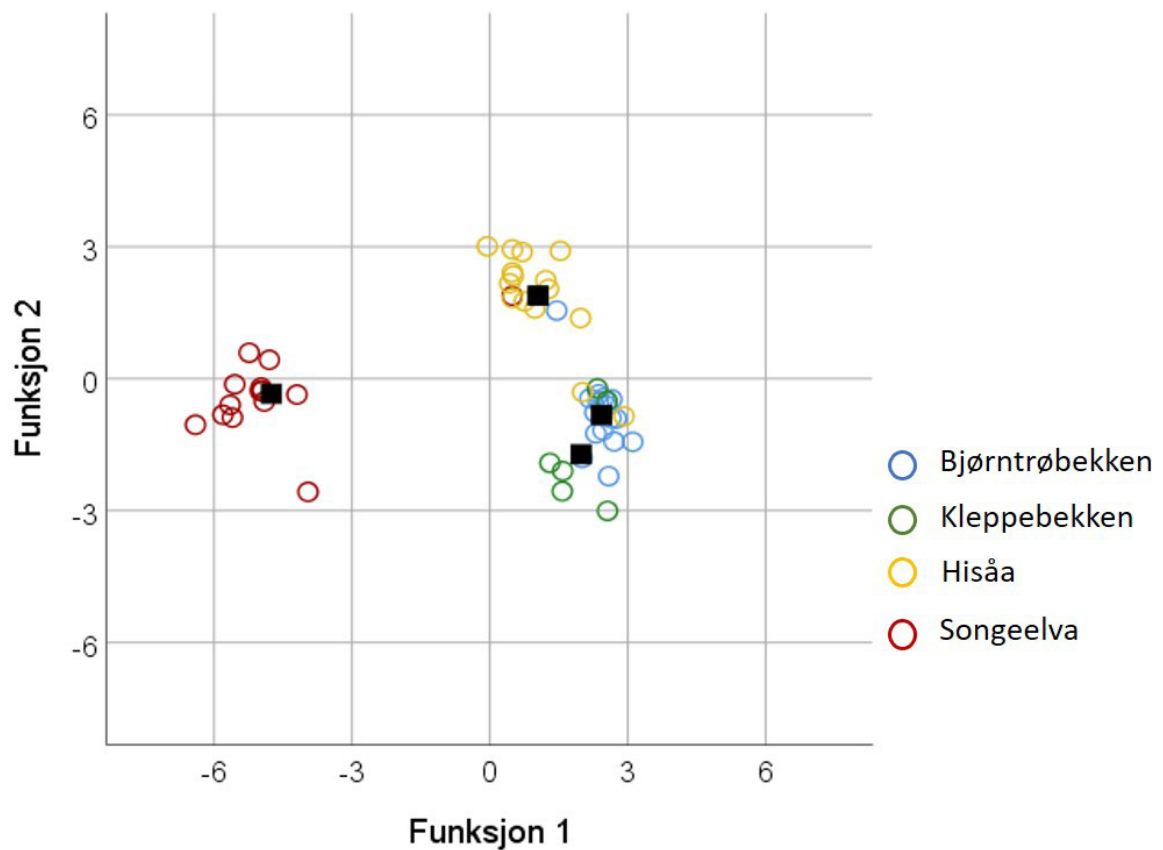




Sporing av lakseunger til oppholdssted i Nidelva (Arendalsvassdraget) ved analyse av grunnstoff i fiskens skjell



Spring av lakseunger til oppholdssted i Nidelva (Arendalsvassdraget) ved analyse av grunnstoff i fiskens skjell

Forfattere

Vidar Moen, Veterinærinstituttet
Ashley Nicole Nekeza Ahimbisibwe, Veterinærinstituttet
Tormod Haraldstad, Norsk Institutt for vannforskning

Forslag til sitering

Moen, Vidar, Ahimbisibwe, Ashley Nicole Nekeza, Haraldstad, Tormod. Spring av lakseunger til oppholdssted i Nidelva (Arendalsvassdraget) ved analyse av grunnstoff i fiskens skjell. VI rapport. Veterinærinstituttet 2021. © Veterinærinstituttet, kopiering tillatt når kilde gjengis

Kvalitetssikret av

Asle Moen, Seksjonsleder Miljø og Smittetiltak, Veterinærinstituttet

Publisert

2021 på www.vetinst.no
ISSN 1890-3290 (elektronisk utgave)
© Veterinærinstituttet 2021

