



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.





*Biologiska undersökningar
vid Forsmarks kraftverk
1980–1995*

*Kerstin Mo
Peter Karås
Erik Neuman
Olof Sandström
Henrik Svedäng*

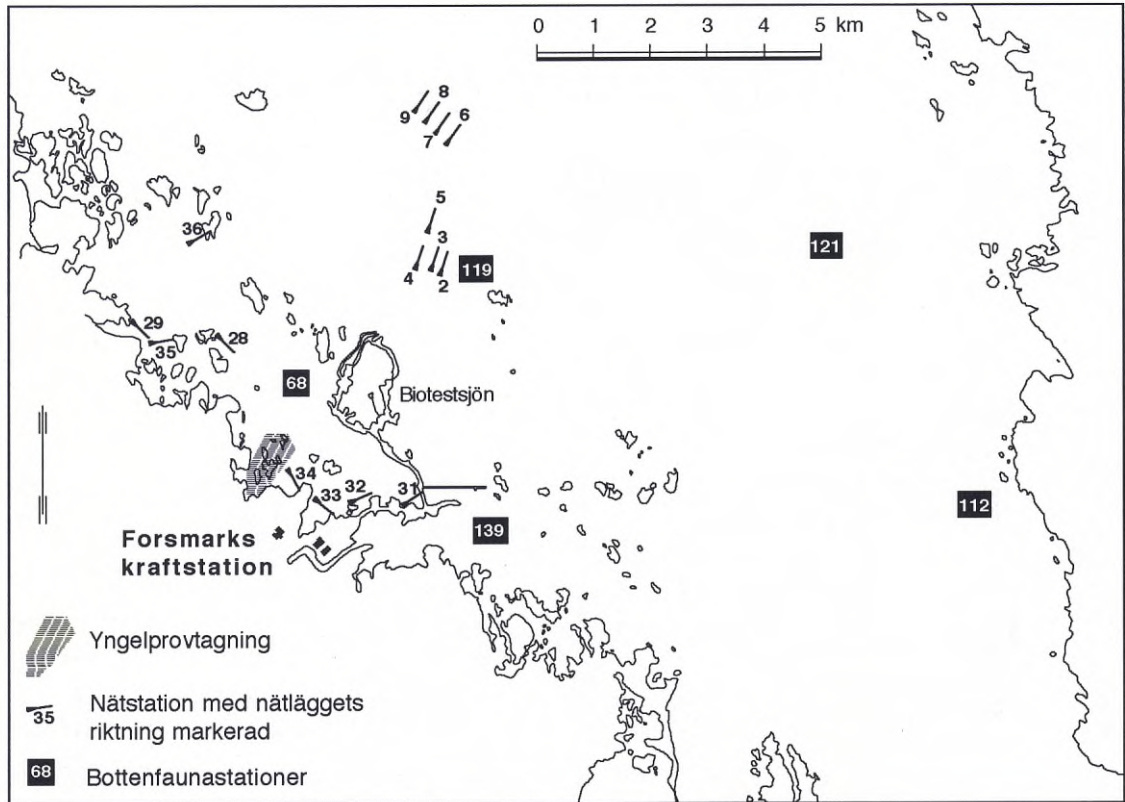
Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk 1980–1995

*Kerstin Mo
Peter Karås
Erik Neuman
Olof Sandström
Henrik Svedäng*

*Fiskeriverket
Kustlaboratoriet
Gamla Slipvägen 19
740 71 Öregrund*

Innehåll

<i>Inledning</i>	<i>3</i>
<i>Biotestsjön</i>	<i>4</i>
<i>Forskning i Biotestsjön</i>	<i>5</i>
<i>Referensområden</i>	<i>5</i>
<i>Vad händer i kylvattenvägarna?</i>	<i>8</i>
<i>Temperaturförändringar i recipienten</i>	<i>8</i>
<i>Vad har hänt i Biotestsjön?</i>	<i>12</i>
<i>Kylvattnets påverkan på Öregrundsgrepen</i>	<i>26</i>
<i>Kan vi använda spillvärme som en resurs för naturvård och fiske</i>	<i>35</i>
<i>Litteratur</i>	<i>43</i>



Provtagningsstationer i Forsmarksområdet.

Inledning

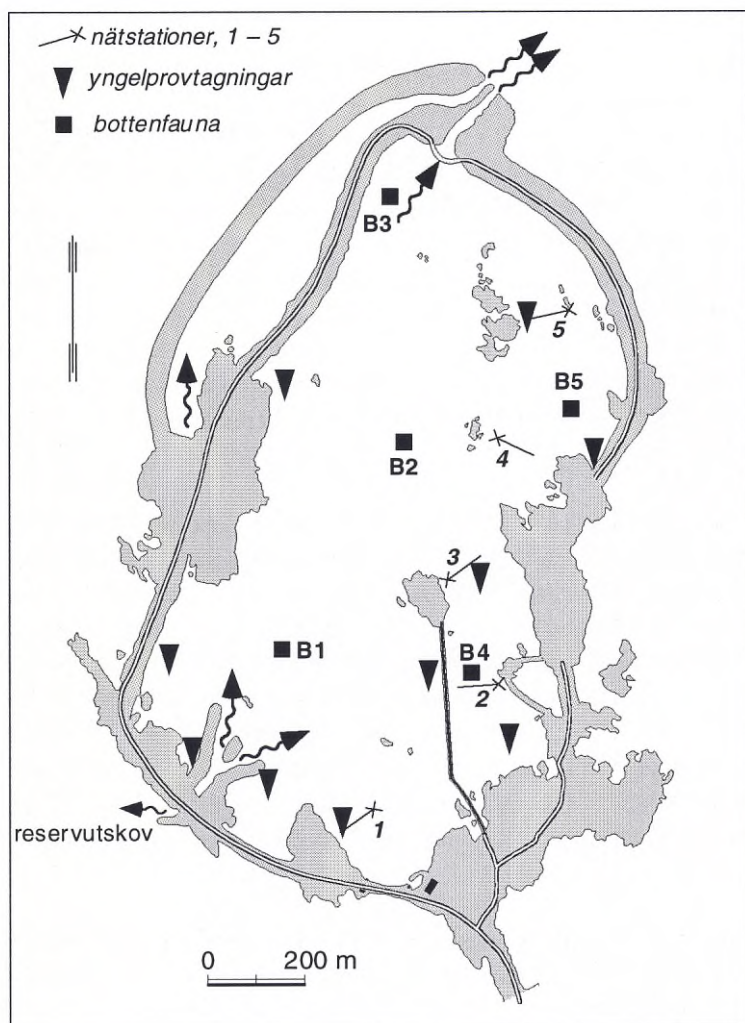
Produktionen av elektrisk energi i kondenskraftverk kräver stora mängder kylvatten. I Forsmark, liksom vid de övriga svenska kärnkraftverken, släpps detta kylvatten till havet efter att det passerat verkets kondensator-system. Stora mängder värme tillförs på detta sätt kustekosystemet. Den miljöpåverkan som kylvattenanvändningen kan leda till skall enligt svensk lag följas i recipientkontrollprogram. När man beslutade bygga ett kärnkraftverk i Forsmark tog man också fram riktlinjer för vilka undersökningar som skulle göras som förstudier innan produktionen startade, samt ett program för den kontroll som skulle ta vid när elproduktionen kommit igång. Som ett stöd för kontrollverksamheten har man dessutom fortlöpande genomfört olika forskningsprojekt. Denna forskning har i regel bedrivits i Biotestsjön vid Forsmark.

Naturvårdsverket var genom sin kustvattenenhet huvudman för undersökningarna när förstudierna inleddes. Vid detta verks omorganisation 1991 överfördes kustvattenenheten till Fiskeriverket. Ett nytt laboratorium inrättades, Kustlaboratoriet i Öregrund, vilket sedan dess ansvarat för genomförandet av kontrollundersökningarna. Länsstyrelsen har ett övergripande ansvar som tillsynsmyndighet, och beslutar i frågor som rör t ex ändringar i kontrollprogram eller behov av kompletterande undersökningar. Förutom det biologiska kontrollprogram som här redovisas bedrivs radiologiska undersökningar under ledning av Statens Strålskyddsinstitut. Kustlaboratoriet bidrar vid denna kontroll genom bl a insamling av material för aktivitetsanalyser.

Resultaten från recipientkontrollen redovisas fortlöpande i årsrapporter. Enligt bestämmelserna för programmets genomförande skall dessutom större, mer sammanfattande och analyserande, rapporter avges vart femte år. De första fem driftsåren rapporterades 1985. Under denna period var kontrollen mycket omfattande, och behandlade många delar av det påverkade kustekosystemet. Efter rapporteringen kunde man fatta beslut om reduktioner i programmen, vilka började övergå mer till att följa långtidsutvecklingen hos några valda organismsamhällen. Nästa rapportering gjordes 1990. Bilden började nu klarna ytterligare vad gällde riskerna för olika former av miljöpåverkan, och övergången till ett basprogram kunde fortsättas. Det program som nu rapporteras har sin tyngdpunkt i långtidsövervakning av fiskbestånd och bottendjur i Biotestsjön samt i de omgivande vattenområdena.

Kylvattenutsläppet från Forsmarksverket kan ske genom dels ett ordinarie utlopp riktat mot den öppna Öregrundsgrepen, dels genom ett reservutskov som leder in i skärgården. Reservutskovet används främst vid driftstörningar. Kontrollprogrammet täcker därför både de öppna områdena i Öregrundsgrepen och den innanför liggande skärgården. Som referensområde för undersökningarna har Finbofjärden vid NV Åland valts. Vissa referensundersökningar görs också öster om Gräsö.

Forsmarks Biotestsjö har varit en bas för den nordiska kylvattenforskningen i samfinansierade forskningsprogram där svensk, finsk och dansk industri deltagit. Även om denna rapport främst behandlar resultat från de löpande kontrollprogrammen, presenteras delar av forskningsresultaten för att man lättare skall kunna analysera, förklara och förstå samband mellan olika delprogram och de observationer som gjorts.



Biotestsjön med provtagningslokaler.

Biotestsjön

När den svenska kärnkraftutbyggnaden nådde Forsmark, fanns ett stort behov av att skapa bättre förutsättningar för forskning om kylvatteneffekter, såväl biologisk som radioekologisk forskning. Det visade sig vid planeringen av bygget vara möjligt att genom relativt små åtgärder skapa det experiment-system som forskarna så länge efterlyst. Den yttre delen av den tänkta utloppstunneln för de första två reaktorerna kunde kortas av och ersättas med en invallning av de öar som ligger i ytterskärgården för att därigenom skapa ett inneslutet försöksområde. Planen var så lockande, att man beslöt bygga en anläggning som fick namnet Biotestsjön. Totala ytan på det invallade området är ca 1 km². Området är grunt, medeldjup ca 2,5 m, med övervägande hårda bottenar. Anläggningen är försedd med en fiskspärr i utloppet, som hindrar större fisk än ca 10 cm att passera ut eller in. Invandringen försvåras dessutom av den starka strömmen i utsläppspunkten (2 m/s). Till Biotestsjön förs kylvattnet från aggregat 1 och 2, totalt ca 90 m³/s. Mätpunkter för kontinuerlig registrering av vattentemperaturen finns i intagskanalen för kylvatten, inloppet till Biotestsjön, på ett flertal platser däri, samt vid utsläppet. Vid driftsstörningar orsakade av t ex algpåslag på fiskspärren, kan kylvattnet ledas vid sidan av Biotestsjön genom reservutskovet. Denna möjlighet kan också utnyttjas om man vill göra försök i såväl Biotestsjön som i den omgivande skärgården.

Biotestsjön byggdes under 70-talet och stod färdig 1977. Redan under byggtiden började de biologiska undersökningarna. Under 1980, då kraftverkets drift startade, avslutades förundersökningen och man kunde börja studera effekterna av en höjd temperatur. Idag finns mer än 15 års erfarenheter av hur ett kustekosystem reagerar på värmeutsläpp. Dessa erfarenheter har varit till stor nytta när det gäller att bedöma riskerna för effekter av kylvattenutsläpp i öppna recipienter.

Forskning i Biotestsjön

Kylvattenforskningen har en lång historia i Sverige. Alltsedan kärnkraftsutbyggnaden startade på 60-talet, har industri och myndigheter finansierat undersökningar både i fält och i laboratoriet. Målen för forskningen har varit att nå bättre lokaliseringlösningar, klarlägga kylvattenutsläppens negativa miljökonsekvenser, förbättra recipientkontrollen, öka den radioekologiska kunskapen samt skapa bättre modeller för radiologiska beräkningar av dos till människa. När Biotestsjön var klar, och man hade gjort inledande undersökningar som visade att denna kunde utgöra ett gott redskap för forskningen, enades den nordiska kraftindustrin om ett forskningsprojekt där Biotestsjön stod i centrum. Vattenfall, OKG, Sydkraft, finska Imatran Voima och danska Elkraft bildade tillsammans med Naturvårdsverkets kustvattenenhet (idag Fiskeriverkets Kustlaboratorium) en ledningsgrupp för denna forskning. Beslutet innebar en ny organisation för forskningen, som tog fart ordentligt under 80-talets mitt. Efter en första projektperiod, som avrapporterades 1990, fortsatte forskningen ytterligare en period med slutrapportering 1993–94.

Även om Biotestsjön naturligtvis främst varit ett redskap för kraftbolagens och Kustlaboratoriets forskningsprogram, kan de fasta resurser som finns här, bl a laboratorium, akvarieanläggning och båtar, utnyttjas av externa forskare till en låg kostnad. Uppsala universitet har varit en naturlig partner i forskningen, vilket avkastat doktorsavhandlingar om bl a algekologi, fisksjukdomar och fiskekologi. Idag pågår ett långtidsprojekt för test av industriella avloppsvatten vid Biotestanläggningen, vilket leds av IVL.

Under tidigare perioder har forskningen nästan uteslutande rört de negativa konsekvenserna av kylvattenanvändningen, t ex risken för parasitutbrott, påverkan på fiskars energifördelning och överlevnad samt radioekologiska budgetberäkningar. Det har dock stått alltmer klart att det även kan finnas positiva effekter att ta fasta på i kylvattenforskningen. Den senaste forskningsperioden har därför koncentrerats till att finna vägar att utnyttja spillvärme som en resurs för fiske och miljövård, vilket är särskilt viktigt om man återigen börjar bygga anläggningar som producerar kylvatten.

Referensområden

Finbo

Finboområdet i den nordvästra delen av Åland skärgård utnyttjas som referensområde för flertalet av de undersökningar som görs i Forsmark, som fisken efter varmvattenarter och bottenfauna. Liksom Forsmark ligger området på gränsen mellan öppen sjö och skärgård. Vattendjupet överstiger sällan 20 m i de inre delarna medan det i de yttre når ned till 50 m. Stränderna utgörs huvudsakligen av klippor, sten och grus, även om sandstränder till viss del förekommer. Bottnarna därutöver består mest

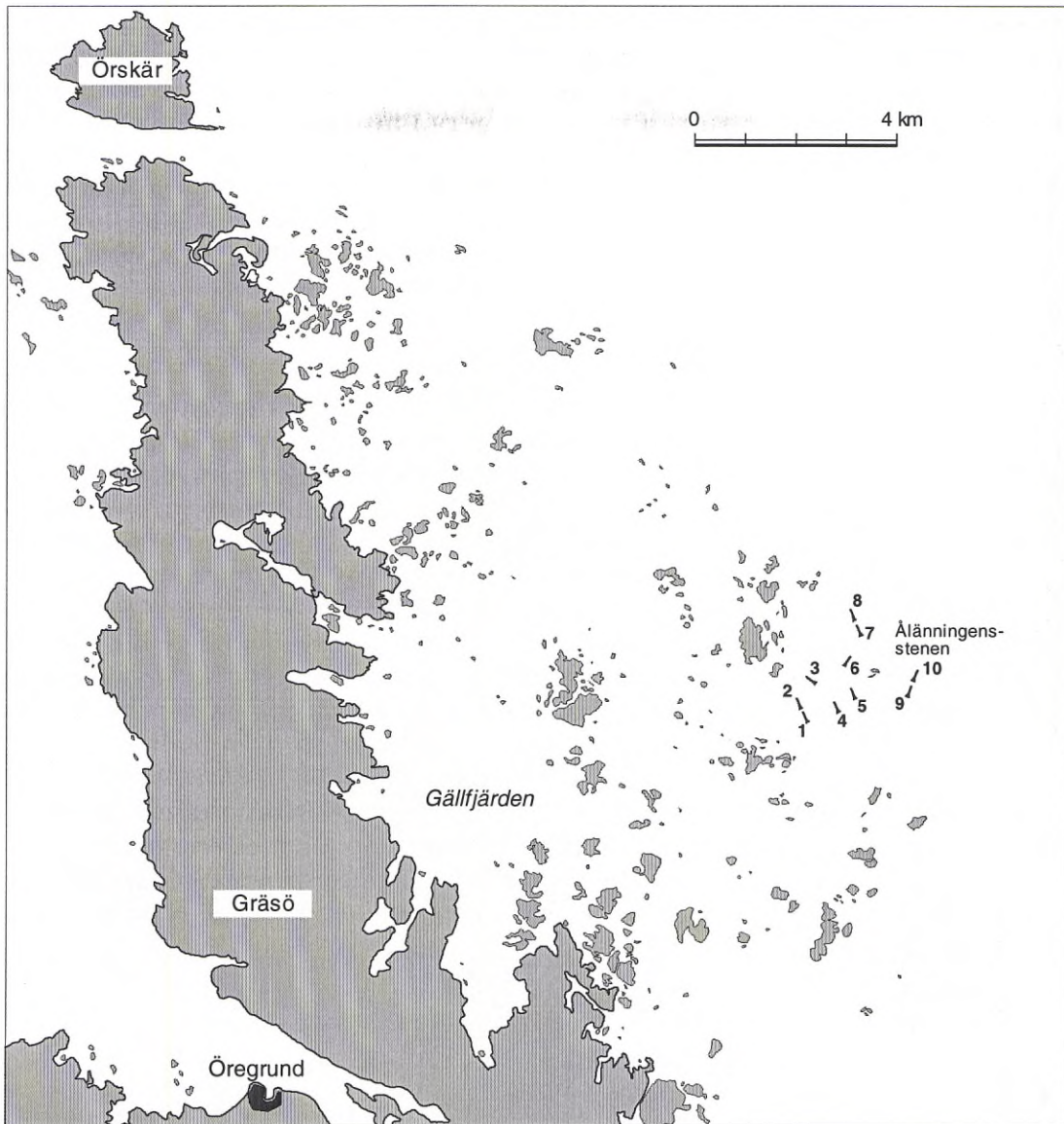
av sand blandad med lera, gyttja och grus. De djupast belägna bottenarna domineras av gyttja. De omgivande öarna är glest befolkade och inga lokala föroreningskällor förekommer, förutom en mindre fiskodling längst österut. Uppvällning av kallt vatten förekommer ofta. Siktdjupet överstiger vanligen sex meter under sommaren.

Hårdbottenvegetationen domineras av grön- och rödalger samt blåstång. Kransalger och olika sorters nate är vanliga i grunda, skyddade miljöer med mjukbotten. Man har inte kunnat notera några tydliga förändringar hos bottenvegetationen sedan tidigt sextioal.

Abborre och mört finns i täta bestånd men även gers och gädda är vanliga. Gös fångades sparsamt fram till 1990-talet men är numer vanlig. Av de marina arterna förekommer strömming och skrubbskädda rikligt. Tånglake och piggvar förekommer regelbundet. Yrkesmässigt fiske utövas endast av några få personer. De huvudsakliga fångsterna är abborre och skrubbskädda. Lax och strömming fångas i den yttre delen av området.



Referensområdet i Finbofjärden med provtagningslokaler för fisk och bottenfauna samt kontinuerlig mätning av vattentemperaturen.



Provfiskelokaler i referensområdet öster om Gräsö.

Gräsö

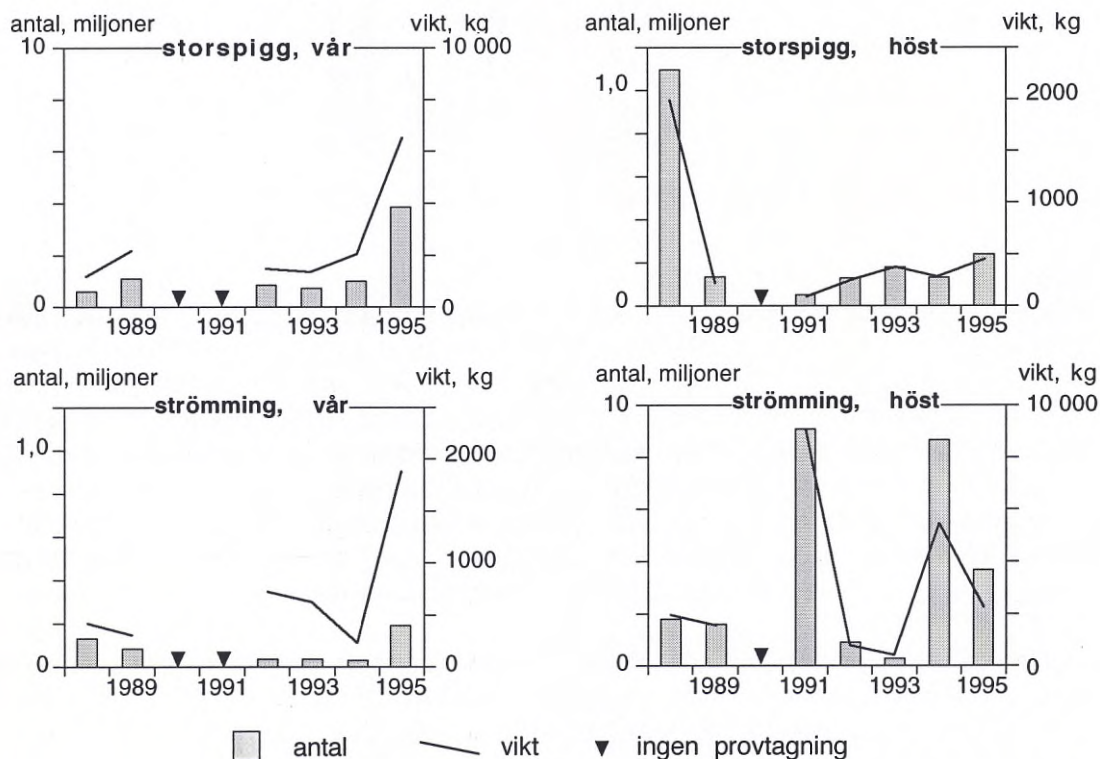
För vissa fiskundersökningar utgör Gräsö skärgård referensområde. Området utgörs av en stor skärgård med skyddade vikar och större öppna fjärdar. Inslaget av klippöar är stort, särskilt i ytterskärgården. Djupet i de inre fjärdarna överstiger 20 m, och mjuka bottenar förekommer på många lokaler. Trösklar avskiljer fjärdarna från det öppna havet. Innerskärgården är väl skyddad vilket återspeglas i temperaturutvecklingen under vår och sommar. Lokal uppvällning kan dock förekomma längre ut i skärgården. Blåstången är mycket vanlig i ytterskärgården, medan fanerogamer (olika sorters nate) och kransalger dominerar i de skyddade vikarna.

På mjukbottenarna inomskärs domineras bottenfaunan av östersjömusslor och fjädermygglarver. När man når mellanskärgården blir bottenarna sandigare och grusigare. Här dominerar fortfarande östersjömusslan, men vitmärlor och skorv är också vanliga. I ytterskärgården där sedimenten oftast består av seg lera med inslag av grus är bottenfaunan individfattig och vilka arter som dominerar skiftar från plats till plats.

Fiskfaunan i området har stora likheter med de samhällen man normalt finner i såväl Bottniska vikens skärgårdar som i egentliga Östersjöns nordliga kustområden. Abborre och mört dominerar bland varmvattenarterna, med relativt starka inslag av gers i fångsterna. Björknan, en art som sällan observeras längre norrut, är ofta vanlig i de mest skyddade delarna av skärgården. I ytterskärgårdens djupare delar, och vintertid även längre in i fjärdarna, ser man ett typiskt kallvattensamhälle dominerat av strömming, sik och hornsimpa. När torsken är vanlig i Östersjön, fångas den ofta i de allra yttersta skärgårdsområdena.

Vad händer i kylvattenvägarna?

För att på ett enkelt sätt kunna beskriva miljöpåverkan vid ett stort kondenskraftverk kan man följa kylvattnets väg genom anläggningen ut i det omgivande havet. När kylvattnet tas in i kraftverket passerar det stora bandsilar, där bl a fisk avskiljs. För att få en uppfattning om hur mycket fisk som går förlorad i intaget till Forsmarks kraftverk artbestäms, räknas och vägs samtliga fiskar under två perioder under året. Tidigare skedde denna kontroll under hela året. Vid revidering av kontrollprogrammet 1990 valdes åtta veckor på våren (vecka 17–24) samt tolv veckor på hösten, eftersom de största förlusterna visat sig ske under dessa perioder. Det är främst två arter som noteras i silstationskontrollen, strömming och storspigg. Förlusterna är störst av storspigg på våren och strömming på höstarna. De senaste åren var förlusterna av strömming speciellt höga 1991 och 1994. Skillnaderna mellan år speglar variationerna i årsklasstyrka då det främst är förekomsten av årsyngel av olika arter som följer med in i silstationen. Man ser också att t ex mängden ålar har ökat i området och sporadiskt förekommer av för området mindre vanliga arter som t ex flodnejonöga, horngädda och bergsimpa.



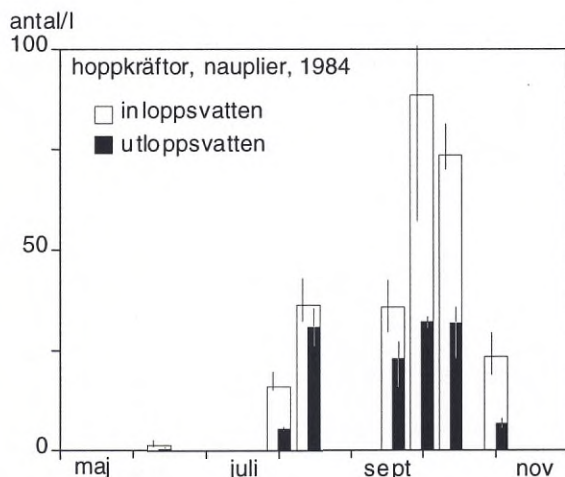
Förluster av strömming och storspigg i intaget till Forsmarks kraftstation 1988–1995. Vår: vecka 17–24. Höst: vecka 37–48.

Förlusterna av vanliga fiskarter i silstationen.

	Vår					Höst				
	1992	1993	1994	1995		1991	1992	1993	1994	1995
Abborre	8400	15000	8700	14000	Abborre	60000	2800	1100	1900	13000
Björkna		430	600	320	Björkna	90	340	1800	230	3700
Braxen	620	5	32	68	Braxen	10	50	26	16	68
Flodnejonöga	640	136	160	170	Flodnejonöga	52	5	180	74	79
Gers	1200	4100	3400	2300	Gers	8900	60	250	290	640
Gädda	42	170	53	250	Gädda	5	70	47	100	68
Gös	1700	1600	440	460	Gös	16		11	16	11
Havsnål	8500	14000	6900	11000	Havsnål	1600	6000	11000	8200	15000
Lake			11	5	Lake		5	5	5	5
Lax		5			Lax	5	40	150		16
Löja	29000	25000	25000	7000	Löja	770	3000	14000	4500	76000
Mört	2100	3900	450	160	Mört	11000	400	150	68	120
Nors	66000	19000	30000	140000	Nors	70000	9900	8700	5000	14000
Stubbar	41000	9900	11000	10000	Stubbar	110000	4600	10000	1400	4700
Småspigg	140000	17000	20000	21000	Sikar	410	30	47	31	1200
Smörbultar	1500	5600	5200	1100	Småspigg	180000	20000	320000	50000	32000
Storspigg	840000	720000	1000000	3800000	Smörbult	37	30	26	58	16
Strömning	39000	38000	32000	190000	Storspigg	50000	130000	190000	133000	250000
Tobis	11000	5000	3400	15000	Strömning	9100000	850000	280000	8700000	3700000
Tånglake	1300	1200	220	240	Tobis	1600	1000	3400	5900	2500
Tångsnälla	4600	3400	16	1900	Tånglake	47	190	180	42	21
Äl	57	71	115	21	Tångsnälla	540	3700	1100	960	1400
Summa, tusental	1200	890	1100	4200	Äl	160	230	130	420	300
Totalt antal observerade arter	25	27	25	26	Öring				11	
					Summa, tusental	9600	1000	840	8900	4100
					Totalt antal observerade arter	27	28	30	26	28

Vattnet förs från silstationen vidare in i kraftverket, där det kyler kondensatorerna. När vattnet passerar kondensorn sker en hastig tryck- och temperaturhöjning. Planktonorganismer, fiskägg och fisklarver som följer med kylvattnet kan påverkas av detta. Många undersökningar har gjorts runt om i världen, vilka visar att allvarliga skador i regel inte förekommer så länge temperaturen ligger under den kritiska gränsen för överlevnad, den s k letaltemperaturen. Letala temperaturer förekommer främst vid anläggningar som ligger i varma klimatområden, där omgivningens temperatur redan naturligt ligger på en hög nivå. Skador som beror på tryckändring och mekanisk påverkan vid passagen genom pumpar och kondensorrör är mer ovanliga. Även om organismerna alltså kan skadas vid passagen av kraftverket, överlever vanligen en förvånansvärt stor andel av dem. Efter uppvärmningen i kondensorn förs de sedan vidare till recipienten genom mer eller mindre omfattande utsläppskanaler. Vägen ut är dock inte helt riskfri.

I marina områden, men även i Östersjön, etableras en påväxt av filtrerare – musslor, nässeldjur, havstulpaner etc – på kylvattenkanalernas väggar. Kondensorns funktion kan störas av påväxten, varför man ofta klorerar kylvattnet för att döda filtrerarna, s k "antifouling". I de svenska kärnkraftverken vid Östersjön tillåter man inte klorering, utan rengöringen sker mekaniskt med hjälp av skumplastbollar som trycks genom kondensorrören. Filtrerarfaunan i utloppstunnlar och kanaler kan därför utvecklas fritt. När kylvattnet passerar genom så långa utsläppssystem som i Forsmark,

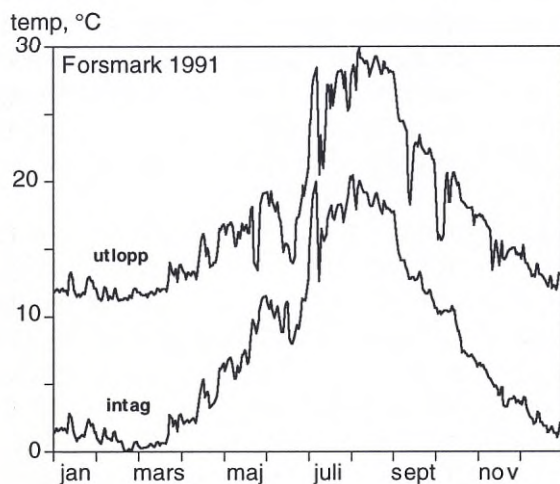


Zooplanktonförluster i Forsmarks silstation (F1 och F2)

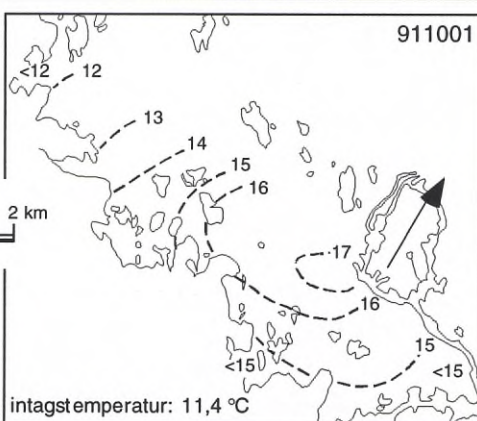
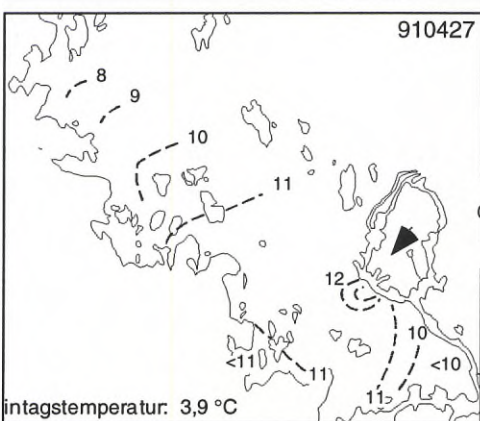
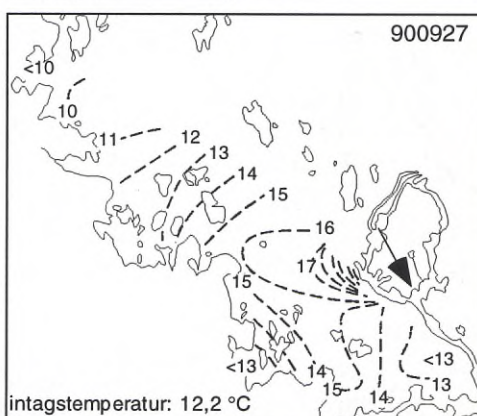
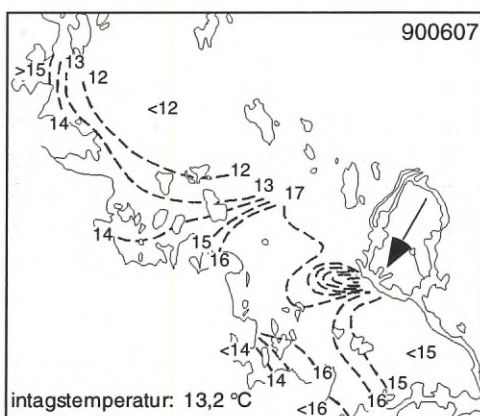
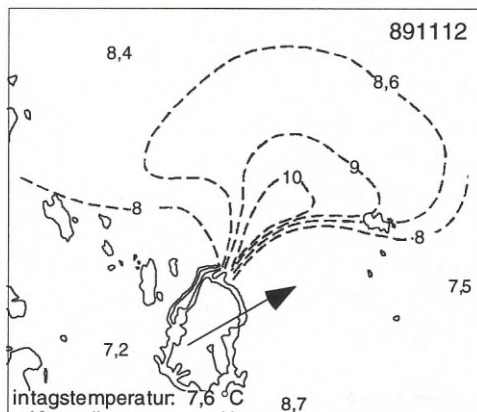
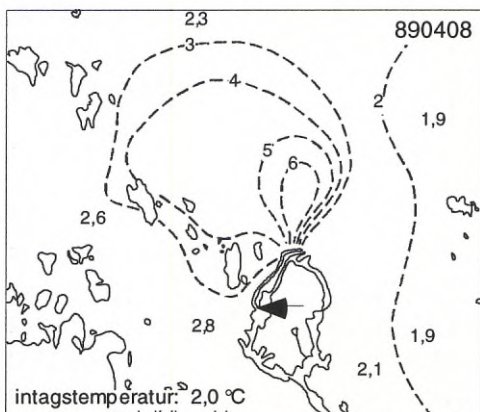
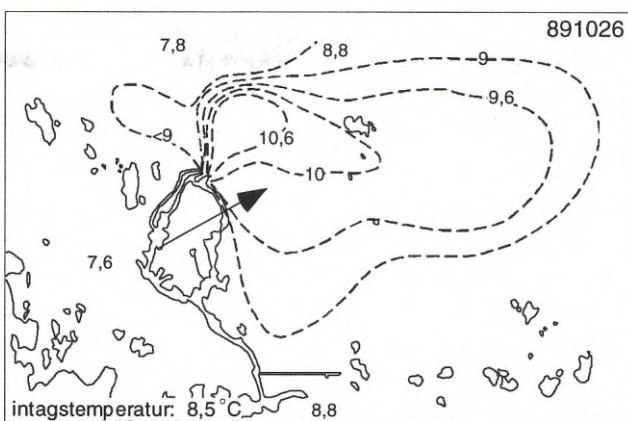
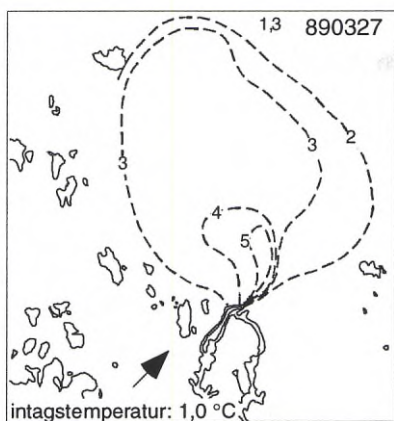
med kilometerlånga bergtunnlar innan det når öppna havet, konsumerar filtrerarna en avsevärd del av de transporterade partiklarna. Under sommaren kan 50% av de djurplankton som förs in i kraftverket förloras under passagen, och den beräknade totala planktonkonsumtionen når över 100 ton per år.

Temperaturförändringar i recipienten

När kylvattnet lämnar utsläppssystemet påverkas hydrografin i det omgivande havet. I förhållande till kylvattnets intagstemperatur höjs temperaturen ca 10°C vid passagen av kondensatorerna. Højningen är inte lika stor under vår och sommar på grund av låg elproduktion och driftuppehåll vid revisioner. Kylvattnet från två av kraftverkets aggregat, Forsmark 1 och 2, förs genom Biotestsjön. Då revisionerna sker vid en reaktor i taget, är perioderna utan värmepåverkan förhållandevis korta i Biotestsjön. Under passagen av Biotestsjön sjunker temperaturen normalt mindre än en grad. Utsläppet till Öregrundsgrepen sker med hög strömhastighet till en relativt djup och exponerad miljö, varför omblandningen med kallare havsvatten sker snabbt. Detta medför att grunda, känsliga miljöer påverkas relativt lite av övertemperaturer. Ytvattnet i Öregrundsgrepen påverkas däremot över betydligt större ytor. Området med mellan tre och fyra graders övertemperatur sträcker sig mindre än 1 km ut, medan den yta som någon gång påverkas av mer än en grads övertemperatur är ca 30 km².



Temperaturhøjning i Biotestsjön.



Exempel på plymutbredningar vid olika vindriktningar samt vid de tillfällen då reservutskovet öppnats.

Den naturliga uppvärmningen av ytvattnet börjar i Forsmark oftast i månadsskiftet april-maj. I det grundare skärgårdsområdet sker processen betydligt snabbare än ute i Öregrundsgrepen. Temperaturskillnader på 3-4°C skapas då mellan ytvattnet i Grepen och det i de inre skärgårdsvikarna. Under hösten gäller det omvända. Även under sommarmånaderna, när ytvattentemperaturen är som högst i havet, kan en temperaturskillnad av fyra grader kvarstå mellan de riktigt grunda vikarna och den öppna Öregrundsgrepen. Ibland kan dessa skillnader bli än mer accentuerade, när det vid västliga vindar sker en uppvällning av kallt bottenvatten i ytterskärgården.

Utsläpp via reservutskovet vid Biotestsjön har skett somrarna 1990 och 1991 vid kontrollerade försök att förbättra fiskrekryteringen i det skärgårdsområde som påverkas av detta utsläpp. Noggranna temperaturkarteringar i samband med de senare studierna visar att vindförhållandena, liksom vid det ordinarie utsläppet, naturligtvis i viss mån påverkar plymens utbredning. De områden som i skärgården täckes av plymer med en grads övertemperatur varierade mellan 6 och 8 km². Jämfört med utanför utsläppet i Öregrundsgrepen berörs dock väsentligt större ytor grundområden. Utsläpp via reservutskovet har även skett vid driftsstörningar i utloppets rensanläggning. Längre sådana utsläpp har skett från mitten av juli till årets slut under både 1994 och 1995. Osedvanligt hög produktion av alger i Biotestsjön under dessa somrar förorsakade igensättning av fiskspärren vid utloppet, vilket gjorde det omöjligt att släppa ut kylvattnet den ordinarie vägen

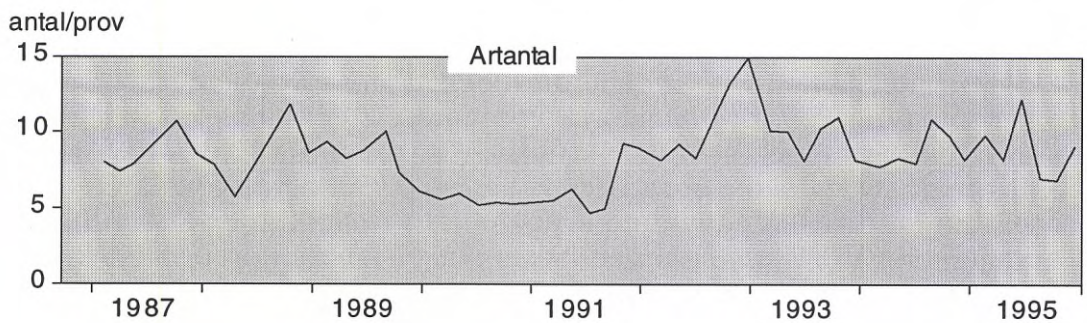
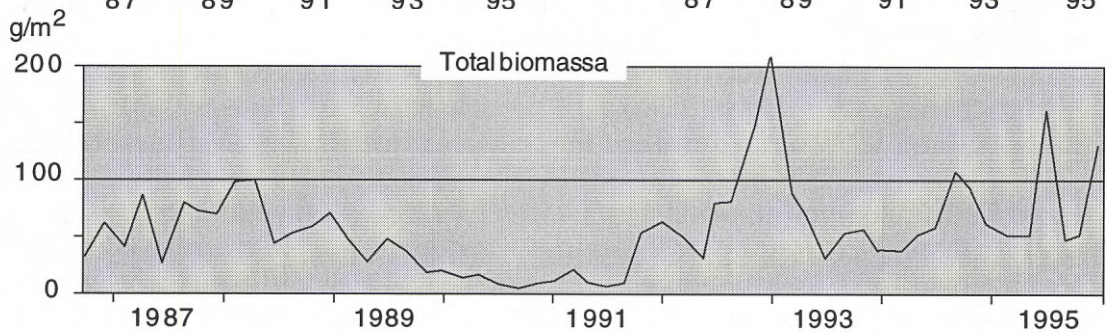
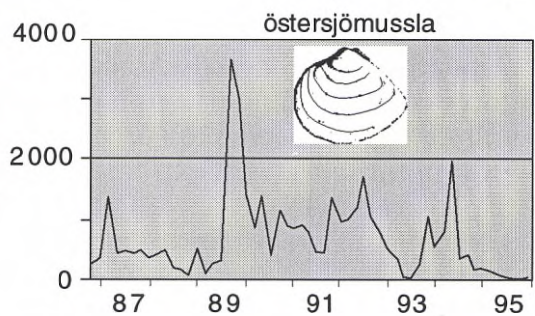
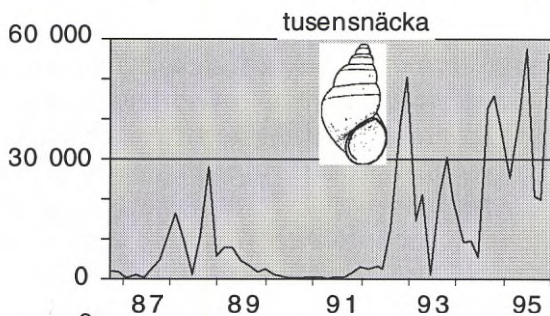
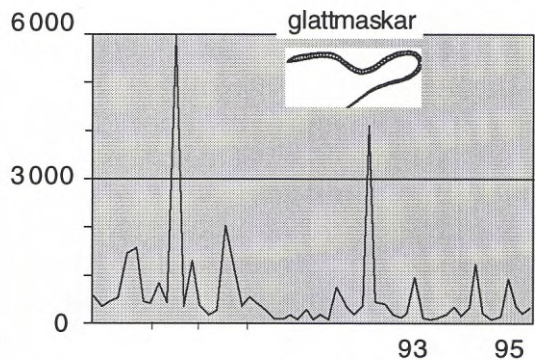
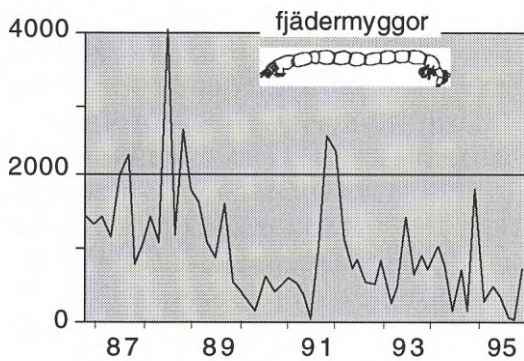
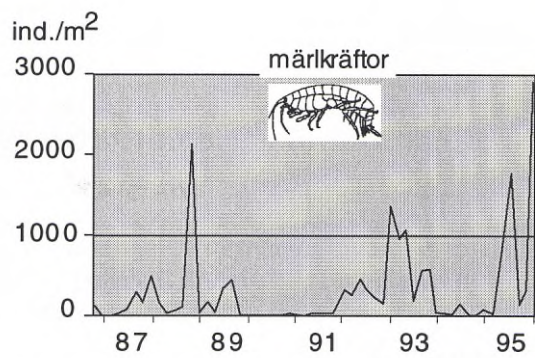
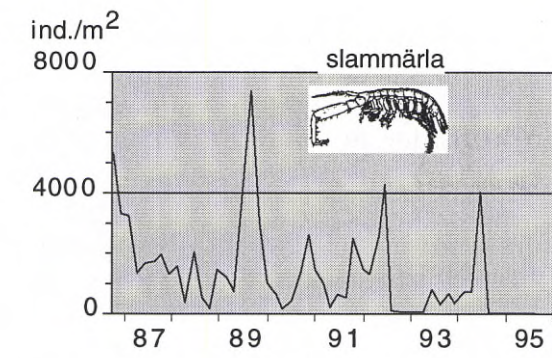
Vad har hänt i Biotestsjön?

De biologiska konsekvenserna av kylvattenutsläppet har undersökts i såväl Biotestsjön som i de öppna områdena utanför. Studierna i Biotestsjön har varit koncentrerade till mjukbottenfauna och fisk. Kontrollprogrammet har i första hand skapats för att följa långtidsutvecklingen i viktiga samhällen, medan forskningen ofta arbetat med de mekanismer som styr organismernas reaktioner på värmetillskottet.

Bottenfauna

Undersökningar av bottendjur började redan inom basundersökningen 1970-1971. När Biotestsjön färdigställdes startades 1978 ett provtagningsprogram, som efter en första utvärdering omarbetades och löper från och med hösten 1986. Istället för att som tidigare följa flera stationer med mindre täta intervall valdes en station som representativ för Biotestsjöns mjukbottensamhälle. Denna följs med provtagningar varannan månad. Lokalen ska fungera som en larmstation för oväntade, mer dramatiska händelser, samtidigt som undersökningen skall spegla den långsiktiga utvecklingen.

Efter att kraftverket tagits i drift 1980 skedde stora förändringar i mjukbottensamhället. Arter som östersjömussla, märkräftor och fjädermygglarver, vilka tidigare dominerat bottensamhället, minskade i antal medan andra arter som slammarla, tusensnäcka och gruppen glattmaskar ökade. Den totala produktionen av bottendjur var under flera år stor, men varierade mycket mellan provtagningar och olika arter dominerade vid olika tillfällen i proverna. De arter som gynnades var främst arter som är väl anpassade till en föränderlig miljö. Tusensnäckorna är vivipara hermafroditer, d v s deras ägg behöver inte befruktas och de föder levande ungar, vilket innebär



Artantal och total biomassa hos botten djur i Biotestsjön samt utvecklingen hos de vanligaste arterna under perioden 1986-1985.

att de snabbt kan föröka sig när som helst under året då gynnsamma förhållanden uppträder. Slammärlorna förökar sig under våren, men honorna i Biotestsjön är äggbärande redan i april. Det är en månad tidigare än normalt och de får därmed troligen en kull mer än vad som är vanligt i Östersjön.

Efter många års provtagningar sker fortfarande oväntade förändringar i Biotestsjön. I oktober 1989 minskade antalet djur drastiskt av de arter som normalt förekom i mycket höga tätheter och arter som tidigare förekom sporadiskt i proven försvann helt. Eftersom faunan inte återhämtade sig under våren och sommaren 1990, de årstider då de flesta arterna normalt reproducerar sig, utlöstes ett larm och provtagningen utökades i oktober 1990 med ytterligare fyra av de stationer som ingick i det ursprungliga provtagningsprogrammet 1978–1986. Resultaten visade, att utarmningen av faunan skett i hela Biotestsjön och inte enbart på larmstationen. Faunan var fortsatt utarmad även under våren och sommaren 1991, varför den utökade insamlingen upprepades i oktober 1991. Vid denna insamling hade faunan återhämtat sig något på larmstationen samt på ytterligare en station. Den utökade insamlingen återupprepades även i februari och augusti 1992. Inte förrän vid den sistnämnda provtagningen observerades en återhämtning på samtliga stationer.

Anledningen till den drastiska minskningen av bottenfaunan dessa år misstänktes till en början bero på nedbetning av fisk. Återhämtningen sammanföll också med en nedgång i fiskbeståndet. I samband med de utökade provtagningarna insamlades magar från abborre och mört i november 1991 samt februari och augusti 1992. Analyserna visade, att dessa fiskarter dock inte nämnvärt ändrat sina födoval jämfört med tidigare undersökningar.

Fångsterna av mört var synnerligen höga vid fiskena 1989–1991. Mörten äter, särskilt som ung, helst snäckor och musslor. Tätheterna av abborre, en art som lever på kräftdjur och insektslarver tills den når en storlek av minst 20 cm, var däremot något lägre än under tidigare år. Eftersom minskningen i bottenfaunan under dessa år drabbade samtliga i Biotestsjön förekommande arter, kan alltså inte betningstrycket från det stora mörtbeståndet ensamt förklara nedgången. Resultaten visar alltså, att det är svårt att finna kopplingar mellan fisken och bottenfaunan som enda förklaring till varför de senare minskade så kraftigt i täthet under en så lång period. Effekter av den försämrade födotillgången, t ex på fiskens tillväxt, kan man dock förvänta sig.

I oktober 1991 började alltså faunan återhämta sig. Antal arter i proverna ökade under hela 1992. Individantal och biomassor ökade hos samtliga arter som tidigare varit rikligt förekommande. Efter att ha ökat i antal under våren försvann dock slammärlorna helt ur proverna i augusti. Arten var tidigare näst tusensnäckorna den rikligast förekommande. Slammärlorna återkom i juni 1993 och fanns kvar t o m juni 1994, men i betydligt färre antal än tidigare. Därefter har endast enstaka slammärlor funnits i proverna fram t o m 1995. Under 1994 fanns det inte heller märkräfter i proverna. Då dessa två arter är basfödan för 10–15 cm stora abborrar undersöktes maginnehållet från abborrar i dessa storleksklasser. De flesta hade ätit nattsländelarver och/eller fjädermygglarver, men inga kräftdjur, vilket tyder på att frånvaron av slammärlor och märkräfter varit generell i

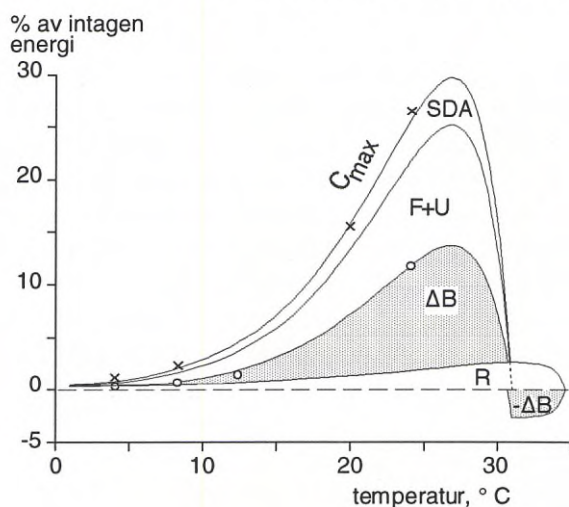
Biotestsjön. Varför slammärlorna varit så fåtaliga under senare år finns ingen säker förklaring till. Slammärlorna trivs dock på sandiga grunda bottenar med inslag av organiskt material. De två senaste åren, 1994–1995, har en kraftig algproduktion förekommit i Biotestsjön, vilket måste ha medfört att miljön för slammärlorna försämrats. Tusensnäckorna har däremot hela tiden sedan 1991 varit synnerligen talrika. De uppgår ofta till 90% av den totala biomassan. Övriga arter förekommer sporadiskt i höga tätheter.

Svårförklarliga och mycket stora variationer förekommer i såväl biomassa som individantal. Enskilda arter blommar upp och försvinner ibland inom loppet av några få månader. Biotestsjön har alltså inte uppnått något nytt stabilt tillstånd efter att uppvärmningen startade, och den långa observationsserien antyder att även i framtiden kan förväntas starka fluktuationer.

Effekter på energifördelning hos fisk

Hur fisken använder den intagna energin till överlevnad, tillväxt, upplagsnäring, simaktivitet och fortplantning brukar sammanfattas under begreppet energifördelning. Temperaturen har stor betydelse i energifördelningsprocesserna beroende på att den påverkar samtliga fysiologiska funktioner. Ämnesomsättning och rörelseaktivitet reagerar direkt på temperaturändringar, och i ett längre tidsperspektiv påverkas även tillväxt och fortplantning.

Energifördelningen hos abborre, och hur denna regleras av temperaturen, har undersökts sedan mitten av 1980-talet i Biotestsjön. Tillväxt, rörelseaktivitet, upplagsnäring och fortplantning har studerats både som enskilda problemområden och i mer samordnad form. På senare år har man utvecklat teorier om fiskars livshistoria, d v s hur deras reproduktionsstrategi är anpassad till olika miljöförhållanden. Livshistorieteorierna beskriver sambanden mellan t ex tillväxt och fortplantning. För den enskilda fisken är det fördelaktigt att fortplanta sig så snart som möjligt. Detta måste dock

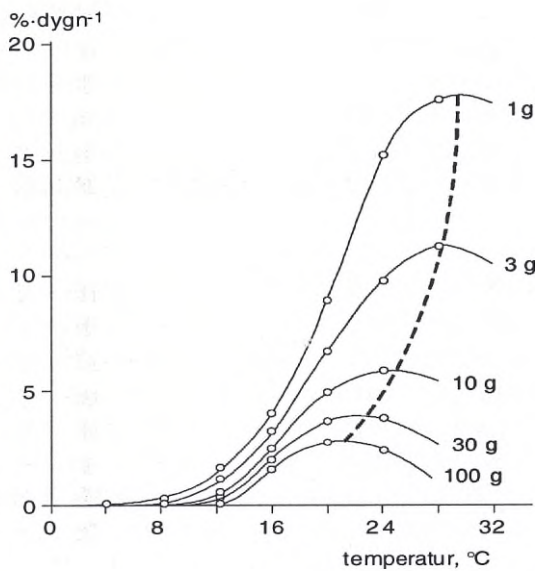


Energifördelning hos ett årsyngel (3 g) av abborre. När fisken växer förskjuts topparna mot lägre temperaturer. För köns mogna fiskar krävs energi för att producera rom eller mjölke. Denna kostnad ingår som en del av ΔB i modellen och reducerar utrymmet för kroppstillväxt.

- R:* energi som förbrukas vid respiration (kostnad för att uppehålla livet).
- ΔB :* energimängd tillgänglig för tillväxt och rörelseaktivitet.
- F+U:* fekalier och urin.
- SDA:* energiåtgång för nedbrytning av födan.
- C_{max} :* det maximalt möjliga energiintaget.
- $-\Delta B$:* energiförluster vid alltför höga temperaturer.

balanseras mot fördelen av att växa till större storlek, vilket ger förmåga att producera fler avkommor, men med risken att dö innan fortplantning ägt rum. Fortfarande saknas i många fall undersökningar i fält, som kan verifiera att dessa teorier verkligen håller i naturen.

Som en utgångspunkt för den fortsatta forskningen tog man fram en energibudget för abborre, baserat på studier av konsumtions- och tillväxtkapacitet i olika storlekar samt hur de påverkas av temperatur och daglängd. Resultaten har sammanfattats i en bioenergetisk modell, vilken beskriver hur den intagna energin fördelas till grundmetabolism (bearbetning av intagen föda samt fysiologiska mekanismer för att upprätthålla liv), rörelseaktivitet och tillväxt. Arbetet har framförallt genomförts med utnyttjande av tillgängliga litteratordata, genom akvarieförsök och med efterföljande verifieringar i Biotestsjön.



Tillväxtkapacitet för abborre av olika storlek i relation till temperaturen. Kapaciteten minskar starkt med ökande storlek, samtidigt som optimum förskjuts mot lägre temperaturer.

Abborren har en förhållandevis hög metabolism (ämnesomsättning) och dess potential för födointag och tillväxt är därmed stor. Den kan växa inom intervallet 10–30°C med ett optimum som varierar med fiskens storlek från ca 20°C för stora fiskar till ca 28°C för de minsta. Under optimum minskar tillväxten genom att födointaget sjunker. Vid temperaturer över optimum ökar förbränningen snabbare än födointaget, vilket också reducerar tillväxthastigheten. I det temperaturklimat som råder i Östersjön överskrids optimum sällan, varför man har en starkt positiv korrelation mellan tillväxtens och temperaturens mellanårsvariationer. I Biotestsjön har det dock visat sig att optimum överskrids under den varmaste perioden, vilket hämmar tillväxten och bryter sambandet.

Då abborren är beroende av synen för att fånga sina byten har den endast möjlighet att äta under dagtid. Detta innebär, att konsumtionen och tillväxtmöjligheterna avtar inte bara med sjunkande temperatur utan även med minskande daglängd. När is och snö till slut utestängt det mesta av ljuset under vintern, äter abborrarna nästan inget och minskar därmed i vikt. De minsta individerna, årsynglen, har den högsta metabolismen och de minsta energireserverna, varför många av dem kommer att dö under denna period om de inte uppnått en tillräcklig storlek vid första tillväxtsångens slut.

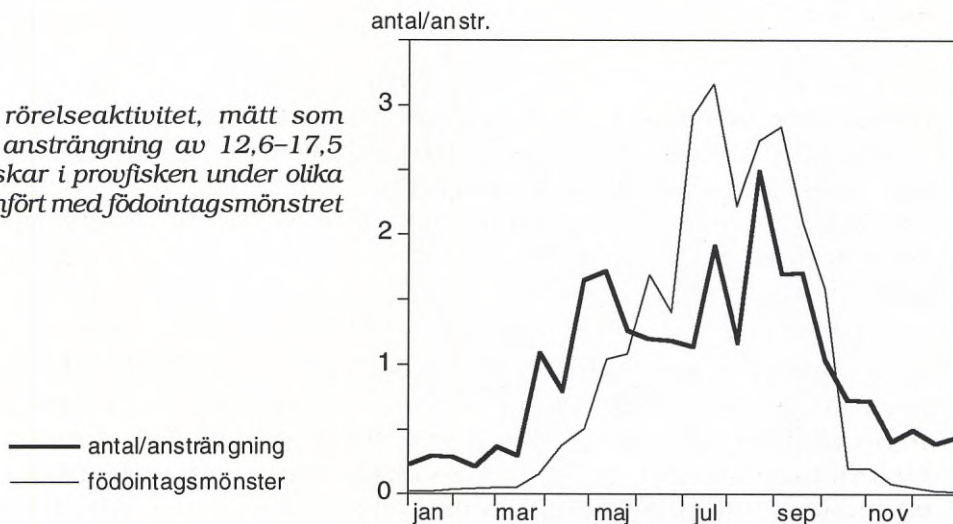
De försök som utfördes vid Biotestsjön visade dock, att abborren har förmåga att bromsa viktminskningen genom att sänka metabolismastigheten under vintern även om temperaturen förblir hög. På sätt och vis kan man alltså säga att de går i ide.

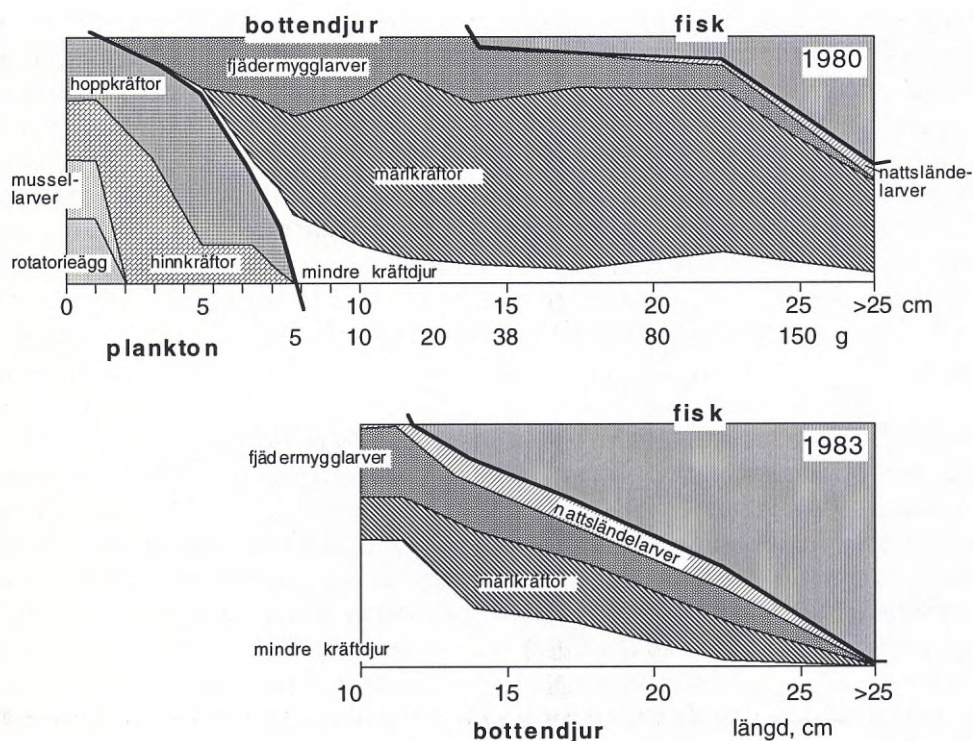
Intaget av föda och hur energin förbrukas för att upprätthålla liv är alltså kopplat till årstiderna. Den energi som återstår kan inte bara utnyttjas för tillväxt. Fisken måste simma för att kunna hitta föda och undgå att bli uppäten, och under lekperioden måste den söka lämplig partner, försvara revir eller på annat sätt vara aktiv för att få fortplanta sig. Alla dessa aktiviteter kräver energi.

Fångsten i ett stationärt redskap, t ex ett nät, beror förutom av fisktätheten av fiskens rörelseaktivitet. I Biotestsjön har genom åren genomförts ett stort antal provfiske. Resultaten av dessa kunde användas för att studera abborrens rörelseaktivitet under olika årstider. Till denna analys fogades information från den bioenergetiska modellen om fiskens födokonsumtion under olika årstider och vid olika temperaturer. Resultaten visade, att abborrens rörelseaktivitet främst styrs av födointaget, fränsett under lekperioden på våren då aktiviteten är mycket hög och inte tydligt kopplad till t ex temperaturen. Födointagets betydelse ser man tydligt när fångstkurvor jämförs med beräknad konsumtion. Födobehovet styrs främst av temperatur och ljus, vilket leder till att aktiviteten når ett maximum under sommaren då den höga temperaturen och de korta nätterna gör det möjligt för abborren att nå god tillväxt genom en hög konsumtion. Faller temperaturen under ca 10°C upphör tillväxten, varför fiskens behov av föda blir litet. Konsekvensen för rörelseaktiviteten blir också att denna sjunker till mycket låga nivåer under den kalla och mörka årstiden. Den höga temperaturen i Biotestsjön leder till en tidigare lektopp och en förlängd aktivitetsperiod under hösten, samt en något högre aktivitet under vintern än under naturliga betingelser.

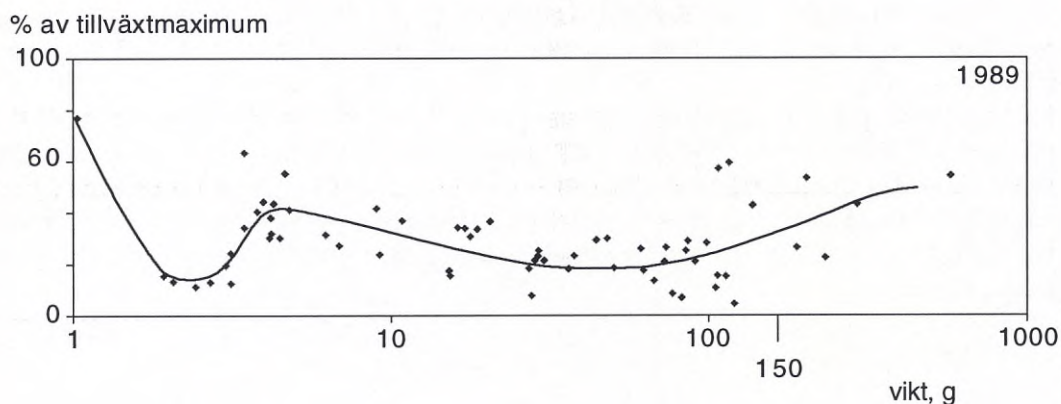
Rörelseaktiviteten är alltså främst styrd av födosöket, vilket i sin tur regleras av fiskens behov att växa optimalt. Tillväxten är också en central faktor i fiskens livshistoria, då förändringar i tillväxt har en direkt påverkan både på fortplantning och överlevnad. Studier av vad som styr tillväxten har därför varit ett av de forskningsområden som rönt störst intresse i Biotestsjön.

Abborrens rörelseaktivitet, mätt som fångst per ansträngning av 12,6–17,5 cm stora fiskar i provfisken under olika årstider, jämfört med födointagsmönstret





Födoval hos abborrar av olika storlek 1980 och 1983. Planktondjur är basföda upp till 7–8 cm, följt av bottendjur. Intaget av fisk börjar när abborren når ca 15 cm och ökar med storleken. Beroende på skillnader i tillgång på bottendjur kan denna övergång bli mer eller mindre tydlig. År 1983 utgjorde fisk nästan 100% av födan hos 25 cm stora abborrar.



Andelen verklig tillväxt i förhållande till det maximalt möjliga under rådande temperaturförhållanden för abborrar av olika storlek. När abborren nått ca 3 g storlek, börjar planktondjur vara för små som bytesobjekt, vilket leder till att tillväxten sjunker. Den återhämtning som ses hos 4–5 g fiskar beror på att de börjar äta bottendjur. Effekten av att större abborrar kan börja äta fisk ses också i figuren.

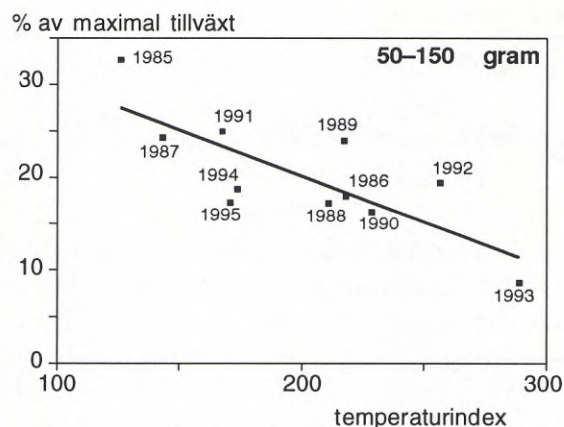
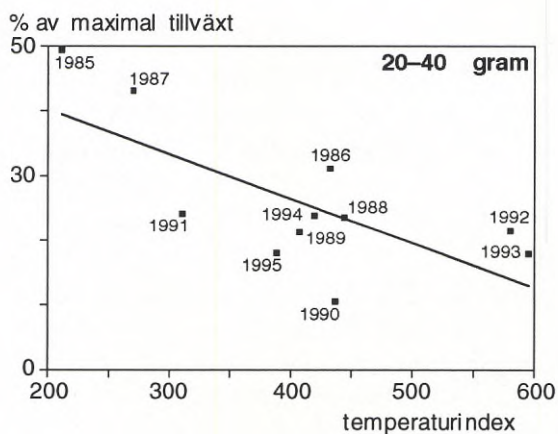
Med den bioenergetiska modell som tagits fram för abborre kan man beräkna konsumtion och tillväxt utifrån givna förutsättningar. Här har den utnyttjats för att studera hur mycket individer av olika storlek vuxit i förhållande till det maximalt möjliga under rådande temperatur- och näringsförhållanden. Allt eftersom fisken växer påverkas storleksregistret

på de möjliga bytesobjekten – ju större fisken är desto större byten kan fångas. Detta innebär att allt mindre energi per tidsenhet behöver läggas ner på att söka efter byte och hantera det. Därmed kan mer energi styras till äggproduktion och tillväxt. Skall en god och jämn tillväxt kunna fortgå under abborrens levnad bör successiva övergångar ske från mikroskopiskt djurplankton via bottendjur till fisk.

Övergångarna mellan dessa kategorier bytesobjekt kan vara dramatiska och kräva stora förändringar i beteende t ex från att leva på djurplankton i den fria vattenmassan till ett mer strandnära sökande efter bottendjur. Det är sannolikt detta som leder till de successiva ned- och uppgångar som kan ses i förhållandet mellan verklig tillväxt och den maximalt möjliga.

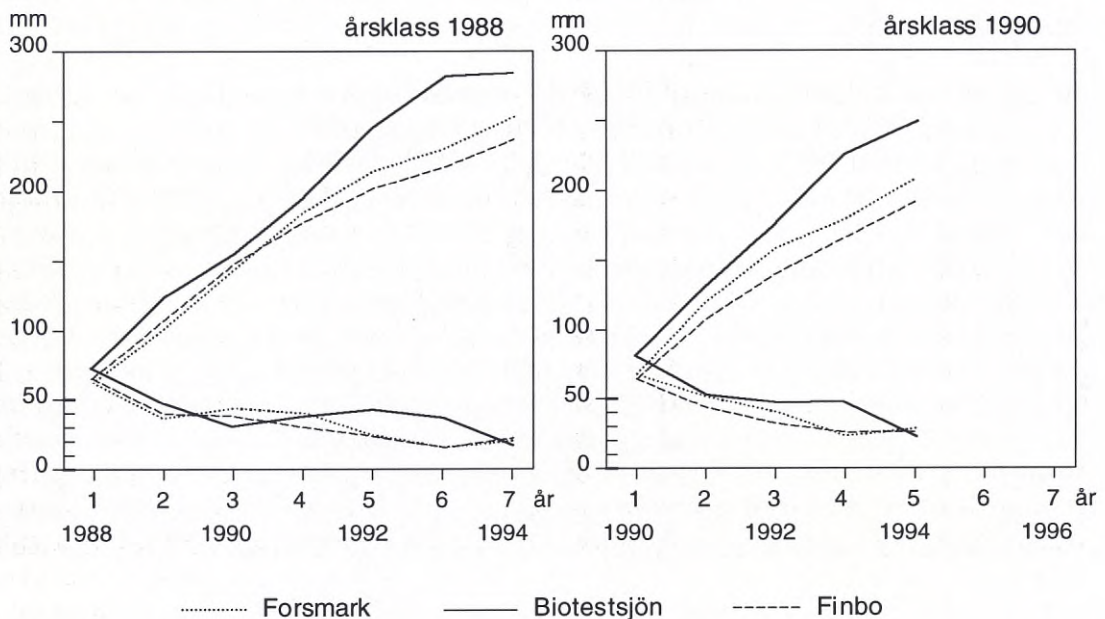
Naturligtvis sker modifieringar av mönstret på grund av varierande tillgång till respektive födogrupper olika år. År 1980 var t ex tillgången på kräftdjur, framförallt märkräftor, riklig varför även relativt stora abborrars huvudsakliga föda utgjordes av detta bottendjur. När så tillgången starkt reducerades några år senare, ökade intaget av framförallt fisk men även av andra bottendjur.

Samma typ av analys kan avslöja om tillväxtskillnader mellan år kan tillskrivas annat än temperaturens inflytande, t ex variationer i födotillgång. Två grupper abborrar, små fiskar (20–40 g, 13–16 cm) som huvudsakligen livnar sig på större bottendjur som märkräftor, och lite större abborrar som huvudsakligen är fiskätare (50–150 g, 17–25 cm), studerades. För båda grupperna minskade fiskarnas utnyttjande av den möjliga tillväxtpotentialen med tilltagande temperatur. Födotillgången blir sannolikt begränsande genom att de inte kan äta maximalt tillräckligt ofta, samtidigt som kostnaderna för grundmetabolism och rörelseaktivitet blir allt större. De små fiskarna avviker från den generella tendensen åren 1990, 1991 och 1995 genom att ha en lägre andel realiserad tillväxt än de övriga åren. De två första åren kan detta förklaras av att tillgången på större bottenfauna var ovanligt låg dessa år. De större, fiskätande, abborrarna påverkades inte av denna förändring, då tillgängligheten till deras byte inte förändrats på motsvarande sätt.



Tillväxten hos två storleksgrupper av abborre vid olika temperaturer ställd i relation till vad som maximalt är möjligt.

På grund av temperaturförhöjningen växer, som förväntat, abborren snabbare i anläggningen än i omgivande vatten. Denna skillnad är mycket markant för de icke köns mogna fiskarna. Redan första sommaren når abborrarna i Biotestsjön en längd som är minst 25 % större än i referensområdet, vilket innebär att vikten ofta ligger tre gånger högre. Även under andra tillväxtåret ser man denna tydliga avvikelse. Skillnaden för äldre fiskar är dock mindre, och 1994 växte gruppen abborrar med en ålder över fyra år till och med något sämre än utanför anläggningen. För årsklassen 1988 inträffade detta även 1990 och 1991. Även i av kylvatten opåverkade områden var vattentemperaturerna under nittiotalet flertalet år högre än normalt, vilket medförde god tillväxt i både Forsmark och Finbo. En jämförelse mellan de tre områdena Biotestsjön, Forsmark och Finbo har gjorts genom att följa årsklasserna födda 1988–1992. Forsmark och Finbo följer varandra väl. De enda nämnvärda undantagen är att Forsmarksfisken i flera fall vuxit bättre 1991 och 1992. Detta kan bero på utledningen av varmvatten genom reservutskovet 1991 samt ovanligt höga temperaturer i slutet av maj och i juni 1992.



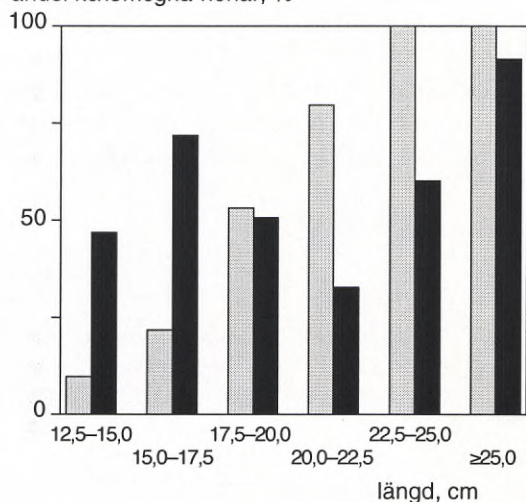
Tillväxten hos två årsklasser av abborre (1988 och 1990) i Biotestsjön och Forsmark samt i referensområdet i Finbo. Längd vid olika åldrar samt årlig längdökning under perioden 1988–1994 ges i figuren. Forsmarksområdet kan påverkas av kylvattenutsläpp under de perioder då reservutskovet öppnats.

Fortplantning, kondition och dödlighet

Tillväxten under de första åren har stor betydelse för köns mognadsprocessen. En snabb tillväxt leder vanligen till en tidig köns mognad. Den höga temperaturen leder till att abborren leker tidigare än normalt i Biotestsjön. Ynglens tillväxt är därefter mycket snabb, och redan första sommaren kan många av hanarna bli köns mogna. De är då ca tre månader gamla och har en längd av ca 60 mm. För honan är det fysiologiskt omöjligt att bli köns mogen redan första sommaren, då äggutvecklingen tar längre tid än ett år för att löpa igenom alla stadier. Vi kan dock se, att en stor del av honorna påverkas redan under första sommaren så att de första stadierna i

könsmognadsprocessen påbörjas. Dessa honor når sin könsmognad året därpå, då de alltså är något mer än ett år gamla och har en längd av 12–13 cm. Jämför man med vad som är naturligt, finner man att Biotestsjöns abborrar når könsmognaden ett eller två år tidigare än normalt och vid en betydligt mindre storlek.

andel köns mogna honor, %

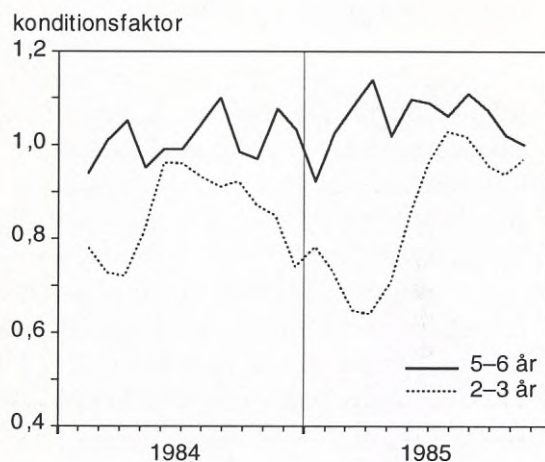


Andelen köns mogna abborrhonor i olika längdklasser. Könsmognaden sker tidigt i Biotestsjön, men många av fiskarna i storleksintervallet 17,5–25 cm klarar inte av att leka varje år.

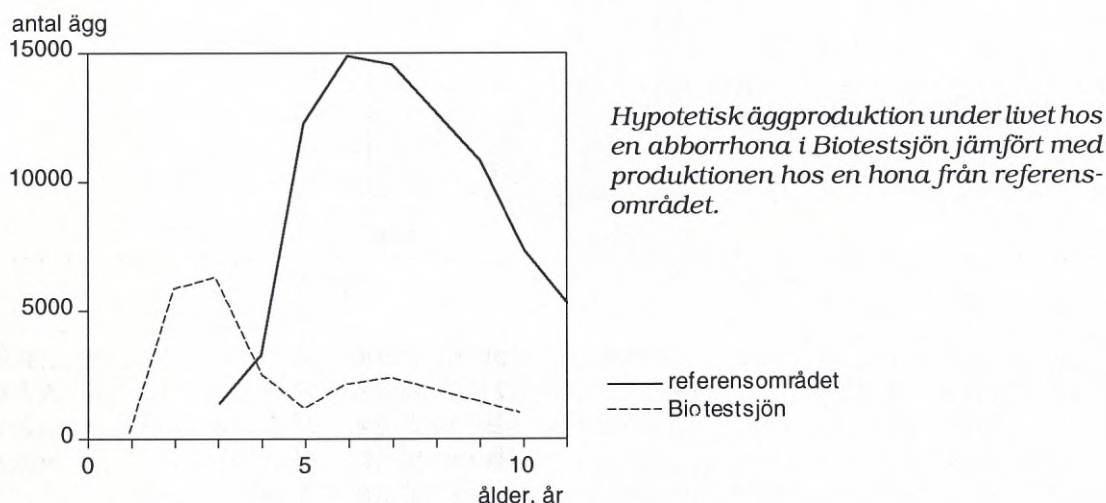
Könsmognaden innebär stora omställningar i fiskens energiomsättning. Den skall nu på ett optimalt sätt fördela den tillgängliga energin till såväl tillväxt som fortplantning. När fisken väl har blivit köns mogen, och rommens eller mjölkens utveckling har startat, är det dock normalt så, att fortplantningsprocessen prioriteras framför andra former av energianvändning.

Under sommarens goda temperatur- och födoförhållanden försöker fisken bygga upp näringsförråd för att klara vintersvälten samtidigt som tillväxande rom eller mjölke ställer extra krav på energitillförsel. Fett och protein lagras in i muskulatur och lever eller i bukhålans fettväv. Näringsstatus hos fisken brukar ofta mätas på ett enkelt sätt som relationen mellan vikt och längd, den s k konditionsfaktorn. Hos flertalet fiskar, t ex abborre, varierar denna med ett minimum under våren i samband med leken och ett maximum under sensommaren. En hög temperatur under vintern ökar dock fiskens ämnesomsättning. Kan den inte kompensera detta genom ett större födointag, förbrukas energiförrådet snabbare än normalt.

Årstidsförändringar i kondition hos unga (2–3 år gamla) och äldre (5–6 år gamla) abborrar i Biotestsjön. Små fiskar drabbas av allvarliga konditionsfall under vintern och våren.

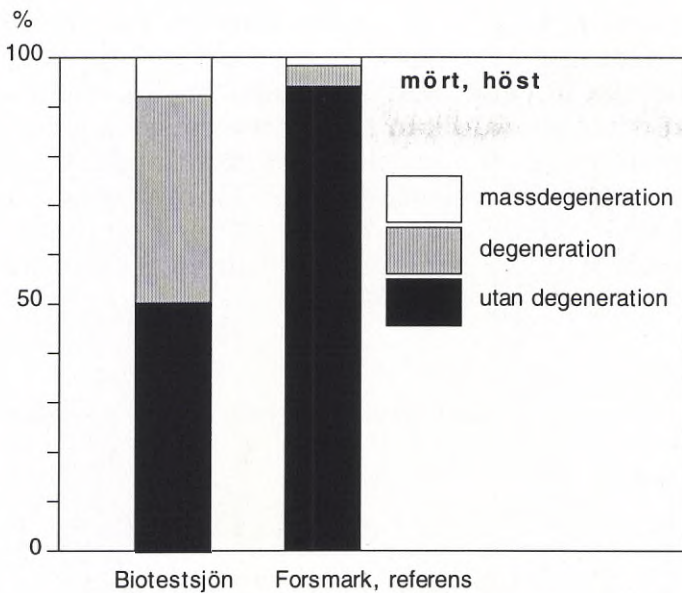


I Biotestsjön undersöktes konditionen hos abborre under olika årstider. Honor, som köns mogna som ettåringar, hade hög kondition under sommaren och hösten, när romutvecklingen började. Dessa jämförelsevis små fiskar hade dock svårt att klara sina energibehov under vintern, och deras näringsförråd var i stort sett förbrukade redan innan leken började. Under två vårar genomfördes märkningsförsök för att bl a studera dödligheten under lekperioden. Resultaten visade, att dödligheten var mycket hög och att den sannolikt berodde på att fiskarna var extremt avmagrade. Äldre och större fiskar verkade klara vinterperioden bättre. Detta kan bero på att de dels avstår från lek något eller några år, om de inte lyckats återhämta sig tillräckligt bra efter våren, dels på att de kan minska den relativa fekunditeten, d v s antalet romkorn per viktsenhet hona som tillåts utvecklas.



Det förändrade temperaturklimatet har alltså orsakat genomgripande förändringar i abborrens livshistoria och i dess energifördelningsmönster. De unga stadierna gynnas av hög temperatur med snabbare tillväxt och tidigare köns mognad. Normalt är detta en fördel för fisken, men i Biotestsjön är vintern för varm för att vara optimal för den vuxna fisken. Den slutliga konsekvensen blir, att fiskens livslängd förkortas, att dess fortplantning tidigareläggs och att den totala produktionen av ägg hos den enskilda honan kraftigt reduceras. Hur temperaturens påverkan på fiskens livshistoria slutligen återspeglas i den årliga rekryteringen och de vuxna beståndens utveckling undersöks i de årliga kontrollerna av årsyngeltäthet samt med nätprovfisken.

Fiskens fortplantning kan störas på fler sätt än genom förskjutningar av köns mognaden. Under de år som följt efter att kraftverket togs i drift har förekomsten av mörtyngel i stort sett varit obefintlig i Biotestsjön. Orsakerna till detta ansågs till en början kunna vara ogynnsamma vattenståndsfuktuationer under våren eller att miljön, t ex förekomsten av vattenväxter, inte längre var passande i Biotestsjön. Efter kontakter med litauiska forskare med lång erfarenhet av bl a Ignalinaverkets kylsjö Drūkšiai föddes dock misstanken, att den höga temperaturen kunde skada honornas könsorgan så, att de inte längre kunde producera livskraftig avkomma. Prover insamlades i Biotestsjön och i ett opåverkat jämförelseområde och sändes till Vilnius, där de analyserades.



Frekvensen mörthonor med degenererade äggceller i Biotestsjön jämfört med ett referensområde.

Resultaten av denna undersökning visade, att Biotestsjöns mörtar påverkats på likartat sätt som de fiskar man tidigare studerat i kylvattenrecipienter i Litauen, Ryssland och Moldavien. En stor andel av honorna bar degenererade ägg som dött under utvecklingen, men man observerade också att könsorganens funktion blivit arytmask och inte längre var kopplad till årstiderna. Äggceller av flera olika utvecklingsstadier observerades vid samma tidpunkt, något som inte är normalt för denna art. Hos åtminstone de äldre mörtarna var skadan så allvarlig, att de förmodligen inte alls kunde fortplanta sig. Det var alltså sannolikt, att den låga yngelproduktionen åtminstone delvis orsakats av att honornas könsorgan påverkats så negativt av den höga temperaturen, att de inte längre kunde producera normala romkorn.

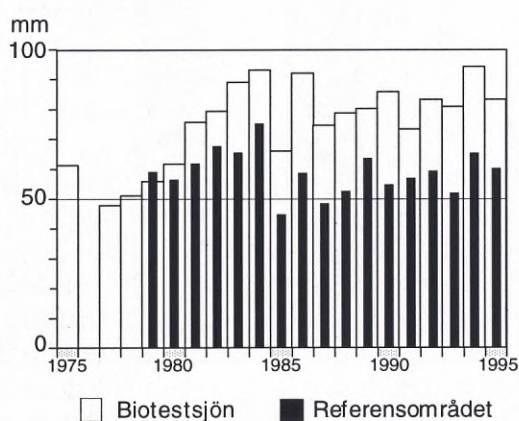
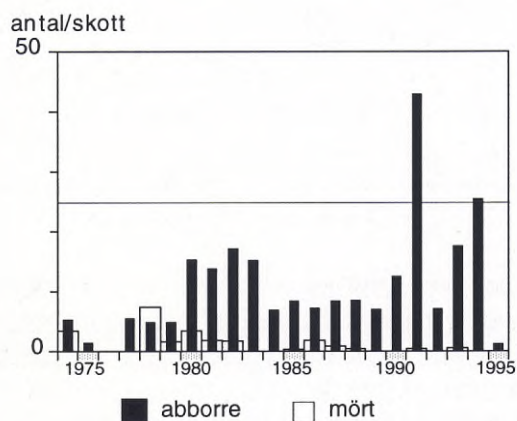
Liknande skador kunde också visas på andra arter. Hos abborrhonorna fanns observationer av såväl degenererade ägg som arytmask celldelning i könsorganet. Dessa skador var dock inte lika tydliga som på mörtarna.

Under våren 1995 studerades abborrens lek i Biotestsjön, i utsläppskanalen från det tredje aggregatet samt i ett jämförelseområde i skärgården. Leken startade tidigare i de uppvärmda områdena. Beroende på den kalla och sena våren blev lekperioden mycket utdragen, främst i referensområdet. Under försöket insamlades material för undersökning av kläckningsförloppet. Rom från Biotestsjön och den öppna utsläppskanalen hade ofta betydligt försämrade kvalitet. Normalt hålls romkornen ihop av ett gelatinliknande ämne till en sträng, som honan fäster på till exempel vegetationen. Detta gör att rommen kan hållas uppe från botten fram till kläckningen. En del av de romsträngar som insamlades i Biotestsjön och i utsläppskanalen från det tredje aggregatet, tenderade dock att falla isär så att romkornen frigjordes. Dessa romkorn utvecklades dåligt och dog i regel efter någon dag.

Rekrytering

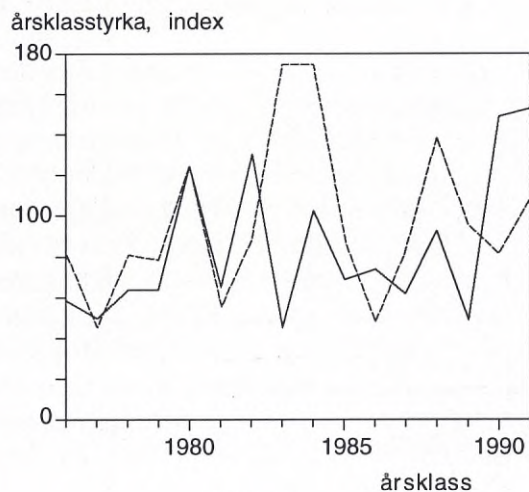
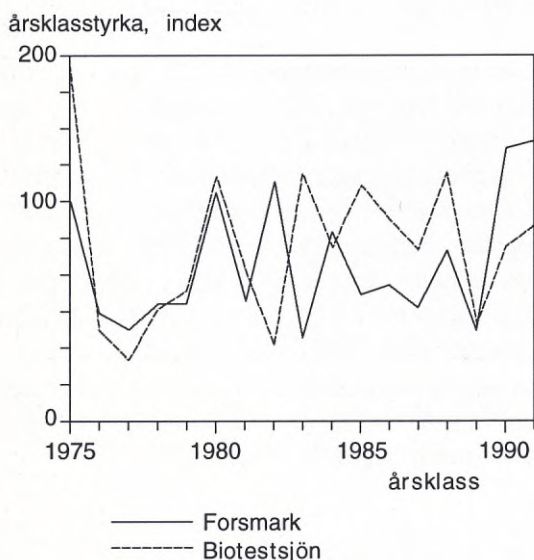
Hur många individer som kommer att överleva till vuxen ålder av de som kläcks ur föräldragenerationens totalt avsatta rommängd avgörs huvudsakligen under det första levnadsåret. Tillväxt och överlevnad hänger då starkt samman; en snabb tillväxt under kritiska perioder gynnar överlevnaden.

Hos den kustlevande abborren i Bottniska viken förekommer i allmänhet ingen avgörande födobegränsning varför positiva samband temperatur-tillväxt-överlevnad-årsklasstyrka förekommer. En tydligt positiv effekt av kraftverkets start på tillväxt och överlevnad kan ses för Biotestsjöns yngel. I Biotestsjön har det dock visat sig, att temperaturerna vissa år är allt för höga för att hela konsumtions- och tillväxtpotentialen skall kunna utnyttjas. Det är troligt att detta kan vara en bidragande orsak till de stora mellanårsvariationer i produktionen av abborryngel som numera kan ses i anläggningen.



Täthet och tillväxt hos abborryngel i Biotestsjön och i ett referensområde.

Att de högre temperaturerna i Biotestsjön förändrat mellanårsvariationerna i rekryteringsmönstret hos abborre i förhållande till naturliga områden visar sig också i de mått på årsklasstyrka som erhålles från åldersprovtagning på den vuxna fisken. Således samvarierar detta mått i Biotestsjön och Forsmark fram till kraftverkets start för att därefter följa skilda mönster.

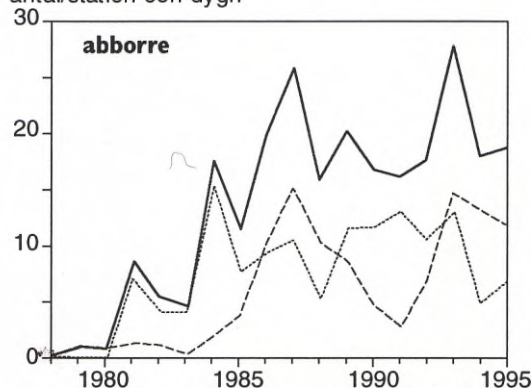


Årsklasstyrka hos abborre i Biotestsjön, omgivande skärgård samt i ett referensområde i Finbo.

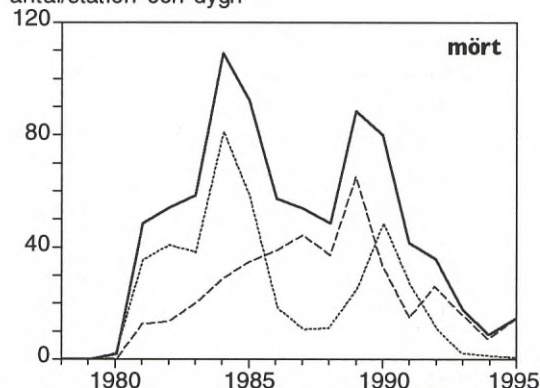
De vuxna fiskbestånden

Rekryteringsutfallet kan alltså påverka de vuxna bestånden av fisk, men det förekommer även att t ex in- eller utvandring styr mängden fisk i ett område. Fiskbeståndens utveckling i Biotestsjön har följts i kontrollprogrammet ända sedan tiden före anläggningens färdigställande. När kylvattnet började släppas genom Biotestsjön skedde stora förändringar i fisksamhället. Kallvattenarter, som t ex hornsimpa, sik, strömming, lake och stubbar, försvann och varmvattenarter, som t ex mört och abborre, blev dominerande.

antal/station och dygn

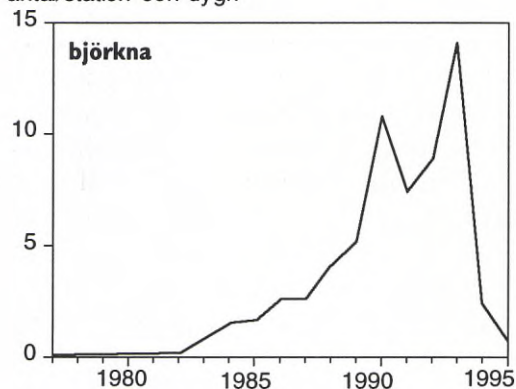


antal/station och dygn

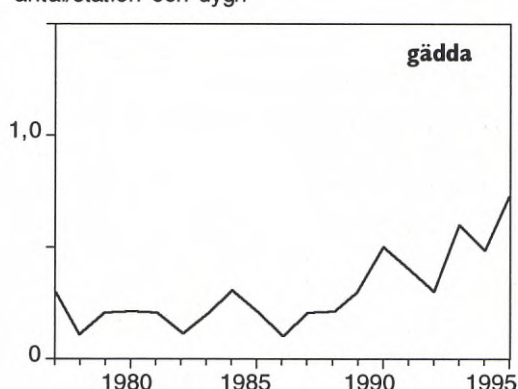


— totalt - - - - >17,5 cm <17,5 cm

antal/station och dygn



antal/station och dygn



Fångster av abborre och mört i Biotestsjön år 1978–1995 samt av björkna och gädda år 1977–1995.

Redan 1981, d v s året efter kraftverkets driftstart, ökade framförallt fångsterna av mört. Yngelundersökningar visade dock under en följd av år, att få eller inga mörtyngel producerades i Biotestsjön. De mörtar som fanns var uppenbarligen sådana som vandrat in i Biotestsjön som yngel genom utloppets fiskspärr. Avståndet mellan spjälorna i fiskspärrens galler tillåter fiskar mindre än ca 10 cm att komma igenom. Ytterligare tillskott av unga mörtar kom sannolikt främst vid två tillfällen, 1984 och 1990. På grund av dessa sporadiska invandringar och avsaknaden av fungerande rekrytering inne i Biotestsjön, har tätheten av vuxen mört varierat kraftigt. Efter maxima 1984 och 1990 har tätheterna sjunkit kraftigt till de lägsta nivåer som förekommit, sedan kraftverket togs i drift.

Abborrarna ökade i antal i Biotestsjön fram till 1987. Ökningen var långsammare än hos mörten. Efter en smärre nedgång 1988 har fångsterna varit ungefär lika stora fram till 1995. Till skillnad från mörtarna kan abborrarna föröka sig inne i Biotestsjön och de första åren efter kraftverkets start ökade först små abborrar i antal. Jämför man resultaten av de årliga yngelundersökningarna med årsklasstyrkorna hos den vuxna fisken, finner man att det vuxna beståndet sannolikt rekryterats inne i Biotestsjön och inte baseras på invandring av yngel.

Björknan är en långsamväxande varmvattenart som inte normalt förekommer i lika höga tätheter som mört och abborre. I Biotestsjön har den stadigt ökat i antal fram till 1993, men tätheterna minskade kraftigt 1994 och 1995, dvs de år då kylvattnet inte släpptes genom Biotestsjön. Björknan har sannolikt invandrat som yngel till Biotestsjön på samma sätt som mörten, förmodligen också vid samma tillfälle. Någon rekrytering tycks inte kunna ske inne i anläggningen enligt yngelkontrollen. Gäddan, som förekommer i litet antal, har ökat stadigt i täthet fram till 1995. En viss rekrytering tycks kunna ske i Biotestsjön, även om årsyngelförekomsten generellt varit låg.

Kylvattnets påverkan på Öregrundsgrepen

När kylvattnet lämnar anläggningen sker dels en uppvärmning i plymområdet utanför Biotestsjön, dels mer temporära uppvärmningar i skärgården vid de tillfällena då reservutskovet öppnas. Utsläppet från det tredje aggregatet sker dessutom genom en ca 1 km lång, öppen kanal, till vilken fiskar fritt kan vandra. Genom den konstruktion som valts berörs bottenarna i utsläppsområdet relativt lite av den höjda temperaturen. Strömförhållandena påverkas dock i ett relativt stort område, vilket kan förändra sedimentationsprocesserna med sekundära effekter på de bottenlevande djuren. Vid utsläpp genom reservutskovet värms även stora ytor grunda bottenar, platser där fisken leker och har sina yngeluppväxtområden. Risken för skador vid uppvärmning av sådana miljöer är betydligt större än vid det ordinära utsläppet, där endast den fria vattenmassan påverkas. Ett flertal undersökningar främst rörande fiskars fortplantning har därför gjorts vid de tillfällena då reservutskovet varit öppet under längre tid.

Påverkan på sikens romutveckling

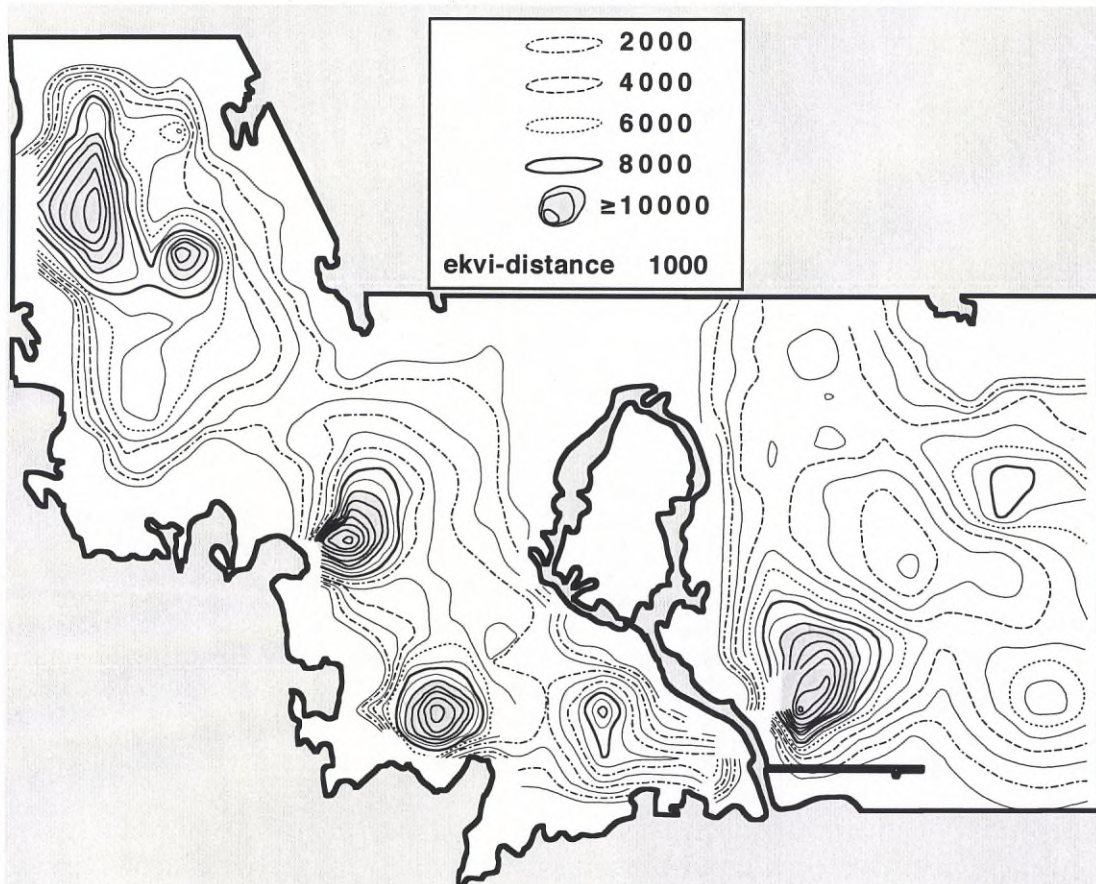
Under senhösten lägger den havslekande siken sin rom i grunda vatten på grusiga bottenar och i relativt skyddade lägen. Rommen övervintrar och embryonalutvecklingen tar fart först efter issmältningen med stigande temperaturer, varefter ynglen kläcks i april-maj. Det tycks vara så, att de stabila vinterförhållanden som åstadkommes av en lång period med is gynnar yngelproduktionen och därmed rika årsklasser. Temperaturoptimum för överlevnad är således lågt och toleransen snäv. En snabb uppvärmning när väl isen gått kan dock vara gynnsam. Kylvattenutsläpp under vinter- och vårvinter skulle således kunna störa yngelproduktionen genom en ökad mortalitet under äggutvecklingen. Även för tidig kläckning när födotillgången är låg är förstås negativ.

De normala utsläppen i Forsmark sker i en exponerad miljö, som inte utgör lekområden för sik. Reservutskovsutsläppen är däremot riktade mot kända siklekplatser, varför en negativ påverkan alltså kan misstänkas. Under de kontrollerade försöken 1990 genomfördes därför insamlingar i

maj av yngel i områden under olika påverkan av utsläppen genom reservutskovet. En liknande studie gjordes under 1996, då okontrollerade utsläpp förekommit under hela föregående vinter. År 1992, då endast ett par mindre utsläpp gjordes, har använts som jämförelse. Studierna visar, att mycket låga tätheter förekom i området närmast utsläppet de två påverkade åren. Även om resultaten inte är helt entydiga, kan man således inte utesluta en negativ effekt på sikyngelproduktionen vid utsläpp vintertid genom reservutskovet.

Anlockning av fisk

Vid en utsläppskonstruktion som undviker uppvärmning av slutna skärgårdssystem är det främst de rörliga organismerna som påverkas. Fiskar reagerar på vattentemperaturen genom olika beteenden. Genom att de är växelvarma djur, har de en nedärvd önskan att vistas i områden där vattentemperaturen ligger så nära som möjligt den som är optimal för de centrala fysiologiska funktionerna, främst de som styr tillväxten. Denna temperatur brukar kallas preferenstemperaturen. För flertalet fiskarter i svenska vatten ligger preferenstemperaturen högre än vad fisken kan hitta i den naturliga miljön. Kylvattenutsläppen blir alltså "termiska oaser" i en annars för kall miljö. Fiskar som kommer i kontakt med dessa uppvärmda områden har ofta en stark tendens till anlockning och de kan stanna kvar under lång tid i kylvattenplymen. Undantagen finner man bland de extrema kallvattenarterna, men även dessa kan anlockas under vinterperioden. Öring är en art som ofta lockas till kylvattenutsläppen, när temperaturen faller under senhösten.



Täthetsfördelningar för 4–8 cm stora strömmingar i området omkring Biotest-sjön (september 1992).

Anlockning kan också ske i samband med leken. Denna effekt är tydligast hos de vårlekande fiskarna, t ex strömmingen, som gärna söker de tidigast uppvärmda områdena för sin lek. Sannolikt styrs denna reaktion av att ynglens tillväxt och överlevnad är starkt beroende av temperaturen. Vid de tillfälliga utsläpp som skedde genom Biotestsjöns reservutskov under 80-talet kunde man konstatera en anlockning av strömming, och att den lekte tidigare än normalt. I forskningsprogrammen gjorde man därefter kontrollerade försök under 1990 och 1991. Vid det första försöket observerades redan den 27 april att strömmingen lekt och att tjocka lager med rom fanns i utsläppsområdet. Den normala tiden för lek ligger ca en månad senare. Rommen kläckte, och nykläckta larver observerades i höga tätheter. Dessa var alltså födda betydligt tidigare än normalt. Risken för uttransport med kylvattenströmmen kan dock motverka larvernas utnyttjande av temperaturhöjningen för sin fortsatta tillväxt. De larver som driver in i de skyddade miljöerna närmare fastlandet borde däremot ha goda förutsättningar för snabb tillväxt. Ekointegreringar utförda i området under hösten visade att tätheterna av årsyngel var högre än i det studerade jämförelseområdet, och att ynglen gärna uppehöll sig i randzonen mellan de grunda vikarna och den öppna fjärden. Effekten av uppvärmningen under våren och sommaren var alltså positiv på strömmingens rekrytering.

Risken för fiskdöd

Under sommaren anlockas arter med höga temperaturoptima, de s k varmvattenfiskarna. Stora mängder mört, braxen, id, löja och abborre ställer sig ofta så nära utsläppet de kan. Att så många individer trängs ihop på en och samma plats, medför stora risker för negativa effekter. Sommaren 1994 var osedvanligt varm, vilket orsakade problem för de fiskar som anlockats till Forsmarksverkets utsläppskanaler. När man startade det tredje aggregatet efter revisionen, var intagstemperaturen så hög som 22–23°C, vilket innebar att utsläppstemperaturen steg över 30°C. I så höga temperaturer överskrider man letalgränsen för vissa arter. Stora mängder död fisk, främst abborre och gädda men även några stora gösar, observerades dagarna efter att temperaturen stigit i utsläppskanalen för aggregat 3. Anlockade fiskar tycks ha svårt att inse, att de kan lämna området för att undkomma döden. Möjligen kan man motverka sådan fiskdöd genom att ge fisken lite längre tid på sig att vandra ut, när man startar anläggningen under sådana extrema förhållanden.

Sjukdomar och parasiter

En ofta påtalad risk för effekter på anlockad fisk är att spridningen av sjukdomar underlättas. Man känner många virus, bakterier och parasiter som orsakar sjukdomssymptom hos fisk och som i allvarliga fall leder till massdöd. Fisksjukdomar har undersökts vid samtliga svenska kärnkraftverk. Lyckligtvis har de allvarligaste farhågorna ännu ej besannats, utan de flesta undersökningar tyder på att sjukdoms- och parasitförekomsten vid kylvattenutsläppen ligger nära det normala.

En fiskparasit som fått viss uppmärksamhet under senare år är ålens simblåsemask. Parasiten är lätt att observera även för den i ämnet oinvidge, då maskarna är rätt stora, svarta och ligger fria inne i simblåsan. Vid allvarligare angrepp blir simblåsan nästan fylld av parasiter. Parasiten, som är en sentida asiatisk invandrare och inte anpassad till den europeiska ålen, upptäcktes i Sverige först vid kärnkraftverken. Experiment med

utsättningar av ålyngel har under flera år gjorts utanför såväl Oskarshamns- som Forsmarksverken. Vid uppföljningen av dessa utsättningar observerades att återfångade ålar i hög grad var bärare av simblåsemask. Andelen smittad gulål, d v s uppväxande ål, har under 1990-talet legat på en fortsatt hög men stabil nivå i såväl Oskarshamns- som Forsmarksområdet.

Frekvensen för ålens simblåsemask (Anguillicola crassus) under åren 1992 till 1996 vid Forsmark. n=antal ålar.

lokal	andel blankål (%)	år	månad	(n)	sjukdoms- frekvens (%)
Biotestsjön	100	1992	juli-okt	4	75
	100	1993	feb-nov	10	70
	100	1994	april	6	83
	0	1993	feb-okt	167	53
	0	1994	april	58	52
	1	1995	apr-maj	106	57
	0	1996	mar-apr	117	44
F3:s kanal	100	1992	juli-okt	20	45
	100	1993	mar-nov	13	46
	100	1994	april-maj	4	50
	0	1993	maj-sep	461	42
	0	1994	april	55	56
	1,4	1995	apr-maj	145	57
	0	1996	mar-apr	108	51
referensområdet	0	1993	juli	66	42
	0	1994	juli	60	50
	2,7	1995	juli	72	58

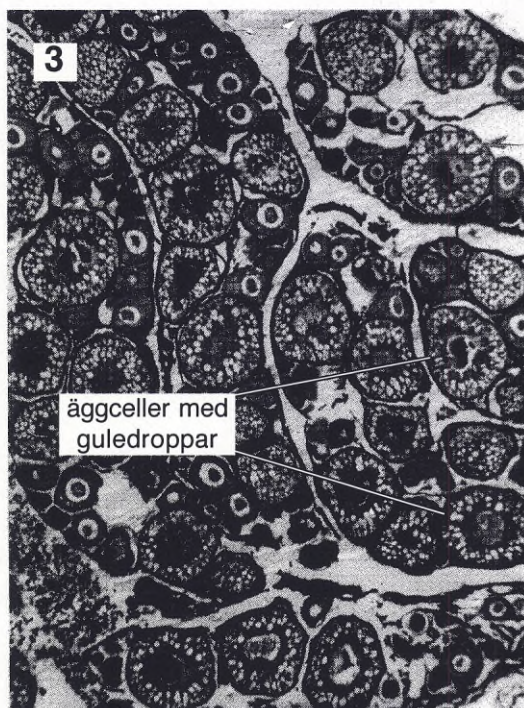
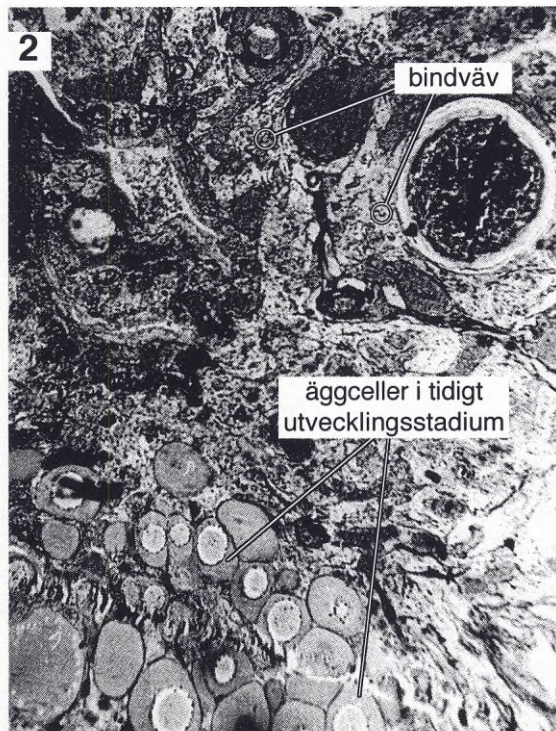
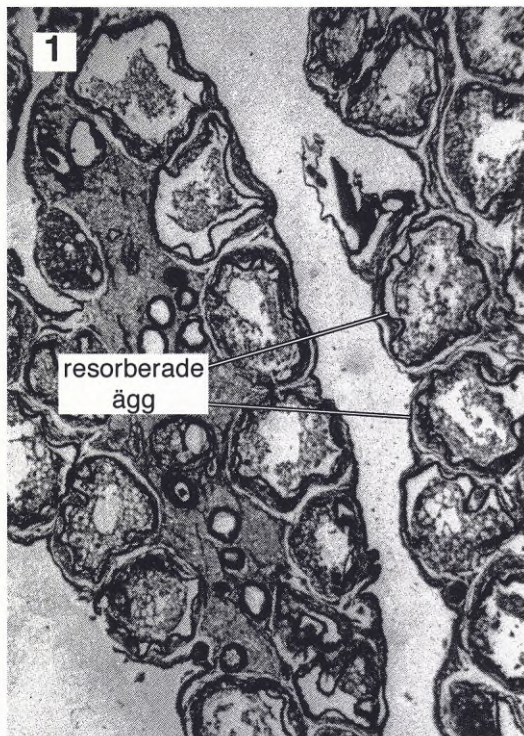
Även om man under de senaste åren fångat ålar med simblåsemask i områden, som inte påverkas av kylvatten, tycks parasitens etablering i Sverige ha skett tidigt i kärnkraftverkens utsläppsområden. Orsaken till detta är inte klarlagd. Vissa teorier fanns, där man antog att den höga temperaturen kunde gynna simblåsemasken. Sannolikt har dock parasiten spridits naturligt till kylvattenrecipienterna. Den första introduktionen till Europa inträffade när smittade japanska ålar överfördes till Italien. Då parasiten även kunde etablera sig i den europeiska ålen, spreds den vidare med utsättningsmaterial. Nu finns den i bl a Baltikum och vid tyska kusten, och under senare år i hög frekvens även i ålar som Kustlaboratoriet samlat in i Karlskrona skärgård, d v s långt från kärnkraftverken.

Simblåsemasken befarades till en början kunna leda till allvarliga skador på ålbestånden. De omfattande material som nu undersökts pekar dock på att skadorna inte är så allvarliga, åtminstone inte på lite större ålar, då ingen konditionsförsämring kan konstateras ens hos kraftigt parasiterade fiskar.

Påverkan på fiskens könsorgan

Undersökningar av mörtens könsorgan i Biotestsjön, där vi kunde visa ett flertal allvarliga skadesymptom, motiverade att som nästa steg även undersöka andra arter och, framför allt, fiskar som inte är instängda på samma sätt som i Biotestsjön. Anlockningseffekten kan medföra, att fisk ibland ansamlas i stora mängder till kylvattenutsläppen, där de utsätts för så höga temperaturer att det finns risk för skador på fortplantningen. Dessa fiskar kan naturligtvis fritt vandra ut till kallare vatten, om de så önskar,

men man kan inte ta för givet, att deras beteenden alltid är funktionella. En ny serie prov insamlades i de öppna kylvattensystemen utanför Forsmark, d v s där fisken fritt kan vandra in och ut i recipienten. Prover analyserades mikroskopiskt av forskare i Litauen med samma metodik som man använt i t ex Ignalinaverkets kylsjö Drūkšiai. Resultaten visar, att många arter påverkas på likartat sätt som mörtan. En hög förekomst av döda, resorberade ägg, följt av asynkron cellutveckling i honornas könsorgan var vanliga observationer. I den öppna utsläppskanalen från Forsmarks tredje



Gonadskador hos abborre och mört i Biotest-sjön.

1. **Abborre.** Total resorbtion av äggen i ett sent utvecklingsstadium.

2. **Mört.** Ett könsorgan som påverkats så kraftigt, att stora delar av den reproduktiva vävnaden ersatts med bindväv. Vissa partier innehåller äggceller i ett utvecklingsstadium, som inte stämmer med årstiden.

3. **Mört.** Normal hona med äggceller där gulebildningen har påbörjats.

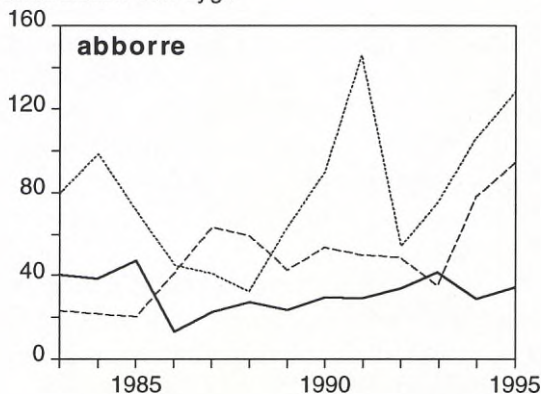
block insamlades fisk för kontroll under 1994 och 1995. Förändringarna hos äldre fisk var då tydliga nog att även kunna observeras med blotta ögat. Honorna tycktes successivt påverkas så, att deras romsäckar efter några år blev fyllda med bruna, stenromslika klumpar. En mycket hög andel av de abborrar och mörtar som var större än ca 30 cm hade så grava skador, att de sannolikt inte längre kunde fortplanta sig. Gädda är en annan art, som dels anlockas till värmen under höst, vinter och vår, dels tycks vara mycket känslig för påverkan på könsorganen. Slutsatsen i dagsläget är, att man måste anta att de flesta arter som under längre tid exponeras för höga temperaturer vid kylvattenutsläpp drabbas av förändringar i könsorganens funktion. Likartade observationer har även gjorts vid Oskarshamnsverket, där fisk anlockas till den uppvärmda Hamnefjärden.

Möjligheten att fritt kunna vandra ut till kallare vatten för att därigenom undgå denna påverkan tycks fisken alltså inte kunna utnyttja. Anlocknings-effekten är tydligen starkare än eventuella skyddsmekanismer mot en skadlig påverkan på äggutvecklingen. Hur stora mängder fisk som totalt påverkas och om mellanårsvariationer i temperaturförhållanden i omgivningen också spelar in, vet vi dock fortfarande inte.

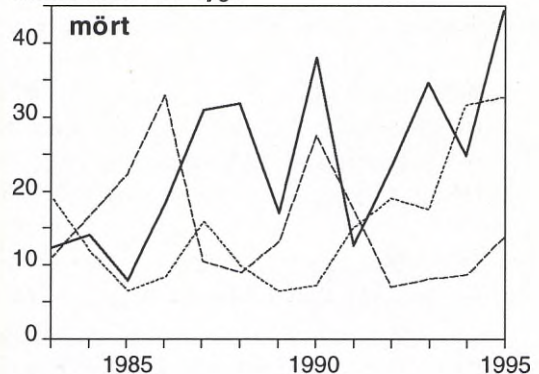
Fiskbestånden

På utsidan Biotestsjön bedrivs två olika fisker. Det ena fisket syftar främst till att kontrollera beståndsutvecklingen hos så kallade varmvattenarter, d v s arter som lever stationärt inne på grunt vatten i skärgården, vilka man kan förvänta sig de tydligaste effekterna på. Abborre och mört är de arter som dominerar i dessa fisker. Fisket bedrivs på åtta 3–6 m djupa stationer vid sex olika tillfällen under augusti i två delområden, ett beläget söder om Biotestsjön och ett väster om Biotestsjön. Referensfisken på liknande stationer bedrivs i Finbofjärden. Det andra fisket syftar till att följa beståndsutvecklingen hos så kallade kallvattenfiskar, d v s fiskar som vandrar ut till kallare vatten under somrarna. Av dessa arter förekommer vanligtvis torsk, sik och hornsimpa i Forsmarksområdet. Detta fiske bedrivs på åtta 15–20 m djupa stationer i kylvattenplymens yttre del när bottenvattnets temperatur sjunkit under 12°C, vilket vanligtvis inträffar under oktober–november.

antal/station och dygn



antal/station och dygn



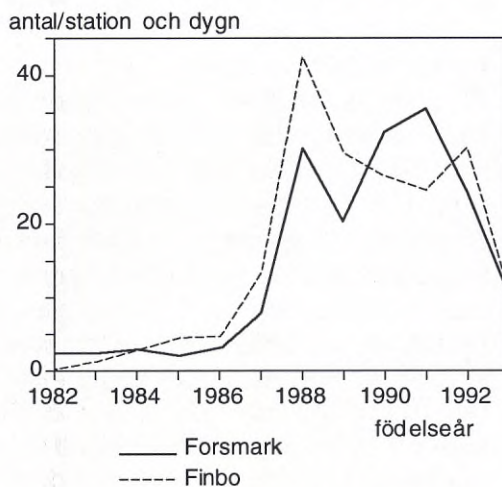
— Forsmark stn 31–34, S Biotestsjön
 Forsmark stn 28, 29, 35 och 36, V Biotestsjön
 ---- Finbo

Fångsterna av två varmvattenarter i Forsmarks- och referensområdet i Finbofjärden. Stationernas lägen framgår i kartor på sidan 2 och 6.

Vid fiskena efter varmvattenarter, minskade abborrharna i provfiskefångsterna under 80-talets mitt. I området väster om Biotestsjön ökade de därefter till mycket höga fångster 1991. Efter lägre fångster 1992 ökade de återigen fram t o m 1995. I området söder om Biotestsjön var fångsterna generellt lägre och variationerna mellan år mindre. I referensområdet i Finbofjärden var trenderna delvis likartade med delområdet väster om Biotestsjön med större fångster 1994 och 1995, medan de höga fångsterna 1990 och 1991 inte återfanns här.

Det sammanlagda antalet abborrhonor i fångsterna 1991–1995 fördelade på födelseår visar att rekryteringsutfall och överlevnad av abborrar är synnerligen likartade mellan Forsmark- och referensområdet. Abborrar födda 1988 är t ex väl representerade i båda områdenas fångster de efterföljande åren. Till skillnad från de andra åren är dock abborrar födda 1990 och 1991 något bättre representerade i Forsmarksområdet än i Finboområdet. Detta indikerar att försöket med öppethållande av reservutskovet som pågick under dessa somrar för att förbättra rekryteringen i Forsmarksområdet också gav bättre förekomst av abborrar födda dessa år i fångsterna efterföljande år.

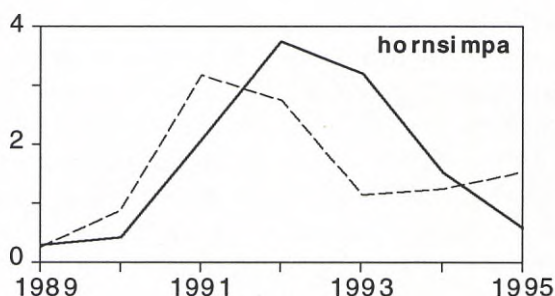
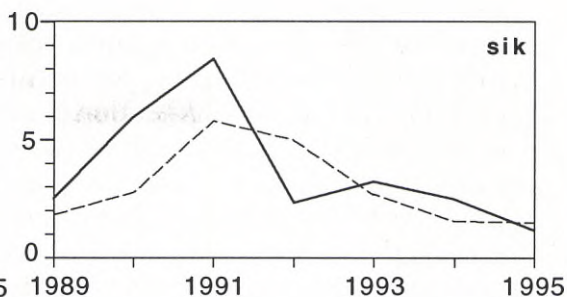
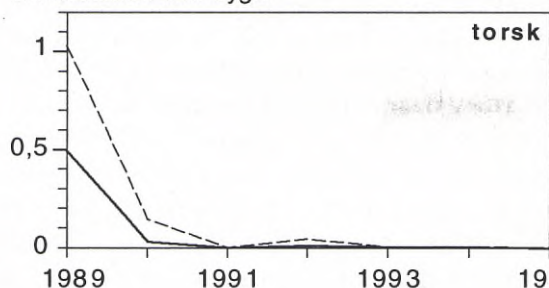
Totala antalet abborrhonor i fångsterna 1991–1995 fördelade på födelseår i Forsmark- och referensområdet i Finbofjärden.



I fångsterna av mört fanns ingen tydlig trend. I delområdet söder om Biotestsjön var de vanligen talrikare än i delområdet väster därom. De senaste fyra åren ökade de i båda delområdena i Forsmark, medan de var låga i referensområdet i Finbofjärden. Reservutskovet var öppet under längre perioder före fiskena under åren 1990, 1991, 1994 och 1995. Eventuellt anlockades mörtarna till det varmare området dessa år. Detsamma kan gälla även andra varmvattenarter som gös och vimma, vilka också var något talrikare än i referensområdet under 1994 och 1995.

Vid fiskena efter kallvattenarter var trenderna i fångsterna likartade i Forsmarksområdet och referensområdet öster om Gräsö. Torsken, som var vanlig under stora delar av 1980-talet, minskade i fångsterna 1990 och därefter förekom endast enstaka eller inga alls i fångsterna. Fångsterna av sik ökade något fram t o m 1991, men var därefter låga fram t o m 1995. Ingen årssklass var speciellt stark under de senaste åren och inte heller resultaten från 1995 tydde på någon ökning i bestånden, eftersom andelen unga sikar var liten. Vissa farhågor fanns att utsläppen av kylvatten i den inre skärgården genom reservutskovet under senhöstarna 1994 och 1995 skulle störa reproduktionen hos sik. Eftersom fångsterna av unga sikar även var

antal/station och dygn



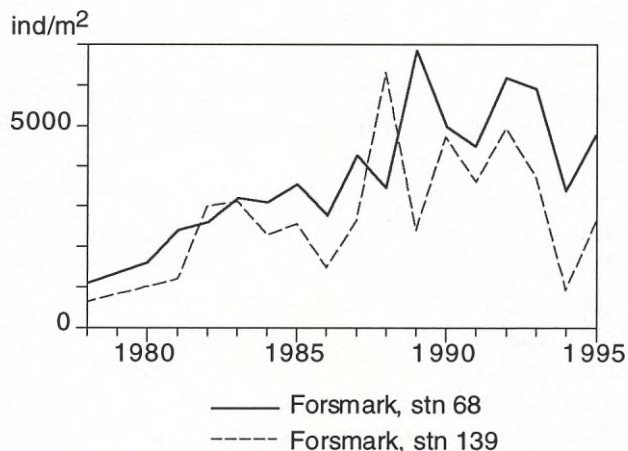
— Forsmark
- - - Gräsö

Fångsterna av några kallvattenarter i kylvattenplymens yttre del i Forsmarksområdet och i referensområdet öster om Gräsö.

låga i referensområdet har inte detta kunnat beläggas. Fångsten av hornsimpä ökade fram till 1992 i Forsmarksområdet och 1991 i referensområdet, men minskade därefter och var relativt låg i båda områdena 1994 och 1995.

Bottenfaunan

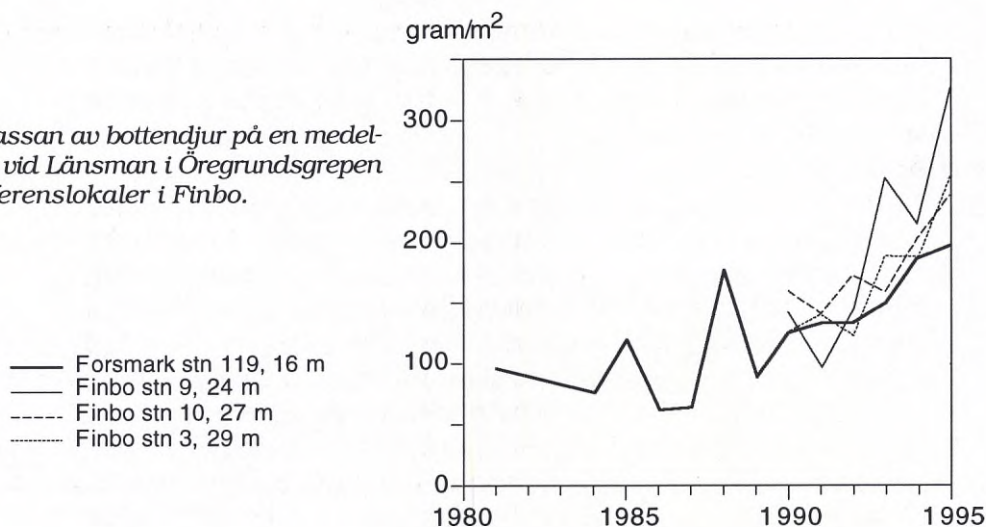
Utanför Biotestsjön undersöks bottenlevande djur från fem stationer i Forsmarksområdet och tio referensstationer i Finbofjärden. I Forsmarksområdet undersöks två grunda stationer. Den ena är belägen utanför kylvattenintaget och den andra väster om Biotestsjön, dvs i det område som påverkas av kylvattenplymen under de perioder då reservutskovet är öppet. Utvecklingen på de båda lokalerna är mycket likartade med ökande individantal från mitten på 1980-talet. År 1994 skedde en minskning och faunan var individfattig med låga biomassor. Minskningen var mer uttalad på stationen vid intagskanalen och kan eventuellt ha utarmats på det strömmande vattnet. I referensområdet i Finbofjärden återfinns ingen liknande tendens med låga individantal och biomassor 1994.



Förändringar i bottendjurens totala individtätthet på två stationer i Forsmarksområdet, stn 68 som berörs av utsläpp genom reservutskovet samt stn 139 i fjärden utanför kylvattenintaget.

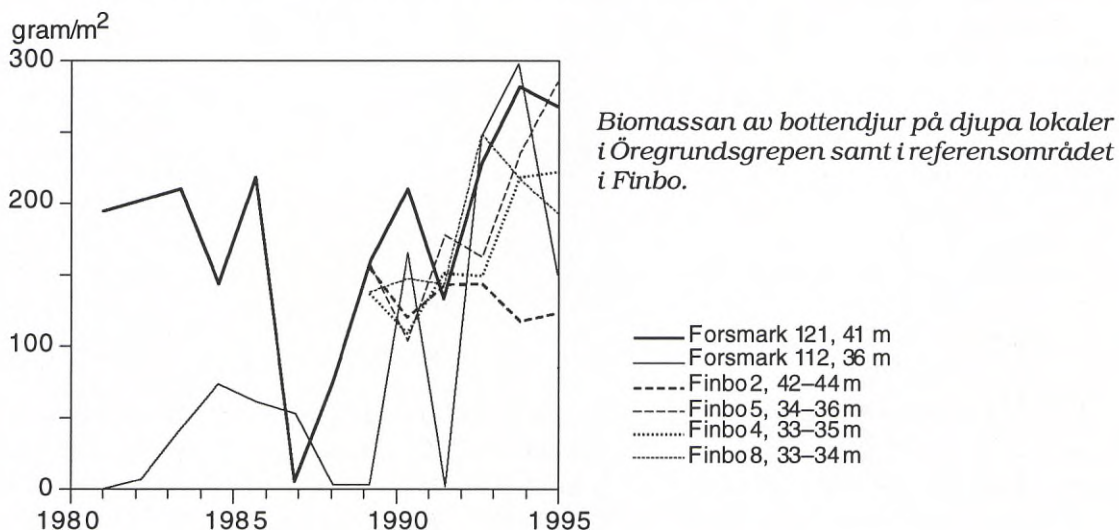
Bottendjuren på den medeldjupa stationen i Öregrundsgrepen lever i ett område där kylvattenplymen främst påverkar ytvattnet, medan botten inte berörs. Både antal djur och biomassor ökade från mitten på 80-talet till 1995. Bottensamhället domineras här av östersjömusslor, som inte ökat mycket i antal, men däremot ökat i storlek de senaste åren. Antalsmässigt har glattmaskar ökat mest i antal, men även tusensnäckor och kräftdjuret *Bathyporeia pilosa* har några av de senaste åren varit vanligare än tidigare. På referensstationerna i Finbofjärden har biomassorna ökat på likartat sätt mellan 1990 och 1995, vilket även här beror på östersjömusslorna. Här har de också ökat i antal. Totalt sett minskar antal djur mellan 1990 och 1991, vilket dock beror enbart på vitmärlorna. Dessa har aldrig varit fullt lika talrika på den medeldjupa stationen i Forsmarksområdet, men har även här minskat i antal under samma år. Temperaturpåslag i ytvattnet kan medföra ökad produktion i området och därmed ökad organisk halt i bottenarna. Detta brukar gynna glattmaskar, vilka ökat de senaste åren, samt resultera i en biomasseökning som också observerats på provtagningsstationen. Eftersom liknande förändringar också skett i referensområdet är det dock troligt att de observerade förändringarna i Forsmarksområdet främst beror på storskaliga förändringar.

Totala biomassan av bottendjur på en medeldjup station vid Länsman i Öregrundsgrepen samt på referenslokaler i Finbo.



I Öregrundsgrepen djuprädda finns två provtagningsstationer, vilka inte påverkas direkt av kylvattenplymen, men eftersom dessa ligger i ackumulationsbottenar, speglar de eventuell allmän påverkan på området. Faunan på dessa bottenar är naturligt ganska artfattig. Vanligtvis dominerar vitmärlorna i antal och östersjömusslor i biomassor. Vitmärlorna var också mycket talrika under åren 1983 och 1984 samt 1990. Därefter minskade de kraftigt för att 1992 till 1995 endast förekomma i enstaka exemplar. Dessa variationer har varit generellt förekommande i både Bottenhavet och Östersjön, liksom på referensstationerna i Finbofjärden. Efter vitmärlornas försvinnande har östersjömusslor eller glattmaskar dominerat faunan. Bottenen på den nordligare av stationerna visade 1986 tecken på att ha drabbats av syrebrist. Alla stora östersjömusslor var försvunna och faunan bestod av mer mobila arter som vitmärlor och glattmaskar som snabbt kan kolonisera utslagna bottenar. Efter 1986 ökade biomassorna hos östersjömusslorna och är t o m högre än tidigare under 1994 och 1995. Tecken på syrebrist observerades även på den sydligare stationen åren

1981, 1982, 1988, 1989 och 1992. Biomassorna är dock lika höga som på den nordligare stationen 1993 och 1994, men lägre 1995. Under år med dålig vattenomsättning kan syrebrist naturligt drabba djuphålur som dessa. Syreåtgången på bottenarna blir dock högre om mer organiskt material måste brytas ned, varför det är negativt med högre produktion i ytvattnet, något som man kan förvänta sig vid förhöjda temperaturer. Även i referensområdet i Finbofjärden ökar biomassorna av östersjömusslor på tre av de fyra djupare stationerna mellan 1990 och 1995, men här har ingen total utslagning av faunan skett. På den station där inte biomassorna av östersjömusslor ökat finns istället ett bestånd av vitmärlor kvar hela perioden. De tecken i djuprännan utanför Forsmark som tyder på ökande eutrofiering återfinns till viss del även i referensområdet i form av ökande biomassor. Att ingen total syrebrist, som vissa år drabbat provtagningsstationerna i djuprännan i Forsmarksområdet tycks ha förekommit, kan bero på skillnader i vattenomsättningen mellan de båda områdena.



Kan vi använda spillvärme som en resurs för naturvård och fiske?

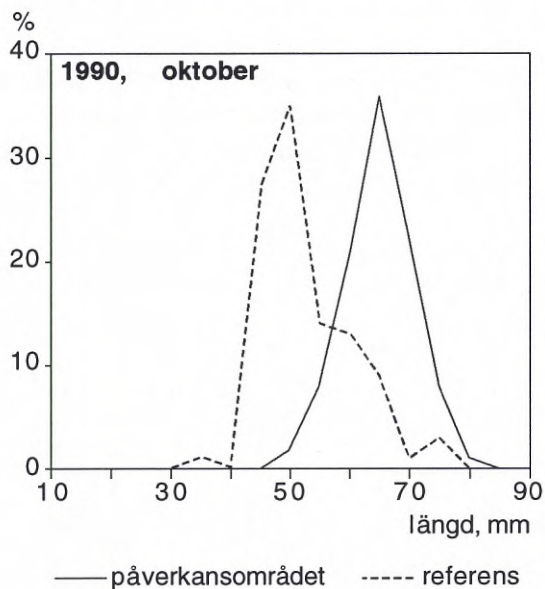
Värme är en i grunden livsnödvändig och värdefull omgivningsfaktor, varför det inte är förvånande att man i de omfattande undersökningarna även har sett positiva svar på kylvattentillförsel. Fiskars tillväxt styrs främst av temperaturen. En positiv påverkan på ynglen har visats inom kontrollprogrammen vid Oskarshamn och Forsmark. I Biotestsjön har vikten hos abborre efter första tillväxtsåongen mångdubblats. Den snabbare tillväxten har även inneburit en bättre överlevnad under det kritiska första året.

Förbättrad rekrytering

Reservutskovet i Forsmark utnyttjades under 1990 och 1991 för ett storskaligt experiment med uppvärmning av en naturlig skärgård under kontrollerade former. Genom att avleda vatten förbi Biotestsjön värmdes skärgårdsområdet under vår och sommar. Målsättningen var att undersöka om produktionen av varmvattenarters yngel ökade och om deras kvalitet, d v s den storlek de har uppnått innan vintern, blev högre. Även om temperaturhöjningen i dessa arters lek- och uppväxtområden ej kommer

i närheten av förhållandena i Biotestsjön, kunde klart positiva effekter noteras. Således förlängdes tillväxtsåsongen för abborrynglet genom en tidigare lek och tillväxtens hastighet var även snabbare, framförallt på sensommaren och hösten. Detta ledde till att ynglet i snitt hade den dubbla vikten jämfört med i ett opåverkat område. Den totala mängden yngel tycktes öka, dock ej sådana oönskade karpfiskyngel som mört. Även om observationerna för den vuxna fisken ännu är få, förefaller 1990 och 1991 års årsklasser vara starkare i Forsmark än i Finbo, något som kan tolkas som en positiv effekt av försöken med reservutskovet dessa år.

Längdfördelningar för årsyngel av abborre insamlade i den skärgård som berörs av utsläpp genom reservutskovet samt i ett referensområde.



Utfallet av försöket blev positivt, och det visade att man mycket väl kan tänka sig arrangemang som stärker fiskproduktionen i recipienten. Den snabba avkyllningen genom inblandningen av omgivande vatten innebar dock att övertemperaturen inte blev så hög i varmvattenarternas rekryteringsområden, beroende på att dessa inte ligger tillräckligt nära utsläppen. Den stora mängden kylvatten åstadkom också en relativt stark ström i utsläppsområdets centrala delar, vilket kan innebära utdrift av larver. För att få en optimal effekt bör utsläppen ske direkt i lämpliga områden samt kylvattenmängd och strömhastighet anpassas till de lokala förhållandena. En fördelning på flera små utsläpp är att föredra.

Utsättning av ål

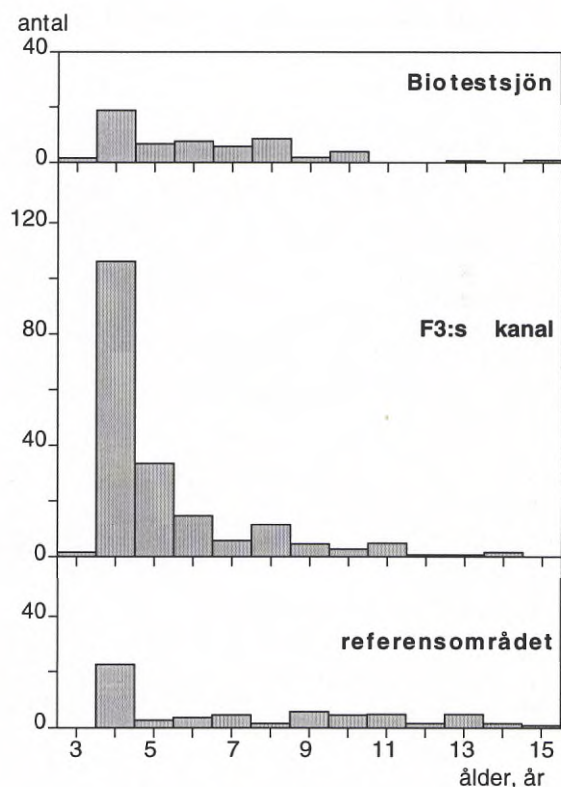
Kondenskraftverken avlivar fisk i kylvattenintagen. För att kompensera för detta kan man göra utsättningar av fiskyngel. Ål är den art som hittills rönt störst intresse. Den grundläggande förutsättningen för att man skall lyckas med denna värmeälskande art – ett uppvärmt vattenområde – finns naturligtvis vid kärnkraftverken, men många frågor måste belysas innan man med säkerhet kan rekommendera utsättningar just där. Ett utsättningsprogram startades vid Oskarshamns- och Forsmarksverken. De första försöken gjordes med ålyngel som märktes med radioaktivt europium. Återfångsterna var mycket goda, över 4% återfångades t ex i Kustlaboratoriets eget fiske vid Oskarshamnsverket.

Rekryteringen av ål är en komplicerad och ännu inte helt utredd process. Leken anses ske i Sargassohavet, varifrån larverna driver med Golfströmmen över Atlanten. Efter ca ett år når de som s k glasålar fram till svenska

kustvatten. Här bottenfäller ålynglet, pigmenteras och antar även i övrigt den större ålens utseende och levnadssätt. Spridningen in i Östersjöbäckenet är oklar, men kan ske antingen under glasålsstadiet genom passiv indrift eller under senare livsstadier genom aktiv migration. Glasålsdriften till västkusten har efter en topp i slutet av 1970-talet legat på en mycket låg nivå. Den minskade glasållförseln kan förmodas ha medfört att rekryteringen av ål till Östersjön har reducerats i högre grad än till västkusten.

Den svaga invandringen av unga ålar till Östersjön har aktualiserat åtgärder för att stärka beståndet. Att påverka förhållandena i Sargassohavet och i Nordatlanten är naturligtvis ogörligt och konstbefruktning är en metod som ännu ej har utvecklats. Den minskade tillförseln av ålyngel kan därför endast bemötas genom omplanteringar från områden med rik tillgång på glasål, som England och Frankrike.

Gulålsens ålderssammansättning i provfisket 1993 i Biotestsjön, F3:s kanal och i referensområdet väster om Biotestsjön.

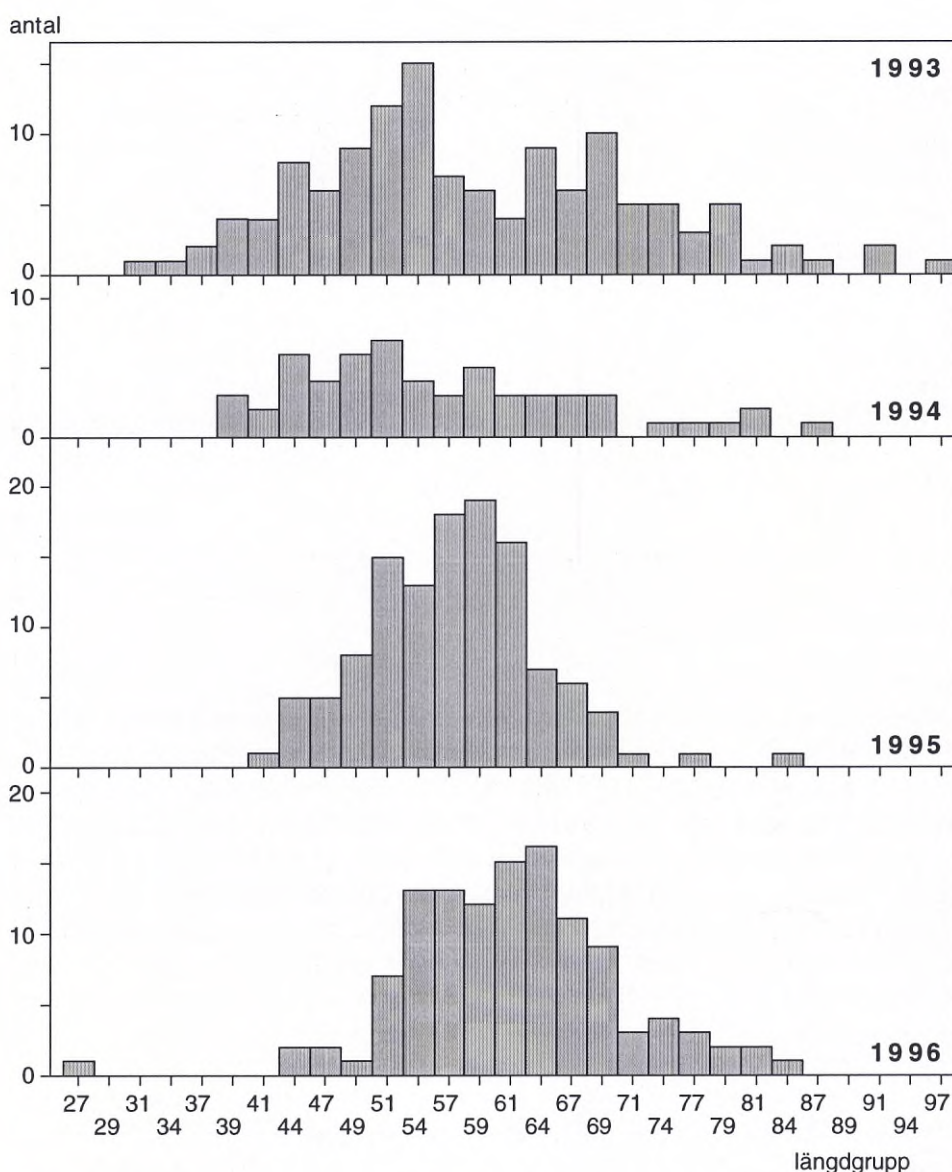


Då erfarenheterna från de första försöken var goda, beslutade man genomföra ett storskaligt utsättningsförsök i Forsmark. Den första utsättningen i Biotestsjön gjordes 1984 med 12 000 ålyngel hämtade från Frankrike. Dessa yngel märktes med en radioaktiv isotop för att möjliggöra en effektiv återfångstkontroll. I juli 1989 gjordes den andra stora utsättningen, denna gång med en halv miljon ålyngel vilka också sattes i Biotestsjön. Utsättningen följdes upp i ett återfångstprogram. Då ålen växer relativt långsamt, blir den fångstbar först 3–4 år efter en utsättning. Provfisket för att följa upp den senare utsättningen påbörjades därför 1992, och gjordes i Biotestsjön, utsläppskanalen från block 3 (F3) samt i den omgivande skärgården, vilken fungerar som referensområde.

Då man, som i detta fall, känner utsättningsåret, kan man bedöma resultatet genom att åldersbestämma fångsterna. Bland de åldersbestämda ålar som fångades 1993 intar fyraåringarna en dominerande position, d v s ål som torde

härstamma från utsättningen 1989, i såväl F3:s kanal och Biotestsjön som i referensområdet. Återfångsresultaten kan också bedömas genom analys av storlekssammansättningen i fångsterna. Provfiskeresultat från Biotestsjön under perioden 1993 till 1996 visar på en kontinuerlig förskjutning av fångsternas storlekssammansättning; flest ålar påträffades 1993 i längdgrupp 54 cm medan tyngdpunkten hade förskjutits till längdgrupp 64 cm 1996. Detta tyder starkt på att de utsatta ålarna stannat kvar i Biotestsjön där de gett ett kraftigt bidrag till fångsterna. Till skillnad från i F3:s kanal förekommer i Biotestsjön även relativt rikligt med ål större än 61 cm. Dessa större ålar kan förmodas härstamma från 1984 års utsättning, något som även antyds av åldersfördelningen 1993.

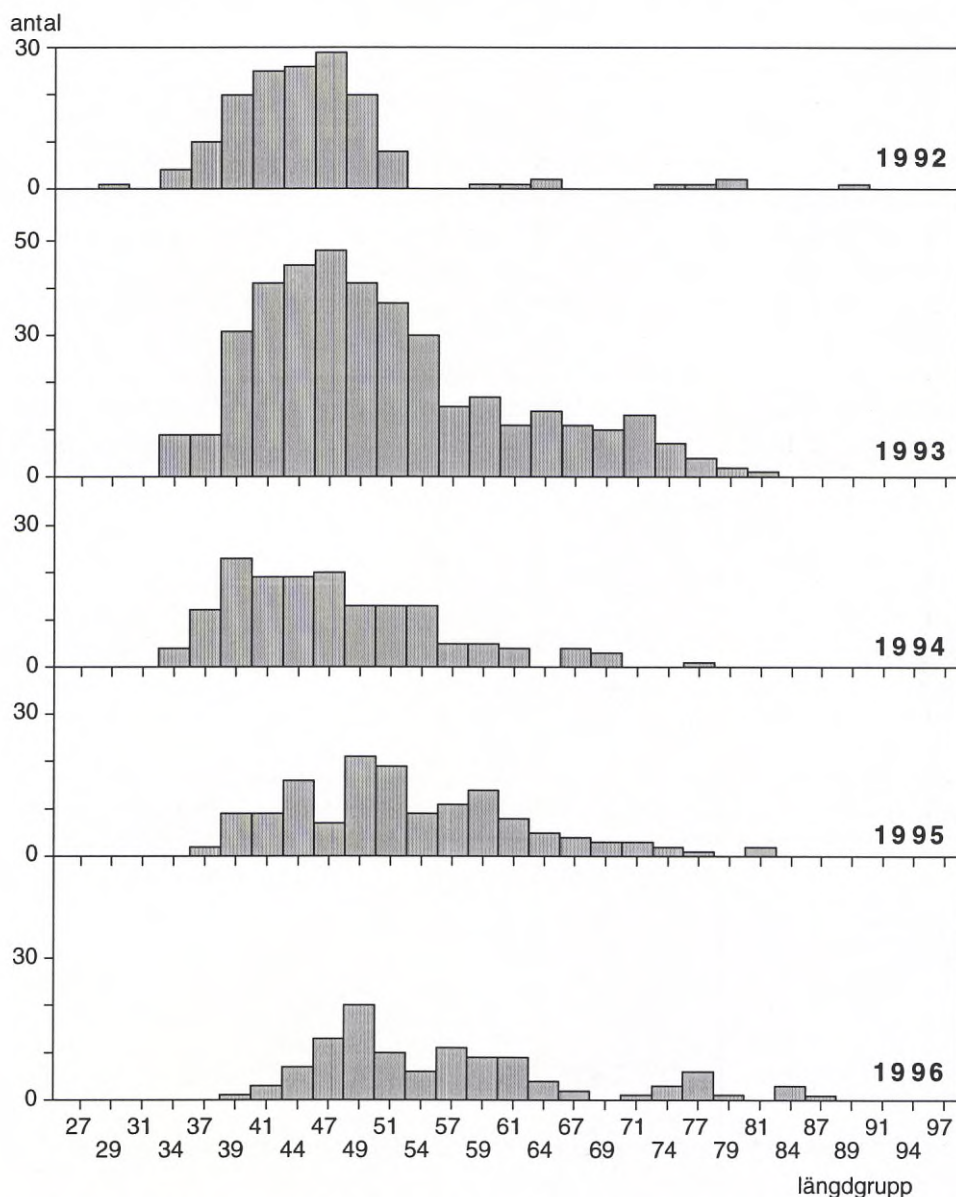
Effekten av 1989 års utsättning kan också ses i F3:s kanal genom den förskjutning som har skett i längdfördelning mellan olika års provfisken. Det största antalet ålar förekom i längdintervallet 37 till 51 cm 1992, fyra år senare påträffades flest ålar i intervallet 44 till 61 cm. Eftersom ålarna har



Ålens längdfördelning i Biotestsjön 1993–1996 i provfisken med småryssja.

infångats med hjälp av småryssjor med en maskstorlek av 11 mm i struten har ett urval skett med avseende på storlek. Denna selektivitet medför att ål mindre än 40 cm fångas med en lägre effektivitet än större ålar. Flertalet av de utsatta ålarna kan således fortfarande ha varit mindre än 40 cm under 1992–1993. Följaktligen torde de erhållna provfiskeresultatet ge en överskattning av tillväxten (se nedan), särskilt under de första åren av undersökningsperioden. Under de senare åren har dock flertalet ålar varit större än 44 cm, vilket ger en antydning om att det numera finns få ålar under 40 cm kvar av utsättningsmaterialet.

Tidigare försök har visat, att den utsatta ålen håller sig kvar i det uppvärmda området under flera år. Det är troligt att den även utnyttjar utsläppstunnlarna för sitt näringssök. Förmodligen vandrar också ålen fram och tillbaka mellan tunnarna och angränsande vatten. Många ålar tycks också ha spritt sig från Biotestsjön ut till de områden som omger Biotestsjön i syd och väst. Mellan 1992 och 1995 har längdfördelningen i provfisket här



Ålens längdfördelning i F3:s kanal 1992–1996 i provfisket med småryssja.

förändrats från en entoppig till en tvåtoppig fördelning. Under 1992–1993 dominerade ål i längdgrupper större än 55 cm, medan förekomsten av mindre ål kraftigt ökade 1994–95, vilket indikerar att en rekrytering har skett under dessa år till området närmast utanför de kylvattenpåverkade områdena. Utsättningen har dock inte resulterat i en högre fångst per ansträngning, trots att fångstbarheten torde ha ökat med ökande storlek.

Fångst per ansträngning av gul- och blankål i Biotestsjön, F3:s kanal och i området utanför Biotestsjön (sektion 1 och 2).

lokal	1992	1993	1994	1995	1996
	antal/anst	antal/anst	antal/anst	antal/anst	antal/anst
Biotestsjön					
gulål	0,01	0,02	0,05	0,14	0,06
blankål	0,01	0	0,01	<0,01	0
F3:s kanal					
gulål	0,18	0,31	0,17	0,24	0,15
blankål	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0
sektion 1					
gulål		0,03	0,03	0,02	
sektion 2					
gulål		0,03	0,04	0,05	

Tillväxten för de utsatta ålarna var anmärkningsvärt hög jämfört med äldre åldersklasser, d v s ålar som vandrat in naturligt. Trots en hög täthet och hög tillväxthastighet, faktorer som anses leda till att ålen utvecklar hanliga gonader, visade provfiskeresultatet på en klart motsatt tendens; under perioden 1992–1996 överstiger andelen honor 97% i samtliga provfiske-material.

Medellängd hos ålar fångade i Forsmark (Biotestsjön och F3:s kanal) och Simpevarp våren (t o m vecka 21) 1993.

ålder	FORSMARK		SIMPEVARP	
	medel-längd, (mm)	antal	medel-längd, (mm)	antal
4	49	62	49	13
5	47	38	47	9
6	55	16	54	10
7	63	12	49	13
8	63	17	52	15

Medellängder för återfångade radioaktivt märkta ålar i Simpevarp.

ålder	UTSATT 1982		UTSATT 1984	
	medel-längd, (mm)	antal	medel-längd, (mm)	antal
3	31	3	36	5
4	36	8	38	59
5	44	19	43	19
6	46	6	54	15
7	54	5	60	20

Den blankål som har fångats i de kylvattenpåverkade områdena, både vid Forsmark och i Simpevarp, härstammar från såväl naturlig rekrytering som från utsättningarna. Då könsmognadsprocessen, vilken inleds med att ålen övergår till det blanka stadiet och börjar vandra, beror av tillväxten,

kan en snabb tillväxt i varmt vatten leda till att ålen könsmodnar tidigt och vid liten storlek. Detta upplevs naturligtvis som negativt för fisket. Resultaten från Forsmark och Simpevarp tyder också på sådana effekter. Den blankål som fångades var både mindre och yngre (6–7 år yngre) än i referensområdena. I Östersjölokaler opåverkade av kylvatten (Väddö och Kvädöfjärden) var blankålarna genomgående stora och av hög ålder (18–19 år i medeltal).

Blankålen's ålder, längd (mm) och somatisk vikt (g) på de olika lokalerna. Medel, standard deviation, minimum och maximum värden och antalet observationer (n).

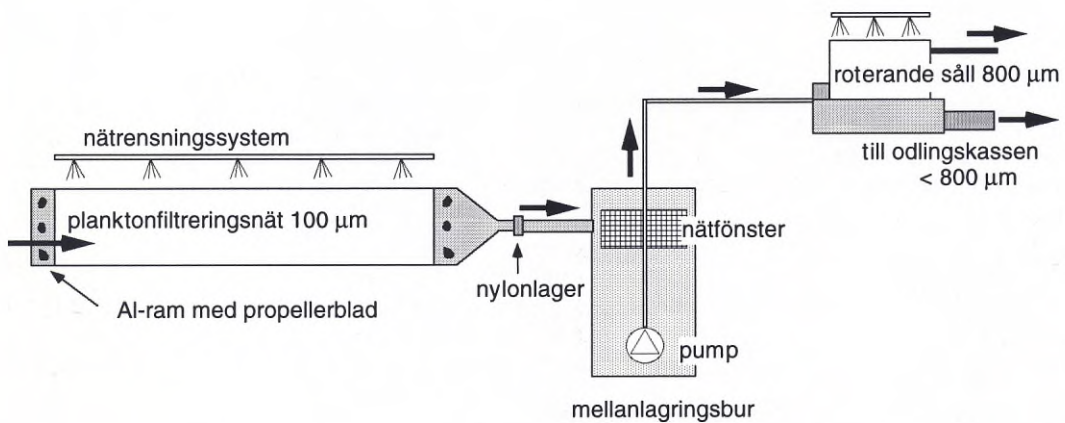
<i>lokal</i>	<i>medel</i>	<i>std dev</i>	<i>min-max</i>	<i>n</i>
ålder				
Forsmark	13	2.5	10–17	13
Väddö	19	3.9	11–29	36
Kvädöfjärden	18	4,1	11–27	29
Simpevarp	12	4,0	7–19	8
längd				
Forsmark	782	71	648–916	13
Väddö	868	64	647–1007	78
Kvädöfjärden	833	61	665–957	62
Simpevarp	797	84	639–1013	45
somatisk vikt				
Forsmark	827	233	472–1188	13
Väddö	1242	244	747–1866	73
Kvädöfjärden	1068	265	555–1654	62
Simpevarp	904	290	438–1564	45

Utsättningar av ål i kylvattenrecipienter tycks av dessa försök att döma vara klart framgångsrika, särskilt som tillväxten varit god och andelen honor, vilka könsmodnar vid större storlek än hanarna, har visat sig vara hög. Att könsmodnaden tycks ske något tidigare, och vid mindre storlek, motverkar dock till en del det goda resultatet. Det kan också noteras, att massiva utsättningar leder till en viss spridning av ål till omgivande skärgårdsområden, trots att en stor del av de utsatta ålarna tycks ha en stark bindning till utsättningsområdet, förmodligen beroende på temperaturförhållandena. De kan på detta sätt tillgodogöra sig värmens positiva effekter på tillväxt och överlevnad och ge ett gott bidrag till både det lokala gulålsfisket och blankålsfisket längs den svenska ost- och sydkusten

Odling av utsättningsfisk

Att utnyttja spillvärme vid odling av fisk är ingenting nytt. Det är inga större problem att producera såväl sättfisk som konsumtionsfisk med hjälp av värmen i kylvattnet. Den största risken är förknippad med gasövermättnad, och försvårar att man odlar laxfisk i kassar direkt i kylvattenkanalerna. Kylvattenströmmen innebär emellertid inte bara tillgång till gratis värmeenergi, den för även med sig plankton som kan vara mat för fisken. Många fiskar som man önskar odla kräver levande foder under åtminstone den första tiden. I Forsmark och Simpevarp har man gjort försök med såväl lusanlockning av plankton, vilka sedan pumpas till fisken, som avsilning med stora håvar som sätts i kylvattenströmmen. Försöken visade, att det är möjligt att på detta sätt producera högvärdigt startfoder för arter med små larver, t ex gös, vilka normalt bara kan odlas i naturdammar.

Insamlingsenheter konstruerades för anrikning av födoorganismerna. Tekniken bygger på principen att håvar fixeras i strömmen och dessa bringas att rotera med utnyttjande av vattnets rörelseenergi. Varje enhet utgjordes av en 4 m lång cylinder av finmaskig nylonduk. Önskade storleksfraktioner plankton tas fram i ett sorteringsverk. Under 1991 genomfördes ett sådant försök vid inloppet till Biotestsjön. I medeltal insamlades 280 g djurplankton per dygn. Abborre och gös användes som modellarter vid yngelodlingen. I anläggningen producerades som bäst ca 7 000 yngel med en längd av 3 cm per enhet. Överlevnaden från larver, vilka sattes in i odlingen, till utsättningsfärdiga yngel, var ca 30% i de bästa försöken, vilket är ett gott resultat då den i naturen ligger kring 1%. Tillväxten var nära maximal i förhållande till temperatur och daglängd. Belysning av odlingskassarna under hela dygnet visades vid liknande försök vid Oskarshamnsverket ytterligare kunna öka tillväxten.



Avsilningsanläggning för naturligt zooplankton

Litteratur

- Andersson, J. 1993. Insamling av zooplankton för uppfödning av fisklarver i kylvattenrecipienter. Kustrapport 1993:3. 18 s.
- Andersson, J. och R. Hillgren. 1990. SMSHI:s undersökningar utanför Forsmark 1989. SMHI Oceanografi, Nr 37, 1990.
- Andersson, J., A. Jacobsson och K. Mo. 1996. Biologisk recipientkontroll vid kärnkraftverken. Årsrapport för 1995. Kustrapport 1996:1.
- Andersson, J. och J. Sandell. 1993. Odling av fiskyngel i kylvattenrecipienter. Kustrapport 1993:2. 22 s.
- Astrauskas, A., R. Jovaiša och O. Sandström. 1994. Distribution and abundance of young pelagic fish, monitored by hydroacoustics in two coastal areas in the SW Bothnian Sea. Kustrapport 1994:2. 18 s.
- Karås, P. 1984. Födovalet hos fisk i Biotestsjön, Forsmark, under åren 1978-1983. Statens naturvårdsverk, PM 1913. 33 s.
- Karås, P. 1992. Zooplankton entrainment at Swedish nuclear power plants. Marine Poll. Bull. **24**: 27-32.
- Karås, P. och G. Thoresson. 1992. An application of a bioenergetics model to Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.). Jour. Fish Biol. **41**: 217-230.
- Luksiene, D. och O. Sandström. 1994. Female gonad disturbance in a roach (*Rutilus rutilus* (L.)) population affected by cooling water discharge. J. Fish. Biol. 45.
- Mo, K. 1984. Mjukbottenfaunan i Biotestsjön, Forsmark. Åren 1978-1983. Statens naturvårdsverk, PM 1914. 30 s.
- Mo, K. och S. Smith. 1988. Mjukbottenfaunan i Öregrundsgrepen 1978-1986. Naturvårdsverket Rapport 3467. 43 s.
- Neuman, E., G. Thoresson och O. Sandström. 1996. Swimming activity of perch, *Perca fluviatilis*, in relation to temperature, day-length and consumption. Ann. Zool. Fennici **33**:669-678.
- Sandström, O. 1990. Vattenmiljön vid Forsmarks kraftstation. Naturvårdsverket Rapport 3867. 42 s.
- Sandström, O., E. Neuman and G. Thoresson. 1995. Effects of temperature on life history variables in perch. Jour. Fish. Biol. **47**:652-670.
- Snoeijs, P. 1994. The Forsmark Biotest Basin. An instrument for Environment Research. Naturvårdsverket, Report **4374**. 70 s.
- Svedäng, H. och P. Karås. 1993. Utsläpp av kylvatten – en möjlighet att förbättra fiskrekrytering? Kustrapport 1993:5. 40 s.
- Svedäng, H., E. Neuman, and H. Wickström. 1996. Maturation patterns in female European eel (*Anguilla anguilla* (L.)); age and size at the silver eel stage. Jour. Fish. Biol. **48**:342-351.
- Thoresson, G. 1992. Handbok för Kustundersökningar. Recipientkontroll. Kustrapport 1992:4. 88 s.

Kustlaboratoriet

Gamla Slipvägen 19

740 71 Öregrund

Tel.: 0173/ 313 05

Fax: 0173/ 309 49

Laboratoriechef: Erik Neuman
Miljöproblem: Olof Sandström
Rekrytering: Peter Karås
Fisktillgångar och fiske: Gunnar Thoresson
Laboratorieansvarig: Rose-Marie Svensson

Region Sydväst

Nya Varvet, Byggnad 31

426 71 Västra Frölunda

Tel.: 031/ 69 78 21

Fax: 031/ 69 11 09

Chef: Alvar Jacobsson

Fältstation Ringhals: Kurt Torildsson

Tel.: 0340/ 66 09 87

Forskningsanläggningen, Ringhals

Lise-Lotte Johansson Tel. 0340/ 66 85 52

Fältstation Barsebäck: Göran Lundh

Tel.: 046 / 77 54 88

Region Sydost

Ävrö 16

572 95 Figeholm

Tel.: 0491/ 342 47

Fax: 0491/ 343 10

Chef: Jan Andersson

Litteratur från Kustlaboratoriet år 1995

- Andersson, J. 1995. Biologisk recipientkontroll vid Oskarshamnsverket. Årsrapport för 1994. Opubl. rapport. 16 s.
- Andersson, J. Two systems for collection of zooplankton for the culture of larval and juvenile fish. *Aquaculture Int.* **3**:336–354
- Andersson, J., D. Carlsson och H. Engström. 1995. Kustfisksamhällen i Mönsterås och Torsås kommuner sommaren 1994. Opubl. rapport. 17 s.
- Andersson, J., A. Jacobsson och K. Mo. 1995. Biologisk recipientkontroll vid kärnkraftverken. Årsrapport för 1994. Kustrapport 1995:1.
- Haamer J. 1995. Presence of the phycotoxin akadaic acid in mussels (*Mytilus edulis*) in relation to nutrient composition in a Swedish coastal water. Accepted for publication in *J. of Shellfish Research* **14**.
- Haamer J. 1995. Avh. Oceanografi och klinisk Bakt. G.H. Phycotoxin and Oceanographic studies in the development of Swedish mussel farming industry. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet.
- Hästbacka, H. Vård och restaurering av fiskförande småvatten – exempel från Österbottens kust och skärgård. I: Bevarande och restaurering av reproduktionsmiljöer för fisk i vattendrag. S. 47–61. Kustrapport 1995:2.
- Jacobsson, A. 1995. Biologisk recipientkontroll vid Barsebäcks kärnkraftverk. Årsrapport för 1994. Opubl. rapport. 8 s.
- Jacobsson, A. 1995. Biologisk recipientkontroll vid Ringhals kärnkraftverk. Årsrapport för 1994. Opubl. rapport. 7 s.
- Jacobsson, A. 1995. Biologisk recipientkontroll vid Värö bruk. Årsrapport för 1994. Opubl. rapport. 11 s.
- Karås, P och P. Böhling. 1995. Fiskrekrytering i Haapajärvi – förutsättningar för utnyttjande av ett kylvattenutsläpp. Kala- ja Riistaraportteja nro 35. 15 s.
- Lagenfelt, I. 1995. Effekter av muddertippning 1990 på bottenfaunan utanför Falkenberg's hamn. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet.
- Leskelä, A., R. Hudd, H. Lehtonen and O. Sandström. Abiotic factors, whitefish stocking and relative year-class strength of anadromous whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) spawning populations in the Gulf of Bothnia. *Archiv für Hydrobiol. Spec. Issue* **46**:241–248.
- Mo, K. 1995. Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk. Årsrapport för 1994. Opubl. rapport. 16 s.
- Neuman, E. and O. Sandström. 1995. Integrated monitoring of coastal fish populations. *Contr. Int. Symp. Nida. Lithuania.*

- Sandell, G. och P. Karås. 1995. Små sötvatten som lek- och uppväxtmiljöer för kustfiskbestånd – försummad och hotad resurs? I: Bevarande och restaurering av reproduktionsmiljöer för fisk i vattendrag. S. 1–46. Kustrapport 1995:2.
- Sandström, O. 1995. In situ assessments of pulp mill effluent impact on life history variables in fish. In: fate and effects of pulp and paper mill effluents. Eds.: M.R. Servos, K.R. Munkittrick and J.H. Carey.
- Sandström, O., R. Hudd, A. Leskelä, and H. Lethonen. 1995. The development of a joint Finnish and Swedish monitoring and prediction programme for the Gulf of Bothnia whitefish stocks. Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol. 46, p. 211–217.
- Sandström, O., E. Neuman and G. Thoresson. 1995. Effects of temperature on life history variables in perch. Jour. Fish. Biol. 47:652–670.
- Smith, S. 1995. Effekter av avloppsvatten på bottenfaunan utanför Bua 1995. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. 14 s.
- Westerberg, H. 1995. Undervattensbuller och fisk. Tema Nord 1995:513. S. 97–109.
- Ådjers, K., P. Böhling, A. Järvi, H. Lehtonen, M. Mölder, E. Neuman, T. Raia and S. Storå. 1995. Coastal Fish Monitoring in the Northern Baltic Proper – establishment of reference areas. Tema Nord 1995:596. 38 pp.
- Litteratur från Kustlaboratoriet år 1996**
- Andersson, J. 1996. Biologisk recipientkontroll vid Oskarshamnsverket. Årsrapport för 1995. Opubl. rapport. 16 s.
- Andersson, J. 1996. Kustprovfisken vid sydöstra Skåne 1994 och 1995. Opubl. rapport. 5 s.
- Andersson, J., A. Jacobsson och K. Mo. 1996. Biologisk recipientkontroll vid kärnkraftverken. Årsrapport för 1995. Kustrapport 1996:1.
- Andersson, J., K. Mo, O. Sandström och H. Svedäng. 1996. Biologiska kontrollundersökningar vid Oskarshamnsverket. Sammanfattning av resultaten t o m 1995. Kustrapport 1996:5.
- Austrauskas, A., R. Jovaisa, T. Didrikas och O. Sandström. 1996. Distribution and abundance of young pelagic fish, monitored by hydroacoustics in the SW Bothnian Sea. Proceedings of Polish–Swedish Symposium on Baltic Coastal Fisheries – Resources and Management. 2–3 April 1996. Sea Fisheries Institute, Gdynia, Poland. s. 7–13.
- Jacobsson, A. 1996. Biologisk recipientkontroll vid Barsebäcks kärnkraftverk. Årsrapport för 1995. Opubl. rapport. 8 s.
- Jacobsson, A. 1996. Biologisk recipientkontroll vid Ringhals kärnkraftverk. Årsrapport för 1995. Opubl. rapport. 7 s.
- Jacobsson, A. 1996. Biologisk recipientkontroll vid Värö bruk. Årsrapport för 1995. Opubl. rapport. 11 s.
- Karlsson, L., E. Ikkonen, H. Westerberg och J. Sturlaugsson. 1996. Use of data storage tags to study the spawning migration of Baltic salmon (*Salmo salar* L.) in the Gulf of Bothnia. ICES CM 1996/M:9 Ref. J. 13 s.
- Karås, P. 1996. Basic abiotic conditions for production of perch (*Perca fluviatilis* L.) young-of-the-year in the Gulf of Bothnia. Ann. Zool. Fennici 33:371–381.
- Karås, P. 1996. Recruitment of perch (*Perca fluviatilis* L.) from Baltic coastal waters. Arch. Hydrobiol. 138:1, 99–121.
- Karås, P. 1996. Yngelstudier i Kalmar sund inom Torsås kommun hösten 1996. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opublicerad rapport, 6 s.
- Karås, P., P. Böhling, L. Järvi, H. Lehtonen, A. Makarchouk och V. Ziliukas. 1996. Year-class strength patterns in Baltic perch and pikeperch populations – a base for development of systems for prognoses. Proceedings of Polish–Swedish Symposium on Baltic Coastal Fisheries – Resources and Management. 2–3 April 1996. Sea Fisheries Institute, Gdynia, Poland. s. 93–105.
- Lagenfelt, I. 1996. Effekter av muddertipningen 1990 på bottenfaunan utanför Falkenbergs hamn. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opubl. rapport. 20 s.
- Lagenfelt, I. 1996. Fiskeritredning Stora Papyrus Nymölla. Fiskfysiologiska undersökningar. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opubl. rapport. 26 s.
- Lagenfelt, I. 1996. Sjukdomsundersökningar på skrubba i Göteborgs och Bohus län 1995. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opubl. rapport. 20 s.
- Lagenfelt, I. 1996. Väg 100 utfyllnad i Höllviken. Effekter på grundområdets infauna och rörliga epifauna. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. 19 s.
- Mo, K. 1996. Biologisk recipientkontroll vid Forsmarks kärnkraftverk. Årsrapport för 1995. Opubl. rapport. 18 s.
- Mo, K., P. Karås, E. Neuman, O. Sandström och H. Svedäng. 1996. Biologiska undersökningar vid Forsmarks kraftverk 1980–1995. Kustrapport 1996:6.

- Neuman, C. 1996. Export av abborre, gädda och gös till Frankrike, Schweiz och Belgien. Folkuniversitetet, Uppsala. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opubl. rapport. 13 s.
- Neuman, E., E. Roseman och H. Lehtonen. 1996. Minutes of the Percis II working group. Determination of year-class strength in percid fishes. Ann. Zool. Fennici **33**:315–319
- Neuman E. och O. Sandström. 1996. Fish monitoring as a tool for assessing the health of Baltic coastal ecosystems. Proceedings of Polish–Swedish Symposium on Baltic Coastal Fisheries – Resources and Management. 2–3 April 1996. Sea Fisheries Institute, Gdynia, Poland. s. 143–151.
- Neuman, E. och O. Sandström. 1996. Integrated monitoring of coastal fish populations. UNESCO Reg. Off. Sci. Tech. Europe (Roste). s. 28–32.
- Neuman, E., G. Thoresson och O. Sandström. 1996. Swimming activity of perch, *Perca fluviatilis*, in relation to temperature, day-length and consumption. Ann. Zool. Fennici **33**:669–678.
- Rönnbäck, P. och H. Westerberg. 1996. Sedimenteffekter på pelagiska fiskägg och gulesäckslarver. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opublicerad rapport. 14 s.
- Sandström O. 1996. In situ assessments of the impact of pulp mill effluent on life-history variables in fish. In: Environmental fate and effects of pulp and paper mill effluents. Ed.: Servos, M., Munkittrick K., Carey J. and G. Van der Kraak. St. Lucie Press, Florida
- Sandström, O. 1996. Studie av fiskrekryteringen i Gävle Yttre Fjärd 1995. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opublicerad rapport. 9 s.
- Sandström, O. och I. Abrahamsson. 1996. Ägg-, embryo- och larvstudie på naturligt deponerad abborrom i Gävle Yttre Fjärd. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opublicerad rapport. 10 s.
- Sandström, O., J. Andersson, L. Förlin, I. Lagenfelt, E. Lindesjö och M. Vetemaa. 1996. Undersökning av hälsotillstånd och fortplantning hos fisk vid Mönsterås bruk 1995. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. 19 s.
- Sandström, O., L. Förlin, I. Lagenfelt, E. Lindesjö och M. Vetemaa. 1996. Undersökning av hälsotillstånd och fortplantning i recipienten till Mörrums bruk 1995. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. 16 s.
- Sandström, O., S. Thörnqvist och M. Vetemaa. 1996. Reproduktion hos tånglake i Gävlebukten. Recipientstudie vid Skutskårsverken, Stora Cellulosa Industri AB. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. 9 s.
- Sjöberg, B., J. Andersson och S. Smith. 1996. Samordnad kustvattenkontroll i Kalmar län. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opubl. rapport. 92 s.
- Svedäng, H. 1996. Kustlaboratoriets yttrande angående framställan om begränsning av antalet ålryssjor längs västkusten från Norra Bohusläns PO. 1996–11–18.
- Svedäng, H. Spridning av simblåsemasken *Anguillcola crassus* hos ål i svenska kustvatten. Kustrapport 1996:4.
- Svedäng, H. 1996. The development of the eel (*Anguilla anguilla* (L.)) stock in the Baltic Sea: an analysis of catch and recruitment statistics. Proceedings of Polish–Swedish Symposium on Baltic Coastal Fisheries – Resources and Management. 2–3 April 1996. Sea Fisheries Institute, Gdynia, Poland. s. 255–267.
- Svedäng, H., E. Neuman, och H. Wickström. 1996. Maturation patterns in female European eel; age and size at the silver eel stage. Jour. Fish. Biol. **48**:342–351.
- Svedäng, H., och H. Wickström. 1996. Low fat contents in female silver eels: indications of insufficient energetics stores for migration and gonadal development. J. Fish. Biol. **49**: . In press.
- Svensson, S. 1996. Undersökning av svalleffekter från höghastighetsfärjor på sträckan Göteborg–Fredrikshavn. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opubl. rapport. 8 s.
- Thoresson, G. 1996. Guidelines for coastal fish monitoring. Kustrapport 1996:2.
- Thoresson, G. 1996. Handbok för kustundersökningar. Referensområden. Kustrapport 1996:7.
- Thoresson, G. 1996. Metoder för övervakning av kustfiskbestånd. Kustrapport 1996:3.
- Thoresson, G. 1996. The Swedish coastal fishery in the Baltic Sea. Proceedings of Polish–Swedish Symposium on Baltic Coastal Fisheries – Resources and Management. 2–3 April 1996. Sea Fisheries Institute, Gdynia, Poland. s. 271–282.
- Thoresson, G., M. Kangur, R. Repecka, T. Saat och M. Vitinsh. Development of a resource assessment system for Baltic coastal fish stocks. Proceedings of Polish–Swedish Symposium on Baltic Coastal Fisheries – Resources and Management. 2–3 April 1996. Sea Fisheries Institute, Gdynia, Poland. s. 283–292.
- Thörnqvist, S. 1996. Fiskeriutredning stora Papyrus Nymölla. Grundområdesfauna. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opubl. rapport. 19 s.

Thörnqvist, S. 1996. Grundområdesfauna i Göteborgs och Bohus län. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opubl. rapport. 17 s.

Thörnqvist, S. och H. Westerberg. 1996. Juvenil plattfisk i Öresund, baslinjeundersökningar 1992–1995. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opublicerad rapport. 16 s.

Westerberg, H. 1996. Fiskeriutredning stora Papyrus Nymölla. Ålundersökningar. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opubl. rapport. 41 s.

Westerberg, H. 1996. Havsbaserat vindkraftverk vid Nordersund. PM 961015 Mål nr VA 11/96 Dnr 331–2479–96.

Westerberg, H. 1996. Ljud- och vibrationsmätningar vid broar. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opubl. rapport. 23 s.

Westerberg, H. 1996. Oceanographic aspects of the recruitment of eels to the Baltic Sea. EIFAC/ICES Working Group on Eel.

Westerberg, H., H. Frimansson och P. Rönnbäck. 1996. Bestämning av reaktionströskeln hos torsk och sill vid grumling av kalk och lersediment. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Opubl. rapport.

Westerberg, H., och P. Rönnbäck. 1996. Sedimenteffekter på pelagiska fiskägg och gulesäckslarver. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. 14 s.

Westerberg, H., P. Rönnbäck och H. Frimansson. Effects of suspended sediments on cod egg and larvae and on the behavior of adult herring and cod. ICES CM 1996/E:26. 13 s.

Ådjers, K., J. Andersson, P. Böhling, M. Mölder, E. Neuman, O. Sandström. 1996. Monitoring in Baltic Coastal Reference Areas. Tema Nord 1996:627. 38 s.



▲ Referensområden ● Recipientundersökningar