

Havørredsmoltenes migration i Limfjorden



DTU Aqua-rapport nr. 324-2017
Af Martin Lykke Kristensen
og Kim Aarestrup

Havørredsmoltenes migration i Limfjorden

DTU Aqua-rapport nr. 324-2017

Af Martin Lykke Kristensen og Kim Aarestrup

Tak

Vi ønsker at takke Limfjordssekretariatet og de lokale lystfiskerforeninger samt disses repræsentanter for samarbejdet omkring dette projekt. Derudover skal rettes en stor tak til DTU Aquas fiskeriteknikere Hans-Jørn Aggerholm Christensen og Jørgen Skole Mikkelsen samt ph.d.-studerende Kim Birnie-Gauvin for deres store bidrag i forbindelse med feltarbejdet.

Kolofon

Titel:	Havørredsmoltenes migration i Limfjorden
Forfatter:	Martin Lykke Kristensen og Kim Aarestrup
DTU Aqua-rapport nr.:	324-2016
År:	November 2017
Reference:	Kristensen, M.L. & Aarestrup, K. (2017). Havørredsmoltenes migration i Limfjorden. DTU Aqua-rapport nr. 324-2017. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 26 pp.
Forsidefoto:	Havørredsmolt. Fotograf: Bernt René Voss Grimm
Udgivet af:	Institut for Akvatiske Ressourcer, Vejlsøvej 39, 8600 Silkeborg
Download:	www.aqua.dtu.dk/publikationer
ISSN:	1395-8216
ISBN:	978-87-7481-244-9

Indhold

Sammenfatning.....	5
Indledning	7
Materialer og metoder	9
Fjorden og vandløbene.....	9
Hydrofonerne	10
Mærkning af smolt.....	11
Analyser	13
Resultater	14
Migration og overlevelse i vandløbene	14
Migrationen gennem Limfjorden	15
Overlevelse	17
Diskussion	18
Migration og overlevelse i vandløbene	18
Migrationen gennem Limfjorden	19
Overlevelse	21
Fremtiden for fjorden som ørredhabitat	22
Referencer	24

Sammenfatning

Denne rapport beskriver resultaterne fra projektet LIMSMOLT, der har til formål at undersøge havørredsmolts migration gennem Limfjorden.

Vandløbene der tilløber Limfjorden er blandt de mest produktive ørredvandløb i landet, og undersøgelser i øvrige dele af landet finder en stor andel af limfjordsfisk i fangsterne i mange områder uden at man dog ved hvor stor en andel af limfjordsfiskene der bevæger sig ud i de indre danske farvande.

Projektet LIMSMOLT blev derfor igangsat i foråret 2017 for at undersøge havørredernes adfærd i fjorden. Projektet er et samarbejde mellem DTU Aqua og Limfjordskommunerne formidlet gennem Limfjordsrådets sekretariat.

Der blev i alt mærket 101 smolt med individuelt kodede akustiske sendere. Koden bliver registreret når de passerede et netværk af hydrofoner opstillet i fjorden. De mærkede fisk var fra Karup Å og Simested Å, hvor de blev fanget og mærket i perioden 3.-6. april 2017.

Data fra smoltenes migration viser, at dødeligheden i vandløbene (0,5 % per km i Karup Å og ukendt i Simested Å) var normal sammenlignet med andre studier, og de fleste smolt gennemførte turen fra mærkningsstedet og ud til fjorden i løbet af 1-4 uger efter mærkningen.

Fiskenes ophold i fjorden var karakteriseret ved en højere dødelighed, idet kun 20 smolt overlevede turen gennem den, mens de resterende smolt angiveligt omkom på vejen. Generelt var den samlede dødelighed i fjorden dermed høj sammenlignet med andre danske fjorde.

De 20 smolt der forlod fjorden gjorde det alle i østlig retning i perioden 1. maj – 4. juli. Heraf forlod de 18 allerede fjorden inden 15. juni, og efter en tøvende start virkede alle fiskene til at migrere forholdsvis målrettet mod udmundingen i Kattegat. Elleve af smoltene der forlod fjorden var fra Karup Å, mens de resterende ni var fra Simested Å. En statistisk analyse fandt en statistisk signifikant sammenhæng mellem fiskenes længde og sandsynligheden for at de overlevede turen gennem fjorden, mens fiskenes kondition (forholdet mellem længde og vægt) og oprindelsesvandløb ikke havde statistisk signifikant effekt på overlevelsen.

Resultaterne viser, at smoltene tilsyneladende kun i mindre grad benytter Limfjorden som opvæksthabitat, samt at de alle vandrer mod den østlige udgang til Kattegat. Begge dele er overraskende, da en fjord på størrelse med Limfjorden burde kunne fungere som opvæksthabitat for havørreder som det ses andre steder. Samtidig har man ikke tidligere kunnet dokumentere en så entydig præference for valg af vandringsrute i laksefisk som i nærværende undersøgelse. Dette valg antages at skyldes en stadig eksisterende evolutionær tilpasning til at migrere mod øst, da den vestlige åbning først opstod i år 1825, mens strømforholdene i fjorden muligvis også kan spille en rolle hvis der eksempelvis er en generel østgående tendens under smolttrækket i foråret.

Forbedringer af havørredbestanden vurderes i første omgang at kunne målrettes mod sikring af smoltenes overlevelse i fjorden, hvilket vil sige at prædationstrykket reduceres enten gennem reducere af bestandene af prædatorer eller gennem habitatforbedringer der forbedrer smoltenes muligheder for at skjule sig i dagtimerne – især tæt på vandløbenes munding.

Generelt bidrager undersøgelsen med værdifuld viden om havørredernes adfærd i Limfjorden, samtidig med at den identificerer en række nye spørgsmål det vil være relevant at undersøge i fremtiden.

Indledning

Migration er en naturlig del af livscyklus hos havørred (*Salmo trutta*). Fiskene gyder og påbegynder deres liv i ferskvand, hvorfra størstedelen af dem på et tidspunkt vil foretage en migration mod havet som såkaldte *smolt*. Smoltmigrationen er et kritisk stadie i fiskenes livscyklus, og er af stor betydning for om den lokale bestand får succes (Elliott, 1994; Crisp, 2000; Jonsson og Jonsson, 2009).

Havørrederne gyder typisk et stykke oppe i vandløbssystemerne, da æggene kræver gode iltforhold i bundsubstratet, hvilket ofte findes heroppe (Crisp, 2000). Efter at være kommet frem fra gydegruset lever fiskene typisk 1-3 år i vandløbet, indtil de med en størrelse på 8-25 cm smoltificerer og vandrer ud i havet i løbet af foråret (Koed et al. 1997; Aarestrup 2001).

Ørredens kondition og størrelse er af betydning for migrationstidspunktet, og hurtigvoksende smolt migrerer typisk i en ung alder og lille størrelse, mens langsomtvoksende smolt typisk migrerer nogle år senere men til gengæld som større fisk (Økland et al. 1992). De største fisk migrerer generelt tidligst på sæsonen, mens de lidt mindre fisk typisk kommer senere på foråret (Bohlin et al. 1993; Bohlin et al. 1995).

Der er generelt stor forskel på ørredernes marine overlevelse alt efter hvilke forhold der møder fiskene når de begiver sig ud i fjord- og havområderne. Især de første dage eller sågar timer efter at smolten har forladt vandløbet er meget kritiske med potentielt høje dødeligheder mens fiskene omstiller sig til det marine miljø (Koed et al. 2006; Middlemas et al. 2009; Jepsen et al. 2006; Thorstad et al. 2016; Järvi 1989). Prædatorer, for eksempel skarv og sæl, kan derfor potentielt gøre stor skade på bestanden af laksefisk hvis de er til stede ved vandløbenes munding (Koed et al. 2006).

Da havørreder vender tilbage og gyder i de samme vandløb hvor de blev klækket, kan en bestand i et vandløb i løbet af generationer tilpasse sig de forhold bestanden møder på sin vej gennem vandløbet og i havet (Fraser et al. 2011). Et af de mere eksotiske eksempler på sådanne tilpasninger i laksefisk, er canadiske sockeyelaks (*Oncorhynchus nerka*) der kan orientere sig og migrere ved hjælp af jordens magnetfelt (Quinn og Brannon, 1982). Med sådanne evolutionære tilpasninger, kan vilde fisk opnå bedre overlevelse, hvilket især er tydeligt hvis man sammenligner med opdrættede og udsatte fisk som ikke er genetisk hjemmehørende på udsætningsstedet (Fraser et al. 2011; Thorstad et al. 2016; Aarestrup et al. 2002). Man har samtidig en hypotese om at fiskene kan tilpasses til at følge bestemte vandringsruter, men skønt man længe har vurderet at sådanne vandringsruter eksisterede, foreligger der kun meget lidt dokumentation og viden om dem (Healy et al. 2017).

På grund af havørredens store evne til at tilpasse sig lokale forhold over generationer, er der samtidig stor forskel på hvad smolt fra forskellige populationer vælger at gøre efter de første ugers akklimatisering i fjorde, afhængig af forholdene de møder. Ved et studie af postsmoltenes vandring i Randers Fjord fandt man, at alle smoltene forlod fjorden forholdsvis hurtigt, mens et lignende studie i Mariager Fjord fandt at de fleste postsmolt også forlod fjorden, mens en mindre del blev i den indre del af fjorden i en længere periode (Villar-Guerra et al. 2013; Aarestrup et al. 2014). I norske studier af havørredsmolts migration finder man som regel, at smoltene bliver i fjorden og vokser sig store der, og at norske havørreder tilbringer ofte en stor del af deres marine livscyklus

indenfor forholdsvis få kilometer af vandløbets munding (Thorstad et al. 2007; Finstad et al. 2005; Jensen et al. 2014; Rikardsen et al. 2004; Eldøy et al. 2015).

Limfjorden ligger, med en længde på ca. 160 km, på et størrelsesmæssigt niveau med de norske fjorde hvor smoltmigrationen har været undersøgt. De fysiske forhold i Limfjorden – herunder dybde, salinitet, bundsubstrat og temperatur – adskiller sig dog markant, idet Limfjorden er forholdsvis lavvandet med sandbund som det dominerende bundsubstrat, hvilket er en kontrast til de relativt dybe norske fjorde hvor der ofte er hårdt bundsubstrat og vegetation ned på relativt store dybder i det ofte klarere vand (Olesen 1996; Finstad et al. 2005; Renaud et al. 2007).

Skønt vandløbene der tilløber Limfjorden er nogle af de mest produktive ørredvandløb i Danmark, ved vi ikke meget om hvad der sker med ørrederne fra de forlader vandløbene til de vender tilbage som voksne fisk for at gyde. Tidligere studier hvor havørreder er blevet mærket og genfangstpositionen senere er blevet noteret antyder, at limfjordsørrederne er til stede i stort antal i de indre danske farvande (DTU Aqua, upubliceret). Genetiske analyser af havørreder fanget forskellige steder i Danmark finder ligeledes en stor andel af limfjordsørreder mange steder (Bekkevold, in prep.), men undersøgelser som disse kan heller ikke afklare hvor stor en del af limfjordsørrederne der rent faktisk forlader fjorden og hvor mange der tabes undervejs.

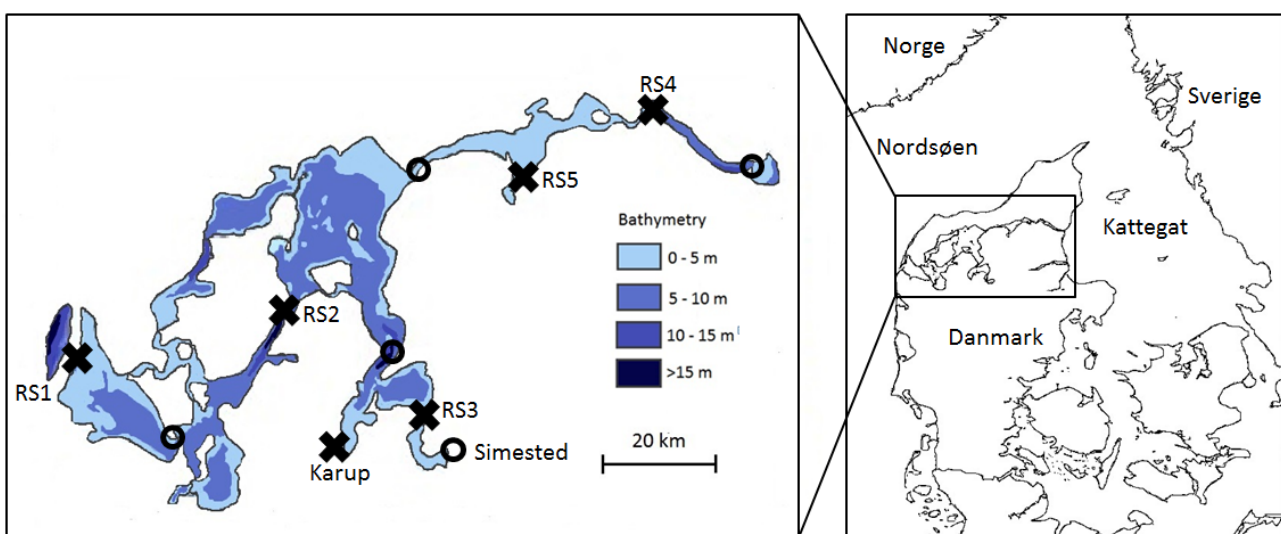
Projekt LIMSMOLT har undersøgt disse forhold ved at anvende akustisk telemetri på 101 smolt fra åerne Simested og Karup. Med akustisk telemetri er det muligt at se hvornår de mærkede fisk passerer en række hydrofoner der er opstillet på strategiske steder i fjorden. På den måde kan man få et bedre billede af ørredernes migration gennem fjorden, og samtidig se hvor mange der forlader den. Yderligere kan undersøgelsen hjælpe med at give en bedre forståelse af fjordens betydning for ørrederne og muligvis identificere udfordringer som eventuelt kan udbedres for at fremme bestanden i fjorden og i de vandløb der tilløber den.

Materialer og metoder

Fjorden og vandløbene

Limfjorden er cirka 160 km lang og er åben mod havet ved Thyborøn i vest og Hals i øst. Den vestlige åbning opstod først ved en stormflod i 1825, men er blevet vedligeholdt siden da (Meesenburg 1996).

Fjorden er generelt karakteriseret ved lave vanddybder på 0-15 meter, og har sin maksimale dybde på 24 meter ved Hvalpsund (Figur 1). Med åbningerne i øst og vest forbinder fjorden den saltholdige Nordsø med det mere brakke Kattegat, og der er således en salinitetsgradient fra 30-33 PSU i vest til 20-25 PSU i øst.



Figur 1. Kort over Limfjorden og de danske farvande med indtegning af de automatiske lyttestationers (RS) position. Cirklerne markerer forsvundne lyttestationer, mens krydsene markerer lyttestationer der er inkluderet i datasættet. Dybde data fra DTU Aquas Skaldyrcenter

Forholdene i fjorden er påvirket af kontakten mellem den saltholdige Nordsø mod vest og det mere brakke Kattegat mod øst, hvilket generelt medfører at saliniteten er højere i den vestlige Limfjord, skønt værdierne svinger meget afhængig af vejr- og strømforholdene. Fjorden kan derfor også skifte mellem at være lagdelt med et springlag forårsaget af temperatur eller salinitet eller omrørt helt til bunden alt efter vejrforholdene i en given periode (Hofmeister et al. 2009). En kraftig indstrømning af saltholdigt vand fra Nordsøen i juli 2017 forårsagede eksempelvis en lagdeling af vandsøjlen i store dele af fjorden da det tunge, saltholdige nordsøvand lagde sig på bunden uden at blive omrørt med det lettere og mere ferske overfladevand. Denne situation skabte gode forhold for iltsvind, og et forholdsvis kraftigt iltsvind indtraf således i Risgårde Bredning, Lovns Bredning og Hjarbæk Fjord i løbet af juli måned (Hansen et al. 2017).

Iltsvind er generelt blevet mere almindeligt i fjorden efterhånden som de økologiske forhold i fjorden blev ændret i løbet af det 20. århundrede, hvor en forøget udvaskning af næringsstoffer førte til kraftigere algeopblomstringer og reduceret udbredelse af vegetation såsom ålegræs på bunden (Olesen 1996, Markager et al. 2006). Udledningen af næringsstoffer til fjorden er dog

reduceret siden da, og udbredelsen af ålegræs har været i fremgang igen i dele af fjorden de sidste 10 år (Hansen 2015; Clausen og Balsby 2015).

Fjorden har en bestand på cirka 2.400 spættede sæler (*Phoca vitulina*) og et ukendt antal skarv (*Phalacrocorax carbo*) som kan prædere på ørredsmolt (Andersen et al. 2007; dr.dk 2013). I de senere år har den noget større gråsæl (*Halichoerus grypus*) desuden gjort sit indtog i fjorden. Både sæler og skarver er observeret i større antal ved fjordens smalle områder som eksempelvis Virksund-dæmningen, hvor postsmoltene fra Simested må passere på vej ud af Hjarbæk Fjord. Samtidig er sælerne observeret langt oppe i både Karup Å og Simested Å.

Karup Å er Danmarks 8. største vandløb med en længde på 92 km, et opland på 763 km² og en gennemsnitlig vandføring på 9.300 l/s mens Simested Å er lidt mindre med en længde på 34 km, et opland på 241 km² og en gennemsnitlig vandføring på ca. 2.000 l/s (Ovesen et al. 2000; regulativ for Simested Å). Begge vandløb har et eftertragtet fiskeri efter havørred og producerer store mængder ørreder hvert år (www.kort.fiskepleje.dk).

