

HV 2017-027
ISSN 2298-9137



HAF- OG VATNARANNSÓKNIR

MARINE AND FRESHWATER RESEARCH IN ICELAND

Áhættumat vegna mögulegrar erfðablöndunar milli eldislaxa
og náttúrulegra laxastofna á Íslandi

Ragnar Jóhannsson, Sigurður Guðjónsson, Agnar Steinarsson og Jón Hlöðver Friðriksson

REYKJAVÍK JÚLÍ 2017

Áhættumat vegna mögulegrar erfðablöndunar milli eldislaxa og náttúrulegra laxastofna á Íslandi

Ragnar Jóhannsson, Sigurður Guðjónsson, Agnar Steinarsson og
Jón Hlöðver Friðriksson

Upplýsingablað

Titill: Áhættumat vegna mögulegrar erfðablöndunar milli eldislaxa og náttúrulegra laxastofna á Íslandi		
Höfundur: Ragnar Jóhannsson, Sigurður Guðjónsson, Agnar Steinarsson og Jón Hlöðver Friðriksson		
Skýrsla nr: HV 2017-027	Verkefnisstjóri: Ragnar Jóhannsson	Verknúmer: 10598
ISSN nr. 2298-9137	Fjöldi síðna: 38	Útgáfudagur: 14.07 2017
Unnið fyrir: Hafrannsóknastofnun	Dreifing: Opin	Yfirfarið af: SG
<p>Ágrip: Unnið var áhættumat vegna mögulegrar erfðablöndunar frá laxeldi í sjókvímum á Vestfjörðum og Austfjörðum. Matið var unnið í samstarfi með erlendum sérfræðingum á sviði stofnerfðafræði. Áhættumatið verður sannreynt og uppfært reglulega með viðamikilli vöktun í laxveiðiánum. Getur það leitt til aukningar eða minnkunar á æskilegu leyfilegu magni á frjóum laxi í sjókvíaeldi. Frumforsenda greiningarinnar er að náttúrulegir laxastofnar skaðist ekki. Sé tekið tillit til varúðarsjónarmiða er miðað við að fjöldi eldislaxa verði ekki meira en 4% í ánum en erfðablöndun verði mun lægri. Notuð voru bestu fánleg gögn bæði innan lands og utan. Búið var til dreifingarlíkan sem sýnir hvernig eldislax getur dreift frá eldissvæðum á Vestfjörðum og Austfjörðum. Fjöldi eldislaxa sem getur komið í ár er háður fjarlægð frá eldissvæði og umfangi eldisins.</p> <p>Líkanið gerir almennt ráð fyrir litlum áhrifum á náttúrulega stofna fyrir utan nokkrar ár. Nokkur áhrif verða á Laugardalsá, Hvannadalsá/Langadalsá í Ísafjarðardjúpi en Breiðdalsá í Breiðdalsvík er sú á sem virðist í mestri hættu. Þessar fjórar ár þarf að vakta sérstaklega. Af þessum ástæðum og í ljósi núverandi þekkingar er lagt til að ekki verði leyft eldi í Ísafjarðardjúpi vegna mögulegra mikilla neikvæðra áhrifa á laxastofna í Djúpinu. Af sömu ástæðum er lagt til að eldi verði ekki aukið í Berufirði og lagst gegn eldi í Stöðvarfirði vegna nálægðar við Breiðdalsá. Niðurstöður matsins eru því að ásætlanlegt sé að leyfa allt að 71.000 tonna framleiðslu af frjóum eldislaxi hér við land. Þar af 50.000 tonn á Vestfjörðum og 21.000 tonn á Austfjörðum. Hér er um að ræða um sjöfalda núverandi ársframleiðslu í íslensku laxeldi sem nú er um 10.000 tonn. Helsta ástæðan fyrir þessari niðurstöðu er sú að eldissvæðin eru í mikilli fjarlægð frá helstu laxveiðiám og laxeldi er bannað á mjög stórum hluta strandlengjunnar. Í Noregi og Skotlandi eru eldissvæðin hins vegar í mjög mikilli nálægð við helstu laxveiðiár og því verða blöndunaráhrifin mun meiri í þessum löndum. Áhættumatslíkanið er fyrst og fremst hugsað sem gagnvirkt verkfæri til þess að meta mögulegt umfang erfðablöndunar á hlutlægan hátt.</p> <p>Til viðbótar eru lagðar til mótvægisáðgerðir til að sporna við erfðablöndun. Þeirra helstar eru að leggja enn meiri áherslu á að næg hrygning sé ávallt til staðar í náttúrulegum laxveiðiám. Þá er lagt til að stór gönguseiði verði notuð í eldinu í meira mæli en nú er. Það dregur bæði úr hættu á slyasleppingum og kemur eldinu einnig til góða. Þá er lagt til að kynbótum verði flýtt á eldisstofninum á þann veg að kynþroskastærð/aldur hækki með því að skima burt arfbera fyrir</p>		

snemmkynþroska í eldisstofninum. Það hefur þau áhrif að mun lægra hlutfall laxa er kynþroska við slátrun og dregur enn frekar úr hættu sem stafar frá þeim laxi auk þess að auka verðmæti sláturfisksins. Ef tekst að koma þessum aðgerðum í framkvæmd er mögulegt að endurmeta matið til hækkunar.

Þessu til viðbótar er unnt að ala ófrjóan lax. Auka þarf rannsóknir og tilraunir með ófrjóan lax á Íslandi við þær aðstæður sem hér eru. Þetta verði gert í samvinnu við erlenda rannsóknaraðila og eldisfyrirtækin í landinu. Í samræmi við framangreint er óhætt að ala auk 71.000 tonna framleiðslu af frjóum eldislaxi hér við land og allt að 61.000 tonn af ófrjóum laxi miðað við núverandi burðarþolsmat fyrir þessi svæði. Eldi á ófrjóum laxi á Vestfjörðum getur því orðið allt að 30.000 tonn til viðbótar við 50.000 tonna framleiðslu á frjóum laxi og á Austfjörðum getureldi á ófrjóum laxi orðið 31.000 tonn til viðbótar við framleiðslu á 21.000 tonnum af frjóum laxi. Aðrir þættir geta jafnframt takmarkað umfang eldisins eins og endurskoðað burðarþol, óæskileg áhrif laxalúsar, stærð heppilegra eldissvæða og ef vart verður við óæskileg áhrif á hrygningu eða uppeldi nytjastofna sjávar (þorskur, ýsa, rækja og fleiri tegundir). Starfshópur um stefnumótun í fiskeldi mun vinna með niðurstöður áhættumatsins í störfum sínum sem og ráðuneyti sjávarútvegs- og landbúnaðar.

Abstract:

Risk assessment was made to evaluate how much salmon farming could be operated in Iceland without taking too high risk of genetic deterioration of the wild salmon populations. Many fjords and bays with valuable salmon rivers are already closed for salmon farming and salmon farming is limited to 2 areas one in the Westfjords, NW- Iceland and another in the Eastfjords. The salmon farms use a strain of a Norwegian origin from a selective breeding program. The risk assessment will then be evaluated annually with monitoring of the wild population in the rivers. A monitoring programme is described where genetic introgression is measured annually in rivers in all parts of Iceland. Best available data from the literature was used in the model both from Iceland and from other salmon farming countries. Precautionary approach was used and the threshold number of escapees should not exceed 4 % in natural salmon rivers. Genetic introgression will presumably be much lower due to lower spawning success and fitness of the escapees from salmon farms. A model was made to calculate the distribution of escapees from farming sites in the Westfjords, NW-Iceland and the Eastfjords. Two separate models were run one for smolt escapees and another for adult escapees as the adults can travel in rivers further away and distribute more. The size of the farming and the distance to rivers are the key variables in the model.

Based on the principle to protect the wild populations it is suggested that not more than 71.000 tonnes of fertile salmon can be farmed in Iceland, thereof 50.000 tonnes in Westfjords and 21.000 in the Eastfjords. Three rivers close to the farming sites are most vulnerable and must be monitored.

A number of countermeasures are proposed to decrease the risk. These measures include; using larger smolt (500 g+), eliminating early maturity in the farm stock and increase research and development of using sterile salmon in farming and more. The ministry of fisheries and agriculture will now consider the conclusions of the risk assessment for its work in policy making for the aquaculture.

Lykilorð: Laxeldi, erfðafræði, áhætta, laxveiðiár

Undirskrift verkefnisstjóra:

Regus Johnsen

Undirskrift forstöðumanns sviðs:

Leifur Guðjónsson

Efnisyfirlit

Formáli	2
Samantekt	3
Ástand laxastofna í N-Atlantshafi og Kyrrahafi	6
Atlantshafslax	6
Kyrrahafslax	7
Laxveiði á Íslandi	8
Ástand íslenskra laxastofna	10
Stofngerð íslenskra laxastofna	12
Laxeldi á Íslandi	13
Slysasleppingar og strok eldislaxa á Íslandi	14
Rannsóknir á erfðablöndun íslenskra laxastofna	15
Erfðablöndun eldislaxa og villtra laxastofna í Noregi	16
Slysasleppingar og hrygning strokulaxa í Noregi	17
Mat á umfangi slysasleppinga í norsku laxeldi	17
Hrygning strokulaxa	17
Munurinn á eldislaxi og villtum laxi	18
Erlend reiknilíkön fyrir erfðablöndun laxastofna	19
Alþjóðlegt samstarf og reiknilíkön erfðablöndunar	19
Reiknilíkan og flokkunarkerfi NINA	20
Þröskuldsgildi í áhættumati erfðablöndunar í Noregi	20
Áhættulíkan fyrir erfðablöndun eldislax við íslenska stofna	21
Tilgangur reiknilíkans fyrir áhættumat	21
Sértæk virkni reiknilíkans fyrir íslenskar aðstæður	21
Forsendur og breytistærðir reiknilíkans	22
Reiknijöfnur reiknilíkans	23
Tillaga að þröskuldsgildi stroklaxa í stofni	24
Notkun áhættulíkansins	25
Notkun og niðurstöður líkans	25
Breytur	25
Niðurstöður miðað við rekstrarleyfi sem gefin hafa verið út	26
Niðurstöður miðað við núverandi burðarpólsmat.	27
Vöktunaráætlun	28
Skráning, eftirlit og merkingar	28
Varðveisla erfðaefnis	28
Vöktun	28
Sýnataka og greining	29
Mótvægisáðgerðir	31
Ályktanir og tillögur	33
Tillögur að magni eldis á hverju svæði	33
Heimildir	35

Formáli

Miklir möguleikar eru í fiskeldi á Íslandi. Til þess að nýta þá þarf aukna rannsókn- og þróunarvinnu. Áform eru uppi um aukið eldi á laxi í sjókvíum. Þegar notkun á norskættuðum kynbættum eldislaxi var leyfð upp úr aldamótum þá var um leið sjókvíaeldi á laxfiskum bannað í fjörðum og flóum utan helstu laxveiðiáanna til að vernda villtu laxastofnana gegn erfðablöndun og laxalús. Eftir standa svæði þar sem laxeldi er ekki bannað, aðallega á Vestfjörðum og Austfjörðum. Í dag hafa verið gefin út leyfi fyrir eldi á um 30.000 tonnum af laxi. Framleiðslan í ár er áætluð um 10.000 tonn. Óheft aukning á laxeldi í sjókvíum getur ógnað velferð villtra laxastofna. Því lagði Hafrannsóknastofnun til að unnið yrði áhættumat þar sem nýtt yrði fyrirbyggjandi þekking héraðs og erlendis til að meta hversu mikið eldi á frjóum laxi í sjókvíum væri óhætt að stunda án þess að óásættanleg áhætta væri tekin með náttúrulega laxastofna landsins. Samhliða yrði búin til og sett af stað vöktun í ánum til að endurmeta áhættuna með reglubundnum hætti. Í raun er þetta hugmyndafræðin með svipuðum hætti og aflaráðgjöf stofnunarinnar. Árlega mun vöktun segja til um hversu mikið eldi er ásættanlegt að stunda án þess að náttúrulegir laxastofnar skaðist. Vera kann að það þurfi að minnka umfang laxeldis eða óhætt verði að auka það. Áhættumatið tekur eingöngu til eldis á frjóum laxi. Með notkun á ófrjóum laxi er unnt að auka eldi umfram það sem hér er lagt til.

Þessi vinna hófst í vor með stuðningi frá umhverfissjóði sjókvíaeldis. Að vinnunni komu auk sérfræðinga Hafrannsóknastofnunar tveir virtir stofnerfðafræðingar, þeir Dr. Eric Verspoor, forstöðumaður Áa og vatnastofnunar Inverness college, University of the Highlands and Islands í Skotlandi og Dr. Philip McGinnity, vísindamaður við Cork University á Írlandi.

Hér eru niðurstöður og tillögur stofnunarinnar settar fram. Hér er eingöngu mat lagt á áhættu vegna erfðablöndunar. Aðrir þættir geta takmarkað eldið eins og burðarþol fjarða eða endurskoðun þess sem þarf að gera um leið og álag (eldi) fer af stað í hverjum firði. Þá geta staðhættir og stærð fjarða takmarkað eldismöguleika. Einnig þarf að huga vel að vörnum gagnvart laxalús og að hún valdi ekki skaða í eldinu og náttúrulegum stofnum nærri eldissvæðum. Í íslenskum fjörðum á sér einnig stað hrygning nytjastofna og seiðauppeldi. Rannsaka þarf og vakta áhrif eldis á þessa þætti sem og á aðra nytjastofna eins og rækju.

Samantekt

Stangveiði og netaveiði úr náttúrulegum íslenskum laxastofnum hafa gefið að meðaltali um það bil 40-50 þúsund laxa á ári undanfarna fjóra áratugi. Með tilkomu hafbeitar og sleppinga, ásamt minnkun netaveiða, hefur síðan orðið mikil fjölgun í heildarfjölda stangveiddra laxa upp í allt að 80-90 þúsund laxa í bestu árum. Bein verðmæti veiðiréttinda í íslenskum laxveiðiám eru metin yfir 4 milljarðar króna og með afleiddum, óbeinum áhrifum (gisting, veitingasala o.fl.) metin 15-20 milljarðar króna á ári.

Íslenskar stofnerfðarannsóknir hafa leitt í ljós erfðabreytileika milli íslenskra laxastofna og sýnt að hver á hefur sinn sérstaka stofn. Íslenskur lax er fjarskyldur öðrum Atlantshafslaxi. Mestur erfðamunur er milli lax í Ameríku og Evrópu, svo myndar íslenskur lax sérstakan erfðahóp sem skilur sig frá evrópskum laxi. Norskur lax er því fjarskyldur íslenskum laxi en eldisstofn af norskum uppruna er notaður í eldið hér á landi. Staða íslensku laxastofnanna er allgóð en víða hefur laxastofnum hnignað annars staðar. Hlutfall stórlaxa í íslenskri laxveiði var u.þ.b. 50% fyrir fjórtíu árum síðan en upp úr 1985 fór hlutfall stórlaxa í laxveiði hratt minnkandi og hlutfallið var komið niður í rúm 10% á árunum upp úr aldamótum. Meginástæða þess er hærri dánartala lax á öðru ári í sjó. Til að sporna við því að tapa þessum erfðabætti úr stofninum var farið að sleppa stangveiddum stórlaxi lifandi. Hlutfall stórlaxa hefur farið heldur vaxandi á nýjan leik og var 14% á árinu 2015.

Laxeldi á Íslandi á sér 45 ára sögu og fyrir um það bil sjö árum síðan hófst svokölluð þriðja bylgja sjókvíaeldis á laxi á Íslandi. Árið 2016 urðu tímamót þegar framleiðslan rúmlega tvöfaldaðist á einu ári upp í 7.200 tonn og á yfirstandandi ári er áætlað að framleiðslan muni aukast upp í u.þ.b. 10 þúsund tonn. Útflutningsverðmæti alls fiskeldis í landinu námu 13 milljörðum króna á síðasta ári. Á upphafsárum sjókvíaeldis á níunda áratug síðustu aldar var mikið um slysasleppingar, strok og villur eldislaxa af íslenskum eldisstofnum. Sýnt hefur verið fram á það að erfðablöndun eldislaxa og villtra stofna átti sér stað í Elliðaánum á níunda áratugnum. Upp úr aldamótum var leyft að nota kynbættan, norskættaðan eldislax í íslensku laxeldi í sjókvíum. Um leið var bannað að stunda laxeldi í fjörðum og flóum utan við helstu laxveiðiár landsins. Stór slysaslepping átti sér stað á Norðfirði árið 2003 en langflestir þeirra týndust í hafi og aðeins er staðfest að 0,4% þeirra hafi veiðst í laxveiðiám. Önnur smærri slysaslepping varð á Patreksfirði árið 2013 og í kjölfarið hafa fundist sterkar vísbendingar um erfðablöndun í villtum laxastofnum í tveimur ám nálægt eldisvæðum í Tálknafirði og Arnarfirði. Ekki fundust merki erfðablöndunar í fjarlægari ám og almennt er mjög lítil laxagengd í ár á þessum slóðum.

Framleiðsla úr norsku laxeldi hefur verið um það bil 1 milljón tonn á ári á undanförunum árum. Talið er að umfang slysasleppinga hafi áður verið mjög hátt í samanburði við stærð villtra laxastofna en slysasleppingum hefur þó fækkað verulega á undanförunum árum. Opinberar tölur benda til þess að umfang slysasleppinga sé nú u.þ.b. 0,2 strokulaxar á hvert framleitt tonn en rannsóknir benda þó til þess að margfalda megi þessa tölu með stuðlinum 2 - 4 til að sjá raunverulegt umfang stroks og sleppinga. Árin 2014-2015 var strokufiskur meira en 10% af heildarfjölda kynþroska laxa í 10-20% af rannsókuðum ám í Noregi. Yfir 90% þeirra strokulaxa sem ganga upp í ár eru kynþroska en hafa þó almennt mjög lélega samkeppnishæfni gagnvart villtum fiski. Norskar rannsóknir hafa sýnt fram á erfðablöndun úr eldislaxi í um það bil helmingi af þeim norskum laxveiðiám sem innihalda $\frac{3}{4}$ hluta af norskum laxastofnum. Í um það bil fjórðungi ána reiknaðist hlutfall erfðablöndunar hærra en 10% og meðaltalsgildi erfðablöndunar í öllum ám var 6,4%. Helmingur ána var hins vegar laus við erfðablöndun þannig að miðgildi erfðablöndunar var mun lægra eða 2,3%. Þetta er lítið mjög alvarlegum augum af yfirvöldum og hagsmunaaðilum og ályktað var að varðveisla á erfðabreytileika villtra laxastofna náist aðeins með tvennum hætti, annars vegar með verulegri minnkun á fjölda strokulaxa út í villta náttúru eða með æxlunarhindrun í gegnum notkun á ófrjóum eldislaxi.

