



NÁTTÚRUSTOFA
VESTFJARÐA


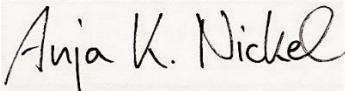
Aðalstræti 12
415 Bolungarvík
nave@nave.is

*Vöktun sjávarlúsa á
villtum laxfiskum á
Vestfjörðum 2024*

Anja K. Nickel
Sigurður Halldór Árnason

Janúar 2025

NV nr. 02-25a

 NÁTTÚRUSTOFA VESTFJARÐA		Dagsetning Mán/ár: Janúar 2025
Skýrsla nr: NV nr. 02-25a	Verknúmer: 640	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til: <input type="checkbox"/> Háð leyfi verkkaupa
Upplag:	Blaðsiður: 28	Unnið fyrir: Náttúrustofa Vestfjarða
Heiti skýrslu: Vöktun sjávarlúsa á villtum laxfiskum á Vestfjörðum 2024	Höfundur: Anja K. Nickel, Sigurður Halldór Árnason	Verkefnastjóri: Anja K. Nickel
Undirskrift verkefnastjóra: 		Styrkumsókn: Margrét Thorsteinsson

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	4
INNGANGUR	5
Líffræði sjávarlúsa	5
Sjávarlús á villtum laxfiskum	6
Áhrif sjávarlúsa á heilsu fiska	7
Iðnaður og sjávarlúsameðferð	7
AÐFERÐIR	8
Vettvangsvinna	9
Gagnavinnsla og undirbúningur	10
Gagnagreining	10
NIÐURSTÖÐUR	11
Fiskafli og lúsamagn	12
Lífsstig sjávarlúsa	12
Áhættumat	13
Gagnagreining	14
UMRÆÐA	14
Hitastig sjávar	14
Laxalús á eldisfiski	15
Veiðiaðferð	16
Afleidd áhrif og annars konar lúsameðferðir	16
Niðurstaða og ráðleggingar	17
ÞAKKIR	18
HEIMILDIR	19
VIÐAUKI	23

ÁGRIP

Laxeldisiðnaður, bæði á Íslandi og á alþjóðavísu, stendur frammi fyrir víðfemum áskorunum vegna fjölda sjávarlúsa smita sem hafa skaðleg áhrif á velferð og heilsu bæði eldislaxa og villtra laxfiska. Þessi rannsókn kannaði sjávarlúsasmit á villtum laxfiski á Vestfjörðum en fylgst var sérstaklega með áhrifum hitastigs á magn lúsa og fylgni milli lúsafjölda á villtum fiski og eldisfiski. Alls voru skráðar 4.722 lýs á 174 fiskum og sjávarlýs fundust á um 70% þeirra fiska. Meðal ungvíðis og fullorðinna lúsa reyndust 98% þeirra vera laxalýs (*Lepeophtheirus salmonis*) en aðeins tvær fiskilýs (*Caligus elongatus*) greindust.

Rannsóknin leiddi í ljós töluverðan breytileika í magni sjávarlúsa eftir mánuðum og sýnatökustöðum. Niðurstöður benda til þess að vatnshiti sé sterkur drifkraftur fyrir magn sjávarlúsa á villtum laxfiskum, þar sem fylgni er á milli hærra hitastigs og aukins fjölda smita. Gögnin sýndu enn fremur sterka fylgni á milli lúsamagns á villtum fiski og magns fullorðinna kvenkyns laxalúsa í nærliggjandi fiskeldisstöðvum. Marktækt fleiri smittilvik fundust í villtum fiski frá svæðum þar sem hátt magn fiskilúsa fannst í fiskeldisstöðvum, sérstaklega þegar heimkynni þeirra voru nálægt netakvíum.

Niðurstöður okkar undirstrika aukna þörf á betri stjórnunaraðferðum sem draga geta úr áhrifum laxalúsar á villtan fisk, þar á meðal strangari reglur um magn lúsa í eldisstöðvum, bætt eftirlitskerfi og þróun nýrra eftirlitsaðferða. Þess háttar aðgerðir eru nauðsynlegar ef vernda á heilsu bæði villtra fiska og eldisfiska en lágmarka um leið vistfræðilega áhættu af lúsasmiti.

INNGANGUR

Á undanförunum árum hefur fækkað mikið í stofni Atlantshafslax (*Salmon salar*) í Norður-Atlantshafi og er þar um að kenna fjölmörgum náttúrulegum streituvöldum, en einnig er hægt að tengja það við mengun, hlýnun sjávar og ofnýting hafsvæða (Dadswell o.fl., 2021). Að sama skapi hafa skýrslur um bleikjustofna (*Salvelinus alpinus*) bent á alvarlega fækkun í íslenskum stofnum og tengsl hennar við hlýnun sjávar og aukinn fjölda sníkjudýra (Malmquist o.fl., 2009; Simmons o.fl., 2019). Hröð stækkun í fiskeldisiðnaði á undanförunum árum hefur verið tengd við þessa fjölmörgu streitubætti, svo sem mengun, erfðablöndun, sem og fjölgun sníkjudýrasmita, sem geta leitt til dauða laxfiska (Bouwmeester o.fl., 2020; Quero o.fl., 2020).

Ein helsta áskorun sem íslenskur og alþjóðlegur laxeldisiðnaður stendur frammi fyrir í dag er hátt hlutfall sjávarlúsasmit en slík smit hafa veruleg áhrif á velferð og heilsu bæði eldisfiska og villtra laxfiska (Cerbule o.fl. 2020; Torrissen o.fl., 2013). Fækkun í laxastofnum á Íslandi, og á heimsvísu, undirstrikar hversu brýnt það er að rannsaka sjávarlúsasmit. Söfnun gagna um sjávarlúsasmit á villtum laxfiskum er mikilvægt skref í átt að því að skilja þau áhrif sem smit hefur á heilsufar fiska og til þess að þróa árangursríkar mótvægisáðgerðir til að styðja við sjálfbærni laxfiskastofna á Íslandi.

Ísland er stærsti bleikjuframleiðandi í heimi og er sjötti stærsti framleiðandi Atlantshafslax, en heildarframleiðsla eldislaxa náði 52.389 tonnum í október 2024 (Matvælastofnun, 2024a). Fiskeldi er nú mikilvægur hluti af atvinnulífi á Íslandi og hefur greinin lagt mikið af mörkum til samfélagsins með atvinnusköpun, útflutningstekjum og byggðaþróun. Áhrifin eru sérlega mikil á Vestfjörðum og Austfjörðum, aðalsvæðum sjávareldis á Íslandi, þar sem sjókvíar eru staðsettar.

Um 85% af fiskeldi á Íslandi er í sjó og er fiskurinn vanalega alinn í opnum sjókvíum. Þessi aðferð gerir ráð fyrir opnum skiptum á vatni, næringarefnum og lífverum á milli sjókvíarumhverfisins og vistkerfisins í kring. Fjölmargar rannsóknir sýna hver möguleg umhverfisáhrif fiskeldis í opnu hafi geti verið, þar á meðal næringarefnamengun (Arechavala-Lopez o.fl., 2022), uppbrot á búsvæðum (Bath o.fl., 2023) og útbreiðslu sjúkdóma (Assefa o.fl., 2018) og sýnir mikilvægi umhverfisvöktunar.

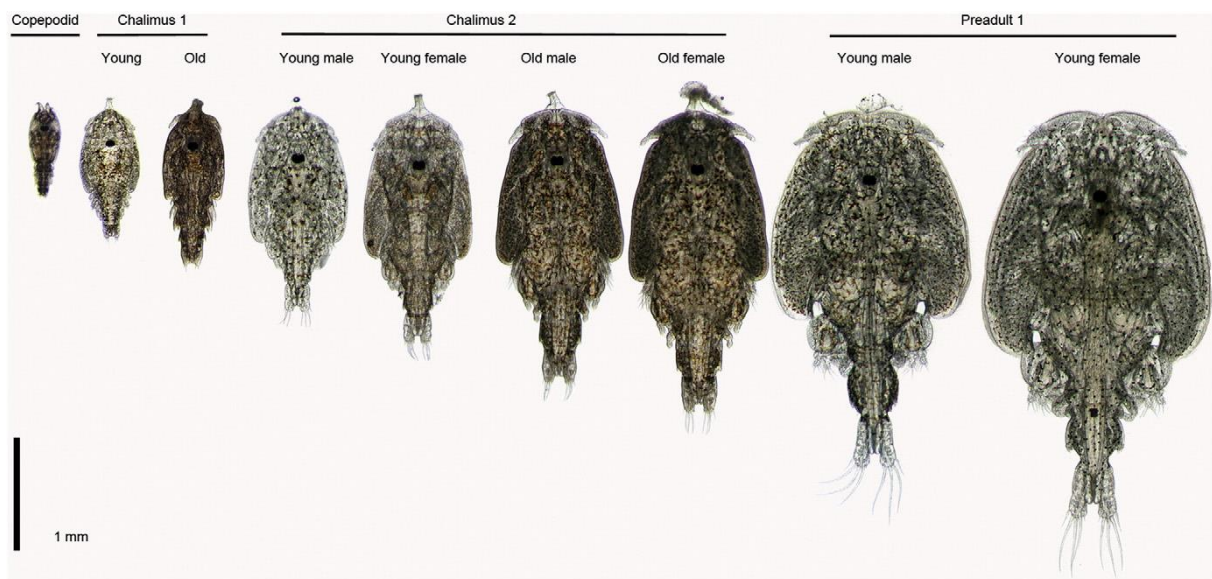
Þrátt fyrir að efnahagur á Íslandi sé háður auðlindum sjávar er engin umfangsmikil, langtíma umhverfisvöktunaráætlun fyrir hendi til að meta áhrif fiskeldis á náttúrulegt sjávarlíf. Löggjöf um fiskeldisiðnað er upprunnin á áttunda áratugnum og var sett á sínum tíma til að styðja atvinnugrein sem þá var í þróun. Þrátt fyrir mikinn vöxt greinarinnar undanfarinn áratug hefur regluverkið ekki verið uppfært nægilega vel til þess að stjórna núverandi umfangi hennar á skilvirkan hátt. Nauðsynlegt er að koma á stöðugri vöktun ásamt því að sinna rannsóknarvinnu sem tryggi sjálfbærni fiskeldishátta og dragi úr neikvæðum áhrifum á vistkerfi hafsins.

Líffræði sjávarlúsa

Sjávarlús eru sníkjudýr (krabbadýr) sem eyða meirihluta ævi sinnar áföst við fiskhýsilinn. Tvær tegundir sjávarlúsa geta mögulega herjað á laxfiska á íslenskum strandsvæðum: fiskilús

(*Caligus elongatus*) og laxalús (*Lepeophtheirus salmonis*). Fiskilúsin er sníkjudýr sem herjar á ýmsar fisktegundir en laxalúsin er hýsilsértæk og festir sig eingöngu við laxfiska. Á Íslandi hefur fiskilús alltaf verið þáttur í vistkerfi fiska en magn laxalúsar jókst gríðarlega eftir stofnun fiskeldis á Íslandi (Matvælastofnun, 2024b).

Eftir að egg lúsarinnar klekjast út dreifist sviflúsin um sjávarsvæðið þar sem hún þróast yfir á krabbafloástig og getur þá smitað fisk (Boxaspen, 2006). Á þessu stigi festir lúsin sig við hýsilinn og hreyfir sig ekki af honum (Byrne o.fl., 2018). Á meðan lúsin er föst við fiskinn hefur hún hamskipti og þroskast í gegnum mörg ungbroskastig og nærast á slími, hreistri og blóði fisksins. Lýsnar fá hreyfigetu á ný þegar þær ná ungvíðis- eða fullorðinsstigi og geta þá fært sig yfir á nýjan hýsil. Dreifing ungvíðis og fullorðinna lúsa getur komið til vegna þéttleika lúsastofnsins eða ef einstaklingar af hinu kyninu eru ekki til staðar á núverandi hýsli (Connors o.fl., 2011). Líftími kvenkyns laxalúsa við aðstæður á rannsóknarstofu sýnir að einstök kvendýr lifa í allt að 210 daga. Kynslóðartími sjávarlúsa fer eftir hitastigi og spannar á bilinu 6 vikur (við 9°C) og 8-9 vikur (við 6°C) (Samsing o.fl., 2016). Þrátt fyrir að köld og dimm vetrarskilyrði dragi verulega úr þroskatíma eggja og lirfa fer æxlunarferill laxalúsar fram allt árið um kring (Boxaspen og Næss, 2000).



Mynd 1. Mismunandi þroskastig laxalúsarinnar (*Lepeophtheirus salmonis*) (Eichner et al., 2015).

Sjávarlús á villtum laxfiskum

Í hafinu umhverfis Ísland finnast þrjár innfæddar tegundir laxfiska; Atlantshafslaxinn, sjóbirtingur (*Salmo trutta*) og bleikja. Allar tegundirnar eru, að minnsta kosti að hluta til, vatnagöngufiskar sem þýðir að þær færa sig á milli ferskvatns og sjávar. Fullorðnir laxfiskar flytjast til ferskvatnsbúsvæða á haustin til hrygningar og snúa aftur til sjávar snemma sumars, þar sem þeir eyða sumarmánuðunum í fóðrun. Á þessum tíma festir sjávarlúsin sig við fiskinn og lifir á hýslinum þar til laxfiskarnir ganga aftur í ferskvatnið.

Lifun sjávarlúsa í ferskvatni fer eftir lífsstigi hennar: nýútklaktar lirfur geta ekki lifað lengur en í klukkutíma á meðan stærri lirfur og ungvíði halda út í nokkra daga (Wright o.fl. 2016).

Fullorðin lús getur hins vegar verið á laxfiskum í að minnsta kosti átta daga eftir að þeir fara í ferskvatn. Þar sem laxfiskar lifa í ferskvatni yfir vetrartímenn losna þeir þá við sjávarlúsina á náttúrulegan hátt. Samhliða því veldur ferskvatnsganga laxfiska á veturna truflun á lífsferli lúsa þar sem þær finna sér ekki hýsil yfir vetrartímenn. Aftur á móti er eldisfiskur í netakvíum í sjónum allt árið um kring og þar þrífast laxalýs vel við nær fullkomnar aðstæður – þrátt fyrir lágt hitastig (Matvælastofnun, 2024b). Þetta viðvarandi framboð á hýslum gerir lúsinni kleift að viðhalda lífsferlinum og eykur hættuna á endursmiti í villtum fiskistofnum í nágrenninu.

Áhrif sjávarlúsa á heilsu fiska

Laxalús er sníkjudýr sem nærast á slími, hreistri og blóði fiska og veldur með því alvarlegum heilsufarsvandamálum í hýslinum. Sýktir fiskar hafa hækkað kortisolmagn í blóði, truflanir á osmósutemprun og veiklað ónæmiskerfi (Gallardi o.fl., 2019). Samlögð áhrif skertrar ónæmissvagnar og tap á hlífðarslímlagi gerir fiskinn afar viðkvæman fyrir veirusýkingum og sjúkdómum (Barker o.fl., 2019). Þessi áhrif bætast við afleidd áhrif, þar á meðal skertan vöxt, verri sundgetu og vangetu til fjölgunar, en þetta leiðir að lokum til verulegrar aukningar á fiskdauða ásamt minnkandi frjósemi (Bui o.fl., 2016; Grimnes og Jakobsen, 1996).

Áhættuvísitala fyrir laxalús sem ætlað er að mæla dánarhættu og heilsuskaða fiska vegna sjávarlúsasmits, var sett fram í Noregi af Taranger o.fl. (2015) og er byggð á sýkingatölu sem lýst er sem fjölda laxalúsa á hvert gramm af fiskþyngd. Dánartíðni laxfiska er metin 100% þegar laxfiskar (>150 g) eru sýktir af 0,15 lús/g, og 0,3 lús/g fyrir unglaxfiska (<150 g) (Taranger o.fl. 2015). Þetta mat er byggt á alþjóðlegum rannsóknum sem gerðar hafa verið, bæði á vettvangi og við náttúrulegar aðstæður, og undirstrikar þau alvarlegu áhrif sem sjávarlús getur haft á vöxt laxfiska, æxlunarárangur þeirra og lifun.

Iðnaður og sjávarlúsameðferð

Fjöldun sjávarlúsa í eldiskvíum kallar á meðhöndlun sem hefur í för með sér verulegan kostnað fyrir fiskeldisiðnaðinn og hefur skaðleg áhrif á sjávarlífríki í nærumhverfinu. Algengustu sjávarlúsameðferðir (eiturefni) sem notaðar eru á Íslandi eru Alpha Max©, Salmosan© og Slice©. Slice© er gefið sem fóðurlyf en Salmosan© og Alpha Max© eru ætluð til útvortis notkunar og er dælt inn í kvíarnar þar sem fiskarnir eru baðaðir í blöndunni. Efnaböðun fisks hefur í för með sér mikinn fjármagnskostnað fyrir fiskeldisfyrirtæki. Auk þess hefur hátt hlutfall sjávarlúsasmits í eldisfiski leitt til neyðarslátrunar. Sem dæmi má nefna að árið 2023 þurfti að slátra og farga öllum 2.936.917 Atlantshafslöxum úr 12 netakvíum í Tálknafirði (Matvælastofnun, 2023). Þetta gífurlega tap á eldisfiski var rakið til meiri háttar sjávarlúsasmits sem líklega stafaði af lélegum forvörnum og síðbúnum viðbrögðum fiskeldisiðnaðarins sem og yfirvalda (Matvælastofnun, 2024b).

Fjárhagslegur kostnaður af sjávarlúsasmiti kemur til vegna meðferðarkostnaðar og framleiðslutaps vegna minni vaxtar og aukins fiskdauða. Þessi kostnaður hefur verið áætlaður á bilinu 0,2 evrur/kg (Costello, 2009) og 0,44 evrur/kg (Abolofia og Wilen, 2017). Miðað við verðbólgu (byggt á *vísitölu framfærslukostnaðar og vísitölu neysluverðs*) væri áætlaður kostnaður fyrir árið 2024 hvor um sig 74 ísk./kg. og 110 ísk./kg. Miðað við fjölda eldisfiska í

netakvímum í október 2024 (Matvælastofnun, 2024a) er áætlað árlegt fjárhagslegt tjón íslensks fiskeldis vegna sjávarlúsasmits á bilinu 2,9 til 4,8 milljarðar íslenskra króna (sjá útreikninga í viðauka).

Þessi kostnaður tekur aðeins til taps á fjármunum innan greinarinnar. Heilsufar og dánartíðni villtra laxfiska í tengslum við sjávarlúsasmit á svæðum þar sem öflugt fiskeldi er stundað voru ekki tekin með inn í fjárhagslega útreikninga hér að ofan. Dánartíðni villtra laxfiska af völdum sjávarlúsa hefur verið metin 18% af heildardánartíðni (Vollset o.fl., 2016). Á svæðum í Noregi þar sem mikið lúsaálag er, hefur dánartíðni eftir að seiðastigi lýkur hjá laxfiskum sem flytjast búferlum eftir árstíðum verið ákvarðað $> 30\%$. Áætlanir frá norsku vísindaráðgjafanefndinni um Atlantshafslax (Norwegian Scientific Advisory Committee for Atlantic Salmon) benda til þess að laxalús hafi fækkað endurgöngulöxum sem skiluðu sér í Noregi um 118.000 á milli árána 2012 og 2019 (VRL, 2020).

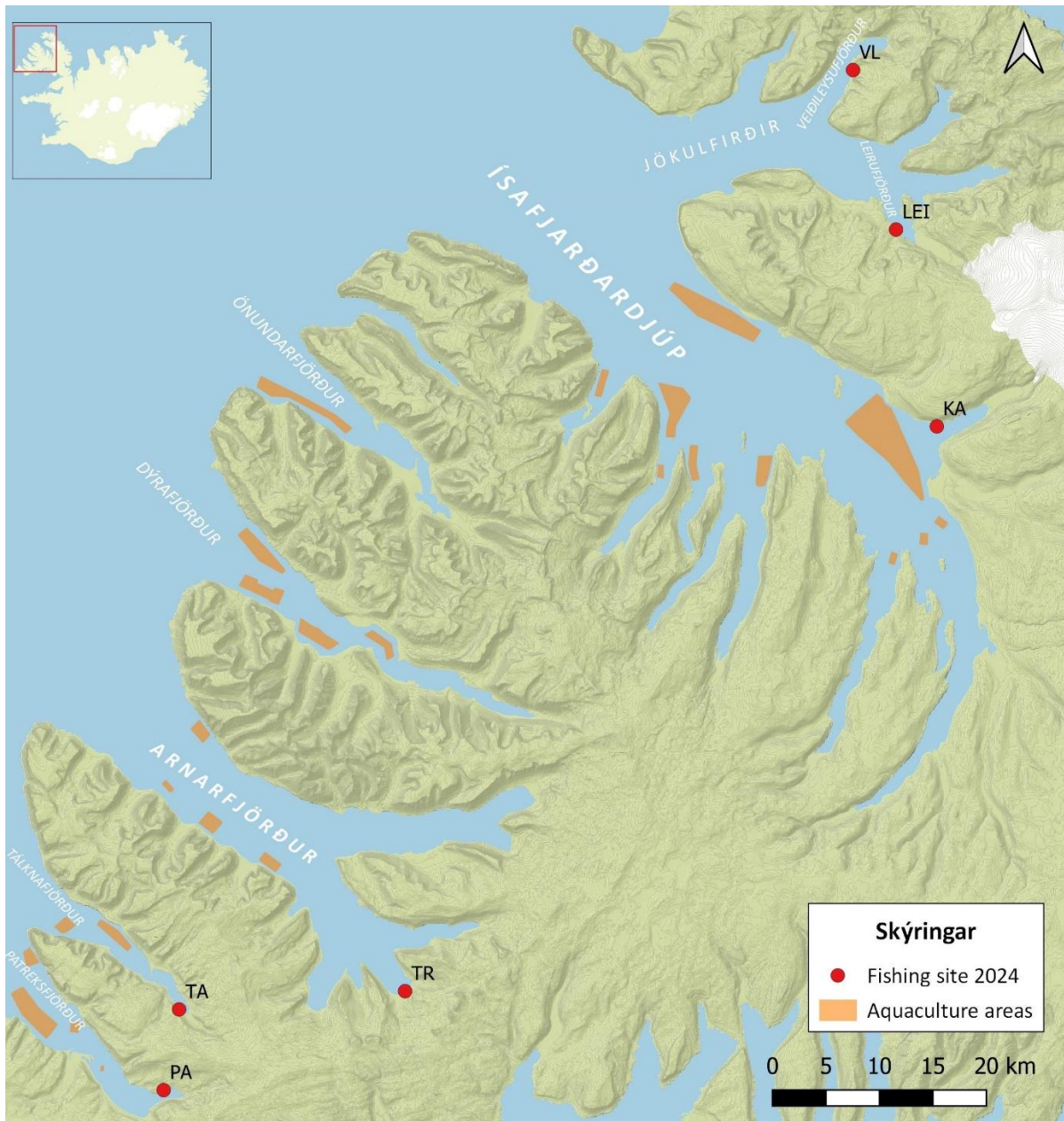
Þessi rannsókn nær yfir fjölda sjávarlúsasmita í villtum laxfiskum á Vestfjörðum í júlí og ágúst 2024. Meginmarkmið hennar voru að (1) bera saman magn lúsa á mismunandi svæðum, (2) kanna áhrif hitastigs á magn lúsa og (3) kanna sambandið á milli lúsamagns á villtum fiski og eldisfiski. Niðurstöður rannsóknarinnar geta haft áhrif á sjávarlúsastjórnun í íslensku fiskeldi og stuðlað að verndun villtra laxfiskastofna.

AÐFERÐIR

Rannsóknin var gerð á Vestfjörðum þar sem ferskvatnsgangandi laxa-, bleikju- og sjóbirtingsstofnar lifa í fjörðunum yfir sumarmánuðina. Rannsóknarstaðir voru valdir nálægt ám sem vitað er að hýsi laxfiskastofna, svo og í fjörðum með og án virkrar fiskeldisstarfsemi (Mynd 1). Veiðistaðirnir voru nefndir eftir viðkomandi fjörðum: Veiðileysufjörður (VL) og Leirufjörður (LEI) í Jökulfjörðum, Kaldalón (KAL) í Ísafjarðardjúpi, Borgarfjörður (BF) og Trostansfjörður (TR) í Arnarfirði, Tálknafjörður (TA), og Patreksfjörður (PA). **Óhagstæð veðurskilyrði sumarið 2024 trufluðu sýnatökuáætlunina sem varð til þess að ákveðið var að hætta sýnatöku á Austfjörðum.**



Mynd 2. Netaútlagning í Arnarfirði.



Mynd 1. Veiðistaðir sjávarlúsaeftirlits í júlí og ágúst 2024. Fiskeldissvæði eru merkt með rauðu. (kort: Hulda Birna Albertsdóttir).

Vettvangsvinna

Sýni voru tekin með reknetum (möskvastærð 21 mm og 24 mm) á hverjum rannsóknarstað í júlí og ágúst 2024. Á hverjum veiðistað (Mynd 1) voru sex net sett í sjóinn í nálægð við laxveiðiár og nálægt gróskum, grýttum fjörum sem eru hentug búsvæði laxfiska. Netunum var komið fyrir hornrétt á strandlínuna með um það bil 50 m til 100 m millibili til að tryggja skilvirka útbreiðslu og lágmarka skörun. Hvert reknet var 25 m langt og 2 m djúpt og hafði flotholt á efri brún og lóð á þeirri neðri. Net voru höfð í vatninu í 6 klst. á hverjum af þeim þremur samliggjandi dögum sem mælingar voru gerðar í báðum mánuðum, eða þar til æskilegum fjölda fiska var náð. Æskileg sýnataka var metin 25 til 30 fiskar í hvorum mánuði en sá fjöldi náðist ekki alltaf vegna slæmra veðurskilyrða og stundum vegna dræmra veiða. Á meðan netin

voru í vatninu voru þau undir stöðugu eftirliti og fiskur sem veiddist var fjarlægður tafarlaust til að koma í veg fyrir að sjávarlús flæktist í netinu, skaðaðist eða dræpist. Dauðir fiskar voru, hver fyrir sig, settir í sérmerкта poka og geymdir í kæli til varðveislu þar til hægt væri að flytja þá á rannsóknarstofu.

Upplýsingum um sjávarhita, leiðni og uppleyst súrefni var safnað á hverjum sýnatökudegi í nálægð við netin við yfirborð vatnsins og á 1 m og 2 m dýpi. Eftirfarandi tæki voru notuð til að mæla breytur í vatninu:

Hitastig:	HQ40d (Hach), CastAway CTD (Son Tek)
pH:	HQ40d með PHC101 nema (Hach), CastAway CTD (Son Tek)
Leiðni:	HQ40d (Hach), CastAway CTD (Son Tek)
Uppleyst súrefni:	HQ40d með LDO rannsaka (Hach)

Gagnavinnsla og undirbúningur

Þau gögn sem tekin voru saman á rannsóknarstofunni voru fisktegundir, líkamslengd og þyngd, og upplýsingar um sjávarlýsnar: tegund (*Lepeophtheirus salmonis* eða *Caligus elongatus*), kyn og lífsstig þeirra sem fundust fastar á fiskinum. Tegund og kyn lúsanna voru greindar á fullorðins- og ungvíðisstigi en þó ekki fyrir hreyfistig, þar á meðal krabbasvif og lirfur. Aflahlutfall var reiknað fyrir hvern stað og mánuð með því að deila fjölda fiska með fjölda neta og veiðistundum. Lúsatalning af veiddum laxfiskum var notuð til að ákvarða smittíðni, magnfest sem útbreiðsla (hlutfall sýktra fiska), magn (meðalfjöldi lúsa á hvern fisk, bæði sýkta og ósýkta) og styrk sýkingar (meðalfjöldi lúsa á hvern sýktan fisk) á hverjum stað og degi fyrir sig (Bush o.fl., 1997).

Áhættumatið gefur vísbendingar um áhrif sjávarlúsa á fiskdauða, skertan vöxt eða lækkaðan æxlunarárangur og var byggt á norsku áhættumati fyrir sjálfbært fiskeldi (Norwegian Risk Assessment for Sustainable Aquaculture) (Taranger o.fl., 2015). Áhættustig fyrir laxalúsasmit er metið út frá fjölda lúsa á hvert gramm af fiskþyngd með þröskuldum sem skilgreina „lág“, „í meðallagi“ og „hátt“ áhættustig (Taranger o.fl., 2015). „Hátt áhættustig“, metið við 100% dánartíðni, er skilgreint sem smittíðni upp á $\geq 0,15$ lús á gramm fyrir laxfiska sem vega yfir 150 g og $\geq 0,3$ lús á gramm fyrir laxfiska sem eru undir 150 g að þyngd. Aftur á móti er „lág áhættustig“ metið smittíðni á milli 0,1 og 0,2 lús á gramm fyrir laxfiska yfir 150 g og undir 0,01 lús á gramm fyrir ungfiska undir 150 g (sjá S_Töflu 1 fyrir frekari upplýsingar).

Hlutfall fullorðinna kvenkyns laxalúsa á eldislaxi á hverju sýnatökusvæði var fengið úr ASC skýrslum frá Arnarlaxi (arnarlax.is) og Arctic Sea Farm (arcticfish.is) og frá *Fishtalk* hjá Háafell. Meðalgildi vikulegra hámarkslúsahlutfalla var reiknað fyrir hvern mánuð og fjörð. Fjarlægð milli veiðistaða og næstu netakvíva var reiknuð út frá stystu sjóleið.

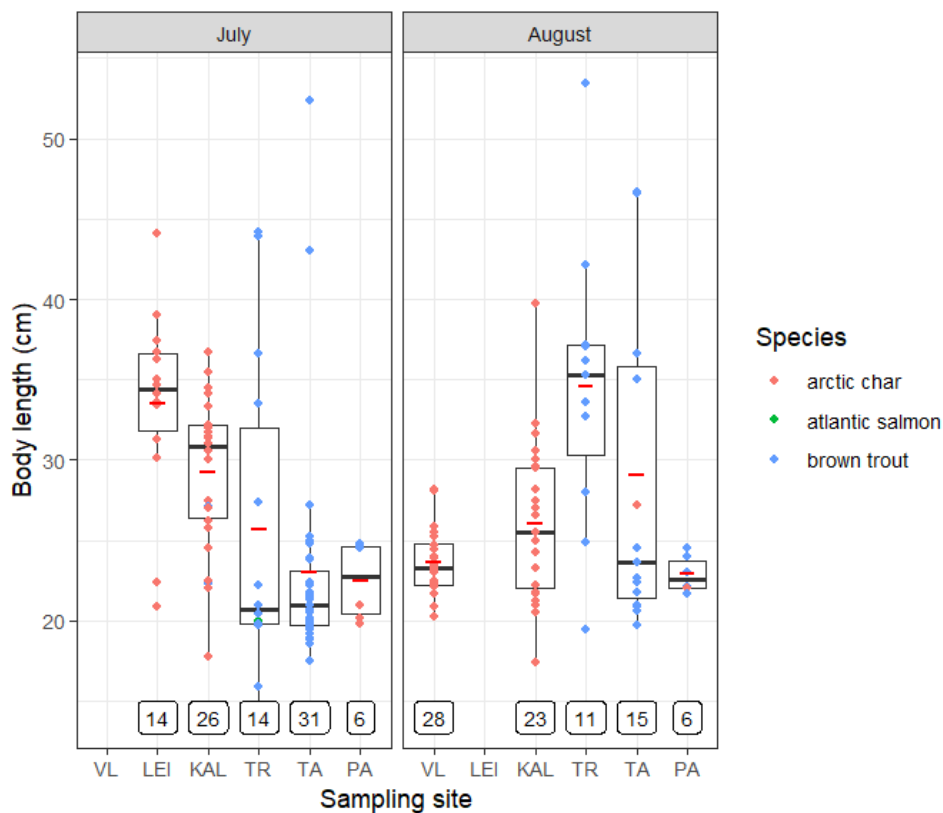
Gagnagreining

Almennt línulegt líkan (GLM) var útbúið til að kanna áhrif hitastigs, lúsamagns í fiskeldistöðvum og fjarlægð frá fiskeldistöðvum á lúsamagn á villtum laxfiskum.

Skýringarbreytur voru meðal annars *mánuður* (júlí og ágúst), *lengd* fiska (TL), *meðalhitastig* vatns mælt á veiðistöðum fyrir hvern mánuð, magn fullorðinna *kvenlúsa á eldisfiski* og fjarlægð milli veiðistaðar og næstu netakvía. Líkanið var búið víxlverkunaráhrifum *lúsar á eldisfisk* og fjarlægðar. Svarbreytan var magn lúsa á einstökum villtum laxfiskum, þar á meðal fiski án lúsa. Tölfræðihópun (e. statistical family) var neikvæð tvínefnadreifing með logruðu hlekkjafalli. Líkanið var útfært með *glm.nb* aðgerðinni úr MASS pakkanum í RStudio (Studio Team, 2020). Líkansgreiningin tók m.a. til skoðunar á sniðnum leifum, leifarfrávikum með Kolmogorov-Smirnov (KS) prófi ($p=0,2$) og fráviksprófi ($p=1$) með því að nota R pakka DHARMA (Hartig, 2022).

NIÐURSTÖÐUR

Alls veiddust 174 laxar á Vestfjörðum í júlí og ágúst árið 2024; af þeim voru 93 bleikjur, 80 sjóbirtingar og 1 Atlantshafslax. Tegundasamsetningin sýndi greinilegan mun á dreifingu eftir breiddargráðum; stærstur hluti þeirra fiska sem veiddust í Ísafjarðardjúpi og Jökulfjörðum var bleikja en sjóbirtingur var algengasta fisktegundin sem veiddist í Arnarfirði, Tálknafirði og Patreksfirði. Líkamslengd (TL) bleikju var á bilinu 17,4 til 44,1 cm (meðaltal= 27,2 cm) en líkamslengd sjóbirtings var á bilinu 14,1 til 53,4 cm að lengd (meðaltal= 26,3 cm) (Mynd 2). Enginn fiskur veiddist í Borgarfirði (Arnarfirði).



Mynd 2. Kassarir fyrir líkamslengd fiska, reiknuð fyrir hvern sýnatökustað í júlí og ágúst 2024. Aflatölur frá hverjum sýnatökustað og mánuði eru tilgreindar fyrir neðan hvern kassa. Punktur gefa til kynna lengd einstakra fiska ásamt upplýsingum um tegund (litur). Hver kassi táknar 50% af fisklengdinni sem dreift er á milli 1. og 3. fjórðungs og lengd skynhára er takmörkuð við 1,5*millifjórðungsbil.

Fiskafli og lúsamagn

Alls voru skráðar 4722 lýs á 174 fiskum og sjávarlýs fundust á um 70% þeirra fiska sem fangaðir voru. Meðal ungvíðis og fullorðinna lúsa reyndust 98% þeirra vera laxalýs (*Lepeophtheirus salmonis*) en aðeins tvær fiskilýs (*Caligus elongatus*) greindust. Sjávarlúsafjöldi var meiri í júlí (n = 3996) samanborið við ágúst (n = 726) (Tafla 1). Mesti lúsafjöldi fannst á sjóbirtingi úr Trostansfirði í Arnarfirði í ágúst en hann reyndist bera 283 lýs á sér. Á heildina litið var marktækt meiri lúsafjöldi á sjóbirtingi, að meðaltali 62,5 lús á hverjum fisk samanborið við bleikju sem hafði að meðaltali 8,7 lús á hvern fisk. Mesti fjöldi lúsa fannst á fiskum úr Trostansfirði (n=1619) og Tálknafirði (n=2589) bæði í júlí og ágúst (tafla 1). Fyrir alla staði og rannsóknartímabil var útbreiðsla á bilinu 0,2 (LEI í júlí) til 1,0 (TR í ágúst), magn á bilinu 1 (KAL í ágúst) til 81,9 (TR í júlí) og styrkur á bilinu 2,2 (KAL í ágúst) til 127,3 (TR í júlí) (Tafla 1).

Tafla 1. Samantekt yfir fjölda laxfiska, lúsafjölda, útbreiðslu lúsa, magn og styrk (meðaltal ± staðalfrávik) fyrir hvern rannsóknarstað og mánuðina júlí og ágúst. Útbreiðsla: hlutfall sýktra fiska; magn: meðalfjöldi lúsa á hvern fisk af öllum fiskum; styrkur: meðalfjöldi lúsa á hvern sýktan fisk.

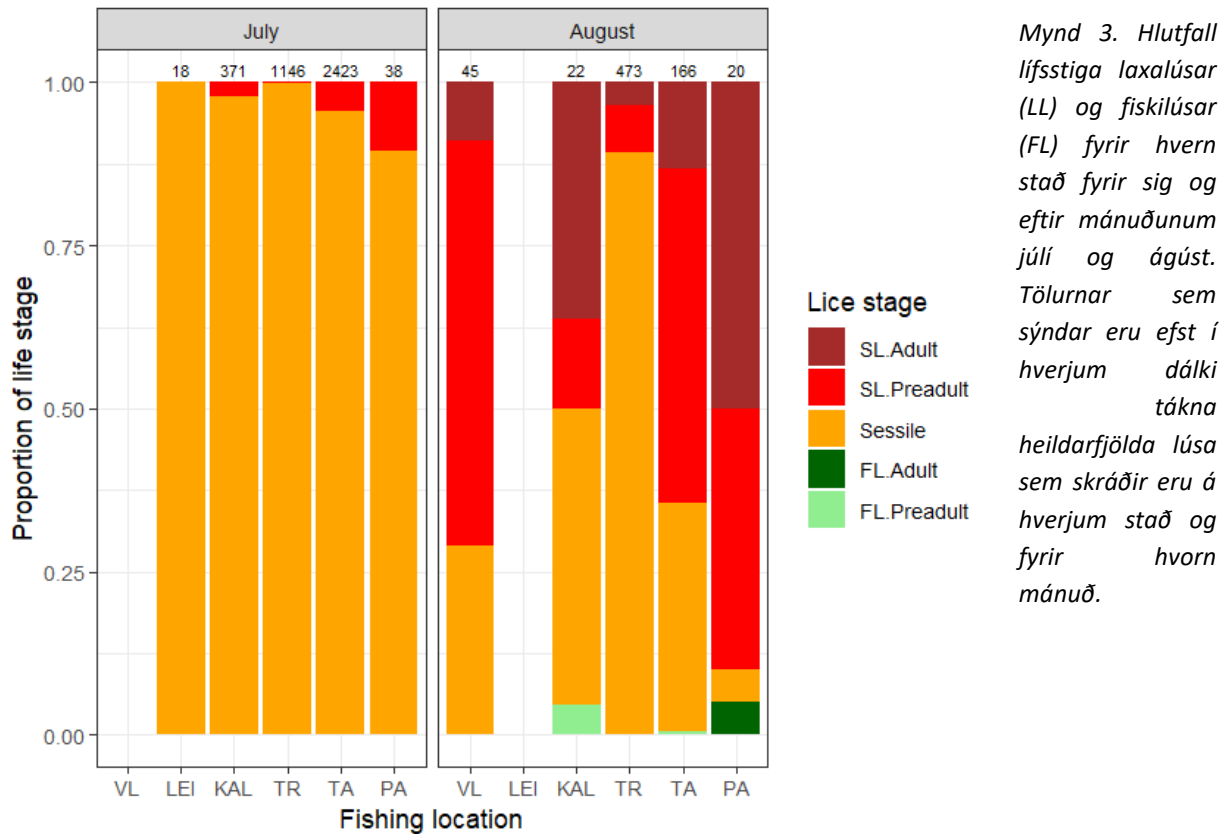
Veiðistaður	Fjöldi fiska	Fjöldi lúsa	Útbreiðsla	Magn	Styrkur
JÚLÍ					
LEI	14	18	0,2	1,3 (±4,3)	6 (±8,7)
KAL	26	371	0,8	14,3 (±16,6)	16,9 (±16,8)
TR	14	1146	0,6	81,9 (±94,4)	127,3 (±89,2)
TA	31	2423	0,9	78,2 (±58,2)	86,5 (±54,9)
PA	6	38	0,8	6,3 (±6,3)	7,6 (±6,2)
ÁGÚST					
VL	28	45	0,6	1,6 (±2,2)	2,8 (±2,2)
KAL	23	22	0,4	1 (±1,5)	2,2 (±1,5)
TR	11	473	1,0	43 (±81,1)	43 (±81,1)
TA	15	166	0,6	11,1 (±12,9)	18,4 (±11,8)
PA	7	20	0,9	2,9 (±2)	3,3 (±1,6)

Sýnatökutímar á hverjum stað og mánuði voru háðir veðurskilyrðum og árangurs veiðanna. Afli fór aðeins einu sinni yfir 30 fiska, það var í Tálknafirði í júlí en þá veiddist 31 fiskur. Aflahlutfall, skilgreint sem fjöldi fiska á hverja veiðistund og net, var á bilinu 0,09 (Patreksfjörður í júlí) til 0,65 (Veiðileysufjörður í ágúst) (S_Tafla 2).

