

Status hos torsken i Ålands hav 2021

Introduktion

I Östersjön förvaltas två torskbestånd med en geografisk uppdelning öster respektive väster om ön Bornholm. De två bestånden skiljer sig åt genetiskt, då osmosreglering och flytförmåga för de pelagiska äggen anpassats till en lägre salthalt för det östra beståndet (Berg *et al.*, 2015). Honornas ägg mognar och släpps i omgångar under lekperioden mellan april och augusti (Bagge *et al.*, 1994). Förändringar i salthalt och syre kan begränsa reproduktionen, då äggen riskerar att sjunka till botten och utsättas för syrebrist om salthalten är för låg, under 11 PSU för stora individer och högre för mindre fiskar (Nissling and Westin, 1997). Utbredningen av syrefria bottnar täcker stora delar av tidigare viktiga lek- och födosöksområden öster om Gotland och i Bornholmsbassängen och komprimerar torskens livsmiljöer (Cardinale and Svedäng, 2011; Orio *et al.*, 2019). Märkningsstudier har påvisat att det förekommer migration inom Östersjön, men att de högsta tätheterna av torsk finns i Bornholmsdjupet (Hüssy *et al.*, 2020a). På grund av den låga salthalten i Norra Östersjön tros den torsk som förekommer här inte härröra från lokal lek utan från larver som har spridits med strömmar från lekområden söderut (Otterlind, 1976; Vallin *et al.*, 1999).

Historisk landningsdata indikerar att det östra beståndets lekbiomassa var relativt konstant under 1920-1970-talet, före övergödningen tilltog (Eero *et al.*, 2008). Initialt hade övergödningen, som medförde en ökad primärproduktion, en positiv effekt på torskrekryteringen (Eero *et al.*, 2011). Till följd av gynnsamma miljöförhållanden och minskat fisketryck var lekbiomassan liksom landningarna rekordhöga under början av 1980-talet (MacKenzie *et al.*, 2011). Därefter försämrades miljöförhållandena samtidigt som fisketrycket var fortsatt högt, vilket medförde en dramatisk nedgång av det östra torskbeståndet (Casini *et al.*, 2009; Eero *et al.*, 2011), där de högsta koncentrationerna av torsk uppträdde i södra Östersjön (Bartolino *et al.*, 2017), samtidigt som förekomsten av bytesarterna skarpsill och strömming var låga i området (Casini *et al.*, 2011). I kombination med minskad mängd bottenfauna p.g.a. syrebristen började torsken visa tecken på svält (Conley *et al.*, 2009; Neuenfeldt *et al.*, 2020). Predation från den ökade sälstammen, som även orsakade parasitangrepp av nematoder i muskel och lever hos torsken, ökade ytterligare den naturliga dödligheten (Mehrdana *et al.*, 2014;

Nadolna and Podolska, 2014). Sammantaget pekade den allt lägre tillväxten, den försämrade kroppskonditionen och den minskade storleken vid könsmognad på att det östra torskbeståndet befann sig i ett kritiskt tillstånd, vilket ledde till att fisket på det östra beståndet stängdes 2019 (ICES, 2019a; b).

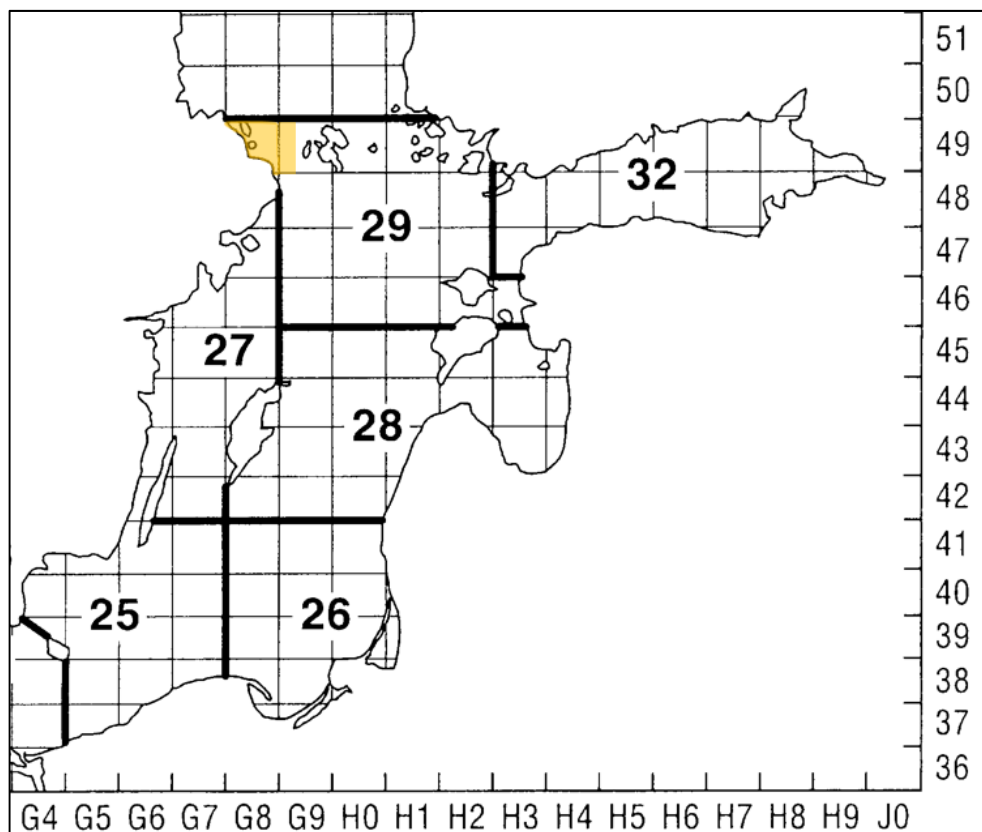
Utvecklingen för torsken i östra beståndet har dock inte varit negativ i hela utbredningsområdet. Till skillnad från södra Östersjön där torsken idag är mager och växer långsamt är torsken i Ålands hav storvuxen och växer snabbare. Syreförhållandena i Ålands hav är goda, men salthalten låg (7-8 psu under salthaltssprångskiktet). Sommartid fångas gott om lekmogen torsk i området och SLU Aqua utför därför, tillsammans med Uppsala universitet och Göteborgs universitet, studier av reproduktion och härstamning av torsk i området. I Ålands hav har det bedrivits ett småskaligt kustnära garnfiske efter torsk sedan 1940-talet. Övervakning har historiskt inte utförts av torsken i Ålands hav och därmed saknas fiskerioberoende information för att bedöma dess tillstånd. Därför nyttjar vi i denna rapport istället fångst per ansträngning i yrkesfisket som ett mått på status och utveckling.

I detta projekt har, i syfte att följa utvecklingen hos torsken i Ålands hav, ett visst garnfiske efter torsk tillåtits under 2021. I samband med provfisket genomfördes journalföring av fångstsammansättningen samt provtagning av torsk för att bedöma storleksstruktur, kondition, ålder, tillväxt, könsmognad, parasitförekomst och dietsammansättning. Prover har även tagits för genetisk analys. Sammanställningen kan utgöra underlag för att bedöma statusen för torsken i Ålands hav.

