

Stofngerð laxastofna og hlutdeild eldislaxa úr sjókvíaeldi í Fífustaðadalsá og Selárdalsá

- Greinargerð til Fiskræktarsjóðs

Jóhannes Sturlaugsson¹⁾
Snæbjörn Pálsson²⁾



Febrúar 2022

¹⁾Laxfiskar

²⁾Háskóli Íslands

Inngangur

Árið 2019 styrkti Fiskræktarsjóður erfðarannsókn sem er hluti af heildarvöktun fiskistofna í Fífustaðadalsá, Selárdalsá og Bakkadalsá í Arnarfirði sem staðið hefur yfir árlega frá 2015. Í rannsókninni er stofngerð laxastofna í Fífustaðadalsá og Selárdalsá í Arnarfirði kortlögð ásamt því að ákvörðuð er hlutdeild eldislaxa sem sloppið hafa úr sjókvíaeldi og gengið í árnar til hrygningar. Erfðarannsókn þessi hefur gengið vonum framar og á síðari hluta þessa árs verður sent til birtingar í ritrýndu tímariti handrit að grein um helstu niðurstöður. Erfðarannsóknin hefur þróast frá því að hún hófst 2019 og í upphafi þessarar greinargerðar er fjallað hvernig rannsóknaraðilar nýttu nýjar leiðir til að styrkja erfðarannsóknina. Í síðari hluta greinargerðarinnar eru reifuð dæmi um niðurstöður sem fjallað er um í nefndri vísindagrein.

1. Þróun rannsóknarinnar

Í kjölfar þess að lífsýna af hrygningarlaxi og annarra gagna ársins 2019 hafði verið aflað þá um haustið í Fífustaðadalsá og Selárdalsá vöknudu spurningar varðandi það hvort bæta mætti upplausn og um leið gagnsemi gagnanna með því að styðjast við aðrar úrvinnsluaðferðir en þær sem lagt hafði verið upp með í rannsóknaráætluninni. Á endanum varð það úr að við settum stefnuna á úrvinnsluaðferð sem skila myndi ítarlegri gögnum en sú aðferð sem lagt hafði verið upp með að nota. Aðferðin sem við ákváðum að nota var aukinheldur ódýrari í framkvæmd sem gaf færi á að greina fleiri sýni. Þannig var mögulegt að auka við fjölda lífsýna en því einungis að rannsóknaraðilar legðu til viðbótarframlag af sinni hálfu vegna öflunar og frágangs á þeim viðbótarsýnum sem og vegna þess aukna umfangs sem viðbót þessi fól í sér varðandi gagnavinnslu og skrif. Þau lífssýni sem þannig bættust við grunn gögn rannsóknarinnar voru af þrennum toga. Í fyrsta lagi lífsýni af seiðum sem við af forsjálmi öfluðum umfram áætlanir árið 2019 með rafveiðum í Fífustaðadalsá og Selárdalsá. Í öðru lagi var lífsýnum af öllum hrygningarfiski í Fífustaðadalsá og Selárdalsá 2020 bætt við úrvinnsluna. Í þriðja lagi voru lífsýni í eigu rannsóknarfyrirtækisins Laxfiska úr nokkrum öðrum árkerfum nýtt sem viðmið til samanburðar við heimastofnana í Fífustaðadalsá og Selárdalsá.

Í því skyni að gefa innsýn í þær umbætur sem ofangreindar breytingar höfðu í för með sér fyrir rannsóknarverkið þá eru hér nefndir nokkrir þættir sem gefa innsýn í það, út frá upphaflegri rannsóknáætlun og síðan endanlegu fyrirkomulagi rannsóknarinnar.

Hér að neðan eru tíunduð markmið rannsóknarvinnunar og síðan litið til þess hvernig sýnafjöldi og önnur grundvallaratriði rannsóknarinnar breyttust frá því sem upphaflega var áætlað.

Grunnþættir verksins samkvæmt upphaflegri áætlun rannsóknarinnar

Markmið samkvæmt rannsóknaráætlun styrkumsóknar til Fiskræktarsjóðs 2019

- A. Kortlagning á stofngerð heimastofnanna á grunni lífsýna af hrygningarlaxi 2017 og 2019.
- B. Staðfest hlutdeild eldislaxa á hrygningarslóð 2017 og 2019.
- C. Grein með niðurstöðum yfir A og B í ritrýndu tímariti.