Oppdragsgiver eller Samarbeidspartner

Statsforvalteren i Agder, ved Fiskeforvalter Frode Kroglund

Kolofon

Design omslag: Reine Linjer
Foto forside: Vidar Moen
www.vetinst.no

Innhold

Sammendrag, Summary	iii
Forord	4
1 Innledning	4
2 Materiale og metoder	6
2.1 Materiale	7
2.2 Analysemetodikk	8
3 Resultater	8
4 Diskusjon	10
5 Referanser	11

Sammendrag

Laksestammene på Sørlandet er vist å være svært lik hverandre rent genetisk. Bruk av genetiske metoder til sporing av laks til lokalt område i vassdrag har derfor vist seg vanskelig. Bruk av naturlig inkorporerte grunnstoff i fiskens skjell kan vise seg å være en alternativ sporingsmetode. Den baserer seg på at sammensetningen av løste grunnstoff varierer mellom lokaliteter. Målet med denne undersøkelsen var å teste for forskjeller i kvantitativ signatur av grunnstoff i skjell hos laksunger fra ulike lokaliteter i Nidelva (Arendalsvassdraget). Med bruk av LA-ICP-MS ble den kvantitative sammensetningen av grunnstoff analysert. Ved PCA og lineær diskriminantanalyse ble 86,3 % av de 51 analyserte skjellene fra de 25 fiskene plassert til riktig lokalitet. En random forest klassifisering basert på en isometrisk log-ratio transformasjon (ILR) viste en lignende klassifisering hvor 86,2% ble plassert tilbake til riktig lokalitet (95% CI: 73,7-94,3). Til tross for at materialstørrelsen var en god del lavere enn det en normalt ville nyttet ved sporing av fisk til lokalitet, indikerer resultatene systematiske forskjeller i sammensetning av grunnstoff i skjell til fisk fra de ulike lokalitetene.

Summary

The many re-established local salmon stocks in rivers in the southern part of Norway are shown to be genetically quite similar. The use of genetic methods to trace individual fish to their nursery area have so far been difficult. The use of naturally incorporated trace element signatures in their scales may be an alternative tracing method. This method requires variation between locations to be able to discriminate. The aim in this test was to clarify if different populations of juvenile salmon in River Nidelva (Arendal watercourse) could be discriminated. Quantification of the natural composition of trace element in scales were made using LA-ICP-MS. By PCA- and linear discriminant analysis, 86.3% of the 51 analysed scales from the 25 fish were correct placed to locality. A random forest classification on the Isometric Log-Ratio (ILR) transformed data showed similar classification results were 86.2% of the scales were classified to their home-location (95% CI: 73.7-94.3). Despite the fact that the material size was much lower than what would normally be used when tracing fish to their locations, the results indicate systematic differences in trace element signature in the scales of fish from the different locations.

Forord

Forsuring av en rekke vassdrag på Sørlandet førte til at det ble satt inn store ressurser til kalking og reetablering av de mange tapte laksebestandene. Stor genetisk likheten mellom de ulike lokale bestandene har imidlertid vært til hinder for bruk av genetiske metoder til sporing av laks til vassdrag. Kvantifisering av naturlig inkorporerte grunnstoff i fiskens skjell for sporing til lokalitet er en alternativ sporingsmetode. I denne forundersøkelsen ønsket vi å gjennomføre en innledende undersøkelse av grunnstoff signaturer i skjell hos noen lokale bestander av laksunger i Nidelva (Arendalsvassdraget).

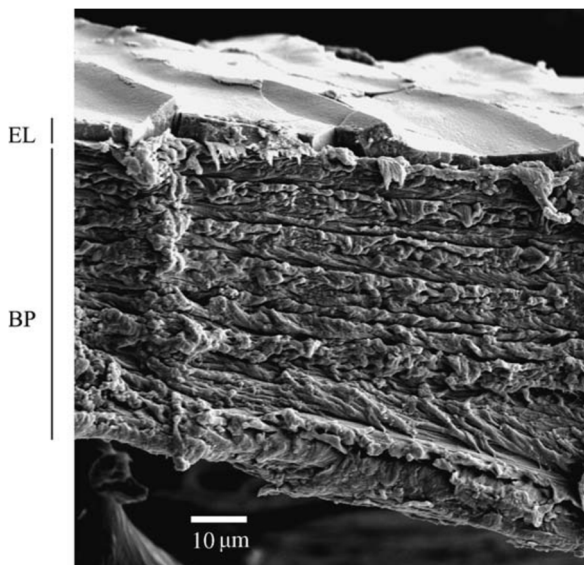
Vi vil takke Frode Kroglund, Fiskeforvalter hos Statsforvalteren i Agder for oppdraget. Vi vil også takke personalet ved Veterinærinstituttets lab for grunnstoff analyser i Trondheim for deres arbeidet i en litt vanskelig arbeidssituasjon under Korona-pandemien.

1 Innledning

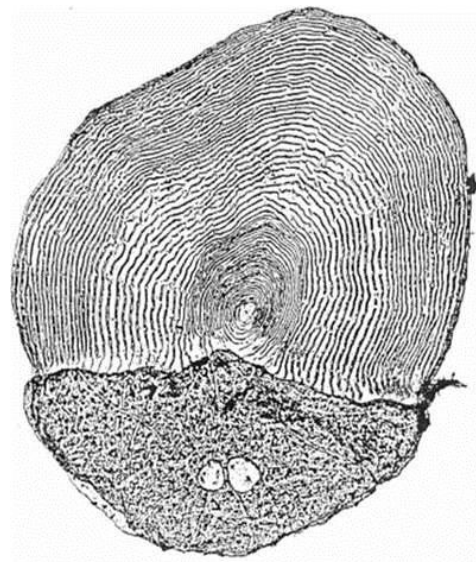
Utover på 1900-tallet ble en rekke vassdrag på Sørlandet hardt rammet av forsuring. Mange lokale bestander av vannlevende organismer, deriblant laksefisk gikk tapt eller ble betydelig svekket. For å bedre forholdene har miljømyndighetene gjennomført kalking i vassdragene over mange tiår. I de senere år har forholdene blitt stadig bedre og flere arter viser i dag en naturlig produksjon i vassdragene (Hindar et al. 2020). Det har lenge pågått et planmessig arbeid for å etablere nye laksebestander basert på genetiske materialer fra nærliggende stammer. Undersøkelser av laks i vassdrag på Sørlandet indikerer at deres genetiske sammensetning har endret seg sammenlignet med prøver fra de opprinnelige stammene (Hindar, K. & Balstad, T. 2010). Genetiske undersøkelser indikerer at laksen i Nidelva (Arendalsvassdraget) er svært lik bestander i andre elver på Sørlandet (Hagen og Karlsson 2020).

Ett av målene i arbeidet med etablering av laksebestander på Sørlandet har vært å få i gang en naturlig produksjon av ungfisk. For laksen i Nidelva (Arendalsvassdraget) ønsker en å vite mere om i hvilken del av vassdraget den utvandrende smolten hadde sitt oppvekstområde. Genetiske metoder har så langt ikke kunnet avdekke forskjeller mellom fisk fra ulike lokaliteter i Nidelva (Hagen og Karlsson 2020). En grunn kan være at det har gått kort tid siden de nye bestandene ble etablert slik at genetiske forskjeller så langt ikke har hatt tid til å etablere seg. Bruk av naturlig inkorporerte grunnstoff i fiskens skjell kan vise seg å være en alternativ sporingsmetode. Den krever ingen fysisk håndtering eller merking av fisk i forkant og fisk kan prøvetas uten å måtte avlives. Metode vil imidlertid kreve at det eksisterer geokjemisk variasjon mellom lokaliteter. Den fremste årsak til variasjon vil være ulike sammensetning av grunnstoff i grunnfjell og løsmasser.

Fiskens skjell inngår som en del av huden. De vokser i egne lommer i huden og tjener som beskyttelse mot ytre fysisk påvirkning. De dekkes delvis av dermis og er helt dekt av epidermis. Et skjell overlapper delvis naboskjellene, ligger skråstilt i huden og hvor kun den bakre delen av skjellet som er dekt av kromatoforer er synlig på overflaten. De har en elliptisk form, er relativt flate, uten tenner og er relativt gjennomsiktige. Hvert skjell består av et øvre relativt hardt øvre sjikt av hydroksyapatitt, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ - (HAP-laget) og et nedre sjikt av tett sammenvevde kollagene fibermatter (Hamada et al., 1995; Bigi et al., 2001; Torres et al., 2008; Garrano et al., 2012; Zhu et al., 2012). Etter hvert som fisken og skjellene vokser bygges det inn nye fibermatter på underside av det nedre sjiktet. Det øker i tykkelse etter hvert som fisken vokser og gjør skjellet mere robust mot fysiske påvirkninger. Det øvre HAP-laget beholder derimot sin tykkelse og øker kun i areal etter hvert som skjellet vokser (Figur 1). Her dannes sirkulære skleritter fortløpende langs kanten etter hvert som skjellet vokser (Figur 2).



Figur 1: Scanning elektronmikroskop bilde av et vertikalt snitt gjennom et lakseskjell. EL angir det harde og mineralrike ytre laget av hydroksyapatitt. På overflaten sees skjelllets skleritter som små forhøyninger i det jevntykket sjiktet. BP angir basalplaten som består av en tett sammenvevde lagvise kollagene fibermatter. Basalplaten øker i tykkelse mot sentrum av skjellet (høyre side i bildet) (Bildet hentet fra Hutchinson og Trueman 2006).



Figur 2: Bilde av et skjell av voksen fisk. Skleritter sees som konsentriske ringer i HAP-laget. Variasjon i avstand mellom skleritter indikerer variasjon i tilvekst. Skjellets front øverst og det bakre delen med kromatoforer nederst i bildet. Foto: Skjellkontrollen, Veterinærinstituttet.

Grunnstoff som finnes løst i vannet hvor fisken lever tas passivt opp via gjellene, transporteres med blodet og bygges fortløpende inn i kalsiumrike strukturer som bein, finnestråler, tenner, otolitter og skjell. Det er funnet sammenheng mellom konsentrasjon av grunnstoff i fiskens skjell og konsentrasjon i vannet som omgir den (Campana et al., 1995; Wells et al., 2000 a; Wells et al., 2000 b; Wells et al., 2003b; Wells et al., 2003c; Ramsay et al., 2011). Det vist å være klare forskjeller i sammensetning av grunnstoff i skjell hos fisk fra ulike geografiske områder (Wells et al., 2003; Muhlfeld et al., 2005; Courtemanche et al., 2006; Clarke et al.,

2007; Ramsay et al., 2011). Slike forskjeller finner en også mellom lokale bestander av anadrom laksefisk (Wells et al., 2000; Flem et al., 2005; Adey et al., 2009, Flem et al. 2017). Fisk som deler en felles vannkilde bygger inn den samme signaturen av grunnstoff i sine skjell (Flem et al., 2017; Moen et al., 2017). Det synes å være en god korrelasjon mellom forekomst av grunnstoff i skjell og i otolitter, med en høyere konsentrasjon i skjell (Campana, 1999; Campana et al., 2000; Wells et al., 2003b; Muhlfeld et al., 2005; Ramsay et al., 2011; Muhlfeld et al., 2012).

Bruken av grunnstoff-analyser til sporing forutsetter geokjemiske forskjeller mellom fisk fra ulike opphavslokaliteter. Undersøkelser av laksefisk fra ulike settefiskanlegg viser at forskjellen mellom anlegg i regelen er stor (Flem et al. 2017). For å kunne spore laksunger til deres oppvekstlokalitet vil det først være behov for å etablere signaturen for den enkelte lokalitet hvor fisken kan tenkes å ha hatt sitt opphav. Videre må uttaket av grunnstoff i skjellene være fra de sonene (de sklerittene) som ble dannet mens fisken antas å ha oppholdt seg i oppvekstlokaliteten. Et sammenfall i signatur vil indikere oppholdt på den samme lokalitet. I denne forundersøkelsen ville en teste om det er tilstrekkelig forskjell i grunnstoff signatur i skjell mellom lokale bestander til å kunne nytte metoden til sporing i Nidelva (Arendalsvassdraget).

2 Materiale og metoder



Figur 3: Kart over Nidelva (Arendalsvassdraget) med de fire innsamlingslokalitetene angitt.

2.1 Materiale

Ved elektrisk fiske ble det samlet inn 36 laksunger fordelt på fire stasjoner i Arendalsvassdraget den 24-25 september 2019: 1- Bjørntrøbekken, 2 - Songeelva, 3 - Kleppebekken og 4 - Hisåa (Figur 3). Hvert individ ble lengdemålt (lengde fra snutespiss til kløft mellom spissene av halefinnen). Skjell ble plukket enkeltvis ved hjelp av en tynn pinsett fra et område avgrenset av en linje mellom bakkant av ryggfinnen til fremkant av gattfinnen og rett i overkant av sidelinjen. Skjellene ble enkeltvis lagt opp på et papir som ble brettet og lagt i en skjellkonvolutt. Denne ble så oppbevart tørt og mørkt.

Av totalt 206 skjell ble 167 godkjent for videre bruk og montert på objektglass ved bruk av dobbeltsidig tape. Hvert skjell ble deretter rengjort i en 5 % løsning av H₂O₂ i 2 minutter, skylt i ultrarent vann og deretter lufttørket før pressing og tørking i minimum 48 timer. Deretter ble koordinater for posisjon av uttak av grunnstoff med laser ablasjon fastlagt. Det ble her nyttet en egen off-line enhet.

