

Hætta á göngu strokulaxa úr laxeldi í íslenskar laxveiðiár

Tækniskýrsla Hafrannsóknastofnunar 2020

Efnisyfirlit

1.	Reiknilíkan fyrir áhættumat	2
1.1	Reiknilíkan fyrir innblöndun eldislaxa í villta laxastofna.....	2
1.2	Almennar forsendur reiknilíkansins.....	3
1.2.1	Landfræðilegir þættir	3
1.2.2	Eldisþættir	4
1.2.3	Gögn varðandi lífsferil	5
1.3	Reiknilíkan og breytistærðir.....	6
1.3.1	Strokstuðullinn	6
1.3.2	Hlutfall strokulaxa í laxveiðiám.....	8
1.3.3	Lögunarstuðull dreifingarfalls (β)	8
1.3.4	Vegalengdarstuðull dreifingarfalls (η)	9
1.3.5	Heimsæknistuðull (H)	9
1.3.6	Endurheimta úr snemmstroki (L_S).....	10
1.3.7	Endurheimta úr síðstroki (L_G).....	11
1.3.8	Dreifing strokulaxa.....	11
1.4	Næmnigreining	14
1.5	Vöktun laxveiðiáa.....	14
1.5.1	Vöktun með Árvaka (Riverwatcher).....	14
1.5.2	Erfðafræðileg vöktun	16
2.	Niðurstaða vöktunar og endurmat stuðla	17
2.1	Tilkynntir stroatburðir.....	17
2.2	Tilkynnt veiði strokulaxa í ám	18
2.3	Mat á fjölda strokulaxa	20
2.4	Dreifing strokulaxa	22
2.5	Endurmat stuðla fyrir snemmstrok.....	24
2.6	Endurmat stuðla fyrir síðstrok	25
2.7.	Rannsóknir á erfðablöndun með rafveiðum.....	28
3	Umræður	29
3.1	Mat á strokstuðli (S).....	29

3.2	Breytur tengdar dreifingarstuðli fyrir snemm- og síðstrok.	30
3.3	Mat á endurheimtu stórseiða(post-smolts) úr snemmstroki í veiðiár (L_S).....	30
3.4	Mat á endurheimtu síðstrokslaxa í veiðiár (L_G)	31
3.5	Samanburður milli Íslands og Noregs	31
3.6	Nýtt mat á stuðlum áhættumats á grunni vöktunarniðurstaðna:	33
3.7	Fyrirbyggjandi aðgerðir	33
3.8	Þakkarorð	33
3.9	Fjármögnun	34
3.10	Viðbótargögn	34
	Heimildir.....	35

Töflulisti

Tafla 1.1. Árleg tala fjölda skráðra strokulaxa á hvert tonn framleitt, samkvæmt Fiskedirektoriatet í Noregi. Uppgefnar tölur eru margfaldaðar með 4 í síðasta dálki. Meðaltal og staðalfrávik eru birt fyrir neðan töfluna.	8
Tafla 1.2. Stuðlar reiknilíkansins	13
Tafla 2.1. Yfirlit yfir tilkynnta atburði frá fiskeldisfyrirtækjum árin 2018 og 2019.	18
Tafla 2.2: Uppruni strokufiska samkvæmt samanburði á erfðamörkum allra hænga notaðra 2014-2016	19
Tafla 2.3. Eldisstæði Arnarlax við Steinanes. Tölur um fjölda útsettra seiða og talningu við slátrun Eingöngu kvíar með nákvæmri talningu eru hafðar með. Meðaltal og staðalfrávik er gefið neðan við töflu.	21
Tafla 2.4. Eldisstæði Arnarlax við Hringsdal. Tölur um fjölda útsettra seiða og talningu við slátrun. Göt fundust á kvíum númer 2 og 6. Tap úr kví 2 er meira en vænta má (feitletrað). Meðaltal er tekið úr öðrum kvíum en kví 2	21
Tafla 2.5. Spágildi hlutfallslegt endurkomuhlutfall stórseiða miðaða við endurkomuhlutfall 93 gramma seiða á grundvelli jöfnu sem sýnd er í mynd 2.2	26
Tafla 2.6. Samantekt á niðurstöðum úr sex skýrslum frá árinu 2016 og 2018. Veiddir laxar í ám sem höfundar telja að rekja megi til tiltekins atburðar. Frá heildartölu strokulaxa er frádreginn fjöldi laxa sem veiddir eru í sjó og hafa því ekki kost á að ganga í ár. Þeir eldislaxar sem ekki eru raktir til atburðar eru ekki taldir með.	27
Tafla 2.7. Blendingar (WF) og eldis (FF) seiði rafveidd á árunum 2015 og 2016 í sex ám (Gudmundsson et al., 2017).....	29

Myndalisti

Mynd 1-1 Kort sem sýnir hafstrauma kringum Ísland.....	4
Mynd 1-2 Svæði þar sem laxeldi er bannað við Íslandsstrendur (rautt).....	5
Mynd 1-3 Áhrif heimsæknistuðulsins (H) á spáðan fjölda strokufiska sem ganga í ár eftir veturdvöl sem fall af fjarlægð. Í þessu dæmi er eldið 10.000 tonn og stærð stofns í á 1.000 fiskar. Blá lína sýnir fallið þegar heimsæknistuðull er 0, gul lína 0.05, lína 0.1 og gulbrún 0.25	10
Mynd 1-4 Skjáskot úr Árvakanum sem er aðgengilegur af vef Hafrannsóknastofnunar (https://www.hafogvatn.is/is/rannsoknir/voktun-veidiaa/ar-og-eldi).....	15
Mynd 1-5 Ár í Árvaka vöktunar áætluninni. Ár sem nú þegar hafa uppsettann Árvaka eru merktar bláar og þær sem munu fá í framtíðinni eru merktar rauðar.	15
Mynd 1-6 Ár í rafveiðivöktunaráætlun.	17
Mynd 2-1 Dreifing síðbúinna stroka frá árinu 2018. Tvær Weibull dreifingar eru teiknaðar yfir með stuðla $\beta = 1.5$ og $\eta = 540$ (blá lína) og $\beta = 2$ og $\eta = 1000$ (rauð punctalína). Jákvæð fjarlægð er réttisælis um Ísland.....	23
Mynd 2-2 Veiði snemmbúinna stroka í ám eftir 1-3 ár í sjá sem fall af strokstærð. Snemmbúnu strokunum var skipt upp í eftirfarandi hópa: 50-120 g ($x = 85$ g; 20,178 fiskar), 140-160 g ($x = 154$ g; 19,487 fiskar), 190-240 g ($x = 214$ g; 17,506 fiskar), 430-580 g ($x = 494$ g; 7,309 fiskar) og 950-2000 g ($x = 1,200$ g; 4,163 fiskar).	24
Mynd 2-3 Heildar veiði á strokulöxum í Noregi árin 2014 – 2017, hópað eftir veiðiaðferð (Glover et al.2019).	26

1. Reiknilíkan fyrir áhættumat

1.1 Reiknilíkan fyrir innblöndun eldislaxa í villta laxastofna

Þessi skýrsla gerir grein fyrir nýju áhættumatslíkani fyrir hættu á villuráfi eldislaxa inn í laxveiðiár. Tilgangur líkansins er að meta fjölda þeirra strokulaxa, sem gæti tekið þátt í hrygningu á hverju ári. Hætta á erfðablöndun eykst í beinu hlutfalli við fjölda strokulaxa í ánni (Glover ofl. 2012,2013) og sá fjöldi er því valinn sem mælieining til að meta hættuna á erfðabreytingum í náttúrulegum laxastofnum. Ef fjöldi strokulaxa fer yfir ákveðið hámark á hverju ári er hætta á því að erfðablöndun geti aukist umfram það sem náttúruvalið getur lagfært.

Í íslenska líkaninu voru slík lágmarks og hámarksgildi valin í samræmi við Taranger ofl. (2015). Lægra gildið, sem var sett við 4%, samsvarar lægra matinu á villuráfi eldislaxa í viðkomandi á og hefur í för með sér litla erfðabreytingu hjá náttúrulega stofninum, ef villuráf er undir þeim mörkum. Hærra gildið upp á 10% villuráf eldislaxa í viðkomandi á gefur til kynna þau mörk, sem villuráf eldislaxa má ekki fara yfir, til að ekki sé hætta á verulegum erfðabreytingum í viðkomandi laxveiðiá. Taka þarf tillit til þess að náttúrulegir íslenskir laxastofnar og norskir eldisstofninn(SAGA stofn) eru fjarskyldari heldur en náttúrulegir stofnar og eldisstofnar í Noregi og því ætti að setja slík gildi hærri og af meiri íhaldssemi hér á landi.

Tilgangurinn er að tryggja að framleiðsla á eldislaxi í sjókvíum hafi ekki áhrif á náttúrulega laxastofna. Þar sem óvissa er um marga þætti vegna gagnaskorts, höfum við valið að meta hættuna á erfðablöndun með gagnvirku áhættulíkani, sem byggir á upplýsingum úr vöktunarverkefni sem framkvæmt verður árlega. Á þennan hátt er hægt að aðlaga regluverk um fiskeldi í samræmi við nýjustu upplýsingar til að lágmarka umhverfisáhrif eldisins.

Framvindu erfðablöndunar má skipta í tvö stig:

- i. Strok laxa úr sjókví og líkur á því að þeir gangi í ár.
- ii. Hrygning þeirra í ánni , lífsferill afkomenda (hreinir eldislaxar og kynblendingar) og áhrif þeirra á erfðir heimastofnsins. Tvö aðskilin líkön eru notuð til að spá fyrir um þessi stig. Líkön sem notuð hafa verið hafa aðallega beinst að síðara stiginu þ.e. erfðablöndun(Castellani ofl. 2015,2018, Verspoor,2017) en eftir því sem við vitum best er þetta fyrsta líkanið sem spáir fyrir um göngur eldislaxa í ár.

Í Noregi og Skotlandi er laxeldi stundað tiltölulega þétt saman í nágrenni við veiðiár og hefur verið stundað í áratugi. Af þessum sökum hefur spálíkan varðandi göngur eldislaxa í ár ekki verið hagkvæmt í þessum löndum. Á hinn bóginn þá eru laxeldissvæði

á Íslandi venjulega fjarri laxveiðiám og því eru farleiðir og dreifing strokulaxa út frá eldissvæðum mjög mikilvæg atriði. Ennfremur hefur laxeldi verið bannað í fjörðum í nágrenni helstu laxveiðiánna til að verja náttúrulega stofna fyrir erfðablöndun, sníkjudýrum og sjúkdómum (Gudjonsson og Scarnecchia, 2013). Því er mjög mikilvægt að gera spálíkan um farleiðir eldislaxa til að meta áhættuna af villuráfi í ár. Þar sem eldi á Atlantshafslaxi í opnum sjókvíum er á byrjunarstigi hér á landi eru tækifæri til að fylgjast með göngum eldislaxa í ár í kjölfar aukningar í framleiðslu.

Þetta spálíkan er því mjög dýrmætt til að meta áhrif laxeldis á náttúrulega laxastofna á Íslandi. Svipað spálíkan hefur nýlega verið nýtt á Nýfundnalandi (Bradbury et.al., 2020) til að meta áhrif fyrirhugaðrar aukningar í sjókvíaeldi á laxi. Laxeldi á Íslandi er bundið við ákveðin svæði langt frá helstu laxveiðiánum til að lágmarka áhrif eldisins á náttúrulega stofna. Notkun líkansins mun varpa ljósi á fjölmarga þætti svo sem fjölda strokulaxa, afkomu laxanna, hegðun og lífsferil í sjó. Tæknilegar framfarir í erfðarannsóknum gera okkur kleift að fylgjast með dreifingu og afkomu strokulaxa frá einstaka eldisstöðvum. Líkanið metur áhrif allra sjóeldisstöðva á laxastofna í öllum þeim ám þar sem stofnstærðin getur verið metin bæði sem fjöldi og eins sem hlutfall af hrygningarstofni árinna.

Þróun þessa spálíkans byggði á bestu fáanlegu upplýsingum úr ritrýndum vísindaritgerðum ásamt ýmsum gögnum úr íslenskum, norskum og írskum skýrslum.

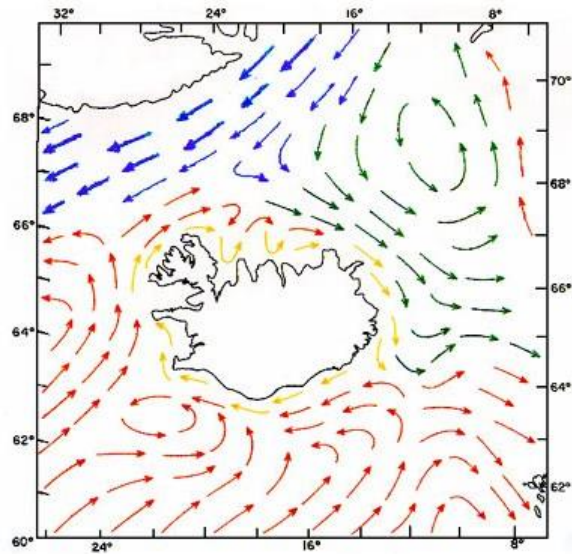
1.2 Almennar forsendur reiknilíkansins

Reiknilíkanið reiknar út fjölda stroklaxa sem ganga í ár út frá þáttum sem hægt er að skipta í þrjá hópa: Landfræðilega þætti, eldisþætti og þætti tengda lífsferli.

1.2.1 Landfræðilegir þættir

Líkanið notar landfræðilega þætti svo sem styrkleika og stefnu sjávarstrauma, magn laxa sem gengur í ár ásamt halla og aðrennslisvæði ána. Hafstraumar við strendur Íslands

ganga réttsælis um landið (Mynd 1.1).



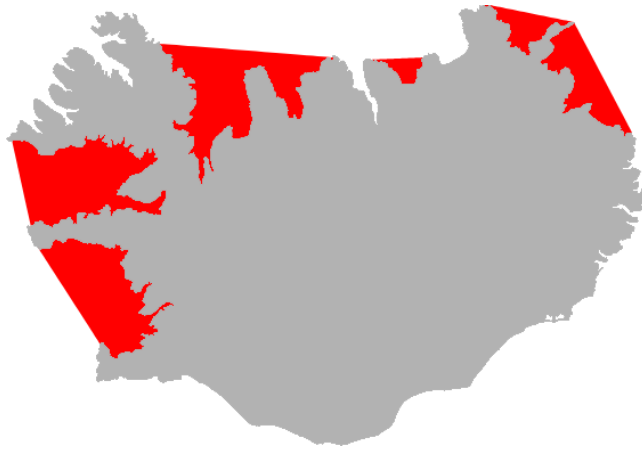
Mynd 1-1 Kort sem sýnir hafstrauma kringum Ísland.

1.2.2 Eldispættir

Upplýsingar varðandi sjókvíaeldið eru meðal annars nákvæm staðsetning sjókvía og önnur mikilvæg atriði varðandi þeirra umhverfi, lífmassa á hverjum stað, stærð og aldur laxa, sem aldir eru í kvíunum, ásamt upplýsingum um stök laxa. Innifaldar eru upplýsingar um fjölda stroktilfella og meðalfjöldi stroklaxa á hvert framleitt tonn.

Laxeldi er eingöngu leyft á takmörkuðum svæðum umhverfis Ísland, venjulega fjarri helstu laxveiðiám. Bannsvæðin voru sérstaklega valin til að vernda laxveiðiár fyrir erfðablöndun eins og fram kemur í auglýsingu landbúnaðarráðuneytisins í maí 2004 (Landbúnaðarráðuneytið 2004). Auglýsingin takmarkar því laxeldissvæðin við Vestfirði

og Austfirði (Mynd 1.2.)



Mynd 1-2 Svæði þar sem laxeldi er bannað við Íslandsstrendur (rautt).

Reiknilíkanið notar nákvæmar upplýsingar varðandi útsetninu á gönguseiðum í sjókvíar og fjölda þeirra laxa sem slátrað er eftir 18 mánuði. Þessi gögn fást úr eldisforritinu „Fishtalk“ sem notað er af laxeldisfyrirtækjunum.

Miðað við skráningu á veiði og sleppingu á löxum úr laxateljum (Jónsson ofl., 2008), er gert ráð fyrir því í líkaninu að stofnstærðin í ánni sé tvöföld skrásett veiði á hverju ári og er þá notuð meðalveiði undanfarinna 10 ára.

Laxaseiði eru bólusett nokkrum vikum áður en þau eru sett í sjókvíar og er það gert handvirkt með sprautu, sem telur seiðin og gefur nákvæman fjölda bólusetta seiða í hverju kerri. Venjulega fara öll seiði úr sama kerri í sömu sjókví en ef þeim er skipt upp eru þau endurtalin í kvína með fiskteljara sem getur verið með 2-3 % talningaskekkju.

Hlutfallsleg rýrnun í eldiskvíum kemur til vegna náttúrulegrar dánartölu en stundum getur stök úr kvíunum komið við sögu, sem þá eru skrásett af eldisfyrirtækinu. Við mátum fjölda stroklaxa úr kvíum með því að bera saman rýrnun í sjókvíum með og án strokviðburða. Dagleg tínsla og mat fyrirtækjanna á náttúrulegum dauða virðast vera mun óáreiðanlegri og voru ekki notuð í reiknilíkaninu.

1.2.3 Gögn varðandi lífsferil

Það er mjög mikilvægt fyrir forspárgildi þessa reiknilíkans að skilja hegðun og dreifingu laxa eftir stök. Hegðun og farleiðir gönguseiða eru ólíkar þeim sem gilda fyrir stærri laxa. Þess vegna skilgreinum við stroklaxa sem snemmstrokna, ef þeir sleppa út áður en þeir ná 1,5 kg. þyngd og sem síðstrokna ef þeir sleppa út við meiri þyngd. Náttúruleg gönguseiði ganga til sjávar yfir frekar stuttan tíma og ganga á ætisslóðir þar sem þeir dvelja uns þeir ganga til baka í ána eftir 1-3 ár í sjó. Á hinn bóginn ganga eldisseiði, sem

strjúka úr kvíum, ekki niður úr ám og hafa því annað hegðunarmunstur þegar þau verða kynþroska.

Náttúruleg laxaseiði læra sennilega að þekkja ána sína, þegar þau fara í göngubúning, og eiga auðvelt með að rata aftur í ána. Ekki er ljóst hvernig þessu er varið varðandi gönguseiði úr eldi. Reiknilíkanið gerir ráð fyrir að snemmstroknir laxar gangi til baka úr sjó á þann eldisstað þar sem þau sluppu út. Síðan muni þeir ganga í nærliggjandi á þegar kynþroski brestur á. Einnig er sú kenning möguleg að lyktin af systkinahópnum í eldi í kvíunum dragi laxinn að og seinki hrygningargöngu hans í á, þar sem hann skynji kvíumhverfið sem ármynni. Þessa kenningu á þó eftir að sannreyna.

Hér á landi eru til langtíma gögn varðandi endurheimtur laxaseiða í hafbeitarár svo sem Rangárnar og styttri tíma gögn fyrir endurheimtu náttúrulegra seiða svo sem í Elliðaárnar. Talið er að gönguseiði úr sjókvíum hafi að meðaltali 37% af þeirri endurheimtu sem vænta má fyrir náttúruleg seiði (Hindar et al.,2006). Miðað við þessar tölur er gert ráð fyrir að endurheimta náttúrulegra gönguseiða sé um 5% og endurheimta eldisseiða sé 37% af þeirri tölu (1,85 %) . Einnig er gert ráð fyrir því að snemmstroknir laxar muni truflast á göngu sinni í ána vegna lyktar af löxum í kvínni sem þeir sluppu úr. Í fyrstu útgáfu af reiknilíkaninu var gert ráð fyrir því að þessi hegðun mundi koma í veg fyrir að laxarnir leituðu í ár og dragi þannig úr endurheimtum. Miðað við þær forsendur spáði fyrsta líkanið því að endurheimta fyrir snemmstroknna laxa yrði 1,85% ($5\% \times 0,37=1,85$). Þetta gildi var sameiginlegt fyrir allar endurheimtur snemmstrokinna laxa eftir 1-3 ár í sjó.

1.3 Reiknilíkan og breytistærðir

Reiknilíkanið áætlar fjölda strokulaxa út frá umfangi eldis í hverjum firði og spáir fyrir um endurkomu þeirra úr hafi og dreifingu endurkomulaxa í vatnsföll. Líkanið inniheldur ýmsar jöfnur og byggir á þeim forsendum sem taldar voru upp hér á undan. Í þessum kafla verður gerð grein fyrir hinum ýmsu breytistærðum sem líkanið byggir á.

1.3.1 Strokstuðullinn

Það eru engin gögn til varðandi fjölda strokulaxa á hvert tonn af framleiddum laxi í íslensku laxeldi. Þar sem sömu kröfur eru gerðar til eldisbúnaðar og vinnuferla hér á landi eins og í Noregi (NS 9415:2019), er gert ráð fyrir því að hlutfallslegt strok sé svipað í báðum löndum. Norsk yfirvöld hafa í mörg ár gefið út árlegt yfirlit yfir fjölda tilkynnta stroklaxa og gefið út sem fjölda stroklaxa á hvert framleitt tonn (Fiskeridirektoratet, 2019a,b). Við tókum inn þessar upplýsingar fyrir fyrstu útgáfu af reiknilíkaninu og notuðum meðalfjölda strokulaxa fyrir 9 ár, þ.e. frá 2008-2016. Þetta byggir á því að

norski staðallinn NS 9415:2009 gekk í gildi 2009 en var í notkun allvíða nokkuð fyrr og því varð vart við verulega lækkun á stroktölum strax árið 2008, sem tengdist notkun á nýjum búnaði í samræmi við fyrirhugaðan staðal.

Eins og áður var minnst á hefur verið metið að raunverulegt laxastrok úr kvíum hafi verið tvisvar til fjórum sinnum hærra heldur en það sem tilkynnt var um (Skilbrei et al.,2015). Erfðarannsóknir gefa til kynna að óreglulegt smástrok (lekar) séu helsta ástæðan fyrir þessu vanmati í opinberum tölum. Á síðari árum virðist hafa orðið veruleg minnkun á þessum leka, sennilega vegna strangari reglna og betri eldisbúnaðar. Í fyrstu útgáfu af reiknilíkaninu voru opinberar norskar tölur um strok margfaldaðar með 4 sem gaf meðaltals strokstuðul(S) upp á 0,8 strokulaxa á hvert framleitt tonn á tímabilinu 2008-2016 (Tafla 1-1.)

Hlutfallið á milli snemmstroku og síðstrokulaxa er í líkaninu metið sem 50:50. Þetta hlutfall hefur verið notað í verkerfðafræðilegu líkani hjá NINA (Hindar et al.,2006). Þetta byggir á hlutfalli astaxanthin litarefna í holdi strokulaxa, sem gengu í tvær norskar veiðiár haustið 1991. Innihald astaxanthin féll í tvo aðskilda hópa. Fimmtíu og eitt prósent af strokulöxunum höfðu hlutfallsgildi sem samsvaraði því afbrigði astaxanthins, sem finnst í löxum sem þrífast á framleiddu laxafóðri, en hinn hlutinn innihélt það afbrigði astaxanthins sem finnst í náttúrulegum löxum (Lura,1994). Magnið af litarefninu féll því í tvo hópa , annars vegar með svipað magn eins og í eldisfiski en hinsvegar með svipað magn eins og finnst í náttúrulegum laxi. Þetta ásamt öðrum þáttum benti til þess að hlutfallið milli snemm- og seinstrokinna laxa hefði verið um 50:50 meðan á rannsókninni stóð. Í fyrstu útgáfu af okkar líkani notuðum við 50:50 hlutfall, þ.e. 0,4 fiska úr snemmstroki og 0,4 fiska úr síðstroki á hvert framleitt tonn í íslensku fiskeldi á ári.

Ef þessu er beitt á árlega framleiðslu upp á 13.500 tonn úr nokkrum sjókvíaeldisstöðum árið 2018 og notum strokstuðul (S) upp á 0,8) var því spáð að 10.800 laxar mundu strjúka úr sjókvíum árið 2018, helmingurinn sem snemmstrokslaxar (<1,5 kg) og helmingurinn sem síðstrokslaxar

Tafla 1.1. Árleg tala fjölda skráðra strokulaxa á hvert tonn framleitt, samkvæmt Fiskedirektoriatet í Noregi. Uppgefnar tölur eru margfaldaðar með 4 í síðasta dálki. Meðaltal og staðalfrávik eru birt fyrir neðan töfluna.

Ár	Strok/tonn	x4
2008	0.41	1.65
2009	0.13	0.53
2010	0.24	0.97
2011	0.28	1.11
2012	0.33	1.32
2013	0.03	0.13
2014	0.16	0.65
2015	0.23	0.92
2016	0.12	0.48
$\bar{\mu}$	0.22	0.86
σ	0.11	0.44

1.3.2 Hlutfall strokulaxa í laxveiðiám.

Hlutfall eldislaxa í laxagöngu: Lengi hefur verið vitað að laxar læra að þekkja ána sína gegnum lyktarskyn (Lema og Nevitt, 2004). Í þessu reiknilíkani er gert ráð fyrir að laxar muni leita aftur í ána sína í hlutfalli við laxamagni í viðkomandi á þ.e. í samræmi við laxalykt í ánni, þó ekki endilega lykt af þeirra eigin fjölskyldu.

1.3.3 Lögunarstuðull dreifingarfalls (β)

Breytan β er lögunarstuðull og ræður samhverfni fallsins. Samhverfnin er notuð til að meta hlutfall fiska sem ganga meðstraums eða á móti strandstraumnum umhverfis Ísland. Stuðullinn β er mismunandi fyrir síð- og snemmbúið strok sem skýrist með mismunandi hegðunarmynstri. Eldisstaður er settur efst á dreifingarferli og jákvæðar tölur lýsa dreifingu meðstraums og neikvæðar mótstraums.

Fyrstu áætlanir um β fyrir snemmstroku laxa voru settar við 2,5, sem gefur samhverfa dreifingu út frá strokstað. Upprunalegt mat á β fyrir síðstroku laxa voru sett þannig að 65% af laxinum mundi fara í ár eftir göngu sólarinnis út frá strokstað (eldiskví) en 35% ganga gegn sólu. Þessu var náð með því að setja $\beta=2$. Gögn frá Noregi og Kanada voru notuð sem fyrsta mat fyrir líkanið (McGinnity et al., 1997; Fleming et al., 2000), en niðurstöður fyrsta vöktunarárs hafa nú gefið upplýsingar til að endurmeta gildin. Landfræðilegir þættir gætu haft áhrif á dreifingu laxa út frá eldisstað og því hugsanlegt að mismunandi stuðlar giltu fyrir mismunandi staði. Í þessari fyrstu útgáfu af reiknilíkaninu er hins vegar gert ráð fyrir sömu dreifingu út frá öllum eldisstöðum.

1.3.4 Vegalengdarstuðull dreifingarfalls (η)

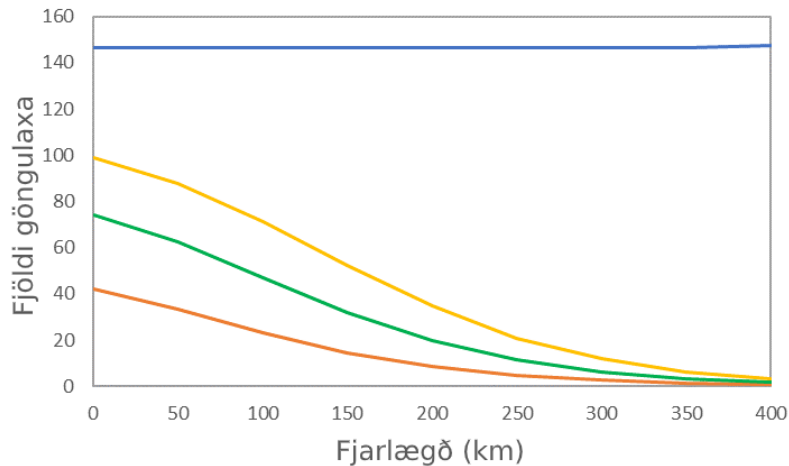
Breytan η er vegalengdarstuðull, sem ákvarðar hve langt laxar dreifa sér frá strokstað. Í þessari útgáfu af reiknilíkaninu er gert ráð fyrir því að strokulaxar muni ekki dreifa sér lengra en 200 km frá strokstað. Hins vegar er ljóst að ratvísi gönguseiða úr norskum eldisstofni gæti verið mjög ólík því sem gerist hjá náttúrulegum íslenskum laxastofnum, sem gæti haft veruleg áhrif á afdrif þeirra í hafi og nákvæmni í göngumynstri og endurheimtu. Til að meta betur þennan þátt er nauðsynlegt að framkvæma sleppingar á merktum eldislöxum.

1.3.5 Heimsæknistuðull (H)

Við höfum gert ráð fyrir að göngulax á leið heim upplifi umhverfi sjókvíanna sem sína heimaá vegna mikillar lyktar af sínum skyldmennum. Þetta veldur tregðu hjá þeim að yfirgefa svæðið. Til að taka tillit til þessa skilgreinir líkanið eldiskví sem eina af laxveiðiánum og spáir því að hluti af strokulöxunum muni ganga til baka á kvíassvæðið og muni því ekki ganga í laxveiðiár.

Sem fyrsta mat höfum við gert ráð fyrir því að aðdráttarafli kvíassvæðisins jafnist á við laxveiðiá með heildarstofn sem í fjölda sé 25% af þeim lífmassa sem er í kvíunum. Þannig mundi eldissvæði með 1000 tonna lífmassa samsvara laxveiðiá með 250 laxa stofnstærð og draga úr villuráfi laxa í samræmi við það.

Áhrif þessa stuðuls standa ekki í beinu sambandi við áhrif af umfangi eldis eða fjarlægð frá eldisstað eins og kemur fram í mynd 1.3. Gildi þessa stuðuls verða ljós ef við skoðum eldissvæði langt frá laxveiðiám og litlum líkum á flakki strokulaxa yfir langar vegalengdir. Ef það eru á hinn bóginn engar ár nærri viðkomandi eldisstað væri óraunhæft að gera ráð fyrir villuráfi laxa í slíkar ár. Heimsæknistuðullin var settur inn til að leiðrétta slíkar skekkjur. Með notkun þessa stuðuls er að mörgu leyti gert ráð fyrir að hluti þeirra laxa, sem strjúka seint úr kvíum, muni ekki yfirgefa kvíassvæðið. Þennan stuðul þarf síðan að aðlaga í samræmi við nýjar upplýsingar úr rannsóknum.



Mynd 1-3 Áhrif heimsæknistuðulsins (H) á spáðan fjölda strokufiska sem ganga í ár eftir veturdvöl sem fall af fjarlægð. Í þessu dæmi er eldið 10.000 tonn og stærð stofns í á 1.000 fiskar. Blá lína sýnir fallið þegar heimsæknistuðull er 0, gul lína 0.05, lína 0.1 og gulbrún 0.25

1.3.6 Endurheimta úr snemmstroki (L_s)

Í fyrstu útgáfu af reiknilíkaninu voru endurheimtur snemmstrokinna laxa byggðar á endurheimtu náttúrulegra gönguseiða. Þar var einnig nýtt hlutfall milli endurheimtu á eldisseiðum og náttúrulegum seiðum samkvæmt sleppitilraunum í Burrishoole ánni á Írlandi (McGinnity et al. 1997,2003) og gögnum frá lmsa ánni í Noregi (Fleming et al.2000). Í þeim rannsóknum var mæld hlutfallsleg afkoma eldisseiða og náttúrulegra seiða allt frá hrygningu þar til þau gengu aftur í ána.

Að meðaltali var hlutfallsleg afkoma eldisseiða um 37% af afkomu náttúrulegra seiða gegnum lífsferilinn. Á Íslandi hefur komið í ljós að endurheimta náttúrulegra gönguseiða er breytileg eftir landshlutum. Endurheimta er að jafnaði lægri á norðanverðu landinu heldur en á því sunnanverðu. Þetta hefur komið í ljós með því að bera saman gögn frá Elliðaám á Suðvesturlandi og Vesturdalsá á Norðausturlandi.

Meðalendurheimta í Elliðaár á árunum 1988-2016 var 8,9 % (1SW) en til samanburðar var endurheimta smálaxa (1SW) í Vesturdalsá á árunum 1996-2016 2,2% (ICES 2019). Í reiknilíkaninu er notuð talan 5% sem meðaltals endurheimta á eins árs laxi fyrir þessar tvær ár. Miðað við þær rannsóknir, sem hér hefur verið minnst á (Fleming et al.2000, ICES 2019), gerði reiknilíkanið ráð fyrir endurheimtum á snemmstroknunum löxum sem samsvaraði 37% af meðalheimtum náttúrulegra laxa þ.e. $5\% \times 0,37=1,85$.

Heimsæknistuðullinn lækka villuráf laxanna í hlutfalli við það magn sem framleitt er á sjóeldissvæðinu, þ.e. því meiri framleiðsla því mun hlutfallslega minna af laxi mun

villast í aðrar ár. Í því endurmati sem fram fer á líkaninu var endurheimtan endurmetin út frá heimtu á stórum og stálpuðum gönguseiðum (*post-smolts*) samkvæmt gögnum frá Skilbrei et al.(2015). Endurheimtuhlutfallið (L_S) var þá lækkað í 1,3%.(sjá kafla 2.5).

Jafna 1 reiknar út Endurkomufjölda úr snemmbúnu stroki (E_S), þ.e. heildarfjölda snemmbúinna strokufiska sem áætlað er að skili sér úr hafi:

$$E_S = PS_S L_S \quad (1)$$

Í jöfnu 1 eru breytur (P), sem er heildarframleiðsla ársins, (S_S) fjöldi snemmbúinna strokufiska á hvert tonn framleitt og (L_G) endurheimtuhlutfall eftir 1-3 vetur í sjó. Líkanið gerir hins vegar ekki ráð fyrir því að allir endurkomufiskar úr snemmbúnu stroki skili sér upp í vatnsföll.

Eins og fyrr segir má gera 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 og veldur því að sumir endurkomufiskar ganga ekki í vatnsföll. Líkanið notar svokallaðan Heimsæknistuðul (H) og eldismagn á kvíastæði (P_{kvi}) til þess að áætla þennan þátt. Heimsæknistuðull hefur því eininguna fjöldi á tonn. Sjá frekari skýringar í kafla 1.3.8

1.3.7 Endurheimta úr síðstroki (L_G)

Jafna 2 reiknar út Endurkomufjölda úr síðbúnu stroki (E_G), þ.e. heildarfjölda síðbúinna strokufiska sem áætlað er að skili sér í vatnsföll.

$$E_G = PS_G L_G \quad (2)$$

Í jöfnu 2 eru breytur (P), sem er heildarframleiðsla ársins, (S_G) fjöldi síðbúinna strokufiska á hvert tonn framleitt og (L_G) endurkomuhlutfall úr sjó.

1.3.8 Dreifing strokulaxa.

Weibull dreifingarfall er notað sem líkindafall fyrir far strokulaxa með strokstað sem hámark dreifingarfalls. Líkanið reiknar út tvö dreifingarfall fyrir strokulaxa frá hverjum eldisstað (firði), annars vegar fyrir snemmbúna strokufiska (sjógönguseiði-stórseiði) og aðra fyrir síðbúin stök. Þessar tvær dreifingar eru síðan sameinaðar til að mynda heildardreifingu frá hverjum stað. Weibull fallið hefur tvær breytur, β og η . Breytan η er vegalengdarstuðull, það er ákvarðar hve langt fiskarnir dreifast frá strokstað og hins vegar β sem er

lögunarstuðull og ræður samhverfni fallsins. Samhverfnin er notuð til að meta hlutfall fiska sem ganga meðstraums eða á móti strandstráumnum umhverfis Ísland. Stuðullinn β er mismunandi fyrir síð- og snemmbúið stök sem skýrist með mismunandi hegðunarmynstri. Eldisstaður er settur efst á dreifingarferli og jákvæðar tölur lýsa dreifingu meðstraums og neikvæðar mótstraums. Dreifingu strokufiska er því lýst með eftirfarandi Weibull jöfnu:

$$W(V) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{v_a}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{v_a}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

Jafnan er normuð og gefur þá:

$$W = \frac{\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{V_a}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{V_a}{\eta}\right)^\beta}}{\sum_a \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{V_a}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{V_a}{\eta}\right)^\beta}} \quad (4)$$

Jafna (5) reiknar fjölda fiska úr aldurshópi X sem ganga í vatnsfall a , með því að sameina jöfnur (1), (2) og (4).

$$F_{aX} = E_X \frac{W_X A_a}{\sum_a W_X A_a} \quad (5)$$

Þar sem A_a er meðaltals stofnstærð vatnsfalls a og F_{aX} er fjöldi eldislaxa af aldurshópi X sem gengur í vatnsfall a .

Fyrir snemmbúið stök er sem fyrr segir, reiknað með að sjálfur eldisstaðurinn valdi tregðu til að leita lengra og afvegaleiði hluta fiska til frá því að ganga í ár. Það má túlka sem sjálft kvíastæðið virki á fiskinn sem heimaá enda eru árnar í nágrenninu honum ókunnar. Í tilfelli snemmbúins stroks er því þessi tilbúna heimaá fyrsta áin, það er vatnsfall $a = 1$ í jöfnu (5). Stofnstærðin eldisstaðurinn sjálfur og áhrif hans reiknuð sem :

$$A_{kví} = P_{kví} H \quad (6)$$

Þar sem $A_{kví}$ „stofnstærð „heimaáar“ sem er margfeldi eldismagns á kvíarstað, $P_{kví}$, og heimsæknistuðuls (H). Því meira magn sem er alið ganga því hlutfallsleg færri fiskar í veiðiár og hækkun á stuðlinum H hefur sömu áhrif.

Í heild eru 12 stuðlar notaðar í dreifingarfallinu , sem eru listaðir í Töflu 1-2

Tafla 1.2 Stuðlar reiknilíkansins.

Stuðlar	Lýsing	Áætlað gildi
X_G	Gildi stuðuls X fyrir síðbúið strok	-
X_S	Gildi stuðuls X fyrir snemmbúið strok	-
P	Framleiðsla á eldisstað í tonnum	-
E	Fjöldi strokufiska sem ganga í ár	-
S	Strok, fjöldi fiska á hvert tonn framleitt	0.8 strokufiska á tonn
L	Hlutfall strokufiska sem ganga í ár	1.1% (L_G) 1.3% (L_S)
V_a	Fjarlægð milli eldisstaðar og áar a	-
H	Heimsæknistuðull	0.25
W	Normað Weibull fall sem áætlar dreifingu með gefnu β og η	-
A_a	Stofnstærð áar a	-
F_a	Áætlaður fjöldi strokulaxa í á a	-

Gert er ráð fyrir því að snemmbúnir strokufiskar hafi betri rötunarhæfni en síðbúnir strokufiskar. Því er reiknað með því að snemmbúið strok sé samhverft, þ.e. að það hafi bjöllulaga dreifingu og strokufiskar snúi aftur mjög nálægt strokstað (<200 km). Dreifingarferill síðbúinna strokufiska er skekktur í átt straumstefnu og því fara fleiri fiskar meðstraums en mótstraums og einnig er dreifingarsviðið (η) víðara. Lögunarstuðullinn (β) er einingalaus en η hefur gildi í kílómetrum. Ástæðan fyrir mismunandi lögum dreifingar er sú að sjógönguseiði sem koma til baka eftir vetrardvöl á fæðuslóð hegða sér með öðrum hætti en síðbúnir strokulaxar. Hegðun eldisseiða er væntanlega einnig nokkuð ólík hegðun villtra seiða. Villtir fiskar yfirgefa heimaá á tiltölulega stuttu tímabili, venjulega á nokkrum dögum, og áhrif lykta heimaár virðast eiga sér stað við smoltun í ánni (Lema og Nevitt, 2004). Þessa vegvísun í heimaá vantar eldisfiskinn.

Aðrir þættir svo sem samrötun (e. collective navigation) og skynjun/innprentun á styrk og stefnu segulsviðs og eru einnig hluti af rötunarhæfni villtra fiska (Putman et al, 2013; Berdahl et al., 2016). Sjógönguseiðin ganga á fæðuslóða og að endingu til heimaár þegar þau verða kynþroska. Aftur á móti virðist sem snemmbúnir strokulaxar snúi aftur á strokstað, þ.e.a.s. fari að kvíastæði og í kjölfarið á laxveiðiá tiltölulega nálægt kvíum (Putman o.fl., 2013; Berdahl o.fl., 2016).

Nær fullvaxta fiskar sem strjúka í síðbúnu stroki hegða sér með öðrum hætti. Ef þeir lifa til að ná kynþroska eftir strok, munu þeir reyna að ganga í ár til að hrygna. Þeir hafa tilhneigingu til að fylgja strandstraumum (Hansen, 2006) í leit sinni að heimaá og geta farið langar vegalengdir, allt að 1000 km (Gudjonsson, 1991; Piccolo and Orlikowska, 2012). Flestir þeirra ganga þó í nálægar ár og fjöldi síðbúinna strokufiska í ám er í hlutfalli við magn eldis á svæðinu (Fiske et al., 2006). Til að mynda í Skotlandi, ganga mun færri strokulaxar upp í ár á austurströndinni, þar sem eldi er ekki til staðar, en á vesturströndinni þar sem eldi er stundað (Green et al., 2012, Youngson et al., 1997).

Fjarlægð eldissvæða frá hverri á er mæld og sett inn í Weibull dreifingarfallið með eldissvæðið miðlægt. Líkurnar á því að fiskur gangi í ákveðna á í tiltekinni fjarlægð eru metnar sem hlutfall af stofnstærð í viðkomandi á. Þetta þýðir að ef tvær ár A og B eru hlið við hlið og áin A hefur tvöfalt stærri stofn en áin B, er gert ráð fyrir að tvöfalt líklegra sé að fiskur fari í á A en í á B.

1.4 Næmnigreining

Við höfum framkvæmt næmnigreiningu til að prófa hversu viðkvæmt líkanið er fyrir breytingum á stuðlum. Skipta má stuðlunum í þrjá hópa. Fyrst eru það stuðlarnir β og η sem stjórna lögun Weibull dreifingarferilsins. Þeir hafa ekki áhrif á það hversu margir laxar ganga í ár, aðeins á það hvernig þeim er dreift. Fyrir lág gildi η gengur allur fiskurinn í ár í námunda við eldissvæði en með vaxandi gildum á η verður dreifingin breiðari. Fyrir lág gildi β fara strokufiskar frekar í ár meðstraums frá strokustað en með vaxandi gildum á β verður dreifingin samhverfari, með strokustað í miðju.

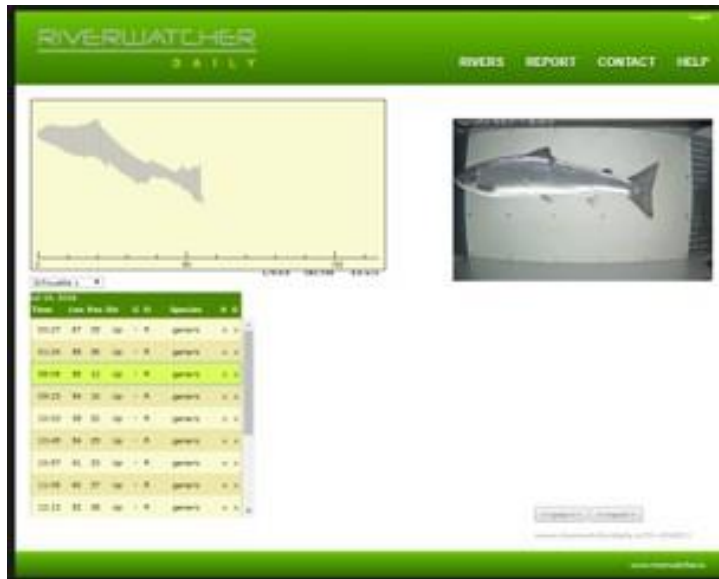
Næsti hópur stuðla (P , S og L_x) hefur línuleg áhrif. Það þýðir að 10% aukning á þessum breytum mun gefa samsvarandi 10% aukningu á E_x .

Heimsæknistuðullinn hefur hins vegar ekki línuleg áhrif og er háður bæði fjarlægð til áar og umfangi eldis á hverjum stað (sjá Mynd 1.3).

1.5 Vöktun laxveiðiáa

1.5.1 Vöktun með Árvaka (*Riverwatcher*)

Lykilár hér á landi eru vaktaðar með svo kölluðu Árvaka (*Riverwatcher*) myndgreiningarkerfi (Vaki ohf). Landinu hefur verið skipt upp í 5 svæði og nokkrar lykilár eru vaktaðar með Árvakakerfi C eða RW-C, sem inniheldur IP neðansjár stereo stafræna myndavél með innrauðri sjónskynjun og með innrauð og hvít LED ljós niðri í vatninu, mæligöng úr ryðfríu stáli og öflugan tölvubúnað sem telur og vaktar göngulaxinn. Venjuleg mæligöng eru 160cm×105cm×63cm (L×B×H) og í þeim er komið fyrir undir vatnsborði stafrænni myndavél og LED ljósum. Venjulegt gönguop er 40 cm.



Mynd 1-4 Skjáskot úr Árvakanum sem er aðgengilegur af vef Haffranssóknastofnunar (<https://www.hafogvatn.is/is/rannsoknir/voktun-veidiala/ar-og-eldi>).

Mæligöngin tryggja að myndir af göngufiski eru teknar við staðlaða og stöðuga birtu og séð til þess að fiskurinn sé í hagstæðustu fjarlægð frá myndavél. Hægt er að skoða beina útsendingu frá myndavélinni á RW-C tölvuskjá (Mynd 1-4). Tæki sem tengt er við netbúnað getur einnig sýnt beint og endurtekið með upptöku það sem síðast kom fram í myndavélinni. Kerfið hefur innbyggðan hugbúnað sem greinir fisktegund, stærð og í hvaða átt hann gengur. Einnig má sjá ástand fisksins t.d. hvort hann er með laxalús, þótt slíkt kerfi sé enn í þróun. Einnig er hægt að sjá á myndunum hvort fiskurinn kemur úr eldiskvíum. Þetta tekur aðallega til laxa sem strjúka seint en meiri erfiðleikar eru við að greina snemmstrokulaxa. Þetta vöktunarkerfi verður sett upp í 12 laxveiðiám, sex ám merktum með bláum lit þar sem kerfið hefur þegar verið sett upp og sex ám merktum með bláum lit þar sem áætlað er að setja kerfið upp innan 3ja ára (Mynd 1.5).



Mynd 1-5 Ár í Árvaka vöktunar áætluninni. Ár sem nú þegar hafa uppsettann Árvaka eru merktar bláar og þær sem munu fá í framtíðinni eru merktar rauðar.

1.5.2 Erfðafræðileg vöktun

Í íslenskri reglugerð um fiskeldi(401/2012) er hrognaframleiðendum gert skylt að geyma vefsýni úr klaklögum til greiningar á DNA fyrir alla foreldra viðkomandi hrogn og að skrá afkomendur hvers foreldrars svo hægt sé að rekja að fullu flutninga frá seiðastöðvum í sjókvíastöðvar. Því er mögulegt á hverjum tíma að rekja uppruna endurheimtra stroklaxa frá sjókvíastöðvum eða seiðaeldisstöðvum. Hægt er að nýta hvern klakhæng til að frjóvga um 100.000 hrogn og hver hrygna gefur af sér um 10.000 hrogn. Það reyndist fullnægjandi að erfðamerkja alla feður í 2015 hrygningarárganginum til að geta rakið alla laxa sem struku. Laxeldisfyrirtækjum er skylt að tilkynna Matvælastofnun um alla viðburði svo sem strok úr kvíum. Eftirfarandi þarf að vera í skýrslunni:

1. Tímasetning og nákvæm staðsetning slysasleppingar
2. Fiskitegund, meðalstærð og áætlaður fjöldi sem strauk
3. Upplýsingar um notkun lyfja og tími fyri útskilnað lyfs
4. Uppruni laxins þ.e. stofn og einnig upprunastaður(seiðaeldisstöð)
5. Hvenær laxinn var tekinn inn í eldisstöð eða settur út í sjókvíar
6. Orsakir eða líklegar orsakir slysasleppingar
7. Skýrsla um aðgerðir til að ná aftur eldisfiski sem hefur strokið
8. Greinargerð um aðgerðir sem framkvæmdar verða til að koma í veg fyrir meira strok.

DNA sýnataka úr lögum sem líklega eru úr stroki: Safnað er DNA sýnum ásamt öðrum nauðsynlegum upplýsingum úr grunaðum stroklögum í laxveiðiám. Gerðar hafa verið forskriftir varðandi sýnatöku og útbúnaður sendur á helstu laxveiðiár sem inniheldur QR strikamerk til ílát. Upplýsingar sem gefa þarf eru nafn á viðkomandi á, dagsetning veiði og staðsetning í á, stærð laxins og mynd af honum, mynd frá veiðistað og mynd af QR strikamerk til íláti. Einnig er farið fram á hreisturprufu eða jafnvel allan fiskinn ef slíkt er mögulegt. DNA sýnin eru tekin gegnum strok á tálknum. Taka þessa sýnis tekur aðeins nokkrar sekúndur og hefur ekki áhrif á afkomu laxins í ánni.

DNA sýnataka úr rafveiðum á laxaseiðum: Á hverju ári eru veidd um það bil 120 laxaseiði með rafveiðum úr þeim ám sem eru þáttakendur í þessu verkefni. DNA sýni eru þá tekin úr seiðunum til að fá erfðaupplýsingar. Árnar sem taka þátt í verkefninu má sjá á mynd 1.6.



Mynd 1-6 Ár í rafveiðivöktunaráætlun.

DNA rannsóknir: Erfðasýni eru rannsökuð með fjölrása stuttraðagreiningu (e. multiplex microsatellite loci assays). Notuð voru 15 stuttraðærferðamörk sem þróuð voru fyrir Atlandshafslax og lýst af Olafsson et al. (2010). Einnig er verið er að þróa SNP erfðamarkasett og er einnig í skoðun að nota svokallaða RAD heilraðgreiningu.

2. Niðurstaða vöktunar og endurmat stuðla

Við höfum lagt til að nota einfalt líkan til að spá fyrir um innblöndun stroklaxa úr sjókvíum inn í ár með náttúrulegum laxastofnum. Bestu fánlegu gögn eru notuð til að spá fyrir um gönguleiðir, líklega afkomu (þ.e. survival) og heimsækni strokulaxa. Þetta líkan er ætlað til notkunar við stjórnun og við almenna yfirstjórn á sjókvíaeldi á laxi. Líkanið gefur innsæi í vöktunarmöguleika varðandi villuráf eldislaxa í ár og sýnir fram á nauðsyn reglubundinnar vöktunar. Þetta líkan getur mögulega útskýrt hvernig breytingar á ýmsum þáttum í sjókvíaeldi, sem snerta vöktunarkerfi, geta haft áhrif á spár um villuráf laxa í ár. Þetta áhættumatslíkan varðandi erfðablöndun var staðfest sem nýr viðauki í Lögum um fiskeldi þann 1. júlí 2019.

2.1 Tilkyntir strokatburðir

Í heildina tilkyntu íslenskar sjókvíastöðvar um 5 slyasleppingar á árunum 2018-2019, sem allar komu frá fyrirtækinu Arnarlax. Þrjú slík tilfelli voru tilkynt 2018, þar af tvö þann 11. febrúar 2018, annað í Hringsdal í Arnarfirði (meðalþyngd strokulaxa 7,2 kg) og hitt við Laugardal í Tálknafirði (meðalþyngd 3,5 kg). Þriðja tilfellið var einnig hjá sama aðila í Tálknafirði þann 6. júlí (meðalþyngd 3,5 kg.). Tvennar slyasleppingar voru tilkyntar á árinu 2019 en í báðum tilfellum voru laxarnir smáir (meðalþyngd um 250gr.

og 1,3 kg.) og er ekki búist við endurkomu þeirra fyrr en 2010 (Tafla 2.1). Upprunaleg áætlun Arnarlax gerði ráð fyrir að 300 laxar hefðu strokið frá Laugardal í júlí en ekki var gerð grein fyrir magni strokulaxa varðandi hin skiptin (tafla 2.1).

Tafla 2.1. Yfirlit yfir tilkynnta atburði frá fiskeldisfyrirtækjum árin 2018 og 2019.

Fyrirtæki	Fjörður	Staðsetning	Dags. atburðar	Dags. tilkynnt	Áætlaður fjöldi	Meðal stærð
Arnarlax	Arnarfjörður	Hringsdalur	11.2.2018	12.2.2018	0	7.2 kg
Arnarlax	Tálknafjörður	Laugardalur	11.2.2018	12.2.2018	0	3.5 kg
Arnarlax	Tálknafjörður	Laugardalur	6.7.2018	7.7.2018	300	3.5 kg
Arnarlax	Arnarfjörður	Hringsdalur	21.1.2019	22.1.2019	0	1.3 kg
Arnarlax	Tálknafjörður	Laugardalur	16.8.2019	17.8.2019	0	280 g

2.2 Tilkynnt veiði strokulaxa í ám

Stangaveiðimenn þekkja útlitseinkenni eldislaxa, sem veiðast í ám, og eru tilbúnir að tilkynna um slíkan viðburð. Myndir af löxum, sem líklega eru eldisfiskar, eru oft sýndar á samfélagsmiðlum til fróðleiks fyrir aðra. Við gerum ráð fyrir að yfir 90% af löxum með eldiseinkenni úr stangaveiði komi fram í skráningu. Þetta mun ná yfir alla laxa sem sleppa seint úr kvíum. Ekki hefur verið staðfest tilkynning um snemmstrokna laxa svo vitað sé.

Í heildina voru tekin 69 DNA sýni úr löxum sem grunur lá á að væru úr kvíaeldi á árunum 2018 og 2019. Rannsókn með „Structure“ hugbúnaði (Pritchard et al. 2000) sem nýttu 14 af þeim SalPrint15 stuttraða erfðamörkum (Olafsson et al. 2010) staðfestu að 18 af þessum löxum voru upprunnir úr sjókvíum.

Erfðafræði þessara laxa var borin saman við erfðaskrásetningu feðra í klakárgöngum frá 2014, 2015 og 2016, sem notaðir voru í seiðaeldisstöðvum. Í ljós kom að 15 af þessum 18 eldislöxum mátti rekja til eins föðurs (tafla 2.2).

Tafla 2.2: Uppruni strokufiska samkvæmt samanburði á erfðamörkum allra hænga notaðra 2014-2016

Fiskur Nr.	Veiðia (staðsetning)	Seiðastöð (fyrirtæki)	Eldisstaður (fjörður)	Veiðidags:
F2018001	Selá (Ísafjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Laugardalur(Tálknafjörður)	7/24/2018
F2018002	Staðará (Steingrímsfjörður)	Íspór (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	7/30/2018
F183110	Staðarhólsá/Hvolsá (Breiðafj.)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Laugardalur (Tálknafjörður)	8/18/2018
F181303	Mjólká (Arnarfjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	8/31/2018
F181304	Mjólká (Arnarfjörður)	Óstaðfest	SAGA (Stofnfiskur)	8/31/2018
F183504	Vatnsdalsá (Húnaflói)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Laugardalur (Tálknafjörður)	8/31/2018
F183503	Eyjafjarðará (Eyjafjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	9.6.2018
F183113	Breiðdalsá (Breiðdalur)	Erlendur	Salmobreed	9/15/2018
F2018009	Laugardalsá (Ísafjarðardjúp)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	9/16/2018
F2018010	Fjarðarhornsa (Breiðafjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	9/25/2018
F2018011	Fífustaðadalsá (Arnarfjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	10/15/2018
F2018012	Fífustaðadalsá (Arnarfjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	10/15/2018
F192520	Ytri Rangá (Suðurland)	Ekki SAGA stofn	Stofnfiskur - Erlendur	8/15/2019
F192504	Mjólká (Arnarfjörður)	Íspór (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður) ¹	8/30/2019
F192513	Mjólká (Arnarfjörður)	Íspór (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður) ¹	8/30/2019
F192514	Mjólká (Arnarfjörður)	Íspór (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður) ¹	8/30/2019
F192503	Mjólká (Arnarfjörður)	Bæjarvík (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður) ¹	8/30/2019
F192515	Mjólká (Arnarfjörður)	Bæjarvík (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður) ¹	8/30/2019

¹ Ekki er alveg ljóst hvort um er að ræða Hringsdal eða Laugardal en höfundar telja Hringsdal líklegri (sjá síðar).

Ekki var hægt að rekja 3 af þessum eldislöxum til feðra úr klakárgöngum 2014 -2016 (tafla 2.2). Erfðarannsókn með stuttraða erfðamörkum (Salprint 15 gegnum „Structure“ hugbúnað) sýndi að tveir af þessum löxum tilheyrðu SAGA stofni sem kemur frá kynbótafyrirtækinu Stofnfiski (F181304 og F192520). Hreisturlesning á F181304 sem veiddist í Mjólká sýndi að laxinn hafði verið a.m.k. eitt ár í sjó. Hafa skal í huga að, ef strokulax hefur aðgang að fóðri yfir veturinn, þ.e. dvelur nærri sjókvíunum og étur afgangsfóður er ekki hægt að treysta hreisturlesturinum fullkomlega og fiskurinn gæti því verið eldri. Ekki var samsvörun milli F18304 og feðra sem nýttir voru 2014-2016. Möguleg skýring er að laxinn tilheyri eldri hrygningu t.d. föður sem nýttur var 2013 eða jafnvel fyrr.

Laxinn sem veiddur var í Breiðdalsá (F183113) gæti tilheyrt einum af þessum fjórum eldisstofnum (Stofnfiskur, Aquagen, Salmobreed og Mowi). Erfðarannsókn leiddi í ljós að hann tilheyrði „Salmobreed“ stofninum. Allir eldislaxar á Íslandi koma úr SAGA stofni. Þetta staðfestir að laxinn (F183113), sem veiddist í Breiðdalsá var af erlendum uppruna, mögulega frá Færeyjum þótt ekki sé hægt að útiloka Skotland og Noreg.

Hægt var að rekja lax úr ytri Rangá (F192520) til Stofnfisks með „ONCORE“ rannsókn. Samt var ekki samsvörun til þeirra feðra sem nýttir voru í klakárgöngum 2014-2016 á Íslandi. Laxinn er skyldur feðrum frá 2014 en ekki beinn afkomandi. Hann virðist því ekki vera upprunninn á Íslandi.

2.3 Mat á fjölda strokulaxa

Eins og áður var getið var tilkynnt um þrjú stroktífelli á árinu 2018 (tafla 2.1) og allir eldislaxar sem veiddust í ám 2018-2019 voru úr þessum slysasleppingum. Tvennar slysasleppingar voru tilkynntar af Arnarlaxi 2019, þ.e. í febrúar í Hringsdal við Arnarfjörð (meðalþyngd 1,3 kg) og í ágúst við Laugardal við Tálknafjörð (meðalþyngd 280 grömm). Hingað til hafa engir laxar veiðst í ám úr þessu stroki. Ekki er búist við að svo smáir laxar endurheimtist fyrr en ár er liðið frá slysasleppingu.

Það er ekki einfalt að reikna út þann fjölda sem sleppur út í hverri slysasleppingu. Jafnvel þó stundum sé hægt að veiða strokulaxa í net verður að teljast ólíklegt að það náist að veiða hátt hlutfall með þeim aðferðum, þar sem slíkar ráðstafanir eru oft gerðar löngu eftir að fiskurinn slapp út. Eina nákvæma leiðin til að meta strok úr netbúrum er í gegnum nákvæmt bókhald varðandi útsetningu, náttúrulegan dauða og slátraðan fisk sem síðar kemur úr kví. Í sumum tilfellum verður slíku bókhaldi illa við komið eða ekki framkvæmanlegt og oft er erfitt að fylgjast nákvæmlega með náttúrulegum dauða í kví. Þrátt fyrir þetta var mögulegt að gera allnákvæmt mat fyrir eitt tilfellið.

Allar 3 tilkynntar slysasleppingar á árinu 2018 komu frá Arnarlaxi (tafla 2-1). Hjá Arnarlaxi eru gönguseiðin bólusett með handafli og bólusetningavélin er með teljara svo tala seiða sem fer í eldiskvíar er nákvæm. Slátrun á laxi úr kvíum er einnig nákvæm þar sem flutninglínur hafa góða teljara. Meðan á eldi stendur er dauðum fiski safnað úr sérstakri safnþró og hann talinn en sú talning er ekki nákvæm. Gögn frá aðstöðu Arnarlax við Steinanes þar sem ekkert strok hafði átt sér stað eða tilkynnt voru notuð til að meta breytileika í meðaldauða á milli eldiskvía. Heildardauði í kvíunum var metinn eingöngu út frá slátrun úr kvíum þar sem skrásettur dauði úr kvíum reyndist mjög ónákvæmur fyrir allar kvíar. Þar sem ekki virðist hafði verið neitt strok frá Steinanesi er hægt að nota mismun í útsetningu og slátrun þar til að meta meðaltöl og staðalfrávik í náttúrulegum afföllum milli kvía.

Tafla 2.3. Eldisstæði Arnarlax við Steinanes. Tölur um fjölda útsettra seiða og talningu við slátrun Eingöngu kvíar með nákvæmri talningu eru hafðar með. Meðaltal og staðalfrávik er gefið neðan við töflu.

Kví	Útsett	Slátrað	Rauntap	Tap%
5	172.100	141.137	30.963	18,0%
7	183.192	148.857	34.335	18,7%
8	194.100	168.093	26.007	13,4%
9	183.000	138.500	44.500	24,3%
10	222.432	180.650	41.782	18,8%
11	187.612	150.125	37.487	20,0%
			μ	18,9%
			σ	3,2%

Tafla2-3 sýnir að náttúruleg afföll voru mjög svipuð í öllum sex kvíunum við Steinanes, sem var að meðaltali 18,9% og staðalfrávik upp á 3,2. Þessi afföll við Steinanes voru nýtt sem viðmið fyrir aðstöðuna í Hringsdal, þar sem tvær slysasleppingar höfðu verið tilkynntar úr kvíum nr. 2 og 6 (tafla 2.4).

Tafla 2.4. Eldisstæði Arnarlax við Hringsdal. Tölur um fjölda útsettra seiða og talningu við slátrun. Göt fundust á kvíum númer 2 og 6. Tap úr kví 2 er meira en vænta má (fæitletrað). Meðaltal er tekið úr öðrum kvíum en kví 2.

Kví	Útsett	Slátrað	Rauntap	Tap%
1	170.000	135.547	34.453	20,3%
2	159.000	103.683	55.317	34,8%
3	182.644	132.790	49.854	27,3%
4	167.000	142.179	24.821	14,9%
5	152.000	116.742	35.258	23,2%
6	157.000	125.123	31.877	20,3%
			μ	21,2%
			σ	4,1%

Náttúruleg afföll voru hlutfallslega lík í fimm af sex sjókvíum í Hringsdal (tafla 2.4) og svipuð og sú rýrnun sem varð við Steinanes (tafla 2.3.). Meðalafföll í þessum fimm kvíum voru 21,2 % og staðalfrávik 4,1%. Kví #2 var ekki tekin með í þennan meðaltalsútreikning þar sem hún virtist vera afbrigðileg líklegast vegna mikils laxastroks. Mögulegt stök var tilkynnt fyrir kvíar #2 og #6. Hinsvegar virtist tap á fiski ekki vera meira í # 6 en í öðrum kvíum og því var ályktað að ekki hefði verið stök úr þeirri kví. Þannig var gert ráð fyrir að allt laxastök í Hringsdal hafi farið úr kví #2. Fjöldi stökulaxa var gróflega metinn með því að draga náttúruleg afföll frá heildarafföllum. Náttúruleg afföll í kví #2 var varlega áætluð sem 2-Sigma viðburður (95% líkur) og gert ráð fyrir normaldreifingu á náttúrulegum afföllum fyrir allar kvíar og síðan reiknað út sem

$\mu+2\sigma=21,2+2(4,1)=29,4\%$. Fjöldi stroklaxa var því metinn á eftirfarandi hátt:

Heildarafföll - náttúruleg afföll = magn í stroki , sem verður $34,8-29,4=5,4\%$

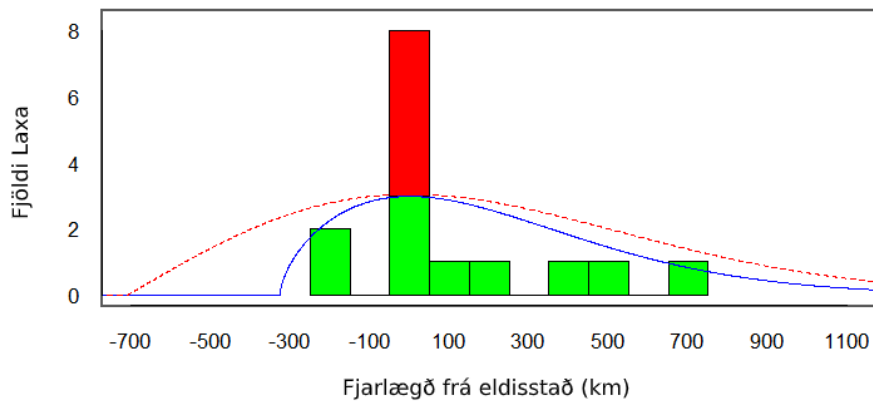
Þessi útreikningur sýnir með 95% öryggismörkum að meira en 8.500 laxar struku úr þessari kví ($159.000 \times 5,4\% = 8600$ laxar).

Ekki var mögulegt að framkvæma sambærilega rannsókn fyrir aðstöðuna í Laugardal þar sem hinar tvær slysasleppingarnar höfðu orðið, þar sem lax hafði þar verið fluttur milli kvía og óvissa var um afföll. Með því að gera ráð fyrir svipaðri endurheimtu laxa úr báðum slysasleppingum er hægt að meta laxastrok frá Laugardal óbeint miðað við endurheimtan fjölda í ám frá hvorri aðstöðu. Þar sem rekja mátti þrjá stroklaxa til Laugardals samanborið við 12 laxa frá Hringsdal var gert ráð fyrir að 2150 ($8.600/4$) laxar hefðu sloppið út í Laugardal. Heildarfjöldi strokulaxa var því metinn upp á ca. 11.000 stroklaxa en af þeim veiddust 15 í ám. Sé gert ráð fyrir 50% veiðihlutfalli ætti heildartala að vera 30 síðstrokslaxar og endurheimtan í ár því 0,27% ($30/11.000$).

Tilkynnt framleiðsla í laxeldskvíum á þessu svæði á árinu 2018 var um það bil 13.500 tonn. Sé haft til hliðsjónar að 11.000 laxar hafi strokið á svæðinu eins og hér var greint frá verður strokstuðullinn(S) 0,81 stroklax á hvert framleitt tonn af laxi (tafla 2.3).

2.4 Dreifing strokulaxa

Allt laxastrok á árinu 2018 var síðbúið. Til að spá fyrir um dreifingu síðstrokinna laxa var notaður líkindareikningur í samræmi við Weibull normaldreifingu þar sem helstu breytur voru $\beta=2,0$ og $\eta=1000$. Þetta líkan sýnir normaldreifingu sem hallar sólarinnis til hægri út frá strokstað og dreifir 67% af stroklaxi innan 1000 kílómetra frá eldisstað. Þegar ofangreind gögn fyrir síðstrokslaxa frá 2018 voru sett í líkanið reyndust breytur þurfa að vera $\beta=1,5$ og $\eta=540$, sem er nokkuð þrengri dreifing heldur en áður hafði verið spáð með líkaninu (mynd 2.1).



Mynd 2-1 Dreifing síðbúinna stroka frá árinu 2018. Tvær Weibull dreifingar eru teiknaðar yfir með stuðla $\beta = 1.5$ og $\eta = 540$ (blá lína) og $\beta = 2$ og $\eta = 1000$ (rauð punctalína). Jákvæð fjarlægð er réttisælis um Ísland

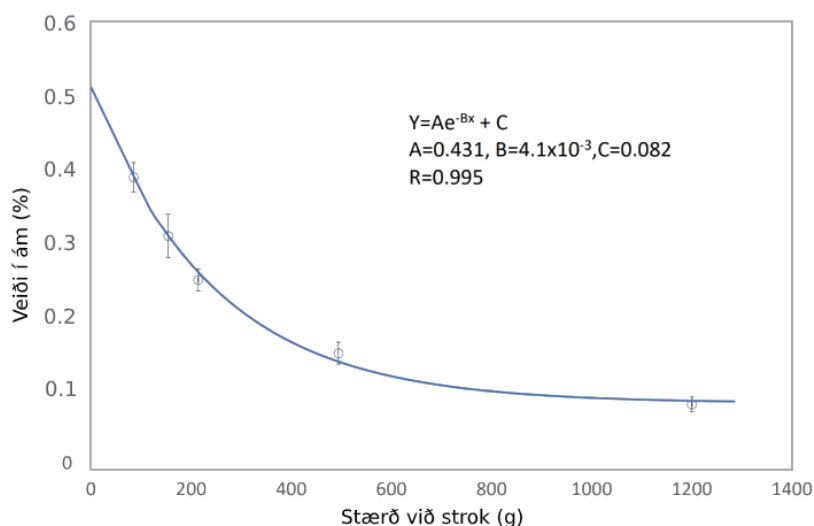
Sýnileg dreifing síðstrokslaxa á árinu 2018 virðist gefa til kynna að þeir dreifist skemur frá storkstað en áður hafði verið spáð fyrir um í reiknilíkaninu (mynd 2.1). Fjöldi storkulaxa er lítill en þessar bráðabirgðaniðurstöður styðja þá nálgun sem beitt er í áhættumatinu. Niðurstöðurnar gefa einnig til kynna að Weibull fallið sé heppilegt til að meta normaldreifingu síðbúinna stroklaxa og að þeir stuðlar sem notaðar voru hafi ekki verið fjarri lagi.

Allir laxar, sem veiddir voru sumarið 2019 í Mjólka í Arnarfirði, komu úr slyasleppingum í Hringsdal í sama firði í febrúar 2018 (mynd 2.1 rauð súla). Þetta sýnir að þessir laxar hafa dvalið og lifað lengur í sjó heldur en gert var ráð fyrir í fyrra áhættumati. Þeir 5 laxar sem veiddir voru í Mjólka 2019 voru tiltölulega nálægt eldissvæðinu, þar sem Mjólka er aðeins 26 kílómetra frá Hringsdal og 16 kílómetra frá Tjaldanes eldissvæðinu í Arnarfirði. Líklegt verður að telja að þeir hafi dvalið nærri eldiskvíunum yfir veturinn og étið tilfallandi laxafóður.

Í Noregi hefur tímasetning laxastroks verið metin með því að skoða fitusýrubúskap storkulaxa, þar sem innihald og samsetning síkra sýra er ekki sú sama fyrir laxa sem éta náttúrulegt fæði og þá sem fóðraðir eru í kvíum. Samkvæmt þessum mælingum hefur verið komist að þeirri niðurstöðu að flestir storkulaxar í norskum laxveiðiám hafi sloppið frá sjóeldisstöðvum á sama ári (Glover et.al., 2019). Íslensku niðurstöðurnar, sem byggja á erfðarannsóknunum, virðast gefa til kynna að þessi aðferðafræði gefi misvísandi niðurstöður. Nýlegar niðurstöður virðast gefa til kynna að laxar úr síðbúnum sleppingum dvelji jafnvel í ár nærri sjókvíum og éti laxafóður úr kvíunum. Því er ekki hægt að þekkja þá frá laxi sem hefur nýlega sloppið út með því að skoða fitusýrubúskap. Þessi kenning verður væntanlega staðfest við skoðun á fitusýrubúskap storkulaxa sem veiddust í Mjólka 2019.

2.5 Endurmat stuðla fyrir snemmstrok

Við endurmat á stuðlum fyrir snemmstrok var notast við greiningu á umfangsmiklum sleppitilraunum í Noregi. Hafrannsóknastofnun Noregs stóð fyrir röð af skipulögðum sleppingum á eldislaxi úr sjókvíum á árunum 2005-2008. Sérstaklega merktum stórseiðum (post-smolts) og fullvöxnum Atlantshafslöxum var sleppt frá mismunandi stöðum á mismunandi árstímum (Skilbrei et al.,2015). Stórseiði (post-smolts), sem sluppu á fyrsta sumri, gengu tiltölulega hratt út á haf. Lítið brot gekk til baka til hrygningar og var endurveitt eftir 1-3 ár í sjó. Í þessari skýrslu höfum við tekið gögn úr þessari rannsókn til frekari skoðunar. Sá laxafjöldi, sem veiddist í ám eftir 1-3 ár minnkaði eftir því sem meðalstærð við sleppingu jókst (50-1900 g.). Gert er ráð fyrir að veiðihlutfall hafi verið 100%, þ.e. að allir laxar sem komu til baka hafi verið veiddir. Heildarfjöldi stórseiða (post-smolts) sleppt í þessum tilraunum voru 61.344 laxar.



Mynd 2-2 Veiði snemmbúinna stroka í ám eftir 1-3 ár í sjá sem fall af strokstærð. Snemmbúnu strokunum var skipt upp í eftirfarandi hópa: 50-120 g ($x = 85$ g; 20,178 fiskar), 140-160 g ($x = 154$ g; 19,487 fiskar), 190-240 g ($x = 214$ g; 17,506 fiskar), 430-580 g ($x = 494$ g; 7,309 fiskar) og 950-2000 g ($x = 1,200$ g; 4,163 fiskar).

Hægt er að lýsa hlutfallinu á milli stærðar við sleppingu og endurheimtu með hnígandi veldisvísistuðli þar til lægri mörk kúrfunnar eru við 0,08% heimtu við 1000 g. sleppistærð (mynd 2.2). Í samræmi við þetta línurit má gera ráð fyrir að 200 g. strokulax hafi um 28% minni líkur á því að endurheimtast heldur en 93g. strokulax, sem er meðalstærð útsettra laxaseiða í Noregi (tafla 2.5). Á sama hátt má gera ráð fyrir að líkur á að endurheimta strokulax, sem er 500 g. við strok, séu 64 % lægri en fyrir staðlað gönguseiði (90 gr.). Þessi dæmi sýna greinilega að hægt er að nýta útsetningu á stærri laxi til að draga úr endurheimtum á snemmstrokunum laxi í veiðiár.

Tafla 2.5 Spágildi hlutfallslegt endurkomuhlutfall stórseiða miðaða við endurkomuhlutfall 93 gramma seiða á grundvelli jöfnu sem sýnd er í mynd 2.2

Seiðastærð (g)	Hlutfallsel endurkoma (%)
93	100
200	72
250	63
300	55
350	49
400	44
450	40
500	36

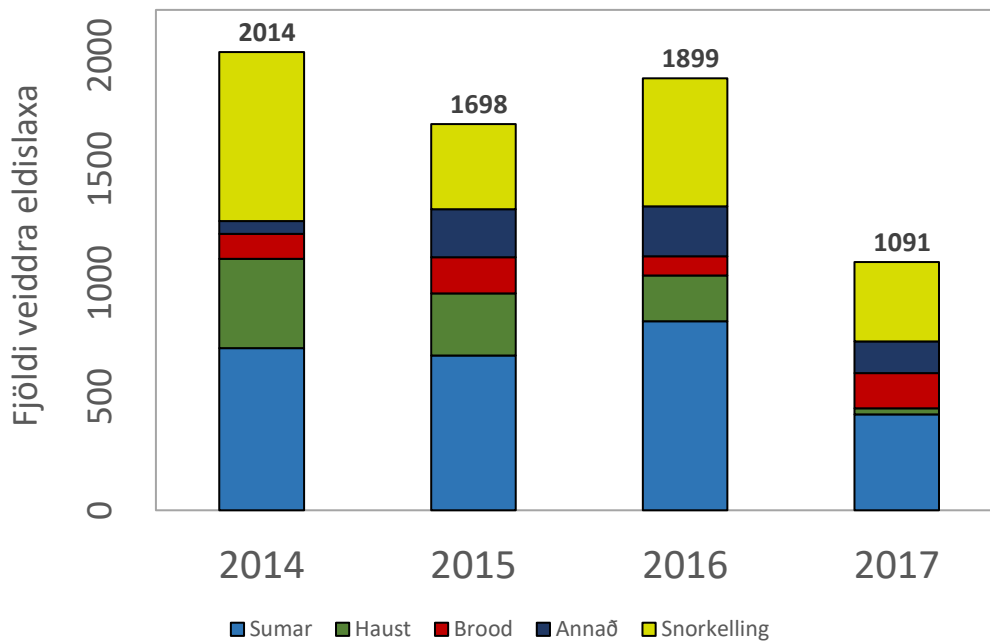
2.6 Endurmat stuðla fyrir síðstrok

Við endurmat á stuðlum fyrir síðstrok var notast við greiningu á niðurstöðum úr tilkynntum stroatburðum í Noregi.

Allt frá árinu 2014 hafa fimm norskar rannsóknastofnanir komið af stað viðamiklu samvinnuverkefni um árlega vöktun á endurheimtum strolaxa úr eldi í yfir 200 ám. Þetta vöktunarverkefni gefur út árlega skýrslu um heimtur strolaxa í ám (Aronson et al.,2019). Samkvæmt þessari skýrslu hefur meðalfjöldi strolaxa í ám undanfarin 10 ár verið 188.000 laxar. Fjöldi skráðra strolaxa er mjög breytilegur milli ára en þessi breytileiki kemur hinsvegar ekki fram í norskum endurheimtutölum og einnig komist að þeirri niðurstöðu að raunverulegur fjöldi strolaxa sem ganga í ár sé mun hærri.

Í Noregi er ekki hægt að rekja uppruna strolaxa með öruggum hætti til sjóeldisstöðva eins og gert er hér á landi , þar sem ekki eru reglur um að tekin séu erfðasýni úr klakforeldrum eins og gilda á Íslandi. Þannig fæst mat á göngu eldislaxa í norskar veiðiár aðallega með eftirfarandi sýnatökum (Glover et al. ,2019)(sjá einnig mynd 2-3)

1. Skrásettar stangaveiðitilraunir að sumri (staðfestingar með hreisturlestri)
2. Skrásettar stangaveiðitilraunir fyrir hrygningu að hausti(staðfesting með hreisturlestri)
3. Klakveiði að hausti í tenglum við laxaræktarverkefni (staðfesting með hreisturlestri)
4. Köfunarleiðangrar í ár að hausti, sem greina eldisfiska og fjarlægja að einhverju marki, sem síðan eru greindir með hreisturlestri.



Mynd 2-3 Heildar veiði á strokulöxum í Noregi árin 2014 – 2017, hópað eftir veiðiaðferð (Glover et al.2019).

Sé tekið mið af opinberum meðaltölum um laxastrok frá norskum sjóeldisstöðvum (188.000 á ári) og um 1700 eldislöxum sem veiddir eru í norskum ám á hverju ári (2014-2017) eru endurheimtur strokulaxa í veiðiám um 0,9 %. Veiðihlutfall í stangaveiði er sennilega hærra á Ísland (50%) heldur en í Noregi, þar sem ár eru tærari og aðgengilegri. Kafarar í köfunarleiðangri geta ef til vill þekkt um 60-70% af þeim eldislöxum sem þeir sjá en nákvæmni þessarar aðferðar er óþekkt (Svenning et al.,2015)Sé tekið tillit til allra þeirra aðferða sem Norðmenn beita gerum við ráð fyrir því að veiðihlutfall í báðum löndum sé það sama eða um 50%. Ganga eldislaxa í norskar ár er því metin að vera tvöföld á við metna endurheimtu sem er 1,8 %.

Ef heildarfjöldi strokulaxa, sem ganga í ár, er þekktur getum við reiknað út endurheimtustuðul sem tekur mið af heildarframleiðslu á eldislaxi í landinu. Við höfum skilgreint slíkan stuðul, sem við köllum endurheimtustuðul strokulaxa (MRE) sem skilgreinist sem tvöföld tala strokulaxa sem veiðast á hver 1000 tonn af framleiddum eldislaxi. Útreiknuð gildi fyrir MRE (migration rate of escapees) fyrir árið 2018 eru 2.6 fyrir Noreg (1700 strokulaxar/1.3 milljón tonn x 2) en slík gildi fyrir Ísland er 2.2 (15 strokulaxar/13.500 tonn x2) sem eru svipuð gildi að teknu tilliti til nokkurrar skekkju í matinu.

Í norska vöktunarverkefninu (Aronson et al.,2019) eru engar tilraunir gerðar til að rekja uppruna laxa úr stroki og því er hvergi minnst á heimtur úr einstaka strokviðburðum. Í ljósi þessa skoðuðum við útgefna skýrslur um veiðar á síðstroknum löxum í veiðiám, sem hægt var að rekja til einstaka slyasleppinga, til að fá eitthvað

viðmið varðandi endurheimtu. Þar sem ekki liggja fyrir erfðafræðileg gögn varðandi eldislaxa í Noregi þá byggir rakning á uppruna eldislaxa eingöngu á hreisturlestri og samanburði á stærð laxa við heimtu og stærðardreifingu í eldiskvíum við stök. Úttekt á upplýsingum í þessum skýrslum (2016-2018) varðandi veiðar á síðstrokslöxum í norskum veiðiám gefa mjög almenna mynd af heimtum eldislaxa í ár (Hellen et al.,2017; Aronsen et al.,2019 a,b; Kanstad-Hansen et al.,2017; Kambestad et al.,2017). Endurheimtuhlutfallið er reiknað út sem:

$$\text{Fjöldi stroklaxa veiddur í ánni/fjöldi laxa sem slapp – sjávarveiði) \times 100}$$

Aðeins koma fram laxar frá einstaka strokviðburðum í töflu 2.6

Tafla 2.6. Samantekt á niðurstöðum úr sex skýrslum frá árinu 2016 og 2018. Veiddir laxar í ám sem höfundar telja að rekja megi til tiltekins atburðar. Frá heildartölu strokulaxa er frádreginn fjöldi laxa sem veiddir eru í sjó og hafa því ekki kost á að ganga í ár. Þeir eldislaxar sem ekki eru raktir til atburðar eru ekki taldir með.

Staður	Dags	Fjöldi strokulaxa	Veiddir laxar	Veiðihlutfall
Bergdalen	24.5.2016	30.180	252	0,83%
Kvitfloget	8.7.2016	5.368	11	0,20%
Skonseng	9.9.2016	6.358	384	6,04%
Oterstegdalen	1.2.2018	8.320	208	2,50%
Geit. og Aust.	15.2.2018	106.700	82	0,08%
Frohavet	3.9.2018	15.887	36	0,23%
		172.813	973	0,56%

Meðalheimtur á eldislöxum tengdum þessum ákveðnu viðburðum miðað við það sem hafði stokið var 0.56% en mikill breytileiki milli viðburða. Vegna þess mikla magns sem slapp út við Geitryggen og Austvika hefur það mjög mikil áhrif á meðaltalið en ef þessum stöðum er sleppt hækkar meðaltalið í 1.35%. Skýrslan segir raunar að endurheimtur stroklaxa frá þessum stað hafi sennilega verið vanmetnar vegna lágrar vatnsstöðu í ám og skorts á vöktun gegnum köfun. Ekki fannst nein samsvörun milli einstakra þátta svo sem árstíma eða stærðar á slyasleppingu.

Ekki var getið um meðalstærð stroklaxa við slyasleppingu í skýrslunum. Sumar skýrslur gáfu upp mjög víða stærðardreifingu, t.d. 1-7 kg í skýrslunni um Bergdalen (Hellen et al.,2017) en allir voru skráðir sem síðbúið stök. Það var erfitt fyrir þessa skýrsluhöfunda að rekja uppruna laxanna til einstakra strokviðburða, þar sem ekki voru upplýsingar um erfðir laxanna (DNA). Á heildina litið eru þessar endurheimtur í góðu samræmi við norska vöktunarverkefnið (0.9 %).

Hér á landi er hægt að rekja uppruna strokulaxa mun nákvæmar til einstakra slyasleppinga með erfðafræðilegum aðferðum. Byggist það á ákvæði í reglugerð um fiskeldi, sem tilgreinir að nota skuli erfðafræðilegar merkingar til að rekja megi uppruna

strokulaxa til einstaka sjókvíastöðva (Reglugerð um Fiskeldi 1170/2015 grein 49¹).

2.7. Rannsóknir á erfðablöndun með rafveiðum.

Í rannsókn Guðmundssonar et al. (2017) var DNA sýni tekið úr laxaseiðum í 16 ám á tímabilinu ágúst 2015 og í ágúst og október 2016. Gerð var rannsókn á erfðabreytileika með skoðun á 14 endurteknum stuttraða erfðamörkum sem nýtti stofngerðarforritið „STRUCTURE“ (Pritchard et al., 2000). Niðurstöður þessarar rannsóknar sýndu að stroklaxar af norskum uppruna (SAGA stofn) höfðu hrygnt í nokkru magni með náttúrulegum laxi í ám sem voru í nágrenni sjókvía. Greinilega mátti sjá merki um erfðablöndun í náttúrulegum stofnum í Botnsá í Tálknafirði og Sunndalsá í Trostansfirði, sem er einn af innri fjörðum Arnarfjarðar. Í Botnsá fundust fjögur blendingseiði (WF) og tvö seiði undan hreinum eldislaxi, sem öll tilheyrðu klakárgangi 2014. Þótt sýnataka sé takmörkuð virðist helmingurinn af seiðunum í Botnsá vera undan eldislaxi. Höfundar skýrslunnar telja að blendingar séu afkomendur eldislax sem hafi hrygnt í ánni, sennilega hrygna, og náttúrulegur hængur tekið þátt í hrygningunni. Ennfremur telja höfundar að seiðin séu afkvæmi strokulaxa úr viðburði sem varð í Patreksfirði í nóvember 2013 (Guðmundsson et al., 2017). Hrein afkvæmi eldislaxa væru sennilega undan tveimur stroklöxum en þó væri ekki hægt að útiloka að þeir hefðu sloppið sem seiði frá nærliggjandi seiðaeldisstöð.

Í Sunndalsá, sem er um 10 km frá sjókvíum í Fossfirði (syðsta firði Arnarfjarðar) fundust fimm blendingar og þeir tilheyrðu allir nema einn 2015 klakárgangi. Þessar blendingar voru af mjög blönduðum uppruna (WF) og í ljós kom að á árinu 2015 höfðu tveir strokulaxar komið fram við Mjólkársvirkjun í Borgarfirði, sem er nyrsti innfjörðurinn í Arnarfirði. Þetta staðfesti tilvist stroklaxa á svæðinu á þessum tíma. Erfðablöndun var staðfest í öllum seiðum sem veidd voru í Sunndalsá á árunum 2011-2015. Tilkynt var um mjög fáar slysasleppingar(strokvíðburði), sem vekur upp spurningar um smávægilegan leka á laxi úr kvíum á ári hverju á þessum tíma. Niðurstaða skýrslunnar var sú að það væru sterkar vísbendingar um erfðablöndun í þessum ám á þessu tímabili.

Hinsvegar er rétt að benda á að erfðablöndun kom aðeins fram í ám, sem voru næst eldisvæðunum, og viðkomandi ár eru með mjög litla náttúrulega laxastofna. Því eru enn nokkur vafaatriði varðandi túlkun á þessum niðurstöðum. Þegar á heildina er litið kom erfðablöndun fram í sex ám á svæðinu (tafla 2.7).

¹ Þessu til viðbótar þurfa framleiðendur laxahrogna að geyma á varanlegan hátt erfðaefni úr eldislaxi svo hægt sé á hverjum tíma að rekja uppruna veiddra eldislaxa sem sloppið hafa úr kvíum. Gögn og líffræðileg sýni skal senda til Hafrannsóknastofnunar.

Tafla 2.7. Blendingar (WF) og eldis (FF) seiði rafveidd á árunum 2015 og 2016 í sex ám (Gudmundsson et al., 2017).

Vatnsfall (staður)	Fjöldi WF	Fjöldi FF
Botnsá (Arnarfjörður)	5	2
Selárdalsá (Arnarfjörður)	1	
Sunnaldalsá (Arnarfjörður)	5	
Sandsá (Önundarfjörður)	1	
Mjólka (Arnarfjörður)	7	
Bjarnardalsá (Önundarfjörður)	1	
Heild:	20	2

3 Umræður

Í þessari skýrslu kynnum við stærðfræðilíkan sem á að meta mögulega innblöndun á Atlantshafslaxi frá tilgreindum laxeldissvæðum í veiðiár hér á landi. Líkanið spáir fyrir um magn og dreifingu á stroklöxum í íslenskar veiðiár.

Í upprunalegri útgáfu af líkaninu voru breytur í því settar í samræmi við bestu fáanlegu niðurstöður úr erlendum rannsóknum. Í þessari skýrslu kynnum við niðurstöður tveggja ára vöktunar (2018-2019) á stroklöxum í veiðiám hér á landi. Við höfum aðlagð breytur í líkaninu í samræmi við rauntölur varðandi rakningu á uppruna eldislaxa samkvæmt erfðaupplýsingum ásamt útreikningum sem gera grein fyrir stærð þeirra strokviðburða, sem tilkynntir hafa verið. Allir stroklaxar sem komu fram við þessa tveggja ára vöktun komu úr strokviðburðum á árinu 2018 og voru stroklaxarnir allir úr síðbúnu stroki. Tveir strokviðburðir voru tilkynntir 2019 en þar sluppu stórseiði (post-smolts) út, sem ekki er búist við að endurheimtist fyrr en 2020 eða seinna eftir eitt eða fleiri ár í hafi. Vöktunin hefur því hingað til aðein gefið upplýsingar um síðbúna stroklaxa en engar upplýsingar fengist um strok gönguseiða eða stórseiða.

Hér á eftir er umfjöllun um þær breytur sem notaðar eru í áhættumatslíkaninu með samanburði á nýjum gildum og þeim sem áður voru nýtt.

3.1 Mat á strokstuðli (S)

Í upprunalegri útgáfu líkansins byggði strokstuðullinn (S) á heildarframleiðslu á eldislaxi. Niðurstöður úr líkaninu voru einnig settar fram sem ráðleggingar um mestu árlega framleiðslu á eldislaxi í hverjum firði, sem gerði ráð fyrir hlutfallinu 1:1 milli árlegrar framleiðslu og mesta lífmassa í kvíum. Nýjar upplýsingar benda hinsvegar til þess að þetta hlutfall sé 0,8:1, þ.e. að árleg framleiðsla sé aðeins um 80% af mesta lífmassa. Ennfremur hefur burðarþol í sjókvíaldri verið áður metið af Hafrannsóknastofnun sem mesti lífmassi í hverjum firði. Þannig mun fjörður með 10.000 tonna burðarþol (mesta lífmassa) aðeins geta staðið undir árlegri framleiðslu upp á 8.000 tonn eða jafnvel minni

framleiðslu á svæðum með minni veltu á lífmassa. Minni velta á lífmassa þýðir einnig að ráðlögð framleiðsla á frjóum eldislögum úr fyrstu útgáfu líkansins (71.000 tonn á ári) minnkar afturvirkni niður í 57.000 tonn. Leggja verður áherslu á að framleiðslutölur á Íslandi eru langt fyrir neðan þessi mörk, þar sem framleiðslan var um 30.000 tonn á árinu 2020.

Í ljósi þessara upplýsinga hefur áhættumatslíkaninu verið breytt þannig að það sé fyllilega sambærilegt við útreiknað og samþykkt burðarþol í hverjum firði. Í uppfærðri útgáfu af líkaninu byggir strokstuðullinn (S) á mesta lífmassa af eldislaxi og niðurstöður sýndar sem ráðlagður hámarks lífmassi.

Í fyrstu útgáfu af líkaninu var strokstuðullinn ($S = S_G + S_S$) um 0,8 stroklaxar á hvert framleitt tonn á ári. Þegar búið er að endurmeta hlutfallið sem 0,8:1 þá verður þetta gildi um 0,64 stroklaxar á hvert tonn af lífmassa á ári.

Í þessu endurmati verður strokstuðullinn (S) óbreyttur sem 0,8 stroklaxar á hvert framleitt tonn, sem samsvarar 0,64 stroklögum á hvert tonn af lífmassa í viðkomandi sjókvím. Þessi ákvörðun byggir á niðurstöðum þeirrar vöktunar sem greint hefur verið frá í skýrslunni. Mat á tilkynntum strokviðburðum gefur meðaltals strokstuðul upp á 0,81 stroklaxar á hvert framleitt tonn af laxi. Engin gögn liggja enn fyrir um endurheimtu laxa úr snemmstroki og því er áfram notast við 50:50 skiptingu milli snemmstroks og síðstroks í þessari útgáfu af líkaninu.

3.2 Breytur tengdar dreifingarstuðli fyrir snemm- og síðstrok.

Dreifingarfarlægð síðstrokulaxa virðist vera nokkuð styttri en gert var ráð fyrir í upprunalegu líkani. Gildi η breytunnar var upprunalega metið sem $\eta=1000$, en gildi sem samsvarar $\eta=540$ virðist samsvara betur þeirri dreifingu sem verið hefur á síðstrokulögum út frá upprunastað. Dreifing á lögum úr síðstroki er einnig með hægri hallandi dreifingu (sólarsinnis með strandstraumum) þar sem $\beta=1.5$ í staðinn fyrir $\beta=2.0$ í upprunalegu mati. Einnig var ljóst að sumir laxar í síðstroki dvöldu í meira en ár nálægt eldiskvíum og átu tilfallandi laxafóður.

Engin gögn liggja fyrir um fjarlægðardreifingu laxa úr snemmstroki og því var stuðlum hvað það varðar ekki breytt frá fyrra mati.

3.3 Mat á endurheimtu stórseiða(post-smolts) úr snemmstroki í veiðiár (L_s)

Enn hafa engin gögn fengist úr íslenska vöktunarverkefninu um endurheimtur gönguseiða og stórseiða (post-smolts), sem sleppa út. Á hinn bóginn er hægt að fá upplýsingar umfram fyrirbyggjandi íslensk gögn varðandi far stórseiða með því að skoða reiknilíkön í útgefnum norskum skýrslum varðandi laxastrok (Skilbrei et al.,2015). Svo

virðist sem endurheimtur á eldisfiski sem sleppt er í sjó minnki eftir því sem laxinn er stærri við útsetningu í samræmi við hnígandi veldisvísistuðul. Samkvæmt þessum stuðli er endurheimta 100 gr. stórseiðis úr snemmstroki í veiðiám um 0.4 % og sé gert ráð fyrir 50% veiðihlutfalli í ánni verður endurheimtan því 0.8%. Samkvæmt þessari sama línuriti er spáð að heimtur 350 gramma stroklax séu aðeins 50% af því sem gildir fyrir 93 gr. stroklax.

Eins og þegar hefur verið lýst gerir líkanið ráð fyrir heimsækni eldislaxa á sitt eldissvæði, þar sem laxar úr snemmstroki ganga til baka á eldisstað og reyna ekki að ganga í ár, sem minnkar útreiknaða endurheimtu ólínulega í samræmi við vegalengd frá veiðiá. Í raun og veru er útreiknuð endurheimta í líkaninu lægri heldur en L_s (Sjá Mynd 1.3)

3.4 Mat á endurheimtu síðstrokslaxa í veiðiár (L_G)

Endurheimta laxa úr síðstroki var í upprunalega líkaninu varfærnislega metin sem 3.3 %. Þetta gildi byggði á þeirri forsendu að 15% síðstrokslaxa mundu ná kynþroska (M) miðað við að 4 af 18 mánuðum (22%) sé áhættutími. Endurheimta síðstrokslaxa var því reiknuð út sem: $M \times R/T$ sem gerir $0,15 \times 0,22 = 0,033$ sem samsvarar 3,3%. Hægt er að bera þetta upprunalega gildi saman við niðurstöður í norsku laxastroksskýrslunum (Tafla 2.6). Samkvæmt ofangreindum niðurstöðum og með því að gera ráð fyrir að heildarendurheimta sé tvöföld endurveiði í ám var reiknað út að meðalheimta í veiðiár hafi verið 1,12% með háum breytileika (1,2%). Tölur úr opinbera norska vöktunarverkefninu gefa hinsvegar 0,9 % veiði á stroklöxum í ám, sem gefur meðal endurheimtu (L) upp á 1,8 %. Tölur úr norska vöktunarverkefninu eru samanlögð heimta snemm- og síðstrokslaxa og taka ekki tillit til minnkunar á heimtu vegna veiða á laxi í sjó. Miðað við þessar norsku tölur um endurveiði á strokulöxum í ám má telja að þessi fyrsta tala um endurheimtu síðstrokulaxa úr líkaninu (3,3%) sé skynsamlegt fyrsta mat í anda varfærnisreglunnar.

Hinsvegar, eftir að hafa verið með vöktun í tvö ár í íslenskum veiðiám, þá virðist endurheimta síðstrokslaxa vera mun lægri en spáð var fyrir um í upprunalegu líkani. Metin endurheimta (L_G) úr strokviðburði í Hringsdal var aðeins 0,26%. Þetta gildi byggist á óbeinum útreikningum á þeim fjölda sem slapp út og gæti því hugsanlega verið vanmat. Til samanburðar er sú meðalheimta, sem unnin var úr norsku vöktunarskýrslunum, metin sem 0,56-1,35% (Tafla 2-6. Í því endurmati, sem farið hefur fram, hefur endurheimta síðstrokslaxa verið endurskoðuð og lækkuð í 1,1 %. Þetta endurmetna gildi byggir á sanngjarnri málamiðlun milli niðurstaðna úr íslenska vöktunarverkefninu og norskum skýrslum um laxastrok. Stroksstuðli (S) er hinsvegar ekki breytt í þessari endurskoðun.

3.5 Samanburður milli Íslands og Noregs

Endanleg niðurstaða úr áhættumatslíkaninu er spá um raunverulegan fjölda kynþroska stroklaxa, sem ganga í veiðiár til hrygningar. Sé þessi tala síðan tengd við árlega framleiðslu á eldislaxi gefur það til kynna villuráf stroklaxa (MRE). Gildin fyrir slíkt villuráf eru metin sem 2,2 laxar á hver 1000 tonn framleitt á Íslandi en 2,6 laxar á hver 1000 tonn í Noregi. Sjókvíar sem notaðar eru í báðum löndum eru hannaðar í samræmi við staðalinn NS 9415 (norskur staðall 9415 fyrir útbúnað í eldiskvíum til að fyrirbyggja laxastrok). Veðurfar er erfiðara á Íslandi og því mætti búast við meira stroki. Til að gæta ýtrustu varkárni gerir endurskoðað reiknilíkan ráð fyrir MRE gildi upp á 4,3 í íslensku laxeldi.

Í þessu sambandi er hinsvegar rétt að láta það koma fram að hár MRE stuðull gefur ekki endilega til kynna að margir stroklaxar muni ganga í helstu laxveiðiár. Þegar helstu strokviðburðir eru skoðaðir í tengslum við íslenska vöktunarverkefnið virðast margir síðstrokslaxar (8 af 15) birtast aftur nálægt upprunalegum eldisstað. Þær ár, sem um er að ræða, eru litlar og í þær ganga tiltölulega fáir náttúrulegir laxar. Svo virðist sem hluti af síðstrokslaxum haldi sig nærri kvíunum eftir strok og éti það sem til fellur af laxafóðri. Fjórir af þeim stroklöxum sem veiddust höfðu strokið fyrir einu og hálfu ári og virtust því geta bjargað sér í náttúrunni í langan tíma. Sem dæmi má taka lax númer F181304 (sjá töflu 2.2), sem veiddur var í Mjólka sumarið 2018, en hann tilheyrði engum klakárgöngum 2014-2016 og var því sennilega úr eldri árgöngum.

Í samræmi við strangar reglur er laxeldi í sjókvíum á Íslandi bannað á svæðum nærri helstu laxveiðiám (mynd 1.2). Samkvæmt því er lax- og silungseldi í opnum sjókvíum aðeins mögulegt á Vestfjörðum og Austfjörðum, þar sem fáar laxveiðár er að finna og langt í verðmætar veiðiár. Því má búast við því að mjög lítt hluti síðstrokslaxa, sem líkanið tekur til, gangi í verðmætar laxveiðiár, þar sem vegalengdin á milli eldissvæðanna og viðkomandi laxveiðiáa er mjög löng. Í ljósi þeirra takmarkana sem í gildi eru hér á landi eru aðeins þrjár laxveiðiár staðsettar nærri kvíaeldissvæðum og falla þannig undir mikla áhættu á verulegu villuráfi eldislaxa í þær og hugsanlegri erfðablöndun.

3.6 Nýtt mat á stuðlum áhættumats á grunni vöktunarniðurstaðna:

Eftirfarandi breytingar eru gerðar á stuðlum áhættumats:

Stuðlar áhættumats	Fyrri gildi	Ný gildi	Breyting
Snemmbúið strok:			
Heimsæknistuðull (H):	0,25	0,25	N
Weibull stuðlar:			
$\beta =$	2,5	2,5	N
$\eta =$	120	120	N
Endurkomuhlutfall (L_S):	1,85%	1,5%	J
Síðbúið strok:			
Weibull stuðlar:			
$\beta =$	2	1,5	J
$\eta =$	1000	540	J
Endurkomuhlutfall: (L_G)	3,3%	1,1%	J
Strokstuðull (S) (fiskar/tonn):	0,8	0,8	N
Hlutfall síðbúið/snemmbúið:	50/50	50/50	N

3.7 Fyrirbyggjandi aðgerðir

Fyrirliggjandi niðurstöður sýna greinilega mikilvægi þess að hafa nægilega vegalengd milli eldissvæða og laxveiðiáa. Í Ísafjarðardjúpi eru tvær laxveiðiár staðsettar nærri botni fjarðarins. Því er lagt til í áhættumatinu að staðsetning eldiskvía skuli vera á svæðum sem eru vestan við línu sem dregin verði milli Æðeyjar og Ögurness.

Árvakar „Riverwatcher“ laxateljarar hafa verið settir upp í báðum laxveiðiánum í Ísafjarðardjúpi (Langadalsá og Laugardalsá). Þessir teljarar eru nettengdir og því hægt að skoða beinar útsendingar af göngufiskum á heimasíðu Hafrannsóknastofnunar. Þessi heimasíða er opin almenningi og er skoðuð af okkar sérfræðingum á degi hverjum. Einnig er hægt að tengja þetta kerfi við laxagildru sem hægt er að fjarstýra frá höfuðstöðvum. Áætlað er að setja upp Árvaka í Breiðdalsá á Austfjörðum, sem liggur næst laxeldissvæðunum í þeim fjórðungi. Áætlað er að það kerfi verði komið í gagnið vorið 2021.

Enn eru í gildi þær fyrirbyggjandi aðgerðir sem nefndar voru í fyrra áhættumati.

3.8 Þakkarorð

Vöktunarverkefnið, sem tengist stroklöxum í veiðám, varð til fyrir tilstuðlan og samvinnu margra einstaklinga, sem tilkynntu um grunsamlega fiska í ám og sendu sýni. Einnig hafa ýmis félagasamtök, stangaveiðifélög vítt og breitt um landið, áreigendur, fiskeldisfyrirtæki ásamt stofnunum og fyrirtækjum svo sem Matís ohf. svo og stjórnsýslustofnanir svo sem MAST, UST og Fiskistofa stutt við verkefnið. Við viljum hér með þakka fyrir allan stuðning og samvinnu við það að vakta fjölda stroklaxa í veiðám hér á landi.

3.9 Fjármögnun

Áhættumatsverkefnið var sett af stað með fjármagni frá Atvinnuvega og Nýsköpunarráðuneytinu.

3.10 Viðbótargögn

Endurskoðað áhættumat URL: <https://ahaettumat.shinyapps.io/Hafro2020/>

Heimildir

- Aronsen, T., Berntsen, H. H., Johansen, M. R., Moe, K., and Næsje, T. F. (2019a). Overvåkning av rømt oppdrettslaks i Trøndelag etter rømminger fra lokalitetene Geitryggen og Austvika i 2018. *NINA Rapport 1636*. Norsk institutt for naturforskning.
- Aronsen, T., Bakke G, Barlaup, B. Hårdensson Berntsen, J.H., Diserud, O., Fiske, P., Fjeldheim, PT., Florø Larse, B., Glover, K., Heino, M., Husebø, Å., Næsje, T., Skoglund, H., Sollien, VP., Sægrov, H., Urdal, K., and Wennevik, V. (2019). *Rømt oppdrettslaks i vassdrag i 2018*. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/fisken-og-havet-2019-4#sec-romt-oppdrettslaks-i-vassdrag-2018>
- Aronsen, T., Järnegren, J., Florø-Larsen, B., Holthe, E., Ulvan, E. M., Bremset, G., Sollien, V. P., Østborg, G. M., Lam-berg, A., and Næsje, T. F. (2019b). Overvåkning av rømt oppdrettslaks i elv og sjø etter rømming fra havmerd i Frohavet høsten 2018. *NINA Rapport 1700*. Norsk institutt for naturforskning.
- Barson, N., Aykanat, T., Hindar, K., Baranski, M., Bolstad, G., Fiske, P., Jacq, C., Jensen, A., Johnston, S., Karlsson, S., Kent, M., Moen, T., Niemelä, E., Nome, T., Næsje, T., Orell, P., Romakkaniemi, A., Sægrov, H., Urdal, K., Erkinaro, J., Lien, S., and C.P., P. (2015). Sex-dependent dominance at a single locus maintains variation in age at maturity in salmon. *Nature*, 528:405–408.
- Baskett, M. L., Burgess, S. C., & Waples, R. S. (2013). Assessing strategies to minimize unintended fitness consequences of aquaculture on wild populations. *Evolutionary Applications*, 6: 1090–1108.
- Berdahl, A., Westley, P. A. H., Levin, S. A., Couzin, I. D., and Quinn, T. P. (2016). A collective navigation hypothesis for homeward migration in anadromous salmonids. *Fish and Fisheries*, 17:525–542.
- Blair, G. and Jason, V. (2014). Offshore Mariculture Escapes Genetic/Ecological Assessment (OMEGA) Model, version 1.0. Model overview and user guide. *ICF International*.
- Bolstad, G. H., Hindar, K., Robertsen, G., Jonsson, B., Saegrov, H., Diserud, O. H., Fiske, P., Jensen, A. J., Urdal, K., Naesje, T. F., Barlaup, B. T., Floro-Larsen, B., Lo, H., Niemela, E., and Karlsson, S. (2017). Gene flow from domesticated escapes alters the life history of wild Atlantic salmon. *Nature Ecology & Evolution*, 1(5).
- Bradbury, I.R., Duffy, S., Lehnert, S.J., Johannsson, R., Fridriksson, J.H., Castellani, M., Burgetz, I., Sylvester, E., Messmer, A., Layton, K., Kelly, N., Dempson, J. B., Fleming, I. A. (2020) Model-based evaluation of the genetic impacts of farm-escaped Atlantic salmon on wild populations. *Aquaculture Environment Interactions*, 12:45-59
- Castellani, M., Heino, M., Gilbey, J., Araki, H., Svasand, T., and Glover, K. A. (2018). Modeling

fitness changes in wild Atlantic salmon populations faced by spawning intrusion of domesticated escapees. *Evolutionary Applications*, 11:1010–1025.

Castellani, M., Heino, M., Gilbey, J., Araki, H., Svåsand, T., and K.A., G. (2015). Ibsem: An individual-based Atlantic salmon population model. *PLoS One*.

Daníelsdóttir, A., 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.

Einarsson, S. and Gudmundsdóttir, A. (2017). Vöktunarrannsóknir á laxastofni Laxár í Dölum 2016. HV 2017-21.

Fiske, P., Lund, R. A., and 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.

Fiskeridirektoratet (2019a). *Matfiskproduksjon av laks, regnbueørret og ørret*. <https://www.fiskeridir.no/content/download/7619/95508/version/47/file/sta-laks-mat-06-salg.xlsx>

Fiskeridirektoratet (2019b). Rømmingsstatistikk. <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Roemningsstatistikk>

Fleming, I., Jonsson, B., Gross, M., and 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., Hindar, K., Mjølnerod, I. B., Jonsson, B., Balstad, T., and Lamberg, A. (2000). Lifetime success and interactions of farm salmon invading a native population. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 267:1517–1523.

Gilbey, J., Coughlan, J., Wennevik, V., Prodohl, P., Stevens, J. R., de Leaniz, C. G., Ensing, D., Cauwelier, E., Cherbonnel, C., Consuegra, S., Coulson, M. W., Cross, T. F., Crozier, W., Dillane, E., Ellis, J. S., Garcia-Vazquez, E., Griffiths, A. M., Gudjonsson, S., Hindar, K., Karlsson, S., Knox, D., Machado-Schiaffino, G., Meldrup, D., Nielsen, E. E., Olafsson, K., Primmer, C. R., Prusov, S., Stradmeyer, L., Vaha, J.-P., Veselov, A. J., Webster, L. M. I., McGinnity, P., and Verspoor, E. (2018). A microsatellite baseline for genetic stock identification of European Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *ICES Journal of Marine Science*, 75:662–674.

Glover, K., Solberg, M., McGinnity, P., Hindar, K., Verspoor, E., Coulson, M., Hansen, M., Araki, H., Skaala, O., 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*, 18: 890–927.

- Glover, K. A. (2010). Forensic identification of fish farm escapees: the Norwegian experience. *Aquaculture Environment Interactions*, 1:1–10.
- Glover, K. A., Pertoldi, C., Besnier, F., Wennevik, V., Kent, M., & 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., & Skaala, O. (2012). Three decades of farmed escapees in the wild: A spatio-temporal analysis of population genetic structure throughout Norway. *PLoS One*, 7: e43129.
- Glover, K. A., Skilbrei, O. T., and Skaala, O. (2008). Genetic assignment identifies farm of origin for Atlantic salmon *Salmo salar* escapees in a Norwegian Fjord *ICES Journal of Marine Science*, 65:912–920.
- Glover, K. A., Urdal, K., Naesje, T., Skoglund, H., Floro-Larsen, B., Ottera, H., Fiske, P., Heino, M., Aronsen, T., Saegrov, H., Diserud, O., Barlaup, B. T., Hindar, K., Bakke, G., Solberg, I and Lo, H., Solberg, M. F., Karlsson, S. Skaala, O., Lamberg, A., Kanstad-Hanssen, O., Muladal, R. Skilbrei, O. T. and Wennevik, V. (2019). Domesticated escapees on the run: the second-generation monitoring programme reports the numbers and proportions of farmed Atlantic salmon in > 200 Norwegian rivers annually. *ICES Journal of Marine Science*, 76:4 1151–1161.
- Green, D. M., Penman, D. J., Migaud, H., Bron, J. E., Taggart, J. B., and McAndrew, B. J. (2012). The impact of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) on catch statistics in Scotland. *PLoS One* 7(9): e43560.
- Gudbergsson, G. (2016). Lax- og silungsveidin 2015. VMST/16026.
- Gudbergsson, G. and Einarsson, S. M. (2004). Hlutfall merktra laxa sem sleppt er og veiddust oftur en einu sinni í íslenskum ám sumarið 2003. *VMST-R/0410*, page 9.
- Gudbergsson, G. and Einarsson, S. M. (2007). Áhrif veiða og sleppa á laxastofna og veiðitölur. *Fræðaging landbúnaðarins*, 4: 196–204.
- Gudbergsson, G. and Sigthorsson, O. (2007). Lax sem medafli íslenskra fiskiskipa (salmon as a by-catch on Icelandic fishing vessels). *Veiðimaðurinn*, 182:46–49.
- Gudjonsson, S. (1991). Occurance of reared salmon in natural salmon rivers in Iceland. *Aquaculture*, 98:133–142.
- Gudjonsson, S., Jonsson, I., and Antonsson, T. (2005). Migration of Atlantic salmon, *Salmo salar*, smolt through the estuary area of River Ellidaár in Iceland. *Environmental Biology of Fishes*, 74:291–296.
- Gudjonsson, S. and Scarnecchia, D. (2013). “Even the evil needs a place to live”: Wild salmon,

- salmon farming, and zoning of the Icelandic coastline. *Fisheries*. 34: 477-486
- Gudmundsson, L., Magnúsdóttir, R. Th., G. J., and Einarsson, S. (2017). Genetic introgression of non-native farmed salmon into Icelandic salmon populations, *HV 2017-031. Hafrannsóknastofnun*.
- Gudmundsson, L. A., Gudjónsson, S., Marteinsdóttir, G., Scarnecchia, D. L., Daniélsdóttir, 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.
- Gunnarsson, V. and Beck, E. (2003a). Slysasleppingar á eldislaxi á árinu 2003. 2003 - kynproskahlufall og endurheimtur. Fiskistofa.
http://www.fiskistofa.is/media/laxa_silungssvid/VGslysaskýrsla2004-002.pdf
- Gunnarsson, V. I. (2002). Hugsanleg áhrif eldislaxa á náttúrulega laxastofna. *Gefid út af embætti veidimálastjóra*, 67. <https://sjavarutvegur.is/wp-content/uploads/2016/12/VIG2002-hugsanleg-ahrif-eldislaxa.pdf>
- Gunnarsson, V. I. (2007). Reynsla af sjókvíaeldi á Íslandi. *Hafrannsóknastofnunin, Fjölrit*, 136.
- Gudmundsson, L. (2014). Upprunagreining á löxum veiddum í Patreksfirði í júlí 2014.
- Gudmundsson, L., Gudbergsson, G., Jóhannesdóttir, H., and Njardardóttir, E. (2014). Rannsóknir á löxum veiddum í Patreksfirði í ágúst 2014. *Veidimálastofnun*
- Hansen, L. (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.
- Hellen, B. A., Kambestad, M., Kålås, S., and Urdal, K. (2017). Gjenfangst av oppdrettslaks etter rømming fra lokaliteten Bergadalen i Hardangerfjorden, mai 2016. *Rådgivende Biologer AS / 2275*.
- Hindar, K., Diserud, O., Fiske, P., Karlsson, S., Bolstad, G., Foldvik, A., Wennevik, V., Bremset, G., and Rosten, C. (2016). Evaluering av nasjonale laksevasdrag og nasjonale laksefjorder: Rømt oppdrettslaks, genetisk innkryssning og bestandsstatus. *NINA Rapport 1461*.
- Hindar, K., Fleming, I. A., McGinnity, P., and Diserud, O. (2006). Genetic and ecological effects of salmon farming on wild salmon: modelling from experimental results. *ICES Journal of Marine Science*, 63:1234–1247.
- Huisman, J., & Tufto, J. (2012). Comparison of non-gaussian quantitative genetic models for migration and stabilizing selection. *Evolution*, 66: 3444–3461.
- ICES 2019. Working group of the North Atlantic Salmon (WGNAS) ICES Scientific Reports. 1:16. 368pp. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.4978>
- Isaksson, A., Oskarsson, S., and Gudjonsson, T. (2002). Occurrence 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 oceanic migration of salmon from different areas of Iceland. www.veidimalastjori.is

Jonsson, I., Antonsson, T., and Gudjónsson, S. (2008). Relation between stock size and catch data of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and arctic char (*Salvelinus alpinus*). *Icel. Agric. Sci.* 21.

Jónsson, I. R. and Antonsson, T. (2004). Laxar af eldisuppruna endurheimtir á Austurlandi sumarið 2003. *Veidimálastofnun. VMST-R/0403*, page 14.

Jónsson, I. R., Antonsson, T., and Gudjonsson, S. (2008). Relation between stock size and catch data of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and Arctic char (*Salvelinus alpinus*). *Icel. Agric. Sci.*, 21:61–68.

Kambestad, M., Sikveland, S. E., and Urdal, K. (2017). Gjenfangst av oppdrettslaks etter rømming fra lokaliteten 13345 Oterstegdalen i 2018. *Rådgivende Biologer AS / 2816*.

Kanstad-Hanssen, O., Lamberg, A., and Muladal, R. (2017). Overvåking av elver og uttak av rømt oppdrettslaks - tiltak etter rømming fra Salmar Nord's lokalitet Kvitfloget i 2016. *Salmar-Nord AS*.

Karlsson, S., Diserud, O. H., Fiske, P., and Hindar, K. (2016). Widespread genetic introgression of escaped farmed Atlantic salmon in wild salmon populations. *ICES Journal of Marine Science*, 73:2488–2498.

Karlsson, S., Moen, T., Lien, S., Glover, K., and Hindar, K. (2011). Generic genetic differences between farmed and wild Atlantic salmon identified from a 7ksnp-chip. *Molecular Ecology Resources*, 11:247—253.

Lema, S. and Nevitt, G. (2004). Evidence that thyroid hormone induces olfactory cellular proliferation in salmon during a sensitive period for imprinting. *Journal of Experimental Biology*, 207:3317–3327.

Liu, Y., Diserud, O., Hindar, K., and A., S. (2013). An ecological–economic model on the effects of interactions between escaped farmed and wild salmon (*Salmo salar*). *Fish and Fisheries*, 14:158–173.

Lura, H., O. F. (1994). Content of synthetic astaxanthin in escaped farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L., ascending Norwegian rivers. *Fisheries Management and Ecology* 1:205 - 216

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. *Proceedings of the Royal Society B*, 270:2443–2450.

McGinnity, P., Stone, C. and Taggart, J. B. C. D., and Cotter, D. and Hynes, R. F. A. (1997). Genetic

- impact of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) on native populations: Use of DNA profiling to assess freshwater performance of wild, farmed, and hybrid progeny in a natural river environment. *ICES Journal of Marine Science*, 54:998–1008.
- Ministry of Agriculture (2004). Advertisement on conservation areas, where the salmon farming in sea cages is prohibited. http://www.fiskistofa.is/media/laxa_silungssvid/460-2004.pdf
- Olafsson, K., Hjorleifsdottir, S., Pampoulie, C., Hreggvidsson, G. O., and Gudjonsson, S. (2010). Novel set of multiplex assays (SalPrint15) for efficient analysis of 15 microsatellite loci of contemporary samples of the Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Molecular Resources*, 10:533–537.
- Olafsson, K., Pampoulie, C., Hjorleifsdottir, S., Gudjonsson, S., and Hreggvidsson, G. O. (2014). Present-Day Genetic Structure of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in Icelandic Rivers and Ice-Cap Retreat Models. *PLOS ONE*, 9.
- Working Group on North Atlantic Salmon (2015). WGNAS Stock Annex for Atlantic salmon. ICES. http://ices.dk/sites/pub/Publication\20Reports/Expert\%20Group\%20Report/acom/2016/WGNAS/wgnas_2016.pdf
- Piccolo, J. and Orlikowska, E. (2012). A biological risk assessment for an Atlantic salmon (*Salmo salar*) invasion in Alaskan waters. *Aquatic Innovations*, 7:259–270.
- Pritchard, J., Stephens, M., and Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155:945–959.
- Putman, N. F., Lohmann, K. J., Putman, E. M., Quinn, T. P., Klimley, A. P., and Noakes, D. L. G. (2013). Evidence for Geomagnetic Imprinting as a Homing Mechanism in Pacific Salmon. *Current Biology*, 23:312–316.
- Skaala, O., Glover, K. A., Barlaup, B. T., Svasand, T., Besnier, F., Hansen, M. M., and Borgstrom, R. (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.
- Skilbrei, O. T., Heino, M., and Svåsand, T. (2015). Using simulated escape events to assess the annual numbers and destinies of escaped farmed Atlantic salmon of different life stages from farm sites in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 72:670–685.
- Steinsson, S. (2010). Stangaveiðimarkadurinn á Íslandi: mat á heildartekjum af laxveiðileyfasölu árið 2009. *Bifröst: Háskólinn á Bifröst*. [h1p://hdl.handle.net/1946/6655](http://hdl.handle.net/1946/6655).
- Svenning M. A., Kanstad-Hanssen Ø., Lamberg A., Strand R., Dempson J. B., Fauchald P. (2015) Oppvandring og innslag av oppdrettslaks i norske lakseelver; basert på videoovervåking, fangstfeller og drivtelling. *NINA Rapport*, 1104. 53 pp.

- Taranger, G. L., Karlsen, O., Bannister, R. J., Glover, K. A., Husa, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B. O., Boxaspen, K. K., Bjorn, P. A., Finstad, B., Madhun, A. S., Morton, H. C., and Svåsand, T. (2015). Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES Journal of Marine Science*, 72:997–1021.
- Verspoor, E. (2017). Population structuring in Scottish Atlantic salmon (popmod). Personal communication.
- Vidarsson, F. and Gudjónsson, S. (1991). Hlutdeild eldislaxa í ám við Faxaflóa. *VMST-R/91015*, page 49.
- Vidarsson, F. and Gudjónsson, S. (1993). Hlutdeild eldislaxa í ám á sv-horni landsins, samkvæmt hreisturslestri. *VMST-R/93015*, page 38.
- Youngson, A., Webb, J., MacLean, J., and Whyte, B. (1997). Frequency of occurrence of reared Atlantic salmon in Scottish salmon fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 54:1216–1220.