Grundvöllur rannsóknarvinnu samkvæmt áætlun styrkumsóknar til Fiskræktarsjóðs

- Sýni af hrygningarlaxi 2017 og 2019, samtals um 60 sýni.
- Úrvinnsla á erfðabreytileika (þ.m.t. varðandi eldiseinkenni) á grunni skv. SALSEA markera.
- Styrkur Fiskræktarsjóðs (88% af umbeðinni styrkumsóknarupphæð fékkst).

Breytingar á grunnþáttum verksins samkvæmt endanlegri mynd rannsóknarinnar

Fyrirgreindir grundvallarliðir rannsóknarinnar (A-C) voru betrumbættir með þrennum hætti, umfram það sem upphafleg rannsóknaráætlun kvað á um.

Í fyrsta lagi var bætt við miklu magni lífsýna úr báðum ánum, bæði frá öðru lífsstigi (laxaseiðin frá 2019) og frá viðbótarári (hrygningarlaxinn haustið 2020). Þessi viðbót skilaði tæplega 60 lífsýnum af hrygningarlaxi (2020) og um 140 lífsýnum af laxaseiðum (2019), samtals um 200 lífsýnum. Fjöldi lífsýna af laxi úr Fífustaðadalsá og Selárdalsá sem unnin var í endanlegri útgáfu verkefnisins var því ríflega fjórfalt meiri en rannsóknin sem lagt var upp með gerði ráð fyrir.

Í öðru lagi var rannsóknin styrkt með því að auka verulega upplausn sjálfra erfðagagnanna sem unnin voru. Það var gert með því að hverfa frá því að kortleggja arfgerð laxastofnanna og eldislaxanna með SALSEA markerum (örtunglum) og vinna þess í stað lífsýnin með greiningu á breytileika í einstaka basapörum (SNP) með svokallaðri radseq aðferð (einnig þekkt sem GBS eða genotype by sequencing). Með því móti var upplausn gagnanna aukin gríðarlega því úrvinnslan sem keypt var fól í sér að erfðaupplýsingar frá ríflega 17 þúsund basapörum voru skráðar fyrir hvern fisk. Til að tengja gögnin sem fengust við niðurstöður SALSEA greininga á laxastofnum Fífustaðadalsár og Selárdalsár og niðurstöður SALSEA greininga á eldislaxum úr sjókvímum sem þar höfðu veiðst, voru unnin með þessum hætti 26 sýni (þar af 4 eldislaxar) úr umræddum ám sem búið var að greina samkvæmt SALSEA microsatellite erfðamörkum. Með þessu móti var í senn hægt að fá sérlega nákvæmar upplýsingar um erfðasamsetningu heimastofnana í Fífustaðadalsá og Selárdalsá og um leið staðfesta eldisuppruna laxa sem sloppið höfðu úr sjókvímum og síðan gengið í umræddar ár til hrygningar.

Í þriðja lagi var vægi rannsóknarinnar aukið með því að nýta sem viðmið lífsýni sem aflað hafði verið í öðrum árkerfum. Sá samanburðar gaf um leið sýn á það hvort erfðablöndun frá eldislaxum fyrirfinndist í þeim ám. Lokið hefur verið við úrvinnslu sýna úr eftirtöldum ám til samanburðar: Elliðaám, Vatnsdalsá í Vatnsfirði, Selá í Steingrímsfirði og Laxá í Aðaldal.

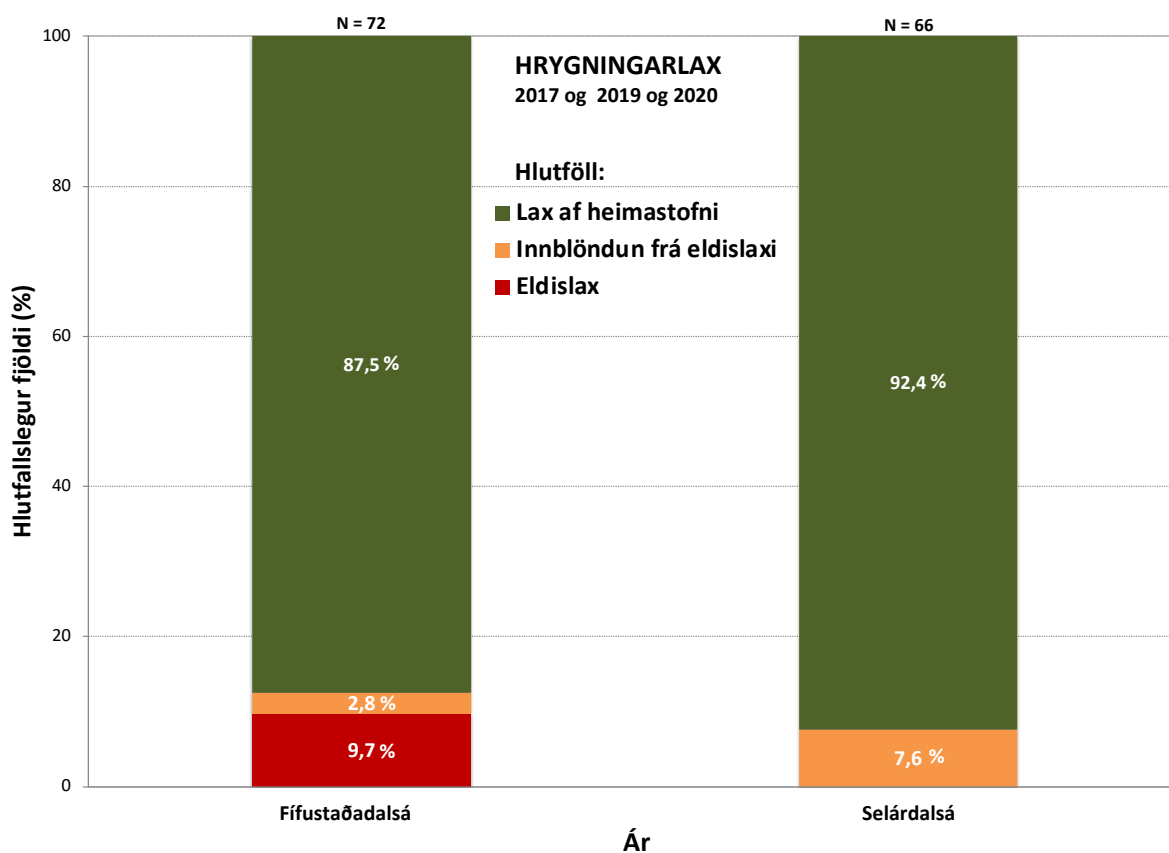
Erfðafræðileg úrvinnsla byggði á að lýsa breytileika innan og milli áa. Sú úrvinnsla byggir á notkun fjölbreytugreininga (PCA) við samanburð einstaklinga og flokkunargreiningu (Structure) sem flokkar einstaklinga saman út frá breytileika í einstaka sætum og til samsetninga erfðamarka í ólíkum sætum innan erfðamengisins. Síðastnefnda aðferðin gefur einnig líkur (P) á því til hvaða erfðafræðilega hóps hver einstaklingur tilheyrir og þannig upplýsingar um mögulega erfðablöndun með vísun í upplýsingar um vægi erfðamengis hans með hliðsjón af ákveðnum hópum.

2. Niðurstöður rannsóknarinnar - dæmi

Samantekt á niðurstöðum rannsóknarinnar er enn í gangi en nokkrar helstu niðurstöður eru tíundaðar hér. Helstu niðurstöður varðandi eldislaxa og merki um innblöndun þeirra sem sjá má hjá laxi í Fífustaðadalsá og Selárdalsá eru fyrst settar fram á grunni flokkunargreiningar á grunni Structure. Í kjölfarið er gefin innsýn í niðurstöður fjölbreytugreininga (PCA) sem sýndu skýra aðgreiningu stofna í ám frá Vestfjörðum frá Elliðaá og frá Laxá í Aðaldal en litla aðgreiningu innan Vestfjarða. Hafa þarf í huga að þar sem úrvinnslu er ekki að fullu lokið þá er nauðsynlegt að slá varnagla varðandi það að hlutföll sem hér eru sett fram um innblöndun af hálfu eldislaxa geta breyst, sérstaklega í þeim tilfellum sem slík hlutföll eru lág ($P < 0.2$) – en fyrir liggur að meta þau gögn frekar með ítarlegri greiningum á gögnunum.

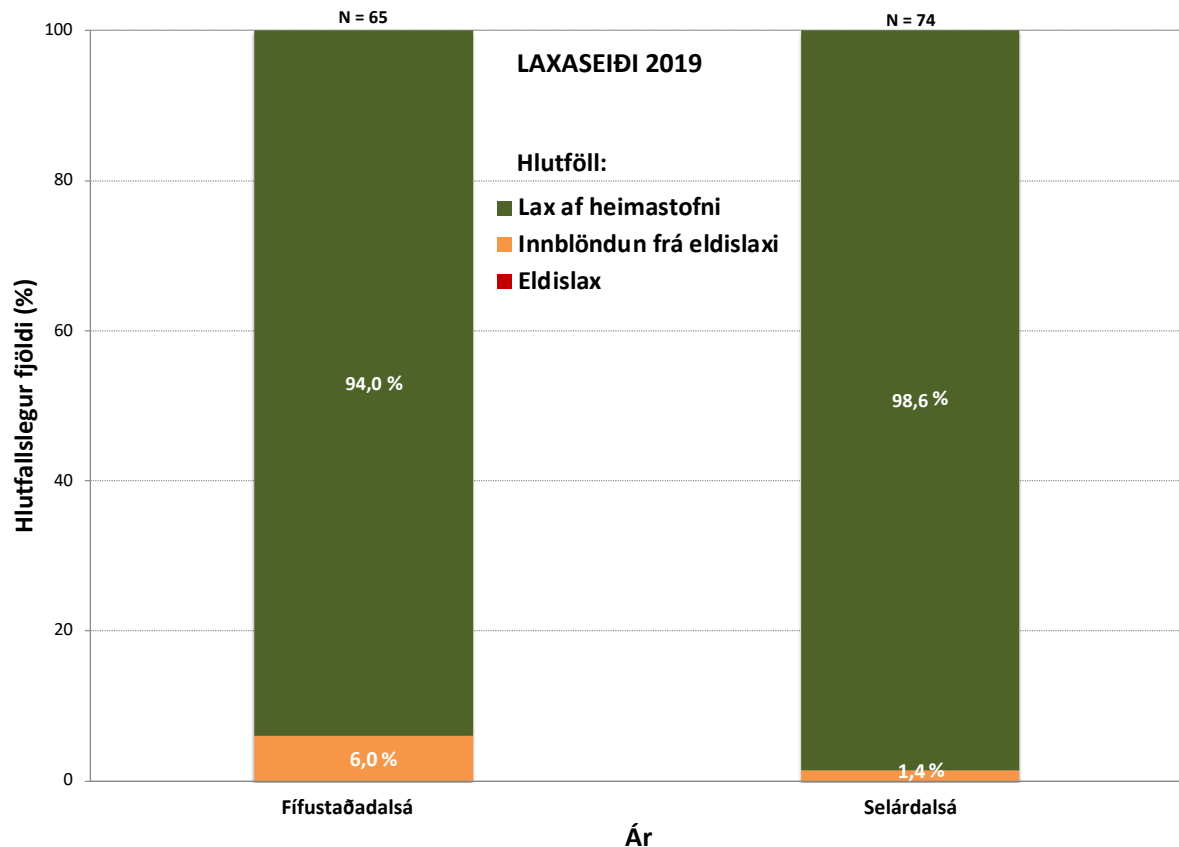
Fífustaðadalsá

Alls voru 140 laxar úr Fífudalsstaðaá greindir. Af þeim voru 75 hrygningarfiskar og 65 seiði. Af laxaseiðunum þá voru 19 veidd í efri hluta árinna en 46 seiðanna fengust af þeim neðri. Níu hrygningarlaxar sem veiddir voru í ánni, höfðu verið greindir áður sem eldislaxar (5) eða mögulegir eldislaxar (4), þar af fjórir á grunni erfðagagna samkvæmt örtunglum. Allir þeir 9 sem flokkaðir höfðu verið með þessum hætti sem eldislaxar sýndu skýra erfðafræðilega aðgreiningu frá löxum af heimastofni árinna og frá löxum úr öðrum ám sem voru athugaðar. Sjó af þessum löxum voru með líkur (P) á bilinu 0,9-1 á því að vera upprunnir úr þessum sérstaka hópi sem bendir til þess að þeir séu hreinir eldislaxar; einn var með um $P=0,75$ líkur sem samsvarar því að hann væri afkvæmi eldislax og afkvæmi eldislax og villts lax og einn fiskur var með um $P=0,5$ líkur sem samsvarar því að hann hafi verið afkvæmi eldislax og villts lax. Auk þessa greindist í Fífustaðadalsá einn eldishrygningarlax ($P=0.91$) meðal þeirra hrygningarlaxa sem sýndu ekki skýr einkenni eldislaxa (útlit- og/eða hreisturseinkenni). Þessu til viðbótar fundust tveir hrygningarlaxar með merki um erfðafræðilega innblöndun frá eldislöxum ($P = 0.1$ og 0.15). Samtals voru því í hópi hrygningarlaxanna úr Fífustaðadalsá 10 eldislaxar og 2 laxar með innblöndun frá eldislaxi. Af eldislöxunum þá voru 3 sýnanna (1 frá 2015 og 2 frá 2018) greind til viðmiðunar og til staðfestingar á fyrri erfðagreiningum lífsýna af þeim fiskum. Þegar þessi 3 sýni hafa verið undanskilin þá standa eftir sýni sem tekin voru holt og bolt af öllum hrygningarlaxi árin 2017, 2019 og 2020 í Fífustaðadalsá og Selárdalsá (1. mynd). Myndin sýnir hvernig eldislaxar komu við sögu í röðum hrygningarlaxa sem gengu til hrygningar í þessar tvær ár umrædd 3 ár.



1. mynd. Hlutföll hrygningarlaxa í Fífustaðadalsá og Selárdalsá árin 2017, 2019 og 2020 sem flokkast með erfðamengi af heimastofni ána, erfðamengi eldislaxa sem sloppið höfðu úr sjókvíældi og erfðamengi laxa sem báru merki innblöndunar eldislaxa.

Auk þeirrar myndar sem fékkst af ummerkjum eldislaxa með greiningum á hrygningarlöxum þá fékkst innsýn í það hver erfðafraeðileg blöndun frá eldislaxum væri í röðum laxaseiða á grunni úrtaks seiða sem veitt var í Fífustaðadalsánni 2019. Í hópi þeirra 65 seiða þá voru fjögur laxaseiði með ótvíræð merki slíkrar innblöndunar ($P = 0,27-0,35$), eða sem nemur 6% af heildarhópi þeirra laxaseiða. Þau áhrif innblöndunar eldislaxa voru þó eingöngu bundin við laxaseiði sem veidd voru í efri hluta ársinnar, þar sem um fimmta hvert laxaseiði (21% seiðanna) greindist með erfðablöndun sem runnin var frá eldislaxi >0.25 . Á 2. mynd má sjá í hvaða hlutfalli erfðablöndunin kemur fyrir hjá laxaseiðunum í úrtakinu frá 2019, bæði úr Fífustaðadalsá og úr Selárdalsá.



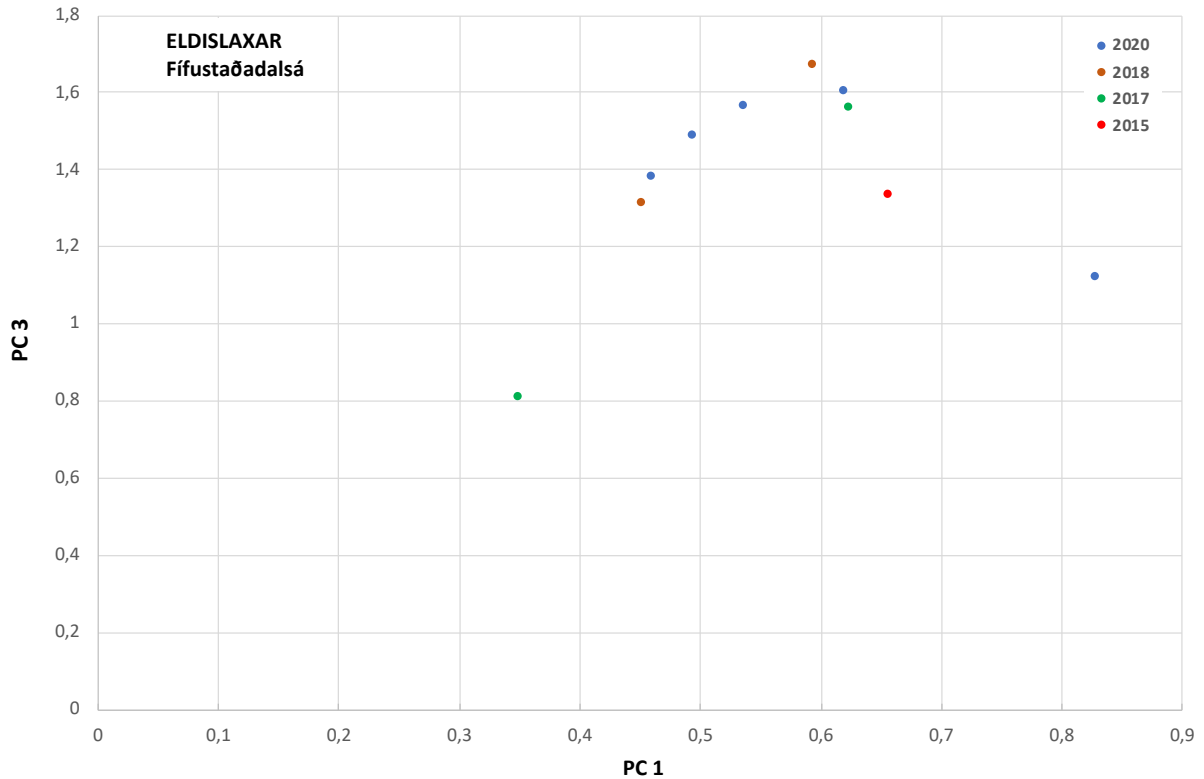
2. mynd. Hlutföll laxaseiða sem voru rafveidd í Fífustaðadalsá (2 stöðvar) og Selárdalsá (2 stöðvar) árið 2019 eftir því hvort þau flokkast með erfðamengi laxa af heimastofni eða erfðamengi laxa sem báru merki um innblöndun eldislaxa.

Selárdalsá

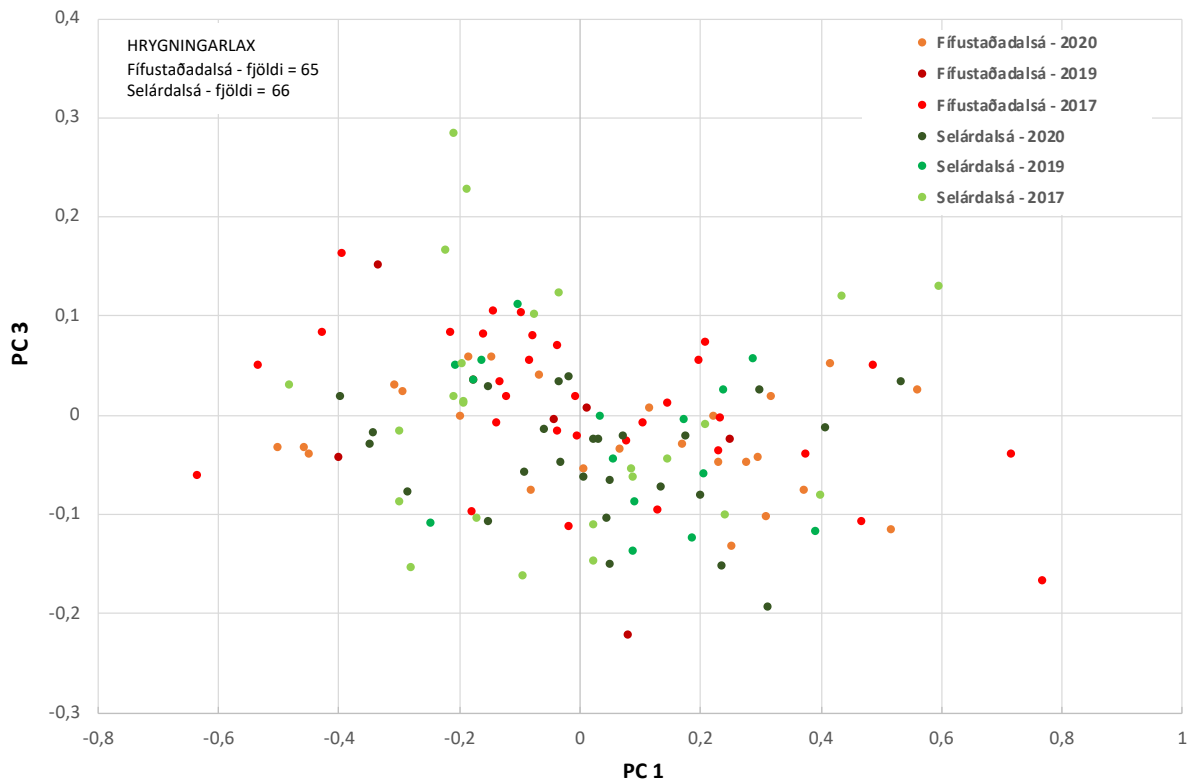
Alls voru 140 laxar úr Selárdalsá greindir. Af þeim voru 66 hrygningarfiskar og 74 seiði þar af 29 seiði úr efri hluta ársinnar og 45 seiði úr þeim neðri. Sex einstaklingar sýndu merki erfðablöndunar frá eldislaxum (P frá $0,11-0,25$). Í þeim hópi reyndust 2 laxanna sýna innblöndun frá eldislaxi sem nam $1/4$ og 4 laxanna sýndu slíka innblöndun sem nam um $1/8$. Líkt og dregið var upp á 1. mynd þá var uppistaða þessara arfblandnu laxa hrygningarlaxar, fimm að tölu (7,6%). Auk þess var slíka erfðablöndun að finna hjá einu laxaseiðanna, sem veitt var í neðri hluta ársinnar þar sem það nam 2% af seiðaúrtakinu, en af heildarúrtakinu úr allri ánni stóð það fyrir 1,4% af fjöldanum (2. mynd).

Dæmi um niðurstöður fjölbreytugreininga

Í því skyni að gefa hér smá innsýn í gögnin sem fjölbreytugreiningar skiluðu þá eru hér sett fram 2 gröf (3. mynd) þar sem sömu PCA ásarnir eru skoðaðir annars vegar fyrir hreina eldislaxa í Fífustaðadalsá og hinsvegar hrygningarlaxa af heimastofnum áнна að meðtöldum löxum sem voru arfblendnir með hliðsjón af innblöndun eldislaxa.



a.



b.

3. mynd. Aðgreining hrygningarlaxa út frá breytileika erfðamengja þeirra samkvæmt meginásá greiningu (Principal Component Analysis). Aðgreining á fyrsta og þriðja ás greiningarinnar er sýnd sér fyrir einstaklinga sem flokkast til eldislaxa (a) og allra hinna (b).

Aðrar ár – viðmið til samanburðar

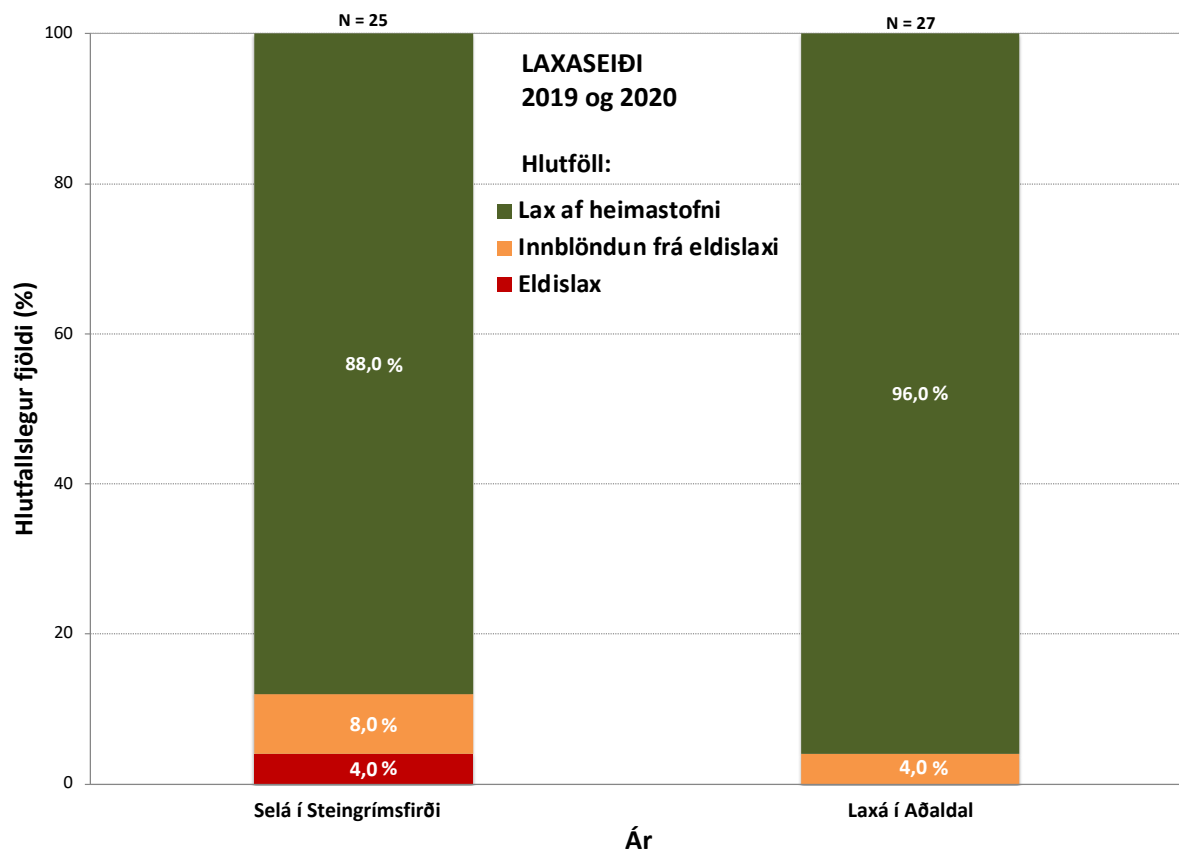
Í þeim samanburðarám þar sem úrvinnslu er lokið greindust almennt lítil merki um erfðablöndun sem rekja mætti til eldislaxa. Í tveimur ánum kom slík erfðablöndun þó fyrir sem var í senn óvænt og dapurlegt.

Í Elliðaánum voru lífsýni af 77 laxaseiðum greind, og ekkert seiðanna greindist með merki um erfðablöndun frá eldislaxi > 0.1

Tólf hrygningarlaxar voru greindir í Vatnsdalsá, en enginn þeirra greindist með merki um erfðablöndun frá eldislaxi > 0.1.

Af 25 seiðum sem voru athuguð úr Selá í Steingrímsfirði greindist eitt seiði sem eldislax þ.e.a.s. það var afkvæmi hrygningar milli tveggja eldislaxa ($P=0.96$) og tvö önnur seiði greindust með merki um innblöndun sem rekja mátti til eldislaxa ($P=0.168$ og 0.175). Laxaseiðið sem greindist sem afkvæmi tveggja eldislaxa veiddist stakstætt á neðsta svæði ársinnar (4. mynd).

Í Laxá í Aðaldal greindist eitt laxaseiði af 27 með merki um erfðablöndun sem rekja má til eldislaxa ($P=0.25$) sem jafngildir því að það sé afkvæmi blendings (undan villtum laxi og eldislaxi) og villts lax (4. mynd).



4. mynd. Hlutföll laxaseiða sem voru rafveidd í Selá í Steingrímsfirði árið 2019 og Laxá í Aðaldal 2020, með hliðsjón af uppruna og vísbendinga um erfðablöndun. Laxaseiðin voru flokkuð til heimastofns, og til laxa sem báru með sér merki innblöndunar eldislaxa. Eitt laxaseiði reyndist afkvæmi tveggja eldislaxa og flokkast því sem eldislax.

Niðurlag

Hér hefur verið skyggst inn í upphaf þeirrar arfgerðarvöktunar sem rannsóknin felur í sér á laxastofnum í Fífustaðadalsá og Selárdalsá – sem segja má að sé mikilvægasti þáttur þeirrar langtímavöktunar sem haldið er úti á þeim stofnum með tilstyrk Fiskræktarsjóðs. Niðurstöðurnar segja allt sem segja þarf um nauðsyn rannsóknarinnar og þá gagnsemi sem hafa má af upplýsingunum sem hún skilar. Fiskræktarsjóði er þakkaður mikilsverður stuðningur sem fjárhagslegur grundvöllur rannsóknarverksins hvílir á.