Grunnet uforutsette hendelser ble selve analysene med bruk av LA-ICP-MS forsinket og først gjennomført fire måneder senere. Det viste seg at mange skjell i mellomtiden hadde løsnet litt fra tapen og krøllet seg opp. Det så en av bildene av skjellene som ble tatt etter at analysene var gjennomført. Det viste seg at kun 51 skjell hadde beholdt sine opprinnelige posisjoner på objektglasset og kunne godkjennes for videre bruk. De utgjorde skjell fra 25 av de totalt 36 innsamlede fiskene (Tabell 1). Teknikken med å nytte tape for å feste så vidt små skjell (0+ - 1+ fisk) viste seg ikke å gi tilstrekkelig stabilitet over tid. Bruk av kortere tid fra montering og påtegning til analyse ville sannsynligvis ha redusert faren for feilposisjonering.

Tabell 1: Standard lengde (SL) og antall godkjente skjell fra 25 av de totalt 36 lakseungene som ble samlet inn i de fire lokalitetene i Nidelva, Arendalsvassdraget. Lengden til fisk hvor alle skjell ble forkastet er angitt i grått.

1 - Bjørntrøbekken		2 - Songeelva		3 - Kleppebekken		4 - Hisåa	
SL	# skjell	SL	# skjell	SL	# skjell	SL	# skjell
70		66	3	57		72	1
71	1	70		69	4	74	3
2	4	74	2	123	1	74	
73		74	2	138	1	75	1
80	1	74				75	
81	2	75	3			79	
82	1	77				79	2
85	1	80				79	1
87	3	82				80	3
95	3	129	1			81	3
		134	3			90	1
8	16	6	14	3	6	8	15

2.2 Analysemetodikk

Kvantitative analysene av grunnstoff ble gjennomført ved bruk av et dobbelfokuserende sektor felt induktivt koblet plasma massespektrometer (HR-SF-ICP-MS) av typen ELEMENT2 fra Thermo Scientific. Instrumentet var oppsatt med Jet Interface. Prøveinnføringssystemet var en eximer UP193UC laser fra NewWave, ESI, utstyrt med NWR TV2 ablasjonskammer. Helium ble brukt som bæregass for å bedre ablasjons- og transportforholdene (Gunther & Heinrich, 1999). For stabil og optimal eksitasjon ble bæregassen blandes med argon før ionisering. Innstillingene nyttet for ICP-MS- og laserenheten er gitt i **Tabell 2**.

Tabell 2: Maskininnstillingene nyttet ved LA-ICP-MS analysene

ICP-MS	Innstillinger
Plasmaspenning	1300 W
Støttegass (auxiliary) Ar	1.0 l min ⁻¹
Ar bæregass	1.0 l min ⁻¹
”Samplercone”	High performance Ni, Jetutgave
”Skimmercone”	High performance Ni, X-utgave
Injector tube	Quartz
CD-2 Guard Electrode	Ja
Antall skann	20
Laser	
Frekvens	20 Hz
Energy fluens	4 J/cm ²
He bæregass	0.8 l min ⁻¹

Ekstern multistandard kalibrering ble utført med bruk av tre silikatglass fra National Institute of Standards and Technology, USA (NIST SRM 610, 612, og 614). I tillegg ble det nyttet egne standarder av apatitt fra Nanograde Ltd. Sveits (Tabersky et al., 2014). Analysepresisjon og reproduserbarhet mellom analysesekvenser ble kontrollert ved å analysere en uavhengig apatittstandard i tillegg til Nist612. Metode for omregning til konsentrasjoner er tidligere gitt i Flem et al. 2002; 2005; 2017.

Grunnstoff ble samlet inn langs skleritt nummer 3 og 4 fra ytterkant på skjell. Strukturene estimeres til å være dannet i løpet av en tidsperiode på rundt 14 dager i siste del av august 2019.

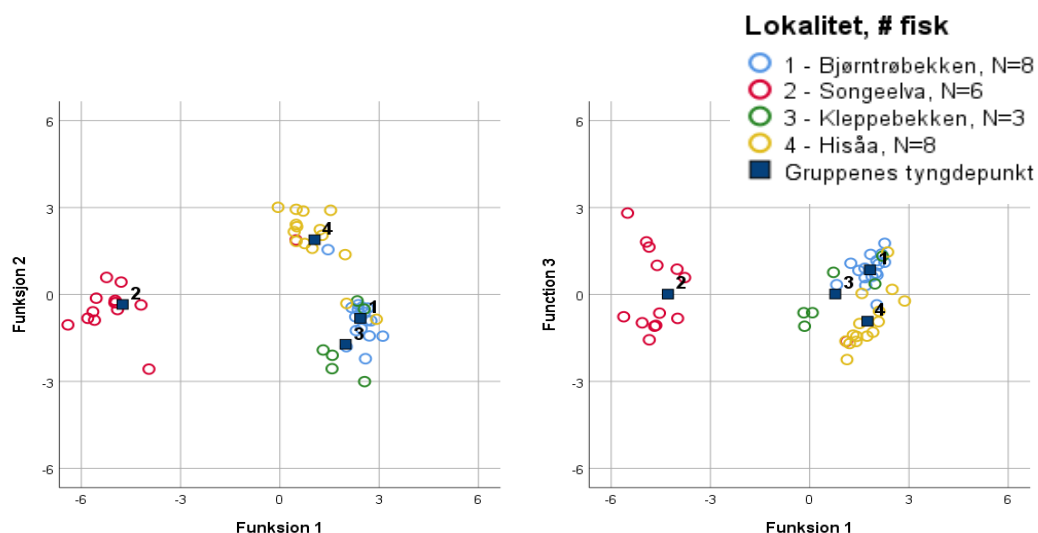
3 Resultater

Basert på logtransformerte kvantitative målinger av følgende grunnstoff: ¹¹B; ¹³⁷Ba; ²⁰⁸Pb; ⁵⁵Mn; ⁶⁶Zn og ⁸⁸Sr ble det kjørt en multivariat faktoranalyse med varimax-rotasjon (PCA)(SPSS). Første komponent besto av elementene ²⁰⁸Pb, ¹¹B og ¹³⁷Ba, andre komponent av ⁶⁶Zn og ⁸⁸Sr, og tredje komponent av ⁵⁵Mn. Komponentene forklarte hhv 45,4%; 28,3% og 16,7% av variansen, og samlet forklarte de 90,4 % av variansen. Basert på factor score ved PCA analyse ble det kjørt en lineær diskriminantanalyse. Her ble 86,3% av de analyserte skjellene plassert tilbake til opprinnelig gruppe (Tabell 3). En «random forest» klassifisering basert på en isometrisk log-

ratio transformasjon (ILR) gav en lignende klassifisering (86,2% ble plassert tilbake til riktig gruppe; 95% CI: 73,7-94,3). Fra lokalitet 3-Kleppebekken ble det analysert kun seks skjell. Av disse ble to klassifisert å tilhøre lokalitet 1-Bjørntrøbekken. For de øvrige lokalitetene ble det nyttet noe flere skjell (mellom 14-16 skjell). Av disse ble over 87% plassert til riktig gruppe, mens 67% av skjellene fra lokalitet 3-Kleppebekken ble riktig plassert. Resultatene indikerer imidlertid at det var en reell forskjell i signatur mellom gruppene fra de fire lokalitetene (Tabell 3 og Figur 4).

Tabell 3: Estimert tilhørighet til de 51 undersøkte skjell av laksunger fra de fire lokalitetene i Nidelva (Arendalsvassdraget). Samlet ble 86,3 % av de analyserte skjellene plassert til riktig lokalitet. Kolonnen til høyre (total) angir antallet skjell av fisk fra den enkelte lokalitet som var med i undersøkelsen.

Lokalitet		Estimert tilhørighet				Total
		1 - Bjørntrøbekken	2 - Songeelva	3 - Kleppebekken	4 - Hisåa	
Opprinnelig tilhørighet	Antall skjell					
	1 - Bjørntrøbekken	14	0	1	1	16
	2 - Songeelva	0	13	0	1	14
	3 - Kleppebekken	2	0	4	0	6
	4 - Hisåa	2	0	0	13	15
	%					
	1 - Bjørntrøbekken	87.5	0	6.3	6.3	100
	2 - Songeelva	0	92.9	0	7.1	100
3 - Kleppebekken	33.3	0	66.7	0	100	
4 - Hisåa	13.3	0	0	86.7	100	



Figur 4: Plott av første lineære diskriminant mot andre lineære diskriminant (venstre figur) og mot tredje lineære diskriminant (høyre figur) for skjellene fra de fire lokalitetene.

4 Diskusjon

Antallet godkjente skjell med i denne analysen var dels betydelig lavere enn det en normalt ville nyttet for å avdekke forskjeller i signatur mellom bestander. Årsaken til det lave antallet godkjente skjell var lang tid og endring i posisjon til enkelt skjell i tidsrommet fra påtegning av laserlinje (ablasjonslinje) til selve analysen ble gjennomført (selve ablasjonen). Dårlig vedheft med bruk av dobbelsidig tape på små skjell. De tekniske utfordringene vil en i det videre søke å unngå ved å redusere tiden fra påtegning til analyse, og om nødvendig kjøre en ny runde med vasking og pressing før analyse. Alle de fire bestandene var imidlertid fortsatt representert i det godkjente materialet og det ble valgt å gå videre med analyse basert på det reduserte materialet (Tabell 1).

Resultatene i denne testen indikerte at det var systematiske forskjeller i grunnstoff signatur mellom skjell fra de fire lokale bestandene. Det til tross for reduksjon i material størrelse (Tabell 3 og Figur 4). Det indikerer også at det mest sannsynlig også er relativt store forskjeller i sammensetning av løste grunnstoff mellom de ulike lokaliteter i Nidelva (Arendalsvassdraget). Lignende undersøkelser har også funnet forskjeller mellom grupper av fisk fra ulike deler innen ferskvannssystem (Wells et al. 2000b; Muhlfeld et al. 2005). I Nidelva fant vi den største forskjellen mellom bestandene i lokaliteten 2-Songeelva og 4-Hisåa mens det var noe mindre mellom 1-Bjørnrøbekken og 3-Kleppebekken. Det kan skyldes at likhet i sammensetning av løste grunnstoff fra grunnfjell og løsmasser gjerne øker jo lenger ned i et vassdrag en kommer.

En kartlegging av signaturer i skjell hos lakseunger også fra de øvrige kjente bestandene i Nidelva (Arendalsvassdraget) foreslås gjennomført. Det vil gi oss et bedre grunnlag for sporing av utvandrende smolt og tilbakevandrende voksen fisk. Homing (tilbakevandring til det vassdraget den vokste opp i og vandret ut ifra) vil være den dominerende atferds karakteren også hos reetablerte bestander. I den større regionen på Sørlandet hvor mange av de opprinnelige laksebestandene ble utryddet og de reetablerte bestandene er vist å være svært lik rent genetisk, vil habitat spesifikke sporingsmetoder kunne være til hjelp med å knytte enkeltfisk til lokalt habitat. Analyser av grunnstoff signaturer i fiskens skjell er en slik metode. Den forutsetter imidlertid tilgang til skjell fra de lokale bestandene av lakseunger i vassdragene. Ut fra kjente signaturer av lokale bestander ønsker en å kunne spore også voksen laks til oppvekstlokalitet. Etter hvert som datagrunnlaget øker og blir mere dekkende, vil sporingen kunne bli mere finmasket.

5 Referanser

- Adey, E. A., Black, K. D., Sawyer, T., Shimmield, T. M., Trueman, C. N. (2009). Scale microchemistry as a tool to investigate the origin of wild and farmed *Salmo salar*. *Marine Ecology-Progress Series*. 390. 225-235.
- Bigi, A., Burghammer, M., Falconi, R., Koch, M. H. J., Panzavolta, S. & Riekkel, C. (2001). Twisted Plywood Pattern of Collagen Fibrils in Teleost Scales: An X-ray Diffraction Investigation. *Journal of Structural Biology* 136, 137-143.
- Campana, S. E. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology-Progress Series* 188, 263-297.
- Campana, S. E., Chouinard, G. A., Hanson, J. M., Frechet, A. & Bratney, J. (2000). Otolith elemental fingerprints as biological tracers of fish stocks. *Fisheries Research* 46, 343-357.
- Campana, S. E., Gagne, J. A. & McLaren, J. W. (1995). Elemental Fingerprinting of Fish Otoliths Using Id-lcpms. *Marine Ecology-Progress Series* 122, 115-120.
- Clarke, A. D., Telmer, K. H. & Shrimpton, J. M. (2007). Elemental analysis of otoliths, fin rays and scales: a comparison of bony structures to provide population and life-history information for the Arctic grayling (*Thymallus arcticus*). *Ecology of Freshwater Fish* 16, 354-361.
- Courtemanche, D. A., Whoriskey, F. G., Bujold, V. & Curry, R. A. (2006). Assessing anadromy of brook char (*Salvelinus fontinalis*) using scale microchemistry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63, 995-1006.
- Flem, B., Larsen, R. B., Grimstvedt, A. and Mansfeld, J., (2002). In situ analysis of trace elements in quartz by using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Chemical Geology*, Volume 182, Issues 2-4, Pages 237-247.
- Flem, B., Moen, V. & Grimstvedt, A. (2005). Trace element analysis of scales from four populations of Norwegian Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) for stock identification using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Appl. Spectrosc.* 59, 245-251.
- Flem, B., Moen, V., Finne, T. E., Viljugrein, H., & Kristoffersen, A. B. (2017). Trace element composition of smolt scales from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.), geographic variation between hatcheries. *Fisheries Research*, 190, 183-196. doi:10.1016/j.fishres.2017.02.010
- Flem, B., Fagertun Benden, T., Finne, T. E., Moen, V., Nordahl, T. M., Skår, K., Nordgulen, Ø. & Solli, A., (2018). The fish farm of origin is assigned by the element profile of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) scales in a simulated escape event. *Fisheries Research*, 206, 1-13.
- Garrano, A. M. C., La Rosa, G., Zhang, D., Niu, L. N., Tay, F. R., Majd, H. and Arola, D. (2012). On the mechanical behavior of scales from *Cyprinus carpio*. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 7, 17-29.
- Hagen, I. J. & Karlsson, S. (2020). Genetiske analyser av Nidelva (Arendalsvassdraget) og omkringliggende vassdrag. NINA Rapport 1835. 22 s.
- Hamada, M., Nagai, T., Kai, N., Tanoue, Y., Mae, H., Hashimoto, M., Miyoshi, K., Kumagai, H. & Saeki, K. (1995). Inorganic Constituents of Bone of Fish. *Fisheries Science* 61, 517-520.
- Hindar, A., Garmo Austnes, K. & Sample, J. E. (2020). Nasjonal innsjøundersøkelse 2019. NIVA RAPPORT L.NR. 7530.
- Hutchinson, J. J. & Trueman, C. N. (2006). Stable isotope analyses of collagen in fish scales: limitations set by scale architecture. *Journal of Fish Biology* 69, 1874-1880.
- Moen, V., Flem, B., Nordahl, T. M., Fagertun Benden, T., & Skår, K. (2017). Tracing farmed salmon by trace elements in their scales. Final report of the FarmSalmTrack-project. Veterinærinstituttet Rapportserie, 2017(5). 101 pp. (In Norwegian with an english summary).

- Muhlfeld, C. C., Marotz, B., Thorrold, S. R. & FitzGerald, J. L. (2005). Geochemical signatures in scales record stream of origin in westslope cutthroat trout. *Transactions of the American Fisheries Society* 134, 945-959.
- Muhlfeld, C. C., Thorrold, S. R., McMahon, T. E. & Marotz, B. (2012). Estimating westslope cutthroat trout (*Oncorhynchus clarkii lewisi*) movements in a river network using strontium isoscapes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 69, 906-915.
- Ramsay, A. L., Milner, N. J., Hughes, R. N. & McCarthy, I. D. (2011). Comparison of the performance of scale and otolith microchemistry as fisheries research tools in a small upland catchment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 68, 823-833.
- Torres, F.G., Troncoso, P.P., Nakamatsu, J., Grande, C.J., Gomez, C.M. (2008). Characterization of the nanocomposite laminate structure occurring in fish scales from *Arapaima Gigas*. *Materials Science & Engineering C-Biomimetic and Supramolecular Systems*. 28, 8, 1276-1283.
- Wells, B. K., Bath, G. E., Thorrold, S. R. & Jones, C. M. (2000a). Incorporation of strontium, cadmium, and barium in juvenile spot (*Leiostomus xanthurus*) scales reflects water chemistry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57, 2122-2129.
- Wells, B. K., Friedland, K. D. & Clarke, L. M. (2003a). Increment patterns in otoliths and scales from mature Atlantic salmon *Salmo salar*. *Marine Ecology-Progress Series* 262, 293-298.
- Wells, B. K., Rieman, B. E., Clayton, J. L., Horan, D. L. & Jones, C. M. (2003b). Relationships between water, otolith, and scale chemistries of westslope cutthroat trout from the Coeur d'Alene River, Idaho: The potential application of hard-part chemistry to describe movements in freshwater. *Transactions of the American Fisheries Society* 132, 409-424.
- Wells, B. K., Thorrold, S. R. & Jones, C. M. (2000b). Geographic variation in trace element composition of juvenile weakfish scales. *Transactions of the American Fisheries Society* 129, 889-900.
- Wells, B. K., Thorrold, S. R. & Jones, C. M. (2003c). Stability of elemental signatures in the scales of spawning weakfish, *Cynoscion regalis*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60, 361-369.
- Zhu, D. J., Ortega, C. F., Motamedi, R., Szewciw, L., Vernerey, F., Barthelat, F. (2012). Structure and Mechanical Performance of a "Modern" Fish Scale. *Advanced Engineering Materials*. 14. 4. B185-B194.

Frisk fisk



Sunne dyr



Trygg mat



Faglig ambisiøs, fremtidsrettet og samspillende - for én helse!



Veterinærinstituttet
Norwegian Veterinary Institute

Oslo

Trondheim

Sandnes

Bergen

Harstad

Tromsø

postmottak@vetinst.no
www.vetinst.no