Í skýrslu þessari er kynnt nýtt gagnvirkt áhættumatslíkan fyrir erfðablöndun eldislax við villta íslenska laxastofna. Tilgangur líkansins er að gefa rétta mynd af fjölda strokufiska sem gætu tekið þátt í klaki í hverri á. Ef fjöldinn fer yfir þröskuldsmörk á hverju ári er hætta á því að erfðablöndun safnist upp með tíma og hafi áhrif á stofngerð náttúrulegra stofna. Ætlunin er að tryggja að framleiðsla úr íslensku laxeldi hafi ekki neikvæð áhrif á villta stofna og skapa um leið trausta ímynd íslensks laxeldis. Forsendur áhættulíkansins verða endurskoðaðar frá ári til árs í samræmi við niðurstöður vöktunaráætlunar. Með þeim hætti má byggja stjórnun laxeldis á nýjstu upplýsingum til að lágmarka umhverfisáhrif greinarinnar. Markmiðið er að hámarka atvinnu- og samfélagsleg áhrif laxeldis án neikvæðra áhrifa á lax- og silungsveiði í landinu. Þröskuldsgildi ásættanlegrar innblöndunar eldislaxa í náttúrulegar laxveiðiár miðast við 4% og var sett með hliðsjón af erlendum heimildum og náttúrulegu flakki villtra fiska milli áa. Þessi þröskuldsmörk verða síðan endurskoðuð með tilliti til niðurstaðna vöktunaráætlunar þar sem erfðamengi 20 áa/árkerfa verður greint árlega og erfðablöndun mæld. Lagt er til að fylgt verði niðurstöðum áhættulíkans með þeim hætti að gildi innblöndunar í þeim ám eða vatnakerfum sem það tekur yfir verði ekki hærra en þröskuldsgildið 4%. Lagt er mat á eftirfarandi firði: Vestfirðir: Ísafjarðardjúp, Arnarfjörður, Patreksfjörður (og Tálknafjörður), Dýrafjörður. Austfirðir: Berufjörður, Fáskrúðsfjörður, Reyðarfjörður, Stöðvarfjörður. Ekki er lagt mat á þá firði þar sem burðarþol liggur ekki fyrir. Taflan hér fyrir neðan sýnir niðurstöður áhættumatslíkansins varðandi hámarks umfang laxeldis á hverju svæði fyrir sig miðað við gefnar forsendur:

Landsvæði	Hámarkseldi samkvæmt erfðablöndunarmati
Vestfirðir	
Patreksfjörður, Tálknafjörður og Patreksfjarðarflói	20.000 tonn
Arnarfjörður	20.000 tonn
Dýrafjörður	10.000 tonn
Ísafjarðardjúp	0 tonn
Vestfirðir samtals:	50.000 tonn
Austfirðir	
Berufjörður	6.000 tonn
Fáskrúðsfjörður og Reyðarfjörður	15.000 tonn
Stöðvarfjörður	0 tonn
Austfirðir samtals:	21.000 tonn
Samtals:	71.000 tonn

Líkanið gerir almennt ráð fyrir litlum áhrifum fyrir utan fjórar ár. Nokkur áhrif verða á Laugardalsá, Hvannadalsá og Langadalsá í Ísafjarðardjúpi en Breiðdalsá er sú á sem virðist í mestri hættu. Þessar fjórar ár þarf að vakta sérstaklega. Af þessum ástæðum er lagt til að ekki verði leyft eldi í Ísafjarðardjúpi vegna mikilla neikvæðra áhrifa á ár í Djúpinu. Af sömu ástæðum er lagt til að eldi verði ekki aukið í Berufirði og lagst gegn eldi í Stöðvarfirði vegna nálægðar við Breiðdalsá. Ekki skiptir höfuðmáli hvernig eldi skiptist milli Reyðarfjarðar og Fáskrúðsfjarðar hvað varðar áhættu. Þrátt fyrir verulega aukið umfang laxeldis spáir líkanið mjög lítili innblöndun (langt undir þröskuldsmörkum) í öllum helstu laxveiðiám landsins (nema Breiðdalsá). Helsta ástæðan fyrir þessari niðurstöðu er sú að eldissvæðin eru í mikilli fjarlægð frá helstu laxveiðiám og laxeldi er bannað á mjög stórum hluta strandlengjunnar. Í Noregi og Skotlandi eru eldissvæðin hins vegar oft í mikilli nálægð við helstu laxveiðiár og því verða

blöndunaráhrifin mun meiri í þessum löndum. Áhættumatslíkanið er fyrst og fremst hugsað sem gagnvirkt verkfæri til þess að meta mögulegt umfang erfðablöndunar á hlutlægan hátt.

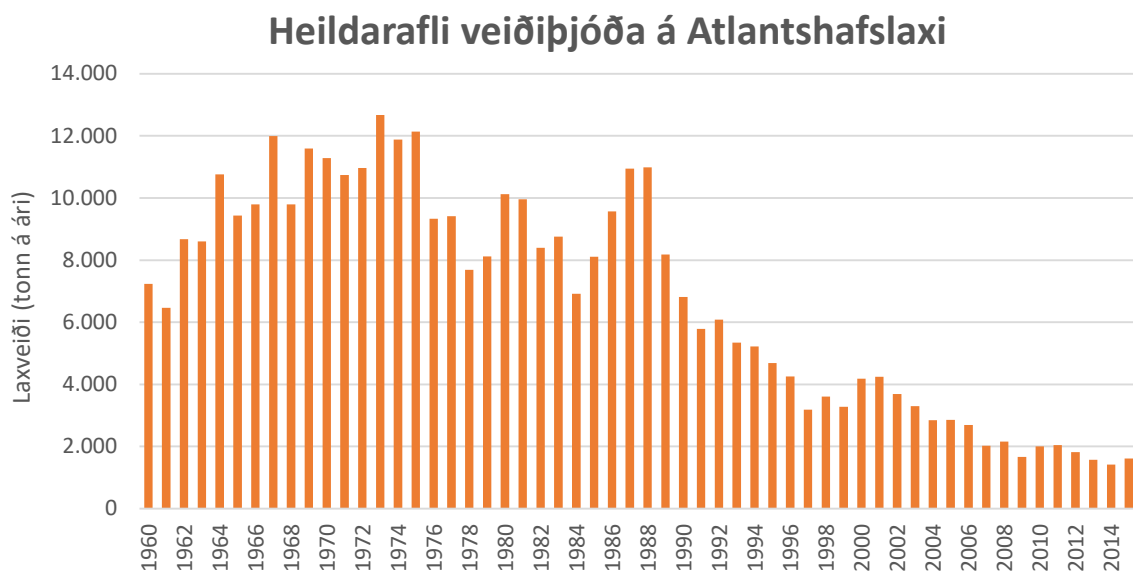
Til viðbótar eru lagðar til mótvægisáðgerðir til að sporna við erfðablöndun. Þeirra helstar eru að leggja enn meiri áherslu á að næg hrygning sé ávallt til staðar í náttúrulegum laxveiðiám. Þá er lagt til að stór gönguseiði verði notuð í eldinu í meira mæli en nú er. Það dregur úr áhættu á sleppingum og kemur eldinu einnig til góða. Þá er lagt til að kynbótum verði flýtt á eldisstofninum á þann veg að kynþroskastærð/-aldur hækki með því að skima burt arfbera fyrir snemmkynþroska í eldisstofninum. Það hefur þau áhrif að mun lægra hlutfall laxa er kynþroska við slátrun og dregur úr hættu sem stafar frá þeim laxi auk þess að auka verðmæti sláturfisksins. Auka þarf rannsóknir og tilraunir með ófrjóan lax á Íslandi við þær aðstæður sem hér eru. Þetta verði gert í samvinnu við erlenda rannsóknaraðila.

Ástand laxastofna í N-Atlantshafi og Kyrrahafi

Þegar unnið er mat á stöðu íslenskra laxastofnsins er skynsamlegt að byrja á því að skoða málin í stóru samhengi. Hér á eftir fylgir því örstutt samantekt á ástandi annarra laxastofna.

Atlantshafslax

Á árunum í kringum 1970 var skráður alþjóðlegur heildaraflí á Atlantshafslaxi iðulega á bilinu 11-12 þúsund tonn á ári eða sem samsvarar u.þ.b. 3-4 milljónum laxa. Þær þjóðir sem náðu mestum afla voru Grænland og Kanada með 2000-2500 tonn hvor þjóð. Síðan komu Norðmenn, Írar og Skotar með 1500-2000 tonn hver þjóð, Rússar og Englendingar með u.þ.b. 600 tonn hvor þjóð og Íslendingar með u.þ.b. 200 tonn. Færeyingar veiddu 300-1000 tonn á níunda áratugnum en hættu síðan laxveiðum alfarið fljótlega upp úr því. Heildaraflinn (með áætluðum óskráðum afla) hélst á bilinu 7-11 þúsund tonn út níunda áratuginn en hefur síðan farið stöðugt minnkandi. Í kringum aldamótin var aflinn kominn niður í u.þ.b. 4 þúsund tonn og þar af voru Norðmenn með 1200 tonn og Írar með 700 tonn. Á árunum 2010-2014 var meðaltals heildaraflinn kominn niður í tæp 1800 tonn (með óskráðum afla). Þar af voru Norðmenn með 600 tonn, Kanada, Skotland, Ísland og England með 110-143 tonn og Írland og Rússland með 84 tonn hvor þjóð. Mynd 1 sýnir framangreinda þróun í heildarafla allra veiðþjóða á Atlantshafslaxi á tímabilinu 1960-2015 (ICES 2015, 2016).



Mynd 1. Yfirlit yfir heildarafla á Atlantshafslaxi á tímabilinu 1960-2015. Myndin sýnir tilkynntan heildarafla allra veiðþjóða að viðbættum áætluðum óskráðum afla frá árinu 1986. Heimild: ICES 2016.

Mynd 1 sýnir glögglega hinn mikla samdrátt sem orðið hefur í laxveiðum í Atlantshafi á undanförunum áratugum. Heildarveiði á Atlantshafslaxi er því um þessar mundir aðeins um 1/6 hluti þess sem hún var fyrir þrjátíu árum síðan þ.e. aðeins ríflega hálf milljón laxa á ári. Sjóveiðar á laxi heyrja nú nánast sögunni til nema sem meðafli en í Noregi, Rússlandi og Bretlandseyjum er ennþá stunduð talsverð strandveiði í net og nemur þessi strandveiði alls um þriðjungi af heildaraflanum (ICES 2016).

Hin mikla minnkun í heildarveiði Atlantshafslax endurspeglar samsvarandi minnkun í stærð stofnsins. Almennt er talið að rekja megi hluta af þessari hnignun stofnsins til ýmissa mannglegra þátta s.s. ofveiði, hnattrænnar hlýnunar, mengunar, virkjanagerðar og hugsanlega fiskeldis (ICES 2016). Líklega er þó ofveiði langmikilvægasta ástæðan og stofninn er greinilega ennþá að súpa seyðið af hinni gegndarlausu ofveiði sem átti sér stað á stórum laxi í fæðugöngum við vesturhluta Grænlands á sjötta, sjöunda og

áttunda áratug síðustu aldar. Þessi fiskur kom að jöfnu frá ströndum Evrópu og Ameríku og að langmestu leyti var um að ræða stórlax sem var tvo vetur í sjó. Ofveiði á stórlaxinum hefur síðan almennt leitt til minni nýliðunar og minni framleiðni laxastofna. Áhrifin urðu líka augljós í íslenskum ám þar sem stórlaxahlutfallið er nú aðeins 10-15% en var í kringum 50% í byrjun áttunda áratugarins (Guðni Guðbergsson 2016). Netaveiði Íslendinga á stórlaxi í sjó og vötnum hefur auðvitað einnig haft slæm áhrif á ástand íslenskra laxastofna. Staða íslensku laxastofnanna er þó almennt talin allgóð en víða hefur laxastofnum hnignað annars staðar (ICES 2016).

Kyrrahafslax

Í Kyrrahafi eru stundaðar umfangsmiklar veiðar á fimm laxategundum. Heildaraflinn var á bilinu 300-400 þúsund tonn fram til 1977, jókst síðan jafnt og þétt og hefur haldist nokkuð stöðugur í kringum 1 milljón tonna síðan 1997 (u.þ.b. 500 milljónir laxa). Mest veiðist af *pink salmon* (41% af aflanum 2016) og síðan koma *chum* (33%), *sockeye* (21%), *coho* (3%) og *chinook* (1%). Meðalstærð *pink* er aðeins 1-2 kg en *chum* verður almennt um 5-7 kg. *Coho* og *sockeye* verða almennt 4-6 kg en *chinook* er risinn í hópnum og veiðist í meðalstærðinni 7-8 kg. Helstu veiðiþjóðirnar árið 2016 voru Rússar (51%), Bandaríkin/Alaska (31%), Japan (13%), Kanada (3%) og Kórea (1%) (Geiger et al. 2011).

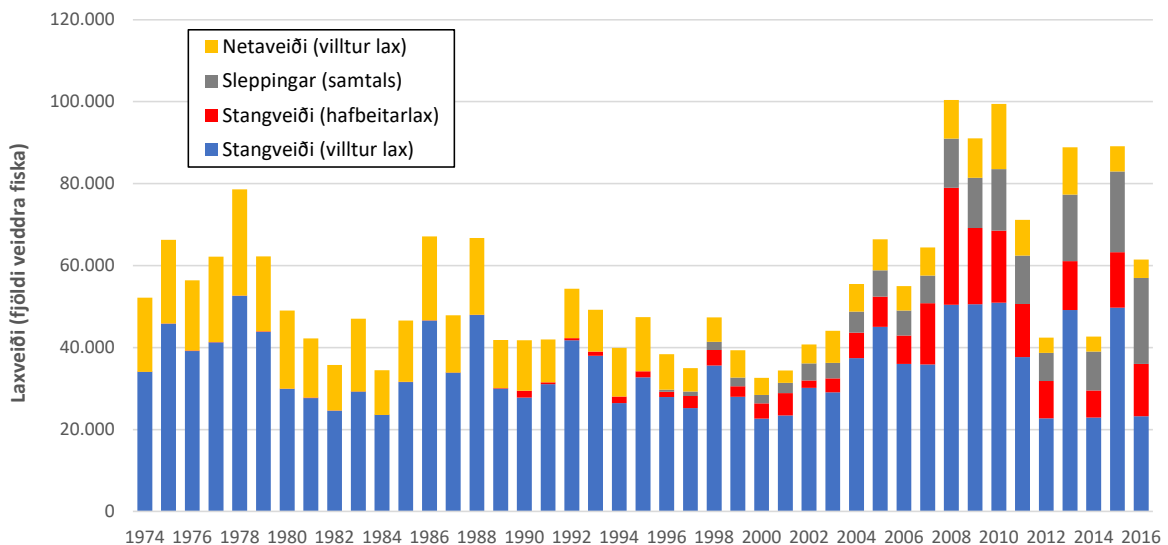
Hin varanlega aflaaukning á Kyrrahafslaxi sem hófst fyrir fjórum áratugum síðan er talin skýrast að hluta til af hlýnun sjávar en þó einnig að verulegu leyti af gríðarlega umfangsmiklum sleppingum eða hafbeiti á eldisseiðum. Undanfarna þrjú áratugi hafa veiðiþjóðirnar sleppt samtals u.þ.b. 5 milljörðum seiða í hafbeiti á hverju ári og samið síðan um aflaheimildir sín á milli. Á vesturströnd Bandaríkjanna (Washington og Oregon) er ástand laxastofna mjög slæmt og svo virðist sem útbreiðsla laxastofna hafi almennt færst norðar í kjölfar hlýnandi sjávar. Í Japan er ástandið einnig mjög slæmt vegna áhrifa mengunar og þéttbýlismyndunar. Annars staðar má almennt segja að staða villtra stofna sé nokkuð góð sem sannast á því að heildarlaxveiðiaflinn hefur haldist stöðugur undanfarna tvo áratugi (Noakes and Beamish 2011).

Sjókvíaeldi á Atlantshafslaxi er stundað við austurströnd Kanada (u.þ.b. 70 þúsund tonn á ári) og Washington-fylkis í Bandaríkjunum (u.þ.b. 7 þúsund tonn á ári). Mörg dæmi eru um slyssaleppingar úr eldiskvíum en Atlantshafslaxinn getur hins vegar ekki æxlast við Kyrrahafslax og því geta ekki myndast blendingar á milli tegundanna. Allt frá öndverðri 19. öld hafa stjórnvöld í Kanada og Bandaríkjunum staðið fyrir fjölmörgum tilraunum með innflutning á Atlantshafslaxi (hrognum og seiðum) í ár og vötn í þeim tilgangi að koma upp sjálfbærum stofni sem gæti staðið undir stangveiði á Atlantshafslaxi. Allar þessar tilraunir hafa hins vegar misheppnast og Atlantshafslaxinn virðist því eiga mjög erfitt með að ná varanlegri fótfestu í Kyrrahafinu, þrátt fyrir mikla aðstoð frá mannum (Noakes and Beamish 2011).

Laxveiði á Íslandi

Skipuleg skráning á veiðitölum úr íslenski laxveiði hófst á árinu 1974. Sókn hefur lítið breyst á undanförunum fjórum áratugum og því er almennt litið á veiðitölur sem góðan mælikvarða á stærð íslenska laxastofnsins (Ingi Rúnar Jónsson o.fl. 2008). Stöplaritíð á mynd 2 sýnir yfirlit yfir laxveiði á Íslandi á þessu tímabili. Veiðinni er skipt í fjóra meginflokka og búið er að leiðrétta sleppingar fyrir endurveiðum slepptra laxa (reiknað með 30% endurheimtum) (Guðni Guðbergsson og Sigurður Már Einarsson 2004, 2007).

Yfirlit yfir laxveiði á Íslandi



Mynd 2. Yfirlit yfir laxveiði á Íslandi á tímabilinu 1974-2016. Veiðinni er skipt í fjóra flokka (sjá skýringar) í samræmi við veiðiaðferð uppruna laxins. Athugið að veiðitölur fyrir árið 2016 byggja að hluta til á áætlun. Heimild: Guðni Guðbergsson 2016.

Netaveiðin (gulu stöplarnir) var á fyrri hluta tímabilsins oft nálægt 20.000 löxum á ári. Síðan 1997 hefur netaveiði eingöngu verið stunduð í ferskvatni (ám) og veiðitölur oftast verið á bilinu 4-10 þúsund laxar. Mest er netaveiðin í Þjórsá (50-60%) og Hvítá/Ölfusá (40-50%).

Hafbeitarlaxinn (rauðu stöplarnir) byrjar að koma að ráði inn í veiðina í kringum aldamótin og hefur frá árinu 2007 gefið að meðaltali 15 þúsund laxa á ári. Um það bil 95% af veiðinni kemur úr Ytri- og Eystri-Rangá (ásamt Þverám) en aðrar hafbeitarár eru til dæmis Breiðdalsá, Tungufljót, Skógá og Norðlingafljót. Lítið er um að hafbeitarlaxi sé sleppt lifandi (um 5% að meðaltali).

Sleppingar (gráu stöplarnir) fara að koma inn sem flokkur upp úr aldamótum. Á undanförunum árum hefur u.þ.b. 35% af stangveiddum villtum laxi verið sleppt lifandi aftur í ána (leiðrétt fyrir endurveiði). Veiðihlutfall á eins sjóvetra (1SW) smálaxi hefur haldist nokkuð stöðugt síðan 1974 (~50%) en veiðihlutfall á margra sjóvetra (MSW) stórlaxi hefur lækkað verulega á undanförunum árum (frá 70% í 50%) (ICES 2012).

Stangveiðiafli (þ.e. drepinn fiskur) af villtum laxi (bláu stöplarnir) hefur sveiflast á bilinu 22-50 þúsund laxar í gegnum allt tímabilið. Athygli vekur að aflinn hefur verið sögulega mikill undanfarin tíu ár að undanskildum árunum 2012 og 2014. Með tilkomu hafbeitar og sleppinga, ásamt minnkun netaveiða, hefur orðið mikil fjölgun í heildarfjölda stangveiddra laxa (allt að 80-90 þúsund laxar í bestu árum).

Í ársskýrslu Veiðimálastofnunar fyrir lax- og silungsveiði árið 2016 má telja 76 laxveiðiár sem hafa gefið meðalveiði umfram 60 laxa á ári á tímabilinu 1974-2015 og 64 ár sem hafa gefið yfir 100 laxa meðalveiði (Guðni Guðbergsson 2016). Veiðihæstu árnar árið 2016 voru Ytri-Rangá (9323 laxar), Miðfjarðará (4338 laxar), Eystri-Rangá (3254 laxar) og Blanda (2386 laxar). Aðrar gjöfular veiðiár með yfir 1000 laxa ársafli voru Þverá/Kjarrá, Laxá í Dölum, Langá, Haffjarðará, Norðurá, Laxá í Aðaldal, Haukadalsá og Víðidalsá. Þar skammt undan voru síðan Vatnsdalsá, Selá í Vopnafirði, Hítará og Elliðaárnar („Veiðisumarið 2017“).

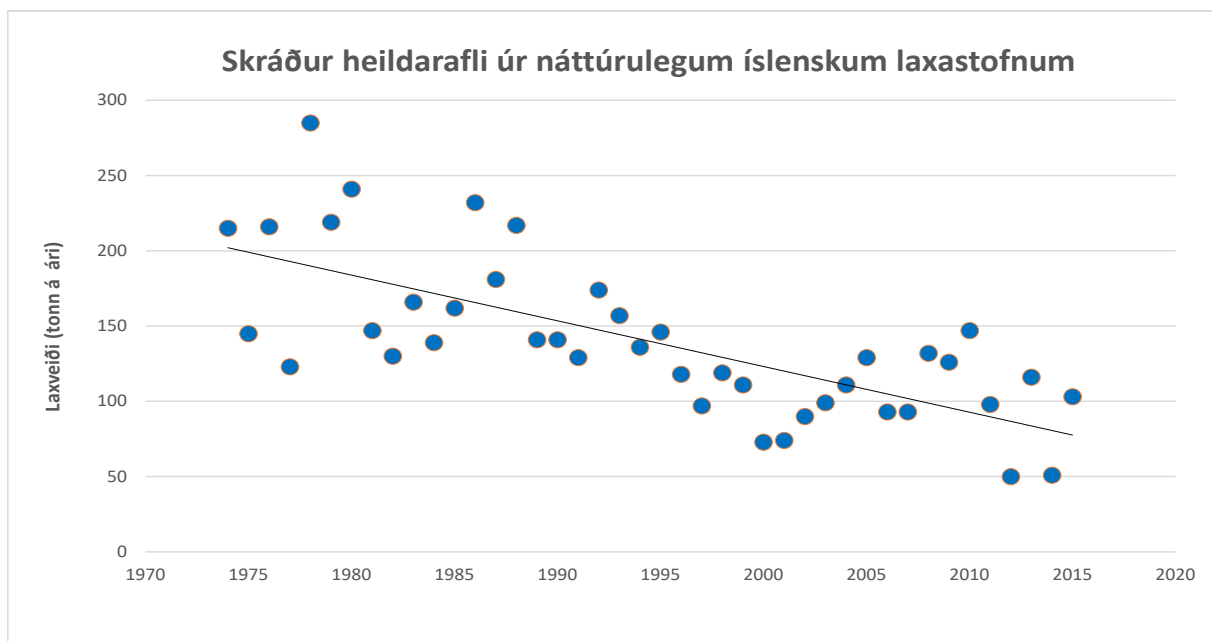
Gróft á litið má því áætla að íslensku laxveiðiárnar geti með gönguseiðasleppingum og minnkaðri netaveiði gefið af sér sjálfbæra veiði upp á 70 þúsund laxa á ári. Til að setja þessa tölu í samhengi við laxeldi þá má áætla að heildarstangveiðiafli á laxi á Íslandi nemi um 175 tonnum á ári (miðað við 2,5 kg meðalstærð) sem samsvarar u.þ.b. 1/60 hluta af framleiðslunni í íslensku laxeldi á yfirstandandi ári. Bein verðmæti veiðiréttinda í íslenskum laxveiðiám eru hins vegar metin á 3-4 milljarðar króna að núvirði og heildarverðmætasköpun með afleiddum, óbeinum áhrifum (gisting, veitingasala o.fl.) er metin í kringum 15-20 milljarðar króna á ári að núvirði (Hagfræðistofnun Háskóla Íslands 2004, Sigurbergur Steinsson 2009). Með þessum reiknikúnstum má því áætla að hver veiddur íslenskur lax skapi verðmæti sem nema u.þ.b. 250 þúsund íslenskum krónum, þó vissulega komi stór hluti þessara verðmæta úr vösum íslenskra veiðimanna og fyrirtækja.

Ástand íslenskra laxastofna

Stórlax er samkvæmt skilgreiningu lax sem hefur gengið tvo vetur eða meira í sjó áður en hann gengur upp í á til að hrygna. Í veiðiskýrslum flokkast hængar >4 kg og hrygnur >3,5 kg sem stórlaxar en fiskar undir þessum mörkum flokkast sem smálaxar (einn vetur í sjó). Erfðafræðirannsóknir hafa sýnt að laxinn hefur ákveðið stórlaxagen sem ræður lengd sjógöngunnar að miklu leyti (Barson o.fl. 2015). Hlutfall stórlaxa í íslenskri laxveiði var u.þ.b. 50% fyrstu tíu árin eftir að skráningar hófust en upp úr 1985 fór hlutfall stórlaxa í laxveiði hratt minnkandi og hlutfallið var komið niður í rúm 10% á árunum upp úr aldamótum. Meginástæða þess er talin vera hærri dánartala lax á öðru ári í sjó. Eftir að farið var að sleppa stangveiddum stórlaxi lifandi hefur tekist að hlutfall stórlaxa farið heldur vaxandi á nýjan leik og var 14% á árinu 2015 (Guðni Guðbergsson 2016).

Mælingar hafa jafnframt sýnt að meðalþyngd veiddra laxa hefur lækkað jafnt og þétt síðan mælingar hófust á áttunda áratugnum en þá var meðalþyngd smálaxa og stórlaxa u.þ.b. 3 kg og 6 kg. Meðalþyngd stórlaxa féll niður í 4,5 kg á árunum 2006-2009 en var búin að hækka aftur upp í 5,1 kg árið 2015. Meðalþyngd smálaxa féll niður í 2,1 kg á árinu 2013 en var búin að hækka aftur upp í 2,3 kg árið 2015. Þessi þróun gefur vísbendingu um að stórlaxastofninn sé að fara að rétta aftur úr kútnum (Guðni Guðbergsson 2016, Sigurður Már Einarsson og Ásta K. Guðmundsdóttir 2017).

Þegar eingöngu er litið á landaðan fjölda náttúrulegra laxa (bláu og gulu stöplarnir á mynd 2) sést að fjöldinn á síðustu 12 árum er almennt mjög svipaður og hann var á sjöunda og áttunda áratugnum. Þetta getur hins vegar gefið villandi mynd af þróuninni því að samsetning aflans hefur breyst verulega á tímabilinu. Hlutfall stórlaxa hefur lækkað mjög og meðalþyngd veiddra laxa hefur því lækkað mikið. Mynd 3 sýnir yfirlit yfir landaðan afla náttúrulegra laxa í tonnum á umræddu tímabili.



Mynd 3. Yfirlit skráðan afla á náttúrulegum laxi á Íslandi á tímabilinu 1974-2015. Um er að ræða samanlagða heildarþyngd á lönduðum laxi úr stangveiði og netveiði. Heimild: ICES 2016.

Mynd 3 gefur allt aðra mynd af þróun laxveiðinnar en mátti ráða af mynd 2. Vegna fallandi meðalþyngdar í aflanum (úr 4-5 kg niður í 2-3 kg) hefur landaður afli í tonnum fallið úr u.þ.b. 200 tonnum á áttunda áratugnum niður fyrir 100 tonn á ári á undanförunum árum. Sleppingar á lifandi fiski hafa þarna eitthvað að segja (sérstaklega síðustu þrjú árin) en þær breyta myndinni þó ekki verulega.

Myndin sýnir að heildaraflinn hefur haldist í kringum 100 tonninn síðan 1995 og líklegt er að aflinn muni ekki ná aftur fyrri hæðum nema stórlaxastofninn nái sér aftur á strik.

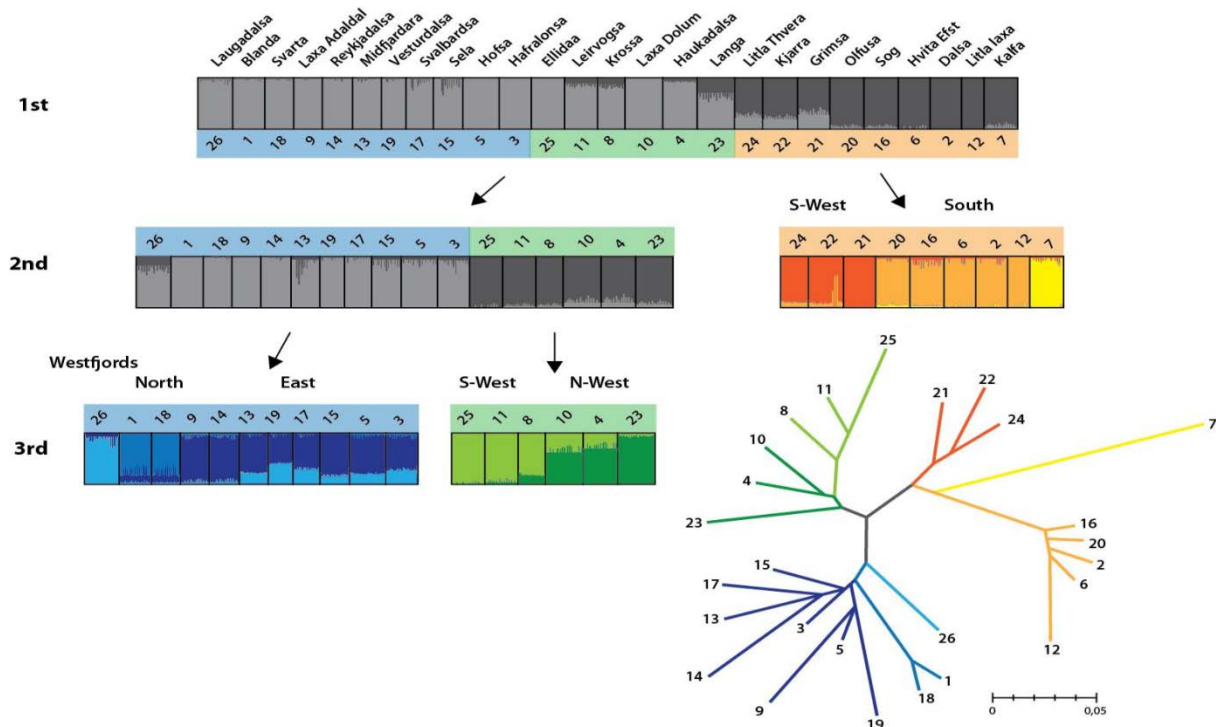
Ef litið er á þróun veiðinnar á mynd 2 þá má áætla að sjálfbær heildarveiði (stangveiði og netaveiði) úr hinum náttúrulega íslenska laxastofni sé af stærðargráðunni 50 þúsund laxar á ári. Á árunum fyrir 1985 hefði þessi afli að jafnaði skipst í 25 þúsund smálaxa og 25 þúsund stórlaxa. Í dag væri hins vegar nær lagi að skipta þessum sama afla upp í 42 þúsund smálaxa og 8 þúsund stórlaxa. Það er því ljóst að heildarfjöldi smálaxa hefur aukist verulega til þess að vega upp á móti hinni miklu fækkun stórlaxa (Guðni Guðbergsson 2016).

Í gegnum tíðina hafa margir haft af því áhyggjur að íslenskir laxar endi gjarnan sem meðafli hjá uppsjávarveiðiskipum og að það skýri að verulegu leyti þá minnkun sem orðið hefur á stangveiði á stórlaxi (Guðni Guðbergsson og Óðinn Sigþórsson 2007). Íslenskar erfðafræðirannsóknir í samstarfi Veiðimálastofnunar, Hafrannsóknastofnunar og Matís hafa hins vegar leitt í ljós að lax sem fæst sem meðafli við makrílveiðar á Íslandsmiðum er aðeins að mjög litlu leyti af íslenskum uppruna en að langmestu leyti upprunninn frá meginlandi Evrópu, ásamt Skandinavíu og Rússlandi (Kristinn Ólafsson o.fl. 2016). Líklegt er að íslenski laxinn leiti meira í suðvestur- og vesturátt í fæðugöngur og þá jafnvel að mestu leyti upp að vesturhluta Grænlands, enda hefur á því svæði orðið sambærileg fækkun stórlaxa og í íslenskum ám (Árni Ísaksson o.fl. 2002). Veiði á stórlaxi í grænenskri lögsögu hefur farið vaxandi á síðustu árum og hafa Kanadamenn af því sérstakar áhyggjur. Veiðin á þessu mikilvæga stórlaxasvæði er langt umfram ráðleggingar ICES og NASCO og vinnur þvert gegn markmiðum um uppbyggingu stofnsins (ICES 2016). Það gæti að sama skapi verið mikilvægt hagsmunamál fyrir Íslendinga að dregið verði aftur úr veiðum á þessu svæði.

Stofngerð íslenskra laxastofna

Íslenskar stofnerfðarannsóknir hafa leitt í ljós erfðabreytileika milli íslenskra laxastofna og sýnt að hver á hefur sinn sérstaka stofn. Íslenskur lax er fjarskyldur öðrum Atlantshafslaxi. Mestur erfðamunur er milli lax í Ameríku og Evrópu, svo myndar íslenskur lax sérstakan erfðahóp sem skilur sig frá evrópskum laxi. Norskur lax er því fjarskyldur íslenskum laxi en eldisstofn af norskum uppruna er notaður í eldið hér á landi.

Stofnerfðarannsóknir á laxi á Íslandi eru fáar og hafa aðeins tvær stórar rannsóknir kannað stofngerð laxastofna. Fyrri rannsóknin var framkvæmd á árunum 1990-1994 og beindist að erfðamörkum í laxi úr 32 ám og þremur eldistofnum sem aldrei voru hér við land. Rannsóknin leiddi í ljós að hver á hafði sérstakan stofn og 6,2% af erfðabreytileikanum mátti skýra með muni á milli stofna. Annan erfðabreytileika mátti skýra sem breytileika innan stofna (Danielsdóttir o.fl. 1997). Síðari rannsóknin var unnin í samstarfi Veiðimálastofnunar, Hafrannsóknastofnunar og Mátis á árunum 2008-2011 en þá var erfðabreytileiki laxastofna metinn í 26 íslenskum laxveiðiám með notkun á 15 erfðamörkum (Kristinn Ólafsson o.fl. 2010, 2014). Verkefnið var hluti af evrópsku rannsóknarverkefni Salsea/Merge þar sem lax á öllu útbreiðslusvæði hans var rannsakaður með tilliti til erfða og vistfræði í sjó. Mynd 4 sýnir niðurstöður stofngerðargreiningar fyrir þessar 26 íslensku laxveiðiár.



Mynd 4. Hér hefur stofngerð verið áætluð út frá greiningu með stofngerðargreiningarforritinu STRUCTURE (Pritchard et al. 2000). Stofnar eru sýndir sem lóðréttar línur sem er raðað inn í litada hluta eftir tillögu forritsins um greiningu. Greiningin gefur til kynna að stofngerðir greinist í tvo til þrjá skyldleikaklasa. Neðst til hægri eru niðurstöður sýndar sem skyldleikatré (Neighbour joining tree of pairwise DA (Nei et al. 1983)).

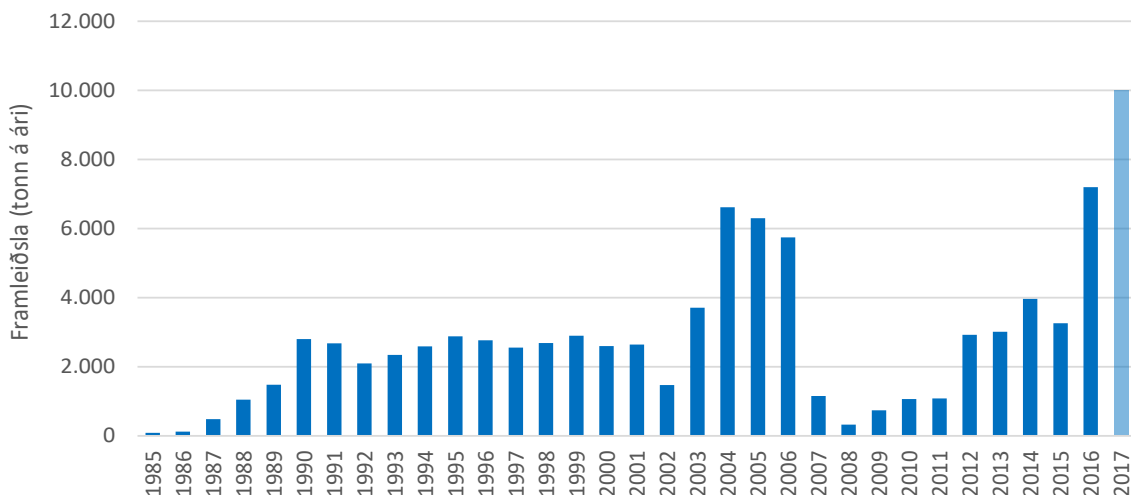
Á árinu 2007 lauk ítarlegri úttekt á stöðu þekkingar er varðar áhrif eldis á umhverfi og villta stofna. Verkefnið var styrkt af AVS og framkvæmt af Háskóla Íslands, Umhverfisstofnun, Veiðimálastofnun, Hafrannsóknastofnuninni og Skipulagsstofnun (Guðrún Marteinsdóttir o.fl. 2007). Með niðurstöðum framangreindra verkefna er kominn vísir að erfðagagnagrunni fyrir íslenska laxastofna sem opnar t.d. á þann möguleika að ættgreina sjógöngulax (t.d. lax úr meðafla fiskiskipa) og staðfesta hvort hann eigi ættir að rekja í íslenska á.

Laxeldi á Íslandi

Á Íslandi hefur fiskirækt í ám og vötnum verið stunduð allt frá árinu 1883. Tilraunir með hafbeitt á íslenskum laxaseiðum hófust árið 1963 í Laxeldisstöð Ríkisins í Kollafirði. Í lok níunda áratugarins varð mikil aukning á hafbeitt í landinu en endurheimtur voru slæmar og starfsemi var endanlega hætt fyrir aldamótin. Nú er eingöngu um að ræða sleppingar gönguseiða til þess að auka veiði í laxveiðiám (Valdimar Ingi Gunnarsson 2002, 2007).

Tilraunir með sjókvíaeldi á laxi hófust árið 1972 og landeldi á laxi hófst árið 1979. Sjókvíaeldið gekk erfiðlega framan af og landeldið var allsráðandi á tíunda áratugnum en framleiðslan fór aldrei mikið yfir tvö þúsund tonn á ári. Upp úr aldamótum fjaraði landeldið smám saman út en áhugi á sjókvíaeldi jókst á nýjan leik. Framleiðsla úr sjókvíaeldi var í kringum 6 þúsund tonn á árunum 2004-2006 en rekstur fyrirtækjanna var erfiður og þessi eldisbylgja fjaraði snögglega út árið 2007. Framleiðsla úr eldi var síðan mjög lítil í nokkur ár en árið 2010 hófst sjókvíaeldi á laxi á nýjan leik þegar Fjarðalax hóf starfsemi árið 2010. Fiskeldi Austfjarða og Arnarlax hófu síðan starfsemi á árunum 2012-2014 og árið 2016 sameinuðust Arnarlax og Fjarðarlax undir nafni þess fyrrnefnda. Framleiðslan var á bilinu 3-4 þúsund tonn í nokkur ár en árið 2016 urðu tímamót þegar framleiðslan rúmlega tvöfaldaðist á einu ári upp í 7.200 tonn og á yfirstandandi ári er áætlað að framleiðslan muni aukast upp í u.þ.b. 10 þúsund tonn. Útflutningsverðmæti alls fiskeldis í landinu námu 13 milljörðum króna á síðasta ári (www.hagstofa.is). Í dag hafa verið gefin út leyfi fyrir eldi á um 30.000 tonnum af laxi. Nú hafa einnig bæst í hópinn fyrirtækin Arctic Fish á Vestfjörðum og Laxar fiskeldi á Austfjörðum. Þriðja bylgja sjókvíaeldis á laxi er því hafin á Íslandi eins og sjá má á mynd 5 („Ársskýrsla Dýralæknis fisksjúkdóma 2016“ (2017), „Framleiðsla í íslensku fiskeldi“ (2016)).

