



Aqua reports 2011:3

Biologisk recipientkontroll vid Oskarshamns kärnkraftverk

Sammanställning av undersökningar till och med år 2008

Jan Andersson

Lena Bergström

Anna Lingman

Sveriges lantbruksuniversitet

Institutionen för akvatiska resurser



Biologisk recipientkontroll vid Oskarhamns kärnkraftverk
Sammanställning av undersökningar till och med år 2008

Av Jan Andersson, Lena Bergström & Anna Lingman

december 2011

SLU, Institutionen för akvatiska resurser

Aqua reports 2011:3

ISBN: 978-91-576-9060-9 (elektronisk version)

Vid citering uppge:

Andersson, J., Bergström, L. & Lingman, A. (2011). Biologisk recipientkontroll vid Oskarshamn kärnkraftverk. Sammanställning av undersökningar till och med år 2008. Aqua reports 2011:3. Sveriges lantbruksuniversitet, Öregrund. 63 s.

Rapporten kan laddas ned från:

<http://www.slu.se/sv/bibliotek>

Adress

Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser,
Simpevarp 100, 572 95 Figeholm

E-post

Jan.Andersson@slu.se

Rapportens innehåll har granskats av:

Peter Karås

Sammanfattning

Denna rapport analyserar resultaten av över fyrtio års undersökningar av fisksamhällen och bottenfauna i anslutning till kärnkraftverket i Simpevarp vid den svenska östersjökusten.

Provfisken med ryssjor och nät inom områden med olika grad av kylvattenpåverkan indikerade att både artrikedomen och förekomsten av den dominerande rovfisken, abborre, har ökat i kärnkraftverkets närområde. Få fiskarter har minskat i det kylvattenpåverkade området. Kallvattenarterna torsk och strömming uppvisade stora variationer över tid och en dominans av dessa arter i det kylvattenpåverkade området observerades under olika tidsperioder. Torsken uppvisar en starkt negativ utveckling över tid. Även andra kallvattenarter förekom tidvis rikligt i det påverkade området, sannolikt som en följd av anlockning av strömming. Störningar på provfisket av säl, främst gråsäl, har försvårat övervakningen av kallvattenarter under senare år.

Övervakningen av fisksjukdomar påvisade inte någon effekt av kylvatten på förekomsten av sjukdomar och parasiter hos fisk.

Ökade vattentemperaturer i Östersjön har gynnat abborrens tillväxt på en generell nivå under de studerade åren. Denna effekt var förstärkt i området som påverkades av kylvatten. Studier av yngel påvisade ett starkt positivt samband mellan förekomsten av abborre i simpevarpsområdet och produktionen av yngel i den starkt kylvattenpåverkade Hamnefjärden. Det är dock osäkert om dessa yngel är resultatet av lek i Hamnefjärden eller om de vandrat in från närliggande områden. Studierna indikerade dessutom att höga vintertemperaturer har en negativ inverkan på abborrens könsorgan.

Fiskförlusterna i kraftverkets silstationer bedöms vara små i jämförelse med fiskets uttag ur bestånden. En viss lokal påverkan på fisket kan dock inte uteslutas.

Fångst per fiskeansträngning av ål i det närliggande yrkesfisket uppvisade en svag minskning sedan 1970-talet.

Bottenfaunans artsammansättning och individantal uppvisade stora förändringar sedan 1960-talet. Den största delen av förändringarna kunde relateras till storskaliga förändringar i Östersjön. En viss påverkan av kylvatten sågs dock på den mest påverkade lokalen vid Simpevarp.

Summary

This report describes the results from studies on the temporal development of fish and zoobenthos communities in the vicinity of the nuclear power plant in Simpevarp in the Baltic Sea over the past 40 years.

Fish communities have been monitored using fyke nets and survey nets. The results indicate that the number of species and the abundance of the dominating species, perch (*Perca fluviatilis*) has increased in the vicinity of the power plant. Negative trends in abundance were observed in only a few fish species. The marine species cod (*Gadus morhua*) and herring (*Clupea harengus membras*), which occur predominantly in coastal areas during the colder season, showed strong variation over time, and dominated the catches during different time periods. Cod abundance decreased significantly over the years. Strong temporal variation was also seen in some other species during the colder season, probably following the concentration of herring. However, monitoring during the cold water period was affected by disturbance from seal in more recent years.

Monitoring of fish diseases and parasites showed no effect of the cooling water on their prevalence.

Water temperatures in the Baltic Sea show an increasing trend during the studied time period. This increase has been related to a generally increased growth rate of perch in the Baltic Sea, which was also seen in Simpevarp. However, the increase was stronger in areas affected by cooling water than in the other areas. Studies of perch young life stages showed a positive relationship between the abundance of adult perch in the Simpevarp area and the productivity of perch recruits in the Hamnefjärden area, which is strongly affected by cooling water. However, it is not clear whether the recruits originate from the Hamnefjärden area or if they have immigrated from adjacent areas at an early stage. Additionally, indications of a negative relationship between high winter temperatures and the development of perch gonads were seen.

Fish losses due to cooling water entrainment were low compared to mortality caused by the commercial fishery, but effects on the local coastal fishery cannot be excluded.

Catches per unit effort of eel in nearby commercial fisheries showed a small but decreasing trend since the 1970's.

As for zoobenthos, species composition and total abundance showed strong changes over time since the 1960's. These were mainly related to large scale changes in the Baltic Sea. However, some effects of the cooling water were seen in the site located closest to the effluent.

Innehåll

1. Inledning	1
1.1 Kontrollprogrammet	1
1.2 Undersökningsområdet och referensområdet	3
1.3 Kraftverkens drift och värmeutsläpp	5
1.4 Potentiella temperatureffekter för fisksamhället	8
2. Utförda undersökningar	10
2.1 Tidigare undersökningar och rapporter	10
2.2 Aktuella undersökningar	10
3. Förluster i silstation	13
3.1 Metodik	13
3.2 Resultat	13
4. Fisksamhällets långsiktiga utveckling	15
4.1 Utvecklingen i närområdet för påverkan	15
4.2 Fisksamhället i omgivande skärgård	23
4.3 Rekrytering och tillväxt	31
4.4 Fisksjukdomar	42
4.5 Yrkesfiskets fångster av ål	47
5. Bottenfauna	49
5.1 Metodik	49
5.2 Resultat	50
6. Diskussion	55
7. Referenser	61

1. Inledning

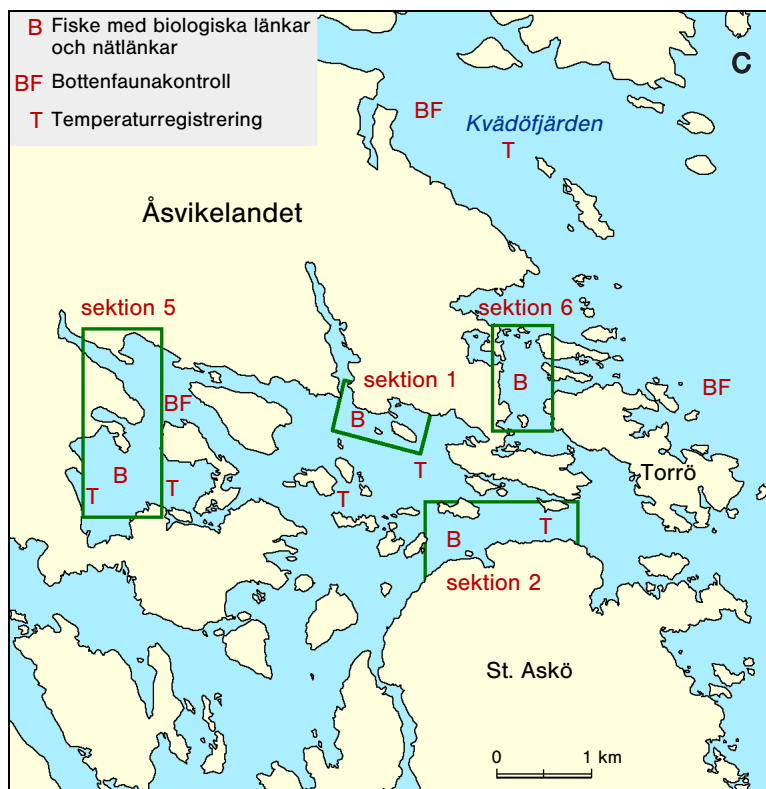
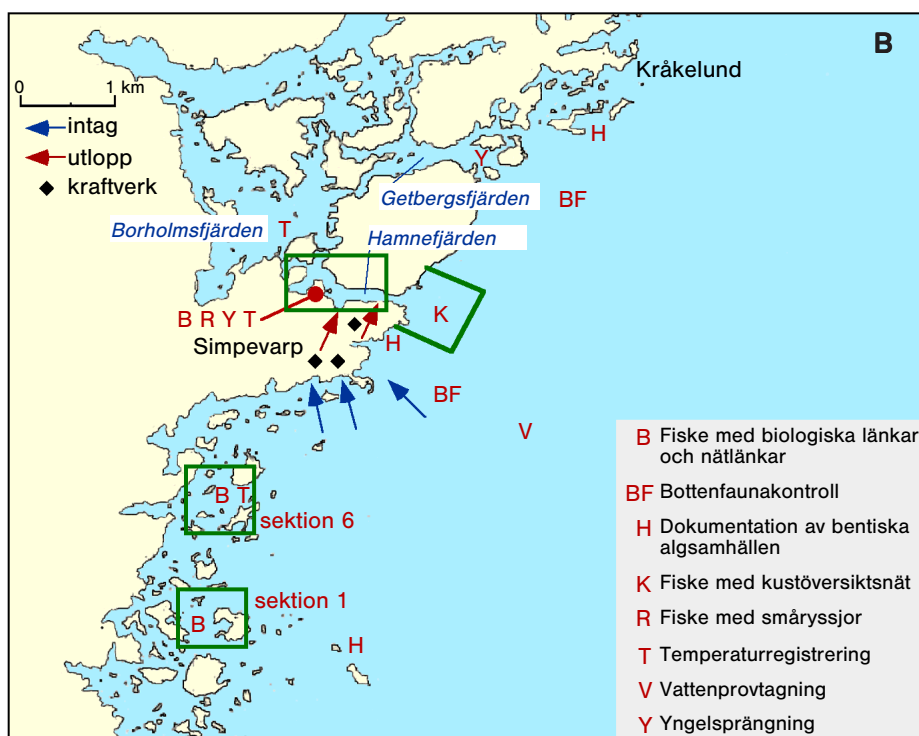
1.1 Kontrollprogrammet

Oskarshamns kärnkraftverk har producerat elektricitet sedan början av 1970-talet. Etableringen av verket föregicks av biologiska basundersökningar från år 1962 och framåt. Efter driftstarten har ett biologiskt kontrollprogram genomförts för att följa effekter av kylvattenanvändningen på det omgivande ekosystemet. Övervakningen har haft en stark inriktning mot effekter på fisk, men även övervakning av botten-djurssamhällen och fastsittande vegetation ingår.

Den biologiska kontrollen av vattenrecipienten vid Oskarshamnsverket bedrivs sedan 1988 enligt brev från Naturvårdsverket (SNV) till OKG 1988-12-13 (SNV 82-5377-88) med överenskomna kompletteringar enligt brev från OKG till SNV 1989-03-06. Ett långsiktigt kontrollprogram för övervakning av biologiska effekter i kylvattenrecipienten fastställdes av länsstyrelsen i Kalmar 1990-12-27. Från och med 1997 utgick provfiske med nätlänkar inom sektion 1 söder om Simpevarp och fiske med djupnät under hösten, enligt beslut av länsstyrelsen i Kalmar 1997-09-10 (Dnr 245-5166-97).

Den här rapporten behandlar övervakningen av fisk och bottenfauna inom kontrollprogrammet. Den biologiska påverkan av kraftverkets användande av havsvatten för kylning berör på intagssidan fisk och andra organismer som fastnar i silstationerna, temperatur och filtrerareffekter i kylvattenvägar och slutligen ström- och temperatur-effekter nära utsläppet av kylvatten. Undersökningar inom kontrollprogrammet utförs framförallt i närområdet av kylvattenutsläppen och i den omgivande skärgården. Resultaten relateras till utvecklingen i ett referensområde, Kvädöfjärden, i Tjusts skärgård (figur 1).

Övervakningen av vegetation (bentiska algsamhällen) ingår sedan 1993 i den sam-ordnade kustrecipientkontrollen för Kalmar län, och utförs av Högskolan i Kalmar.



Figur 1. Karta över undersökningsområdet – a) översikt b) detalj Simpevarp med provtagningsstationer c) detalj Kvädöfjärden med provtagningsstationer.

Rapporter från dessa undersökningar produceras årligen och en större utvärdering genomfördes 2000 (Smith *et al.*, 2000). Resultaten presenteras sedan 2001 även på Internet under adressen www.kalmarlanskustvatten.org. Fysikalisk och kemisk vattenanalys ingår i den samordnade kustrecipientkontrollen för Kalmar län, och utförs av SMHI. Resultaten presenteras sedan 2001 även på Internet under adressen www.kalmarlanskustvatten.org.

Sedan 1992 sker en årlig rapportering av kontrollprogrammet. En fördjupande utvärdering ska ske vart femte år. Föreliggande rapport är en sammanfattande utvärdering av resultat inom kontrollprogrammet fram till år 2008.

1.2 Undersökningsområdet och referensområdet

Det område som närmast påverkas av kylvattenutsläpp är ett öppet, klippigt och ganska grunt kustområde. Vattnets salthalt är omkring 6–7 psu, vilket ger förutsättning för att både sötvattenarter och marina arter förekommer. Området som helhet är topografiskt omväxlande och grundområdena är ställvis uppbrutna av djupare rännor och bassänger. Mjukbottenar dominerar i den relativt trånga innerskärgården, men vid öppen kust dominerar oorganiska bottensubstrat. Vattenströmmarna är huvudsakligen sydgående. De vanligaste fiskarterna i påverkansområdet är varmvattenarter såsom abborre, björkna och mört. Av kallvattenarter förekommer framför allt strömming och under tidigare år även torsk. I närområdet för kylvattenutsläpp har därtill en omfattande utplantering av ål ägt rum åren 1982, 1984 och 1989. Det lokala yrkesfisket är numera litet. Yrkesfiske bedrivs framför allt vid Marsö, norr om kärnkraftverket. Sedan början av 2000-talet har förekomsten av säl ökat märkbart.

Ett kustavsnitt i anslutning till Kvädöfjärden i den sydöstra delen av Östergötlands län har sedan 1962 använts som referensområde för kärnkraftverkets kontrollprogram. Sedan 1989 utgör området även ett nationellt referensområde inom det marina programmet för miljöövervakning. Kvädöfjärden ingår även i ett internationellt nätverk av kustnära referensområden i Östersjön (COBRA, Coordination Of Baltic Reference

Areas). Resultat från provfisken i Kvädöfjärden ingår i den årliga sammanfattningen av den nationella miljöövervakningen i tidsskriften Havet (Anon, 2010).

Kvädöfjärden ligger i Tjusts skärgård c:a 100 km norr om kärnkraftverket. Området är relativt opåverkat av mänsklig verksamhet. Det närmast belägna samhället, Valdemarsvik, har c:a 4000 invånare och ligger 25 km norr om referensområdet. Området innehåller både skyddade och mer vindexponerade miljöer. I innerskärgården förekommer vikar med djup ner till 30 meter, vilket ger ett relativt gott vattenutbyte. Mjuka bottenar dominerar, men hårda bottenar förekommer längs stränder och i delar som är utsatta för vågor och strömmar. Sammansättningen av fiskarter påminner om den i anslutning till kärnkraftverket. I området finns för närvarande en aktivt verksam yrkesfiskare.

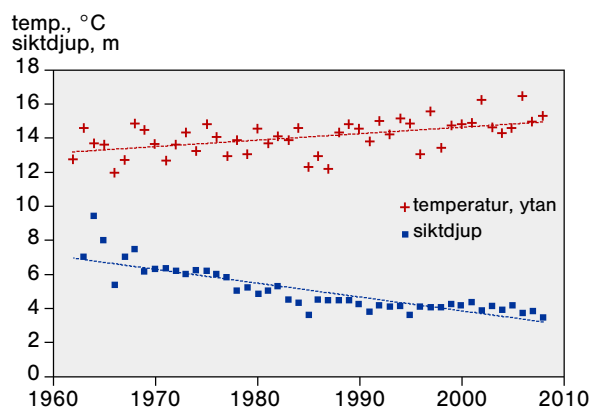
Området för kylvattenutsläpp och referensområdet är båda påverkade av Östersjöns storskaliga miljöförändringar. Detta illustreras tex väl av utvecklingen hos de viktigaste abiotiska omgivningsfaktorerna. Liksom på flera andra ställen i Östersjön ses en generell ökning av vattnets temperatur över tid (figur 2). Sedan 1962 har den i Kvädöfjärden stigit med i genomsnitt 0,1 grader per år (medeltemperaturen nära ytan för månaderna maj till och med oktober)¹. Det har även skett en tidsmässig förändring i siktdjup i området². Det minskade framför allt under 1970- och 1980- talet, och har sedan dess varit lågt (figur 2). Minskningen sammanfaller tidsmässigt med en period av stigande halter av näringsämnen i Östersjöns ytvatten. Den stigande trenden för kväve (mätt som NO₃, NO₂, och NH₄) bröts dock redan i början av 1990-talet och halterna i ytvattnet under vintern i centrala Östersjön minskar signifikant från 1991³ (figur 3). Halten av fosfat ökar dock under hela perioden från 1971⁴, främst till följd av flera år med höga nivåer under 2000-talet (figur 3). Salthalten i

¹ Linjär regression₁₉₆₂₋₂₀₀₇: $p < 0,001$, $r^2 = 0,29$.

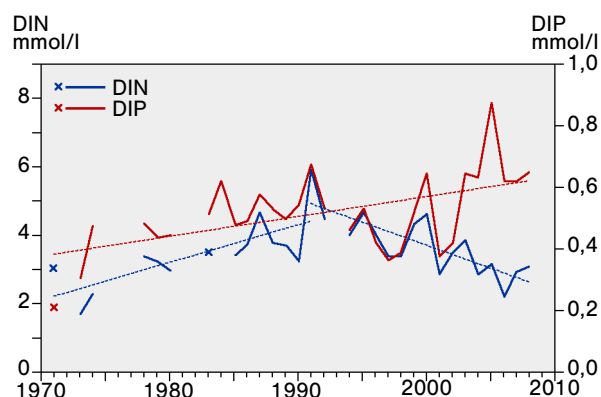
² Linjär regression₁₉₆₃₋₂₀₀₇: $p < 0,001$, $r^2 = 0,74$.

³ Linjär regression₁₉₉₁₋₂₀₀₈: $p < 0,001$, $r^2 = 0,61$.

⁴ Linjär regression₁₉₇₁₋₂₀₀₈: $p < 0,05$, $r^2 = 0,29$.



Figur 2. Vattentemperatur och siktdjup i Kvädöfjärden. Medelvärden för perioden maj–oktober. Trendlinjer anger signifikant förändring över tid.

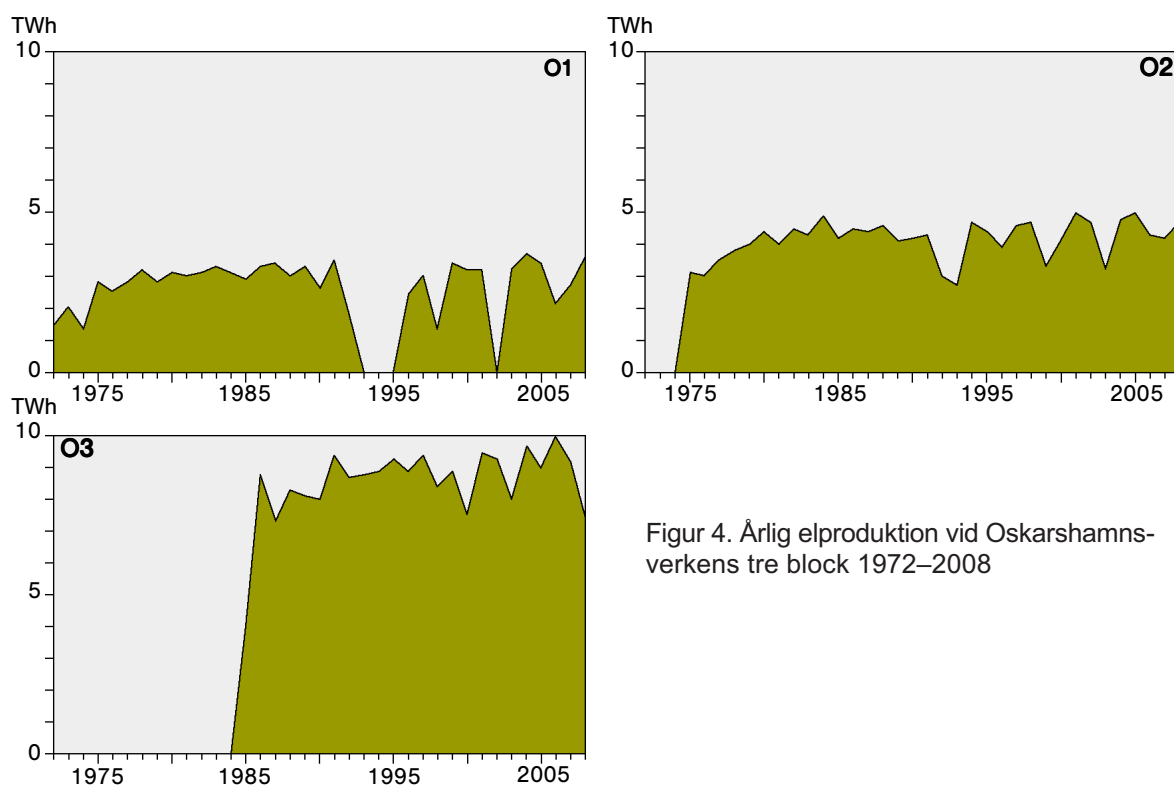


Figur 3. Halter av av oorganiskt kväve (DIN, värden på den vänstra y-axeln) och fosfat (DIP, värden på den högra y-axeln) på 0–10 m djup under januari–februari 1971–2008 på lokalen BY15 i centrala Östersjön. Data från Nationella Miljöövervakningen, SMHI. Trendlinjer anger signifikant förändring över tid.

Östersjöns ytvatten visar en signifikant minskning under de senaste decennierna (Anon., 2010).

1.3 Kraftverkens drift och värmeutsläpp

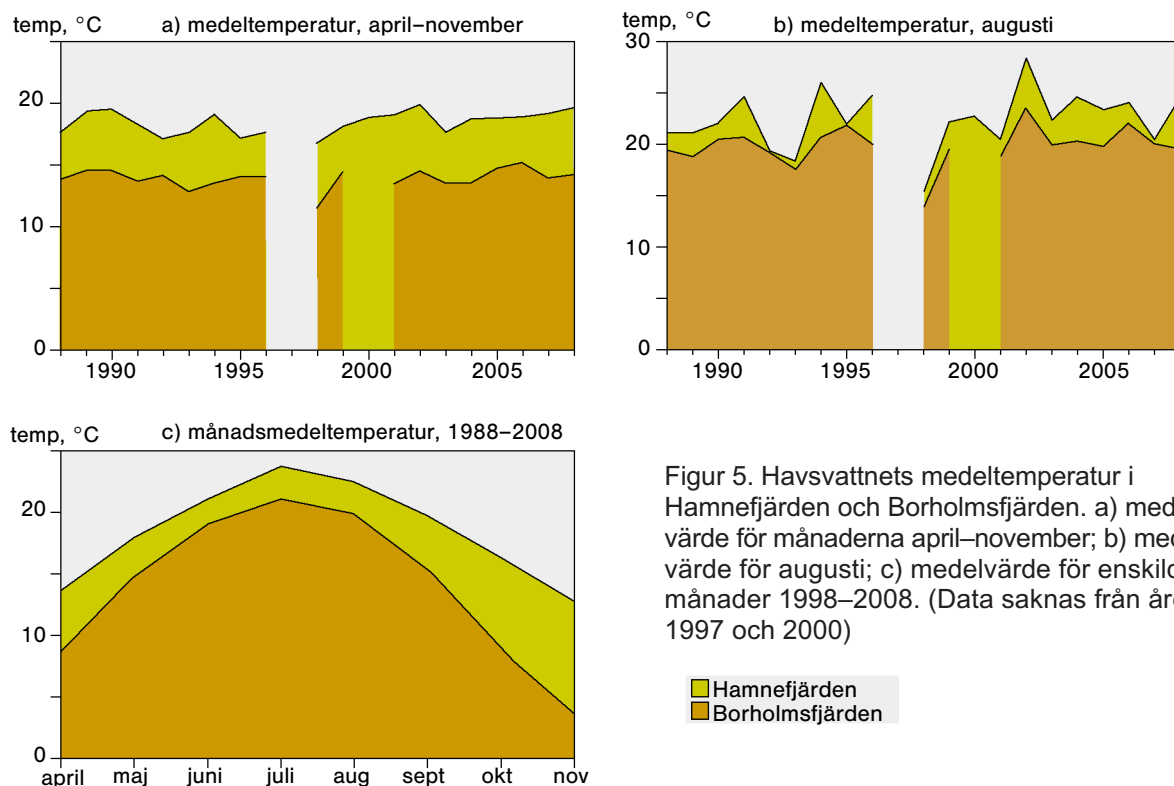
Kärnkraftverket i Oskarshamn består av tre kokvattenreaktorer, vilka togs i drift år 1972, 1974 respektive 1985. De tre reaktorerna hade 2008 en sammanlagd nettoeffekt på 2 215 MW. Elproduktionen vid anläggningen har under ett enskilt år som mest varit drygt 18 TWh under 2004 (figur 4). Under hösten 1992 stoppades driften av den äldsta reaktorn av säkerhetsskäl och kunde återupptas först vintern 1996 efter omfattande renoveringsarbeten. Driftstoppet motsvarade ett bortfall av en fjärdedel. En av kraftverkets reaktorer (O1) var avställd för modernisering under hela 2002. Under 2006 var driften lägre än normalt i två av reaktorerna. I samband med elproduktionen har de tre kraftverksblocken tillstånd att släppa ut upp till 115 m³ uppvärmt kylvatten per sekund. Den värme som förs ut genom kylvattenutsläppet beräknas utgöra merparten, eller två tredjedelar, av den totala mängden energi som produceras i kärnkraftverket (www.okg.se).



Figur 4. Årlig elproduktion vid Oskarshamnsverkens tre block 1972–2008

Det utgående kylvattnets temperatur är omkring 11°C högre än bakgrundstemperaturen i havet. Kylvattnet mynnar i Hamnefjärden, som har en yta på $0,17\text{ km}^2$. Fjärden är mellan två och fem meter djup och har i de inre delarna en mjuk gyttjig botten. I den yttre delen har det mjuka sedimentet till stor del spolats bort av de starka strömmarna från kylvattenutflödet. Det uppvärmda vattnet lämnar Hamnefjärden genom Hamnehålet, som är omkring 50 meter brett. Området utanför detta som någon gång påverkas av en övertemperatur på en grad eller mera har beräknats till 15 km^2 (Wickström, 1990). Eftersom strömmen mestadels är sydgående kommer framför allt skärgården söderut att påverkas av kylvattnet.

Temperaturen i Hamnefjärden och den närbelägna, men inte temperaturpåverkade, Borholmsfjärden övervakas sedan 1998 kontinuerligt med hjälp av automatiskt registrerande mätare. Dessförinnan gjordes manuella mätningar. Heltäckande data finns med få undantag för månaderna april t o m november under perioden 1988–2008 (figur 5). Vattnet i den inre delen av Hamnefjärden var i genomsnitt $4,7^{\circ}\text{C}$ varmare än i den närbelägna Borholmsfjärden under denna period. Skillnaden mellan

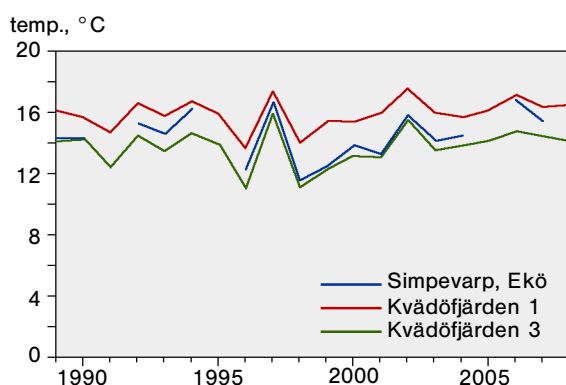


Figur 5. Havsvattnets medeltemperatur i Hamnefjärden och Borholmsfjärden. a) medelvärde för månaderna april–november; b) medelvärde för augusti; c) medelvärde för enskilda månader 1988–2008. (Data saknas från åren 1997 och 2000)

■ Hamnefjärden
■ Borholmsfjärden

områdena var något lägre ($2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) under högsommaren i augusti (figur 5). Den högsta medeltemperaturen $28,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, registrerades under augusti i Hamnefjärden 2002. Temperaturskillnaden mellan områden har varit störst under höstmånaderna (figur 5). Vattnet i Hamnefjärden var i genomsnitt cirka $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ varmare än i Borholmsfjärden i november under åren 1988–2008. Att temperaturskillnaden mellan Hamnefjärden och Borholmsfjärden varierar mellan olika årstider och inte motsvarar temperaturökningen vid vattnets passage genom kraftverket beror till stor del på att vattnet tas in i havsbandet, där vattnet oftast är kallare än inne i skärgårdarna.

SMHI driver en lokal för övervakning av havsvattentemperaturen i skärgården söder om kärnkraftverket, på ett avstånd av cirka 3 km från Hamnefjärdens mynning (figur 1). Vattnets medeltemperatur har där under sommaren varit något högre än på motsvarande lokal (den yttre) i referensområdet, men den har konsekvent legat på en lägre nivå (cirka $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 1989–2008) än samma djup i det inre området i Kvädöfjärden (figur 6).



Figur 6. Vattnets medeltemperatur under maj–augusti på 2 m djup vid Ekö söder om Simpevarp och på två lokaler i Kvädöfjärden. Data saknas från Ekö åren 1990, 1995, 2005 och 2008.

1.4 Potentiella temperatureffekter på fisksamhället

Fiskar är växelvarma djur och olika arter har olika optimala temperaturintervall för tillväxt eller reproduktion. Baserat på dessa förhållanden kan fiskar indelats i varm- och kallvattenarter (Neuman, 1983). Vuxna individer av varmvattenarter finner optimala temperaturer nära eller över 20°C, medan kallvattenarter som regel undviker temperaturer över 15°C.

1.4.1 Artsammansättning

Det uppvärmda vattnet i kylvattenutsläppen har visats attrahera varmvattenarter under de flesta årstider och kallvattenarter under årets kalla delar (Neuman, 1979a och b). Hamnefjärden hyser också ett utpräglat varmvattensamhälle som domineras av abborre och mört under de flesta årstider. När det omgivande vattnets temperatur är låg ansamlas även kallvattenarter till kylvattenutsläppet. Till exempel har en påtaglig koncentration av strömming tidvis förekommit i Hamnefjärden. De har även lockats till att leka där vid temperaturer som egentligen är för höga och på substrat som är olämpliga (Andersson och Karås, 1990). En ansamling av strömming har även sekundärt attraherat andra kallvattenarter som sik och torsk som äter strömming eller dess ägg (Andersson *et al.*, 2005). Dessa arter vandrar dock bara undantagsvis in i den varma Hamnefjärden.

1.4.2 Rekrytering och tillväxt

Den årliga produktionen av fiskyngel är en grundläggande förutsättning för fiskbeståndens utveckling. Rekryteringen av varmvattenarter i Östersjöns kustområden påverkas som regel positivt av en temperaturökning, så länge den håller sig inom

icke-extrema gränser (Karås, 1996). I den kylvattenpåverkade Hamnefjärden har man i tidigare analyser kunnat konstatera en ökad tillväxt av yngel (Karås & Neuman, 1981) och även tecken på en positiv inverkan på beståndens utveckling i närområdet (Andersson *et al.*, 2005). För att rekryteringen ska fungera väl krävs dock att temperaturen samvarierar med övriga miljöfaktorer på ett naturligt sätt, till exempel med tillgången på föda.

Om temperaturen är för hög finns det en risk för negativa fysiologiska effekter på fisken, till exempel på fiskens könsmognad eller på utvecklingen av rom och mjölke fram till leken. Undersökningar under 1980-talet påvisade skador på könsorganen hos fisk i kylvattenrecipienter från kärnkraftverk. Skadorna observerades först vid Ignalinaverket i Litauen och efter utökade och jämförande undersökningar även vid Oskarshamn och Forsmark i Sverige (Lukšienė och Sandström, 1994, Lukšienė *et al.*, 2000). Framför allt observerades en förekomst av skadade och missbildade könsorgan hos vårlekande fisk, såsom abborre, mört och gädda, som exponerats för värmeutsläpp. Man observerade även andra abnormaliteter, till exempel tvåkönade fiskar och ägg med flera cellkärnor. Undersökningen påvisar att fisken inte förmår undvika för varma temperaturer, utan att den i högre grad styrs mot sin optimala temperatur för tillväxt än mot sin optimala temperatur för fortplantning, som är lägre. Hos abborre har även andra fortplantningsskador i samband med lek kunnat konstateras, till exempel en ökad dödlighet hos rommen och ökad infektionsrisk (Sandström *et al.*, 1997). Sommarlekande arter som gers och björkna har visat sig klara höga temperaturer bättre, och även gynnas av den varmare miljön, så att en varm och framför allt lång sommar ger förlängd produktionsperiod och totalt fler lagda ägg.

1.4.3 Sjukdomar

Förekomsten av fisksjukdomar påverkas av hur exponerade fiskarna är för parasiter och föroreningar (Thulin *et al.*, 1989). Förhöjda vattentemperaturer kan i detta sammanhang betraktas som en förorening av fiskarnas livsmiljö. En kontroll av för ögat synliga yttre sjukdomstecken har under lång tid ingått som ett moment vid fiskundersökningarna genom provfiske inom kontrollprogrammet.

1.4.4 Förluster i silstationen

Vid kylvattenintaget kan en direkt dödlighet påverka fiskbestånden genom att fisken sugts med i vattenintaget och fastnar i silstationerna.

1.4.5 Indirekta effekter

Fisksamhället kan påverkas indirekt om andra delar av ekosystemet påverkas av kärnkraftverket verksamhet. Till exempel kan tillgången på föda i form av djurplankton eller bottenfauna påverkas.

2. Utförda undersökningar

2.1 Tidigare undersökningar och rapporter

Inför lokaliseringen av kärnkraftverket till Simpevarpsområdet i början av 1960-talet utfördes omfattande basundersökningar, som till vissa delar fortfarande ingår i kontrollprogrammet. Resultaten från de första åren med drift av två reaktorer har sammanfattats av Grimås och Neuman (1979) samt Neuman (1979c). Rapportering av verksamheten under 1980-talet t o m 1988 omfattar bland annat uppföljning av effekter av tillkomsten av den tredje reaktorn (Neuman och Andersson, 1990). En sammanfattning och utvärdering av resultaten t o m 1995 presenterades av Andersson *et al.* (1996), och resultaten till och med 2001 av Andersson *et al.* (2005). Årsrapporter som översiktligt redovisar kontrollverksamheten under respektive år tillsammans med preliminära resultat föreligger från alla år sedan 1990. På uppdrag av SKB gjorde Fiskeriverkets Kustlaboratorium en rapport under 2003 som sammanfattar all litteratur med anknytning till fiskundersökningar vid Oskarshamnsverket (Lingman och Franzén, 2003). En beskrivning av den praktiska metodiken för utförande av fiskundersökningar under de aktuella tidsperioderna ges i särskilda manualer för provfiske (Thoresson, 1992, 1996a, b).

2.2 Aktuella undersökningar

Verksamheten har idag en stark inriktning på fisksamhället, men även på övervakning av bottendjur, hårdbottenvegetation och vattenkemi. Fysikalisk och kemisk vattenanalys

samt övervakning av bentiska algsamhällen ingår i den samordnade kustrecipientkontrollen för Kalmar län (www.kalmarlanskustvatten.org).

Provfisken genomförs under olika tider på året och med olika metodik för att omfatta olika aspekter av fiskbeståndens utveckling, till exempel fördelningen av varmvattenarter och kallvattenarter, samt den årliga rekryteringen. Särskilda analyser utförs på delar av fångsten för att studera abborrens årsklasstyrka och tillväxt, samt för att övervaka förekomsten av skador på könsorganen (gonadskador). Därtill noteras förekomsten av fisksjukdomar i form av parasiter och andra yttre sjukdomstecken vid alla provfisken. Provfisken utförs både i det område som är direkt påverkat av en temperaturhöjning och i omgivande skärgård.

Provfisket i Hamnefjärden har som målsättning att övervaka utvecklingen hos fiskbeståndet inom det av de högsta temperaturerna påverkade området genom provfisken med nät och ryssjor. Eftersom områdets yta är begränsad kan större lokala bestånd av fisk inte etablera sig där, men vissa bestånd använder området för lek. Effekter av leken övervakas inom den årliga yngelkontrollen.

Provfisket i Simpevarpsområdet är avsett att följa eventuella långsiktiga förändringar i den omgivande skärgården, såsom eventuella effekter av kylvattenutsläppet på rekryteringsområden eller på fiskens tillgång till föda. Därtill görs ett provfiske i det område där kylvattenplymen möter omgivande hav, där en ansamling av främst kallvattenarter skulle kunna förväntas. Förutom provfisken övervakas i detta område bottenfaunans utveckling och den fastsittande makrovegetationen.

Dödlighet av fisk som följer med intaget av kylvattnet mäts genom stickprov i kylvattenintagets silstation.

Som ett komplement till övervakningen genom provfisken har yrkesfiskare i Simpevarpsområdet utfört detaljerad redovisning av sina fångster sedan år 1962. I fångst-

Tabell 1. Aktuella provfisken inom kontrollprogrammet. Inom varje provfiske noteras antal, vikt och längdfördelning för alla fiskarter i fångsten.

<i>målarter</i>	<i>redskap</i>	<i>tidpunkt</i>	<i>referensområde</i>	<i>startår</i>
fisken i påverkat närområde (Hamnefjärden)				
varmvattenarter	biologiska länkar	mars–juni	–	1962
varmvattenarter	biologiska länkar	augusti	omgivande skärgård och Kvädöfjärden	1962
ål	ryssjor	mars–juni	–	1982
täthet och tillväxt av årsyngel	små undervattensdetonationer	september	Getbergsfjärden (referens för tillväxt)	1983
fisken i omgivande skärgård				
varmvattenarter	nätlänkar	augusti	Kvädöfjärden	1987
kallvattenarter	kustöversiktsnät	april–maj	–	1970

Tabell 2. Sammanfattning av särskilda individbaserade analyser inom kontrollprogrammet.

<i>målsättning</i>	<i>provtagning</i>	<i>fiske</i>
uppföljning av rekrytering och tillväxt		
ålder och tillväxt hos abborre	otoliter och gällock från 200 honor	fisken med biologiska länkar i augusti i Hamnefjärden
ålder hos mört	otoliter och fjäll från 200 honor	fisken med biologiska länkar i augusti i Hamnefjärden
kontroll av gonadskador hos abborre och mört	okulär bedömning och gonadvikt hos 200 honor per art	fisken med biologiska länkar i augusti i Hamnefjärden och med nätlänkar i oktober i Kvädöfjärden
ålder och tillväxt hos abborre	otoliter och gällock från cirka 300 honor per område	fisken med nätlänkar i augusti i Simpevarp och Kvädöfjärden
uppföljning av fisksjukdomar		
kontroll av yttre sjukdomstecken	alla individer	samtliga provfisken
inre kontroll av ålens simblåseparasit	200 ålar	ryssjefisket i Hamnefjärden

journalerna bokförs all fångst som landas, vilket redskap som har använts samt fiske-tiden och antalet redskap. Redskap som används vid yrkesfiske i området är ålbotten-garn, ålflytgarn, stora och små ålryssjor, storryssjor, sik- och abborrgarn, gädd sax och i liten omfattning även torsknät, kastspö och grimgarn. Informationen används för att följa fiskbeståndens variationer på en större tids- och rumsskala än vid prov-fiskena, och för att få en uppfattning om yrkesfiskets påverkan i området. Särskilt ålfisket har uppmärksammats då man befarat att varmvattenplymen från kyl-vattenutflödet skulle påverka ålens vandringsväg.

I journalföringens början förekom sex yrkesfiskare i området, men sedan 1999 återstår bara två fiskare, vilka fiskar vid Marsö norr om kärnkraftverket. I Kvädöfjärden har två till tre yrkesfiskare journalfört sina fångster sedan 1962. Numera finns endast en yrkesfiskare kvar i detta område. Huvudsakligen har redskapen ålflytgarn, skäddegarn, småryssjor, fiskbottengarn och abborr- och siggarn använts. I mindre omfattning har det även fiskats med stora ålryssjor, kastspö, mjärdar, torsknät, gäddsax och grimgarn.

3. Förluster i silstationen

3.1 Metodik

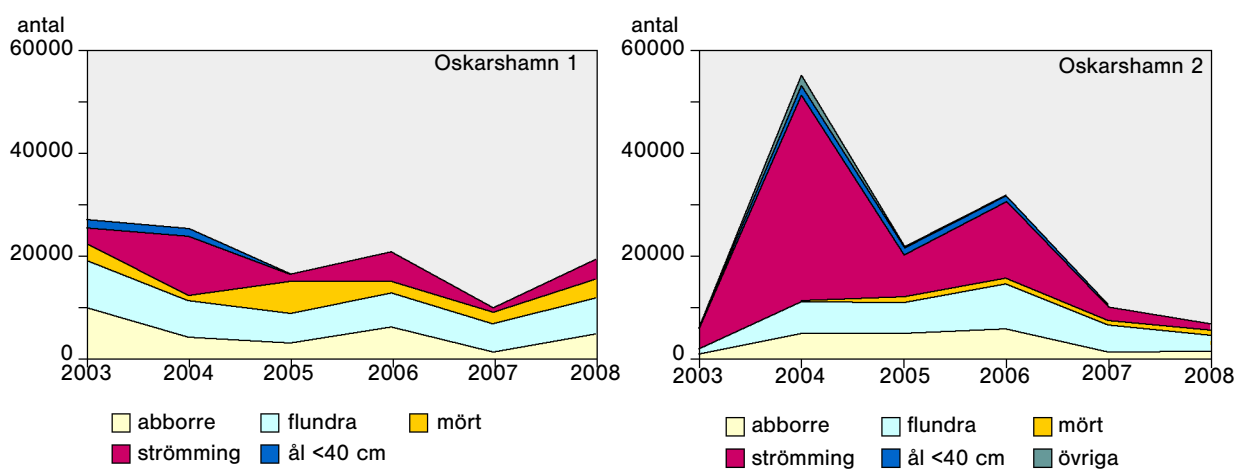
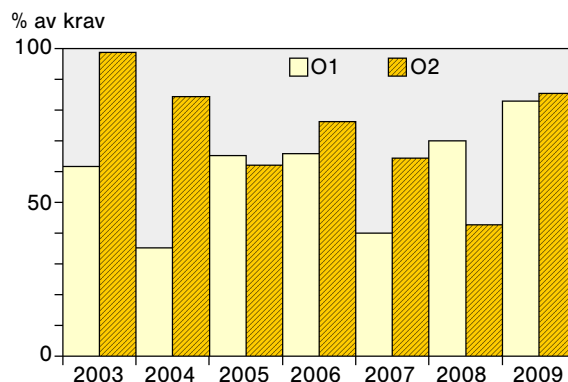
Fisk som fastnar vid rensningen av det inkommande kylvattnet övervakas genom stickprovtagning i silstationerna för O1 och O2. Provtagning utförs nattetid under perioden april–september av personalen vid respektive block. I samband med provtagningen stoppas den automatiska driften av korgbandsilarna i ett av fyra kylvattenstråk. Bandsilarna rensas och får därefter filtrera det inkommande vattnet under en period av tre timmar. Därefter spolas silarna igen och den uppsamlade fisken insamlas med hjälp av håvar. Antalet individer av alla förekommande större fiskar dokumenteras per art, medan mängden småfiskar som spiggar, havsnålar, stubbar endast noteras efter en grövre skala. Tiden för kontrollerad filtrering kan reduceras av säkerhetsskäl då risken är stor att silarna sätts igen av exempelvis drivande alger eller maneter.

Resultaten räknas upp för att representera den totala fiskförlusten för varje block under hela undersökningsperioden, genom att den filtrerade volymen ställs i relation till den totala kylvattenvolymen. Kontrollen av O3 inskränker sig till anmälningsplikt för driftpersonalen vid situationer som avviker från det normala.

3.2 Resultat

Den kontrollerade volymen täckte i genomsnitt 56% av den planerade vid O1 och 71% vid O2 åren 2003–2008 (figur 7). Den planerade volymen motsvarar vid denna

Figur 7. Måluppfyllnad vid kontroll av fiskförluster i silstationerna för O1 och O2 vid Oskarshamnsverket under åren 2003–2008. Kontrollerad tid anges här som andel av den tid som skulle ha täckts av kontroller enligt programmet för egenkontroll.



Figur 8. Uppräknade förluster av fisk i silstationerna för O1 och O2, perioden april–september 2003–2008.

beräkning kontroll av ett stråk under tre timmar per natt vid respektive block under drift i april–september. Den totala årliga förlusten av större fiskar beräknades för denna period till cirka 20000 individer vid vardera blocket (figur 8). Den dominerande arten var strömming, som svarade för knappt hälften av det beräknade individantalet. Efter strömmingen följer flundra och abborre med årliga förluster av 12000 respektive 8000 individer. Bland resterande arter återfinnes gädda, torsk och ål, som alla förekommit i betydligt mindre omfattning. Knappt 1600 ålar beräknas ha fastnat i silarna varje år under 2003–2008, av vilka tre fjärdedelar var mindre än 40 cm långa.

4. Fisksamhällets långsiktiga utveckling

4.1 Utvecklingen i närområdet för påverkan

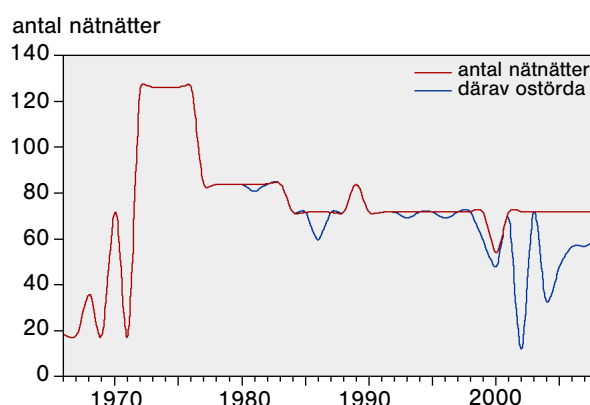
4.1.1 Provfiske med biologiska länkar

Metodik

Utvecklingen av fisksamhället i Hamnefjärden följs sedan 1966 genom provfiske med nät av typen biologiska länkar. Provfiske sker sedan 1989 vid sju tillfällen under perioden mars–juni (v12–24). Under de första åren var fiskefrekvensen lägre, medan man fiskade varje vecka åren 1972–1988. Under högsommaren (v30–36) har sex till sju fisken genomförts årligen sedan 1972, föregånget av en period med lägre frekvens de inledande åren. Fiskena i Hamnefjärden omfattade inledningsvis en full biologisk länk om 18 nät fördelade på sex stationer. Två av stationerna togs bort i samband med kraftverkets start och denna analys omfattar endast de fyra återstående stationerna, totalt tolv nät. Som referensområden för fisket i augusti fungerar ett område i den närbelägna skärgården vid Berkeskär, c:a 5 km söder om kraftverket, och ett område i Kvädöfjärden. I referensområdena används en full biologisk länk om 18 nät, fiskade vid ett tillfälle årligen under augusti månad. Fiskena inleddes i dessa områden 1963 och har därefter genomförts årligen, med undantag för ett uppehåll i Simpevarp 1965.

Redskapet biologiska länkar är sammansatta av nät med olika maskstorlekar. Varje länk består av tre till fem nät, som har en maskstorlek varierande mellan 21,5 och 60 mm (angivet som avstånd mellan knutarna). Varje länk har olika kombinationer av nät, men på varje station används alltid samma kombination av nät. Vid fisket registreras fångstens artsammansättning avseende vikt och antal. Fångstens längdfördelning anges separat för varje art med 1 cm noggrannhet sedan 2001 och dessförinnan med 2,5 cm intervall sedan 1989. Före 1989 registrerades endast antal och vikt. Tillämpad enhet för fångst per fiskeansträngning är genomgående antal eller vikt per nät. Denna analys omfattar endast de fisken som har kunnat genomföras utan observerade störningar av redskapens fångstbarhet.

Figur 9. Fiskeansträngning vid provfiske med biologisk länk under sommaren i Hamnefjärden.



