

Genetisk undersökning av torsk från Ålands hav



Ulf Bergström¹, Henrik Christiansen^{2,3}, Ann-Britt Florin¹, Sven-Gunnar Lunneryd¹, Carl André³

Projektrapport till BalticSea2020 2015-06-30

¹Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges lantbruksuniversitet

²Laboratory of Biodiversity and Evolutionary Genomics, University of Leuven, Belgium

³Institutionen för biologi och miljövetenskap, Göteborgs universitet



Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för akvatiska resurser



GÖTEBORGS UNIVERSITET

Sammanfattning

För att undersöka om torsken i Ålands hav kan utgöra ett separat lekbestånd har Sveriges lantbruksuniversitet och Göteborgs universitet gjort genetiska släktskapsanalyser på totalt 263 individer samt kartlagt tillväxt och parasitförekomst i torsk från olika delar av Östersjön. Resultaten visar att den torsk som leker i Ålands hav kan vara genetiskt skild från det så kallade östra beståndet som leker i södra Östersjön, även om skillnaderna är små. En genetisk skillnad indikerar att det kan vara fråga om två bestånd som har ett begränsat utbyte med varandra, alternativt att det endast är individer med en särskild genuppsättning som sprids från Bornholm och ansamlas i Ålands hav. Individer från Ålands hav har en högre tillväxt än torsk från södra Östersjön, och saknar parasiten sälmask som är talrik i södra Östersjön. En sammanställning av yrkesfiskets fångster visar att man historiskt sett fångat mycket torsk i Ålands hav, och att fångsterna de senaste åren varit ökande i motsats till övriga delar av Östersjön. Sammantaget indikerar våra resultat att torsken i Ålands hav kan utgöra ett separat lekbestånd. För att belägga detta behövs dock ytterligare studier i form av befruktningsexperiment i låg salthalt, kemiska analyser av fiskarnas hörselstenar samt fördjupad statistisk analys av det undersökta genetiska materialet. Ifall torsken i Ålands hav utgör ett lokalt reproducerande bestånd så är det fråga om en unik anpassning till den låga salthalten, och en separat förvaltning behövs för ett fortsatt uthålligt fiske.

Introduktion

Torsk i Östersjön förvaltas som två bestånd, ett bestånd väster om Bornholm och ett öster om. För det så kallade östra beståndet är Bornholmsdjupet den viktigaste lekplatsen. I de tidigare viktiga lekområdena i Gdansk- och Gotlandsdjupet är reproduktionen i det närmaste obefintlig idag till följd av en utbredd syrebrist (Cardinale & Svedäng 2011, ICES 2013). Torsk förekommer även i norra Egentliga Östersjön och även Bottniska viken, om än i låga tätheter jämfört med kring Bornholmsdjupet. Den förhärskande uppfattningen är att torsken i norra Östersjön vandrat eller spridits som larver från lekområdena i söder, och att den lek som observerats i området inte gett någon lokal rekrytering (Otterlind 1976, Vallin m fl 1999).

I Ålands hav, på gränsen mellan Bottenhavet och norra Egentliga Östersjön fortgår ett yrkesmässigt fiske efter torsk. Det är fråga om ett småskaligt garnfiske, som utgår från norra Stockholms län och från Uppsala län (figur 1). Enligt dessa fiskare är merparten av den torsk som fångas under sommaren lekrogen, och de anser därför att det förekommer ett lokalt lekbestånd i området. Påståendet har från forskarhåll ansetts orimligt, eftersom torsken i södra Östersjön visats behöva en salthalt på ca 11 promille för en lyckad fortplantning (Nissling & Westin 1997). I djupet i Ålands hav är salthalten endast 7-8 promille. Inga vetenskapliga undersökningar har tidigare utförts för att undersöka om torskens lek i området har förutsättningar att lyckas.

Syftet med föreliggande projekt är att undersöka om torsk i Ålands hav är genetiskt separerad från södra Östersjön och att det därmed kan finnas ett separat lekbestånd i området. Vi jämför den genetiska sammansättningen av torsk från Ålands hav med fisk från andra delar av östra beståndet i Östersjön, samt från Östersjöns västra bestånd och från Öresund. Torsk från västra beståndet förväntas vara ganska lik östra beståndet eftersom det förekommer en hel del vandring mellan dessa områden (Eero et al 2014, 2015), medan Öresund är med som en referens på en genetisk skild population (Berg et al 2015). Vi jämför även uppgifter på tillväxt, könsstatus och parasitförekomst hos torsk i Ålands hav med individer från södra Östersjön för att se ifall det finns specifika skillnader i dessa karaktärer. I tillägg till detta gör vi även en kartläggning av yrkesfisket efter torsk i området, både nutida och historiskt, för att få en indikation på hur förekomsten av torsk i området varierat över tid.



Figur 1. Torskfisket i Ålands hav utgörs av ett småskaligt garnfiske. Bilden är från Grisslehamn.

Metodik

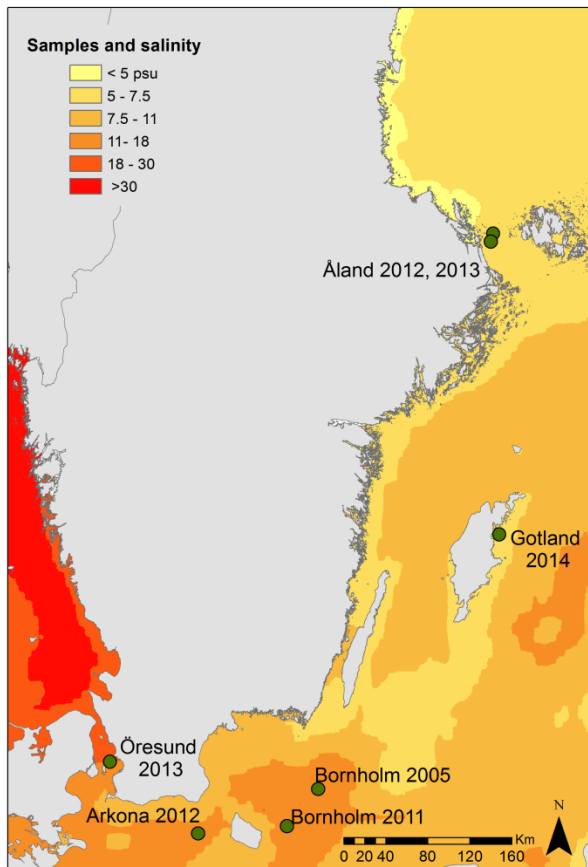
Kommersiellt torskfiske i Ålands hav

Uppgifter på yrkesfiskets landningar av torsk i Ålands hav (ICES SD 29) och området från Öland-Gotland upp till Ålands hav (ICES SD27-28) sammanställdes från ett flertal källor. För 1996-2014 användes ICES fångststatistik. För 1914-1969 användes, Sveriges officiella statistik – Fiske, för 1970-1981 Fiskestatistisk årsbok, och för 1982-1995 Statistiska meddelanden - Fiske.

Genetiska analyser

Vi använde två olika typer av genetiska markörer för att mäta genetisk likhet mellan fisk fångad i olika delar av Östersjön: dels 12 mikrosatelliter som är icke-kodande korta DNA fragment, och dels 8300 SNPs (punktmutationer; Single Nucleotide Polymorphism) fördelade över hela arvsmassan. Mikrosatelliterna kan ha många olika genvarianter (alleler) per plats på kromosomerna (locus) medan SNP vanligen enbart har två. Det mycket högre antalet locus i SNP-analyserna gör dem kraftfullare än mikrosatelliterna för att detektera genetiska skillnader mellan populationer. Mikrosatelliterna markerar bara släktskap mellan individerna, medan SNPs reflekterar både släktskap och skillnader i egenskaper (salt- och temperatortolerans, tillväxt etc). Torsk är den första marina fiskarten vars hela arvs massa är kartlagd, vilket gör att det går att välja ut SNPs som sitter i gener som troligen är av betydelse för torskens överlevnad i olika miljöer, t ex specifika gener som kodar för salthaltsreglering (Berg et al 2015).

Eftersom det endast är en liten fraktion av en föräldrageneration som lyckas med leken varje år och därmed bidrar med avkomma till nästa generation så kommer den genetiska sammansättningen inom ett bestånd att variera mellan år. För att kunna särskilja variationen mellan områden ifrån variationen mellan år är det därför viktigt att ha med prover från individer från olika årsklasser från samma område. I studien jämförde vi fisk fångad i Ålands hav under lektid 2012 och 2013 med fisk från Bornholm 2005 och 2011, Arkona 2012, Öresund 2013 samt Gotland 2014 (figur 2). För provet från Gotland har enbart SNP-analys gjorts. I proven ingick individer födda under olika år, vilket innebär att varje enskilt prov också representerar ett visst mått av mellanårsvariation. För Ålands hav och Bornholm inkluderades prov från två separata provtagningsår, för att täcka in ytterligare av variationen inom områden. Proven har samlats in inom ramarna för flera olika projekt. Vid urvalet eftersträvades en god geografisk täckning. Totalt analyserades 29-50 individer per stickprov.



Figur 2. Provtagningsområden för genetiska analyser samt salthalt i bottenvattnet. Torsk i södra Östersjön behöver en salthalt på minst 11 psu för att leken ska ha en möjlighet att lyckas, medan salthalten i Ålands hav är under 8 psu.

Könsstatus, parasitförekomst samt tillväxt

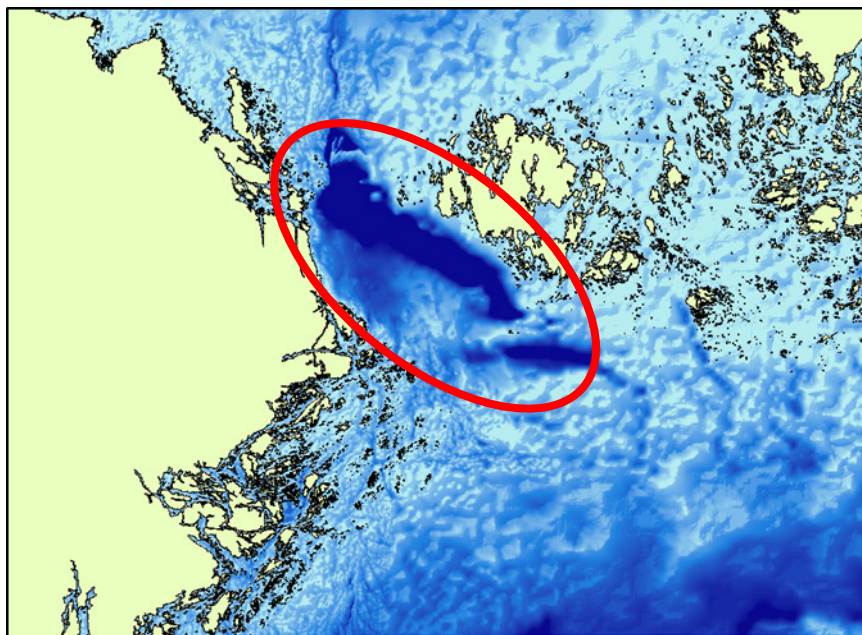
Vid den genetiska provtagningen av torsk i Ålands hav noterades även längd, vikt, kön, könsstatus samt förekomst av sälmask (*Psuedoterranova decipiens*). Fiskarnas ålder bestämdes genom analys av hörselstenarna. Provtagningen gjordes inom ramarna för ett projekt, finansierat av Havs- och vattenmyndigheten och utfört av SLU Aqua, där förekomsten av sälmask i Östersjön kartlagts (Lunneryd m fl 2014, 2015). Längd vid ålder jämfördes med prover från olika delar av östra beståndet i södra Östersjön samt från Öresund, insamlade inom sälmaskprojektet.

Resultat

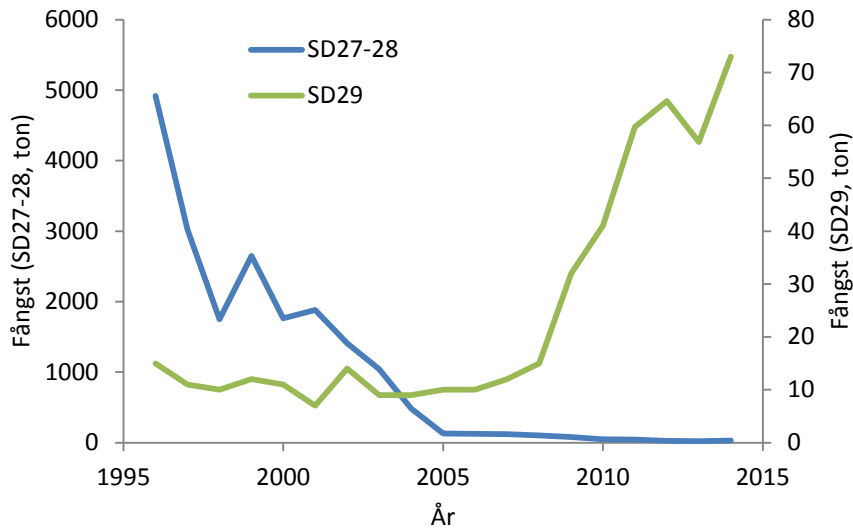
Kommersiellt torskfiske i Ålands hav

Fisket i Ålands hav sker huvudsakligen i ett sammanhängande djupområde från ca 80 m ner till de djupaste områdena på 270 m (figur 3). De svenska fångsterna i Ålands hav (ICES SD29) har ökat från 10-15 ton under perioden 1996-2008 till över 70 ton 2014. Sedan 2011 är fångsterna i området högre än i området från Öland och Gotland och norrut (SD27-28 tillsammans; figur 4). Där uppvisar fångsterna en kraftigt minskande trend sedan 1990-talet.

Historiskt har fisket efter torsk i Stockholms och Uppsala län varit omfattande. Under perioden 1940-1960 låg årsmedelfångsten på hela 1200 ton, vilket utgjorde nästan 10% av de totala svenska landningarna i Östersjön. Även i Bottenhavet, i området kring Ulvödjupet, hade man stora fångster på 1940-talet och även på 1980-talet, upp till 400 ton årligen. Sammantaget indikerar detta att djupområdena i norra Östersjön utgjort, och fortfarande utgör, en bra livsmiljö för torsk, trots att avståndet till lekområdena i södra Östersjön är långt.



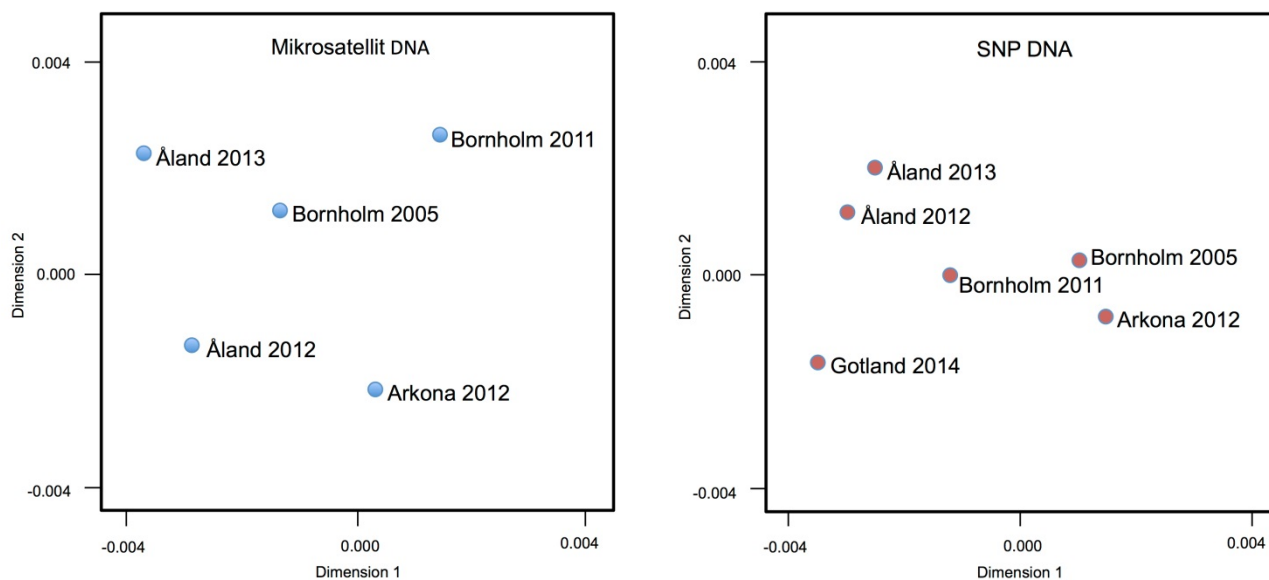
Figur 3. Det huvudsakliga fångstområdet för torsk i Ålands hav ligger inom det rödmarkerade området på 80-270 m djup.



Figur 4. Svenska yrkesfiskets fångster av torsk i SD29 (Ålands hav) samt SD27-28 (från Öland-Gotland i söder upp till Ålands hav i norr) 1996-2014.

Genetiska analyser

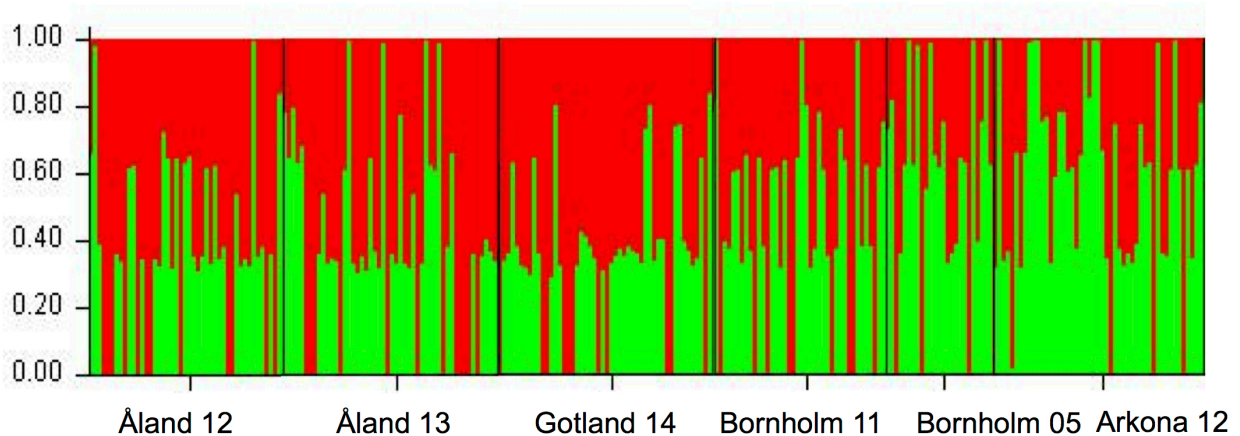
Generellt fann vi endast små genetiska skillnader mellan stickprov både för mikrosatelliter och SNPs (tabell 1; figur 5-6), förutom för Öresundstorsken som var klart avskild (visas ej). För båda markörtyperna skiljer sig dock Åland ungefär lika mycket ifrån Bornholm som Bornholm från Arkona (figur 5), och de två sistnämnda betraktas idag som separata bestånd. Vidare är det något större skillnader mellan proven från Åland och Bornholm än mellan de två stickproven inom varje område, vilket tyder på en faktisk skillnad mellan bestånd som inte beror på slumpmässig variation av årsklasser. Detta resultat indikerar att det kan finnas ett separat lekbestånd i Ålands hav. Det datamaterial som togs fram i de genetiska analyserna är mycket mer omfattande än vad som planerades i ansökningsskedet (8000 markörer vs 300), och därför återstår att göra en del fördjupade analyser före vi slutgiltigt kan avgöra om och hur den genetiska sammansättningen skiljer sig mellan områdena.



Figur 5. Karta baserad på multidimensional scaling (MDS) analys över genetisk likhet mellan stickprov av torsk från Ålands hav, Gotland, Bornholm och Arkona. Dimension 1 (x-axeln) förklarar mest och dimension 2 (y-axeln) näst mest av variationen i släktskap. Figuren till vänster anger likhet baserad på mikrosatellitanalyserna och den till höger på SNP-analyserna.

		Fst 12 msat	Fst 8227 SNP
Al 2012	Al 2013	0.0009	-0.0002
Al 2012	Bo 2005	0.0022*	0.0026
Al 2012	Bo 2011	0.0029	0.0005
Al 2013	Bo 2005	-0.0011	0.0028
Al 2013	Bo 2011	0.0046	0.0003
Al 2012	Go 2014	-	0.0021
Al 2013	Go 2014	-	0.0031
Al 2012	Ar 2012	0.0024	0.0039*
Al 2013	Ar 2012	0.0060*	0.0040*
Bo 2005	Bo 2011	0.0018	0.0003
Bo 2005	Ar 2012	0.0000	-0.0006
Bo 2011	Ar 2012	0.0042*	0.0010*

Tabell 1: Parvis genetisk skillnad (Fst) mellan torskprover för mikrosatelliter och SNPs. Statistiskt signifikanta skillnader ($p < 0.05$) anges med en asterisk.



Figur 6. Klusteranalys. Det är enligt analysen mest troligt att det finns två grupper av torsk i Östersjön. Här anges sannolikheten för varje individ (staplar) att tillhöra den ena (röd) eller den andra gruppen (grön). Individerna kommer från Ålands hav, Gotland, Bornholm och Arkona och siffran anger fångstår.

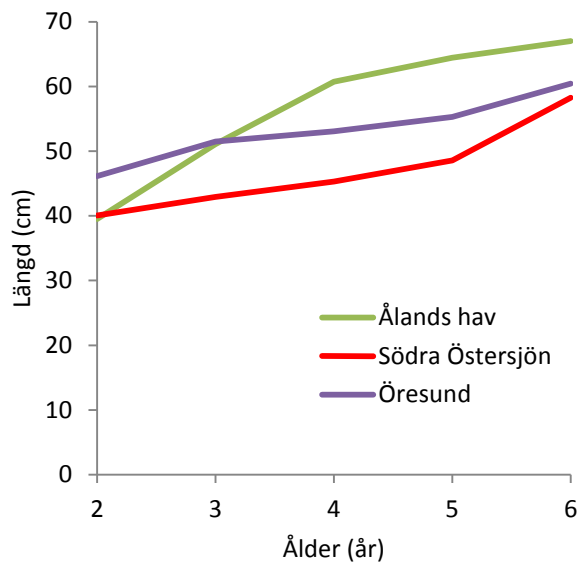
Könsstatus, parasitförekomst samt tillväxt

Torsken i Ålands hav var vid tiden för provtagning i början av augusti i huvudsak mitt inne i lek (68%) eller nyligen utlekt (30%; figur 7). Av totalt 120 individer från 2012-2013 var det endast en individ som var infekterad av sälmask, jämfört med över 20% av de undersökta individerna från östra beståndet i södra Östersjön. Sälmaskens utbredning är begränsad till södra Östersjön och den låga förekomsten i torsken visar att fisken sannolikt levt i Ålands hav under lång tid, eftersom en sälmask överlever många år inkaplad i köttet av en torsk.

Tillväxten för torsk i Ålands hav var hög. Från fyra års ålder var torsk från Ålands hav klart längre än fisk från både södra Östersjön och från Öresund (fisk insamlad inom sälmaskprojektet; figur 8). Även medelstorleken på fisken i garnfisket är hög, med en medelvikt på 2.5 kg hos den insamlade fisken, jämfört med ca 1 kg i södra Östersjön (Ovegård m fl 2011). En förklaring till den stora skillnaden är att yrkesfiskarna i Ålands hav använder större maskor för att optimera fångsten, men pekar tydligt på att fisken samtidigt är större.



Figur 7. Yrkesfiskare med en torskhona på 4-5 kg med rinnande rom tagen på 100 m djup utanför Grisslehamn i augusti 2013.



Figur 8. Längd vid ålder för torsk från Ålands hav, från Öresund samt sammantaget för ett antal olika områden i södra Östersjön. Data från Lunneryd m fl (2015).

Diskussion

Ett flertal resultat från denna studie indikerar att torsken i Ålands hav kan utgöra ett separat bestånd, trots att de genetiska analyserna enbart visar på små skillnader mellan områden. Både mikrosatellit- och SNP-analyserna visar att de två stickproven från Ålands hav är mer lika varandra än stickprov från södra Östersjön. Vi kunde också se att det finns gott om lekande torsk i området under provtagningen som skedde i augusti 2012 och 2013. Tillväxten hos torsken i Ålands hav är betydligt högre än i södra Östersjön, likaså medelvikten på fisk i fångsten. Frånvaron av parasiten sälmask visar att torsken sannolikt inte vistats i södra Östersjön de senaste åren. Dessutom visar en analys av yrkesfiskets fångster att man historiskt sett haft stora torskfångster i Stockholms och Uppsala län, och att fångsterna i Ålands hav under de senaste åren har varit ökande samtidigt som landningarna i södra Östersjön minskat kraftigt.

Sammantaget pekar ovanstående på att det kan vara fråga om ett separat bestånd av torsk i Ålands hav, men eftersom de genetiska skillnaderna är så små krävs det ytterligare statistiska analyser för att kunna dra en säker slutsats. Resultat från tidigare studier av östersjötorsk har talat emot att man skulle kunna ha lyckad reproduktion i den låga salthalten i Ålands hav. Exempelvis behöver torsk i södra Östersjön minst 11 promilles salthalt för en lyckad befruktning (Nissling & Westin 1997), medan salthalten i Ålands hav är 7-8 promille i bottenvattnet. Man har inte hittat torskägg eller larver, inte heller riktigt små juveniler, i området (Otterlind 1976, 1983). I märkningsstudier har man sett att en betydande del av torsken från Ålands hav migrerar söderut när den blir köns mogen (Otterlind 1976). Dessa indicier tillsammans har varit anledningen till att man inte gjort några studier av den lekande torsk man länge känt till i området.

Samtidigt kan man notera att en stor del av återfångsterna av torsk märkt i Ålands hav gjorts i närområdet (Robichaud & Rose 2004), och att torskleken i området är omfattande. Torsk har visat sig ha ett starkt homing-beteende, där lekmogen fisk återvänder till den plats där den själv kläckts (Svedäng et al 2007). För att torsken skulle stanna kvar och leka i Ålands hav i så stort antal som vi nu ser så krävs att detta homing-beteende på något vis satts ur spel ifall det är fråga om fisk som härstammar från södra Östersjön. Vi vet också att torsk i Östersjön uppvisar en fysiologisk anpassning som gör att den kan reproducera sig vid lägre salthalter än atlanttorsk (Nissling & Westin 1997). Därför kan det inte anses helt osannolikt att ytterligare en grad av salthaltstolerans skulle ha utvecklats hos torsk i Ålands hav. Motsvarande anpassning finns hos skrubbskädda i Östersjön, där vi i norra delarna av Östersjön, upp till södra Bottenhavet, har ett separat bestånd med bottenlekande flundra (Florin & Höglund 2008).

Det bör påpekas att en alternativ förklaring till det genetiska mönstret skulle kunna vara att det endast är individer med en särskild genupsättning som sprids från Bornholm och ansamlas i Ålands hav. För att avgöra om det faktiskt är fråga om ett lokalt lekbestånd krävs kompletterande undersökningar. Med en otolitikemisk analys, dvs undersökning av den kemiska sammansättningen av fiskarnas hörselstenar, skulle man kunna visa om fisken är kläckt i en salthalts- och jonsammansättning som motsvarar den i Ålands hav. Likaså kan befruktningsexperiment visa om och i hur stor utsträckning befruktning är möjlig i rådande salthalt. För torsk från södra Östersjön sker inte befruktning vid salthalter motsvarande den i Ålands hav.

Ifall torsken i Ålands hav visar sig utgöra ett separat bestånd som anpassats till den låga salthalten i området är det mycket viktig kunskap både ekologiskt och för förvaltningen. Det skulle innebära att torskens anpassningsförmåga till kommande klimatförändringar, med minskande salthalt i Östersjön som följd, kan vara mycket större än vad man hittills trott. Om så är fallet är det av yttersta vikt att beståndet i Ålands hav bevaras. Samtidigt är det viktigt att ett ekonomiskt bärkraftigt lokalt kustfiske kan fortgå i en utsträckning som inte påverkar beståndets långsiktiga utveckling negativt.

De resultat som beskrivits här kommer nu att sammanfattas i en eller flera vetenskapliga artiklar. Utfallet av studien kommer även att kommuniceras med berörda myndigheter och yrkesfiskare i området. För att kunna svara slutgiltigt på om det är fråga om ett lokalt bestånd behövs kompletterande studier, i enlighet med planen som presenterades i ansökan för denna studie. Vi ämnar söka medel från Baltic Sea 2020 för kompletterande otolitikemiska undersökningar, befruktningsexperiment i låg salthalt samt fördjupad statistisk analys av det insamlade genetiska materialet.

Referenser

Berg P, Jentoft S, Staar B, Ring KH, Knutsen H, Lien S, Jakobsen K, Andre C. 2015. Adaptation to low salinity promotes genomic divergence in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Genome Biology and Evolution*, evv093.

Cardinale M & Svedäng H 2011. The beauty of simplicity of science: Baltic cod stock improves rapidly in a 'cod hostile' ecosystem state. *Marine Ecology progress Series* 425:297-301.

Eero M, Hemmer-Hansen J, Hüsey K. 2014. Implications of stock recovery for a neighbouring management unit: experience from the Baltic cod. *ICES Journal of Marine Science* 71(6), 1458-1466

Eero M et al. 2015. Eastern Baltic cod in distress: biological changes and challenges for stock assessment. *ICES Journal of Marine Science*, fsv109.

Florin A-B, & Höglund J 2008. Population structure of flounder (*Platichthys flesus*) in the Baltic Sea: differences among demersal and pelagic spawners. *Heredity* 101, 27-38.

ICES. 2013. Report of the Baltic Fisheries Assessment Working Group (WGBFAS), 10 -17 April 2013, ICES Headquarters, Copenhagen. ICES CM 2013/ACOM:10.

Lunneryd, S., M. Boström, and P. Aspholm. 2014. Sealworm (*Pseudoterranova decipiens*) infection in grey seals (*Halichoerus grypus*), cod (*Gadus morhua*) and shorthorn sculpin (*Myoxocephalus scorpius*) in the Baltic Sea. *Parasitology Research* 11.

Lunneryd, S. G., P. Ljungberg, M. Ovegård, K. Bernt, and M. Boström. 2015. Sälmask och spiralmask i torsk och rötsimpa i svenska kustvatten. *Aqua reports* 2015:1, 23 p.

Nissling A & Westin L 1997. Salinity requirements for successful spawning of Baltic and Belt Sea cod and the potential for cod stock interactions in the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 152: 261-271.

Otterlind G 1976. Fish stocks and fish migration in the Baltic Sea environment. *Ambio Special Report*, 89-101.

Otterlind G 1983. Torsken och Bottenhavet. *Yrkesfiskaren* 1, 10-11.

Ovegård M, Königson S, Persson A, & Lunneryd S-G 2011. Size selective capture of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in floating pots. *Fisheries Research* 107, 239-244.

Svedäng H, Righton D, & Jonsson P 2007. Migratory behaviour of Atlantic cod *Gadus morhua*: natal homing is the prime stock-separating mechanism. *Marine Ecology Progress Series* 345, 1-12.

Vallin L, Nissling A, & Westin L 1999. Potential factors influencing reproductive success of Baltic cod, *Gadus morhua*: a review. *Ambio* 28, 92-99.