Framleiðslutölur í íslensku laxeldi



Mynd 5. Yfirlit yfir framleiðslutölur úr íslensku laxeldi á tímabilinu 1985-2017. Heimild: www.mast.is

Meginhluti núverandi framleiðslu kemur úr sjókvíaeldi en Íslandsbleikja framleiðir um 1000 tonn af laxi á ári í landeldisstöð í Öxarfirði. Í Grindavík er nú að rísa ný landeldisstöð Matorku ehf sem stefnir á framleiðslu á bleikju og laxi. Sjókvíaeldisstöðvarnar eru staðsettar á sunnanverðum Vestfjörðum (Dýrafirði, Arnarfirði, Tálknafirði og Patreksfirði) og á Austfjörðum (Berufirði og Fáskrúðsfirði). Eldisfyrirtækin hafa öll hug á því að auka starfsemi sína og hafa sótt um starfsleyfi til sjókvíaeldis í ýmsum svæðum s.s. Ísafjarðardjúpi, Jökulfjörðum, Eyjafirði, Mjóafirði, Norðfirði, Stöðvarfirði og Seyðisfirði. Einungis er heimilt að ala laxfiska í sjókvíum á Vestfjörðum, Austfjörðum og í Eyjafirði og er sú ráðstöfun sett til verndar villtum laxastofnum, komi til óhappa eða slyssleppinga.

Slysasleppingar og strok eldislaxa á Íslandi

Á upphafsárum laxeldis í sjókvíum á Íslandi á seinni hluta níunda áratugarins var eldisbúnaður frumstæður og mikið var um að lax slyppi úr kvíum. Sjókvíaeldið var að mestu leyti staðsett í Faxaflóa (aðallega við Reykjavík og í Hvalfirði) og strokulaxarnir leituðu mikið upp í ár næst eldissvæðunum (Sigurður Guðjónsson 1991, Gudjonsson et al. 2005). Í Elliðaám og Leirvogsa náði hlutfall eldislaxa hæst upp í 30-40% og upp í rúm 60% í Botnsá í Hvalfirði árið 1988 (Friðjón M. Viðarsson og Sigurður Guðjónsson 1991, 1993). Einnig var mikið um það að hafbeitarseiði frá hafbeitarstöðinni í Kollafirði leituðu upp í ár við Faxaflóann (Valdimar Ingi Gunnarsson 2002, 2007). Allur eldisfiskur á þessum tíma var þó af íslenskum uppruna og ekki var litið á innblöndun eldisfisks sem sérstaklega alvarlegt vandamál. Eldislaxinn var oftast auðþekktur á útliti (oft með eydda ugga og sporð) en notast var við lestur á hreistursflögum til þess að fá öruggari greiningu (Ingi R. Jónsson og Þórólfur Antonsson 2004).

Í annarri bylgju laxeldis sem stóð yfir á árunum 2002-2006 var alfarið búið að skipta yfir í norskættaða eldislaxinn (Guðjónsson og Scarnecchia 2009). Á þessu tímabili var aðeins tilkynnt um eina slysasleppingu á eldislaxi þann 20. ágúst 2003, þegar 2900 fullvaxta eldislaxar sluppu eftir að gat kom á sláturkví í höfninni á Neskaupsstað. Fiskurinn hafði verið fluttur með brunnbáti frá sjókvíaeldisstöð Íslandslax í Eyjafirði þar sem hann var búinn að vera í eldi frá því í júlí 2002. Reynt var að góma strokulaxana með netalögnum en aðeins tókst að endurheimta 109 eldislaxa síðar um sumarið. Af endurheimtum lögum sýndu 14% merki um kynþroska. Flestir laxarnir veiddust í Norðfjarðarflóa í og við höfnina þar sem eldislaxinn slapp og hinir 9 voru teknir í Mjóafirði. Í september veiddust síðan 10 eldisfiskar til viðbótar í laxveiðiám á Austfjörðum. Sex þessara fiska höfðu synt um 70 km leið í suðurátt og veiddust í Breiðdalsá. Hinir fjórir höfðu hins vegar synt um 120 km leið norður í Vopnafjörð þar sem þrír þeirra veiddust í Hofsa og einn í Selá. Það er athyglisvert að eldislaxar veiddust ekki í neinni bleikjuá heldur leituðu bara upp í stóru laxveiðiárnar á svæðinu. Ekki var tilkynnt um neina veidda eldislaxa árið eftir. Alls tókst því að endurheimta um 4% af strokufiskinum og staðfest er að um 0,4% þeirra hafi veiðst í laxveiðiám (Ingi Rúnar Jónsson og Þórólfur Antonsson 2004, Valdimar Gunnarsson og Eiríkur Beck 2004).

Þetta atvik gefur nokkrar athyglisverðar upplýsingar um ferðir og lifun strokulaxa. Í fyrsta lagi að lifun strokulaxa getur verið mjög lítil og mjög fáir laxar ganga upp í ár til að hrygna þegar strokstaðurinn er staðsettur langt frá laxveiðiám. Í öðru lagi að sumir strokulaxarnir synda um langan veg þar til þeir finna laxveiðiá. Í þriðja lagi að strokulaxar geta leitað í báðar áttir meðfram strandlengjunni, ekki bara réttsælis með stefnu strandstraumsins.

Í þriðju bylgju laxeldis sem nú stendur yfir hefur aðeins verið tilkynnt um eina slysasleppingu á eldislaxi. Atburðurinn átti sér stað í nóvember 2013 þegar tilkynnt var að 200 fullvaxta eldislaxar hefðu sloppið eftir að gat kom á sláturkví Fjarðalax á Patreksfirði. Næsta sumar á eftir veiddist síðan 21 eldislax í ósum Kleifaár í botni Patreksfjarðar en Kleifaá er ekki náttúruleg laxveiðiá. Fiskistofa gaf í kjölfarið leyfi til netaveiða og sjóstangveiða í Patreksfirði í tilraun til þess að góma fleiri strokulaxa og alls veiddust 43 staðfestir eldislaxar til viðbótar (Leó Alexander Guðmundsson o.fl. 2014a,b). Ekki hafa borist tilýningar um veiddan eldislax á nærliggjandi fjörðum enda var þarna um umfangslitla sleppingu að ræða. Erfitt getur þó verið að taka eftir minniháttar leka af strokufiski úr sjókvíum og í rannsókn Leós Alexanders Guðmundssonar hjá Hafrannsóknastofnun komu fram niðurstöður sem virðast benda til þess að eldislaxar gætu hafa sloppið úr sjókvíum á þessu svæði á hverju ári á árabílinu 2011-2014 (Leó Alexander Guðmundsson o.fl., óbirt gögn).

Rannsóknir á erfðablöndun íslenskra laxastofna

Eins og lýst var í síðasta kafla var mikið um að eldisfiskar og hafbeitarfiskar leituðu upp í Elliðaárnar á níunda og tíunda áratugnum. Í íslenskri vísindagreini frá árinu 2013 var síðan í fyrsta sinn sýnt fram á erfðablöndun úr eldisfiski yfir í náttúrulega íslenska laxastofna þegar könnuð voru erfðafræðileg áhrif eldislaxa á stofngerð og erfðasamsetningu laxastofna í árkerfi Elliðaáa (Elliðaár, Hólmsá og Suðurá) (Guðmundsson et al. 2013). Niðurstöður sýndu fram á erfðafræðilegan mun á milli allra þriggja ána innbyrðis sem þótti merkileg niðurstaða fyrir svo lítið árkerfi. Í rannsókninni fundust blendingar (seiði) villtra laxa og eldislaxa á árunum 1990-1991 og síðan einnig á árinu 2005, þrátt fyrir að ekki hefði orðið vart við eldislax í ánni eftir 1999. Það þótti benda til þess að blendingar fyrri ára hefðu náð að ganga aftur upp í árnar sem kynþroska fiskar og koma upp sínum eigin afkvæmum.

Í yfirstandandi rannsókn á vegum Hafrannsóknastofnunar (Leó Alexander Guðmundsson o.fl., óbirt gögn) hafa í fyrsta sinn fundist vísbendingar um erfðablöndun úr eldisfiski af norskum uppruna yfir í náttúrulega íslenska laxastofna. Verið er að vinna að skýrslu um þessar rannsóknir en helstu bráðabirgðaniðurstöður eru birtar hér með góðfúslegu leyfi höfunda. Í rannsókninni voru erfðagreind sýni úr 701 laxaseiði úr 16 vatnsföllum á tímabilinum ágúst 2015 og ágúst/október 2016. Auk þess voru erfðagreind sýni úr tveimur kynþroska eldislögum sem veiddust í Mjólka í ágúst 2016. Sýnin voru greind hjá Mátis ohf með þekktum erfðamörkum (Ellis o.fl. 2011, Leó Alexander Guðmundsson og Sigurður Guðjónsson 2013) og að auki var notast við erfðamörk úr greiningu á 26 íslenskum laxastofnum (Kristinn Ólafsson o.fl. 2014). Erfðablöndun villtra laxa og eldislaxa var metin með forritinu STRUCTURE 2.3.3 (Pritchard o.fl. 2000).

Bráðabirgðaniðurstöður gefa sterkar vísbendingar um að strokulaxar af norskum eldisuppruna hafi sloppið úr eldiskvíum, hrygnt og blandast villtum lögum í nágrenni eldisvæða. Skýr merki um erfðablöndun mátti sjá í tveimur laxastofnum, í Botnsá í Tálknafirði og í Sunndalsá í Trostansfirði, sem er einn af innfjörðum Arnarfjarðar. Í Botnsá fundust fjórir blendingar og tvö hrein eldisseiði, öll af árgangi 2014. Sýnataka var ekki umfangsmikil en það er athyglisvert að helmingur greindra seiða úr Botnsá reyndist vera af eldisuppruna. Höfundar skýra blendingana með því að eldislax hafi hrygnt í ánni og æxlast með villtum lögum (sennilega eldishrygnur og villtir hængar). Hrein eldisseiði hafa hugsanlega verið afrakstur innbyrðis æxlunar strokulaxa en einnig er mögulegt að þarna hafi verið um að ræða strokuseiði úr seiðastöðinni í botni Tálknafjarðar. Höfundar leiða að því líkur að þarna hafi verið um að ræða afkvæmi strokulaxa úr slyasleppingunni í Patreksfirði í nóvember 2013.

Sunddalsá er aðeins um 10 km frá eldisvæði í Fossfirði (syðsti innfjörður Arnarfjarðar) og þar fundust fimm blendingar eldisfiska og villtra laxa. Þar af voru fjögur seiði af 2015 árgangi og jafnframt fundust tveir kynþroska laxar við Mjólkársvirkjun í Borgarfirði (nyrsta innfirði Arnarfjarðar) árið 2015. Ákveðnar vísbendingar um erfðablöndun fundust í öllum seiðarárgöngum á tímabilinu 2011-2015. Ekki er vitað um tilkynntar slyasleppingar eftir árið 2013 og þetta vekur því óneitanlega upp spurningar um það hvort minniháttar leki af strokufiski hafi orðið á hverju ári á þessu tímabili.

Niðurstaða höfunda er sú að mjög sterkar vísbendingar séu um það að erfðablöndun villtra laxa og eldislaxa hafi átt sér stað í þessum ám. Það verður þó að hafa í huga að eingöngu greindist erfðablöndun í ám sem liggja næst eldisvæðum og að mjög lítil laxagengd er að jafnaði í þessar ár. Höfundar nefna einnig sýnatökusvæðin hafi verið lítil og að umfang meintrar erfðablöndunar gæti hæglega verið meira en sýnataka leiddi í ljós. Talsverð óvissa er þó varðandi greiningu sýna og túlkun á niðurstöðum og augljóslega er þörf á því að efla þessar rannsóknir til þess að niðurstöður séu hafnar yfir allan vafa. Í vöktunaráætlun (sjá bls. 27) er lagt til að Botnsá í Tálknafirði og Selárdalsá í Arnarfirði verði á lista yfir þær ár sem verða vaktaðar sérstaklega með reglulegri sýnatöku og erfðagreiningum.

Erfðablöndun eldislaxa og villtra laxastofna í Noregi

Í nýlegri vísindagrein (Glover et al. 2017) var framkvæmt mat á umfangi og áhrifum erfðablöndunar eldisfisks við villta norska laxastofna eftir fimmtíu ára sögu laxeldis þar í landi. Í Noregi er laxeldi gríðarstór atvinnuvegur sem skapar meira en tvöfalt meiri útflutningsverðmæti en allur íslenski sjávarútvegurinn og þar hafa menn skilgreint laxalús og erfðablöndun sem tvö langstærstu vandamálin sem steðja að greininni. Í greininni er farið ítarlega yfir stöðu þekkingar á þessu sviði og einnig fjallað um sögu og stöðu erfðablöndunar í öðrum löndum, sérstaklega Írlandi. Niðurstöður þessarar greinar voru að miklu leyti lagðar til grundvallar við gerð þessa áhættumats enda er norskt laxeldi það langstærsta í heiminum og þar liggja fyrir upplýsingar um langtímaáhrif af gríðarstöru laxeldi á villta laxastofna.

Í Noregi hefur verið mjög erfitt að greina erfðablöndun í villtum stofnum vegna þess að mjög lítil erfðamunur er á villtum fiski og eldisfiski. Í dag hefur erfðatækninni hins vegar fleygt fram og nú er hægt að styðjast við svokallaða SNP-tækni þar sem ekki þarf að bera saman við söguleg gögn. Í viðamikilli rannsókn þar sem greind voru sýni úr 147 norskum ám (3/4 hlutar af villtum laxastofnum í Noregi) greindist tölfræðilega marktæk erfðablöndun í helmingi ána. Í um það bil fjórðungi ána reiknaðist hlutfall erfðablöndunar hærra en 10% og meðaltalsgildi erfðablöndunar í öllum ám var 6,4%. Helmingur ána var hins vegar laus við erfðablöndun þannig að miðgildi erfðablöndunar var eðlilega mun lægra eða 2,3%. Í flestum tilfellum leiðir erfðablöndunin til minni erfðabreytileika í villta stofninum (fækkunar á samsætum).

Sá þáttur sem virðist skipta langmestu máli hvað varðar temprun á erfðablöndun eftir innrás strolaxa er einfaldlega þéttleikinn sem fyrir er í áni. Sé þéttleikinn mikill verður samkeppnin mikil á seiðastiginu, afkvæmi eldisfisksins láta í minni pokann og erfðablöndunin verður minni en ella. Talið er að við erfðablöndun geti orðið breytingar á ýmsum þáttum svo sem vaxtarhraða seiða, sjógöngualdri, vaxtarhraða í sjó og kynþroskaaldri. Allt bendir til þess að erfðablöndun hliðri eiginleikum og eðli hins villta stofns í átt að eiginleikum eldisfisksins. Oft getur þó verið erfitt að greina þessar breytingar vegna annarra þátta sem einnig hafa áhrif á vöxt og atferli eins og loftslagsbreytingar. Reiknimódel og hermanir hafa einnig sýnt að breytileiki milli stofna mun minnka vegna blöndunar við eldisfisk.

Samantekt á helstu helstu niðurstöðum þessarar vísindagreinar:

- Þekkingin hefur aukist mikið á öllum þáttum varðandi áhrif sleppinga á villta stofna.
- Erfðavísamælingar sanna með óbyggjandi hætti innblöndun eldislax í 150 laxastofna í Noregi.
- Þekking á erfðafræðilegum mun á eldislaxi og villtum laxi hefur aukist mikið.
- Þekking á erfðamengi laxins og eðli einstakra gena hefur aukist verulega og opnað nýjar leiðir til að rannsaka erfðir og áhrif þeirra.
- Varðveisla á erfðabreytileika villtra laxastofna næst aðeins með tvennum hætti:
 - Með verulegri eða algjörrri minnkun á fjölda strolaxa út í villta náttúru.
 - Með æxlunarhindrun í gegnum notkun á ófrjóum eldislaxi.

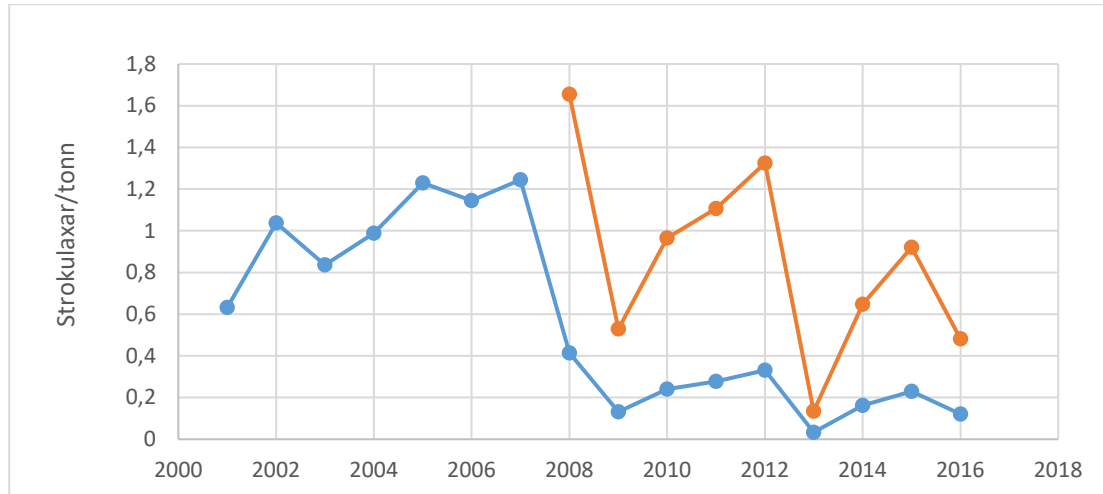
Knýjandi spurningar að mati greinarhöfunda:

- Hver eru líffræðileg og vistfræðileg áhrif blöndunar eldisfisks á villta stofna?
- Hver eru þolmörk villtra laxastofna gagnvart erfðablöndun frá eldislaxi? Er hægt að skilgreina þolmörk fyrir ásættanlega erfðablöndun og nýta sem verkfæri við verndun villtra laxastofna?
- Hafa villtir stofnar þróunarlegan sveigjanleika til þess að þola 1, 5 eða 10% erfðablöndun án þess að breyta sínum grundvallareiginleikum eða glata þróunarlegu svigrúmi sínu?
- Hversu lengi er villtur laxastofn að hreinsa út tímabundna erfðablöndun með náttúruvali?

Slysasleppingar og hrygning strokulaxa í Noregi

Mat á umfangi slysasleppinga í norsku laxeldi

Í laxeldi er algengt að meta fjölda strokulaxa sem hlutfall af umfangi framleiðslunnar og þá yfirleitt sem fjölda fiska á hvert framleitt tonn. Mynd 6 sýnir yfirlit yfir hlutfallslegan fjölda strokulaxa í Noregi frá því að skipulagt eftirlit hófst árið 2001.



Mynd 6. Strokulaxar í Noregi – fjöldi einstaklinga á hvert framleitt tonn. Bláa línan sýnir eingöngu tilkynntar sleppingar en rauða línan sýnir áætlaðan heildarfjölda sleppinga (margföldunarstuðull 4).

Talið er að raunverulegt stök sé ávallt mun meira en tilkynntar tölur gefa til kynna og þannig var raunverulegt stök fyrir árin 2005-2011 álitid 2-4 sinnum hærra en tilkynnt stök. Erfðarannsóknir benda til þess að dreifðar smásleppingar (leki) séu helsta ástæðan fyrir þessu vanmati í opinberum tölum. Á undanförunum árum virðist hafa dregið verulega úr sleppingum, líklega vegna hertra reglugerða og betri eldisbúnaðar. Með öryggisstuðlinum 4 (sjá mynd 6) má áætla að umfang stroks frá árinu 2008 hafi verið u.þ.b. 0,8 laxar á tonn að meðaltali. Ársframleiðslan hefur verið nálægt 1,2 milljón tonnum undanfarin 5-6 ár þ.a. áætlað stök er allt að 1 milljón eldislaxar á ári eða sem nemur 0,3% af heildarfjölda eldislaxa. Þegar þessi tala er sett í samhengi við stærð hinna villtu stofna þá kemur í ljós að það strjúka sennilega fleiri laxar úr norskum kvíum en sem nemur heildarfjölda villtra laxa sem ganga upp í ár til að hrygna (400-500.000 laxar á ári). Það verður þó að hafa í huga að aðeins lítill hluti strokulaxa nær að synda upp í ár til að hrygna. Langflestir strokulaxar eiga í erfiðleikum með að afla sér fæðu í villtri náttúru eða forðast afræningja. Afkomumöguleikar þeirra ráðast verulega af nálægð sleppistaðar við árösa og einnig af aldri við stök. Almennt má þó segja að langflestir strokulaxa hverfi í hafi og syndi aldrei upp í ár til að hrygna.

Hrygning strokulaxa

Í norskrri rannsókn kom í ljós að á árunum 2014-2015 var strokufiskur meira en 10% af heildarfjölda kynþroska laxa í 10-20% af rannsókuðum ám. Yfir 90% þeirra strokulaxa sem ganga upp í ár eru kynþroska en nýsloppinn eldislax hefur þó mjög lélega samkeppnishæfni gagnvart villtum fiski. Rannsóknir hafa sýnt að hrygning tekst einungis í um 1-3% tilfella hjá eldishængum miðað við villta hænga. Hjá eldishrygnum var hlutfallið hins vegar mun hærra eða u.þ.b. 30% miðað við villtar hrygnur. Eldisfiskurinn velur sér oft önnur svæði og hrygnir jafnvel á öðrum tíma en villtur fiskur en hvort tveggja getur dregið úr afkomumöguleikum hrognanna. Eldisfiskur hefur jafnframt oftast minni hrogn en villtur fiskur af sambærilegri stærð en vitað er að hrognastærð skiptir miklu varðandi endurheimtur úr hafi. Á móti kemur að eldisfiskurinn er oft á tíðum stærri en sá villti sem er fyrir í ánni og getur því jafnvel hrygnt jafnstórum hrognum og villti fiskurinn (Fleming et al. 1996, 2000).

Munurinn á eldislaxi og villtum laxi

Kynbætur á eldislaxi hófust í Noregi árið 1971 með vali á grunnstofni úr mörgum norskum ám og í dag er búið að framleiða meira en 12 kynslóðir af kynbótafiski í Noregi. Þeir arfgerðareiginleikar sem valið hefur verið fyrir eru hraður vöxtur, seltuþol og smoltun, seinn kynþroski og þol gegn sjúkdómum og sníkjudýrum. Fyrstu þrjá áratugina var notast við fjögurra ára kynslóðabil en árið 2005 skipti kynbótafyrirtækið Aquagen yfir í þriggja ára kynslóðabil sem leiðir til enn hraðari framfara. Í dag er einnig búið að raðgreina erfðamengi laxins og farið er að beita mun markvissari aðferðum í kynbótum en áður. Sameindaerfæðilegar aðferðir sem byggja á vali fyrir einstökum genum gefa kost á mun hraðari kynbótum og frekari aðgreiningu eldislax frá villtum stofnum. Þessi aukni erfðamunur mun væntanlega knýja fram auknar kröfur um fullkominn aðskilnað á eldislaxi og villtum laxi.

Samanburðarrannsóknir á eldislaxi og villtum laxi hafa sýnt marktækan mun á þáttum eins og hegðun, kynþroska, útliti og sjúkdómsþoli en munurinn er þó mestur hvað varðar vaxtarhraða. Niðurstöður kerjarannsóknna eru yfirleitt á þann veg að eldisfiskurinn er 2-3 sinnum stærri við lok tilraunar (Glover et al. 2017). Á þessu eru þó undantekningar og í sumum tilfellum stafar munurinn að verulegu leyti af foreldrahrifum þar sem foreldrafiskurinn er ekki sambærilegur. Einnig er vitað að kynbótaframfarir í vaxtarhraða stafa ekki eingöngu af erfðafræðilegum breytingum heldur einnig vegna aðlögunar að því manngerða umhverfi sem fiskinum er gert að lifa í. Margar rannsóknir sýna að eldislax stendur sig betur í eldisumhverfi og sá villti stendur sig betur í náttúrunni.

Samanburðarrannsóknir í villtri náttúru hafa flestar sýnt mun betri frammistöðu hjá villtum laxi. Til grundvallar slíkum samanburði er gott að hafa til hliðsjónar dæmigerða afkomu hjá villtum laxi sem er eitthvað á þann veg að 1-2% hrognanna ná að verða að sjógönguseiðum og innan við 10% þeirra skila sér síðan aftur í ána. Einnig er mikilvægt að hafa í huga að villtur lax gengur yfirleitt aftur eftir aðeins einn vetur í sjó en eldisfiskurinn er oftast þriggja til fjögurra vetra þegar hann snýr aftur upp í ána. Vegna lengri sjógöngu er því skiljanlegt að endurheimtur séu minni af eldislaxi en villtum laxi. Í norskrri rannsókn í ánni Imsa þar sem notast var við samanburðarhæfa foreldra (1-2 vetur í sjó) var sýnt fram á lélega samkeppnishæfni eldislaxins. Hrygningarárangur eldisfisksins var innan við þriðjungur af árangri villta fisksins og lífshæfni (fitness) eldisfisksins var einungis 16% af lífshæfni villta fisksins (lífshæfni = viðhald stofnstærðar hrygningarfisks í ánni frá kynslóð til kynslóðar). Burðargeta árinna var takmarkandi þáttur og innblöndun eldisfisksins hafði því þær afleiðingar að framleiðni árinna á ársgrundvelli minnkaði um 30%. Það var þó athyglisvert að í þessari rannsókn mældist enginn marktækur munur á lifun í sjó eða aldri við kynþroska, líklega vegna þess að foreldrafiskurinn var samanburðarhæfur en því er ekki alltaf til að dreifa í samanburðarrannsóknum (Fleming et al. 2000).

Í annarri norskrri rannsókn (Skaala et al. 2012) var frjóvguðum hrognum plantað í laxveiðiá með vaxandi þéttleika yfir þriggja ára tímabil. Niðurstöðurnar sýndu að seiði úr eldishrognum höfðu minni lifun og að lifunin fór minnkandi með auknum hrognþéttleika. Þetta bendir til þess að eldisseiðin hafi skerta samkeppnishæfni og hafi því minni afkomumöguleika ef seiðapéttleikinn í ánni er mikill. Jafnframt bendir það til þess að seiði undan strokulaxi hafi meiri afkomumöguleika í ám þar sem þéttleiki er lítill og samkeppnin því lítil að sama skapi.

Erlend reiknilíkön fyrir erfðablöndun laxastofna

Alþjóðlegt samstarf og reiknilíkön erfðablöndunar

Eldi á Atlantshafslaxi er nú orðið yfir tvær milljónir tonna á heimsvísu sem er meira en allir villtir stofnar samanlagt. Því eru vaxandi áhyggjur af neikvæðum erfða- og lífshæfniáhrifum (e. fitness) á villta stofna. Æxlun eldislax í ám er nú orðin staðreynd víða, eins og dæmi sanna frá Noregi og einnig í Norður Ameríku. Þessi blöndun stofna getur hugsanlega breytt einkennum og staðbundinni aðlögun villtra stofna og valdið því að villtir stofnar minnki eða hverfi (Glover et al. 2017).

Enn er þol villtra stofna gagnvart erfðablöndun við eldisfisk ekki vel þekkt, né heldur hvernig blendingum reiðir af. Þar er um að ræða flókið samspil erfða og umhverfis sem getur verið mjög breytilegt frá einum stað til annars. Þetta gerir ákvarðanatöku við stjórnun fiskeldis erfiða og standa öll lönd með villta laxastofna og eldi frammi fyrir sama vanda. Því er unnið að því í hinum ýmsu löndum til að skoða þessi áhrif með það að markmiði að vernda og viðhalda náttúrulegum stofnum.

Til að samræma vinnu og krafta hefur verið stofnaður starfshópurinn „Atlantic Ocean Research Alliance’s - Galway” sem hittist fyrst í Marine Institute in Oranmore í Írlandi dagana 7-9. mars 2017, með fulltrúum frá Noregi, Kanada, BNA, Írlandi, Bretlandi og Íslandi. Ragnar Jóhannsson og Sigurður Guðjónsson frá Hafrannsóknastofnun tóku þátt í þessum fundi. Markmið þessa hóps er að vinna saman að líkanasmíð varðandi blöndun eldislaxa við villta stofna, meta áhrif erfðablöndunar og skoða og meta mótvægisáðgerðir. Nýta á gögn sem aflast sameiginlega, deila reynslu og vinnu. Fyrsti fundurinn var fjármagnaður að mestu af Fisheries and Oceans Canada og leiddur af Dr. Ian Bradbury frá þeirri stofnun.

Á þessum fundi voru rædd þrjú líkön sem gerð hafa verið eða eru í þróun:

1. OMEGA sem hannað var af bandarísku haf- og veðurfræðistofnuninni (NOAA Fisheries) sem tölulegt verkfæri til ákvarðanatöku (OMEGA 2014). Eins og nafn líkansins gefur til kynna þ.e. „A numerical decision-support tool: the Off-shore Mariculture Escapees Genetics/Ecological Assessment (OMEGA) model“, er það hannað fyrir sjávarfiska með annað hrygningarmynstur og einfaldari lífsferil en lax. Til að ná yfir flókinn lífsferil laxins auk þess að gera ráð fyrir hrygningu í mörgum ám í mismunandi fjarlægð frá strokustað er þetta líkan ekki hentugt fyrr en eftir gagngerar breytingar.
2. IBSEM er hannað af Kevin Glover (Hafrannsóknastofnun Noregs), Marco Castelliani og John Gilbey (Castelliani et al. 2015). Líkaninu er ætlað að ætlað að meta erfðaáhrif og herma vistfræðilegt samspil. Með líkaninu er notast við umhverfisbreytur (hitastig búsvæða); vistfræðibreytur (t.d., kyn, vöxt, kynþroska, sjóþroska, hrygningarárangur og lifun) og erfðafræðibreytur (21 gen dreift yfir þrjá litninga, hvert samsett af erfðavísu sem tengdir eru við mismunandi æviskeið). Þetta líkan er því ætlað að meta þróun erfðablöndunar en ekki líkur á henni eða dreifingu fisks frá strokustað.
3. Einnig var kynnt líkan sem er í smíðum í Skotlandi af Eric Verspoor o.fl. Skoska líkanið er blandað erfða- og stofnfræðilegt líkan sem kannar áhrif á flæði gena frá eldisfiski í villta stofna, áhrif þeirra á lífshæfni (fitness) og nýliðun. Lífshæfni er reiknuð sem fall af erfðabreytileika sem er skipt yfir mismunandi æviskeið með föstum umhverfisþáttum. Lifun blendinga er samlagning lifunar alinna og villtra fiska. Líkanið byggir á ýmsum forsendum með sérstakri áherslu á stofn Girnock árinna, þverár Dee í Skotlandi. Þetta líkan er því hannað til að meta þróun erfðablöndunar en ekki líkur á henni eða dreifingu fisks frá strokustað.

Reiknilíkan og flokkunarkerfi NINA

Einnig ber að nefna líkan sem notað er af norsku náttúrufræðistofnuninni (Norsk Institutt for Naturforskning (NINA)) og er lýst í grein Liu et al. (2013). Þetta líkan hefur verið notað í tillögu að flokkunarkerfi fyrir áhrif mismunandi álags stroks eldislaxa á villta stofna (Diserud o.fl. 2012). Líkanið nýtir gögn um hlutfall strokulaxa og gögn um samkeppnishæfni eldislaxa miðað við villta laxa (Fleming o.fl. 2000, McGinnity o.fl. 2003). Líkanið reiknar samsetningu stofns á hverjum tíma (afkomendur villtra fiska, eldisfiska og blendinga) á öllum lífsstigum og spáir um hve mikið breytur eins og hlutfall eldisfisks hafa á stofn yfir fleiri kynslóðir. Hermun með þessu líkani sýnir breytingar sem verða á hlutfalli blendinga, villtra fiska og eldisfisks í klakstofni sem fall af föstu hlutfalli eldisfisks af stofni hvers árs. Þetta er borið saman við gögn úr 110 ám á árabílinu 1989-2012. Að lokum var ástand stofna metið og mat lagt á hve mikil áhrif hlutfall eldisfisks í klakstofni hefði til langframa á samsetningu stofns. Áhættumat NINA-líkansins skiptist í sex flokka eftir umfangi erfðablöndunar:

- **Flokkur 1:** **Stofn í bráðri hættu eða glataður stofn.** Í þessum flokki eru vatnsföll þar sem stofninn er líklega tapaður og ekki er gert ráð fyrir að erfðæfni hafi verið geymt á öruggum stað (svo sem fryst svil). Í þennan flokk falla ár þar sem reiknaður villtur hluti stofns er undir 25%. *Samkvæmt líkani jafngildir það því að árlega hafi 35% fiska í klakstofni verið eldisfiskur.*
- **Flokkur 2:** **Stofn í hættu.** Í þessum flokki eru stofnar þar sem líkur á erfðablöndun við eldislax eru miklar og stofninn er á hraðri breytingu frá upprunalegum stofni. Í þennan flokk falla ár þar sem reiknaður villtur hluti stofns er 25-50%. *Samkvæmt líkani jafngildir það því að árlega hafi 20-35% fiska í klakstofni verið eldisfiskur.*
- **Flokkur 3:** **Stofn sem er verulega ógnað.** Í þessum flokki eru stofnar sem eru á ljósri leið erfðablöndunar. Í þennan flokk falla ár þar sem reiknaður villtur hluti stofns er 50-75%. *Samkvæmt líkani jafngildir það því að árlega hafi 8,7-20% fiska í klakstofni verið eldisfiskur.*
- **Flokkur 4:** **Stofn sem þarf sérstakt eftirlit.** Stofnar á líklegri leið erfðablöndunar. Í þennan flokk falla ár þar sem reiknaður villtur hluti stofns er 75-90%. *Samkvæmt líkani jafngildir það því að árlega hafi 3,3-8,7% fiska í klakstofni verið eldisfiskur.*
- **Flokkur 5:** **Stofn í góðu horfi.** Vatnsföll þar sem lítil áhrif eru en með meira álagi gætu færst í lægri flokk. Í þennan flokk falla ár þar sem reiknaður villtur hluti stofns er 90-95%. *Samkvæmt líkani jafngildir það því að árlega hafi 1,6-3,3% fiska í klakstofni verið eldisfiskur.*
- **Flokkur 6:** **Stofn í mjög góðu horfi.** Vatnsföll með engin sýnileg áhrif og ekki talin í hættu. Í þennan flokk falla ár þar sem reiknaður villtur hluti stofns er 90-95%. *Samkvæmt líkani jafngildir það því að árlega hafi 0-1,6% fiska í klakstofni verið eldisfiskur.*

Þröskuldsgildi í áhættumati erfðablöndunar í Noregi

Norska Hafrannsóknastofnunin hefur samhliða áhættumatinu unnið mat á umhverfisáhrifum laxeldis, þar með talið áhrifum erfðablöndunar (Taranger et al. 2014, 2015). Breytingar í erfðamengi hafa verið mældar með erfðamörkum og innblöndun eldisfisks hefur verið áætluð fyrir 20 laxastofna í meira en 3-4 áratugi (Glover et al. 2013). Tíðni strokufiska í villtum stofnum sem er í réttu hlutfalli við erfðablöndun yfir lengri tíma (Glover et al. 2012, 2013) er valin sem mat á áhættu á frekari erfðablöndun í hverjum stofni (Taranger et al. 2012). Þröskuldsgildi ásættanlegrar erfðablöndunar voru sett með hliðsjón af náttúrulegu flakki fiska milli áa og þeirri þekkingu sem aflað hefur verið um fylgni hlutfalls eldisfisks í stofni við erfðablöndun hans (Glover et al. 2012, 2013). Náttúrulegt flakk getur í sumum tilfellum orðið nokkuð hátt eða allt að 10% til 20% (Stabell 1984). Þröskuldsgildið fyrir enga eða nær enga hættu á erfðablöndun var því valið með tilliti til lægri marka náttúrulegs flakks sem er um 4% en 10% fyrir mikla hættu á erfðablöndun sem efri mörk áhættudreifingar.

Áhættulíkan fyrir erfðablöndun eldislax við íslenska stofna

Tilgangur reiknilíkans fyrir áhættumat

Í skýrslu þessari er kynnt nýtt áhættumatslíkan fyrir erfðablöndun eldislax við villta íslenska laxastofna. Tilgangur líkansins er að gefa rétta mynd af fjölda strokufiska sem gætu tekið þátt í klaki í hverri á. Sá fjöldi er í beinu sambandi við áhættu á erfðablöndun. Ef fjöldinn fer yfir þröskuldsmörk á hverju ári er hættu á því að erfðablöndun safnist upp með tíma og hafi áhrif á stofngerð náttúrulegra stofna. Við höfum valið að nota gildi náttúrulegs flakks í fjölda því ljóst er að stofnar hafa viðhaldist þrátt fyrir það. Ætlunin er að tryggja að framleiðsla úr íslensku laxeldi hafi ekki neikvæð áhrif á villta stofna og bæta ímynd íslensks laxeldis. Þar sem margar breytur eru óvissar og lítið þekktar leggjum við til að áhætta vegna erfðablöndunar verði metin með gagnvirku áhættulíkani sem byggir á niðurstöðum vöktunaráætlunar sem framkvæmd verður árlega. Forsendur áhættulíkansins verða því endurskoðaðar frá ári til árs í samræmi við niðurstöður vöktunaráætlunar. Með þeim hætti má byggja stjórnun laxeldis á nýjustu upplýsingum til að lágmarka umhverfisáhrif greinarinnar. Markmiðið er að hámarka atvinnu- og samfélagsleg áhrif laxeldis án neikvæðra áhrifa á lax- og silungsveiði í landinu.

Sértæk virkni reiknilíkans fyrir íslenskar aðstæður

Ferli erfðablöndunar skiptist upp í tvö þrep:

- i) strok eldisfiska og líkur á að þeir fari upp í tiltekna á.
- ii) æxlun eldisfiska í ánni, afdrif afkvæma og áhrif á erfðamengi stofns.

Í síðasta kafla mátti sjá að til eru erlend reiknilíkon sem geta reiknað umfang erfðablöndunar og einnig líkön sem geta metið samband strokufiska og erfðablöndunar til lengri tíma. Ekki er hins vegar til nothæft líkan sem spáir til um far eldisfisks að ám. Ástæða þess er einföld, fiskeldi í Noregi og Skotlandi er mjög þétt og oftast mjög nálægt árósum þannig að líkan fyrir far eldisfiska hefur ekki merkingu. Þessu er hins vegar öðruvísi farið hérlandis þar sem eldissvæði eru að jafnaði langt frá laxveiðisvæðum og ferill og dreifing stroks skiptir verulegu máli. Firðir og flóar utan helstu laxveiðiáa landsins voru á sínum tíma friðaðir fyrir laxeldi til að vernda náttúrulega stofna fyrir erfðablöndun, sníkjudýrum og sjúkdómum (Gudjonsson and Scarnecchia 2009). Fyrirtæki eru fá í laxeldi og munu verða fá í framtíðinni og svæði afmörkuð. Íslenskar ár eru lítið eða ekki erfðablendaðar af manna völdum auk þess sem framfarir í erfðatækni og efnatæki gera það mögulegt að fylgjast með fari og blöndun af völdum fiska frá einstökum fyrirtækjum. Því verður mun einfaldara að fylgja eftir mögulegri erfðablöndun með vöktun.

Ljóst er að líkanið þarf að geta spáð fyrir um dreifingu eldislaxa sem strjúka frá hverjum stökum eldisstað og áætla hve mikið af fiski mun skila sér í hverja á. Líkanið þarf að reikna áhrif frá öllum eldisstöðvum á allar ár þar sem stofnstærð er þekkt, bæði áætla fjölda strokufiska sem vænta má og hlutfall þeirra af klakstofni árinna. Þá er hægt að meta hverja á ásamt með meðal- og miðgildishlutfall strokulaxa.

Það eru einkum á tveimur stigum í eldinu sem er hættulegt að lax sleppi.