Resultat

Fiskena har i stor utsträckning kunnat genomföras utan störningar fram till och med 1990-talet. Från slutet av detta decennium uppträder dock allt oftare noteringar om störda redskap under sommarfisket i Hamnefjärden (figur 9). Dessa störningar kan till en dominerande del kopplas till en omfattande igenväxning av fjärdens inre delar med olika vattenväxter, främst kärlväxten *Najas marina*. Som mest var mer än hälften av ansträngningarna störda på detta sätt under 2002 och 2004. Störningar har dock varit sällsynta övriga tider och områden. Störda ansträngningar ingår ej i analyserna från Hamnefjärden. I referensområdena var de dock så få och obetydliga att en sådan justering inte bedömdes vara nödvändig.

Fisksamhällets artstruktur

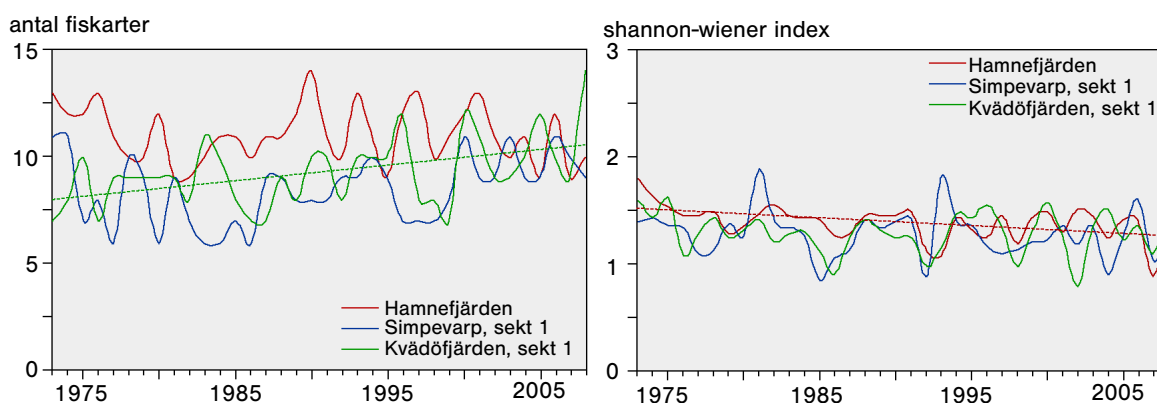
Under alla år fångades totalt 25 fiskarter i sommarfisket i Hamnefjärden, som var den artrikaste lokalen⁵. Detta kan jämföras med 21 arter under en något längre period i den närliggande skärgården och tjugo arter i motsvarande fiske i Kvädöfjärden. Antalet arter ökar signifikant på lokalen i Kvädöfjärden⁶, samtidigt som inga förändringar skett på lokalerna vid Simpevarp. I storleksordningen tio arter observerades årligen under de senaste åren på alla tre lokalerna. Artsammansättningen uttryckt som Shannon-Wiener index förändras i negativ riktning över tiden i Hamnefjärden⁷, vilket tolkas som att allt färre arter dominerat i fångsten. Nivån för detta index låg trots nedgången något högre i Hamnefjärden⁸ än i övriga områden, sett över hela undersökningsperioden. Vid denna analys har fångster före 1973 uteslutits på grund

⁵ ANOVA, artantal, $F_{1,2} = 28$, $P < 0,001$.

⁶ Linjär regression Kvädöfjärden $p < 0,01$, $r^2 = 0,21$.

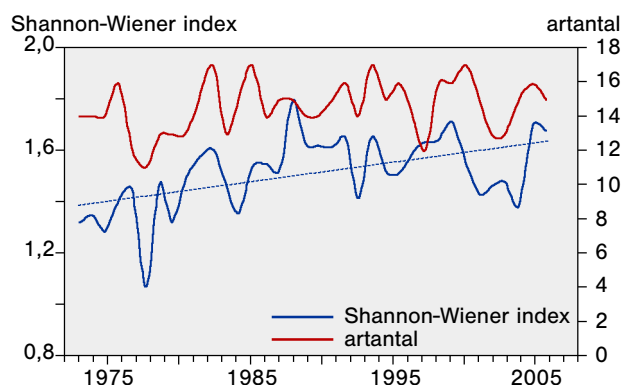
⁷ Linjär regression Hamnefjärden $p < 0,01$, $r^2 = 0,20$.

⁸ ANOVA, Shannon-Wiener index, $F_{1,2} = 5,3$, $P = 0,007$.



Figur 10. Antal arter och biodiversitet i Hamnefjärden, skärgården söder om Simpevarp och Kvädöfjärden i provfiske med biologiska länkar under sommaren 1973–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

Figur 11. Antal arter och biodiversitet i provfiske med biologiska länkar i Hamnefjärden under våren 1973–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.



av att inte alla taxa registrerades och på grund av att den totala fiskeansträngningen var avsevärt lägre.

I vårfisket med biologiska länkar i Hamnefjärden fångades 31 fiskarter under perioden 1966–2008. Någon trend över tiden föreligger dock inte (figur 11). Däremot ses en tydlig förändring mot ett högre index för artdiversitet⁹.

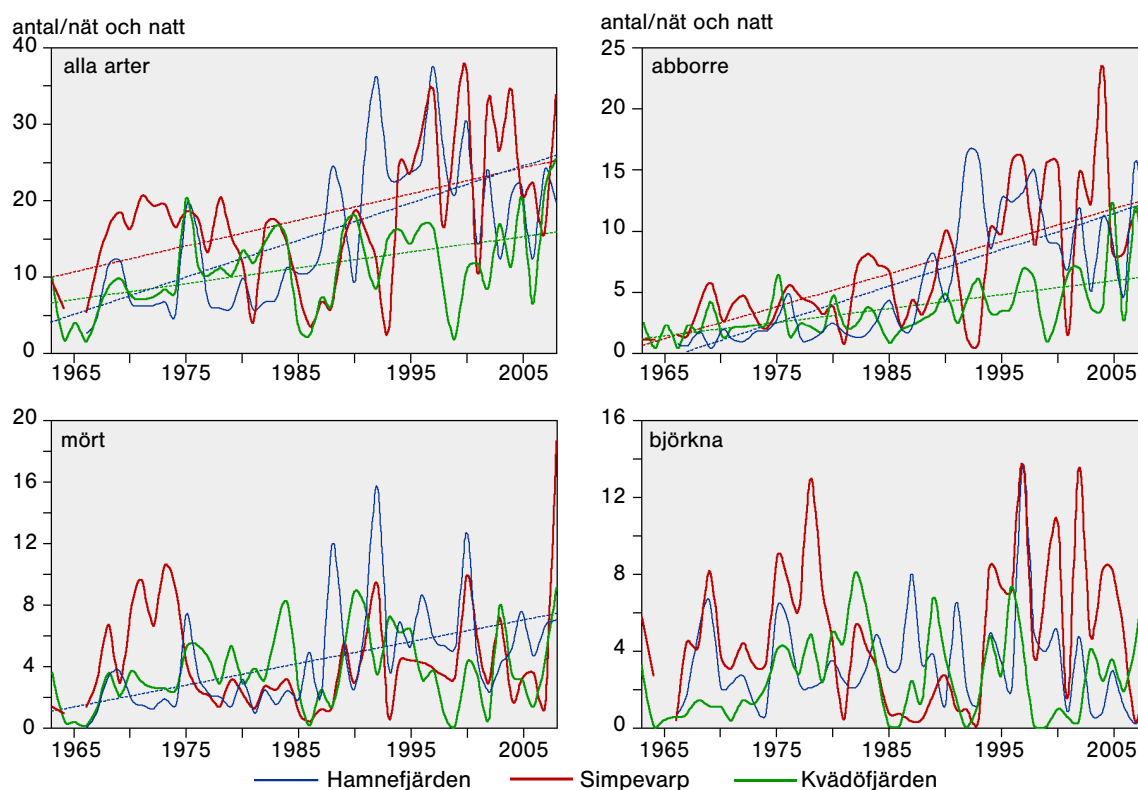
Dominerande arter

Abborre, björkna och mört svarade för 88–90% av den totala fångsten i fisket under sommaren avseende antal och 75–84% avseende vikt sett över alla år. Både den totala fångsten per fiskeansträngning och fångsten av abborre var signifikant mindre i Kvädöfjärden än i de båda andra områdena¹⁰. Björkna gav störst fångster i skärgården söder om Simpevarp¹¹, medan fångsten av den tredje dominanten, mört, inte skilde

⁹ Linjär regression Hamnefjärden $p < 0,01$, $r^2 = 0,26$.

¹⁰ ANOVA, alla arter, $F_{1,2} = 10,8$, $P < 0,001$; abborre, $F_{1,2} = 10$, $P < 0,001$.

¹¹ ANOVA, björkna, $F_{1,2} = 8,5$, $P < 0,001$.



Figur 12. Dominerande arter och dessas trender i Hamnefjärden, skärgården söder om Simpevarp och Kvädöfjärden vid provfiske med biologiska länkar under sommaren 1966–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

sig mellan områdena vid en jämförelse över hela undersökningsperioden. Den totala abundansen ökar över tid i alla tre områdena¹² (figur 12). Även abborren utvecklas starkt positivt över tid avseende individrikedomen i samtliga områden¹³. En motsvarande utveckling kan ses för vikten av de tre dominanterna.

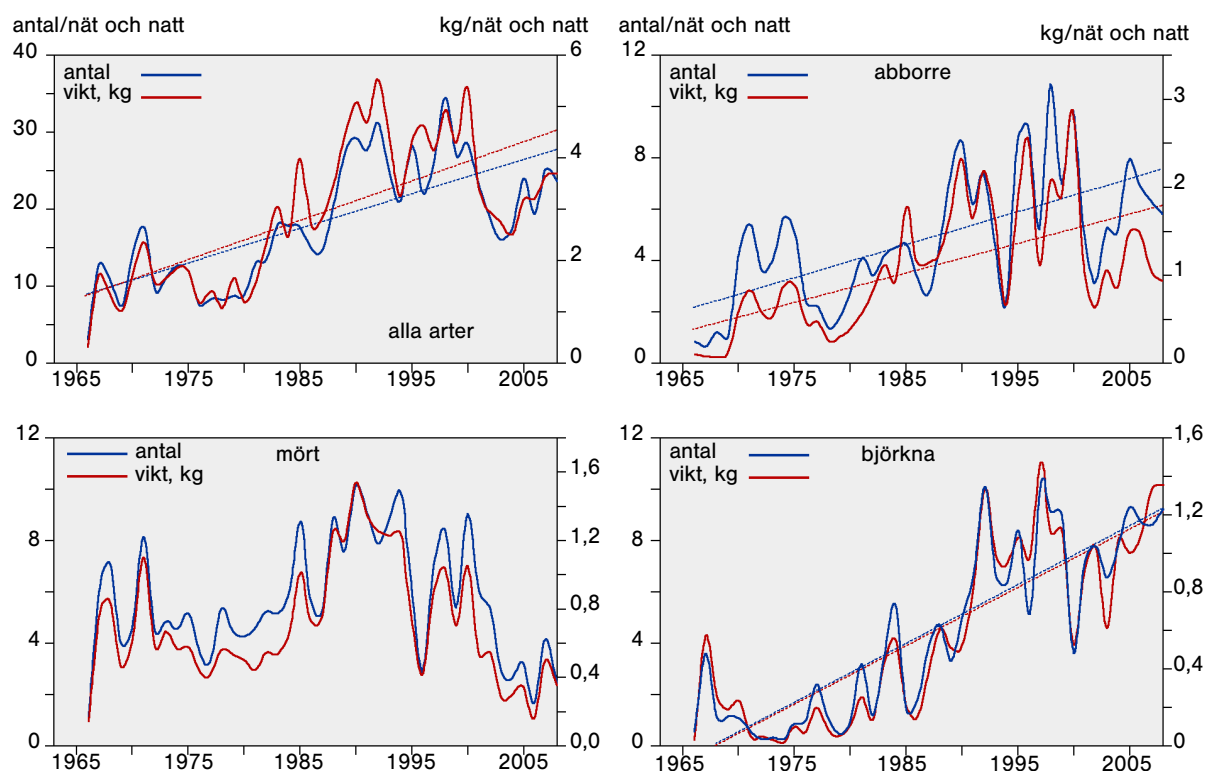
Sarv, gers, id, vimma och braxen hade högst abundans i sommarfisket efter de tre dominanterna. Av dessa uppvisar endast sarven en signifikant och positiv förändring över tid¹⁴. Ingen av arterna förändras signifikant i den närliggande skärgården, medan både gers och vimma har haft en signifikant negativ utveckling i Kvädöfjärden¹⁵.

¹² Linjär regression Hamnefjärden $p < 0,001$, $r^2 = 0,45$; Simpevarp $p < 0,001$, $r^2 = 0,25$; Kvädöfjärden $p < 0,001$, $r^2 = 0,23$.

¹³ Linjär regression Hamnefjärden $p < 0,001$, $r^2 = 0,56$; Simpevarp $p < 0,001$, $r^2 = 0,45$; Kvädöfjärden $p < 0,001$, $r^2 = 0,34$.

¹⁴ Linjär regression Hamnefjärden $p < 0,001$, $r^2 = 0,40$.

¹⁵ Linjär regression gers $p < 0,05$, $r^2 = 0,10$; vimma $p < 0,01$, $r^2 = 0,23$.



Figur 13. Dominerande arter och dessas trender vid provfiske med biologiska länkar i Hamnefjärden under våren 1966–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

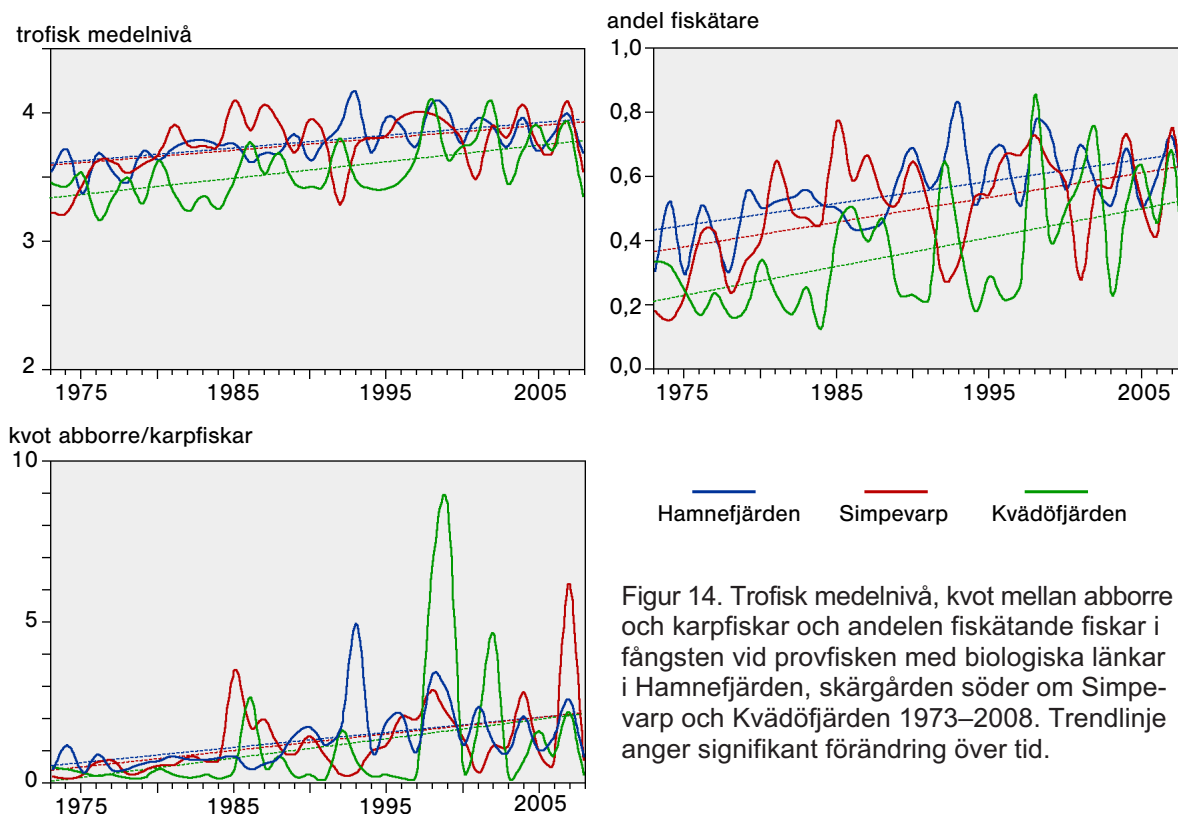
Abborre, mört och björkna dominerade även vårfisket i Hamnefjärden, med en sammanlagd andel av 85% av individantalet och 84% av vikten sett över alla år. Både abborre och björkna uppvisar en starkt positiv utveckling avseende både antal och vikt, vilket även avspeglar sig i den totala fångstens utveckling (figur 13)¹⁶. Mörten ökade under 1980-talet och låg på en hög nivå under 1990-talet, men därefter har fångsterna minskat i Hamnefjärden på våren.

Gers, strömming och sarv följer de tre dominanterna avseende abundans. Både gers och sarv ökar signifikant över tid i vårfisket¹⁷. Flera av de mindre talrika arterna uppvisar en signifikant positiv utveckling. Bland dessa kan nämnas sutare och vimma¹⁸.

¹⁶ Linjär regression abborre, antal $p < 0,001$, $r^2 = 0,40$; abborre, vikt $p < 0,001$, $r^2 = 0,36$; björkna, antal $p < 0,001$, $r^2 = 0,74$; björkna, vikt $p < 0,001$, $r^2 = 0,70$; totalt, antal $p < 0,001$, $r^2 = 0,53$; totalt, vikt $p < 0,001$, $r^2 = 0,55$.

¹⁷ Gers, antal $p < 0,05$, $r^2 = 0,10$; sarv, antal $p < 0,001$, $r^2 = 0,52$.

¹⁸ Linjär regression, sutare, antal $p < 0,01$, $r^2 = 0,21$; Vimma, antal $p < 0,001$, $r^2 = 0,48$.



Figur 14. Trofisk medelnivå, kvot mellan abborre och karpfiskar och andelen fiskätande fiskar i fångsten vid provfischen med biologiska länkar i Hamnefjärden, skärgården söder om Simpevarp och Kvädöfjärden 1973–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

En enda art, rötsimpa, uppvisar en signifikant negativ utveckling i vårfisket med biologiska länkar i Hamnefjärden¹⁹.

Ekologiskt funktionella grupper och samhällsanalys

Variablerna ”trofisk medelnivå”, ”kvot abborre/karpfiskar” och ”andel fiskätare” utgör alla tre indikatorer på fisksamhällets ekologiska funktion och uppvisar alla tre signifikanta förändringar i alla områden under perioden från 1973 till 2008 (figur 14). Alla tre indikatorerna speglar en utveckling mot mera rovfiskdominerade fisksamhällen. Den trofiska medelnivån var lägre i Kvädöfjärden än i de båda områdena²⁰ nära kärnkraftverket under en lång följd av år, med en tendens till utjämning under senare år. Utvecklingen har dock varit signifikant positiv i alla områdena²¹. En liknande utveckling speglas hos den besläktade indikatorn för andelen fiskätande fiskar i

¹⁹ Linjär regression, rötsimpa, antal $p < 0,05$, $r^2 = 0,16$.

²⁰ ANOVA, trofinivå: $F_{1,2} = 16,2$, $P < 0,001$.

²¹ Linjär regression, Hamnefjärden $p < 0,001$, $r^2 = 0,36$; Simpevarp $p < 0,01$, $r^2 = 0,19$; Kvädöfjärden $p < 0,001$, $r^2 = 0,32$.

fångsten och även denna indikator låg på en långsiktigt högre nivå i de båda områdena vid Simpevarp²².

Kvoten mellan biomassan av abborre och den summerade biomassan av alla förekommande karpfiskar har en likartad positiv trend i alla områden²³. Andelen fiskätare tenderar att öka mera i Kvädöfjärden mot slutet av perioden än i övriga områden²⁴, efter att ha legat på en lägre nivå under en längre period. Någon skillnad mellan områden har dock inte kunnat beläggas.

Vare sig trofisk nivå, abborre/karp-kvot eller andel fiskätande fiskar förändrades signifikant i provfisket med biologiska länkar i Hamnefjärden under våren 1973–2008.

4.1.2 Provfiske med ålryssjor

Ålen har en hög optimal temperatur för aktivitet och tillväxt och kan av den anledningen förväntas anlockas till och växa snabbt i kylvattenrecipienten. För att öka ålbeståndet i området inleddes försök med utsättningar av ålyngel i Hamnefjärden 1982. Utsättningarna upprepades 1984 och 1989, och uppgick under det sista tillfället till femtiotusen yngel. Dessa utsättningar har sannolikt bidragit till ålfångsten i Hamnefjärden under vissa perioder.

Metodik

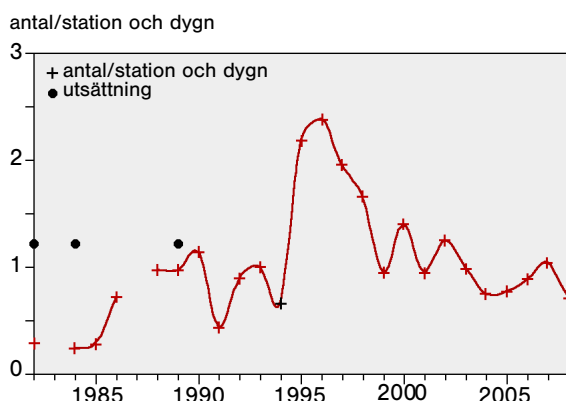
För att följa ålens utveckling har provfiske med ålryssjor utförts i Hamnefjärden sedan år 1982. Till och med 1986 fiskades med fyra parrysjor och tre enkelryssjor fördelade på sju stationer. Från och med 1989 utförs provfisket på fyra fasta stationer med en länk om fem ryssjor per station. Sedan 1990 genomförs provfisket årligen kontinuerligt under en period från vecka 12 till och med vecka 24. Ålryssjorna läggs på 2–5 meters vattendjup. Ryssjorna är kopplade arm mot strut, c:a 50 cm höga med 17 mm maskstolpe i arm och 10 mm i strut. Uppehåll i fisket gjordes 1983 och 1987.

²² ANOVA, andel fiskätare: $F_{1,2} = 19$, $P < 0,001$.

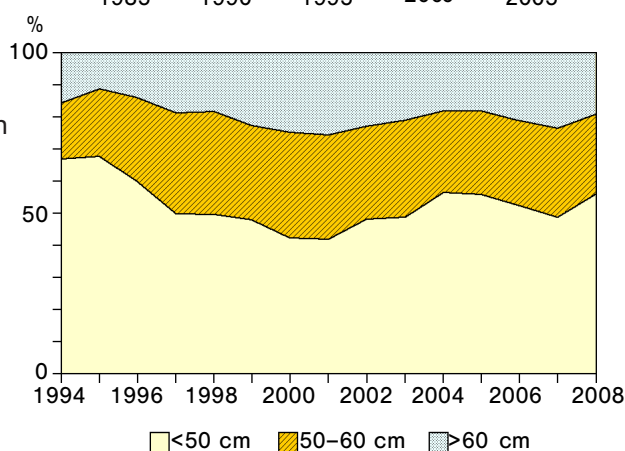
²³ Linjär regression, Hamnefjärden $p < 0,01$, $r^2 = 0,23$; Simpevarp $p < 0,01$, $r^2 = 0,19$; Kvädöfjärden $p < 0,01$, $r^2 = 0,12$.

²⁴ Linjär regression, Hamnefjärden $p < 0,001$, $r^2 = 0,32$; Simpevarp $p < 0,01$, $r^2 = 0,23$; Kvädöfjärden $p < 0,01$, $r^2 = 0,26$.

Figur 15. Fångst av gulål med småryssjor i Hamnefjärden under perioden mars–juni åren 1982–2008. Uppehåll i fisket gjordes 1983 och 1987. Observera att förändrad fiske-metodik mellan 1986 och 1988 innebär att en viss försiktighet måste iakttas vid en jämförelse av perioderna före och efter förändringen.



Figur 16. Andel av gulål (%) i fångsten från Hamnefjärden 1994–2008, fördelat på storleksgrupperna <50 cm, 50–60 cm och >60 cm.



Resultat

Fångsten av gulål per fiskeansträngning har inte förändrats signifikant sett över hela undersökningsperioden sedan 1982 (figur 15). Under perioden 1995–1998 infaller en period med avsevärt större fångster än under föregående och efterföljande perioder. Uppgången under 1990-talet har tolkats som en effekt av de tidigare gjorda utsättningarna (Andersson *et al.*, 1990). En förhållandevis stor andel liten ål i mitten av 1990-talet sammanfaller också med rekrytering till fångsten av utsatta ålar (figur 16). Fångsterna avtog successivt efter rekordåren 1995–1996, då mer än två ålar fångades per station och natt, och har därefter varierat på en lägre nivå. Den genomsnittliga fångsten var under de senaste tio åren en ål per station och natt. Fångstens storlekssammansättning visar att andelen liten ål (<50 cm) utgjorde ungefär hälften av fångsten under den senaste sjuårsperioden. Bortsett från den något högre andelen små ålar 1994–1996 så har storlekssammansättningen förändrats mycket lite över åren.

4.2 Fisksamhället i omgivande skärgård

4.2.1 Provfiske med nätlänkar

Metodik

Utvecklingen hos fisksamhället i omgivande skärgård följs genom fisken med nätlänkar. Detta fiske sker under högsommaren sedan 1987, och utförs i ett delområde söder om Simpevarp och i två referensområden i Kvädöfjärden.

Från och med sommaren 2001 anges fiskens längdfördelning inom 1 cm längdintervall, innan dess i 2,5 cm intervall.

Redskapet nätlänk består av fyra sammanlänkade nät med maskstorlekarna 17, 21.5, 25 och 30 mm. På varje station fiskas med en nätlänk, och varje delområde (sektion) består av sex fiskade stationer, som är identiska mellan år. Från början fiskades varje station i alla områden vid sex tillfällen per år. Från och med 2006 reduceras antalet fisketillfällen per station i Kvädöfjärden från tidigare sex till tre fisken. De tre första fiskeomgångarna har här genomgående använts vid alla analyser av utvecklingen i Kvädöfjärden.

Resultat.

Fisksamhällets artstruktur

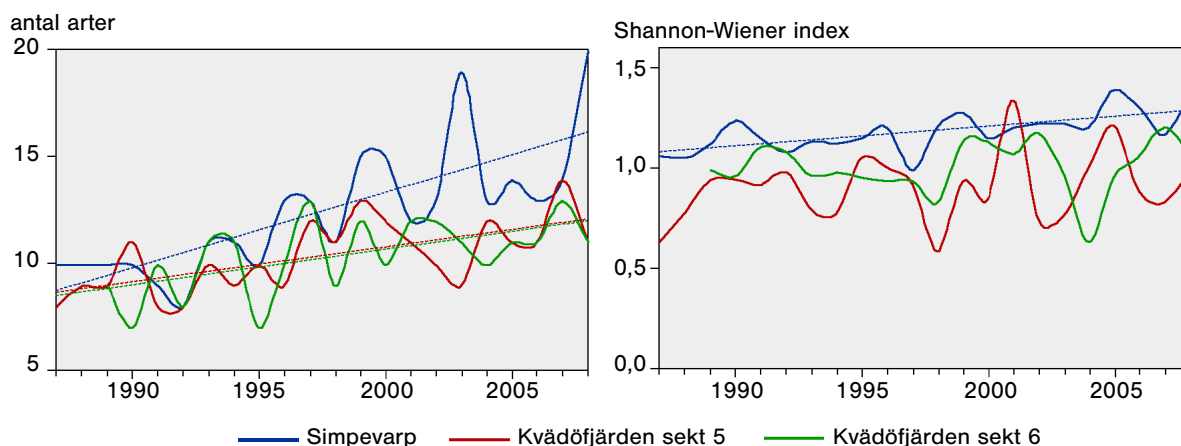
Antalet fiskarter i fångsten har ökat i alla tre delområden (figur 17)²⁵. Ökningen var störst på lokalen vid Simpevarp och denna lokal var artrikare än de båda lokalerna i Kvädöfjärden²⁶. Den biologiska mångfalden i fångsten, uttryckt som Shannon-Wieners diversitetsindex, ökar signifikant över tid i Simpevarp²⁷, men förändras inte på någon av de båda lokalerna i Kvädöfjärden. Även detta index var högre i Simpevarp än på båda lokalerna i Kvädöfjärden²⁸

²⁵ Linjär regression, Simpevarp sek 6, $p < 0,001$, $r^2 = 0,57$; Kvädöfjärden sek 5, $p < 0,01$, $r^2 = 0,42$; Kvädöfjärden sek 6, $p < 0,01$, $r^2 = 0,33$.

²⁶ ANOVA, artantal, $F_{1,2} = 9,5$, $P < 0,001$.

²⁷ Linjär regression, Simpevarp sek 6, $p < 0,001$, $r^2 = 0,45$.

²⁸ ANOVA, Shannon-Wiener index, $F_{1,2} = 28$, $P < 0,001$.



Figur 17. Antalet årligen registrerade arter (över) och Shannon-Wieners diversitetsindex (under) vid provfiske med nätlänkar i Simpevarp och Kvädöfjärden 1987–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

Dominerande arter

Fem arter, abborre, mört, björkna, sarv och gers svarade för 97–98% av den totala abundansen under hela undersökningsperioden. Den totala individrikedomen förändrades inte över tid i något av områdena (figur 18). Bland de dominerande arterna noteras en positiv utveckling för abborre och sarv i Simpevarp, samtidigt som mörtens uppvisar en negativ trend i detta område²⁹. Abborren var mindre vanlig på den inre lokalen i Kvädöfjärden³⁰ än i de båda andra områdena, och fångsten av björkna var större i Simpevarp än på båda lokalerna i referensområdet³¹. I motsats till vid Simpevarp ses en negativ trend för sarv i båda delområdena i Kvädöfjärden³², starkt driven av en plötslig minskning i mitten av 1990-talet. Sett över hela perioden finns dock ingen skillnad mellan Simpevarp och Kvädöfjärden med avseende på fångstens storlek. I ett av delområdena i Kvädöfjärden finns även en svag negativ trend hos fångsten av gers³³. Fångsten av gers var mindre på denna lokal än i de andra områdena³⁴.

²⁹ Linjär regression, abborre i Simpevarp sek 6, $p < 0,05$, $r^2 = 0,25$; sarv i Simpevarp sek 6, $p < 0,05$, $r^2 = 0,24$; mört i Simpevarp sek 6, $p < 0,05$, $r^2 = 0,18$.

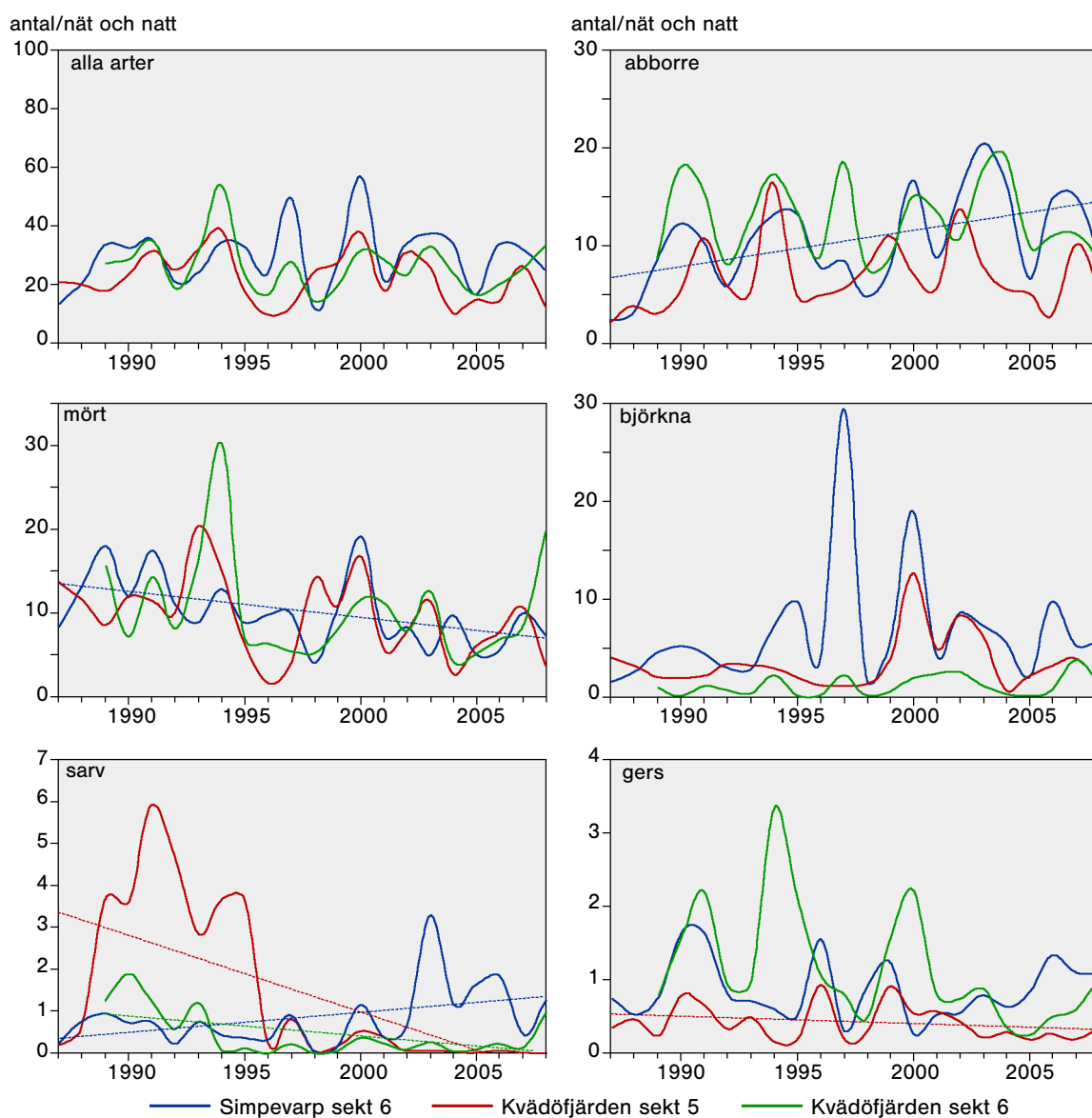
³⁰ ANOVA, abborre, $F_{1,2} = 15,2$, $P < 0,001$.

³¹ ANOVA, björkna, $F_{1,2} = 13$, $P < 0,001$.

³² Linjär regression, sarv i Kvädöfjärden sek 5, $p < 0,001$, $r^2 = 0,39$; sarv i Kvädöfjärden sek 6, $p < 0,05$, $r^2 = 0,29$.

³³ Linjär regression, gers i Kvädöfjärden sek 5, $p < 0,05$, $r^2 = 0,22$.

³⁴ ANOVA, gers, $F_{1,2} = 11,8$, $P < 0,001$.



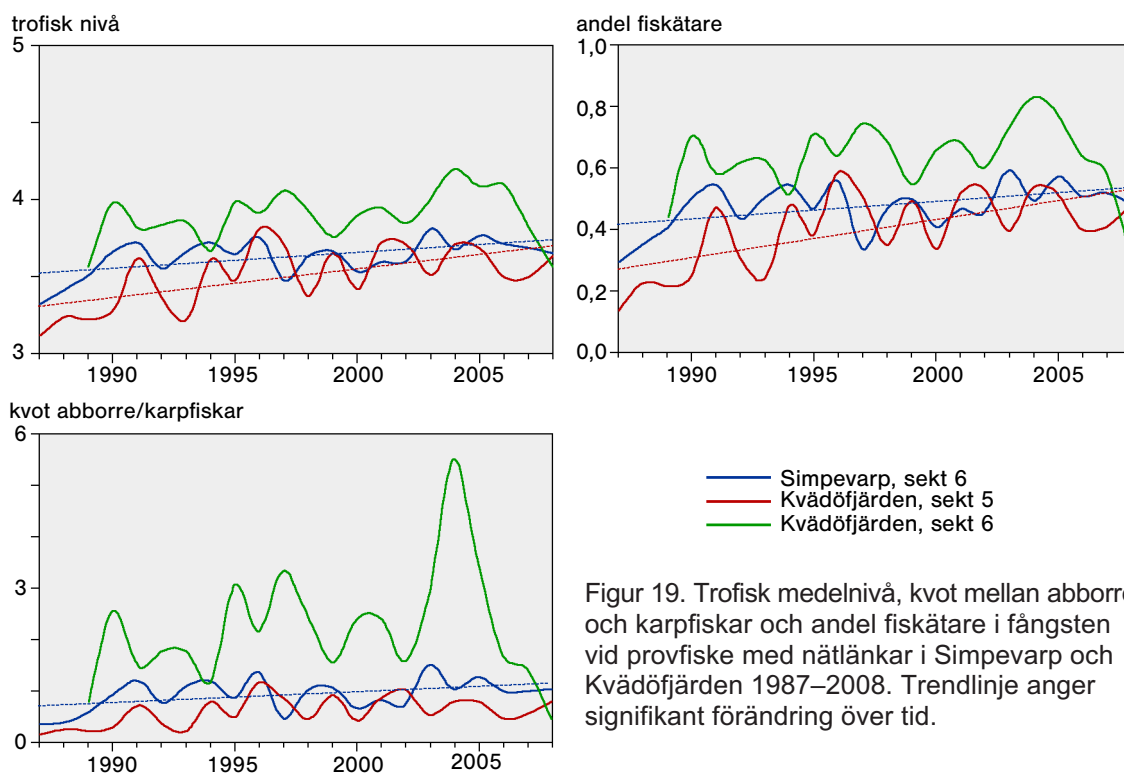
Figur 18. Dominerande arter och dessas trender vid provfiskeri med nätlänkar i Simpevarp och Kvädöfjärden 1987–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

Samhällsanalys

De besläktade indikatorerna trofisk medelnivå och andel fiskätare i fångsten uppvisar en positiv utveckling i Simpevarp och i det inre området i Kvädöfjärden^{35,36}, samtidigt som dessa indikatorer i stort sett genomgående har legat på en högre nivå på den yttre lokalen i referensområdet (figur 19). Båda indikatorerna skiljer sig signifikant

³⁵ Linjär regression, trofisk medelnivå: Simpevarp sek 6, $p < 0,05$, $r^2 = 0,28$; Kvädöfjärden sek 5, $p < 0,05$, $r^2 = 0,36$.

³⁶ Linjär regression, andel fiskätare: Simpevarp sek 6, $p < 0,05$, $r^2 = 0,21$; Kvädöfjärden sek 5, $p < 0,05$, $r^2 = 0,39$.



Figur 19. Trofisk medelnivå, kvot mellan abborre och karpfiskar och andel fiskätare i fångsten vid provfiske med nätlänkar i Simpevarp och Kvädöfjärden 1987–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

mellan områdena³⁷. Även kvoten mellan abborrens biomassa och biomassan av alla karpfiskarter har förändrats i positiv riktning på lokalen söder om Simpevarp, om än i en relativt liten omfattning³⁸. Kvoten har genomgående varit högst på den yttre lokalen i referensområdet³⁹, men skiljer sig inte mellan de båda andra områdena.

4.2.2 Provfiske med kustöversiktnät

Metodik

Provfisket görs i området utanför Hamnefjärdens mynning, där det uppvärmda kylvattnet möter och blandas med havsvattnet. Det utförs med s k kustöversiktnät och riktar sig i första hand mot kallvattenarter. Ett kustöversiktnät är 35 m långt och uppbyggt av fem lika långa paneler med olika maskstorlekar (17–50 mm). Det nu aktuella provfisket utförs vid sex tillfällen under våren, fördelade över perioden april–maj. Vid varje fisketillfälle fiskas sex stationer som är desamma varje år, men

³⁷ ANOVA, Trofinivå, $F_{1,2} = 39$, $P < 0,001$; andel fiskätare, $F_{1,2} = 29$, $P < 0,001$.

³⁸ Linjär regression, Kvot abborre/karpfiskar: Simpevarp sek 6, $p < 0,05$, $r^2 = 0,19$.

³⁹ ANOVA, Kvot abborre/karpfiskar, $F_{1,2} = 31,1$, $P < 0,001$.

nätens höjd är olika på de olika platserna. Den ursprungliga avsikten med upplägget var att representera hela vattenmassan, från yta till botten, inom det fiskade området. Ett avsteg från denna ansats gjordes dock vid en omläggning av fisket 1989, då nät-höjden vid en lokal reducerades från 7,5 till 2,5 m. Fram t o m 1994 registrerades all fångst i alla nät fördelade på s k nätsegment, innebärande att näten indelades i c:a 1,25 m höga delar. Ett 6-fots nät, som är c:a 2,5 m högt i vattnet, indelades således i ett segment närmast botten och ett i nätets överdel. Motsvarande indelning gjordes för de djupare näten, så att ett 30-fots nät omfattade totalt sex segment. Fiskar som vid hanteringen ramlade ur näten och inte kunde kopplas till ett visst segment bokfördes separat på ett s k fallsegment.

Vid bearbetningen av resultaten från hela undersökningsperioden 1971–2008 har materialet delats in i de nätsegment som fiskat vid ytan och de som fiskat vid botten. Till de ytsatta näten räknas de två 20-fots näten på station 2 och 3 norr respektive söder om Hamnehålet och de två 30-fots näten på station 4. De senare räknades under de tre första åren till station 1. Till de bottensatta näten räknas de fyra 6-fots nät som under senare år använts på stationerna 5 och 6 norr och söder om Hamnehålet. Dessa nät har fiskats på samma sätt under hela undersökningsperioden, men ingick tidigare i stationerna 2 och 3. Till de bottensatta näten räknas även två 6-fots nät på station 1. Till och med 1989 användes två 30-fots nät på denna station. Fångsten från de två nätsegmenten närmast botten räknas här till de bottensatta näten för denna period.

Den del av fångsten som bokförts på de s k fallsegmenten var tidvis ganska stor och under vissa perioder var fångsten av strömming så stor att det bedömdes omöjligt att fördela fångsten på nätsegment. I sådana fall har fångster av strömming och torsk här fördelats ut på nätsegment enligt dokumenterad fördelning under det aktuella året. Övriga arter har här konsekvent hänförts till de bottensatta näten. Endast fångster tagna under perioden vecka 13–vecka 23 ingår i beräkningarna för alla år från 1971 och framåt.

Sedan år 2003 har störningar på fisket varit vanligare än tidigare, beroende på drivande alger, fågelskador och framförallt säl. Störningarna orsakade av säl bestod både i att redskapen skadades och att fångsten avlägsnades från redskapen. För att åtgärda detta placerades en sälskrämma ut i området år 2006, innan fiskena började. Skrämmen placerades i anslutning till stationerna 3 och 6 strax söder om Hamnehålets mynning i havet. Skrämmor användes även under 2007 och 2008. Skrämmor avger ett högfrekvent ljud med hög styrka under vattnet och har visats bidra till reducerade fångststörningar till följd av gråsäl (Fjälling *et al.*, 2006).

Sälskrämmorna bedömdes till en början ge förväntad effekt. Efterhand påverkades dock fisket återigen allt mer av säl och totalt sett var 40% av fiskeansträngningarna störda åren 2006–2008. Störda fiskeansträngningar har uteslutits vid alla bearbetningar av resultaten.

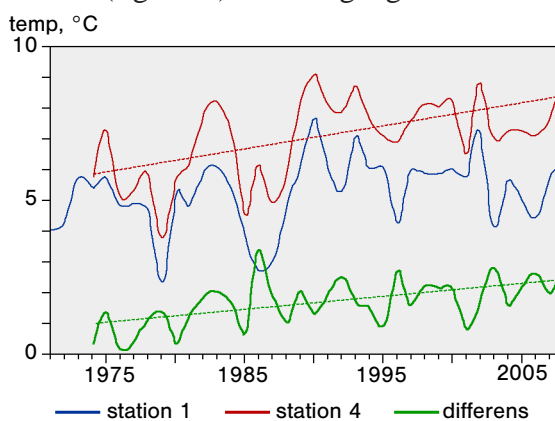
Resultat

Vattnets medeltemperatur i ytan vid station 4 ökar signifikant (figur 20)⁴⁰. Likaså ökar skillnaden över tid mellan temperaturen nära botten och i ytan. Även botten-temperaturen tenderar dock att öka över tid, men trenden är inte signifikant⁴⁰.

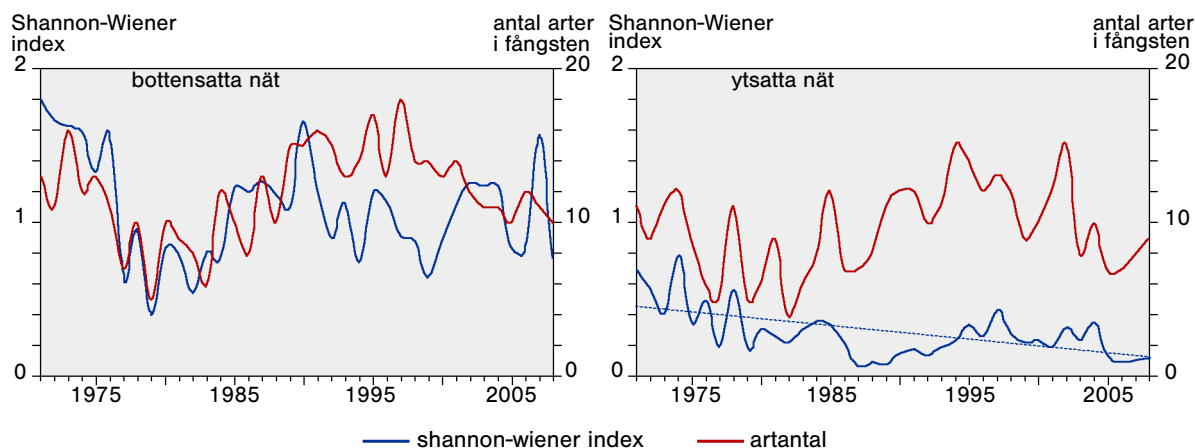
Antal arter och biodiversitet

Antalet fiskarter i fångsten uppvisar inte några statistiskt säkerställda förändringar sett över hela undersökningsperioden från 1971 (figur 21). En nedgång indikeras

Figur 20. Havsvattnets medeltemperatur vid redskapen i samband med provfiske med kustöversiktsnät vid Simpevarp 1971–2008 och skillnad mellan ytvatten vid station 4 och bottenvatten vid station 1. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.



⁴⁰ Linjär regression, station 4, $p < 0,001$, $r^2 = 0,32$; differens, $p < 0,001$, $r^2 = 0,30$; station 1, $p < 0,053$, $r^2 = 0,10$.



Figur 21. Antalet fiskarter i fångsten och diversitet enligt Shannon-Wiener index vid provfiske med kustöversiktsnät vid Simpevarp 1971–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

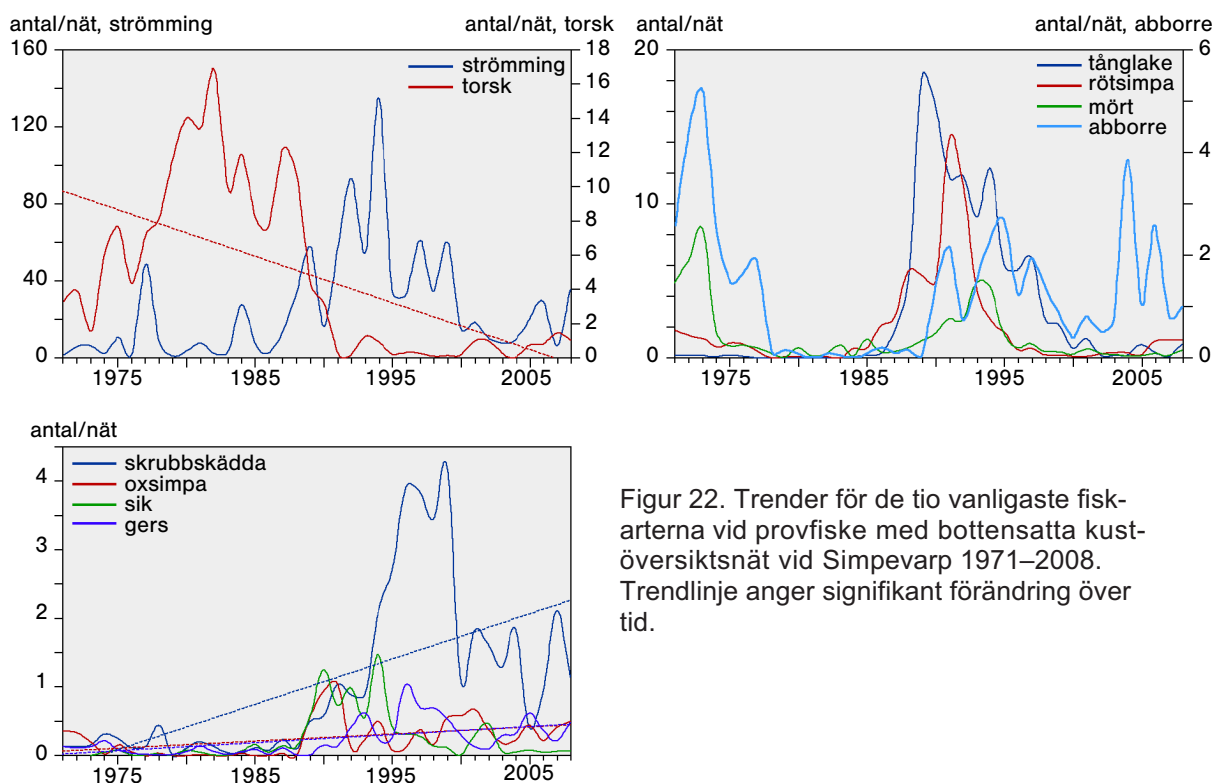
för både bottensatta och ytsatta nät under åren runt 1980. Arternas sammansättning för de ytsatta näten, uttryckt som Shannon-Wieners diversitetsindex, har utvecklats negativt över tid⁴¹.

Dominerande arter och deras trender i bottensatta nät

Under våren har strömming varit den i särklass vanligaste arten nära botten (figur 22). Den följs närmast av torsk, tånglake och rötsimpa och först därefter kommer de vanligaste sötvattenarterna abborre och mört. Till de tio vanligaste arterna räknas även skrubbskädda, oxsimpa, sik och gers. Stora och långsiktiga svängningar kan noteras för i stort sett alla domineranter över den 38 år långa undersökningsperioden. Torsk och mört minskar och skrubbskädda, oxsimpa och gers ökar över tiden⁴². Abundansen var låg för ett flertal arter under en period från senare delen av 1970-talet till mitten/slutet av 1980-talet (figur 22). Denna period sammanfaller med stora fångster av torsk. Torskfångsten nådde som mest nästan sjutton individer per nät och natt uttryckt som ett medelvärde för året. Detta kan jämföras med medelfångster som sällan översteg en torsk per nät och natt under hela perioden efter 1990.

⁴¹ Linjär regression, ytsatta nät, $p < 0,001$, $r^2 = 0,33$.

⁴² Linjär regression, torsk, $p < 0,001$, $r^2 = 0,41$; mört, $p < 0,05$, $r^2 = 0,11$; skrubbskädda, $p < 0,001$, $r^2 = 0,36$; oxsimpa, $p < 0,01$, $r^2 = 0,21$; gers, $p < 0,001$, $r^2 = 0,32$.



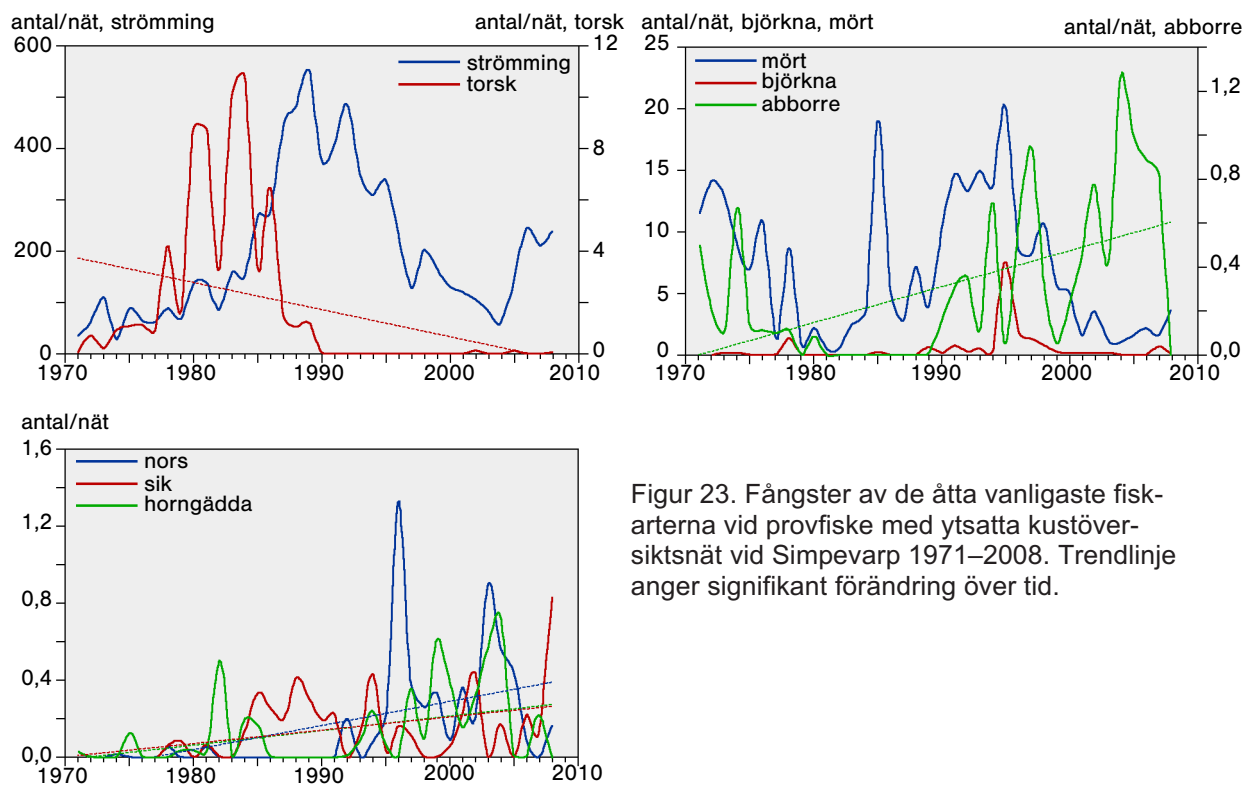
Figur 22. Trender för de tio vanligaste fiskarterna vid provfiske med bottensatta kustöversiktnät vid Simpevarp 1971–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

Torskens tillbakagång i slutet av 1980-talet följdes av en period på cirka tio år med förhållandevis höga tätheter av strömming, tånglake och rötsimpa. Även mört och sik fångades relativt rikligt under denna period. Slutet av 2000-talet karaktäriseras av små fångster av de tidigare starkaste dominanterna. Abborre, skrubbskädda, gers och oxsimpa förblev dock relativt vanliga under denna period.

Dominerande arter och deras trender i ytsatta nät

Strömming har dominerat fångsten i de ytsatta näten i än högre grad än i de bottensatta (figur 23). Till de åtta vanligaste arterna hör också mört, abborre, björkna, torsk, horngädda, nors och sik. Signifikanta långsiktiga förändringar har registrerats för fem av dessa; de flesta positiva⁴³. Endast torsken uppvisar en signifikant tillbakagång; den i stort sett försvann ur de ytnära nätfångsterna runt 1990. Strömmingen uppvisar ett likartat mönster som i de bottensatta näten, med höga tätheter runt 1990, följda av en längre tids vikande fångster. En relativt stark återhämtning kan dock ses mot slutet av perioden. Abborre, horngädda, nors och sik uppvisar alla signifikant

⁴³ Linjär regression, torsk, $p < 0,05$, $r^2 = 0,156$; abborre, $p < 0,01$, $r^2 = 0,26$; horngädda, $p < 0,01$, $r^2 = 0,17$; nors, $p < 0,01$, $r^2 = 0,25$; sik, $p < 0,01$, $r^2 = 0,17$.



Figur 23. Fångster av de åtta vanligaste fiskarterna vid provfiske med ytsatta kustöversikttnät vid Simpevarp 1971–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

positiva trender i fångsten. Den negativa trenden för mört i bottennäten saknar motsvarighet i de ytsatta näten, men i båda fallen finns en period med höga fångster med kulmen under första halvan av 1990-talet.

4.3 Rekrytering och tillväxt

4.3.1 Gonadskador

Under 1990-talet konstaterades skador på könsorganen hos flera fiskarter i kylvattenrecipienterna för kraftverken i såväl Oskarshamn som Forsmark. Ett stort antal prover insamlades och analyserades histologiskt av forskare i Vilnius, Litauen, där erfarenhet finns av liknande skador från bl a recipienten för Ignalinaverket. Ett vanligt symptom hos abborre är s k stenrom, vilket är rester av döda ägg som är under nedbrytning. Även andra störningar, t ex tecken på att celldöd har börjat, kan man se om man skär upp romsäckerna och studerar dess färg och struktur.

Skadebilden hos mört visade att en stor del av honorna bar på ägg som dött under utvecklingen och att könsorganens (gonadernas) funktion blivit arytmisk och inte längre kopplad till årstiderna (Lukšienė och Sandström, 1994). Senare studier tyder på att även andra arter drabbats. Uppenbara skador har konstaterats hos abborre och gädda. I Hamnefjärden och Forsmark är påverkan tydlig nog att kunna observeras med blotta ögat, fram för allt hos äldre fisk. En hög andel av de abborrar och mörtar som är större än 30 cm har haft så grava skador att de sannolikt inte längre kunnat fortplanta sig.

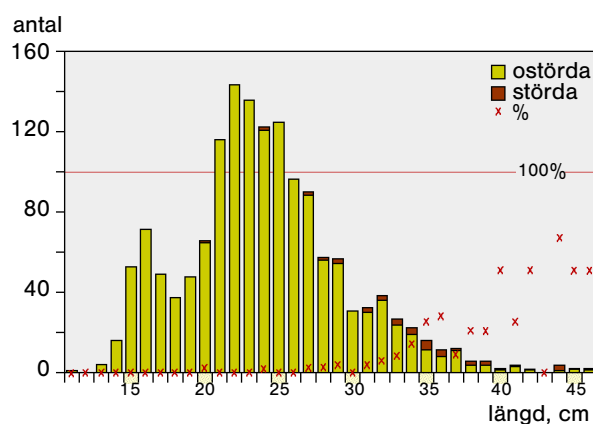
Metodik

Observationerna av fortplantningsstörningar föranledde uppföljande undersökningar av mört och abborre i Hamnefjärden, med Kvädöfjärden som referensområde. Undersökningarna utförs på de individer som insamlas för åldersanalys i Hamnefjärden sedan 1993 och i ett provfiske i oktober i Kvädöfjärden sedan 1997. Materialet omfattar fiskar i de storleksklasser som normalt förekommer i provfisket för abborre mellan c:a 15 och 45 cm längd och för mört mellan 15 och 30 cm längd. Förekomsten av störningar på gonaderna noteras på dissekerad fisk med blotta ögat.

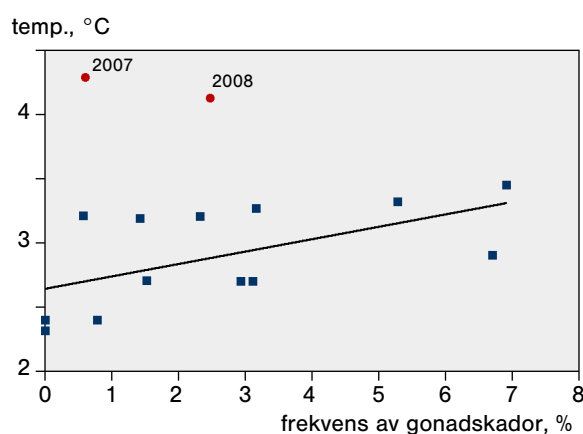
Resultat

Bland de cirka 1500 abborrar från Hamnefjärden som analyserades under perioden 2002–2008 hade cirka två procent för ögat synliga gonadstörningar. Frekvensen var som tidigare högst bland större fiskar (figur 24). Inom gruppen fiskar större än 30 cm registrerades gonadstörningar hos tolv procent av individerna under denna period. För att undvika en påverkan av varierande storlekssammansättning i fångsten har frekvensen beräknats för abborrar inom storleksintervallet 20–35 cm. På grund av indikationer vid tidigare analyser har frekvensen sedan relaterats till vattentemperaturen under vintern, uttryckt som medeltemperaturen i kylvattenintaget för OII under februari och mars. Sett över hela perioden med tillgängliga data, från 1994 till och med 2008, finns inget samband mellan vattnets temperatur under vintern och före-

Figur 24. Förekomst av gonadskador hos abborrar av olika storlekar från Hamnefjärden under perioden 2002–2008.



Figur 25. Frekvens av gonadskador hos 20–35 cm långa abborrar från Hamnefjärden under åren 1994–2008, avsatt mot det inkommande kylvattnets medeltemperatur under februari–mars vid block O2 vid Oskarshamnsverket. Åren 2007–2008 markeras med avvikande symboler. Trendlinje anger signifikant förändring över tid (1994–2006).



komsten av störda gonader (figur 25). Ett signifikant positivt samband fanns dock till och med 2006⁴⁴. Gonadstörningarna i Hamnefjärden har även jämförts med bakgrundstemperaturen under vintern ute i öppna havet på station BY31, Landsortsdjupet. För perioden 1994–2006 är sambandet starkare än vid en jämförelse med uppmätta intagstemperaturen⁴⁵, och sambandet är nästan signifikant för hela perioden 1994–2008 ($p=0,06$). Frekvensen tenderar att minska över tid, men förändringen är inte statistiskt signifikant (figur 26).

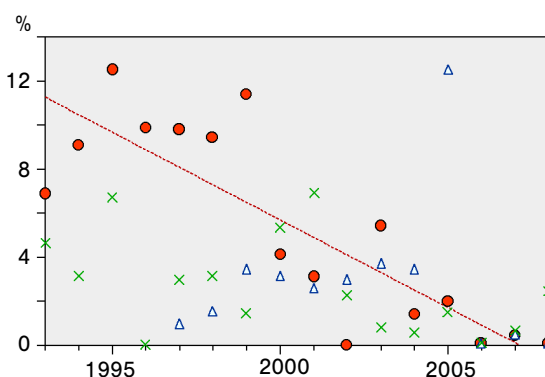
Under åren 1997–2008 analyserades över 2500 abborrar från Kvädöfjärden med avseende på förekomst av gonadskador. Endast tre individer bar för ögat synliga tecken på gonadskador.

⁴⁴ Linjär regression, $p<0,05$, $r^2=0,35$.

⁴⁵ Linjär regression, $p<0,01$, $r^2=0,47$, BY31, mars, 10 m vattendjup.

Figur 26. Frekvens av gonadskador hos abborre (20–35 cm) och mört (alla storlekar) från Hamnefjärden (Si) under åren 1994–2008 och hos mört från Kvädöfjärden (Kv) 1997–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

× abborre (Si) ● mört (Si) △ mört (Kv)



Frekvensen av gonadskador hos mört i Hamnefjärden var 1,5% hos cirka 1 200 analyserade individer 2002–2008. Frekvensen hos mört från Kvädöfjärden var något högre under samma period (2,1%). Även hos mörten i Hamnefjärden fanns en tendens till stigande frekvens med ökande storlek. Några samband med vattentemperaturen under vintern kunde inte påvisas. Andelen skador minskade signifikant över tid från 1993 till 2008⁴⁶ (figur 26). Motsvarande utveckling förekom inte i Kvädöfjärden. Den höga frekvensen gonadskador 2005 baserar sig där på ett prov med endast åtta fiskar.

4.3.2 Årsklasstyrka hos abborre

Metodik

Årsklassernas storlek är ett mått på i vilken grad fortplantningen varit framgångsrik. Den kan därför användas som ett mått på eventuell påverkan på föräldragenerationen eller på tidiga livsstadier. Relativ årsklasstyrka beräknas på basen av information från åldersfördelningar av vuxen fisk. Från Simpevarp och Kvädöfjärden genomförs årligen åldersanalyser av cirka 300 honor av per område. Ytterligare 200 åldersbestäms årligen från fångsten i sommarens nätfisken i Hamnefjärden. Den årliga rekryteringsframgången mäts även i Hamnefjärden genom täthetsuppskattningar av årsyngel under hösten. Sådan information saknas från de andra områdena.

Abborrens årsklasstyrka anger hur starkt rekryteringen från ett visst år bidrar till det totala beståndets storlek. Den mått beräknas enligt en metod rekommenderad av Svärdsen (1961) och modifierad av Neuman (1974), genom att andelen av en viss

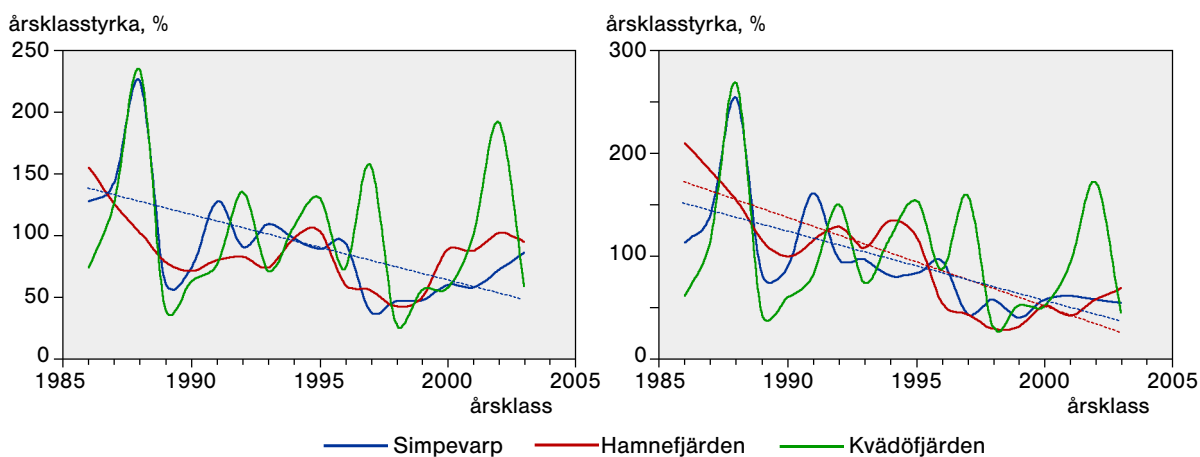
⁴⁶ Linjär regression, $p < 0,001$, $r^2 = 0,70$.

årsklass i fångsten ett enskilt år relateras till medelvärdet för motsvarande åldersgrupp under en följd av år. Värdet över 100 för ett visst år anger att det årets rekrytering bidragit mer än genomsnittet till det totala beståndets storlek. En brist med metoden är att den inte är jämförbar mellan tidsperioder, till exempel så riskerar man att överskatta årsklasstyrkan om rekryteringen varit svag en längre period och vice versa. En alternativ metod är tillämpa samma princip som vid beräkningen av relativ årsklasstyrka, men att i stället relatera fångst per fiskeansträngning för respektive åldersgrupp till den genomsnittliga fångsten under en viss tidsperiod. Ingen av metoderna tar dock hänsyn till årsvisa variationer i fiskens fångstbarhet, som kan påverkas av till exempel skillnader i vattentemperatur.

Årsklasstyrkan i Hamnefjärden, den omgivande skärgården vid Simpevarp och i referensområdet Kvädöfjärden beräknas här enligt båda metoderna, med utgångspunkt i den årliga andelen i fångsten av två till sex år gamla fiskar.

Resultat

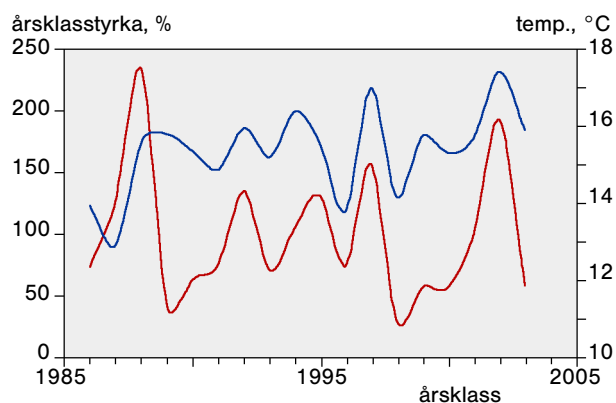
Mellanårsvariation av årsklasstyrka hos abborre i Hamnefjärden och i skärgården vid Simpevarp skiljer sig markant från mönstret i Kvädöfjärden, oavsett vilken beräkningsmodell som används (figur 27). Åren 1988, 1992, 1995, 1997 och 2002 producerade starka årsklasser i Kvädöfjärden. Fram till de första åren av 1990-talet ses en tydlig samvariation mellan skärgården söder om Simpevarp och Kvädöfjärden. Denna tycks sedan upphöra och följs av en period under 1990-talet då höga värden i referensområdet motsvaras av lägre värden i Simpevarp. Från mitten av 1990-talet ligger index för årsklasstyrkan under medelvärdet enligt båda beräkningsmodellerna. Årsklasstyrkan i den starkt kylvattenpåverkade Hamnefjärden saknar i stort de markerade toppar som vissa år uppträder i de andra områdena. Liksom i den närliggande skärgården noteras flera år med låga index efter mitten av 1990-talet, i synnerhet då styrkan beräknats enligt fångsten per fiskeansträngning. Ett positivt samband finns mellan årsklasstyrkan i skärgården vid Simpevarp och yngeltätheten i Hamnefjärden



Figur 27. Abborrens årsklasstyrka i skärgården vid Simpevarp, i Hamnefjärden och i Kvädöfjärden, beräknad på ålderssammansättningen i fångsten åren 1989–2008 enligt Neuman 1974 (vänster) och enligt fångst per ansträngning (höger). Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

Figur 28. Årsklasstyrkan hos abborre i Kvädöfjärden uppvisar en tydlig samvariation med ytvattnets medeltemperatur under sommaren (maj–september).

— årsklasstyrka enligt Svärdsön
— temperatur, °C



för perioden 1986–2003⁴⁷ och mellan yngeltäthet och årsklasstyrka i Hamnefjärden enligt den beräkningsmetod som grundar sig på fångst per fiskeansträngning⁴⁸.

I Kvädöfjärden syns ett tydligt samband mellan årsklassens styrka och vattnets medeltemperatur under sommaren (figur 28). Detta samband är signifikant för båda beräkningsmodellerna, förutsatt att de tre första åren (1986–1988) inte medräknas⁴⁹. Samband av detta slag saknas helt för de båda områdena vid Simpevarp.

Årsklasstyrkan i Simpevarp uppvisar en vikande tendens, i synnerhet då den beräknats med utgångspunkt i den årliga fångsten per fiskeansträngning (figur 27). Trenden för

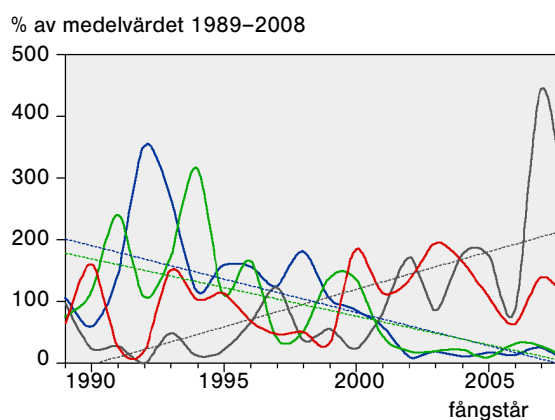
⁴⁷ Linjär regression_{1986–2003}, $p < 0,01$, $r^2 = 0,35$ för beräkning enligt Svärdsön, $p < 0,05$, $r^2 = 0,33$ för beräkning enligt fångst per ansträngning.

⁴⁸ Linjär regression_{1986–2003}, $p < 0,05$, $r^2 = 0,29$ för beräkning enligt fångst per ansträngning.

⁴⁹ Linjär regression_{1989–2003}, $p < 0,01$, $r^2 = 0,52$ för beräkning enligt Svärdsön, $p < 0,05$, $r^2 = 0,38$ för beräkning enligt fångst per ansträngning.

Figur 29. Abundansen av 2-åriga och 4–6-åriga abborrar i Hamnefjärden och i skärgården söder om Simpevarp 1989–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

— Hamnefjärden 4–6 år
 — Hamnefjärden 2 år
 — Simpevarp utanför Hamnefjärden 4–6 år
 — Simpevarp utanför Hamnefjärden 2 år



årsklasserna 1986–2003 är signifikant negativ i både Hamnefjärden och omgivande skärgård⁵⁰. En analys av utvecklingen av abundansen av enskilda åldersgrupper i fångsten visar tydligt att vikande fångster av äldre fiskar till stor del förklarar denna utveckling, genom att deras bidrag blir mindre vid beräkningen av årsklasstyrkan (figur 29). Utvecklingen för 4–6 år gamla abborrar är signifikant negativ både i Hamnefjärden och i skärgården utanför⁵¹. Inne i Hamnefjärden är utvecklingen signifikant positiv för tvååriga abborrar⁵², samtidigt som abundansen för motsvarande åldersgrupp har varit oförändrad i skärgården utanför Simpevarp.

4.3.3 Täthet och tillväxt hos yngel

Metodik

Årsynglens täthet och tillväxt i Hamnefjärden registreras varje höst med hjälp av mindre undervattensdetonationer. Ett referensmaterial för att uppskatta tillväxt samlas samtidigt in i den närbelägna, men av kylvatten opåverkade Getbergsfjärden (figur 1). Sprängningar genomförs på tio fasta stationer och upprepas vid två till tre tillfällen.

Resultat

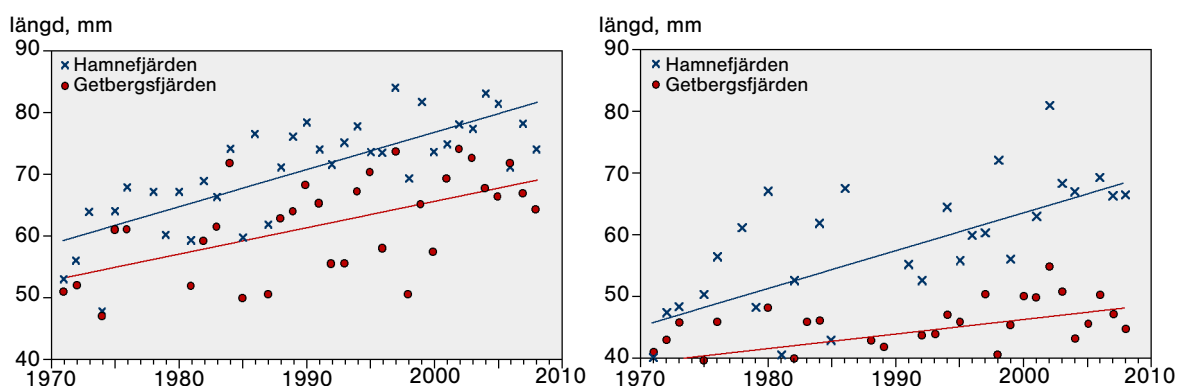
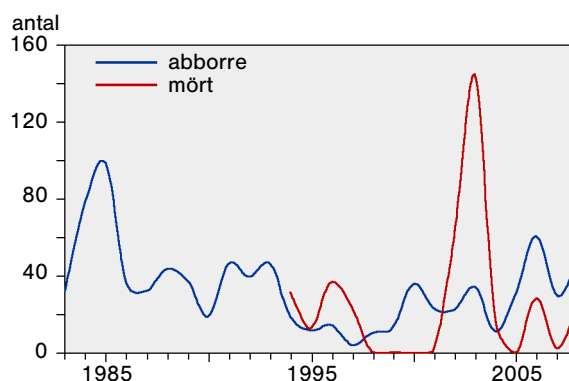
Förekomsten av abborryngel i Hamnefjärden har inte förändrats signifikant över tid sedan 1983 (figur 30). Medeltätheten var 34 yngel per skott under hela perioden. För yngel av mört finns kvantitativa data sedan 1994. Några samband med index för årsklasstyrka eller täthet av äldre fiskar från motsvarande årsklasser har inte kunnat

⁵⁰ Linjär regression, $p < 0,001$, $r^2 = 0,73$ för Hamnefjärden, $p < 0,01$, $r^2 = 0,48$ för Simpevarp.

⁵¹ Linjär regression, $p < 0,001$, $r^2 = 0,47$ för Hamnefjärden, $p < 0,01$, $r^2 = 0,43$ för Simpevarp.

⁵² Linjär regression, $p < 0,001$, $r^2 = 0,47$ för Hamnefjärden.

Figur 30. Antal årsungar av abborre och mört per skott vid sprängningar i Hamnefjärden åren 1983–2008. Medelvärde för alla omgångar.



Figur 31. Medellängd hos årsungel av abborre (över) och mört (under) i Hamnefjärden och Getbergsfjärden 1971–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

beläggas. Inte heller mörtens täthet har förändrats. Mellanårsvariationerna tenderar att vara större för mörtungel, som har saknats helt under vissa år.

Abborrynglens medellängd har ökat signifikant i Hamnefjärden såväl som i referensområdet i Getbergsfjärden (figur 31)⁵³. Ett abborryngel var i storleksordningen 50–60 mm långt i början av 1970-talet och skillnaden mellan områdena var liten. Under senare år har medellängden varierat mellan 65 och 80 mm och sedan 1990 har abborrarna i Hamnefjärden varit upp till 15–20 mm längre under ett flertal år.

Även mörtynglens medellängd har ökat signifikant i båda områdena och ökningen har varit tydligast i Hamnefjärden (figur 31)⁵⁴.

⁵³ Linjär regression, $p < 0,001$, $r^2 = 0,60$ för abborre i Hamnefjärden, $p < 0,001$, $r^2 = 0,34$ för abborre i Getbergsfjärden.

⁵⁴ Linjär regression, $p < 0,001$, $r^2 = 0,43$ för mört i Hamnefjärden, $p < 0,01$, $r^2 = 0,24$ för mört i Getbergsfjärden.

4.3.4 Tillväxt hos abborre

Metodik

Tillväxten hos abborre analyseras med hjälp av de årsringar som anläggs i fiskarnas gällock under varje tillväxtsång. För varje provtagning fisk erhålls en uppskattning av fiskens längd efter varje tillväxtsång genom sk tillbakaräkning (Agnedal, 1968). Åldersprover från abborre har insamlats från provfiskena i Simpevarp och Kvädöfjärden sedan undersökningarna inleddes i början av 1960-talet. Under åren 1971–1987 fanns en övre storleksgräns för insamlingen i Simpevarp vid en längd av 25 cm (Thoresson, 1992, 1996b). Denna begränsning fanns även i Kvädöfjärden, men fanns kvar där t o m 1990. Före 1978 ingick båda könen i provtagningen, därefter endast honor. Inledningsvis samlades alla åldersprover in under maj och juni. Under en övergångsperiod runt mitten av 1980-talet övergick provtagningen från försommaren till att enbart omfatta ett årligt prov från augusti månad.

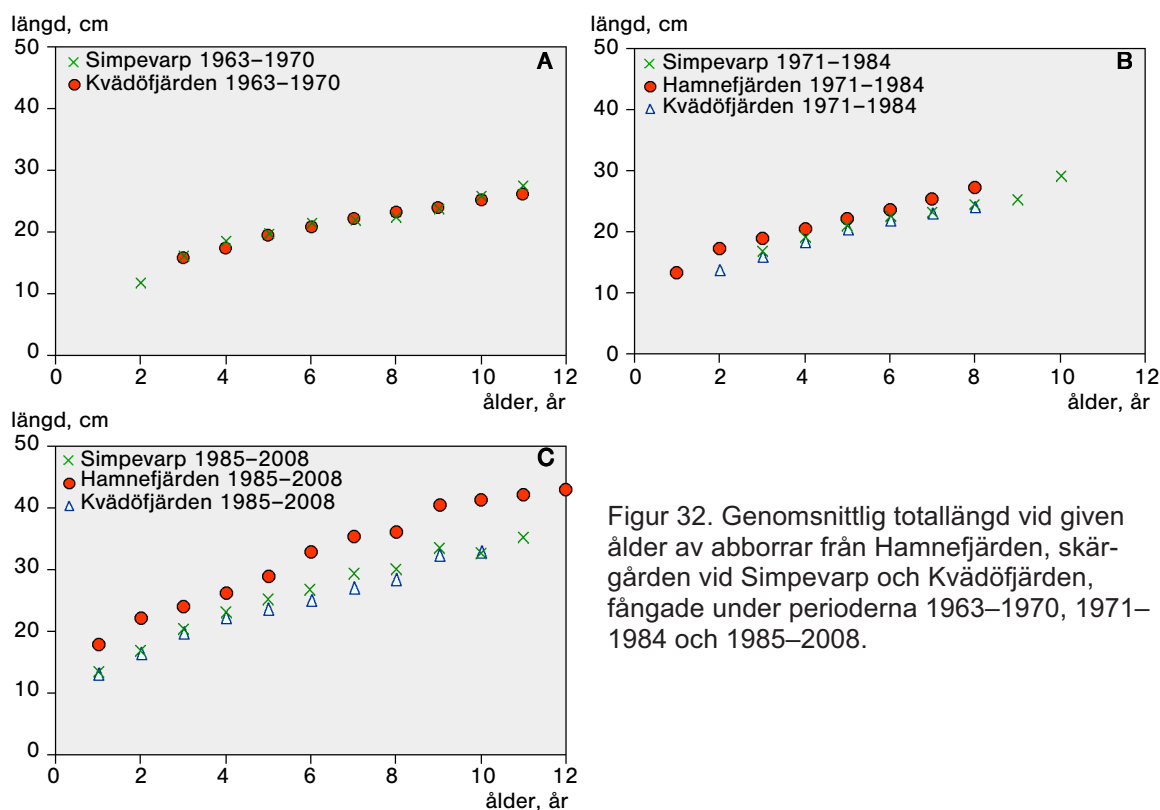
Resultat

Längden vid samma ålder skiljer sig inte mellan Simpevarp och referensområdet Kvädöfjärden under perioden innan den första reaktorn började driftsättas 1971 (figur 32a). Under perioden med en till två reaktorer i drift 1971–1984 föreligger en obetydlig skillnad mellan referensområdet och de i lägre grad kylvattenpåverkade skärgårdar som omger kraftverket i Simpevarp (figur 32b). Däremot ses en signifikant skillnad i tillväxthastighet hos abborrar som fångats inne i Hamnefjärden jämfört med de andra områdena. Abborrar i motsvarande ålder var i storleksordningen 2–4 cm längre där än i referensområdet under denna period⁵⁵.

Skillnaden mellan Hamnefjärden och de båda andra områdena blir ännu tydligare under perioden efter 1984, då kraftverket var fullt utbyggt (figur 32c)⁵⁶. Nu framträder även en tendens till skillnad mellan skärgården vid Simpevarp och Kvädöfjärden.

⁵⁵ ANOVA, 1971–1984, $F_{1,1} = 60$, $P < 0,001$.

⁵⁶ ANOVA, 1985–2008, $F_{1,1} = 131$, $P < 0,001$.



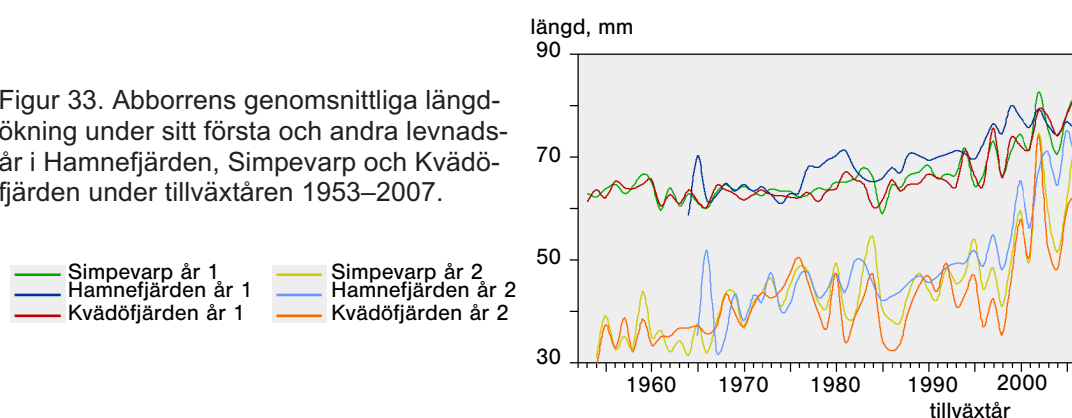
Figur 32. Genomsnittlig total längd vid given ålder av abborrar från Hamnefjärden, skärgrården vid Simpevarp och Kvädöfjärden, fångade under perioderna 1963–1970, 1971–1984 och 1985–2008.

Förändrade provtagningsrutiner har sannolikt bidragit till de förändringar hos tillväxten som beskrivs ovan. Analysen grundar sig här på fiskarnas total längd vid fångstillfället. Den senareläggning av provtagningen som genomfördes under 1980-talet har sannolikt bidragit till den observerade ökningen av medellängden under perioden 1985–2008. Däremot bör inte förhållandet mellan de olika lokalerna ha påverkats i nämnvärd grad, eftersom metodiken i stort har förändras synkront i de olika områdena. Tillämpning av tillbakaräknade längder erbjuder ett verktyg att undanröja de skevheter som kan introduceras av varierande provtagningsstider. Tillbakaräkning ger en uppskattning av den enskilda fiskens längd efter varje år som den vuxit till.

Den årliga längdökningen under fiskarnas första och andra tillväxtår perioden 1953–2007, baserad på tillbakaräknade längder från c:a 25 000 analyserade abborrar, visar att det verkligen har inträffat en förändring av tillväxthastigheten (figur 33). Trenden är starkt signifikant i samtliga fall⁵⁷. En tydlig ökning av förstaårstillväxten i Hamnefjärden observeras från och med mitten av 1970-talet, och en svagare men

⁵⁷ Linjär regression, $p < 0,001$.

Figur 33. Abborrens genomsnittliga längdökning under sitt första och andra levnadsår i Hamnefjärden, Simpevarp och Kvädöfjärden under tillväxtåren 1953–2007.



ändå signifikant ökning sågs även hos i tillväxten hos tvååringar⁵⁸. Motsvarande ökning sågs inte i de övriga områdena. En annan period av ökad tillväxthastighet observerades från och med slutet av 1990-talet⁵⁹. En likartad ökning inträffade då även i skärgården utanför Hamnefjärden och i Kvädöfjärden ungefär samtidigt⁶⁰.

Förstaårstillväxten var snabbare i Hamnefjärden än i båda övriga områden sett över hela perioden 1964–2007⁶¹. Andraårstillväxten skilde sig signifikant mellan alla tre områdena under motsvarande period⁶².

Den långsiktiga utvecklingen hos tillväxthastigheten och dess mellanårsvariationer är starkt knuten till utvecklingen av ytvattnets medeltemperatur under sommaren. Vattentemperaturen på 1 m djup i Kvädöfjärden förklarar 60–70% av tillväxtens variation under de fyra första tillväxtåren, i Kvädöfjärden såväl som i skärgården vid Simpevarp. Förklaringsgraden är något lägre för tillväxten i Hamnefjärden, med för alla tre områdena finns ett starkt signifikant samband med vattentemperaturen i Kvädöfjärden⁶³.

⁵⁸ T-test av skillnaden mellan tillväxt 10 år före respektive 10 år efter 1977 för ettåringar, samt 1976 för tvååringar, $p < 0,05$.

⁵⁹ T-test av skillnaden mellan tillväxt 10 år före och 10 år efter 1996 för ettåringar, samt 1997 för tvååringar, $p < 0,05$.

⁶⁰ Simpevarp: T-test av skillnaden mellan tillväxt 10 år före respektive 10 år efter år 1997 för ettåringar, samt 1998 för tvååringar, $p < 0,05$. Kvädöfjärden: 2002 för ettåringar, samt 2000 för tvååringar, $p < 0,05$.

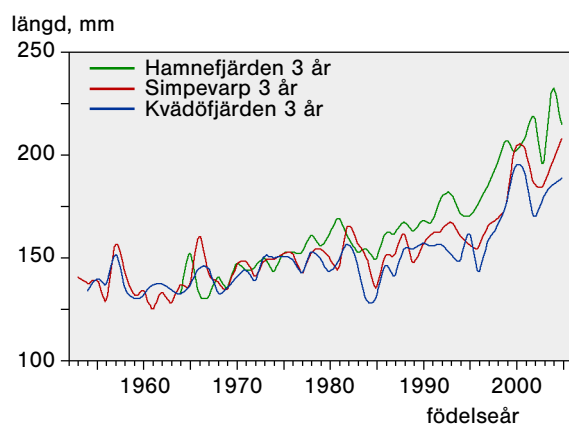
⁶¹ ANOVA, 1964–2007, $F_{1,2} = 16$, $P < 0,001$.

⁶² ANOVA, 1965–2007, $F_{1,2} = 17$, $P < 0,001$.

⁶³ Linjär regression, $p < 0,001$ för Hamnefjärden, Simpevarp och Kvädöfjärden.

En treårig abborre var 13–15 cm lång i alla tre områdena fram till slutet av 1970-talet (figur 34). Därefter ökar medellängden i en accelererande takt ända in på 2000-talet. Ett tydligt bakslag för tillväxten ses dock i samband med de kalla åren i mitten av 1980-talet. Abborrar i Hamnefjärden, födda under 2000-talet, var 20–23 cm långa efter sitt tredje tillväxtår, vilket motsvarar en vikt av 90–150 g. Detta kan jämföras med att en 15 cm lång abborre väger cirka 40 g. Tillväxthastigheten hos abborrar i Hamnefjärden har alltså mer än fördubblats sedan den första reaktorn togs i drift 1971. En tydligt ökning av tillväxthastigheten inträffar även i skärgården runt Simpevarp och i Kvädöfjärden. Medellängden vid tre års ålder under perioden med full drift 1985–2008 skiljer sig tydligt mellan områdena⁶⁴, vilket starkt indikerar en effekt av kylvattenpåverkan i Simpevarpsområdet. Temperaturen bidrar även starkt till den generella ökningen, men här kan även andra faktorer ha bidragit, t ex en ökande halt av närsalter i Östersjön och därmed ökad produktion av bytesobjekt.

Figur 34. Medellängd vid tre års ålder av abborrar födda åren 1953–2005 i Hamnefjärden, Simpevarp och Kvädöfjärden



4.4 Fisksjukdomar

4.4.1 Metodik

Förekomsten av yttre sjukdomstecken hos den provfiskade fisken observeras visuellt i samband med registrering av fångsten. Samtliga fiskar kontrolleras som regel, men vid stora fångster av t ex strömming under vårfisket ställs något lägre krav.

⁶⁴ Parad T-test, $p < 0,001$ vid samtliga jämförelser.

Följande symptom på sjukdom redovisas:

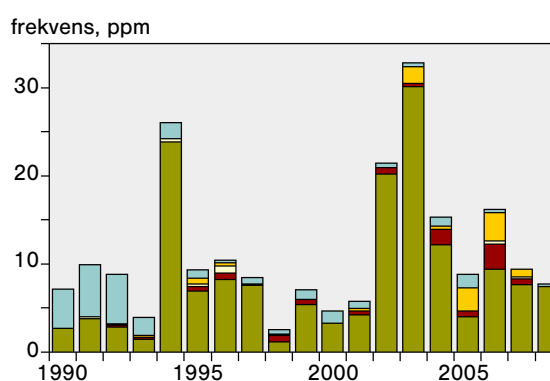
- 1) Hudsår
- 2) Skelettdefekter
- 3) Tumörer
- 4) Fenröta, vilket är en bakterieframkallad sjukdom med mycket snabbt förlopp som kan drabba de flesta fiskarter. Sjukdomen yttrar sig som en fransning av de yttre delarna av fenan och i ett senare stadium av lossnade fenstrålar.
- 5) *Lymfocystis*, vilket är en virussjukdom som orsakar druvliknande hudtumörer hos främst flundra.
- 6) "Övriga"

4.4.2 Hamnefjärden

Fiske med biologiska länkar

Under perioden 1990–2008 har cirka 700 (1%) av totalt närmare 70 000 fiskar från Hamnefjärden uppvisat yttre sjukdomstecken. De sex arterna abborre, björkna, gers, gädda, mört och sarv svarade i genomsnitt för 95% av fångsten med nätfiske i Hamnefjärden under denna period. Förekomsten av fisksjukdomar varierade hos denna artgrupp från som minst 0,3% 1998 till som högst 3,3% 2003 (figur 35). Hudsår var den helt dominerande sjukdomen även om gruppen "övriga" var relativt vanlig under tidigt 1990-tal. Procentuellt var gäddan den mest sjukdomsdrabbade arten med en genomsnittlig frekvens av cirka 8%, men bilden blir osäker eftersom fångsten av gäddor är relativt liten. Av de vanligare förekommande arterna var mört och björkna de mest sjukdomsdrabbade, med genomsnittliga frekvenser av 1,6–1,7%

Figur 35. Frekvens (ppm) av sjukdomar hos artgruppen abborre, mört, björkna, gers, gädda och sarv, fiskade med nät i Hamnefjärden under vår och sensommar 1990–2008.



under perioden 1990–2008. Dessa båda arter har varit relativt hårt drabbade av hudsår, främst under vårperioden. Mellanårsvariationerna har dock varit stora och några trender över tid eller samband med vattentemperaturen i Hamnefjärden har inte kunnat beläggas för frekvensen av hudsår hos någon enskild fiskart.

Skelettdefekter och fenröta är symptom som ökat signifikant under undersökningsperioden, sammantaget inom den ovan angivna artgruppen⁶⁵. Kategorin ”övriga” var relativt vanlig i början av 1990-talet, till följd av en hög andel mekaniska skador hos flera arter och s k godartade epitelybildningar hos mört, främst under lektiden på våren. Sedan 1993 har prevalensen av övriga skador legat under 0,2% och har under senare tid främst utgjorts av individer med förkortade gällock.

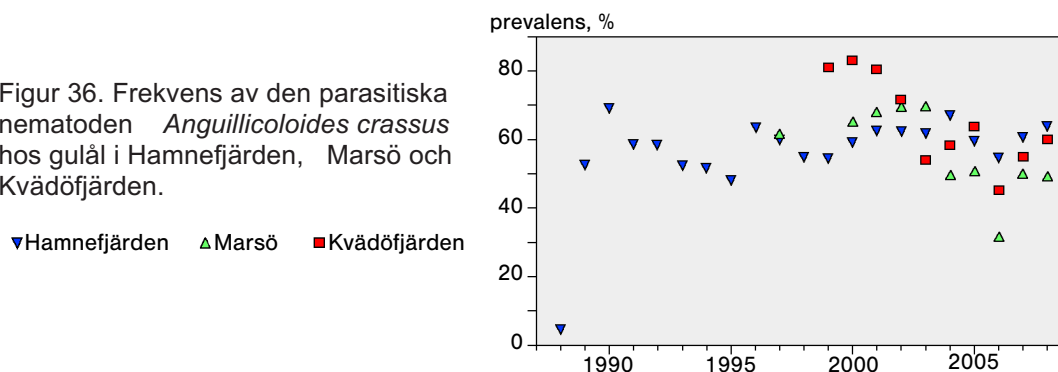
Ryssjefiske

Den totala sjukdomsfrekvensen hos de vanligaste arterna (abborre, björkna, gers, gulål, mört och sarv) varierade 1990–2008 mellan 0,3 och 2,9% per år, med de högsta noterade värdena 1990 och 1997. Den totala fångsten av gulål uppgick under samma period till 7757 fiskar. Hudsår var det vanligaste symptomet hos gulålen i Hamnefjärden. Frekvensen av sår hos gulål varierade mellan 0,3 och 4,2% per år, men några trender kan inte skönjas. Det näst vanligaste symptomet var tumörer, som främst utgjordes av den arts specifika blomkålssjukan. Sjukdomen yttrar sig som en godartad svulst som oftast sitter vid ålens käkregion. Tumören kan växa sig så stor att fisken har svårt att äta. I medeltal påträffades tumörer hos 0,5% av ålarna i Hamnefjärden.

Infestering med nematoder av släktet *Anguillicoloides* observerades för första gången år 1988 i Hamnefjärden och har sedan dess stått under särskild observation. Den upp till 5 cm långa parasiten uppträder i ålens simblåsa, där den livnär sig av värddjurets blod. Parasiten har införts till Europa från Sydostasien och är numera etablerad i Hamnefjärden. Under vårarna genomförs kontroll av 200 ålar från Hamnefjärden. Sedan 1990 har frekvensen infesterade ålar varit runt 60% (figur 36). De senaste tio åren har antal parasiter i simblåsan räknats. Den största delen av ålarna

⁶⁵ Linjär regression, fenröta $p < 0,01$, $r^2 = 0,26$; skelettdefekter $p < 0,01$, $r^2 = 0,28$.

Figur 36. Frekvens av den parasitiska nematoden *Anguillicoloides crassus* hos gulål i Hamnefjärden, Marsö och Kvädöfjärden.

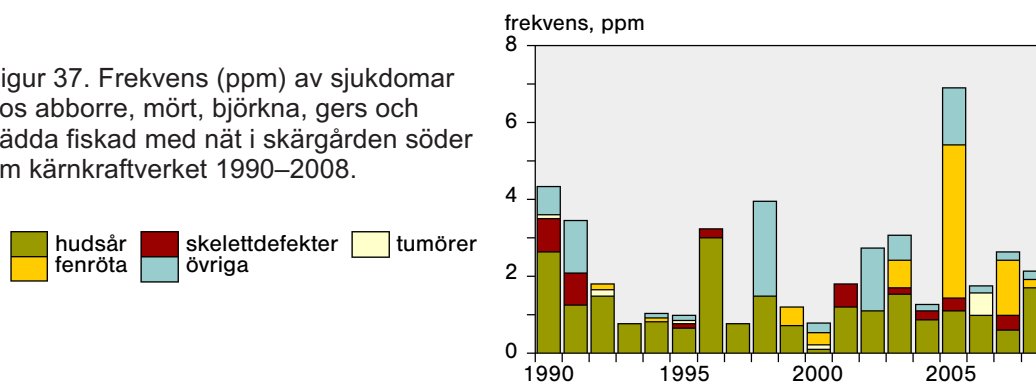


var lindrigt infesterade. Av de parasiterade ålarna hade majoriteten (70%) färre än fem parasiter. Som mest observerades 116 parasiter i en ål. Antalet parasiter i simblåsan hos de infesterade ålarna har inte förändrats över tid. En kontroll av gulål från yrkesfisket i Kvädöfjärden och Marsö visar att frekvensen var likartad i dessa områden under det senare decenniet (figur 36).

4.4.3 Sjukdomar i skärgårdens nätfiske

Under perioden 1990–2008 fångades 131 409 fiskar med provfiskenet i skärgården söder om kärnkraftverket (figur 37, sektion 1 och 6). Abborre, björkna, mört, gädda, gers och sarv utgjorde 94% eller mer av det antal fiskar som fångades varje år i området. Inom denna grupp av arter hade som mest 0,7% av individerna yttre symptom på sjukdomar (figur 37). Den genomsnittliga sjukdomsfrekvensen var 0,24% över hela perioden 1990–2008. De sjuka fiskarna utgjordes till största delen av abborrar med fenröta, vilka förklarar den förhållandevis höga nivån 2005. Av abborrarna hade 1,6% symptom på fenröta detta år.

Figur 37. Frekvens (ppm) av sjukdomar hos abborre, mört, björkna, gers och gädda fiskad med nät i skärgården söder om kärnkraftverket 1990–2008.



Liksom i Hamnefjärden var gäddan den mest sjukdomsdrabbade arten. Sjukdomssymptom noterades hos 3% av gäddorna, varav 2% utgjordes av hudsår. Sjukdomsfrekvensen hos abborre, sarv och björkna var i genomsnitt c:a 0,3% per år under perioden 1990–2008, medan gers och mört var något lindrigare drabbade. Hudsår var det vanligaste symptomet (0,1– 0,3%), mest förekommande hos björkna och mört. Gersen området har inte haft några sår sedan 1993 och sarv inte sedan 1998. Frekvensen av hudsår avtar signifikant under perioden 1990–2008 för hela artgruppen tillsammans och hos arterna björkna, gers och sarv⁶⁶.

4.4.4 Sjukdomar i fisket med kustöversiktsnät

Fisket med kustöversiktsnät (djupnät) i havsbandet vid Simpevarp fångade sammanlagt 140 000 fiskar under perioden 1990–2008. Strömmingen dominerade starkt detta fiske med nästan 90% av antal fångade fiskar. Strömming, tånglake, skrubbskädda, rötsimpa, abborre och mört, utgjorde 97% av fångsten i genomsnitt per år. Förekomsten av för ögat synliga sjukdomar i denna grupp var mycket låg för hela perioden (<1%), mycket beroende på att strömmingen var lindrigt drabbad. Förekomsten av sjukdomar i den totala fångsten av alla arter var i genomsnitt 0,25% och minskade signifikant över tiden⁶⁷.

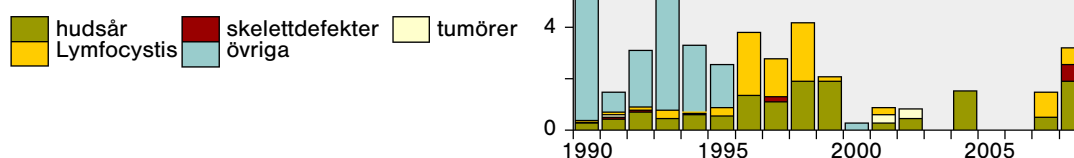
I början av 1990-talet drabbades rötsimpan av en parasiterande trematod, *Diplostomum* sp, som orsakade starkt grumlade ögonlinser. Infesteringen kulminerade 1993 och har därefter avtagit och har inte registrerats sedan 1995. Dessförinnan orsakade parasiten att kategorin ”övriga symptom” var den mest förekommande i fisket (figur 38).

De vanligaste enskilda symptomen har varit varit hudsår och *Lymfocystis*, med en frekvens av 0,07 respektive 0,04% i hela fångsten (figur 39). Hudsår var vanligast hos mört och flundra. *Lymfocystis* är en virussjukdom som orsakar druvliknande tumörer på fiskens hud och fenor, i första hand hos flundra. Frekvensen av hudsår och *Lymfocystis* var högst under 1990-talet, då upp till 10–12% av flundrorna bar på endera av

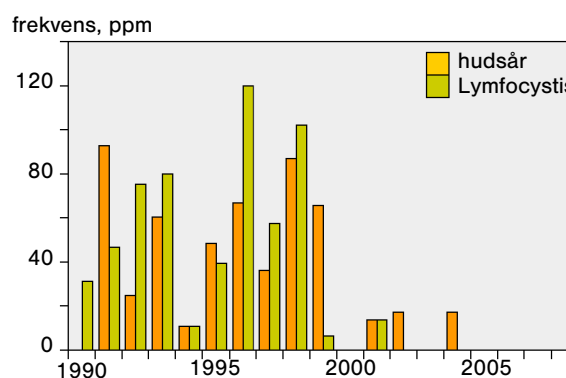
⁶⁶ Linjär regression, de sex vanligaste arterna $p < 0,05$, $r^2 = 0,31$; björkna $p < 0,05$, $r^2 = 0,25$; gers $p < 0,01$, $r^2 = 0,37$; sarv $p < 0,05$, $r^2 = 0,08$.

⁶⁷ Linjär regression, $p < 0,05$, $r^2 = 0,29$.

Figur 38. Frekvens (ppm) av sjukdomar hos abborre, mört, rötsimpa, skrubbskädda, strömming och tånglake i djupnätsfisket 1990–2008.



Figur 39. Frekvens av hudsår och *Lymfocystis* hos skrubbskädda i djupnätsfisket 1990–2008.



symptomen (figur 39). Båda symptomen var därefter sällsynta under 2000-talet. Frekvensen av hudsår hos mört var mindre än 1%, med undantag av 2004 och 2007–2008, då 4–7% av mörtarna hade sår.

4.5 Yrkesfiskets fångster av ål

4.5.1 Metodik

Journalföring av yrkesfiskets fångster påbörjades redan 1962 med syftet att belysa situationen för kommersiellt värdefulla fiskarter i påverkansområdet och i referensområdet i Kvädöfjärden samt att studera en eventuell påverkan av kraftverkets drift. I denna rapport behandlas fångster av blankål från fisket med ålflytgarn i Dragskär och Marsö nära Simpevarp och i Kvädöfjärden för perioden 1972–2008. En journalförare vid Dragskär och den i Kvädöfjärden utgick dock från och med 1999 respektive 2002 på grund av att fisket upphörde. I Kvädöfjärden återupptogs dock år 2004 en del av det gamla blankålsfisket av en annan fiskare. Journaler från detta fiske inkom under 2005–2008, men statistiken bör användas med en viss försiktighet, då fiskelokaler och redskap ej är helt identiska med dem som redovisades fram till och med år 2001.

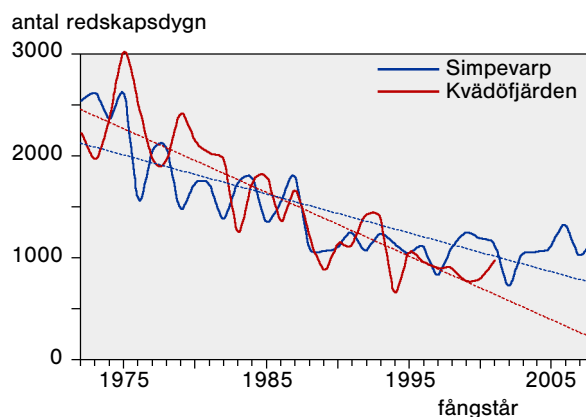
Journalföringen tillgår så att fiskaren bokför all landad fångst från varje enskilt redskap vid varje vittjningstillfälle. För blankål bokförs både antalet landade fiskar och deras sammanlagda vikt.

4.5.2 Resultat

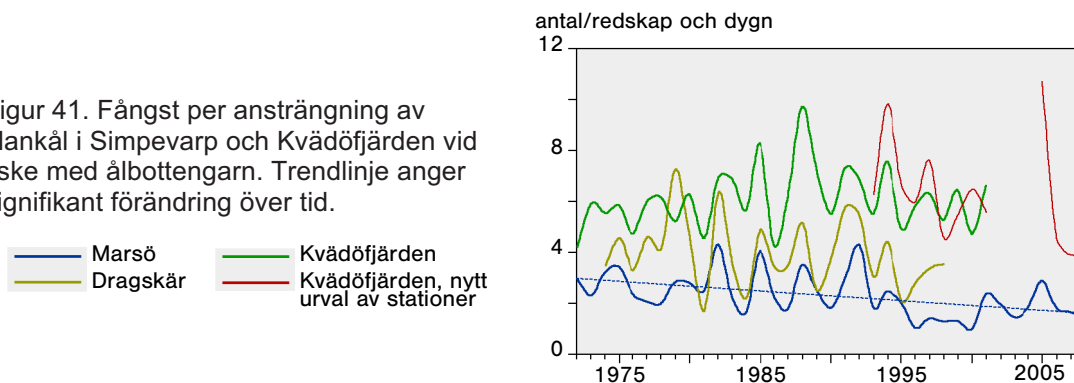
Det totala fiskeansträngningen har minskat avsevärt vid Marsö såväl som i referensområdet⁶⁸ (figur 40). Nedgången vid Marsö motsvarar en ungefärlig halvering av antalet redskapsdygn mellan 1972 och 2008. I Kvädöfjärden minskades fiskets omfattning något mera fram till dess att det upphörde med dåvarande utförare efter 2001.

Fångstnivåerna inom blankålsfisket i de tre områdena har varit väl korrelerade med avseende på mellanårsvariationer⁶⁹ (figur 41). Fångsten per fiskeansträngning vid

Figur 40. Fiskeansträngning med ålflytgarn vid Marsö och i Kvädöfjärden 1972–2008. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.



Figur 41. Fångst per ansträngning av blankål i Simpevarp och Kvädöfjärden vid fiske med ålbottengarn. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.



⁶⁸ Linjär regression, Marsö, $p < 0,001$, $r^2 = 0,67$; Kvädöfjärden, $p < 0,05$, $r^2 = 0,79$.

⁶⁹ Linjär regression, Marsö–Dragskär, $p < 0,001$, $r^2 = 0,39$; Marsö–Kvädöfjärden, $p < 0,05$, $r^2 = 0,18$; Dragskär–Kvädöfjärden, $p = 0,18$, $r^2 = 0,07$.

Marsö uppvisar en signifikant negativ utveckling⁷⁰, driven av en något lägre nivå efter mitten av 1990-talet. I de övriga områdena ses inga långsiktiga trender hos den genomsnittliga fångsten per fiskeansträngning. Fångsten från det urval av stationer i Kvädöfjärden med data från perioden efter 2001 indikerar en fortsatt bibehållen fångstnivå i området under 2000-talet.

5. Bottenfauna

Bottenfaunasamhällets utveckling i Simpevarp och i referensområdet Kvädöfjärden har följts sedan 1962. I Simpevarp tas prover på två stationer, en som ligger på 22–24 meters djup strax söder om mynningen till Hamnefjärden (figur 1), och en annan som ligger norr om mynningen i närheten av intaget till O3, på omkring 18 meters djup. Bottensedimentet i området söder om Hamnefjärden består av finkornig sand med inslag av organiskt material, medan bottensedimentet i det grundare området längre norrut ut är mer heterogent, bestående av fin sand med inslag av organiskt material, grus och sten. Eftersom vattenströmmarna mestadels går sydligt, berörs den djupare stationen söder om Hamnefjärdens mynning oftare av kylvattenplymens vatten. Det är dock framför allt ytvattnet som kan tänkas påverkas av en temperaturförhöjning, och inte vattenmassorna närmast botten. En eventuell påverkan på bottenfauna kan därför förväntas i första hand som en indirekt påverkan, till exempel genom att de förändrade vattenströmmarna påverkar vilka arter av bottenfauna som sprids till området, eller tillgången på föda för bottenfaunan. I referensområdet, Kvädöfjärden, tas prover på två stationer av likartad karaktär som de vid Simpevarp. Den ena stationen är på cirka 24 meters djup och den andra på 18–22 meters djup. Bottensedimentet på den djupare stationen domineras av gyttja och på den grundare stationen av lera med fin sand, grus och sten.

5.1 Metodik

Proverna tas med en bottenhuggare av typen van Veen. På varje station tas fem prover, vart och ett med en huggyta på 0,1 m² och en volym på minst 5 och högst 20 liter

⁷⁰Linjär regression, Marsö, $p < 0,01$, $r^2 = 0,23$.

sediment. Sedimentet sållas genom ett såll med 1 millimeter maskvidd. De djur som återfinns i sållet artbestäms senare i laboratoriet och räknas till antal. Från och med 1984 mäts dessutom de olika arternas biomassa som alkoholkonserverad våtvikt.

Provtagningen inleddes på våren 1962 vid Simpevarp och på hösten samma år i Kvädöfjärden. Prover togs både vår och höst fram till och med år 1990, och därefter endast på våren. Vid provtagningarna åren 1962–1975 noterades endast förekomsten av dominerande arter, men från och med år 1976 noterades samtliga förekommande arter. I tillägg undersöktes området inom Hamnefjärden på hösten under perioden 1972–1986. Resultaten av dessa studier har sammanfattats av Mo (1990).

5.2 Resultat

5.2.1 Antal arter

Förändringar i artantal över tid analyserade för åren 1976–2008, eftersom artbestämningen hade utförts med jämförbar noggrannhet från och med 1976. Taxa som artbestämts till olika detaljeringsgrad under olika år inom denna tidsperiod analyserades som en sammanslagen grupp på den taxonomiska nivå som var mest relevant för att få jämförbarhet mellan år, framför allt grupperna fjädermygglarver (*Chironomidae*), glattmaskar (*Oligochaeta*), tusensnäckor (*Hydrobiidae*) och märllor (*Gammaridae*).

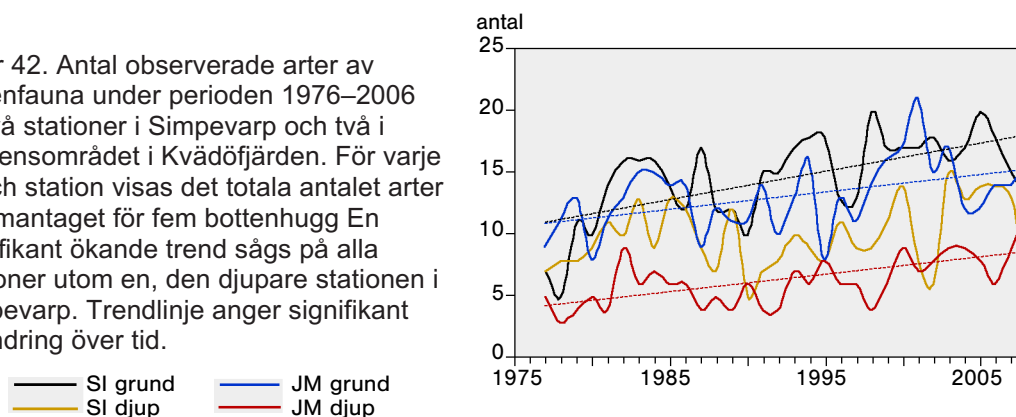
Under perioden 1976–2008 visade antalet arter per prov en signifikant ökning över tid på den grundare lokalen i Simpevarp, och på båda lokalerna i referensområdet i Kvädöfjärden (figur 42)⁷¹. På den djupare stationen i Simpevarp, som antas vara närmast påverkan från kylvattenplymen, visade artantalet inte någon ökning.

Som regel noteras fler arter på de grundare lokalerna än på de djupare. Lokalerna i Simpevarp var artrikare⁷², men skillnaden tillskrivs främst de djupare lokalerna.

⁷¹ Linjär regression, $p < 0,001$, $r^2 = 0,39$ för station 23 vid Simpevarp; $p < 0,001$, $r^2 = 0,40$ för station 5 i Kvädöfjärden; $p < 0,01$, $r^2 = 0,21$ för station 6 i Kvädöfjärden.

⁷² ANOVA, artantal, $F_{1,2} = 28$, $P < 0,001$.

Figur 42. Antal observerade arter av bottenfauna under perioden 1976–2006 på två stationer i Simpevarp och två i referensområdet i Kvädöfjärden. För varje år och station visas det totala antalet arter sammantaget för fem bottenhugg. En signifikant ökande trend sågs på alla stationer utom en, den djupare stationen i Simpevarp. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.



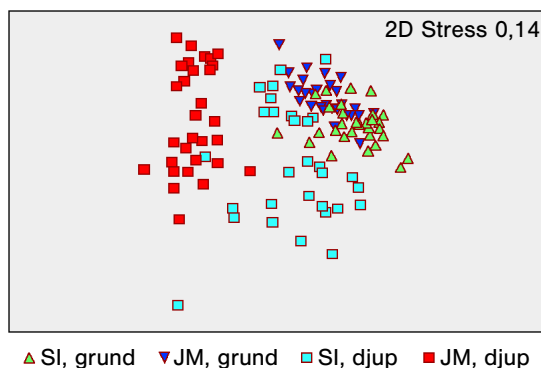
Det högsta artantalet under hela den undersökta tidsperioden, totalt 21 taxa, noterades på den grundare stationen i Kvädöfjärden år 2001. På den grunda lokalen i Simpevarp observerades som mest 20 taxa, år 1998 och 2005.

5.2.2 Dominerande arter

Bottenfaunasamhället var starkt dominerat av enstaka arter. Sett till vikt utgjorde östersjömusslan (*Macoma balthica*) 69% av den totala biomassan, angivet som ett sammantaget medelvärde för alla stationer och år, och blåmusslan (*Mytilus edulis*) utgjorde 24,6%. Det här innebär att dessa två arter tillsammans utgjorde 93,7% av den totala biomassan i medeltal. Båda arterna har en stor biomassa på grund av att deras skal väger mycket. Sett till antalet utgjorde blåmussla 27,6% och Östersjömussla 29,4% i medeltal över alla år. Den till antalet tredje vanligaste arten var vitmärlan *Monoporeia affinis*, trots att den förekommit i låga tätheter under det senaste decenniet. Den till biomassan tredje vanligaste arten var ishavsgråsugga (*Saduria entomon*).

Övriga taxa som var relativt vanliga var havsborstmasken *Pygospio elegans*, gruppen fjärdermygglarver (fam. *Chironomidae*), glattmaskar (fam. *Oligochaeta*) samt gruppen tusensnäckor (fam. *Hydrobiidae*). Övriga taxa utgjorde var och en mindre än 5% av det totala materialet, sett till antal.

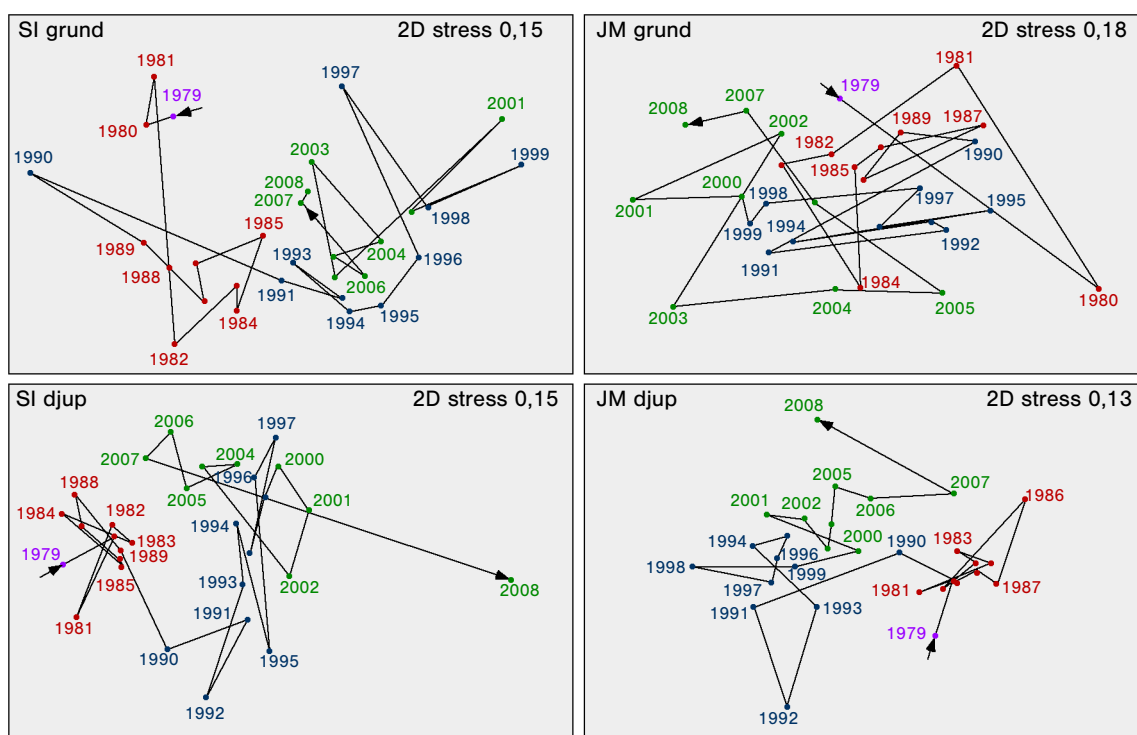
Figur 43. MDS alla stationer: resultat av MDS-analys som visar likheter i bottenfaunans artsammansättning vid Simpevarp (SI-grund och SI-djup) samt Kvädöfjärden (JM-grund och JM-djup) under tidsperioden 1979–2008. Varje punkt i grafen motsvarar medelvärden för en station ett år. Punkter som ligger nära varandra har en mer likadan artsammansättning än punkter som ligger längre från varandra. Analysen är baserad på information om individantal, men samma resultat fås även om analysen baseras på biomassa. Som underlag för jämförelsen har använts Bray-Curtis likhetsindex baserat på log-transformerade värden.



5.2.3 Skillnader i artsammansättning mellan områden

Förändringar över tid på samhällsnivå analyserades genom att jämföra likheten i artsammansättning mellan olika stationer och år med Bray Curtis likhetsindex. Resultaten illustrerades sedan genom så kallad multidimensional scaling (MDS) i en graf, så att stationer och år som var lika varandra i artsammansättning lokaliserades nära varandra och sådana som var mer olika lokaliserades längre från varandra. Analysen utfördes över åren 1979–2008. En jämförelse av alla stationer och år samtidigt visade att den djupare stationen i Kvädöfjärden överlag var mest olika övriga stationer i fråga om artsammansättning (figur 43). De grundare stationerna vid Simpevarp och Kvädöfjärden var som helhet mest lika varandra. Skillnaden mellan år var större på de djupare än på de grundare stationerna (figur 43). Sett över hela den studerade perioden 1979–2008 fanns ingen statistiskt säkerställd skillnad mellan Simpevarp och referensområdet avseende den totala abundansen av alla arter inom respektive djupstratum.

Utvecklingen över tid studerades även separat för varje station. På de båda djupare stationerna sågs en relativt likartad artsammansättning under åren fram till slutet av 1980-talet, varefter variationen mellan år blev större. På senare tid syntes en relativt stor skillnad mellan åren 2007 och 2008. Skillnaderna i artsammansättning mellan år var mindre på de grundare stationerna i både Kvädöfjärden och Simpevarp (figur 44).



Figur 44. MDS per station: resultat av MDS-analys som visar förändringar i bottenfaunans artsammansättning vid Simpevarp respektive Kvädöfjärden över tid. Analysen är baserad på information om individantal angivet som medelvärdet av fem hugg per år. Som underlag för jämförelsen har använts Bray-Curtis likhetetsindex baserat på log-transformerade värden.

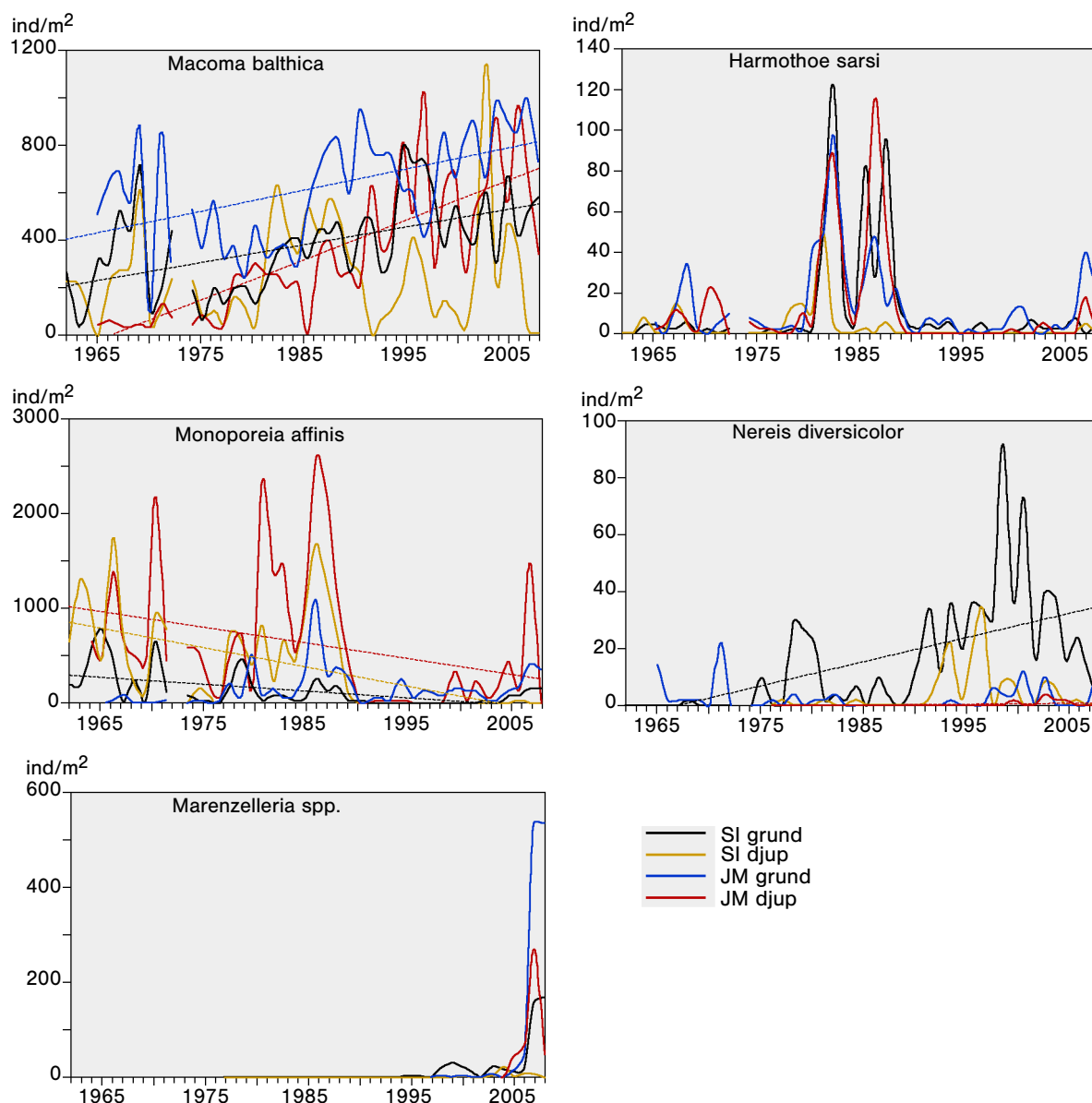
Utvecklingen över tid studerades separat för de vanligast förekommande arterna ända från och med 1962 och 1963, när provtagningarna av bottenfauna inleddes vid Simpevarp respektive Kvädöfjärden (figur 45).

Östersjömusslan visade en signifikant ökning på alla stationer, med undantag för den djupare lokalen vid Simpevarp (1962–2008)⁷³. Vitmärlan var vanlig periodvis fram till början av 1990-talet men har sedan dess haft en kraftig nedgång. Förändringen var tydligast på de djupare stationerna men kunde ses på alla stationer.

Några andra marina arter hade en topp i sin förekomst under mitten av 1980-talet, men har sedan varit mer ovanliga. Arter som var påtagligt mer vanliga under 1980-talet än före och efter är till exempel havsborstmasken *Harmothoe sarsi* (figur 45) samt *Terebellides stroemii* (endast noterad i Kvädöfjärden) och *Manayunkia aestuarina*

⁷³ Linjär regression, $p=0,95$ på den djupare stationen vid Simpevarp, $p<0,001$ på övriga stationer.

(endast noterad vid Simpevarp). Havborstmasken *Nereis diversicolor* var däremot mer vanlig i slutet av den studerade tidsserien, framför allt i slutet av 1990-talet på den grundare stationen vid Simpevarp. Den invandrade havsborstmasken *Marenzelleria viridis* påträffades för första gången på den grunda stationen i Simpevarp 1995, och förekom på samtliga undersökta stationer sedan år 2004 (figur 45).



Figur 45. Individtäthet (antal per kvadratmeter) hos några vanligt förekommande arter av bottenfauna i Simpevarp och Kvädöfjärden: a) östersjömussla, *Macoma balthica*, b) vitmärla, *Monoporeia affinis*, c) rovborstmask *Nereis diversicolor*, d) fjällmask *Harmothoe sarsi* och e) nordamerikansk borstmask *Marenzelleria* spp. Trendlinje anger signifikant förändring över tid.

6. Diskussion

Driften av ett kärnkraftverk kan påverka den omgivande vattenmiljön på olika sätt. Man kan grovt indela dessa i direkt utslagning av organismer i kylvattenvägarna, direkt fysiologisk påverkan på organismer i recipienten och indirekt påverkan genom kylvattnets påverkan på organismernas tillgång till föda och lämpligt habitat.

Utslagning i kylvattenvägarna kan drabba alla organismer som följer med det inkommande kylvattnet på olika sätt. Antingen genom att de fastnar i de system som finns för att rena vattnet, eller genom att de skadas eller inte överlever de påfrestningar som uppstår i kylvattensystemet, såsom turbulens och snabba temperaturförändringar. En relativt omfattande utslagning av djurplankton vid passagen genom kraftverket har observerats. Det är möjligt att dessa i stor utsträckning konsumeras av fastsittande filtrerande djur längs kylvattenvägarna, som exempelvis blåmusslor och havstulpaner (Karås, 1992). Teorin styrks av observationer av stora mängder larver av havstulpaner i det utgående kylvattnet. Utöver dessa observationer saknas kunskap om effekter på andra organismer än fisk.

Kontrollen av fisk i rensmassorna från kraftverkets silstationer påbörjades redan 1975 och sedan början av 1990-talet genomförs en löpande kontroll av förekomsten av fisk, i första hand av för människan värdefulla fiskarter. Den skada som uppkommer på bestånden kan sättas i relation till andra källor av dödlighet. Den genomsnittliga årliga förlusten av strömming i kylvattenvägarna skattades till 20000 individer under perioden 2003–2008. Detta kan relateras till fiskets årliga uttag av cirka 100000 ton i centrala Östersjön (Fiskeriverket, 2010). Utslagningen av ål, som skattades till cirka 1600 individer årligen, kan på samma sätt jämföras med att det svenska österjöfisket landade upp till 300 000 kg ål årligen av denna hotade och för fisket värdefulla art under samma period. Man kan mot denna bakgrund göra bedömningen att kraftverkets inverkan på bestånden är begränsad i sin totala omfattning, men att man inte kan utesluta en negativ påverkan på det lokala fisket.

Beteendeförändringar hos fisken, såsom en ökad anlockning eller ett skyende i relation till området med temperaturförhöjning, kunde dokumenteras redan på ett tidigt stadium vid fiskundersökningarna vid Simpevarp (Andersson & Karås, 1990; Andersson *et al.*, 2005). De tidiga undersökningarna fokuserade på reaktioner hos enskilda arter. I denna rapport har analysen fördjupats till att även omfatta effekter på fisksamhällets struktur och funktion. Samhällstrukturen i de av sötvattenarter dominerade skärgårdarna uppvisar små skillnader mellan områden trots olika påverkansgrad av kylvattnet, och förändringarna över tid har varit måttliga. Fisksamhällena hade dock en högre artrikedom på lokalerna närmast kylvattenutflödet, och en ökning över tid i artrikedom och diversitetsindex observerades i skärgården söder om Simpevarp. Även en ökande dominans av rovfiskar, främst representerade av abborre, sågs i områdena nära kärnkraftverket och i viss mån en minskning av mört. Bilden var mera komplex i Kvädöfjärden, utan lika tydliga trender över tid hos enskilda arter.

Samhällsstrukturen i det kallvattensamhälle som studerats genom provfiske med kustöversiktsnät uppvisade under våren en förhållandevis stor variation mellan år. Den enda långsiktiga trend som man kunde se var en minskning av diversiteten i fångsten i ytsatta nät. Torskfångsten i detta fiske följde i stort utvecklingen hos det östra beståndet i Östersjön (Fiskeriverket, 2010), men nedgången vid Simpevarp har varit betydligt mera uttalad. Detta kan sannolikt vara en effekt av att en beståndsminskning oftast slår hårdare i de marginala delarna av ett bestånds utbredningsområde (Neuman, 1984). För strömming saknar dock utvecklingen hos fångsterna vid Simpevarp likheter med den storskaliga beståndsutvecklingen i Östersjön (Fiskeriverket, 2010). Man kan därför anta att resultatet i högre grad beskriver en lokal utveckling och möjligen också att strömmingen varierat i sin grad av anlockning till området mellan år. De stora fångsterna av strömming som observerades i slutet av 1980-talet och några år framåt återspeglades inte i lekbeståndets storlek eller rekryteringen av ungfisk i Östersjön som helhet. Man kan inte utesluta att den temperaturförhöjning som observerades i samband med fisket under samma period har bi-

dragit till uppgången. Perioden med mycket strömming sammanfaller med fångsttoppar hos flera fiskarter. En sekundär anlockning till området på grund av den stora strömmingstätheten är sannolik, då många andra fiskarter är kända för att gärna äta strömmingsrom. Andra orsaker kan dock inte uteslutas. Till exempel hade både röt-simpa och tånglake låg förekomst under perioden med stora torskfångster i slutet av 1970-talet och början av 1980-talet, men ökade i förekomst efter detta, sannolikt på grund av mer framgångsrik rekrytering. Båda arterna minskade dock till mycket låga nivåer samtidigt som fångsterna av strömming avklingade mot slutet av 1990-talet.

Den ökade kylvattenvändningen i kombination med höga närsaltsnivåer har sannolikt bidragit till tilltagande problem med störningar orsakade av drivande alger vid de provfisken som görs på våren i havsbandet utanför Simpevarp. Detta fiske påverkas även kraftigt av störning från säl. Hittills har ostörda fisken varit tillräckligt frekventa för att ändå ge upphov till användbara resultat. Gråsälens populations-ökning, som har beräknats till 7–8% per år under 1990- och 2000-talen (Anon., 2010), talar dock för att det i framtiden kommer att bli allt svårare att få meningsfulla resultat från denna undersökning.

Kraftverkets påverkan på fiskarnas rekrytering studeras dels genom direkta mätningar av förekomsten av fiskyngel i Hamnefjärden, dels genom att följa upp styrkan hos enskilda årsklasser av abborre i provfisken. Indexet för årsklasstyrka indikerade en negativ utveckling av abborrens reproduktionsframgång i simpevarpsområdet, samtidigt var dock yngeltätheten i Hamnefjärden relativt oförändrad över tid. En närmare analys visade att minskningen i indexet för årsklasstyrka berodde på att framför allt äldre åldersgrupper har varit mycket svagt representerade i fångsten. De yngsta åldersgrupperna har dock utvecklats i positiv riktning under senare år. Avsaknaden av äldre abborrar i provfiskena i Simpevarpsområdet kan förklaras av antingen en hög dödlighet eller ett förändrat beteende hos fisken. Perioden med

svagare årsklasser under 2000-talet sammanfaller även med en kraftig tillväxtökning hos abborren. Det är möjligt att större abborrar under högsommaren lämnar de skyddade skärgårdsområdena där provfiskena bedrivs för att i stället söka sin föda längre ut i havsbandet. I provfiske med biologiska länkar, som bedrivs under andra årstider och delvis i mera exponerade lägen, hade abborren en ökande förekomst över tid. Detta indikerar att nedgången i årsklassstyrka sannolikt mer kan förklaras av förändrade vandringsmönster än av en ökad dödlighet.

Årsklasstyrkan hos abborre i Kvädöfjärden har visat sig vara starkt gynnad av varma somrar, vilket är ett förväntat samband (Karås, 1987). Detta gällde tidigare även i Simpevarp, men under 1990-talet förändrades detta samband, så att man i stället såg fler rekryter under relativt kalla somrar. Samtidigt kunde man se ett samband mellan årsklasstyrka i skärgården vid Simpevarp och yngeltäthet i Hamnefjärden (Andersson *et al.*, 2005). Detta samband kunde även ses här, när årsklasserna från 2000-talets inledning inkluderades i analysen, och nu sågs även ett samband mellan yngeltäthet och årsklasstyrka i Hamnefjärden. Resultaten kan indikera att produktionen av yngel i Hamnefjärden har en betydelse för mängden abborre i simpevarpsområdet, även utanför det område som är närmast påverkat av kylvatten.

Det har tidigare visats att abborren i Hamnefjärden har haft en dålig äggkvalitet och en mycket hög dödlighet mellan befruktning och kläckning (Sandström *et al.*, 1997). Man kan därför ifrågasätta om de yngel som finns i Hamnefjärden under hösten verkligen är födda där. Även resultat i den här rapporterade tidsperioden indikerar att abborrens gonader påverkas negativt av höga vintertemperaturer, vilket även har observerats vid kärnkraftverket i Forsmark (Sandström *et al.*, 1997). Abborrynglets ursprung i Hamnefjärden är alltså ännu olöst. Det är möjligt att uppvärmningen av Hamnefjärden har bidragit till en ökad mängd abborre i Simpevarpsområdet genom en positiv effekt på produktionen av rekryter i Hamnefjärden. Effekten skulle dock kunna vara beroende av invandring av yngel från fungerande rekryteringsområden utanför Hamnefjärden.

Den totala sjukdomsförekomsten hos fiskar från Hamnefjärden har inte förändrats över tid. Under vår och sommar har frekvensen de flesta åren sedan 1990 legat under en procent. Detta är avsevärt lägre än de nivåer som registrerats i recipienter för petroleum- och skogsindustrier, och sammanfaller snarare med bakgrundsnivåer från dessa undersökningar (Thulin *et al.*, 1989). Frekvensen av ålens simblåseparasit i Hamnefjärden avviker inte heller från den som observerats i andra områden vid östersjökusten. I den omgivande skärgården är dock förekomsten av sjukdomar ännu något lägre i genomsnitt än i Hamnefjärden. Detta kan möjligen bero på att kontrollen här är koncentrerad till högsommaren. Detta kan möjligen förklaras av att fiskarna då har hunnit återhämta sig efter övervintring och lek och av att inslaget av unga fiskar i fångsten är större. Inte heller i den omgivande skärgården ses några förändringar av sjukdomsfrekvensen över tid.

Fångsterna vårfisket med kustöversiktsnät dominerades av strömming och andra arter som föredrar kallare vatten. En låg genomsnittlig sjukdomsfrekvens noterades även i detta fiske. Enskilda fiskarter har dock tidvis varit relativt hårt drabbade. Rötsimpan infekterades under 1990-talet i stor omfattning av ögonparasiter och skrubbskädda hade höga frekvenser av hudsår och av virussjukdomen *Lymfocystis* under 1990-talet. Dessa symtom har i stort sett varit frånvarande under 2000-talet. Detta indikerar att de inte haft samband med effekter av kylvattenpåverkan, utan snarare med andra faktorer i Östersjön. Sammantaget visar kontrollen av sjukdomsförekomst i provfiskefångster i Simpevarpsområdet att det uppvärma kylvattnet haft mycket små eller inga effekter på parasitering och andra sjukdomar.

För bottenfauna skilde sig den djupare stationen vid Simpevarp från övriga områden bland annat genom att inte uppvisa en stigande trend i antal arter per hugg över tid, och genom en högre förekomst av vissa arter (till exempel rovborstmasken *Nereis diversicolor*) under senare år. Stationen är den som sannolikt är mest direkt påverkad av kylvattenutflödet. Den var även den lokal där den invandrade arten *Marenzelleria* noterades för första gången. Överlag var dock bottenfaunans artsammansättning

likartad på stationerna i Simpevarp och i referensområdet Kvädöfjärden. Detta indikerar att bottenfaunan i områdena i högre grad styrs av storskaliga förändringar i miljön än av påverkan från kylvattnet. De större förändringar som noterades i samtliga områden, såsom en minskning i vitmärla och tillkomst av *Marenzelleria* under 2000-talet har även setts i andra delar av Östersjön under motsvarande tidsperioder (Anon., 2010).

Bottenfaunan i den inre delen av Hamnefjärden har högst påverkan av kylvattenutsläppen. Övervakning har där bedrivits fram t o m 1986 och resultaten finns sammanfattade av Mo (1990). Bottenfaunan i den inre delen av Hamnefjärden bestod av ganska få arter och de djur som återfanns där var sådana som tål låga syrehalter eller som ofta koloniserar tidigare utslagna bottnar. Detta tydde på att bottarna i området drabbades av återkommande syrebrist. Fenomenet kan till exempel uppstå om kylvattnet ger en ökad tillförsel av näring så att nedbrytningen av organiskt material ökar, eller om respiration hos växter och djur i området ökar som en följd av den förhöjda temperaturen. I den yttre delen av fjärden, där det strömmande vattnet var välventilerat, noterades ingen syrebrist.

Man kan sammanfattningsvis sluta sig till att en stor del av de trender som observerats i denna undersökning reflekterar storskaliga processer i Östersjön, naturliga eller mänskligt betingade. Belastning av näringsämnen och stigande vattentemperaturer har påverkat både fiskbestånd och bottenfauna. Men användningen av kylvatten har även påverkat närmiljön. Uppvärmningen av omgivande kustmiljö har sannolikt gynnat rekrytering och tillväxt hos vissa fiskbestånd, framför allt abborre. Samtidigt ses vissa negativa effekter, såsom påverkan på fiskens könsorgan och utslagning av organismer i kraftverkets silstationer.

7. Referenser

- Agnedal, P.O. (1968.) Studier av abborre och fiskets avkastning i Erken. 120 s. (Stencil) Limnologiska Institutionen, Uppsala Universitet.
- Anon. (2010.) Havet 2010. Om miljötillståndet i svenska havsområden. Naturvårdsverket och Havsmiljöinstitutet 2010.
- Andersson, J & Karås P. (1990.) Effects of cooling-water discharges on spring spawning Baltic herring. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. 19s.
- Andersson, J., Sandström O. och Hansen H. (1990.) Elver (*Anguilla anguilla* L.) stockings in a Swedish thermal effluent – recaptures, growth and body condition. Naturvårdsverket, 20 s.
- Andersson, J., Mo K., Sandström O. och Svedäng H. (1996.) Biologiska kontrollundersökningar vid Oskarshamnsverket. Sammanfattning av resultaten t o m 1995. Kustrapport 1996: 5.
- Andersson, J., Franzén F., Lingman A. & Sandström O. (2005.) Recipientundersökningar vid kärnkraftverket vid Oskarshamn. Sammanställning av resultat från undersökningar av fiskesamhällen och mjukbottenfauna 1962–2001. Fiskeriverket Informerar, FINFO 2005: 8.
- Fiskeriverket. (2010.) Fiskbestånd och miljö i hav och sötvatten. Resurs – och miljööversikt 2010. 256s.
- Fjälling, A., Wahlberg M. and Westerberg H. (2006.) Acoustic harassment devices reduce seal interaction in the Baltic salmon-trap, net fishery. ICES Journal of Marine Science 63: 1751–1758
- Grimås, U. och Neuman E. (1979.) Biologiska och radioekologiska undersökningar vid Oskarshamns kärnkraftverk, Simpevarp, 1962–1978. Sammanfattning. Statens naturvårdsverk, PM 1173. 20 s.
- Karås, P. (1992.) Zooplankton entrainment at Swedish nuclear power plants. Marine Poll. Bull. 24: 27–32.
- Karås, P. & Neuman E. (1981.) First-year growth of perch (*Perca fluviatilis* L.) and roach (*Rutilus rutilus* (L.)) in a heated Baltic Bay. Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm 59: 48–63.
- Karås, P. (1996.) Recruitment of perch (*Perca fluviatilis* L.) from Baltic coastal waters. Arch. Hydrobiol. 138: 99–121.
- Lingman, A., och Franzén F. (2003.) Litteratursammanställning avseende resultat från den biologiska recipientkontrollen, samt undersökningar gällande fiskpopulationer, vid Oskarshamnsverket, 1962–2002. Fiskeriverket, Kustlaboratoriet. Arbetsrapport. 37 s.

- Lukšienė, D. & Sandström O. (1994.) Reproductive disturbance in a roach (*Rutilus rutilus*) population affected by cooling water discharge. *Journal of Fish Biology* (1994) 45: 613–625.
- Lukšienė, D., Sandström O., Lounasheimo L. & Andersson J. (2000.) The effects of thermal effluent exposure on the gametogenesis of female fish. *Journal of Fish Biology* 56 (1): 37–50.
- Mo, K. (1990.) Mjukbottenfaunan i Simpevarpsområdet 1983–1989. Naturvårdsverket Rapport 3786. 31 s.
- Neuman, E. (1974.) Temperaturens inverkan på abborrens (*Perca fluviatilis* L.) tillväxt och årsklasstorlek i några Östersjöskärgårdar. Information från Sötvattenslaboratoriet, Drottningholm 6. 104 s.
- Neuman, E. (1979a.) Mellanårsvariationer i nätfångster av bottenfiskar i några Östersjöskärgårdar åren 1962–1977. Statens naturvårdsverk, PM 1160. 40 s.
- Neuman, E. (1979b.) Temperaturens inverkan på fiskfångster utanför ett kylvattenutsläpp i Östersjön. Statens naturvårdsverk, PM 1163. 46 s.
- Neuman, E. (1979c.) Fiskeribiologiska undersökningar vid Oskarshamnsverket åren 1962–1978. En sammanfattning. Statens naturvårdsverk, PM 1154. 23 s.
- Neuman, E. (1983.) Thermal discharge and fish fauna in Sweden. *Wat. Sci. Tech.* 15: 67–87.
- Neuman, E. (1984.) Fluctuations in the abundance of cod in the Baltic and Bothnian coastal areas. *Medd. Havsfiskelaboratoriet Lysekil* 306. 17 s.
- Neuman, E. och Andersson J. (1990.) Naturvårdsverkets biologiska undersökningar utanför Oskarshamnsverket under 1980-talet. Naturvårdsverket Rapport 3780. 29 s.
- OKG Aktiebolag. (2004.) Icke teknisk sammanfattning av Miljökonsekvensbeskrivning för Oskarshamnsverket. 8 s. www.okg.se
- Sandström, O., Abrahamsson I., Andersson J. och Vetemaa M. (1997.) Temperature effects on spawning and egg development in Eurasian perch. *Journal of Fish Biology* 51: 1015–1024.
- Smith, S., Andersson J., Ambjörn C., Juhlin B., Wickström K., Alexandersson H., Andersson L., Förlin L., Adolfsson-Erici M. och Lindesjö E. (2000.) Samordnad kustvattenkontroll i Kalmar län. Årsrapport för 1999. SMHI Norrköping.
- Svärdson, G. (1961.) Ingen effekt av sikodlingen i Kalmarsund. *Svensk Fiskeritidskrift* 70: 23–26.

Thoresson, G. (1992.) Handbok för kustundersökningar. Recipientkontroll. Fiskeriverket, Kustrapport 1992: 4.

Thoresson, G. (1996a.) Metoder för övervakning av kustfiskbestånd. Fiskeriverket, Kustrapport 1996: 3.

Thoresson, G. (1996b.) Handbok för kustundersökningar. Referensområden. Fiskeriverket, Kustrapport 1996: 3.

Thulin, J., Höglund J. & Lindesjö E. (1989.) Fisksjukdomar i kustvatten. Naturvårdsverket Informerar. 126 s.

Wickström, K. (1990.) Oskarshamnsverket. Kylvattenutsläpp i havet. Slutrapport från ocanografiska undersökningar utanför Oskarshamnsverket med tre block i drift. SMHI Oceanografi, 34. 40 pp.