Hydrofonerne

18 hydrofoner blev opstillet i Limfjorden på strategisk udvalgte steder, så det var muligt at se om fiskene havde passeret forbi (Figur 1). Hydrofonerne var af mærket Vemco VR2W 69 KHz (vemco.com/products/vr2w-69khz) som kan detektere de anvendte mærker på en afstand på cirka 350 meter.

Der blev desuden opstillet hydrofoner ved indgangen til Mariager og Randers fjorde samt ved Øresund for at undersøge om fiskene trak her hen efter at have forladt Limfjorden.

Hydrofonerne blev placeret ved smalle områder i fjorden på en måde så fiskene ikke kunne passere gennem dette område uden at blive detekteret. Derved var det muligt at se hvilken del af fjorden fiskene havde opholdt sig i samt hvor længe de havde opholdt sig der.

Hydrofonerne blev ophængt på faste strukturer såsom broer, havneanlæg eller lignende hvor dette var muligt og ellers under en bøj (Figur 2).



Figur 2. Bøje med ophængt hydrofon. Der var udfordringer med at disse bøjer forsvandt i løbet af studiet.

Opsætningen af hydrofonerne på bøjer viste sig at være forbundet med problemer i Limfjorden, da flere af bøjerne forsvandt i løbet af forsøgsperioden med datatab til følge.

Hydrofonerne blev opstillet i september 2016, januar 2017 og april 2017 og tømt for data 9. – 11. august 2017. 26. maj blev det konstateret, at hydrofonen ved Simested var væk, og en erstatning blev sat op ved åens munding 29. maj. Der blev ikke registreret nogen smolt på denne hydrofon fra 30. maj til den blev tømt for data 9. august.

Systemet fungerede hensigtsmæssigt de steder hvor hydrofonerne forblev på deres plads, og ingen fisk fra Simested blev registreret ved Aalborg uden tidligere at være blevet registreret ved Sundstrup, mens en enkelt fisk fra Karup Å blev registreret ved Aalborg uden tidligere at være blevet registreret ved åens munding. Den manglende registrering af denne fisk i åen kan skyldes, at fiskene ofte kom i stimer, hvilket kan resultere i at nogle af mærkerne udsender deres ID-kode samtidig, hvorved hydrofonen kun fanger få eller en kode. Hvis fiskene er vandret direkte forbi munden, har mærket således ikke kunnet nå at sende en ny ID-kode (dette sker med variabel frekvens hvert 30-90. sekund) inden fisken har været uden for hydrofonens rækkevidde. Risikoen for manglende detektion er således størst i vandløbet, da fiskene er mere samlede her og da hydrofonens rækkevidde er kortere i åen.

Mærkning af smolt

50 smolt blev mærket i Karup Å og 51 smolt blev mærket i Simested Å med et Thelma Biotel 7,3 mm akustisk telemetrimærke (www.thelmabiotel.com/index.php?pageId=558).

Mærkerne udsender deres ID hvert 30-90. sekund, hvilket bliver opfanget af hydrofonerne hvis de er inden for rækkevidde. Mærkerne sender med en styrke på 139 dB re 1 uPa ved 1 m, hvilket giver en forventet rækkevidde på ca. 350 meter i roligt vejr.

Den fabriksgaranterede batterilevetid for denne type telemetrimærke var 114 dage, mens den forventede batterilevetid var 190 dage. Der var derfor fabriksgaranti for at mærkerne sendte indtil 23. juli mens de forventedes at sende indtil 10. oktober.

Smoltene blev elektrofisket i vandløbet af en erfaren tekniker fra DTU Aqua og kun fisk med en længde på minimum 13 cm med fremskreden smoltificering og sølvfarvning blev udvalgt til mærkning. Dette var for at sikre, at fiskene var store nok til at bære mærket uden gener samt for at sikre, at den størst mulige proportion af de mærkede smolt vandrede mod havet efter mærkningen.



Figur 3. Mærkning, måling og vejning af smolt

Mærkningen foregik ved, at fiskene blev bedøvet i en benzokain 300 ppm opløsning indtil vejrtrækningen blev langsom og irregulær (normalt 4 ± 2 minutter). Herefter blev fiskene målt og vejet inden en erfaren fiskekirurg indopererede det elektroniske mærke i bughulen på fisken i overensstemmelse med retningslinjerne beskrevet i tilladelse 2012-DY-2934-00007 fra Dyreforsøgstilsynet. Mærket blev indsat gennem et 2-4 mm langt snit som efterfølgende blev lukket med 2-3 sting inden fisken blev lagt til genopvågning i friskt vand. Selve operationen varede 1-2 minutter og efter fuldstændig opvågning blev fisken genudsat. Den samlede procedure fra opfiskning til genudsætning varede 10-20 minutter.

Længde og vægt-data for de mærkede fisk kan ses i tabel 1.

Vandløb	Mærkede fisk	Længde, SA (range)	Vægt, SA (range)
Simested	51	15,3 cm, 1,8 (13,2 – 20,1)	33,5 g, 12,9 (19,0 – 69,2)
Karup	50	16,0 cm, 1,8 (14,0 – 23,0)	40,9 g, 17,7 (25,6 – 111,8)

Table 1. Oversigt over de mærkede fisks vægt og længde med standardafvigelse og observeret spænd (mindste til største mærkede fisk). De mærkede smolt fra Karup var generelt lidt større (0,7 cm længere og 7,4 g tungere i gennemsnit) end smoltene fra Simested.

Smoltene fra Karup Å blev opfisket og mærket 5. april på en kort strækning i Haderis Å, 32 km fra munden af Karup Å. Der var væsentligt større udfordringer med at finde det nødvendige antal smolt i Simested Å, da de fleste fisk her var bækørreder og kun en mindre proportion var smoltificerede. Der blev derfor mærket syv smolt 37 km fra munden 3. april, 10 smolt 31 km fra munden 4. april og 34 smolt en km fra munden 6. april.

Analysen

Data blev downloadet fra hydrofonerne og gemt i en samlet database. Til den videre analyse blev fjorden betragtet som området mellem RS1, RS3, RS4 og munden ved Karup Å, og en registrering af en fisk ved en hydrofon blev tolket som at fisken havde passeret hydrofonen. Det oprindelige set-up indebar inddeling af fjorden i seks sektioner, men på grund af forsvundne hydrofoner var det nødvendigt at reducere opdelingen for at udelukke, at fisk ikke havde bevæget sig mellem sektionerne uden at blive registreret.

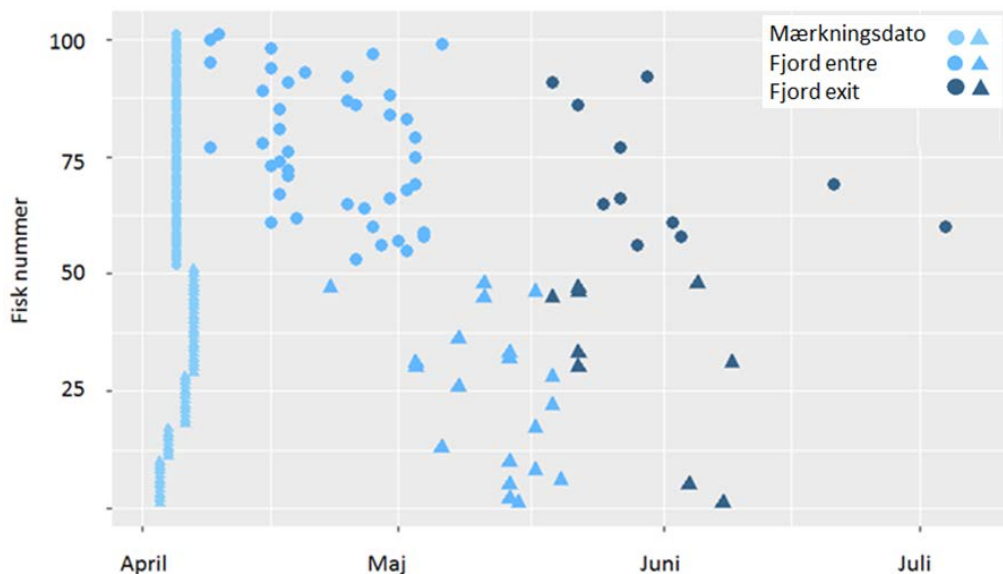
Fiskenes migrationshastighed blev beregnet som den kortest mulige vej afstand to hydrofonpositioner delt med den tid der var gået mellem registreringen på de to hydrofoner.

Logistisk regressionsanalyse blev brugt til at undersøge om vandløb, længde og kondition (forholdet mellem vægt og længde) havde indflydelse på hvilke fisk der forlod fjorden.

Resultater

Migration og overlevelse i vandløbene

Ud af 50 smolt forlod 42 smolt Karup Å, i perioden 9. april – 3. maj (Figur 4). Den hurtigste fisk var fremme ved åens munding 50 timer efter mærkningen, hvorefter den forblev ved munden i en uge inden den trak ud i fjorden. Den hurtigste migrationshastighed ned til munden af åen var derfor 14,8 km/dag eller 1,15 kropslængder/sekund (kl/s).



Figur 4. Registreringer på hydrofoner i Limfjorden. Fisk nummer 0-51 er fra Simested (trekanter) og fisk 51-101 er fra Karup (cirkler). Den sidste registrering i hele fjorden fandt sted 4. juli, længe før hydrofonerne blev tømt for data 9.-11. august.

Den første smolt der bevægede sig ud i fjorden var tæt fulgt af tre andre om aftenen d. 9. april, hvorefter der fulgte en uges stilhed inden de øvrige smolt begyndte at ankomme ved fjorden. Den gennemsnitlige migrationshastighed fra mærkningsstedet til åens munding for alle 42 fisk var 2,4 km/dag eller 0,18 kropslængder/sekund.

84 % af smoltene overlevede de 32 km fra mærkningsstedet i Haderis Å til munden af Karup Å, hvilket svarer til en dødelighed på 0,5 % per km i vandløbet.

Smoltudtrækket fra Simested Å kan ikke dokumenteres direkte, da hydrofonen ved åens munding var forsvundet da den skulle tømmes for data 26. maj. Der blev sat en ny hydrofon ved åens munding 29. maj, som dog ikke registrerede nogen smolt, så udtrækket har været afsluttet senest 29. maj.

De Simested-fisk der overlevede de 11,2 km gennem Hjarbæk Fjord blev dog registreret når de forlod denne ved Virksund/Sundstrup, hvilket 20 af dem gjorde. Samtlige 20 registreringer ved Virksund/Sundstrup fandt sted i perioden 23. april – 20. maj.

Fjorten (70 %) af de Simested-fisk der blev registreret ved Virksund/Sundstrup var blevet mærket 1,0 km fra åens munding, fire (20 %) af fiskene var blevet mærket 31 km fra åens munding mens de sidste to (10 %) var blevet mærket 37 km fra åens munding.

Overlevelsen fra mærkningsstedet til Virksund/Sundstrup var derfor 41 % (14/34) for de fisk der blev mærket 1,0 km fra åens munding, 40 % (4/10) for de fisk der blev mærket 31 km fra åens munding og 29 % (2/7) for de fisk der blev mærket 37 km fra åens munding.

Hydrofonen ved RS5 var opstillet ved munden til Halkær Bredning for at undersøge om fiskene trak derind på deres vej gennem fjorden. Der blev dog ikke registreret nogen smolt ved RS5, og de fisk der forlod fjorden har således holdt sig i Nibe Bredning.

Migrationen gennem Limfjorden

Afstanden fra munden i Karup Å til hydrofonerne ved Sallingsund var 47 km, mens afstanden fra åens munding til hydrofonerne i Aalborg var 93 km.

En enkelt fisk blev registreret ved Sallingsund på vej mod vest 3. maj, men blev ikke registreret igen efterfølgende.

To fisk fra Karup blev registreret ved Virksund/Sundstrup på vej ind i Hjarbæk Fjord 9. maj og 22. maj. Den ene forlod fjorden igen 46 timer senere og blev efterfølgende registreret ved Aalborg fem dage senere, mens den anden ikke blev registreret igen og derfor må være blevet i Hjarbæk Fjord eller omkommet derinde.

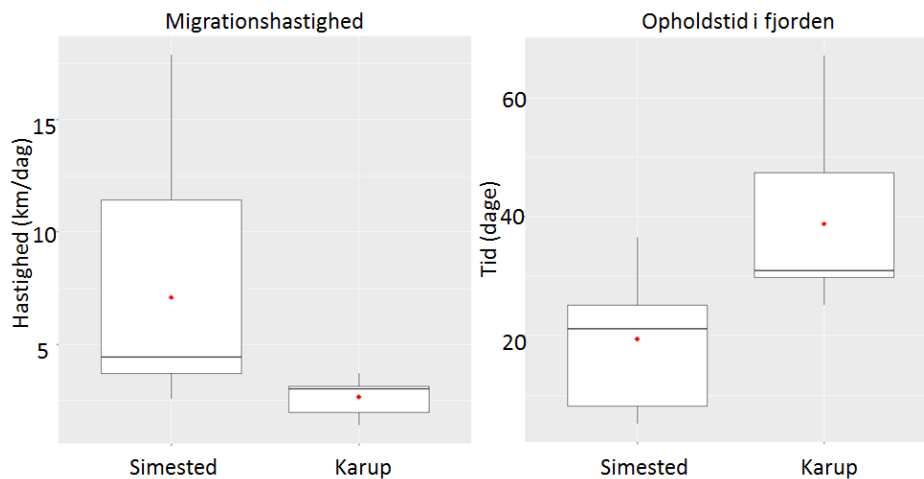
Elleve fisk fra Karup Å blev registreret ved Aalborg i perioden 19. maj – 4. juli. Ni af disse registreringer fandt sted i perioden 19. maj – 3. juni, mens de to sidste fisk ankom ved Aalborg 21. juni og 4. juli. De 11 fisk der blev registreret ved Aalborg blev ikke registreret i fjorden sidenhen, og formodes derfor at have forladt den mod øst.

Afstanden mellem Virksund/Sundstrup og hydrofonerne i Sallingsund var 45 km, mens afstanden fra Sundstrup til Aalborg var 91 km.

Ni fisk fra Simsted blev registreret ved Aalborg i perioden 19. maj – 9. juni. Disse fisk blev heller ikke registreret i fjorden sidenhen, og forventes ligeledes at have forladt den mod øst.

Den gennemsnitlige hastighed gennem fjorden var 2,8 km/dag eller 0.20 kl/s (SD = 0.05 kl/s) for Karup-fiskene (Figur 5). Dette dækker over den tid det tog fiskene at bevæge sig fra åens munding til Aalborg, hvilket er omtrent 93 km.

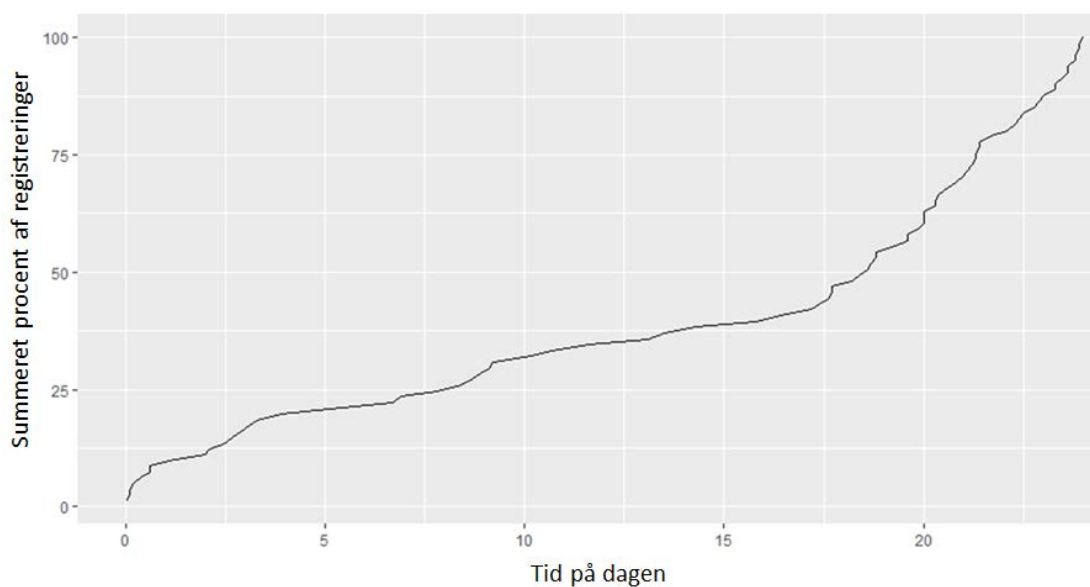
Hastigheden for Simsted-fiskene dækker over de 91 km fra Virksund/Sundstrup til Aalborg, da de første 11,2 km i Hjarbæk Fjord ikke kan inkluderes i beregningen på grund af den tabte hydrofon ved åens munding. Hastigheden fra Virksund/Sundstrup til Aalborg var således 6,9 km/dag eller 0,44 kl/s (SD = 0,28 kl/s) eller 2,5 gange højere end hastigheden for Karup-fiskene. Det bør noteres, at disse hastigheder ikke er sammenlignelige, da Hjarbæk Fjord ikke er inkluderet for Simsted-fiskene, hvilket har stor betydning, da fiskene antageligvis har migreret langsomt i begyndelsen af fjord-opholdet, som det er set andre steder (Thorstad et al. 2004; Nathan et al. 2008; Koed et al. 2006; Jepsen et al. 2006; Middlemas et al. 2009).



Figur 5. Migrationshastighed og opholdstid i fjorden for Karup- og Simested-fiskene. Bemærk, at fjorden er defineret som området mellem Karup Å og RS1, RS3 og RS4. Hastigheden er dermed ikke sammenlignelig mellem fiskene fra de to vandløb, da Simested-fiskene først detekteres ved RS3 (Sundstrup) 11,2 km fra åens munding.

80,2 % af alle registreringerne i vandløb og fjord fandt sted mellem klokken 16 om eftermiddagen og 04 om natten (Figur 6), og fiskene var således mindst aktive om morgenen og midt på dagen.

Dette var specielt udtalt for registreringerne i åen, hvor 90,2 % af alle registreringerne fandt sted i perioden fra 16-04, mens tallet var 72,5 % for registreringerne i fjorden.



Figur 6. Summeret procent af registreringerne i forhold til tidspunkt på dagen. De fleste registreringer fandt sted mellem klokken 16 og 04, hvilket fremgår af den noget stejle hældning på figuren i dette tidsrum. I dagtimerne var der til gengæld ikke meget aktivitet.

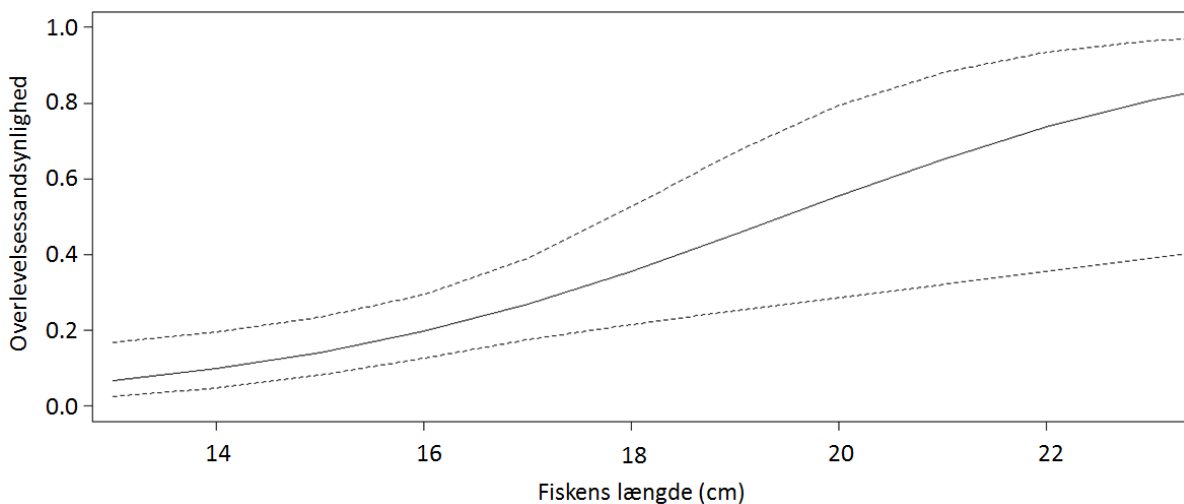
Overlevelse

Den samlede overlevelse i både fjord og vandløb var 18 % for Simested-fiskene (ni ud af 51) og 22 % for Karup-fiskene (11 ud af 50) når det antages, at alle fiskene forsøgte at forlade både vandløb og fjord samt at der ikke var flere der forlod fjorden efter afladning af hydrofonerne 9.-11. august.

Overlevelsen i fjorden var 26,2 % for Karup-fiskene (11 ud af 42) mens overlevelsen fra Virksund/Sundstrup og ud af fjorden var 45 % (ni ud af 20) for Simested-fiskene. Igen er disse to andele ikke direkte sammenlignelige, da der ikke foreligger data for smoltoverlevelse for den første vandring fra Simested Å gennem Hjarbæk Fjord.

Dødelighedsraten var 0,5 % per km i åen og 0,8 % per km i fjorden for Karup-fiskene. Værdierne varierer blandt Simested-fiskene, da disse blev mærket tre steder med forskellige afstande til åens munding (1,0 km N=34, 31 km N=10 og 37,0 km N=7). Dødelighedsraten for fiskene fra de tre mærkningssteder og ud til Virksund/Sundstrup var 5,3 % pr km (mærket 1,0 km fra munden), 1,4 % pr km (mærket 31 km fra munden) og 1,4 % pr km (mærket 37 km fra munden) hvilket indikerer, at dødeligheden i Hjarbæk Fjord var meget høj sammenlignet med åen. Samtidig var dødeligheden også højere end i resten af fjorden (fra Virksund/Sundstrup til Aalborg) hvor dødeligheden var 0,6 % pr km.

Logistisk regresionsanalyse blev brugt til at analysere om fiskenes længde, kondition (beregnet som den såkaldte Fultons konditionsfaktor $k = 100 \frac{vægt}{længde^3}$) og vandløbsoprindelse havde indflydelse på deres chancer for at overleve fra mærkningsstedet og ud af fjorden (Figur 7). Her havde længde en signifikant positivt korreleret betydning med $P = 0,003$ mens fiskenes kondition og oprindelsesvandløb ikke var signifikante ($P = 0,56$ og $0,68$). Modellens R^2 værdi var 0,33, og variablene blev testet for co-linearitet.



Figur 7. Modelleret overlevelsessandsynlighed gennem vandløb og fjord i forhold til fiskenes længde i cm. De stiplede linjer angiver modellens 95 % konfidensintervaller.

Diskussion

Migration og overlevelse i vandløbene

Migrationshastigheden i Karup Å var i gennemsnit 2,4 km/dag, hvilket er noget langsommere end de 36,9 km/dag der blev observeret i Gudenåen af Aarestrup et al. (2014) og de 23 km/dag (i år 1999) og 14 km/dag (i år 2000) som blev fundet i Lilleåen af Aarestrup et al. (2002). Her skal det bemærkes, at smoltene i nærværende studie er fanget ved elfiskeri, mens de øvrige studier har anvendt smoltfælder, hvilket kan betyde, at de øvrige studier generelt har fanget smolt der helt sikkert er i gang med at vandre, mens nærværende studie også inkluderer fisk som er smoltificeret men ikke nødvendigvis begyndt at vandre endnu. De hurtigste Karup-fisk migrerede gennem åen med en hastighed på 14,8 km/dag, hvilket er noget lavere end de 97 km/dag der blev registreret for den hurtigste fisk hos Aarestrup et al. (2002) i Gudenåen. Hastigheden i Karup er dog på niveau med den hastighed fiskene migrerede med i Lilleåen hos Aarestrup et al. (2014) inden de nåede ud i Gudenåen. Forskelle i vandføringshastigheden og vandløbenes udformning i de forskellige vandløb har umiddelbart meget at sige for migrationshastigheden, og denne var da også netop koblet til vandføringen hos Aarestrup et al. (2002). Det vurderes derfor, at hastighedsforskellen mellem smoltene i de forskellige studier i højere grad skal tilskrives forskelle i fangstmetode, vandstrømningshastighed og vandløbsmorfologi end egentlige adfærdsforskelle hos fiskene.

De store forskelle i migrationshastighed gennem Karup Å (1,0-14,8 km/dag) antyder, at fiskene bruger en stor del af tiden på at være stationære, mens de kan migrere forholdsvis hurtigt når de beslutter sig for det.

Smolt-overlevelsen i Karup Å til udmundingen var 84 %, og der var en dødelighed på 0,5 % pr km. Dette er en højere dødelighed end de 0,19 % og 0 % der blev observeret af Aarestrup et al. (2014) i Gudenåsystemet i 2003 og 2005, og kan muligvis tilskrives højere prædation i Karup Å fra eksempelvis oddere, skarver og sæler som alle findes i åen ifølge lokale kilder.

Det kan desuden ikke udelukkes, at nogle af smoltene har afbrudt deres vandring og forblevet i vandløbet, hvorved de fejlagtigt er blevet betragtet som værende døde.

Smolt-overlevelse i Simested Å kan ikke beregnes direkte på grund af den forsvundne hydrofon ved munden, men baseret på tallene fra Virksund/Sundstrup, er overlevelsen i selve vandløbet sandsynligvis højere end i Karup Å. Med en nogenlunde ensartet overlevelse til Virksund/Sundstrup på 41 % for fiskene der blev mærket 1,0 km fra munden, 40 % for dem der blev mærket 31 km fra munden og 29 % for dem der blev mærket 37 km fra munden, fremstår dødeligheden i Simested Å umiddelbart lav, selvom der må påregnes en vis usikkerhed med så få fisk med i betragtningen. I modsætning til i Karup Å, blev der desuden konstateret en stor bestand af bækørreder i Simested Å, og det skønnes at fisk der eventuelt har afbrudt migrationen i vandløbet, har bedre chancer for at overleve til næste smoltudtræksperiode i Simested Å.

Migrationen gennem Limfjorden

Hastigheden gennem fjorden var 2,8 km/dag for Karup-fiskene og 6,9 km/dag for Simested-fiskene (fra Virksund/Sundstrup). Dette er i den lave ende i forhold til eksempelvis Randers Fjord, hvor lignende undersøgelser fandt migrationshastigheder på 12,9 km/dag i gennemsnit eller 15 km/dag i den indre og mest smalle del af fjorden og 5 km/dag i den ydre og bredere del af fjorden (Aarestrup et al. 2001; Aarestrup et al. 2014). Smoltene i Randers Fjord har dog kunnet drage fordel af en udadgående overfladestrøm i den relativt smalle fjord som følge af Gudenåens tilførsel af ferskvand. Limfjordens strømningsforhold er mere varierede, som følge af de mange små fjorde/bredninger, og strømretningen drives i højere grad af vejrforholdene (Hofmeister et al. 2009).

Den store forskel på migrationshastigheden mellem Karup- og Simested-fiskene skyldes formentlig, at migrationen ofte er langsom og dårligt retningsbestemt i begyndelsen af fiskenes marine ophold, hvilket er dokumenteret flere gange i andre studier (Thorstad et al. 2004; Nathan et al. 2008; Koed et al. 2006; Jepsen et al. 2006; Middlemas et al. 2009).

Denne hypotese understøttes af at Simested-fiskene i gennemsnit ankommer ved Virksund/Sundstrup 20 dage senere end Karup-fiskene ankommer ved munden af Karup Å, skønt 34 af Simested-fiskene blev mærket blot en km fra åens munding. Såfremt der lægges 20 dage til Simested-fiskenes migrationstid gennem fjorden, fås således en gennemsnitlig migrationshastighed for disse fisk på 2,8 km/dag, hvilket er præcist det samme som Karup-fiskenes gennemsnitshastighed.

Det var forventet, at en del af fiskene ville blive i Limfjorden for at vokse sig store der. Dette mønster ses konsekvent i norske fjorde, hvor postsmolt ofte opholder sig få km fra vandløbets munding i lang tid, og kun sjældent forlader fjorden helt – selv som voksne fisk (Rikardsen et al. 2004; Thorstad et al. 2007; Jensen et al. 2014; Eldøy et al. 2015; Thorstad et al. 2016). I Danmark har der været observeret lignende tendenser i den mellemstore Mariager Fjord, hvor en del af postsmoltene blev i den indre del af fjorden (del Villar-Guerra et al. 2013) mens samtlige postsmolt forlod den mindre Randers Fjord, hvor strømforholdene desuden er mere entydigt udadgående (Aarestrup et al. 2014).

Limfjorden er størrelsesmæssigt på niveau med de norske fjorde hvor ørredmigrationen har været undersøgt. Da samtlige fisk forlod den lille Randers Fjord, en del blev i den lidt større Mariager Fjord og næsten alle blev i de store norske fjorde, var det oplagt at forvente, at Limfjorden kunne fungere som væksthabitat for en del af postsmoltene.

Med den forholdsvis direkte migration der observeres i Limfjorden, hvor fiskene tilsyneladende ankommer indenfor et begrænset tidsrum ved hver station (Figur 4) ser det ud til, at alle fiskene har forsøgt at forlade fjorden og kun i begrænset omfang benytter fjorden som opvæksthabitat. Således observeres der ingen mærkede fisk hverken i Karup efter 3. maj, ved Virksund/Sundstrup efter 20. maj, ved Sallingsund efter 3. maj eller ved Aalborg efter 4. juli.

Dette understøttes af, at kun 20 fisk fra Simested blev registreret ved Virksund/Sundstrup, og at ingen fisk vendte tilbage i Simested Å og blev registreret på den logger der blev opstillet 30. maj selvom der opstod iltsvind i Hjarbæk Fjord i løbet af juli (Hansen et al. 2017). Såfremt vi ikke havde registreret fiskene fordi de anvendte Hjarbæk Fjord som opvækstområde, burde de være blevet

registreret enten ved åens munding eller ved Sundstrup når de forsøgte at undvige iltsvindet i juli måned.

Det kan selvfølgelig ikke udelukkes, at nogle fisk er blevet i fjorden uden at have passeret hydrofonerne inden afladningen 9.-11. august, men undersøgelsen tegner generelt et billede af Limfjorden som værende meget lidt anvendt som opvæksthabitat for ørredpostsmolt.

Det er vanskeligt at udpege en direkte årsag til dette på baggrund af det eksisterende datasæt, men tilbagevendende iltsvind og høje prædationsrater kan formentlig være medvirkende til, at bestanden tilpasses til at forlade fjorden i og med, at de fisk der bliver i fjorden omkommer. Det kunne være relevant at gentage undersøgelsen med et set-up hvor udstyret ikke forsvinder, eller at mærke smolt fra flere forskellige vandløb lokaliseret forskellige steder i fjorden for at se om billedet er det samme i hele fjorden.

Det er desuden bemærkelsesværdigt, at samtlige fisk der forlod fjorden, gjorde dette i østlig retning mod Kattegat, selvom vejen ud af fjorden er omtrent 20 km længere end i vestlig retning. Vi skønner, at dette strategivalg skyldes en evolutionær tilpasning hos fiskene, da åbningen mod vest først opstod under en stormflod i år 1825 (Meesenburg 1996). De generelle strømforhold i fjorden kan desuden spille en rolle, da strømmen generelt følger vindforholdene og dermed ofte går i østlig retning (e-learning.skaldyrcenter.dk/vandmiljoe/limfjordens-hydrodynamik), men det har pt. ikke været muligt at fremskaffe strøm-data for fjorden i studieperioden. Den lavere salinitet i Kattegat (20-25 PSU) i forhold til Nordsøen (30-33 PSU) kan også bidrage til at fastholde populationens østvendte migration, om end de forholdsvis små fysiologiske fordele ved at opholde sig i det mere brakke Kattegat burde have begrænset betydning sammenlignet med betydningen af eksempelvis prædation og fødetilgængelighed (Baeuf og Payan 2001; Morgan og Iwama 1991; Morgan og Iwama 1999). Her kunne det være interessant at mærke et antal smolt fra vandløb i den vestlige Limfjord og se om bevægelsen mod øst er den samme hos disse fisk. Samtidig kunne det være relevant at undersøge adfærden hos ørreder fra mindre vandløb for at se om fiskene derfra foretager samme bevægelse ud af fjorden mod øst eller om en større andel af disse fisk eventuelt bliver i fjorden.

Lokale tilpasninger er udbredte hos havørreder, da bestandene ofte er genetisk adskilte, og derfor har muligheden for at tilpasse sig de forhold fiskene møder i deres livscyklus (Fraser et al. 2011). På trods af udsætning af hundredetusindvis af ikke hjemmehørende smolt gennem anden halvdel af det 20. århundrede, er ørredbestandene i Karup Å og Simsted Å er i dag meget identiske med bestandene fra 1910 og 1950 (www.fiskepleje.dk/fiskebiologi/populationsgenetik/status/oerred). Genetiske analyser har således afsløret, at bare 6 % af variationen i genpuljen hos Karup-fiskene og ingen eller en meget lille del af variationen i genpuljen hos Simsted-fiskene stammer fra de ikke-hjemmehørende smolt, og der er således basis for at lokale adaptationer i bestandene har kunnet forblive intakte.

Det er endnu ikke dokumenteret et tilsvarende tydeligt eksempel på en fælles marin migrationsrute for havørredpostsmolt i litteraturen, og selvom der har været mange indikationer på at de findes. Healy et al. (2017) har dokumenteret, at canadiske steelhead (*Salmo gairdneri*) postsmolt kan benytte sig af fælles migrationsruter i havet. Postsmoltenes migration i Limfjorden er derfor både interessant og unik for ørred, både nationalt og internationalt, og spørgsmålet er, om andre bestande i Limfjorden har andre tilpasninger.

Skønt limfjordsvandløbene er nogle af de mest produktive ørredvandløb i landet, er det påfaldende, at fiskene derfra er så talstærkt repræsenterede ved undersøgelser af havørreders oprindelse i fangster i de indre danske farvande (Bekkevold, in prep.). Tidligere har studier med carlinmærkning af ørreder hvor mærkerne returneres af fiskere ved fangst, vist samme billede (DTU Aqua, upubliceret). Disse resultater giver god mening i lyset af nærværende undersøgelse, i og med at Karup og Simested åernes produktion af havørredsmolt angiveligt forlader fjorden mod øst.

I forhold til migrationstidspunktet, var antallet af observationer i Karup Å og Limfjorden størst mellem klokken 16 og 04 (Figur 6). Lignende mønstre er tidligere observeret i øvrige studier af smolt- og postsmoltmigration (Aarestrup et al. 2002; Aarestrup et al. 2014). Fiskene synes dermed primært at migrere om aftenen og natten hvor især migration om natten vil medføre at fiskene er mindre udsat for prædation. Der mangler detaljerede studier af postsmolts migrationsadfærd i høj opløsningsgrad, så det er svært at vurdere hvad den reducerede aktivitet om morgenen og eftermiddagen skyldes. Såfremt fiskene holder pause eller skjuler sig i dette tidsrum, vil en større tilgængelighed af skjul i fjorden dog hjælpe fiskene med at undgå prædatorer.

Overlevelse

De rapporterede overlevelser er minimumsværdier, da enkelte fisk kan have passeret hydrofonerne uden at blive registreret, eller nogle fisk kan være blevet i fjorden og overlevet. Samtidig må en fisk der har fået indopereret et elektronisk mærke forventes at have de samme eller lidt dårligere overlevelseschancer end umærkede fisk.

Den observerede overlevelse i fjord og vandløb på 18 % for Simested-fiskene (9 ud af 51) og 22 % for Karup-fiskene (11 ud af 50) ligger et stykke fra Mariager Fjord, hvor 53 % af smoltene overlevede turen ud af fjorden, mens 79 % af smoltene overlevede turen fra mærkningsstedet i åen og ud gennem Randers Fjord (del Villar-Guerra et al. 2013; Aarestrup et al. 2014). Overlevelsen i selve Limfjorden var 26,2 % for Karup-fiskene og 45 % for Simested-fiskene (fra Virksund/Sundstrup).

Igen må forskellen i overlevelse mellem Simested og Karup primært tilskrives de manglende 11,2 km i Hjarbæk Fjord hos Simested-fiskene. Dette er vurderingen fordi dødeligheden hos smolt ofte er meget høj umiddelbart efter de har bevæget sig ud i havet (Middlemas et al. 2009; Koed et al. 2006; Jepsen et al. 2006), hvilket også lader til at have været tilfældet her, idet kun 20 ud af 51 Simested-fisk når ud til hydrofonerne ved Virksund/Sundstrup.

Den høje initiale dødelighed i fjorden giver sig også til udslag i de høje beregnede dødelighedsrater fra mærkningsstederne i Simested til Virksund/Sundstrup, idet dødeligheden her var 5,3 %/km for de 34 smolt der blev mærket 1,0 km fra åens munding. Dette er næsten ni gange så højt som dødeligheden på 0,6 %/km fra Virksund/Sundstrup til Aalborg for de 20 fisk der havde klaret turen til Virksund/Sundstrup.

Selvom smolt generelt er meget udsatte i en periode efter de forlader deres vandløb, er dødeligheden dog ikke nødvendigvis høj, hvilket eksempelvis var tilfældet i Mariager Fjord, hvor 74 % af fiskene overlevede de første 30 dage i fjorden (del Villar-Guerra et al. 2013). Da det især er prædation der udgør en stor fare for smoltene efter deres ankomst til det marine miljø, må det forventes at prædationstrykket i Limfjorden er større end i Mariager Fjord.

Der var en klar sammenhæng mellem fiskenes længde og evnen til at klare turen gennem vandløbet og fjorden ($P = 0,003$) da disse blev analyseret med logistisk regression. Til gengæld var der ingen sammenhæng med fiskenes kondition (forholdet mellem længde og vægt) og med hvilket vandløb fiskene kom fra.

Korrelationen mellem længde og overlevelseschancer var negativ for postsmoltene i Mariager Fjord (del Villar-Guerra et al. 2013), hvilket er omvendt i forhold til Limfjorden. En positiv korrelation mellem længde og overlevelse kan indikere, at der er et stort prædationstryk, da mindre fisk typisk er mere udsatte for prædation end de større fisk, og da større fisk hurtigere vil kunne migrere gennem områder med særligt høj prædationsrisiko. En positiv korrelation i Limfjorden og en negativ korrelation i Mariager Fjord indikerer således igen, at prædationstrykket på smoltene er større i Limfjorden end i Mariager Fjord, hvilket kan være en af årsagerne til at fiskene ikke bliver i Limfjorden på trods af dens størrelse. Det vil således være oplagt at undersøge prædationen af postsmoltene i fjorden, så det kan fastslås hvad der præderer dem samt omfanget heraf. Dette kan eksempelvis gøres ved at opstille et detaljeret netværk af hydrofoner ved åernes munding, så fiskenes position kan trianguleres præcist. Derved får man mulighed for at nærstudere fiskenes adfærd i højopløsning, og se om de eksempelvis forsøger at skjule sig eller om de præderes ved munden.

Fremtiden for fjorden som ørredhabitat

Resultaterne af nærværende undersøgelse indikerer, at ørred-postsmoltene i ringe grad eller slet ikke anvender Limfjorden som opvæksthabitat. Som tidligere nævnt må der tages forbehold for denne konklusion som følge af de mange forsvundne hydrofoner. Der må desuden tages forbehold for, at ørrederne fra de mindre vandløb der tilløber fjorden kan have en anden adfærd. De voksne fisk der vender tilbage til de mindre vandløb er generelt mindre end de voksne fisk der vender tilbage til de store vandløb som Karup Å og Simested Å, og det er muligt at denne forskel skyldes at fiskene fra de mindre vandløb har en anden adfærd og eksempelvis bliver i fjorden. En lignende undersøgelse med smolt fra mindre vandløb i fjorden kan afdække hvorvidt dette er tilfældet.

Såfremt postsmoltene ikke anvender fjorden som opvæksthabitat, har dette stor betydning for størrelsen af ørredbestanden, da dødeligheden forbundet med migrationen gennem fjorden som postsmolt er høj, og en del af denne dødelighed kunne undgås hvis fiskene blev i fjorden. Hvorvidt fjordens manglende evne til at fungere som væksthabitat har betydning for den årlige rekruttering afhænger dog af, om der i den nuværende situation returnerer tilstrækkeligt med fisk til at fylde de tilgængelige gydepladser i vandløbene.

Under alle omstændigheder vil en større overlevelse i fjorden og muligheden for at bruge denne som opvæksthabitat medføre et bedre fiskeri i selve fjorden, men også i åerne, hvor flere fisk vil returnere og kunne opfiskes uden at produktionen af yngel påvirkes negativt.

Reduktion af prædationstrykket tæt ved vandløbenes munding kan formentlig forøge overlevelsen i fjorden, da fiskene ud fra andre undersøgelser antageligvis er særligt udsatte her. En reduktion af prædationstrykket kan opnås ved enten at reducere antallet af prædatorer eller ved at hjælpe fiskene med at undgå dem ved at skabe habitatområder med eksempelvis stenrev eller ålegræs tæt ved vandløbenes munding, så postsmoltene har bedre mulighed for at skjule sig der. Effekten

af denne type habitatforbedringer er ikke blevet undersøgt, men dette kunne med fordel gøres i Limfjorden.

Skønt truslerne fra prædatorer som sæler og skarver antageligvis er forøget i fjorden de seneste årtier (Hoffmann og Dolmer 1999; Andersen et al. 2007), kan andre forhold som især iltsvind og dårlig miljøkvalitet også have indflydelse på fiskenes manglende vilje til at blive i fjorden. En forbedring af fjordens miljøtilstand hvor den igangværende fremgang i udbredelsen af habitattyper som ålegræs fortsættes og udbredelsen af iltsvind reduceres, vurderes derfor også at kunne øge overlevelsen hos ørrederne samt at forbedre sandsynligheden for at de vil anvende fjorden som opvækstområde.

Ved at dokumentere, at smoltene fra Simested Å og Karup Å tilsyneladende forlader Limfjorden, bidrager nærværende undersøgelse med vigtig viden om Limfjords-ørredernes adfærd, og styrker billedet af Limfjorden som leverandør af mange af de ørreder der fanges langs kysterne i de indre danske farvande. De store vandløb som Simested Å og Karup Å bidrager dermed til at fremme lystfiskerturismen i store dele af landet, hvilket bør tænkes ind i forvaltningen af disse vandløb, da forbedringer her formentlig vil forbedre fiskeriet efter havørreder i hele landet.

Referencer

- Aarestrup, K., Jepsen, N. 1998. Spawning migration of sea trout (*Salmo trutta* (L)) in a Danish river. *Hydrobiologia* 371/372: 275-281
- Aarestrup, K. 2001. Factors affecting the migration of anadromous Atlantic Salmon (*Salmo salar*) and Sea Trout (*Salmo trutta*). Ph.d. afhandling, Aalborg Universitet
- Aarestrup, K., Nielsen, C., Koed, A. 2002. Net ground speed of downstream migrating radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) smolts in relation to environmental factors. *Aquatic Telemetry*: 95-102
- Aarestrup, K., Baktoft, H., Koed, A., del Villar-Guerro, D. and Thorstad, E. 2014. Comparison of the riverine and early marine migration behaviour and survival of wild and hatchery-reared sea trout *Salmo trutta* smolts. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 496. 197-206, 2014.
- Aarestrup, K., Baktoft, H., Thorstad, E., Svendsen, J., Höjesjö, J. and Koed, A. 2015. Survival and progression rates of anadromous brown trout kelts *Salmo trutta* during downstream migration in freshwater and at sea. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 535. 185-195, 2015
- Andersen SM, Teilmann J, Harders PB, Hansen EH, Hjøllund D. 2007. Diet of harbour seals and great cormorants in Limfjord, Denmark: interspecific competition and interaction with fishery. *ICES Journal of Marine Science* 64: 1235-1245
- Bohlin, T., Dellefors, C. og Faremo, U. 1993. Timing of Sea-Run Brown Trout (*Salmo trutta*) Migration: Effects of Climatic Variation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50:1132-1136
- Bohlin, T., Dellefors, C. og Faremo, U. 1995. Date of smolt migration depends on body-size but not age in wild sea-run brown trout. *Journal of Fish Biology*, 49:157-164
- Christensen, O., Pedersen, S. and Rasmussen, G. 1993. Review of the Danish stocks of sea trout (*Salmo trutta*). *ICES C.M.* 1993/M:22
- Crisp, D. T. 2000. *Trout and Salmon Ecology, Conservation and Rehabilitation*. Blackwell Science
- dr.dk, 2013: www.dr.dk/nyheder/regionale/midtvast/lidt-faerre-saeler-boltrer-sig-i-limfjorden
- Clausen, P. og Balsby, T.J.S. 2015. Status for forekomst af lysbuget knortegås og udbredelse af ålegræs ved Nibe Bredning, Gjøl Bredning og Egholm. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi
- Eldøy, S. H., Davidsen, J. G., Thorstad, E.B., Whoriskey, F., Aarestrup, K., Næsje, T.F., Rønning, L., Sjørnsen, A.D., Rikardsen, A.H. and Arnekleiv, J.V. 2015. Marine migration and habitat use of anadromous brown trout (*Salmo trutta*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 72: 1366-1378
- Elliott, J. M. 1994. *Quantitative Ecology and the Brown Trout*. *Transactions of the American Fisheries Society*, Volume 123, Issue 6

- Finstad, B. Økland, F. Thorstad, E.B. Bjørn, P.A. McKinley, R.S. 2005. Migration of hatchery-reared Atlantic salmon and wild anadromous brown trout post-smolts in a Norwegian fjord system. *Journal of Fish Biology* 66, 86-96
- Fraser D.J., Weir, L.K., Bernatchez L., Hansen M.M. and Taylor E.B. 2011. Extent and scale of local adaptation in salmonid fishes: review and meta-analysis. *Heredity*; 106(3): 404-420
- Hansen, J.W. (red.) 2015: Marine områder 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 142 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 167
- Hansen, J.W., Rytter, D. og Balsby, T.J.S. 2017. Iltsvind i de danske farvande i juli-august 2017. Teknisk rapport fra Institute of Bioscience, Aarhus Universitet
- Healy S.J., Hinch S.G., Porter A.D., Rechisky E.L., Welch, D.W. Eliason, E.J., Lotto, A.G. and Furey, N.B. 2017. Route-specific movements and survival during early marine migration of hatchery steelhead *Oncorhynchus mykiss* smolts in coastal British Columbia. *Mar Ecol Prog Ser* 577:131-147. <https://doi.org/10.3354/meps12238>
- Hoffmann, E. Dolmer, P. 1999. Fisk, fiskeri og bundfauna ved Agerø, Limfjorden. DFU-Rapport nr. 74-00
- Hofmeister R, Burchard G, Bolding K. 2009. A three-dimensional model study on processes of stratification and de-stratification in the Limfjord. *Continental Shelf Research* 29:1515-1524
- Jensen, J. L. A., Rikardsen, A. H., Thorstad, E. B., Suhr, A. H., Davidsen, J. G. and Primicerio, R. 2014. Water temperatures influence the marine area use of *Salvelinus alpinus* and *Salmo trutta*. *Journal of Fish Biology* (2014) 84, 1640-1653
- Jepsen, N., Holthe, E., Økland, F. 2006. Observations of predation on salmon and trout smolts in a river mouth. *Fish Man Ecol* 13:341-343
- Jonsson, B., Jonsson, N. 2009. review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of Fish Biology* (2009) 75, 2381-2447
- Koed, A., Mikkelsen, J.. 2007. Undersøgelse af smoltdødeligheden i Egå foråret 2007. Notat. Danmarks Tekniske Universitet, Sektion for Ferskvandsfiskeri. 19 sider
- Koed, A., Baktoft, H., Bak, B.D. 2006. Causes of mortality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) smolts in a restored river and its estuary. *River Res Appl* 22:69-78
- Markager, S., Storm, L.M. & Stedmon, C.A. 2006: Limfjordens miljøtilstand 1985 til 2003. Sammenhæng mellem næringsstofflørsler, klima og hydrografi belyst ved hjælp af empiriske modeller. Danmarks Miljøundersøgelser. 219 s. - Faglig rapport fra DMU, nr. 577
- Meesenburg, H. 1996. Man's role in changing the coastal landscapes in Denmark. *GeoJournal* 39.2:143-151

- Middlemas, S.J., Stewart, D.C., Mackay, S., Armstrong, J.D. 2009. Habitat use and dispersal of post-smolt sea trout *Salmo trutta* in a Scottish sea loch system. *J Fish Biol* 74:639-651
- Morgan, J.D. and Iwama, G. K. 1991. Effects of Salinity on Growth, Metabolism, and Ion Regulation in Juvenile Rainbow and Steelhead Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Chinook Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 2083-2094
- Morgan, J.D. og Iwama, G. K. 1999. Energy cost of NaCl transport in isolated gills of cutthroat trout. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* Published 1 September 1999 Vol. 277 no. 3, R631-R639
- Nathan, R., Getz, W.M., Revilla, E., Holyoak, M., Kadmon, R., Saltz, D., Smouse, P.E. 2008. A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *Proc Natl Acad Sci USA* 105: 19052-19059
- Olesen, B. 1996. Regulation of light attenuation and eelgrass *Zostera marina* depth distribution in a Danish embayment. *Marine Ecology Progress Series* 134:187-194
- Ovesen, N.B., Iversen, H.L., Larsen, S.E., Müller-Wohlfeil, D.-I. & Svendsen, L.M., Blicher, A.S. og Jensen, Per M. 2000. Afstrømningsforhold i danske vandløb. Danmarks Miljøundersøgelser. 238 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 340
- Quinn, T.P. og Brannon, E.L. 1982. The use of celestial and magnetic cues by orienting sockeye salmon smolts. *Journal of comparative physiology* 147:547-552
- Rasmussen, G. 1986. The Population Dynamics of Brown Trout (*Salmo trutta*) in relation to yearclass-size. *Polskie Archiwum für Hydrobiologie* 33: 489-508
- Renaud, P.E., Włodarska-Kowalczyk, M., Trannum, H.Holte, B. Węśławski, J.M. Cochrane, S. Dahle, S. Gulliksen B. 2007. Multidecadal stability of benthic community structure in a high-Arctic glacial fjord (van Mijenfjord, Spitsbergen). *Polar Biology* 30: 295
- Thorstad, E., Økland, F., Finstad, B., Sivertsgård, R., Bjørn, P. A. and McKinley, R. S. 2004. Migration speeds and orientation of Atlantic salmon and sea trout post-smolts in a Norwegian fjord system. *Environmental Biology of Fishes* 71: 305-311
- Thorstad, E. B., Økland, F., Finstad, B., Sivertsgård, R., Plantalech, N., Bjørn, P. A. and McKinley, R. S. 2007. Fjord migration and survival of wild and hatchery-reared Atlantic salmon and wild brown trout post-smolts. *Hydrobiologia* 582: 99-107
- Thorstad, E. B., Todd, C. D., Uglem, I., Bjørn, P. A., Gargan, P. G., Vollset, K. W., Halttune, E., Kålås, S., Berg, M. and Finstad, B. 2016. Marine life of the sea trout. *Mar Biol* 163:47
- Villar-Guerra, D., Aarestrup, K., Skov, C. and Koed, A. 2013. Fjord residency as a possible alternative in the continuum of migration to the open sea. *Ecology of Freshwater Fish* 2014: 23: 594-603
- Økland, F., Jonsson, B., Jensen, A. J. og Hansen L. P. 1992. Is there a Threshold Size Regulating Seaward Migration of Brown Trout and Atlantic Salmon. *Journal of Fish Biology* 42:541-550

DTU Aqua
Institut for Akvatiske Ressourcer
Danmarks Tekniske Universitet

Vejlsøvej 39
8600 Silkeborg
Denmark
Tlf: 35 88 31 00
aqua@aqua.dtu.dk

www.aqua.dtu.dk