- i. Seiði sem sleppa snemmsumars lenda í náttúrulegum ferli laxins og þeir laxar sem lifa af sjávardvölinu eru mjög hæfir (fit) til hrygningar. Lax sem sleppur á öðrum æviskeiðum á minni möguleika og lax sem sleppur að vetri drepst að langstærstu leyti.
- ii. Lax sem sleppur nálægt kynþroska að sumri (hluti laxins er kynþroska skömmu fyrir slátrun) þarf ekki annað en að koma sér upp í á til að hrygna. Hrygningarhæfni slíks lax er samt verulega skert og á það frekar við um hængi en hrygnur.

Forsendur og breytistærðir reiknilíkans

Breytur sem skipta mestu máli um hve mikið af eldisfiski mun skila sér sem kynþroska fiskur í náttúrulega á eru sem hér segir:

1. Umfang eldis F_x í firði x mælt í tonnum á ári.
2. Hlutfall þeirra fiska sem sleppa fyrir hvert tonn framleitt, S , mælt í fjölda fiska á hvert tonn framleitt. Hér er stuðst við opinberar tölur frá Noregi og Skotlandi um fjölda strokulaxa. Með upplýsingum um framleiðslu á sama tíma er hægt að reikna hlutfall strokulaxa á hvert tonn framleitt. Þessar tölur eru nokkuð örugglega undirmat (Glover et al. 2017) þar sem ekki er allt stök tilkynnt. Það sést meðal annars á að samband tilkynnts magns og fjölda strokulaxa í ám fylgist ekki að en það er línulegt samband þar á milli ef rétt er talið. Nýleg víðtæk rannsókn á veiðum á merktum eldisfiski leiðir í ljós að raunverulegt stök var 2-4 sinnum hærra en það sem tilkynnt var af eldismönnum á árabílinu 2005-2011 (Skilbrei, Heino & Svásand 2015). Því höfum við notað meðaltal áranna 2009-2016 og stuðulinn 4 ofan á tilkynnt stök. Einnig er áhugavert að benda á að svo virðist sem hlutfall stroks virðist 10 sinnum hærra í Skotlandi en í Noregi. Þrátt fyrir það teljum við rétt að styðjast við norskar tölur ($\times 4$) þar sem sömu staðlar fyrir eldisbúnað eru notaðir hérlendis og í Noregi.
3. Hegðun ungra sjógönguseiða er önnur en eldri fiska sem sleppa. Því meðhöndlum við *snemmbúið stök* þar sem ung sjógönguseiði sleppa sérstaklega. Þau synda á haf út í fæðuleit og snúa svo til baka á upprunastað. Í náttúrunni yfirgefa sjógönguseiðin sína upprunaá á tiltölulega skömmum tíma, oftast örfáum sólarhringum. Mögulega á innprentun á upprunaá sér stað á þeim tíma er seiðið skryðist sjógöngubúningi og er ratvísi í rétta á mjög góð. Þegar sjógönguseiði sleppur úr sjókví á sér stað svipað ferli. Svo virðist sem seiðið snúi sem kynþroska lax aftur að sínum upprunastað, það er að sleppistað (kvínni), en reyni svo að ganga í ár nærri stökstað þar sem kynþroska lax er að finna.
4. Til eru gögn um lifun sjógönguseiða úr sjó, L , í gögnum frá íslenskum hafbeitarám (Magnús Jóhannsson o.fl. 2004). Eldisfiskur hefur minni lífslíkur en lax úr hafbeitarám og er stuðullinn L_f/L_v áætlaður 0,37 (Hindar et al. 2006).
5. Stærri fiskur sem sleppur hefur aðra hegðun en sjógönguseiði og leitar í ár þegar dregur að kynþroska. Hann leitar vanalega undan straumi (Hansen 2006) í leit að á og getur farið mjög langt yfir á ferð sinni, yfir 1000 kílómetra (Gudjonsson 1991; Piccolo & Orlikowska 2012). Hins vegar eru líkindi á að finna eldisfisk í vatnsfalli í sterku sambandi við magn eldis á svæðinu (Fiske et al. 2006) og mun færri eldislaxar koma í ár á austurströnd Skotlands þar sem ekki er fiskeldi en á vesturströnd þar sem eldið er staðsett (Green et al. 2012, Youngson, Webb, MacLean & Whyte 1997). Því meðhöndlum við *síðbúið stök* einnig sérstaklega.
6. Fyrir síðbúið stök koma breytur T , heildareldistími í sjó, H , hættutími, sem er sá tími sem fer að bera á kynþroska (áætlað síðustu 4 mánuðina) og K , meðalhlutfall kynþroska yfir hættutímabil í stað lífslíkna sjógönguseiða, L .
7. Sem líkindadreifingarfall fyrir fjarlægð sem fiskar fara er notað svokallað Weibull fall með stökstað sem hámark dreifingarfalls. Þó fallið hafi ekki beina eðlislæga merkingu getur það nýst með góðum hætti sem parametrískt líking. Stuðlar Weibull fallsins eru β , lögunarstuðull og η , vegalengdarstuðull.

Reiknijöfnur reiknilíkans

Jafna (1) og (2) sýna fjölda laxa sem fara upp í einhverja á, annars vegar laxar sem eru stórir E_B , jafna (1) og fyrir sjögönguseiði E_S , jafna (2). Jafna (4) lýsir Weibull dreifingarfalli með vegalengdina 0 í hámarki sínu. Plúsgildi eru ár réttisælis frá strokstað en mínusgildi eru rangsælis eftir strandlengju Íslands. Líkur á að fiskur fari í ákveðna á eru í réttu hlutfalli við fiskigengd hennar. Jafna (5) reiknar fjölda fiska sem fer upp í á a .

$$E_B = F_B S \frac{H}{T} K$$

$$E_S = F_S S L$$

$$w_{max} = \left(\frac{(\beta - 1)\eta^\beta}{\beta} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

$$W_{norm} = \frac{\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{V_a + w_{max}}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{V_a + w_{max}}{\eta} \right)^\beta}}{\sum_{V_a + w_{max}} \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{V_a + w_{max}}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{V_a + w_{max}}{\eta} \right)^\beta}}$$

$$F_r = A_r E W_{norm}$$

- E** Fjöldi eldislaxa sem skilar sér í einhverja á. E_S táknar fjölda sem hefur upphaflega sloppið sem smolt og E_B þá sem sloppið hafa stórir.
- F** Ársframleiðsla af laxi í tonnum.
- S** Hversu margir laxar sleppa fyrir hvert tonn sem framleitt er.
- H** Hættutími (apríl - september) er það tímabil sem hætta er við kynþroska og að fiskur fari í á.
- T** Fjöldi mánaða sem fiskurinn er alinn í sjó.
- K** Hlutfall þeirra sem sleppa sem kynþroskast og leita upp í á.
- L** Hlutfall sjögönguseiða sem lifa af í sjó og skila sér í ár.
- W_{max}** Hámarkun á Weibull dreifingu fyrir gefna fasta β og η . Notað til að hliðra dreifingunni.
- V_a** Vegalengd frá eldisstað að laxá a .
- W_{norm}** Stöðluð Weibull dreifing sem lýsir því hvernig laxar sem sleppa dreifa sér í laxárnar. Dreifingin hefur lögunar- og stærðarstuðla β og η .
- A_a** Fjöldi fiska í á a .
- F_a** Fjöldi eldislaxa sem fer í laxá a .

Tillaga að þröskuldsgildi stroklaxa í stofni.

Ljóst er að móta þarf stefnu um að erfðablöndun sé undir þeim öryggismörkum sem metin eru örugg svo að fiskeldi geti vaxið á skynsamlegan hátt og í sátt við náttúru og samfélög þar sem uppbygging fiskeldis mun eiga sér stað. Tryggja þarf að framleiðsla úr íslensku laxeldi hafi ekki neikvæð áhrif á villta stofna laxfiska. Einnig er mikilvægt að láta náttúruna njóta vafans, það mun bæta ímynd íslensks laxeldis.

Þröskuldsgildi er það mark þar sem árlegt hlutfall af eldisfiski hefur uppsöfnuð áhrif á erfðamengi stofna. Þetta gildi er enn rannsóknaspurning en á blaðsíðu 20 má sjá að svipuð niðurstaða virðist vera milli NINA og MRI í Noregi varðandi þröskuldsgildi fyrir ásættanlegt stök eldislaxa. NINA nefnir mörkin 3,3% stroklaxa í stofni í góðu horfi (flokkur 5) og MRI telur 4% sem neðri mörk enda endurspeglar sú tala meðalflakk milli áa.

Það er því skynsamlegt að miða við sömu þröskuldsgildi hér á landi. Þröskuldsgildi fyrir strokulaxa af eldisuppruna verða því sett 4%. Þessi mörk verða síðan endurskoðuð með tilliti til niðurstaðna vöktunaráætlunar þar sem erfðamengi 20 áa/árkerfa verður greint árlega og erfðablöndun mæld. Ef sannanleg erfðablöndun eykst með tíma þarf að endurskoða mörkin.

Sú aðferðafræði sem við leggjum til við mat á áhættu erfðablöndunar er gagnvirkt áhættulíkan sem byggir á niðurstöðum vöktunaráætlunar sem framkvæmd verður á hverju ári. Forsendur áhættulíkansins verða endurskoðaðar frá ári til árs í samræmi við niðurstöður vöktunaráætlunar. Með þeim hætti má byggja stjórnun laxeldis á nýjustu upplýsingum til að lágmarka umhverfisáhrif greinarinnar. Markmiðið er að hámarka atvinnu- og samfélagsleg áhrif laxeldis án neikvæðra áhrifa á lax- og silungsveiði í landinu.

Notkun áhættulíkansins

Notkun og niðurstöður líkans

Áhættumatslíkanið er fyrst og fremst hugsað sem gagnvirkt verkfæri til þess að meta mögulegt umfang erfðablöndunar á hlutlægan hátt. Líkanið reiknar tvær dreifingar strokufiska fyrir hvern fiskeldisstað, annars vegar fyrir snemmbúið strok og hins vegar síðbúið strok. Þessar tvær dreifingar eru lagðar saman og mynda heildardreifingu. Heildardreifingar fyrir öll svæði eru svo lagðar saman og mynda heildardreifingarspá.

Breytur

Þegar líkanið er opnað kemur það upp með valin gildi fyrir breytur (undir flípanum Breytur). Í báðum tilfellum, síðbúið og snemmbúið strok, er gert ráð fyrir að 0,8 fiskar strjúki á hvert tonn framleitt. Þetta byggir á nýjustu tölum frá Noregi yfir tilkynnt strok að viðbættum öryggisstuðlinum 4. Miðað við strokstuðulinn 0,8 ættu u.þ.b. 9 þúsund laxar að strjúka úr íslenskum sjókvíum á árinu 2017 sem er líklega mun hærra en rauntölur. Stuðlinum er hins vegar einnig ætlað að ná yfir hugsanlegar stórslysasleppingar sem gætu átt sér stað með löngu árabili.

1. Breytur fyrir snemmbúið strok:

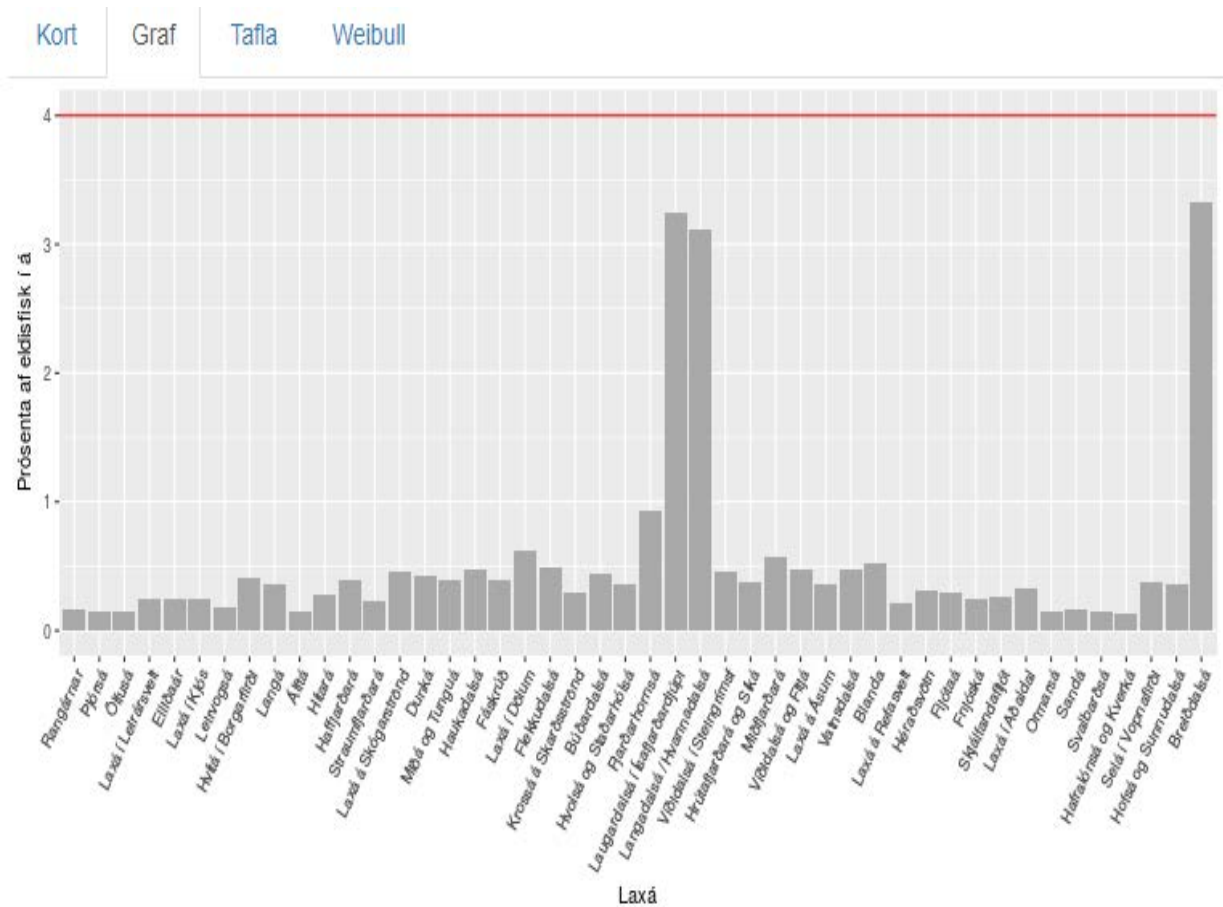
- a. Weibull lögunarstuðull β : notað er gildið 2,5 sem gefur nokkuð samhverfa dreifingu frá strokstað.
- b. Weibull vegalendarstuðull η : Gert er ráð fyrir í fyrstu nálgun að fiskur leiti ekki mikið lengra en 200 kílómetra sundleið frá strokstað. Nánara mat fæst með vöktun.
- c. Heimsæknistuðull: Gera má ráð fyrir því að sjógönguseiði upplifi eldiskvíar og ströndina nálægt þeim sem heimkynni sín. Því getur valdið lykt af fiski og þá sérstaklega af kynþroska fiski. Þetta leiðir til tregðu þeirra að leita lengra burt. Í fyrsta mati gerum við ráð fyrir að lykt jafngildi fiskmagni á við 20% strokulaxa frá strokustað. Þessi stuðull hefur nokkuð mikil áhrif og stærð hans mun verða ljósari með vöktun.
- d. Líkur á að sjógönguseiði lifi af dvölinu í sjó: Hér er stuðst við niðurstöður úr hafbeiti svo sem í Rangá. Gert er ráð fyrir 5% fyrir villt seiði.
- e. Hlutfallsleg lífshæfni eldis sjógönguseiða gagnvart villtum: Hér er stuðst við tölur frá Hindar et al. (2006) en þar kemur fram að hlutfallsleg lífshæfni sé um 37%.
- f. Gert er ráð fyrir að fiskar muni leita í ár í réttu hlutfalli við laxagengd gefinnar áar og dreifingarfall. Notaðar eru meðaltals veiðitölur áranna 2000-2015 til að meta klakstofn árinna. Reiknað er með veiðihlutfallinu 50%.

2. Breytur fyrir síðbúið strok.

- a. Weibull lögunarstuðull β : Notað er gildið 2,0 sem gefur nokkuð meiri dreifingu meðstraums frá strokstað.
- b. Weibull vegalendarstuðull η : Gert er ráð fyrir í fyrstu nálgun að fiskur leiti langt og sé ekki með heimsækni. Gert er ráð fyrir allt að 1000 kílómetra sundleið frá strokstað.
- c. Hlutfall síðbúinna stroka sem kynþroskast og leitar upp í á: Gert er ráð fyrir að 15% fiskanna sem sleppi nái kynþroska og leiti upp í ár.
- d. Tími sem laxinn er alinn í sjó í mánuðum: Gert er ráð fyrir 18 mánaða eldistíma í sjó.
- e. Hættutími í mánuðum: Hættutími er skilgreindur sá tími sem hætta er á að fiskur nái kynþroska og leiti í ár sleppi hann innan þess tímabils.

Niðurstöður miðað við rekstrarleyfi sem gefin hafa verið út

Ef reiknað er með þeim rekstrarleyfum sem þegar hafa verið gefin út og reiknað með að um lax sé að ræða fæst eftirfarandi niðurstaða úr líkani (mynd 7).

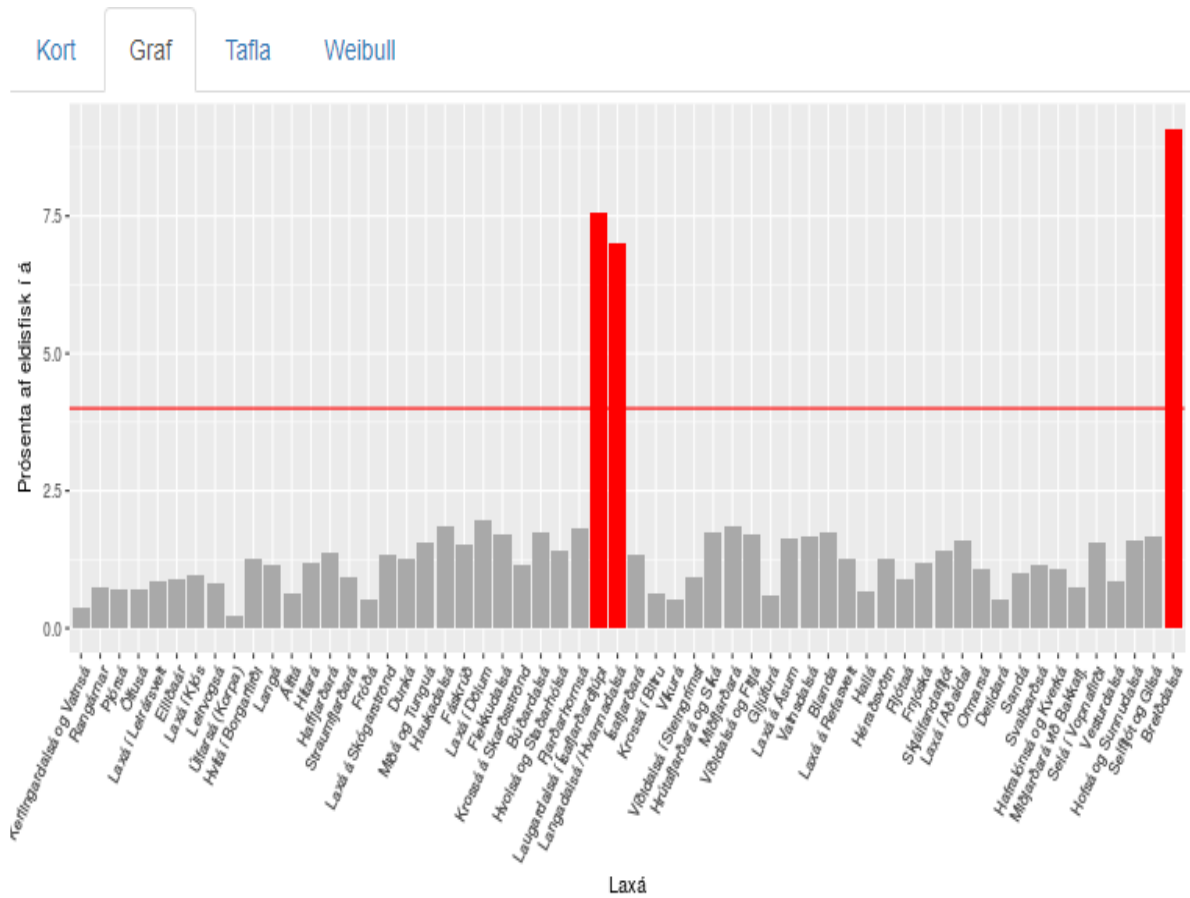


Mynd 7. Niðurstaða úr líkani þegar notuð eru útgefin rekstrarleyfi og gert ráð fyrir að um lax sé að ræða. Heildarframleiðsla u.þ.b. 30.000 tonn, þar af reiknað með 2.000 tonn um í Ísafjarðardjúpi. Reiknað er með að hlutfall snemmbúinna og síðbúinna stroka sé 50:50. Rauða línan sýnir þröskuldmörk innblöndunar (4%).

