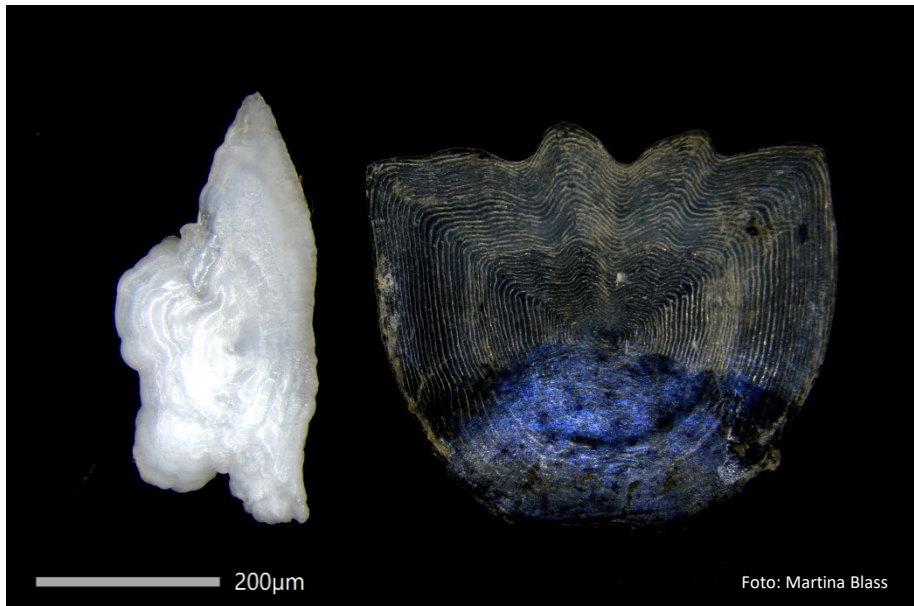


Ursprung hos harr (*Thymallus thymallus*) i Bottenviken och Norra Kvarken

En studie av otolit- och fjällkemi hos kustlekande harr i Västerbottens och Norrbottens kustmiljö



Ulrika Tollerz Bratteby och Martina Blass
Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för akvatiska resurser,
Kustlaboratoriet, Öregrund 2021

Ursprung hos harr (*Thymallus thymallus*) i Bottenviken och Norra Kvarken

En studie av otolit- och fjällkemi hos kustlekande harr i Västerbottens och
Norrbottens kustmiljö

Ulrika Tollerz Bratteby och Martina Blass, Sveriges lantbruksuniversitet,
Institutionen för akvatiska resurser, Kustlaboratoriet, Öregrund 2021

Granskad av Jens Olsson, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för
akvatiska resurser, Kustlaboratoriet, Öregrund

2021-03-15
SLU.aqua.2020.5.2-19

Skolgatan 6, 742 42 Öregrund
Tel: 018-67 10 00 (vx)

Org nr: 202100-2817
www.slu.se
ulrika.tollerz.bratteby@slu.se; martina.blass@slu.se

Författarna skulle vilja rikta ett extra tack till Marju Kaljuste och Yvette
Heimbrand vid SLU samt Tomas Næraa på Geologiska Institutionen vid
Lunds universitet!

Bakgrund

Kustharr är en benämning för harr (*Thymallus thymallus*) som lever hela eller större delen av sitt liv i havet. Den finns i två olika ekotyper av kustharr som kunnat identifieras med hjälp av genetiska studier (Koskinen m.fl. 2000): en sötvattenlekande ekotyp där rekryteringen sker i tillrinnande vattendrag (HaV 2017) och en havslekande ekotyp (Jensen & Alanärä 2006; Hudd m.fl. 2006; Broman m.fl. 2016). Kustharr förekommande i bräckt vatten utgör en unik anpassning som endast har hittats i Bottniska viken, främst i Västerbottens och Norrbottens län. Bottniska viken med dess bräckta vatten är även det enda havsområdet i världen där man har kunnat konstatera att harr reproducerar sig i havet (Hudd m.fl. 2006).

Generellt sett är kunskapen mycket otillräcklig inom många områden gällande harrbestånden i Bottniska viken. Trots de många kunskapsluckorna är den samlade bilden att harrens utbredningsområde och täthet har minskat avsevärt i detta område under de senaste hundra åren (HaV 2017). Enligt en rapport från Havs- och vattenmyndigheten (HaV 2017), tycks minskningen ha varit kraftigast på den finska sidan av Bottniska viken samt söder om Norra Kvarken på den svenska sidan.

Som ett led i att ta fram kunskap som kan nyttjas i arbetet med att bevara och skydda kustharren, är det väsentligt att känna till vilka områden som är viktiga för kustharrens reproduktion och uppväxt. För att förbättra förutsättningarna för kustharren genom till exempel områdesskydd behöver viktiga lek- och uppväxtområden identifieras. En fisks ursprung, vandringsmönster och i vilken miljö fisken vistas i under olika livsstadier går att ta reda på genom att analysera den kemiska sammansättningen i fiskens hörselstenar, s.k. otoliter. Otoliterna växer kontinuerligt under fiskens liv, och flertalet grundämnen från omgivningen lagras in i otoliterna under hela fiskens livstid (Campana 1999).

Det vanligaste användningsområdet för otolitikemiska analyser är att studera migration mellan olika livsmiljöer som t.ex. söt- och saltvatten (Kafemann et al. 2000; Secor och Rooker 2000; Gillanders 2005). Detta verktyg har använts för att studera migrationsmönster hos andra kustlevande arter som t.ex. sik (Lill m.fl. 2015; Blass & Olsson 2018b), abborre (Blass & Olsson 2018a) och gädda (Heimbrand m.fl. 2014).

För att kartlägga om en individ är rekryterad i sötvatten, t.ex. i kustmynnande vattendrag eller saltvatten, kan kvoten av grundämnena strontium (Sr) och kalcium (Ca) i fiskens otoliter analyseras (Limburg m.fl. 2001). Kvoten av strontium och kalcium (Sr:Ca) ökar generellt med ökande salthalt (Campana 1999; Elsdon m.fl. 2008; Brown & Severin 2009) och kan således användas för att spåra migration av fisk över

salthaltsgradienter (Campana 1999; Secor & Rooker 2000; Elsdon & Gillanders 2005). Det har dock påvisats att Sr:Ca kan variera mycket mellan olika sötvattenssystem (Brown & Severin 2009), vilket har lett till att det även har rapporterats negativa korrelationer (Kraus & Secor 2004) eller avsaknad av ett samband (Dorval m.fl. 2007) mellan Sr:Ca och salthalt. Sr:Ca verkar således inte enbart påverkas av salthalt utan även av andra faktorer, såsom vattentemperatur och vilken art som studeras (Campana 1999; Reis-Santos m.fl. 2013; Martinho m.fl. 2020).

I en studie (Limburg & Elfman 2010) gjord på otoliter på laxfiskar (salmonider) visade kvoten av Zn:Ca ett tydligt årstidsmönster med lägre värden vintertid och högre vid tillväxt under sommaren. En jämförelse mellan kvoten Zn:Ca och Sr:Ca kan därmed tillsammans ge en bild av när fisken eventuellt har migrerat från sötvatten till saltare miljö.

Även fiskfjäll lagrar in ämnen från det omgivande vattnet. I en tidigare studie på öringfjäll (Ryan m.fl. 2019) såg man dock inte någon tydlig koppling till att Sr:Ca-kvoten förändras med söt- eller saltvattenmiljö. Däremot visade bl.a. kvoterna Ba:Ca, Zn:Ca och Mn:Ca en signifikant ökning i en sötvattensmiljö. Hur inlagringen av grundämnena i fjället sker är precis som för otoliter sannolikt olika beroende på art. Hur de olika grundämnena i harrfjällen lagras är föga känt.

Kustlaboratoriet vid Institutionen för akvatiska resurser (SLU Aqua), Sveriges Lantbruksuniversitet, har fått i uppdrag av Länsstyrelsen Västerbotten att undersöka om det är möjligt att avgöra om kustharr rekryterats i sötvatten eller i havsmiljö utifrån analyser av den kemiska sammansättningen i otoliter och fjäll. Den här rapporten presenterar resultaten från undersökningarna som SLU Aqua utfört.

Material och metoder

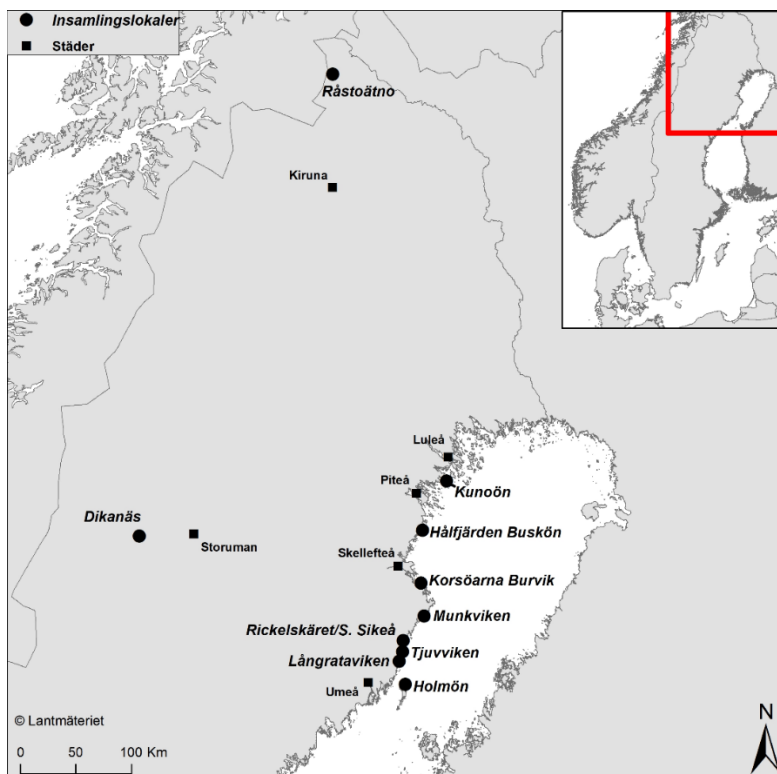
Material

Av totalt 79 kustharrar (längd: 12,5 - 43,0 cm) insamlade i åtta olika kustområden i Bottenviken och Norra Kvarken mellan den 20 mars-15 juni 2020 (tabell 1, figur 1), kunde data från 74 stycken användas för analys. För fyra av otoliterna var skicket för dåligt för att kunna prepareras för den kemiska analysen, och för dessa individer gjordes inte heller någon analys av fjällen. För den femte individen som inte ingick i analysen förekom det sådana avvikelser i data från den kemiska analysen av otoliten att individen exkluderades helt från vidare analyser.

Referensmaterialet för studien var tänkt att generera en baslinje för kvoten Sr:Ca hos harr i en sötvattensmiljö. Som sötvattensreferens för studien användes tio individer som fångats i Matskanån utanför Dikanäs, Storuman (figur 1), under samma period, samt tio individer som fångats i älven Råstoätno, nära Treikersröset i Kiruna kommun under augusti 2005. Det här materialet var dock mycket begränsat, och endast nio respektive fyra individer kunde användas då resterande otoliter var i för dåligt skick för att kunna analyseras.

De åtta områden som kusharrarna samlades in från var Kunoön, Hålfjärden Buskön, Korsöarna Burvik, Munkviken, Rickelskäret/Södra Sikeå, Tjuvviken, Långrataviken och Holmön (figur 1). Holmön tillhör en grupp öar som ligger ca 10 km ut i havet utanför Umeå, medan övriga områden ligger invid kusten.

På grund av ogynnsamma förhållanden för isfiske under 2020 blev urvalet av harr för denna studie beroende av isförhållande och därav inte helt slumpmässigt. Lokalerna i havet var kända rekryteringsområden eller områden med god förekomst av harr. Då fiskelokalerna saknar närliggande harrförande vattendrag är denna studie extra intressant för att få svar på frågan om rekrytering faktiskt sker vid kusten eller i sötvatten.



Figur 1. Karta över fångstplatserna för kusharrarna som användes i studien. Harr infångad i älven Råstoätno samt i Matskanån utanför Dikanäs var avsedd att användas som sötvattensreferens.

Metod

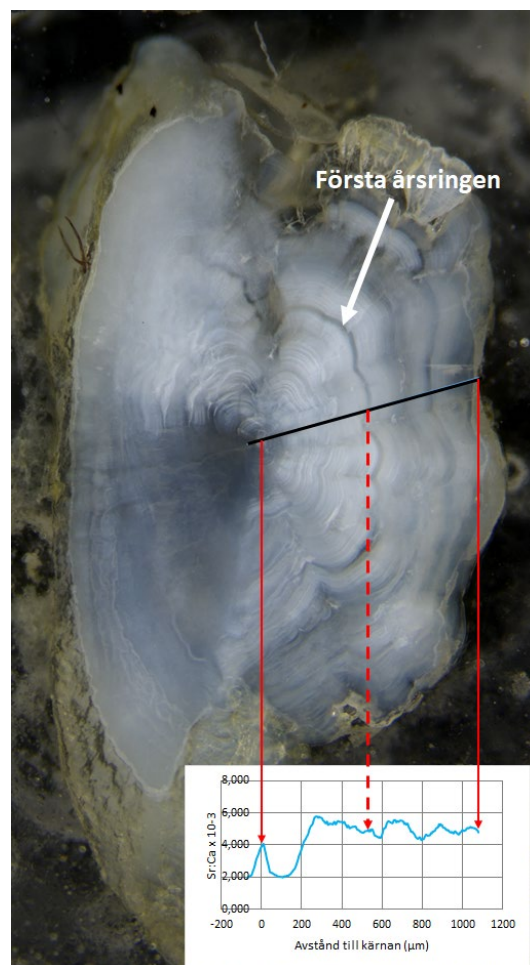
Fiskarnas åldersstrukturer (fjäll och otoliter) preparerades på SLU Aqua för att sedan skickas till Geologiska Institutionen vid Lunds universitet för analys av den kemiska sammansättningen av varje enskild otolit och fjäll. Otoliterna preparerades genom att först gjutas in i epoxiplast, för att sedan slipas och poleras till dess att otolitens kärna exponerades. Detta för att möjliggöra analys av den kemiska sammansättningen i hela otoliten. Bägge åldersstrukturerna klistrades sedan fast på objektglas och fotograferades.

Den kemiska analysen gjordes med hjälp av LA-ICP MS (Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry), där en laserstråle frigör ämnen från den slipade otolitens yta längs med den förutbestämda transekten, varvid koncentrationen av de förvalda grundämnena sedan registreras (Sanborn & Telmer 2003). På varje enskild bild av otoliterna ritades en transekt ut som vägledning till var lasern skulle köras. Transekten valdes för att undvika eventuella sprickor och kristallint material hos den aktuella åldersstrukturen.

För varje enskild otolit identifierades kärnan i de erhållna profilerna med hjälp av halten av zink i första hand, men med stöd av halterna av barium, fosfor, magnesium, mangan och strontium. Då halter av dessa ämnen ofta uppvisar en tydlig topp/dal vid kärnan (dvs. en tillfällig ökning eller minskning av ämneshalten), och halterna dessutom speglas på vardera sidan av denna, kunde kärnans placering lokaliseras. Efter att otolitens kärna identifierats, sammanställdes data över kvoterna Sr:Ca och Zn:Ca i transekter från kärnan till kanten av otoliten.

För att avgöra i vilken miljö kustharren rekryterats i undersöktes data över Sr:Ca-kvoten strax utanför kärnan och en bit ut i otoliten, längsmed den utvalda transekten. För många arter som vandrar från salt- till sötvattensmiljö vid lek finns ofta en tydlig "modertopp" med högre kvoter av Sr:Ca vid kärnan, vilket kan förklaras av miljön (salthalten) som moderfisken vistats i före lekperioden och som påverkar inlagringen av ämnen i ynglets/fisklarvens otolit under äggutvecklingen (Kalish 1990; Rieman m.fl. 1994). En del av harrarna i denna studie uppvisade en modertopp precis vid kärnan (figur 2). För att ta hänsyn till detta analyserades Sr:Ca-kvoten främst inom intervallet 36–100 µm från otolitens kärna, för att säkert fånga de individer som levt sin allra första tid i sötvatten. Utöver detta gjordes en generell bedömning av mönstret hos Sr:Ca-profilerna, där kraftiga öknings respektive minskningar i kvoten Sr:Ca var särskilt intressanta för att upptäcka eventuell migration mellan olika salthalter. I tillägg till att identifiera otolitens kärna användes Zn:Ca-kvoten även för att ge en tidsuppfattning om när eventuella migrationskiften sker, då Zn:Ca generellt minskar kraftigt under vintern.

För fiskfjällen identifierades kärnan på samma sätt som för otoliterna, men här var utplaceringen svårare då mönstret för halten av de inlagrade ämnena inte var lika tydligt. För att undersöka om det fanns mönster hos de inlagrade ämnena som sammanföll med individens ursprung och migration jämfördes data från den kemiska analysen av harrfjäll mellan individer där otolitens kemiska innehåll påvisade tydliga spår av migration över salthartsgradienter.



Figur 2. Jämförelse mellan en fotograferad otolit och dess profil över Sr:Ca-kvoten hos en individ som bär spår från modern i form av en “modertopp” i profilens början (0-50 μm avstånd till kärnan). Den svarta linjen visar transekten för den kemiska analysen. Otolitens kärna utgör nollpunkten för Sr:Ca-profilen, och vid avståndet 175–275 μm syns en tvåer stegring som troligen tyder på att individen har migrerat till en saltare vattenmiljö. Detta har skett innan den första vintern, dvs. den första årsringen som syns vid motsvarande ca 530 μm avstånd i Sr:Ca-profilen.

Resultat

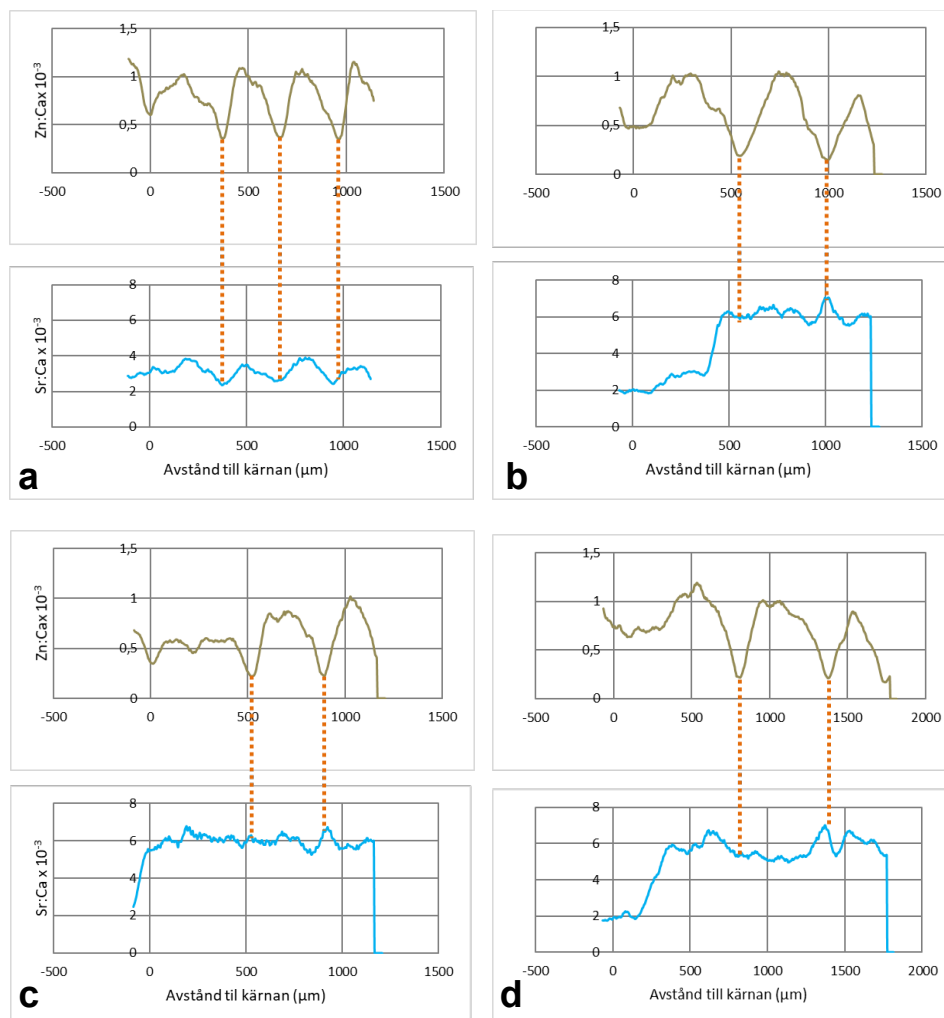
Otoliter

Individerna från Råstoätno och Dikanäs, som var tänkta att fungera som sötvattensreferens, hade generellt stora fluktuationer i Sr:Ca-kvoten jämfört med individerna som fångats i de olika kustområdena (appendix 1). Mönstret hos Sr:Ca profilerna i referensfiskarna skilde sig även årstidsmässigt från individerna som fångades vid kusten. I Råstoätno och Dikanäs följde mönstret över Sr:Ca-kvoten årstiderna, med en kraftig nedgång i Sr:Ca vintertid (figur 3). För kustharr kunde det omvända observeras, med en topp i Sr:Ca under vintern, eller så saknades det tydliga årstidsrelaterade sambandet (figur 3).

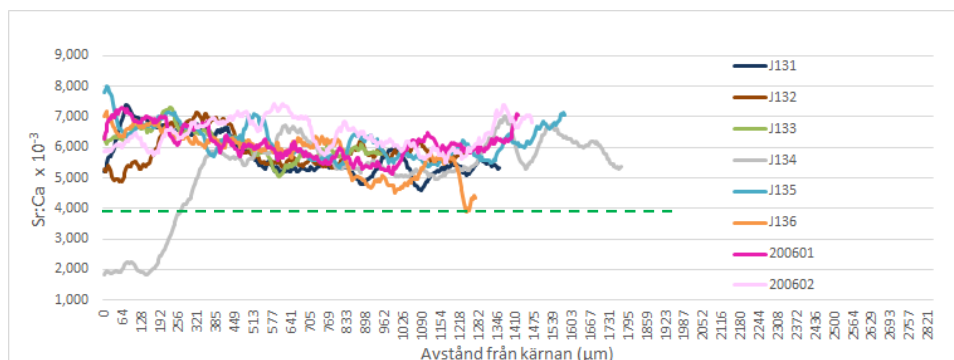
Referensmaterialet från de två sötvattenslokalerna visade även mycket olika resultat gällande nivåer av Sr:Ca mellan individer och lokaler. För de fyra individerna från Råstoätno varierade kvoten Sr:Ca mellan $1,70\text{--}3,98 \times 10^{-3}$ sett till hela profilen. Hos individerna som fångades i Dikanäs var värdena mer varierande, där somliga individer hade en högsta Sr:Ca-kvot på $5,18 \times 10^{-3}$ och lägsta kvot på $2,01 \times 10^{-3}$. Efter analysen gjordes därför bedömningen att harrarna från Dikanäs och Råstoätno inte var lämpliga att använda som referensmaterial för kustharr då de stora fluktuationerna i Sr:Ca-kvoten inte speglar det mönster man ser vid kusten.

Då det påvisats att det förekommer havslekande kustharr vid Holmön (Jensen & Alanärä 2006; HaV 2017) gjordes en generell bedömning av mönstret i dessa individers Sr:Ca-profiler (figur 4). Sju av åtta individer påvisade ett mönster med relativt stabila och höga Sr:Ca-kvoter genom hela profilen. Kvoterna varierade mellan $3,9\text{--}8,0 \times 10^{-3}$. Dessa sju individer antogs vara av den havslekande ekotypen, som har spenderat hela sitt liv i brackvatten. Efter att ha analyserat lägstanivån för kvoten Sr:Ca i hela profilen för alla individer sattes detta som ett gränsvärde för individer som kan anses tillhöra den havslekande ekotypen av kustharr. För att ta hänsyn till spridningen i profilerna hos de sju individerna från Holmön sattes det undre gränsvärdet av kvoten Sr:Ca för individer som ansågs ha rekryterats i brackvatten därmed till $3,9 \times 10^{-3}$.

Den åttonde individen vid Holmön påvisade ett annat mönster än de övriga, där Sr:Ca-kvoten under den första levnadstiden var mycket låg ($1,9 \times 10^{-3}$, figur 4). Kvoten steg sedan kraftigt till en nivå uppemot 6×10^{-3} . Detta skulle kunna tyda på att individen genomgått ett habitatskifte där den har migrerat från rekryteringsplatsen i sötvatten till bräckt vatten vid kusten.



Figur 3. Jämförelser för att visa skillnader i mönstret mellan profiler av Zn:Ca- respektive Sr:Ca- kvoter från den kemiska analysen av otoliten hos en individ från: (a) sötvattensreferensen Dikanäs, (b) en förmodad sötvattensrekryterad harr från Rickelskäret/S. Sikeå, (c) en förmodad brackvattenrekryterad harr från Korsöarna Burvik, (d) en förmodad brackvattenrekryterad harr från Holmön. Dalarna i profilen för Zn:Ca-kvoten motsvarar generellt inlagring under vintertid, då fiskens tillväxt avstannar. Att värdena ändras så kraftigt mot slutet av profilerna beror på att lasern passerat otolitens ytterkant, och således kan ämnet inte längre detekteras.



Figur 4. Sr:Ca-profiler för otoliter från individer som infångats vid Holmön. De sju havslekande individerna fungerade som referens för brackvattenrekryterad kusharr, där kvoten Sr:Ca bedöms överstiga gränsvärdet $3,9 \times 10^{-3}$ (grön streckad linje). Individ J134 (grå linje) tycks ha ursprung som skiljer sig från övriga individer genom att ha betydligt lägre Sr:Ca-kvot (ca 2×10^{-3}) i början av livet. Denna individ har troligtvis rekryterats i en miljö där salthalten inte är lika hög som i vattnet vid Holmön.

Under analyserna jämfördes tre olika sätt att avgöra huruvida en individ rekryterats i brackvatten eller ej: 1) analys av den minsta Sr:Ca-kvoten inom intervallet 36-100 μm från otolitens kärna, 2) medelvärdet av Sr:Ca-kvoten inom intervallet 36-100 μm från otolitens kärna och 3) den specifika Sr:Ca-kvoten vid avståndet 68 μm från otolitens kärnan. Avståndet på 68 μm valdes utifrån att profilen av kvoten Sr:Ca såg ut att ha en representativ nivå för sitt ursprung vid detta avstånd hos samtliga individer som analyserades (appendix 1). Alla tre metoder visade sig ge i stort sett samma resultat gällande individens ursprung, med undantag av två individer: en harr fångad vid Korsöarna Burvik och en vid Rickelskäret/S. Sikeå. Individerna vid Korsöarna Burvik hade en minsta Sr:Ca-kvot ($3,8 \times 10^{-3}$) mycket nära gränsvärdet inom intervallet 36-100 μm från otolitens kärna, och hamnade därmed under gränsvärdet enligt kriterium 1, men precis över gränsvärdet enligt kriterierna 2 och 3. Individerna vid Rickelskäret/S. Sikeå hade en inledningsvis låg kvot ($2,7 \times 10^{-3}$) som direkt följdes av en mycket tvär stegring till kvoter över $6,0 \times 10^{-3}$ (appendix 1, individ 200519 respektive 200603). Detta innebär att individerna hamnade under gränsvärdet för kriterierna 1 och 3, men strax över det enligt kriterium 2.

Hädanefter kommer vi att hänvisa till minimumvärdet $3,9 \times 10^{-3}$ inom intervallet 36-100 μm från kärnan som gränsvärde för att urskilja ursprunget hos individerna. På detta sätt fångades även individer som hade en snabb förändring tidigt i profilen för kvoten Sr:Ca.

Av de 74 kusharrarna hade 23 individer (31 %, inklusive individerna från Holmön) en lägsta Sr:Ca-kvot som låg över gränsvärdet inom intervallet 36–100 μm från otolitens kärna (figur 5a, tabell 1, appendix 1). 51 individer (69 %, inklusive individerna från Holmön) hade en lägsta Sr:Ca-kvot som låg under det satta gränsvärdet inom samma intervall.

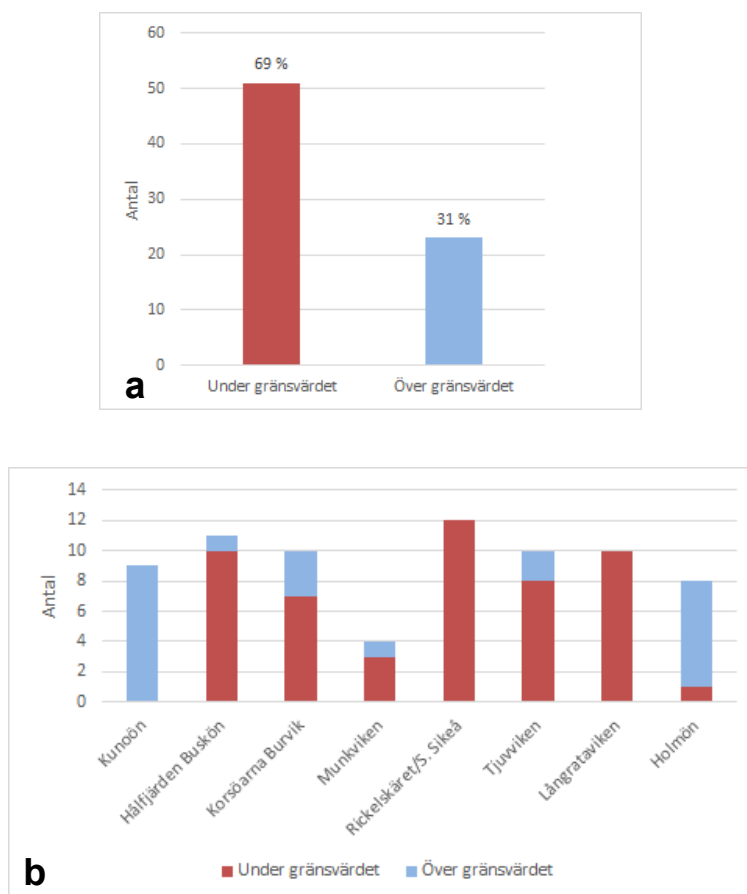
Vid Kunoön, Hålfjärden Buskön, Rickelskäret/S. Sikeå, Tjuvviken, Långrataviken och Holmön bedömdes merparten av individerna inom ett område ha samma ursprung (figur 5b). Minst 80 % av individerna inom ett område hade därmed en Sr:Ca-kvot antingen under *eller* över $3,9 \times 10^{-3}$ inom intervallet 36–100 μm från otolitens kärna (tabell 1). De två undantagen var Korsöarna Burvik där 70 % hade en Sr:Ca-kvot under gränsvärdet och 30 % av individerna hade en kvot över gränsvärdet, likaså i Munkviken där materialet enbart omfattade fyra individer (tabell 1). Av de fyra individerna i Munkviken låg 75 % (3 st) under gränsvärdet för kvoten Sr:Ca medan 30 % (1 st) översteg det.

I Rickelskäret/S. Sikeå och Långrataviken hade alla individer en Sr:Ca-kvot som låg under $3,9 \times 10^{-3}$ inom 36-100 μm från otolitens kärna, medan samtliga individer som fångades vid Kunoön bedömdes ha rekryterats i brackvatten, med en Sr:Ca-kvot som låg över gränsvärdet inom det angivna intervallet (figur 5b, tabell 1). Totalt identifierades havslekande kusharr i sex av de åtta kustområdena (figur 5b).

Två individer som fångades vid Kunoön påvisade tillfälliga och kraftiga dalar längre ut i profilerna för kvoten Sr:Ca i otoliten (appendix 1, individ K4 och K9). Vid jämförelse mellan de två Sr:Ca-profilerna och motsvarande fotografier på de aktuella otoliterna kunde det konstateras att dessa dalar speglade sprickor eller deformationer på otoliterna, men dessa bedömdes inte påverka resultatet för tolkningen av individernas ursprung.

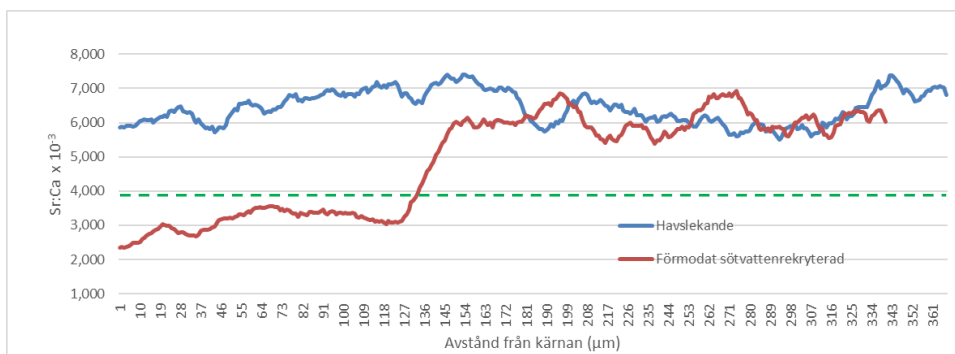
Tabell 1. Fördelningen av individer under och över gränsvärdet $3,9 \times 10^{-3}$ för Sr:Ca-kvoten, hos otoliter från kusharr insamlad i åtta olika havsområden, utifrån ett minimivärde för Sr:Ca inom intervallet 36–100 μm från otolitens kärna.

	Kunoön	Hålfjärden Buskön	Korsöarna Burvik	Munkviken	Rickelskäret /S. Sikeå	Tjuvviken	Långrata- viken	Holmön	Totalt
Antal under gränsvärdet	0	10	7	3	12	8	10	1	51
Antal över gränsvärdet	9	1	3	1	0	2	0	7	23
Totala antal analyserade otoliter	9	11	10	4	12	10	10	8	74
Andel under gränsvärdet i %	0%	91%	70%	75%	100%	80%	100%	13%	69%
Andel över gränsvärdet i %	100%	9%	30%	25%	0%	20%	0%	88%	31%



Figur 5. (a) Fördelningen av antalet individer med minsta Sr:Ca-kvot under respektive över gränsvärdet $3,9 \times 10^{-3}$ inom intervallet 36-100 μm från otolitens kärna i (b) de åtta undersökta områdena, ordnade från Kunoön i norr till Holmön i söder. Röda staplar visar antalet förmodade sötvattensrekryterade individer med minsta Sr:Ca-kvot under gränsvärdet inom det givna intervallet. Blåa staplar visar antalet havslekande individer med minsta Sr:Ca-kvot över gränsvärdet inom det givna intervallet.

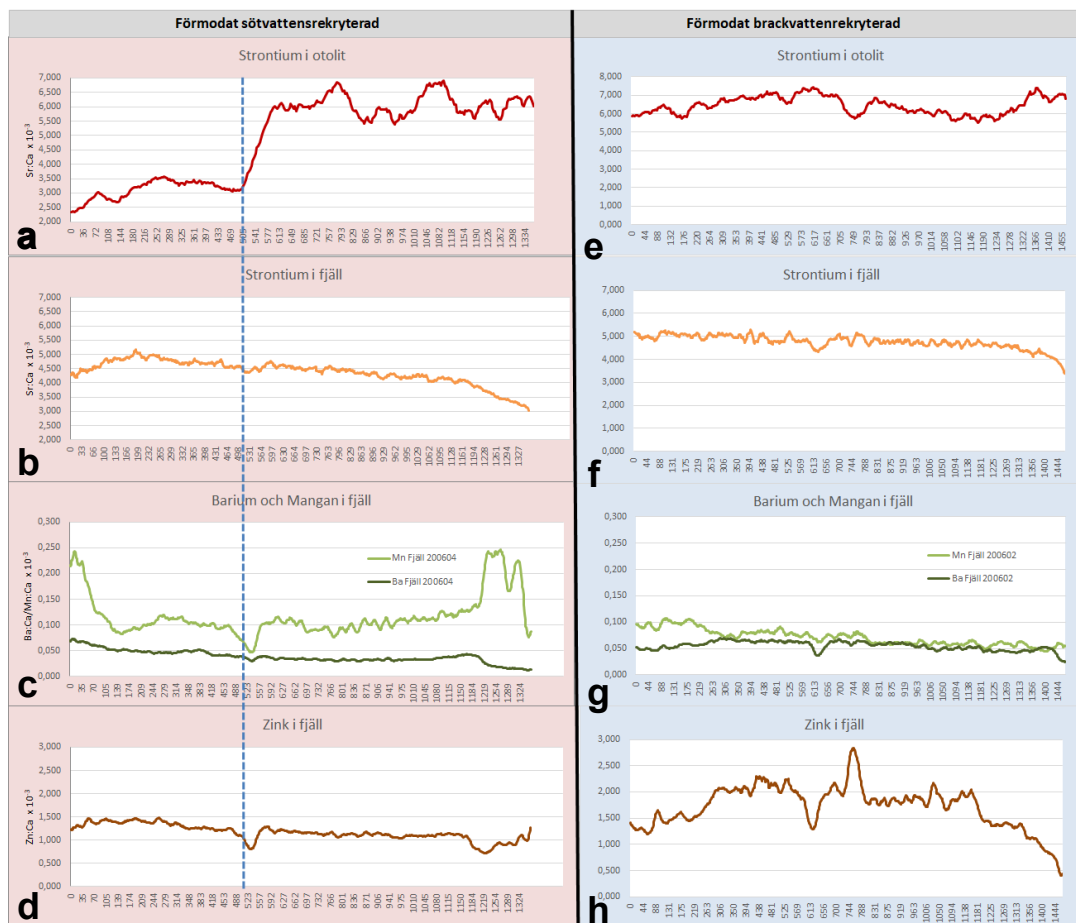
Hos samtliga individer där Sr:Ca-kvoten understeg gränsvärdet på avståndet 36–100 μm från kärnan följde Sr:Ca-profilen ett karaktäristiskt mönster, där det syntes en kraftig stegring av kvoten från initialt låga värden jämfört med de havslekande individerna från Holmön (figur 4 & 6, appendix 1). Detta kan antas spegla ett habitatskifte med migration från sötare till saltare vatten, vilket påvisas av att Sr:Ca-kvoten just stiger kraftigt från den jämförelsevis lägre ursprungliga kvoten av Sr:Ca (figur 6). Utifrån analyser där kvoten Sr:Ca jämfördes mot otolitens första årsring tycktes individerna genomgå detta habitatskifte någon gång under tidsspannet mellan första sensommaren och den första vintern (figur 2).



Figur 6. Två vanligt förekommande Sr:Ca-profiler från den kemiska analysen av otoliter. Den blå profilen speglar en individ som bedöms vara havslekande och således har spenderat hela sitt liv i brackvatten (Holmön). Sr:Ca-kvoten överstiger gränsvärdet $3,9 \times 10^{-3}$ för hela profilen (grön streckad linje). Röd profil speglar en individ (Rickelskäret/S. Sikeå) som har sitt ursprung i jämförelsevis sötare vatten, där Sr:Ca-kvoten understiger gränsvärdet $3,9 \times 10^{-3}$ inom intervallet 36-100 µm från otolitens kärna. Vid avståndet 127 µm syns en stegring som skulle kunna motsvara ett habitatskifte, vid tidpunkten då individen migrerade till saltare vatten.

Fjäll

Den kemiska analysen av fjällen visar inte samma tydliga resultat för rapportens frågeställning som otoliterna gör. För samtliga analyserade ämnen var det svårt att uttyda några trender som kunde relateras till individernas ursprung och vandringsmönster. Profilerna för Sr:Ca, Ba:Ca, Mn:Ca och Zn:Ca jämfördes, men vi hittade inga tydliga tecken i form av ökning eller minskning som kunde förknippas med individernas ursprung utifrån mönstret hos profilerna över Sr:Ca-kvoten i otoliterna (figur 7, appendix 2).



Figur 7. Profiler för a) otolit och b-d) fjäll från en förmodat sötvattensrekryterad individ infångad vid Rickelskäret samt profiler för e) otolit och f-h) fjäll från en havslekande individ från Holmön. Den streckade blå linjen visar tidpunkten då den sötvattensrekryterade individen tros ha påbörjat migrationen till en ny livsmiljö med saltare vatten.

Diskussion

Resultatet av SLU Aquas analyser visar att det sannolikt går att avgöra om harr är rekryterad i sötvatten eller i brackvatten genom att studera den kemiska sammansättningen i otoliter och hur den förändras över fiskens liv. Omkring en tredjedel av de analyserade kusharrarna klassades till den havslekande ekotypen, medan majoriteten av individerna visade tydliga tecken på ett annat ursprung, där rekryteringen förmodas ha skett i en miljö där vattnet inte är lika salt. Resultatet visar även att de analyserade kusharrarna inom ett och samma område till största delen hade samma ursprung, dvs. att merparten av individerna rekryterades i brackvatten *eller* sötare vatten. En analys av fjäll visar däremot inte lika lättolkade resultat och vi kan i denna studie inte påvisa härkomst hos individer genom att enbart analysera den kemiska sammansättningen i just fjäll.

Med de förmodat havslekande individerna vid Holmön som referens sattes ett gränsvärde för vad som kan anses spegla ett liv som spenderats i en brackvattenmiljö, utifrån Sr:Ca-kvoten i otoliten. Hos individer som översteg gränsvärdet med minsta Sr:Ca-kvot på $3,9 \times 10^{-3}$ inom ett avstånd av 36-100 μm från otolitens kärna var kvoten genomgående hög i profilen. Hos individer med en Sr:Ca-kvot som understeg gränsvärdet kunde man vid en jämförelse se att dessa individer hade lägre kvoter i början av sin livstid, för att sedan påvisa ett mönster med en stegring mot högre kvoter. Detta mönster liknar även det hos t.ex. älvlekande sik (Blass & Olsson 2018b) och abborre som rekryterats i sötvatten (Heimbrand m.fl. 2018) men som sedan vandrar ut till saltare miljöer. Man kan således dra slutsatsen att dessa kusharrar mycket troligen har rekryterats i sötare vatten, för att sedan migrera ut i Bottenviken och Norra Kvarkens kustområden med saltare vatten vilket i sin tur ger utslag i inlagringen av strontium i otoliten. Vi ser även att somliga individer tycks migrera från sötvatten mycket snart efter kläckning, medan andra stannar kvar längre i sötvattensmiljön under sitt första år och först under vintern migrerar till en ny livsmiljö.

Vid Kunoön hade samtliga analyserade individer en Sr:Ca-kvot över det satta gränsvärdet för rekrytering som skett i brackvatten. Dessa antas följaktligen tillhöra den havslekande ekotypen av kusharr. Kunoön är liksom Holmön belägen vid en ö som saknar direkt anslutning till kusten. Mönstret i profilerna för Sr:Ca-kvoten hos de här fiskarna stämmer även väl överens med resultat från studier av andra arter där det förekommer migration mellan söt- och saltvatten under fiskens livstid (Heimbrand 2014; Blass & Olsson 2018a; Blass & Olsson 2018b).

Havslekande harr identifierades med hjälp av otolitkemiska analyser i totalt sex av de åtta kustområdena. Då denna ekotyp tidigare bara konstaterats på två platser i Sverige (Hudd m.fl. 2014; Broman m.fl. 2016), kan detta resultat anses bidra med viktig ny kunskap om förekomst och utbredningen av havslekande kusharr i Bottenviken och Norra Kvarken.

I de sex mer kustnära områdena (Hålfjärden Buskön, Korsöarna Burvik, Munkviken, Rickelskäret/S. Sikeå, Tjuvviken och Långrataviken) dominerade istället vad som förmodas vara den sötvattenlekande ekotypen, där rekryteringen sker i tillrinnande vattendrag. Mellan 70-100 % av individerna från dessa områden hade en Sr:Ca-kvot som låg under gränsvärdet. Materialet från Munkviken omfattade dock enbart fyra individer. Vandringen från rekryteringsområden i sötvatten ut till kusten verkar för de flesta harrungel ske någon gång under tiden mellan fiskens första sensommar och den första vintern.

Sötvattensmaterialet från Råstoättno och Dikanäs visade sig vara olämpligt som referensmaterial för kusharr. Önskvärt vore därför att studien

kompletterades med ytterligare kemiska analyser av yngel av kusharr som med säkerhet är födda i de kustmynnande vattendrag som fungerar som rekryteringsområden, för att på så sätt få ett gränsvärde för Sr:Ca-kvoten för sötvattensrekryterade individer.

Resultaten från analyserna i denna studie bör tolkas med viss försiktighet. Det valda gränsvärdet som antogs för individer som rekryterats i brackvattenmiljö sattes vid den lägsta Sr:Ca-kvoten som uppmättes hos de sju harrarna från Holmön som förmodades tillhöra den havslekande ekotypen kusharr. Antagandet bygger på att dessa individer tros ha befunnit sig i en brackvattenmiljö under hela sin livstid då relativt stabila och höga kvoter av Sr:Ca förekommer genom hela fiskens liv, samt att man tidigare funnit individer som konstaterats vara havslekande vid just Holmön (HaV 2017). Men att sätta gränsvärdet vid den lägsta Sr:Ca-kvoten skulle kunna innebära att man överskattar antalet av den havslekande kusharreotypen. Den generella bedömningen av profilernas mönster som användes som en jämförelse mot metoden som utgick från ett specifikt gränsvärde gav dock ett enhetligt resultat: 31 % havslekande kusharr och 69 % med ett annat ursprung (förmodat sötvattenlekande).

Man bör även beakta att det tar en tid för en sötvattenssignal att ge avtryck i otoliten. Om harr ynglet vandrar ut i saltare vatten direkt efter kläckning, kan avtrycket från den jämförelsevis lägre halten strontium i sötvatten vara svår att upptäcka då fisken vistats i sötvattensmiljön under en väldigt kort tid. Om så är fallet, skulle resultaten från en analys baserad på otolitikemi även här riskera att underskatta andelen sötvattensfödda individer. I denna studie påvisade t.ex. en individ från Rickelskäret/S. Sikeå tecken på en sådan migration tidigt i livet, men den räknades ändå till de individer vars lägsta Sr:Ca-kvot inom intervallet 36-100 μm hamnade under gränsvärdet för den havslekande ekotypen av kusharr (appendix 1, individ 200603).

För att kunna använda fjäll i vidare kemiska analyser skulle det krävas ett bra referensmaterial från kustmynnande vattendrag att utgå ifrån, för att få en bra baslinje för de olika grundämnena. Utifrån detta kan man sedan arbeta vidare för att utröna om något specifikt grundämne kan spegla förekommande saltvattenvariationer. Svårigheten med att placera ut kärnan i profilerna från den kemiska analysen av fjällen utgjorde ytterligare en utmaning. Vid vidare studier skulle det därför vara lämpligt att markera ut kärnans placering på fjället när transekten ritas, så att den kemiska analysen med laser utgår från denna punkt.

Att utveckla en metodik för att använda kemisk analys av fjäll snarare än otoliter skulle ge stora fördelar då fjällen inte kräver så omfattande preparering innan laseranalys, och därmed blir en betydligt billigare metod. Användning av fjäll har även andra fördelar. För att få fram otoliter krävs

det att man avlivar fisken, något som inte är nödvändigt när man tar fjäll, vilket kan vara bra när man t.ex. vill studera hotade och rara arter. Eftersom fjäll är något som används inom traditionell åldersanalys av harr finns det dessutom redan en del insamlat och arkiverat material.

Utöver att konstatera att otolitkemi kan appliceras på kusharr för att avgöra dess ursprung, ger resultaten från denna studie en indikation på hur de olika ekotyperna är fördelade i kustområdet, och kan på så vis bidra till ytterligare kunskap kring kusharren. Detta kan i sin tur användas i det fortsatta marina skyddsarbetet för kusharren i Bottenviken och Norra kvarken, liksom i vidare studier som skulle kunna bidra till att utveckla en metod där man använder fjäll för att bedöma ursprunget hos kusharr.

Referenser

- Arai, T., Ohji, M., & Hirata, T. (2007). Trace metal deposition in teleost fish otolith as an environmental indicator. *Water Air Soil Pollution*. 179(1–4), 255–263.
<https://doi.org/10.1007/s11270-006-9229-4>
- Blass, M. & Olsson, J. (2018a). *Otolitkemisk analys av abborre från Kinnbäcksfjärden*. (SLU.aqua.2017.5.2-260). Öregrund: Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Blass, M. & Olsson, J. (2018b). *Ursprung hos sik bifångad i siklöjefisket i norra Bottenviken*. (SLU.aqua.2018.5.1-34). Öregrund: Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Broman, A., Blomkvist, D. & Bystedt, D. (2016). Harrens lekområden i Norrbottens skärgård. Rapport från Länsstyrelsen i Norrbotten, 8 s.
- Brown, R. & Severin, K. (2009). Otolith chemistry analyses indicate that water Sr:Ca is the primary factor influencing otolith Sr:Ca for freshwater and diadromous fish but not for marine fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 66, 1790-1808.
- Campana, S.E., (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*. 188, 263-297.
- Dorval, E., Jones, C., Hannigan, R. & van Montfrans, J. (2007). Relating otolith chemistry to surface water chemistry in a coastal plain estuary. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 64, 411-424.
- Elsdon, T., Wells, B., Campana, S., Gillanders, B., Jones, C., Limburg, K., Secor, D., Thorrold, S. & Walther, B. (2008). Otolith chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes, limitations and inferences. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. 46, 297-330.
- Elsdon, T. & Gillanders, B. (2005). Strontium incorporation into calcified structures: separating the effects of ambient water concentration and exposure time. *Marine Ecology Progress series*. 285, 233-243.
- Gillanders, B. (2005). Otolith chemistry to determine movements of diadromous and freshwater fish. *Aquatic Living Resources*. 18(3), 291-300.
- Havs- och vattenmyndigheten (2017). *Harr i Bottniska viken: en kunskapsammanställning*. (Havs- och vattenmyndighetens rapport 2017:30). Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten.
- Heimbrand, Y., Olsson, J. & Odelström, A. (2014). *Otolitkemisk analys av gädda från tre havsvikar i Värmdö kommun*. (SLU ID: 2014.5.2-233). Öregrund: Institutionen för akvatiska resurser, Sveriges Lantbruksuniversitet.

- Hudd, R., Ahlqvist, J., Jensen, H., Urho, L. & Blom, A. (2006). *Lek- och yngelproduktionsområden för havslekande harr i Kvarken*. (Rapport 53). Umeå: Vattenbruksinstitutionen, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Jensen H. & Alanärä, A. (2006). *Provfiske efter lekmogen harr vid kusten i Kvarkenregionen*. (Rapport nr 46). Umeå: Vattenbruksinstitutionen, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Kafemann, R., Adlerstein, S. & Neukamm, R. (2000). Variation in otolith strontium and calcium ratios as an indicator of life-history strategies of freshwater fish species within a brackish water system. *Fisheries Research*. 46(1-3), 313-325.
- Kalish, M.J. (1990). Use of Otolith Microchemistry to Distinguish the Progeny of Sympatric Anadromous and Non-anadromous Salmonids. *Fishery Bulletin*. 88(4), 657-666.
- Koskinen M.T., Ranta, E., Piironen, J., Veselov, A., Titov, S., Haugen, T.O., Nilsson, J., Carlstein M. & Primmer, C.R. (2000). Genetic lineages and postglacial colonization of grayling (*Thymallus thymallus*) in Europe, as revealed by mitochondrial DNA analyses. *Molecular Ecology*. 9, 1609–1624.
- Kraus, R. & Secor, D. (2004). Incorporation of strontium into otoliths of an estuarine fish. *Journal of Experimental marine Biology and Ecology*. 302, 85-106.
- Lill, J-O., Heimbrand, Y., Slotte, J., Himberg, M., Florin, A-B. & Hägerstrand, H. (2015). PIXE analyses of polished otoliths for identification of anadromous whitefish in the Baltic Sea. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*.
<https://doi.org/10.1016/j.nimb.2015.07.113>.
- Limburg, K. & Elfman, M. (2010). Patterns and magnitude of Zn:Ca in otoliths support the recent phylogenetic typology of Salmoniformes and their sister groups. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 67, 597-604. <https://doi.org/10.1139/F10-014>
- Limburg, K., Blackburn, I., Schmidt, R., Lake, T., HASSE, J., Elfman, M. & Kristiansson, P. (2001). Otolith microchemistry indicates unexpected patterns of residency and anadromy in blueback herring, *Alosa aestivalis*, in the Hudson and Mohawk Rivers. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*. 362-362, 931-938. <https://doi.org/10.1051/kmae:2001028>
- Martinho F, Pina B, Nunes M, Vasconcelos RP, Fonseca VF, Crespo D, Primo AL, Vaz A, Pardal MA, Gillanders BM, Tanner SE & Reis-Santos P (2020). Water and Otolith Chemistry: Implications for Discerning Estuarine Nursery Habitat Use of a Juvenile Flatfish. *Frontiers in Marine Science*. 7, 347. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00347>
- Reis-Santos, P., Tanner, S. E., Elsdon, T. S., Cabral, H. N. & Gillanders, B. M. (2013). Effects of temperature, salinity and water composition on otolith elemental incorporation of *Dicentrarchus labrax*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 446, 245–252. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.05.027>
- Rieman, BE., Myers, DL. & Nielsen, RL. (1994). Use of otolith microchemisrty to discriminate *Oncorhynchus nerka* of resident and anadromous origin. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 51(1), 68-77.

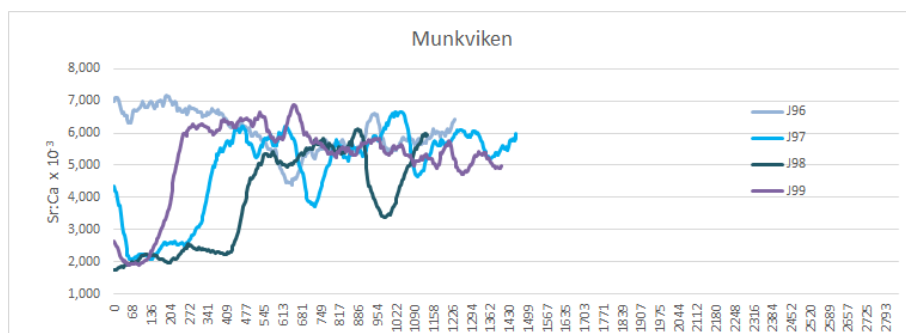
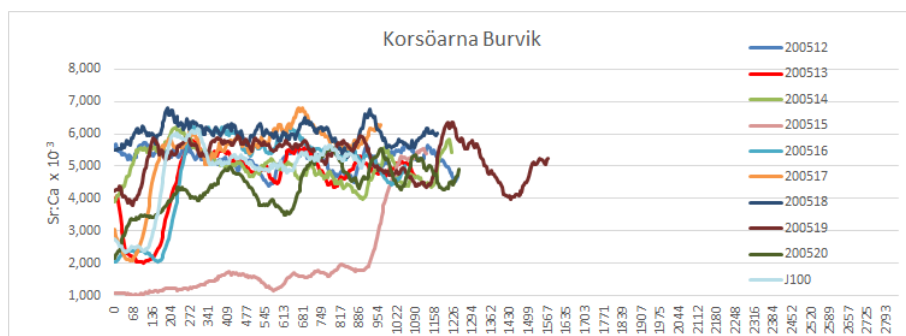
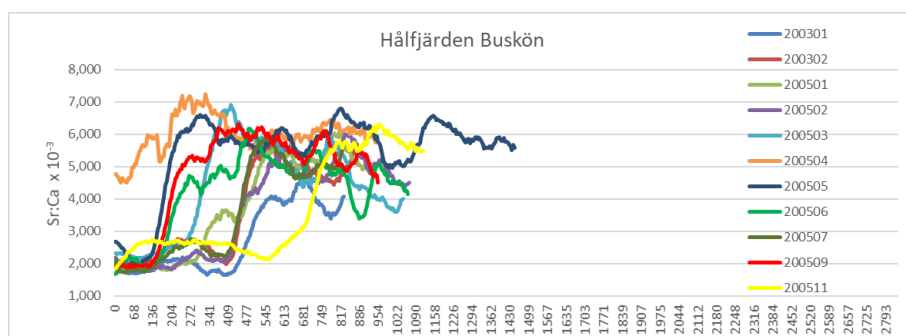
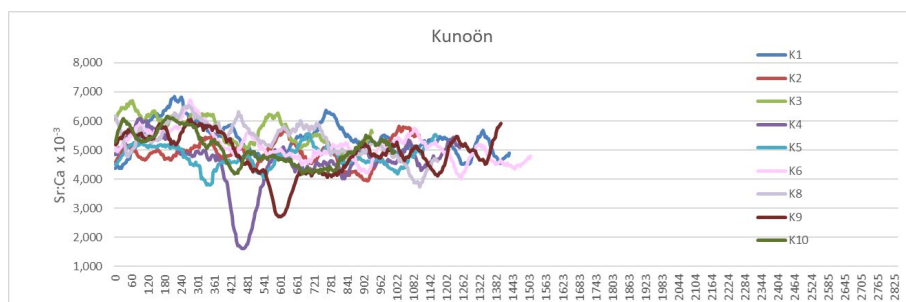
Ryan, D., Shepard, S., Gargan, P. & Roche, W. (2019). Estimating sea trout (*Salmo trutta* L.) growth from scale chemistry profiles: an objective approach using LA-ICPMS. *Fisheries Research*. 211, 69-80. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.10.029>

Sanborn M. & Telmer, K. (2003). The spatial resolution of LA-ICP-MS line scans across heterogeneous materials such as fish otoliths and zoned minerals. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*. 18, 1231–1237.

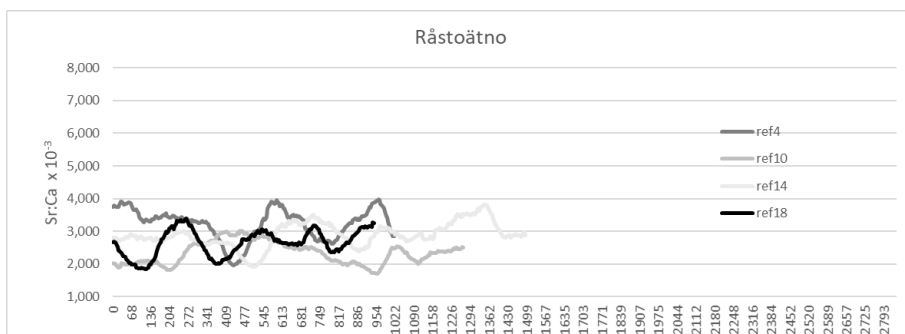
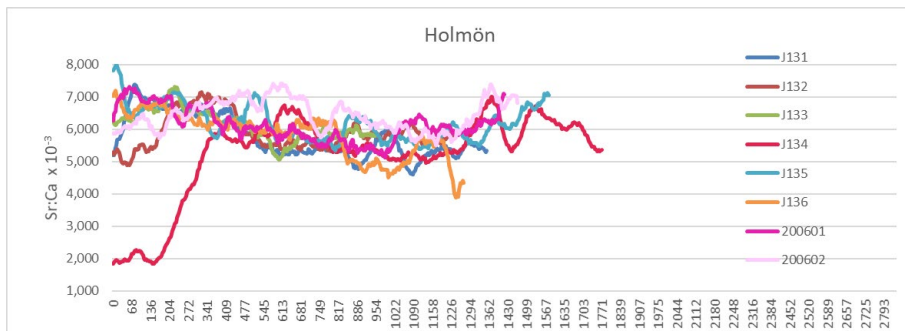
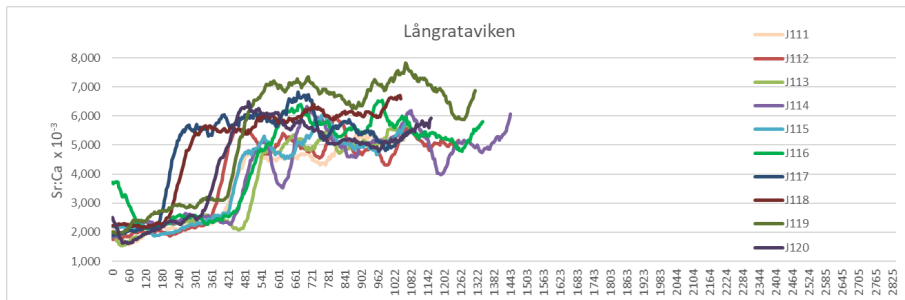
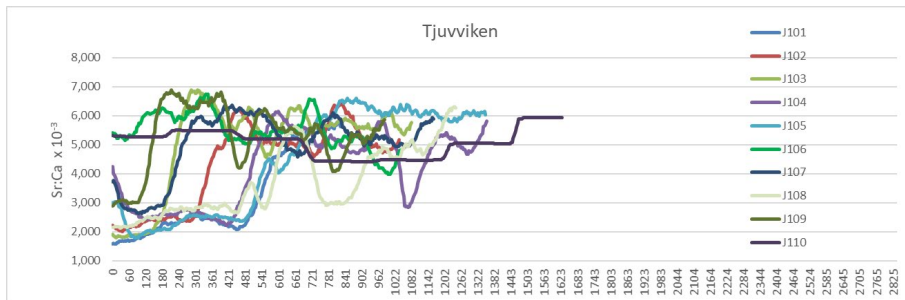
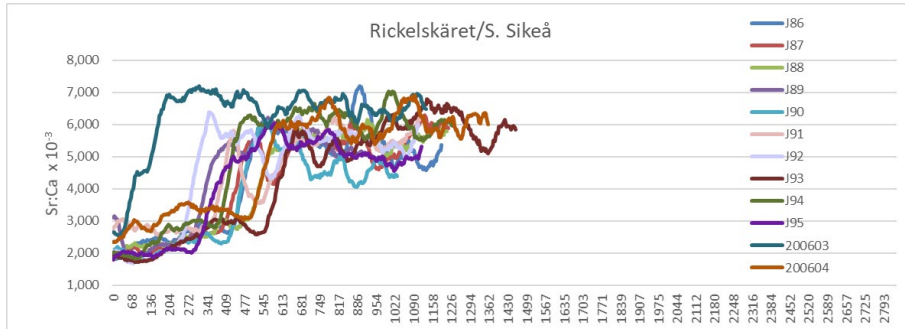
Secor, D.H. & Rooker, J.R. (2000). Is otolith strontium a useful scalar of life cycles in estuarine fishes? *Fisheries Research*. 46(1-3), 359-371.

Appendix 1

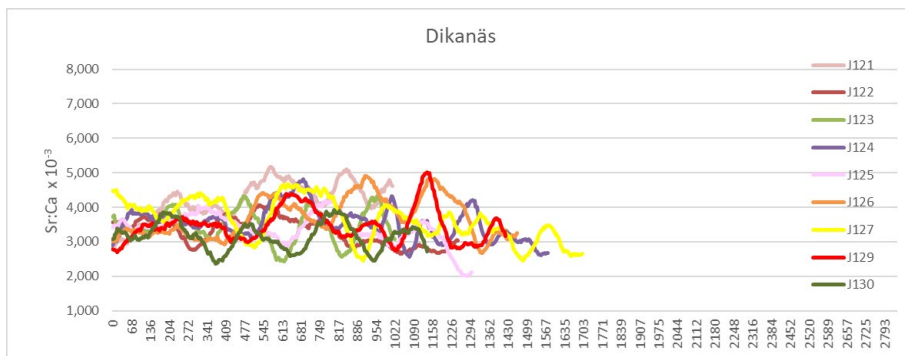
Profiler över Sr:Ca-kvoten i otoliten för de infångade kusharrarna i studien, från Kunoön i norr till Holmön i söder samt för harrarna från de tänkta sötvattenreferenserna Råstoätno och Dikanäs.



Ursprung hos harr (Thymallus thymallus) i Bottenviken och Norra Kvarken

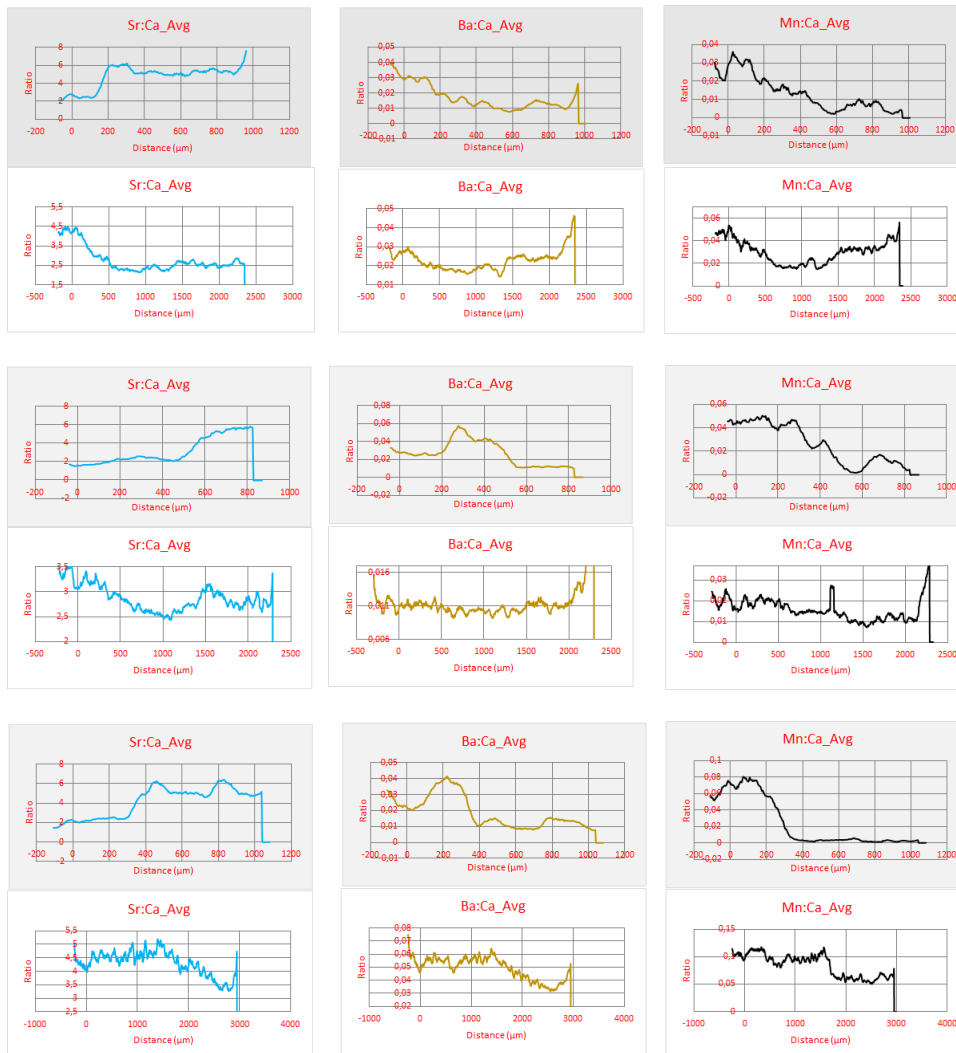


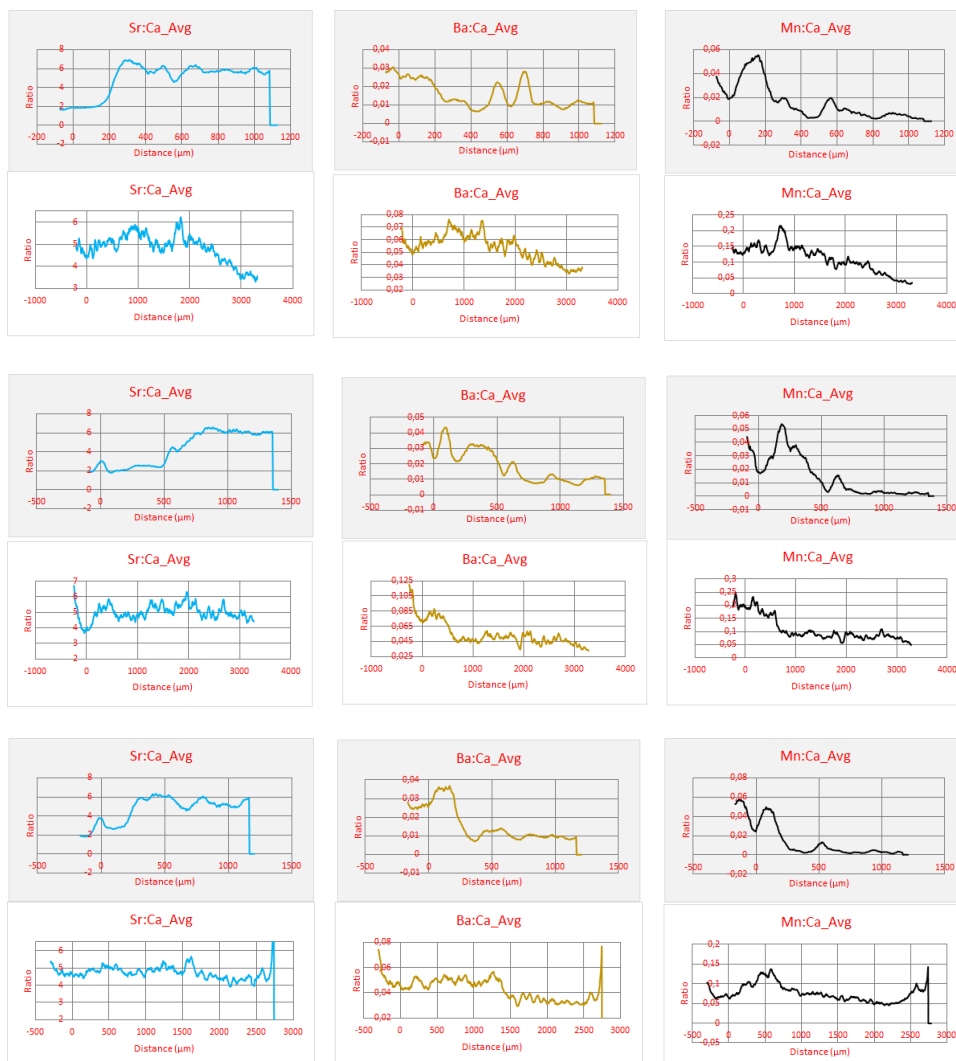
Ursprung hos harr (Thymallus thymallus) i Bottenviken och Norra Kvarken



Appendix 2

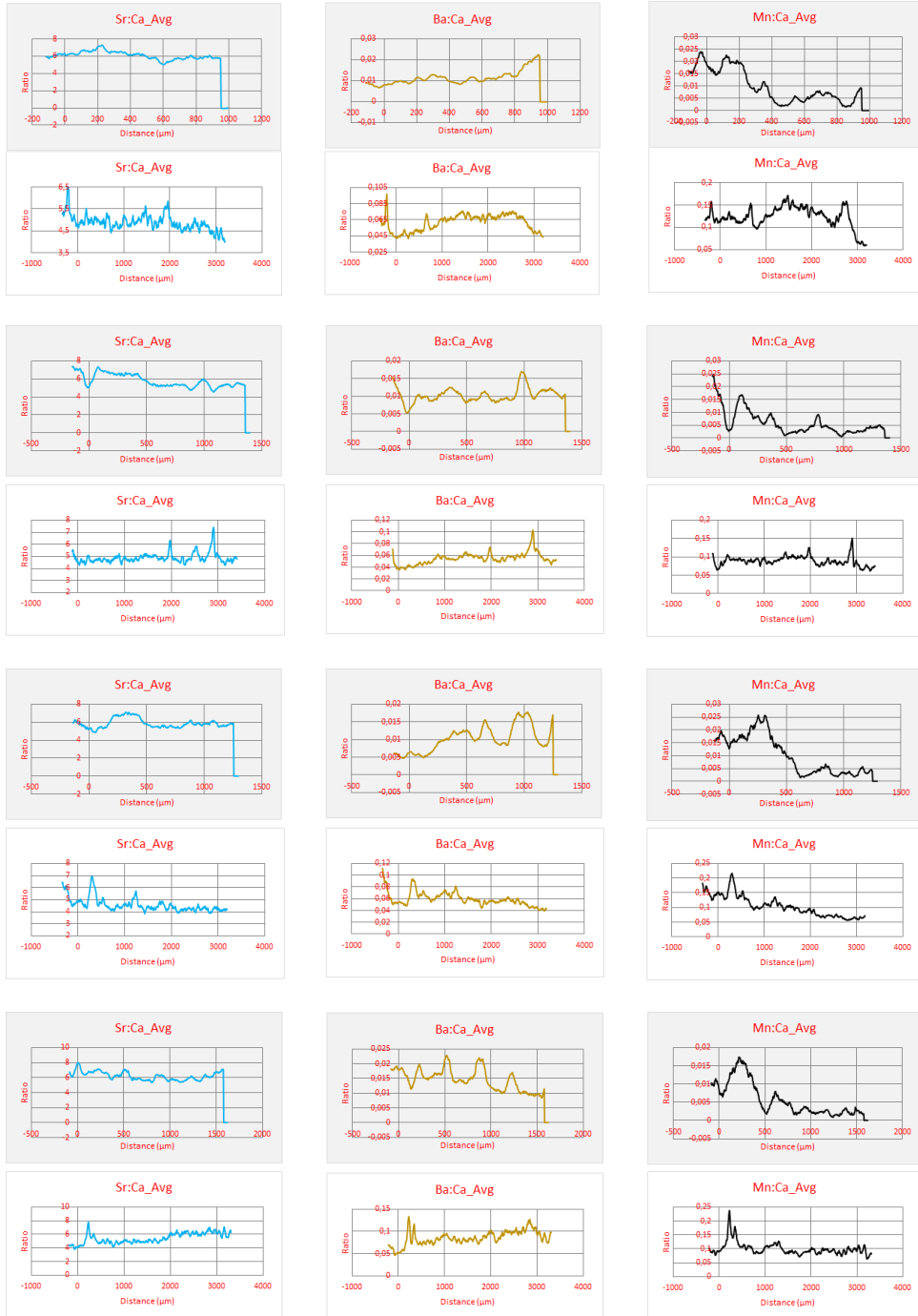
Profiler över kvoterna Sr:Ca, Ba:Ca och Mn:Ca för otolit (gråa grafer) respektive fjäll (vita grafer) från sex individer som utifrån Sr:Ca-kvoten i otoliten ligger under gränsvärdet $3,9 \times 10^{-3}$ inom intervallet 36-100 μm från otolitens kärna. Individerna antas därmed ha rekryterats i sötare vatten än de havslekande individerna vid Holmön. Samtliga profiler för Sr:Ca i otoliten påvisar även ett karaktäristiskt mönster med en stegring från initialt låga kvoter. Att värdena ändras så kraftigt mot slutet av profilen beror på att lasern passerat fjällets/otolitens ytterkant, och således kan ämnet inte längre detekteras.





Profiler över kvoterna Sr:Ca, Ba:Ca och Mn:Ca för otolit (gråa grafer) respektive fjäll (vita grafer) från fem havslekande individer från Holmön, vilka därmed har spenderat hela sitt liv i brackvatten. Samtliga profiler för Sr:Ca i otoliten har kvoter som överstiger $3,9 \times 10^{-3}$. Att värdena ändras så kraftigt mot slutet av profilen beror på att lasern passerat fjällets/otolitens ytterkant, och således kan ämnet inte längre detekteras.

Ursprung hos harr (Thymallus thymallus) i Bottenviken och Norra Kvarken



Ursprung hos harr (Thymallus thymallus) i Bottenviken och Norra Kvarken