Lífsstig sjávarlúsa

Laxalýs á kyrrsætnistigi fundust aðallega í júlí og voru 88,6% af heildarlúsafjölda sem fannst. Hópur þeirra samanstóð fyrst og fremst af lirlfum (94,3%), en aðeins 5,7% reyndust vera krabbasvif í báðum mánuðum. Hlutfall aldursstiga fyrir ungvíði og fullorðna einstaklinga jókst frá júlí til ágúst á öllum stöðum. Af ungvíði og fullorðnum lúsum í ágúst voru 99% þeirra laxalýs

(SL) og af þeim voru 40% kvendýr og 60% karldýr. Aðeins 2 fiskalýs (FL) fundust á laxfiskunum og voru þær báðar kvenkyns ungvíði (KAL og TA). Fiskur úr Tálknafirði var bæði með mesta magn lúsa á kyrrsætnistigi (n=2316) og ungvíði (n=105) í júlí sem og flest ungvíði (n=82) og fullorðnar lýs (n= 21) í ágúst. Mestur fjöldi lúsa á kyrrsætnistigi (n=420) í ágúst fannst á fiski úr Trostansfirði (Mynd 3, S_Tafla 3).

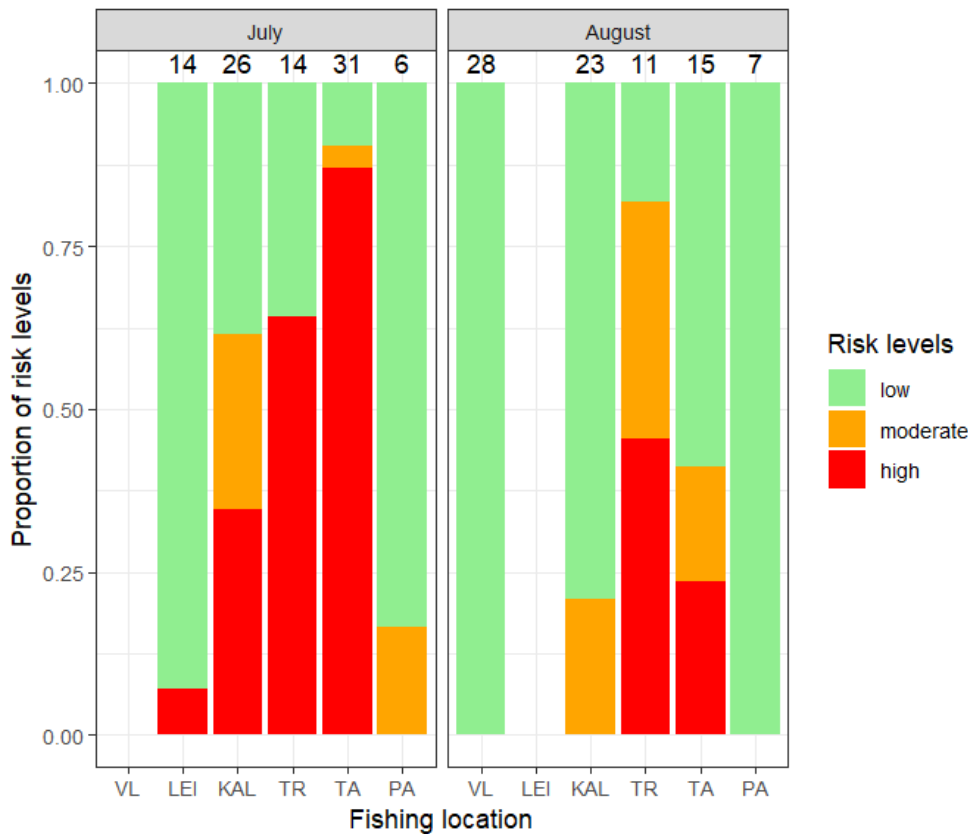


Hæsta hitastig sem mældist í Tálknafirði, Patreksfirði og Kaldalóni í júlí var 12,4°C, 11,8°C og 11,1°C, í sömu röð. Hitastig í Leirufirði og Trostansfirði í júlí var 9,2°C og 8,6°C, í sömu röð. Í ágúst mældist hæsti hiti við sunnanverða Vestfirði (TA, TR og PA) og var á bilinu 10,6°C til 11,0°C en hitastig í Ísafjarðardjúpi (með KAL) og Jökulfjörðum (með VL) var fremur svalt, 8,8°C og 8,7°C, í sömu röð (S_Tafla 4, upplýsingar í S_Töflu 5).

Áhættumat

Í júlí reyndist áhættustig vera hátt eða miðlungshátt hjá yfir 60% af þeim fiski sem veiddur var. Nánar tiltekið var 35% fisks í Kaldalóni í mikilli áhættu og 27% í meðal áhættu. Í Trostansfirði voru 64,3% fiskar flokkaðir á háu áhættustigi og í Tálknafirði voru 87,1% fiskanna í mikilli áhættu en 3,2% þeirra í áhættu af meðallagi. Andstætt því reyndist lægra hlutfall miðlungs- eða hááhættustiga í bæði Leirufirði (7,7% hátt áhættustig) og Patreksfirði (16,7% miðlungsáhættustig) og áhrifin náðu aðeins til fárra fiska í júlí. Í ágúst var hlutfall fisks á háu eða miðlungsmiklu áhættustigi á bilinu 20% til 45,5%. Af þeim fiski sem veiddur var í

Trostansfirði voru 45,5% fiska í mikilli áhættu og 36,4% í áhættu af meðallagi. Í Tálknafirði voru 23,5% laxfiska í mikilli áhættu og 17,7% í áhættu af meðallagi í ágúst. Í Kaldalóni voru 20,8% af fiski í miðlungsmikilli áhættu. Auk þess var allur fiskur í Veiðileysufirði og Patreksfirði í ágúst settur á lágt áhættustig sem gefur til kynna lágmarks lúsasmit á þessum svæðum á því tímabili (mynd 4).



Mynd 4. Hlutfall áhættustigs reiknað fyrir hvern veiðistað og mánuð miðað við norska áhættumatið fyrir sjálfbært fiskeldi (Taranger o.fl. 2015). Tölurnar sem sýndar eru efst í hverjum dálki tákna fjölda fiska sem veiddir voru á hverjum stað eftir mánuði og taka bæði til fisks sem er þyngri og léttari en 150 g.

Gagnagreining

Niðurstöður GLM gáfu til kynna marktæka aukningu smittilvika lúsa á villtum laxfiskum með hærri fjölda smittilvika í sjókvíum ($p < 0,001$). Þessi áhrif mögnuðust með aukinni nálægð við eldisstöðvarnar ($p < 0,001$). Lúsamagn jókst einnig marktækt með hitastigi ($p < 0,001$) og milli júlí og ágúst ($p = 0,04$). Auk þess sýndu smærri fiskar meira lúsamagn samanborið við stærri fiska ($p = 0,01$). Líkansgreining benti ekki til marktækra frávika frá áætlaðri dreifingu (KS-próf, $p = 0,2$), engra öfgakenndra útlaga ($p = 1$) og enngar marktækar ofdreifingar (S_Tafla 6)

UMRÆÐA

Hitastig sjávar

Niðurstaða rannsóknarinnar benda til þess að töluverður breytileiki sé á magni sjávarlúsa, bæði milli mánaða og á milli sýnatökustaða. Niðurstöður líkansins benda til þess að vatnshiti

sé sterkur drifkraftur fyrir magn sjávarlúsa á villtum laxfiskum, þar sem fylgni er á milli hærra hitastigs í sjó og aukins fjölda smita. Þetta er í samræmi við aðrar rannsóknir þar sem hitastig gegnir mikilvægu hlutverki við að ákvarða þróun og vaxtarhraða laxalúsar (Sandvik o.fl., 2021). Þroskunartími styttist verulega með hækkandi vatnshita innan hitabilsins 6°C til 21°C (Hamre o.fl., 2019), sem leiðir að lokum til fleiri smittifella laxalúsar við hærra hitastig (Dalvin o.fl., 2020). Norska Hafrannsóknastofnunin greindi frá þrefaldri aukningu á laxalúsafjölda í Norður-Noregi í september 2024, sem hefur verið tengd við óvenju háan hita í sjó í Norður-Noregi (Hoddevik, 2024).

Í íslensku fiskeldi er fjöldi laxalúsasmita töluvert breytilegur milli eldissvæðanna tveggja: Vestfjarða og Austfjarða (Matvælastofnun, 2024b). Tilkynnt hefur verið um fjölgun laxalúsatilvika á Vestfjörðum í kjölfar stækkunar í fiskeldisiðnaði en fiskeldisstöðvar á Austfjörðum hafa greint frá lágmarkssmiti (Matvælastofnun, 2024b). Mismunandi hitastig sjávar gæti skýrt muninn sem er á magni lúsa á þessum tveimur svæðum. Á árunum 2015 til 2024 var meðalhiti sjávar á Austfjörðum (Stöðvarfirði) í ágúst 7,5°C ($\pm 0,9^\circ\text{C}$), samanborið við 10°C ($\pm 1,0^\circ\text{C}$) á Vestfjörðum (Æðey) (heimild: <https://sjora.hafro.is>).

Niðurstöður þessarar rannsóknar hafa ennfremur sýnt að hlýnandi hitastig á Vestfjörðum frá norðri til suðurs virðist hafa áhrif á magn lúsa í mismunandi fjörðum. Fleiri lúsasmit hafa fundist í Arnarfirði og Tálknafirði á sunnanverðum Vestfjörðum en í Jökulfjörðum og Ísafjarðardjúpi á norðanverðum Vestfjörðum. Loftslagsspár gefa til kynna skýra tilhneigingu til hækkandi sjávarhita, sérstaklega á norðurskautssvæðinu og kaldtempruðum svæðum. Búist er við að þessi hlýnun stuðli að fjölgun og útbreiðslu laxalúsar, sem gæti hugsanlega aukið lúsasmit í fiskeldiskerfum á Íslandi í náginni framtíð (Sandvik o.fl., 2021).

Laxalús á eldisfiski

Rannsökuð voru svæði með bæði mikinn og lítinn eldispéttleika. Niðurstöður okkar sýna sterka fylgni á milli lúsamagns á villtum fiski og magns fullorðinna kvenkyns laxalúsa í nærliggjandi fiskeldisstöðvum. Villtir laxfiskar á svæðum með mikið magn lúsa í fiskeldisstöðvum sýndu marktækt fleiri lúsasmit. Þessi áhrif jukust enn frekar þegar fjarlægð á milli búsvæða laxfiska (veiðistaða) og næstu netakvíva var lítil.

Laxalús á krabbasvifstigi, sem oft er kallað hið smitandi lífsstig, dreifist á óvirkan hátt með hafstraumum en þetta er aðalsmitleið lúsa á milli eldisfisks og villtra fiska. (Boxaspen, 2006). Í Skotlandi hafa rannsóknir sýnt fram á meiri þéttleika lúsa á krabbasvifstigi í vötnum í kringum sjókvíar þegar þéttleiki Atlantshafslaxa í netakvíum er mikill, en það eykur hættuna á lúsasmiti í villtum fiski (Penston og Davies, 2009). Á Íslandi (Matvælastofnun, 2023) sem og í öðrum löndum, hefur stækkun fiskeldis leitt til verulegrar aukningar á magni laxalúsa, bæði innan og utan kvíanna (Dempster o.fl., 2021).

Á árunum 2000 til 2007, þegar fiskeldi á Íslandi var að komast á fót, var oft tilkynnt um fiskilús á eldisfiski, þótt laxalús hafi fundist „í undantekningartilvikum“ (Matvælastofnun, 2007). Fram að 2010 varð stöku sinnum vart við laxalús (Matvælastofnun, 2010). Eftir 2015, þegar fiskeldi færðist í aukana, jókst fjöldi lúsa til muna en það varð til þess að beita þurfti

neyðarlúsameðferð (efnaböðun) í fyrsta sinn árið 2017. Síðan þá hefur efnameðferðartilvikum fjölgað gríðarlega (Matvælastofnun, 2024b) í takt við vaxandi umfang og þéttleika fiskeldis, en sú þróun sýnir greinileg tengsl milli útbreiðslu sjávarlúsar og eldisálags á Íslandi.

Fjölmargar rannsóknir hafa sýnt fram á neikvæð áhrif laxalúsar á þroska laxfiska, æxlun og lifun (Finstad o.fl., 2012, Tveiten o.fl., 2010, Bjørn og Finstad, 1997). Þær rannsóknir voru meðal annars grundvöllur fyrir norska áhættumatið fyrir fiskeldisiðnaðinn (Taranger, 2015) sem útlistar áhættuflokka fyrir lússmitaðan villtan fisk. Í okkar rannsókn er bent á nokkra staði á Íslandi þar sem villtir laxfiskastofnar standa frammi fyrir mikilli hættu á heilsufarsvandamálum og dauða vegna lúsasmits samkvæmt hinu norska áhættumati. Niðurstöður okkar benda til þess að á ákveðnum svæðum, sérstaklega á stöðum þar sem eru bæði mikil fiskeldisvirkni og hátt hitastig, séu ekki einungis einstakir fiskar í áhættu, heldur stafi heilu laxfiskastofnum hætta af lúsasmiti.

Veiðiaðferð

Fleiri lýs fundust í júlí samanborið við ágúst, en hærra hlutfall af lúsum á hreyfanlegum stigum (ungviði og fullorðin lús) fannst á villtum fiski í ágúst. Þótt lýs á kyrrsætnistigi sitji fastar á fisknum geta þær fært sig til eftir líkama fisksins þegar þær komast á hreyfanlegt stig (Bui o.fl., 2024). Ef reknet eru notuð við veiðar getur það valdið því að lýs á hreyfanlegum stigum losni af fisknum, sem leiðir til vanmats á lúsum á smituðum fiski. Athygli vekur að margir fiskar báru óregluleg ummerki á húðinni í samræmi við bitför laxalúsa þótt fáar eða engar lýs hafi fundist á þeim. Þetta bendir til þess að lýs á hreyfanlegum stigum kunni að hafa hrokkið af fisknum þegar hann var veiddur, sem gæti leitt til vanmats á fjölda þeirra í þessari rannsókn.

Til að bregðast við þessu mælum við með notkun veiðiaðferða sem deyða fiskinn ekki þegar hann er fangaður. Fiskigildir hafa reynst árangursrík og sjálfbær aðferð við eftirlit með sjávarlús á laxfiskum (Taranger o.fl., 2015). Sú aðferð gerir rannsakendum kleift að svæfa fiskinn fyrir lúsatalningu og sleppa honum svo aftur út í náttúruna. Notkun fiskigilda við eftirlit með sjávarlúsum mun tryggja nákvæmari talningu lúsa á hreyfanlegum stigum, draga úr lúsatapi við meðhöndlun og ekki síst, lágmarka vistfræðileg áhrif sem eftirlit með villtum laxfiskastofnum við Ísland kann að hafa í för með sér.

Afleidd áhrif og annars konar lúsameðferðir

Þótt neikvæð áhrif sjávarlúsar séu oft tengd við eldisfisk og villtan fisk, verður einnig að huga að afleiddum áhrifum, þar á meðal skaðlegum áhrifum lúsameðferðarlyfja á nærliggjandi vistkerfi. Eiturefnum sem notuð eru til að meðhöndla sjávarlús er vanalega dælt í opnar netkvíar sem gerir það að verkum að efnin dreifast óhindrað um vatnasvæðið. Þessi eiturefni eru ekki sértæk fyrir laxalús og geta haft verulega hættu í för með sér fyrir aðrar tegundir krabbadýra sem ekki eru ætlað skotmark.

Eituráhrif Alpha Max hafa verið prófuð á nokkrum krabbadýrategundum, þar á meðal amerískum humri (*Homarus americanus*), sandrækju (*Crangon septemspinosa*) og pokarækju (*Praunus flexuosus*) (Burrige o.fl., 2014). Snerting við Alpha Max og Salmosan, jafnvel af

útpynntum styrk (Alpha Max: 2,000-falt; Salmosan: 30-falt), reyndist banvæn fyrir þessar tegundir. Auk þess eru áhrif þessara efna hvorki staðbundin né skammvinn. Þau geta breiðst út um stór svæði og eru til staðar í setlögum í langan tíma. Til dæmis greindust kítínmyndunarhamlandi efni sem notuð eru við sjávarlúsameðferð í setlögum allt að 1.400 metra frá norskum fiskeldisstöðvum og voru enn til staðar 8–22 mánuðum eftir að síðustu meðferð lauk (Parsons o.fl., 2021).

Annað sem ber að hafa í huga er að skilvirkni efnameðferðar minnkar með tímanum þar sem laxalús þróar með sér ónæmi fyrir eiturefnunum eftir nokkrar kynslóðir (Aaen o.fl., 2015). Vaxandi viðnám dregur úr virkni meðferðarinnar og leiðir til upptöku annarra aðferða til að meðhöndla sjávarlús í fiskeldi (Coates o.fl., 2021). Íslensk fiskeldisfyrirtæki eru því farin að taka upp aðrar aðferðir til að draga úr álagi sjávarlúsa í sjókvíum, þó í litlum mæli enn sem komið er. Þær aðferðir sem reyndar hafa verið eru til dæmis lúsagardínur, hrognkelsi sem líffræðileg fjöldastjórnun, ferskvatnsböð, hitameðferðir og ljósleysir fyrir lús. Þessar aðferðir hafa gefið góð fyrirheit en hafa ekki enn verið teknar í víðtæka notkun.

Nýjar aðferðir hafa verið þróaðar við aflúsun sem valda lágmarksskaða á vistkerfi hafsins og hafa þær reynst árangursríkar, svo sem hitameðferð, vélræn vatnshreinsun og ferskvatnsmeðferð (Aldrin o.fl., 2023). Framtíðarsýn í þessum málum ætti að beinast að því að efla, beita og setja upp meðferðir sem geta viðhaldið lágu magni sjávarlúsa í fiskeldiskvíum á sjálfbæran hátt. Tímasetningu og áhrif þessara meðferða mætti bæta verulega með betri skilningi á dreifingu sjávarlúsa við strendur landsins. Í löndum eins og Noregi, Írlandi og Færeyjum eru dreifingarlíkön fyrir sjávarlús notuð til að hafa stjórn á útbreiðslu og innleiða fyrirbyggjandi aðgerðir. Til dæmis er notað straumfræðilegt lúsadreifingarlíkan (Bøhn o.fl., 2022) þar sem finna má gögn um vatnshitastig, fjölda fullorðinna kvenlúsa á hvern fisk (tilkynnt vikulega af fiskeldisstöðvum), áætlaðan fjölda fiska í eldisstöðvum (tilkynnt mánaðarlega), og hraði nauplia losunar í sjó. Þessi gögn eru sett inn í dreifingarlíkan sem spáir fyrir um hreyfingu og útbreiðslu laxalúsalirfa en það líkan er byggt á haffræðilegum breiddum á borð við straumhraða, hitastig og seltu. Niðurstöður þessara líkana eru hafðar til hliðsjónar við ákvarðanatöku, þar sem svæðum sem eru í mikilli áhættu er lokað tímabundið þar til dregið hefur úr smíthættu niður fyrir tiltekin viðmiðunarmörk.

Þróun samskonar líkans fyrir Ísland væri mikilvægt skref í átt að skilvirkari meðhöndlun sjávarlúsa. Slíkt líkan gæti komið að gagni við að viðhalda lágri smittölu, draga úr áhrifum sjávarlúsa á umhverfi og fiskeldi og takast á við auknar áskoranir í kjölfar sjávarlúsafjölgunar vegna loftslagsbreytinga og vaxandi fiskeldisstarfsemi.

Niðurstaða og ráðleggingar

Nýjar áskoranir vegna sjávarlúsasmits undirstrika brýna nauðsyn á strangari reglugerðum og öflugri framfylgd þeirra í fiskeldi á Íslandi. Þessi rannsókn á villtum laxfiskum á Vestfjörðum leiddi í ljós verulegan breytileika í magni lúsa milli mánaða og svæða og sýnir mikilvæg áhrif umhverfisþátta eins og vatnshita. Sterk fylgni á milli lúsamagns á villtum fiski og eldisfiski

undirstríkar enn fremur mikilvægi heildstæðra stjórnunaráætlana fyrir bæði fiskeldi og vistkerfin í kringum það.

Til að vernda villta laxfiskastofna og styðja við sjálfbært fiskeldi er nauðsynlegt að hafa framsýni að leiðarljósi. Í því felst notkun háþróaðra vöktunarkerfa og forspárlíkana til að skilja betur útbreiðslumynstur sjávarlúsarinnar. Þróun og innleiðing annarra vistvænna meðferða verður lykillinn að því að takast á við tvíþætta áskorun; hækkandi lúsmagn og umhverfisvernd á tímum loftslagsbreytinga.

ÞAKKIR

Náttúrustofa Vestfjarða vill þakka Sadie Ainsworth, Antonia Cremer, Halldóri Sveinbjörnssyni, Alexander Flathmann og Nadine Rother fyrir aðstoð við veiðar og rannsóknarstofuvinnu, Huldu Birnu Albertsdóttir fyrir kortagerð, Guðna Guðbergssyni fyrir staðfestingu á tegundagreiningu laxfiska, Evu Dögg Jóhannsdóttir fyrir staðfestingu á lúsagreiningu, og landeigendum fyrir aðgang að landi og leyfi til að veiða. Þessi rannsókn var fjármögnuð með styrk úr Umhverfissjóð Sjókvíaeldis.

HEIMILDIR

- Aaen, S. M., Helgesen, K. O., Bakke, M. J., Kaur, K., & Horsberg, T. E. (2015). Drug resistance in sea lice: a threat to salmonid aquaculture. *Trends in parasitology*, 31(2), 72-81.
- Abolofia, J., Asche, F., & Wilen, J. E. (2017). The cost of lice: quantifying the impacts of parasitic sea lice on farmed salmon. *Marine Resource Economics*, 32(3), 329-349.
- Aldrin, M., Huseby, R. B., Stige, L. C., & Helgesen, K. O. (2023). Estimated effectiveness of treatments against salmon lice in marine salmonid farming. *Aquaculture*, 575, 739749.
- Arechavala-Lopez, P., Cabrera-Álvarez, M. J., Maia, C. M., & Saraiva, J. L. (2022). Environmental enrichment in fish aquaculture: A review of fundamental and practical aspects. *Reviews in Aquaculture*, 14(2), 704-728..
- Assefa, A., & Abunna, F. (2018). Maintenance of fish health in aquaculture: review of epidemiological approaches for prevention and control of infectious disease of fish. *Veterinary medicine international*, 2018(1), 5432497.
- Barker, S. E., Bricknell, I. R., Covello, J., Purcell, S., Fast, M. D., Wolters, W., & Bouchard, D. A. (2019). Sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer 1837), infected Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) are more susceptible to infectious salmon anemia virus. *PloS one*, 14(1), e0209178.
- Bath, G. P. (2023). A global review of protected species interactions with marine aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 1686-1719.
- Bjorn, P. A., & Finstad, B. E. N. G. T. (1997). The physiological effects of salmon lice infection on sea trout post smolts. *Nordic Journal of Freshwater Research*, 73, 60-72.
- Bøhn, T., Nilsen, R., Gjelland, K. Ø., Biuw, M., Sandvik, A. D., Primicerio, R., ... & Serra-Llinares, R. M. (2022). Salmon louse infestation levels on sea trout can be predicted from a hydrodynamic lice dispersal model. *Journal of Applied Ecology*, 59(3), 704-714.
- Bouwmeester, M. M., Goedknecht, M. A., Poulin, R., & Thieltges, D. W. (2021). Collateral diseases: aquaculture impacts on wildlife infections. *Journal of Applied Ecology*, 58(3), 453-464.
- Boxaspen, K. (2006). A review of the biology and genetics of sea lice. *ICES Journal of Marine Science*, 1304-1316.
- Boxaspen, K., & Næss, T. (2000). Development of eggs and the planktonic stages of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) at low temperatures. *Contributions to Zoology*, 69(1-2), 51-55.
- Bui, S., Dempster, T., Remen, M., & Oppedal, F. (2016). Effect of ectoparasite infestation density and life history stages on the swimming performance of Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquaculture Environment Interactions*, 8, 387-395.
- Bui, S., Fjellidal, P. G., Hvas, M., Karlsen, Ø., & Dalvin, S. (2024). Louse-induced mortality thresholds in Atlantic salmon of wild-origin. *Conservation Science and Practice*, 6(2), e13079.
- Burrige, L. E., Lyons, M. C., Wong, D. K., MacKeigan, K., & VanGeest, J. L. (2014). The acute lethality of three anti-sea lice formulations: AlphaMax®, Salmosan®, and Interlox® Paramove™ 50 to lobster and shrimp. *Aquaculture*, 420, 180-186.
- Bush, A. O., Lafferty, K. D., Lotz, J. M., & Shostak, A. W. (1997). Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. *The Journal of parasitology*, 575-583.

- Byrne, A. A., Pearce, C. M., Cross, S. F., Jones, S. R., Robinson, S. M., Hutchinson, M. J., ... & Johnson, D. L. (2018). Planktonic and parasitic stages of sea lice (*Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus clemensi*) at a commercial Atlantic salmon (*Salmo salar*) farm in British Columbia, Canada. *Aquaculture*, 486, 130-138.
- Cerbule, K., & Godfroid, J. (2020). Salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer)) control methods and efficacy in Atlantic salmon (*Salmo salar* (Linnaeus)) aquaculture: a literature review. *Fishes*, 5(2), 11.
- Connors, B. L. (2011). What's love got to do with it? Ontogenetic changes in drivers of dispersal in a marine ectoparasite. *Behavioural Ecology*, 588-593.
- Coates, A., Phillips, B. L., Bui, S., Oppedal, F., Robinson, N. A., & Dempster, T. (2021). Evolution of salmon lice in response to management strategies: a review. *Reviews in Aquaculture*, 13(3), 1397-1422.
- Costello, M. (2009). The global economic cost of sea lice to the salmonid farming industry. *Journal of fish diseases*, 32(1), 115.
- Dadswell, M., Spares, A., Reader, J., McLean, M., McDermott, T., Samways, K., & Lilly, J. (2022). The decline and impending collapse of the Atlantic Salmon (*Salmo salar*) population in the North Atlantic Ocean: a review of possible causes. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(2), 215-258.
- Dalvin, S., Are Hamre, L., Skern-Mauritzen, R., Vågseth, T., Stien, L., Oppedal, F., & Bui, S. (2020). The effect of temperature on ability of *Lepeophtheirus salmonis* to infect and persist on Atlantic salmon. *Journal of Fish Diseases*, 43(12), 1519-1529.
- Dempster, T., Overton, K., Bui, S., Stien, L. H., Oppedal, F., Karlsen, Ø., ... & Barrett, L. T. (2021). Farmed salmonids drive the abundance, ecology and evolution of parasitic salmon lice in Norway. *Aquaculture Environment Interactions*, 13, 237-248.
- Eichner, C., Hamre, L. A., & Nilsen, F. (2015). Instar growth and molt increments in *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) chalimus larvae. *Parasitology international*, 64(1), 86-96.
- Finstad, B., Kroglund, F., Bjørn, P. A., Nilsen, R., Pettersen, K., Rosseland, B. O., ... & Ebbesson, L. O. E. (2012). Salmon lice-induced mortality of Atlantic salmon postsmolts experiencing episodic acidification and recovery in freshwater. *Aquaculture*, 362, 193-199.
- Gallardi, D., Xue, X., Hamoutene, D., Lush, L., & Rise, M. L. (2019). Impact of origin (wild vs. farmed) and sea lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infestation on expression of immune-relevant genes in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) skin. *Aquaculture*, 499, 306-315.
- Grimnes, A., & Jakobsen, P. J. (1996). The physiological effects of salmon lice infection on post-smolt of Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology*, 48(6), 1179-1194.
- Hamre, L. A., Bui, S., Oppedal, F., Skern-Mauritzen, R., & Dalvin, S. (2019). Development of the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* parasitic stages in temperatures ranging from 3 to 24 C. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 429-443.
- Hartig, F. (2022). DHARMA: Residual diagnostics for HierARchical regression models. Software package.

- Hoddevik, B. (2024, September 11). *Ekspløsjonsaktig økning i lakselus*. Havforskningsinstituttet. <https://www.hi.no/hi/nyheter/2024/september/ekspløsjonsaktig-okning-i-lakselus>
- Malmquist, H. J., Antonsson, P., Ingvason, H. R., Ingimarsson, F., & Árnason, F. (2009). Salmonid fish and warming of shallow Lake Elliðavatn in Southwest Iceland. *Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen*, 30(7), 1127-1132.
- Matvælastofnun. (2007). *Ársskýrsla dýralæknis fisksjúkdóma 2007*.
- Matvælastofnun. (2007). *Ársskýrsla dýralæknis fisksjúkdóma 2023*.
- Matvælastofnun. (2010). *Ársskýrsla dýralæknis fisksjúkdóma 2010*.
- Matvælastofnun. (2024b). *Afföll vegna laxalúsa í Tálknafirði 2023*, Greining á atburðarás.
- Matvælustofnun. (2024a, December). *Mælaborð Fiskeldis*. Retrieved from Mast.is: <https://www.mast.is/is/maelaborð-fiskeldis>
- Parsons, A. E., Samuelsen, O. B., Johnsen, I. A., Hannisdal, R., Tjensvoll, T., & Husa, V. (2021). Distribution and persistence of diflubenzuron and teflubenzuron in the marine environment around salmonid aquaculture facilities. *Frontiers in Marine Science*, 8, 694577.
- Penston, M. J., & Davies, I. M. (2009). An assessment of salmon farms and wild salmonids as sources of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer) copepodids in the water column in Loch Torridon, Scotland. *Journal of Fish Diseases*, 32(1), 75-88.
- Quero, G. M., Ape, F., Manini, E., Mirto, S., & Luna, G. M. (2020). Temporal changes in microbial communities beneath fish farm sediments are related to organic enrichment and fish biomass over a production cycle. *Frontiers in Marine Science*, 7, 524.
- RStudio Team (2020). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Samsing, F., Oppedal, F., Dalvin, S., Johnsen, I., Vågseth, T., & Dempster, T. (2016). Salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) development times, body size, and reproductive outputs follow universal models of temperature dependence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73(12), 1841-1851.
- Sandvik, A. D., Dalvin, S., Skern-Mauritzen, R., & Skogen, M. D. (2021). The effect of a warmer climate on the salmon lice infection pressure from Norwegian aquaculture. *ICES Journal of Marine Science*, 78(5), 1849-1859.
- Simmons, O., Thorsteinsson, M., & Ólafsdóttir, G. Á. (2019). Trophic dynamics of anadromous brown trout and Arctic charr in NW Iceland and their correlation to salmon lice infection. *Polar Biology*, 42(11), 2119-2130.
- Taranger, G. L., Karlsen, Ø., Bannister, R. J., Glover, K. A., Husa, V., Karlsbakk, E., Kvamme, B. H., Boxaspen, K. K., Bjorn, P. A., Finstad, B., Madhun, A. S., Morton, H. C., & Svåsand, T. (2015). Risk assessment of the environmental impact of Norwegian Atlantic salmon farming. *ICES Journal of Marine Science*, 72(3), 997-1021.
- Torrissen, O. A. (2013). Salmon lice – impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, 171-194.
- Tveiten, H., Bjørn, P. A., Johnsen, H. K., Finstad, B., & McKinley, R. S. (2010). Effects of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* on temporal changes in cortisol, sex steroids, growth and

reproductive investment in Arctic charr *Salvelinus alpinus*. *Journal of fish biology*, 76(10), 2318-2341.

Vollset, K. W., Krøntveit, R. I., Jansen, P. A., Finstad, B., Barlaup, B. T., Skilbrei, O. T., Krkosek, M., Romunstad, P., Aunsmo, A., Jensen, A. J., & Dohoo, I. (2016). Impacts of parasites on marine survival of Atlantic salmon: A meta-analysis. *Fish and Fisheries*, 17(3), 714-730. VRL. (2020). Status for norske laksebestander i 2020. Vitenskapelig råd for lakseforvaltning, 147.

Wright, D. W., Oppedal, F., & Dempster, T. (2016). Early-stage sea lice recruits on Atlantic salmon are freshwater sensitive. *Journal of Fish Diseases*, 39(10), 1179-1186.

VIÐAUKI

Calculations of estimates on financial losses for the Icelandic fish farming industry due to sea lice infestations for 2024

Costs associated with sea lice treatment and impact on farmed fish based on literature:

0.2€/kg (Costello, 2009) =29.02 ISK/kg (conversion rate in Nov 2024)

0.46\$/kg (Abolofia & Wilen, 2017) =63.3 ISK/kg (conversion rate in Nov 2024)

Accounting for inflation (*cost of living index and consumer price index*) →
<https://www.statice.is/inflation-calculator/>

29.02 ISK (Jan 2009) → 55 ISK (Oct 2024)

63.3 ISK (Jan 2017) → 92 ISK (Oct 2024)

Life stock in Icelandic marine net pens, see table below: 52,389,000kg (Oct 2024, see below)

55ISK/kg*52,389,000kg= 2,881,395,000 ISK

92ISK/kg*52,389,000kg= 4,819,788,000 ISK

<https://www.mast.is/is/maelabord-fiskeldis> (05.12.2024):

Lok tímabils	Lífmassi	Fóður	Afföll	Slátrað	Förgun
July 2023	33,725	8,691	245	2,435	0.0
August 2023	37,256	8,684	426	3,791	0.0
September 2023	41,012	9,472	145	4,220	0.2
October 2023	38,611	7,541	1,589	6,951	317.8
November 2023	36,824	5,957	996	6,297	168.0
December 2023	37,109	5,153	355	3,918	19.1
January 2024	34,690	3,535	322	5,026	22.9
February 2024	31,938	2,359	439	4,238	35.8
March 2024	31,169	2,359	359	2,397	37.7
April 2024	31,430	2,410	338	1,648	43.7
May 2024	33,661	3,330	199	734	22.6
June 2024	36,834	4,932	255	1,584	28.4
July 2024	43,786	8,196	127	659	7.9
August 2024	48,594	10,403	141	4,119	10.3
September 2024	51,644	10,114	229	6,080	9.6
October 2024	52,389	9,886	197	7,578	13.5

S_ Table 1. Criteria for the mortality risk levels from parasite loads on wild fish assigned for different size classes and are based on number of lice per gram of fish weight following Taranger et al. (2015).

fish weight	mortality % (or compromised reproductivity)	lice per gram
<150g	100	> 0.3
<150g	50	0.2 -0.3

<150g	20	0.1-0.2
>150g	100	>0.15
>150g	75	0.1-0.15
>150g	50	0.05-0.1
>150g	20	0.01-0.05
>150g	0	<0.01

S_ Table 2. Summary of number of gill nets, placement time of the nets in the water (fishing hours) and number of caught fish for each fishing for each site and month. Catch rate was calculated for every site and month by dividing fish number by the number of nets and fishing hours.

Fishing site	Month	Gill nets	Fishing hours	Fish number	Catch rate
KAL	July	6	13.7	26	0.32
LEI	July	6	10.0	14	0.23
BF	July	5	5.4	--	--
PA	July	6	11.5	6	0.09
TA	July	6	11.0	31	0.47
TR	July	6	11.6	14	0.20
KAL	August	6	11.0	23	0.35
BF	August	6	10.0	--	--
PA	August	5	5.0	7	0.28
TA	August	6	5.0	15	0.50
TR	August	6	11.0	11	0.17
VL	August	6	7.2	28	0.65

S_ Table 3. Number of sea lice species and life stage for each site and month. SL=Salmon lice, FL= Fish lice, PA (in "species and life stage")=preadult, A=adult.

Month	Fishing site	Lice species and life stage	Lice counts
July	LEI	Copepodite	3
July	LEI	Chalimus	15
July	KAL	Copepodite	8
July	KAL	Chalimus	355
July	KAL	SL.PA.male	2
July	KAL	SL.PA.female	6

Month	Fishing site	Lice species and life stage	Lice counts
July	TR	Copepodite	214
July	TR	Chalimus	931
July	TR	SL.PA.female	1
July	TA	Copepodite	14
July	TA	Chalimus	2302
July	TA	SL.PA.male	45
July	TA	SL.PA.female	60
July	PA	Chalimus	34
July	PA	SL.PA.male	3
July	PA	SL.PA.female	1
August	VL	Copepodite	1
August	VL	Chalimus	12
August	VL	SL.PA.male	8
August	VL	SL.PA.female	20
August	VL	SL.A.male	1
August	VL	SL.A.female	3
August	KAL	Copepodite	2
August	KAL	Chalimus	8
August	KAL	SL.PA.male	2
August	KAL	SL.PA.female	1
August	KAL	SL.A.male	2
August	KAL	SL.A.female	6
August	KAL	FL.PA.female	1
August	TR	Copepodite	3
August	TR	Chalimus	417
August	TR	SL.PA.male	15
August	TR	SL.PA.female	19
August	TR	SL.A.male	9
August	TR	SL.A.female	8
August	TA	Copepodite	3
August	TA	Chalimus	53

Month	Fishing site	Lice species and life stage	Lice counts
August	TA	SL.PA.male	35
August	TA	SL.PA.female	47
August	TA	SL.A.male	5
August	TA	SL.A.female	16
August	TA	FL.PA.female	1
August	PA	Chalimus	1
August	PA	SL.PA.male	3
August	PA	SL.PA.female	5
August	PA	SL.A.male	3
August	PA	SL.A.female	7
August	PA	FL.A.female	1

Table 4. Mean values of water temperature and salinity measured at each fishing site and month at three different depths (surface, 1 m and 2 m).

Fishing	Temperature	Salinity
JULY		
KAL	11.1	30.8
LEI	9.2	35.0
BF	7.4	50.3
PA	11.8	44.5
TA	12.4	37.5
TR	8.6	50.7
AUGUST		
KAL	8.8	47.6
BF	7.7	50.8
PA	10.6	51.5
TA	10.7	49.8
TR	11.0	48.0
VL	8.7	53.1

S_Table 5: Detailed overview of water temperature, salinity, pH, dissolved oxygen and measurement depth for each site and month.

Month	Fishing Site	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (xx)	pH	Oxygen (xx)
July	KAL	0	12.9	7.8	--	--
July	KAL	1	10.6	37.5	--	--
July	KAL	2	9.7	47.1	--	--
July	LEI	0	9	14.4	--	--
July	LEI	1	9.2	44.7	--	--
July	LEI	2	9.3	45.8	--	--
July	BF	0	7.5	50.3	8.2	13.3
July	BF	1	7.3	50.2	--	--
July	BF	2	7.4	50.5	--	--
July	PA	0	12.6	41.8	8.2	12
July	PA	1	11.5	45.1	--	--
July	PA	2	11.3	46.6	--	--
July	TA	0	12.8	21.9	8.8	12
July	TA	1	12.2	44.4	--	--
July	TA	2	12.1	46.3	--	--
July	TR	0	8.7	49.5	8.3	13
July	TR	1	8.6	51.2	8.3	12.7
July	TR	2	8.6	51.5	--	--
August	KAL	0	9	43.5	8.7	11.7
August	KAL	1	8.6	49	--	--
August	KAL	2	8.7	50.3	--	--
August	BF	0	7.9	50.2	8.2	11.8
August	BF	1	7.8	50.6	--	--
August	BF	2	7.3	51.6	--	--
August	PA	0	10.6	51.4	8.6	--
August	PA	1	10.6	51.5	--	--
August	PA	2	10.6	51.5	--	--
August	TA	0	NA	48.5	8.4	12.2
August	TA	1	10.7	50.4	--	--

Month	Fishing Site	Depth (m)	Temperature (°C)	Salinity (xx)	pH	Oxygen (xx)
August	TA	2	10.7	50.6	--	--
August	TR	0	11.1	42	--	11.8
August	TR	1	11	50.8	--	--
August	TR	2	11	51.2	--	--
August	VL	0	8.7	53.2	--	--
August	VL	1	8.7	53	--	--
August	VL	2	8.7	53.1	--	--

S_ Table 6. Parameter estimates for the generalized linear model (GLM) summarizing the effect of covariates on the sea lice abundance on wild salmonids caught in the Westfjords 2024. The covariates included sampling month, body length, temperature, lice on farmed fish, and distance between fishing site and nearest net pen.

Parametric coefficient	Estimate	Standard error	z-value	p-value
<i>intercept</i>	-11.17	2.11	-5.29	1.20e-07
<i>month</i>	0.69	0.33	2.05	0.04
<i>length</i>	-0.04	0.02	-2.54	0.01
<i>temperature</i>	1.34	0.18	7.51	5.72e-14
<i>lice on farmed fish</i>	56.75	10.91	5.20	1.99e-07
<i>distance</i>	0.40e-2	0.02	0.27	0.79
<i>Lice on farmed fish*distance</i>	-7.76	1.63	-4.77	1.82e-06