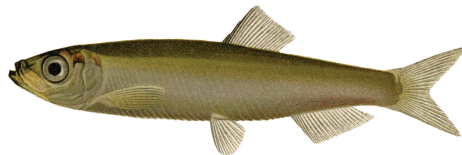


”PLAN FISH: Planktivore management  
– linking food web dynamics to fisheries in the Baltic Sea”

Slutrapport för Skarpsillsprojektet

**2008-2013**



2013-12-11

Magnus Appelberg, Mikaela Bergenius, Ulf Bergström,  
Michele Casini, Anna Gårdmark, Joakim Hjelm, Magnus Huss, Olavi Kaljuste,  
Jens Olsson, Ullrika Sahlin\*, Håkan Wennhage, Malin Werner

Alla författare är från institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet,  
utom \* som är från Lunds universitets centrum för miljö- och klimatforskning



# Slutrapport för forskningsprojektet ”PLAN FISH: Planktivore management – linking food web dynamics to fisheries in the Baltic Sea” också kallat ”Skarpsillsprojektet”

## Förord

Regeringen gav år 2007 dåvarande Fiskeriverket i uppdrag att utreda om reduktion av skarpsill i Östersjön skulle kunna vara en lämplig metod för att återfå rovfisken i Östersjöns utsjö- och kustområden. Efter en ettårig pilotfas startade projektet PLAN FISH; *Planktivore management – linking food web dynamics to fisheries in the Baltic Sea* för att möta uppdraget. Fiskeriverket ansvarade för projektet fram tills 2011-06-30, då ansvaret för uppdraget övergick till Havs- och vattenmyndigheten och utförandet av projektet övergick samtidigt till Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser. Projektet har genomförts i samarbete med nationella och internationella forskare, myndigheter och intressenter och har i huvudsak finansierats av Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten.

Föreliggande rapport utgör PLAN FISH projektets slutrapport. Resultat från projektet har rapporterats löpande i vetenskapliga och populärvetenskapliga sammanhang, och rapporteringen har markerats med fetstil i redovisningen.

Med det övergripande målet att bidra med vetenskapligt underlag till en ekosystembaserad fiskeriförvaltning i Östersjön har projektet haft två huvudsyften: dels att undersöka hur rovfisk kan återetableras för att dominera Östersjöns kust- och utsjöekosystem, och dels att identifiera ekosystemeffekterna av en ändrad förekomst av rovfiskar i dessa ekosystem. Projektets mål har också varit att utvärdera om reduktionen av planktonätande fisk kan vara en åtgärd att återfå rovfiskdominerade kust- och utsjöekosystem.

Projektets resultat visar att för att kunna utveckla och genomföra en trovärdig ekosystembaserad förvaltning i framtiden kommer ny kunskap och nya system och processer att krävas. Framtidens förvaltning kommer att öka i komplexitet då den förutom fisk också skall hantera hela ekosystemet. Detta betyder fler faktorer och intressenter att ta hänsyn till och värdera samtidigt. Samhället förväntas också ställa allt högre krav på en förvaltning som säkerställer allt fler ekosystemtjänster. Utmaningen ligger i att införliva dagens och morgondagens ekologiska kunskap i de strukturer som skall driva framtidens förvaltning av Östersjön.

## Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning och viktigaste slutsatserna från PLAN FISH projektet.....</b>	<b>5</b>
<b>2 Inledande projektbeskrivning .....</b>	<b>12</b>
2.1 Bakgrund till projektet.....	12
2.2 Uppdraget.....	14
2.3 Pilotprojekt och planeringsfas .....	14
2.4 Projektets ursprungliga hypoteser och planerade tillämpning .....	15
<b>3 Projektets genomförande .....</b>	<b>18</b>
3.1 Ekosystemet i öppet hav.....	18
3.2 Kustens ekosystem .....	23
3.3 Kopplingar mellan kust och öppet hav .....	24
3.4 Fallstudier om beslutsfattande under osäkerhet .....	25
<b>4 Resultat och diskussion .....</b>	<b>26</b>
4.1 Ekosystemet i öppet hav.....	26
4.2 Kustens ekosystem .....	37
4.3 Kopplingar mellan kust och öppet hav .....	46
4.4 Fallstudier om beslutsfattande under osäkerhet .....	47
4.5 Framtida kunskapsbehov .....	53
<b>5 Bidrag till ekosystembaserad förvaltning.....</b>	<b>56</b>
5.1 Kunskap från projektet som redan implementeras i internationella råd/förvaltning eller presenterat i förvaltnings sammanhang - utsjön.....	56
5.2 Råd till förvaltningen - utsjön .....	56
5.3 Kunskap från projektet som redan implementeras eller presenterat i förvaltnings sammanhang - kusten.....	58
5.4 Råd till förvaltningen- kusten.....	58
<b>6 Kommunikation och samarbeten.....</b>	<b>61</b>
6.1 Publikationer och rapporter.....	61
6.2 Vetenskapligt samarbete .....	61
6.3 Projektledning och deltagare .....	62

6.4	Referensgrupp.....	62
<b>7</b>	<b>Erkännande .....</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>Litteraturförteckning.....</b>	<b>65</b>
<b>9</b>	<b>Bilagor .....</b>	<b>72</b>
9.1	Bilaga 1. Presentationer på konferenser och möten .....	72
9.2	Bilaga 2. Populärvetenskapliga artiklar .....	76
9.3	Bilaga 3. Fallstudier på riskanalys av skarpsillreducering.....	76

## I Sammanfattning och viktigaste slutsatserna från PLAN FISH projektet

I följande rapport ges en sammanfattning av projektet PLAN FISH: *Planktivore management – linking food web dynamics to fisheries in the Baltic Sea*. Resultaten har presenterats, och kommer att presenteras, i vetenskapliga och populärvetenskapliga publikationer, vid konferenser och möten med myndigheter och intressenter, samt i form av årliga rapporteringar till regeringen. Projektets resultat har också successivt redovisats till förvaltande myndigheter, till berörda forskningsinstanser och andra berörda. Som en följd av den vetenskapliga kvalitetssäkringsprocessen, kommer en betydande del av resultaten göras tillgängliga för förvaltningen, vetenskapssamhället och andra berörda även efter det att projektet har avslutats.

### Uppdraget, dess tolkning och projektets avgränsningar

År 2007 fick dåvarande Fiskeriverket i uppdrag att i ett avgränsat kustområde genomföra försöksinsatser med skarpsillutfiskning med syftet att undersöka om metoden kan bidra till att återskapa ekologisk jämvikt i Östersjöns havsmiljö. Uppdraget skulle genomföras i samråd med Naturvårdsverket och slutredovisas den 31 december 2013.

Uppdraget tolkades som att utvärdera om en experimentell reduktion av djurplanktonätande fisk i ett begränsat område i Egentliga Östersjön kan ge effekter som underlättar återetableringen av stor rovfisk, samt att utvärdera om, och hur, reduktionen av djurplanktonätande fisk och återetableringen av stor rovfisk påverkar övriga delar i födoväven. För att möta uppdraget skapades forskningsprojektet PLAN FISH. Den delen av uppdraget som avsåg att utvärdera metodens kostnadseffektivitet har inte genomförts inom projektets ram. Efter en initial pilotfas 2007 inleddes projektet PLAN FISH år 2008 och slutrapporteras 2013. Som externt vetenskapligt stöd till projektet etablerades samarbete med Universitetet i Amsterdam och Umeå universitet. Samarbete har också skett med Universitetet i Groningen, Kalmar, Göteborg och Lund. Utöver detta har diskussioner kring projektets genomförande och resultat hållits med en referensgrupp bestående av representanter för yrkes- och fritidsfisket samt intresseorganisationer för bevarande av miljön.

Projektets syfte har mer specifikt varit att undersöka hur man kan återskapa ett ekosystem där stora rovfiskar har en strukturerande effekt på bytesfiskpopulationerna samt att studera rovfiskarnas indirekta effekter på andra arter och trofiska nivåer i ekosystemet. Dessa målsättningar formulerades initialt som två övergripande frågeställningar gällande både det öppna havets och kustens ekosystem:

- Hur kan rovfiskdominerade kust- och utsjöekosystem återetableras i Östersjön?
- Vilka är ekosystemeffekterna av en ändrad förekomst av rovfisk i kustens och utsjöns ekosystem?

Dessa två övergripande frågeställningar har sedan brutits ned till att identifiera nyckelmekanismer av betydelse för ekosystemets struktur och funktion (se s.14).

## Genomförande

De grundläggande frågeställningarna om hur förutsättningar för livskraftiga bestånd av rovfisk skapas samt vilken roll dessa rovfiskar har i näringsväven är desamma för kustens och det öppna havets ekosystem. Projektet har därför haft likartade grundläggande vetenskapliga angreppssätt för att svara på frågor relaterade till de två ekosystemen: 1) omfattande insamling, sammanställning och analys av fält- och övervakningsdata, 2) storskaliga fältexperiment, 3) dynamisk födovävsmodellering samt 4) analys av rumsliga mönster. Utöver detta har laboratorieexperiment använts för att ytterligare analysera interaktionen mellan arter. Som försöksområde för det experimentella reduktionsfisket av planktonätande fisk har Kalmarsund använts. Reduktionsfisket genomfördes i samarbete med det svenska yrkesfisket. Kustområdet i anslutning till Kalmarsund har också använts för studier av rekryteringsområden för abborre och gädda.

## Resultat och bidrag till förvaltningen – Öppna havets ekosystem

### *Hur kan rovfiskdominerade utsjöekosystem återetableras i Östersjön?*

Ett alltför högt fisketryck på torsk minskar torskbiomassan och förhindrar därmed att torskbeståndet ökar. Torskens återhämtning från låga beståndsnivåer skulle dessutom kunna hämmas av direkta och indirekta interaktioner med skarpsill vilket påverkar torskens tillväxt och överlevnad genom att skarpsill 1) konkurrerar med torskclarver, 2) äter torskägg, eller 3) får minskad kroppstillväxt och fortplantning till följd av mindre torskpredation, vilket leder till brist på skarpsillsbyten av lämplig storlek för torsk. Dessa tre mekanismer kan dessutom leda till alternativa stabila tillstånd med hög respektive låg torskbiomassa under samma miljöförhållanden (d.v.s. båda hydroklimatiska och biologiska) och fisketryck. Om situationen med låg torskbiomassa skulle vara ett alternativt stabilt tillstånd så kan inte torskbeståndet återhämta sig även om fisket skulle minskas till omfattningen det hade före torskens kraftiga nedgång. I sådana fall kan det krävas en fiskeridödlighet som är lägre än den som provocerade fram nedgången och/eller förvaltningsåtgärder som minskar skarpsillens negativa effekter på torsken. Därför har projektet analyserat både förekomsten av skarpsillens effekter på torsk (1-3, ovan), och om detta också leder till ett alternativt stabilt tillstånd med låg torskbiomassa.

Två av dessa mekanismer som motverkar återhämtningen av torsk har visat sig ha stöd i miljöövervaknings- och fiskundersökningsdata från Östersjön: 1) skarpsillkonkurrens med torskclarver om djurplankton samt 3) brist på skarpsillsbyten av rätt storlek när de för torsken gynnsamma effekterna av dess predation på skarpsillen försvinner. Hög konkurrens om föda hos skarpsill, till följd av en minskad torskpredation, kan leda till en brist på skarpsill av lämplig storlek för stora och fiskätande torsk. Ett ökat fiske på skarpsill i områden där den förekommer rikligt kan därför ha positiva effekter på torsken ur två aspekter. Genom att minska mängden skarpsill minskar konkurrensen bland skarpsillar om föda, och med större tillgång på föda ökar skarpsillens individtillväxt vilket gynnar stor och fiskätande torsk. Dessutom leder ökat fiske på skarpsill till lägre konkurrens mellan skarpsill och strömming, vilket i sin tur medverkar till en ökad tillgång till större bytesfisk (strömming) för torsk.

Ett experiment med lokalt reduktionsfiske av skarpsill och strömming/sill i Kalmarsund åren 2010 och 2011 visade att det är möjligt att påverka både planktonätande fisk och djur- och växtplankton genom fiske på planktonätande fisk. Fiskbiomassan, framförallt skarpsill, under

sommaren var lägre när reduktionsfisket pågick jämfört med åren före och efter fisket. En stor naturlig variation (p.g.a. fiskvandring in och ut ur försöksområdet) har emellertid dock också haft en stor inverkan på lokala biomassan av planktonätande fisk. Mängden fisk i området påverkade i sin tur de lägre trofiska nivåerna. Försöket visade att mängden djurplankton i Kalmarsund drivs av salt- och temperaturförhållanden och tillgång på växtplankton (*bottom-up* faktorer) under våren, medan betning från fisk (*top-down* faktor) är av störst betydelse under sommaren. Likaså växtplankton drivs av klimatfaktorer under våren, men främst betning från djurplankton under sommaren. Effekter på plankton till följd av förändringar i fiskbiomassa är alltså som störst under sommaren, vilket också setts i analyser gjorda på miljöövervaknings- och fiskundersökningsdata från större områden i centrala Östersjön. Fiske på skarpsill kan därmed förväntas få störst effekt på lägre trofiska nivåer under sommaren.

Sammantaget tyder resultaten på att det kan vara försvarbart att öka fisket på skarpsill i områden där skarpsillsbeståndet är rikligt, för att på så sätt minska konkurrensen bland skarpsill och med torsk och strömming, och därmed bidra till en ökad individtillväxt hos torsk och till återhämtningen av torskbeståndet.

*Vilka är ekosystemeffekterna av en ändrad förekomst av rovfisk i utsjöns ekosystem?*

Ekosystemet i Egentliga Östersjöns utsjö är starkt reglerat av flera så kallade *top-down* processer (d.v.s. driven av predation) och det finns tydliga indikationer i miljöövervaknings- och fiskundersökningsdata på förekomst av s.k. trofiska kaskader i födoväven, från torsk ner till växtplankton. När torskbeståndet är litet ökar överlevnaden hos deras huvudsakliga fiskbyten, planktonätande fiskar som skarpsill och delvis strömming, vilka i sin tur orsakar ökat betningstryck på djurplankton. Den totala biomassan av djurplankton minskar på sommaren (då betning på djurplankton från djurplanktonätande fisk är som störst), vilket i sin tur leder till en ökad förekomst av växtplankton under sommaren. Dessutom så lider skarpsillar och strömmingar då av födobrist (eftersom det blir hög konkurrens när det finns mycket planktonätande fisk), vilket gör att deras medelvikt och kondition minskar. Den trofiska kaskaden i centrala Östersjön har observerats var som starkast när skarpsillsbeståndets storlek har legat över en viss tröskelnivå. Över denna tröskelnivå styrs djurplanktonbiomassan av skarpsillspredation. Under denna tröskelnivå av skarpsill, styr istället miljöförhållanden (t ex salthalt och temperatur) djurplanktonbiomassan i Östersjön. En återhämtning av torsken till ett stort bestånd kan därmed förväntas få effekter på både planktonätande fisk (minskning i antal djurplanktonätande fisk, och ökning av deras kroppsstorlek), och djur- och växtplankton (ökning av djurplankton biomassan och minskning av växtplankton biomassan under sommaren).

Modellerna visar att förutsättningen för att torskbestånd ska ha en kraftigt reglerande effekt på skarpsillsbeståndet genom direkt predation på skarpsill enbart finns, om torskbeståndets tillväxt inte hämmas av t ex hög dödlighet orsakat av fiske eller av brist på mat tidigare under livscykeln (t ex brist på bottenlevande föda). Den nuvarande mycket stora utbredningen av syrefria bottenområden skulle därför kunna hämma torskens återhämtning, och dess möjlighet att kontrollera skarpsillsbeståndet via predation.

Torskens förändrade utbredning över tid har också påverkat utbredningen av skarpsill och sill/strömming. Detta har i sin förlängning också påverkat födovävarna i torskens randområden som t ex Rigabukten. När torskbeståndet minskade under början av 1990-talet koncentrerades beståndets utbredning till de sydvästra delarna av centrala Östersjön, medan

skarpsill, och till viss del strömming, koncentrerades till de nordostliga delarna. Detta ledde i sin tur till att konkurrensen bland skarpsillar liksom konkurrensen mellan skarpsill och strömming/sill blev som störst i detta område, och att individtillväxten i nordost blev betydligt lägre för båda arterna än i de södra delarna av centrala Östersjön. Dessa rumsliga förändringar i utvecklingen av bestånden av såväl torsk, skarpsill, som sill/strömming, innebär att man kan förvänta sig att fisket efter torsk, skarpsill och strömming/sill har olika ekosystemeffekter i de olika delarna av Östersjön och att effekterna förändras över tid.

Resultaten från analyserna av utsjöns ekosystem i PLAN FISH har använts för att stödja en utveckling av ekosystembaserad fiskeriförvaltning inom EU. Betydelsen av att inkludera trofiska kaskader i fiskeriförvaltningen presenterades för Europaparlamentet i december 2011. Ett förslag att använda skarpsillsbiomassa (baserat på tröskeln i predationseffekt av skarpsill på djurplankton) istället för fiskeridödliggöring som används i nuvarande förvaltning har redovisats som vetenskapligt underlag till ICES (Internationella Havsforskningsrådet). Denna alternativa förvaltningsmetod, som i högre grad skulle bevara andra delar av ekosystemet, har föreslagits att utvecklas vidare inom ICES. Resultaten har dessutom bidragit till det vetenskapliga underlaget för ICES rådgivning till EU-kommissionen för implementering av en rumslig förvaltning för skarpsillsbestånd. Resultaten har också använts som vetenskapligt underlag för att föreslå att de flerartsmodeller som nu används för flerartsrådgivning inom ICES och EU, skall förbättras eftersom de inte inkluderar rumsliga aspekter och mekanismer av täthetsberoende individtillväxt.

## **Resultat och bidrag till förvaltningen – Kustens ekosystem**

### *Hur kan rovfiskdominerade kustekosystem återetableras i Östersjön?*

Bestånden av kustens viktigaste rovfiskarter, abborre och gädda, är lokala med betydande skillnad i status mellan områden. Provfisken vid södra Bottenhavets kust och mellersta Egentliga Östersjöns kust visar på ökande bestånd sen början av 1970-talet. Under de senaste 15 åren visar provfisken emellertid att bestånden har varit vikande längs de sydligare delarna av Egentliga Östersjöns kust och norra Bottenhavet, medan det skett en generell ökning i Bottenviken under de senaste 15 åren. Samtidigt har tätheten av storspigg ökat väsentligt i Egentliga Östersjöns och Bottenhavets utsjöområden sedan 1990-talet. I Kalmarsund har det noterats en avsaknad av juvenila individer av abborre och gädda i en stor del av de lämpliga rekryteringsmiljöerna. Dessa områden har istället dominerats av spigg.

Baserat på tillgänglig kunskap vid projektets start formulerades hypoteser kring faktorer som påverkar dödligheten hos de tidigaste livsstadierna av abborre och gädda. Mekanismerna som utvärderats är (1) födobrist till följd av konkurrens med skarpsill och/eller storspigg, (2) predation från storspigg på ägg och larver. Under projektets gång inkluderades också hypotesen (3) att kannibalism i kombination med inomartskonkurrens hos abborre kan reglera bestånden. För att öka förståelsen för de faktorer som reglerar rekryteringen av abborre och gädda i Östersjöns kustområden utvärderades också habitatrelaterade effekter på rekryteringen av kustfisk.

Det är inte sannolikt att skarpsill direkt har orsakat låga planktontätheter i de grunda, strandnära miljöer som utgör rekryteringsområden för kustrovfisk, eftersom djurplanktonsamhället i abborrens och gäddans rekryteringsområden skiljer sig markant från det som finns i öppna kustområden där skarpsillen förekommer under våren. Emellertid har



en negativ relation mellan tätheten av storspigg yngel och yngel av abborre, och i viss mån även gädda, dokumenterats. I de studerade vikarna i Kalmarsund med höga tätheter av storspigg yngel saknades vanligen yngel av både abborre och gädda. Tidsserier från södra Bottenhavet visar också att det finns ett negativt samband mellan förekomst av vuxen storspigg under våren och juvenil abborre under sensommaren. Förekomsten av vuxen spigg under våren är negativt korrelerad till tätheten av abborryngel under sensommaren. Mängden abborryngel under sensommaren är emellertid inte beroende av mängden vuxen abborre under våren. Dessa relationer kan vara en följd av en kombination av predation och resurskonkurrens mellan spigg och abborre.

Resultaten visar att storspigg har potential att reglera rekryteringen hos kustrovfisken, samtidigt som det finns indikationer på att abborre lokalt kan reglera förekomsten av spigg. De mönster som noterats med antingen spigg- eller abborrdominans i kustområdena indikerar att det kan finnas alternativa tillstånd i kustsystemet. Resultaten visar också att kannibalism sannolikt inte är en betydande faktor för rekryteringsframgång och populationsdynamik hos abborre i kustområdena, vilket skiljer sig från resultaten i näringsfattiga sjöar.

Modellering av arternas förekomst i relation till olika livsmiljöer och analys av provfiskedata har visat att tillgången till lämpliga rekryteringshabitat är av avgörande betydelse för storleken på kustens rovfiskbestånd. Analyser av fiskens otoliter (hörselstenar) visar att huvuddelen av den kustlevande abborren har varit rekryterad i kustområdena, även om tillrinnande sötvatten ställvis kan vara viktiga

För att stärka de kustnära rovfiskbestånden har vetenskapligt underlag lämnats till förvaltande myndigheter för införandet av en fångstbegränsning och maximimått av gädda i fritidsfisket längs Östersjökusten samt underlag för införande av regionala fredningsområden riktade mot abborre och gädda. Detta har sedan omsatts i förvaltningsåtgärder. Kunskapen om att tillgången till lämpliga rekryteringsmiljöer är centrala för rovfiskbestånden och att dessa miljöer är hotade har initierat ett regionalt arbete med att bevara dessa miljöer genom ett stärkt strand- och områdesskydd. Nationellt har fiskrekrytering identifierats som en viktig indikator på habitatkvalitet inom arbetet med Art- och habitatdirektivet. Resultaten har också bidragit till att kartläggning av rekryteringsmiljöer för fisk ingår som en åtgärd inom Aktionsplanen för Östersjön (BSAP). Resultaten har initierat ett omfattande arbete med habitatrestaurering i kustmynnande sötvattensmiljöer för att stärka bestånd av framför allt gädda och i viss mån även abborre.

*Vilka är ekosystemeffekterna av en ändrad förekomst av rovfisk i kustens ekosystem?*

Motsvarande kaskadeffekter som observerats i öppna havets ekosystem har också observerats i kustekosystemet, både experimentellt och genom fältstudier. Avsaknad av rovfisk har visats kunna leda till en lokalt ökad förekomst av spigg, vilket i sin tur leder till en ökad trådalgsproduktion, via en reduktion av mängden betare. Starka rovfiskbestånd kan således minska eutrofieringssymptom lokalt i kustområden. Samtidigt kan svaga bestånd av rovfisk potentiellt leda till en negativ spiral. Detta eftersom en ökning av trådalger i abborrens och gäddans rekryteringsområden har en negativ inverkan på rekryteringen av dessa arter genom att trådalger missgynnar högre vegetation och därmed försämrar kvaliteten på rovfiskarnas rekryteringshabitat.

Projektets resultat har bidragit till att rovfisken idag beaktas som en viktig faktor vid inrättande av marina skyddade områden, och att förvaltningen satt upp bevarandemål med avseende på rovfisken. Studierna har även initierat en diskussion kring om åtgärder för att stärka rovfiskbestånd kan vara ett sätt att lokalt motverka eutrofieringsproblem vid kusten.

### **Utbytet mellan kustens och det öppna havets ekosystem**

Vid sidan om det hydrologiska utbyte som sker mellan kust- och utsjöområden har fiskars migration mellan kust och öppet hav visats sig kunna ha stora effekter på ekosystemens funktion, struktur och deras relation. I projektet har två arter, torsk och storspigg, visats potentiellt kunna ha effekter på både kust- och öppna havets födovävar. När torskbeståndet var som störst under 1980-talet expanderade beståndet och förekom i randområden med lägre salthalt som Rigabukten, Finska viken och Bottenhavet. I Rigabukten har närvaron av torsk visats påverka ekosystemet genom kaskadeffekter.

Storspiggen leker i grunda kustområden och vandrar ut till öppet hav under sin första höst för att återvända till kusten för lek under våren. Resultaten visar att spiggen under våren kan utgöra en dominerande del av fisksamhället i grunda kustområden och påverka kustens födoväv, medan det inte är klarlagt vilken roll storspigg har i öppna havets ekosystem.

### **Beslutsfattande under osäkerhet**

Kunskapen om Östersjöns ekosystem och de interaktioner som styr födovävarna är begränsad och det saknas tillräckligt underlag för att bedöma effektiviteten av skarpsillsreducering med hjälp av en traditionell riskanalys. En sådan analys innebär en bedömning av risk (uttryckt som sannolikheter av olika oönskade händelser) där sannolikheten representerar hur troligt det är att olika händelser inträffar. Omfattande osäkerheter av detta slag kan leda till att denna typ av riskbedömning anses mindre trovärdig som beslutsunderlag. Projektet redovisar därför ett ramverk för beslutsfattande under osäkerhet utifrån ett nytt perspektiv på risk som är anpassat till typiska problem inom ekosystembaserad förvaltning.

Tre fallstudier har gjorts med riskanalys av skarpsillsreducering som utgångspunkt. De visar att en riskanalys behöver ta hänsyn till rådande osäkerhet både vad gäller det ekologiska systemet och den osäkerhet som råder i innebörden av skarpsillsreducering som förvaltningsmetod. Fallstudierna kan sammanfattas som:

- En osäkerhetsanalys av skarpsillreduktionen med ett vidare perspektiv som utöver kvantifierbara källor till osäkerhet, tar hänsyn till att kvalitativa källor till osäkerhet hanteras; en osäkerhet kopplad till formulering av förvaltningsproblemet som hanteras genom att tillämpa ett strukturerat beslutsfattande; en tilltro till kvantitativa modeller som hanteras genom att integreras i en kvantitativ analys och kommuniceras till beslutsfattare.
- En syntes av vetenskapliga belägg för om skarpsillsreducering har möjlighet att ge upphov till ökad biomassa av torsk, som visats i kvantitativa analyser baserat på ekologiska en- eller flerartsmodeller. En genomgång av kvantitativa analyser av effekter av att reducera fiske på torsk och/eller fiska mer skarpsill där resultaten jämförs med avseende på hur ekosystemet har begränsats och vilka interaktioner som finns med, vald typ av förvaltningsstrategi och tilltron till bakgrundkunskapen.
- En syntes av vetenskapliga belägg för att en återgång till starka bestånd av rovfisk kan leda till en förbättring av den ekologiska balansen i Östersjön, sett som effekter på

alg tillväxt. Genom att jämföra olika typer av studier på trofiska kaskader visar vi hur grafiska modeller kan användas för att ge stöd för orsak-verkan samband.

### Rapportens övriga delar

Utöver ovanstående resultat och underlag redovisas också det framtida kunskapsbehov som projektet har identifierat. Resultaten visar på ett behov av kunskap om

- *vad som styr fiskbeståndens rumsliga utbredning och hur fiskars migration kopplar samman olika ekosystem (särskilt kopplingar mellan kust och utsjö),*
- *hur de viktigaste planktonätande fiskarterna (skarpsill, strömming, och spigg) påverkar varandra, samt påverkar och påverkas av rovfisk i utsjön och vid kusten,*
- *fiskarnas diet samt effekten av föda på tillväxt och överlevnad hos torsk, kustrovfisk och planktonätande fiskar (inklusive fiskundersökningsdata på torsk < 2 år),*
- *utvärdering av alternativa förvaltningsåtgärder för att stärka kustrovfiskbestånd,*
- *operationella flerartsmodeller för rådgivning, baserade på den nya kunskapen om betydelsen av storleksbaserade artinteraktioner och utgår från tillgängliga data,*
- *möjligheten att motverka eutrofieringssymptom genom fiskeriförvaltningsåtgärder*

Som en viktig del klargörs också projektets bidrag och råd till en ekosystembaserad fiskeri- och miljöförvaltning av Östersjön. De viktigaste råden baserat på projektets resultat är att

- *samarbetet mellan fiskeri- och miljöförvaltningen bör utvecklas*
- *rumslig förvaltning behövs*
- *effekter av organismernas migrationer mellan system måste inkluderas i förvaltningsråden*
- *begränsningar av torskfisket bör behållas*
- *reduktion av skarpsillsbeståndet i områden där de är abundanta (f.n. i område 28 norra, 29 och 32) kan potentiellt vara en metod för att stärka torskbeståndet*
- *fiske efter skarpsill och sill/strömming bör inte öka i områden (f.n. område 25) där tillgången på skarpsill och sill/strömming är låg och där stor torsk visar tydliga tecken på svält (torsk som föredragna bytesstorlekar som fisket fångar)*
- *Med dagens kunskap är de sammantaget bästa åtgärderna för att stärka kustrovfiskbestånden habitatskydd, fredningsområden samt fångstbegränsningar*
- *Minskade storspiggsbestånd, antingen genom reduktionsfiske eller stärkta rovfiskbestånd, kan både gynna reproduktionen hos rovfisk och minska eutrofieringssymptom på kusten*

Rapporten avslutas med en beskrivning av projektets kommunikation och samarbete med vetenskapssamhället, myndigheter och intressenter, samt med en fullständig litteraturförteckning för både vetenskaplig och populärvetenskaplig litteratur.

## 2 Inledande projektbeskrivning

### 2.1 Bakgrund till projektet

Årtionden av storskalig övergödning och utfiskning av stor rovfisk har resulterat i dramatiska förändringar i Östersjöns ekosystem (Österblom m fl. 2007). Primärproduktionen har mer än fördubblats sedan 1920-40-talen (Elmgren 1989), och tillhörande överproduktion av växtplankton och påväxtalger är ett allvarligt miljöproblem för stora delar av Östersjön (Bonsdorff m fl. 1997, Jansson & Dahlberg 1999, Naturvårdsverket 2006). Intensivt fiske av stor rovfisk som torsk har visats kunna påverka flera andra nivåer i näringsväven, från djurplanktonätande fisk till primärproducenter.

Ekosystemeffekter mellan predatorer och byten som omfattar tre eller flera trofiska nivåer kallas ofta trofiska kaskader (Carpenter & Kitchell 1988; Pace m fl. 1999; Shurin m fl. 2002). Trofiska kaskader är väl studerade i sötvatten (Carpenter & Kitchell 1993), och omfattande ekosystemförändringar som orsakats av en förlust av rovfisk har också observerats i ett antal marina ekosystem (t.ex. Pinnegar m fl. 2000, Jackson m fl. 2001, Shurin m fl., 2002, Scheffer m fl., 2005); från kustnära kelpskogar (Shears och Babcock 2003, Halpern m fl. 2006) till pelagiska utsjösystem (Frank m fl. 2005, Dascalov m fl. 2007, Casini 2006). Förekomsten av sådana ekologiska förändringar till följd av mänsklig påverkan underströk behovet av en ekosystembaserad förvaltning av fiskeresurserna i Östersjön.

I Östersjön minskade torskbeståndet dramatiskt på 1980-talet, troligen på grund av överfiske och ogynnsamma hydrologiska förhållanden för torskens reproduktion. Minskningen av torsk resulterade i ett minskat predationstryck på skarpsill, och det tidigare torskdominerade ekosystemet ersattes av ett skarpsillsdominerat system (ICES 2006a, b, Österblom m fl. 2007). Den dramatiska ökningen av skarpsillsbeståndet, förstärkt av en förändring i klimatet (Alheit m fl. 2005) vilket också gynnade skarpsillsrekryteringen (MacKenzie & Köster 2004), hade en negativ inverkan inte bara på individtillväxten hos djurplanktonätande fisk (skarpsill och sill) utan föreslogs även kunna orsaka kaskadeffekter på djurplankton och växtplankton (Casini 2006). Även om tillförseln av närsalter är avgörande för att kontrollera primärproduktionen och därmed graden av eutrofiering, skulle återetablering av ett predatorstyrt ekosystem också bidra till att minska eutrofieringssymtom såsom algblomningar (Casini 2006).

Parallellt med skiftet i utsjöns ekosystem noterades minskade landningarna av de kustnära rovfiskarna abborre och gädda i kustnära områden i Egentliga Östersjön (Ljunggren m fl. 2005, Ask & Westerberg 2008). Orsakerna till detta föreslogs kunna vara en svag rekrytering till följd av att larverna svälte ihjäl efter kläckning (Nilsson m fl. 2004, Ljunggren m fl. 2005), och/eller till följd av en ökad predation från storspigg på unga livsstadier (Nilsson 2006) och sjöfåglar i synnerhet skarv (Saulamo m fl. 2001). Förändringar som observerats i kustekosystemet var en ökad förekomst av säl (Engström och Pettersson 2003) och sjöfåglar. Pågående analyser av rumsliga mönster i förekomst av olika trofiska nivåer i kustekosystemet indikerade att förekomsten av rovfiskar (gädda och abborre) var negativt korrelerade till mängden fintrådiga påväxtalger. Områden med få rovfiskar hade höga tätheter av småfisk som i sin tur äter betare (Eriksson pers komm). De strukturella förändringarna i Östersjöns kustnära ekosystem, vilka ofta har tillskrivits eutrofiering (Bonsdorff m fl. 1997, Berger m fl. 2004), skulle således i likhet med observationer i utsjön delvis kunna förklaras av kaskadeffekter från minskad förekomst av rovfisk. Småskaliga experiment i Östersjön visade

också att avlägsnandet av mesopredatorer (dvs. fiskar som äter betare) resulterar i 'top-down'-effekter liknande en minskad tillförsel av näringsämnen (Korpinen m fl. 2007).

Mänsklig störning, som utsläpp, föroreningar, klimatförändringar och fiske kan sänka motståndskraften i ett ekosystem genom att minska den biologiska mångfalden, reducera funktionella grupper eller hela trofivåer (Folke m fl. 2004, Persson m fl. 2007, Scheffer & Jeppesen 2007, Carpenter m fl. 2008). Östersjön är ett artfattigt och eutrofierat ekosystem med högt fisketryck, och dessa faktorer antas göra ekosystemet mer benäget att förändras (Pace m fl. 1999, Shurin m fl. 2002, Myers m fl. 2007).

Allt fler undersökningar hade också visat att sannolikheten för att ekosystemet skiftar till ett alternativt stabilt stadium (ASS) ökar när mänskliga störningarna minskar motståndskraften i systemet. Ett ekosystem med ASS kan enkelt definieras som ett system som kan kvarstå i endera tillståndet på obestämd tid under samma miljöförhållanden eller nivå av mänskliga störningar (Schröder m fl. 2005). Orsaken är att återkopplande mekanismer i interaktionen mellan arter motverkar en återgång till det ursprungliga tillståndet (Stephens m fl. 1999) vilket därmed kan låsa systemet i ett tillstånd som inte ändras även om de miljömässiga villkoren (eller störningen) som framkallat tillståndet återgått till en nivå under den kritiska punkten där skiftet inträffade (Carpenter m fl. 2008). Den potentiella förekomsten av ASS i en rad marina ekosystem stöds av empirisk data (t.ex. Scheffer & Carpenter 2003, Petraitis & Dudgeon 2004). Experiment, liknande de som utförts i flera sötvattenssystem, behövs emellertid som ytterligare bevis på förekomsten av ASS i marina ekosystem (Schröder m fl. 2005).

Det finns både småskaliga exempel (se till exempel Schmitz 2004, Schröder m fl. 2005) och storskaliga exempel på förekomsten av ASS i sötvatten. Det bästa storskaliga exemplet på ASS där de avgörande mekanismerna också är klart definierade är studien av sjön Takvatn, där Persson m fl. (2007) reducerade ett tusenbrödrabestånd av liten bytesfisk i en stor, lågproduktiv sjö, vilket orsakade en ökning i tillgången på liten bytesfisk genom minskad konkurrens om mat, så att även rovfisken kunde återhämta sig. Förskjutningen mot en ökad andel rovfisk i fisksamhället har varit stabil under mer än 15 år efter reduktionsfisket och tätheten av små bytesfiskar förblivit höga trots hög predation från rovfisken, vilket alltså indikerar förekomst av alternativa stabila tillstånd i ett större naturligt akvatiskt ekosystem. Detta är ett exempel på att en rovfiskpopulation kan forma den biologiska miljön till sin egen fördel genom storleksselektiv predation på bytesfisken. Att förstå förekomsten av sådana responsmekanismer bakom ASS är avgörande, eftersom det kan komma att krävas fler och mer omfattande förvaltningsåtgärder för att återfå ett önskvärt ekosystem där ASS låser systemet i ett oönskat tillstånd.

I Östersjön hade man minskat fisketrycket på torsk utan att se någon nämnvärd ökning av beståndet samtidigt som man hade observerat att bytesfisken led av dålig tillväxt. Sammantaget fanns det en risk att Östersjöns fisksamhälle hade fastnat i ett ASS vilket innebär att det inte kommer att räcka att minska fisketrycket på torsk för att återbygga beståndet. Denna typ av kunskap är viktig för förvaltningen av våra fiskbestånd och av central betydelse för en framgångsrik ekosystembaserad förvaltning. Även om återuppbyggnaden av våra fiskbestånd i Östersjön i första hand måste ske genom att fisket på dessa begränsas bedömdes, vid början av 2000-talet, att detta inte var en tillräcklig åtgärd för att återfå starka bestånd av rovfisk, vare sig i utsjön eller vid kusten. Detta ledde till att regeringen gav Fiskeriverket 2008-2013 i uppdrag att utreda möjliga åtgärder för att "återskapa ekologisk jämvikt i Östersjöns havsmiljö".

## 2.2 Uppdraget

Den negativa utvecklingen av Östersjöns ekosystem som observerades under 1990- och början av 2000-talet ledde till att Fiskeriverket i sitt regleringsbrev för 2007-07-05 fick i uppdrag att:

*”i ett avgränsat kustområde genomföra försöksinsatser med skarpsillsutfiskning<sup>1</sup> med syftet att undersöka om metoden kan bidra till att återskapa ekologisk jämvikt i Östersjöns havsmiljö. Under försökets första fas, år 2007, skall en pilotstudie och planering utföras där alternativa strategier för utfiskningen utvärderas, internationella samarbeten organiseras, samt dialog med intressenter genomförs. Det fortsatta försöket skall utvärderas för att ge kunskap avseende metodens kostnadseffektivitet och miljökonsekvenser samt framtida möjligheter att genomföra åtgärderna i större skala. Uppdraget skall genomföras i samråd med Naturvårdsverket och pilot- och planeringsfasen skall redovisas den 1 mars 2008. Projektet skall delredovisas den 31 december 2009 och slutredovisas den 31 december 2013.”*

Fiskeriverket tolkade uppdraget som att utvärdera om en experimentell reduktion av djurplanktonätande fisk i ett begränsat område i Egentliga Östersjön kan förväntas ge effekter som underlättar återetableringen av stor rovfisk, samt att utvärdera om, och hur, reduktionen av djurplanktonätande fisk påverkar övriga delar i födoväven. Arbetets övergripande syfte var att bidra med ny kunskap till hur ekosystemansatsen skall kunna tillämpas inom fiskeriförvaltningen i Östersjön.

## 2.3 Pilotprojekt och planeringsfas

Projektet PLAN FISH föregicks år 2007 av ett pilotprojekt (delfinansierat av Baltic Sea 2020) som bl.a. omfattade en litteraturgenomgång och bakgrundsdocumentation, en initial riskanalys samt en vetenskaplig workshop (Anon 2008). För att inhämta kunskap från olika vetenskapliga discipliner inbjöds utvalda nationella och internationella forskare till en gemensam workshop i december 2007 för att diskutera och bidra till utformningen av den slutliga projektplanen. Utfallet av denna workshop låg sedan till grund för det fortsatta arbetet med projektets utformning. Viktiga utfall av workshopen var 1) schematiska modeller av samspelet och föreslagna återkopplingar mellan arter i kust- och utsjöekosystemen, som användes i utvecklandet av ekologiska födovävsmodeller, 2) etableringen av potentiella nationella och internationella samarbeten.

---

<sup>1</sup> Fotnot: Projektet har sedan kommit att använda termen ”reduktionsfiske” för att beteckna reduktion av djurplanktonätande fisk (sill, skarpsill och spigg) av en sådan magnitud att det kan förväntas påverka interaktionen mellan olika trofiska nivåer i födoväven.

## 2.4 Projektets ursprungliga hypoteser och planerade tillämpning

Projektets övergripande syfte har varit att bidra med ny kunskap till gagn för en ekosystembaserad fiskeriförvaltning i Östersjön. Mer specifikt har syftet varit att undersöka hur vi kan återskapa ett ekosystem där stora rovfiskar har en strukturerande effekt på bytesfiskpopulationerna både på kusten och i öppet hav, samt att studera rovfiskarnas indirekta effekter på andra trofiska nivåer i ekosystemet. Dessa målsättningar har formulerats som två övergripande frågeställningar:

*A. Hur kan rovfiskdominerade kust- och utsjöekosystem återetableras i Östersjön?*

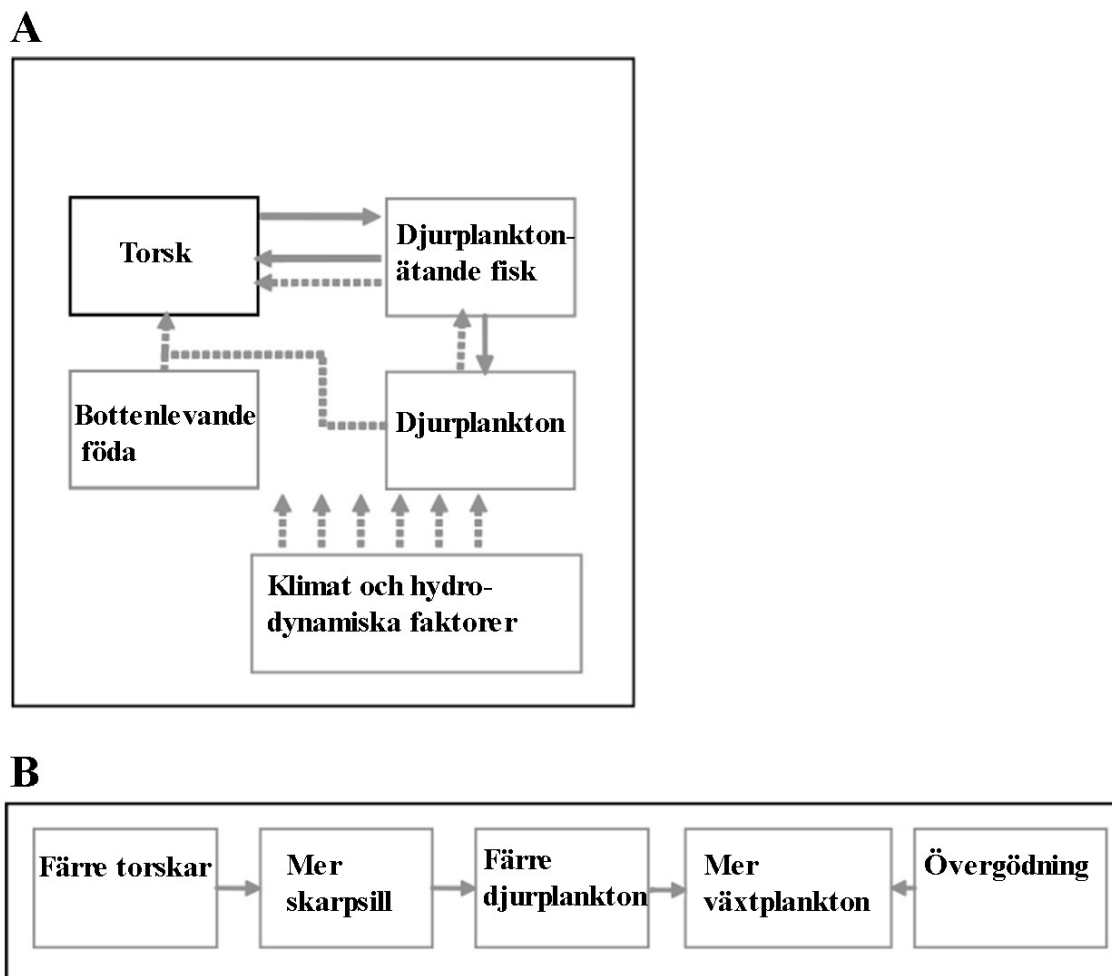
*B. Vilka är ekosystemeffekterna av en ändrad förekomst av rovfisk i kustens och utsjöns ekosystem?*

Dessa två övergripande frågeställningar har brutits ned till att identifiera nyckelmekanismer av betydelse för ekosystemets struktur och funktion. En kombination av modeller och experiment har använts för att utvärdera reduceringsfiske på skarpsill och sill som metod för att analysera följande hypoteser:

### Hypoteser utsjön:

A: Projektet skall utvärdera möjligheten att vända ekosystemskiftet i utsjön genom en reduktion av skarpsillsbeståndet (Fig. 2.4.1 A). Det existerande skarpsilldominerade ekosystemet i öppna havet, orsakat av för högt fisketryck på torsk och negativa abiotiska förhållanden för torsk rekrytering, samt följaktligen minskad torskpredation på skarpsill, representerar ett stabilt alternativt tillstånd, som motverkar en återhämtning av torsken även vid förbättrade abiotiska förhållanden och/eller ett minskat fisketryck. Det alternativa stabila tillståndet kan upprätthållas av två ekologiska mekanismer (a) konkurrensen mellan skarpsill och torsklarver om djurplanktonföda och predation av skarpsill på torskägg, och (b) förändringen i tillgång/den rumsliga fördelningen av arterna och kvaliteten hos torskens byte (djurplanktonätande fisk) på grund av minskad tillväxt och fekunditet hos skarpsill.

B: Minskningen av torsk har lett till en ökning av skarpsill i Östersjön som i sin tur har resulterat i en trofisk kaskad, d.v.s. en minskning av djurplankton och en ökning av växtplanktonblomningar, vilket felaktigt skulle kunna tolkas som en effekt enbart av eutrofiering (Fig. 2.4.1 B). Starka rovfiskbestånd kan således minska eutrofieringssymptomen i Östersjöns utsjö.



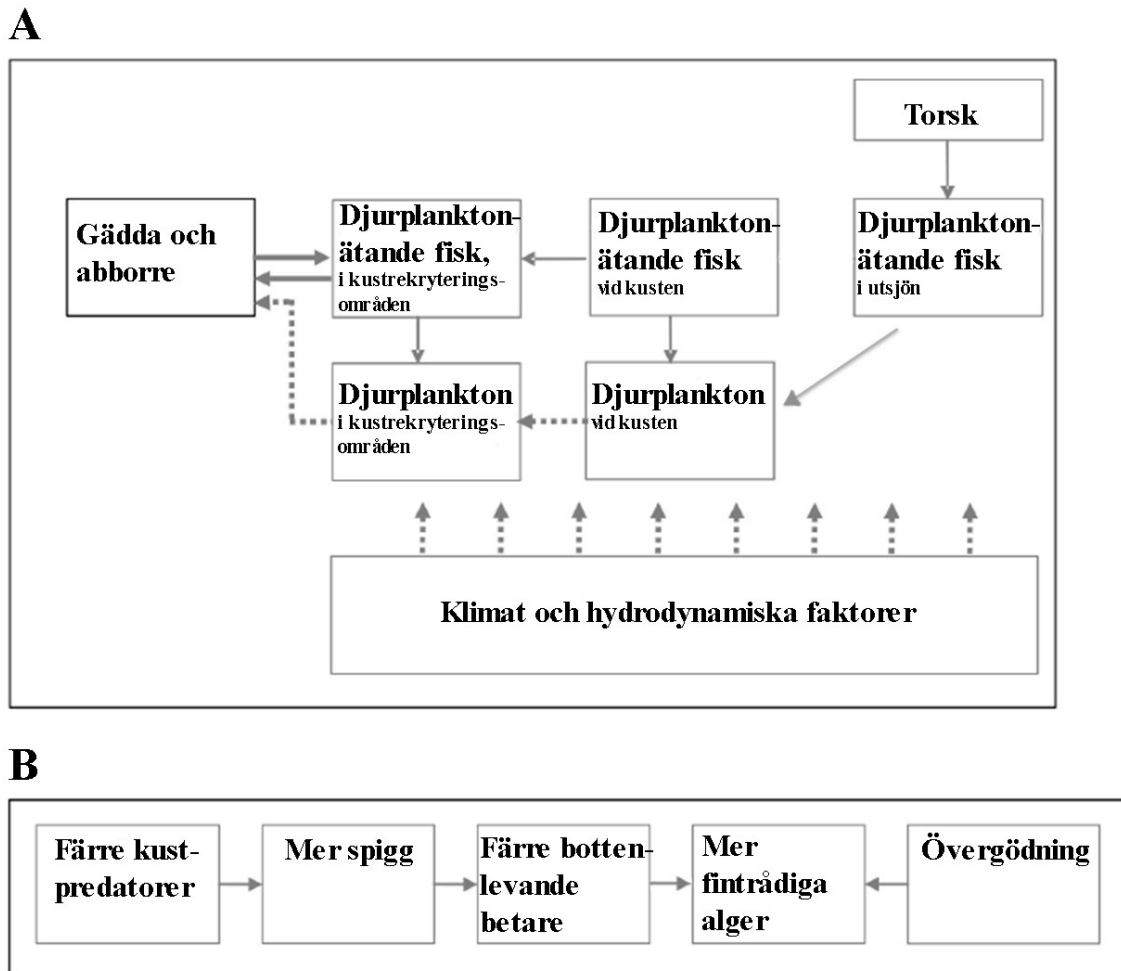
**Figur 2.4.1.** Konceptuell modell av hypoteserna för utsjön A och B. I figur A refererar heldragna pilar till predatorinteraktioner ('top-down') och brutna pilar till 'bottom-up' och hydroklimatiska effekter. B visar möjliga effekter av en trofisk kaskad, vid en minskning av torskpopulationen.

### Hypoteser Kust

A: Rekryteringsstörningar hos gädda och abborre är ett indirekt resultat av tillståndet i utsjön, styrt av in- och utvandringen av konkurrerande djurplanktonätande fisk, och/eller spridningen av djurplankton mellan utsjön och kusten. Den nuvarande dominansen av djurplanktonätande fisk i kustekosystemet är: (a) relaterat till utsjöns effekt på kustekosystemet, genom konkurrens mellan djurplanktonätare i utsjön och abborr- och gäddlarver om djurplankton, eller (b) ett lokalt genererat tillstånd i kustsystemet, reglerat av konkurrensen mellan spigg och abborr- och gäddlarver om djurplankton som föda eller predation av spigg på abborr- och gäddlarver i rekryteringsområden på kusten. Under projektets gång formulerades ytterligare en hypotes c) om kannibalism i kombination med inomartskonkurrens reglerar abborren i kustområdena. Möjligheten att återfå ett rovfiskdominerat tillstånd i kustekosystemet där gädda och abborre har en strukturerande roll kommer att undersökas genom att reducera påverkan från djurplanktonätare i kust- och/eller utsjöområden (Fig. 2.4.2 A).



B: Bristen på rovfiskar har orsakat en trofisk kaskad i kustekosystemet. Mängden spigg har ökat och därmed spiggens predation på betare. Till följd av detta har också biomassan av trådformiga alger ökat. Avsaknaden av en "top-down" kontroll från rovfiskar på kusten har följaktligen ökat eutrofieringssymptomen i Östersjöns kustområden (Fig. 2.4.2.B).



**Figur 2.4.2.** Konceptuell modell av hypoteserna för kusten A och B. I figur A refererar heldragna pilar till predatorinteraktioner ('top-down') och brutna pilar till 'bottom-up' och hydroklimatiska effekter. B visar möjliga effekter av en trofisk kaskad vid en minskning av kustlevande rovfiskar.

## 3 Projektets genomförande

De grundläggande frågeställningarna om hur förutsättningar för livskraftiga bestånd av rovfisk skapas samt vilken roll dessa rovfiskar har i näringsväven är de samma för ekosystemen på kusten och i öppet hav. Projektet har därför haft samma grundläggande vetenskapliga angreppssätt för att svara på frågor relaterade till de två ekosystemen: 1) omfattande insamling, sammanställning och analys av fält- och monitoringdata, 2) storskaliga fältexperiment, 3) dynamiska födovävsmodeller. För kusten har dessutom laboratorieexperiment genomförts.

Genom sammanställning av befintlig biologisk och hydrografisk data samt nya insamlingar från fält har naturliga gradienter i tid och rum kunnat utnyttjas för statistiska analyser. Analyserna av dessa naturliga experiment har fokuserat på ekologiska mekanismer som formar ekosystemens födovävar och förekomsten av trofiska kaskader. För att verifiera de korrelativa samband som framkommit i gradientstudierna utformades storskaliga fältexperiment/naturliga experiment. Dynamiska födovävsmodeller utvecklades för att studera vad som påverkar dynamiken i kustens och det öppna havets födovävar. Modellerna gav möjlighet att testa olika biologiska mekanismer som förklaringar till de mönster som observerats i fältstudierna. De stadie- och storlekstrukturerade födovävsmodeller som använts har även gett förutsättningar för att utvärdera förekomsten av de alternativa stabila tillstånd (ASS) som föreslagits förekomma i Östersjön. Födovävsmodellerna kräver information om storleksspecifikt födointag i relation till mängden föda och om metabolism och tillväxthastighet för nyckelarter i födovävarna. Där denna information inte fanns tillgänglig i litteraturen har småskaliga laboratorie- och fältexperiment genomförts.

Huvudfokus har inom projektet legat på utsjöns ekosystem, medan studierna av kustsystemet varit betydligt mer begränsade till sin omfattning. Trots likheter i problemställning och angreppssätt för de två ekosystemen har det praktiska genomförandet av projektet kommit att skilja sig mellan kust och öppet hav. Detta beror dels på att mängden tillgänglig data och information har skiljt sig åt, samt att förutsättningarna att begränsa ekosystemen rumsligt i fältprovtagningar och fältexperiment är olika för kust och hav. Dessutom har projektplanen anpassats för att inkorporera kunskap från tidiga resultat och slutsatser i projektet samt utifrån andra strategiska beslut tagna av styrgruppen där Naturvårdsverket/HaV har ingått.

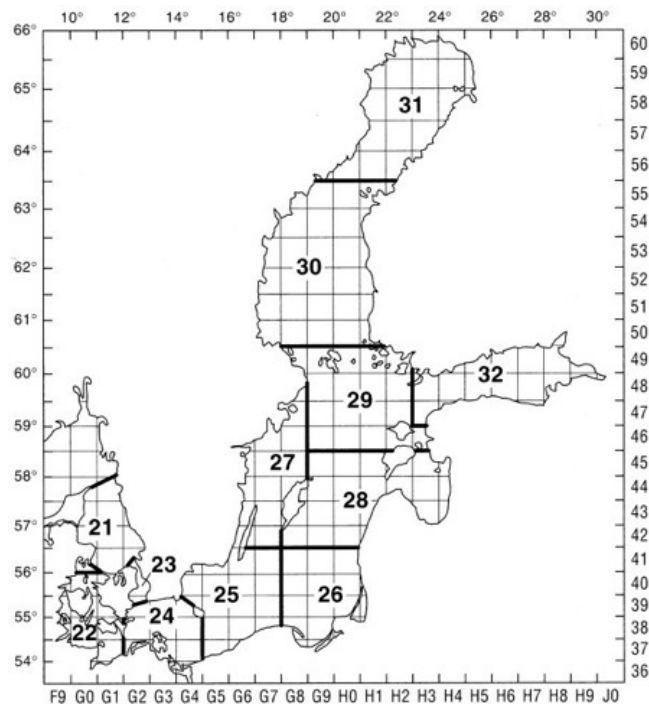
Inledningsvis planerades en beslutsmodell, som skulle använda projektets ekologiska modeller för att belysa risker med olika förvaltningsåtgärder inkluderande bl.a. effekter av klimatförändringar och invasiva arter. De kontrakterade riskanalytikernas modeller visade sig dock inte vara kompatibla med de ekologiska jämviktsmodellerna som använts i projektet. Arbetet har därför istället fokuserats på att ta fram ett verktyg för beslutsfattande under osäkerhet (se 3.4).

### 3.1 Ekosystemet i öppet hav

#### **Fält- och monitoringdata**

Data över förekomst, utbredning, kondition och tillväxt av torsk, sill och skarpsill i öppet hav från de internationellt koordinerade bottentrålningarna (BITS) och akustik-surveyerna efter sill och skarpsill (BIAS) har sammanställts (områdena i Östersjön benämns senare i texten efter indelning av ICES i ”subdivisioner”, SD, se figur 3.1.1). Genom samarbeten kring

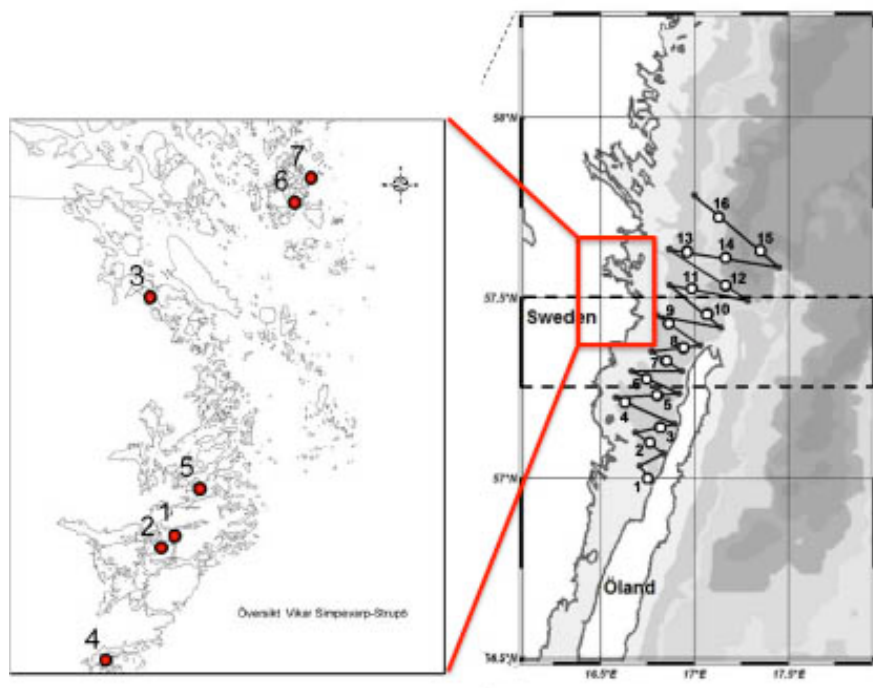
Östersjön har även dataserier över djurplankton, växtplankton och hydrografiska data tillgängliggjorts. Temporala och rumsliga analyser har använts för att relatera förekomsten av fisk till andra komponenter i näringsväven och till rådande hydrografiska förhållanden. Analyserna har särskilt fokuserat på att upptäcka och förklara förekomst av trofiska kaskader i näringsvävarna, förändringar i tillväxt och kondition hos fiskarterna, samt förändringar av rumslig fördelning av fiskbestånden.



**Figur 3.1.1.** Karta över Östersjön med de delområden (Subdivision, SD) som används inom ICES rådgivning angående fiskbestånd.

### Fältexperiment med reduktionsfiske av djurplanktonätande fisk

Ett storskaligt fältexperiment har genomförts i norra Kalmarsund (se Fig. 3.1.2) där avsikten har varit att studera effekter av förändringar i mängden djurplanktonätande fisk på övriga ekosystemet inom ett begränsat havsområde. Fältexperimentet inleddes med en förstudie 2009 där förekomsten och den rumsliga fördelningen av djurplanktonätande fisk, djurplankton och växtplankton kartlades över säsongen (Tabell 3.1.1). Följande år (2010-2011) ökades fisketrycket lokalt i experimentområdet, där en särskild vetenskaplig kvot gjorde det möjligt att styra och dokumentera utvalda kommersiella båtars fiske. Syftet var att reducera mängden djurplanktonätande fisk i området och relatera detta till eventuella förändringar i mängd och sammansättning av djur- och växtplankton. Relationen mellan de olika komponenterna i födoväven har sedan analyserats rumsligt och över tiden. Förutom att studera effekter på ekosystem av en reduktion i mängden djurplanktonätande fisk kan även relationen mellan naturliga gradienter i fiskförekomst och lägre trofinivåer kunnat undersökas.



**Figur 3.1.2.** Till höger: Området för reduktionsfiske i Norra Kalmarsund där linjerna visar transekten där akustikprovtagning av fisk gjorts och cirklarna (1-16) de stationer där djurplankton, växtplankton och hydrografiska data samlades in. Kartutsnittet visar rekryteringsområden för abborre där fältinsamling genomfördes 2009 och 2010.

**Tabell 3.1.1.** Reduktionsfiske i Kalmarsund och associerad biologisk provtagning i området

År	Vetenskaplig kvot (ton)	Biologisk provtagning
2009		5 tillfällen, maj-oktober (fisk även i november)
2010	2300	8 tillfällen, april-oktober (fisk även i januari)
2011	1800	7 tillfällen, april-oktober
2012		5 tillfällen, april-september

## **Dynamiska födovävsmodeller**

Fysiologiskt strukturerade populationsmodeller (se faktaruta) har utvecklats för att hantera storleksberoende interaktioner mellan individer i födoväven och har varit en förutsättning för att studera förekomsten av alternativa stabila tillstånd och de mekanismer som upprätthåller dessa. Denna typ av modeller beskriver hur individernas status i form av fysiologiska egenskaper (ex. kroppsstorlek) och miljön (ex. födotillgång) påverkar populationens dynamik och sammansättning. Inom projektet har två fullständigt storleksstrukturerade modeller parametriserats: en för sill och skarpsill och en för torsk och skarpsill. Dessutom har de mer komplexa interaktionerna mellan de tre arterna torsk, sill och skarpsill karaktäriserats i en stadiestrukturerad modell. Modellerna har bland annat använts för att studera under vilka förhållanden som trofiska kaskader och alternativa stabila tillstånd kan förväntas i födovävarna.

Inom PLANFISH har två fullständigt storleksstrukturerade modeller parametriserats och analyserats: en för sill och skarpsill och en för torsk och skarpsill. Dessutom har de mer komplexa interaktionerna mellan de tre arterna torsk, sill och skarpsill karaktäriserats i en stadiestrukturerad modell. En stadiestrukturerad modell för kusten har också parametriserats, men inte analyserats fullt ut.

### **Faktaruta: Födovävsmodeller**

För att teoretiskt kunna studera populations- och samhällsdynamik i storleksstrukturerade system behöver man kunna hantera storleksberoende interaktioner mellan individer. **Fysiologiskt strukturerade populationsmodeller** (FSPM, liktydigt med storleks-strukturerade modeller) erbjuder ett ramverk för att explicit och mekanistiskt kunna relatera fenomen på populations och samhällsnivå till processer på individnivå (Metz & Diekmann 1986, De Roos & Persson 2001). Dessa modeller skiljer sig från många andra ekologiska modeller eftersom de utgår från individens storleksspecifika egenskaper och inte från populationens totala egenskaper.

FSPM beskriver hur individers fysiologiska egenskaper (t.ex. kroppsstorlek, ålder och energireserver) och miljön (t.ex. födotillgång) påverkar populationernas dynamik och sammansättning. Väsentligt för FSPM är att alla storleksberoende processer och interaktioner är definierade på individnivå, medan populationers sammansättning och dynamik är en konsekvens av dessa. Inga antaganden om mönster på populationsnivå görs således i förväg.

Modellerna formuleras genom att matematiskt beskriva hur processer på individnivå, såsom tillväxt, överlevnad och reproduktion, beror på fysiologiska egenskaper och miljön. Modellerna kan därför producera såväl prediktioner på populationsnivå (t.ex. längd och amplitud på populationscykler) som på individnivå (t.ex. kroppstillväxt, fekunditet och mortalitet).

\*\*\*\*\*

För att kunna studera effekterna av antaganden på individnivå i mer komplexa födovävar, har en förenklad form av FSPM utvecklats och som till skillnad från individstorlek använder sig av storleksstadier i.e. en **stadiestrukturerad biomassamodell** (De Roos m fl. 2008). Denna typ av förenklad modell kan producera identiska resultat som de fullt storleksstrukturerade modellerna under jämvikt.

Modeller möjliggör att man kan studera stadiespecifika skillnader i energieffektivitet. I likhet med fullt storleksstrukturerade modeller (FSPM), är de formulerade i termer av de nyckelprocesser som utgör individers livshistoria, såsom tillväxt, reproduktion och mortalitet, vilka alla är beroende på livsstadium (storlek). Dessa nyckelprocesser ger, som beskrivits ovan, i sin tur upphov till fenomen på populationsnivå.

Stadiespecifika skillnader i energieffektivitet (nettoproduktion), resursanvändande och ekologiska interaktioner kan karakteriseras. Till skillnad från FSPM analyseras inte kontinuerliga storleksfördelningar utan endast distinkta livsstadier. Dessa identifieras baserat på viktiga livshistorieprocesser och ekologiska interaktioner. I det enklaste fallet består modellen av ett juvenilt och ett adult stadium.

Båda typer av modeller bygger på antagandet att såväl energiintag som kostnaden för metabolism är direkt proportionerliga till kroppsstorlek hos individen. Balansen mellan assimilering genom födointag och energibehov för att upprätthålla metabolism bestämmer nettoproduktionen av biomassa.

## 3.2 Kustens ekosystem

### Fält och monitoringdata

För att undersöka om den fallande trenden i landningar av abborre och gädda från yrkesfisket speglar minskande bestånd hos arterna, sammanställdes data ifrån yrkesfisket och miljöövervakningen längs med Östersjökusten. För områden där provfiske bedrivits med samma typ av redskap under en längre period studerades förändringar i fångst per ansträngning över tid. För provfisken utförda i nationella och regionala referensområden analyserades förändringar i abborr- och gäddbeståndens struktur över tid.

Information om hur förekomsten av abborr- och gäddrekryter har utvecklats över tid är begränsad (i.e. endast Forsmark). Analyserna har därför i huvudsak baserat sig på nya rumsliga undersökningar och fokuserat på abborrens uppväxtmiljöer i en gradient från potentiellt väl fungerande rekryteringsområden till mindre fungerande dito. Genom provfisken med översiktsnät skattades mängden vuxen abborre tillsammans med det övriga fiskesamhället i sju av abborrens potentiella uppväxtområden (Figur 3.1.1). Samtidigt provtogs djurplanktonsamhället, vegetation, och vattenparametrar. Analyserna har framförallt kommit att fokusera på betydelsen av spigg som konkurrent och predator på abborrlarver och på djurplankton som föda för de tidiga larvstadierna av abborre. Dessutom har ett större dataset över yngelförekomst längs hela svenska ostkusten under åren 2000-2011 använts för att undersöka utbredningen av årsyngel abborre och gädda i relation till storspigg. Datat har även använts för att modellera arternas förekomst i relation till olika livsmiljöer och kartlägga förekomsten av lämpliga rekryteringsmiljöer i olika kustområden.

Abborre och gädda i Östersjön använder både kust- och sötvattensmiljöer för reproduktion, men den relativa betydelsen av de olika habitaterna för de vuxna bestånden är dåligt kartlagd. Analyser av grundämnen i fiskens hörselstenar har använts för att kartlägga fiskens ursprung, då halten av strontium (Sr) i fiskens hörselsten (otolit) speglar salthalten i området där fisken vistats. Genom att analysera strontiumhalten i otolitens kärna så kan man få en uppfattning om fisken fötts i sötvatten eller på kusten. Otoliter från vuxna abborrar från sex provfiskeområden längs den svenska kusten analyserades för att studera sötvattenmiljöernas betydelse som uppväxtområden för abborre i ett geografiskt perspektiv. För att studera om proportionen sötvattenfödd abborre förändrats över tid studerades även abborre fångade över en 15-års period i ett provfiskeområde i södra Bottenhavet

### Storskaligt burförsök med utestängning av spigg

För att studera trofiska kaskader i kustekosystemet i större skala genomfördes ett burexperiment (30 x 30 m inhägnader) där mängden spigg manipulerades. Förekomsten av fisk, betare och makroalger följdes under experimentet för att utvärdera förekomst av trofiska kaskader. Experimentet genomfördes i samarbete med Katrin Sieben och Britas Klemens Eriksson från Universitetet i Groningen.

## **Mekanismstudier i småskaliga experiment**

De fysiologiskt strukturerade populationsmodellerna som använts i projektet kräver information om de ingående arternas födointag och tillväxt i relation till kroppsstorlek, storlek på byten och deras abundans. För utsjömodellen och för delar av kustmodellen sammanställdes denna information från litteratordata. Experiment inleddes för att studera abborrlarvers födointag av hoppkräftor (vuxna och larver) relaterat till abborrlarvernas storlek och bytesdjurens täthet. Vidare undersöktes storspiggens funktionella respons i predationen på abborrlarver i större bassänger. För dessa experiment som genomfördes i brackvatten odlades abborrlarver (med föräldrar från Östersjöns kustbestånd) och hoppkräftor våren 2009. Experimenten avbröts inför 2010 eftersom beslut togs om att inte vidareutveckla de inledande stadiestrukturerade kustmodellerna till den typ av storleksstrukturerade modeller som kräver storleksspecifik information.

Ett fältexperiment genomfördes också för att studera täthetsberoende tillväxt och dödlighet under abborrlarvernas tre första levnadsveckor med tillgång till en naturlig födoresurs i form av djurplankton. Vidare analyserades abborrlarvernas påverkan på djurplanktonsamhället.

## **Dynamiska födovävsmodeller**

En stadiestrukturerad modell med abborre och spigg har konstruerats för kustens ekosystem. Denna modell skulle kunna användas för att öka kunskapen om effekter av interaktioner mellan abborre och spigg och för att modellera effekter av förändringar i kustens och sötvattenssystemens bidrag till rekrytering av abborre. Då utvecklingen av de fullt strukturerade modellerna för de tre viktigaste fiskarterna i födoväven i öppet hav (torsk, skarpsill och sill) visade sig vara mer komplicerad än beräknat, prioriterades utvecklingen av den stadiestrukturerade kustmodellen ned, och resurserna koncentrerades på modellerna för öppet hav.

### **3.3 Kopplingar mellan kust och öppet hav**

För att studera om förändringar i det öppna havets näringsväv fortplantar sig till kustens ekosystem analyserades mängden djurplanktonätande fisk av arterna sill, skarpsill och storspigg från nätfisket i abborrens uppväxtområden. För spiggen gjordes ytterligare analyser av den temporala förändringen i fångster i akustikprovtagningen (BIAS) för öppet hav och för kärnkraftverkens övervakning av fiskförluster i kylvattenintagen vid kusten.

Djurplanktondata från kustvikarna och från utsjön i Kalmarsund kombinerades i en multivariat analys för att utvärdera om kustvikarnas djurplanktonsamhällen till stor del påverkades av djurplanktonsamhället i utsjön.



### 3.4 Fallstudier om beslutsfattande under osäkerhet

Syftet med PLAN FISH var att bidra med ny kunskap till gagn för en ekosystembaserad fiskeriförvaltning i Östersjön, men utöver detta syfte, innefattar projektet även hur vetenskaplig kunskap skall komma till nytta för ekosystembaserad förvaltning. Eftersom kunskapen om naturliga system innehåller osäkerheter finns det problem med att gå från vetenskapliga resultat till konkreta förvaltningsråd. Därför har en del av projektet fokuserat på principer och metoder för att ta fram beslutsunderlag under osäkerhet, som kan användas för att förebygga dessa problem.

Ett ramverk för att hantera osäkerheter vid beslutsfattande har tagits fram i samarbete med Lunds Universitet. Detta ramverk innehåller principer och metoder att ta fram beslutsunderlag utifrån ett perspektiv på risk som anpassas både till rådande kunskapsunderlag och beslutsproblemets komplexitet. Ramverket är beskrivet som en verktygslåda, som innehåller exempel och förslag på lösningar till några av de problem som kan uppstå när man skall producera beslutsunderlag för förvaltningen av naturliga system under mänsklig påverkan. I detta fall är det problem relevanta för ekosystembaserad förvaltning, eller mer specifikt, förvaltning med målet att uppnå ett balanserat uttag av fisk över flera trofiska nivåer under alternativa ekologiska och klimatmässiga scenarier. Med andra ord, problem med en komplexitet som vida överstiger dagens fiskeriförvaltning. Ramverket och tillhörande verktyg kan användas för kvantitativ analys av förvaltningsstrategier där både kvalitativa och kvantitativa osäkerheter tas i beaktande.

Metoder för att producera beslutsunderlag och hantera osäkerhet har belysts i tre olika fallstudier med förvaltningsproblemet ”reduktion av planktonätande fisk” som sin utgångspunkt. Den första fallstudien belyser hanteringen av förvaltningsfrågan utifrån ett vidare perspektiv på osäkerhet som väger in formulering av riskanalysen. Den andra fallstudien diskuterar användande och tilltro till kvantitativa modeller för att ge stöd för ett förvaltningsproblem. Den sista fallstudien tar upp problematiken att säkerställa orsak-verkansamband över olika typer av studier.

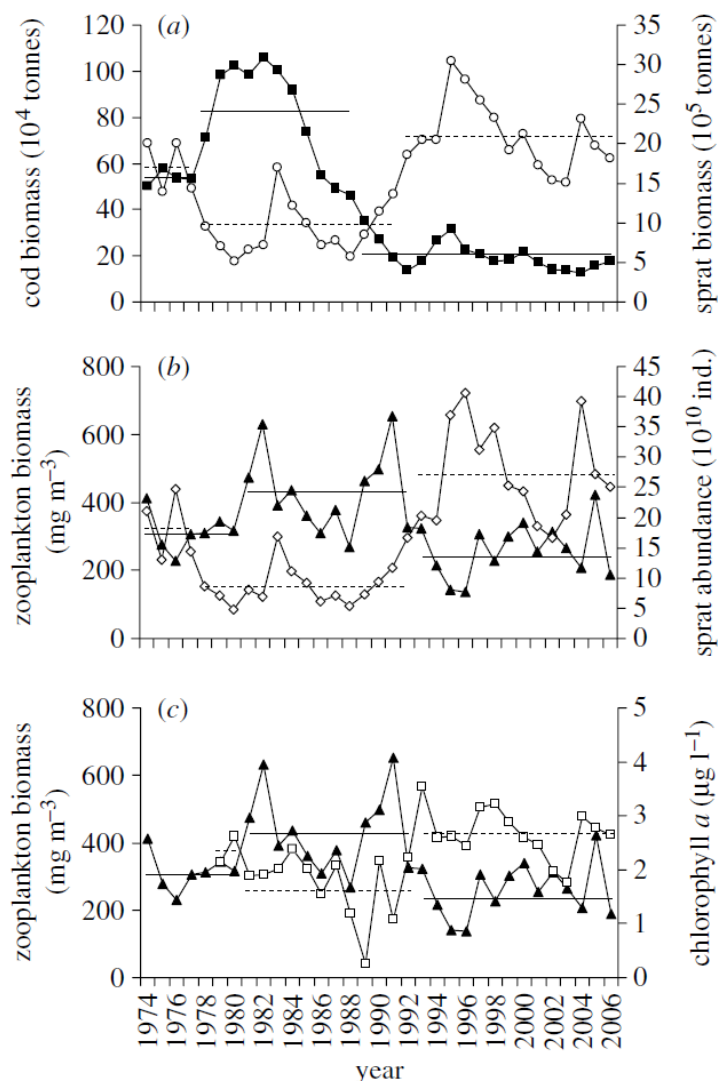
## 4 Resultat och diskussion

### 4.1 Ekosystemet i öppet hav

#### Trofiska kaskader – ekosystemeffekter av förändringar i torskbeståndet

##### *Direkta och indirekta effekter av torskpredation*

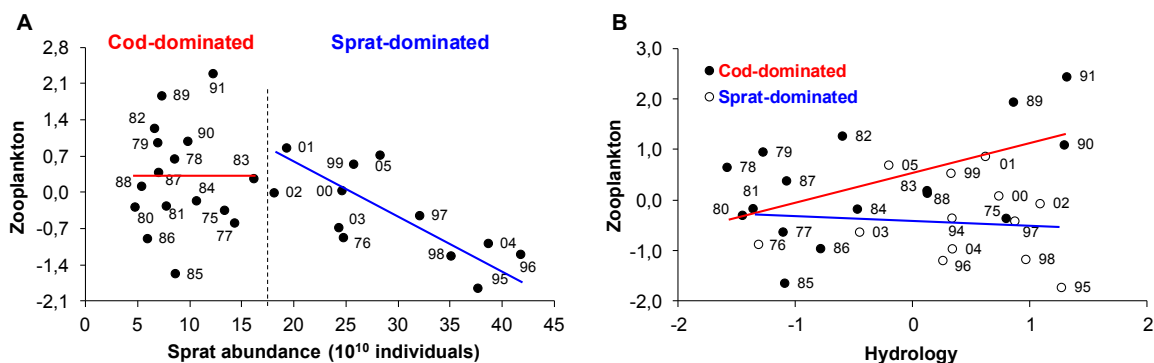
Storskaliga analyser baserat på miljöövervakningsdata visar att ekosystemet i Östersjöns utsjö är starkt reglerat av flera så kallade top-down processer, och det finns tydliga tecken på trofiska kaskader, från torsk ner till växtplankton (**Casini m fl. 2008**). När torskbeståndet är litet ökar överlevnaden hos dess huvudsakliga byten, planktonätande fiskar som skarpsill och strömming, vilket i sin tur orsakar ökat betningstryck på djurplankton. Den totala biomassan av djurplankton minskar därför på sommaren, då predation på djurplankton från djurplanktonätande fisk är som störst, vilket i sin tur leder till en ökad förekomst av växtplankton på sommaren (Fig. 4.1.1). Den omvända sker när det finns mycket torsk. Ett stort torskbestånd kan därför, genom att påverka hela näringskedjan, bidra till att minska övergödningssymtom (d.v.s. minska risken för hög växtplanktonbiomassa under sommaren, **Casini m fl. 2008, 2012, 2013a**). Trofiska kaskader i hela näringskedjan, från torsk till växtplankton, har kunnat visas i centrala Östersjön (**Casini m fl. 2008**) och i Rigabukten (**Casini m fl. 2012**). I centrala Östersjön, har det också föreslagits att den ökade växtplanktonbiomassa, som är resultatet av den påvisade trofiska kaskaden, kan ha bidragit till den ökade utbredningen av syrefria bottenar som setts sedan början av 2000-talet (**Casini 2013a**). Ökad utbredning av syrefria bottenar har, i sin tur, negativ effekt på torskens alla livsstadier (**Casini 2013a**), genom påverkan på spridning, överlevnad och födotillgång.



**Fig. 4.1. 1.** Trofisk kaskad i centrala Östersjöns näringsväv inkluderande torsk (fyllda kvadrater), skarpsill (öppna cirklar), djurplankton (fyllda trekant) och växtplankton (öppna kvadrater, representerade av klorofyll) (från **Casini m fl. 2008**).

De mest märkbara effekterna av denna trofiska kaskad i centrala Östersjön har visat sig när skarpsillbeståndet, p.g.a. minskad torskpredation och gynnsamma miljöförhållanden (t ex högre temperatur), har legat över en viss tröskelnivå. Över denna tröskelnivå (i storleksordningen  $10^{11}$  individer) styrs utvecklingen av djurplanktonbiomassan genom skarpsillspredation, vilket leder till att mängden djurplankton minskar. Under denna tröskelnivå av skarpsill, styr istället miljövariabler t ex salthalt och temperatur, djurplanktonbiomassan i Östersjön (**Casini m fl. 2009**, Fig. 4.1.2). Mindre mängd djurplankton leder till högre konkurrens inom skarpsillsbeståndet så väl som mellan skarpsill och sill/strömning. Den minskade födotillgång till följd av konkurrens leder till lägre tillväxt hos enskilda strömmings- och skarpsillsindivider. (**Casini m fl. 2010, 2011, 2013b**). Storlek vid en viss ålder och kondition (vikt vid en viss längd) hos skarpsill och sill/strömning minskade därför när torsk förekomsten minskade och konkurrensen ökade. Till exempel, i de områden där skarpsill ökade mest i mitten på 1990-talet minskade konditionen hos skarpsill, men även hos strömning med upp till 35 %. Den låga kroppstillväxten är en viktig faktor som delvis förklarar den långvarigt låga lekbiomassan av sill/strömning under 2000-talet, trots en kraftig minskning av fiskeridödlighet under samma period (**Casini m fl. 2010**).

Förändringar i skarpsillsbeståndet har förutom sin effekt på strömming även visats ha negativa indirekta effekter på andra fiskarter, som lax. När det finns mycket skarpsill består laxens diet mest av skarpsill. Denna diet medför en högre risk för utvecklandet av M74-syndrom, som manifesteras som högre dödlighet hos laxyngel (**Mikkonen m fl. 2011**, **Keinänen m fl. 2012**). Den trofiska kaskaden som följer av minskad mängd torsk i centrala Östersjön har alltså flera indirekta negativa effekter på andra fiskarter, såsom strömming och lax.



**Fig. 4.1.2.** Relationen mellan djurplankton och (A) skarpsillsabundans och (B) hydrografiska förhållanden. Blå färg avser perioden när fisksamhället var dominerat av skarpsill och röd färg när torsk dominerade (modifierat från **Casini m fl. 2009**).

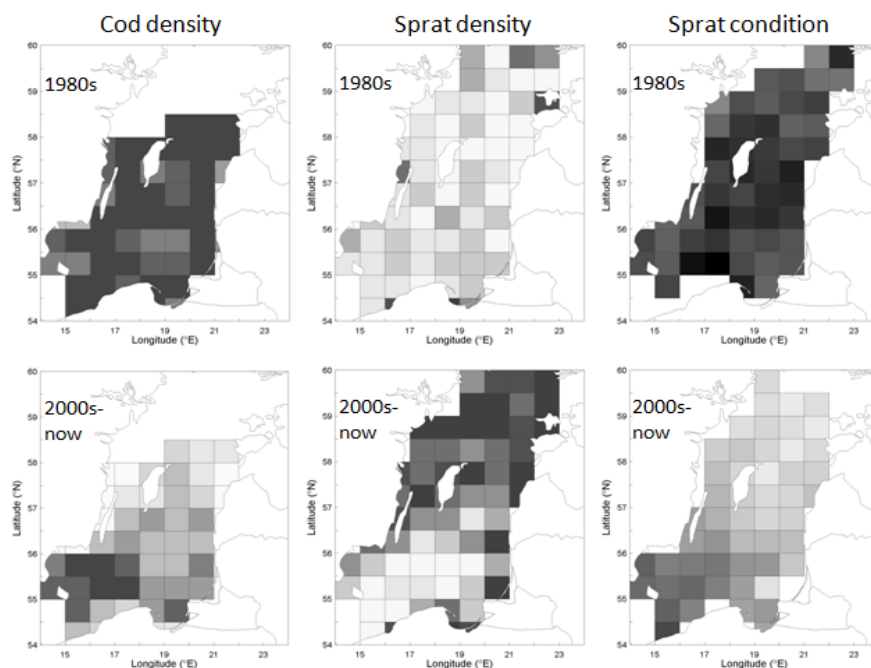
#### *Förutsättningar för att torskpredation skall reglera mängden skarpsill*

Den storleksstrukturerade flerartsmodell som utvecklats i projektet visar att en förutsättning för att trofiska kaskader skall ske är att torsken har en kraftigt reglerande effekt på skarpsillsbeståndet genom direkt predation på skarpsill. Detta kan inte ske om torskbeståndets tillväxt hämmas av t ex hög dödlighet orsakat av fiske eller av brist på mat under tidigare stadier i livscykeln innan torsken blivit fiskätare. Torskens larver och unga juveniler äter främst djurplankton. Senare övergår torskindividerna från att leva i den fria vattenmassan till ett liv närmare botten. Då byter den allt mer till att äta bottenjur och det är först med ökande kroppsstorlek som den blir en betydande fiskätare (Hüssy m fl. 1997). Modellanalyserna visar t ex att torskbeståndets utveckling därför skulle kunna regleras av tillgången på bottenjur, så till den grad att dess predation inte kan påverka skarpsillsbeståndet om bottenjurstillgången är begränsad tidigare under livscykeln (**van Leeuwen m fl. 2013**). Hur viktiga bottenlevande djur är för torskens faktiska populationsutveckling i Östersjön är inte känt, då tillräckligt bra data på tillväxten hos så små torsk saknas. Om tillgången på bottenjur är avgörande för torskens möjlighet att snabbt växa in i ett fiskätande stadium, så kan den nuvarande mycket stora utbredningen av syrefria bottenområden (som förhindrar produktionen av bottenlevande djur), hämma torskens möjlighet att kontrollera skarpsillsbeståndet via predation. På 1970-1980 talen, när syrefria bottenområden inte hade så stor utbredning, hade torsk förmodligen tillräckligt med bottenlevande djur i sin föda för att växa fort och därmed kunna kontrollera skarpsillsbeståndet.

*Utbredning av torsk, skarpsill och sill: implikationen för trofiska kaskader och ekosystem*

Torskens utbredning över tid varierar markant i Östersjön, och beror till stor del på beståndets storlek, men påverkas också av lokala hydrologiska förhållanden som salthalt och syreförhållanden på botten, samt av närhet till aktuella lekområden (**Tian m fl. 2012**). Artens kärnområde finns i det som kallas centrala Östersjön, främst kring Bornholmsbassängen. När det fanns mycket torsk, under mitten av 1970-talet till början av 1990-talet (ICES 2013), expanderade beståndet från kärnområdet, in till vad som annars kan anses som randområden, d.v.s. delar av Östersjön med lägre salthalt som t ex Rigabukten, Finska viken och Bottenhavet (**Casini m fl. 2012**). Under dessa förhållanden förekom torsken också i högre grad i kustnära områden (**Eriksson m fl. 2011**, Olsson m fl. 2013). När torskbeståndet minskade i storlek, från sent 1980-tal fram till mitten på 2000-talet (ICES 2013), krympte också dess utbredning och koncentrerades till kärnområdet i de sydliga delarna av Östersjön. Denna expansion och kontraktion av torskens utbredning påverkar ekosystemen även i randområdena (**Casini m fl. 2012**). I Rigabukten, har närvaron och sedan frånvaron av torsk (som en följd av expansionen och kontraktionen) lett till en trofisk kaskad via strömning och djurplankton ner till växtplankton, motsvarande den som observerats i centrala Östersjön (**Casini m fl. 2012**). Detta visar att ekosystemförändringar som uppstår i ett område kan fortplanta sig till angränsande ekosystem och områden genom t ex migrerande fiskarter eller förändringar i beståndens utbredning. Trofiska kaskader, som en effekt av variationer i torskbiomassan, har därför hittats både i Centrala Östersjön och i randområdena i utsjön (samt på kusten, se avsnitt Kustens ekosystem nedan).

Eftersom utbredningen av torsk minskar när beståndet blir mindre, har ekosystemeffekterna av torskbeståndets minskning sett olika ut i olika delar av Östersjön under de senaste 40 åren. Från mitten av 1970-talet till början av 1990-talet var bestånden av torsk, skarpsill och strömning/sill relativt homogent fördelade över hela centrala Östersjön (**Casini m fl. 2011, 2012**). När torskbeståndet minskade under början 1990-talet koncentrerades beståndets utbredning till de sydvästra delarna av centrala Östersjön (**Casini m fl. 2012**), medan skarpsill, och även strömning till viss del, koncentrerades till de nordostliga delarna (**Casini m fl. 2011**). Detta ledde i sin tur till att konkurrensen mellan skarpsillar och mellan skarpsill och strömning/sill var som störst i detta område, och att arternas kroppstillväxt blev betydligt lägre än i de södra delarna av centrala Östersjön (**Casini m fl. 2011, 2013b**, Fig. 4.1.3). Om skarpsills- och strömmingsbeståndens koncentration till de nordostliga delarna av Östersjön skedde på grund av minskad torskbiomassa i de områdena, eller hade någon annan orsak, är fortfarande inte klarlagt. Minskad torskpredation i norra Östersjön är dock en av de mest sannolika förklaringarna (**Casini m fl. 2011, 2013b**). Sammantaget visar detta att förändringar i torskbeståndets storlek kan påverka många olika arter i näringskedjan, samt resultera i att ekosystemeffekterna kan komma att skilja sig åt i olika delar av Östersjön.



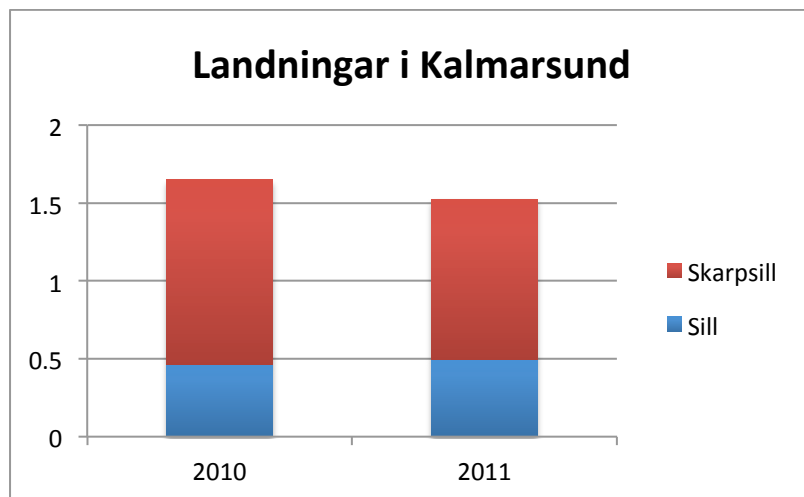
**Fig. 4.1.3.** Rumsliga förändringar i torsk (vänster) och skarpsillsbestånden (mitten), samt skarpsillskondition (höger) under 1980-talet och 2000-talet. Ju mörkare markering desto fler fiskar. (modifierat från **Casini 2013a**).

Dessutom ser de senaste årens utveckling av torskbiomassan olika ut i de sydvästra jämfört med de nordostliga delarna av centrala Östersjön (ICES 2013). Den ökning av beståndets biomassa som observerats sedan 2007, har enbart skett i de södra delarna (ICES sub-division 25 och delvis 26, se figur 3.1.1.), medan torskbiomassan är fortsatt låg i nordost. Det visar såväl modellskattningar för beståndsanalys (**Eero m fl. 2012**), som data från trålundersökningar under vårvintern (ICES 2013, **Gårdmark m fl. 2013**, **Lindegren m fl. 2013**). Skarpsillens biomassa har, å andra sidan, minskat i de södra delarna sedan början av 2000-talet och är nu lika låga som i slutet på 1970-talet (**Casini m fl. 2011**, **Eero m fl. 2012**). Ökningen av torskbiomassa i sub-division 25 som har skett sedan 2007 sammanfaller med en kraftig nedgång i medelvikt och kondition hos äldre torskar i samma område (**Eero m fl. 2012**) och återspeglas i fiskets rapporter om mager torsk. Samtidigt har mängden skarpsill och strömming per torsk minskat, och äldre torskars låga kondition skulle därför kunna bero på en begränsad tillgång till föda (**Eero m fl. 2012**). Betydelsen av brist på fiskbyten för torskens tillväxt jämfört med andra potentiellt viktiga faktorer såsom tillgång på annan typ av föda (djurplankton, botten djur) eller syrefria botten har inte analyserats.

Dessa rumsliga förändringar i både utvecklingen av och tillståndet hos bestånden av såväl torsk, skarpsill, som sill/strömming, innebär att man kan förvänta sig att fisket efter torsk, skarpsill och strömming/sill har olika ekosystemeffekter i de olika delarna av Östersjön (ICES 2012, ICES Advice 2013).

#### *Experimentellt reduktionsfiske*

Totalt fiskades ca 1 500 ton strömming och skarpsill 2010 och 2011 inom försöksområdet i Kalmarsund och båda åren dominerades fångsterna av skarpsill (Fig. 4.1.4). Dessa landningar av strömming och skarpsill i Kalmarsund motsvarar ca 3 % (2010) och ca 8 % (2011) av landningarna i hela sub-division 27. Landningarna av strömming och skarpsill i försöksområdet motsvarar ca 3 % (2010) och 19 % (2011) av fiskbiomassan i Kalmarsund, baserat på akustikundersökningar under april månad.

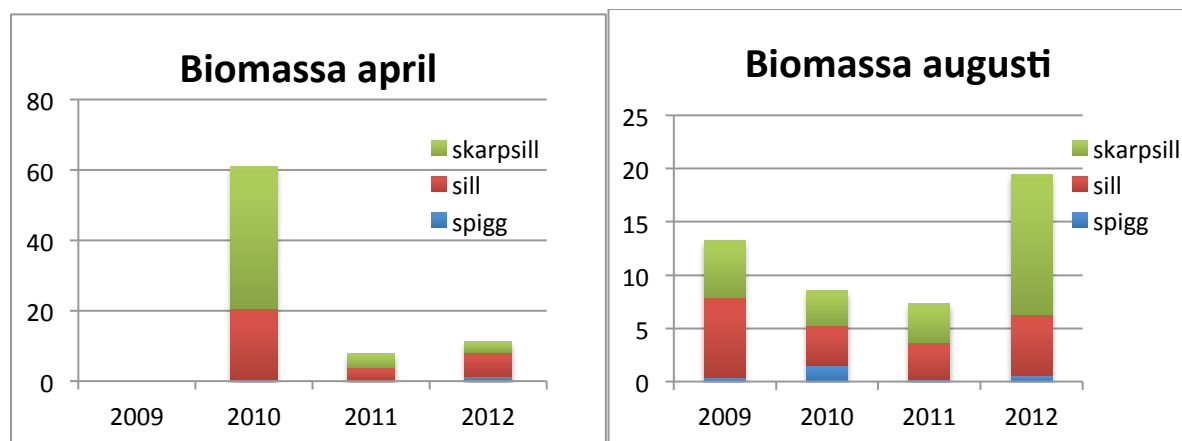


**Fig. 4.1.4.** Kommersiella landningar (1000-tals ton) i Kalmarsunds försöksområde 2010 och 2011.

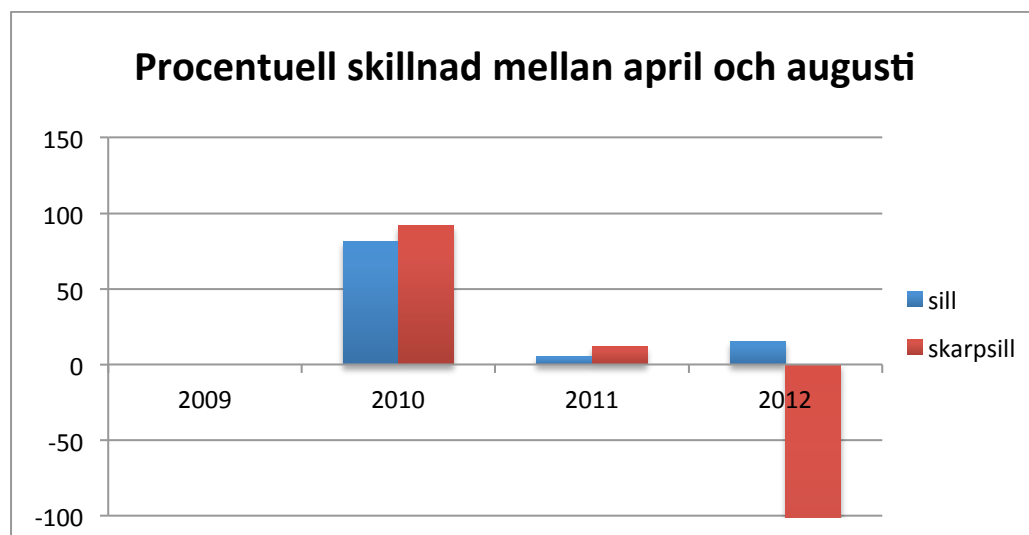
Reduktionsfiske pågick mellan mars och maj både 2010 och 2011. Effekten av reduktionsfisket förväntades visa sig som en minskad biomassa av planktonätande fisk från tidig vår fram till sommaren. Eventuella effekter av en minskad fiskbiomassa förväntades vara mest synliga under sen vår och på sommaren.

Resultaten visar att fiskbiomassan var lägre under sommaren 2010 och 2011 (när reduktionsfisket pågick) jämfört med 2009 och 2012 (innan och efter reduktionsfisket), framför allt för skarpsill (Fig. 4.1.5). En nedgång i fiskbiomassa mellan vår och sommar kunde ses 2010 och 2011, men inte åren utan reduktionsfiske (2009 och 2012) när en ökning istället observerades. Nedgång i fiskbiomassa mellan vår och sommar under 2010 och 2011 var särskilt tydlig för skarpsill (Fig. 4.1.6). Å andra sidan, var nedgången mellan vår och sommar 2010 för stor för att enbart vara en effekt av fångsterna i områden (jämför Fig. 4.1.4 och Fig. 4.1.5). Mellan vår och sommar 2010, bara runt 3 % av den fiskbiomassan som fanns i april fiskades ut under reduktionsfisket. I 2011, å andra sidan, nästan 20 % av fiskbiomassan fiskades ut av den som fanns i områden i april, och därför är mer sannolikt att reduktionsfisket hade en effekt på sommar fiskbiomassan.

Slutsatsen är därför att ett ökat fiske i norra Kalmarsund verkar ha haft en viss effekt på fiskbiomassan och på artsammansättningen, men att de naturliga variationerna (fiskvandring in till och ut från Kalmarsund) sannolikt har påverkat effekten av det experimentella reduktionsfisket. Det är därför inte möjligt att med säkerhet säga att reduktionsfisket är den viktigaste faktorn bakom nedgången i fiskpopulationerna som observerades under reduktionsfisket. Därför utvärderas inte de direkta och indirekta effekterna av reduktionsfisket som en direkt jämförelse mellan år med och utan fiske. Däremot ger variationer i fiskbiomassan och artsammansättning oss möjlighet att undersöka vilka faktorer (top-down, bottom-up och hydrologiska) som påverkar de olika trofiska nivåerna i ekosystemet på små rums- och tidsskalor.



**Fig. 4.1.5.** Biomassa (1000 ton) av de viktigaste arterna i Kalmarsund i april och augusti (från akustik-undersökning). Inga tråldrag gjordes i april 2009.



**Fig. 4.1.6.** Procentuell skillnad i biomassa mellan april och augusti (från akustik-undersökningar). Positiva värden betyder att en nedgång har skett, medan negativa värden betyder att en uppgång har skett, mellan april och augusti. Inga tråldrag gjordes i april 2009.

I Kalmarsund påverkades djurplanktonbiomassa under våren mest av hydrologiska förhållanden, där högre salthalt och högre temperatur ledde till högre djurplanktonbiomassa. Djurplankton var också positivt relaterat till växtplankton, även om relationen mellan växtplankton och djurplankton var svagare än för hydrologi (Fig. 4.1.7). Under sommaren däremot var andra faktorer viktigare för djurplanktonbiomassan; förekomsten av fisk hade en starkt negativt påverkan på djurplanktonbiomassan. Salthalt och temperatur hade också en positiv effekt på djurplanktonbiomassan under sommarperioden (Fig. 4.1.8). Analysen visade också att växtplanktonbiomassa verkade drivas av hydrografiska faktorer på våren, medan den på sommaren var negativt relaterad till djurplanktonbiomassa (Fig. 4.1.9 och 4.1.10). Data för näringsämnen saknas, vilket gjorde att bottom-up effekter på växtplanktonbiomassan inte kunde testas. Slutsatsen är därför att djurplankton och växtplankton i Kalmarsund drivs av klimatiska och bottom-up faktorer på våren, men att top-down faktorer är viktigast under sommaren. Det betyder att effekter på plankton p.g.a. förändringar i fiskbiomassa, som regleras bl. a. av fisket, är som störst under sommaren. Detta resultat är i linje med tidigare analyser gjorda på miljöövervaknings- och fiskundersökningsdata över större områden i centrala Östersjön (dvs. Gotlandsbassängen och Rigabukten; **Casini m fl. 2008, 2009, 2012**).

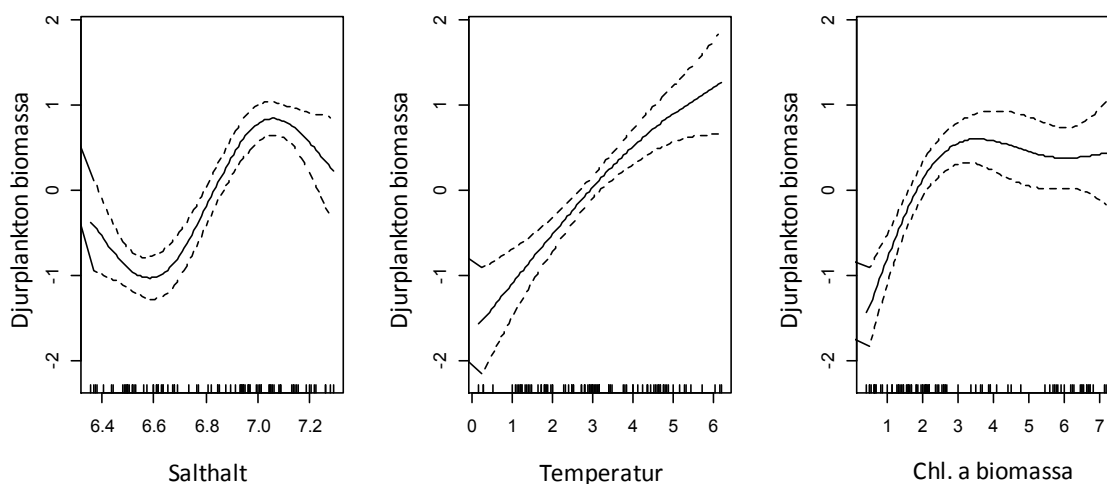


Även om vi inte tydligt kan fastställa att en reduktion av fisk påverkat närvaro av fisk i området så är det tydligt att vattenkvalitén (växtplanktontätheten) har förbättrats om det finns mindre mängd djurplanktonätandefisk, via sin effekt på djurplankton i området.

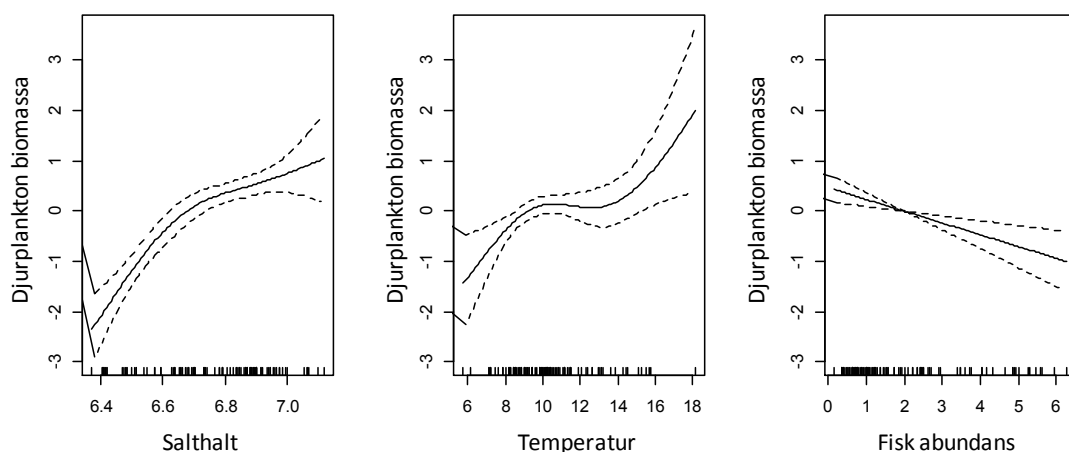
Experimentet med reduktionsfiske visade alltså att det är möjligt att påverka både planktonätande fisk och djur- och växtplankton genom fiske på planktonätande fisk.

Dessutom tyder resultaten från både experimentet och från analyser av miljöövervaknings- och fiskundersökningsdata att fiske på skarpsill kan förväntas få störst effekt på lägre trofiska nivåer under sommaren.

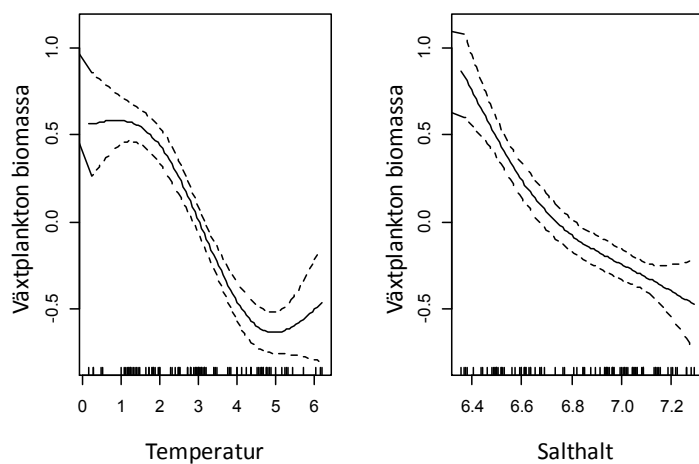
Den totala biologiska databasen som skapats via provtagning på alla trofiska nivåer och som inkluderar t.o.m. olika arter av bakterier, växtplankton och djurplankton kommer analyseras vidare. Specifikt kommer vi att fokusera på effekten av trofiska kaskader på cyanobakterier men även effekten av näringsämnen. Vi kommer även undersöka hur fiskbiomassa och hydrografiska faktorer inklusive näringsämnen är kopplad till vårblomning av växtplankton.



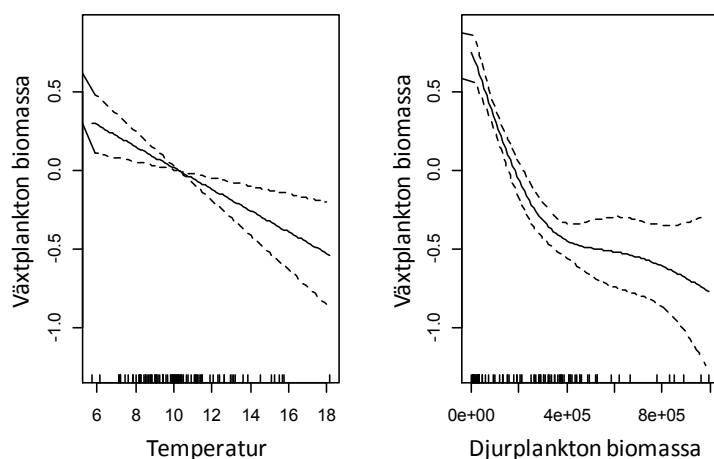
**Fig. 4.1.7.** Effekter av salthalt, temperatur (hydroklimat) och klorofyll-biomassa (bottom-up) på djurplanktonbiomassan under våren (april-maj) i Kalmarsund. Fiskbiomassan (top-down) var inte en signifikant variabel i modellen. Modellen förklarade 78 % av djurplanktonvariationen. När växtplanktonbiomassa istället användes som bottom-up faktor, blev relationen inte signifikant.



**Fig. 4.1.8.** Effekter av salthalt, temperatur (hydroklimat) och fiskabundans (top-down) på djurplanktonbiomassa under sommaren (juli-augusti) i Kalmarsund. Växtplanktonbiomassan var inte en signifikant variabel i modellen. Modellen förklarade 33 % av djurplanktonvariationen.



**Fig. 4.1.9.** Effekter av temperatur och salthalt (hydroklimat) på växtplanktonbiomassan under våren (april-maj) i Kalmarsund. Djurplanktonbiomassa var inte en signifikant variabel i modellen. Modellen förklarade 78 % av växtplanktonvariationen.



**Fig. 4.1.10.** Effekter av temperatur (hydroklimat) och djurplanktonbiomassan (top-down) på växtplanktonbiomassa under sommaren (juli-augusti) i Kalmarsund. Salthalt var inte en signifikant variabel i modellen. Modellen förklarade 62 % av växtplanktonvariationen.

### Mekanismer som påverkar torskpopulationens återhämtning

Ett alltför högt fisketryck minskar torskbiomassan och förhindrar därmed att torskbeståndet ökar. Torskens återhämtning från låga beståndsnivåer kan dessutom hämmas av direkta och indirekta interaktioner med skarpsill, vilket påverkar torskens tillväxt och överlevnad. Det vill säga skarpsillen (1) konkurrerar med torskklavver, (2) äter torskägg, eller (3) förändras i kroppstillväxt till följd av torskpredation, vilket vid låg torskbiomassa leder till brist på skarpsillsbyten av rätt storlek.

Dessa tre mekanismer kan dessutom leda till alternativa stabila tillstånd med hög respektive låg torskbiomassa under samma miljöförhållanden (d.v.s. båda hydroklimatiska och biologiska) och fisketryck. Om situationen med låg torskbiomassa utgör ett alternativt stabilt tillstånd så kan inte torskbeståndet återhämta sig även om fisket skulle minskas till samma omfattning som före torskens kraftiga nedgång. I sådana fall kan det krävas en fiskeridödlighet som är lägre än den som provocerade fram nedgången och/eller förvaltningsåtgärder som minskar skarpsillens negativa effekter på torsk. Därför är det viktigt att både visa på eventuell förekomst av de direkta och indirekta effekterna av skarpsill på torsk (1-3, ovan), och analysera huruvida de också leder till ett alternativt stabilt tillstånd med låg torskbiomassa.

När skarpsillsbeståndet är stort, kan skarpsillen påverka mängden och utvecklingen av djurplankton (Casini m fl. 2009). Eftersom de äter den viktigaste djurplanktonarten för torskklavver, *Pseudocalanus* spp., skulle konkurrens från skarpsill kunna hämma torskens återhämtning. Lindegren m fl. (2013) har visat, med en rumslig statistisk födoavvägsmodell, att skarpsillsbiomassa har en negativ effekt på torskbiomassan i sub-division 28. Skarpsill är för närvarande mycket abundant i området, och den negativa effekten skulle kunna förklaras med någon av de tre mekanismerna ovan.

För att utvärdera om någon av de föreslagna mekanismerna förhindrar torskens återhämtning krävs att varje steg i de återkopplingar som kan motverka torsksåterhämtning analyseras (**Gårdmark m fl. inskickat manus**). Det innebär att förändringar på populationsnivå (såsom **Casini m fl. 2008, 2009, 2012**) måste kopplas till förändringar i tillväxt och överlevnad på individnivå hos torsk och skarpsill (**Gårdmark m fl. inskickat manus**). Hur mekanismerna 1-3, som beskrivits ovan, kan kopplas till en analys i form av ett beslutsträd utifrån prediktioner från storleksbaserade födovävsmodeller visas i **Gårdmark m fl. (inskickat manus)**. Dessa analyser kan stegvis identifiera och särskilja de tre olika mekanismerna som kan hämma torskens återhämtning. Analysmetoden har hittills tillämpats på surveydata från torsk och skarpsill i södra Östersjön (sub-division 25) (**Gårdmark m fl. inskickat manus**). Tyvärr saknas flera typer av data, bl.a. individdata på liten torsk och skarpsill, liksom individdata för torsk längre tillbaka än 1988, varför fullständiga analyser av respektive mekanism inte är möjliga.

Analyserna tyder på att alternativa stabila tillstånd med hög respektive låg torskbiomassa kan ha förekommit i Östersjön fram till mitten på 2000-talet, och att det under tillståndet med låg torskbiomassa rådde brist på skarpsillsbyten *av rätt storlek* för större torsk, trots att det fanns mycket skarpsill totalt sett (d.v.s. mekanism 3, ovan; **Gårdmark m fl. inskickat manus**). Därefter har miljöförhållandena varit så annorlunda jämfört med under 1980-talet, att systemet inte kan sägas befinna sig i samma miljöförhållanden varför förekomst av alternativa stabila tillstånd inte kan undersökas). Mekanismerna (1-3) som potentiellt påverkar torskens populationsutveckling kan dock fortfarande förekomma.

*Effekter av skarpsillsfiske – betydelsen av typ av mekanism och andra artinteraktioner*

Torskens populationstillväxt hämmas generellt sett av för högt fisketryck. Torskens utveckling beror dessutom på tillgången av tillräckligt syrerikt och salthaltigt vatten för dess äggöverlevnad. Torskbeståndets återhämtning kan också hämmas av brist på bottendjursföda eftersom utbredningen av döda bottenar nu är den högsta någonsin. Möjligheten är visad i modellstudier (**van Leeuwen m fl. 2013**) men inte testad på data eftersom data saknas för torskens viktigaste bottenlevande bytesdjur liksom data på torsk innan de blir fiskätande. På grund av denna brist på data går det inte att avgöra hur viktiga miljöfaktorer som bottendöd (d.v.s. bottendjursbrist) och syrebrist är för torskpopulationens utveckling jämfört med bristen på djurplankton (**Casini m fl. 2009**) och brist på skarpsillsbyten i rätt storlek (**Gårdmark m fl. inskickat manus**).

De tre mekanismerna som främst analyserats i projektet fokuserar alla på interaktionerna mellan skarpsill och torsk. Effekterna på torsk av ett skarpsillsfiske beror dock också på dess interaktioner med andra arter. Till exempel, om torskens populationsutveckling främst styrs av tillgången på bottendjur, så försvagas kopplingen mellan skarpsill och torsk, och modellanalyser visar att i så fall leder ingen av mekanismerna 1-3 till alternativa stabila tillstånd (**van Leeuwen 2012, van Leeuwen m fl. 2013**). Dessutom beror effekterna av ett skarpsillsfiske även på interaktionerna med sill/strömning (**Huss m fl. 2012, 2013**). Modellanalyser visar t ex att skarpsillsfiske kan ha indirekta positiva effekter på torsk via strömning, då skarpsillsfisket leder till minskad konkurrens från skarpsill på strömning, och därmed högre tillväxt hos strömning som är ett viktigare byte för stora torsk än skarpsill (**Östman och Gårdmark 2013 manus**). I områden med låg torskpredation, som f n i nordöstra Östersjön, kan istället konkurrensen mellan skarpsill och strömning leda till mekanismer som hämmar populationstillväxten från låga beståndsnivåer hos endera sill/strömning eller skarpsill (**Huss m fl. 2013**). På grund av de stora rumsliga skillnaderna i utbredningen av torsk, strömning och skarpsill så får fiske på någon av arterna därför helt

olika effekter beroende var det bedrivs. Dessa modellstudier visar dessutom att andra interaktioner än dem mellan torsk och skarpsill som identifierades vid projektets start kan ha stor betydelse för utvecklingen hos torsk, strömming och skarpsill. Därför kan dessa interaktioner också påverka effekten av fiske på de tre arterna.

Sammanfattningsvis så har två av de mekanismer som kan hämma torskens populationstillväxt stöd i tillgängliga miljöövervaknings- och surveydata från Östersjön:

- skarpsillkonkurrens med torsklarver om djurplankton (mekanism 1, **Casini m fl. 2009**)
- brist på skarpsillsbyten av rätt storlek, p.g.a. att de för torsken gynnsamma indirekta effekter av torskpredation på skarpsillens individtillväxt och storleksstruktur upphör när torskbeståndet kollapsat och inte längre kan kontrollera skarpsillspopulationen (mekanism 3, **Gårdmark m fl. inskickat manus**).

Baserat på dessa resultat kan det vara försvarbart att minska mängden skarpsill (genom fiske) i områden där bestånden är rikliga eftersom detta kan ha positiva effekter på torskbeståndets återhämtning (ökad tillgång på djurplankton och på skarpsills- och strömmingsbyten av rätt storlek). Dessutom kan minskad mängd skarpsill leda till minskad konkurrens hos skarpsill och med strömming, och därmed till högre individtillväxt hos dessa arter. Fiske på skarpsill skulle t.o.m. kunna leda till ett positivt samband mellan dödlighet och biomassa av vissa livsstadier hos skarpsill och strömming (s.k. överkompensation, visat i modellanalys av **Huss m fl. inskickat manus**), vilket i modellstudier visat sig kunna resultera i ökad tillgång på stora strömmingsbyten och därmed högre torskbiomassa (**Östman och Gårdmark 2013 manus**). Däremot kan fiske efter skarpsill förväntas få negativa effekter för torsk i områden där tillgången på skarpsill och sill/strömming totalt sett är låg. På grund av brist på data på liten torsk och på deras föda går det inte att avgöra den relativa betydelsen av brist på djurplankton och på skarpsillsbyten av rätt storlek jämfört med övriga faktorer som påverkar torskbeståndets utveckling. Men, utifrån tillgänglig kunskap skulle ett minskat fisketryck på torsk och ett ökat fisketryck på skarpsill där beståndet är stort underlätta utvecklingen mot ett torskdominerat system, med de miljöeffekter som det medför, i Östersjön.

## 4.2 Kustens ekosystem

### Abborr- och gäddbeståndens status längs den svenska kusten

Tidigare studier hade pekat på en nedgång i bestånden av abborre och gädda i delar av Östersjöns kustområden, i synnerhet längs öppna kuststräckor. Nedgången har sammankopplats med en försvagad rekrytering (Andersson m fl. 2000, Ljunggren m fl. 2005), mest troligt som ett indirekt resultat av förändringar i utsjön, förmedlat av migrerande planktonätande fisk. (Ljunggren m fl. 2005). De senaste årens rapporter om vikande bestånd av rovfisk längs kusten har varit baserade på landningar från yrkesfisket och geografiskt begränsade i sin omfattning (Andersson m fl. 2000; Nilsson m fl. 2004; Ljunggren m fl. 2005). Såväl abborre som gädda förekommer i lokala bestånd som är mer eller mindre isolerade från varandra i olika skärgårdsområden (Saulamo & Neuman, 2002; Laikre m fl. 2005; Olsson m fl. 2011). Populationsutveckling och statusbedömningar bör därför baseras på en lokal geografisk skala snarare än på havsområdesskala. Samtidigt innebär de lokala bestånden att ett större antal kustområden behöver undersökas för att utvärdera mer generella mönster.

En del av arbetet inom kustdelen av PLAN FISH har därför fokuserats på att analysera utvecklingen av abborre- och gäddbestånden längs den svenska Östersjökusten i befintliga provfisker. För abborre visar tillgänglig data på en stor variation i utvecklingen över tid mellan områden, men vissa mönster kan urskiljas. De två längsta tidsserierna visar att fångsten av abborre har ökat i ett område i södra Bottenhavet och i ett område i mellersta Egentliga Östersjön under de senaste fyra decennier (Olsson m fl. 2012). En analys av utvecklingen under de senaste 15 åren, då fler provfiskeserier finns tillgängliga, visar emellertid att abborrefångsterna har minskat påtagligt i flertalet områden längs Egentliga Östersjöns kuster. Minskande fångster har också observerats i norra Bottenhavet, medan abborrefångsterna har ökat i Bottenviken (HELCOM 2012; **Bergström m fl., opublicerat**). Tillgången till äldre data är i många områden bristfällig, men åtminstone i Kalmarsund, där data samlats in sedan mitten av 1950-talet är fångsterna under tidigt 2000-tal var tillbaka på lika låga nivåer som under 1970-talets början (**Bergström m fl., opublicerat**).

Underlaget för bedömning av gädda är betydligt mer begränsat, varför ingen generell bild av beståndsstatusen kan ges. Tillgänglig data påvisar dock en kraftig minskning av fångsterna i provfisker i Kalmarsundsområdet sedan mitten av 1980-talet/början av 1990-talet. Liksom för abborre ligger fångsterna under de senaste åren i området på samma nivå som i början av 1970-talet.

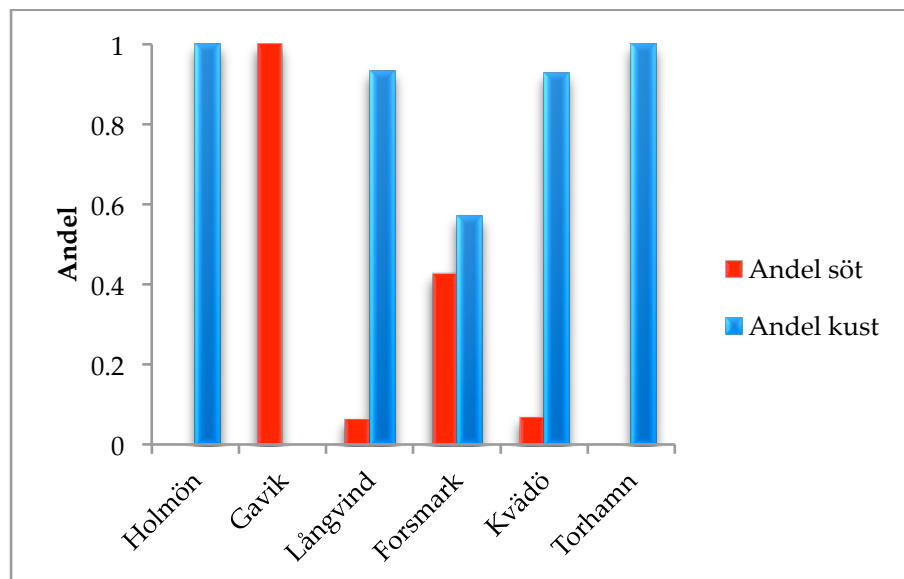
Sammantaget visar analyserna på betydande skillnader i utveckling mellan områden och tidsperioder. Generellt uppvisar bestånden av abborre uppvisa en positiv utveckling sedan 1970-talet, medan både abborre och gädda minskat i flertalet undersökta områden under de senaste 15 åren.

#### *Betydelsen av tillgång till rekryteringshabitat*

Tillgången till lämpliga reproduktionshabitat förefaller vara av central betydelse för storleken på de kustlevande rovfiskbestånden. I en studie som delvis utförts inom ramarna för PLAN FISH visades att mängden rekryteringshabitat för abborre och gös var den faktor som hade störst betydelse för det vuxna beståndets storlek (definierat som fångst per ansträngning per provfiskeområde), medan t ex skillnader i fisketryck inte hade någon påvisbar effekt (Sundblad m fl. 2013). Betydelsen av tillgången på rekryteringshabitat för beståndsstorleken var dessutom som störst när det var ont om lämpliga reproduktionsområden. Resultatet indikerar rent generellt att faktorer som styr yngelproduktionen hos kustens rovfiskar är centrala för bestånden och att man genom att studera reproduktionsframgång kan få insikt i processer som reglerar beståndens storlek.

Abborre och gädda i Östersjön nyttjar inte bara lekområden på kusten utan även kustmynnande vattendrag och våtmarker för reproduktion. På basen av otolitkemiska analyser, där halten av strontium i fiskens otoliter används för att avgöra vid vilken salthalt individen kläckts, har det föreslagits att kustmynnande vattendrag och våtmarker idag kan vara av stor betydelse för rekryteringen av gädda (Engstedt m fl. 2010; Rohtla m fl. 2012). Tillgängliga data från svenska kusten visar dock att detta inte är ett generellt mönster och att den lokala variationen kan vara stor (Westin & Limburg 2002; **Ljunggren m fl. 2011; Olsson m fl. opublicerat**). För abborre visar nya otolitkemiska studier från ett antal områden längs den svenska kusten som utförts inom PLAN FISH, att majoriteten av individerna var rekryterade i områden på kusten även om tillrinnande sötvatten ställvis kan vara viktiga (Fig. 4.2.1.). I en studie som spänner över de senaste 15 åren har bidraget från sötvatten till rekryteringen av abborre i Forsmark studerats. Under den studerade tidsperioden har reproduktionsframgången hos arten minskat kraftigt. Resultaten visar att

mellanårsvariationen kan vara stor i andelen sötvattenrekryterade fiskar, men att det inte skett någon signifikant förändring i sötvattensbidraget till reproduktionen under tidsperioden (**Olsson m fl. opublicerat**). Sammantaget indikerar analyserna att betydelsen av kustmynnande vattendrag och våtmarker som reproduktionsområden varierar längs kusten och att denna aspekt måste vägas in vid bedömning av lokala bestånd status och potential för populationstillväxt.



**Fig. 4.2.1.** Andel abborre som härstammar från rekryteringsområdena på kusten samt i kustmynnande sötvatten i ett antal kustområden. Resultaten hämtade från Wastie (manus).

I en studie från Stockholms skärgård har vi visat att exploateringsstrycket är extra högt i just de miljöer som är viktiga för rovfiskens reproduktion. Här är 40 % av lekområdena tydligt exploaterade och exploateringsstakten i medeltal 0.5 % per år (**Sundblad & Bergström manuskript**). På många håll tilltar fortfarande övergödningen i kustområdena, och även detta har negativa effekter på abborrens reproduktion, sannolikt även gäddans (Bergström m fl. 2013).

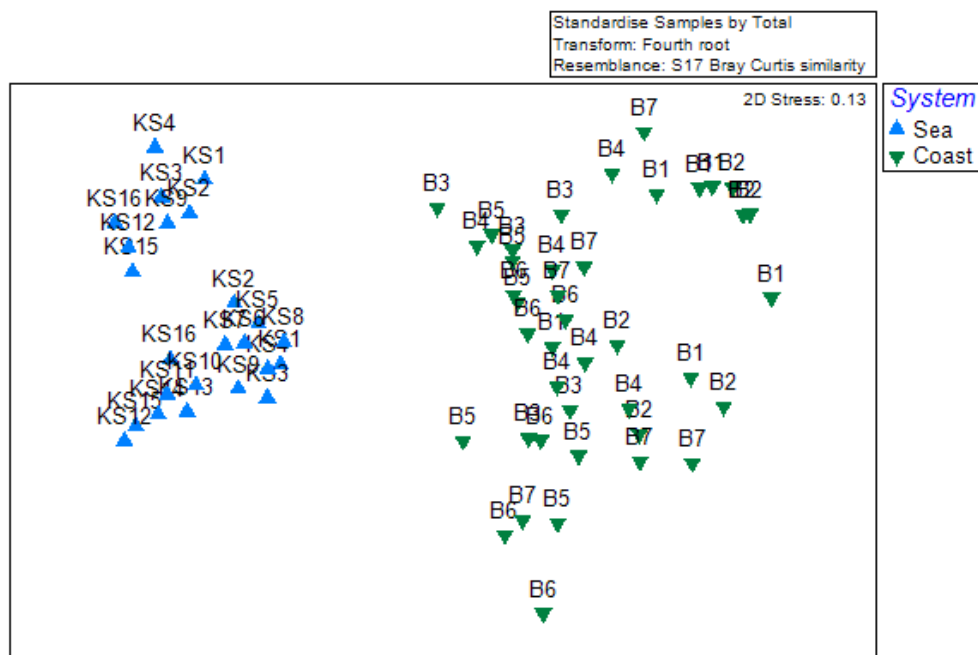
### Hur kan vi återfå rovfiskdominerade kustekosystem i Östersjön

Baserat på de studier som var tillgängliga vid projektets start ställdes ett antal hypoteser upp inom PLAN FISH kring de möjliga faktorer som påverkar dödligheten hos de tidigaste livsstadierna av abborre och gädda, och som skulle kunna användas som en förklaringsmodell till vikande bestånd av kustnära rovfisk. Mekanismerna som utvärderats är **a)** födobrist till följd av konkurrens med skarpsill och/eller storspigg, **b)** predation från storspigg på ägg och larver, **c)** kannibalism i kombination med inomartskonkurrens. I tillägg till detta har även habitatrelaterade effekter på reproduktionen hos kustfisk utvärderats, för att få en bättre förståelse av de faktorer som tillsammans reglerar rekryteringen hos abborre och gädda i Östersjöns kustområden.

#### *Födobrist beroende av konkurrens med skarpsill*

Hypotesen att skarpsill skulle orsaka låga planktontätheter i de grunda, strandnära miljöer som utgör rekryteringsområdena för kustrovfisk har inte kunnat beläggas, eftersom djurplanktonsamhällena inne i rekryteringsområdena skiljer sig markant från det i öppna kustområden där skarpsillen förekommer under våren (Fig. 4.2.2, **Olsson m fl. manuskript**).

Samtidigt utgör skarpsillen ingen betydande del av fiskbiomassan inne i de grunda vikar som är rekryteringsområden för abborre och gädda, även om den kan förekomma i höga tätheter i kustnära områden under våren (se fältexperiment i Kalmarsund avsnitt 4.1). Det är alltså inte sannolikt att skarpsillen påverkar tillgången på djurplankton för de tidigaste livsstadierna av rovfisk i dess uppväxtområden. Analyser av tidsseriedata på djurplanktontätheter i öppna fjärdar, motsvarande de miljöer där skarpsillen kan aggregera under våren, visar dessutom att planktontätheterna generellt har ökat över tid jämfört med perioden före den då skarpsillen ökade i Östersjön (Hansson 2013).

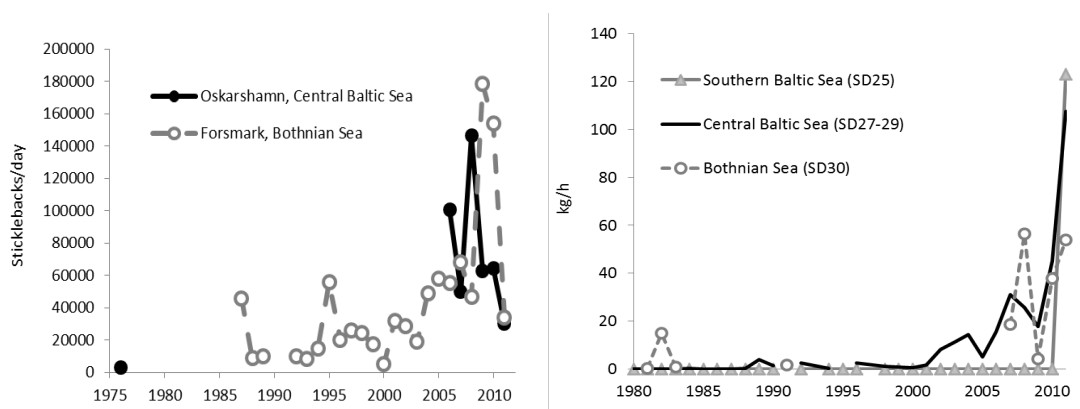


**Fig. 4.2.2.** MDS-analys av djurplanktonsamhällets sammansättning under maj månad 2009-2010 i de sju studerade vikarna (grönt) samt i fria vattenmassan från provtagningen i samband med reduktionsfisket i Kalmarsund (blått). Vikarnas planktonsamhällen är klart separerade från proverna i fria vattenmassan.

#### *Födobrist beroende av konkurrens och/eller predation från storspigg*

Analyser av data från svenska hydroakustikundersökningar inom det internationellt samordnade övervakningsprogrammet Baltic International Acoustic Survey (BIAS) visar att tätheten av storspigg har ökat kraftigt i svenska utsjöområden i norra Egentliga Östersjön (SD 27-29) och Bottenhavet (SD 30) sedan 1990-talet. Tätheterna i södra Östersjön (SD 25) är mycket lägre än längre norröver, men även här ses tendenser till en ökning de senaste åren (Fig. 4.2.3, **Bergström m fl. manuskript**). Tillgängliga data från kustområdena, i Forsmark i södra Bottenhavet och Oskarshamn i norra Egentliga Östersjön, visar på en likartad utveckling av tätheterna spigg när den under våren kommer in till kusten för lek (Fig. 4.2.3, **Bergström m fl. manuskript**). I vissa kustområden är spiggen under våren den dominerande arten i det kustnära fisksamhället under våren, sett till biomassa och framförallt antal.

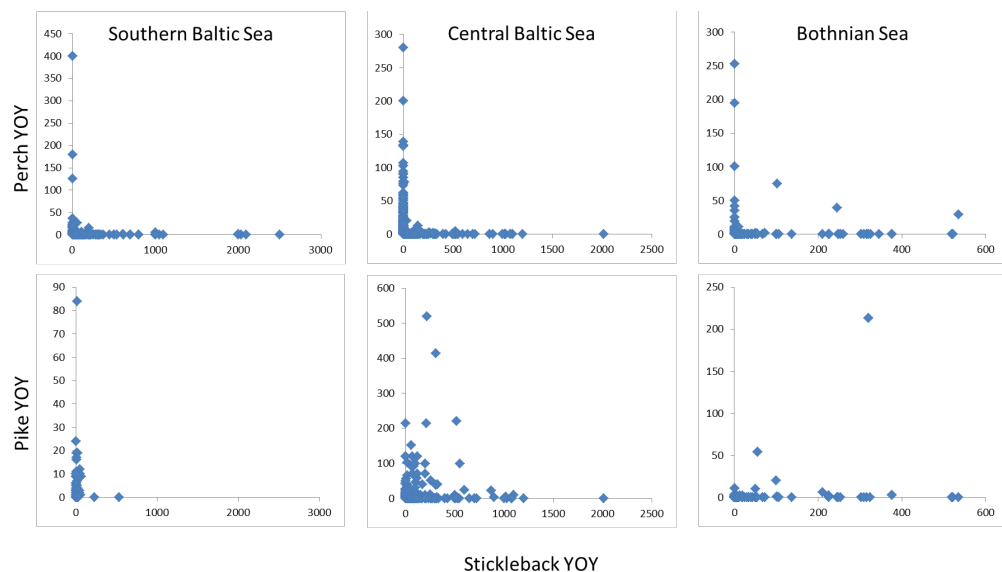




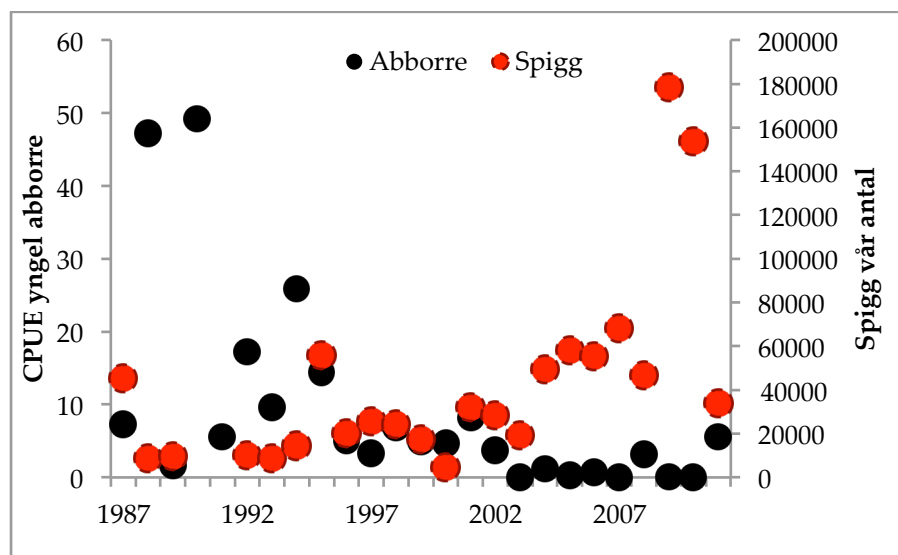
**Fig. 4.2.3.** Spiggfångsterna har ökat i svenska kustområden (vänster) och i utsjön (höger). Kustdata från kärnkraftverkens kontrollprogram och utsjödata från Baltic International Acoustic Survey.

Liksom abborren och gäddan leker storspiggen i grunda strandnära områden med vegetation. I Kalmarsund, där man sett en kraftig förändring av fisksamhället med nedgång i bestånden av abborre och gädda (**Ljunggren m fl. 2010**), indikerar habitatmodellering att det saknas ungfisk av abborre och gädda i en stor del av de lämpliga rekryteringsmiljöerna (**Sundblad & Bergström 2011**). Dessa områden håller istället höga tätheter av spiggrekryter. Mönstren i Kalmarsund kan kontrasteras mot en studie från det stora skärgårdsområdet i Stockholm, Åland och finska Skärgårdshavet, som visar att ytterskärgårdsmiljöer ofta är rika på rekryteringsmiljöer för abborre, och att bestånden följaktligen är starkare i dessa delar av skärgården, när man har en fungerande reproduktion (**Sundblad m fl. 2013**).

Data på yngelförekomst under sensommaren från stora delar av den svenska kusten visar på ett negativt rumsligt samband mellan storspigg och abborre samt mellan storspigg och gädda (Fig. 4.2.4, **Bergström m fl. manuskript**). I vikar med höga tätheter av storspiggsyngel saknas vanligen yngel av abborre och gädda. Över tid ser man även ett negativt samband mellan förekomst av vuxen spigg under våren och rekryter av abborre under sensommaren i Forsmarksområdet, det enda kustområde där det finns tidsserier på både vuxen spigg och rekryter av abborre (Fig. 4.2.5). Analyser visar att tätheten av storspigg under våren är den viktigaste förklaringsvariabeln som beskriver utvecklingen av rekryteringen hos abborre i området, när man samtidigt tar ett antal klimat- och eutrofieringsrelaterade miljöfaktorer i beaktande (**Olsson m fl. manuskript**). Detta antyder att det inte bara finns en rumslig separation mellan arterna, utan även en direkt interaktion mellan dem. Ett negativt mönster mellan vuxna individer av storspigg och abborre finns även i nätprovfiskedata från miljöövervakningen i Bottenhavet (**Bergström m fl. manuskript**).

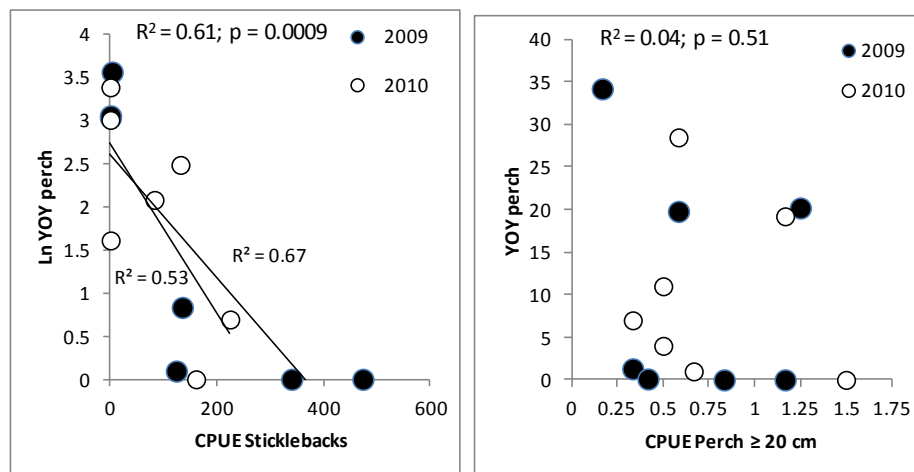


**Fig. 4.2.4.** Data på yngelförekomst längs svenska kusten visar att i områden med mycket spigg (Stickleback) är tätheterna av abborre- (Perch) och gäddyngel (Pike) generellt låga.



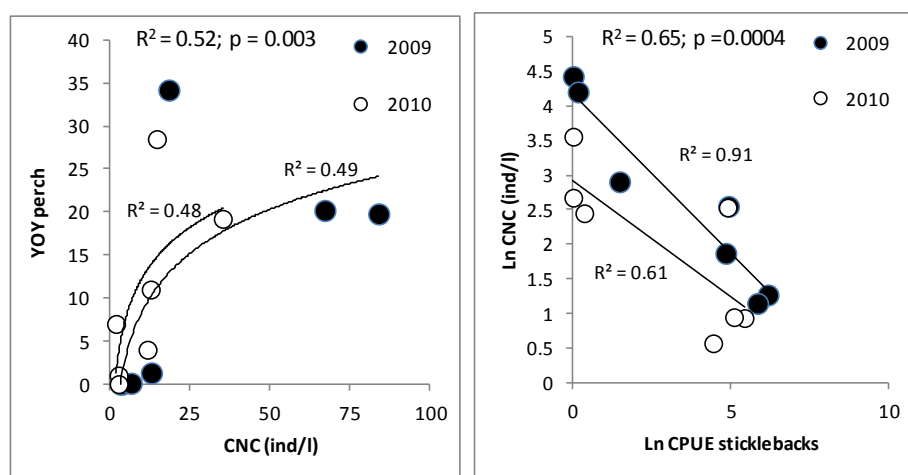
**Fig. 4.2.5.** I Forsmark i Södra Bottenhavet är tätheterna av årsyngel av abborre under sensommaren negativt relaterad till mängden vuxen spigg under våren.

Den negativa relationen mellan storspigg och rekryteringen hos abborre noterades också i de vikar som intensivstuderades inom PLAN FISH under 2009-2010 liksom indikationer på att storspiggen kan kontrollera rekryteringen av abborre i området. Under våren förekommer inga tydliga 'spigg-' respektive 'abborrvikar', vilket tyder på att de vuxna fiskarna under lektid förekommer i samma livsmiljöer. Under hösten observerades däremot ett tydligt negativt samband i förekomst av rekryter för båda arterna (**Olsson m fl. manuskript**). Analyserna visar även att mängden spigg yngel är positivt kopplat till mängden vuxen spigg på våren, samtidigt som mängden abborryngel är negativt kopplat till mängden vuxen spigg på våren men inte till hur mycket vuxen abborre det finns på våren (Fig. 4.2.6., **Olsson m fl. manuskript**). Dessa mönster indikerar att storspiggen kan kontrollera rekryteringsframgången hos abborre.



**Fig. 4.2.6.** I de intensivstuderade vikarna fanns ett negativt samband mellan mängden vuxen spigg på våren och mängden årsyngel av abborre på hösten (vänster). Det fanns inget samband mellan mängden årsyngel och vuxen fisk hos abborre.

Den negativa kopplingen som ses framför allt mellan storspigg och abborre kan bero både på predation och konkurrens om föda för larverna. Resultaten från ett laboratorieexperiment visar att storspiggen kan vara en mycket effektiv predator på abborrlarver (**Byström & Wennhage manuskript**). En tidigare studie har visat att spiggen också kan vara en effektiv predator på ägg av gädda (Nilsson 2006). Samtidigt finns det ett positivt samband mellan tätheter av djurplankton (utvalda grupper) på våren och årsyngel av abborre på hösten i de intensivstuderade vikarna i Kalmarsund. Det fanns även en negativ korrelation mellan mängden vuxen storspigg under våren och djurplanktontätheter i vikarna under våren (Fig. 4.2.7. **Olsson m fl. manuskript**). Ett liknande negativt samband mellan djurplanktonförekomst och abborr- och gäddrekryter observerades i en geografiskt mer omfattande fältstudie som utfördes längs ostkusten under 2003 (**Ljunggren m fl. 2010**). Dessa mönster indikerar att födobrist kan vara en delorsak till den svaga rekryteringen av abborre och gädda i områden med höga tätheter spigg.



**Fig. 4.2.7.** Det fanns ett positivt samband mellan mängden djurplankton i de intensivstuderade vikarna på våren och mängden rekryter av abborre på hösten. CNC avser Copepoder, Nauplier och Cladocerer; grupper av djurplankton som anses vara särskilt viktiga i abborrlarvernas diet. Samtidigt var mängden plankton negativt kopplad till tätheter av vuxen spigg, vilket indikerar att spiggen kan reglera planktontätheterna i vikarna.

Det är inte klarlagt ifall resursnivåerna som uppmätts är så låga att de kan orsaka mortalitet hos de tidigaste larvstadierna, vilket förefaller vara den kritiska perioden under reproduktionen (**Ljunggren m fl. 2010**). Med de massiva förekomster av storspigg som ställvis observerats inne i lekornäddarna, med tätheter som kan uppgå till flera tiotals vuxna individer per kvadratmeter under vårperioden, är det dock rimligt att anta att spiggen har potential att reducera djurplankontätheterna i grunda vikar. (**Ljunggren m fl. 2010, Olsson m fl. manuskript**). Därmed kan spiggen indirekt genom konkurrens påverka tillväxten hos abborrens och gäddans larver. Sannolikt kan den negativa koppling som observerats mellan yngel av storspigg och framför allt abborre, men i viss mån även gädda, vara frågan om en kombination av predation och resurskonkurrens. Genom att djurplankontätheterna trycks ner av spigg, kommer den tidsperiod under vilken abborre och gädda är känsliga för spiggpredation dessutom att förlängas i och med lägre larvtillväxt. Att det negativa rumsliga sambandet mellan spigg och abborryngel upprätthålls, även efter att abborren blivit för stor för att ätas av spiggen under slutet av sommaren, skulle möjligen även kunna förklaras av att födoresursen är lägre i vikar med spigg och att abborren därför undviker att migrera till dessa områden. Detta kan bero på att spiggen betar ner djurplankontätheterna i vikarna och samtidigt klarar lägre resursnivåer än abborr- och gäddlarver.

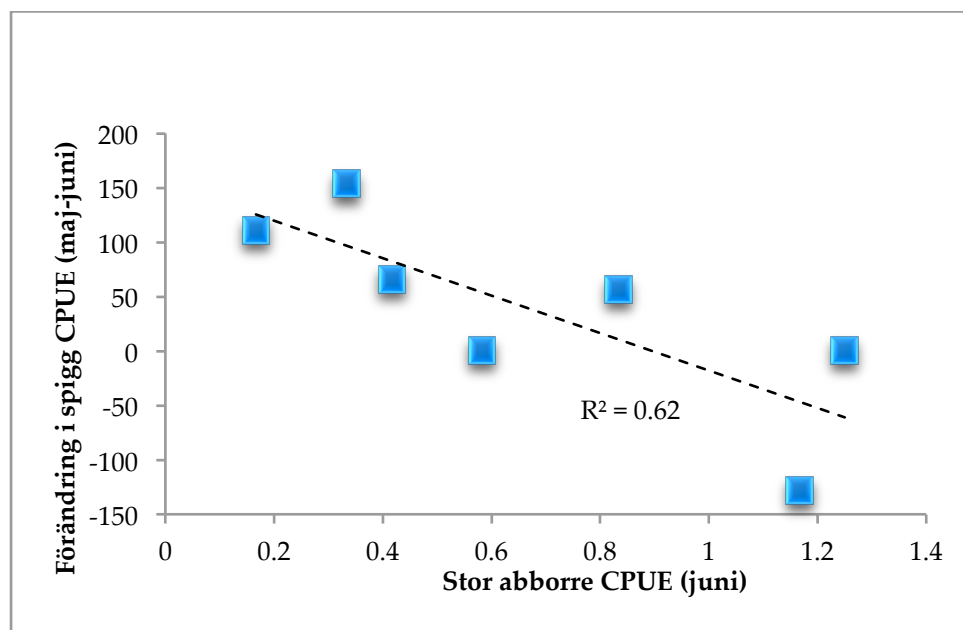
#### *Kannibalism och inomartskonkurrens hos abborre*

Kannibalism hos abborre har i sjöar visat sig vara en faktor som i kombination med resurskonkurrens kan styra populationsdynamiken hos arten (Persson m fl. 2000, Claessen m fl. 2000). Hos kustlevande abborre inte något negativt samband mellan större abborre och årsyngel kunnat noteras vare sig i de intensivstuderade vikarna inom PLAN FISH eller i tidsseriedata (1987-2011) från Forsmarks skärgård. Inte heller i tidsserier (2002-2011) över nätprovfisken från ett antal områden i Bottniska viken ses några tydliga negativa samband mellan olika storleksfraktioner hos abborre (**Olsson m fl. manuskript**). Sammantaget tyder tillgängliga data på att kannibalism hos abborre inte är en betydande faktor för rekryteringsframgång och populationsdynamik hos arten i kustområdena i jämförelse med andra faktorer som predation och konkurrens från spigg. Födovävarna vid kusten är mer komplexa än i de artfattiga sjöar som tidigare studerats, och en möjlig förklaring till att kannibalismen inte är en viktig faktor på kusten är att tillgången på alternativa byten är större här och potentialen för kannibalism därför lägre.

#### *Beståndsreglering hos storspigg och potentialen för alternativa stabila tillstånd*

Resultaten pekar mot att storspiggen genom predation och konkurrens kan påverka rekryteringsframgången hos abborre, åtminstone lokalt, i Östersjöns kustområden. Sannolikt gäller detsamma även för gädda även om dataunderlaget här inte är lika starkt. Samtidigt utgör storspiggen ett viktigt byte för större individer av gädda och abborre (Lemmetyinen & Mankki 1975, Lappalainen m fl. 2001). Denna typ av inomgillespredation (*intraguild predation*) beskriver födovävsinteraktioner där konkurrerande arter äter varandra. När kopplingen mellan arterna är stark och arterna är centrala för systemets funktion, kan denna process vara destabiliserande för födovävar och ge upphov till alternativa stabila tillstånd (Polis m fl. 1989). De mönster som observerats i kustområdena idag skulle kunna vara ett resultat av inomgillespredation, men behöver utredas ytterligare. I områden med svaga rovfiskbestånd dominerar storspiggen och i områden med starka rovfiskbestånd är det generellt lägre tätheter av spigg.

Det är inte klarlagt i vilken mån abborre och gädda kan reglera bestånden av storspigg, men tillgängliga data från PLAN FISH tyder på att rovfisken kan hålla nere spiggtätheter, åtminstone på lokal skala. Data från de intensivstuderade vikarna visar på en negativ korrelation mellan förändring i tätheter av spigg över försommaren och hur mycket stor abborre (< 20 cm) det fanns i vikarna på våren (Fig. 4.2.8), vilket indikerar att stor abborre kan reglera mängden spigg på lokal nivå (viknivå). Samtidigt visar tidsserier från den regionala och nationella kustfiskövervakningen i Bottenhavet att det inom provfiskeområdena finns en negativ relation mellan tätheterna vuxen spigg och vuxen abborre, vilket skulle kunna indikera antingen att spiggen kan kontrollera abborren, eller att abborren kan reglera tätheten spigg på lokal skala (**Bergström m fl. manuskript**). Från sjöstudier är det också känt att spigg saknas eller förekommer i mycket låga tätheter i sjöar med starka rovfiskbestånd (t ex Englund m fl. 2009), vilket indikerar att rovfisk som abborre kan reglera tätheterna av spigg. I Östersjön är dock bilden mer komplicerad eftersom det inte är klarlagt om spiggen återvänder till samma kustvikar efter att ha övervintrat till havs, och om det därför finns lokala bestånd av spigg som kan regleras av abborren. Eftersom spiggen övervintrar i öppet hav behöver det även utredas om torsken, vars förekomst och utbredning varierat kraftigt över tid (se figur 4.1.1. och 4.1.3), kan kontrollera beståndsstorleken hos spigg.



**Fig. 4.2.8.** I vikar med hög abundans av stor abborre minskar mängden spigg under våren vilket tyder på att abborren kan reglera förekomsten av spigg på lokal skala.

Sammantaget visar studierna att spigg har potential att reglera rekryteringen hos kustlevande rovfisk, samtidigt som det finns indikationer på att abborre lokalt kan reglera förekomsten av spigg. De mönster vi ser med antingen spigg- eller abborrdominans i kustområdena indikerar att vi inte kan utesluta att alternativa tillstånd i kustområdet kan uppstå. Frågan är av stor förvaltningsmässig relevans, men vidare studier behövs för att belägga mekanismerna bakom de observerade mönstren.

## Vilka är ekosystemeffekterna av en ändrad förekomst av rovfisk i kustens ekosystem?

Det är väl dokumenterat att höga tätheter av mesopredatorer (konsumenter i mitten av näringskedjan) kan ha kaskadeffekter ända ner till primärproducenter i akvatiska system. Här ställdes hypotesen att minskade bestånd av rovfisk i Östersjöns kustområden leder till en ökning av mesopredatorn spigg, vilket i sin tur ökar predationen på betare, med en ökad förekomst av trådformiga alger och åtföljande eutrofieringssymptom som följd. Småskaliga burförsök och korrelativa studier visade att storspiggen har en viktig roll som mesopredator (**Eriksson m fl. 2009**). Dessa observationer stöds av ett storskaligt inhägnadsförsök som utfördes i Kalmarsund. Här resulterade höga tätheter av spigg i en minskad mängd betande bottendjur och i sin tur en ökad trådalgs påväxt (**Sieben m fl. 2011**). Studierna har visat att styrkan i de effekter på trådalgstillväxt som uppmäts vid höga tätheter av spigg i experimentuppställningarna kan jämföras med de som uppmäts vid en ökad närsaltstillförsel. Resultaten visar att eutrofieringssymptom på kusten kan orsakas av höga tätheter av mesopredatorer och inte bara av förhöjda näringshalter (**Eriksson m fl. 2011**).

Även om kopplingen mellan rovfisk och spigg inte är väl dokumenterad, så är en händelsekedja där svaga rovfiskbestånd leder till en lokalt ökad förekomst av spigg, som i sin tur har en positiv effekt på trådalgsproduktionen, via en reduktion av mängden betare, sannolikt på kusten (**Eriksson m fl. 2009**; **Eriksson m fl. 2011**). Starka rovfiskbestånd skulle således kunna minska eutrofieringssymptom lokalt i kustområden. Samtidigt kan svaga bestånd av rovfisk sannolikt leda till en negativ spiral där en ökning av trådalger har en negativ inverkan på reproduktionen av abborre och gädda genom att en ökad trådalgsproduktion missgynnar högre vegetation och därmed försämrar kvaliteten på rovfiskarnas rekryteringshabitat (**Eriksson m fl. 2011**). Kvaliteten på rekryteringshabitatet i sin tur har visat sig vara avgörande för storleken på det vuxna beståndet i området (Sundblad m fl. 2013).

Liksom funnet mönster i utsjön finns det i Kattegatt en tydlig relation mellan det kraftigt minskade torskbeståndet och en ökning i bestånden av mesopredatorer i kustområdet (**Eriksson m fl. 2011**), något som i sin tur sannolikt kan öka förekomsten av trådalger och minska utbredningen av ålgräs (Baden m fl. 2012). Sammantaget är dessa studier av hög förvaltningsmässig relevans, eftersom de visar att vi inte enbart kan fokusera på att minska näringstillförseln när det gäller att motverka övergödningssymptom. Att upprätthålla starka rovfiskbestånd i kust- och utsjöområden kan även det vara ett sätt att minska plankton- och trådalgsblomningarna och därmed få friskare kustmiljöer.

### 4.3 Kopplingar mellan kust och öppet hav

Arters migration mellan kust och utsjö kan potentiellt ha stora effekter på ekosystemens funktion och struktur och deras relation (**Eriksson m fl. 2011**). Fiskar som under delar av sin livscykel nyttjar olika habitat kan, periodvis, utgöra ett dominerande element i ekosystemens födovävar och därmed ha stor inverkan på interaktioner mellan arter liksom på närings- och energiflöden. Storspiggen utgör en sådan art som kan binda samman kustens och utsjöns ekosystem. Spiggen leker i grunda kustområden och vandrar ut till öppet hav under sin första höst. Den återvänder sedan till kusten för lek, vanligen som tvååring (**Bergström m fl. ms**). Resultaten från de intensivstudierade vikarna på kusten inom PLAN FISH visar att spiggen under våren ställvis kan utgöra en dominerande del av fisksamhället i grunda kustområden. Spiggen kan även utgöra en betydande del av den pelagiska fiskbiomassan i utsjön (Ljunggren m fl. 2010; avsnitt 5.1). För att förstå om spigg kan utgöra en viktig koppling

mellan kust och utsjö måste vi förstå vilka mekanismer som reglerar förekomsten av spigg i Östersjön och vilken roll spiggen spelar som konkurrent till de andra planktivorerna i utsjön, viktiga pusselbitar för att förstå kopplingen mellan kust och utsjö, som vi idag saknar kunskap om.

Torsken är en annan art som kan koppla utsjö- och kustekosystemen, där artens potentiella betydelse för kustekosystemen främst är kopplat till förändringar i beståndets storlek. (**Tian m fl. 2012**). När torskbeståndet var som störst under 1980-talet expanderade beståndet och förekom i randområden med lägre salthalt som Rigabukten, Finska viken och Bottenhavet (**Casini m fl. 2012**). Under denna period var förekomsten av torsk även betydande längs den svenska kusten (**Ljunggren m fl. 2010**) och utgjorde periodvis en stor del av det kustnära fisksamhället (Olsson m fl. 2012). I Rigabukten hade närvaron av torsk stora effekter på ekosystemet i området (**Casini m fl. 2012**), Resultaten från dessa studier visar att processer som sker i angränsande system och områden kan fortplanta sig genom t ex migrerande fiskarter. Det är dock oklart vad torskens expansion och kontraktion hade för effekt på fisksamhället längs den svenska Östersjökusten men i Kattegatt finns en koppling mellan minskning av torskbeståndet och en ökning i bestånden av mesopredatorer i kustområdet (**Eriksson m fl. 2011**). Sammantaget så pekar resultaten från dessa studier på att processer som sker i angränsande system och områden kan fortplanta sig t ex genom migrerande fiskarter (**Eriksson m fl. 2011**), något som är av stor vikt vid förvaltning av både kustnära och utsjö ekosystem i Östersjön.

Några starka belägg för att en reduktion av skarpsill (eller strömming) skulle ha en avgörande direkt betydelse för rekryteringen av rovfisk har inte kunnat visas. De indirekta effekterna på kustens rovfiskbestånd av en sådan förvaltningsstrategi, genom möjliga effekter på torsk och storspigg, är svårbedömda. Sannolikt har en reduktion av spigg i utsjön genom utfiskning en positiv effekt på rekryteringen av abborre och gädda, åtminstone lokalt, genom att storspiggen förefaller kunna reglera rekryteringen av rovfisken. Möjligen kan en reduktion av spiggbiomassan lokalt även ha effekter på ekosystemet i utsjön genom artens effekter på t ex djurplanktonbiomassan. Det är dock svårt att förutsäga effekten i specifika kustområden eftersom spiggens migrationsmönster och beståndsreglering inte är klarlagda.

#### 4.4 Fallstudier om beslutsfattande under osäkerhet

##### Ett nytt perspektiv på risk

Kunskapen om ekosystemet i Östersjön är för begränsad för att med en hög trovärdighet bedöma effektivitet av skarpsillsreducering med en traditionell riskanalys. Förenklat, är en traditionell riskanalys en bedömning av risk tolkat som sannolikheter av (oönskade) händelser. I situationer där osäkerhet är omfattande kan denna typ av bedömning anses mindre trovärdig som beslutsunderlag.

Behovet av att ta fram beslutsunderlag under omfattande osäkerhet har därför på senare tid lett till en utveckling av nya perspektiv på risk (Aven 2009, Aven 2013). Dessa nya riskperspektiv ger möjlighet att anpassa riskanalyser till både rådande kunskapsunderlag och graden av komplexitet i beslutsfattande (Cox 2012). För att kunna dra nytta av denna utveckling behövs tillämpningar som kan visa vad ett nytt riskperspektiv kan innebära i praktiken. Ekosystembaserad förvaltning (Leslie & McLeod 2007) är en av många tillämpningar med potentiella problem kopplade till beslutsfattande under osäkerhet. Det krävs nya perspektiv på risk för att säkerställa kvalitén i de råd som förvaltningen ger.

Det är troligt att en bedömning av ekologiska effekter av en skarpsillsreducering påverkas av vilka ekologiska mekanismer som anses styra ekosystemet. Existerande kvantitativa analyser av skarpsillsreducering såsom Lindegren, Mollmann m fl. (2010) är utmärkta i många avseenden, men har t.ex. inte tagit hänsyn till möjliga mekanismer som leder till alternativa stabila tillstånd. Det innebär att så länge vi inte kan avgöra om dessa mekanismer är viktiga, behövs kvantitativa analyser med och utan dessa mekanismer. Osäkerhet i vilka mekanismer som styr ett system är en kunskapsbaserad osäkerhet som kan hanteras genom att se till att man på ett effektivt sätt ser till att lära sig mer om systemet samtidigt som man förvaltar det (Kaelbling, Littman m fl. 1998, Rumpff, Duncan m fl. 2011).

### **Verktyg för riskanalys under ett nytt perspektiv på risk**

Som utgångspunkt valde vi att se risk som osäkerhet i framtida händelser (och dess konsekvenser) (Aven 2013). I syfte att identifiera behov av verktyg undersökte vi olika vägar att utföra en riskanalys för skarpsillsproblemet (Bilaga 3). Olika förståelse av innebörden i risk, osäkerhet och riskanalys ställer till problem. En riskanalys kan exempelvis vara en bedömning av hur troligt olika oönskade konsekvenser av en viss åtgärd kan vara eller en analys av osäkerhet i en kvantitativ analys.

Ett förslag är därför betrakta risk som konsekvenser av åtgärder (d.v.s. de handlingsalternativ som vi har att välja mellan) och osäkerhet om dessa konsekvenser. Risk beskrivs som ”kunskap” om framtida händelser i ett beslutssammanhang givet den bakgrundskunskap vi har idag. Denna ”kunskap” är av en annan typ än vanlig (erfarenhets-baserad) kunskap eftersom den beskriver händelser som inte har hänt. Istället för att beställa en riskanalys är det lämpligt *att förtydliga analysens syfte*, t.ex. om man vill identifiera möjliga oönskade händelser och bedöma hur troliga de är eller om man vill ha en utvärdering av alternativa åtgärder, och *ställa krav på analysens utformning*, t.ex. om man vill att analysen skall vara byggd på en kvantitativ modell där känslighet i bedömningarna för olika källor till osäkerhet undersöks med sannolikhetsbaserade analyser (d.v.s. en traditionell osäkerhetsanalys).

En slutsats är att formulering av förvaltningsfrågan bör ses som en del av riskanalys för komplexa beslutsproblem. Det innebär att osäkerhetsanalys även bör innefatta källor till osäkerhet i formuleringen av och implementering av förvaltningsproblemet.

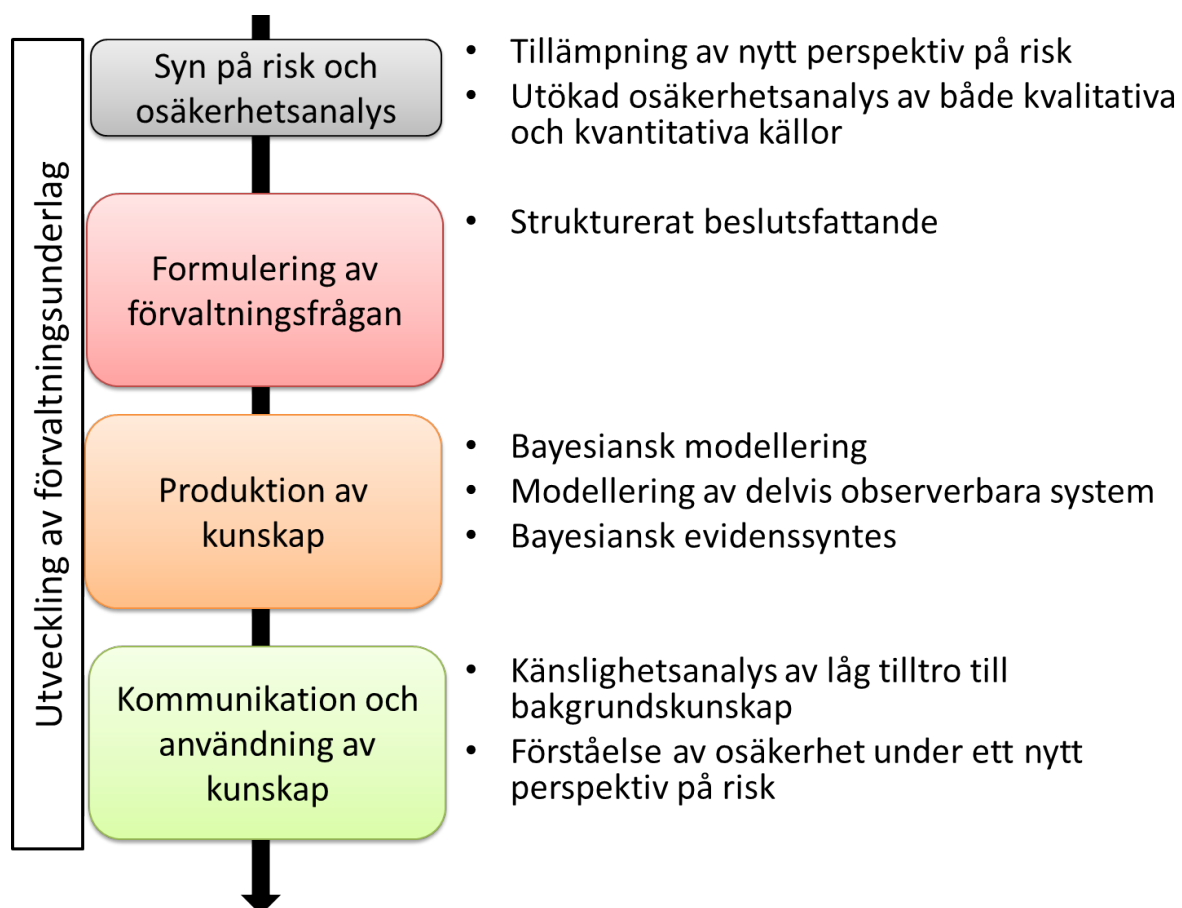
Vi visar på sätt att hantera osäkerhet som påverkar kvalitet i riskanalysen som beslutsunderlag. Analys av osäkerheter bör även innefatta källor till osäkerhet i produktionen av kunskap och tilltro till de data, modeller och expertkunskap som finns i bakgrundskunskapen, samt i hur stor grad bakgrundskunskapen räcker till som underlag för att beskriva ”kunskap” om framtida händelser i det specifika beslutssammanhanget.



Ett ramverk för riskanalys utifrån ett nytt perspektiv på risk som är anpassat till typiska problem inom ekosystembaserad förvaltning består av kombinationer av:

- Vägledande råd för strukturerat beslutsfattande (t.ex. Gregory & Long 2009, Gregory, Failing m fl. 2012)
- Vetenskapliga principer för kvantitativ riskanalys (t.ex. Aven 2011)
- Bayesianska principer för statistisk slutledning (t.ex. Press 1989)
- Modellering av delvis observerbara system (t.ex. Kéry & Schaub 2012)
- Evidenssyntes(t.ex. Jackson, Jit m fl. 2013)
- Osäkerhetsanalys med ett vidare perspektiv på källor till osäkerhet (Maxim & van der Sluijs 2011)
- Principer för systematisk värdering av kvalitet i information (t.ex. Spiegelhalter & Best 2003)

Ramverket presenteras som en låda av verktyg (Figur 4.4.1) och finns beskrivet i mer detalj i Bilaga 3. Här följer en sammanfattad version för var och en av punkterna ovan.



**Figur 4.4.1.** Översikt av verktyg vid de olika stegen i utveckling av ett förvaltningsunderlag som kan underlätta beslutsfattande under osäkerhet.

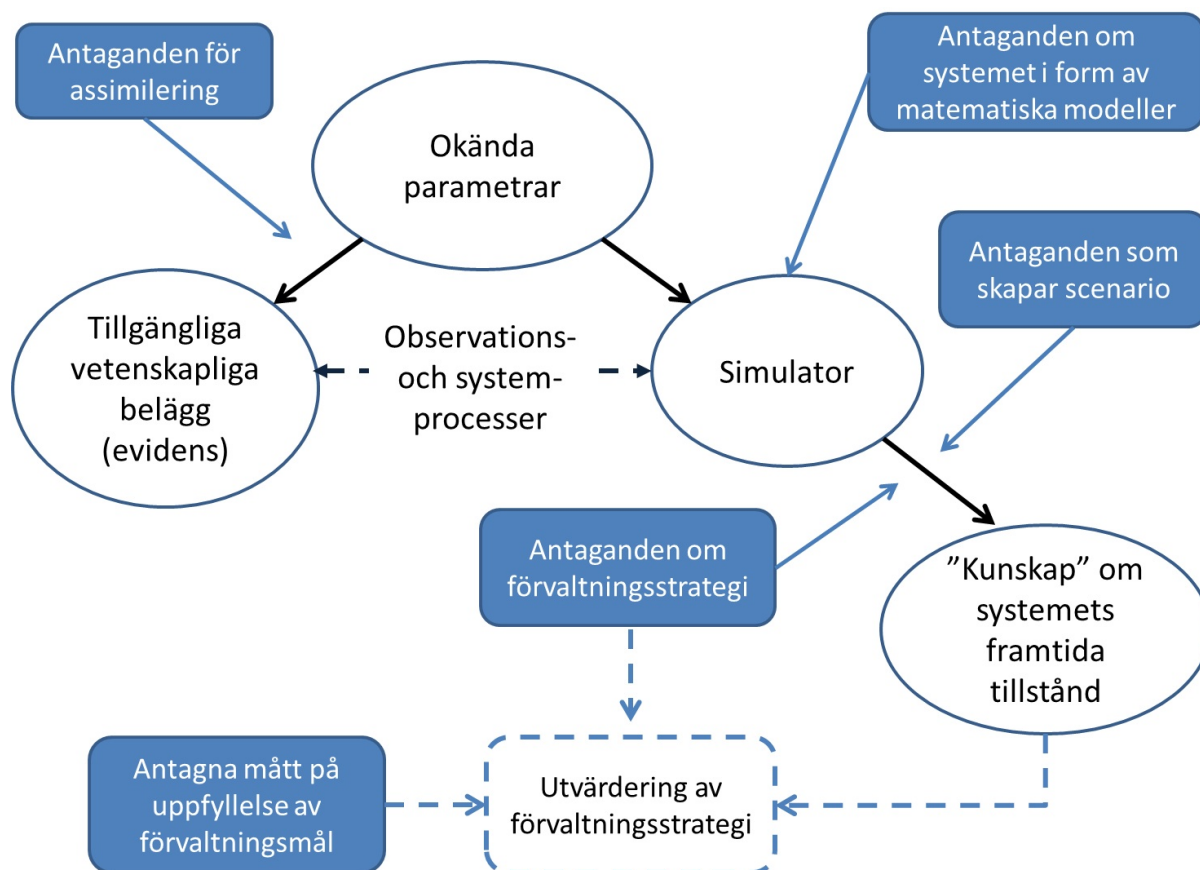
*Strukturerat beslutsfattande* är ett samlingsnamn för metoder och exempel som ger vägledning för att ta fram beslutsunderlag i förvaltningsproblem med flera mål (engelska: multi-attribute decision theory). Det bygger på samlade erfarenheter av att lösa miljöproblem där vikt läggs vid aktivt deltagande av avnämare och experter. Följande frågor används för att ge riskanalysen en struktur (Gregory, Failing m fl. 2012):

1. I vilket sammanhang (syfte och begränsningar) skall beslutet tas?
2. Vilka mål och mått på utförande kommer att användas för att utvärdera alternativ?
3. Vilka är de alternativa åtgärdsstrategierna?
4. Vad är de förväntade konsekvenserna av varje alternativ?
5. Vad är de viktigaste källorna till osäkerhet och hur påverkar val av alternativ?
6. Vad finns det för avvägningar mellan konsekvenser?
7. Hur kan beslut implementeras så att det gynnar lärande över tiden och ger möjlighet att uppdatera åtgärderna baserat på ny kunskap?

*Vetenskapliga principer för riskanalys* handlar om att skapa en förutsättning för att tilldela kunskap om framtida händelser i ett beslutssammanhang en vetenskaplig grund. Det är nödvändigt att förstå vad risk är för att kunna kommunicera osäkerheter. Aven (2011) drar slutsatsen att det sällan är motiverat att se risk som en objektiv beskrivning av sannolikheten för en framtida händelse. Istället är risk en beskrivning av osäkerhet (Q) i framtida händelser (A) eller konsekvenser (C) givet bakgrundskunskap (BK), (A, C, Q, BK) (Aven 2013).

*Bayesianska principer för statistisk slutledning* utgår från att det är vår osäkerhet som uppdateras med ny information. Sannolikheter används för att fortplanta osäkerhet och värdera information. Bayesianskt resonemang kan kombinera data med expertkunskap.

*Modellering av delvis observerbara system* innebär att modeller byggs av processer som beskriver dynamik i systemet och hur data erhålls från systemet (även kallad observationsprocesser). Engelska namn på modeller av dessa slag är "state-space models" (Kéry & Schaub 2012), "partially observable state-and-transition models" (Rumpff, Duncan m fl. 2011) eller "partially observable Markov decision processes" (Kaelbling, Littman m fl. 1998). Den sista modellen beskriver även olika beslut påverkar övergången mellan systemets tillstånd från en tidpunkt till nästa tidpunkt.



**Figur 4.4.2.** Översikt av hur en utvärdering av förvaltningsstrategi kan ses som en evidenssyntes (modifierad från Spiegelhalter and Best 2003). Evidenssyntes är en meta-analys av flera okända parametrar, vilka samtidigt är parametrar i en modell av systemet som förvaltas (kallad simulator). Vetenskapliga belägg erhålls genom att utifrån grafiska modeller formulera statistiska modeller som länkar ihop okända parametrar med observations- och systemprocesser. Flera antaganden ligger bakom evidenssyntes och dessa utgör kvalitativa källor till osäkerhet.

*Evidenssyntes* är en variant på meta-analys som används för att integrera olika typer av studier på samma eller olika delar i en modell i syfte att utföra en effektivitetsanalys av ett förvaltningsproblem (Figur 4.4.2). Evidenssyntes kombinerar meta-analys med kvantitativ modellering (Spiegelhalter & Best 2003). För att skilja på olika typer av modeller brukar den kvantitativa modell som används för att simulera systemet under olika förvaltningar kallas för en simulator. En simulator är med andra ord en kvantitativ modell som fungerar som mätinstrument av händelser som inte går att observera (exempelvis på en annan skala eller in i framtiden). En simulator styrs av okända parametrar för vilka vi söker vetenskapliga belägg med hjälp av statistiska modeller och slutledning eller expertbedömning. En evidenssyntes bygger på flera antaganden, alltifrån hur tillgängliga experiment eller observationsdata ger information om parametrar, uppbyggnaden av simulatören och hur externa faktorer tillåts påverka analysen till hur förvaltningsstrategin implementeras i syntesen.

Evidenssyntes bygger på Bayesiansk analys och går att relatera till vetenskapliga principer för kvantitativ riskanalys. Det ger en grund för att på ett tydligt, försvarbart och upprepningsbart sätt integrera olika typer av bakgrundskunskap för att säga något om framtida händelser. Därför utgör Evidenssyntes en kvantitativ struktur för riskanalys i det verktyg vi har arbetat med att ta fram.

*Ett vidare perspektiv på osäkerhetsanalys* innebär att osäkerhetsanalys inte enbart sker i anslutning till en kvantitativ modell. Förenklat, fokuserar en traditionell osäkerhetsanalys på osäkerhet i parametrar och modellers struktur. En utökad osäkerhetsanalys lägger till osäkerhet som uppstår när man har låg tilltro till data eller modeller som används, vilket är en form av kvalitativ källa till osäkerhet. Kvalitativa osäkerheter påverkar vår tilltro till det förvaltningsunderlag som har tagits fram. Det finns ett behov av att utveckla osäkerhetsanalys som hanterar både kvalitativa och kvantitativa osäkerheter.

Osäkerhetsanalys med ett vidare perspektiv innebär att hantera osäkerheter för flera steg i den process som leder fram till ett beslutsunderlag. Den variant som vi har valt att använda tar fasta på formulering av förvaltningsproblemet, produktionen av själva kunskapen och slutligen kommunikation och användning av kunskapen (Figur 4.4.1). Denna form av osäkerhetsanalys har under de senaste 20 åren utvecklats under vad som kallas post-normal vetenskap. Detta fält kallar sig post-normal eftersom det, istället för som i normal vetenskap där fokus är att skapa mer kunskap, lägger fokus på att utvärdera kvalitet i kunskap som behövs i komplexa beslutsproblem där det finns stor osäkerhet och möjliga konflikter (Funtowicz och Ravetz 1992).

*En systematisk värdering av kvalitet i information* har sedan länge funnits inom meta-analys, men det behövs mer anpassade principer för att väga in tilltro till data, modeller eller andra egenskaper av bakgrundskunskapen av den typ av problem vi står inför idag. I anslutning till fallstudierna har det inom projektet utvecklats en metod för känslighetsanalys till tilltro i en kvantitativ analys (Sahlin manus), ett protokoll för att utvärdera en kvantitativ modells lämplighet och argument för att vid planering av studier eller modellering för att underlätta resultatens användning vid en framtida riskanalys.

### **Fallstudier på riskanalys av skarpsillreducering**

Fallstudierna på skarpsillsreduceringsproblemet visar på att en riskanalys behöver ta hänsyn till rådande osäkerhet både vad gäller det ekologiska systemet och den osäkerhet som råder i innebörden av skarpsillsreducering som förvaltningsmetod. Fallstudierna finns beskrivna i Bilaga 3 och kan sammanfattas som:

- 1) En osäkerhetsanalys av skarpsillreduktionsproblemet utifrån post-normalt perspektiv. Två kvalitativa källor till osäkerhet hanteras. Den första är osäkerhet kopplad till formulering av förvaltningsproblemet som hanteras genom att tillämpa ett strukturerat beslutsfattande. Den andra är tilltro till kvantitativa modeller som hanteras genom att integreras i en kvantitativ analys och kommuniceras till beslutsfattare.
- 2) En syntes av vetenskapliga belägg för om skarpsillsreducering har möjlighet att ge upphov till ökad biomassa av torsk, som visats i kvantitativa analyser baserat på ekologiska en- eller flerartsmodeller. En genomgång av kvantitativa analyser av effekter av att reducera fiske på torsk och/eller fiska mer skarpsill där resultaten jämförs med avseende på hur ekosystemet har begränsats och vilka interaktioner som finns med, vald typ av förvaltningsstrategi och tilltron till bakgrundskunskapen.
- 3) En syntes av vetenskapliga belägg för att en återgång till starka bestånd av rovfisk kan leda till en förbättring av den ekologiska balansen i Östersjön, sett i effekter på algtillväxt. Genom att jämföra olika typer studier på trofiska kaskader visar vi på hur grafiska modeller (riktade acykliska grafer) kan användas för att ge stöd för orsak-verkan samband (Sahlin m fl. manus).

## 4.5 Framtida kunskapsbehov

### Utsjön

Idag förvaltas de flesta av EU:s fiskbestånd utifrån att dödligheten inte skall överstiga en viss nivå eller att lekbiomassan inte skall gå under en gräns genom att man sätter fiskekvoter per art. Baserat på den kunskap vi uppnått om Östersjöns ekosystem vet vi idag att dessa fiskekvoter inte bara påverkar målarten utan även andra fiskbestånd och djur, och detta är en viktig kunskap för en ekosystembaserad fiskförvaltning i framtiden. Detta har också uppmärksammats av EU kommissionen, som menar att man bör gå från enartsförvaltning till flerartsförvaltning i Östersjön. Även om vi har god kunskap, bl.a. genom detta projekt, om Östersjöns ekosystem visar också detta projekt på att det finns kunskapsluckor som måste fyllas innan vi kan gå över till realistisk flerartsförvaltning i Östersjön.

Det som är särskilt viktigt är att vi tar fram modeller som kan hantera viktiga ekologiska processer, särskilt samspelet mellan torsk, skarpsill och sill och deras byten, men även deras viktigaste rovdjur (däggdjur) och miljöns påverkan på arter och interaktioner. Genom att utveckla våra modeller baserat på empiriska data har vi också insett att det finns otillräckligt med miljöövervakningsdata för att identifiera viktiga processer som påverkar fiskbiomassan samt för att identifiera ekologiska återkopplingar som kan leda till alternativa stabila tillstånd. Både realistiska ekosystemmodeller och tillförlitliga miljöövervakningsdata kommer att vara avgörande för framgången för Östersjöns fiskeförvaltning och om vi vill att den skall vara ekosystembaserad.

För att kunna genomföra flerartsförvaltning i Östersjön kommer det att krävas utveckling av en ensemble av modeller för att kunna hantera ekologiska mekanismer som är viktiga för reglering av olika arters interaktioner. Dessa inkluderar modeller som vi har utvecklat inom detta projekt, men det finns även andra relevanta modeller som bör parameteriseras för Östersjöns ekosystem. Det är viktigt att det utvecklas olika typer av modeller eftersom olika typer av modeller har sina fördelar och begränsningar. Rådgivningen kan förbättras genom att använda "ensemble-modellering" (där resultat från olika modeller jämförs och integreras) för att hitta lösningar för förvaltningen som är robusta och oberoende av modellval. Utvecklingen kommer inte bara att kunna öka vår mekanistiska kunskap om ekosystemet utan är central för en ekosystembaserad flerartsförvaltning.

Flerartsråd för Östersjön behöver baseras på modeller som på ett enhetligt och realistiskt sätt tar hänsyn till biomassa och energiflöden mellan och inom bestånden av torsk, skarpsill och sill. Tillväxten hos fiskarna är beroende av deras födointag, där tillgången på föda är täthetsberoende. För dessa modeller behövs utökad provtagning så att storleksberoende tillväxt, mortalitet och diet kan skattas (se nästa punkt). De stora svängningarna i tillväxt och kondition för dessa fiskarter i Östersjön visar på behovet av att inkludera både effekten av torskpredation på sill och skarpsill, konkurrens inom och mellan arter, och energiflödet från sill och skarpsill till torsken i modellerna.

De modeller som finns idag och som används för att förstå östersjöns ekosystem har visat att det finns brister i nuvarande miljöövervakningsdata i Östersjön. Vad dessa modeller visat är att vi behöver är bl. a data på: 1) ägg, larver och juvenil torsk (abundans, längd, vikt och ålder för torsk < 2 år), 2) mesozooplankton (biomassa av hinnkräftor och hoppkräftor) och nektozoobenthic (pungräksbiomassa), 3) storleksspecifik diet för torsk, sill och skarpsill (storlek och biomassa av bytesdjur), 4) juvenil sill och skarpsills men även spigg (abundans,

längd och vikt), och 5) bottenfauna. Denna information skulle kunna samlas in genom bättre integrerade miljöövervakningsprogram. Med denna typ av data kommer vi att kunna förutspå effekter av fiskeriförvaltningen men den kommer också öka vår förståelse för olika ekologiska processer.

Med avseende på kunskapsbrist så har PLAN FISH särskilt belyst betydelsen av rumsliga aspekter i populations- och ekosystemdynamik, samt för beståndsanalys och förvaltning. Båda ICES och EU-kommissionen har nyligen insett, baserat på PLAN FISH resultat, att beståndsuppskattningar och förvaltning borde ta hänsyn av de stora temporala förändringarna i populationsutbredning. De modellerna som ICES för närvarande använder för beståndsuppskattningar och förvaltning (såsom skattning av Fmsy), har som grundantagande att distributionen av olika bestånd inte varierar över tid. Våra rumsliga analyser visar, å andra sidan, att det krävs detaljerad information angående hur utbredning för olika fiskbestånd och subpopulationer varierar över tid, och att variationer i rumsliga ”overlap” mellan arter och mellan stadier inom samma art kvantifieras. Detta gäller alla kommersiella fiskarter i Östersjön och denna kunskap behövs både för att förbättra de existerande enarts- och flerartsmodeller av beståndsuppskattning, samt för att utveckla nya ekologiska modeller. Dessutom är kunskapen nödvändig för att förstå viktiga ekologiska processer, eftersom arter varierar i utbredning som en funktion av storlek, abiotiska faktorer, artinteraktioner och fiske. Utbredningsmönster är också viktigt för att förstå klimatförändringarnas effekter på fiskpopulationernas utveckling. Våra rumsliga analyser visar till exempel att vi behöver mer kunskap om varför torsk, som verkar svälta i de södra delarna av Östersjön, inte sprider sig till den norra delen där det finns högre abundans av pelagisk föda. Andra faktorer än födotillgång, som t ex utbredning av syrefria områden, kan potentiellt påverka torskens medelstorlek och tillväxt och måste analyseras närmare. Vi behöver också förstå varför skarpsill koncentreras i de norra delarna av Egentliga Östersjön.

### **Kust-utsjöinteraktioner**

Vi har visat att torskbeståndets utveckling kan ha stor påverkan även på kustnära områden (ex. Rigabukten). Även om vi inte funnit några klara belägg för att skarpsillens utveckling kan påverka kustens ekosystem visar detta projekt på behovet att förstå effekterna av migrationen mellan utsjö och kust för fiskarter som spigg, sill och torsk. Storspigg är en art som ökat kraftigt i Östersjön de senaste åren och som visat sig vara av stor betydelse för kustens ekosystem och potentiellt även utsjöns. Torskens förekomst på kusten, som inträffar när torskbeståndet är stort, har också visat sig ha effekter på kustekosystem, och därför kan expansion av torsk från sitt kärnområde i utsjön koppla utsjö och kust funktionellt. Ökad förståelse för kopplingen mellan utsjö och kust är därför också viktig ur en nationell förvaltningssynpunkt eftersom regleringen av kustekosystemet, framför allt rekrytering hos kustrovfisk samt top-downreglering av trådalgsproduktion och åtföljande eutrofieringsproblem, kan vara beroende av utsjöförvaltningens utfall.

### **Kust**

Detta projekt har visat att interaktioner mellan kustens rovfiskar och storspigg verkar vara centrala för födoväven på kusten, och att det finns stora regionala skillnader i beståndsutvecklingen som sannolikt påverkas av dessa interaktioner. Dessutom har resultaten visat att det lokala fisksamhället spelar en viktig roll för regleringen av trådalgstillväxt, vilket innebär att stärkta rovfiskbestånd kan vara ett sätt att motverka eutrofieringssymptom i kustzonen. För att öka förståelsen för kopplingen mellan kustrovfisk och

eutrofieringssymptom behövs ytterligare kunskap om beståndsreglering hos spigg. Detta omfattar såväl analyser av befintliga data, som praktiska försök med att lokalt stärka rovfiskbestånd i kustområden för att undersöka effekterna på födoväven. Det är också viktigt att utvärdera vilken betydelse fiskmigrationer mellan kust och utsjö har för närsaltsomsättningen inne i grunda kustområden.

Kustrovfisken är central inte bara för ekosystemets funktion utan även för fisket, framför allt för ett mycket omfattande fritidsfiske. För en effektiv förvaltning av dessa bestånd behöver vi ökad kunskap om fritidsfiskets uttag och effekter på bestånden, samt om effekter av olika åtgärder som kan användas för att stärka rovfiskbestånden, inklusive deras kostnadseffektivitet. Det gäller exempelvis habitatskydd och restaurering, utsättningar, olika former av fiskereglering samt reglering av toppredatorer som säl och skarv.

Spiggreduktion skulle potentiellt kunna vara en metod för att stärka bestånden av kustrovfisk. En sådan åtgärd kräver emellertid ytterligare kunskapsuppbyggnad.

Även lokal reglering av säl och skarv kan potentiellt stärka rovfiskbestånden på kusten genom att minska dödligheten hos juvenil och adult fisk. Kunskapsunderlaget kring säl- och skarvpredationens beståndseffekter på kustfisk är dock fortfarande bristfällig och behöver utvecklas.

Arbetet inom PLAN FISH har även visat på den centrala betydelsen av att upprätthålla och utveckla övervakningen av kustmiljön. I den mångformiga kustzonen kan processer som styr utvecklingen av ekosystemet variera över relativt små geografiska skalor. Eftersom utvecklingen styrs av miljöfaktorer och artinteraktioner i samverkan krävs en miljöövervakning som tar hänsyn till den höga rumsliga variationen. För att på ett effektivt sätt kunna vidta åtgärder för att förbättra Östersjöns kustmiljö krävs att dagens miljöövervakning utvecklas ytterligare, vilket är en förutsättning för att Sverige ska kunna uppfylla sina åtaganden till exempel gentemot EU-direktiv och aktionsplanen för Östersjön.

### **Östersjöns förvaltning – ett social-ekologiskt system**

Även om PLAN FISH inte fokuserat på relevanta förvaltningsstrukturer och hur de kan påverka utvecklingen av Östersjöns ekosystemförvaltning, så har riskanalysen och projektets genomlysning av nuvarande förvaltning, med all tydlighet, visat att en trovärdig ekosystembaserad förvaltning kommer att kräva nya system och processer för att kunna hantera och genomföra en framtidens ekosystembaserade förvaltning. Orsaken är enkel: framtidens förvaltning kommer att vara mer komplex eftersom den skall hantera mer än bara fisk utan hela ekosystemet, vilket betyder fler faktorer att ta hänsyn till, och värdera samtidigt. Dessutom kommer samhället att ställa allt högre krav på en förvaltning som säkerställer allt fler ekosystemtjänster. Med andra ord, traditionell förvaltning, som menat att biologi är en flaskhals för utvecklingen bör, inom en snar framtid, inse att det är nuvarande förvaltningsstrukturer kommer att begränsa utvecklingen av framtidens Östersjöförvaltning. Således bör ett större fokus läggas på hur vi skall matcha dagens ekologiska kunskap med de social system som driver förvaltningen idag.

## 5 Bidrag till ekosystembaserad förvaltning

### 5.1 Kunskap från projektet som implementerats i internationella råd/förvaltning eller presenterat i förvaltnings sammanhang - utsjön

- Studierna om rumsliga förändringar i fiskbestånden (torsk, skarpsill och sill/strömming) har bidragit till vetenskapligt underlag för ICES rådgivning till EU-kommissionen för implementering av en rumslig förvaltning för skarpsillsbestånd (ICES single-species Advice, 2012 och 2013).
- Studierna om konkurrens effekt på tillväxt och rumsliga förändringar i fiskbestånden hos skarpsill, sill och torsk har används som vetenskaplig underlag för att föreslå att flerartsmodeller, som nu används för flerarts-rådgivning inom ICES och EU-kommissionen, ska förbättras. Nuvarande modeller inkluderar inte viktiga aspekter som konkurrens inom och mellan skarpsill och sill samt rumslig fördelning (STECF 2012, ICES multi-species Advice 2013).
- Studierna om en tröskel i predationseffekt av skarpsill på djurplankton och om konkurrens effekter av skarpsill på sill/strömming används som vetenskapligt underlag med avsikten att införa "escapement targets". Med "escapement target" avses att förvaltningsmålet är att bevara en viss biomassa av fisk i stället för att ange en fiskeridödlighet. I Östersjön detta förvaltningsmål, genom att inte tillåta skarpsillabundans överstiga en viss gräns, i högre grad skulle skydda andra delar av ekosystemet. Detta angreppssätt skulle kunna användas i Östersjöns förvaltning och är ett alternativ som borde undersökas närmare (ICES WKMULTBAL 2012).
- Studierna om trofiska kaskader och effekt av fisket på hela ekosystem ner till växtplanktonnivån har presenterats för Europa Parlamentet (Bryssel, 2009 & 2011).

### 5.2 Råd till förvaltningen - utsjön

#### Generella råd

- *Samarbetet mellan fiskeri- och miljöförvaltningen bör utvecklas* för att förvalta havet i linje med vad som föreslagits i den nya gemensamma fiskeripolitiken och det marina direktivet
  - Ett starkt torskbestånd i Östersjön är gynnsamt för både fisket och miljön i såväl utsjön som kustområdena. I utsjön kan ett stort torskbestånd kontrollera skarpsillsbeståndet, och därmed minska riskerna för hög algbiomassa på sommaren. Dessutom kan minskad mängd skarpsill öka kroppstillväxten hos skarpsill och sill/strömming och minska risken för M74-syndrom hos lax.
- *Rumslig förvaltning behövs.* Den framtida förvaltningen måste ta hänsyn till hur fiskbestånden (och därmed de ekologiska konsekvenserna av förvaltningsåtgärder) fördelar sig i Östersjön över tid, och därmed vara adaptiv till fiskbeståndens variationer i tid och rum.



- *Effekter av organismernas migrationer mellan system måste inkluderas i förvaltningsråden d.v.s. hänsyn måste tas till att förvaltningsåtgärder inriktade på enskilda system kan få konsekvenser på andra system (såsom trofiska kaskader till följd av expansion/kontraktion av torskens utbredning när dess biomassa förändras).*

### **Råd för fiskeri- och miljöförvaltningen**

- *Begränsningar av torskfisket bör behållas för att gynna torskbeståndets återhämtning med positiva konsekvenser på hela ekosystem.*
  - En återhämtning förväntas generera en trofisk kaskad genom att minska skarpsillsbeståndet, öka djurplanktonbiomassan och minska växtplanktonbiomassan under sommaren. För att reducera övergödningssymtom (höga koncentrationer av växtplankton) i havet borde därför både näringsbelastning kontrolleras och fisket efter torsk behållas låg (för att få ett starkt torskbestånd och de positiva miljöeffekter som det medför).
  - Ett stort torskbestånd skulle, genom ett mindre skarpsillsbestånd, öka sill- och skarpsillindividernas tillväxt samt indirekt minska riskerna för M74-syndrom hos lax.
  - En ökad torskbiomassa i egentliga Östersjön kan, genom att utbredningen samtidigt ökar, ha positiva effekter på ekosystem i randområden, som vid svenska kusten, och i Rigabukten, Finska viken och Bottenhavet.
- *En reduktion av skarpsillsbeståndet i områden där de är abundanta (f.n. i område 28 nordliga delar, 29 och 32) kan potentiellt vara en metod för att stärka torskbeståndet under förutsättning att de negativa effekter av skarpsill på torsk som redovisats i projektet gäller.*
  - Befintliga miljöövervaknings- och fiskundersökningsdata tyder på att de negativa effekterna av skarpsill förekommer, men data är inte tillräckliga för att med säkerhet visa att dessa mekanismer är viktiga för torskens återhämtning. För att med större säkerhet bedöma om en reduktion av skarpsillsbestånden gynnar en återhämtning av torsk behöver datainsamlingen anpassas och kunskapen om de samtidiga artinteraktionerna mellan alla tre fiskarterna (torsk, skarpsill, och sill/strömning) och deras byten öka.
  - En eventuell skarpsillsreduktion bör göras på en tillräckligt stor skala för att den efterfrågade effekten inte ska motverkas av fiskmigration in i reduktionsfiskeområdet.
  - En skarpsillsreduktion skulle påverka det övriga ekosystemet. Minskad mängd skarpsill leder till minskad konkurrens om föda (djurplankton) och därmed ökad kroppstillväxt hos skarpsill och sill/strömning, liksom till mindre mängd växtplankton sommartid, och minskat risk för M74-syndrom hos lax.
- *Fiske efter skarpsill och sill/strömning bör inte öka i områden (f.n. område 25) där tillgången på skarpsill och sill/strömning är låg och där stor torsk visar tydliga tecken på svält. Detta så att inte mängden pelagisk föda av lämplig bytesstorlek minskar för torskar.*

### 5.3 Kunskap från projektet som implementerats eller presenterats i förvaltningssammanhang - kusten

- Påvisandet av att en svag rekrytering hos abborre och gädda och ställvis försvagade bestånd har lett till att en rad åtgärder vidtagits för att stärka bestånden. Längs hela svenska Östersjökusten har en fångstbegränsning i fritidsfisket och ett maxi- och minimimått införts för gädda. Regionalt har fredningsområden riktade mot abborre och gädda införts och nya planeras. Ett omfattande arbete med habitatrestaurering i kustmynnande sötvattensmiljöer har initierats för att stärka bestånd av framför allt gädda, men i viss mån även abborre.
- Studierna som visar att rovfiskbestånden regleras av tillgången till lämpliga rekryteringsmiljöer och att dessa miljöer är starkt hotade har initierat ett regionalt arbete med att bevara dessa miljöer genom ett stärkt strand- och områdesskydd. Nationellt har fiskrekrytering identifierats som en viktig indikator på habitatkvalitet inom arbetet med Art- och habitatdirektiven. Likaså har arbetet bidragit till att kartläggning av rekryteringsmiljöer för fisk ingår som en åtgärd inom Aktionsplanen för Östersjön.
- Kunskapen om rovfiskens betydelse för trådalgs påväxt och indirekt för den habitatbildande vegetationen har bidragit till att rovfisken idag beaktas som en viktig faktor vid inrättande av marina skyddade områden, och att man satt upp bevarandemål med avseende på rovfisken. Studierna har även initierat en diskussion kring om åtgärder för att stärka rovfiskbestånd kan vara ett sätt att lokalt motverka eutrofieringsproblem vid kusten.

### 5.4 Råd till förvaltningen- kusten

#### Generella råd

- *Samarbetet mellan fiskeri- och miljöförvaltningen bör utvecklas* för att förvalta havet och kustområdena i linje med vad som föreslagits i den nya gemensamma fiskeripolitiken och det marina direktivet
  - Starka rovfiskbestånd i Östersjöns kustområden är gynnsamt för både fisket och miljön i kustområdena. Kustrovfisken förefaller lokalt att kunna reglera tätheterna av storspigg, och därmed minska produktionen av trådformiga alger och åtföljande eutrofieringssymptom. Både åtgärder som syftar till att stärka rekryteringen av dessa arter, och sådana som avser att minska dödligheten hos vuxen fisk kan stärka bestånden.
- *Rumslig förvaltning behövs.* Den framtida förvaltningen måste ta hänsyn till hur fiskbestånden (och därmed de ekologiska konsekvenserna av förvaltningsåtgärder) fördelar sig i Östersjöns kustområden, och därmed vara adaptiv till fiskbeståndens variationer i tid och rum.

- *Effekter av organismernas migrationer mellan system måste inkluderas i förvaltningsråden d.v.s. hänsyn måste tas till att förvaltningsåtgärder inriktade på enskilda system kan få konsekvenser på andra system (såsom trofiska kaskader till följd av expansion/kontraktion av torskens utbredning när dess biomassa förändras).*

### **Råd för fiskeri- och miljöförvaltningen**

- *Habitatbevarande åtgärder är centrala för att upprätthålla goda bestånd av kustrovfisk. Eftersom merparten av reproduktionen av abborre och gädda sker i kustområdena, i miljöer där exploateringstrycket är högt, är det viktigt att bevara befintliga reproduktionsområden längs kusten som en åtgärd för att upprätthålla goda lokala bestånd av kustrovfisk. Åtgärderna omfattar ökat områdesskydd, stärkt strandskydd, färre dispenser för vattenverksamhet och minskad båttrafik i känsliga reproduktionsområden. Dessa åtgärder är förhållandevis billiga och enkla att genomföra och är effektiva.*
- *Begränsningar i fiske syftar till att minska dödligheten hos adult fisk, och omfattar fredningsområden och redskapsbegränsningar samt för handredskapsfiske även baglimit och maximimått. Dessa åtgärder är kostnadseffektiva, även om till exempel fredningsområden kan vara förvaltningsmässigt svåra att få till stånd.*
- *Habitatrestaurering genom fysisk restaurering av sötvatten kan potentiellt ge lokala effekter, men effekterna på beståndsnivå av denna åtgärd är inte klarlagda.*
- *Åtgärder som minskar den lokala närsaltsbelastningen i områden med låg vattenomsättning. Närsaltsbelastningen kan minskas lokalt, exempelvis genom utbyggnad av enskilda avlopp eller konstruktion av näringsfällor. Restaureringar är relativt kostsamma och svår genomförda om man jämför med habitatskydd och fiskebegränsningar.*
- *Skarpsillsreduktion är sannolikt inte en effektiv metod för att stärka bestånden av kustrovfisk.*
- *Reduktion av storspigg kan vara en metod för att stärka rovfiskbestånd och minska eutrofieringssymptom på kusten, men vidare kunskapsuppbyggnad behövs för säkrare bedömning av åtgärden.*

För att på ett strukturerat sätt jämföra möjliga förvaltningsalternativ redovisas nedan en konsekvenstabell, där olika åtgärder för att stärka bestånden av abborre och gädda jämförs med avseende på fem kriterier (tabell 5.1). Tabellen baseras på expertbedömningar utförda inom PLAN FISH. För varje kriterium har en fyrgradig skala använts, där 4 anger att det är en bra förvaltningsåtgärd och 1 att det är en olämplig åtgärd med avseende på det bedömda kriteriet (se Bilaga 3). De fem olika kriterier som ingår i bedömningen är:

- *Effektivitet* - hur stor effekt åtgärden förväntas ha på bestånden
- *Osäkerhet* - hur tillförlitligt kunskapsunderlaget är med avseende på effektiviteten
- *Utförbarhet* - i vilken mån åtgärden anses vara möjlig att utföra praktiskt
- *Genomförbarhet* - hur svår åtgärden är att genomföra förvaltningsmässigt
- *Kostnad* - en bedömning av den relativa kostnaden för att uppnå en viss effekt på bestånden.

Tabell 5.1. Konsekvenstabell för jämförelse av olika förvaltningsåtgärder för att stärka rovfiskbestånden längs svenska Östersjökusten. Värden är sammanvägning av bedömningar gjorda av två experter i projektet.

Åtgärd	Effektivitet	Osäkerhet	Utförbarhet	Genomförbarhet	Kostnad	Summa
Habitatskydd	4	4	4	2	4	18
Fredningsområden	3	3	4	2	4	16
Fångstbegränsningar	3	2	4	3	4	16
Minska närsaltstillförsel lokalt	3	4	3	3	2	15
Spiggreduktion	3	3	2	2	4	14
Stärka torskbestånd	2	2	4	3	3	14
Skarpsillsreduktion	2	1	3	3	4	13
Storleksbegränsningar	1	1	4	3	4	13
Skarvreduktion	2	2	3	2	4	13
Habitatrestaurering sötvatten	2	2	4	3	1	12
Habitatrestaurering kustområden	3	2	2	2	1	10
Sälreduktion	2	1	2	1	4	10

Utgående från dagens kunskap visar denna analys att habitatskydd är den bästa åtgärden för att stärka bestånden av abborre och gädda längs kusten. Åtgärden har höga värden för de flesta kriterier bortsett från genomförbarhet. Anledningen till detta är att åtgärden kräver att strandskyddet efterlevs, något som sällan är fallet i praktiken. Åtgärder som syftar till att freda områden, d.v.s. förbjuda fiske under delar av eller hela året, eller begränsa uttaget av fisk får också de relativt höga poäng i analysen. Liksom för habitatskydd är den svagaste punkten för fredningsområden genomförbarheten, då det i många fall är svårt att upprätta sådana områden.

För fångstbegränsningar bedöms kunskapsläget vara relativt osäkert, framför avseende på effekterna av minimi- och maximimått. De åtgärder som rankas som de med lägst potential är reduktion av sälbestånd och habitatrestaurering på kusten och i tillrinnande sötvatten. För åtgärder riktade mot reduktion av sälbestånden grundar sig dessa resultat på att det är osäkert vilka effekter åtgärden verkligen har samt att det är svårt att genomföra på grund av motstridiga intressen hos allmänheten. För habitatrestaurerande åtgärder är grunden till bedömningen att de är relativt kostsamma och svår genomförda, samt att utfallet av dem inte är väl dokumenterat.

## 6 Kommunikation och samarbeten

En central del av PLAN FISH har varit kunskapsspridning och samarbete. Vi har kommunicerat med många olika intressenter för att informera om behovet av en ekosystemansats inom fiskeriförvaltning och publicerat resultat från projektet i vetenskapliga tidskrifter såväl som i populärvetenskapliga skrifter.

### 6.1 Publikationer och rapporter

Resultaten från projektet har publicerats i 24 vetenskapliga artiklar i internationella, vetenskapliga granskade tidskrifter (se kapitel 8), 13 manus är inskickade eller på gång att skickas in och arbetet har även resulterat i en vetenskaplig doktorsavhandling (**Van Leeuwen 2012**) och en masteruppsats (**Díaz-Gil 2011**). Resultaten har presenterats på 63 nationella och internationella möten och konferenser (Bilaga 1) och ett tiotal populärvetenskapliga artiklar har publicerats om projektet (Bilaga 2).

Projektet har rapporterat årligen till ansvarig myndighet, som i början var Naturvårdsverket och fr.o.m. 2011, då Fiskeriverket lades ned, Havs- och vattenmyndigheten. De fem årsrapporterna har tillgängliggjorts på projektets hemsida: <http://www.slu.se/planfish>

Totalt har fem årsrapporter producerats (2008-2012). I december 2009 delrapporterade Fiskeriverket och Naturvårdsverket projektet till regeringen. I oktober 2013 slutrapporteras projektet till Havs- och vattenmyndigheten, som i december 2013 ska slutrapportera regeringsuppdraget till regeringen.

### 6.2 Vetenskapligt samarbete

PLAN FISH har samarbetat med Linnéuniversitet i Kalmar (projektet ECOCHANGE) och Göteborgs universitet (projektet BAZOOCA) vid övervakning av plankton- och fisksamhället i Kalmarsund i samband med reduktionsfiskeförsöket. Linnéuniversitet analyserade bakterie- och växtplanktonproverna och Göteborgs universitet var tänkt att studera maneter, framför allt invasiva, amerikanska kammaneter. Manetanalys genomfördes inte fullt ut av Göteborgs universitet eftersom de första proverna inte visade på någon förekomst av amerikanska kammaneter, vilket tillsammans med flera andra studier där förekomsten av amerikansk kammanet i Östersjön omvärderades, indikerade att oron för en kammanetblomning i området varit överskattad. PLAN FISH har samarbetat intensivt med Latvian Fish Resource Agency (BIOR) som levererade djurplanktondata från centrala Östersjön och Rigabukten. Nästan alla länder runt Östersjön levererade data om tillväxt och kondition av clupeider som användes för rumsliga analyser.

PLAN FISH har även samarbetat med Klemens Eriksson och Katrin Sieben vid Universitetet i Groningen, Holland, kring trofiska kaskader i kustområden, och med BONUS-projektet PREHAB kring habitatmodellering av tidiga livsstadier av fisk. Med Ullrika Sahlin, Lunds universitet samarbetade vi om beslutsfattande under osäkerhet. Vidare har relationen mellan abborre och storspigg studerats experimentellt i ett samarbete med Pär Byström vid Umeå Universitet.

Internt har projektet haft årliga, större möten med presentationer av resultat och diskussioner om slutsatser och framtida arbete, med projektets vetenskapliga rådgivare, Lennart Persson, inbjuden. Däremellan har delar av projektet haft samordnings- och forskningsmöten vid behov.

Djurplanktonbestämning har genomförts vid National Marine Fisheries Research Institute Department of Fisheries Oceanography and Marine Ecology, Gdynia, Polen, samt på Aquabiota Water Research (Göran Sundblad), maganalyser på sill, skarpsill och spigg från Umeå universitet (Per Ask). Otolitkemiska analyser har utförts vid Lunds Tekniska Högskola (Mikael Elfman). Jonas Hentati Sundberg, Stockholm Resilience Center har gjort en studie av förändringar i fiske på strömning och skarpsill, priser och fiskemetoder i Östersjön med hjälp av historiska data.

### 6.3 Projektledning och deltagare

Deltagare utan angiven tillhörighet är eller har varit anställda på Fiskeriverket eller Institutionen för akvatiska resurser, SLU.

**Projektets koordinatörer** är: Magnus Appelberg och Håkan Wennhage. Håkan övergick till att vara koordinator när Joakim Hjelm, som var koordinator från projektstarten till juni 2011 slutade. Joakim kom tillbaka till projektet juli 2012 igen, men då som forskare.

Externa vetenskapliga rådgivare: Lennart Persson och André de Roos.

**Långvariga i projektet, med delprojektsansvar:** Michele Casini, Ulf Bergström, Anna Gårdmark, André de Roos (Amsterdams universitet), Mikaela Bergenius

**Långvariga, men utan delprojektsansvar:** Lennart Persson (Umeå universitet), Jens Olsson, Magnus Huss, Olavi Kaljuste, Olof Lövgren, Malin Werner, Ingemar Berglund, Ullrika Sahlin (Lunds universitet), Lena Bergström,

**Doktorand i projektet:** Anieke van Leeuwen (disputerade på Amsterdams universitet)

**Mastersstudent i projektet:** Carlos Diaz-Gil (student på Göteborgs universitet och universitetet i Cadiz)

**Deltagare som varit delaktiga, men lite kortare tid** (med reservation för att vi kan ha missat någon!): Lars Ljunggren, Malin Hjelm, Johan Lövgren, Huidong Tian, Malin Karlsson, Carlos Diaz-Gil, Erik Norin, Francesca Vitale, Andrea Belgrano, Sakari Kuikka, Laura Uusitalo, Baldvin Thorvaldsson, Roger Larsson, Frida Gustavsson, Jan-Erik Johansson, Anders Svenson, Peter Jakobsson, Anne-Marie Palmén Bratt, Fredrik Nilsson, Mikael Pettersson, Fredrik Franzén, Jan Andersson, Stig Lundin, Olle Brus, Linda Ottosson, Margareta Dyjak, Rajlie Sjöberg, Eva Ilic, Ronnie Nilsson, Maria Jansson, Carina Jernberg, Birgitta Krischansson, Marianne Johansson & Susanne Govella.

### 6.4 Referensgrupp

Inom projektet tillsattes en referensgrupp bestående av representanter från yrkesfisket (SYEF, BS RAC, SFR.), sportfisket (Sveriges sportfiske- och fiskevårdsförbund, Fiskeguiderna), myndigheter (länsstyrelser och Naturvårdsverket), naturskyddande intresseorganisationer (WWF, Naturskyddsföreningen) och Kalmarsundskommissionen. Referensgruppen har regelbundet fått information om projektet och kommit med värdefulla synpunkter på projektets vidare utformning. En viktig del i referensgruppsarbetet har varit att etablera ett samarbete med yrkesfisket som deltagit i reduktionsfisket i Kalmarsundsområdet, och vars båtar initialt även hyrts in som plattform för den biologiska provtagningen. Möten med referensgruppen hölls 2009, 2010 och 2011.

Referensgruppsarbetet har bland annat bidragit till att projektet renodlats för att studera ekosystemens födovävar och ekologiska effekter av fisket, medan ekonomiska konsekvenser för olika fiskesegment lyftes ut ur projektet. Konsekvenser för strukturen på olika fiskesegment belystes med en bioekonomisk modell i ett fristående projekt (Waldo m fl. manus).

## 7 Erkännande

I ett så här långvarigt projekt är det mycket folk som deltagit under åren. Stort tack till anställda på Institutionen för akvatiska resurser, SLU, för all hjälp med fältarbete och analyser, till personal på forskningsbåten U/F Mimer samt på fiskefartygen för hjälp vid både vår egen provtagning och vid reduktionsfisket.

Stort tack även till de vetenskapliga experterna Lennart Persson vid Umeå universitet och André de Roos vid Amsterdams universitet, som bidragit med råd, Anieke van Leeuwen som varit anställd som doktorand vid Amsterdams universitet inom projektet (och hennes handledare André de Roos), Klemens Eriksson och hans doktorand Katrin Sieben från Universitetet i Groningen som båda deltog i studierna av top-downreglering i kustområden med egna medel samt referensgruppen som följt projektet sedan 2009.

Projektet har till största delen finansierats med medel från Havsmiljöanslaget från regeringen, först via Naturvårdverket och från 1 juli 2011 via Havs- och vattenmyndigheten. Delar av projektet har medfinansierats av flera olika finansiärer, t.ex. Ullrika Sahlin har samfinansierats av forskningsmiljön "Biodiversitet och ekosystemtjänster i ett föränderligt klimat (BECC)" vid Lunds centrum för miljö- och klimatforskning.

Studierna av hur habitattillgång påverkar bestånden av rovfisk på kusten har i huvudsak finansierats av BONUS-projektet PREHAB.



## 8 Litteraturförteckning

I listan ligger litteratur citerad i texten samt alla publikationer från **PLAN FISH**. De sistnämnda markeras med **fetstil på försteförfattaren**.

- Alheit J, Möllmann C, Dutz J, Kornilovs G, Loewe P, Mohrholz V, Wasmund N (2005) Synchronous regime shifts in the central Baltic and the North Sea in the late 1980s. *ICES Journal of Marine Science* 62: 1205-1215
- Andersson J, Dahl J, Johansson A, Karås P, Nilsson J, Sandström O, Svensson A (2000) Recruitment failure and decreasing fish stocks in the coastal areas of Kalmarsund. Fiskeriverket Rapport 5:1-42
- Anon** (2008) Försök med skarpsillsutfiskning, delrapport till regeringen 2008-03-31. Rapport från Fiskeriverket. 47 s. (inklusive två konsultrapporter)
- Anon (2008) "Work report on coastal young fish study in Kalmar and Blekinge 2008". Intern rapport, Fiskeriverket
- Ask L, Westerberg H (2008) Fiskbestånd och miljö i hav och sötvatten. Resurs- och miljööversikt. Fiskeriverket
- Aven T (2009) Perspectives on risk in a decision-making context - Review and discussion. *Safety Science* 47(6): 798-806
- Aven T (2011) Quantitative risk assessment : the scientific platform. Cambridge: New York, Cambridge University Press
- Aven T (2013) A conceptual framework for linking risk and the elements of the data-information-knowledge-wisdom (DIKW) hierarchy. *Reliability Engineering and System Safety* 111:30-36
- Baden S, Emanuelsson A, Pihl L, Svensson CJ, Åberg P (2012) Shift in seagrass food web structure over decades is linked to overfishing. *Marine Ecology Progress Series* 451:61-73
- Berger R, Bergström L, Granéli E, Kautsky L (2004) How does eutrophication affect different life stages of *Fucus vesiculosus* in the Baltic Sea? A conceptual model. *Hydrobiologia* 514: 243-248
- Bergström U, Sundblad G, Downie AL, Snickars M, Boström C, Lindegarh M (2013) Evaluating eutrophication management scenarios in the Baltic Sea using species distribution modelling. *Journal of Applied Ecology* 50(3):680-690
- Bergström U**, Olsson J, Casini M, Eriksson BK, Fredriksson R, Wennhage H, Appelberg M (2013) Stickleback increase in the Baltic Sea - a thorny issue for coastal predatory fish? *Manus*
- Bergström U**, Olsson J, Wennhage H, Appelberg M, Bergström L, Eriksson BK, Sahlin U, Persson L (2013) Management of perch and pike populations in the Baltic Sea – current knowledge and scientific needs. *Manus*
- Bonsdorff E, Blomqvist EM, Mattila J, Norkko A (1997) Coastal eutrophication: Causes, consequences and perspectives in the Archipelago areas of the northern Baltic Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 44: 63-72
- Byström P**, Wennhage H. When prey feed on their future predators: effects of stickleback predation on larval perch. *Manus*
- Cardinale M**, Möllmann C, Bartolino V, Casini M, Kornilovs G, Raid T, Margonski P, Grzyb A, Raitaniemi J, Gröhsler T, Flinkman J (2009). Effect of environmental variability and spawner characteristics on the recruitment of Baltic herring *Clupea harengus* populations. *Marine Ecology Progress Series*, 388: 221-234
- Carpenter SR, Brock WA, Cole JJ, Kitchell JF, Pace ML (2008) Leading indicators of trophic cascades. *Ecology Letters* 11(2):128-38

- Carpenter SR, Kitchell JF (1988) Consumer Control of Lake Productivity. *Bioscience* 38:764-769
- Carpenter SR, Kitchell JF (1993) *The Trophic Cascade in Lake Ecosystems*. Cambridge University Press
- Casini M (2006) Resource utilisation and growth of clupeid fish in the Baltic Sea: patterns, mechanisms and ecological implications. Doctoral Thesis, Gothenburg University.
- Casini M** (2013a) Spatio-temporal ecosystem shifts in the Baltic Sea: top-down control and reversibility potential. In Daniels JA (ed) *Advances in Environmental Research*, Vol. 28. Nova Science Publishers, New York, p 149-167
- Casini M**, Bartolino V, Molinero JC, Kornilovs G (2010) Linking fisheries, trophic interactions and climate: threshold dynamics drive herring *Clupea harengus* growth in the central Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 413: 241-252
- Casini M**, Blenckner T, Möllmann C, Gårdmark A, Lindegren M, Llope M, Kornilovs G, Plikshs M, Stenseth NC (2012) Predator transitory spillover induces trophic cascades in ecological sinks. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 109(21): 8185-8189
- Casini M**, Hjelm J, Molinero JC, Lövgren J, Cardinale M, Bartolino V, Belgrano A, Kornilovs G (2009). Trophic cascades promote threshold-like shifts in pelagic marine ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 106: 197-202
- Casini M**, Kornilovs G, Cardinale M, Möllmann M, Grygiel W, Jonsson P, Raid T, Flinkman J, Feldman V (2011) Spatial and temporal density-dependence **regulates** the condition of central Baltic Sea clupeids: compelling evidence using a broad international acoustic survey. *Population Ecology*. 53: 511-523
- Casini M**, Lövgren J, Hjelm J, Cardinale M, Molinero J-C, Kornilovs G (2008) Multi-level trophic cascades in a heavily exploited open marine ecosystem. *Proceedings of the royal society B* 275:1793-1801
- Casini M**, Möllmann C, Österblom H (2011) Ecosystem approach to fisheries in the Baltic Sea: present and potential future applications in assessment and management. In *Ecosystem Based Management for Fisheries - An Evolving Perspective* A. Belgrano and C. Fowler Eds. Cambridge University Press, pp. 9-31
- Casini M**, Rouyer T, Bartolino V, Larson N, Grygiel W (2013b) Density dependence in space and time: opposite synchronous variations in population distribution and body condition in the Baltic Sea sprat (*Sprattus sprattus*) over three decades. *PlosOne*, *i tryck*
- Casini M**, Tian H, Larson N. Spatio-temporal changes of a “demersal” fish population as estimated using acoustic survey pelagic trawl catches: the Eastern Baltic Sea cod (*Gadus morhua*). *Inskickad*.
- Claessen D, De Roos AM, Persson L (2000) Dwarfs and giants: cannibalism and competition in size-structured populations. *The American Naturalist* 155:219-237
- Cox LA Jr (2012) Confronting Deep Uncertainties in Risk Analysis. *Risk Analysis* 32(10): 1607-1629
- Daskalov GM, Grishin AN, Rodionov S, Mihneva V (2007) Trophic cascades triggered by overfishing reveal possible mechanisms of ecosystem shift. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: 10518-10523
- De Roos AM, Persson L (2001) Physiologically structured models – from versatile technique to ecological theory. *Oikos* 94:51-71
- De Roos AM, Schellekens T, van Kooten T, van de Wolfshaar K, Claessen D, Persson L. (2007). Food-dependent growth leads to overcompensation in stage-specific biomass when mortality increases: The influence of maturation versus reproduction regulation. *Am Nat*. 2007;170:E59–E76

- De Roos AM, Schellekens T, van Kooten T, van de Wolfshaar K, Claessen D, Persson L (2008) Simplifying a physiologically structured population model to a stage-structured biomass model. *Theoretical Population Biology* 73: 47-62
- Díaz Gil C**, Werner M, Lövgren O, Kaljuste O, Margonski P, Grzyb A & Casini M (2012). Spatio-temporal composition and dynamics of zooplankton in the Kalmar Sound, western Baltic Sea. *inskickad efter revision till Boreal Environment Research*
- Díaz Gil C** (2011). Spatio-temporal composition and dynamics of zooplankton in the Kalmar Sound, western Baltic Sea, Sweden. Master Thesis, Gothenburg University and SLU-Aqua.
- Eero M**, Vinther M, Haslob H, Huwer B, Casini M, Storr-Paulsen M, Köster FW (2012) Spatial management can enhance the recovery of predator fish and avoid local depletion of prey species: example of the Baltic Sea. *Conservation Letters* 5(6): 486-492
- Elmgren R (1989) Man's impact on the Ecosystem of the Baltic Sea: Energy flows today and at the turn of the century. *Ambio* 18:326-332
- Englund G, Johansson F, Olofsson P, Salonsaari J, Öhman J (2009) Predation leads to assembly rules in fragmented fish communities. *Ecology Letters* 12:663-671
- Engstedt O, Stenroth P, Larsson P, Ljunggren L, Elfman M (2010) Assessment of natal origin of pike (*Esox lucius*) in the Baltic Sea using Sr:Ca in otoliths. *Environ Biol Fish* 89:547-555
- Engström H, Pettersson C (2003) Förvaltningsplan för mellanskarv och storskarv. Naturvårdsverket. Rapport 5261, 48 pp
- Eriksson B**, Sieben K, Eklöf J, Ljunggren L, Olsson J, Casini M, Bergström U (2011) Effects of Altered Offshore Food Webs on Coastal Ecosystems Emphasize the Need for Cross-Ecosystem Management. *AMBIO* 40:786-797
- Eriksson BK**, Ljunggren L, Sandström A, Johansson G, Mattila J, Rubach A, Råberg S, Snickars M (2009) Declines in predatory fish promote bloom-forming macroalgae. *Ecological Applications* 19:1975-1988
- Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Elmqvist T, Gunderson L, Holling CS (2004) Regime shifts, resilience and biodiversity in ecosystem management. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* 35:557-581
- Frank KT, Petrie B, Choi JS, Leggett WC (2005) Trophic cascades in a formerly cod-dominated ecosystem. *Science* 308: 1621-1623
- Funtowicz SO, Ravetz JR (1992) Risk management as a postnormal science. *Risk Analysis* 12:95-97
- Gregory RL, Failing M, Harstone G, Long T, McDaniels, Ohlson D (2012). Structured decision making: a practical guide to environmental management choices. Chichester, West Sussex ; Hoboken, N.J., Wiley-Blackwell
- Gregory R, Long G (2009) Using Structured Decision Making to Help Implement a Precautionary Approach to Endangered Species Management. *Risk Analysis* 29(4): 518-532
- Gårdmark A**, Casini, M, Huss M, van Leeuwen A, Hjelm J, Persson, L, de Roos AM Regime shifts in exploited marine food-webs: detecting mechanisms underlying alternative stable states using size-structured community dynamics theory. *Inskickad till Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*.
- Gårdmark A**, Lindegren M, Neuenfeldt S, Blenckner T, Heikinheimo O, Müller-Karulis B, Niiranen S, Tomczak M, Aro E, Wikström A, Möllmann C (2013) Biological Ensemble Modelling to evaluate potential futures of living marine resources. *Ecological Applications*, 23(4), 742–754
- Huss M**, de Roos AM, van Leeuwen A, Casini M, Gårdmark A (2013) Cohort dynamics give rise to alternative stable community states. *American Naturalist*, 182(3), 374-392

- Huss M**, de Roos AM, van Leeuwen A, Gårdmark A. Facilitation of fisheries by natural predators depends on life history of shared prey. *Inskickad till Oikos efter revision*.
- Huss M**, Gårdmark A, van Leeuwen A, de Roos AM (2012) Size- and food-dependent growth drives patterns of competitive dominance along productivity gradients. *Ecology*, 93(4), 847–857
- Huss M**, Gårdmark A (2010) A stage-structured perch-herring biomass model. Technical report, Swedish Board of Fisheries. 7 pp
- Hüssy K, St John MA, Böttcher M (1997) Food resource utilization by juvenile Baltic cod *Gadus morhua*: a mechanism potentially influencing recruitment success at the demersal juvenile stage? *Marine Ecology Progress Series* 155:199-208
- Hansson S (2013) Kustfiskens problem – stämmer det att ynglen svälter? Svealands kustvattenvårdsförbund 2013:24-25
- HELCOM (2012) Indicator-based assessment of coastal fish community status in the Baltic Sea 2005-2009. *Baltic Sea Environment Proceedings* 131
- ICES (2006a) ICES Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS). ICES CM 2006/ACFM:24
- ICES (2006b) Report of the ICES/BSRP/HELCOM Workshop on Developing a Framework for Integrated Assessment for the Baltic Sea (WKIAB). ICES CM 2006/BCC:09
- ICES Advice 2013, Bok 8
- Jackson CH, Jit M, Sharples LD, De Angelis D (2013) Calibration of Complex Models through Bayesian Evidence Synthesis: A Demonstration and Tutorial. *Medical Decision Making*
- Jackson JB, Kirby MX, Berger WH, Bjorndal KA, Botsford LW, Bourque BJ, Bradbury R, Cooke R, Erlandson J, Estes JA, Hughes TP, Kidwell S, Lange CB, Lenihan HS, Pandolfi JM, Peterson CH, Steneck RS, Tegner M J, Warner R (2001) Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293: 629-638
- Jansson BO, Dahlberg K (1999) The environmental status of the Baltic Sea in the 1940's, today, and in the future. *Ambio* 28:312-319
- Kaelbling LP, Littman ML, Cassandra AR (1998) Planning and acting in partially observable stochastic domains. *Artificial Intelligence* 101:99-134
- Keinänen M**, Uddström A, Mikkonen J, Casini M, Pönni J, Myllylä T, Aro E, Vuorinen P (2012) The thiamine deficiency syndrome M74, a reproductive disorder of Atlantic salmon (*Salmo salar*) feeding in the Baltic Sea, is related to the fat and thiamine content of prey fish. *ICES Journal of Marine Science*, 69: 516-528
- Kéry M, Schaub M (2012) Bayesian population analysis using WinBUGS: a hierarchical perspective. Boston, Academic Press
- Korpinen S, Jormalainen V, Honkanen T (2007) Bottom-up and cascading top-down control of macroalgae along a depth gradient. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 343: 52-63 )
- Laikre L, Miller LM, Palmé A, Palm S, Kapuscinski AR, Thoresson G, Ryman N (2005) Spatial genetic structure of northern pike (*Esox lucius*) in the Baltic Sea. *Molecular Ecology* 14:1955-1964
- Lappalainen A, Rask M, Koponen H, Vesala S (2001) Relative abundance, diet and growth of perch (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) at Tvarminne, northern Baltic Sea, in 1975 and 1997: Responses to eutrophication? *Boreal Environment Research* 6:107-118
- Lemmetyinen R, Mankki J (1975) The three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) in the food chains of the northern Baltic. *Merentutkimuslaitoksen Julkaisu* 239:155-161
- Leslie HM, McLeod KL (2007) Confronting the challenges of implementing marine ecosystem-based management. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(10): 540-548

- Lindegren M**, Andersen KH, Casini M, Neuenfeldt S (2013) A metacommunity perspective on source-sink dynamics and management: the Baltic Sea as a case study. *Ecological Applications*, *inskickad efter revision*
- Lindegren M, Möllmann C, Hansson LA (2010) Biomanipulation: a tool in marine ecosystem management and restoration? *Ecological Applications* 20(8): 2237-2248
- Ljunggren L**, Olsson J, Nilsson J, Stenroth P, Larsson P, Engstedt O, Borger T, Sandström O (2011) Våtmarker som rekryteringsområden för gädda i Östersjön. Fiskeriverket FinFo no 1, 63 s.
- Ljunggren L**, Sandström A, Bergström U, Mattila J, Lappalainen A, Johansson G, Sundblad G, Casini M, Kaljuste O, Eriksson BK (2010) Recruitment failure of coastal predatory fish in the Baltic Sea coincident with an offshore ecosystem regime shift. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil* 67:1587-1595
- Ljunggren L, Sandström A, Johansson G, Sundblad G, Karås P (2005) Rekryteringsproblem hos Östersjöns kustfiskbestånd, Fiskeriverket, FinFo 2005:5
- MacKenzie BR, Köster FW (2004) Fish production and climate: sprat in the Baltic Sea. *Ecology* 85:784-794
- Maxim L, van der Sluijs JP (2011) Quality in environmental science for policy: Assessing uncertainty as a component of policy analysis. *Environmental Science & Policy* 14(4): 482-492
- Metz JAJ, Diekmann O (1986) The dynamics of physiologically structured populations. Springer lecture in biomathematics. vol. 68. Springer-Verlag. Heidelberg
- Mikkonen J**, Keinänen M, Casini M, Pönni J, Vuorinen P (2011) Relationships between fish stock changes in the Baltic Sea and the M74 syndrome, a reproductive disorder of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *ICES Journal of Marine Science*, 68: 2134-2144
- Myers RA, Baum JK, Shepherd TD, Powers SP, Peterson CH (2007) Cascading effects of the loss of apex predatory sharks from a coastal ocean. *Science* 315:1846–1850
- Naturvårdsverket (2008) Sveriges åtaganden i Baltic Sea Action Plan. Delrapport. Rapport 5830. 150 pp
- Nilsson J (2006) Predation of northern pike (*Esox lucius* L.) eggs: a possible cause of regionally poor recruitment in the Baltic Sea. *Hydrobiologia* 553:161-169
- Nilsson J, Andersson J, Karås P, Sandström O (2004) Recruitment failure and decreasing catches of perch (*Perca fluviatilis* L.) and pike (*Esox lucius* L.) in the coastal waters of southeast Sweden. *Boreal Environment Research* 9:295-306
- Olsson J, Andersson J (2013) Även kallvattenarterna behöver övervakas längs kusterna. Havet 2012. Om miljötillståndet i svensk havsområden. p 64-66
- Olsson J, Bergström L, Gårdmark A (2012) Abiotic drivers of coastal fish community change during four decades in the Baltic Sea. *ICES Journal of Marine Science* 69:961-970
- Olsson J, Mo K, Florin AB, Aho T, Ryman N (2011) Genetic population structure of perch *Perca fluviatilis* along the Swedish coast of the Baltic Sea. *J Fish Biol* 79:122-137
- Olsson J**, Bergström U, DeMandt M, Wennhage H. Predators, preys and competitors – interactions between sticklebacks and perch in coastal areas of the Baltic Sea. *Manus*
- Pace ML, Cole JJ, Carpenter SR, Kitchell JF (1999) Trophic cascades revealed in diverse systems. *Trends in Ecology and Evolution* 15:483–488
- Persson L, Amundsen PA, de Roos AM, Klemetsen A, Knudsen R, Primicerio R (2007) Culling prey promotes predator recovery – alternative stable states in a whole-lake experiment. *Science* 316:1743-1746
- Persson L, Byström P, Wahlström E (2000) Cannibalism and competition in Eurasian perch: population dynamics of an ontogenetic omnivore. *Ecology* 81:1058-1071
- Petraitis PS, Dudgeon SR (2004) Detection of alternative stable states in marine communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 300:343-372

- Pinnegar JK, Polunin NVC, Francour P, Badalamenti F, Chemello R, Harmelin-Vivien ML, Hereu B, Milazzo M, Zabala M, D'Anna G, Pipitone C (2000) Trophic cascades in benthic marine ecosystems: lessons for fisheries and protected-area management. *Environmental Conservation* 27(2): 179–200
- Polis GA, Myers CA, Holt RD (1989) The Ecology and Evolution of Intraguild Predation: Potential Competitors That Eat Each Other. *Annual Review of Ecology and Systematics* 20:297-330
- Press SJ (1989) Bayesian statistics : principles, models, and applications. New York, Wiley
- Rumpff L, Duncan DH, Vesik PA, Keith DA, Wintle BA (2011) State-and-transition modelling for Adaptive Management of native woodlands. *Biological Conservation* 144:1224-1236
- Rohtla M, Vetemaa M, Urtson K, Soesoo A (2012) Early life migration patterns of Baltic Sea pike *Esox lucius*. *J Fish Biol* 80:886-893
- Sahlin U** m fl. Arguing for a causal relationship across multiple types of evidence – the case of trophic cascades following reinstated dominance of a top-predator fish in the Baltic Sea. *manus*
- Sahlin U**. Info-quality analysis: A treatment of weak knowledge in Bayesian evidence synthesis. *manus*
- Saulamo K, Andersson J, Thoresson G (2001) Skarv och fisk vid svenska Östersjökusten. *Finns Fiskeriverket Informerar* 7, 21 pp
- Saulamo K, Neuman E (2002) Local management of Baltic fish stocks - significance of migrations. Report No. 2002:9, Swedish Board of Fisheries, Göteborg
- Scheffer M, Carpenter SR (2003) Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Trends in Ecology and Evolution*. 18: 648-656
- Scheffer M, Carpenter S, de Young B (2005) Cascading effects of overfishing marine systems. *Trends in Ecology and Evolution* 20: 579-581
- Scheffer M, Jeppesen E (2007). Regime shifts in shallow lakes. *Ecosystems* 10 (1):1 - 3
- Schmitz OJ (2004). Perturbation and abrupt shift in trophic control of biodiversity and productivity. *Ecology Letters* 7:403-409
- Schröder A, Persson L, de Roos AM (2005) Direct experimental evidence for alternative stable states: a review. *Oikos* 110(1):3–19
- Shurin JB, Borer ET, Seabloom EW, Anderson K, Blanchette CA, Broitman B, Cooper SD, Halpern B (2002) A cross-ecosystem comparison of the strength of trophic cascades. *Ecology Letters* 5:785-791
- Sieben K**, Ljunggren L, Bergström U, Eriksson BK (2011) A meso-predator release of stickleback promotes recruitment of macroalgae in the Baltic Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 397:79-84
- Stephens PA, Sutherland WJ, Freckleton RP (1999) What is the Allee effect? *Oikos* 87: 185-190
- Spiegelhalter DJ, Best NG (2003) Bayesian approaches to multiple sources of evidence and uncertainty in complex cost-effectiveness modelling. *Statistics in Medicine* 22(23): 3687-3709
- Sundblad G**, Bergström U (2011) Modellering av potentiella rekryteringsområden för fisk i Kalmarsund. *AquaBiota Rapport* 2011:03
- Sundblad G**, Bergström U, Sandström A, Eklöv P (2013) Nursery habitat availability limits adult stock sizes of predatory coastal fish. *ICES Journal of Marine Science. i tryck*
- Sundblad G**, Bergström U (2013). Increased shoreline development threatens fish reproduction. *Ambio, inskickad*

- Tian H**, Casini M, Bartolino V, Bergström U, Cardinale M, Bland B, Meier M (2013) Spatio-temporal dynamics of a fish predator: demographic and hydrographic effects on Baltic Sea cod population
- van de Wolfshaar, K.E.**, HilleRisLambers, R. & Gårdmark, A. (2011). Effect of habitat productivity and exploitation on populations with complex life cycles. *Marine Ecology Progress Series* 438: 175–184.
- van Leeuwen, A.** (2012) The cod delusion – implications of life history complexity for predator-prey community dynamics. PhD thesis, University of Amsterdam, The Netherlands. 233 pp
- van Leeuwen A**, Gårdmark A, Huss M, de Roos AM. Timing problems for a predator with complex life history: The bliss and curse of density dependence. *återinskickad till Ecology*
- van Leeuwen A**, Huss M, Gårdmark A, Casini M, Vitale F, Hjelm J, Persson L, de Roos AM (2013) Predators with multiple ontogenetic niche shifts have limited potential for population growth and top-down control of their prey. *American Naturalist*, 182(1), 53-66
- Waldo S, Paulrud A, Ringdahl K, Lövgren J, Bergenius M. Cod or clupeids? – Economic consequences for fisheries operating in different ecosystem states. *inskickat för att bli en Aquarapport*
- Westin L, Limburg KE (2002) Newly discovered reproductive isolation reveals sympatric populations of *Esox lucius* in the Baltic. *J Fish Biol* 61:1647-1652
- Österblom H**, Gårdmark A, Bergström L, Müller-Karulis B, Folke C, Lindegren M, Casini M, Olsson P, Diekmann R, Blenckner T, Humborg C, Möllmann C (2010) Making the ecosystem approach operational in the Baltic Sea: can regime shifts in ecological- and governance systems facilitate the transition? *Marine Policy*. 34: 1290-1299.
- Österblom H, Hansson S, Larsson U, Hjerne O, Wulff F, Elmgren R, Folke C (2007) Human-induced trophic cascades and ecological regime shift in the Baltic Sea. *Ecosystems* 10: 877-889
- Östman Ö**, Gårdmark A. Predator benefits and indirect effects of competitive release determines effects of fishing – size-dependent interactions of cod, sprat, and herring. *Manus*

## 9 Bilagor

### 9.1 Bilaga 1. Presentationer på konferenser och möten

#### 2008-2009:

1. Appelberg M, Hjelm J, Bergenius M, Casini M, Gårdmark A, Wennhage H. "Planktivore management - linking food web dynamics to fisheries in the Baltic Sea (PLAN FISH)". ScanBalt Forum & biomaterialdagar. Kalmar, 7-9 oktober, 2009.
2. Bergenius M. "Möte 1: Risks and Management". Första referensgruppsmötet i PLAN FISH, Stockholm, 11 maj 2009.
3. Bergenius M. "PLAN FISH". Möte med vetenskapsjournalister, Öregrund, 24 augusti 2008.
4. Bergenius M. "PLAN FISH". Möte mellan Baltic Nest Institute, Fiskerverket, Kustlaboratoriet i Göteborg, 12 december 2008.
5. Bergenius M. "PLAN FISH synthesis, risk analysis and dissemination". Koordineringsmöte med BAZOOCA (Bonus project Baltic Zooplankton Cascades) och PLAN FISH, Fiskebäckskil, 8 juni 2009.
6. Casini M. "Trophic cascades promote threshold-like shifts in pelagic marine ecosystems: the Baltic Sea case", ASLO, Nice (France), 25-30 januari 2009.
7. Casini M. "Switches in ecosystem functioning triggered by trophic cascades in the central Baltic Sea". ICES Working Group on Integrated Assessment in the Baltic (WGIAB), Rostock (Tyskland), 16-20 mars 2009.
8. Casini M. "Trophic cascades promote threshold-like shifts in pelagic marine ecosystems: the Baltic Sea case". International Marine Conservation Conference (IMCC), Washington (U.S.A.), 19-24 maj 2009.
9. Casini M. "Trophic cascades promote threshold-like shifts in pelagic marine ecosystems: the Baltic Sea case". Sizemic, European Science Foundation. Body size and ecosystem dynamics: Implications for conservation and management of natural resources. Workshop på Sven Lovén Centrum för marina vetenskaper, Tjärnö, 1-6 juni 2009.
10. Gårdmark A, Appelberg M, Hjelm J, Casini M, Wennhage H, Bergenius M, Bergström U, de Roos AM, Kaljuste O, Kuikka S, Ljunggren L, Lövgren J, Persson L, Uusitalo L, van Leeuwen A, Vitale F, Werner M. "Planktivore management – linking food web dynamics to fisheries in the Baltic Sea. PLAN FISH". ECOSUPPORT General Assembly, Norrköping, 20 januari 2009.
11. Gårdmark A, Casini M. "Planktivore management – linking food web dynamics to fisheries in the Baltic Sea". ICES Working Group on Integrated Assessment in the Baltic (WGIAB), Rostock (Tyskland), 16-20 mars 2009.
12. Gårdmark A, van Leeuwen A, de Roos AM, Casini M, Hjelm J. "PLAN FISH model of the Baltic open sea food-web". ECOSUPPORT Data Integration and Modelling Workshop, Norrköping, 14 november 2009.
13. Gårdmark A, van Leeuwen A, de Roos AM, Casini M, Hjelm J. "PLAN FISH models of the Baltic sea food-webs: where are we". ECOSUPPORT General Assembly, Norrköping, 15 november 2009.



14. Hjelm J. "PLAN FISH - Ecosystem based management in the Baltic?". Europaparlamentet, 18 februari 2009.
15. Hjelm J, Appelberg M. "Skarpsillsuppdraget. Ekosystembaserad fiskeriförvaltning i Östersjön. Vad vet vi idag och vad har hänt inom skarpsillsprojektet 2008". Jordbruksdepartementet och miljödepartementet, Stockholm, 14 december 2008.
16. van Leeuwen A. "A size-structured population model analysis of the cod-clupeid food web in the Baltic Sea". Havsfiskelaboratoriet, Fiskeriverket, Lysekil, 13 juni, 2009.
17. van Leeuwen A. "How cod shapes it's world". Sizemic, European Science Foundation. Body size and ecosystem dynamics: Implications for conservation and management of natural resources. Workshop på Sven Lovén Centrum för marina vetenskaper, Tjärnö, 3-6 juni 2009.
18. van Leeuwen, A. "How cod shapes its world". EMG Umeå University, Umeå, 1 juni, 2009
19. van Leeuwen A. "A size-structured population model analysis of the cod-clupeid food web in the Baltic Sea". ICES Working Group on Integrated Assessment in the Baltic (WGIAB), Rostock (Tyskland), 16- 20 mars, 2009.
20. van Leeuwen, A. "How cod shapes its world". Netherlands Annual Ecology Meeting, Lunteren (Nederländerna), 10 februari, 2009.
21. Wennhage H. "Planctivore management - Linking food web dynamics to fisheries in the Baltic sea." 2<sup>nd</sup> Baltic Dialogue meeting. Karlskorna, 9-10 oktober, 2008.
22. Wennhage H. "An ecological approach to management: using PLAN FISH as an example." Föreläsning för fiskekologikurs, Göteborgs universitet, Fiskebäckskil, 6 november 2009.
23. Werner M. "Skarpsillsuppdraget - Ekosystembaserad fiskeriförvaltning i Östersjön" Resursavdelningen, Fiskeriverket, Göteborg, 23 februari 2009.
24. Werner M. "Skarpsillsuppdraget - Ekosystembaserad fiskeriförvaltning i Östersjön". Kalmarsundskommissionen, Mönsterås, 12 mars 2009.

## 2010

25. Appelberg, M & Bergström, L. Seminar for The Swedish Research Council FORMAS, Öregrund, 19 augusti.
26. Casini, M. "The Baltic Sea: climate changes, trophic cascades & ecological thresholds - Applications for an ecosystem approach". Invited speaker at the Seminar "Ecosystem approach in theory and practice – what do we know, where are we?", Havsmiljöinstitutiet, Göteborg, 21-22 oktober.
27. Kaljuste, O. Presentation om den akustiska undersökningen i Kalmarsund på en workshop om ekointegrering som forskningsmetod, Göteborg, 3 mars.
28. Gårdmark, A. "What are the effects of cod-clupeid interactions?" Presentation på Baltic 2020 workshop, Kungliga vetenskapsakademien, Stockholm, 13 januari.
29. Gårdmark, A. sill-skarpsillsmodellen mini-workshop, Havsfiskelaboratoriet, Lysekil, 23 februari.
30. Huss, M. Seminarium om sill-skarpsillsmodellen, Kustlaboratoriet, Öregrund, 11 May.

## 2011

31. Casini, M., Bartolino, V., Bergström, U., Aro, Lindegren, M., E., Axe, P., Meier, M. Fishery- and climate-induced changes in predator distribution trigger a spatialreallocation of its prey: the cod-sprat dynamics in the Baltic Sea. ICES Annual Science Conference, september 2011, Gdansk, Polen.
32. Casini, M. et al. "Spatial connectivity and predator spillover affect food-web structure in ecological sinks: the Baltic Sea case". Presentation på ASLO, Saint Juan (Puerto Rico), 13-18 februari 2011.
33. Anieke van Leeuwen presenterade arbetet med torsk-skapsillsmodellen på det årliga motet i the Dutch Society for Theoretical Biology (NVTB, May 2011, Schoorl).
34. Anieke van Leeuwen presenterade arbetet med torsk-skapsillsmodellen på IBED, University of Amsterdam, i maj 2011.
35. Anieke van Leeuwen presenterade arbetet med torsk-skapsillsmodellen på the British Ecological Society meeting (BES, sept. 2011, Sheffield, UK).
36. Anna Gårdmark presenterade PLAN FISH på BEAM & ECOCHANGE workshop i Gimo, 22-23 mars 2011.
37. Jens Olsson presenterade PLAN FISH och rekrytering av abborre och gädda i Östersjön på ett möte organiserat av Länsstyrelsen i Stockholm, 23 februari 2011.
38. Jens Olsson and Ulf Bergström presenterade "the state-of-the-art" rekrytering av abborre och gädda i Östersjön på ett möte organiserat av Sportfiskarna om habitat restaurering för att gynna gäddbeståndet i Östeesjön. Stockholm, 12-13 oktober 2011.
39. WP1-WP4 workshop om kopplingar data-modeller och analyser av det. Göteborg, 16-17 maj 2011
40. Alla delar av projektet presenterades för referensgruppen på ett möte i Kalmar i februari 2011.

## 2012

41. Michele Casini, "*Biodiversity, species interactions, food webs and systemic changes in the Baltic: why is an integrated approach needed?*" BSRAC (Baltic Sea Regional Advisory Council) seminar "Ecosystem-based management", 25-26 september 2012.
42. Michele Casini, "*Food webs in the Baltic-when are they healthy?*" Seminar "Food webs and non-indigenous species?". GES-REG (Good Environmental Status through regional coordination and capacity building) project, Helsinki (Finland), 28-29 augusti 2012.
43. Jens Olsson, "*Increase in sticklebacks in the Baltic affects recruitment of coastal predatory fish*" Olsson J, Wennhage H, Casini M, Eriksson BK, Bergström U. ICES/PICES international symposium on Forage Fish Interactions i Nantes, 12-14 november 2012.
44. Ulf Bergström, "*Vad styr rekryteringen av kustfisk och hur kan vi övervaka den?*" Miljöövervakningsdagarna 17-18 september 2012, Ronneby.
45. Ulf Bergström, "*Rovfiskens yngelkammare*". Sportfiskarnas rovfiskseminarium, 23 mars 2012, Stockholm.
46. Jens Olsson, "*Tillståndet för kustabborre*". Sportfiskarnas rovfiskseminarium, 23 mars 2012, Stockholm.

47. Jens Olsson, ”*Betydelsen av rovfisk i skärgården*”. Riksmöte för vattenorganisationer, 17 september 2012, Stockholm.
48. André de Roos, ”*Ecosystem-based modelling of fish communities: population dynamic data generate many putative explanations but few mechanistic insights*”, de Roos and van Leeuwen. Mini-symposium "Applications and applicability of ecological models for ecosystem assessment and management (EAM)", June 1, 2012, Wageningen University Research, Nederländerna.
49. Anieke van Leeuwen, ”*Dealing with death. How different mortality scenarios impact predators with complex life history in a size-structured community*”, van Leeuwen. Weekly theoretical seminar at the department of Ecology and Evolutionary Biology, University of Michigan, USA; and weekly seminar in the Disease and community ecology group, Ecology and Evolutionary Biology, Princeton University, USA.
50. Anieke van Leeuwen, ”*Alternative resources for apex predators limit their population growth and top-down control of their prey*”, van Leeuwen, de Roos, Huss and Gårdmark. Contributed talk, annual meeting of the Ecological Society of America, Portland, Oregon, USA.
51. Magnus Huss, ”*Cohort dynamics and alternative stable competition states*”, Huss, de Roos, van Leeuwen, Casini and Gårdmark. Contributed talk, annual meeting of the Ecological Society of America, Portland, Oregon, USA.
52. Anieke van Leeuwen, ”*Eat, prey, die. Alternative resources prevent Cod to shape its world*” van Leeuwen. Contr., Dutch Society for Theoretical Biology (NVTB), Schoorl, The Netherlands, and at Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics scientific day, Amsterdam.
53. Anieke van Leeuwen, ”*The Cod delusion – or timing problems of a marine predator: The bliss and curse of density dependence*” van Leeuwen. Contr., Netherlands Annual Ecology Meeting, Wageningen, Nederländerna.
54. Anna Gårdmark, ”*Forage fish communities: Causes of shifts in community composition and alternative stable states*”, Huss, de Roos, van Leeuwen, Casini & Gårdmark. ICES/PICES Symposium on Forage Fish Interactions 12-14 november 2012, Nantes, Frankrike.
55. ”*Scientific communication in a decision context – the need to reflect on risk, uncertainty, reliability and validity in scientific-based decision support*”, Sahlin. BECC annual meeting. Lunds universitet 22 oktober, 2012, Örenäs.

## 2013

56. Malin Werner, ”*PLAN FISH planktivore management linking food web dynamics to fisheries in the Baltic Sea – a project summing up*”. Poster på ICES Annual Science Conference, Reykjavik (Island), 23-27 september 2013.
57. Casini, M. m fl. ”*Spatial connectivity and predator spillover synchronize food-web changes in the Baltic Sea: the importance of landscape ecology in fisheries management*”. Muntlig presentation på ICES Annual Science Conference, Reykjavik (Island), 23-27 september 2013.
58. ”*Do food-web interactions matter in fisheries management?*” Temasession, ordförande: A. Gårdmark, M. Casini, J. Link & I. Perry på ICES Annual Science

Conference 2013, med co-sponsring av the North Pacific Marine Science Organization (PICES) på denna session.

59. Magnus Huss, "Alternative stable states and shifts in competitive dominance in size-structured fish communities" Presentation på ICES Annual Science Conference 2013.
60. Gårdmark, A., Casini, M., Huss, M., van Leeuwen, A., Hjelm, J., Persson, L. & de Roos, A. M. "Alternative stable states in marine food-webs – preventing recovery of overexploited fish stocks?" Ecological Society of America, annual meeting, Minneapolis, inbjuden föredragshållare. 2013.
61. Ullrika Sahlin, "Quality assurance in scientific advice – what questions to ask", Seminarium på Australian Centre of Excellence for Risk Analysis (ACERA) 15 februari, 2013, University of Melbourne, Melbourne, Australia.
62. Ullrika Sahlin "Why exchangeability may hinder us to see a black swan", Special symposium on the foundations of risk analysis and safety science at the SRA-E conference in Trondheim June 2013.
63. Ullrika Sahlin, "Quality in Bayesian analyses is sensitive the exchangeability" Presentation på ICES Annual Science Conference 2013.

## 9.2 Bilaga 2. Populärvetenskapliga artiklar

- Andersson J, Appelberg M, Bergenius M, Ljunggren L (2008). Kustfisk påverkas av förändringar i öppna havet. Havet 2008 – om miljötillståndet i svenska havsområden. Naturvårdsverket i samarbete med marina forskningscentrum vid universiteten i Umeå, Stockholm och Göteborg, pp. 98-100. Kan hittas på [www.havet.nu](http://www.havet.nu)
- Casini M (2012) Effekter av torskens utbredning i tid och rum. I "Fiskbestånd och miljö i hav och vatten. Resurs och miljööversikt 2012". Havs och vattenmyndigheten 2012
- Casini M, Gårdmark A (2012) Skarpsillen reglerar i Östersjön. I "Miljötrender", SLU no. 4 (Naturens trösklar)
- Casini M (2013) SLU's forskning möjliggör en ekosystem-baserad förvaltning av Östersjöns fiskbestånd. I "Rädda Östersjön", September 2013. Media Planet
- Hjelm J (2008). Kan färre skarpsillar ge fler torskar? Havet 2008 – om miljötillståndet i svenska havsområden. Naturvårdsverket i samarbete med marina forskningscentrum vid universiteten i Umeå, Stockholm och Göteborg, s. 96-97. Kan hittas på [www.havet.nu](http://www.havet.nu)
- Hjelm J, Appelberg M, Bergenius M, Andersson Å, Werner M (2008). Skarpsillsuppdraget: varför, hur och när? Yrkesfiskaren no. 11, s. 10-11
- Hjelm J, Appelberg M, Bergenius M, Andersson Å, Werner M (2009). Hur mår utsjöfiskeri i Östersjön? Svenskt Fiske no 4, s. 11-13
- Sahlin U (2013). Acceptera osäkerhet vid beslut. Debattinlägg Sydsvenskan 22 april 2013
- Werner M (2009). Skarpsillsuppdraget. Havsutsikt no 1, s. 4
- Werner M (2009). Skarpsill - kärt barn med många namn. Havsutsikt, på baksidan av nummer 1:2009

## 9.3 Bilaga 3. Fallstudier på riskanalys av skarpsillreducering

Bifogas som fristående bilaga.