Metodik

Fångst

För att inhämta data erhöll fyra yrkesfiskare dispens från Havs- och vattenmyndigheten att tillsammans fiska totalt 5 ton torsk i Ålands hav. Fångstområdet var den svenska sidan i Ålands hav (Figur 1, ICES SD 29 N, ruta 49G8 och 49G9) där torsk fiskades med 600 - 4500 m långa torskgarn med maskstorleken 120, 140 och 150 mm (sträckt maska) på djup mellan 60 till 245 m.



Figur 1. Fångstområde på den svenska sidan av Ålands hav markerat i orange (ICES SD 29 N, ruta 49G8 och 49G9).

För varje fisketillfälle journalfördes fiskedatum, djup, antal torskar, vikt samt information om längd och vikt på den största fångade torsken. Då nätlängd och antal timmar som näten fiskades per fisketillfälle varierade mycket, beräknades fångst per ansträngning (FPA) enligt:

$$FPA = \frac{\text{Fångst (totalvikt (kg))}}{\text{antal meter nätlängd} / \text{antal ansträngningstimmar}}$$

Information om de fyra yrkesfiskarnas landningar av torsk mellan 2000-2021 inhämtades från Havs- och vattenmyndigheten. I tidsserien saknas information om ansträngningstimmar för 30 av 3501 fisketillfällen (2003 (n=2), 2004 (n=11), 2006 (n=1), 2007 (n=3), 2008 (n=8), 2009 (n=2), 2010 (n=1) och 2011 (n=2), vilket resulterar i ett underlag på 3471 fisketillfällen för FPA.

Individprovtagning

All fångst journalfördes och ca 30 torskar från en fisketur per månad togs för individprovtagning. Individdata från detta fiske jämfördes sedan med tidigare svenskt fiske i Ålands hav samt ett likartad, men mer omfattande datainsamling utförd på Åland under 2020 (Raitaniemi and Leskelä, 2021). Även torsk fångad med bottentrål under BITS-expeditionen 2021 (Baltic International Trawl Survey) användes för jämförelser mellan områden i Östersjön.

Totalt utförde Institutionen för akvatiska resurser på SLU individprovtagning på 103 av de fångade torskarna. De biologiska parametrar som registrerades var längd och vikt (vilket nyttjades för beräkning av kondition och storleksstruktur), könsmognad (gonadstatus), maginnehåll och parasitförekomst i lever och muskel. Hörselstenar (otoliter) provtogs för åldersbestämning. Statistiska analyser och grafer gjordes i R (R Core Team, 2019).

Storleksstruktur

Torskdatabaser från individprovtagningen och andra projekt inom SLU samt ett likartat finskt projekt inom LUKE och Ålands Landskapsregering 2020, användes för jämförelse av längdfördelningar.

Ålder och tillväxt

Åldersbestämning utfördes genom att visuellt räkna antalet årliga tillväxtzoner i sågade tvärsnitt av torskens otoliter. Då visuell bedömning är problematiskt p.g.a. diffusa, otydliga mönster i de årliga tillväxtzonerna testades också en ny kemisk metod baserad på säsongsmässiga skillnader i koncentrationer av magnesium och fosfor hos torsk fångad i Ålands hav 2019 och 2020 (Heimbrand *et al.*, 2020; Hüseyin *et al.*, 2020b). Längd vid ålder användes för att utvärdera tillväxten med en von Bertalanffy tillväxtmodell (Ogle, 2013; von Bertalanffy, 1938).

Gonadstatus

Gonadstatus delades in i åtta stadier enligt den skala som tillämpas under BITS-expeditioner: 1-2 (juvenila omogna), 3-5 (mognande), 6 (i lek), 7 (utlekt), 8 (vilande) och 9 (abnormal).

Maginnehåll

Dokumentering av maginnehåll genomfördes för att undersöka födoivalet hos torsk i Ålands hav. Andelen magar som innehöll bottenfauna, fisk eller var tomma utvärderades.

Kondition

Kroppslig konditionsfaktor (Fulton K) beräknades enligt:

$$K = (100 \times \text{totalvikt (g)}) / (\text{längd (cm)}^3)$$

En jämförelse gjordes av Fulton K för torsk fångad på den svenska sidan av Ålands hav (SD 29) under 2021, på finska sidan i SD 29 under 2020 och i Bornholmsdjupet i SD 25 under BITS-expeditionen 2021. Data för jämförelsen uppfyllde inte kriteriet om normalfördelning och därför användes det icke-parametriska Kruskal-Wallis testet och Wilcoxon signed rank test för parvis jämförelse mellan områden.

Parasitförekomst

Förekomst av nematoder i levern (*Contracaecum osculatum*, Figur 2) utvärderades genom att räkna antalet synliga levermaskar på leverns totala yta. Fem kategorier angav nivån på parasitangrepp; 0 (n=0), 1 (n=1-10), 2 (n=11-20), 3 (n=21-30), 4 (n > 30). Förekomst av nematoder i muskelvävnad (*Pseudoterranova decipiens*) utvärderades genom att visuellt undersöka båda filéernas totala yta och räkna antalet nematoder.



Figur 2. A: En bild på nematoder (*Contracaecum osculatum*) i en torsklever. Foto: Yvette Heimbrand SLU.

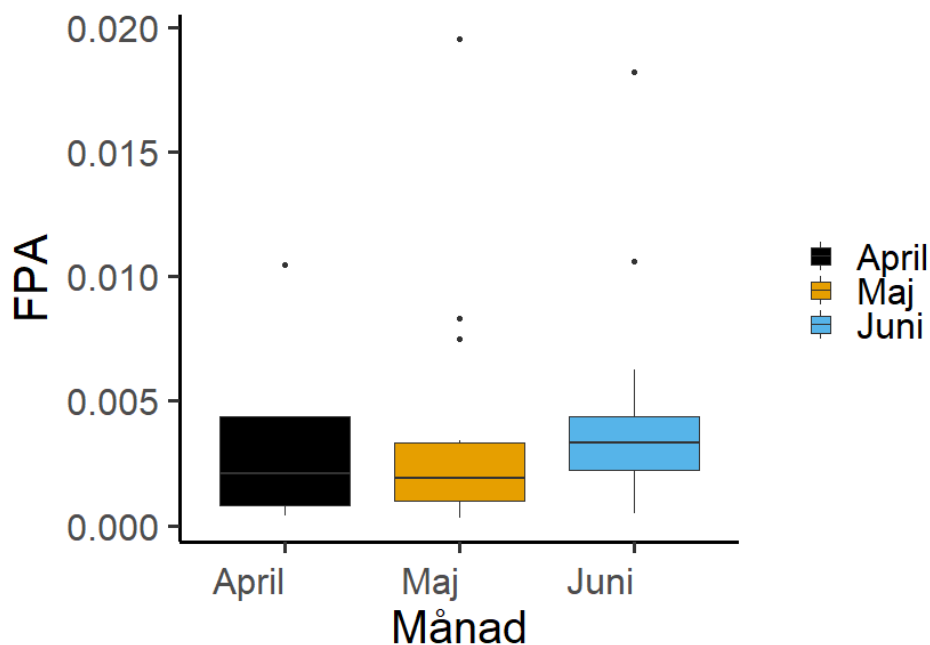
Resultat

Fångst 2021

Torskfisket på den svenska sidan av Ålands hav 2021 resulterade i 2227 st. fångade torskar med en totalvikt på 5545 kg och 4730 kg rensad (somatisk) vikt, vilket utgör ca 85% av totalvikten. Medelvikten per torsk var 2,65 kg i totalvikt och 2,26 kg i rensad vikt. Den längsta torsken var 118 cm och den högsta vikten 15,5 kg.

Fisket var fördelat över 40 fisketillfällen under april (n=5), maj (n=16) och juni (n=19) 2021. I april var fångsten 955 kg, i maj, 2123 kg och i juni 2467 kg i totalvikt. Antal timmar per fisketillfälle varierade mellan 14 och 47 timmar med ett medelvärde på 25,5 timmar. Under april var ansträngningen totalt 149 timmar, i maj 415,5 timmar och i juni 456 timmar. Fångst per ansträngning (FPA) för 2021 varierade mellan 0.0003- 0.0195 kg torsk per meter nätlängd och

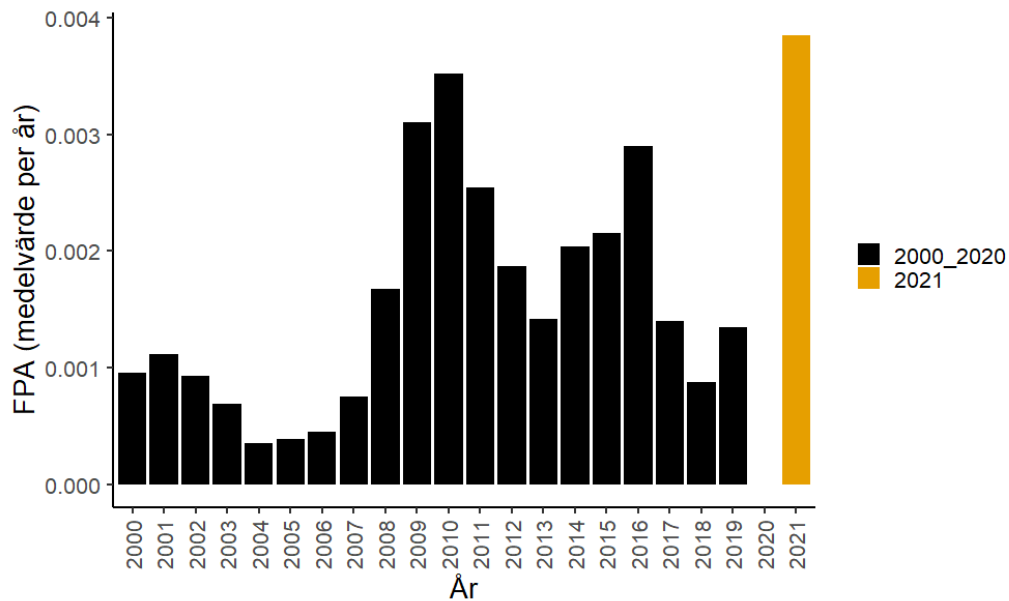
ansträngningstimme, med ett medelvärde 0.0039 och ett medianvärde på 0.0023. I april var medianvärden för FPA 0,0021, i maj 0,0019 och i juni 0.0033 (Figur 3).



Figur 3. Fångst per ansträngning (FPA) i kg torsk per meter nätlängd och timme per månad. Box = 25-75 procent; horisontell linje = medianvärde; felstaplar = 1,5 gånger det interkvartila intervallet över 75:e percentilen eller under 25:e percentilen. Punkter = extremvärden >1,5 gånger och < 3 gånger det interkvartila intervallet utanför slutet av varje box.

Jämförelse med historisk fångst per ansträngning 2000-2021

För att bedöma årets fångst i förhållande till tidigare fångster jämfördes fångst per ansträngning (FPA) baserat på totalvikt (kg) per meter nätlängd och ansträngningstimme för de fyra fiskefartygens landningar mellan åren 2000-2021 (Figur 4). Under 2020 var det fiskestopp och därför är FPA noll då. Årets medelvärde för FPA på 0.0039 kg per meter nätlängd och timme ansträngning är det högsta värdet för hela tidsserien.



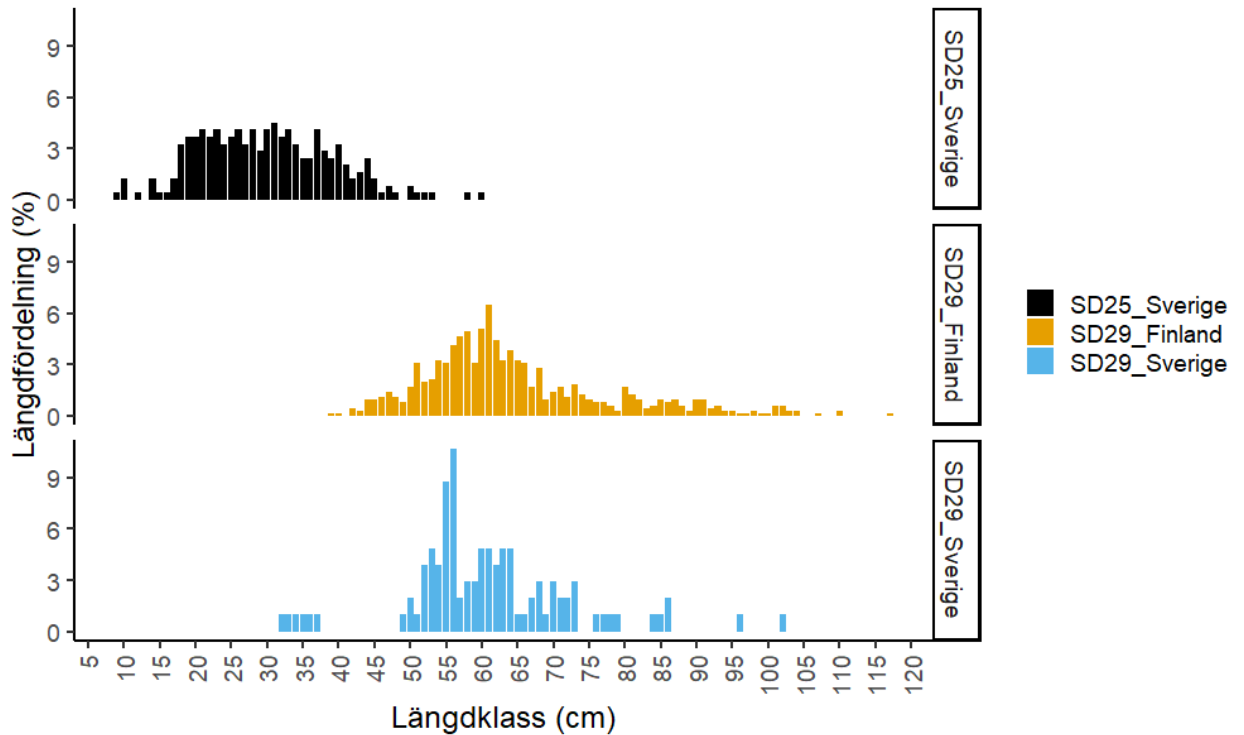
Figur 4. Medelvärde för fångst per ansträngning (kg torsk per meter nät och ansträngningstimme) i Ålands hav mellan 2000-2019 (svarta staplar) och 2021 (orange stapel).

Individdata

För individprovtagning insamlades 103 torskar från tre fisketillfällen, 28:e april (n=35), 19:e maj (n=35) och 5:e juni (n=33). Könsfördelningen bestod av 36 % honor (n=37) och 64 % hanner (n=66).

Storleksstruktur

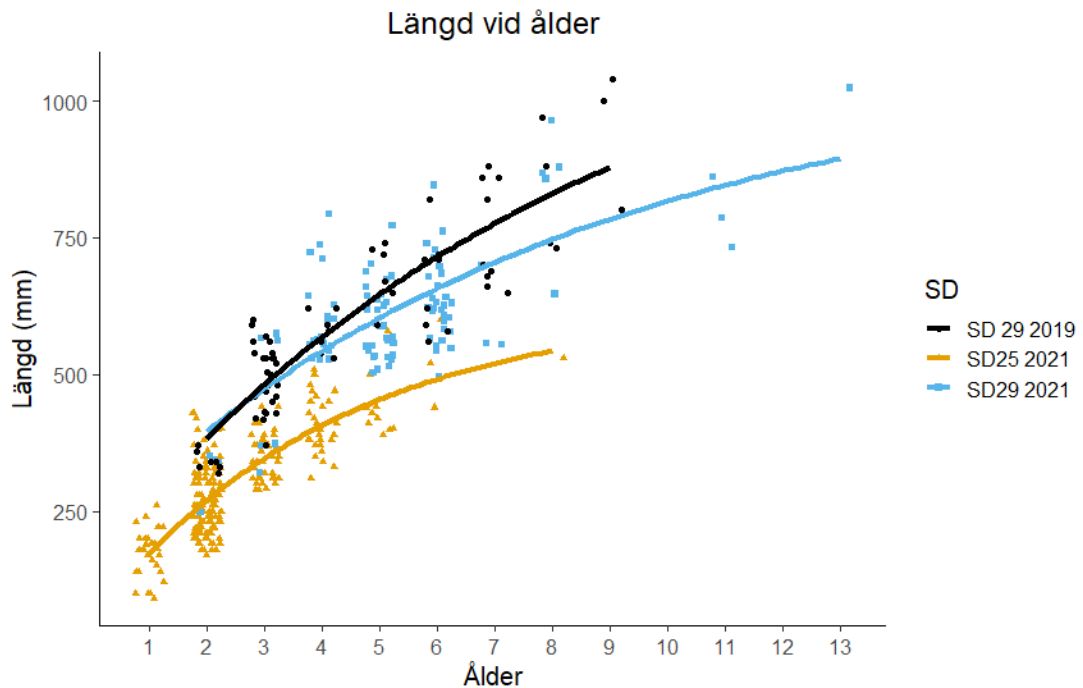
Längdfördelningen av fångsten av torsk på den svenska sidan av Ålands hav 2021 jämfördes med torskfångsten på den finska sidan av Ålands hav 2020 samt med södra Östersjön 2021. Då det råder kommersiellt fiskestopp efter torsk användes längder på torsk som fångats med bottentrål i SD 25 under BITS-expeditionen 2021. Resultaten visar att längdfördelningen är likartad i båda fångsterna i Ålands hav men att torskarna i södra Östersjön är betydligt mindre i storlek (Figur 5).



Figur 5. Procentuell längdfördelning i centimeterklasser av torsk fångad i Ålands hav på den svenska sidan (SD 29, blått), på finska sidan (SD 29, orange) och i södra Östersjön (SD 25, svart).

Ålder och tillväxt

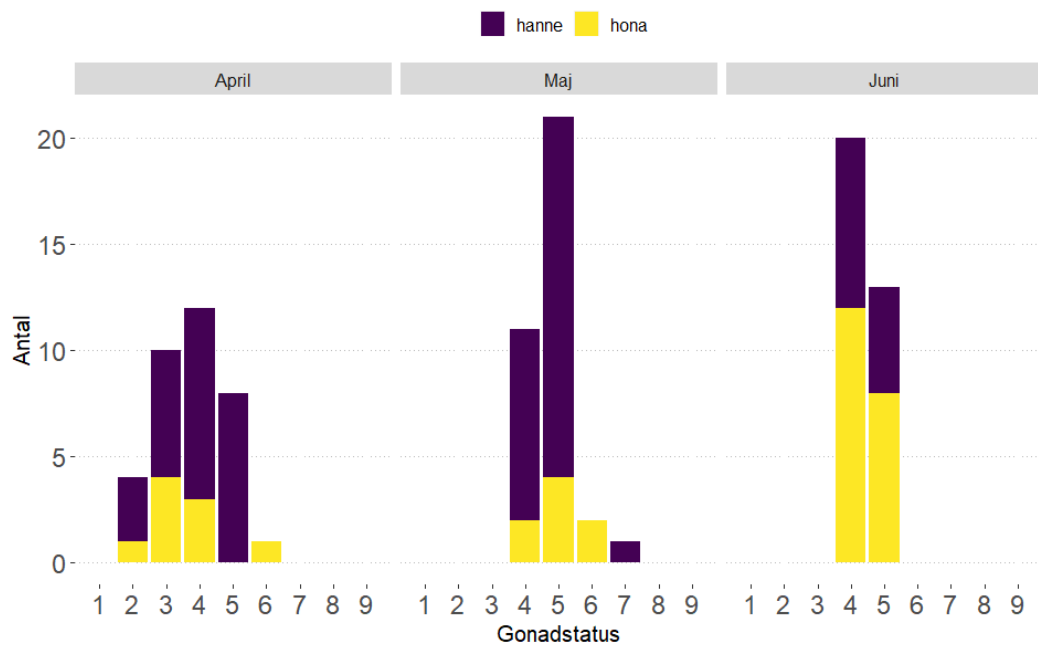
Åldersbestämning av individproverna visade att torskarna var mellan 2 och 13 år, med en medelålder på 5 år. För att bedöma skillnader i tillväxthastighet mellan områden användes en von Bertalanffy-tillväxtmodell. Resultaten för längd vid ålder, bedömt visuellt från tvärsnitt av otoliter, visade en stor skillnad med betydligt lägre tillväxthastighet i södra Östersjön (SD 25, orange linje i Figur 9) jämfört med i Ålands hav (SD 29, blå linje). Kemisk åldersbestämning utfördes på torsk som fångats i Ålands hav under 2019 inom andra projekt på SLU Aqua och dessa påvisade högst tillväxt och längd vid ålder (svart linje, Figur 6).



Figur 6. Jämförelse mellan längd vid ålder (von Bertalanffy tillväxtmodell) för torsk i södra Östersjön 2021 (SD 25, orange linje, visuell åldersläsningsmetod) jämfört med i Ålands hav 2021 (SD 29, blå linje, visuell åldersläsningsmetod) och torsk som fångats i Ålands hav under 2019 (SD 29, svart linje, kemisk åldersläsningsmetod).

Gonadstadium

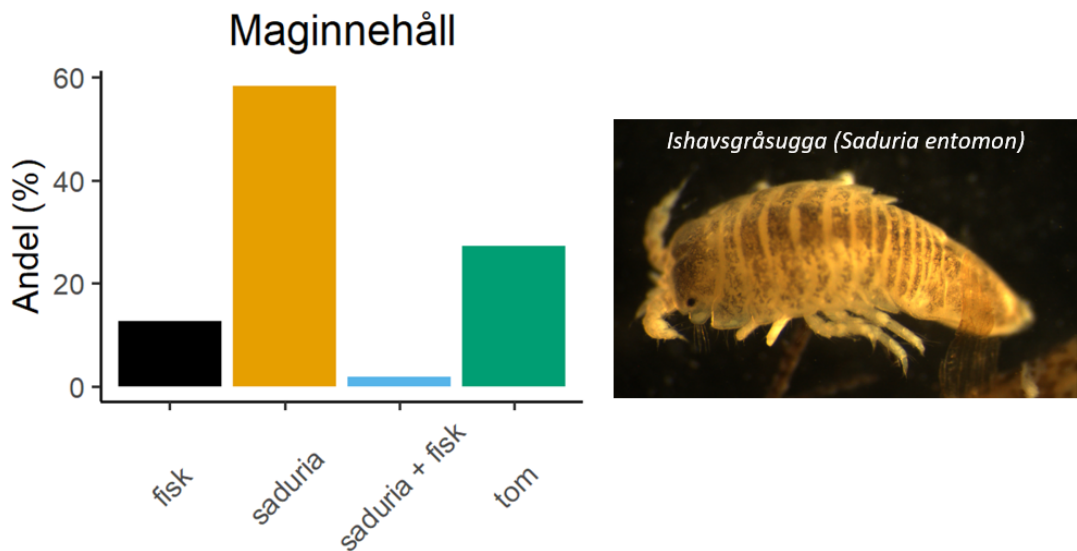
Undersökning av gonadstatus visade att majoriteten av torskarna av båda könen var nära lek (status 3-5, mognande) vid samtliga fisketillfällen i april, maj och juni, men att endast ett fåtal var i lek eller utlekta (Figur 7). Möjligen underskattas antalet torsk i lek något då den hastiga tryckminskningen som sker då torsken dras upp från stora djup kan få dem att släppa rinnande rom. Därav klassar vi här torsk med gonadstadium 4-6 (n=88) som potentiell lekande fisk. Andelen fisk i lek eller utlekt var i april 60%, och i maj och juni 100%.



Figur 7. Gonadstatus per kön och månad hos torsk från Ålands hav 2021. Gonadstatus 1-2 (omogen), 3-5 (mognande), 6 (lekande), 7 (utlekt), 8 (vilande) och 9 (abnormal).

Maginnehåll

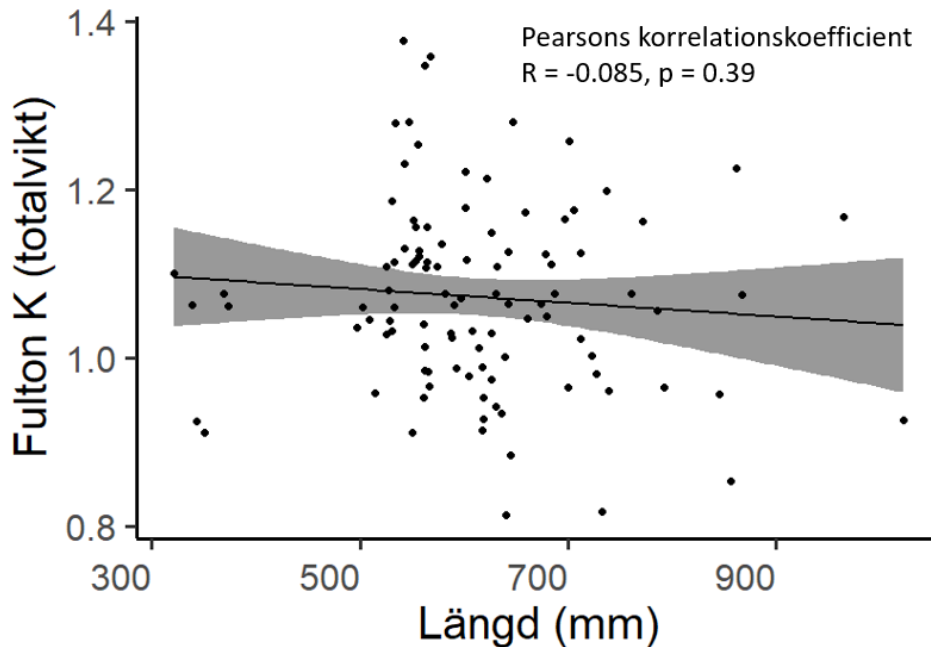
Maginnehållet i de 103 undersökta torskarna visade att födovallet främst bestod av bottendjuret ishavsgråsugga (*Saduria entomon*), även kallad skorv, men också fisk (Figur 8). Analysen visade att 13 % (n=13) hade rester av fisk (troligen strömming) i magen, 58 % (n=60) hade ishavsgråsugga i maginnehållet, 2 % (n=2) hade ätit både fisk och ishavsgråsugga och 27 % (n=28) hade tomma magar.



Figur 8: Maginnehållet hos torsk från Ålands hav 2021, angivet som förekomstfrekvens. Till höger, en bild på bottendjuret ishavsgråsugga (*Saduria entomon*). Foto: Yvette Heimbrand, SLU.

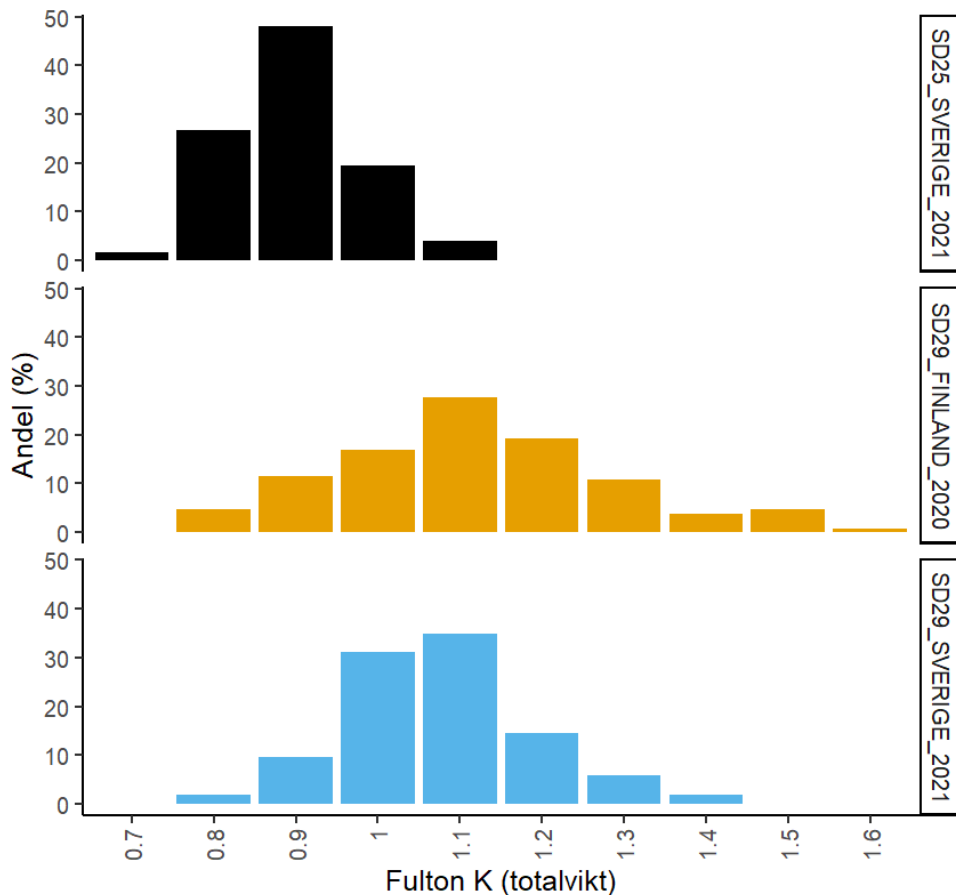
Konditionsfaktor Fulton K

Sambandet mellan längd och konditionsfaktor Fulton K baserad på totalvikt visade en svag negativ men inte signifikant korrelation mellan Fulton K och fisklängd ($R = -0,085$, $p = 0,39$, Figur 9).



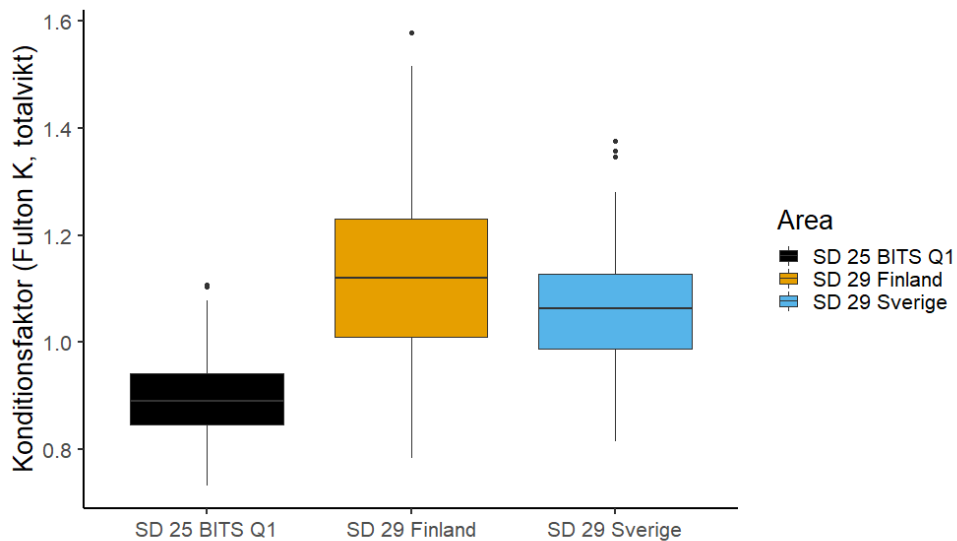
Figur 9. Korrelation (Pearsons) mellan Fultons konditionsfaktor för totalvikt och torskens längd.

Fördelningen av torskens fysiska konditionsfaktor var 0,8 - 1,4 för Fulton K baserad på totalvikt ($n = 103$) och 0,6 - 1,1 för somatisk vikt ($n = 99$). Den procentuella fördelningen för Fulton K beräknad med totalvikt jämfördes för torskar > 30 cm fångade i årets fiske i april till juni i Ålands hav på den svenska sidan ($n = 99$), finska sidan av Ålands hav ($n = 130$), fångad mellan mars och september 2020, samt med torsk fångad i södra Östersjön under BITS-expeditionen kvartal 1 under 2021 ($n = 123$), (Figur 10).



Figur 10. Procentuell fördelningen för Fulton K beräknad med totalvikt för torskar > 30 cm fångade i kvartal 2 i SD 29 Sverige 2021, kvartal 1-3 i SD 29 Finland 2020 och kvartal 1 i SD 25 under 2021.

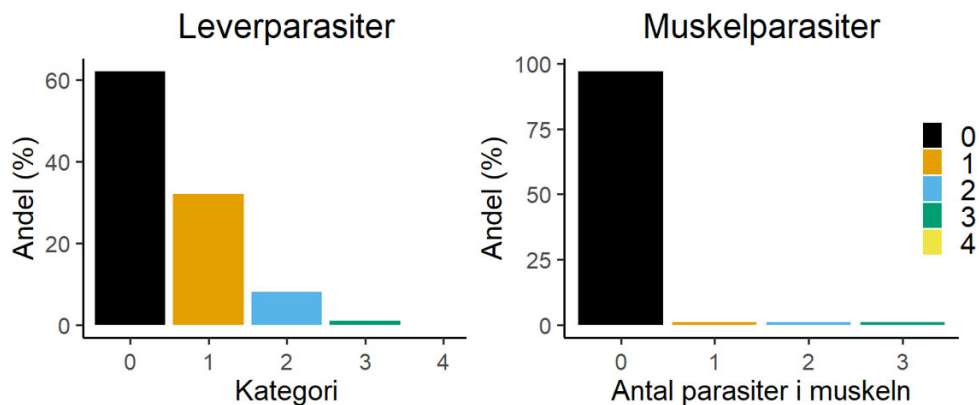
Då data för Fulton K för totalvikt inte var normalfördelad gjordes en jämförelse med det icke-parametriska Kruskal-Wallis testet. Resultatet visade en signifikant skillnad mellan områden ($\text{Chi square} = 152,63$, $\text{df} = 2$, $p < 2.2 \cdot 10^{-16}$) och Wilcoxon signed rank test för parvis jämförelse mellan områdena visade signifikanta skillnader mellan SD 25 och SD 29 svenska sidan ($p < 2.2 \cdot 10^{-16}$), SD 25 och SD 29 finska sidan ($p < 2.2 \cdot 10^{-16}$) och mellan SD 29 svenska och finska sidan ($p < 0.017$). Fulton K var högst för torsk på den finska sidan av Ålands hav under 2020 (medelvärde 1,12), lägre för torsk på den svenska sidan av Ålands hav 2021 (medelvärde 1,07) och allra lägst för torsk fångad i södra Östersjön under BITS-expeditionen kvartal 1 under 2021 (medelvärde 0,90), (Figur 11).



Figur 11. Konditionsfaktor (Fulton K) baserad på totalvikt hos torsk i Ålands hav (SD 29), på svenska och finska sidan, samt södra Östersjön (SD 25). Box = 25-75 procent; horisontell linje = medianvärde; felstaplar = 1,5 gånger det interkvartila intervallet över 75:e percentilen eller under 25:e percentilen, punkter = extremvärden >1,5 gånger och <3 gånger det interkvartila intervallet utanför slutet av varje box.

Parasiter

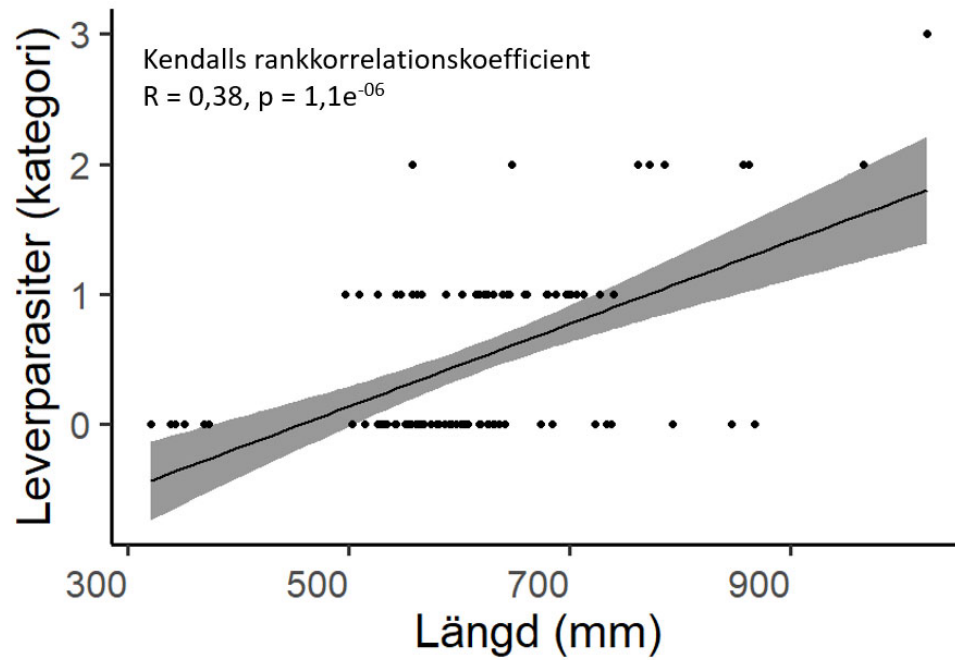
Visuell bedömning av antalet nematoder i levern visade att 60% (n=62) av torskarna saknade ytliga leverparasiter, men att 31% (n=32) av torskarna hade 1-10 st., 8% (n=8) hade 11-20 st. och 1% (n=1), 21-30 st. levermaskar (Figur 12). Undersökning av filéerna visade att 97% av torskarna saknade muskelparasiter, 1% (n=1) hade 1 st., 1% (n=1) hade 2 st. och 1% (n=1) hade 3 st. nematoder i muskeln (Figur 11).



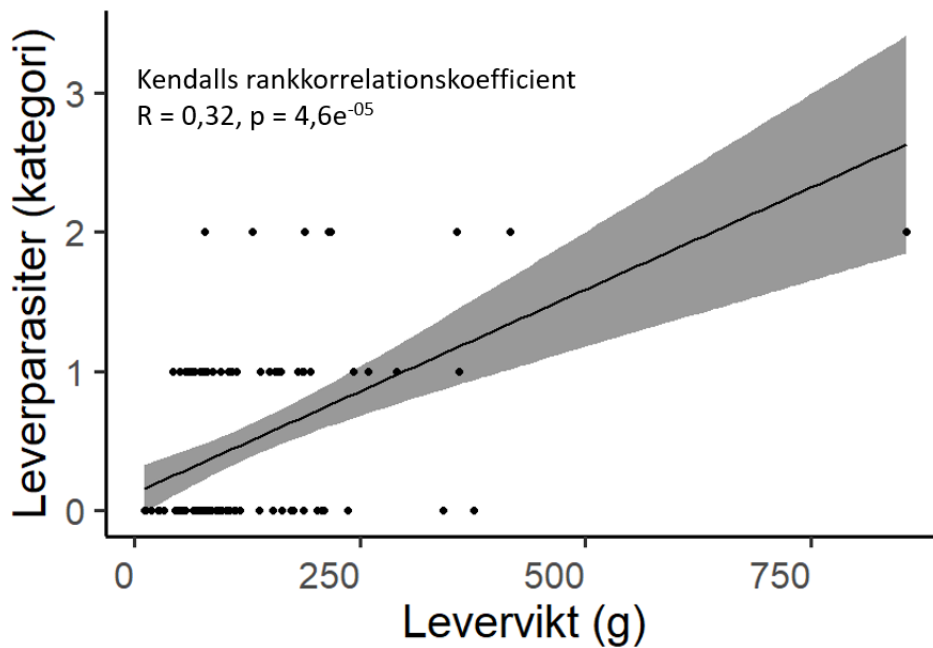
Figur 12. Till vänster: parasitbelastning av nematoder i lever (*Contracaecum osculatum*) hos torsk från Ålands hav 2021, indelade i 5 kategorier enligt: 0 (n=0), 1 (n=1-10), 2 (n=11-

20), 3 (n=21-30) och 4 (n > 30). Till höger: procentuell andel torskar med parasiter (antal) i muskel (*Pseudoterranova decipiens*).

Antalet synliga levermaskar på leverns yta var positivt korrelerat med fiskens längd (Figur 13) och även med ökad levervikt (Figur 14). Dock är den senare korrelationen starkt beroende av en enstaka datapunkt för en torsk med en levervikt > 750 g (Figur 14).



Figur 13. Korrelation (Kendall) mellan mängden leverparasiter, indelade i 5 kategorier enligt: 0 (n=0), 1 (n=1-10), 2 (n=11-20), 3 (n=21-30) och 4 (n > 30) och fiskens längd (mm).



Figur 14. Korrelation (Kendall) mellan mängden leverparasiter indelade i 5 kategorier enligt: 0 (n=0), 1 (n=1-10), 2 (n=11-20), 3 (n=21-30) och 4 (n > 30) och levervikt (g).

Diskussion

Resultaten från detta projekt visar att statusen för torsken i Ålands hav är bättre än för torsken i södra Östersjön då dess längdfördelning, tillväxt och konditionsfaktor är betydligt högre. Årets fångst per ansträngning är den högsta för hela tidsperioden 2000-2021. Trots parasitbelastning i främst levern är torsken i Ålands hav i god kondition. Då torsken i Ålands hav skiljer sig i många avseenden från torsken i södra Östersjön rekommenderas fortlöpande övervakning och datainsamling av biologiska parametrar för att följa utvecklingen. Ett fortsatt samarbete med LUKE som utför den finska övervakningen av torsk i Ålands hav möjliggör optimal användning av befintlig och framtida biologisk data. Även analyser med genetik och otolitkemi kan ge information om torsken i Ålands hav skiljer sig från det östra beståndet i så pass hög grad att den bör analyseras och förvaltas separat.

Referenser:

- Bagge, O., Thurow, F., Steffensen, E. & Bay, J. (1994). The Baltic cod. *Dana* 10: 1-29.
- Bartolino, V., Tian, H., Bergström, U., Jounela, P., Aro, E., Dieterich, C., Meier, H. M., Cardinale, M., Bland, B. & Casini, M. (2017). Spatio-temporal dynamics of a fish predator: density-dependent and hydrographic effects on Baltic Sea cod population. *PLoS ONE* 12(2): e0172004.
- Berg, P. R., Jentoft, S., Star, B., Ring, K. H., Knutsen, H., Lien, S., Jakobsen, K. S. & André, C. (2015). Adaptation to low salinity promotes genomic divergence in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Genome biology and evolution* 7(6): 1644-1663.
- Cardinale, M. & Svedäng, H. (2011). The beauty of simplicity in science: Baltic cod stock improves rapidly in a 'cod hostile' ecosystem state. *Marine Ecology Progress Series* 425: 297-301.
- Casini, M., Hjelm, J., Molinero, J.-C., 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* 106(1): 197-202.
- Casini, M., Kornilovs, G., Cardinale, M., Möllmann, C., 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 an extensive international acoustic survey. *Population Ecology* 53(4): 511-523.
- Conley, D. J., Björck, S., Bonsdorff, E., Carstensen, J., Destouni, G., Gustafsson, B. G., Hietanen, S., Kortekaas, M., Kuosa, H., Markus Meier, H. E., Müller-Karulis, B., Nordberg, K., Norkko, A., Nürnberg, G., Pitkänen, H., Rabalais, N. N., Rosenberg, R., Savchuk, O. P., Slomp, C. P., Voss, M., Wulff, F. & Zillén, L. (2009). Hypoxia-related processes in the Baltic Sea. *Environmental Science & Technology* 43(10): 3412-3420.
- Eero, M., Köster, F. W. K. W. & MacKenzie, B. R. M. R. (2008). Reconstructing historical stock development of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the eastern Baltic Sea before the beginning of intensive exploitation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 65(12): 2728-2741.
- Eero, M., MacKenzie, B. R., Köster, F. W. & Gislason, H. (2011). Multi-decadal responses of a cod (*Gadus morhua*) population to human-induced trophic changes, fishing, and climate. *Ecological Applications* 21(1): 214-226.
- Heimbrand, Y., Limburg, K. E., Hüsey, K., Casini, M., Sjöberg, R., Palmén Bratt, A.-M., Levinsky, S.-E., Karpushevskaia, A., Radtke, K. & Öhlund, J. (2020). Seeking the true time: Exploring otolith chemistry as an age-determination tool. *Journal of Fish Biology* 97(2): 552-565.
- Hüsey, K., Casini, M., Haase, S., Hilvarsson, A., Horbowy, J., Krüger-Johnsen, M., Krumme, U., Limburg, K. E., McQueen, K. & Mion, M. (2020a). Tagging Baltic Cod–TABACOD: Eastern Baltic cod: Solving the ageing and stock assessment problems with combined state-of-the-art tagging methods.
- Hüsey, K., Krüger-Johnsen, M., Thomsen, T. B., Heredia, B. D., Naeraa, T., Limburg, K. E., Heimbrand, Y., McQueen, K., Haase, S. & Krumme, U. (2020b). It's elemental, my dear Watson: validating seasonal patterns in otolith chemical chronologies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*(ja):

- ICES (2019a). Benchmark workshop on Baltic cod stocks (WKBALTCOD2). Available at:
<https://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2019/WKBALTCOD2/WKBALTCOD2%202019.pdf>
- ICES (2019b). Cod (*Gadus morhua*) in subdivisions 24-32, eastern Baltic stock (eastern Baltic Sea). Available at:
<http://ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Advice/2019/2019/cod.27.24-32.pdf>
- MacKenzie, B. R., Eero, M. & Ojaveer, H. (2011). Could seals prevent cod recovery in the Baltic Sea? *PLoS ONE* 6(5): e18998.
- Mehrdana, F., Bahlool, Q. Z., Skov, J., Marana, M. H., Sindberg, D., Mundeling, M., Overgaard, B. C., Korbut, R., Strøm, S. B. & Kania, P. W. (2014). Occurrence of zoonotic nematodes *Pseudoterranova decipiens*, *Contracaecum osculatum* and *Anisakis simplex* in cod (*Gadus morhua*) from the Baltic Sea. *Veterinary Parasitology* 205(3-4): 581-587.
- Nadolna, K. & Podolska, M. (2014). Anisakid larvae in the liver of cod (*Gadus morhua* L.) from the southern Baltic Sea. *Journal of Helminthology* 88(2): 237-246.
- Neuenfeldt, S., Bartolino, V., Orio, A., Andersen, K. H., Andersen, N. G., Niiranen, S., Bergström, U., Ustups, D., Kulatska, N. & Casini, M. (2020). Feeding and growth of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) in the eastern Baltic Sea under environmental change. *ICES Journal of Marine Science* 77(2): 624-632.
- 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*: 261-271.
- Ogle, D. (2013). fishR Vignette - Precision and accuracy in ages. Available at:
<http://derekogle.com/fishR/examples/oldFishRVignettes/AgeComparison.s.pdf>
- Orio, A., Bergström, U., Florin, A.-B., Lehmann, A., Šics, I. & Casini, M. (2019). Spatial contraction of demersal fish populations in a large marine ecosystem. *Journal of Biogeography* 46(3): 633-645.
- Otterlind, G. (1976). Fish stocks and fish migration in the Baltic Sea environment. *Ambio Spec. Rep* 4: 89-101.
- R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Raitaniemi, J. & Leskelä, A. (2021). Report on scientific cod fishing and monitoring in 2020 in Åland, Finland.
- Vallin, L., Nissling, A. & Westin, L. (1999). Potential factors influencing reproductive success of Baltic cod, *Gadus morhua*: a review. *Ambio*: 92-99.
- von Bertalanffy, L. (1938). A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II). *Human Biology* 10(2): 181-213.