

Áhættumat erfðablöndunar við
villta stofna 2025

Drög til ráðgjafarnefndar

*Risk Assessment for
Genetic Introgression 2025
Draft for advisory committee*



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna

MARINE & FRESHWATER RESEARCH INSTITUTE

Ágrip

Þessi skýrsla fjallar um áhættumat á ágengni eldislaxa í villta laxastofna á Íslandi. Skýrslan kynnir nýjustu útgáfu áhættumatslíkans sem Hafrannsóknastofnun hefur þróað til að meta umhverfisáhrif erfðablöndunar vegna strokulaxa úr sjókvíaeldi. Frá árinu 2017 hefur Hafrannsóknastofnun haft það hlutverk að meta þessi áhrif, en eldi á Atlantshafslaxi í sjókvíum hefur vaxið hratt á Íslandi undanfarin ár.

Meginmarkmið áhættumatslíkansins er að meta fjölda eldislaxa sem gætu strokið úr sjókvíum og gengið í ár, þar sem þeir gætu blandast villtum laxastofnum. Líkanið metur mögulegt strok á mismunandi framleiðslustigum í öllum fjörðum þar sem laxeldi er stundað og ber niðurstöðurnar saman við viðmiðunarmörk um ágengni (4%) í þeim laxveiðiám sem það nær yfir. Þetta er gert til að tryggja að framleiðsla á eldislaxi í sjókvíum við Ísland hafi ekki áhrif á hæfni náttúrulegra laxastofna.

Áhættumatslíkanið byggir á þremur meginþáttum:

1. Landfræðilegir þættir: Þar á meðal stefna sjávarstrauma, laxagengd í einstakar ár, lega þeirra og aðrir eðlisþættir.
2. Eldisþættir: Nákvæm staðsetning sjókvía, lífmassi á hverjum stað, stærð og aldur laxa, ásamt upplýsingum um strok laxa, fjölda strokufiska og dagsetningu stroka.
3. Lífsferilsþættir: Upplýsingar um hegðun og dreifingu laxa eftir strok, sem eru mismunandi eftir því hvort um er að ræða snemmbúið strok (fiskar undir 1,5 kg) eða síðbúið strok (fiskar yfir 1,5 kg).

Líkanið gerir greinarmun á tveimur stigum erfðablöndunar:

- Strok laxa úr sjókví og líkur á því að þeir gangi í ár (ágengni)
- Hrygning strokulaxa í ám og áhrif þeirra á erfðir og hæfni heimastofnsins (erfðablöndun)

Strokatburðir og vöktun:

Skýrslan greinir frá nokkrum mikilvægum strokatburðum sem hafa átt sér stað á Íslandi, þar á meðal:

- Strok frá Hringsdal og Laugardal 2018
- Strok frá Haganesi 2021
- Strok frá Kvígindisdal 2023

Þessir atburðir hafa veitt mikilvægar upplýsingar um dreifingu og hegðun strokulaxa, sem hafa verið notaðar til að kvarða líkanið.

Áhrif kynþroska:

Kynþroski hefur afgerandi áhrif á ágengni eldisfiska í ár. Rannsóknir sýna að ef kynþroskastuðull (GSI) mælist hærri en 0,3% að sumri bendir það til þess að fiskurinn nái kynþroska það haustið. Vegna þessa hafa verið settar reglur um ljósastýringu í kvíum til að hindra kynþroska.

Mótvægisáðgerðir:

Fjallað er um ýmsar mótvægisáðgerðir til að draga úr áhættu af erfðablöndun, þar á meðal:

- Merkingu og erfðagreiningu fiskeldisfiska
- Upprunagreiningu klakfisks

- Ný lög og reglugerðir um fiskeldi

Íslenska áhættumatslíkanið er fyrsta líkanið sem spáir fyrir um ágengni eldislaxa í ár og hefur slíkt líkan nú einnig verið tekið upp í Kanada eftir fyrirmynd íslenska matsins. Hafrannsóknastofnunin í Noregi er einnig að skoða það að taka upp þessa aðferðafræði.

Á Íslandi er laxeldi eingöngu leyft á afmörkuðum svæðum, í flestum tilfellum fjarri helstu laxveiðiám. Laxeldi hefur verið bannað í fjörðum í nágrenni helstu laxveiðiánna til að verja náttúrulega stofna fyrir erfðablöndun, sníkjudýrum og sjúkdómum.

Efnisyfirlit

1 Inngangur	7
Reiknilíkan fyrir ágengni eldislaxa í villta laxastofna	7
Tilgangur áhættumatslíkansins	7
Ferill erfðablöndunar	8
Almennar forsendur reiknilíkansins	9
1.1.1 Landfræðilegir þættir	9
1.1.2 Eldisþættir	10
1.1.2.1 Útsetning seiða	11
1.1.2.2 Mat á fjölda strokufiska	11
1.1.2.3 Mat á tíðni og stærð stroka	13
1.1.3 Áhrif kynþroska á göngu í ferskvatn	16
1.1.4 Gögn varðandi lífsferil	16
1.1.4.1 Almennt um lífsferli	16
1.1.4.2 Dreifing síðbúinna stroka	17
1.1.5 Dreifing strokulaxa	17
1.1.5.1 Stofnstærðir villtra nytjastofna	18
Áhættulíkan	18
1.1.6 Breytur og jöfnur	18
2 Yfirlit gagna	19
Tilkynntir stokatburðir	19
2.1.1 Stakir atburðir	20
2.1.2 Gönguhlutfall (L)	20
2.1.3 Stok frá Hringsdal og Laugardal 2018	21
2.1.3.1 Strokufjöldi Hringsdal/Laugadal	21
2.1.3.2 Veiði strokulaxa úr Hringsdals- og Laugardalsstrokum	22
2.1.3.3 Fitusýrugreiningar úr Hringsdals- og Laugardalsstrokum til að ákvarða lífsferil	23
2.1.3.4 Gönguhlutfall úr Hringsdals- og Laugardalsstrokum	23
2.1.4 Stok frá Haganesi 2021	23
2.1.4.1 Strokufjöldi frá Haganesi	24
2.1.4.2 Veiði strokulaxa frá stroki í Haganesi 2021	24
2.1.4.3 Fitusýrugreiningar úr Haganesi 2021 til að ákvarða lífsferil	25
2.1.4.4 Gönguhlutfall úr Haganesstrokinu	26
2.1.5 Stok frá Kvígindisdal 2023	26
2.1.5.1 Mælingar á kynþroska við slátrun í Dimlu og af strokulaxi í veiðiám	27
2.1.5.2 Gönguhlutfall fiska úr Kvígindisdal	29
Strokufiskar sem ekki var hægt að rekja til eldis á Íslandi	29

Almenn staða kynþroska í eldiskvíum	30
2.1.6 Mælingar á kynþroskastuðli (GSI) hjá öðrum framleiðendum	30
2.1.7 Áhrif kynþroska á göngu í ferskvatn	30
2.1.7.1 Mat á kynþroska.....	30
2.1.7.2 Áhrif smoltunar á upphaf kynþroska	32
2.1.7.3 Aðferðir við smoltun í íslenskri laxaeldisframleiðslu	32
2.1.8 Eftirlit með kynþroska samkvæmt 38. gr. reglugerðar	32
2.1.9 Smoltunaraðferðir annarra framleiðenda	34
2.1.10 Niðurstaða	34
2.1.11 Dreifing fiska úr snemm- og síðbúinna strokum	34
2.1.11.1 Dreifing fiska úr snemmbúnum strokum	34
2.1.11.2 Dreifing fiska úr síðbúnum strokum	35
3 Áhrif stofnstærða í ám.....	36
Ár sem eru teknar inn í áhættumat	36
3.1.1.1 Skilgreining stofneininga laxastofna – Kanadísk aðferðafræði.....	37
3.1.2 Lágmarks stofnstærð nytjastofns.....	37
3.1.3 Skilyrt við veiðiskráningu	38
Stofnstærðarmat laxa í ám á Íslandi	39
3.1.4 Veiðiskráning	39
3.1.5 Notkun teljara til að áætla veiðihlutfall	39
3.1.6 Veiðihlutfall fyrir áhættumat.....	40
3.1.7 Leiðréttingar vegna veiða & sleppa	42
Stofnstærðarsveiflur	43
4 Mótvægisáðgerðir	44
Almennt um mótvægisáðgerðir	44
Merking og erfðagreining fiskeldisfiska	45
Mótvægisáðgerðir vegna strokufiska úr eldi	45
Lært af reynslunni	46
Ný lög	46
Upprunagreining klakfisks	47
Heimildaskrá:	48

Myndaskrá

Mynd 1. Kort sem sýnir hafstrauma kringum Ísland	10
Mynd 2. Svæði þar sem laxeldi er bannað við Íslandsstrendur	11
Mynd 3. Fjöldi stroatburða þar sem tveir eða fleiri fiskar sleppa eftir fylkjum í Noregi 2009-2023.	14
Mynd 4. Eldismagn eftir fylkjum í Noregi 2009-2023.	14
Mynd 5. Fjöldi stroatburða eftir eldismagni í Noregi 2009-2023.	15
Mynd 6. Stærð og tíðni stroatburða í Noregi á árunum 2009-2023. Athugið að x-ásinn er teiknaður á log-skala.	16
Mynd 7. Kynþroskastuðull (GSI) um 100 fiska sem gengu í ár eftir strokið í Kvígindisdal.	28
Mynd 8. Dreifing strotulaxa sem veiddust í ám 2023 og búið er að staðfesta eldisuppruna.	29
Mynd 9. GSI stuðull í 11 kvíum á öllum eldissvæðum.	30
Mynd 10. Fjöldahlutföll GSI stuðuls eftir ljósaþýringarmeðferð.	31
Mynd 11. Mælingar á GSI í kví C8 hjá Háafelli bornar saman við mælingar á fiski sem var í náttúrulegu ljósi.	33
Mynd 12. Ganga strotulaxa frá Haganesi árið 2021.	35
Mynd 13. Dreifing strotulaxa frá Kvígindisdal.	36
Mynd 14. Veiðihlutfall metið með gögnum frá fiskiteljurum og veiðiskránn 42	42

Töfluskrá

Tafla 1. Tilkynttir stroatburðir á tímabilinu 2018 til 2023.	20
Tafla 2. Eldisstæði Arnarlax við Hringsdal. Tölur um fjölda útsettra seiða og talningu við slátrun	21
Tafla 3. Strotulaxar sem raktir voru til stroka 2018 við Hringsdal og Laugardal.	22
Tafla 4. Fitusýrugreiningar strotufisks úr stroki frá Hringsdal	23
Tafla 5. Gönguhlutfall úr síðbúnu stroki með ljósaþýringu og smoltun með saltfóðri.	23
Tafla 6. Útreikningur á fjölda strotufiska við Haganes 2021 út frá fóðurhlutfall (specific feeding rate). Meðalstærð strotufiska var 850 grömm.	24
Tafla 7. Strotulaxar úr snemmbúnu stroki úr Haganeskví 2021	25
Tafla 8. Fitusýrhlutfall fiska úr snemmbúnu stroki úr Haganeskví 11. júní 2021	26
Tafla 9. Útreikningur á gönguhlutfalli snemmbúins stroks (LS)	26
Tafla 10. Sekunda skráning fyrir fiska úr kví 8 í Kvígindisdal	27
Tafla 11. Mælingar á hlutfalli kynþroska fiska frá kvíastæðu við Kvígindisdal	27
Tafla 12. Hlutfall kynja 103 strotulaxa sem gengu í ár 2023	28
Tafla 13. Gönguhlutfall úr síðbúnu stroki með kynþroska fiski.	29
Tafla 14. Sýnataka fyrir GSI kynþroska mælingar frá framleiðendum sem framkvæmd var haust 2023 og snemma vors 2024.	30

1 Inngangur

Eldi á Atlantshafslaxi í sjókvíum hefur vaxið hratt á Íslandi. Frá árinu 2017 hefur Hafrannsóknastofnun haft það hlutverk að meta áhrif erfðablöndunar vegna strolaxa sem geta gengið í ár og blandast villtum laxastofnum. Rannsóknirnar beinast að því hvernig ágengi strolaxa og erfðablöndun hafa áhrif á stofngerð innlendra laxastofna. Niðurstöður þessara rannsókna veita mikilvægan vísindalegan grunn fyrir ákvarðanir stjórnvalda um þróun og skipulag laxeldis á Íslandi.

Erfðablöndun milli eldislaxa og villtra laxastofna er umhverfisleg áskorun. Rannsóknir frá Noregi, Írlandi og Kanada hafa sýnt að strolaxar blandast villtum laxastofnum í fjölda áa, sem getur haft áhrif á erfðafræðilegan fjölbreytileika og viðgang þeirra. Svipaðar vísbendingar benda til þess að strolaxar geti skapað sambærilega áhættu á Íslandi.

Hafrannsóknastofnun hefur þróað líkan til að meta fjölda eldislaxa sem gætu strokið og gengið í ár. Líkanið metur mögulegt strol á mismunandi framleiðslustigum í öllum fjörðum þar sem laxeldi er stundað. Líkanið ber niðurstöðurnar saman við viðmiðunarmörk um ágengni (4%) í þeim laxveiðiám sem það nær yfir.

Reiknilíkan fyrir ágengni eldislaxa í villta laxastofna

Skýrslan gerir grein fyrir nýjustu útgáfu á áhættumatslíkani fyrir ágengni (*e. intrusion*) eldislaxa í laxveiðiár. Tilgangur líkansins er að meta fjölda þeirra eldislaxa sem gæti tekið þátt í hrygningu á hverju ári. Hætta á erfðablöndun (*e. introgression*) eykst í beinu hlutfalli við fjölda strolaxa í ánni (Glover o.fl. 2012, 2013).

Í líkaninu er hámarksgildi fyrir ágengni eldislaxa sett við 4% og er það valið í samræmi við niðurstöður Taranger o.fl. (2015). Undir þeim mörkum er gert ráð fyrir óverulegum breytingum á erfðasamsetningu náttúrulegra stofna (Castellani o.fl. 2018). Áhrif af allt að 10% ágengni eru metin veik en áhrifin eru metin veruleg ef ágengni fer yfir 30% yfir 50 ára tímabil. Þó þarf að taka tillit til þess að náttúrulegir íslenskir laxastofnar og norski eldisstofninn (hinn svokallaði SAGA stofn) sem notaður er hérlandis, eru fjarskyldari hvor öðrum en náttúrulegir stofnar í Noregi eru við norska eldisstofna. Því þarf að gæta varúðar við ákvörðun marka.

Tilgangurinn er að tryggja að framleiðsla á eldislaxi í sjókvíum hafi ekki neikvæð áhrif á íslenska laxastofna. Valið er að meta hættuna á ásækni með áhættulíkani, sem byggir á upplýsingum úr vöktunarverkefni sem framkvæmt er árlega ásamt gögnum frá erlendum rannsóknum. Á þennan hátt er hægt að aðlag regluverk um fiskeldi í samræmi við nýjustu upplýsingar til að lágmarka áhrif eldsins á villta íslenska stofna.

Tilgangur áhættumatslíkansins

Þessi skýrsla kynnir nýja útgáfu áhættumatslíkans fyrir ágengni eldislaxa í ár með villtum íslenskum stofnum. Módelinu er ætlað að endurspegla fjölda strolaxa sem gætu tekið þátt í hrygningu í hverri á. Þessi tala tengist beint áhættunni á erfðablöndun. Ef fjöldinn fer yfir þröskuldsgildi, er hætta á því að erfðablöndun muni safnast saman með tímanum og hafa áhrif á arfgerðir náttúrulegu stofnanna. Við höfum valið að nota gildi fyrir náttúrulegt flakk villtra fiska þar sem ljóst er að stofnar hafa haldist þrátt fyrir það.

Markmiðið með matinu er að tryggja að laxeldi á Íslandi hafi ekki neikvæð áhrif á villta stofna og að bæta ímynd íslensks laxeldis. Markmiðið er að hámarka efnahagsleg og félagsleg ávinning laxeldis án þess að hafa neikvæð áhrif á villta stofna landsins.

Við kynnum niðurstöður úr eftirliti og notkun hlutfalla í dreifingarmódeli til að meta ágengni eldislaxa frá úthlutaðum eldissvæðum í íslenskar veiðiár. Módelið spáir fyrir um umfang í formi % ágengni og spáir fyrir um dreifingu stökulaxa í íslenskum veiðiám. Í síðustu útgáfu móðelsins, sem var kynnt árið 2020 og svo aftur 2022 í sambandi við umhverfismat áætlana, voru breytur stilltar út frá niðurstöðum úr 4 ára eftirliti og bestu tiltækum niðurstöðum frá alþjóðlegum rannsóknum.

Lög voru samþykkt á Alþingi (nr. 101/2019) í júní 2019, sem lögðu til breytingar á ýmsum lagagreinum tengdum fiskeldi. Samkvæmt tímabundinni ákvörðun var ráðherra falið að skipa nefnd þriggja hlutlausra vísindamanna til að endurskoða aðferðafræði sem Hafrannsóknastofnun notaði við mat á burðargetu fjarða og framkvæmd áhættumats erfðablöndunar. Ráðherra skipaði nefndina 9. mars 2020, og var Gunnar Stefánsson, prófessor í tölfraði við Háskóla Íslands, skipaður formaður hennar. Auk Gunnars voru í nefndinni Kevin Glover, forsvarsmaður stofnfræði við Norsku Hafrannsóknastofnunina (IMR) og aðjúnkt prófessor við Háskóla Bergen, og Bruce McAdam, við Háskólann í Stirling í Skotlandi. Nefndin lagði fram skýrslu sína til ráðherra 21. maí 2020.

Nefndin komst að þeirri niðurstöðu að módelið væri nýstárlegt og gagnlegt til að meta líklegan fjölda eldislaxa sem gætu strokið og gengið í ár. Breyturnar sem valdar voru til að byggja módelið á eru að mestu vel skjalfestar, rétt notaðar og rétt stilltar. Nefndin tók fram mögulegar umbætur á módelinu, þar á meðal breytingar á nokkrum breytum, innleiðingu tilviljanakenndra þátta, og inniflæði á ám sem innihalda villta hrygningastofna með færri en 60 fullorðna fiska á ári.

Samkvæmt reglugerð um fiskeldi er kveðið á um, hvort um sé að ræða eldi á frjóum laxi eða ófrjóum, skyldu til að halda skrá yfir uppruna eldislaxa, sem byggist á gagnagrunni um erfðaeefni hjá framleiðanda hrogna. Eru framleiðendur laxahrogna skyldugir til að halda skrá um erfðamerki klakfiska svo hægt sé að rekja uppruna eldislaxa sem undan þeim eru komin og sem strjúka og síðar veiðast til tiltekinna framleiðenda og kvía. Að auki verða hrognaframleiðendur að varðveita erfðaeefni frá foreldrafiskum í gagnagrunnum og halda skrá yfir hvaða foreldrafiskar eru seldir til hvernar starfsemi. Þetta tryggir að uppruna veiddra eldislaxa sé alltaf hægt að rekja til tiltekinna eldisstaðsetningar. Þetta veitir sérstöðu til að rekja áhrif einstakra strokatburða og fínstillta módelið samkvæmt gögnum.

Í þessari nýjstu útgáfu áhættumatmóðelsins höfum við aðlagð breyturnar í módelinu byggt á vaxandi gögnum um strokaborði, veidda stökulaxa og erfðasýnatöku í ám. Einnig hefur verið tekið tillit til ráðlegginga sjálfstæðu nefndarinnar og innleitt slembni (stochasticity), bæði fyrir strokaborði og fyrir stofnstærðir í ám, og stefnt er að því að innleiða fleiri ár í áhættumatinu. Líkanið byggir á því að hlutfall eldislaxa sé undir 4% til þriggja ára með 95% líkum.

Ferill erfðablöndunar

Framvindu erfðablöndunar má skipta í tvö stig:

- i. Strok laxa úr sjókví og líkur á því að þeir gangi í ár. Þetta kallast ágengi (*e. intrusion*) og er forstígr erfðablöndun.
- ii. Hrygning strokulaxa í ám, lífsferill afkomenda (hreinir eldislaxar og kynblendingar) og áhrif þeirra á erfðir og hæfni heimastofnsins.

Tvö aðskilin líkön eru notuð til að spá fyrir um þessi stig. Erlend líkön sem notuð hafa verið hafa aðallega beinst að síðara stiginu þ.e. erfðablöndun (Castellani o.fl. 2015, 2018, Verspoor o.fl. 2017). Áhættumatslíkanið er fyrsta líkanið sem spáir fyrir um ágengni eldislaxa í ár og hefur nú einnig verið tekið upp hliðstætt líkan í Kanada (Bradbury o.fl. 2019) eftir fyrirmynd íslenska matsins. Hafrannsóknastofnunin í Noregi (IMR) er einnig að skoða það að taka upp þessa aðferðafræði.