Myndin sýnir að líkanið reiknar rúmlega 3% innblöndun fjórar ár, þ.e. Laugardalsá, Langadalsá og Hvannadalsá í Ísafjarðardjúpi (tvær síðarnefndu eru reiknaðar saman) og Breiðdalsá í Breiðdal. Þessar ár skera sig algjörlega úr og í þeim reiknast innblöndun rétt undir þröskuldmörkum. Þessar fjórar ár þarf að vakta sérstaklega.

Niðurstöður miðað við núverandi burðarþolsmat.

Ef notaðar eru tölur yfir burðarþolsmöt sem gefin hafa verið út af Hafrannsóknastofnun fæst eftirfarandi mynd úr líkani (mynd 8).



Mynd 8. Niðurstaða úr líkani þegar notuð eru útgefin burðarþolsmöt. Eldi á Vestfjörðum samtals 80.000 tonn. Eldi á Austfjörðum samtals 52 þúsund tonn. Reiknað með 50:50 hlutfalli snemmbúinna og síðbúinna stroka.

Í þessu dæmi reiknast allar fjórar framangreindar ár hátt yfir þröskuldsmörkum. Djúpárnar reiknast með rúmlega 7% innblöndun og Breiðdalsá reiknast með 9% hlutdeild eldislaxa.

Vöktunaráætlun

Til að gera kleyft að endurskoða og fylgjast með áreiðanleika áhættumats þarf að vakta lykildreytur sem hafa áhrif á líkanið.

Skráning, eftirlit og merkingar

- Umfang eldis í hverjum firði, fyrirtæki og magn í tonnum á ári. Fyrir þurfa að liggja upplýsingar um eldi hvers fyrirtækis svo reikna megi framleiðslumagn í firði. Fjöldi útsettra seiða og fjöldi laxa í hverjum árgangi. Skráð og skilað til MAST.
- Skráning framleiðenda á stroki. Skáning framleiðenda á stroki, magn af fiski og tímasetning stroks, strokstaður. Skilað til Fiskistofu.
- Merking á eldislaxi með stöðugum samsætum. Merkja þarf eldisseiði fyri hvert fyrirtæki. Það er hægt að gera með stöðugum samsætum. Bætt er örlitlu magni af stöðugri samsætu af Baríum, einni samsætu eða fleirum, í bólusetninguna sem allir eldislaxar fá rétt áður en þeir eru settir í sjókví. Samsætturnar festast í kvörnum fiskanna, þannig að hver framleiðandi eldislaxa fær sitt merki, eins konar strikamerki. Allir laxar tiltekins fyrirtækis eru með sama merkið sem greinanlegt er frá öðrum merkjum framleiðenda. Bóluefni er afhent af MAST sem skráir hvar það er afhent, hvar notað og af hvaða framleiðenda.

Varðveisla erfðaefnis

- Varðveisla erfðaefnis úr foreldrafiski. Framleiðendum hrognna er skylt að varðveita í gagnagrunnum erfðaeftni foreldrafiska og halda bókhald yfir það frá hvaða foreldrum er selt til hvernar stöðvar. Erfðaeftni og skráning verði afhent MAST. Með arfgerðargreiningu má rekja afkvæmi til foreldra og þar með er einnig hægt að rekja fyrirtæki og staðsetningu eldis. Arfgerðargreiningu verður beitt verði þess þörf.
- Varðveisla erfðaefnis úr villtum stofnum. Lagt er til að svil verði djúpfryst í sviljabanka til að varðveita nothæft erfðaeftni úr náttúrulegum stofnum. Stofnarnir verði varðveittir á ábyrgð Hafrannsóknastofnunar. Stofnar verða valdir með eftirfarandi að leiðarljósi:
 - Stofnar með yfir 400 laxa veidda að meðaltali á ári síðustu 15 hlaupandi ár.
 - Stofnar sem eru í sérstakri hættu vegna nálægðar við eldissvæði.
 - Stofnar sem endurspeglar fjölbreytni og erfðabreytileika íslenskra stofna.

Vöktun

- Vöktun lykiláa með Árvaka. Vöktun lykiláa í hverjum landsfimmtungi með vöktunartækinu Árvaka frá Vaka hf. Árvakinn er útbúinn með myndbandsupptökubúnaði og verður staðsettur nálægt árósum. Með búnaðinum er hægt að telja fiska, leggja mat á lúsamagn og greina hvort fiskur er af eldisuppruna. Þess ber að geta að einungis er hægt að greina strokufisk úr síðbúnu stroki þar sem fiskur sem sloppið hefur sem sjógönguseiði greinist ekki frá villtum fiski. Í töflu 1 má sjá lista yfir þær ár sem verða vaktaðar.

Tafla 1. Listi yfir þær ár sem verða vaktaðar með Árvaka frá Vaka ehf.

Vestfirðir	
Laugardalsá í Ísafjarðardjúpi	(nýr búnaður)
Langadalsá í Ísafirði	(nýr búnaður)
Húnaflói	
Blanda	(til staðar þarf að uppfæra búnað)
Fitjá	(nýr búnaður)
Norðausturland.	
Skjálfandafljót	(til staðar þarf að uppfæra búnað)
Vesturdalsá	(til staðar)
Faxaflói	
Elliðaár	(til staðar)
Úlfarsá	(til staðar)
Gljúfurá	(til staðar þarf að uppfæra búnað)
Langá	(til staðar þarf að uppfæra búnað)
Breiðafjörður	
Krossá	(til staðar þarf að uppfæra búnað)
Laxá	(nýr búnaður)

Sýnataka og greining

- Stroksýni úr veiddum/slepptum fiski. Sett verði upp kerfi stroksýnatöku (DNA-sýnatöku) úr veiddum fiski. Slíkt sýnatökukerfi er starfrækt í dag hjá Ráðgjafamiðstöð landbúnaðarins fyrir hesta sjá kynningarmyndband [hér](#). Hjá fiskum er tekið stroksýni úr tálknum, sýnataka tekur örfáar sekúndur og hefur hún ekki áhrif á lifun fiska. Skráning annarra upplýsinga verður á vefsvæði sem hægt er að nálgast í síma eða tölvu. Hægt er að fá sendar upplýsingar til baka um arfgerð fisks að greiningu lokinni sem hvati til þess að sýnataka verði framkvæmd. Með þessari sýnatöku fæst heildarhlutfall eldisfiska í klakstofni ásamt hlutfalli síðbúins og snemmbúins stroks.
- Söfnun og greining hreisturssýna. Mikilvægt er að safna hreistri af laxi úr völdum ám. Með greiningu hreisturs er hægt að greina með ágætri vissu hvort um eldislax sé að ræða. Lagt er til að hreistri safnað verði úr a.m.k. einni á úr hverjum landsfimmtungi, eins og þeir eru skilgreindir hér að framan.
- Erfðagreiningar smáseiða. Rafveidd verða á hverju ári um 100 smáseiði í ám víðsvegar til að fylgjast með mögulegri erfðablöndun. Greind verða 59 SNP erfðamörk (Karlsson et al. 2011). Í töflu 2 má sjá lista yfir þær ár sem erfðasýni verða tekin úr (tafla 2).

Tafla 2. Listi yfir þau vatnsföll sem verða vöktuð með reglulegri söfnun og greiningu erfðasýna. Gerð verður erfðagreining á 100 marktækum DNA sýnum úr seiðum úr hverju vatnsfalli fyrir sig.

Ísafjarðardjúp	Austurland
Laugadalsá	Breiðdalsá
Langadalsá	Suðurland
Arnarfjörður	Þjórsá
Selárdalsá	Ölfusá/Hvítá/Sogið
Dýrafjörður	Faxaflói
Sandsá	Elliðaá
Tálknafjörður	Norðurá
Botnsá	Grímsá
Húnaflói	Langá
Blanda	Breiðafjörður
Vatnsdalsá	Krossá
Fitjá/Víðidalsá	Laxá í Dölum
Norðausturland	
Laxá í Þingeyjarsýslu	
Hafralónsá	
Hofsá	

Mótvægisáðgerðir

Með hliðsjón af þeirri greiningu sem lögð er til grundvallar í þessari skýrslu leggja skýrsluhöfundar til að lögð verði áhersla á eftirfarandi þætti til þess að draga úr líkum á erfðablöndun eldisfisks við náttúrulega íslenska laxastofna:

- Staðlar fyrir fiskeldisbúnað í sjó. Varðandi kröfur til eldisbúnaðar er lagt til að þær verði samkvæmt norska staðalinum NS 9415:2009 sem gerir mestar kröfur um styrkleika búnaðar.
- Notkun á geldfiski. Lögð verði áhersla á rannsóknir á notkun geldfiska í íslensku eldi. Nokkrar aðferðir eru í þróun varðandi framleiðslu á geldfiski.
 - *Þrilitnun á fiski.* Sú aðferð sem helst er notuð við framleiðslu á ófrjóum laxfiskum er að gera laxinn þrilitna en svo nefnist lífvera með þrjú litningapör í stað tveggja (2N). Þessari aðferð er beitt af Stofnfiski með góðum árangri og selur fyrirtækið slík hrogn til Noregs. Í Noregi hafa verið framkvæmdar margar tilraunir, þar sem borið er saman eldi á 2N og 3N laxi. Helstu niðurstöðurnar úr þeim eru að 3N fiskur vex yfirleitt hraðar á ferskvatnsstiginu en aftur á móti hæggar í sjófasanum en 2N fiskur (Fraser et al. 2013). Helstu vandamál við notkun þrilitna fisks virðast vera minna sjúkdómsþol og lifun við hátt og lágt hitastig. Borið hefur á meiri vandamálum vegna vetrarsára (*Moritella viscosa*) í þrilitna fiski (Anna Wargelius, símtal). Áherslu þarf að leggja á rannsóknir við íslenskar aðstæður til að skera úr um hvort þrilitnun sé raunhæfur kostur á Íslandi.
 - *Bólusetning fyrir kynþroska.* Hjá Norsku Hafrannsóknastofnuninni er verið að vinna að þróunarverkefninu SALMOSTERILE þar sem verið er að þróa aðferð til geldingar með mótefnisaðferðum. Aðalmarkmiðið er að þróa bóluefni sem afvirkjar kynfrumulifunarprótein (e. inactivate sex cell survival proteins) í laxaseiðum og þvingar kynfrumurnar þar með í stýrðan frumudauða (e. apoptosis). Hægt væri að meðhöndla hrygnur í tæka tíð fyrir hrygningu og þroska hrogna og með þeim hætti myndi bóluefnið erfast til afkvæma. Þessi aðferð er hinsvegar enn í þróun (2013-2017). Ekki er ljóst með útkomu enn en vakta þarf þessa aðferðafræði og nýta hana hérlendis eins skjótt og hún kemst í notkun.
- Framleiðsla á afkvæmalausum fiski með stýringu á genatjáningu. Um er að ræða böðunartækni á hrognum sem gerir stóran hluta systkinahópsins geldan. Uppgötvunin felur í sér sameindaferju Vivo, sem flytur svokallað Morpholino oligomer (MO) sem í stuttu máli ruglar staðsetningu forstigs kynfumna og gerir fiskinn ófrjóan. Aðferðin var þróuð af Ten-Tsao Wong og Yonathan Zohar hjá University of Maryland og standa nú yfir tilraunir í BNA og í Noregi (Wong og Zohar 2015, Zohar og Wong 2016). Fylgst verður með þessum tilraunum og hefur Hafrannsóknastofnun óskað eftir að vera þátttakandi í þeim.
- Aðrar erfðaáðferðir til að aðgreina eldislax frá náttúrulegum laxi. Með hraðri þróun þekkingar á genamengi laxins verður erfðamunur á eldislaxi og villtum laxi sífellt ljósari. Þetta opnar mögulega á það að nýta þessar upplýsingar til að framleiða eldisfisk sem hefur skilar sér lítið til baka eftir stök og yrði mögulega mjög þekktanlegur frá villtum fiski. Erfðir kynþroskaaldurs og -stærðar hjá laxi eru nú þekktar og hvaða gen stýra þeim (Barson ofl. 2015). Með því að nýta þessa þekkingu í vali á laxi í kynbótum er hægt að velja algerlega út snemmkynþroska lax. Með því móti væri engin kynþroski í sláturlaxi og því verulega minni hætta sem stafaði af strokufiski úr slyssaleppingum. Þetta er einnig mjög hagfellt fyrir eldisfyrirtækin þar sem að kynþroski dregur úr vexti og slíkur fiskur fellur um gæðaflokk.

- Útsetning stórseiða. Miklar líkur eru á því að útsetning stórseiða muni hafa áhrif á stök og endurkomu. Ef sett eru út stórseiði munu líkur á snemmbúnu stroki minnka, sökum stærðar seiða. Ef seiði eru mjög stór kallast þau unglaxar (500-1200 g) eru lífslíkur þeirra mun minni en seiðanna eftir stök. Þetta þarf þó nauðsynlega að staðfesta betur með rannsóknum.
- Gott ástand náttúrulegra stofna. Tryggja þarf gott ástand náttúrulegs klakstofns í ánni og að veiðalag verði ekki of mikið. Of mikið veiðialag skilur eftir tóm óðöl sem eldishængar geta nýtt sér (McGinnity et al. 2003). Rannsóknir sýna einnig að eldisfiskar eiga erfiðar uppdráttar eftir því sem þéttleiki og samkeppni frá villtum fiski er meiri (Skaala et al. 2012).
- Rannsóknir á lifun sjógönguseiða af eldisstofni. Rannsaka þarf og staðfesta lifunarhlutfall sjógönguseiða af eldisstofni miðað við mismundandi stökstaði við Ísland. Gera þarf tilraunir þar sem þar sem seiðum er sleppt í hafbeit og endurheimta þeirra mæld.

Ályktanir og tillögur

Lagt er til að fylgt verði niðurstöðum áhættulíkans með þeim hætti að gildi erfðablöndunar í þeim ám eða vatnakerfum sem það tekur yfir verði ekki hærra en þröskuldsgildið 4%. Með vatnakerfum er átt við meginá og ár sem í hana renna svo sem vatnakerfi Hvítár á Suðurlandi. Reglan á við ár og kerfi sem hafa sjálfbæran laxastofn.

Tillögur að magni eldis á hverju svæði.

Lagt er mat á eftirfarandi firði:

Vestfirðir: Arnarfjörður, Patreksfjörður (og Tálknafjörður), Dýrafjörður.

Austfirðir: Berufjörður, Fáskrúðsfjörður, Reyðarfjörður, Stöðvarfjörður.

Ekki er lagt mat á þá firði þar sem burðarþol liggur ekki fyrir.

Tafla 3. Tillögur um æskilegt hámarkseldi á hverju svæði fyrir sig samkvæmt útreikningum áhættumatslíkans. Reiknað er með að hlutfall snemmbúinna og síðbúinna stroka sé 50:50.

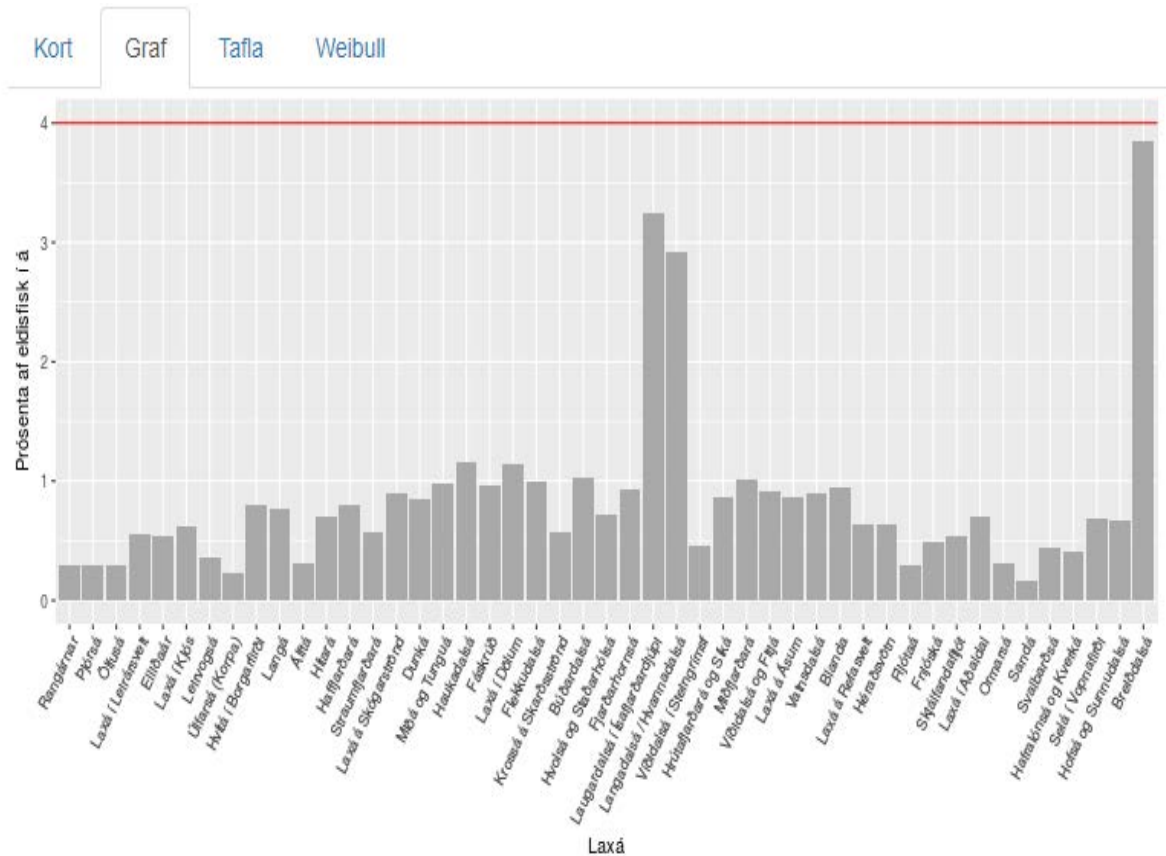
Landsvæði	Hámarkseldi samkvæmt áhættumati
Vestfirðir	
Patreksfjörður, Tálknafjörður og Patreksfjarðarflói	20.000 tonn
Arnarfjörður	20.000 tonn
Dýrafjörður	10.000 tonn
Ísafjarðardjúp	0 tonn
Vestfirðir samtals:	50.000 tonn
Austfirðir	
Berufjörður	6.000 tonn
Fáskrúðsfjörður og Reyðarfjörður	15.000 tonn
Stöðvarfjörður	0 tonn
Austfirðir samtals:	21.000 tonn
Samtals:	71.000 tonn

Útreikningar áhættumatslíkansins voru lagðir til grundvallar við framsetningu á ofangreindum tillögum. Líkanið gerir almennt ráð fyrir líttilli innblöndun í flestar ár en Laugardalsá, Hvannadalsá og Langadalsá í Ísafjarðardjúpi, ásamt Breiðdalsá í Breiðdal virðast allar í talsverðri hættu vegna innblöndunar eldisfisks. Af þessum ástæðum er lagt til að ekki verði leyft eldi í Ísafjarðardjúpi vegna mikilla neikvæðra áhrifa á ár í Djúpinu. Af sömu ástæðum er lagt til að eldi verði ekki aukið í Berufirði og lagst gegn eldi í Stöðvarfirði vegna nálægðar við Breiðdalsá. Ekki skiptir höfuðmáli hvernig eldið skiptist milli Reyðarfjarðar og Fáskrúðsfjarðar hvað varðar áhættu. Niðurstöður matsins eru því að ásættanlegt sé að leyfa allt að 71.000 tonna framleiðslu af frjóum eldislaxi hér við land. Þar af 50.000 tonn á Vestfjörðum og 21.000 tonn á Austfjörðum. Hér er um að ræða sjöföldun á núverandi ársframleiðslu í íslensku laxeldi sem er um 10.000 tonn.

Þessu til viðbótar er unnt að ala ófrjóan lax. Auka þarf rannsóknir og tilraunir með ófrjóan lax á Íslandi við þær aðstæður sem hér eru. Þetta verði gert í samvinnu við erlenda rannsóknaraðila og eldisfyrirtækin í landinu. Í samræmi við framangreint er óhætt að ala auk 71.000 tonna framleiðslu af frjóum eldislaxi hér við land, allt að 61.000 tonn af ófrjóum laxi miðað við núverandi burðarþolsmat

fyrir þessi svæði. Eldi á ófrjóum laxi á Vestfjörðum yrði því allt að 30.000 tonnum til viðbótar við 50.000 tonna framleiðslu á frjóum laxi og á Austfjörðum yrði eldi á ófrjóum laxi 31.000 tonn til viðbótar við framleiðslu á 21.000 tonnum af frjóum laxi. Aðrir þættir geta þó takmarkað umfang eldisins eins og endurskoðað burðarþol, óæskileg áhrif laxalúsar, stærð heppilegra eldissvæða og ef vart verður við óæskileg áhrif á hrygningu eða uppeldi nytjastofna sjávar (þorskur, ýsa, rækja og fleiri tegundir).

Ofangreindar tillögur um hámarkseldi á hverju svæði gefa eftirfarandi mynd úr líkani (mynd 9).



Mynd 9. Niðurstaða úr líkani miðað við tillögur Hafrannsóknastofnunar um hámarkseldi á hverju svæði fyrir sig (sjá töflu 3). Reiknað er með að hlutfall snemmbúinna og síðbúinna stroka sé 50:50. Rauða línan sýnir þröskuldsmörk innblöndunar (4%).

Mynd 9 sýnir að Djúparnar og Breiðdalsá reiknast með innblöndun á bilinu 2,8-3,7% og eru allar undir þröskuldsmörkum. Þrátt fyrir verulega aukið umfang laxeldis spáir líkanið mjög lítilli innblöndun eldisfisks í flestum helstu laxveiðiám landsins. Helsta ástæðan fyrir þessari niðurstöðu er sú að eldissvæðin eru í mikilli fjarlægð frá helstu laxveiðiám og laxeldi er bannað á mjög stórum hluta strandlengjunnar. Í Noregi og Skotlandi eru eldissvæðin hins vegar oft í mikilli nálægð við helstu laxveiðiárnar og því verða blöndunaráhrifin mun meiri í þessum löndum. Ástand íslenskra laxastofna er í dag mjög gott að því leyti að í þeim greinist nánast engin erfðablöndun úr eldisfiski. Tillögur Hafrannsóknastofnunar byggja á skynsamlegri varúðarnálgun varðandi uppbyggingu laxeldis án þess að okkar náttúrulegu laxastofnar hljóti skaða af.

Heimildir

Árni Ísaksson, Sumarliði Óskarsson og Þór Guðjónsson 2002. Occurance of tagged Icelandic salmon in the salmon fisheries at West Greenland and within the Faroese fishing zone 1967 through 1995 and its inference regarding the ocean migration of salmon from different areas of Iceland. *International Council for the Exploration of the Sea*. North Atlantic Salmon Working Group. Working paper 22.

Ársskýrsla dýralæknis fisksjúkdóma 2016 (2017). *Ársskýrsla dýralæknis fisksjúkdóma 2016*. Matvælastofnun. <http://www.mast.is/library/Sk%C3%BDrslur/Arsskyrsladyralaeknisfisksjukdoma2016.pdf>

Barson, N.J., Aykanat, T., Hindar, K., Baranski, M., Bolstad, G.H., Fiske, P.H., Jacq, C., Jensen, A.J., Johnston, S.E., Karlsson, S., Kent, M., Moen, T., Niemelä, E., Nome, T., Næsje, T.F., Orell, P., Romakkaniemi, A., Sægrov, H., Urdal, K., Erkinaro, J., Lien, S., Primmer, C.P. (2015). Sex-dependent dominance at a single locus maintains variation in age at maturity in salmon. *Nature* 528, 405–408 doi:10.1038/nature16062.

Castellani, M., Heino, M., Gilbey, J., Araki, H., Svåsand, T. and Glover K.A. (2015). IBSEM: An Individual-Based Atlantic Salmon Population Model. *PLOS ONE*. doi.org/10.1371/journal.pone.0138444

Daníelsdóttir, A.K., Marteinsdóttir, G., Arnason, F. and Gudjonsson, S. (1997). Genetic structure of wild and reared Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) populations in Iceland. *ICES Journal of Marine Science*, 54: 986-997.

Diserud, O.H., Fiske, P. og Hindar, K. (2012). NINA Rapport 782. Forslag til kategorisering av laksebestander som er påvirket av rømt oppdrettslaks. ISBN: 978-82-426-2377-5.

Ellis, J.S., Gilbey, J. et al and Stevens, J.R. (2011). Microsatellite standardization and evaluation of genotyping error in a large multi-partner research programme for conservation of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Genetica*, 139: 353–367.

Fiske, P., Lund, R. A., & Hansen, L. P. (2006). Relationships between the frequency of farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in wild salmon populations and fish farming activity in Norway, 1989-2004. *ICES Journal of Marine Science*, 63, 1182–1189.

Fleming, I. A., Jonsson, B., Gross, M. R., & Lamberg, A. (1996). An experimental study of the reproductive behaviour and success of farmed and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Applied Ecology*, 33, 893–905.

Fleming, I. A., K. Hindar, I. B. Mjølnerød, B. Jonsson, T. Balstad & A. Lamberg. (2000). Lifetime success and interactions of farm salmon invading a native population. – *Proc. R. Soc. Lond. B* 267: 1517-1524.

Framleiðsla í íslensku fiskeldi (2016). *Fiskeldisfréttir*. Febrúar 2016 1. Tölublað, 5. Árgangur. Bls. 13-14. <http://sjavarutvegur.is/wp-content/uploads/2016/12/VIG2016-Fiskeldisfrettir-01.05.2016.pdf>.

Fraser, T.W. Hansen, T. Skjæraasen, J.E., Mayer, I. Sambras, F. Fjellidal P.G. (2013). The effect of triploidy on the culture performance, deformity, and heart morphology in Atlantic Salmon. *Aquaculture* 416 255-265.

Friðjón M. Viðarsson og Sigurður Guðjónsson (1991). Hlutdeild eldislaxa í ám við Faxaflóa. Veiðimálastofnun. VMST-R/91015. 49 bls.

Friðjón M. Viðarsson og Sigurður Guðjónsson (1993). Hlutdeild eldislaxa í ám á SV-horni landsins, samkvæmt hreisturslestri. Veiðimálastofnun. VMST-R/93015. 38 bls.

Geiger, H. J., Perry, T., Fukuwaka, M. and Radchenko V. (2002). Status of Salmon Stocks and Fisheries in the North Pacific Ocean. *NPAFC Technical Report No. 4*.

Glover, K.A., Solberg, M.F., McGinnity, P., Hindar, K., Verspoor, E., Coulson, M.W., Hansen, M.M., Araki, H., Skaala, Ø. and Svåsand, T. (2017). Half a century of genetic interaction between farmed and wild Atlantic salmon: Status of knowledge and unanswered questions. *Fish and Fisheries* 1–38.

Glover, K. A., Pertoldi, C., Besnier, F., Wennevik, V., Kent, M., and Skaala, Ø. (2013). Atlantic salmon populations invaded by farmed escapees: quantifying genetic introgression with a Bayesian approach and SNPs. *BMC Genetics*, 14: 4.

Glover, K. A., Quintela, M., Wennevik, V., Besnier, F., Sørvik, A.G.E., and Skaala, Ø. (2012). Three decades of farmed escapees in the wild: A spatio-temporal analysis of population genetic structure throughout Norway. *PLoS ONE*, 7: e43129.

Green, D.M., Penman, D.J., Migaud, H., Bron, J.E., Taggart, J.B., & McAndrew, B.J. (2012). The impact of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) on catch statistics in Scotland. *PLoS One*, 7(9), e43560.

Gudjonsson, S. (1991). Occurrence of reared salmon in natural rivers in Iceland. *Aquaculture* 98, 1-3 p133-142.

Gudjonsson, S. and Scarnecchia, DL. (2009). "Even the Evil Need a Place to Live": Wild salmon, salmon farming and zoning of the Icelandic coastline. *Fisheries* 34:477–486. doi:10.1577/1548-8446-34.10.477.

Gudjonsson, S., I. R. Jonsson and T. Antonsson (2005). Migration of Atlantic salmon, *Salmo salar*, smolt through the estuary of River Ellidaar in Iceland. *Environmental Biology of Fish*. 74:291-296.

Guðmundsson, L.A., Guðjónsson, S., Marteinsdóttir, G., Scarnecchia, D.L., Daniëlsdóttir, A.K. and Pampoulie, C. (2013). Spatio-temporal effects of stray hatchery-reared Atlantic salmon *Salmo salar* on population genetic structure within a 21 km-long Icelandic river system. *Conservation Genetics* 14: 1217-1231. doi:10.1007/s10592-013-0510-y

Guðni Guðbergsson (2016). Lax- og silungsveiðin 2015. Skýrsla Veiðimálastofnunar. VMST/ 15022. 46 bls.

Guðni Guðbergsson og Sigurður Már Einarsson (2004). Hlutfall merktra laxa sem sleppt er og veiddust oftar en einu sinni í íslenskum ám sumarið 2003. VMST-R/0410. 9 bls.

Guðni Guðbergsson og Sigurður Már Einarsson (2007). Áhrif veiða og sleppa á laxastofna og veiðitölur. *Fræðaging landbúnaðarins* 4. Bls. 196-204.

Guðni Guðbergsson og Óðinn Sigþórsson (2007). Lax sem meðafli íslenskra fiskiskipa. *Veiðimaðurinn*. 182. 46-49.

Guðrún Marteinsdóttir, Heiðrún Guðmundsdóttir, Sigurður Guðjónsson, Anna K. Daniëlsdóttir, Þóroddur F. Þóroddsson og Leó Guðmundsson (2007). Áhrif eldis á umhverfi og villta stofna. Lokaskýrsla vegna AVS verkefnis, S004-05.

Hagfræðistofnun Háskóla Íslands (2004). Lax- og silungsveiði á Íslandi. Efnahagsleg áhrif og líffræðileg staða auðlindarinnar. Skýrsla unnin fyrir Landssamband veiðifélaga. Skýrsla nr. C04:06. 74 bls.

Hansen, L.P. (2006). Migration and survival of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) released from two Norwegian fish farms. *ICES Journal of Marine Science*, 63: 1211-1217.

Hindar, K., Fleming, I.A., McGinnity, P. & Diserud, A. (2006). Genetic and ecological effects of salmon farming on wild salmon: Modelling from experimental results. *ICES Journal of Marine Science*, 63, 1234–1247.

ICES 2012. Report of the Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS), 22–31 March 2011, Copenhagen, Denmark. ICES 2011/ACOM:09. 45 pp.

ICES 2015. WGNAS Stock Annex for Atlantic salmon. <http://ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2015/WGNAS/WGNAS%20Stock%20Annex%20for%20Atlantic%20salmon.pdf>

ICES 2016. ICES WGNAS report 2016. Report of the Working Group on North Atlantic Salmon. http://ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2016/WGNAS/wgnas_2016.pdf

- Ingi Rúnar Jónsson og Þórólfur Antonsson (2004). Laxar af eldisuppruna endurheimtir á Austurlandi sumarið 2003. Veiðimálastofnun. VMST-R/0403. 14 bls.
- Ingi Rúnar Jónsson, Þórólfur Antonsson og Sigurður Guðjónsson (2008). Relation between stock size and catch data of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Icel. Agric. Sci.* 21: 61-68.
- Karlsson, S., T. Moen, S. Lien, K. A. Glover, and K. Hindar (2011). Generic genetic differences between farmed and wild Atlantic salmon identified from a 7kSNP-chip. *Mol. Ecol. Resour.* 11 (Suppl. 1):247–253.
- Kristinn Ólafsson, Christophe Pampoulie, Sigríður Hjörleifsdóttir, Sigurður Guðjónsson og Guðmundur Ó. Hreggviðsson (2014). Present-Day Genetic Structure of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in Icelandic Rivers and Ice-Cap Retreat Models. *PLoS ONE* 9(2): e86809. doi:10.1371/journal.pone.0086809
- Kristinn Ólafsson, Sigríður Hjörleifsdóttir, Christophe Pampoulie, Guðmundur Ó. Hreggviðsson, Sigurður Guðjónsson (2010). Novel set of multiplex assays (SalPrint15) for efficient analysis of 15 microsatellite loci of contemporary samples of the Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Molecular Ecology Resources* 10: 533–537.
- Kristinn Ólafsson, Sigurður M. Einarsson, John Gilbey, Christophe Pampoulie, Guðmundur Ó. Hreggviðsson, Sigríður Hjörleifsdóttir and Sigurður Guðjónsson (2016). Origin of Atlantic salmon (*Salmo salar*) at sea in Icelandic waters. *ICES J. Mar. Sci.* 2016; 73 (6): 1525-1532. doi: 10.1093/icesjms/fsv176.
- Leó Alexander Guðmundsson (2014). Upprunagreining á löxum veiddum í Patreksfirði í júlí 2014. Veiðimálastofnun, VMST/14046. 29 bls.
- Leó Alexander Guðmundsson, Guðni Guðbergsson, Halla Margrét Jóhannesdóttir og Eydís Njarðardóttir (2014). Rannsókn á löxum veiddum í Patreksfirði í ágúst 2014. Veiðimálastofnun, VMST/14047. 34 bls.
- Leó Alexander Guðmundsson og Sigurður Guðjónsson (2013). Notkun erfðamarka til að greina stökulax úr sjókvíaelði og erfðablöndun við villtan lax. V 014-13. Lokaskýrsla vegna AVS verkefnis. 15 bls.
- Liu, Y., Diserud, O.H., Hindar, K. and Skonhøft, A. (2013). An ecological–economic model on the effects of interactions between escaped farmed and wild salmon (*Salmo salar*). *Fish and Fisheries*, 14, 158–173.
- Magnús Jóhannsson, Sumarliði Óskarsson, Sigurður Guðjónsson, Sigurður Már Einarsson og Jónas Jónasson (2004). Sleppingar örmerktra laxagönguseiða í fiskrækt árin 1986-1991 og endurheimtur þeirra. Veiðimálastofnun skýrsla VMST-S/94011.
- McGinnity, P., Prodöhl, P., Ferguson, A., Hynes, R., Ó. Maoiléidigh, N., Baker, N., Cotter, D., O’Hea, B., Cooke, D., Rogan, G., Taggart, J., and Cross, T. (2003). Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon *Salmo salar* as a result of interactions with escaped farm salmon. – *Proc. R. Soc. Lond.* B 270: 2443-2450.
- Nei, M., Tajima, F. and Tatenó, Y. (1983). Accuracy of estimated phylogenetic trees from molecular data. II. Gene frequency data. *J. Mol. Evol.* 1983; 19(2): 153-70.
- Noakes, D. J. and Beamish, R. J. (2011). Shifting the Balance: Towards Sustainable Salmon Populations and Fisheries of the Future. Sustainable Fisheries: Multi-Level Approaches to a Global Problem, 23–50. American Fisheries Society.
- Omega (2014). Offshore Mariculture Escapes Genetics Assessment (OMEGA) model. http://www.nmfs.noaa.gov/aquaculture/science/omega_model_homepage.html. Sótt 9.7.2017.
- Piccolo, J.J. and Orlikowska, E.H. (2012). A biological risk assessment for an Atlantic salmon (*Salmo salar*) invasion in Alaskan waters. *Aquatic Invasions* 7, v2 259-270.
- Pritchard, J.K., Stephens, M. and Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155: 945-959.

Skaala, Ø., K.A. Glover, B.T. Barlaup, T. Svåsand, F. Besnier, M.M. Hansen and R. Borgstrøm (2012). Performance of farmed, hybrid, and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) families in a natural river environment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 69:1994-2006, <https://doi.org/10.1139/f2012-118>

Sigurbergur Steinsson (2010). Stangaveiðimarkaðurinn á Íslandi: mat á heildartekjum af laxveiðileyfasölu árið 2009. Bifröst: Háskólinn á Bifröst. <http://hdl.handle.net/1946/6655>

Sigurður Már Einarsson og Ásta K. Guðmundsdóttir (2017). Vöktunarrannsóknir á laxastofni Laxár í Dölum 2016. hafogvatn2017-022. HV 2017-21. Reykjavík 2017.

Sigurður Már Einarsson (2004). Líffræði og nýting ferskvatnsfiska á vatnasvæði Hvítár í Borgarfirði. Ársskýrsla veiðimálastofnunar 2003. Reykjavík: Veiðimálastofnun.

Skilbrei, O.T., Heino, M., & Svåsand, T. (2015). Using simulated escape events to assess the annual numbers and destinies of escaped farmed Atlantic salmon of different life stages, from farms sites in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 72, 670–685.

Stabell O. (1984). Homing and olfaction in salmonids: a critical review with special reference to the Atlantic salmon. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 59: 333–388.

Taranger, G.L., Karlsen, Ø., Bannister, R.J., Glover, K.A., Husa, V. Karlsbakk, E., Kvamme, B.O., Boxaspen, K.K., Bjørn, P.A., Finstad, B., Madhun A.S.H., Morton, C. and Svasand, T. (2015). Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES Journal of Marine Science* 72(3), 997–1021. doi:10.1093/icesjms/fsu132

Taranger, G.L., Svåsand, T., Kvamme, B.O., Kristiansen T.S., and Boxaspen, K. (Eds) (2014). Risk assessment of Norwegian aquaculture 2013 (in Norwegian). *Fisken og Havet*, Særnummer 2-2014.

Taranger, G.L., Svåsand, T., Kvamme B.O., Kristiansen T. S. and Boxaspen K.K. (2012). Risk assessment of Norwegian aquaculture [Risikovurdering norsk fiskeoppdrett] (In Norwegian). *Fisken og havet*, særnummer 2-2012. 131 pp.

Valdimar Ingi Gunnarsson (2002). Hugsanleg áhrif eldislaxa á náttúrulega laxastofna. Gefið út af embætti veiðimálastjóra. 67 bls.

Valdimar Ingi Gunnarsson (2007). Reynsla af sjókvíaeldi á Íslandi. Hafrannsóknastofnunin, *Fjölrít* 136.

Valdimar Ingi Gunnarsson og Eiríkur Beck (2004). Slysasleppingar á eldislaxi á árinu 2003 - Kynþroskahlutfall og endurheimtur. Veiðimálastjóri. 18 bls.

Youngson, A., Webb, J.H., MacLean, J.C. and Whyte, B.M. (1997). Frequency of occurrence of reared Atlantic salmon in Scottish salmon fisheries. *ICES Journal of Marine Science* 54 (6): 1216-1220.

Veiðisumarið 2017, 75 aflahæstu árnar. (2017). Sótt 5. júlí af <http://www.angling.is/is/veiditolur/>

Wong, T.T. and Zohar, Y. (2015). Production of reproductively sterile fish by a non-transgenic gene silencing technology. *Nature Scientific Reports* | 5:15822 | DOI: 10.1038/srep15822

Zohar, Y., and Wong, T.T. (2016). Method of Producing Infertile Fish and Egg-producing Aquatic Animals and Delivering Compounds into Eggs and Embryos. United States Patent Application Pub. No. US2016/0286768 A1.



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna