIV 205; Saiv AS, Bergen, Norway). Profilerna togs strax före varje ekolodning (figur 3). På grund av stark ström var det inte möjligt att samla in data med CTD-sonden i mitten av kylvattenutsläppet. Därför användes i tillägg vattentemperaturuppgifter från Biotestsjöns utlopp från samma datum som undersökningarna.

De hydroakustiska resultaten ges som NASC (Nautical Area Scattering Coefficient) och TS (Target Strength; ekointegrat per kvadratsjömil; ekostyrka i decibel; MacLennan m.fl. 2002). Dessa värden (NASC och TS) användes sedan för att beräkna antalet fiskar per kvadratsjömil (nmi^2). Vid beräkning av biomassa av fiskar per nmi^2 användes antal av fiskar per nmi^2 i kombination med information om storlekssammansättning och fiskens längd-vikt förhållande baserat på trålfångsterna. Kartor med fördelningar av temperatur och fisk beräknades (interpolerades) med hjälp av en kriging-funktion i programmet Surfer 7.0.

Artificiella substrat

För att studera strömmingens lekaktivitet vid kylvattenutsläppet har undersökningar med artificiella substrat genomförts. Substraten placerades i utsläppsområdet, fördelade på 24 stationer inom- och utanför effektområdet, område där det enligt modelleringar kan förekomma 1°C övertemperatur längs bottarna. Substraten placerades på platser där strömmingslek kan förväntas förekomma på mellan en och en halv meter till åtta meters djup (figur 4). Som underlag för val av stationer användes en intervjustudie genomförd med lokala yrkesfiskare (Gunnarz m.fl. 2011). Provtagningarna genomfördes en gång i veckan under den isfria perioden mellan april-juni.



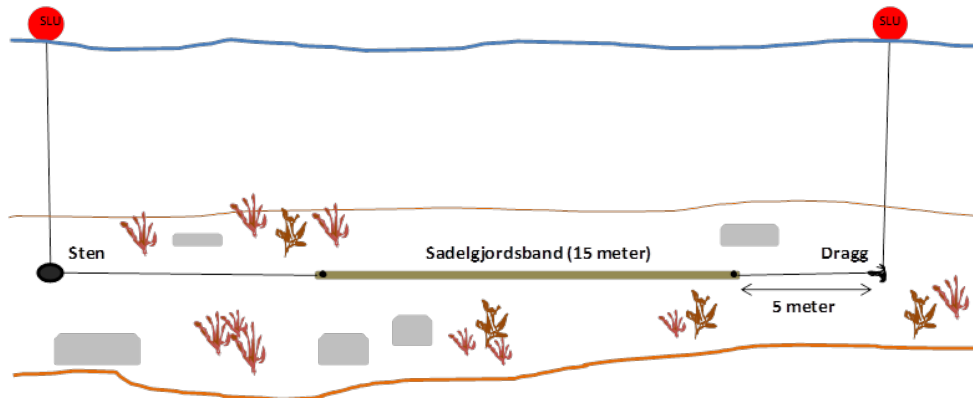
Figur 4. Undersökningsområde med provtagningspunkter för rominventeringar (röda punkter) och effektområde med 1°C övertemperatur vid bottarna (inramat med rosa linje). De skuggade områdena anger lekplatser för strömming enligt intervjustudie med yrkesfiskare (Gunnarz m.fl. 2011).

De artificiella substraten utgjordes av sadelgjordband med juteväv av längden 15 meter och bredden 60 millimeter (figur 5). Banden var förtyngda på undersidan varannan meter med zinktyngder (40 gram). I båda ändar av banden fanns öljetter monterade för infästning av draggar med hjälp av spärrhakar. Vid läggning av substraten placerades en tyngd (sten) fäst till en boj på positionen för stationen. I tyngden fästes även en lina, som var något längre än vad vattendjupet var på positionen och som utrustades med spärrhake i andra änden. Spärrhaken kopplades till öljetten på substratet. I andra änden av substratet kopplades ytterligare en spärrhake som var fäst med en fem meter lång lina med dragg på andra änden. Från draggen löpte en lina till en boj. Genom denna metodik möjliggjordes att substraten kunde sträckas längs botten och gick lätt att byta ut vid ytan (figur 6). Vid provtagningarna låg substraten utlagda i cirka en veckas tid och vid vittjningarna byttes

banden ut mot rengjorda. Det vittjade bandet okulärbesiktades direkt efter vittjning och romförekomsten registrerades. Om det var ett fåtal korn så räknades de och vid större mängder gjordes uppskattningar av antalet. Vid läggning och vittjning av substraten registrerades botten temperaturen för varje station samt ytvattentemperatur, siktdjup, vindriktning och -styrka.



Figur 5. Bild på bandet av juteväv som utgör det artificiella substratet.



Figur 6. Översiktsbild för provtagningstypen artificiella substrat.

2.2.3 Rekrytering sik

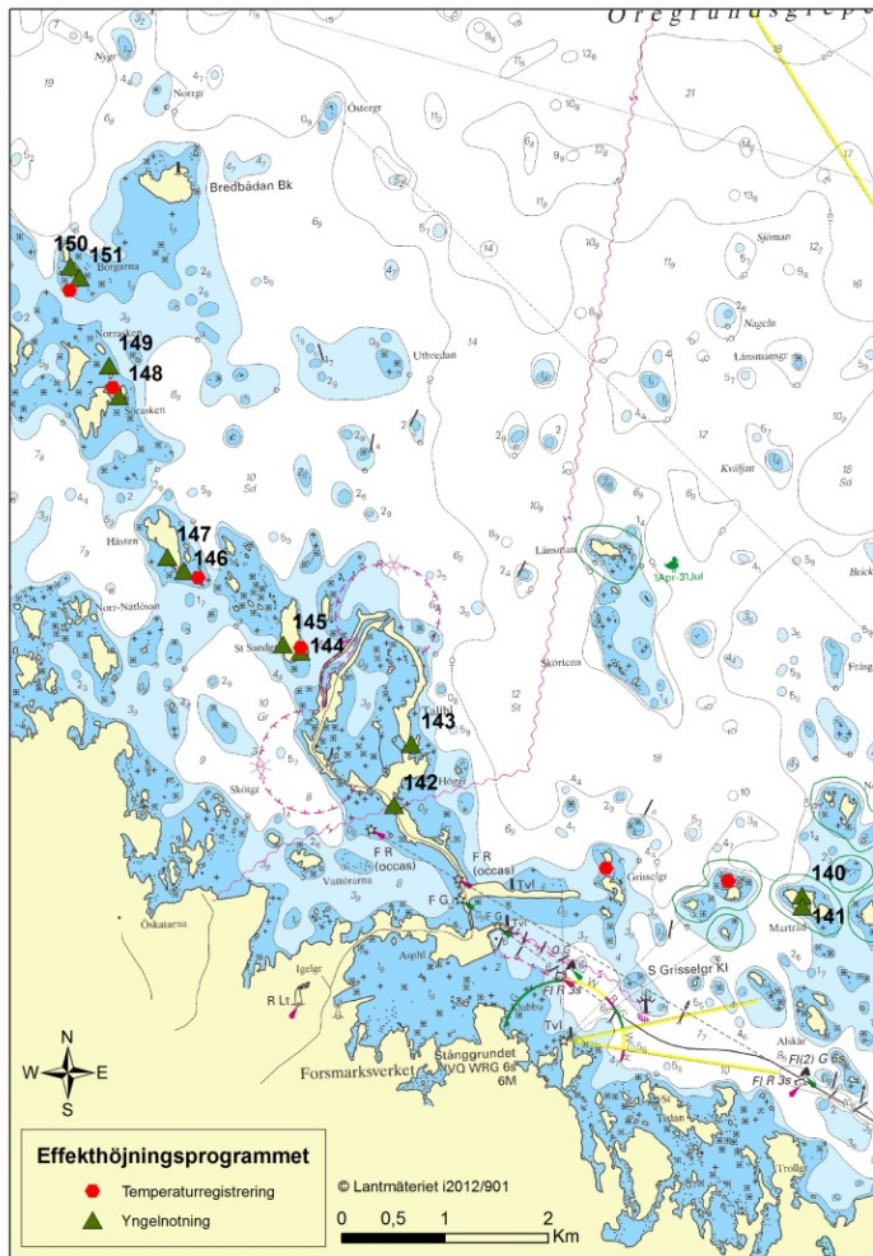
Siken är en kallvattenart och kan påverkas av utsläppsområdet både genom skyende och anlockning, beroende på årstid och vattentemperaturer. Studierna genomförs för att undersöka hur de naturliga lekrområdena i utsläppsområdet påverkas av

ökad temperatur och om förhållandena i plymområdet kan leda till försämrad rom- och larvöverlevnad. Syftet med undersökningarna är att studera yngelförekomsten i gradienter från kylvattenpåverkat område till platser med referenskaraktär.

Undersökningarna genomfördes under tre år (2010-2012) genom notningar i strandnära områden på tolv fasta stationer (figur 7). Stationerna valdes utifrån inventeringar i området och granskning av sjökort, för att fastställa de mest lämpade lek- och uppväxtplatserna för sik i plymområdet. Notningsstudier har även genomförts tidigare i området, 1990 och 1992, och resultaten från effekthöjningsprogrammet kan jämföras med dessa. Notningarna genomfördes enligt standardmetodik (Persson, 2011) och fiskarna i fångsterna artbestämdes, räknades och längdmättes.

Yngelnoten är uppbyggd av två armar och en fångststrut. Varje arm är 6 meter lång och 2 meter hög med maskstorleken 5 millimeter per stolpe. I änden av armarna är ett grovt 15 meter långt rep fäst i överteln. Fångststrutens höjd är den samma som armarnas, 2 meter, och djupet på struten är 3 meter. Maskstorleken i fångststruten är 2 millimeter. Fångststrutens öppning i redskapet är 2 meter vid botten och 1 meter upptill. Noten motsvarar redskapskod 63 i Kustlaboratoriets databaser.

Samtidigt som undersökningarna genomfördes kontrollerades temperaturen i undersökningsområdena med temperaturloggers i hela årscykler (figur 7).



Figur 7. Undersökningsområde med provtagningspunkter för yngelnotningar (gröna trianglar) samt platser med temperaturövervakning (röda punkter).



Figur 8. Yngelnoten dras in mot land och fisken fångas i fångspåsen längst ut på redskapet.

3 Resultat

3.1 Effekter av ökat vattenflöde

3.1.1 Fiskrekrytering – Asphällafjärden

Under yngel- och småfiskundersökningarna i Asphällafjärden åren 2009-2011, fångades nio olika arter och sammanlagt 553 individer. Vanligast förekommande art i fångsterna var strömming (tabell 1). Fångsterna av varmvattenarter var små. Under tre år fångades endast abborre, mört, gädda och löja, och sammanlagt endast 50 individer (tabell 1).

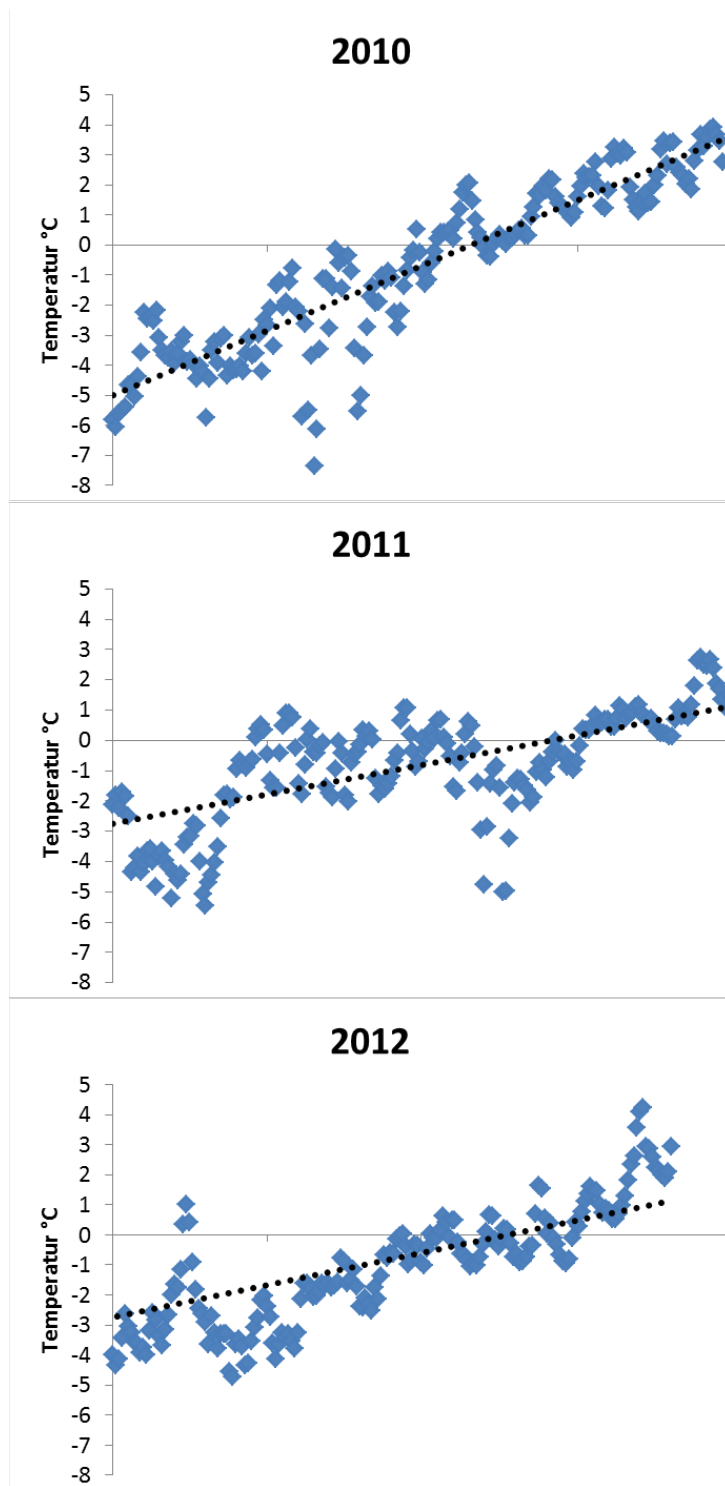
Fångsterna av årsyngel utgjorde 82 % av totalfångsterna. Strömming utgjorde den största delen även av dessa. Abborryngel fångades endast under provtagningen 2010. Då fångades 18 abborryngel, varav 17 från samma station. Av andra varmvattenarter fångades årsyngel av mört och gädda, och dessa fanns i små mängder (tabell 1).

Tabell 1. Fångst per station i Asphällafjärden och referensområde Ön i Forsmarks skärgård.

Art	Asphälla			Forsmark Ön		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Strömming	3,8	8,85	3,2	0,6	676,63	115,13
Sandstubb	0,3	3,3	0	0,33	0,56	1,56
Storspigg	0,9	0,45	0	0,43	14,1	1,86
Mört	0,15	0,75	0,1	0,87	0	0,03
Abborre	0	0,9	0	0,1	0	13,53
Gädda	0	0,05	0	0	0	0,03
	5,15	14,3	3,3	3	691,73	303,37

Övervakningen av vattentemperaturen i Asphällafjärden 2010-2012 visade att det var små skillnader i temperatur mellan stationerna (1-4) i transekten under året. Temperaturen i Asphällafjärden skiljde sig dock från referensområdet Ön i Forsmarks skärgård¹. Vattentemperaturen tenderade att vara lägre än i referensområdet under våarna och högre under höstarna. Temperaturskillnaderna under ett dygn kunde uppgå till uppemot sex grader (figur 9).

¹ Variansanalys ANOVA, $F_{1,395}=3,78$, $p=0,05$ för 2010, $F_{1,455}=3,03$, $p=0,08$ för 2011 och $F_{1,433}=6,24$, $p<0,05$ för 2012



Figur 9. Temperaturskillnader mellan Asphällafjärden och Forsmark Ön under åren 2010 (11 maj-27 november), 2011 (3 maj-16 december) och 2012 (5 april-8 november). Tidsperioderna representeras på respektive x-axel. Varje punkt motsvarar medeltemperaturen under ett dygn.

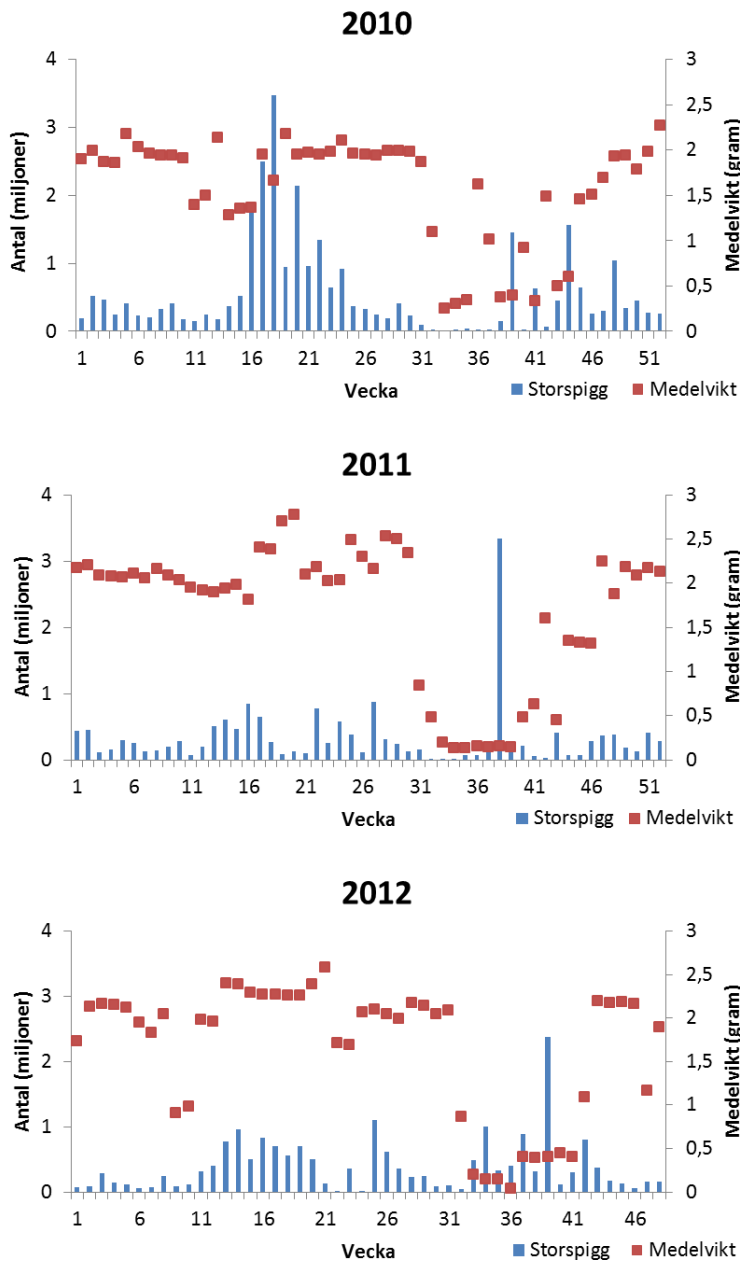
3.1.2 Fiskförluster i silstationer

De beräknade förlusterna av fisk i silstationerna under den studerade treårsperioden (från vecka 49 år 2009 till vecka 48 år 2012) uppgick till 85 miljoner individer (tabell 2). De vanligast förekommande arterna i proverna var storspigg (78 %), strömming (12 %) och småspigg (6 %). De största mängderna fisk i provtagningarna förekom under vårarna och senhöstarna, vilket sammanfaller med perioderna som provtas inom den ordinarie provtagningen för recipientkontrollprogrammet. Höga förekomster förekom även bland annat under 2011 då stora mängder unga individer av strömming förlorades vecka 32 (5 miljoner individer med medelvikt 0,23 gram) och många stora blankålar under vecka 51 (200 stycken av medelvikt 1127 gram). Kylvattenflödet under provtagningarna uppgick till 88 m³/s, med undantag för revisionsperioderna för F1/F2, då flödet var 44 m³/s.

Tabell 2. *Beräknade förluster av fisk i silstationerna för samtliga tre reaktorer i Forsmark under perioden 2009 (vecka 49) till 2012 (vecka 48).*

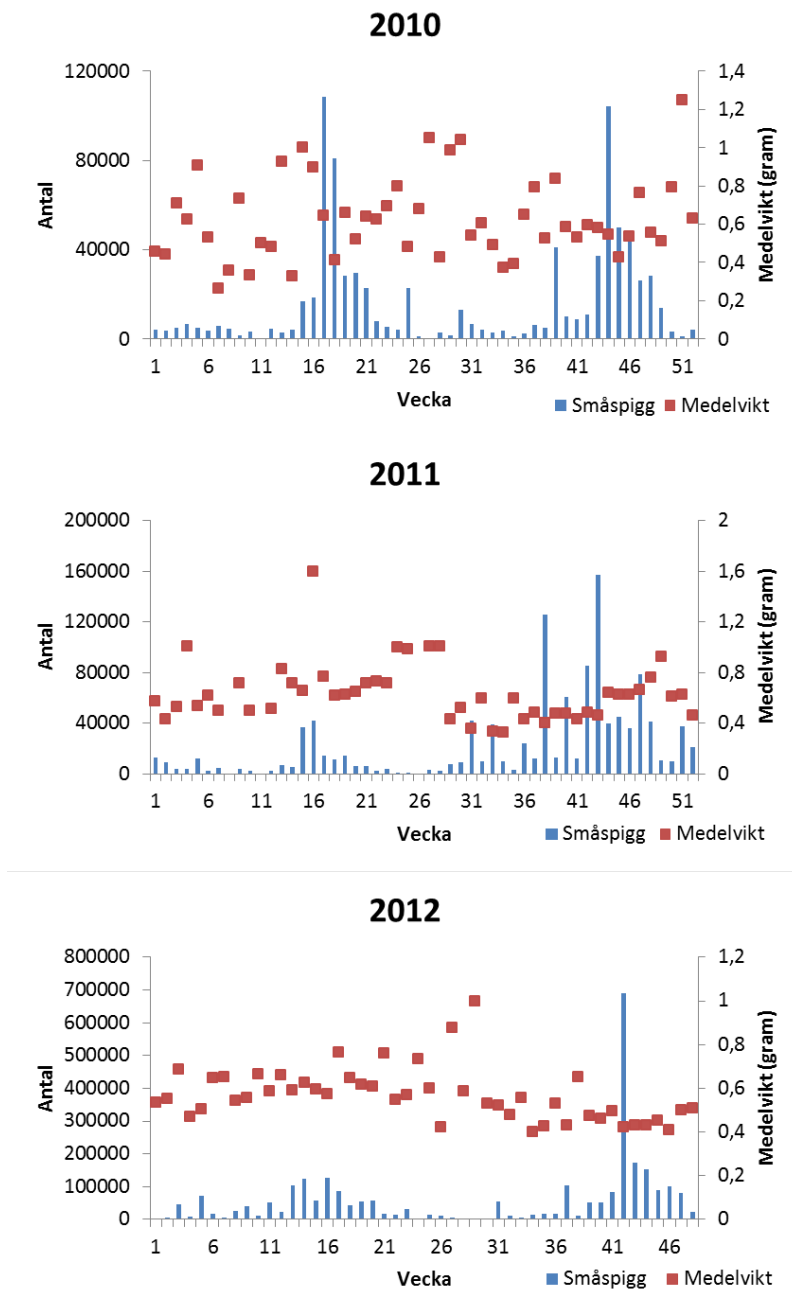
Art	Antal	Andel (%)
Storspigg	66 780 704	78,37
Strömming	9 890 906	11,61
Småspigg	5 057 787	5,94
Sandstubb	1 909 194	2,24
Nors	764 705	0,90
Löja	455 606	0,53
Mindre havsnål	125 108	0,15
Kusttobis	78 614	0,09
Mört	35 123	0,04
Abborre	33 726	0,04
Braxen	26 240	0,03
Gers	14 858	0,02
Skarpsill	8 474	0,01
Ål	4 851	0,01
Gös	4 778	0,01
Tånglake	3 633	0,00
Svart smörbult	2 783	0,00
Gädda	2 153	0,00
Piggvar	2 048	0,00
Elritsa	1 260	0,00
Flodnejonöga	1 082	0,00
Lax	756	0,00
Björkna	693	0,00
Hornsimpa	483	0,00
Ruda	252	0,00
Tångsnälla	242	0,00
Siklöja	200	0,00
Sik	168	0,00
Sutare	158	0,00
Skrubbskädda	53	0,00
Vimma	53	0,00
Lake	21	0,00
Tångspigg	21	0,00
Ringbuk	11	0,00
Torsk	11	0,00
Totalt	85 206 755	

Storspigg, som dominerade provtagningarna, förekom i stora mängder under hela året. Störst förluster av storspigg skedde dock under våarna och höstarna, från april månad fram till sommaren och från augusti fram till november, framför allt år 2010 (figur 10). Under våarna var medelvikten hos storspiggen relativt hög, vilket indikerar att förlusterna främst bestod av vuxen fisk. Under provtagningarna på höstarna, från vecka 30 och några veckor framåt, var medelvikten lägre. Under denna period var andelen ung fisk hög (figur 10).



Figur 10. Förluster av storspigg i silstationerna under 2010-2012. De blå staplarna anger antal och röda punkterna medelvikt.

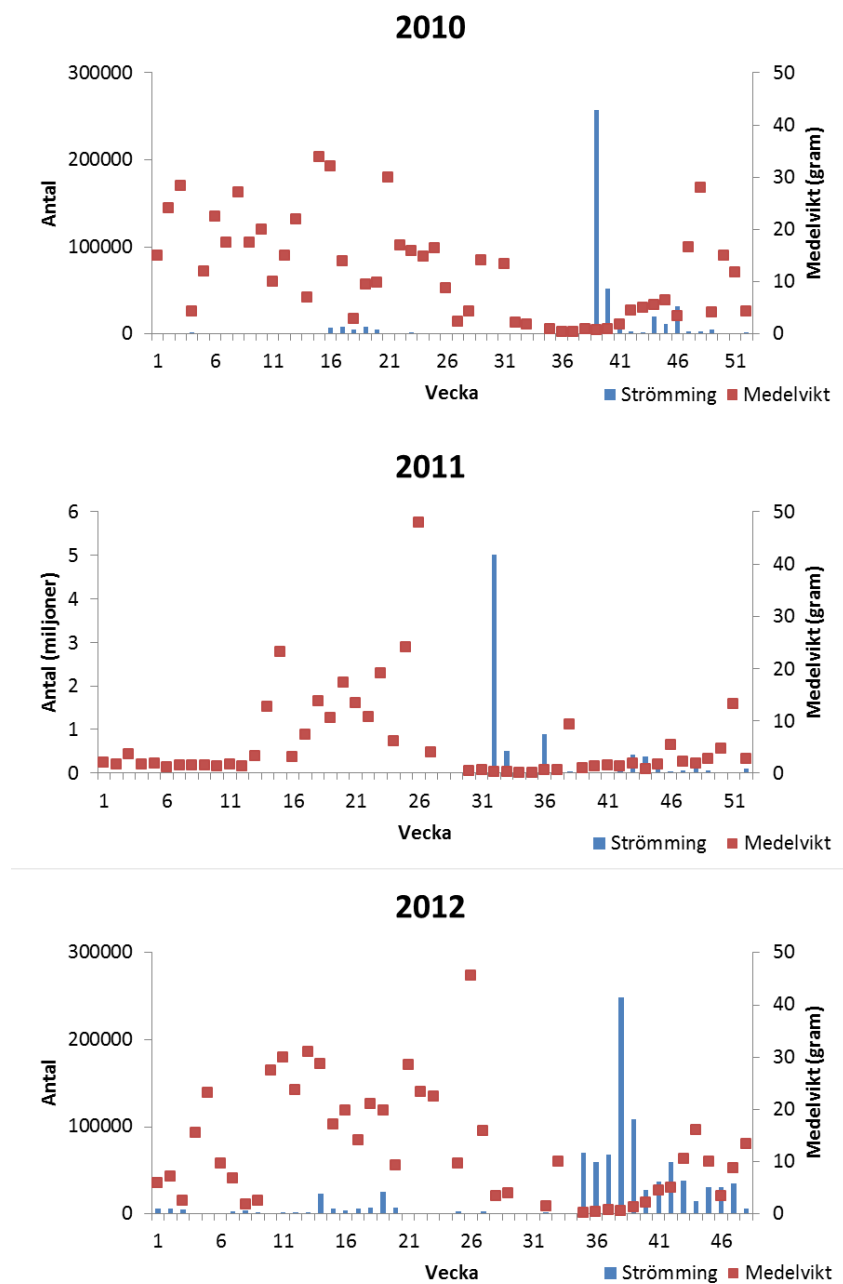
Småspigg uppvisade liknande mönster som storspigg i silstationen och förekom mest under vårarna och höstarna (figur 11). Det fanns dock inte några tydliga skillnader i medelvikterna hos individerna mellan olika delar av året.



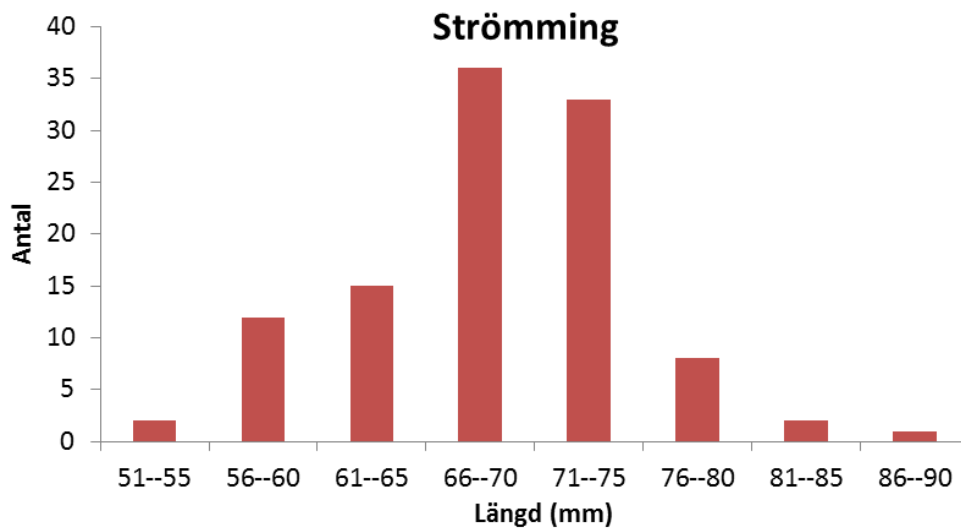
Figur 11. Förluster av småspigg i silstationerna under 2010-2012. De blå staplarna anger antal och röda punkterna medelvikt.

Strömning förekom i relativt små mängder under åren, med undantag av höstarna (figur 12). Under höstperioderna ökade förekomsterna av strömning i provtagningarna. Enligt deras medelvikter och insamlad längddata bestod förlusterna

främst av unga individer (figur 12 och 13). Under resterande tider på året bestod proverna främst av vuxna individer (figur 12).



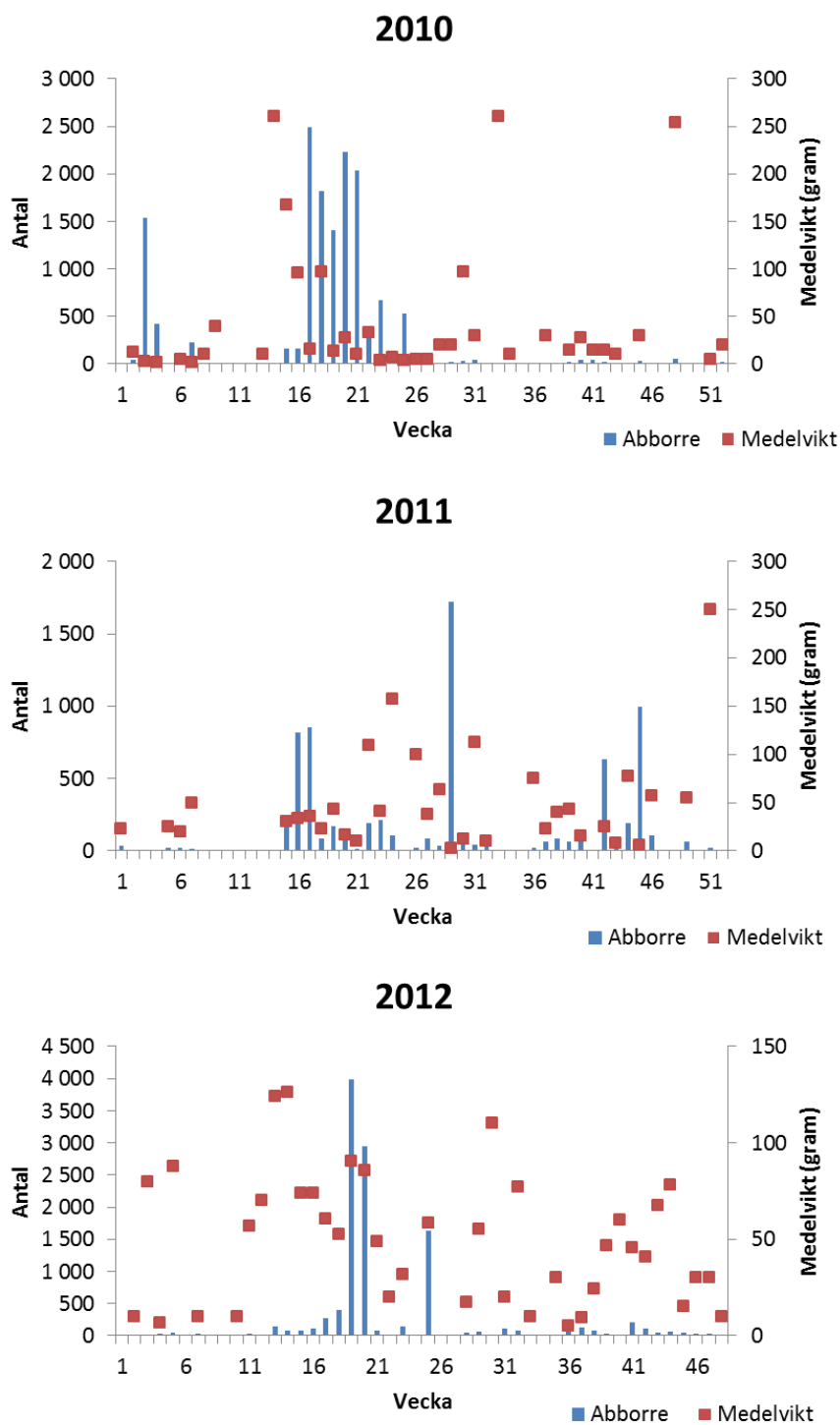
Figur 12. Förluster av strömming i silstationerna under 2010-2012. De blå staplarna anger antal och röda punkterna medelvikt.



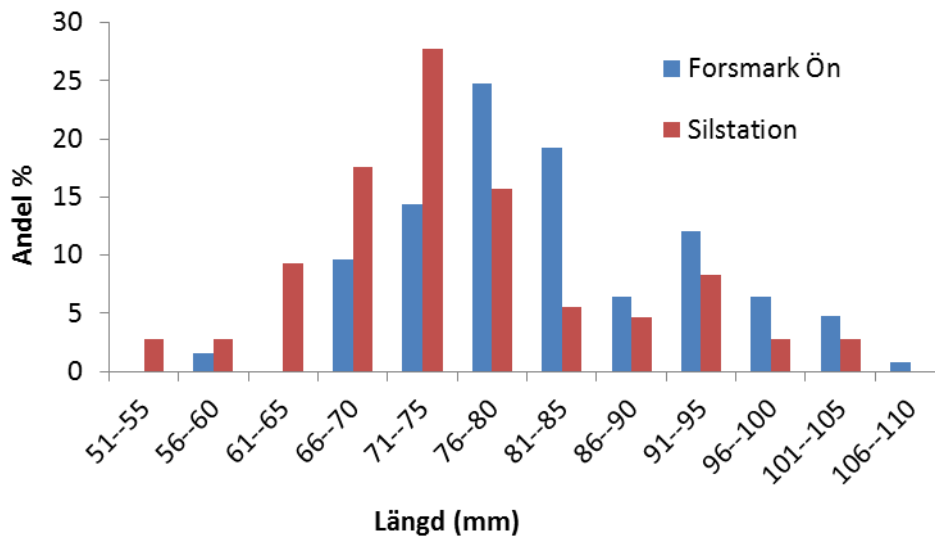
Figur 13. Längdfördelning av strömmingar som fastnat i silstationerna under hösten 2012.

För varmvattenarterna abborre, gädda och gös skedde de största förlusterna under den varma delen av året, från vårarna, när temperaturerna steg till cirka 12° C och fram till höstmånaderna. De största andelarna abborre som fastnade i silstationerna var vuxna individer, undantaget var tillfällena under somrarna och höstarna då periodvis stora mängder små individer noterades i provtagningarna (figur 14). Medelstorleken hos abborrynglen i silstationerna var mindre än hos ynglen från provfisket inom ordinarie recipientkontrollprogrammet med detonationer vid Ön² (figur 15). Gäddorna som förlorades i silstationerna var till största delen små individer (< 100 gram) och under sommarmånaderna utgjordes den största delen av individer på omkring 10 gram. Förlusterna av gös skedde nästan uteslutande under vårarna och somrarna och bestod på basen av medelvikterna framför allt av vuxna individer.

² Variansanalys ANOVA, $F_{1,232}=18,27$, $p<0,01$



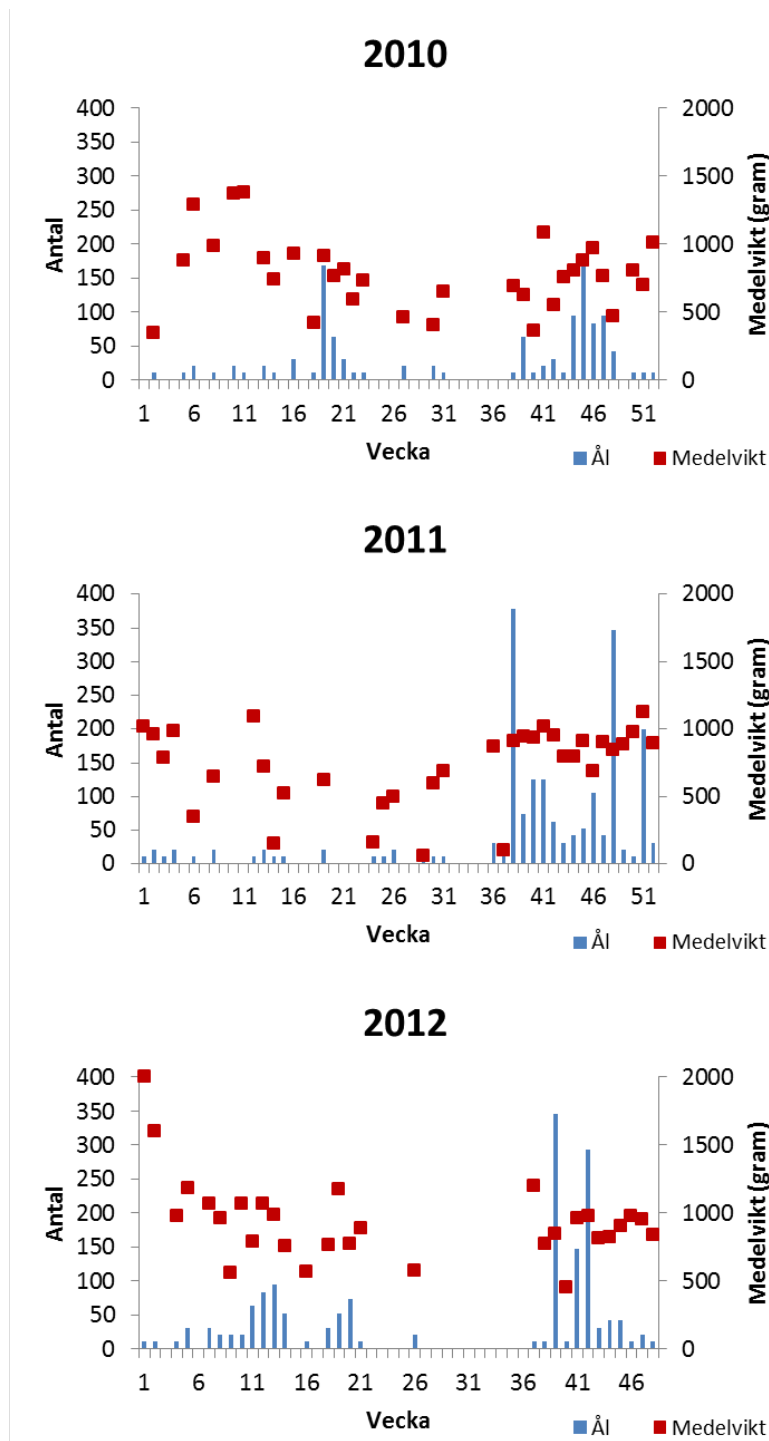
Figur 14. Förluster av abborre i silstationerna under 2010-2012. De blå staplarna anger antal och röda punkterna medelvikt.



Figur 15. Längdfördelningar hos abborre från silstationen och från detonationsfiske i Forsmark Ön. Båda från hösten 2013.

Kallvattenarter såsom sik, lax och öring förekom i liten utsträckning i silstationerna. Sik och lax fångades i litet antal under året och individerna bestod främst av vuxna individer. Öring förekommer i fångsterna i nätprovfiskena men saknades helt i silstationerna under 2010-2012.

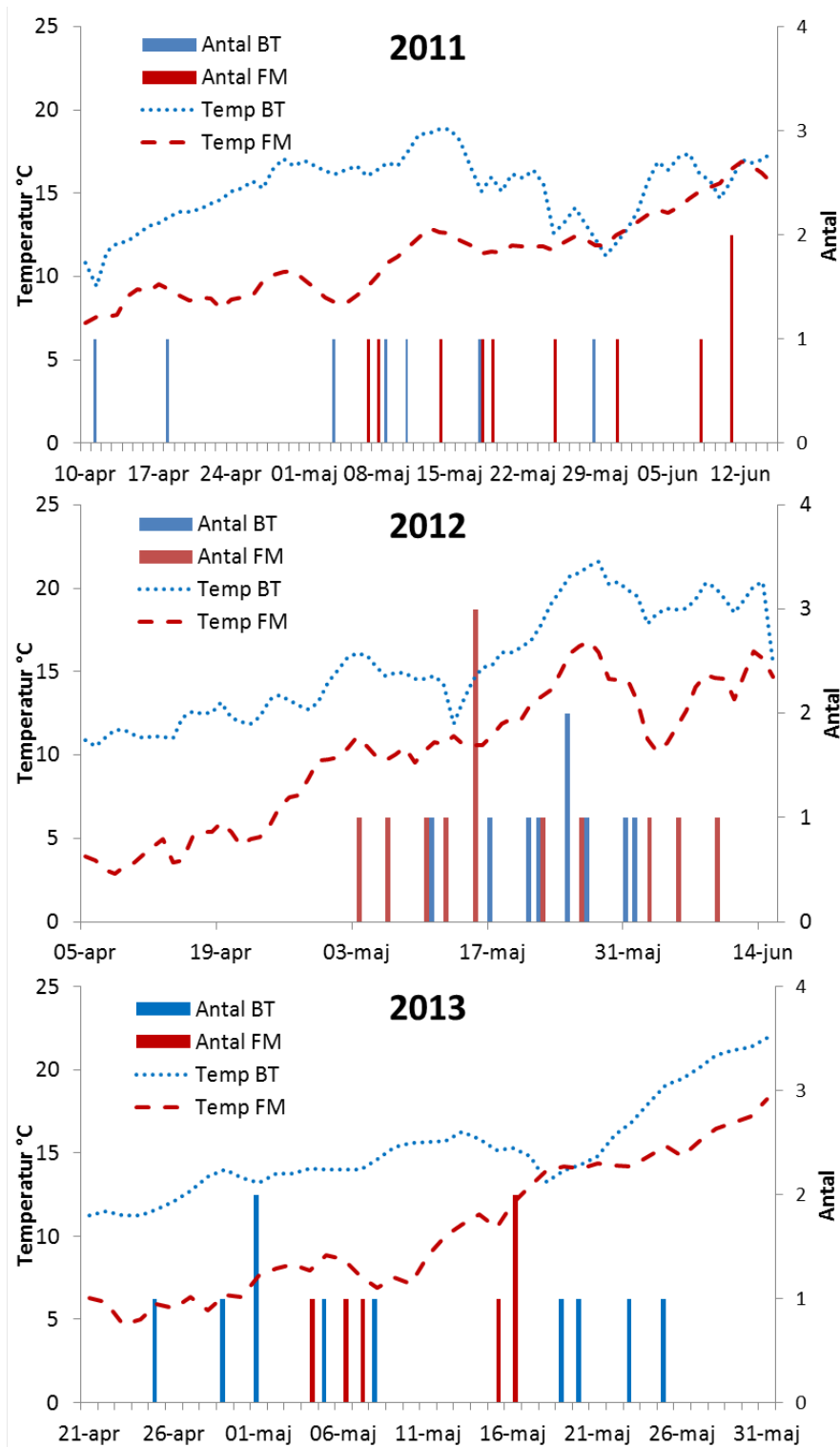
Förekomsterna av ål i provtagningarna var störst under senhöstarna och enligt medelvikterna var majoriteten av individerna vuxna ålar nära tidpunkt för könsmognad, så kallade blankålar (figur 16).



Figur 3. Förluster av ål i silstationerna under 2010-2012. De blå staplarna anger antal och röda punkterna medelvikt.

3.1.3 Rekrytering abborre

Analyserna av dagliga tillväxtzoner hos abborrar visar att kläckningar pågår under långsträckta perioder och inom ett stort temperaturintervall i både Biotestsjön och Forsmarks innerskärgård. I Biotestsjön visar födelsedatumen hos abborren att kläckning sker från mitten av april till början av juni (figur 17). I Forsmark sker kläckningarna något senare, från början av maj till mitten av juni (figur 17). Resultaten från de 54 analyserade individerna indikerade inte att Biotestabborrar spridit sig från Biotestsjön och förekom i Forsmarks innerskärgård under höstarna.



Figur 17. Kläckningsdatum för abborryngel fångade i Biotestsjön (BT) och Forsmark (FM) inner-skärgård under 2011-2013 samt vattentemperatur (Temp) i områdena.

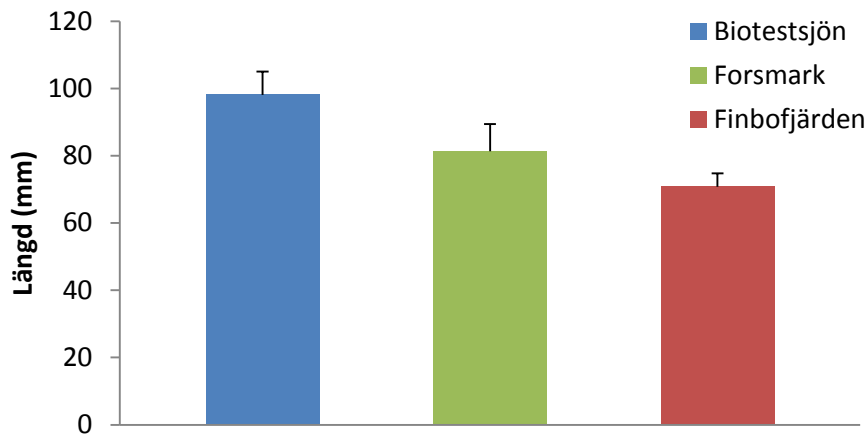
3.2 Effekter av ökad temperatur

3.2.1 Ålder och tillväxt hos abborre

Vid provtagningarna av abborre åren 2010-2012 provtogs totalt 501 individer (133 stycken 2010, 221 stycken 2011 och 147 stycken 2012) från Biotestsjön. Samtliga individer som provtogs var honor förutom under 2010. Då insamlades endast 58 honor eftersom tillgången på abborre var begränsad i Biotestsjön vid provfisketillfället.

Längdtillväxten för abborrar i Biotestsjön under första levnadsåret var 98,4 mm för abborrar födda åren 1997-2012. Detta var en större tillväxt än hos abborrar från både Forsmark och Finbofjärden. Där mätte abborrarna i medeltal 81,3 mm och 70,8 mm³ (figur 18). På basen av data från det ordinarie kontrollprogrammet har tillväxten hos abborrar i Biotestsjön uppvisat små mellanårsvariationer sedan mitten av 1990-talet och varit relativt stabil under de senaste åren⁴. I Forsmark har tillväxten hos abborrarna däremot ökat sedan 1997, och har uppnått liknande tillväxthastigheter som abborrar från Biotestsjön⁵. Denna trend förekommer inte i referensområdet i Finbofjärden⁶ (figur 19).

I Biotestsjön dominerar abborre i åldrarna 0-3 år och utgör 91 % av abborrfångsterna (figur 20). I Forsmark och Finbo fångas väldigt få individer av årsrekryter och störst fångster utgörs av ettåringar och äldre. I Finboområdet fångas en högre andel äldre abborrar, fyraåringar och äldre, än i Forsmark.



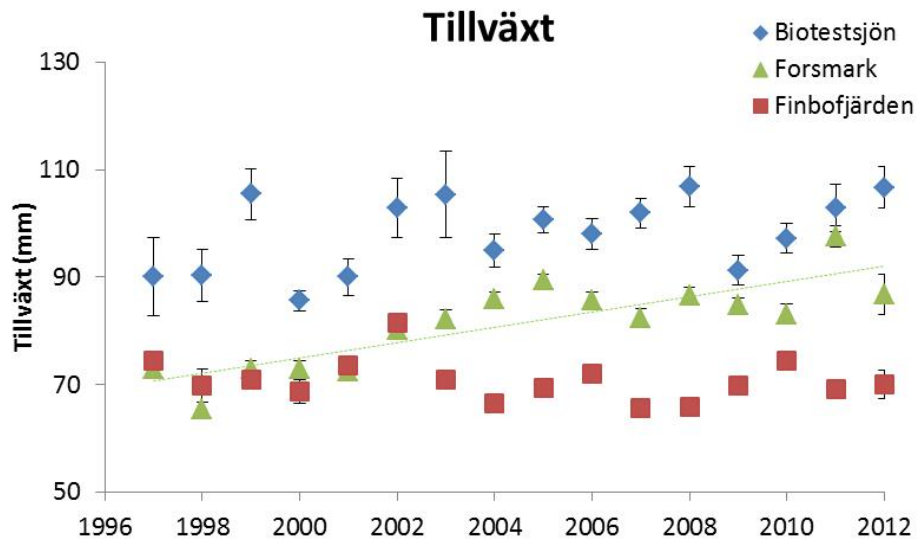
Figur 4. Första årets medeltillväxt hos abborre i Biotestsjön, Forsmark och Finbofjärden under åren 1997-2012. Värdena för Biotestsjön baseras från provfiske med kustöversiktsnät och värdena för Forsmark och Finbofjärden baseras från nordiskt kustöversiktsnät. Felstaplar anger standardavvikelse.

³ Variansanalys ANOVA, $F_{2,47}=71,42$, $p<0,01$

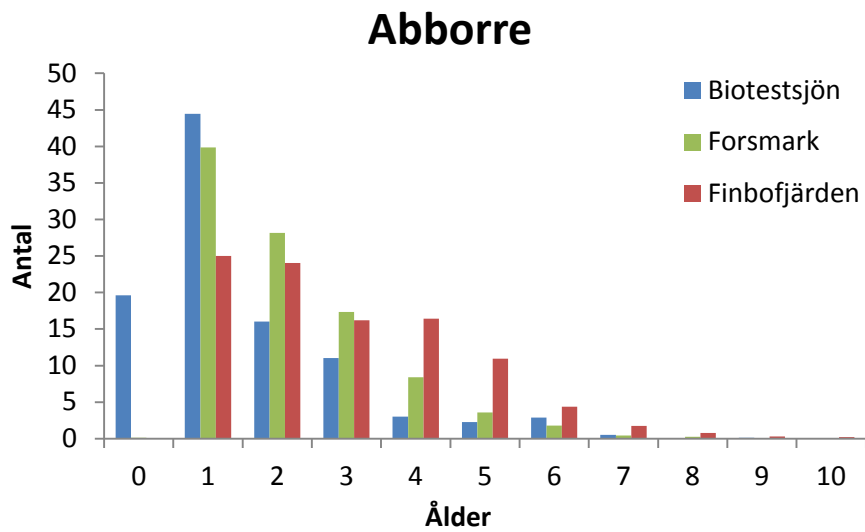
⁴ Linjär regression 1997-2012, $R^2=0,22$, $p=0,07$

⁵ Linjär regression 1997-2012, $R^2=0,70$, $p<0,01$

⁶ Linjär regression 1997-2012, $R^2=0,08$, $p=0,30$



Figur 19. Första årets tillväxt hos abborre i Biotestsjön, Forsmark och Finbofjärden från 1997-2012. Värdena för Biotestsjön baseras från provfiske med kustöversiktnät och värdena för Forsmark och Finbofjärden baseras från nordiskt kustöversiktnät. Felstaplar anger 95 % konfidensintervall.



Figur 5. Fångst per ålder för abborre i Biotestsjön, Forsmark och Finbofjärden under åren 2010-2012. Värdena för Biotestsjön baseras från provfiske med kustöversiktnät och värdena för Forsmark och Finbofjärden baseras från nordiskt kustöversiktnät.

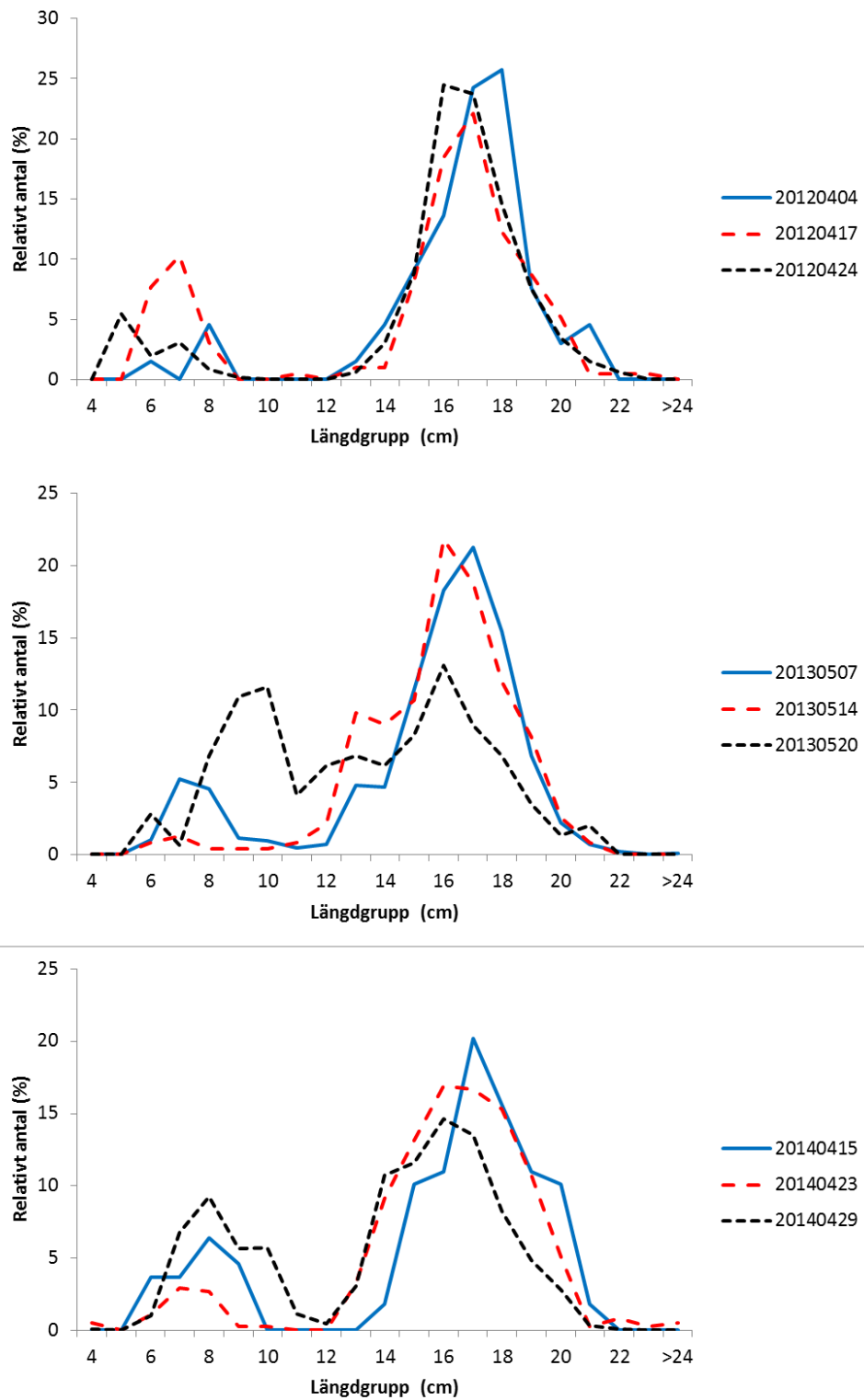
3.2.2 Strömning – ekointegrering och artificiella substrat

Ekointegrering

Totalt fångades 17 arter i undersökningsområdet (tabell 3). Strömning och stor-spigg dominerade trålfångsterna under samtliga år (2012-2014). Därefter följde småspigg, nors och sandstubb. Övriga arter fångades som enstaka individer (tabell 3). Längdfördelningar av strömning uppvisade att det var mestadels lekfisk som samlats i området. Nästintill samtliga strömningar (98-100 %) större än 14 centimeter klassades som lekmogen eller utlekt i kontrollen av gonadstatus (figur 21).

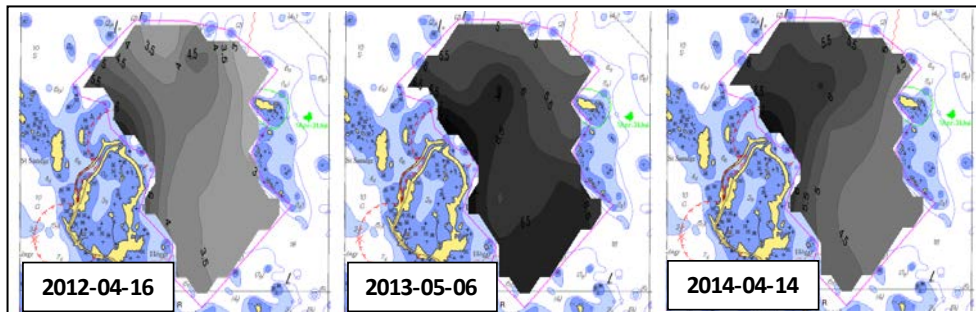
Tabell 3. Resultat från trålning i Forsmark 2012-2014. Andel av fångst anges i procent av antal fångade fiskar. Antal avser antalet fiskar i fångsten totalt. Andel av lekmogen strömning anges i procent.

År	2012			2013			2014		
Datum	4/4	17/4	24/4	7/5	14/5	20/5	15/4	23/4	29/4
Strömning	21.2	39.2	62.2	81.8	66.1	68.3	38.2	52.0	56.7
Stor-spigg	68.3	47.7	32.2	9.9	13.0	17.2	47.7	28.4	24.0
Småspigg	10.3	9.3	4.0	4.1	2.8	1.9	9.5	5.7	3.2
Nors	0.0	0.4	0.3	1.3	15.5	9.7	3.5	6.1	5.9
Sandstubb	0.3	2.8	0.9	2.2	0.8	0.6	1.1	6.0	6.8
Mört	0.0	0.4	0.1	0.1	0.3	0.4	0.0	0.6	2.2
Abborre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
Gers	0.0	0.2	0.1	0.0	0.6	0.0	0.0	0.1	0.0
Elritsa	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Svart smörbult	0.0	0.0	0.1	0.3	0.8	1.1	0.0	0.7	0.7
Kusttobis	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Björkna	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
Löja	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sik	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
Skarpsill	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0
Tånglake	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0
Ål	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
Antal fiskar	312	497	1499	1051	354	1096	285	716	1563
Andel lekmogen strömning	92	78	87	85	91	62	82	90	70

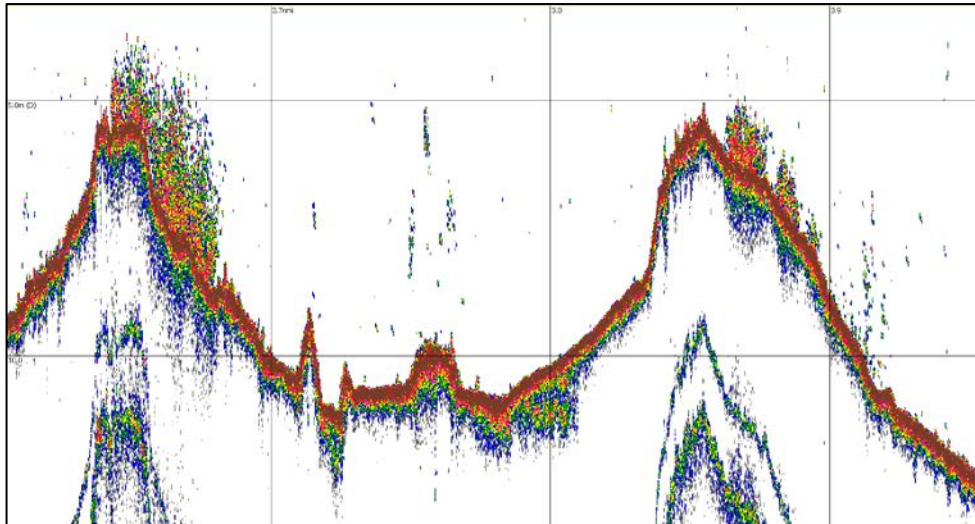


Figur 21. Resultat från trålning i Forsmark 2012-2014. Längdfördelning av strömming.

Förekomsten av strömming i undersökningsområdet, både i antal och i biomassa, var högre under 2013 och 2014 än 2012 (tabell 4). Vattentemperaturen i området under 2012 års undersökningar var lägre än under 2013 och 2014 (tabell 4; figur 22). De största förekomsterna under undersökningsperioden noterades den 7 maj 2013 och var mycket högre än vid de andra tillfällena (tabell 4). Både under 2013 och 2014 noterades stora ansamlingar av lekströmming i undersökningarna. Nära bottenarna längs branterna observerades täta fiskstim och trålningsfångsterna bestod till störst andel av strömming med rinnande mjölke eller rom (figur 23).



Figur 22. Interpolerade temperaturer nära havsbotten i Forsmark vid ekolodningar under 2012-2014. Mörkare fält anger högre temperaturer.



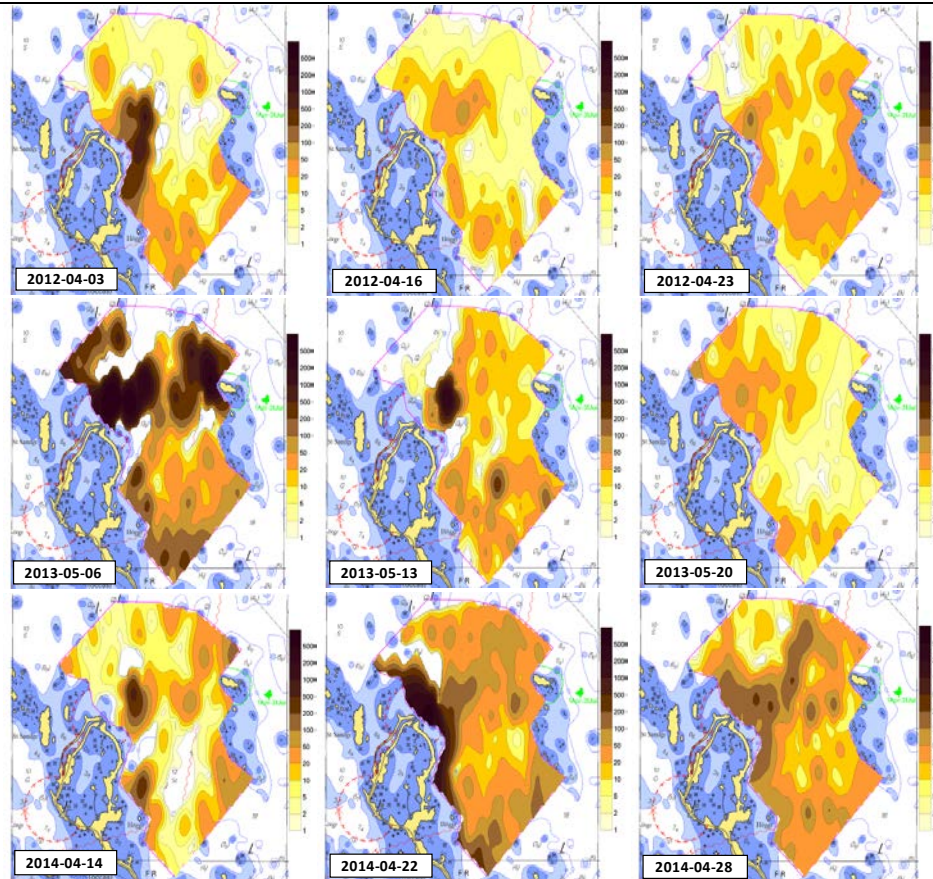
Figur 23. Ekogram av ekolodning i Forsmark i 6 maj 2013. Lek av strömming – täta lekstim nära botten på branterna (mörkröd kontur markerar bottenlinje).

Ser man specifikt på fisktäthet inom den del av undersökningsområdet som inkluderar kylvattenplymen, kan man se en tendens till anlockning av strömming i för-

hållande till plymområdet (figur 24). De tätaste stimmen av strömming förekom vid alla tre tillfällena i kylvattenplymen.

Tabell 4. Resultat från ekolodning i Forsmark 2012-2014.

Start datum	Sträcka (nmi)	NASC (m ² /nmi ²)	Medel temperatur nära havs-botten (°C)	Antal fiskar (miljoner/nmi ²)	Antal strömmingar (miljoner/nmi ²)	Strömmings-biomassa (ton/nmi ²)
20120403	14,3	523	2.7	5,67	1,20	38,42
20120416	14,8	186	4.0	1,03	0,40	11,02
20120423	14,1	142	4.8	0,80	0,50	7,43
20130506	13,9	1472	6.3	21,62	17,69	496,72
20130513	14,1	356	5.3	3,12	2,06	58,61
20130520	13,8	233	6.4	0,83	0,57	10,73
20140414	12,5	199	5.5	2,19	0,84	23,20
20140422	13,7	710	6.8	7,43	3,86	114,05
20140428	14,1	574	6.2	3,98	1,88	21,85



Figur 24. Interpolerade geografiska fördelningar av strömmingstäthet (biomassa) i Forsmark vid ekolodningar i 2012-2014. Fisktäthet anges i ton per nautiskmil².

Artificiella substrat

Under provtagningarna med artificiella substrat noterades strömmingsägg på banden vid 27 olika tillfällen, åtta gånger under 2010, tolv gånger under 2011 och sju gånger under 2012. Lekaktivitet noterades i vattentemperaturer från 4,7°C till 14,8°C, med högst frekvens under maj månad. Antalet ägg som fastnat på banden varierade från enstaka romkorn upp till cirka 500 stycken (figur 25). De provtagna stationerna inom och utanför effektområdet var placerade på hårbotten (klippor, sten och grus) och var på liknande djup som varierade från 1,5 meter ner till 8 meter. Under provtagningsperioderna uppvisade stationerna inom effektområdet högre vattentemperaturer än i referensområdet⁷. Romförekomsten på de artificiella substraten under provtagningsperioderna var störst för stationerna inom effektområdet där lekaktiviteten var mer frekvent än i referensområdet⁸ (tabell 5).



Figur 25. Strömmingsägg som fastnat på artificiella substratet.

Tabell 5. Romförekomst under provtagningsperioden 2010-2012 inom effektområdet (1° C övertemperatur vid bottarna) och referensområdet.

År	Effektområde	Referensområde
2010	10,0 %, n=60	3,3 %, n=60
2011	10,7 %, n=84	3,6 %, n=84
2012	3,2 %, n=94	4,5 %, n=88

⁷ Variansanalys Gaussian GAM-analys 2010-2012, p<0,05

⁸ Variansanalys Gaussian GAM-analys 2010-2012, p<0,01

3.2.3 Rekrytering sik

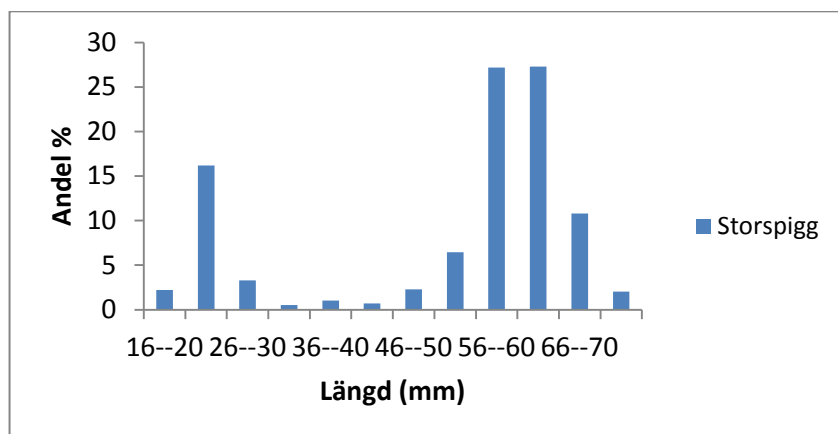
Vid undersökningarna med 108 stycken yngelnotningar fångades drygt 28 000 individer under tre år. De vanligast förekommande arterna var storspigg, småspigg och elritsa (tabell 6). Fångsterna utgjordes framför allt av vuxna individer och juveniler (ej köns mogna) (figur 27-29). Under samtliga provtagningar fångades endast ett årsyngel av sik. Ynglet var 16 millimeter långt och fångades år 2012 vid station 144 (tabell 6, figur 25).

Tabell 6. *Fångster i undersökningarna med yngelnot.*

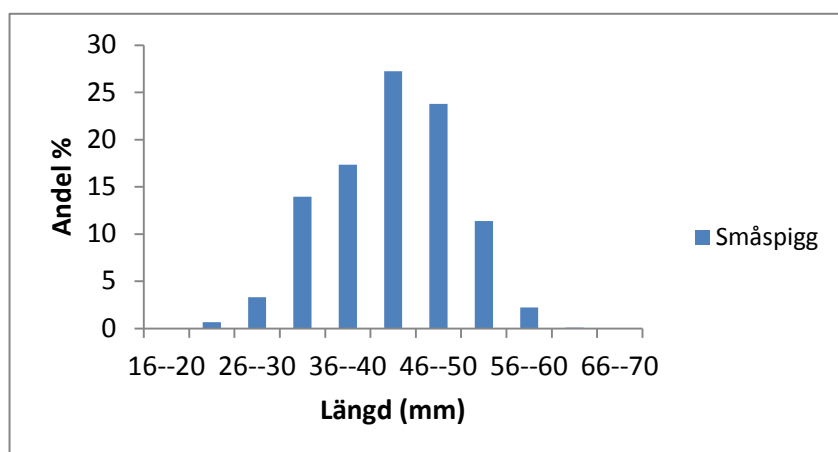
Art	2010	2011	2012	Totalt
Storspigg	9654	820	2770	13244
Småspigg	5396	128	799	6323
Elritsa	3161	21	2578	5760
Sandstubb	1400	120	165	1685
Löja	565	6	474	1045
Kusttobis	140	191	15	346
Mört	156	1	0	157
Mindre havsnål	0	1	1	2
Abborre	1	0	0	1
Sik	0	0	1	1
Totalt	20473	1288	6803	28564



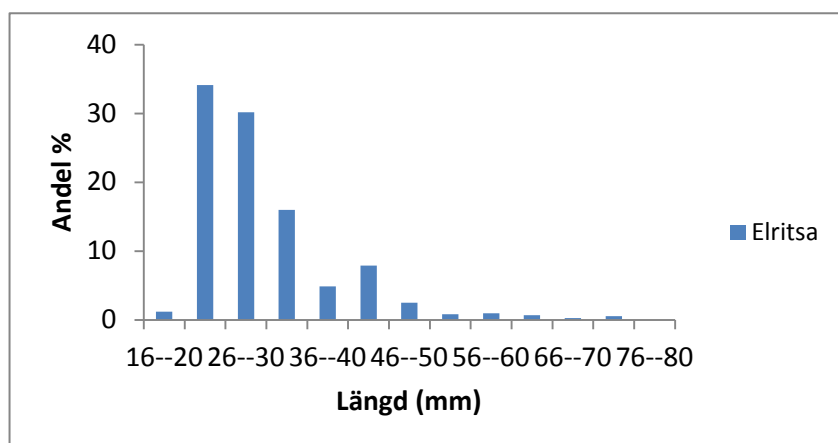
Figur 26. Ett sikyngel.



Figur 27. Längdfördelning för storspigg i yngelnotningarna under åren 2010-2012. Värdena anger medelvärde för samtliga år.



Figur 28. Längdfördelning för småspigg i yngelnotningarna under åren 2010-2012. Värdena anger medelvärde för samtliga år.



Figur 29. Längdfördelning för elritsa i yngelnotningarna under åren 2010-2012. Värdena anger medelvärde för samtliga år.

4 Diskussion

4.1 Utvecklingen av fisksamhället i Forsmarksområdet

I den senaste femårsrapporteringen för recipientkontrollprogrammet i Forsmark gjordes en utförligare genomgång av resultaten inom undersökningarna från 1970-talet fram till 2012 (Adill m.fl. 2012). Rapporten sammanfattar långsiktiga och pågående trender i kustvattenmiljön och beskriver tillstånden för fiskbestånden i Biotestsjön och Forsmark skärgård med jämförelser med referensområdet i Finbofjärden på Åland. Resultaten som presenteras i rapporten ger en bra bild av hur fiskbestånden utvecklats i Forsmarksområdet från den tid då energiproduktionen startade 1980 fram till tidpunkten då arbetet inleddes för att höja effekten i kraftverket. Undersökningar inom effekthöjningsprogrammet ska tillsammans med resultat från det ordinarie kontrollprogrammet ge förutsättningar för att bedöma effekterna på fiskfaunan av ökad bortledning och utsläpp av kylvatten till Bottenhavet, och vilken betydelse det ökade vattenflödet och den ökade värmetillförseln till havet kan få för det allmänna fiskeintresset i området.

Fisksamhällets artsammansättning i Forsmarks skärgård har genomgått tydliga förändringar under de år som kraftverket varit i drift. En stor del av dessa styrs av storskaliga förändringar i Östersjön, såsom generellt minskade salthalter och ökande vattentemperaturer, även om det också skett förändringar som kan kopplas till driften av kärnkraftverket (Adill m.fl. 2012). Generellt sett så var marina arter, såsom torsk och strömming, vanliga från mitten av 1970-talet och fram till slutet av 1980-talet. Andelen sötvattensarter var liten under den här tidsperioden. Från slutet av 1980-talet och fram till slutet av 2000-talet ökade andelen sötvattensarter kraftigt i Forsmarksområdet, exempelvis mört, abborre och björkna, vilka också är traditionella varmvattenarter. Under den senaste tioårsperioden har artsammansättningen i Forsmark åter genomgått stora förändringar och gått från en nära renodlad dominans av sötvattensarter till en större andel marina arter, nu nästan uteslutande bestående av strömming. De senaste åren har både strömming och gers ökat i förekomst i området.

Den totala fångsten av abborre har sedan 1980-talet varit relativt stor och inte genomgått kraftiga förändringar i Forsmarks skärgård. På en mer generell nivå skiljer sig dock Forsmarksområdet från andra provfiskeområden i Bottniska viken och norra Egentliga Östersjön genom en starkare ökning av abborre över tid (HELCOM 2012). De senaste åren har andelen stor abborre (>25 cm) ökat kraftigt, en trend som inte syns i referensområdet Finbofjärden (Adill m.fl. 2012). Denna utveckling kopplas samman med den snabba tillväxten hos abborre under de första levnadsåren. Sedan fiskspärren avlägsnades vid Biotestsjöns utlopp har anlockning av både abborre och mört kraftigt ökat under lekperioden på våren. Det är sannolikt att många abborrar tidvis kan gynnas av Biotestsjöns mer gynnsamma förhållanden för tillväxt och rekrytering, och att de sprider sig från anläggningen till andra delar av Forsmarksområdet.

Mot bakgrund av undersökningarna i kraftverkets silstationer går det att följa utvecklingen av bestånden för de småväxta fiskarterna (exempelvis storspigg, småspigg och sandstubb) samt yngeltätheter för kustlevande arter (exempelvis strömming och samtliga varmvattenarter) i Forsmarksområdet. Den samlade trenden för storspigg, som svarar för de särklass största förekomsterna i silstationerna under vårarna, är att arten ökat markant i området. Denna utveckling syns även i undersökningar genomförda i Egentliga Östersjön och Bottniska viken där storspigg ökat kraftigt sedan slutet av 1980-talet (Adill m.fl. 2012). Ett fisksamhälle dominerat av storspigg längs kusten förväntas påverka andra fiskarter som abborre och gädda negativt, bland annat genom ökad predation på andra arters rom och larver samt ökad födokonkurrens för uppväxande fiskyngel (Ljunggren m.fl. 2005; Eriksson 2011).

Under höstarna kan resultaten från kontrollerna i silstationerna indikera hur framgångsrik rekryteringen varit för vårlekande arter i Forsmarksområdet. Under slutet av 1980-talet och början av 1990-talet var tätheterna av strömming höga och då främst av årsyngel (Adill m.fl. 2012). Därefter har variationen mellan år varit stor med relativt låga nivåer. Trenden för storspigg under höstarna visar liksom vårkontrollerna att arten ökat markant i Forsmarksområdet sedan slutet av 1980-talet, och att förekomsterna av årsyngel varit kraftiga sedan 2008. En liknande utveckling ses även hos småspigg.

4.2 Effekter av ökat vattenflöde och höjda temperaturer

Det ökade vattenflödet genom kraftverket i samband med effekthöjningarna förväntas påverka den fysiska vattenmiljön och dess organismer bland annat genom försämrade rekryteringsplatser lokalt i Asphällafjärden, ökad dödlighet av fisk i silstationerna och ökat utflöde av larver och yngel från Biotestsjön till utsläppsområdet i Öregrundsgrepen. Till följd av det ökade vattenflödet genom kraftverket

kommer dessutom vattentemperaturerna att höjas i närrecipienten och i utsläppsområdet i Öregrundsgrepen. Effekterna av detta blir att varmvattenplymen kommer att växa och därmed kan få konsekvenser som att större mängd fisk anlockas till Biotestsjön eller utsläppsområdet, främst under lekperioden under våren. En större varmvattenplym kan dessutom påverka höstlekande fisk, bland annat sik, genom att de naturliga rekryteringsområdena försämras och överlevnaden hos larver och yngel minskar. Det finns farhågor om att effekterna av en ökning i energiuttaget i kraftverket kommer att få negativa konsekvenser för det allmänna fiskeintresset, till följd av att fiskbestånden lokalt i Forsmarksområdet kommer att påverkas. Denna rapportering, som är den första delen i undersökningarna inom effekthöjningsprogrammet mellan åren 2009-2014, syftar till att ge svar på hur tillståndet ser ut för fiskbestånden i området samt ge synpunkter på vilka ytterligare undersökningar som behöver genomföras för att kunna avgöra hur det allmänna fiskeintresset påverkas av effekthöjningen.

4.3 Fiskrekrytering – Asphällafjärden

Vid undersökningarna i Asphällafjärden var mängden årsyngel av varmvattenarter extremt lågt. Endast ett fåtal individer fångades av abborre, mört och gädda under de tre åren. Parallellt med undersökningarna i Asphällafjärden har andra yngelstudier genomförts längs kuststräckan i Forsmarksområdet och delvis stämmer bilden från Asphällafjärden överens med hur yngelförekomsten sett ut på de andra områdena. Vid Ön i Forsmark innerskärgård var förekomsten av yngel av abborre, mört och gädda låg under 2009 och 2010. Detta sågs även i undersökningar utförda av Upplandsstiftelsens i naturreservaten Skaten-Rångsen och Kallriga, som ligger norr respektive söder om kärnkraftverket under 2010 (Persson m.fl. 2011). Under 2011 var däremot tätheterna av abborryngel stor vid Ön och i de närliggande naturreservaten men inte i Asphällafjärden. Från flera kustområden längs Sveriges kuster rapporterades att rekryteringen av abborre varit framgångrik det året, vilket förklarades med att omgivningsfaktorer som temperatur och födotillgång varit speciellt gynnsamma för nykläckta larver (Adill m.fl. 2012). Det är troligt att de låga förekomsterna av abborryngel i Asphällafjärden beror på negativ inverkan från kärnkraftverkets intag av kylvatten. Enligt tidigare utförda matematiska modelleringar baserade på fältdata har visat att Asphällafjärden har synnerligen goda förutsättningar för lek och uppväxt av abborre, gädda och gös (Sandström m.fl. 2010). Faktorer som med största sannolikhet påverkar rekryteringen negativt är det kontinuerliga vattenflödet i området och vattentemperaturen. Temperaturmätningarna som genomförts under provtagningarna visade att vattentemperaturen är lägre i Asphällafjärden under våren än i omliggande skärgårdsområden, vilket minskar områdets värde för lek av varmvattenarter. Trots detta förekommer antagligen

rekrytering i de grunda och vegetationsrika områdena i Asphällafjärden. Risken är dock stor att de tidiga livsstadierna av fisk förloras när de aktivt transporteras med strömmarna in i silstationerna. Eftersom nykläckta fisklarver kan passera genom silarna och inte registreras i undersökningarna i silstationen, borde studierna i Asphällafjärden inkludera rominventeringar under våarna för att få en uppskattning om lekaktivitet i området.

4.4 Fiskförluster i silstationer

Kontrollerna under hela årscykler i silstationerna påvisade att den största mängden fisk som förloras till största del sammanfaller med perioden för den ordinarie provtagningen mellan vecka 17-24 samt 37-48. Detta understryker att det ordinarie provtagningsprogrammet inom baskontrollen ligger inom rätt tidsperiod under året för att ge bra skattningar hur mycket fisk som förloras i kylvattenintagen till kraftverket. En tydlig trend i resultaten är att det främst är vuxna individer som fastnar i silarna på våarna och att andelen årsyngel ökar markant under sensommaren och hösten.

De kommande effekthöjningarna i kraftverket förväntas påverka fiskförlusterna i hög grad genom det ökade kylvattenflödet. Enligt beräkningar skulle den fisk som dör i silstationerna kunna öka uppemot 63 % med avseende på antal och biomassa (Bryhn m.fl. 2013). Sannolikt kommer detta att påverka småväxta fiskarter och årsyngel mest. Något som inte framkommer i baskontrollerna är hur stora förlusterna är för olika fiskarter i tidiga livsstadier, det vill säga ägg eller individer som precis har kläckts. Fiskarter med pelagiska ägg och larver är ovanliga i Bottnhavet och förlusterna i Forsmark av sådana stadier är troligtvis på låga nivåer (Ehlin m.fl. 2009). Risken är dock stor att fisk som reproducerar sig i närområdet av kylvattenintaget, i Asphällafjärden med omnejd, får en stor andel av sina avkommor insugna i kraftverkets kylvattenintag och går förlorade. I uppföljningen av effekthöjningsprogrammet borde undersökningarna i Asphällafjärden kompletteras med larv- och yngelundersökningar i intagskanalen.

Strömning fastnar i silstationerna främst som unga individer och den känsligaste perioden är från sensommaren och hösten. Den höga förekomsten har sannolikt ett samband med individernas begränsade förmåga att röra sig mot de likriktade vattenströmmarna i intagsområdet. Förlusterna av ung strömning skulle sannolikt öka i samband med effekthöjningarna och troligen skulle årsyngel påverkas mest. Vad detta ger för effekter för det allmänna fiskeintresset kommer styras i högsta grad av omfattningarna av förlusterna.

En art, som i motsats till de flesta andra fiskarter i Forsmarksområdet, omkommer i silstationerna som vuxna individer är ålen. Den europeiska ålen är en art med en komplex fortplantningsbiologi med lekogränder i Sargassohavet (någonstans

mellan Puerto Rico och Bermuda), flera tusen kilometer bort från uppväxtplatserna i Europa (Muus m.fl. 1997). De nykläckta larverna driver med havsströmmarna från kläckningsplatserna mot norra Afrika och den europeiska kusten, i uppmot ett år. Efter ankomsten till kustområdena uppsöker ålarna lämpliga uppväxtområden, både i vattendrag och i havsområden. Vid en ålder av cirka 15-20 år genomgår ålarna en förvandling och närmar sig könsmognad. Nu påbörjas vandringen tillbaka mot lekområdena i Sargassohavet och ålarna som vuxit upp längs Bottenhavets kuster eller anslutande vattendrag ska ut ur Östersjön. Tidpunkten för dessa vandringar är troligtvis på hösten och sammanfaller med perioden för höstprovtagningarna i silstationerna. Ålarna förflyttar sig längs kusterna och vid ankomst till intagsområdet till kraftverket lockas de sannolikt nedströms och fastnar slutligen i silstationerna .

Från början av 1990-talet har både medelvikt och förluster av ål stadigt ökat i provtagningarna med den största noteringen 2011. Då noterades 1400 individer med en medelvikt på nästan 900 gram. Denna utveckling har kopplats samman med de massiva utsättningarna av ål som genomfördes 1989 då 500 000 glasålar sattes ut i Biotestsjön (Karås m.fl. 2010). Eftersom ålarna från dessa utsättningar har uppnått en ålder över 25 år borde majoriteten av dessa ålar försvunnit från Forsmarksområdet och därmed förväntas förlusterna i silstationen börja minska. Vilken effekt den ökade driften i kraftverket får för ålförlusterna har en särskild betydelse eftersom ålen är akut utrotningshotad. Enligt förordningar har Sverige åtagit sig att genomföra åtgärder för att minska dödligheten för ålen, bland annat genom åtgärder inom vattenkraftverksamheten samt reduceringar inom yrkesfiske och ett totalt stopp för fritidsfiske efter ål. På grund av ålens säregna livscykel kan effekthöjningarna i Forsmark påverka det allmänna fiskeintresset på en större geografisk skala och ge effekter hos småskaliga kustfiskerier längre söderut.

4.5 Rekrytering abborre

En av de större förändringar som skett av fiskfaunan i Forsmark, och som kan härledas till verksamheten i kraftverket, är förändringar i tillväxten hos abborre. För abborrar födda 2003 och senare har tillväxten under det första levnadsåret hos individerna i Forsmarks skärgård avvikit från tillväxten hos abborrarna i referensområdet i Finbofjärden (Adill m.fl. 2012). Förändringarna kan sannolikt kopplas till skillnader i omgivande temperatur. Det mest troliga händelseförloppet är att många av abborrarna som fångats i Forsmark härstammar från Biotestsjön. Sedan gallren togs bort från utloppet av Biotestsjön 2004 har det varit möjligt för fisk att vandra mellan anläggningen och det omgivande vattnet. Under de senaste åren har utbytet av fisk mellan Forsmarks skärgård och Biotestsjön ökat, vilket syns tydligast under vårperioden i samband med lek för abborre och mört. Det finns också

tecken på att årsyngel av abborre vandrat från Biotestsjön till Forsmarks innerskärgård (Adill m.fl. 2009).

I samband med driftökningar i kraftverket förväntas anlockningen av fisk öka till Biotestsjön till följd av att varmvattenplymen i utsläppsområdet kommer att täcka en större yta. Under vårarna skulle detta innebära att lekbiomassan av varmvattenarter skulle öka i anläggningen. Eftersom det tidigare inte har kunnat påvisas något positivt samband mellan höga tätheter av lekmogen abborre på våren och stora yngelförekomster i Biotestsjön under hösten, finns farhågor om att rekryteringen störs i anläggningen. Möjliga förklaringar till de försvagade rekryteringarna i Biotestsjön kan vara att larverna spolats ut i Öregrundsgrepen i tidigt skede av utvecklingen eller att de senare i livet vandrar ut som yngel. Om larverna spolats ut från Biotestsjön i tidigt utvecklingsstadium är risken stor att de inte överlever den stora temperaturskillnad som transporten mellan anläggningen och området utanför innebär (Adill m.fl. 2012).

Utifrån analyserna av dagliga tillväxtnöster hos abborryngel från Biotestsjön och Forsmark framkom att lekaktiviteten i området pågår under långa tidsperioder och inom ett stort temperaturintervall. Detta resultat är tydligast för abborrar som fångades i Biotestsjön, där kläckningsperioden pågick från början av april till juni. Trots att vattentemperaturerna i anläggningen var höga jämfört med referensområdet i innerskärgården var skillnaden i tidpunkt för kläckning inte stor mellan abborrar från de två områdena. Resultatet indikerar att en stor andel av de abborrar som leker i Biotestsjön anlockas till anläggningen utifrån och anländer till lekområdena tidigt under våren. Detta har tidigare observerats inom recipientkontrollprogrammet efter galleröppningen vid Biotestsjöns utlopp (Adill m.fl. 2010). Ett undantag inträffade 2011, när abborrar kläcktes tidigt på säsongen i Biotestsjön jämfört med utanför. Dessa abborrar kan möjligen vara avkomor från abborrar som övervintrat i anläggningen och som därmed lekte i tidigt skede på säsongen.

Det går dock inte att utvärdera om det finns abborrar födda i Biotestsjön bland individerna i Forsmarks skärgård på basen av de analyserade proverna. Antalet analyserade abborrar var för få och skulle behöva kompletteras med flera. Vid den uppföljande utvärderingen inom effekthöjningsprogrammet borde ytterligare prover från dessa studier analyseras för att uppnå cirka 50 prover från varje område och år. Dessutom bör upplägget under den avslutande delen av effekthöjningsprogrammet innefatta insamling av årsyngel vid ytterligare en tidpunkt tidigare under året. Denna komplettering skulle underlätta analysarbetet och säkerställa metodiken så att resultat uppnås med hög kvalitet. Det borde även undersökas om otolitkemi vore en möjlig metodik för att särskilja Biotestabborrar från abborrar i Forsmarks innerskärgård. Detta vore möjligt om den kemiska sammansättningen i otoliterna ser olika ut mellan områdena.

4.6 Strömning

Situationen för strömningen i Bottenhavet anses i dagsläget vara god och beståndet har haft en ökande trend sedan början av 1980-talet (Havs- och vattenmyndigheten 2012). Utvecklingen för strömning i Forsmarks skärgård har dock avvikit något från denna bild. Genomförda undersökningar i området har påvisat att förekomsten varierat under olika tidsperioder. Från mitten på 1970-talet fram till slutet av 1980-talet var strömning relativt vanlig i Forsmark. Därefter minskade den relativa förekomsten av strömning i provfiskena och andra arter blev vanligare, främst sötvattenarter som abborre, mört och gers. Dessa förändringar har sammankopplats med trender i salthalt i Bottenhavet och till vattentemperaturer under provfiskeperioderna. Sedan 2009 har artsammansättningen återigen blivit mer lik den som observerades under 1980-talet och strömning blivit mer förekommande (Adill m.fl. 2012).

Undersökningar av strömningens beteende och reaktioner på kylvatten vid kärnkraftverk har genom åren studerats ingående och har presenterats i flertalet rapporter (Neuman, 1982; Sandström & Krogh, 1984; Andersson & Karås, 1990). Generellt sett har undersökningarna visat att strömning inte uppehåller sig i någon större omfattning till kylvattenutsläppen under höstarna och vinterhalvåret. Vid lekperioderna under vårarna, däremot, har flertalet studier påvisat att en tydlig anlockning sker till det varma vattnet i utsläppsområdena. Sannolikt lockas både strömning som uppehåller sig lokalt i området kring utsläppen, och även lekvandrande strömningar när de får kontakt med kylvattenplymen. Lekaktivitet har observerats vid flertalet tillfällen och stora mängder rom har syns omkring kylvattenutsläppen.

Från beräkningarna av tätheter och biomassor för strömning inom undersökningsområdet syns tydligt att strömningen anlockas till kylvattenplymen och de allra största mängderna uppehåller sig nära utsläppspunkten från Biotestanläggningen. Vid undersökningarna fanns ett mönster att mängden strömning varierade i undersökningsområdet mellan år. En viktig faktor är sannolikt vattentemperaturen vid undersökningstillfället, där låga temperaturer påverkade fångsterna negativt. De låga förekomsterna av strömning under 2012 jämfört med 2013 och 2014 var troligen en effekt av temperaturen, så att undersökningarna genomfördes innan lekaktiviteten var fullt igång.

Jämförelser av resultaten för tätheter och biomassor med tidigare genomförda studier i Forsmark skulle möjligen kunna påvisa en generell utveckling för strömingsbeståndet i området. I undersökningar med ekolodningar och trålningar under 2003-2006 visade resultaten att tätheterna och biomassorna var på betydligt lägre nivåer jämfört med hur det såg ut 2012-2014 (Axenrot & Hansson 2004, Karås m.fl. 2010). Den troliga orsaken till de stora skillnaderna mellan resultaten från de båda undersökningarna tillskrivs dock perioderna när studierna genomför-

des. Vid samtliga tillfällen under 2003-2006, med undantag av ett tillfälle i maj 2004, utfördes studierna i augusti och september och inte under våren. De låga tätheterna av strömming 2003-2006 jämfört med 2012-2014 understyrker påståendet att anlockningen sker i samband med lekperioderna och inte under andra delar av året.

Undersökningarna med artificiella substrat visade liksom ekointegreringen att strömming anlockas till kylvattenplymen under lekperioden. Trots att provtagningarna inte kunde genomföras på platser där ekolodningar påvisade de största tätheterna av strömming kunde det ändå konstateras att störst andel strömming lekte inom effektområdet. Trots att lekaktivitet förekom inom ett stort temperaturintervall fanns en tydlig koppling mellan vattentemperatur och romförekomst.

Genom undersökningarna har det framkommit att det sker en tydlig påverkan av kylvattenutsläppet på strömmingsbeståndet i området. Anlockningen av strömming till kylvattenplymen är omfattande och studierna har visat att lekaktiviteten är större inom effektområdet än på platser med referenskaraktär. Det går dock inte att påvisa om det varit någon skillnad i romkvalitet, till exempel om det var en högre dödlighet för strömmingsrommen inom effektområdet, utifrån det material som har samlats in. Därför blir det svårt att uttala sig om hur beståndet påverkas lokalt utifrån lekbiomassan. För att utröna effekter av kylvattenutsläppet på strömming på en större geografisk skala, det vill säga hur beståndet av strömming påverkas norr och söder om kylvattenutsläppet, bör kompletterande undersökningar genomföras. Vid den undersökningsomgång som ska äga rum när effekthöjningarna är färdigställda, bör de nu utförda ekointegreringarna i kylvattenplymen upprepas men kompletteras med undersökningar i hela Öregrundsgrepen. Studien skulle syfta till att kontrollera tätheter och storlekssammansättning hos strömmingen för att ge svar på hur effekthöjningarna påverkar bestånden i större skala.

4.7 Rekrytering sik

Sik har varit en viktig fiskart för både yrkes- och fritidsfisket i kustnära områden i Forsmark. Ända till början av 1990-talet fångades sik frekvent och utgjorde ett viktigt inslag i inkomsterna för det småskaliga yrkesfisket i området. Under de senaste tjugo åren har dock förekomsterna av sik minskat markant och uppvisat en mycket negativ trend längs Bottenhavskusten. Enligt resultat från övervakningsfisken och yrkesfiskestatistik är tillståndet för siken i dagsläget mycket sämre än i början av 1990-talet (Havs- och vattenmyndigheten, 2012). Vad som har orsakat den negativa utvecklingen för sik har inte konstaterats men åldersanalyser har påvisat en ökande dödlighet i beståndet, vilket bland annat medfört att individernas tillväxt har minskat (Havs- och vattenmyndigheten, 2012). Sannolikt har ett stort fisketryck tillsammans med ökad konsumtion av säl, som en följd av hög

tillväxttakt hos sälbeståndet, bidragit till den ökande dödligheten. För att stärka de minskande sikbestånden infördes under 2011 en förvaltningsåtgärd i fiskeområdet södra Bottenhavet, vilket bland annat innebar ett totalt fiskestopp under sikens lekperiod 15 oktober-30 november. Uppföljande provfiske genomförs årligen för att utvärderas om åtgärderna har någon effekt.

Resultaten av yngelnotningarna efter sik bekräftade den akuta situationen för den kustlekande sikpopulationen. Under de tre åren studierna genomfördes fångades endast ett sikyngel på 108 notdrag, vilket kan jämföras med liknande studier som genomfördes i början av 1990-talet, Då fångades 129 sikyngel år 1990 (16 notdrag) och 526 sikyngel år 1992 (23 notdrag). De låga förekomsterna av sikyngel i Forsmarksområdet är sannolikt en följd av den generella nedgången i sikpopulationen i Bottenhavet och kan inte tillskrivas driften i Forsmarks kärnkraftverk. För att möjliggöra en bra utvärdering av effekthöjningarnas påverkan av sikbeståndet i Forsmarksområdet bör den slutliga analysen kompletteras med data från andra genomförda studier med fokus på sikrekrytering. Saknas underlag av data med hög kvalitet från yngelstudier bör de avslutande fältinsatserna utökas och även genomföras med provtagningar på platser med referenskaraktär.

5 Referenslista

- Adill, A., Mo, K. & A. Sevastik, 2010. Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk, Årsrapport för 2009. Fiskeriverkets kustlaboratorium.
- Adill, A., Mo K. & A. Sevastik, 2011. Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk. Årsrapport för 2010. Fiskeriverket Kustlaboratoriet.
- Adill, A., Landfors, F., Mo, K. & A. Sevastik, 2012. Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk. Årsrapport för 2011. Aqua reports 2012:7. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 43 s.
- Adill, A., Mo, K., Sevastik, S., Olsson, J., Bergström, L. (2013). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Sammanfattande resultat av undersökningar fram till år 2012. Aqua reports 2013:19. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 69 s.
- Adill, A., Heimbrand, Y., Sevastik, S. (2014). Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk - Årsrapport för 2013. Aqua reports 2014:5. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 42 s.
- Andersson, J. & P. Karås. 1990. Effects of cooling-water discharges on spring-spawning Baltic herring (*Clupea harengus* L.). Statens naturvårdsverk, opublicerad.
- Axenrot, T. and Hansson, S. 2005. Forsmark site investigation – Studies of fish abundance, densities and species composition at Forsmark. May and August/September 2004. SKB P-05-117. 19 s.
- Bergström U, Sundblad G, Fredriksson R, Karås P & Sandström A 2014. Yngelprovfiske med små undervattensdetonationer. Undersökningstyp.
- Bryhn, A. C., Bergenius, M. A. J., Dimberg, P. H. och Adill, A., 2014. Biomass and number of fish impinged at a nuclear power plant by the Baltic Sea. Environmental Monitoring and Assessment, 185: 10073-84.
- 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, B.K., Ljunggren, L., Sandström, A., Johansson, G., Mattila, J., Rubach, A., Råberg, S., Snickars, M., 2009. Declines in predatory fish promote bloom-forming macroalgae. Ecol. Appl. 19 (8), 1975–1988.
- Foote, K.G., Knudsen, H.P., Vestnes, G., MacLennan, D.N. and Simmonds, E.J. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: A practical guide. ICES Cooperative Research Report, 44. 69 s.
- Gunnartz, U., Lif, M., Lindberg, P., Ljunggren, L., Sandström, A & Sundblad, G (2011): Kartläggning av lekområden för kommersiella fiskarter längs svenska ostkusten- en intervjustudie. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. ISSN 1404-8590.
- Havs- och vattenmyndigheten 2012. Fiskbestånd och miljö i hav och vatten. Resurs- och miljööversikt 2012

- HELCOM, 2012. Indicator based assessment of coastal fish community status in the Baltic Sea 2005-2009. *Balt. Sea Environ. Proc.* No. 131
- Higginbottom, I., Woon, S., Schneider, P. 2009. Hydroacoustic data processing for standard stock assessment using Echoview. Technical manual. Myriax Software, Australia. 140 s.
- Ingemansson, A. & S. Lindahl, 2005. Simulering av kylvattenplymer från Forsmarks kraftverk. SMHI-rapport.
- Karås, P., A. Adill, M. Boström, K. Mo & A. Sevastik, 2010. Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk år 2000–2007. Fiskeriverket informerar, FINFO 2010:2.
- Ljunggren, L., A. Sandström, G. Johansson, G. Sundblad & P. Karås, 2005. Rekryteringsproblem hos Östersjöns kustfiskbestånd. *Finfo* 2005:5.
- MacLennan, D.N., Fernandez, P.G., and Dalen, J. 2002. A consistent approach to definitions and symbols in fisheries acoustics. *ICES Journal of Marine Science* 59: 365-369.
- Muus, B., J. Nielsen, 1997. Havsfisk och fiske i nordvästeuropa. Prisma. ISBN 91-518-3505-3. 337s.
- Neuman, E. 1982. Species composition and seasonal migrations of the coastal fish fauna in the southern Bothnian Sea. s. 317–351. I: *Coastal Research in the Gulf of Bothnia*. Ed. K. Müller, Dr W. Junk Publishers, The Hague.
- Persson, J., G. Johansson & T. Loreth. 2011. Förstärkta fiskbestånd i Roslagens skärgård, Verksamhet 2010
- Sandström, O. & E. Krogh. 1984. Effekter av kylvattenutsläpp på strömmingen utanför Forsmarksverket. Statens naturvårdsverk, opublicerad.
- Sandström, O. & E. Neuman, 2005. Miljökonsekvenser vid nuvarande samt utökad produktion vid Forsmarks kärnkraftverk – effekter av intag och utsläpp av kylvatten.
- Sandström, O. & B. Söderlund. 2010. Fiskrekrytering i Uppsala läns skärgårdard, underlag för fiskevård och biotopskydd. Länsstyrelsens meddelandeserie 2010:01 Miljöenheten ISSN 1400-4712.
- Secor, D. H., J. M. Dean, and E. H. Laban. 1992. Otolith removal and preparation for microstructural examination, p. 19-57. *In* D. K. Stevenson and S. E. Campana [ed.] *Otolith microstructure examination and analysis*. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 117
- Simrad 2008. Simrad ER60, Reference Manual, Release 2.2.0. Kongsberg Maritime AS, Horten, Norway. 221 s.