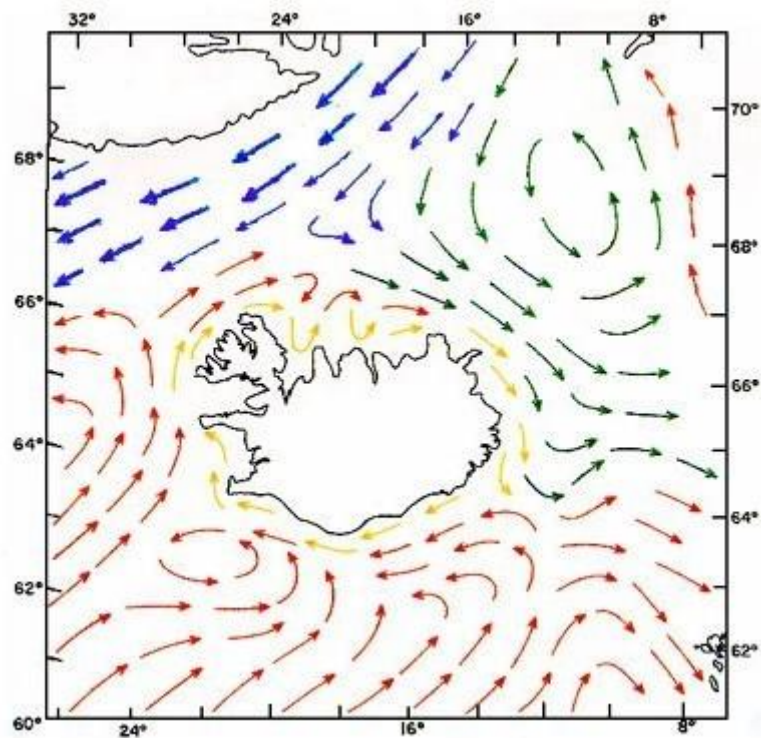
Bæði í Noregi og Skotlandi er nálægð eldis við laxveiðiár mikil og hefur svo verið í áratugi. Hér á Íslandi er einungis leyft að ala lax á Vestfjörðum og Austfjörðum þar sem laxagengd er almennt minni en í öðrum landshlutum og stærstu árnar sem fósra lax eru sérstaklega vaktaðar. Laxeldi hefur verið bannað í fjörðum í nágrenni helstu laxveiðiána til að verja náttúrulega stofna fyrir erfðablöndun, sníkjudýrum og sjúkdómum (Gudjonsson og Scarnecchia 2013). Því gegnir spálíkan mikilvægu hlutverki til að meta áhættuna af ágengni og þar með erfðablöndun eldislaxa í einstökum ám. Þar sem eldi á Atlantshafslaxi í opnum sjókvím er tiltölulega nýhafið hér á landi eru möguleikar á að fylgjast með magni, fari og afdrifum eldislaxa í íslenskri náttúru í kjölfar aukningar í framleiðslu.

Hérlandis er, fyrir tilstuðlan ákvæða í reglugerð (0540/2020 19. gr.), hægt að rekja eldislax til kvía. Þetta hefur almennt ekki verið gert annars staðar en er í þróun í Noregi, þar sem fyrirtækið Sporbarhet AS hefur sett upp sambærilegt kerfi til DNA-greininga á strokulaxi eins og er gert í íslenska áhættumatinu. Sjá nánar á vefsíðu [Blue Analytics](#).

Almennar forsendur reiknilíkansins

Með áhættumatslíkaninu er hægt að meta áhrif allra eldisstöðva á laxastofna í ám þar sem meðalstofnstærð er mælanleg. Líkanið reiknar út og spáir fyrir um fjölda strokulaxa sem ganga í ár út frá þáttum sem skipta má í þrjá hópa: Landfræðilega þætti, eldispætti og þætti tengda lífsferli og dreifingu villtra laxastofna.

1.1.1 Landfræðilegir þættir

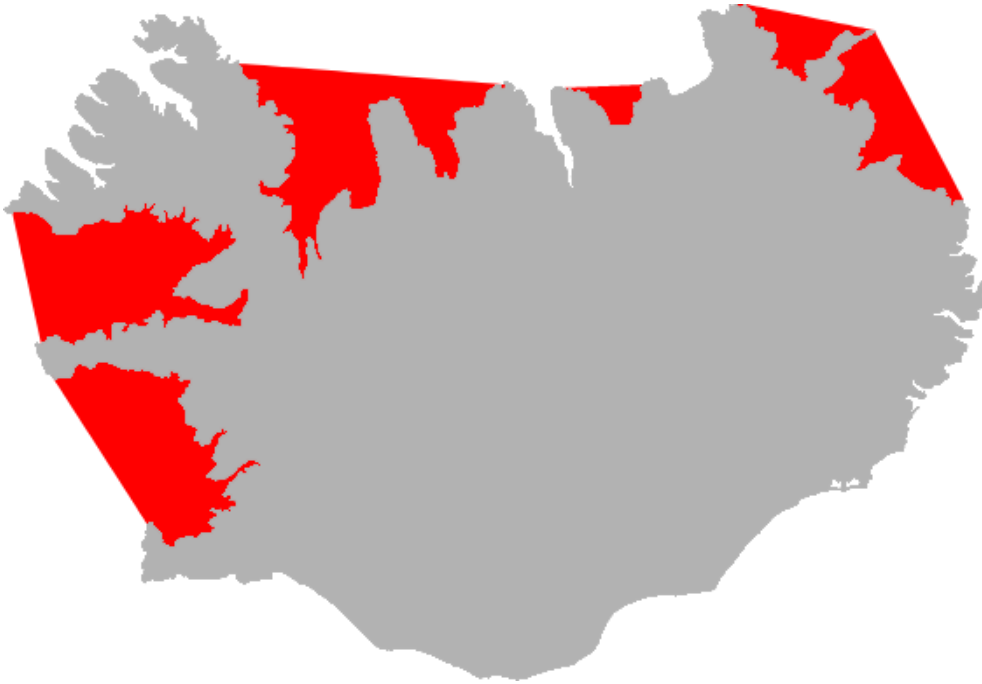


Mynd 1. Kort sem sýnir hafstrauma kringum Ísland (Jón Ólafsson 2006)

Líkanið notar landfræðilega þætti svo sem stefnu sjávarstrauma (Mynd 1), laxagengd í einstakar ár, legu þeirra. Straumstefna hefur áhrif á dreifingu strokulaxa frá sleppistað (sjá 1.4.2). Laxeldi er eingöngu leyft á afmörkuðum svæðum umhverfis Ísland, í flestum tilfellum fjarri helstu laxveiðiám að undanskildum þrem laxveiðám með langa nýtingarsögu, Langadalsá/Hvannadalsá, Laugardalsá í Ísafjarðardjúpi og Breiðdalsá í Breiðdal. 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 að mestu leyti við Vestfirði og Austfirði (Mynd 2).

1.1.2 Eldispættir

Upplýsingar varðandi sjókvíaelðið eru meðal annars staðsetning eldissvæða, lífmassi á hverjum stað, stærð og aldur laxa sem aldir eru í kvíunum, ásamt upplýsingum um strok laxa, fjölda strokufiska og dagsetningu stroksins.



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

1.1.2.1 Útsetning seiða

Reiknilíkanið notar upplýsingar varðandi útsetningu á gönguseiðum í sjókvíar og fjölda þeirra laxa sem slátrað er að lokum. Þessi gögn koma úr eldisforritinu „Fishtalk“ sem notað er af laxeldisfyrirtækjunum. Hluti þessara gagna er birt á „[Mælaborði Fiskeldisins](#)“. Matvælastofnun (MAST) hefur ítarlegri aðgang en birt er á mælaborðinu auk upplýsinga úr DNA – gagnagrunni Benchmark Genectis og er hægt að rekja strokulaxa til kvíar með þeim gögnum.

1.1.2.2 Mat á fjölda strokufiska

Rekstraraðili fiskeldis, sem hefur ástæðu til að ætla að þeir hafi misst fiska úr kvíum, skal tafarlaust tilkynna slíkan atburð til Fiskistofu, Matvælastofnunar, sveitarfélaga og næstu veiðifélaga.

Ef fyrir liggur rökstuddur grunur um strokufisk úr eldi í sjó skal Fiskistofa án tafar að eigin frumkvæði kanna hvort strok hafi átt sér stað. Staðfesti Fiskistofa strok eldisfisks skal stofnunin tryggja að brugðist sé við í samræmi við 13. gr. laga um fiskeldi (Reglugerð nr. 540/2020 gr. 45). Mánaðarlega skila rekstrarleyfishafar framleiðsluskýrslum til Matvælastofnunar í gegnum miðlægan gagnagrunn með upplýsingum um allar eldiskvíar sem eru í notkun á hverjum tíma. Að jafnaði eru um 200 kvíar í notkun. Starfsmaður Matvælastofnunar fer yfir framleiðsluskýrslurnar, greinir stöðuna hverju sinni og fer með fyrsta viðbragð ef gögnin gefa til kynna að eitthvað óeðlilegt hefur átt sér stað. Eftirfarandi gögnum er skilað inn í mánaðarlegum framleiðsluskýrslum fyrir hverja eldiskví sem er í notkun:

- a. Útsetning seiða í kvíar; uppruni (seiðastöð), tegund, árgangur og fjöldi fiska útsett í hverja kví.
- b. Skrá um hvaða eldissvæði eru í notkun og hver í hvíld.
- c. Birgðir tilgreindar fyrir hverja kví; tegund, fjöldi fiska, meðalþyngd fiska og lífmassi. Einnig heildarfjöldi, meðalþyngd og lífmassi fyrir hvert eldissvæði.
- d. Slátrað magn; tegund, fjöldi og meðalþyngd fyrir hverja kví og fyrir hvert eldissvæði. Framleiðslumagn miðast við framleiðslu slátraðra tonna af óslægðum eldisfiski úr kví.
- e. Afföll tilgreind fyrir hverja kví: fjöldi fiska, þyngd og hlutfall (%).
- f. Eldisrými í rúmmetrum, þ.e. fyrir hverja kví og heildarrúmmál kvía í notkun.
- g. Heildarfóðurnotkun og fóðurstuðull fyrir hverja kví ásamt heildarfóðurstuðli fyrir hvert eldissvæði.
- h. Yfirlit yfir sjúkdóma.
- i. Sníkjudýr.
- j. Lyfjagjöf og meðhöndlun.

Að auki hefur Matvælastofnun óskað eftir að gögnum um förgun á fisk sé skilað mánaðarlega byggt á 6. ml. 55. gr. rgl. nr. 540/2020. Út frá gögnunum sem skilað er með framleiðsluskýrslunum reiknar stofnunin út magn fóðurs fyrir hvern fisk og þannig er hægt að fá vísbendingar um hvort ósamræmi sé í uppgefnum fjölda fiska í eldiskvíum.

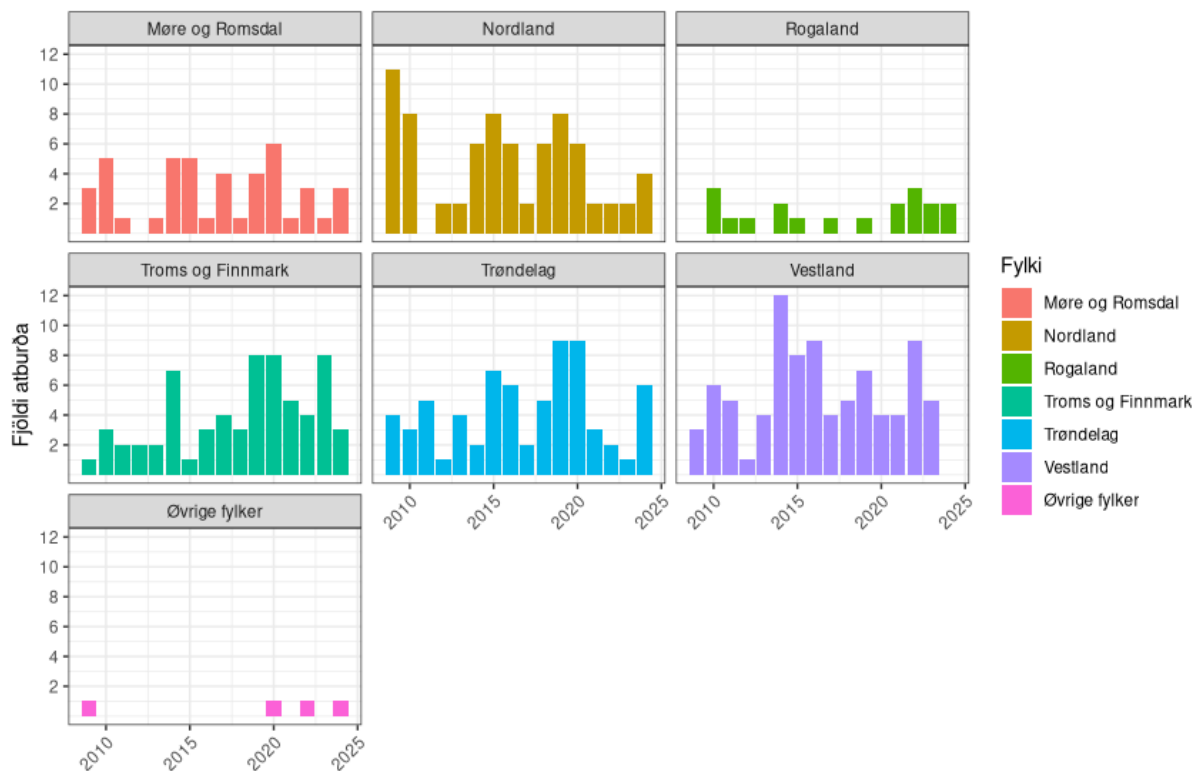
Þegar upp vaknar grunur um strok, hvort heldur sem tilkynnt er um tjón á búnaði til Matvælastofnunar eða að gögn úr framleiðsluskýrslum gefa vísbendingar um að eitthvað óeðlilegt hefur átt sér stað, þá fer fram ítarlegri greining á framleiðsluskýrslum þar sem m.a. er gerður samanburður á milli eldiskvína. Þá kallar Matvælastofnun eftir ítarlegri gögnum frá rekstraraðila og fær framleiðsluskýrslur afhentar fyrir hvern dag yfir ákveðið tímabil til þess að rýna betur í gögnin. Viðbragð stofnunarinnar vegna stroatburða byggja því m.a. á því sem fram kemur í framleiðsluskýrslum rekstraraðila. Þegar fullslátrað er úr öllum kvíum eldissvæðis er eldissvæðið gert upp og athugað hvort upplýsingarnar stemmi, þ.e. fjöldi fiska sem sett er út á eldisvæðið og í hverja kví, fjöldi sem var fargað, fjöldi affalla og fjöldi fiska sem slátrað var. Matvælastofnun hefur sett þau viðmið að ef munurinn á þeim fjölda fiska sem fara út á eldissvæði og því sem slátrað er upp úr eldissvæði er meiri en 4% má gera ráð fyrir að strok hafi átt sér stað. Þetta viðmið er þó stöðugt til endurskoðunar og fleiri þættir geta spilað inn í en 4% munur á fjölda fiska út og fjölda fiska slátrað upp svo Matvælastofnun hefji rannsókn á því hvort strok hafi átt sér stað. Með þessu eftirliti með fjölda fiska í sjókvíum er hægt að leggja mat á umfang stroatburða sem hafa verið tilkynntir til stofnunarinnar en einnig er hægt að sjá ummerki um hvort ótilkynnt strok hafi átt sér stað og hefja rannsókn á því.

Matvælastofnun gerði m.a. eftirfarandi kröfur við vinnslu nýs lagareldisfrumvarps árið 2024 m.a. með það að markmiði að geta greint möguleg strok fyrr og með aukinni nákvæmni:

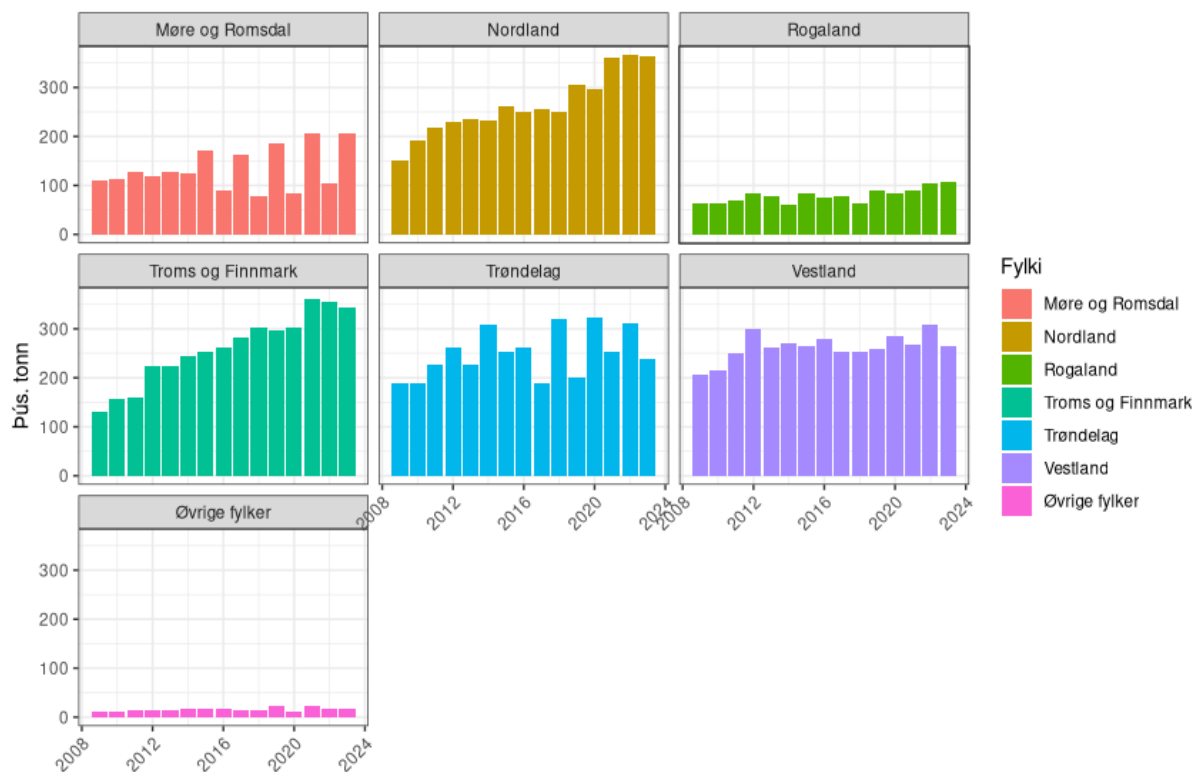
- Að þess yrði krafist að fyrirtæki telji seiði inn í hverja kví með 98% nákvæmni.
- Að ef strok ætti sér stað, yrði þess krafist að fyrirtæki teldu inn í nýja kví á staðnum til að meta flóttann frekar með 98% nákvæmni ef aðstæður leyfðu
- Að óskað yrði eftir vikulegum framleiðsluskýrslum frá framleiðendum í stað mánaðarlegra skýrslna.

1.1.2.3 Mat á tíðni og stærð stroka

Tíðni stroka sem fall af eldismagni er nauðsynleg breyta í áhættumati sem byggir á slembni (e. *stochasticity*). Þar sem strokatburðir á Íslandi hafa verið fáir er handhægast að leita til gagnagrunns Fiskeridirektoratet í Noregi (sjá hér). Tölur voru notaðar úr gagnagrunni yfir alla stök atburði sem skráðir hafa verið (Rømmingsstatistikk alle hendelser) á árabílinu 2009 til 2023. Árið 2008 var tekin upp sá staðall sem er enn í gildi (með uppfærslum) og má ætla að forsendur hafi verið svipaðar yfir þetta 15 ára tímabil. Skráðir voru 342 atburðir þar sem fjöldi strokufiska var tveir eða fleiri á þessu tímabili. Fjöldi atburða var skoðaður eftir árum og fylkjum í Noregi. Framleiðsla eftir árum og fylkjum var einnig sótt í gagnagrunn Fiskeridirektoratet (Myndir 3-6).



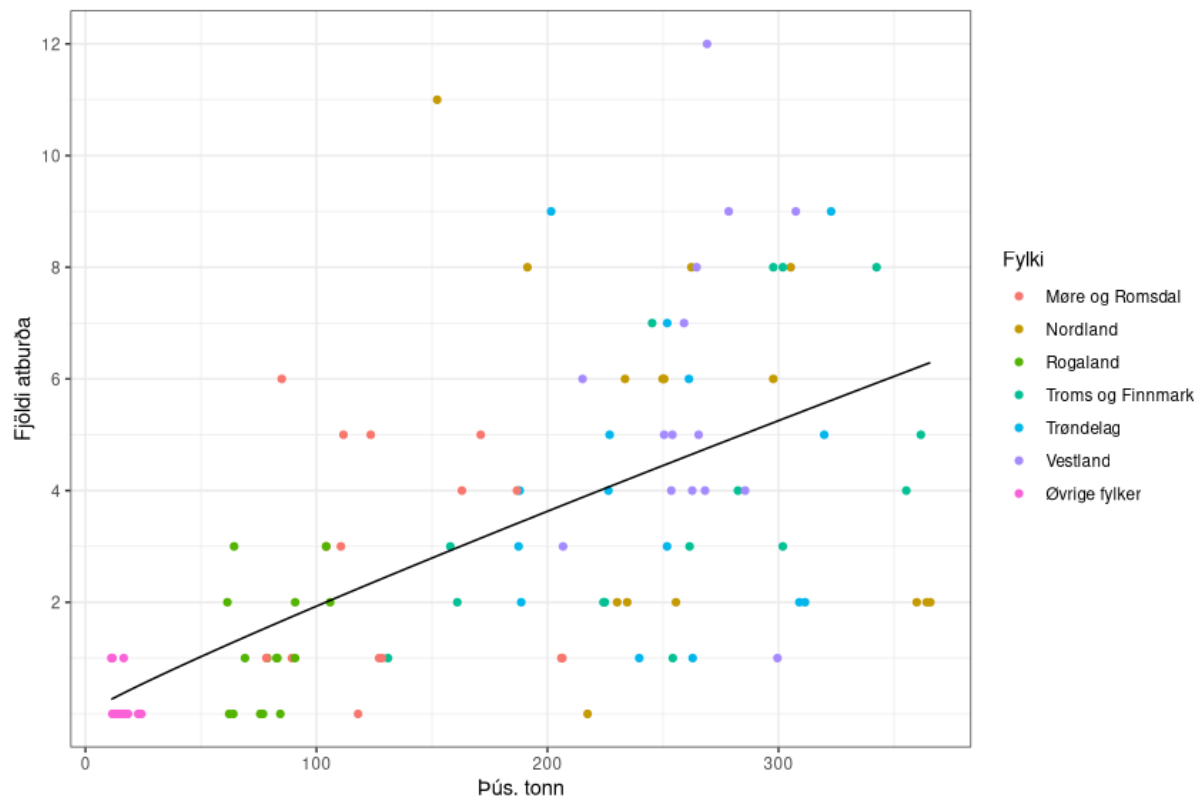
Mynd 3. Fjöldi stroatburða þar sem tveir eða fleiri fiskar sleppa eftir fylkjum í Noregi 2009-2023.



Mynd 4. Eldismagn eftir fylkjum í Noregi 2009-2023.

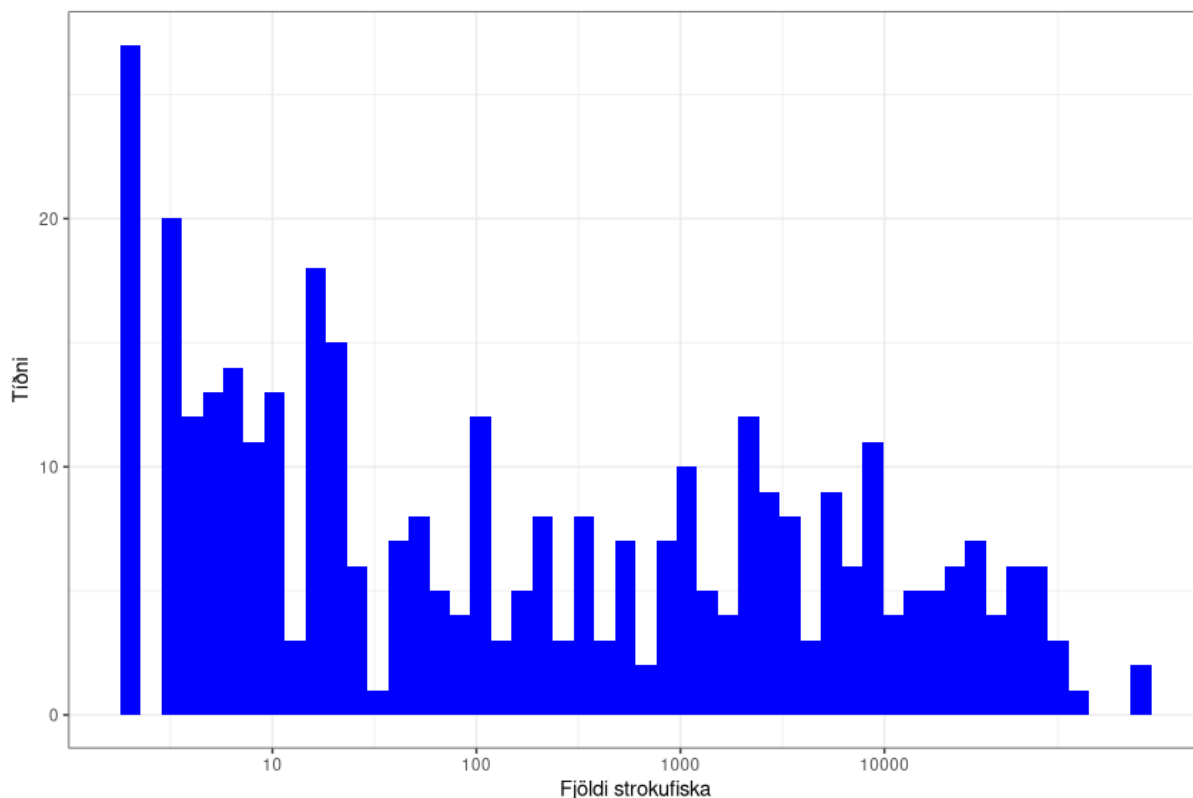
Poisson aðhvarf (glm) var notað til að meta samband eldismagns og fjölda stroatburða. Meðalfjöldi atburða á ári var metinn sem $\lambda_i = 0,029 \cdot P_i^{0,912}$ þar sem P_i er framleiðsla í þúsundum tonna. Vegna

óvissu í mati á stikum og þar sem talið er að fjöldi strokufiska í Noregi sé 2-4 sinnum meiri en uppgefnar tölur (Skilbrei o.fl. 2015) var gert ráð fyrir tvöfalt fleiri atburðum eða að tíðnin væri $\lambda_i = 0,058 \cdot p_i^{0,912}$.



Mynd 5. Fjöldi strokatburða eftir eldismagni í Noregi 2009-2023.

Stærð strokatburða er talinn vera óháð eldismagni og í áhættumatslíkani eru stærð atburða einfaldlega dregin upp úr safni fyrrnefnda 342 atburða í Noregi.



Mynd 6. Stærð og tíðni strokatburða í Noregi á árunum 2009-2023. Athugið að x-ásinn er teiknaður á log-skala.

1.1.3 Áhrif kynþroska á göngu í ferskvatn

Kynþroski hefur afgerandi áhrif á ásækni eldisfiska í ár eins og strokið frá Kvíngindisdal (sjá kafla 2.1.5) sýndi berlega, en há prósentu fisks í kvíum þar var kynþroska.

1.1.4 Gögn varðandi lífsferil

1.1.4.1 Almennt um lífsferli

Það er 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 eru strokulaxar skilgreindir sem *snemmstrokna*, ef þeir strjúka áður en þeir ná 1,5 kg þyngd og sem *síðstrokna* ef þeir eru þyngri. Villt gönguseiði ganga til sjávar yfir frekar stuttan tíma og ganga á fæðulóðir þar sem þau dvelja uns þau ganga til baka í ána eftir 1-3 ár í hafi (Jensen o.fl. 2013). Á hinn bóginn ganga eldisseiði sem strjúka úr kvíum ekki niður úr ám og hafa því annað hegðunarmynstur þegar þau verða kynþroska.

Gert er ráð fyrir því að snemmbúnir strokufiskar hafi betri rötunarhæfni en síðbúnir strokufiskar. Lax er þekktur fyrir nákvæma heimrötun að upprunaá. Hann notar þar innprentað lyktarminni um hrygningará sína. Næma tímabilið fyrir þroska þessarar lyktarinnprentunar er tengt umbreytingu úr smáseiði í sjögönguseiði (Lema og Nevitt 2004) sem á sér stað þegar fiskurinn er enn seiði í ánni. Þessi lykt sem fiskurinn hefur greytt í minni sér, dugar til að rata í rétta á en eftir því sem laxinn syndir lengra frá heimaá sinni verður lyktin einfaldlega of útpýnt til að hægt sé að greina hana, sérstaklega með tilliti til þess hve straumarnir í hafinu eru margir og kvikir. Rannsóknir benda til að lax geymir einnig í

minni sér segulsvið jarðar á fæðuslóð í hafinu og væntanlega landslagseinkenni við mynni árinna. Það eru því einnig aðrir þættir svo sem samrötun (*e. collective navigation*) og skynjun/innprentun á styrk og stefnu segulsviðs sem eru einnig hluti af rötunarhæfni villtra fiska. Sjógönguseiði ganga á fæðuslóð og að endingu til heimaár þegar þau verða kynþroska og nýta því margþættar aðferðir við rötun (Putman o.fl. 2013; Berdahl o.fl. 2016).

Af niðurstöðum vöktunar að dæma, virðast snemmbúnir strolaxar í stórum dráttum fylgja náttúrulegu eðli. Þeir leggja á minnið segulsviðsstefnu og -styrk á staðnum sem þeir strjúka, þefa af nálægum ám og halda því næst til hafs. Að ári liðnu snúa þeir aftur að strolastað, þ.e.a.s. fara að kvíastæði og í kjölfarið í ár tiltölulega nálægt kvíum. Því er reiknað með því að snemmbúið strol sé samhverft, þ.e. að það hafi bjöllulaga dreifingu og strolufiskar snúi aftur nálægt strolastað. Reiknilíkanið gerir því ráð fyrir að snemmstroknir laxar gangi til baka úr sjó í langmestu magni nærri þeim stað sem þeir sluppu út. Þeir ganga í nærliggjandi ár þegar kynþroska er náð og fiskurinn stefnir á hrygningu eftir einn eða tvo vetur í sjó. Eins og reynslan úr strokinu frá Haganesi 2021 sýnir.

1.1.4.2 Dreifing síðbúinna stroka

Dreifingarferill og far síðbúinna strolufiska er með öðrum hætti. Þeir fara ekki á fæðuslóð eins og sjógönguseiði gera. Þetta kemur vel fram í gögnum um fitusýruhlutföll sýna (sjá kafla 2.1.3). Ef þeir lifa til að ná kynþroska eftir strol, munu þeir reyna að ganga í ár til að hrygna. Þeir hafa tilhneigingu til að fylgja strandstraumum (Hansen, 2006) frá kvíum. Þeir geta farið langar vegalengdir, eða allt að 1000 km (Gudjonsson, 1991; Piccolo and Orlikowska, 2012). Flestir þeirra ganga þó í nálægar ár og fjöldi síðbúinna strolufiska í ám er í hlutfalli við magn eldis á svæðinu (Fiske o.fl., 2006). Til að mynda í Skotlandi, ganga mun færri strolaxar upp í ár á austurströndinni, þar sem eldi er ekki til staðar, en á vesturströndinni þar sem eldi er stundað (Green o.fl., 2012, Youngson o.fl., 1997).

Síðbúin strol sem átt hafa sér stað á Vestfjörðum fylgja þessari meginreglu og fylgja fiskar meginstraumum og ganga frekar í ár á Norðurlandi en í Breiðafirði. Dreifingarsviðið er víðara en þeirra sem strjúka í snemmbúnu stroki og er um 500 - 600 km og lögun dreifingar teygð í straumátt.

Fjarlægð eldissvæða frá hverri á er mæld og sett inn í 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 líkur á göngu aukist með rót af stofnstærð þannig að það er $1,41 \times$ líklegra að fiskur gangi í á A en í B.

1.1.5 Dreifing strolaxa

Til að spá fyrir um í hvaða á strolax fer í, eru stærðir stofna áa (Rx) og fjarlægðir (D) frá strolastað notaðar. Fjarlægðin (D) er jákvæð ef sundferill er réttisæl frá strolastað en neikvæð ef ferillinn er rangsæl um landið. Báðar tölur eru umbreyttar og síðan skalaðar með því að deila með hámarksgildi hvers eiginleika. Stofnstærðinni er umbreytt með því að nota kvaðratrót, en fjarlægðin er umbreytt með fallinu

$$T(D) = e^{-(D/b)^2}$$

Breytan b stjórnar því hversu langt laxinn mun synda frá eldisstað. Sértilvik er notað fyrir síðbúna strolufiska þar sem þeir hafa tilhneigingu til að fara með straumunum; því má búast við því að

dreifingin sé skekkt með tilliti til hafsstrauma, sem liggja að mestu réttisælis um landið. Notað er annað b fyrir $D > 0$ og $D < 0$ í síðbúnum strokum til að taka það með í reikninginn. B-gildin eru valin þannig að hlutfall samþættingar F frá $-\infty$ til 0 miðað við heildar samþættinguna sé jafnt hlutfalli laxa sem búist er við að syndi á móti straumnum. Ef búist er við að dreifingin sé samhverf, getur sama b verið notað fyrir bæði $D > 0$ og $D < 0$. Umbreyttu og skoruðu eiginleikarnir eru síðan margfaldaðir, staðlaðir og notaðir sem líkur fyrir hverja á, þar sem á er dregin að tilviljun fyrir hvern strokulax.

Fyrir snemmbúin strok er $b = 140$ óháð straumstefnu en 240 fyrir síðbúin strok og gert er ráð fyrir að 20% fiska leiti á móti straumstefnu.

1.1.5.1 Stofnstærðir villtra nytjastofna

Í fyrra áhættumati var, sem og nú, byggt á upplýsingum úr veiðidagbókum sem skráðu veiði og sleppingum laxa, og gögnum úr fiskiteljurum (Jónsson o.fl., 2008). Var gert ráð fyrir að veiðiálag væri um 50%. Í þessari nýju útgáfu hefur þetta verið endurmetið að nýju, sjá kafla 3, um stöðu stofna. Því eru stofnarnir metnir með nákvæmari hætti í nýju útgáfunni.

Áhættulíkan

1.1.6 Breytur og jöfnur

Reiknilíkanið áttar fjölda strokulaxa út frá umfangi eldis í hverjum firði og spár fyrir um ágengni þeirra úr hafi og dreifingu ágengra eldislaxa í vatnsföll. Líkanið byggir á þeim forsendum sem taldar voru upp hér á undan. Í þessum kafla verður gerð grein fyrir hinum ýmsu breytum sem líkanið byggir á. Hér á eftir eru þessar breytur skýrðar og lagt mat á stærð þeirra út frá niðurstöðum vöktunar.

Breytur reiknilíkansins eru:

- Magn eldis (P_x) gefið í þús. tonnum á ári á eldissvæði x .
- Strokaburðir eru hermdir árlega út frá Poission dreifingu með meðaltalið $\lambda = 0,058 \cdot P^{0,912}$, þar sem P er heildareldismagn. Atburðum er dreift á eldissvæði eftir fjölkostadreifingu (multinomial) þar sem líkur eru í hlutfalli við eldismagn hvers svæðis.
- Strokaburðum er skipt í síðbúin og snemmbúin strok eftir tvíkostadreifingu. Hlutföllin $2/3$; $1/3$ er notað fyrir síðbúnum vs. snemmbúin strok atburði, merkt sem GP fyrir síðbúin strok og $1-GP$ fyrir snemmbúin strok. Hingað til hafa atburðir á Íslandi verið fáir og styðja ekki tölfræðilega greiningu. Tölfræði frá [Skotlandi](#) og Noregi bendir til þess að hlutfallið sé $2:1$ fyrir síð-og snemmbúið strok atburði, í þeirri röð (Marine Scotland, 2025 og Fiskeridirektoratet, 2025). Þetta hlutfall verður notað í áhættumódelinu.
- Fjöldi fiska í stroki S er dreginn úr dreifingu atburða í Noregi (sjá Mynd 6).
- Endurkomuhlutfall snemmstrokinna fiska (L_S) er hlutfall fiska úr snemmstrokum sem ganga í ferskvatn. Í líkaninu er $L_S = 0,0025$ sem er miðgildi endurkomuhlutfalls í tilraun Skilbrei o.fl. (2015).

- Endurkomuhlutfall síðstrokinna fiska (L_G) er hlutfall fiska úr síðstrokum sem ganga í ferskvatn. Í líkaninu er $L_G = 0,0016$ sem byggir á stroki frá Hringsdal/Laugardal og að mótvægisáðgerðir gegn kynþroska virki. Sjá nánar í kafla 4.
- Heildarfjöldi strokulaxa sem gengur í ferskvatn (E) úr stroki er margfeldi strokstærðar S og viðeigandi ágengisstuðuls.

2 Yfirlit gagna

Tilkynntir stroatburðir

Tíðni og stærð íslenskra stroka er nokkurn vegin í samræmi við norsk gögn (sjá kafla 1.1.2). Þó er munurinn sá að ekki er mat á stærð lítilla stroka í íslenskum gögnum með strok með fáum fiskum (undir 100 fiskar) eru algeng í norsku gögnunum (Tafla 1 og Mynd 6).

Fyrstu strokin eftir að áhættumat erfðablöndunar var stofnsett urðu í óveðri þann 11. febrúar 2018 en þá urðu strok laxa úr kvíum í Hringsdal í Arnarfirði og úr kvíum í Laugardal í Tálknafirði. Samanlagt struku um 27 þúsund fiskar úr þessum tveimur strokum (Tafla 1).

Tveimur árum seinna varð strok frá Arctic Fish frá Eyrarhlíð í Dýrafirði en það var mun minna umfangs og tveir fiskar veiddust sem voru grunaðir að vera úr því stroki. Var annar staðfestur með DNA greiningu en hinn tókst ekki að staðfesta. Þessir fiskar gengu í Víðidalsá og Staðará í Steingrímsfirði. Út frá ágengihlutfalli má ætla að stærðargráða stroksins hafi verið um 1.000 fiskar.

Stærsta strokið varð líklegast þann 11. júní 2021 við pokaskipti á kví númer 11 við Haganes en þá sluppu um 83.000 fiskar sem voru 800 til 1.000 grömm frá fyrirtækinu Arnarlax. Þetta er eina snemmbúna strokið sem strokufiskar í ám hafa verið raktir til.

Afdrifaríkasta strokið er án efa tiltölulega lítið strok frá Arctic Fish í Kvígindisdal í Patreksfirði, líklega kringum 8. ágúst 2023. Þar struku um 3.500 fiskar, það er talið er. Mikill fjöldi þeirra gengu í ferskvatn haustið 2023 og veiddust yfir 400 þeirra í aðgerðum haustið 2023 og sex laxar veiddust árið 2024 sem raktir voru til þessa stroks.

Tafla 1. Tilkynntir stroatburðir á tímabilinu 2018 til 2023. Ástæður stroks eru flokkaðar til samræmis við flokkun í Noregi. Tafla byggir á gögnum frá MAST að frátöldu mati á fjölda strokufiska sem er metið í þessu áhættumati. Blámerkt svæði tilgreina atburði sem strokufiskar hafa verið raktir til.

Fyrirtæki	Fjörður	Staðsetning	Dags. atburðar	Dags. tilkynnt	Áætlaður fjöldi	Meðal stærð	Ástæða atburðar	Nánar
Arnarlax	Arnarfjörður	Hringsdalur	11.2.2018	12.2.2018	21.000	7.2 kg	Almennur rekstur	Vont veður
Arnarlax	Tálknafjörður	Laugardalur	11.2.2018	12.2.2018	5.250	3.5 kg	Almennur rekstur	Vont veður
Arnarlax	Tálknafjörður	Laugardalur	6.7.2018	7.7.2018	300	3.5 kg	Vinna við kví	Gat á netpoka
Arnarlax	Arnarfjörður	Hringsdalur	21.1.2019	22.1.2019		1.3 kg	Vinna við kví	Gat á netpoka
Arnarlax	Tálknafjörður	Laugardalur	16.8.2019	17.8.2019		280 g	Óþekkt	
Fiskeldi	Glímeyri	Berufjörður	17.9.2019	17.9.2019	10		Vinna við kví	Slit í netpoka
Arctic Sea Farm	Dýrafjörður	Eyrarhlíð	1.2.2020	1.2.2020	1.000	2.4 kg	Almennur rekstur	Vont veður
Arnarlax	Arnarfjörður	Hringsdalur	2.4.2020	2.4.2020		7.2 kg	Almennur rekstur	Vont veður
Arnarlax	Patreksfjarðarfl	Eyri	15.4.2020	15.4.2020			Almennur rekstur	Vont veður
Arnarlax	Tálknafjörður	Laugardalur	8.5.2021	8.5.2021	1		Vinna við kví	Lúsatalning
Arnarlax	Arnarfjörður	Haganes	29.8.2021	29.8.2021	83.000	800 g	Vinna við kví	Pokaskipti
Arnarlax	Tálknafjörður	Laugardalur	29.10.2022	29.10.2022		105 g	Óþekkt	Gat á netpoka
Háafell	Ísafjarðardjúp	Skarðshlíð	27.2.2023	27.2.2023		500 g	Vinna við kví	Gat á netpoka
Arctic Fish	Patreksfjarðarflói	Kvígindisdalur	ágú.23	20.8.2023	3.500	6.2 kg	Vinna við kví	Gat á netpoka
Samtals					114.061			

2.1.1 Stakir atburðir

Þeir stroatburðir þar sem eldislaxar hafa sannanlega skilað sér í ferskvatn hafa hver um sig sína sérstöðu. Fjallað er hér um atburðina 2018 í Hringsdal í Arnarfirði og úr kvíum í Laugardal í Tálknafirði saman, þar sem þeir eru eins að gerð og gerðust í sama óveðrinu. Í þessum strokum er um að ræða fisk sem er komin nálægt sláturþyngd og er skammt kominn á veg í kynþroska. Því næst er tekið fyrir strokið við Haganes 2021 en þar var um snemmbúið strok að ræða þar sem fiskarnir ganga á fæðuslóð og éta villta fæðu og hafa því annað hegðunarmynstur. Að síðustu er tekið fyrir strokið í Kvígindisdal þar sem mikill kynþroski var í kví og fiskur kominn að slátrun. Einnig verður rætt sérstaklega um strokulaxa sem ekki voru raktir til stroka.

2.1.2 Gönguhlutfall (L)

Gönguhlutfall (migration rate) er ákvarðaður af hlutfalli strokulaxa sem ganga í ár, óháð því hvort að þær teljist hafa nytjastofn eða ekki. Í þessu samhengi er nauðsynlegt að framkvæma eftirlit í litlum ám nálægt eldissvæðum, þar sem líklegast er að finna strokulaxa.

Tölurnar sem fengnar eru úr stangveiði í ám og öðrum veiðiaðferðum eru síðan notaðar til að ákvarða gönguhlutfall stroatburða. Heildarveiðitölur strokulaxa, sem hægt er að rekja til tiltekinna stroatburða þar sem fjöldi strokufiska hefur verið metin, eru nýttar.

Hins vegar, þar sem ekki veiðast allir strokulaxar er nauðsynlegt að áætla veiðihlutfallið til að fá nákvæmustu myndina af heildarfjölda strokulaxa sem ganga í árnar frá tilteknum stroatburði.

Veiðihlutfall strokufiska í ám með skráða laxveiði (C_{RR}): Veiðihlutfall er áætlað 24% sem meðal-veiðihlutfall, sjá kafla 3.

Veiðihlutfall strokufiska í ám í eldissvæðum (C_{NR}): Þar er notað hærra hlutfall eða 50% þar sem veiðiálagið er hærra.

N_R er reiknað sem:

$$N_R = \frac{N_{RR}}{C_{RR}} + \frac{N_{NR}}{C_{NR}}$$

Þar sem N_R táknar heildarfjölda strolulaxa í ám, N_{RR} er fjöldi veiddra fiska í ám með skráðri veiði, N_{NR} er fjöldi veiddra fiska á/nærri eldissvæðum, og C_{RR} og C_{NR} eru áætlað veiðihlutfall í þessum ám.

Gönguhutfallið, L_S er reiknað sem:

$$L_S = \frac{N_R}{N_{strolufiskar}}$$

Þar sem $N_{strolufiskar}$ táknar mat á heildarfjölda fiska sem sluppu í atburðinum. N_R er heildarfjöldi strolulaxa í ám. Fyrir snemmbúið strol yfir 3 ár, þ.e. 1SW-3SW, en í síðbúnum strolum koma fiskarnir flestir fram saman ár.

2.1.3 Strol frá Hringsdal og Laugardal 2018.

Hér er um að ræða fisk sem er komin nálægt sláturþyngd en líklega ókynþroska. Strolkið varð í febrúar.

2.1.3.1 Strolufjöldi Hringsdal/Laugadal

Strolufjöldi var metinn út frá fjölda bólusettra seiða, skráðum afföllum og fjölda slátraðra fiska. Á þessum tíma hafði MAST ekki komið upp því kerfi sem nú er notað við að meta strol og því var stærð strolkins metið af starfsmönnum Hafrannsóknastofnunar. Fengin voru öll nauðsynleg gögn frá Arnarlax til verksins.

Gögn frá kvíum Arnarlax við Steinanes voru einnig skoðuð til samanburðar til að bera saman breytileika meðaldauða á milli eldissvæða. Rýrnun þar var að meðaltali 18,9% og staðalfrávik hennar 3,2%. Í Hringsdal voru strol tilkynnt úr kvíum nr. 2 og nr. 6 og voru bornar saman tölur úr kvíum 1 og 3-5.

Tafla 2. 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.

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%
			s	4,1%

Náttúruleg afföll voru sambærileg í fimm af sex sjókvíum í Hringsdal (Tafla 2) og svipuð og sú rýrnun sem varð við Steinanes (18,9%) þar sem varð ekki strol. Meðal afföll í þessum fimm kvíum voru 21,2%

og staðalfrávik 4,1%. Kví #2 var ekki tekin með í þennan útreikning þar sem ljóst virðist að þaðan hafi fiskur strokið en eins og fyrr segir var mögulegt stök tilkynnt úr kvíum #2 og #6. Hins vegar virtist tap á fiski ekki vera meira í kví #6 en í öðrum kvíum og því var ályktað að óverulegt stök hefði verið úr þeirri kví ef nokkuð. Gert er því ráð fyrir að allt stök í Hringsdal hafi verið úr kví #2. Fjöldi stökulaxa er metinn með því að draga náttúruleg afföll frá heildar afföllum samkvæmt jöfnu:

$$\text{Fjöldi stökulaxa} = \text{heildar afföll} - \text{dauði} = (34,8\% - 21,2\% = 13,6\%).$$

Þar sem 159.000 fiskar voru settir í kví er því fjöldi stökulaxa 21.600. Ekki var hægt að nota þessa aðferð fyrir kvíastæðu í Laugardal þar sem fyrrgreindar tölur voru ekki jafn áreiðanlegar. Með því að gera ráð fyrir sambærilegum endurheimtum í ám úr báðum stökum er hins vegar hægt að meta stök frá Laugardal óbeint miðað við endurheimtan fjölda stökulaxa í ám frá hvorri kvíastæðu. Þar sem rekja má þrjá stökulaxa til Laugardals, samanborið við 12 laxa frá Hringsdal, má gera ráð fyrir því að 1/4 fjöldans úr Hringsdal hafi sloppið frá kvíastæðu í Laugardal, er heildarfjöldi eldislaxa sem struku frá Haganesi og Laugardal í febrúar 2018 samtals er því áætlaður 27.000 fiskar.

Óvissa í mælingu er metin 20%, þannig að áætlað er 27.000 ± 5200 fiskar hafi strokið.

2.1.3.2 Veði stökulaxa úr Hringsdals- og Laugardalsstökum

Alls voru raktir 15 laxar til þessara tveggja stroka. Tíu þessara fiska veiddust sama ár og fimm laxar árið eftir (Tafla 3).

Tafla 3. Stökulaxar sem raktir voru til stroka 2018 við Hringsdal og Laugardal. Tíu fiskar veiddust 2018 og aðrir fimm 2019.

Fiskur Nr.	Veðiá (staðsetning)	Seiðastöð (fyrirtæki)	Eldisstaður (fjörður)	Dags:
F2018001	Selá (Ísafjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Laugardalur (Tálknafjörður)	24.7.2018
F2018002	Staðará (Steingrímsfjörður)	Íspór (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	30.7.2018
F183110	Staðarhólsá/Hvolsá (Breiðafj.)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Laugardalur (Tálknafjörður)	18.8.2018
F181303	Mjólka (Arnarfjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	31.8.2018
F183504	Vatnsdalsá (Húnaflói)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Laugardalur (Tálknafjörður)	31.8.2018
F183503	Eyjafjarðará (Eyjafjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	9.6.2018
F2018009	Laugardalsá (Ísafjarðardjúp)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	16.9.2018
F2018010	Fjarðarhornsa (Breiðafjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	25.9.2018
F2018011	Fífustaðadalssá (Arnarfjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	15.10.2018
F2018012	Fífustaðadalssá (Arnarfjörður)	Bæjarvík, (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður)	15.10.2018
F192504	Mjólka (Arnarfjörður)	Íspór (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður) ¹	30.8.2019
F192514	Mjólka (Arnarfjörður)	Íspór (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður) ¹	30.8.2019
F192503	Mjólka (Arnarfjörður)	Bæjarvík (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður) ¹	30.8.2019
F192515	Mjólka (Arnarfjörður)	Bæjarvík (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður) ¹	30.8.2019
F192515	Mjólka (Arnarfjörður)	Bæjarvík (Arnarlax)	Hringsdalur (Arnarfjörður) ¹	30.8.2019

Dreifing stökulaxa úr þessu stroki fylgdi því mynstri sem búist var við fyrir síðbúin stök, það er meira til norðurs og var dreifingarsvæði um 500 kílómetrar. Flestir fiskar komu upp nærri stökstað. Sex fiskar komu í ár með nytjastofni en níu laxar í ár nærri stökstað sem ekki teljast hafa nytjastofn.

2.1.3.3 Fitusýrugreiningar úr Hringsdals- og Laugardalsstrofum til að ákvarða lífsferil

Tiltölulega nýlega hefur verið þróuð aðferð sem byggir á hlutfallsstyrk á vissum fitusýrum (FA) til að finna hve langt er frá stroki eldisfiska. Þannig er hægt að greina fiska sem fara á fæðuslóð og nærast þar á villtri fæðu samanborið við þá sem hafa sloppið seint í framleiðsluferlinu. Greining FA hlutfalls byggir á því að mikið magn er af fitusýrunni línólsýru (18:2n6) sem á uppruna sinn aðallega í plöntum, en olía og mjöl úr þeim (svo sem soja og repju) er notað í laxafóður. Lítið er um línólsýru í villtri fæðu fiska og því er styrkhliði hennar mun lægri í villtum laxi. Eldislax í kví hefur um tífalt hærra hlutfall af línólsýru en villtur fiskur en ef eldislax strýkur snemma og gengur á fæðuslóð verður hlutfallið sambærilegt við hlutfallið í villtum fiskum. Í þessu tilfelli voru greindir þeir fiskar sem veiddust 2019 eftir meira en ársdvöl sem frjálsir laxar í sjó. Ef þeir hafa neytt villtrar fæðu mun þess sjá merki í fitusamsetningu þeirra. Niðurstöður bentu eindregið til að fiskarnir hafi eingöngu nærst á fiskeldisfóðri yfir það ár sem þeir sluppu (Tafla 4).

Tafla 4. Fitusýrugreiningar strokufisks úr stroki frá Hringsdal. Fiskarnir voru veiddir ári eftir að þeir struku og hafa eingöngu étið fóður á því tímabili, væntanlega nálægt eldiskvíum.

No	Hlutfall C18:2n6	Strokgerð	Vatnsfall	Eldisstaður	Dagur (veiði eða móttaka)
F192514	13,7	Síðbúið	Mjólka	Hringsdalur (Arnarfjörður)	30.8.2019
F192504	15,4	Síðbúið	Mjólka	Hringsdalur (Arnarfjörður)	30.8.2019
F192515	15,3	Síðbúið	Mjólka	Hringsdalur (Arnarfjörður)	30.8.2019
F192513	15,0	Síðbúið	Mjólka	Hringsdalur (Arnarfjörður)	30.8.2019
F192503	15,5	Síðbúið	Mjólka	Hringsdalur (Arnarfjörður)	30.8.2019

2.1.3.4 Gönguhlutfall úr Hringsdals- og Laugardalsstrofum

Eins og fram kemur að ofan veiddust 15 laxar úr þessum strofum. Sex í ám þar sem veiðiskýrslum er skilað reglulega og níu í minni ám nærri eldissvæðum, þar af flestir í Mjólka. Út frá áætluðu veiðihlutfallið metið 0,16% (Tafla 5).

Tafla 5. Gönguhlutfall úr síðbúnu stroki með ljósastýringu og smoltun með saltfóðri.

Hringsdal/Laugardal strok 2018			
	N	C	N _{tot}
Strokulaxar í ám með skráða veiði (RR)	6	24%	25
Strokulaxar í smærri ám (NR)	9	50%	18
Summa: (N _R)			43
Fjöldi strokulaxa			27.000
Gönguhlutfall L _s			0,16%

2.1.4 Strok frá Haganesi 2021

Hér var um að ræða fisk sem var að meðaltali 850 grömm. Strokið er því snemmbúið strok og fiskar fara á fæðuslóð yfir vetur og éta villta fæðu, snúa til baka að vori og leita uppgöngu að jafnaði nærri strok stað. Strokið varð í júní 2021 og þeirra var ekki að vænta í ám fyrr en vorið 2022.

2.1.4.1 Strokufjöldi frá Haganesi

Þegar þetta strok gerðist hafði MAST útbúið sitt verklag við mat á strokum. Engu að síður var strokið einnig metið af starfsmömmum Hafrannsóknastofnunar og tvær aðferðir notaðar. Hér að neðan eru skýringar á mæliaðferðum en Hafrannsóknastofnun gerði samanburð á tveimur aðferðum og fékk svipaða niðurstöðu úr báðum aðferðum (sjá að neðan). Niðurstöður Hafrannsóknastofnunar og MAST voru samhljóma.

Tafla 6. Útreikningur á fjölda strokufiska við Haganes 2021 út frá fóðurhlutfall (specific feeding rate).
Meðalstærð strokufiska var 850 grömm.

Fjöldi fiska 1 júní	105.181
Hlutfall eftir strok	38%
Fjöldi eftir strok að viðbættum 16.000 fiskum sem bætt var í kví í júlí	39.522
Fjöldi í kví að frádregnum viðbótarfiskum	23.522
Fjöldi sem strauk	81.659

Í töflu 6 er strok frá Haganesi 2021 reiknað út frá hlutfallinu Specific Feeding Rate (SFR) strok/(SFR) meðaltal. Fyrir strok voru 105 þúsund fiskar í kvínni og SFR það sama og meðaltal annarra kvía. Eftir strok hafði hlutfallið fallið niður í 38% en þá hafði þegar verið bætt við 16 þúsund fiskum í byrjun júlí sem hækkaðir hlutfallið. Að þeim 16 þúsund fiskum frádregnum fæst að þeir fiskar sem eftir voru eftir strok hafa verið um 23 þúsund. Fjöldinn sem strauk hefur er því samkvæmt þessu verið um 82 þúsund fiskar. Mjög svipuð niðurstaða fæst ef borin er saman slátrun úr kví miðað við slátrun úr samanburðarkvíum (=81 þúsund fiskar) eða þegar bólusetningar- og slátrunarhlutfall er notað eins og gert var í Hringsdal (=80 þúsund fiskar).

2.1.4.2 Veiði strokulaxa frá stroki í Haganesi 2021.

Alls veiddust 32 laxar úr strokinu í Haganesi. Þar af komu tveir árið 2021, 25 veiddust árið 2022 og fimm árið 2023. Fiskarnir komu flestir upp í ár nærri eldisstað (Tafla 7) Tafla 7. Flestir fiskar komu upp í Mjólka eða 20 fiskar, fjórir fiskar í Ósá í Patreksfirði og tveir í Sunndalsá.

Tafla 7. Strokulaxar úr snemmbúnu stroki úr Haganeskví 2021. Tveir fiskar veiddust strax árið 2021 annars vegar í sjó og hinsvegar á stöng í Sunndalsá, 24 sem veiddust í Mjólka og Sunndalsá í Arnarfirði og Ósa í Patreksfirði 2022 og fimm fiskar veiddust 2023 þar af einn í Kárastaðaá á Snæfellsnesi og einn í Húsadalsá í Steingrímsfirði.

Fiskur Nr.	Veiðia	Landshluti	Eldisstaður (fjörður)	Dagsetning
F214304	í sjó	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2021
F214306	Sunndalsá	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	8.9.2021
F181507	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	haust 2022
F181509	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	haust 2022
F181511	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	haust 2022
F181512	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	24.8.2022
F181513	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	haust 2022
F181516	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2022
F181518	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2022
F181519	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2022
F181521	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2022
F181522	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2022
F181527	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2022
F181531	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2022
F181532	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2022
F181533	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	25.8.2022
F181555	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2022
F181535	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	17.9.2022
F214310	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	14.9.2022
F214311	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	14.9.2022
F214312	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	15.9.2022
F214313	Mjólka	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	15.9.2022
F214336	Ósa	Patreksfirði	Haganes (Arnarfjörður)	16.9.2022
F214339	Ósa	Patreksfirði	Haganes (Arnarfjörður)	21.9.2022
F214340	Sunndalsá	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	12.9.2022
F214342	Sunndalsá	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	13.9.2022
F238205	Botnsá	Tálknafirði	Haganes (Arnarfjörður)	24.10.2023
F231971	Húsadalsá	Steingrímsfirði	Haganes (Arnarfjörður)	26.10.2023
F237132	Sunndalsá	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	16.10.2023
F237177	Kársstaðaá	Snæfellsnes	Haganes (Arnarfjörður)	5.11.2023
LaxF_F8	Fífustaðadalsá	Arnarfirði	Haganes (Arnarfjörður)	18.9.2023

2.1.4.3 Fitusýrugreiningar úr Haganesi 2021 til að ákvarða lífsferil

Til frekari staðfestingar á lífsferli var gerð fitusýrugreining á þeim fiskum sem komu úr Haganes stroki auk fiska sem ekki tókst að greina með arfgerðagreiningu en gætu verið úr þessu sama stroki (Tafla 8). Einnig voru til samanburðar mæld fjögur sýni af villtum fiski.

Tafla 8. Fitusýruhlutfall fiska úr snemmbúnu stroki úr Haganeskví 11. júní 2021. Til samanburðar er hlutfall línólsýru (18:2n6) í villtum fiski sem veiddist í Mjólka á sama degi. Meðaltalið í villtum fiski og eldisfiski sem veiddist í Ósa er það sama.

Sýni:	Hlutfall C18:2n6	Strokgerð	Vatnsfall	Eldisstaður	Dagur (veiði eða móttaka)
F214310	2,1	snemmbúið	Mjólka (Arnarfjörður)	Haganes (Arnarfjörður)	14.9.2022
F214311	1,4	snemmbúið	Mjólka (Arnarfjörður)	Haganes (Arnarfjörður)	14.9.2022
F214312	1,6	snemmbúið	Mjólka (Arnarfjörður)	Haganes (Arnarfjörður)	15.9.2022
F214313	1,6	snemmbúið	Mjólka (Arnarfjörður)	Haganes (Arnarfjörður)	15.9.2022
F181519	1,3	snemmbúið	Mjólka (Arnarfjörður)	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2022
F181518	1,1	snemmbúið	Mjólka (Arnarfjörður)	Haganes (Arnarfjörður)	30.8.2022
F214336	1,0	snemmbúið	Ósa (Parteksfjörður)	Haganes (Arnarfjörður)	16.9.2022
F214337	1,1	snemmbúið	Ósa (Parteksfjörður)	Engin samsvörun ¹	21.9.2022
F214338	1,0	snemmbúið	Ósa (Parteksfjörður)	Tjaldanes (Arnarfjörður) ²	21.9.2022
F214339	0,9	snemmbúið	Ósa (Parteksfjörður)	Haganes (Arnarfjörður)	21.9.2022
F181528	0,9	villtur lax	Mjólka (Arnarfjörður)	villtur	30.8.2022
F181510	1,1	villtur lax	Mjólka (Arnarfjörður)	villtur	30.8.2022
F181530	0,9	villtur lax	Mjólka (Arnarfjörður)	villtur	30.8.2022
F181520	1	villtur lax	Mjólka (Arnarfjörður)	villtur	30.8.2022

¹Ekki náðist að arfgeragreina en líklega úr stroki úr Haganeskví - ²Skráður í Tjaldanesi en að líkindum einnig úr Haganesstroki.

Niðurstöður sýna vel að allir þeir fiskar sem mælt var úr sýndu merki þess að éta eingöngu villta fæðu. Þó virðist sýni úr fiski sem veiðist í Mjólka með ívið herra hlutfall línólsýru sem gæti gefið til kynna að þeir hafi eitthvað nartað í laxafóður á leið sinni fram hjá heimakvinni í Haganesi.

2.1.4.4 Gönguhlutfall úr Haganesstrokinu.

Gönguhlutfallið úr Haganesstrokinu var metið 0,07% (Tafla 9). Gert er ráð fyrir að veiðihlutfall hafi verið um 60% (Guðni Magnús Eiríksson munnlegar. upplýsingar)

Tafla 9. Útreikningur á gönguhlutfalli snemmbúins stroks (LS)

Haganes strok (snemmbúið strok) 2021			
	N	C	N _{tot}
Strokulaxar í ám með skráða veiði (RR)	2	24%	8
Strokulaxar í smærri ám (NR)	30	60%	50
Summa: (N _R)			58
Fjöldi strokulaxa			82000
Gönguhlutfall L _S			0,07%

2.1.5 Strok frá Kvígindisdal 2023.

Strok sem var frá Arctic Fish í Kvígindisdal í Patrekfirði, líklega kringum 8. ágúst 2023. Þar struku um 3.500 fiskar.

Tafla 10. Sekunda skráning fyrir fiska úr kví 8 í Kvígindisdal. Kynþroski af heild er greindur 1,45%.

S E K U N D A skráningar m/ framleiðanda

INNOVA

Date:27.8.2023 00:00 - 27.8.2023 23:59

Arctic Fish

Afurð	Gæðaflokkur	Kví	Fjöldi	Þyngd	Meðalþyngd	Hlutfall	Hlutfall af heild
SEKUNDA Lítill	SEKUNDA Lítill	K 8	25	44,06 kg	1,8 kg	0,33%	0,04%
SEKUNDA Sár	SEKUNDA Sár	K 8	2269	9.764,84 kg	4,3 kg	73,13%	9,28%
SEKUNDA Kynþroska	SEKUNDA Kynþroska	K 8	301	1.527,55 kg	5,1 kg	11,44%	1,45%
SEKUNDA Vanskapaðir	SEKUNDA Vanskapaðir	K 8	67	275,70 kg	4,1 kg	2,06%	0,26%
SEKUNDA Svartir Blettir	SEKUNDA Svartir Blettir	K 8	32	127,86 kg	4,0 kg	0,96%	0,12%
SEKUNDA Vélaskemmdir	SEKUNDA Vélaskemmdir	K 8	380	1.612,51 kg	4,2 kg	12,08%	1,53%
			3.074	13.352,5 kg	4,3 kg	100,00%	12,68%

Mikill fjöldi þeirra gengu í ferskvatn haustið 2023 og veiddust yfir 440 þeirra í aðgerðum haustið 2023 og sex laxar veiddust árið 2024 sem raktir voru til þessa stroks.

Strax varð ljóst að strokið hafi ekki verið stórt, mun minna en Hringsdals- og Laugardalsstrokin og strokið frá Hagnesi. Þrátt fyrir það fór strax að bera á strokulöxum víðs vegar í ám. Grunsemdir vökuðu því strax um að kynþroski gæti verið mikill og var kallað eftir slátrunarskýrslum, svo kölluðum Sekunda skýrslum, frá Arctic Fish. Samkvæmt Sekunda skýrslu Artic Fish var hlutfall kynþroska fisks mælt sem 1,45% af heild (Tafla 10). Þess ber að geta að einungis er um sjónrænt mat á slægðum fiski að ræða og kynþroski hrygna getur verið vangreindur. Í framhaldi af því voru sendir starfsmenn Hafrannsóknastofnunar til laxaslátúrhússins Dimlu í Bolungarvík þar sem enn var verið að slátra upp úr kvíum í kvíastæðunni í Kvígindisdal.

2.1.5.1 Mælingar á kynþroska við slátrun í Dimlu og af strokulaxi í veiðiám.

Við mælingar á hlutfalli kynþroska fiska frá kvíastæðu við Kvígindisdal sem framkvæmdar voru í slátruhúsinu Dimlu kom í ljós að stór hluti fisksins var kynþroska, þar af um 80% hænga og 20% hrygna og því að jafnaði 40% (Tafla 11). Þetta var mun hærra en niðurstöður Sekunda skýrslu gáfu til kynna.

Tafla 11. Mælingar á hlutfalli kynþroska fiska frá kvíastæðu við Kvígindisdal sem framkvæmdar voru í slátruhúsinu Dimlu.

Kyn	Fjöldi	Kynþroska fiskar	Hlutfall %	Leiðrétt fyrir sýnaskekkju
Hængar	16	10	62,5	79%
Hrygnur	24	4	16,7	21%
Alls	40	14	35	40%

Ljóst er að þessi mikli kynþroski mun hafa afgerandi áhrif á ásæknistuðul og verður að notast sem tilfelli af annarri gerð en strokin í Hringsdal og Laugardal 2018. Gerðar voru mælingar á GSI stuðli í 103

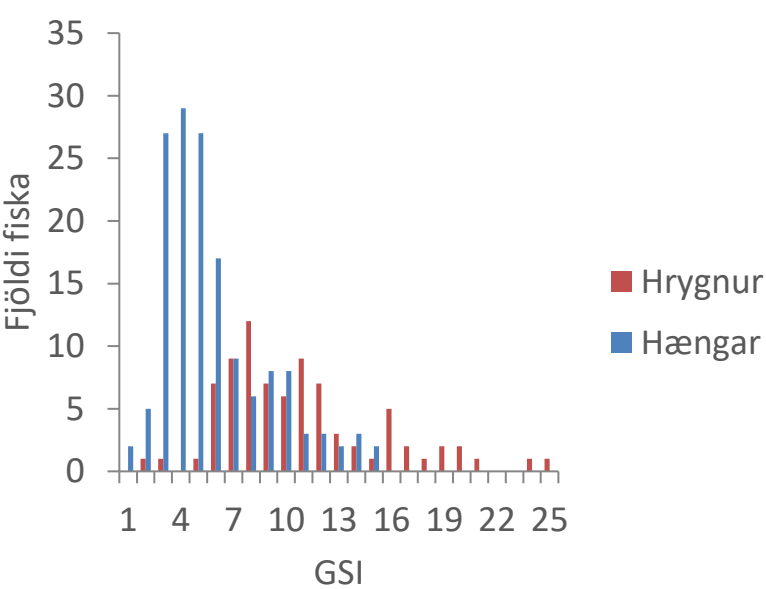
eldisfiskum úr strokinu sem gengu í ár. Allir fiskarnir voru kynþroska og höfðu burði til að taka þátt í hrygningu haustið 2023.

Tafla 12. Hlutfall kynja 103 strokulaxa sem gengu í ár 2023

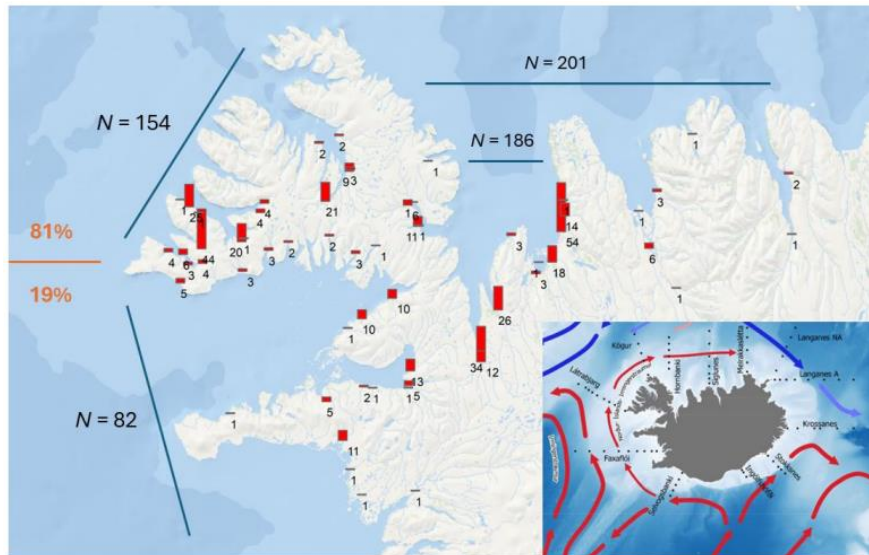
Sýni úr strokufiski í veiðiám

kk	63	61%
kvk	40	39%
	103	100%

Hlutfall hrygna var lægra en hænga eins og búast mátti við en þó herra en mælt var við slátrun í Dimlu (Tafla 12, Mynd 7). Ekki er hægt að fullyrða um hvort þessi munur er marktækur vegna takmakaðs sýnafjölda við mælingar í Dimlu.



Mynd 7. Kynþroskastuðull (GSI) um 100 fiska sem gengu í ár eftir strokið í Kvíndisdal. Allir þessir fiskar hefðu getað tekið þátt í hrygningu sama ár.



Mynd 8. Dreifing strokulaxa sem veiddust í ám 2023 og búið er að staðfesta eldisuppruna (N=440). Innfellt mynd sýnir megin hafstrauma við Ísland (Steingrímur Jónsson og Sólveig R. Ólafsdóttir 2021).

Dreifing strokulaxa var til samræmis við dreifingu úr strokum frá Hringsdal og Laugardal 2018 en þau voru einnig síðbúin strok (Mynd 8).

2.1.5.2 Gönguhlutfall fiska úr Kvígingisdal

Þar sem fiskurinn í Kvígingisdal var að stórum hluta kynþroska gekk hátt hlutfall þeirra í ár. Þar sem mikið púður var lagt í að veiða strokufiska var gert ráð fyrir að veiðihlutfallið væri 50% í öllum ám, ólíkt mati í öðrum strokum. Gönguhlutfallið var metið 24% (Tafla 13).

Tafla 13. Gönguhlutfall úr síðbúnu stroki með kynþroska fiski.

Kvígingisdalur strok 2023 - Kynþroska fiskur			
	N	C	N _{tot}
Strokulaxar í öllum ám	421	50%	842
Summa: (N _R)			842
Fjöldi strokulaxa			3.500
Gönguhlutfall L _s			24%

Strokufiskar sem ekki var hægt að rekja til eldis á Íslandi

Sumir strokufiskar sem veiðst hafa hefur ekki verið hægt að rekja til eldis í íslenskum fjörðum eða þekktum stroatburða hérlendis. Alls er um að ræða 14 fiska. Frekari greininga er þörf til að meta hvort að uppruni þeirra sé óviss vegna tæknilegra afmarka, mannlegra mistaka í skráningu eða hvort að þeir eigi uppruna sinn í stroki erlendis frá.

Almenn staða kynþroska í eldiskvíum

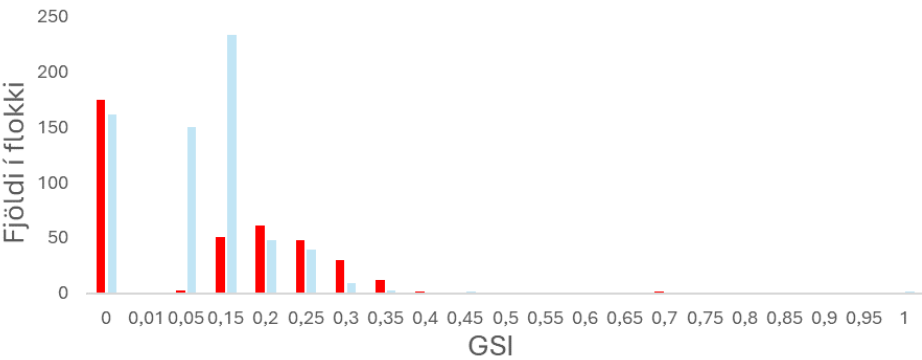
2.1.6 Mælingar á kynþroskastuðli (GSI) hjá öðrum framleiðendum

Í ljósi þess að kynþroska laxar höfðu strokið úr Kvígindisdal var brýnt að kanna hvort um einstakt atvik væri að ræða eða hvort þetta væri almennt ástand í kvíum. Því voru tekin sýni frá öllum framleiðendum af starfsmönnum Hafrannsóknastofnunar, haustið 2023 og fram á vor 2024 í þeim kvíum sem fiskur var kominn í þá stærð að kynþroska væri að vænta. Tekin voru sýni úr alls 1128 fiskum úr 11 kvíum frá öllum framleiðendum (Tafla 14).

Tafla 14. Sýnataka fyrir GSI kynþroska mælingar frá framleiðendum sem framkvæmd var haust 2023 og snemma vors 2024.

Framleiðandi	Fjöldi sýna
Kaldvík	698
Arnarlax	200
Háafell	100
Arctic Fish	130
Samtals:	1.128

Niðurstöður sýndu að ekki var um kynþroska að ræða í þeim kvíum sem GSI stuðull var mældur í (Mynd 9). Kynþroski virðist því ekki vera almennt en athuga þarf fleiri áhættuþætti til að útiloka atburði á borð við strokið í Kvígindisdal 2023.



Mynd 9. GSI stuðull í 11 kvíum á öllum eldissvæðum. Rauðar súlur sýna hrygnur en bláar hænga.

2.1.7 Áhrif kynþroska á göngu í ferskvatn

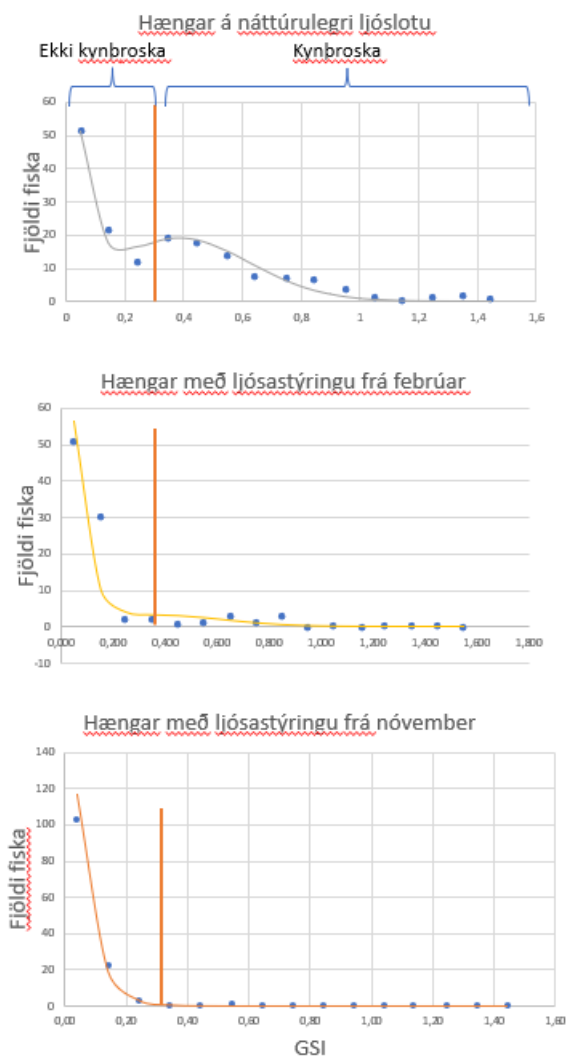
Kynþroski hefur afgerandi áhrif á ásækni eldisfiska í ár eins og strokið frá Kvígindisdal (sjá kafla 2.1.5) sýndi berlega, en há prósentu fisks í kvíum þar var kynþroska.

2.1.7.1 Mat á kynþroska

Í grein Peterson og Harmon sem birt var árið 2005 (Peterson og Harmon, 2005) var gerð greining á kynkirtlavísitölu (GSI) í fiski sem alin var sjókvíum (Mynd 10). Líffræðilega hugtakið kynkirtlavísitala (e. gonadosomatic index), tilgreint sem (GSI) er útreikningur sem hlutfall massa kynkirtla af heildar líkamsmassa fisks. Það er táknað með jöfnunni $GSI = [kynkirtlaþyngd / heildarþyngd\ vefja] \times 100$.

Borin voru saman GSI gildi í júlí við hlutfall kynþroska við slátrun sem fór fram á tímabilinu lok ágúst til febrúar árið eftir. Í rannsókn Peterson og Harmon innihéldu kvíarnar lax sem hafði verið settur út sem gönguseiði í apríl 2001. Sex viðmiðunarkvíar voru á náttúrulegri lýsingu, þrjár fengu samfellda lýsingu frá 3. nóvember 2001 til 31. maí 2002, og þrjár fengu samfellda lýsingu frá 15. febrúar 2001 til 31. maí 2002.

Um miðjan júlí 2002 var tekið sýni úr hverri kví, og kyn, þyngd, sýlingarlengd (Fork length), meðalfitumagn í vöðvum og þyngd kynkirtla var skráð fyrir hvern úrtaksfisk. Við slátrun (ágúst 2002 til febrúar 2003) var kyn, þroskastig, þyngd og lengd skráð úr sýnum af fiski frá hverri kví. Tíðnidreifing GSI gilda úr fiski sem mælt var í júlí gaf til kynna að fyrir bæði kynin gildi að ef kynþroskastuðullinn GSI var hærri en 0,3% benti það til þess að fiskurinn næði kynþroska það haustið.



Mynd 10. Fjöldahlutföll GSI stuðuls eftir ljóstástýringarmeðferð. Úr grein Peterson og Harmon 2005. Rauð lína (0,3) markar skil milli þess að fiskar verði kynþroska að hausti.

Þar sem svo virðist að ljóstástýring í kvíum Arctic Fish í Kvíngindisdal hafi ekki verið sem skyldi var eftirfarandi ákvæðum um ljóstástýringar bætt í 38. gr. reglugerð um fiskeldi þann 1. maí 2024:

„Við eldi frjórri laxa í sjókvíaelði ber rekstrarleyfishafa skylda til að halda hlutfalli kynþroska í lágmarki á eldistíma.

Til að hindra að eldisfiskar hefji þroskun kynkerfa skal viðhafa ljósaðstýringu á tímabilinu 15. nóvember til 30. apríl.

Matvælastofnun er heimilt, að höfðu samráði við Hafrannsóknastofnun, að setja nánari skilyrði um ljósaðstýringu. Matvælastofnun er heimilt að hafa eftirlit með kynþroska laxa í kvíum og í sláturhúsum.“

2.1.7.2 Áhrif smoltunar á upphaf kynþroska

„Það hefur verið ljóst að birtutími stjórnaðar óæskilegum þroska karlkyns laxa eftir smoltun í framleiðslu stórsmolta. Hins vegar hefur ekki enn verið ákvarðað hver kjör dagslengd er til að koma á smoltun án þess að koma kynþroska hænga af stað“ (Fraser o.fl., 2023).

Villtur Atlantshafslax smoltar venjulega þegar hann nær 12 til 15 sentímetra að lengd (15-25 grömm). Smoltun er ferlið þar sem ungur lax undirbýr sig fyrir breytingu frá ferskvatni til saltvatns, þar sem hann gengst undir lífeðlis- og atferlisbreytingar. Á Íslandi á þetta ferli sér venjulega stað við 2-5 ára aldur. Í eldi eru seiði alin upp til mun stærri stærða fyrir smoltun eða yfir 60 grömm og í tilvikum svonefndra „stórsmolta“ upp í 100 g eða meira og ferlið tekur skemmri tíma en í náttúrunni.

2.1.7.3 Aðferðir við smoltun í íslenskri laxaeldisframleiðslu

Í laxeldi hefur örvun og tímasetning á breytingu seiða í smolt (e.parr-smolt transformation, PST) að öllu jöfnu verið náð með því að líkja eftir náttúrulegum birtutíma (ljóslotu). Samfelld lýsing (LL) er notuð á seiðastigi sem er rofin af 6 vikna stuttum birtutíma (SP, ≤ 12 klukkustundir af dagsbirtu), eftir það er smoltun (PST) lokið með áframhaldandi LL í aðrar 6 vikur. Þessi aðferð er kölluð Zeitgeber eða „ljósörvuð smoltun“. Dánartíðni eftir smoltun og skertur vöxtur er vandamál sem hefur leitt til breytinga í smolt framleiðslu. Niðurstöður Striberny o.fl. (2021) sýndu að hópar með samfelldu ljósi náðu mestri massaaukningu, á meðan fiskar sem fengu ljósameðferð sýndu merki um smoltun. Fæðumeðferð bætti getu til að stjórna salt- og vökvajafnvægi en hafði ekki áhrif á tjáningu NKA $\alpha 1a$ gens í tálknum, sem á sér annars stað við náttúrulega sjógöngu. Allir hópar sýndu nægja getu til að stjórna salt- og vökvajafnvægi, en vöxtur í sjó breyttist eftir meðferð.

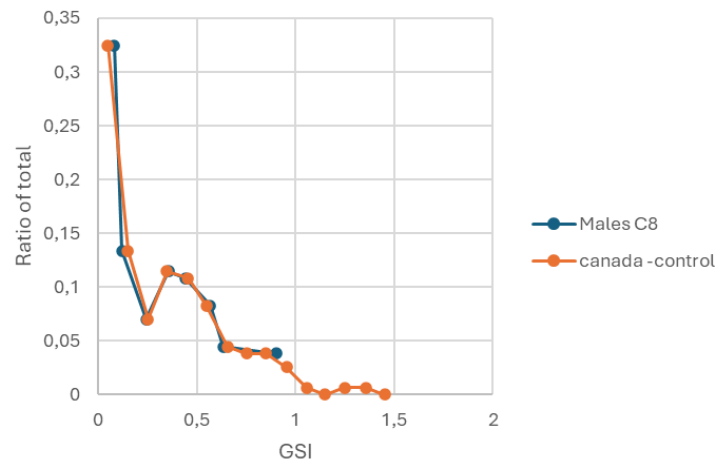
Í mörgum fyrirtækjum hefur ljósörvuð smoltun verið skipt út fyrir saltfóðurmeðferð, þar sem fisknum er haldið við stöðugt ljós (LL) í gegnum allt ferskvatnstigið og fá fóður með viðbættum salt-/jónablöndu síðustu vikurnar fyrir flutning á sjó.

Á Íslandi notar Arctic Fish ljósörvaða smoltun við 12°C, á meðan Arnarlax og Kaldvik nota smoltun með notkun á saltfóðri og stöðugu ljósi, þar sem hitastigi er haldið undir 9°C. Svipuð aðferð er notuð af Háafelli (þ.e.a.s. saltfóður aðferðin), sem nýtir stöðugt ljós en í stað fóðurs er auknu magni af sjó bætt í kerin þar til fullri seltu er náð. Hitastigi er haldið á bilinu 9-10°C.

2.1.8 Eftirlit með kynþroska samkvæmt 38. gr. reglugerðar

Í samræmi við reglugerðabreytingu sem gerð var 1. maí 2024 var fylgst með GSI stuðli fiska í kvíum í lok júní og fram í júlí. Ekki var um teljandi kynþroska að ræða nema mælingar í kví C8 hjá Háafelli sýndu skýr merki um að hluti fisksins myndi verða kynþroska um haustið og fylgdu náið óljósastýrðum fiski líkt og lýst er í grein Peterson og Harmon (2005) (Mynd 11). Seiðin komu úr seiðastöð Arctic Smolt í Tálknafirði. Vitað er að ljósaðstýring í kvíum Háfells var rétt enda sýndu fiskar sem uppunir voru úr

seiðastöð Háafells á Nauteyri ekki slík merki. Því er skýringu að finna í öðrum þáttum. Öllum fiski var slátrað nokkrum vikum seinna og vöktun á netpokum var framkvæmd á 14 daga fresti.



Mynd 11. Mælingar á GSI í kví C8 hjá Háafelli bornar saman við mælingar á fiski sem var í náttúrulegu ljósi (ekki ljósasýrður) í grein Peterson og Harmon 2005. Blá lína er GSI fiska úr kví 8 og gul fiskar sem ekki eru ljósasýrðir í grein Peterson og Harmon 2005.

Í framhaldi af þessum niðurstöðum var fylgst með fiski í öðrum kvíum í sömu kvíastæðu fram að áramótum. Munur er á smoltunar aðferðum sem viðhafðar eru í seiðastöð Arctic Smolt og þeirri sem Háafell notar á Nauteyri.

Kvíar með fiski frá Arctic Smolt. Kvíar C5,C8,C10:

- Smoltun: notuð er ljóslotu smoltun með 6 vikna 24 tíma myrkri (vetur) og síðan 18:6 (ljós:myrkur) (vor). Hitastig frá 10 grömmum og að smoltun er 12°C.
- Kví 5: Kynþroski samkvæmt skýrslu félagsins var um 1,2%. Þess ber að geta að hér er um útlitseinkenni á slægðum fisk að ræða og ber ekki mikið á kynþroska einkennum hjá hrygnum. Því má ætla að kynþroski hafi getað verið um helmingi hærri eða um 2,4%.
- Kví 8: Eins og komið hefur fram var slátrað úr kvínni í sumar. Bentu GSI mælingar til að 40% hænga stefndu á kynþroska og um 20% hrygna. Kynþroski hefði því getað orðið um 30% af heild.
- Kví 10: Kynþroski samkvæmt skýrslu var um 16%. Sem fyrr er hér er um útlitseinkenni á slægðum fisk að ræða og líklega er kynþroski hrygna vanmetinn. Því má ætla að kynþroski getað verið hærri eða um 30%.

Kvíar með fisk frá Nauteyristöð. Kvíar C1,C2,C3,C4:

- Smoltun: Hitastig frá 10 gr að smoltun er á bilinu 9-10 °C. Byrjað er á að setja mjög lítið af sjó í körin og hann aukinn hægt og rólega yfir langan tíma þar til fullri seltu er náð. Nota ekki smoltfóður (seltufóður) eða ljóslotu smoltun. Stöðugt ljós frá 10 gramma stærð að útsetningu.
- Enginn sjáanlegur kynþroski eða byrjunarstig kynþroska var sjáanlegt.

2.1.9 Smoltunaraðferðir annarra framleiðenda

- Arnarlax: „I hereby confirm that all our smolts are smoltified with salt-feed and have a light regime of 24 hours throughout the production cycle from start-feeding until the smolt/post-smolt is delivered to the well boat.” (Björn Hembre forstjóri). Hiti er undir 10°C frá 10 grömmum að smoltun
- Kaldvík: Notar eingöngu saltfóður og 2 tíma ljós eins og Arnarlax. Þarf frekari staðfestingu á hitastigi.

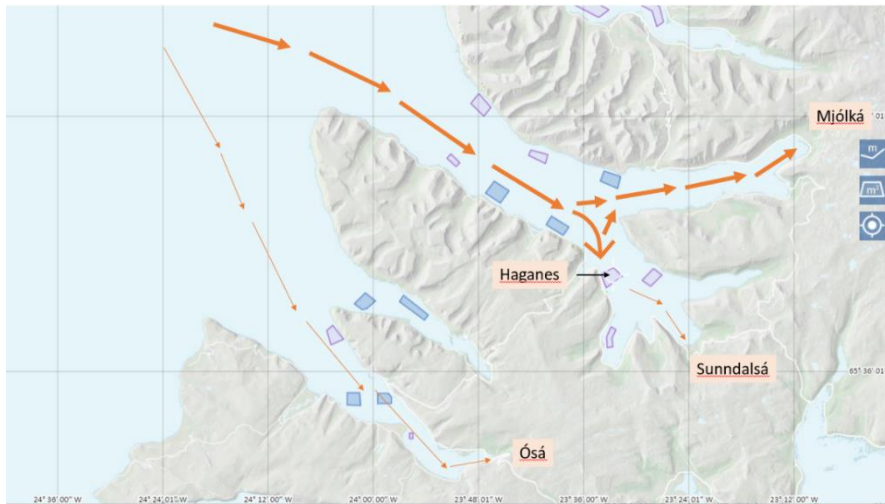
2.1.10 Niðurstaða

- Ljósastýring í kvíum getur haft mikil áhrif á kynþroska og vísbendingar benda til að aðferðafræði við smoltun geti einnig haft áhrif.
- Ef kynþroski er ekki til staðar er árgönguhlutfall mjög lágt eða við eða undir 1 %.
- Smoltun við of hátt hitastig og með 6 vikna myrkri og 18:6 ljóslotu virðist geta leitt til kynþroska.
- Skoða þarf beitingu varúðarreglu og takmarka notkun á þessa aðferð uns frekari rannsóknir sýna að henni megi beita á tryggan hátt.
- Mótvægisáðgerðir þurfa að útiloka að fiskur geti orðið kynþroska á eldistíma í kvíum.

2.1.11 Dreifing fiska úr snemm- og síðbúinna strokum

2.1.11.1 Dreifing fiska úr snemmbúnum strokum

Hegðun sjógönguseiða (smolt) og stórseiða er öðruvísi en hegðun nær fullvaxta fiska sem strjúka. Þess vegna eru þau strok meðhöndluð sérstaklega, þar sem seiði eða stórseiði strjúka. Þeir synda á haf út í leit að fæðu, og dvelja að minnsta kosti eitt ár í hafi uns þeir snúa til baka nær upprunalegum strokstað. Í náttúrunni yfirgefa smolt sína upprunarár hratt, venjulega á aðeins nokkrum dögum. Innprentun í heimaáá sér stað þegar fiskurinn fer í gegnum lífeðlisfræðilegar breytingar nokkru fyrir göngu út í sjó, og rötun þeirra er mjög góð. Þegar smolt strýkur úr sjókví á sér líklega stað svipað ferli. Þegar seiðin koma aftur sem kynþroska lax að upprunastað sínum, þ.e. á strokstað (kví), reyna flestir að ganga í ár nær strokstaðnum. Vatnsmagn áa virðist hafa mesta aðdráttarafl þar sem flestir fiskar sem strjúka á Suðurfjörðum ganga í Mjólká, sem er útfall virkjunar og vatnsmesta vatnsfallið á svæðinu þó engin laxastofn sé þar (Mynd 12).



Mynd 12. Ganga strolulaxa frá Haganesi árið 2021.

Flestir fiskar fara inn í Arnarfjörð eftir 1SW og enda í Mjólka, tveir eru veiddir í Sunndalsá, en fjórir fiskar villast af leið og eru veiddir í Ósá í Patreksfirði. Fjórir fiskar voru veiddir eftir 2SW (2023), þar af einn í Kárastaðará á Snæfellsnesi og ein í Húsadalsá í Steingrímsfirði. Sjá nánar í Töflu 7.

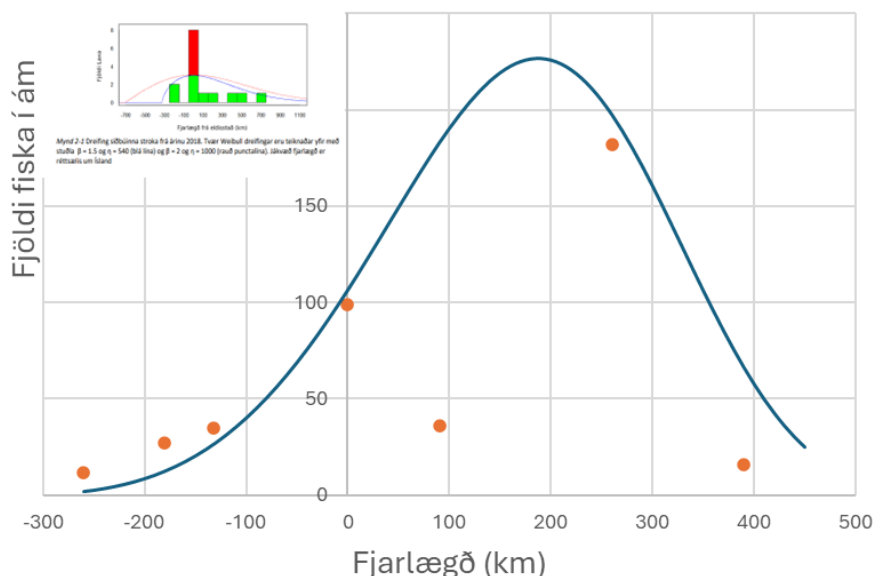
2.1.11.2 Dreifing fiska úr síðbúnum strokum

Fullvaxta fiskar sem strjúka sýna aðra hegðun en sjógönguseiði sem hafa strokið og leita að ám þegar þeir nálgast kynþroska. Þeir leita venjulega frekar með straums í sjó að á (Hansen 2006) og í leit sinni að á ferðast þeir oft um mjög langan veg eða yfir 1.000 kílómetra (Gudjonsson, 1991; Piccolo & Orlikowska, 2012). Hins vegar er líkurnar á að finna strolulaxa mest í nánd við stór eldissvæði (Fiske o.fl. 2006), og venjulega finnast færri strolulaxar í ám við austurströnd Skotlands, þar sem ekki er fiskeldi, samanborið við vesturströndina þar sem eldi er til staðar (Green o.fl., 2012; Youngson o.fl., 1997).

Þessi hegðun sást í þeim tveimur síðbúnum strok atburðum sem orðið hafa, þ.e. atburðum í Laugardal/Hringsdalur 2018 og Kvígindisdal 2023. Báðir atburðir sýna svipað dreifingarmynstur, þó að fjöldi strolufiska sem gekk í ár hafi verið mun meiri í Kvígindisdal atburðinum sökum kynþroska þeirra.

Dreifingin er um 600 km og er skekkt í meðstraumsátt. Mynd 13 sýnir dreifingu síðbúinna strolufiska frá Kvígindisdals atburðinum. Appelsínugulir punktar tákna fjölda fiska í safni áa í sama fjarlægðarsviði, en bláa fallið táknar áætlaða dreifingarferil. Plústölur sýna dreifingu í straumátt (norður) og mínustölur eru á móti straumnum (suður). Punkturinn 90 km norður er safn strolufiska í ám í Ísafjarðardjúpi. Athygli vekur að hann fellur illa að fallinu. Þess ber að geta að 90% af hafstraumi fer framhjá Ísafjarðardjúpi og því virðist aðeins hluti fiskanna fara inn í Djúp. Á litlu myndinni er dreifing fiska frá Laugardal/Hringsdal strolinu sem sýnir svipað mynstur (grænar súlur). Rauðar súlur sýna fiska sem verið hafa meira en ár í sjó og gengið í ár nálægt eldisstaðnum.

Dreifing stökulaxa frá Kvígingisdal 2023



Mynd 13. Dreifing stökulaxa frá Kvígingisdal.

Appelsínugulu punktarnir tákna fjölda fiska í safni áa í sama fjarlægðarsviði, en blái ferillinn táknar áætlað dreifingarfall. Jákvæðar tölur sýna dreifingu í straumátt (norður) og neikvæðar tölur mótstraums (suður). Punkturinn 90 km norður eru stökufiskar í ám í Ísafjarðardjúpi. 90% af hafstraumnum fer fram hjá Ísafjarðardjúpi og aðeins hluti fiskanna fer því inn í fjörðinn.

3 Áhrif stofnstærða í ám

Áreiðanlegt mat á stofnstærð Atlantshafslaxa í ám er mikilvægt fyrir mat á þeirri áhættu sem tengist sjókvíældi á laxi. Sem lykilþáttur í ferskvatnsvistkerfum eru villtir laxastofnar sífellt viðkvæmari fyrir margvíslegum streitubáttum eins og loftslagsbreytingum, hnignun búsvæða og streitubáttum sem tengjast manngerðum áhættubáttum, þar á meðal óæskileg erfðablöndun vegna stökulaxa úr laxeldi (Thorstad o.fl., 2008; Forseth o.fl., 2017). Skilningur á stöðu þessara stofna er nauðsynlegur til að spá fyrir um og draga úr möguleikum á neikvæðum áhrifum erfðablöndunar (Hindar o.fl., 1991; Glover o.fl., 2017). Mikilvægt er að stofnmat sé sem nákvæmast til að meta áhættuna og til að þjóna sem vísindalegt gildi fyrir árangursríka stýringu og stefnumótun til að koma jafnvægi á framþróun fiskeldis og verndunar villtra Atlantshafslaxa.

Ár sem eru teknar inn í áhættumat

Áður en stofnstærð laxa á Íslandi er metið er nauðsynlegt að skilgreina hvaða ár eigi að meta í áhættumati. Í lögum um fiskeldi (2008/71) er ekki tilgreint hvaða ár skuli vera metnar. Í lagatextanum er skilgreint að: *Með áhættumatinu er áhætta af erfðablöndun frjórna eldislaxa við **villta laxastofna** miðað við magn frjórna eldislaxa á tilteknu hafsvæði metin með líkani. Markmið þessa er að koma í veg fyrir hugsanleg spjöll á **villtum nytjastofnum**.* Þær ár sem þurfi vernd gegn innblöndun þurfa því að vera með villtan Atlantshafslax og að í þeim sé nytjastofn. Í orðskýringum með lögunum er nytjastofn

skilgreindur sem: *Fiskar og sjávardýr, svo og sjávargróður, sem nytjuð eru eða kunna að verða nytjuð í íslenskri fiskveiðilandhelgi, íslensku landgrunni eða á landi með eldi.*

3.1.1.1 Skilgreining stofneininga laxastofna – Kanadísk aðferðafræði

Í íslenska áhættumatinu er stofneining miðuð við ós vatnsfalla í sjó. Nefnd um stöðu villtra dýra í útrýmingarhættu í Kanada (COSEWIC) hefur tekið upp aðferðafræði til að skilgreina stofneiningar í laxastofnum innan ákveðins svæðis. Fyrsta útgáfan var gefin út árið 2010 (COSEWIC, 2010).

Þessar leiðbeiningar leggja áherslu á að stofn eða hópur stofna megi skilgreina sem aðgreinanlega einingu ef hann býr yfir einkennum sem gera hann sérstakan og þróunarlega þýðingarmikinn samanborið við aðra stofna. Dæmi um slík einkenni eru erfðapættir eins og formfræði, lífshlaup, hegðun og hlutlaus erfðamörk, ásamt verulegum mun á milli stofna í mismunandi vistfræðilegum svæðum. Aðgreinanlegar einingar laxastofna hafa verið skilgreindar fyrir austurströnd Kanada og voru endurskoðaðar í maí 2023 (Lehnert o.fl., 2023). Talið er að það séu 19 aðgreinanlegar einingar meðfram austurströnd Kanada, sem spanna um það bil 8.500 km af strandlengju.

3.1.2 Lágmarks stofnstærð nytjastofns

Franklin (1980) lagði til að virk stofnstærð stofna (e. effective population size, N_e) upp á 50 væri nauðsynleg fyrir stofna til að viðhalda sér og koma í veg fyrir óæskileg áhrif svo sem innræktun og viðhalda erfðafræðilegri fjölbreytni, lífvænleika, heilbrigði og frjósemi. Þetta viðmið er einnig í samræmi við leiðbeiningar sem þróaðar hafa verið af Laxaverndunarstofnunarinnar, North Atlantic Salmon Conservation Organization (NASCO) fyrir sleppingar á Atlantshafslaxi, þar sem lögð er áhersla á mikilvægi þess að viðhalda erfðafræðilegri fjölbreytni og virka stofnsstærð (NASCO, 2024). Matvæla- og landbúnaðarstofnun Sameinuðu þjóðanna (FAO, 1999) vísar einnig til lágmarksfjöldans sem Franklin (1980) lagði til í leiðbeiningum sínum um verndun erfðaauðlinda dýra. Virk stofnsstærð getur verið minni en fjöldi hrygningarfiska vegna áhrifa eins og mismunandi æxlunarárangurs, skekktra kynjahlutfalla, sveiflna í stofnstærð og tilviljanakennds makavals. Þessir þættir saman geta takmarkað fjölda einstaklinga sem raunverulega leggja til erfðaefni í næstu kynslóð og þannig dregið úr erfðabreytileika. Til að bregðast við þessu þarf hrygningarstofninn að vera að jafnaði um 200-250 einstaklingar til að fá N_e nálægt 50 (Frankham, 1995).

Í Noregi hefur nýtt flokkunarkerfi verið lagt til og er nú í innleiðingarferli. Það er hannað til að greina á kerfisbundinn hátt á milli vatnsfalla sem hýsa sjálfbæra laxastofna og þeirra þar sem lax finnst aðeins í takmörkuðu magni (Karlsson o.fl., 2023). Kerfið sameinar líffræðileg, vistfræðileg og hagnýt sjónarmið til að þróa viðmið og skilyrði fyrir flokkun vatnsfalla. Viðmiðin fela í sér vatnsrennsli, tilvist stöðuvatna, flatarmál fiskgengra svæða og framleiðni (mæld í hrognafjölda). Norska kerfið leggur til forgangsöröðun í stjórnun laxveiðiaá, sem snertir reglur um veiðar, viðleitni til endurheimtar búsvæða, brottnám strokulaxa úr eldi og innleiðingu í landsbundnum vöktunaráætlunum. Ár sem uppfylla ekki viðmið um sjálfbæra laxastofna eru sett í lægri forgang fyrir virka stjórnun.

Eins og í fyrri dæmum er virk stofnstærð (N_e) lykilmælikvarði við ákvörðun um stýringu verndaraðgerða. Fyrir tegundir með kynslóðir sem hrygna yfir nokkur ár getur verið vandasamt að áætla N_e út frá sýnatöku í einni hrygningu og getur það skekkt niðurstöður verulega (Waples, 2014).

Því hefur verið lagt til að í tilviki laxa sé hægt að nálgast raunverulega Ne með því að margfalda fjölda hrygningarfiska á hverju ári (Nb) með kynslóðatíma, sem er að jafnaði fimm ár fyrir lax (Hindar o.fl., 2004). Þetta hefur einnig verið staðfest í rannsóknum, eins og í rannsókn Ferchaud o.fl. (2016), sem sýndi að hlutfallið milli Ne, fjölda hrygningarfiska (Nb) og heildarfjölda stofnsins (Nc) getur verið mjög mismunandi milli laxastofna. Rannsóknin leiddi í ljós að Ne, þegar það er metið út frá mörgum kynslóðum, getur verið verulega stærra en Nb úr einni kynslóð. Höfundarnir fundu marktækt samband milli Nb og Nc og milli Nb og Ne, og lögðu til að Nb gæti verið góður mælikvarði til að fylgjast með stofnstærð og áhrifastærð stofns.

Til að ákvarða sem best virka stofnstærð er nauðsynlegt að framkvæma erfðafræðilega rannsókn á hverri á fyrir sig, til að greina hvort laxastofnar í nærliggjandi ám eigi sameiginlegan uppruna (Waples, 2010). Þetta er sérstaklega mikilvægt fyrir minni ár sem geta verið viðkvæmar fyrir sveiflum í umhverfisþáttum og manngerðum álagi, til dæmis frá fiskeldi og veiðum. Í norska kerfinu er mælt með erfðafræðilegri vöktun, sérstaklega í litlum ám, til að staðfesta uppruna stofna og greina hugsanlega áhættu vegna kynblöndunar við eldislax (Karlsson o.fl., 2023). Þar sem Atlantshafslax í Norður-Atlantshafi hefur dregist verulega saman á síðustu áratugum, og sumar stofnvísitölur sýna að stofnar eru í útrýmingarhættu eða hafa orðið erfðafræðilega viðkvæmir (NASCO, 2019), er mikilvægt að beita varúðarnálgun í stjórnun til að vernda líffræðilegan fjölbreytileika. Verndun lítilla laxastofna getur verið lykilatriði í varðveislu erfðabreytileika. Nýleg grein eftir Lehnert o.fl. (2023a,b) fjallar um heildstæða nálgun við skilgreiningu verndareininga fyrir Atlantshafslax í Kanada. Í Kanada eru varðveislueiningar (DUs) skilgreindar út frá sérkennum og þróunarfræðilegri sérstöðu. Á sumum svæðum í Norður-Kanada eru takmörkuð gögn um stofna Atlantshafslax og hafa stór landsvæði verið skilgreind sem ein DU. Höfundarnir nýttu ný erfðafræðileg og erfðamengjafræðileg gögn til að endurskilgreina og skipta DU í þrjár aðskildar einingar, sem gefur nákvæmari mynd af stofnbyggingu laxins.

Í fyrstu útgáfu áhættumatsins (Ragnar Jóhannsson o.fl., 2017) var lágmarksstærð stofns sem átti að vera með í matinu sett við 60 laxa. Í úttekt á áhættumatinu (Stefánsson o.fl., 2020) bentu gagnrýnendur á þörf fyrir það að taka inn ár með enn minni stofna, með vísan í rannsóknir frá Noregi og Kanada sem sýna að minni stofnar eru viðkvæmari fyrir erfðamengun vegna innblöndunar eldislaxa (Heino o.fl., 2015; Glover o.fl., 2013; Karlsson o.fl., 2016). Í norska flokkunarkerfinu er lágmarks viðmiðið sett við ár sem geta viðhaldið 50 hrygningarfiskum (25 hrygnum). Þar sem slíkt kerfi hefur ekki verið þróað fyrir íslenskar ár, og þar sem eingöngu er stuðst við veiðitölur og áætlað veiðihlutfall sem felur í sér ákveðna óvissu við mat á stofnstærð leggur Hafrannsóknastofnun til að lágmarksstærð stofns sem verði með í áhættumatinu verði 40 fiskar. Eins sýna niðurstöður Ferchaud o.fl. (2016) að virk stofnstærð er hlutfallslega hærri í litlum laxastofnum.

Hafrannsóknastofnun undirstrikar mikilvægi þess að beita upplýstri nálgun í verndaráætlunum og, í samhengi við áhættumat, nauðsyn þess að framkvæma erfðafræðilega rannsókn til að skilja betur stofnbyggingu og nauðsyn þess að skilgreina betur hvaða ár þurfa vernd, hvort sem er sem þær verði verndaðar sem einstakar ár eða sem hluti af stærri stofni á sama landsvæði, til dæmis nokkrar ár í sama firði.

3.1.3 Skilyrt við veiðiskráningu

Þar sem árnar þurfa að hafa nytjastofn til að vera hluti af áhættumatinu, er annað viðmiðið sett við skilvirka skráning á veiðitölfræði. Skilvirk skráning er einnig mikilvæg til að hægt sé að áætla stofnstærð

á áreiðanlegan hátt út frá veiðitölum. Tiltækur gagnagrunnur veiðiskráninga, sem Hafrannsóknastofnun notar, nær aftur til ársins 1974, eða í alls 50 ár. Til þess að á sé tekin með í áhættumatið þurfa veiðigögn að vera aðgengileg fyrir síðustu 10 ár. Ef engin gögn voru til staðar fyrir þessi ár í gagnagrunninum var áin ekki tekin með í áhættumatið. Stórt hlutfall laxveiðiá skilar veiðiskráningum og því eru ekki margar ár sem detta út vegna skorts á skráningum.

Stofnstærðarmat laxa í ám á Íslandi

3.1.4 Veiðiskráning

Mat á stofnstærð laxa í ám sem notað er í áhættumatinu byggir á gögnum og aðferðum sem eiga að tryggja sem mesta nákvæmni. Í mörgum tilfellum er einu tiltæku gögnin í ám veiðitölur og eru þær því mikilvægasta forsendan fyrir mat stofnstærða. Veiðitölur eru háðar áhrifapátttum eins og veiðiálagi og mismunandi veiðiaðferðum eftir ám og breytileika í veiðni milli ára, sem gerir það nauðsynlegt að nota gögn sem eru óháð veiði til að fínstilla stofnstærðarmatið.

Rannsókn á sambandi milli fjölda fiska í veiðistofni og veiðiskráningar á Íslandi, sem byggði á gögnum frá teljurum, sýndi sterkt samband milli fjölda fiska í veiðistofni sem ganga upp teljara og skráðrar veiði (Jónsson o.fl., 2008). Í sömu rannsókn var einnig lagt mat á meðalveiðihlutfall smálaxa (laxar sem koma til baka eftir einn vetur í sjó) og stórlaxa (laxa sem koma til baka eftir tvo vetur í sjó) út frá upplýsingum úr fiskiteljurum sem hafa verið notaðir frá tíunda áratug síðustu aldar. Í fyrri útgáfum áhættumatsins var því ákveðið að nota niðurstöður þeirrar rannsóknar og að veiðihlutfallið, sem notað var til að áætla fjölda fiska í veiðistofni út frá veiðitölum, skyldi vera 50%. Síðan þá hafa fleiri teljarar verið settir upp og samanlagt veita þeir betri upplýsingar til að áætla sveiflur í veiðihlutfalli milli áa og á milli ára.

3.1.5 Notkun teljara til að áætla veiðihlutfall

Fiskiteljarar í ám eru ekki allir jafn gagnlegir til að meta veiðihlutfall út frá fjölda laxa í veiði og í veiðistofni (göngu). Það eru nokkrar ástæður fyrir því:

1. **Fjarlægð frá ósi.** Sumir teljarar eru staðsettir of langt frá ósi til að gefa nákvæmar upplýsingar um heildaruppgönguna, og því þarf að treysta á veiðigögn neðan teljarans (t.d. Laxá í Leirársveit, Langadalsá, Norðurá í Borgarfirði, Langá Sveðjufoss). Þessir teljarar geta þó veitt gagnlegar upplýsingar um veiðihlutfall ef gert er ráð fyrir að veiðiálagið (fjöldi stanga á veiðisvæði) sé jafndreift fyrir ofan og neðan teljarann yfir veiðitímabilið.
2. **Aðeins hluti uppgöngunnar skráður.** Sumir teljarar eru staðsettir í fiskistigum sem aðeins hluti fiskanna notar, þar sem sumir geta synt upp ákveðin hindrun eins og litla fossa. Þetta á t.d. við um Blöndu, þar sem fiskistigi við Ennisflúðir hefur verið með teljara frá 1994. Áður voru allir laxar sem syntu upp stigann handfangaðir og merktir til að meta hlutfall þeirra sem fóru upp fossinn. Hlutfall merktara og ómerktara laxa í veiði fyrir ofan fossinn sýndi að um 20% laxa synda þessa leið, og þessi upplýsingar hafa síðan verið notaðar sem leiðrétting við mat á veiðihlutfalli fyrir ofan teljarann (Ingi Rúnar Jónsson o.fl., 2023, Friðjón Már Viðarsson og Sigurður Guðjónsson, 1993 og 1994). Það sama á við um teljara í Skuggafossi í Langá en þar hefur hlutfall fiska sem ganga fossinn og framhjá teljaranum ekki verið metið eins og í Blöndu.
3. **Tegundagreining.** Í mörgum ám hafa teljarar annaðhvort ekki verið búnir myndavélum eða eingöngu fengið þær nýlega. Myndavélar gera kleift að greina tegundir í uppgöngunni. Áður var eina aðferðin til að greina milli tegunda að nota stærðardreifingu fiska, þar sem laxar yfir

ákveðinni stærð voru taldir vera Atlantshafslax og þeir fiskar sem voru undir þeirri stærð taldir vera aðrar laxfiskategundir (bleikja eða urriði). Hins vegar getur verið nokkur skörun á stærð milli smárra smálaxa og stórra sjóbirtinga/sjóbleikja. Þetta á t.d. við um Selá á Norðausturlandi, þar sem myndavél var sett upp árið 2021 en eldri útgáfa teljara hefur verið til staðar síðan 2006 (Fjóla Rut Svavarsdóttir o.fl., 2024). Gögn frá 2021 og 2022 benda til þess að áður hafi fjöldi sjóbleikja verið vanmetin og fjöldi smálaxa ofmetinn, sem leiddi til þess að mat á veiðihlutfalli smálaxa hafi verið of lágt.

4. **Markverðar breytingar á veiðistjórnun.** Í nokkrum tilvikum hafa teljarar verið til staðar í sömu á í mörg ár, en breytingar á veiðiaðferðum hafa orðið til þess að upplýsingarnar úr veiði- og teljaragögnum eru aðeins gagnlegar fyrir þá tilteknu á og ekki sem viðmið fyrir aðrar ár með algengari veiðistjórnun. Þetta á t.d. við um Vesturdalsá, þar sem teljari var fyrst settur upp árið 1994 og síðan uppfærður með myndavél árið 2006. Veiðihlutfall í ánni hefur lækkað verulega, þar sem aðeins ein veiðistöng er nú leyfð og veiðitíminn mjög stuttur.
5. **Rekstrartruflanir.** Að lokum vantar sum ár hluta eða jafnvel heilt tímabil í teljaragögn vegna bilana eða annarra rekstrarvandamála. Stundum stafa þessar villur af vélrænum eða hugbúnaðarlegum ástæðum, en einnig geta umhverfispættir eins og langvarandi þurrkar valdið því að teljarinn virki ekki eðlilega, sem gerir talningu á fiskgöngu erfiða eða ómögulega. Þetta á til dæmis við um teljaragögn úr Selá fyrir árið 2023. Einnig eru dæmi um mikið rennsli vegna rigninga sem hafa valdið því að laxar nota yfirfallsvatn til að synda framhjá hindrunum sem annars hefðu þvingað þá í gegnum teljarann.

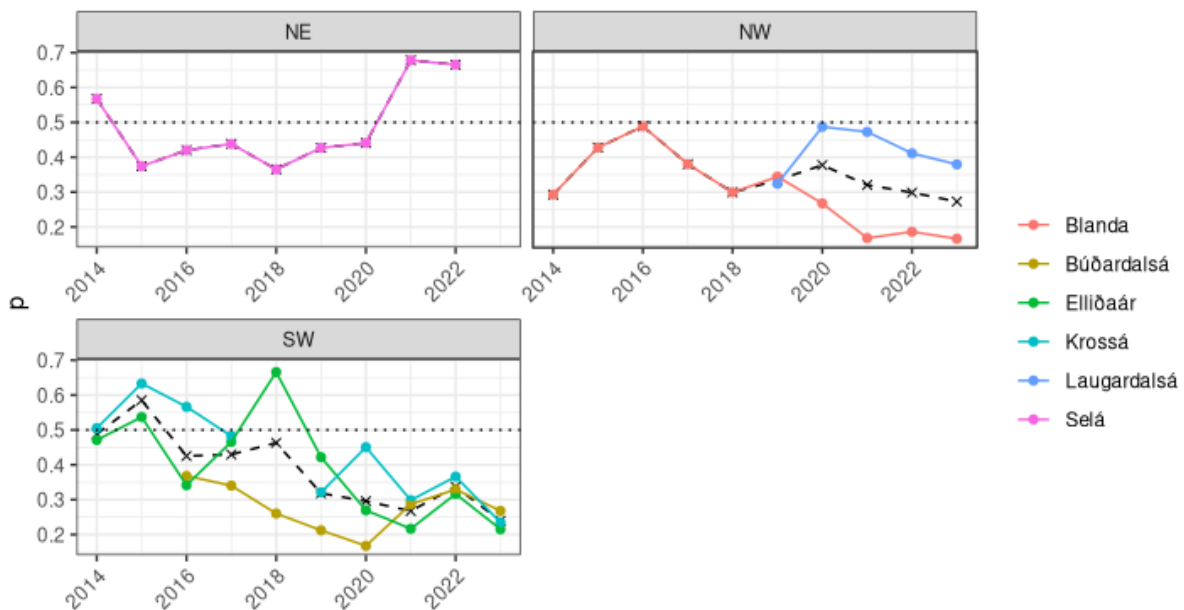
3.1.6 Veiðihlutfall fyrir áhættumat

Hluti af teljurum eru valdir, með hliðsjón af þessum fimm þáttum sem nefndir eru að ofan, til að reikna út það veiðihlutfall sem nota á til að uppreikna veiðistofna útfra veiðitölum. Teljurunum var skipt í þrjá hópa útfra landfræðilegri legu, þannig að einn hópur stýrir því hvaða veiðihlutfall er notað fyrir ár á suður- og vesturlandi, annar hópur fyrir ár á Vestfjörðum og á norðvesturlandi og þriðji hópurinn fyrir ár á norðaustur- og austurlandi.

1. **Suður- og vesturland:** Árnar sem notaðar verða sem viðmið fyrir ár á suður- og suðvesturlandi eru Elliðaár, Krossá og Búðardalsá. Lengsta tímaserían kemur úr Elliðaá en fylgst hefur verið með henni með teljara frá árinu 1988, ásamt því að ósamfelld gögn ná aftur til ársins 1935. Krossá hefur verið vöktuð með seiðamælingum árlega frá 1987 og teljargögn ná aftur til 1998. Búðardalsá hefur ekki verið vöktuð reglulega en fiskiteljari hefur verið í ánni frá árinu 2016. Það er nokkur breytileiki í veiðihlutfalli milli þessara áa, en undanfarin tíu ár hefur almennt veiðihlutfall farið lakkandi í öllum ánum (Mynd 14). Ein helsta skýring á þessari þróun er breyting á veiðistjórnun, þar sem fluguveiði er nú eini leyfilegi veiðimátinn og veiða & sleppa hefur aukist. Veiðihlutfallið sem verður notað er árlega reiknað meðaltal úr þessum þremur ám.
2. **Norðvesturland og Vestfirðir.** Blanda og Laugardalsá verða notaðar sem viðmið fyrir veiðihlutfall í ám á norðvesturlandi og Vestfjörðum. Blanda er ein mest rannsakaða áin á Íslandi, þar sem umfangsmikil rannsóknarvinna hefur farið fram fyrir og eftir byggingu Blöndustíflu og Blönduvirkjunar (Ingi Rúnar Jónsson o.fl., 2023). Gögn um vöktun árinna ná aftur til ársins 1983, og teljari hefur verið starfræktur frá 1994, með myndavél sem var sett upp árið 2023. Eins og áður hefur komið fram, tekur teljarinn í Blöndu ekki tillit til hluta laxanna sem synda upp fossinn (Ennisflúðir), og nákvæm tegundagreining með myndavél er ekki tiltæk fyrr en eftir 2023. Laugardalsá á Vestfjörðum hefur verið vöktuð af Hafrannsóknastofnun, en

tímaraðirnar eru mun styttri, með eingöngu stakar mælingar á tíunda áratugnum og árlegri vöktun frá 2017. Í ánni er fiskistigi nálægt ós (um 260 metrar) og teljari með myndavél hefur verið starfræktur þar síðan 2018. Samanburður á veiðihlutfalli þessara tveggja áa er aðeins tiltækur fyrir síðustu fimm ár (2019-2023), og á því tímabili hefur veiðihlutfall í Blöndu farið lækkandi á meðan veiðiaðferðir í Laugardalsá eru svipaðar því sem tíðkaðist í Blöndu fyrir 2019 (Mynd 14). Þróunin í Blöndu gæti skýrst að hluta til af breytingum í veiðistjórnun, þar sem fluguveiði og veiða & sleppa hefur aukist. Talsverður munur er á umhverfi þessara tveggja áa. Blanda er mun stærra vatnakerfi og stór hluti veiðisvæðisins verður fyrir áhrifum jökulvatns, sérstaklega þegar vatnsborð miðlunarlónsins nær hámarki yfir sumarið. Þetta getur haft neikvæð áhrif á veiðanleika laxa neðan stíflunnar. Laugardalsá er hins vegar minni og styttri á. Þar sem ár á þessum svæðum samanstanda bæði af stórum ám eins og Blöndu og minni ám eins og Laugardalsá, ætti meðaltal þessara tveggja áa að gefa betra viðmið fyrir veiðihlutfall en að nota aðeins eina þeirra.

3. **Norðausturland og Austfirðir.** Selá og Vesturdalsá verða notaðar sem viðmið fyrir ár á norðausturlandi og Austfjörðum. Báðar árnar hafa verið vaktaðar með árlegum seiðamælingum síðan 1979 (Hlynur Bárðarson o.fl., 2024). Eins og áður hefur komið fram (sjá kafla 3.1.5) eru tiltekin atriði í gögnum frá þessum teljurum sem þarf að hafa í huga þegar veiðihlutfall er metið. Gögn sem hægt er að nota til að meta veiðihlutfall smálaxa í Selá ná aðeins til áranna 2021 og 2022, þar sem fyrir þann tíma var teljarinn ekki með myndavél. Á síðustu árum hefur veiðihlutfall í Vesturdalsá ekki verið marktækt fyrir aðrar svipaðar ár á svæðinu, vegna breytinga í veiðistjórnun. Því verður viðmið veiðihlutfalls byggt á áreiðanlegum gögnum um veiðihlutfall stórlaxa frá 2014 til 2022 og áreiðanlegum gögnum um veiðihlutfall smálaxa í Selá árin 2021 og 2022. Fyrir önnur ár er gert ráð fyrir að veiðihlutfall smálaxa sé að meðaltali 50%, byggt á greiningu teljaragagna í Vesturdalsá (Jonsson o.fl. 2008).



Mynd 14. veiðihlutfall metið með gögnum frá fiskiteljrum og veiðiskrárm, leiðrétt fyrir endurtekna skráningar vegna veiði og sleppingar.

Árnar eru flokkaðar í þrjú svæði: Norðausturland (NE): Gögn frá Selá og Vesturdalsá (ekki sýnt).

Norðvesturland og Vestfirðir (NW): Gögn frá Blöndu og Laugardalsá. Suður- og vesturland (SW): Gögn frá Búðardalsá, Elliðaárm og Krossá.

3.1.7 Leiðréttingar vegna veiða & sleppa

Frekari leiðréttingar á veiðitölfræði er nauðsynleg til að taka tillit til áhrifa veiða & sleppa, sem er sífellt algengari á Íslandi. Nýjustu tölur sýna að meðaltali eru um 70% af villtum laxi sleppt aftur, þar af um 60% hjá smálaxi og 90% hjá stórlaxi (Guðmunda B. Þórðardóttir og Guðni Guðbergsson, 2024). Rannsóknir þar sem lax hefur verið merktur hafa sýnt að um 25% af fiski sem sleppt er í veiði & sleppa eru endurveiddir síðar á sama tímabili (Guðni Guðbergsson og Sigurður Már Einarsson, 2007). Ef ekki er tekið tillit til þessa getur það leitt til ofmats á veiðitölum. Með því að innleiða þessi hlutföll í stofnmat fæst raunhæfari mynd af heildarfjölda laxa í ánum. Rannsókn Guðna Guðbergssonar og Sigurðar Más Einarssonar (2007) sýndi að endurveiðihlutfall veiddra & slepptra laxa getur verið mjög mismunandi milli ára. Í rannsókninni voru skoðaðar árnar Selá og Hofsa á Norðausturlandi og Haffjarðará og Grímsá á Vesturlandi. Fyrstu þrjár árnar höfðu svipað hlutfall endurveiði, eða um 25%, en í Grímsá var meðalendurveiðihlutfall aðeins 5% yfir fjögurra ára tímabil rannsóknarinnar. Höfundarnir nefndu nokkrar mögulegar skýringar á þessum mun. Annars vegar gæti verið að fáir fiskar hafi verið merktir í Grímsá, sem gæti haft áhrif á niðurstöðurnar. Hins vegar gæti munurinn stafað af mismunandi samsetningu veiðistofna eftir sjávaraldri milli þessara ára. Meðaltal stórlaxa í Grímsá er 9%, en er á bilinu 15%-29% í hinum þremur ánum. Stórlaxar ganga yfirleitt fyrr upp í árnar en smálaxar, sem þýðir að þeir eru lengur inni í veiðinni og því undir meiri veiðiálagi. Endurveiðihlutfallið var einnig breytilegt milli ára, þó að munurinn milli ára væri minni en munurinn milli ára. Breytileikinn milli ára gæti hafa stafað af sveiflum í stærð veiðistofna eða breytingum á hlutfalli mismunandi stofnpátta (sjávaraldurs) eftir árum. Hafrannsóknastofnun telur nauðsynlegt að endurtaka slíka rannsókn til að athuga hvort að breytingar hafi orðið til dæmis með breytingum á veiðifyrirkomulagi.

Svipaðar rannsóknir hafa verið framkvæmdar annars staðar, t.d. í Noregi þar sem endurveiðihlutfall var metið í átta ám. Niðurstöðurnar sýndu að um 10% af laxi var veiddur tvisvar og um 3% veiddist þrisvar sinnum (Thorstad o.fl., 2020). Mikill breytileiki sást milli ára, þar sem meðalendurveiðihlutfall var 3%-4% í Verdalselva og Lærdalselva, en 19% í Gaula. Höfundarnir benda á að fáir merktir fiskar gætu haft áhrif á niðurstöðurnar. Einnig gæti mismunandi veiðibúnaður skýrt mismuninn, þar sem Lærdalselva og Alta eru eingöngu fluguveiðiár, en í flestum öðrum norskum ám má nota fjölbreyttari veiðiaðferðir, svo sem spún, spinner, wobblers og maðk. Auk þess var mikil sveifla milli ára, t.d. í Gaula þar sem endurveiðihlutfall var 4% árið 2014 en 37% árið 2012. Þetta sýnir að fleiri og víðtækari rannsóknir eru nauðsynlegar til að skilja endurveiðihlutfall í samhengi við veiða & sleppa. Ný rannsókn er nú í gangi á ám á Norðausturlandi og fyrstu, óbirtu niðurstöður benda til þess að svipað mynstur sjáist og í rannsókn Guðna Guðbergssonar og Sigurðar Más Einarssonar (2007), þar sem endurveiðihlutfall var á bilinu 17%-25% (Lauridsen, R., pers. samskipti). Niðurstöðurnar frá 2007, þar sem Grímsá sýndi stöðugt lægra endurveiðihlutfall, vekja spurningar um hvort þetta skýrist af umhverfisþáttum, mismunandi stofnbyggingu (t.d. hlutfall smálaxa og stórlaxa), veiðistjórnun (t.d. eingöngu fluguveiði, stýrð veiði, stöðugt veiðialag, fjöldi veiðidaga o.s.frv.), eða hvort það sé rannsóknarskekkja vegna fárra merktrar fiska eins og höfundarnir nefndu. Thorstad o.fl. (2020) benda á að nota þurfi varúð við túlkun merkjarannsókna sem nota slöngumerki (T-bar), þar sem tapað merki getur valdið allt að 12,7% vanmati á endurveiði ef aðeins eitt merki er notað, en það lækkar í 1,6% ef tvö merki eru notaðar á sama fiskinn. Þetta gæti einnig verið bætt með öðrum aðferðum, eins og erfðafræðilegri greiningu allra veiddra fiska. Lengd veiðitímabils og tíminn milli veiða og endurveiða þarf einnig að vera tekinn til greina.

Til að leiðrétta fyrir veiða & sleppa í stofnstærðarmati áa fyrir áhættumatið er gert ráð fyrir að 25% af slepptum laxi veiðist aftur og veiðitalan því lækkuð miðað við það hlutfall.

Stofnstærðarsveiflur

Það eru sveiflur í stofnstærð laxa sem þar að meta og taka tillit til í áhættumati. Stofnar geta sýnt verulega breytileika milli ára í nýliðun, stærð hrygningarstofns, kynjahlutföllum og hlutfalli smálaxa og stórlaxa. Niðurstöður óháðrar nefndar á fyrstu útgáfu áhættumatsins bentu á veikleika í nálguninni, þar sem ekki var tekið nægjanlegt tillit til breytileika (slembipátta) og öryggisbila (eða slembibila) í þeim breytum sem voru metnar, og of mikil áhersla væri lögð á það að nota eingöngu meðaltalstölur (Stefánsson o.fl., 2020). Gögn úr teljurum í sjö ám og veiðigögn úr veiðibókum frá 32 ám voru notuð til að greina breytileika í stofnstærðum. Árnar í veiðibókargrunni Hafrannsóknastofnunar eru dreifðar um Ísland og hafa skráðar veiðitölur í meira en 40 ár (42-49 ár). Þessar ár voru einnig valdar vegna þess að þær hafa takmarkaða seiðasleppingu, hafa mismunandi stóra veiðistofna og veiðigögnin eru talin áreiðanleg með mjög litlum eða engum óskráðum veiðitölum. Teljaragögn voru notuð úr ám þar sem talið var að aðrar tegundir (urriði, bleikja) hefðu takmörkuð áhrif á mat á laxagöngu.

Leifar úr línulegum líkönum, úr báðum gagnasöfnunum, voru greindar. Línuleg líkön voru einföld ANOVA og einnig þegar tekið var mið af fimm ára hlaupandi meðaltali fyrri ára. Það var greinilegt merki um misleitni (e. heteroscedasticity) í talningum og veiðitölum á upprunalegum skala sem var ekki til staðar þegar fjöldatölu var umbreytt á logarithmískan skala. Fimm ára hlaupandi meðaltal var í marktækri fylgni bæði við veiðitölur og teljaratölur (F-próf $p < 0.001$ fyrir bæði gagnasöfnin).

Staðalfrávik leifa úr línulegum líkönum fyrir teljaragögn var 0,50 á log-skala þegar tekið var mið af fimm ára hlaupandi meðaltali og 0,499 fyrir veiðibókargögn. Fyrir veiðibókargögn var einnig marktæk fylgni við tíu ára hlaupandi meðaltal.

Byggt á þessum niðurstöðum ákváðum við að líkja eftir stofnstærðum sem log-normal breytu með staðalfrávik 0,5 og nota geometrískt meðaltal (sem er hefbundið meðaltal á log-skala) stofnstærðarmats síðustu 10 ára fyrir hverja á sem inntaksbreytu í hermilíkon áhættumatsins.

Jöfnur

Stofnstærð veiðistofns S_y fyrir einstaka ár á ári (y) var reiknuð með eftirfarandi jöfnu, þar sem $C_{L,y}$ er landaður afli og $C_{R,y}$ fjöldi slepptra laxa í veiði, p_y^A er áætlað veiðihlutfall fyrir landssvæði (A) og ár (y)

$$S_y = \frac{C_{L,y} + 0.75 \cdot C_{R,y}}{p_y^A}$$

Meðaltal var reiknað fyrir síðustu 10 ár fyrir hverja á fyrir sig inn í hermanir áhættumatsins með því að nota geometrískt meðaltal (e. geometric mean).

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{y=1}^n \log(S_y)$$

4 Mótvægisáðgerðir

Almennt um mótvægisáðgerðir

Lög um fiskeldi nr. 71/2011, 6. grein, kveða á um að áhættumat vegna mögulegrar innblöndunar frá eldisfiski í villta stofna. Taka skal tillit til mótvægisáðgerða sem geta dregið úr líkum á erfðablöndun. Mótvægisáðgerðir geta falið í sér notkun ljósa í sjókvíum, lágmarksstærð seiða og möskvastærð kvía. Leyfi fyrir framleiðslumagni getur verið háð skilyrðum um mótvægisáðgerðir fyrir fiskeldisfyrirtæki.

- Í lögunum er kveðið á um að ráðherra setji reglugerð þar sem fram kemur listi yfir mótvægisáðgerðir. Reglugerðin sem nú er í gildi er nr. 540/2020.
- Rekstur fiskeldis á tilteknu svæði krefst opinbers umhverfismats.
- Fiskeldisfyrirtæki sem reka sjókvíar skulu starfa samkvæmt staðlinum 9415:2021. Áður en leyfi er veitt af Matvælastofnun (MAST) þarf að vera að lágmarki fimm kílómetra fjarlægð milli fiskeldisfyrirtækja sem starfa á sama svæði eða í sama firði.
- Matvælastofnun (MAST) hefur eftirlit með fiskeldisstarfsemi og heilbrigði fiska.
- Komi upp atvik þar sem hætta er á stroki fiska skal virkja viðbragðsáætlun:
- Tilkynna til viðeigandi yfirvalda, Matvælastofnunar, nærliggjandi veiðifélaga, veiðiréttarhafa og Fiskistofu.
- Koma í veg fyrir frekara strok.
- Nota net með möskvastærð sem hentar til að veiða strokufiska á svæðinu nálægt atvikastað.

Fiskistofa getur veitt leyfi til að fjarlægja fiska úr nærliggjandi ám ef strokufiskar finnast þar eða gripið til annarra ráðstafana sem taldar eru nauðsynlegar til að lágmarka áhrif, í samráði við Hafrannsóknastofnun.

Merking og erfðagreining fiskeldisfiska

Breyting var gerð á fiskeldislögum árið 2008 þar sem ekki var lengur gerð krafa um að merkja 10% allra fiska í sjókvíum með CWT-merkjum (coded wire tags). Í staðinn þurfa framleiðendur á hrognum á Íslandi að hafa gagnabanka með erfðaupplýsingum allra kynbótafiska sem notaðir eru í sjókvíum. Einnig ber þeim að varðveita DNA-sýni úr kynbótafiskum og halda skrá yfir allar flutninga fiska milli eldisstöðva.

Þetta tryggir möguleikann á að rekja fiska til viðkomandi fyrirtækis og eldisstaðar ef þeir finnast í ám eða sjó. Erfðaupplýsingar og DNA-sýni skulu send til Matvælastofnunar (MAST). MAST heldur utan um skráningu allra flutninga á hrognum og fiski milli staða, þar sem heilbrigðisvottun fiska er nauðsynleg fyrir flutning.

Mótvægisáðgerðir vegna strokufiska úr eldi

Seint í ágúst 2023 veiddust kynþroska 4–6 kg eldislaxar í nokkrum ám á Vesturlandi og Norðvesturlandi, sjá nánar í kafla 2.1.5. Fiskurinn slapp í gegnum lítið gat á neti í sjókví á eldisstaðnum Kvígindisdal í Patreksfirði. Hafrannsóknastofnun greindi sýni úr fiski við slátrun og niðurstöðurnar sýndu að 35% fiskanna voru kynþroska. Ástæður hás kynþroskahlutfalls eru enn óþekktar. Mögulegar ástæður geta verið bilun í stillingum lögboðinnar lýsingar yfir veturinn eða frávik í smoltunarferli á seiðaeldisstöðvum.

Í kjölfar þessa atviks og til að lágmarka líkur á kynþroska hjá strokufiski gerði Matvælaráðuneytið í mars 2024 breytingar á reglugerð. Samkvæmt henni ber fiskeldisfyrirtækjum nú skylda til að lágmarka líkur á geymslu kynþroska fiska í sjókvíum. Samkvæmt reglugerðinni skulu öll fyrirtæki hafa lýsingu í sjókvíum frá 15. nóvember til 30. apríl. Ef fiskur er yfir 4 kg frá 1. júlí til 30. nóvember skal fara yfir ástand neta á 14 daga fresti fram til slátrunar. Á þessu tímabili skal Gonado Somatic Index (GSI) fiskanna vera undir 0,3 hjá bæði hængum og hrygnum.

Í kjölfar afleiðinga stroksins í Patreksfirði, þar sem eldisfiskur fannst í ám á stóru svæði, íhugaði Fiskistofa mótvægisáðgerðir til veiða á fiskum í ám. Eftir samráð við Hafrannsóknastofnun var gripið til eftirfarandi aðgerða:

- Veiði var leyfð sérstaklega með áherslu á eldislax í ám eftir lok hefðbundins veiðitímabils í lok september, í þeim ám þar sem eldisfiskur hafði sést eða var talinn líklegur til að finnast.
- Fiskistigar voru lokaðir til að koma í veg fyrir að eldislax gengi upp ár og dreifðist til efri svæða þeirra.
- Fiskar voru fjarlægðir af þjálfuðum köfurum á yfirborði með notkun skutla.

Fiskistofa hafði samband við tvö norsk rannsóknarfyrirtæki með sérhæfða kafara, sem höfðu margra ára reynslu af því að greina og fjarlægja eldislax úr norskum ám og meta hrygningarstofn fullorðins lax í ám. Forgangsroðun aðgerða var gerð fyrir þær ár og árhluta þar sem eldislax hafði veiðst með hefðbundnum veiðiaðferðum eða verið staðfestur með sjón (Kanstad-Hanssen Ø. o.fl., 2023, Skoglund H. o.fl., 2023)

Lært af reynslunni

Út frá reynslu af talningu villtra Atlantshafslaxa í ám í Noregi og því að færlægja eldislaxa hefur Hafrannsóknastofnun sótt um styrk síðan 2018 til að byggja upp þessa þekkingu og reynslu á Íslandi. Haustið 2024 var skipulagt námskeið undir stjórn sérfræðinga frá NORCE í Noregi. Nokkrar ár voru rannsakaðar og alls voru 23 laxar af eldisuppruna fjarlægðir. Hafrannsóknastofnun telur nú afar mikilvægt að hafa þjálfað fólk til að telja villtan lax í ám til stofnstærðarmats og að fjarlægja eldislaxa ef stök verða. Hins vegar er ekki hægt að beita þessari aðferð að fullu í sumum stærri ám eða ám með jökulvatni, þar sem vatnið er gruggugt og skyggni lítið.

Ný lög

Frumvarp til nýrra laga um fiskeldi var lagt fyrir Alþingi árið 2024. Í frumvarpinu voru lagðar til ýmsar nýjar og hertar kröfur á fiskeldisfyrirtæki, þar á meðal innleiðing betri starfshátta til að koma í veg fyrir stök fiska úr eldi.

Mælt er með því að lögð verði áhersla á eftirfarandi þætti til að draga úr líkum á erfðablöndun milli eldisfisks og villtra íslenskra laxastofna:

Eftir stökuslysið í Kvígindisdal hefur komið í ljós að mikilvægasti þátturinn varðandi erfðablöndun eldislaxa er kynþroskastig eldisfisksins. Til að koma í veg fyrir kynþroska verður að tryggja að ljósaumsjón í sjókvíum sé rétt framkvæmd og fylgi nýjum ákvæðum reglugerða. Aðferðir sem notaðar eru við seiðaelði og við smoltun geta stuðlað að kynþroska á meðan fiskurinn er í kvíum. Grípa þarf til aðgerða til að koma í veg fyrir þetta með því að herða reglugerðir um smoltun og öryggi þeirra aðferða tryggt, innleiða rafrænt eftirlit á eldisstöðvum og auka aðrar skoðanir.

Hafrannsóknastofnun leggur til að aflað verði tillagna frá fiskeldisfyrirtækjum um slíkar mótvægisáðgerðir, eins og kveðið er á um í 6. gr., 2. mgr. laga um fiskeldi.

Fyrirbyggjandi aðferðir fela í sér:

- Fjareftirlit með hitastigi og ljósaumsjón: Hita- og ljósaumsjón skal fylgst með í smoltframleiðslu, frá því að seiðin eru 10 grömm að stærð og þar til þau eru flutt í sjókvíar. Matvælastofnun (MAST) skal hafa eftirlit með þessu ferli.
- Notkun ófrjórra fiska: Lögð skal áhersla á rannsóknir á notkun ófrjórra fiska í íslensku fiskeldi. Ýmsar aðferðir eru í þróun, þar á meðal þrílitnun (triploidization), til að framleiða ófrjóan fisk.
- Þrílitnun (triploidization): Algengasta aðferðin til að framleiða ófrjóa laxfiska er að búa til þrílitna laxa, sem hafa þrjú eintök af litningum í stað tveggja.
- Framleiðsla ófrjórra kynþroskafiska með genþöggun: Þessi aðferð, sem er beitt á hrogn, veldur því að stór hluti afkvæmanna verður ófrjór. Aðferðin var þróuð af Ten-Tsao Wong og Yonathan Zohar við Háskólann í Maryland og er nú tilraunum í Bandaríkjunum og Noregi (Xu, L. o.fl., 2023). Hafrannsóknastofnun hefur tekið virkan þátt í þessum rannsóknum síðustu fimm ár.
- Framleiðsla stórra smolta: Flutningur á fullorðnum laxi (400–1200 g) í sjókvíar getur haft áhrif á strokuhættu. Auk þess stytta þessi aðferð eldistíma fisksins, sem nær markaðsstærð með eins vetrar dvöl í sjó, sem dregur úr áhættu og afföllum.
- Tryggja heilbrigði villtra stofna með rétttri veiðistjórnun: Mikilvægt er að viðhalda góðu ástandi villtra hrygningarstofna í ám, og veiðialag skal vera innan sjálfbærra marka. Of mikil veiði getur

skapað tómsvæði í ánni sem eldislax getur nýtt sér (McGinnity o.fl. 2003). Rannsóknir sýna einnig að afkvæmi eldislaxa hafa minni lífslíkur þegar þéttleiki og samkeppni við villtan fisk eykst (Skaala o.fl. 2012). Lögfesta þarf að fiskur megi ekki vera notaður í fiskrækt nema erfðagreining staðfesti að hann sé hvorki af eldisuppruna né blendingur með eldisstofni.

- Bættur DNA rekjanleiki frá kynbótarstofni: Laxahrognaframleiðendum ber lögum samkvæmt að varðveita lífsýni úr kynbótarstofnfiski (bæði hængum og hrygnum) sem notaður er í íslensku laxeldi. Vefjasýni, svo sem uggasýni, eru geymd í 96% etanóli. Matvælastofnun (MAST) hefur eftirlit með rekjanleika og stjórnun framleiðslu frá hrognum til slátrunar.

Upprunagreining klakfisks

Ræktunaráttaksverkefni hafa verið notuð í nokkrum íslenskum ám til að styrkja göngu villtra laxa og bæta stangveiði. Nýleg uppgötvun á eldislaxi í seiðaeldi fyrir sleppingar í ár sýnir mikilvægi þess að skima alla hrygningarstofnfiska sem ætlaðir eru til fiskræktar (Leó Alexander Guðmundsson o.fl. 2023, Fjóla Rut Svavarsdóttir o.fl. 2024). Þetta á einnig við um fiska sem notaðir eru í hafbeit. Mælt er með því að þetta verði lögbundið með reglugerð frá stjórnvöldum. Reglugerðin þarf að kveða á um hver beri kostnað af erfðagreiningunni.

Heimildaskrá:

- 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.
- 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. (2019) 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*.
- COSEWIC, 2010. *Atlantic salmon (Salmo salar): COSEWIC assessment and status report*. Sótt 8.4.2025 af <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/species-risk-public-registry/cosewic-assessments-status-reports/atlantic-salmon.html>.
- Ferchaud, A. L., Perrier, C., April, J., Hernandez, C., Dionne, M., & Bernatchez, L. (2016). Making sense of the relationships between N_e , N_b and N_c towards defining conservation thresholds in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Heredity*, 117(4), 268-278.
- 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. (2025). Rømmingshendelser. Retrieved from: <https://www.fiskeridir.no/statistikk-tall-og-analyse/data-og-statistikk-om-akvakultur/rommingshendelser>
- Fjóla Rut Svavarsdóttir, Guðni Guðbergsson, Hlynur Bárðarson, Ingi Rúnar Jónsson, Sigurður Már Einarsson, Sigurður Óskar Helgason and Leó Alexander Guðmundsson. (2024). Samantekt vöktunar vegna áhrifa sjókvíældis á íslenska laxastofna 2023. *Marine and Freshwater Research in Iceland*. HV 2024-29, 29.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1999). *Management of Global Animal Genetic Resources: Proceedings of the FAO Expert Consultation*. Retrieved from fao.org
- Forseth, T., Fiske, P., Gjøsæter, H., et al. (2017). The major threats to Atlantic salmon in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 74(6), 1496–1513.
- Frankham, R. (1995). Effective population size/adult population size ratios in wildlife: A review. *Genetical Research*, 66(2), 95–107. doi:10.1017/S0016672300034455
- Franklin, I. R. (1980). Evolutionary change in small populations. In M. E. Soulé & B. A. Wilcox (Eds.), *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective* (pp. 135–149). Sinauer Associates.
- Fraser, T. W. K., Hansen, T. J., Norberg, B., Nilsen, T. O., Schulz, R. W. and Fjellidal, P. G. (2023). Atlantic salmon male post-smolt maturation can be reduced by using a 3-hour scotophase when inducing smoltification. *Aquaculture*, 562:738772.

Friðjón Már Viðarsson og Sigurður Guðjónsson 1994. Rannsóknir á göngufiski í vatnakerfi Blöndu 1993. Skýrsla Veiðimálastofnunar, VMSTR/94009X. 29 bls.

Friðjón Már Viðarsson og Sigurður Guðjónsson 1993. Rannsóknir á göngufiski í vatnakerfi Blöndu 1992. Skýrsla Veiðimálastofnunar, VMSTR/93004X. 24 bls.

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, 1-19.

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., Solberg, M. F., McGinnity, P., et al. (2017). Half a century of genetic interaction between farmed and wild Atlantic salmon: Status of knowledge and unanswered questions. *Fish and Fisheries*, 18(5), 890–927.

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.

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.

Guðjonsson, S. (1991). Occurance of reared salmon in natural salmon rivers in Iceland. *Aquaculture*, 98:133–142.

Guðjonsson, 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

Guðmunda B. Þórðardóttir and Guðni Guðbergsson. (2024). Salmon, trout and charr catch statistics 2023. *Marine and Freshwater Research in Iceland*. HV 2024-27, 39.

Guðni Guðbergsson and Sigurður Már Einarsson. (2007). Áhrif veiða og sleppa á laxastofna og veiðitölur. *Fræðaging Landbúnaðarins*. 4, 196-204.
<https://timarit.is/page/7488908?iabr=on#page/n197/mode/1up>

Hafrannsóknastofnun, 2020. *Hætta á göngu strokulaxa úr laxeldi í íslenskar laxveiðiár*. https://www.hafogvatn.is/static/extras/images/ahaettumat_erfdablondunar_taechniskyrsla_mai_lei_drett291120231417810.pdf

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.

Heino, M., Svåsand, T., Wennevik, V., & Glover, K. A. (2015). Genetic introgression of farmed salmon in native populations: quantifying the relative influence of population size and frequency of escapees. *Aquaculture Environment Interactions*, 6(2), 185-190.

Hindar, K., Ryman, N., & Utter, F. (1991). Genetic effects of aquaculture on natural fish populations. *Aquaculture*, 98(1-3), 259–261.

Hindar, K., Tufto J., Sættem, L. M. & Balstad T. (2004). Conservation of genetic variation in harvested salmon populations. *ICES Journal of Marine Science* 61: 1389-1397

Hlynur Bárðarson, Sigurður Óskar Helgason and Eydís Njarðardóttir. (2024). Research on fish stocks in several rivers at North-East Iceland 2023. *Marine and Freshwater Research in Iceland*. HV 2024-10, 112.

Ingi Rúnar Jónsson, Friðþjófur Árnason and Eydís Njarðardóttir. (2023). Vatnakerfi Blöndu 2022. Seiðarannsóknir, stangveiði og göngufiskur. *Marine and Freshwater Research in Iceland*. HV 2023-34, 32.

Imsland, A. K., Handeland, S. O. and Stefansson, S. O. (2014). Photoperiod and temperature effects on growth and maturation of pre- and post-smolt Atlantic salmon. *Aquacult Int.* 22:1331-1345.

Jensen, A.J., Karlsson, S., Fiske, P., Hansen, L.P., Hindar, K., Ostborg, G.M. (2013) Escaped farmed Atlantic salmon grow, migrate and disperse throughout the Arctic Ocean like wild salmon. *Aquaculture Environment Interactions (AEI)* 3 (3) , pp.223-229

Jonsson, I. R., Antonsson, P., & Guðjónsson, S. (2008). Relation between stock size and catch data of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Icel. Agric. Sci.*, 21:61-68.

Jón Ólafsson. „Breytast hafstraumar?“ *Vísindavefurinn*, 16. Nóvember 2006, sótt 19.mars 2025, <https://visindavefur.is/svar.php?id=6383>.

Kanstad-Hanssen Ø., Bentsen, V., Jamtfall, E., Ulvund, J.B. 2023. Monitoring and removal of escapees of farmed salmon – measures following an escape incident in Patreksfjörður. SNA-report 23/2023. 20s.

Karlsson, S., Diserud, O. H., Fiske, P., Hindar, K., & Handling editor: W. Stewart Grant. (2016). Widespread genetic introgression of escaped farmed Atlantic salmon in wild salmon populations. *ICES Journal of Marine Science*, 73(10), 2488-2498.

Karlsson, S., Hindar, K., Diserud, O. H., Bolstad, G. H., Fiske, P., Jensen, A. J., & Urdal, K. (2023). Forslag til definisjon av laksebestander [Proposal for the definition of salmon populations]. NINA Rapport 2266. Norwegian Institute for Nature Research.

Landbúnaðarráðuneytið (2004). Auglýsing um lokun svæða. http://www.fiskistofa.is/media/laxa_silungssvid/460-2004.pdf

Lehnert, S. J., Bradbury, I. R., Wringe, B. F., Van Wyngaarden, M., & Bentzen, P. (2023a). Multifaceted framework for defining conservation units: An example from Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Canada. *Evolutionary Applications*, 16(9), 1568-1585.

Lehnert, S.J., Bradbury, I.R., April, J., Wringe, B.F., Van Wyngaarden, M., and Bentzen, P. (2023b). Pre-COSEWIC Review of Anadromous Atlantic Salmon (*Salmo salar*) in Canada, Part 1: Designatable Units. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2023/026. iv + 156 p.

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.

Leó Alexander Guðmundsson, Ragnhildur Þ. Magnúsdóttir, Sten Karlsson, Hlynur Bárðarson, Ingerid Julie Hagen, Áki Jarl Láruson, Sæmundur Sveinsson, Davíð Gíslason, Kevin A. Glover (2023) Erfðablöndun villts íslensks lax (*Salmo salar*) og eldislax af norskum uppruna / Hybridization between

wild Icelandic salmon (*Salmo salar*) and farmed salmon of Norwegian origin. Hafrannsóknastofnun, HV 2023-25

Marine Scotland. (2025). Scotland's aquaculture. Retrieved from: https://aquaculture.scotland.gov.uk/data/fish_escapes.aspx

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. doi: 10.1098/rspb.2003.2520

NASCO (North Atlantic Salmon Conservation Organization). (2019). State of North Atlantic salmon: Report of the Atlantic salmon stock assessment committee (2019). Retrieved from <https://nasco.int/wp-content/uploads/2020/05/SoS-final-online.pdf>

NASCO (North Atlantic Salmon Conservation Organization). (2024). Guidelines for Stocking Atlantic Salmon. *NASCO Document CNL(24)61*. Retrieved from nasco.int

Peterson, R. H. and Harmon, P. R. (2005). Changes in condition factor and gonadosomatic index in maturing and non-maturing Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in Bay of Fundy sea cages, and the effectiveness of photoperiod manipulation in reducing early maturation. *Aquaculture Research*, 36:882-889.

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.

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.

Ragnar Jóhannsson, Sigurður Guðjónsson, Agnar Steinarsson and Jón Hlöðver Friðriksson. (2017). Áhættumat vegna mögulegrar erfðablöndunar milli eldislaxa og náttúrulegra laxastofna á Íslandi. *Marine and Freshwater Research in Iceland*. HV 2017-27, 38.

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>.

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.

Skoglund H. , Wiers T. , Landro Y. , Kambestad M. og Guðmundsson L. A. 2023. Field report for snorkeling surveys and removal of escaped farmed salmon in 13 rivers in Iceland 2023. NORCE Norwegian Research Centre. LFI-report nr. 502. 24 bls.

Stefánsson, G., McAdam, B. J., and Glover, K. (2020). Skýrsla óháðrar nefndar um athugun á aðferðafræði, áhættumati og greiningum á fiskeldisburðarþoli á vegum Hafrannsóknastofnunar. Retrieved from: www.althingi.is/altext/pdf/150/s/2029.pdf

Stefansson, S. O., Hansen, T. J. and Taranger G. L. (1993). Growth and parr-smolt transformation of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) under different light intensities and subsequent survival and growth in seawater. *Aquac. Eng.*, 13:231-243.

Striberny, A., Lauritzen, D. E., Fuentes, J., Campinho, M. A., Gaetano, P., Duarte, V., Hazlerigg, D. G. and Jørgensen, E. H. (2021). More than one way to smoltify a salmon? Effects of dietary and light treatment on smolt development and seawater growth performance in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 532:736044.

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.

Thorstad, E. B., Diserud, O. H., Solem, Ø., Havn, T. B., Bjørum, L. O., Kristensen, T., Urke, H. A., Johansen, M. R., Lennox, R. J., Fiske, P. and Uglem, I. (2020). The risk of individual fish being captured multiple times in a catch and release fishery. *Fisheries Management and Ecology*, 27(3), 248-257.

Thorstad, E. B., Fleming, I. A., McGinnity, P., et al. (2008). Incidence and impacts of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in nature. *NINA Special Report*, 36, 1–110.

Verspoor, E. (2017). Population structuring in Scottish Atlantic salmon (popmod). Personal communication.

Waples, R. S., & Do, C. (2010). Linkage disequilibrium estimates of contemporary N_e using highly variable genetic markers: A largely untapped resource for applied conservation and evolution. *Evolutionary Applications*, 3(3), 244–262. doi:10.1111/j.1752-4571.2009.00104.x

Waples, R. S., Antao, T., & Luikart, G. (2014). Effects of overlapping generations on linkage disequilibrium estimates of effective population size. *Genetics*, 197(2), 769-780.

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.

Lan Xu, Mingli Zhao, Yonathan Zohar, Ten-Tsao Wong (2023), Induction of Reproductive Sterility in Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) by an Immersion-Based Gene Silencing Technology *Journal of Marine Science and Engineering*, 11, 2208.

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.



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna