

Loðna á tímum umhverfisbreytinga



HAF- OG VATNARANNSÓKNIR
2023

Loðna á tímum umhverfisbreytinga

Afrakstur átaksverkefnis um loðnurannsóknir 2018-2022



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókná- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna

HAF- OG VATNARANNSÓKNIR 2023



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna

LOÐNA Á TÍMUM UMHVERFISBREYTINGA

Afrakstur átaksverkefnis um loðnurannsóknir 2018-2022

HAF- OG VATNARANNSÓKNIR, HV2023-33

Ritnefnd:

Warsha Singh (ritstj.), Anna Heiða Ólafsdóttir,
Sigurður Þ. Jónsson, Guðmundur J. Óskarsson

Hvernig vitna á í skýrsluna:

Singh, W., Ólafsdóttir, A.H., Jónsson, S.Þ., Óskarsson, G.J. 2023.
Loðna á tímum umhverfisbreytinga. Haf- og vatnarannsóknir,
HV 2023-33.

Forsíðumynd: Sigurður Þór Jónsson

Hönnun og umbrot: Hafrannsóknastofnun

©Hafrannsóknastofnun 2023

Efnisyfirlit

Loðna (<i>Mallotus villosus</i>) á tímum umhverfisbreytinga.....	2
1. Gönguleið og tímasetning loðnugangna í aldarfjórðung greint út frá veiðidagbókum.....	9
2. Breytingar á útbreiðslu loðnu á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen af völdum umhverfisbreytinga í hafinu.....	12
3. Þróun á lífssögu loðnu samfara breytttri útbreiðslu.....	16
4. Umhverfisáhrif á dreifingu loðnulirfa (<i>Mallotus villosus</i>).....	21
5. Loðnurannsóknir í tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunar í Grindavík.....	26
6. Lagrange-aðferð við rakningu á ögnum til greiningar á loðnuhrygningaratburðum.....	30
7. Fæða loðnu á nýrri fæðuslóð.....	37
8. Dreifing loðnu í mismunandi sjógerðum við Austur-Grænland á fæðutíma á haustin.....	44
9. Mikilvægi loðnu í fæðu þorsks á íslenska landgrunninu.....	52
10. Loðna (<i>Mallotus villosus</i>) og hnísa (<i>Phocoena phocoena</i>) – tengsl bráðar og afræninga á Íslandsmiðum.....	58
11. Samband útbreiðslu hvala og loðnu við Austur-Grænland að hausti.....	62
12. Sannprófun kynþroskagreininga á loðnu (<i>Mallotus villosus</i>).....	66
13. Áhrif lóðréttis fars og lífeðlisfræðilegra þátta á endurvarpsstyrk loðnu.....	72
14. Rýni á stofnmati og ráðgjöf loðnustofnsins við Ísland, Austur-Grænland og Jan Mayen árið 2022.....	77

Loðna (*Mallotus villosus*) á tímum umhverfisbreytinga

Warsha Singh, Anna Heiða Ólafsdóttir, Sigurður Þór Jónsson, Guðmundur J. Óskarsson

Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður

MIKILVÆGI LOÐNU Í VISTKERFINU Á SVÆÐINU Á MILLI ÍSLANDS, AUSTUR-GRÆNLANDS OG JAN MAYEN

Litli uppsjávarfiskurinn loðna (*Mallotus villosus*), bráð margra, er lykiltægund í fæðuvef viskerfisins á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen (enska skammstöfunin IEGJM).

Loðnan er mikilvæg bráð margra mikilvægra fisktegunda, bæði í vistfræðilegu samhengi og til nytja, og má þar nefna þorsk (*Gadus morhua*), ýsu (*Melanogrammus aeglefinus*), ufsa (*Pollachius virens*) (Pálsson & Björnsson, 2011), og auk þess ýmis sjávarspendýr og sjófugla (Linneberg og fl., 2018). Sjálf er loðnan ránfiskur og étur dýrasvif og er þar með mikilvægur tengiliður í orkubúskap vistkerfisins (Ástþórsson & Gíslason, 1997). Því er ljóst að breytingar á útbreiðslu loðnu og sveiflur í stofnstærð geta verið afdrifaríkar fyrir uppbyggingu og virkni fæðuvefsins á hafsvæðinu. Auk vistfræðilegs mikilvægis er loðna einnig verðmæt nytjategund. Loðnuveiðar hófust uppúr 1960 og urðu afar mikilvægar eftir að norsk-íslenski síldarstofninn hrundi síðar á sama áratug. Loðna var aðallega brædd til mjöl- og lýsisframleiðslu í upphafi en síðari ár, samhliða framþróun í veiðum og vinnslu, hefur mikilvægur markaður fyrir frosnar afurðir (loðnu, loðnuhrogn, og hrognaloðnu) unnist í Austur-Evrópu og Japan. Árið 2022 voru samanlögð útflutningsverðmæti loðnu og loðnuhrogna u.þ.b. 48.0 milljarðar íslenskra króna (Hagstofan, 2023), næst á eftir þorski í verðmæti útfluttra afurða fisktegunda við Ísland.

BREYTINGAR Á STOFNSTÆRÐ OG ÚTBREIÐSLU UNDAFARNA ÁRATUGI

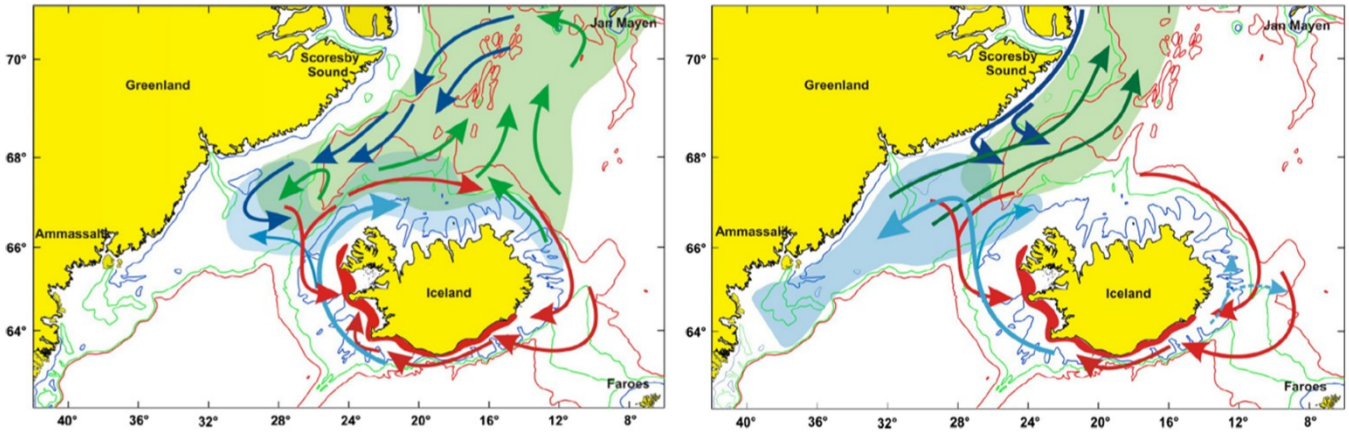
IEGJM loðnustofninn ræðst í árstíðabundnar göngur um víðáttumikið svæði, frá fæðuslóð á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen að sumri og hausti að hrygningarstöðvum næsta vetur og vor. Leið hrygningargöngunnar liggur eftir landgrunnsbrúninni norðan og austan lands, sólarsinnis umhverfis Ísland að megin

hrygningarstöðvunum með suður- og suðvesturlandi og vestur með landinu. Síðustu fimm áratugi hefur stofnstærð loðnu og útbreiðsla bæði á fæðuslóð og hrygningartíma verið rannsökuð í árlegum bergmálmælingaleiðöngrum Hafrannsóknastofnunar, að hausti og vetrarlagi (Vilhjálmsson, 2002; Vilhjálmsson og Carscadden, 2002). Grænlenka náttúruauðlindastofnunin (GINR) hefur tekið þátt og lagt til skip í haustleiðangra frá því 2018. Leiðangrar að haustlagi meta fjölda ókynþroska og lífmassa fullorðinnar loðnu við lok fæðugöngu, og eru niðurstöðurnar notaðar til að veita ráðgjöf að hausti (milliráðgjöf) um leyfilegan heildarafla (TAC) á vertíð sem getur hafist fljótlega í kjölfar leiðangurs. Vetrarmælingar á loðnu meta veiðistofn loðnu á hrygningargöngu, og að þeim loknum er gefin út lokaráðgjöf um leyfilegan heildarafla.

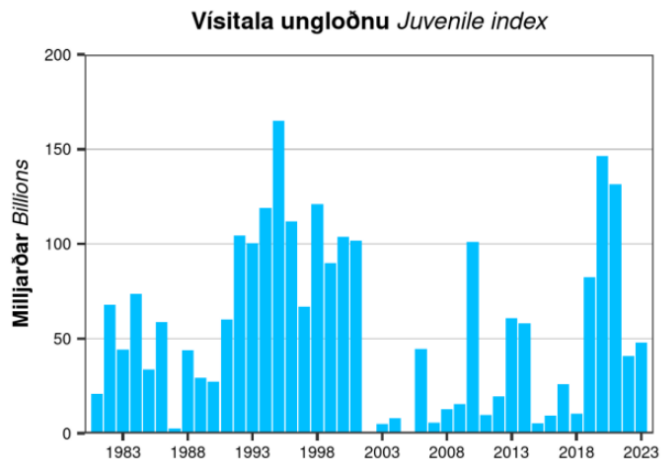
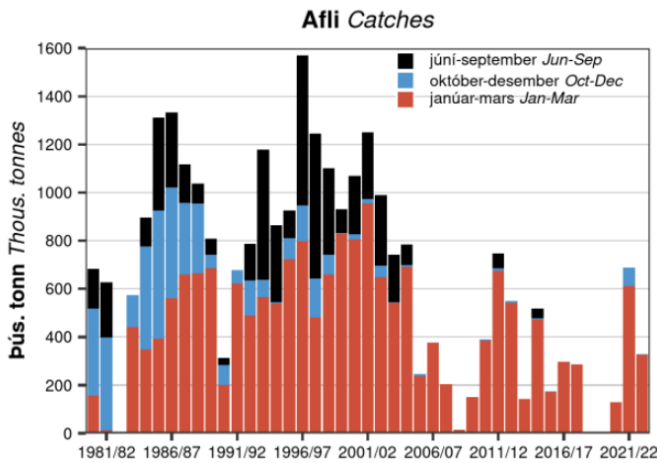
Hjálmar Vilhjálmsson (2007) benti fyrstur á afgerandi breytingu sem varð á útbreiðslu loðnu að haustlagi snemma á fyrsta áratug þessarar aldar og setti fram sem tilgátu um tilfærslu á fæðuslóð loðnu frá norðurmiðum og Íslandshafi yfir á landgrunnið við Austur-Grænland. Þessu var seinna lýst af Carscadden og félögum (2013)(1. mynd). Hrygningargöngu loðnunnar hefur seinkað hin síðari ár, og hún að jafnaði komið seinna inn að landgrunnsbrúninni norðan lands í janúar en áður (Singh og fl., 2020).

Samhliða þessari tilfærslu um miðjan fyrsta áratug þessarar aldar minnkaði loðnustofninn eins og sést af þróun landana (2. mynd, til vinstri), sem gæti bent til lægri framleiðslugetu stofnsins. Breytt útbreiðsla og minni stofn leiddi til þess að veiðar að sumri og hausti lögðust að mestu af fyrri hluta fyrsta áratugar þessarar aldar. Engar veiðar voru ráðlagðar vertíðirnar 2008/09, 2018/19 og 2019/20. Það er eftirtekarvert að ári seinna, eða árin 2020 og 2021, mældist nýliðun á við það sem gjarnan sást fyrir aldamót (2019 og 2020 árgangarnir), og mat 2009 árgangsins haustið 2010 var líka hátt. Þá voru engar veiðar stundaðar á vetrarvertíð 1982 og 1983, en 1982 árgangurinn var yfir meðallagi og 1983 sá stærsti í sögunni ef horft er á afla úr árgöngunum.

LOÐNA Á TÍMUM UMHVERFISBREYTINGA



1. mynd. Söguleg útbreiðsla loðnu (vinstri) og útbreiðslan hin síðari ár (hægri). Rauðar örvar sýna hrygningargöngu og hrygningarsvæði rauðskyggð. Ljósbláar örvar tákna lifru- og seiðarek. Ljósblá svæði sýna útbreiðslu ungvíðis loðnunnar. Fæðuslóð er grænskyggð; grænar örvar sýna fæðugöngu af uppvaxtarstöðvum en ganga til baka sýnd með bláum örvum (mynd úr Vilhjálms­son, 2007; Carscadden og fl., 2013).



2. mynd. Þróun loðnulan­dana skipt eftir mánuðum (1980–2022) og vísitala eins árs loðnu úr haustmælingu eftir árum leiðangrana (1981–2023).

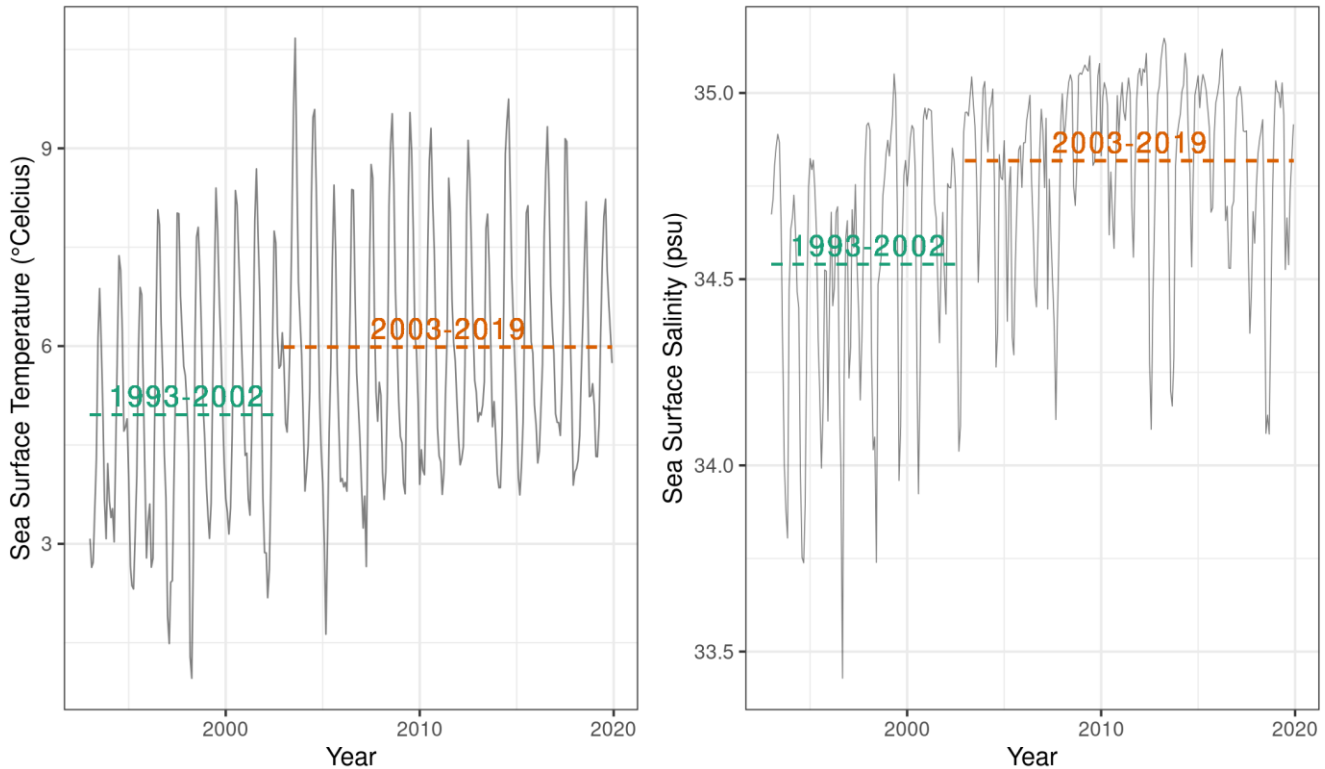
VÍSBENDINGAR UM VIÐVARANDI BREYTINGAR Á UMHVERFISAÐSTÆÐUM

Samhliða breyttri útbreiðslu loðnunnar veiktist kaldtempraði hvirfillinn í N-Atlantshafi. Það leiddi til þess að það dró úr innflæði ferskvatns í N-Atlantshaf sem hafði áhrif á varma-seltu hringrásina og leiddi til methárrar seltu á svæðinu (Hátún og fl., 2005). Varmaflutningur norður á bóginn leiddi auk þess til hækkunar á hitastigi sjávar og að mjög dró úr útbreiðslu hafíss í Norðurhöfum og hefur mesta aukningin verið tímasett árið 2001 (Tsubouchi og fl., 2021). Um sama leyti hækkaði sjávarhiti á norðurmiðum með tilheyrandi blöndun sjógerða, hvirflamyndun, auk breytileika í styrk strauma og varmaflutningi (Jónsson og Valdimarsson, 2012b).

Fyrrí rannsóknir á loðnu á hafsvæðinu milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen hafa gengið út frá því að haffæðilegur breytileiki sé meginorsök breytinga á stofnstærð og útbreiðslu (Vilhjálms­son, 2007, Carscadden og fl., 2013).

Setja má fram tilgátu um að umhverfisbreytingar norðan og norðvestan við Ísland hafi verið meginorsakvöldur breyttrar útbreiðslu loðnustofnsins bæði á haustin og að vetrarlagi. Til að kanna breytingar á grundvallar umhverfisþáttum á þessu svæði voru hitastig sjávar og seltu skoðuð. Gögn um yfirborðshita og -seltu á 0.5 m dýpi voru fengin frá Copernicusar vöktunarþjónustu Evrópubandalagsins (CMEMS) fyrir árin 1993–2019 (<http://marine.copernicus.eu/>). Leitni eftir árum ofan á breytileika eftir mánuðum sýndi meðal hækkun sjávarhita um 1.12 °C og seltu um 0.32 PSU eftir 2002 á svæðinu (3. mynd). Fyrrí rannsóknir hafa einnig sýnt þessa hækkun sjávarhita byggt á gögnum sem var safnað á föstum mælistöðvum á sniði norður frá Siglunesi. Árið 2003 mátti greina marktæka aukningu í varmaflutningi inn á norðurmið (Jónsson og Valdimarsson, 2012a).

LOÐNA Á TÍMUM UMHVERFISBREYTINGA



3. mynd. Breytileiki á milli tímabila með mánaðarlegum sveiflum í sjávarhita (til vinstri) og seltu (til hægri) fyrir árin 1993–2019 fyrir svæði norðan og norðvestan Íslands (á milli 66 og 68 °N breiddar og 25 og 15 °A lengdar). Meðaltöl (láréttar brotnar línur) sjávarhita og seltu tímabila fyrir og eftir árið 2003 sýna hlýnun sem nemur 1.12 °C og seltan hækkaði um 0.32 PSU.

SAMSPIL LOÐNU OG UMHVERFISBREYTINGA

Umfangsmiklar rannsóknir á vistkerfi loðnu fóru síðast fram árin 2006–2008 í hinu svokallað Íslandshafsverkefni (Pálsson og fl., 2012). Rannsóknin fór fram til að greina mynstur í vistkerfi Íslandshafs, tengsl við lífssögu loðnu og auka skilning á þá nýorðinni breytingu á útbreiðslu loðnu. Tilfærsla dreifingar 0-grúppu loðnu til norðurs og eldri loðnu til vesturs voru skýrðar með umhverfisbreytingum í Íslandshafi. Innan verkefnisins var meðal annars tegundasamsetning dýrasvífs á svæðinu könnuð (Gíslason og Silva, 2012) og fæðutengsl rannsökuð með greiningu stöðugra samsæta með áherslu á stöðu loðnu í fæðuvefnum (Pétursdóttir og fl., 2012).

Ríflega áratug síðar var talin ástæða til að hringa af stað nýju verkefni til að öðlast betri skilning á því hvaða áhrif þessar stórskala tilfærslur í dreifingu og stofnstærð hefðu haft á mismunandi lífssöguskeið loðnu. Í fyrri rannsóknum hefur gjarnan verið notuð lýsandi tölfræði til að tengja loðnu og umhverfisbreytingar. Með hnattrænum haffræðilíkönum sem nú eru aðgengileg er hægt að skoða tengsl loðnu og umhverfisþátta með mun hærri upplausn. Auk þess að loðna þurfti að reyna breytt umhverfisskilyrði á eigin skinni getur tilfærsla í nýtt vistkerfi haft afleiðingar fyrir fæðuvistfræðileg tengsl. Þetta hefur bein áhrif á stofnstærð og nýtingu. Ennfremur hafa upplýsingar um fyrstu lífssögustig loðnu verið af skornum skammti síðan Íslandshafsverkefninu lauk. Mikilvægt er að afla áreiðanlegra upplýsinga um stærð veiðistofns til að tryggja sjálfbæra nýtingu. Ennfremur er nákvæm skoðun á þeim þáttum sem hafa áhrif á mat á lífmassa frá rannsóknarleiðöngrum áriðandi. Mat lífmassa

byggt á bergmálsleiðöngrum reiðir sig á samband endurværpsstyrks og fisklengdar, en það sem nú er stuðst við byggir á þriggja áratuga gömlum mælingum. Af þessum ástæðum fékk Hafrannsóknastofnun fjárveitingu til að hringa af stað 5 ára átaksverkefni (2018–2022) frá Atvinnuvegaráðuneytinu til að kanna áður nefnd atriði.

Viðfangsefni rannsóknaverkefnisins voru eftirfarandi:

- Langtímabreytingar á dreifingu og lífssögu loðnu.
- Magn og útbreiðsla loðnulirfa umhverfis Ísland.
- Mat á framlegð mismunandi hrygningastöðva með hermun loðnureks.
- Fæðuvistfræði loðnu á nýrri fæðuslóð.
- Útbreiðsla loðnu í tengslum við sjógerðir við Austur-Grænland á fæðutíma.
- Fæðuvistfræðitengsl afræningja og bráða eftir tilfærslu loðnuútbreiðslu.
- Kanna áreiðanleika ákvörðunar kynþroskastigs í sýnum sem stofnmat byggir á.
- Áhrif atferlis og lífeðlisfræðilegra þátta loðnu á mat lífmassa með bergmálsaðferð.

Sjódögum, fleiri verkþáttum og sýnatöku var bætt við leiðangra Hafrannsóknastofnunar til að afla gagna til grundvallar rannsóknum í 5 ára átaksverkefni. Jafnframt voru nýir sérfræðingar ráðnir til starfa til að sinna hluta rannsókna.

HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Hér að neðan er gerð grein fyrir meginniðurstöðum rannsókna á hverju sviði. Ítarlegri lýsing aðferða og niðurstaðna innan hvers viðfangsefnis er að finna í safni ítarlegra ágrípa sem við vísum til sem 'greina' héðan í frá. Greinarnar eru birtar sem kaflar í þessu riti, númeraðir 1–14.

a. Langtímabreytingar á dreifingu og lífssögu loðnu

Gönguleið loðnu eftir landgrunnsbrúninni norðan lands og austan að hrygningarstöðvunum fyrir sunnan og vestan land var könnuð með greiningu veiðidagbóka. Með því að greina aflaupplýsingar frá ríflega aldarfjórðungi skipt í tvö tímabil kemur fram lítills háttar munur á tímasetningu göngu loðnu inn á Íslandsmið. Síðari ár hefur loðnugangan birst síðar við landgrunnsbrúnina norðan lands miðað við fyrri ár þegar hún var gjarnan komin lengra áleiðis eftir hefðbundinni sólarinnis gönguleið suður með Austurlandi í janúar. Þetta bendir til að útbreiðsla loðnunnar í janúar hafi breyst sem getur haft afleiðingar fyrir tengsl afræningja og loðnu sem bráðar (**Grein 1**).

Í tilraun til að greina hvort samband væri að finna á milli breyttrar útbreiðslu loðnunnar og umhverfisþátta að hausti og vetrarlagi, voru sett fram tegundadreifingarlíkön til að spá fyrir um viðveru og fjarveru loðnu árin fyrir (1993–2002) og eftir (2003–2019) breytingu á dreifingu loðnunnar. Þessi tímabil voru valin útfrá breytingum í umhverfisskilyrðum sem hefur verið lýst (3. mynd). Áhrif sjávarhita, seltu, straumhraða, frumframleiðni og botnlags voru prófuð. Líknanaspár um líkur á viðveru fyrir tímabilin tvö sýna að breytt umhverfisskilyrði hafa haft sitt að segja um breytta útbreiðslu þessa stofns (**Grein 2**).

Könnun á lífssögupáttum loðnu á tveggja áratuga tímabili sýndi að lengd og þyngd aldurshópa, ástandsstuðull og lengd við kynþroska jókst og hafði jákvæða leitni með tíma, en aldur við kynþroska var stöðugur. Stofnstærð og sjávarhiti reyndust lykilbreytur til útskýringar á breytingum í þessum lífssögupáttum. Neikvætt samband milli stofnstærðar og bæði lengdar og þyngdar bendir til þéttleikaháðra áhrifa á vöxt og að aukna stærð loðnu megi skýra með minni fæðusamkeppni innan stofnsins (**Grein 3**).

b. Magn og útbreiðsla loðnulirfa umhverfis Ísland

Þéttleiki loðnulirfa var mjög breytilegur á milli ára sem rannsóknin náði yfir (2017–2020). Lirfur sáust allt umhverfis Ísland í mismiklum mæli, en í mestum þéttleika sunnan og vestan lands þar sem almennt er talið að mestur hluti hrygningar eigi sér stað. Fyrri rannsóknir hafa sýnt að loðna hrygnir allt umhverfis Ísland, sem nýklaktar lirfur í prufum á öllum svæðum staðfesta. Sjávarhiti skýrði stærstan hluta breytileika í lirfupéttleika. Það reyndist erfitt að greina á milli þess hvort kjörhitastig stuðli að bættari afkomu lirfa eða hvort áhrif hita séu grugguð saman við skilyrði á hrygningarstöð. Ítarlegri gagna er þörf til að skoða þessa þætti betur (**Grein 4**).

c. Mat á framlegð hrygningarstöðva með hermum lirfureks

Hrygningaratburðir loðnunar eru tormælanlegir vegna þess að loðna notar sjávarbotninn sem undirlag í hrygningu sinni. Afturreksaðferð var þróuð og notuð til að rekja lirfur sem var

safnað í maí 2018 frá stað- og tímasetningu sýnatöku að líklegum hrygningaratburðum. Aldurs-lengdarlykli var beitt til að áætla aldur lirfa, sem ákvarðaði fjölda daga sem lirfur voru látnar reka fram að sýnatöku. Ennfremur voru tímasetningar hrygningaratburða metnir með sambandi sjávarhita og klaktíma sem var fengið úr eldstilraun (sjá **Grein 5**). Frumniðurstöður sýna að lirfurek vestan og norðan Íslands virðist hafa verið fremur staðbundið fyrir sýni tekin í maí árið 2018 (**Grein 6**).

d. Fæðuvistfræði loðnu á nýrri fæðuslóð

Fæða loðnu var rannsökuð á nýrri fæðuslóð á haustin (september–október) árin 2018–2021 og að vetrarlagi (janúar–febrúar) árin 2018 og 2019. Hátt hlutfall loðnumaga innihélt fæðu, bæði á haustin (84–99 %) og að vetrarlagi (64–77 %) sem bendir til að loðna stundi virkt fæðunám á báðum árstímum. Krabbafær og ljósáta voru mikilvægustu fæðuhóparnir á haustin og endurspegluðu þetta samsetningu dýrasvifs á fæðuslóðinni. Niðurstöður þessarar rannsóknar benda til að loðna sé tækifærissinnaður afræningi sem étur þá bráð sem er í boði á hverjum stað og tíma. Athygli vekur að þegar stór árgangur kom inní stofninn árið 2021 var magafylli loðnunnar lág sem gæti bent til samkeppni innan stofnsins um fæðu (**Grein 7**).

e. Dreifing loðnu í mismunandi sjógerðum við Austur-Grænland á fæðutíma

Loðna gengur á milli svæða í kerfi hafstrauma á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen. Á haustin er loðnan aðallega á austur grænlandska landgrunninu og við landgrunnsbrúnina. Hitastig og selta á föstum mælisniðum á 70. og 72. gráðu norðlægrar breiddar voru notuð sem grunnur að flokkun í sjógerðir. Loðnan fannst í Atlantískum sjó, yfirborðs pólsjó og hlýjum yfirborðs pólsjó. Loðnutorfurnar eru líklegar til að fara á milli sjógerða í dægurgöngum sínum. Fyrstu niðurstöður byggðar á litlum hluta gagna sýna töluverða fylgni milli dreifingar á loðnu og ljósátu sem bendir til að loðnan elti bráð sína milli mismunandi sjógerða. (**Grein 8**).

f. Tengsl afræningja og bráða í kjölfar tilfærslu loðnudreifingar

Loðna er mikilvæg fæða fyrir botnfiska á íslenska landgrunninu og er reiknað með afráni þorsks, ýsu og ufsa í aflareglu loðnunnar. Greining magainnihalds þorsks í stofnmælingu botnfiska í október (SMH) sýndi að loðnuátið var meira fyrri ár í SMH (1996–2001) en þau síðari (eftir 2001). Þetta er í samræmi við tilfærslu á útbreiðslu loðnu norður á bóginn og yfir til Austur-Grænlands um sama leyti. Nota má magn loðnu í magainnihaldi þorsks, í stofnmælingu botnfiska í mars (SMB), sem vísitölu á lífmassa hrygningarstofns að loknum loðnuveiðum. Sú vísitala hrygningarstofns loðnu sýnir breytileika á milli ára en enga leitni sem er í samræmi við mat á hrygningarstofni loðnu með beitingu aflareglu. Magn loðnu í þorskmögum í marsralli er hvorki góð vísibending um magn loðnu á boðstólum fyrir þorsk á þeirri vertíð, né heldur stærð veiðistofns í upphafi vertíðar. Hins vegar má nota þessa vísitölu á magainnihaldþorsks til hliðsjónar við stofnmat (**Grein 9**).

LOÐNA Á TÍMUM UMHVERFISBREYTINGA

Í aðskilinni rannsókn (sem var ekki fjármögnuð af átaksverkefni í loðnurannsóknnum) voru stöðugar samsætur í vefjum hnísu mældar og magainnihald hennar greint. Rannsóknin staðfesti fyrri niðurstöður frá því fyrir u.þ.b. 30 árum um að loðna væri aðalfæða hnísu í mars og apríl á Íslandsmiðum (**Grein 10**).

Sjávarspendýr voru talin með kerfisbundnum hætti á nýjum fæðslulóðum loðnu að haustlagi í loðnuleiðöngurum árin 2017 og 2018, í verkefni sem var fjármagnað í samstarfi við grænlenku náttúruauðlindastofnunina (GINR). Algengasta tegundin bæði árin var hnúfubakur (*Megaptera novaeangliae*). Samanburður á fjölda hvala og magni loðnu samkvæmt bergmálmælingum sýndi að hvalir sáust oftast á svæðum þar sem einnig var loðna. Þær tegundir sem sköruðust helst við dreifingu loðnunnar voru hrefnur og hnúfubakar. Magn loðnu skýrði ákveðinn hluta breytileika í fjölda hvala sem bendir sterklega til að hvalir éti loðnu á þessum árstíma (**Grein 11**).

g. Kynþroski

Rétt ákvörðun á kynþroska er mikilvæg við mat á stærð hrygningarstofns loðnu. Kynþroskastig er nú greint með hefðbundnum hætti með berum augum (e. macroscopic) sem er skilvirk og ódýr aðferð. Nákvæmari greining er vefjasýnaskoðun (e. microscopic) sem er bæði dýrari og seinlegri. Samanburður aðferðanna tveggja sýndi gott samræmi og styður því að halda áfram kynþroskagreiningu með sjónrænni aðferð. Erfiðast reyndist að ákvarða kynþroska 14–15 cm langrar loðnu. Þegar stórir árgangar nýliða bætast við stofninn geta komið fram þéttleikaháð áhrif á kynþroska, sem veldur því að kynkirtlar verða smáir og hætta er á rangri greiningu kynþroskastigs. Í slíkum aðstæðum getur þurft að beita varúð við mat á hrygningarstofni (**Grein 12**).

h. Endurvarpsstyrkstilraunir

Lífmassi loðnu er mældur með bergmálmælingum sem eru gjarnan kallaðir 'dýptarmælar'. Lóðrétt far loðnunnar, dýpi og lífeðlisfræðilegir þættir (þ.e. lengd, þyngd, ástand, stærð sundmaga, halli, kynþroski og fituinnihald) geta haft áhrif á styrk endurvarps einstakra fiska (target strength, TS) og þar af leiðandi mat á lífmassa. Greining á styrk endurvarps stakra fiska á staðnum (*in situ* TS) sýnir að hann er breytilegur með dýpi, lengd, stærð sundmaga og mögulega árstíma. Nauðsynlegt er að halda áfram þróun tækjabúnaðar, gagnasöfnun og greiningum áður en hægt er að endurmeta samband endurvarpsstyrks við aðra þætti (**Grein 13**).

Loðnueldistilraunir

Samtímis átaksverkefni í loðnurannsóknnum hafa farið fram tilraunir á eldi loðnu í tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunar í Grindavík, sem voru þó ekki hluti af verkefninu (**Grein 5**). Niðurstöður eldistilraunanna skipta hins vegar máli og hafa verið notaðar í greiningum á fyrstu lífsstigum loðnu og líkanagerð sem snýr að rakningu lírfureks. Árangri hefur verið náð við eldi allra lífsskeiða loðnu sem gefur tækifæri til að kanna áhrif umhverfispáttá á þroskun lírfa, vöxt, kynþroska og afkomu loðnu. Gögn úr slíkum tilraunum geta nýst til að auka skilning á breytingum sem við sjáum úti í náttúrunni.

Rýni loðnustofnmats

Æskilegt er að rýni og endurbætur á aðferðafræði og gögnum sem liggja að baki stofnmati og aflareglu fari fram reglulega. Þá eru gögn að baki stofnmati skoðuð, farið yfir aðferðir og kannað hvort aðferðir sem notaðar séu í samræmi við markmiðið um sjálfbæra nýtingu. Rýnifundur alþjóðlegs hóps vísindamanna fór fram fyrir loðnustofninn við Ísland-Austur Grænland-Jan Mayen í nóvember 2022. Hópurinn ályktaði að nálgun við ráðgjöf um loðnuveiðar mætti vera að mestu óbreytt, en með eftirtöldum undantekningum:

- Lokaráðgjöf aflamarks er samkvæmt mati á lífmassa kynþroska loðnu byggt á vegnu framlagi haust- og vetrarmælinga þar sem haustmæling getur að hámarki fengið 1/3 vægi.
- Milliráðgjöf aflamarks byggir á mati á lífmassa kynþroska loðnu í haustmælingum og verður aðeins 2/3 af reiknuðu aflamarki.
- Viðmiðunarmark hrygningarstofns (B_{lim}), sem er notað við setningu aflamarks, var endurmetið sem gaf $B_{lim} = 114$ þús. tonn (var 150 þús. tonn) byggt á endurreiknaðri tímaröð hrygningarstofns.

Aflareglan, sem byggir á að skilja ákveðið magn eftir til hrygningar, er að forminu til óbreytt, þ.e. lokaafmark gerir ráð fyrir > 95% líkum á því að hrygningarstofn sé yfir viðmiðunarmörkum (B_{lim}) á hrygningartíma. Ítarlegri upplýsingar ásamt ályktunum rýnihópsins eru kynntar í **Grein 14**.

Umhverfis DNA rannsókn

Almennur áhugi á óbanvænni tækni á við umhverfis DNA (eDNA) til vöktunar á sjávardýrum sem ferðast langar leiðir hefur aukist talsvert síðasta áratug (Boussarie og fl., 2018). Þó að sýnum hafi verið safnað í leiðöngurum Hafrannsóknastofnunar árin 2019 og 2020 voru útdráttur erfðaeftis og qPCR-greining fjármögnuð með styrkfé annars staðar frá. Jákvæð fylgni var á milli eDNA og viðveru og magns loðnu. Niðurstöðurnar sýndu að hnitmiðuð qPCR nálgun fyrir loðnu gaf niðurstöður bæði um útbreiðslu og magn loðnu sambærilegar við bergmálmælingar. Styrkur loðnu eDNA gæti því nýst sem vísbending um bæði viðveru og magn loðnu. Niðurstöður þessarar rannsóknar hafa verið birtar í jafningjarýndu tímariti (Pampoulie og fl., 2023).

UMRÆÐUR OG FRAMTÍÐSÝN UM FREKARI RANNSÓKNIR

Vistfræði loðnu á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen hefur undanfarna áratugi verið breytingum háð sem snerta öll lífssöguskeið. Loðna er fremur smá, skammlíf (verður 3–5 ára) fisktegund sem gengur langar vegalengdir og er þar af leiðandi berskjölduð fyrir umhverfisbreytingum (Vilhjálmsson, 2002). Niðurstöður fimm ára átaksverkefnis í loðnurannsóknnum hafa að hluta til fyllt upp í eyður í þekkingu um viðbrögð loðnu við umhverfisbreytingum síðustu tveggja áratuga.

Fremur ófyrirsjáanleg útbreiðsla og magn loðnu og hve viðkvæm hún er fyrir breytilegum umhverfisskilyrðum getur haft afleiðingar fyrir framtíð loðnuveiða og fæðuvistfræðileg tengsl loðnu á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og

LOÐNA Á TÍMUM UMHVERFISBREYTINGA

Jan Mayen. Með þessum rannsóknum hefur okkur tekist að skapa umgjörð til að lýsa vistfræðilegum sessi loðnu og mögulegum viðbrögðum við breytilegum skilyrðum í hafinu á uppvaxtar- og fullorðinsárum. Líkön okkar eru studd niðurstöðum hnattrænna haffræðilíkana í hárrí upplausn, og geta jafnvel spáð fyrir um viðveru og magn loðnu í framtíðinni, byggt á mismunandi sviðsmyndum um loftslagsbreytingar. Á svipaðan hátt mætti reikna magn loðnu fram í tímann.

Þekking okkar á lífssögusvörum loðnu við breyttum umhverfisskilyrðum hefur líka aukist. Þéttleikaháð áhrif sem koma fram að hausti eru samkeppni um fæðu sem hefur áhrif á vöxt og kynþroska einstaklingana þegar stórir árgangar bætast við stofninn. Þess vegna skal gæta vel að líffræðilegum eiginleikum, sérstaklega kynþroskanum, til að greina á milli ókynþroska og kynþroska hluta stofnsins þau ár sem stórir árgangar eru í stofninum.

Hrygningaratburðir loðnu eru vandgreinanlegir sem og framlegð mismunandi hrygningasvæða til nýliðunar. Hér hefur verið þróuð umgjörð um agnarakningarlíkan sem gerir kleift að rekja sig aftur að hrygningarstað með því að áætla hvenær lírfur sem safnað hefur verið klöktust út. Í þessari greiningu er tímasetning klaks áætluð byggt á lengdarmælingum einvörðungu en aldursgreiningar á lírfum útfrá dægurhringjum sem er unnið að munu bæta tímasetningu klaksins. Ennfremur munu snefilefni í loðnukvörnum verða greind en mismunur í efnasamsetningu getur gefið vísbendingar um mismunandi uppruna lírfa á íslenska landgrunninu. Næsta skref væri að tengja fullorðnar loðnur við þá staði sem þær klöktust út á byggt á snefilefnagreiningu kjarnans í kvörnum þeirra. Upplýsingar af því tagi gætu nýst til að bæta og sannreyna agnarakningarnálgun til að áætla lírfurek. Vaxtarmun lírfanna í tíma og rúmi ásamt áætluðum upprunastað mætti þá nota til að greina mismunandi framlag hrygningarsvæða til nýliðunar í stofninn. Samantekið geta rannsóknir á hrygningaratburðum og umhverfisskilyrðum á fyrstu lífsskeiðum loðnu hjálpað til að skilja betur breytileika í nýliðun loðnustofnsins á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayern. Mælt er með frekari rannsóknum sem gætu skilið á milli eðlis- og líffræðilegra áhrifaþátta nýliðunar. Í því samhengi er vert að minnst á að þrjár stærstu árgangar loðnu eftir aldamót urðu til þau ár sem engar veiðar voru leyfðar (þ.e. 2009, 2019 og 2020) á svæðinu milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayern. Veturna 1982 og 1983 voru heldur engar loðnuveiðar og árgangur 1982 er yfir meðallagi og árgangur 1983 sá stærsti í sögunni.

Rannsóknirnar sem hér eru kynntar hafa veitt nýjar upplýsingar um loðnuát á meðan á hrygningargöngu eftir landgrunnsbrúninni sólarinnis umhverfis Ísland stendur. Hnísa étur loðnu þegar hún er aðgengileg á hrygningartíma. Jafnvel þó að vitað sé að hvalir séu meðal mikilvægra afræningja loðnu er á þessari stundu erfitt að meta hve mikið hvalir éta að vetri til. Þetta stafar af því að skráningar á hvólum og skipulagðar hvalatalningar skarast ekki vel í tíma og rúmi við dreifingu loðnunnar. Engu að síður er þörf á því að gefa loðnuáti sjávarspendýra gaum því það getur haft áhrif á lífmassa sem skilinn skal eftir til hrygningar, einkum ef mikil

breyting er í magni afræningjanna í tímaröðinni. Á nýrri fæðuslóð að hausti er víða marktæk skörun hnúfubaka og hrefna við loðnu sem leiðir okkur til að álykta að loðna sé einnig hvalabráð á þessum árstíma. Til að staðfesta þessa tilgátu hefur verið ráðist í greiningu stöðugra samsæta úr völdum vefjasýnum úr hvólum. Þessi fæðutengsl vísa veginn við endurskoðun á því hvernig skal meta afrán eftir breytingu á útbreiðslu loðnunnar. Frekari rannsókna er þörf, en á það var einmitt bent í ályktunum rýnihóps Alþjóða hafrannsóknaráðsins (ICES) um stofnmat loðnu árið 2022 (**Grein 14**).

Nýjar niðurstöður um endurvarpsstyrk loðnu eru mikilvæg viðleitni til að endurbæta stofnmat og veiðistjórnun loðnustofnsins, og einnig hér geta lífssögubreytingar skipt máli. Samspil margra þátta getur haft áhrif á endurvarpsstyrk loðnu, þ.á.m. lengd, ástand, stærð sundmaga, dýpi og árstími. Því gefur að skilja að notkun meðalsambands endurvarpsstyrks og lengdar getur verið ónákvæmt. Gengið er útfrá því að með meðaltalinu sem er notað sé “veiðanleiki” í bergmálmælingu 1, það er mælinginn sé algild. Bráðabirgðaniðurstöður byggðar á gögnum úr þessum rannsóknum benda til að “veiðanleikinn” sé minni en 1 og mælingarnar þannig að vanmeta stofninn. Mat á bergmálgildinu er líklega mikilvægasta spurningin í tengslum við nýtingu á loðnu sem er örugglega hægt að svara. Þróun í tækjabúnaði á undanföllum árum hefur gefið tækifæri til þess. Til að fá gögn sem hægt er að nýta í stofnstærðarmælingunum þarf hins vegar mjög umfangsmiklar mælingar og mun nýtilkomin samvinna við Norðmenn um þetta verkefni hjálpa til við það.

Að lokum ályktum við að þekking sem hefur fengist með fimm ára átaksverkefni um loðnurannsóknir varpi ljósi á mismunandi lífssöguskeið loðnunnar og hvernig hún er háð umhverfisskilyrðum. Mismunandi gögn um alla þætti vöktunar á loðnu og rannsóknir á henni, þ.e. um fjölda, dreifingu, vöxt, nýliðun, eðlisfræðilega þætti og fæðutengsl má nota til að þróa líkön og aðferðir til að lýsa vistkerfi loðnunnar og svörum hennar við breytingum vegna eðlisfræði- og líffræðilegra áhrifaþátta. Stefnt er að því að nota þessi gögn og niðurstöður í vistkerfislíkön á við Ecopath og Echosim sem taka til fæðusamspils og að auki alltumlykjandi líkön á við Atlantis, en unnið er að því að setja það upp fyrir Íslandsmið.

Þetta átaksverkefni hefur hjálpað okkur að álykta um frekari rannsóknir sem við vildum leggja áherslu á og teljum mikilvægar. Rannsóknirnar hafa sýnt að lírfu- og seiðaathuganir skortir. Við mælum með að lögð verði meiri áhersla á að safna gögnum um fyrstu lífsskeið loðnunnar sem kunna að gefa við hvaða þættir stuðla að stórum árgöngum. Einnig er mælt með að kanna umfang loðnuhrygningar fyrir norðan land. Til að bæta og þetta skipulag leiðangra og auka nákvæmni stofnstærðarmats úr leiðöngrum mætti skoða notkun sjálfstýrðra fara á við ‘saildrone’ og ‘gliders’. Þessi tæki gætu gefið mikilvægar viðbótarupplýsingar við núverandi aðferðir, þétt yfirferð og náð betur utan um hnappdreifðar loðnutorfur.

LOÐNA Á TÍMUM UMHVERFISBREYTINGA

HEIMILDASKRÁ

- Astthorsson, O. S., & Gislason, A. (1997). On the food of capelin in the subarctic waters north of Iceland. *Sarsia*, 82(2), 81–86.
- Boussarie, G., Bakker, J., Wangensteen, O. S., Mariani, S., Bonnin, L., Juhel, J. B., Kiszka, J. J., Kulbicki, M., Manel, S., Robbins, W. D., Vigliola, L., & Mouillot, D. (2018). Environmental DNA illuminates the dark diversity of sharks. *Science Advances*, 4(5), eaap966.
- Carscadden, J. E., Gjøsæter, H., & Vilhjálmsson, H. (2013). A comparison of recent changes in distribution of capelin (*Mallotus villosus*) in the Barents Sea, around Iceland and in the Northwest Atlantic. *Progress in Oceanography*, 114, 64–83.
- Gislason, A., & Silva, T. (2012). Abundance, composition, and development of zooplankton in the Subarctic Iceland Sea in 2006, 2007, and 2008. *ICES Journal of Marine Science*, 69(7), 1263–1276.
- Hátún, H., Anne Britt, S., Drange, H., Hansen, B., & Valdimarsson, H. (2005). Influence of the Atlantic subpolar gyre on the thermohaline circulation. *Science*, 309, 1841–1844.
- Jónsson, S., & Valdimarsson, H. (2012a). Hydrography and circulation over the southern part of the Kolbeinsey Ridge. *ICES Journal of Marine Science*, 69(7), 1255–1262.
- Jónsson, S., & Valdimarsson, H. (2012b). Water mass transport variability to the North Icelandic shelf, 1994–2010. In *ICES Journal of Marine Science* (Vol. 69, Issue 5, pp. 809–815).
- Linnebjerg, J. F., Frederiksen, M., Kolbeinsson, Y., Snaethórsson, A. Ö., Thórisson, B., & Thórarinnsson, T. L. (2018). Non-breeding areas of three sympatric auk species breeding in three Icelandic colonies. *Polar Biology*, 41(10), 1951–1961.
- Pampoulie, C.P., Singh, W., Guðnason, K., Bárðarson B., Ólafsdóttir, G., Þórarinnsson, Þ., Sveinsson, S., and Gislason, D. 2023. Detection and distribution of the North Atlantic capelin (*Mallotus villosus*) using environmental DNA—comparison with data from the main fishery management survey. *Environmental DNA*, DOI: 10.1002/edn3.415
- Pálsson, Ó. K., & Björnsson, H. (2011). Long-term changes in trophic patterns of Iceland cod and linkages to main prey stock sizes. *ICES Journal of Marine Science*, 68(7), 1488–1499.
- Pálsson, Ó. K., Gislason, A., Guðfinnsson, H. G., Gunnarsson, B., Ólafsdóttir, S. R., Petursdóttir, H., Sveinbjörnsson, S., Thórisson, K., & Valdimarsson, H. (2012). Ecosystem structure in the Iceland Sea and recent changes to the capelin (*Mallotus villosus*) population. *ICES Journal of Marine Science*, 69(7), 1242–1254.
- Petursdóttir, H., Falk-Petersen, S., & Gislason, A. (2012). Trophic interactions of meso- and macrozooplankton and fish in the Iceland Sea as evaluated by fatty acid and stable isotope analysis. *ICES Journal of Marine Science*, 69(7), 1277–1288.
- Statistics Iceland [November 2023] <https://statice.is/>
- Singh, W., Bárðarson, B., Jónsson, S., Elvarsson, B., & Pampoulie, C. (2020). When logbooks show the path: Analyzing the route and timing of capelin (*Mallotus villosus*) migration over a quarter century using catch data. *Fisheries Research*, 230, 105653, <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105653>
- Tsubouchi, T., Våge, K., Hansen, B., Larsen, K. M. H., Østerhus, S., Johnson, C., Jónsson, S., & Valdimarsson, H. (2021). Increased ocean heat transport into the Nordic Seas and Arctic Ocean over the period 1993–2016. *Nature Climate Change*, 11(1), 21–26.
- Vilhjálmsson, H. (2002). Capelin biology and ecology: Capelin (*Mallotus villosus*) in the Iceland-East Greenland-Jan Mayen ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, 59(5), 870–883.
- Vilhjálmsson, H., & Carscadden, J. E. (2002). Assessment surveys for capelin in the Iceland-East Greenland-Jan Mayen area, 1978–2001. *ICES Journal of Marine Science*, 59(5), 1096–1104.
- Vilhjálmsson, H. (2007). Impact of changes in natural conditions on ocean resources. In *Law, Science & Ocean Management*, 11, 225–269. Brill Nijhoff. doi: 10.1163/ej.9789004162556.i-0.59

1. Gönguleið og tímasetning loðnugangna í aldarfjórðung greint út frá veiðidagbókum

Warsha Singh*, Birkir Bárðarson, Sigurður Þ. Jónsson, Bjarki Elvarsson, Christophe Pampoulie

Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður

Ágrip

Gönguleið loðnu eftir landgrunnskantinum norðan og austan Íslands að hrygningarstöðvum fyrir sunnan og vestan land var könnuð með greiningu veiðidagbóka loðnuskipa frá árunum 1993-2019. Loðnuflotinn fylgir yfirleitt fremsta hluta hrygningargöngunnar frá því að hún birtist í veiðanlegu magni í upphafi árs. Þetta gefur tækifæri á að meta gagnsemi upplýsinga í veiðidagbókum í tengslum við rannsóknir á breytingum á gönguleið og tímasetningu loðnugöngunnar. Niðurstöðurnar sýna að loðnuveiðarnar hefjast yfirleitt snemma í janúar við landgrunnskantin norðan og austan Íslands og færast smám saman réttsælis suður og vestur með landinu í átt að hrygningarstöðvunum. Auk þessa var með því að skipta veiðidagbókargögnum í tvo hluta hægt að merkja lítilsháttar breytingar á tímasetningu loðnugöngunnar. Hin síðari ár hefur loðnugangan komið seinna upp að landgrunninu miðað við fyrri ár þegar veiðarnar hófust sunnar.

Lykilorð: gönguleið, afli, breytingar í tíma

*Fyrirspurnum skal beina til: warsha.singh@hafogvatn.is

Ítarlegt ágrip byggt á:

Singh, W., Bárðarson, B., Jónsson, S.Þ., Elvarsson, E., Pampoulie, C. 2020. When logbooks show the path: Analyzing the route and timing of capelin (*Mallotus villosus*) migration over a quarter century using catch data. Fisheries Research. 230: 105653. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105653>

INNGANGUR

Loðnuveiðar hófust á Íslandsmiðum á sjöunda áratugnum (Vilhjálmsson og Carscadden, 2002). Helstu veiðipjóðir eru Ísland, Grænland og Noregur og auk þess hafa færeysk skip tekið þátt í veiðunum. Ísland hefur veitt stærstan hluta aflans eða um 80% af leyfilegum heildarafla lengst af.

Almennt hafa veiðarnar beinst að kynþroska hluta stofnsins og fylgt göngum loðnunnar í átt að hrygningarstöðvunum (Carscadden og fl., 2013). Veiðarnar hefjast jafnvel strax eftir áramót og lýkur yfirleitt í byrjun mars. Lengd vertíðar er þó háð stærð loðnukvóta sem er úthlutað; því hærra heildaraflamark því lengri vertíð. Það er vel þekkt að veiðarnar beinast að fremsta hluta loðnugangnanna eins og þeim hefur verið lýst í árlegum bergmálsleiðöngnum (Carscadden og fl., 2013; ICES, 2019). Við gerum því ráð fyrir að veiðarnar fylgi fremsta hluta gangnanna og notum veiðidagbækur til að meta tímasetningu og gönguleið loðnunnar með gögnum frá 26 ára tímabili til að kanna hvort hægt sé með þeim að merkja breytingar á gönguleið og tímasetningu.

EFNI & AÐFERÐIR

Upplýsingum um loðnuveiðar með hringnót og flotvörpu hefur verið safnað frá því 1993. Þær eru skráðar í veiðidagbók af skipstjórnarmönnum og eru taldar áreiðanlegar því samræmi er gott á milli skráðs afla og upplýsinga um loðnulandanir. Gögn um aflamagn, staðsetningu og veiðarfæri úr veiðum á vetrarvertíð voru tekin saman fyrir árin 1993-2018. Aðeins var stuðst við gögn um veiðar íslenskra skipa í þessari rannsókn, því sá floti sætti minnstum veiðisvæðatakmarkunum. Norsk fiskiskip, til dæmis, hafa aðeins aðgang að svæðum austan og norðan Íslands.

Þegar gögnin voru skoðuð sjónrænt eftir árum sást að tilfærsla veiðanna norður á bóginn hófst árið 2003 og að stærri hluti aflans var tekinn norðan við 66°N. Til að kanna það betur var gögnunum skipt eftir tveimur tímabilum, 1993–2002 og 2003–2018 og dreifing veiða teiknuð eftir mánuðum fyrir bæði tímabilin. Til að kanna með tölfræðilegum hætti hvort tilfærsla hefði orðið í tíma var fundin meðalstaðsetning, sem reiknuð þungamiðja afla 1.-12. viku hvers árs, eða frá janúar og fram í mars.

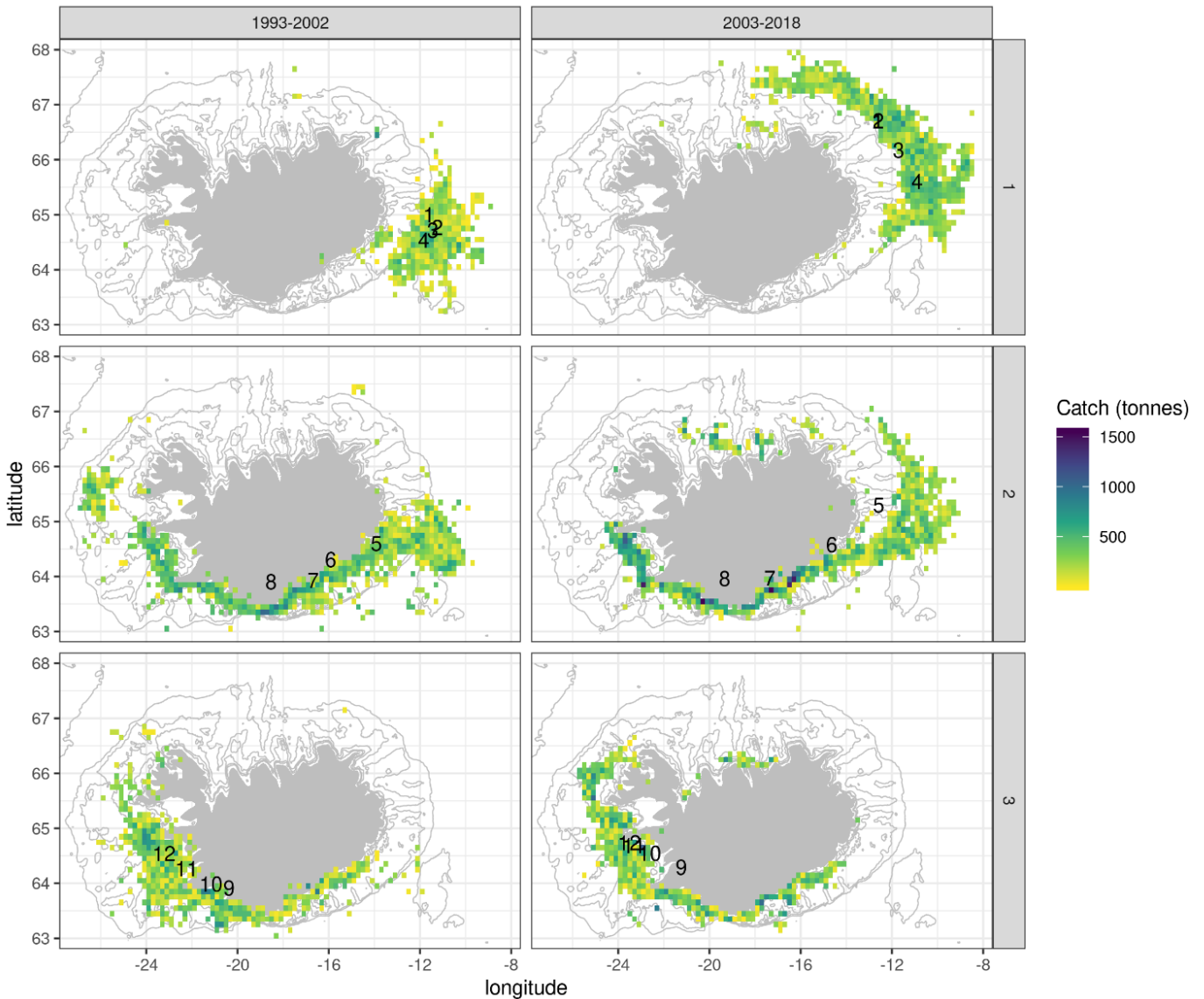
Meginþáttagreining (e. principal component analysis, PCA) var gerð á gögnum hvers mánaðar til að prófa hvort dreifing veiðanna hefði breyst á milli tímabilanna tveggja. Gögnin voru vestlæg lengd og norðlæg breidd þungamiðju afla eftir árum og vikum (vikur 1–4 látnar gilda fyrir janúar, 5–8 fyrir febrúar og 9–12 fyrir mars).

NIÐURSTÖÐUR

Í janúar, sem var yfirleitt fyrsti mánuður vetrarvertíðar loðnu, sýndi samanburður á dreifingu afla áberandi tilfærslu til norðurs og veiðar á stærra svæði hin síðari ár (2003–2018) borið saman við fyrra tímabilið (1993–2002; 1. mynd). Í mars virtist loðna ganga lengra norður með Vesturlandi og

Vestfjörðum á seinni hluta tímans en þeim fyrri auk þess sem nokkur aflí var þá skráður úti fyrir Norðurlandi. Í febrúar var ekki að sjá marktækan mun á milli tímabila á útbreiðslu loðnuveiðanna.

Meginþáttagreining, sem var beitt á staðsetningu reiknaðrar þungamiðju afla eftir vikum skipt eftir mánuðum og árum, sýndi að dreifing afla í janúar flokkaðist með mismunandi hætti tímabilin tvö, sem sýnir að skýr greinarmunur er á dreifingu loðnuveiðanna hin fyrri ár miðað við þau seinni (2. mynd). Dreifing afla í febrúar og mars sýnir hins vegar ekki skýran mun á milli tímabilanna tveggja sem bendir til að staðsetning veiðanna á miðri vertíð hafi verið sambærileg allt tímabilið (1. mynd).



1. mynd. Dreifing loðnuafli á vetrarvertíð skipt eftir mánuðum (1–3 fyrir janúar til mars) og í tvö tímabil (1993–2002 og 2003–2018). Staðsetning reiknaðrar þungamiðju afla viku hverja sýnd með tölum sem vísa til viku árs.



2. mynd. Meginþáttgreining (PCA) staðsetningar þungamiðju vikulegs janúarafla (vikur 1-4) í norðlægrri breidd (*clat*) og vestlægrri lengd (*clon*) eftir árum. Neðri sporbaugurinn sýnir árin 1993–2002, sá efri árin 2003–2018

UMRÆÐUR

Vegna sérstaks atferlis veiðiflotans sem fylgir loðnugöngum er hægt að nota gögn úr veiðidagbókum til að greina bæði gönguleið og tímasetningu loðnugöngunnar á 26 ára tímabili. Greiningarnar sýna að staðsetning veiðanna hefur breyst á undanförunum árum (2003–2018) samanborið við fyrri ár (1993–2002). Á fyrri tímabilinu, fóru veiðar í janúar fram sunnar en hin síðari ár. Undanfarin ár hafa loðnugöngur birst seinna á landgrunninu úti fyrir Norðurlandi, eins og skráningar afla á svæðum norðan og austan Íslands fyrstu fjórar vikur árs sýna. Loðnan fylgdi engu að síður hefðbundinni gönguleið réttisælis umhverfis Ísland og virtist nálgast hrygningarstöðvarnar á svipuðum tíma bæði tímabilin, í vikum 6–7. Þessar niðurstöður eru í samræmi við það sem komið hefur fram í nýlegum stofnmælingarleiðöngrum (ICES, 2019). Breytingar á dreifingu og tímasetningu veiðanna eru vísbending um breytta dreifingu loðnustofnsins og tímasetningu hrygningargangna. Það er vel þekkt að dreifing bæði fullorðinnar loðnu og ungvíðis hefur tekið breytingum síðustu tvo áratugi. Undir lok tíunda áratugarins og snemma á fyrsta áratug nýrrar aldar varð vart við tilfærslu á dreifingu loðnunnar vestur á bóginn á fæðutíma á haustin (Vilhjálmsson 2007). Þessi tilfærsla á útbreiðslu í átt að grænenska landgrunninu og lengra frá Íslandi getur mögulega skýrt seinkun á hrygningargöngu loðnu á Íslandsmið og um leið breytingar á staðsetningu veiðanna í janúar samkvæmt veiðidagbókum.

HEIMILDASKRÁ

Carscadden, J. E., Gjøsæter, H., and Vilhjálmsson, H. 2013. A comparison of recent changes in distribution of capelin (*Mallotus villosus*) in the Barents Sea, around Iceland and in the Northwest Atlantic. *Progress in Oceanography*, 114: 64–83.

ICES, 2019a. NORTH WESTERN WORKING GROUP report ICES Scientific reports 1:14. <http://doi.org/10.17895/ices.pub.5298>

Vilhjálmsson, H. (2007). Impact of changes in natural conditions on ocean resources. *Law Sci. Ocean Manage.* 11, 225. doi: 10.1163/ej.9789004162556.i-0.59

Vilhjálmsson, H., and Carscadden, J. E. 2002. Assessment surveys for capelin in the Iceland-East Greenland-Jan Mayen area, 1978-2001. *ICES Journal of Marine Science*, 59(5): 1096–1104.

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

Singh, W., Bárðarson, B., Jónsson, S.P., Elvarsson, B., Pampoulie, C. (2023). Gönguleið og tímasetning loðnugangna í aldarfjórðung greint út frá veiðidagbókum. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.P. Jónsson og G.J. Óskarsson (ritst.), *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 9-11)

2. Breytingar á útbreiðslu loðnu á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen af völdum umhverfisbreytinga í hafinu

Warsha Singh¹, Kristinn Guðnason¹, Marcel Montanyès², Martin Lindegren²

¹Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður

²National Institute of Aquatic Resources, Technical University of Denmark, Kemitorvet Bygning 202 2800 Kgs. Lyngby, Denmark

Ágrip

Loftslagsbreytingar hafa áhrif á dreifingu lífvera í hafinu á heimsvísu sem aftur getur virkað á og valdið breytingum á uppbyggingu, virkni og framleiðni vistkerfa. Áberandi tilfærsla hefur orðið á útbreiðslu loðnu sem er mikilvæg tegund í vistkerfi norðurslóða og sem nytjategund. Þessi rannsókn beinist að því að greina með samanburði á mismunandi niðurstöðum líkana hvort samband sé á milli breyttrar útbreiðslu loðnu og breytinga í hafeðlisfræðilegum skilyrðum á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen. Nánar tiltekið voru þrjú mismunandi líkön um dreifingu loðnu í tengslum við gögn um hita, seltu, straumhraða og frumframleiðni í yfirborði auk botnlags notuð til að spá til baka fyrir tímabilin 1993-2002 (fyrir breytingu á útbreiðslu) og 2003-2019 (eftir breytingu). Spá um viðveru loðnu fyrir þessi tvö tímabil sýnir að breytt umhverfisskilyrði hafa haft áhrif á útbreiðslu stofnsins. Rannsóknin gefur trausta tölfræðiumgjörð sem getur lýst vistfræðilegum sessi loðnunnar og mögulegum viðbrögðum hennar við breyttum umhverfisskilyrðum í hafinu.

Lykilorð: líkön um dreifingu tegunda, umhverfisbreytingar í hafinu, tilfærsla í rúmi, loðna, dreifing á fæðuslóð, dreifing á hrygningarstöðvum

*Fyrirspurnum skal beina til: warsha.singh@hafogvatn.is

INNGANGUR

Sýnt hefur verið fram á að loftslagsbreytingar hafa í grundvallaratriðum breytt dreifingu sjávarlífvera á heimsvísu (Basen og fl., 2022; Champion og fl., 2022). Áberandi er að ýmsar tegundir hafa brugðist við breyttum umhverfisskilyrðum, svo sem hækkandi yfirborðshita, seltubreytingum og minnkandi útbreiðslu hafiss, með því að færa sig smám saman á hærri breiddargráður (Champion og fl., 2022). Á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen (IEGJM) hefur orðið áberandi tilfærsla á útbreiðslu loðnu en loðna er mikilvæg í vistkerfi norðurslóða og sem nytjategund. Útbreiðsla loðnu á fæðutíma að sumri og hausti fluttist frá norðurmiðum Íslands að landgrunninu undan austurströnd Grænlands í upphafi 21. aldar (Carscadden og fl., 2013a) og hefur útbreiðsla haldist þannig síðan þá. Auk þessa hefur hrygningargöngu loðnunnar inn að landgrunninu norðan Íslands í janúar seinkað eftir 2003 (Singh og fl., 2020). Fyrri rannsóknir á IEGJM loðnu hafa gengið út frá því að haffræðilegur breytileiki hafi verið meginorsök breyttrar útbreiðslu (Valdimarsson og fl., 2012; Carscadden og fl., 2013b). Hins vegar teljum við að grundvallarástæður breyttrar loðnudreifingar og tímasetningar hrygningargöngunnar séu enn óþekktar. Í þessari rannsókn notuðum við þrjú

mismunandi tegundadreifingarlíkön (e. species distribution models, SDMs) til að ákvarða hvort skýra megi breytingu á útbreiðslu loðnu og breytta tímasetning hrygningargöngu hennar með breyttum umhverfisskilyrðum.

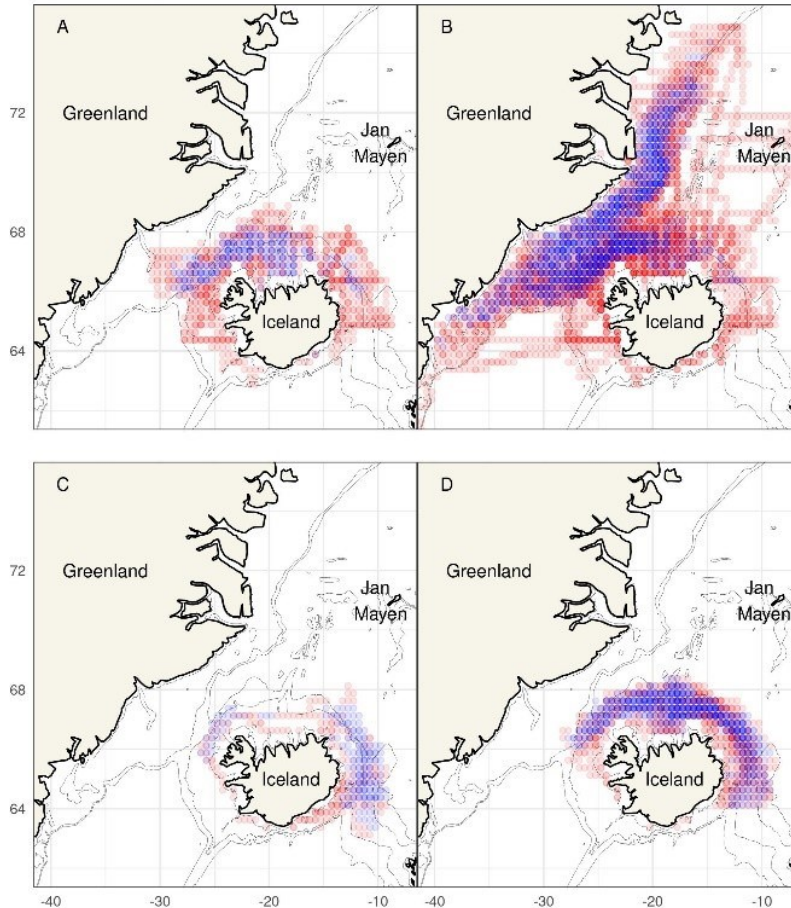
EFNI OG AÐFERÐIR

Gögn úr árlegum leiðöngrum til mælinga á loðnu með bergmálsaðferð að hausti (september-nóvember) og að vetrarlagi (janúar) voru notuð til að hnítsetja við- og fjarveru árin 2000 til 2019. Mælingar á magni loðnu ná niður að 500 m dýpi. Leiðarlínur þar sem ekki varð vart við loðnu afmörkuðu fjarveru (1. mynd). Hiti, selta, straumhraði og frumframleiðni (NPP) í yfirborði (0.5 m) voru fengin frá Copernicus vöktunarþjónustu Evrópubandanlagsins (EU Copernicus Marine Service, <http://marine.copernicus.eu/>). Botnlag var fengið frá NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration, Pante og fl., 2022). Sett var upp reitun loðnu- og umhverfisupplýsinga til að fella spálíkön að reitameðaltali allra breyta, með 0.25° x 0.5° upplausn í breidd og lengd.

Fjöllíkananálgun var beitt og þrenns konar mismunandi SDM felld að gögnunum og niðurstöður bornar saman, þ.e. alhæfð viðbætin aðhvarfslíkön (e. Generalized Additive Models (GAM), Wood, 2017), slembískógur (Random Forest (RF),

Breiman, 2001) og stoðvigravélar (e. Support Vector Machines (SVM), Vapnik, 1999). Gögnunum var skipt upp tilviljanakennt í tvo hluta, líkönin voru felld að 80% þjálfunarhluta, og því næst var frammistaða líkananna metin á 20% prófanahluta gagnanna. Mátgæði líkana voru mæld með flatarmáli undir fastheldniferli móttakara (e. the mean area under the receiver operating characteristic curve (AUC), Bradley, 1997). $AUC > 0.75$ var sett sem skilyrði um ásættanlega frammistöðu og spáhæfni líkana. Spáð var um líkindi viðveru yfir reitun

umhverfisupplýsinga allt frá 63° að 75° norðlægrar breiddar og 10° að 38° vestlægrar lengdar að vetrarlagi (í janúar) og fyrir haustmánuði (september-nóvember) var tekið meðaltal. Heildarlíkan var notað fyrir spárnar. Fyrir hvort misseri voru gerðar aðskildar spár fyrir tímabilið fyrir breytingu (1993-2002) og eftir breytingu (2003-2019) á útbreiðslu til að kanna hvort spár um viðveru endurspegluðu breytinguna sem varð á útbreiðslu loðnunnar.



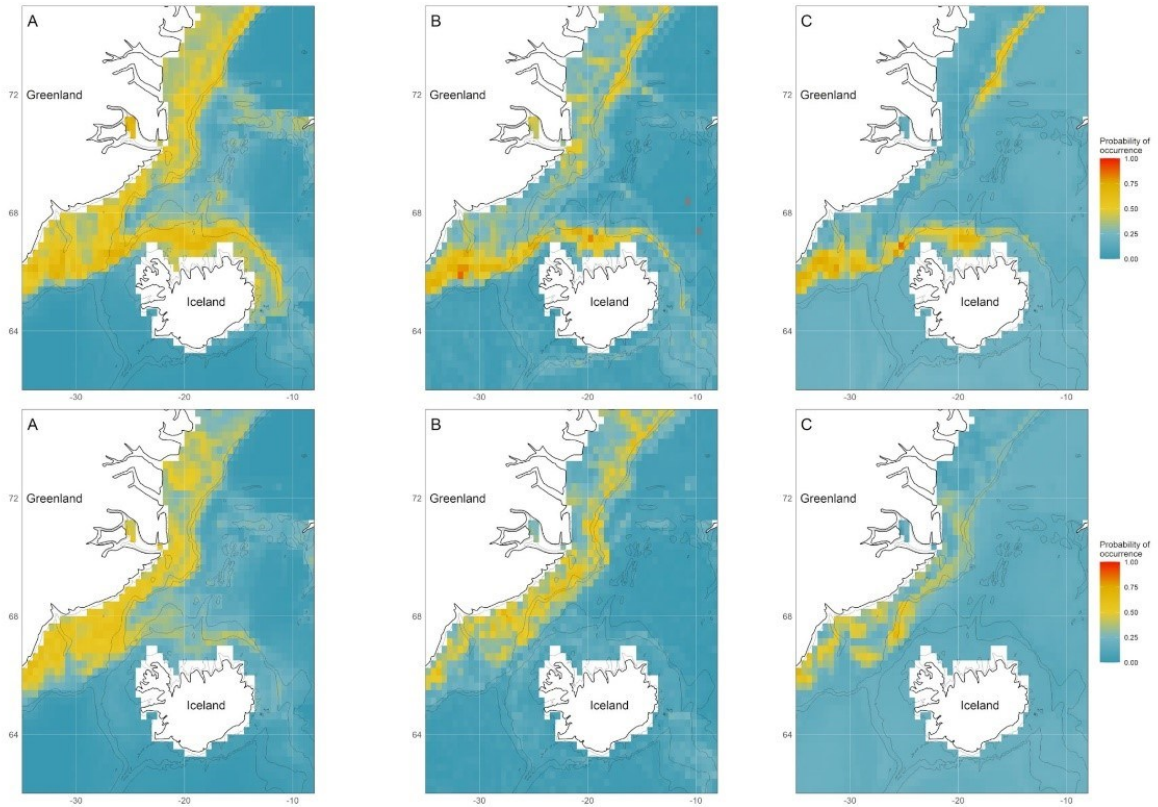
1. mynd: Rannsóknarsvæðið þar sem viðvera (blátt) og fjarvera (rautt) loðnu í bergmálmælingaleiðöngrum að hausti (september-nóvember; seint á fæðutímabili) fyrir árin fyrir (A) og eftir (B) breytingu á útbreiðslu og að vetri (janúar; við upphaf hrygningargöngu) fyrir (C) og eftir (D) breytingu á útbreiðslu er sýnd. Sýndar eru jafndýpislinur 100, 500 og 1000 m.

NIÐURSTÖÐUR

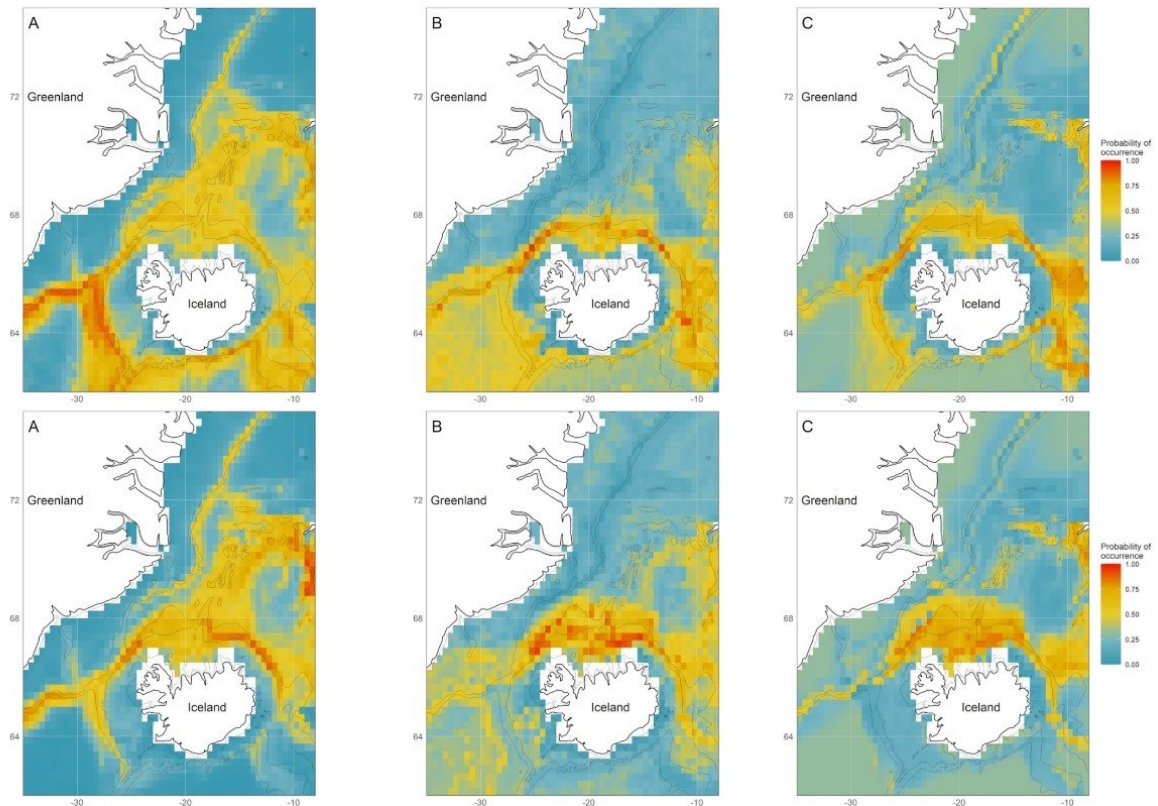
Fyrir útbreiðslu að haustlagi stóðu RF (AUC = 0.85) og SVM (0.81) líkönin sig betur en GAM (0.75) í að spá til um líkindi á viðveru loðnu fyrir tímabilin fyrir og eftir breytingu á útbreiðslu og gátu þannig greint tilfærslu dreifingarinnar í rúmi. Spár líkananna sýndu hærri líkur á viðveru norðan Íslands fyrir breytta útbreiðslu samanborið við tímabilið eftir breytingu þegar viðverulíkur voru hærri á austur-grænenska landgrunninu (2. mynd). Selta, hitastig og frumframleiðni voru mikilvægar skýribreytur en straumhraði kom því næst. Kjörhiti og -selta fyrir viðveru loðnu voru metin á milli -1 og 4 °C og 32 og 33 PSU þ.e. sýndi tilhneigingu í átt að kaldari og ferskari sjó. Hærri líkur á viðveru féllu saman við svæði þar sem

straumhraði var hár (0.1–0.4 m/s), dýpi á bilinu 100 til 1000 m og frumframleiðni var há.

Fyrir útbreiðslu að vetri til stóðu RF (AUC = 0.79) og SVM (0.75) líkönin sig betur en GAM (0.7). Öll líkönin spáðu hærri viðverulíkum norðan Íslands seinna tímabilið, eftir breytingu á útbreiðslu. Viðverulíkur samkvæmt SVM líkani voru hærri úti fyrir SA-landi á fyrra tímabilinu (3. mynd). Hvolflaga samband var við hitastig sem bendir til ákveðins kjörhitastigs á milli 1 og 4 °C. Jákvætt samband við seltu fannst með hæstu viðverulíkum á milli 34.5. og 35.5 PSU. Samband við dýpi var einnig hvolflaga og benti til að loðnutorfur finndust helst að vetrarlagi nálægt 500 m dýpi við landgrunnskantinn þar sem straumhraði er á bilinu 0.1–0.4 m/s og frumframleiðni lág.



2. mynd: Spá um viðverulíkur loðnu að haustlagi (september–nóvember) með GAM (A), RF (B), og SVM (C) fyrir (1993–2002, efri röð mynda) og eftir (2003–2019, neðri röð) breytingu á útbreiðslu. Öll líkönin náðu að fanga tilfærsluna, RF líkanið stóð sig best. Jafndýpslínur eru sýndar fyrir 100, 500 og 1000 m.



3. mynd: Spá um viðverulíkur loðnu að vetrarlagi (janúar) með GAM (A), RF (B), og SVM (C) fyrir (1993–2002, efri röð mynda) og eftir (2003–2019, neðri röð) breytingu á útbreiðslu. RF og SVM líkönin náðu að fanga seinkun hrygningargöngu á seinna tímabilinu. Jafndýpslínur eru sýndar fyrir 100, 500 og 1000 m.

UMRÆÐUR

Gögn um umhverfisskilyrði og viðvist loðnu með hárrí upplausn voru greind í leit að lykildreytum til skýringar tilfærslu á útbreiðslu loðnu. Spár líkana um dreifingu seint á fæðutíma að hausti fyrir og eftir útbreiðslubreytingar fanga meginbreytingarnar sem lýst er í Carscadden og fl. (2013b). Samkvæmt þeim hafaðlisfræðipáttum sem voru með í líkönum okkar, voru vænleg skilyrði norðan Íslands og í Grænlandssundi á fyrri tímabilinu en samstíga breyttum umhverfisskilyrðum virðist það svæði hafa orðið óhagstæðara fyrir fæðunám loðnu á síðara tímabilinu. Tilfærsla loðnustofnsins af þessu svæði er í samræmi við sérstaklega háa seltu á hafsvæðinu sem tengist því að fyrsta áratug 21. aldar dró úr styrk kaldtempraða hvirfilsins (Hátún og fl., 2005). Ennfremur verða breytingarnar á sama tíma og hitastig hækkar á svæðinu vegna aukins innstreymis hlýs sjávar (Tsubouchi og fl., 2021 Jónsson og Valdimarsson, 2012).

Þekkt er að á hrygningargöngu sinni fylgir loðnan landgrunnsbrúninni norðan Íslands (Ólafsdóttir og Rose, 2012). Niðurstöður okkar styðja þessa athugun því botndýpi var mikilvæg breyta til skýringar á við- og fjarveru loðnu í janúar. Þar sem botnlag er lítt breytilegt getum við gengið út frá því að seinkun á hrygningargöngu loðnunnar á Íslandsmið í janúar, eins og lýst hefur verið með skoðun veiðidagbóka (Singh og fl., 2020), sé aðallega tilkomin vegna breytinga á hita og seltu, enda röðuðust þær sem mikilvægar í niðurstöðum SVM og RF líkananna. Aukin vegalengd á milli fæðuslóðar og hrygningarstöðva gæti líka haft sitt að segja.

Upplýsingar um umhverfisskilyrði í yfirborði sjávar eru taldar vera nægjanlegar til greiningar að hausti því yfirborðslagið er mikilvægt í fæðunámi loðnunnar. Að vetri til getur yfirborðslagið einnig verið dæmigert fyrir dýpri lög sjávar því vatnssúlan er gjarnan jafnblönduð um það bil niður á það dýpi sem loðnan heldur sig á.

Fjöllíkananálgun sem beitt var í þessari rannsókn gefur trausta tölfræðiumgjörð sem getur lýst vistfræðilegum sessi loðnu á svæðinu milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen. Með niðurstöðum áreiðanlegra veðurfars- eða loftslagsspáa væri hægt að nota þessa nálgun til að spá skammt eða miðlungi langt fram í tímann um þróun dreifingar loðnunnar. Slíkar spár geta gefið verðmætar vísbendingar um mögulegar breytingar á útbreiðslu af völdum hlýnunar í hafinu eða annara umhverfisbreytinga.

ÞAKKIR

Verkefnið var fjármagnað að hluta af Horizon 2020 rannsókn- og nýsköpunaráætlun Evrópubandalagsins, skv. verkefnissamningi No. 869383 (ECOTIP).

HEIMILDASKRÁ

Basen, T., Ros, A., Chucholl, C., Oexle, S., and Brinker, A. 2022.

Who will be where: Climate driven redistribution of fish habitat in southern Germany. *PLOS Climate*, 1, e0000006.

Bradley, A. E. 1997. The use of the area under the ROC curve in the evaluation of machine learning algorithms. *Pattern recognition*, 30(7), 1145-1159.

Breiman, L. 2001. Random Forests. *Machine learning*, 45, 5-32.

Carscadden, J. E., Gjøsæter, H., and Vilhjálmsson, H. 2013a. A comparison of recent changes in distribution of capelin (*Mallotus villosus*) in the Barents Sea, around Iceland and in the Northwest Atlantic. *Progress in Oceanography*, 114, 64–83.

Carscadden, J. E., Gjøsæter, H., and Vilhjálmsson, H. 2013b. A comparison of recent changes in distribution of capelin (*Mallotus villosus*) in the Barents Sea, around Iceland and in the Northwest Atlantic. *Progress in Oceanography*, 114, 64–83.

Champion, C., Hobday, A. J., Zhang, X., and Coleman, M. A. 2022. Climate change alters the temporal persistence of coastal-pelagic fishes off eastern Australia. *ICES Journal of Marine Science*, 79, 1083–1097.

Hátún, H., Sandø, AB., Drange, H., Hansen, B., and Valdimarsson, H. 2005. Influence of the Atlantic subpolar gyre on the thermohaline circulation. *Science*, 309, 1841–1844.

Jónsson, S., and Valdimarsson, H. 2012. Water mass transport variability to the North Icelandic shelf, 1994-2010. *ICES Journal of Marine Science*, 69 (5): 809-815.

Pante, E., Simon-Bouhet, B., and Irisson, J.-O. 2022. marmap: Import, Plot and Analyze Bathymetric and Topographic Data. R package version 1.0.8.

Ólafsdóttir, A. H., and Rose, G. A. 2012. Influences of temperature, bathymetry and fronts on spawning migration routes of Icelandic capelin (*Mallotus villosus*). *Fisheries Oceanography*, 21, 182–198.

Singh, W., Bárðarson, B., Jónsson, S., Elvarsson, B., and Pampoulie, C. 2020. When logbooks show the path: Analyzing the route and timing of capelin (*Mallotus villosus*) migration over a quarter century using catch data. *Fisheries Research*, 230, 105653. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105653>

Tsubouchi, T., Våge, K., Hansen, B., Larsen, K. M. H., Østerhus, S., Johnson, C., Jónsson, S., et al. 2021. Increased ocean heat transport into the Nordic Seas and Arctic Ocean over the period 1993–2016. *Nature Climate Change*, 11, 21–26.

Valdimarsson, H., Astthorsson, O. S., and Pálsson, J. 2012. Hydrographic variability in Icelandic waters during recent decades and related changes in distribution of some fish species. *ICES Journal of Marine Science*, 69, 816–825.

Vapnik, V. N. 1999. The Nature of Statistical Learning Theory. Springer science & business media.

Wood, S. N. 2017. Generalized Additive Models: an introduction with R. CRC press.

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

Singh, W., Gudnason, K., Montanyès, M., Lindegren, M. (2023). Breytingar á útbreiðslu loðnu á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen af völdum umhverfisbreytinga í hafinu. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.P. Jónsson og G.J. Óskarsson, *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 12-15)

3. Þróun á lífssögu loðnu samfara breyttri útbreiðslu

Warsha Singh*, Sigurvin Bjarnason, Kristinn Guðnason, Birkir Bárðarson, Sigurður Þ. Jónsson, Christophe Pampoulie

Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður

Ágrip

Það er vel þekkt að umhverfisskilyrði geta haft áhrif á lífssögulega þætti fiskistofna. Breytileiki lífssögulegra þátta hefur verið notaður sem mælikvarði á heilbrigði fiskistofna og getu þeirra til að aðlagast breyttum umhverfisskilyrðum. Gögn úr loðnuleiðöngrum að hausti voru notuð til þess að skoða breytingar á lengd, þyngd og ástandsstuðli loðnu, ásamt aldri og lengd við 50% kynþroska (A_{50} og L_{50}) yfir árin 2000-2021. Í byrjun þessa tímabils breyttist útbreiðslumynstur loðnu frá að vera á hafsvæðum norður af Íslandi til austurstrandar Grænlands. Niðurstöður sýna aukningu í lengd, þyngd, ástandsstuðli og lengd við 50% kynþroska á tímabilinu á meðan aldur við 50% kynþroska hefur haldist stöðugur. Áhrif stofnstærðar, yfirborðshita og yfirborðsseltu sjávar á lengd og þyngd loðnu voru metin með viðbættum alhæfðum tímarúmslíkönum (e. spatio-temporal GAM). Stofnstærð og yfirborðshitastig reyndust lykilbreytur í að útskýra breytileika þessara lífssögubátta. Neikvætt samband milli stofnstærðar og bæði lengdar og þyngdar bendir til þéttleikaháðra áhrifa á vöxt. Aukin stærð loðnu gæti því hafa orsakast af minni fæðusamkeppni innan stofnsins. Minni loðna er á svæðum þar sem sjávarhiti er hærri meðan stærri einstaklingar finnast í lægri sjávarhita.

Lykilorð: lífssögubættir, loðna, *Mallotus villosus*, ástand, lengd við kynþroska, tímarúmslíkan

*Fyrirspurnum skal beina til: warsha.singh@hafogvatn.is

INNGANGUR

Skilgreina má lífssögubætti fiska á marga vegu svo sem út frá lengd og þyngd eftir aldri, líkamlegu ástandi (ástandsstuðli) sem og lengd og aldri við 50% kynþroska. Breytingar á lífssögulegum þáttum í tíma og rúmi geta nýst til þess að skilja viðbragð fiskistofna við breytingum bæði náttúrulegum og af mannavöldum í umhverfi þeirra (Beukhof og fl., 2019). Til að mynda geta tilfærslur á búsvæðum eða fæðuslóðum fiska haft áhrif á lífssögulega þætti vegna breyttra umhverfisskilyrða og fæðuframboðs (Cardinale og fl., 2002). Loðna er skammlíf tegund (hrygnir og deyr 3-5 ára) sem gerir hana viðkvæmari fyrir umhverfisbreytingum (Perry og fl., 2005). Tilfærsla á meginfæðuslóð loðnu frá hafsvæðum norður af Íslandi að landgrunni Austur Grænlands í kringum árið 2000 er vel þekkt (Vilhjálmsson, 2007) og breytingar voru gerðar á yfirferð loðnuleiðangurs Hafrannsóknastofnunar að hausti árið 2010 til þess að ná utan um þessa tilfærslu. Fyrir sama tímabil hefur verið greint frá hlýnun sjávar á Íslands-Austur-Grænlands-Jan Mayen svæðinu (Tsubouchi og fl., 2021). Áhrif breyttrar fæðuslóðar á lífssögulega þætti loðnu eru óþekkt en til að skilja viðbragð loðnu við breyttum umhverfisskilyrðum á nýjum búsvæðum við Austur Grænland voru greind gögn um líffræðilega þætti hennar frá yfir 20 ára tímabili (2000-2021).

EFNI OG AÐFERÐIR

Rannsóknin byggir á mælingum á loðnu úr afla togsýna og bergmálgögnum í árlegum loðnuleiðöngrum að hausti árin 2000-2021. Á hverri togstöð var 100 loðnum safnað og upplýsingum um lengd, þyngd, aldur, kyn og kynþroskastig safnað. Við úrvinnslu gagna var fjöggra ára loðnu sleppt vegna lítils fjölda fiska. Jafnframt voru gögn frá árinu 2002 ekki notuð vegna þess að aldursgreiningar vantaði. Líffræðigögn voru vegin með bergmálsvísitölum til þess að endurspeglar allan loðnustofninn (Gjøsæter, 2000). Heildarfjöldi fiska hvers árs innan reita að stærð $0.25^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ breiddargráðu og lengdargráðu var ákvarðaður út frá bergmálgildum sem og sambandi endurvarpsstyrks og lengdar loðnu (Vilhjálmsson, 1994). Bergmálgögn fram til ársins 2000 eru ekki á aðgengulegu formi sem afmarkar tímarammann sem rannsóknin náði yfir.

Þróun á árlegum breytileika á lengd og þyngd eftir aldri, hlutfallslegum ástandsstuðli (Kn), lengd við 50% kynþroska (L_{50}) og aldri við 50% kynþroska (A_{50}) var skoðuð fyrir bæði hænga og hrygnur. L_{50} og A_{50} eru skilgreind sem lengd og aldur þar sem helmingur fiska er talinn vera orðinn kynþroska og voru notuð til að rannsaka langtímabreytingar á kynþroska beggja kynjanna. L_{50} og A_{50} má einnig nota sem vísi um framleiðslugetu stofnsins þar sem rannsóknir hafa sýnt að stærri loðnuhrygnur framleiða stærri egg (Penton og Davoren,

2013) sem leiðir til þess að stærri og lífvænlegri lirfur klekjast (Chambers og Leggett, 1996).

Við greiningu gagnanna var þeim skipt í tvö tímabil, 2000-2009 (P1) og 2010-2021 (P2), en leiðangurssvæði loðnuleiðangra færðist yfir til austurstrandar Grænlands árið 2010. Til þess að meta hvort breytingar á lengd og þyngd eftir aldri á þessum tímabilum gæti orsakast af umhverfisbreytum, var notast við alhæfð viðbætin líkön (e. Generalized additive models GAM) (Wood, 2011). Skýribreytur í líkaninu voru stofnstærð, yfirborðshiti og yfirborðsselta sjávar. Taka þurfti tillit til tilfærslu leiðangursins í tíma og rúmi sem hefur áhrif á niðurstöður því leiðangurssvæðin eru mismunandi milli tímabila. Þess vegna voru höfð aðskilin líkön fyrir hvort tímabil

sem gerði það kleift að rannsaka einkenni hvors tímabils fyrir sig. Yfirborðshita- og seltugögn voru fengin frá gervihnattagögnum Copernicus verkefnisins (E.U. Copernicus Marine Service (CMEMS) <http://marine.copernicus.eu/>).

NIÐURSTÖÐUR

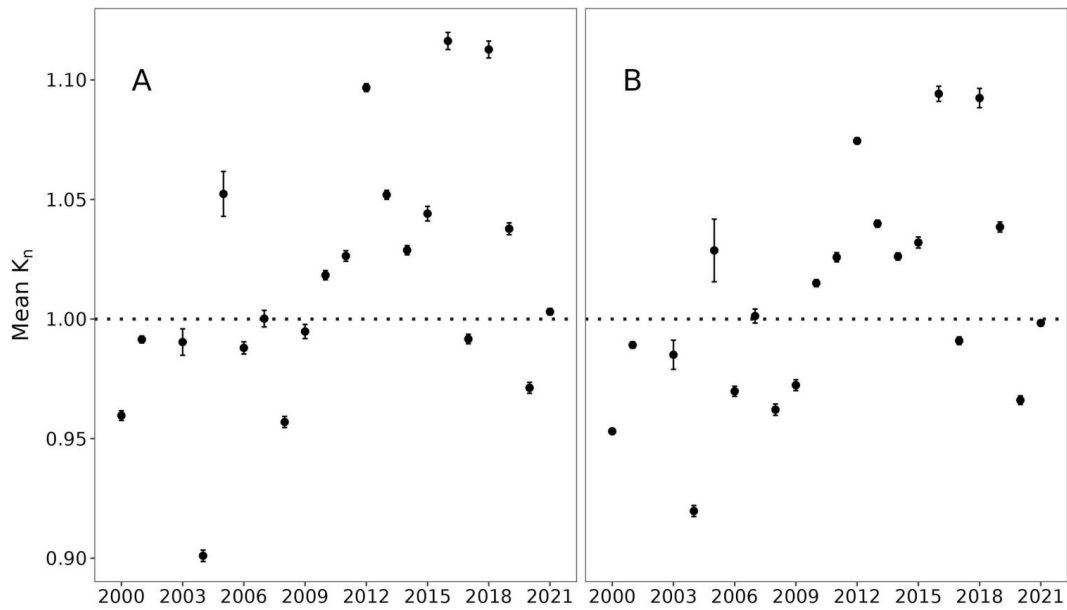
Bæði lengd og þyngd eftir aldri jókst hjá báðum kynjum yfir rannsóknartímam, sérstaklega hjá eldri loðnu ($p < 0.001$). Meiri lengdaraukning var hjá 2 ára hængum en hrygnum (1. mynd A og B). Að sama skapi var mesta þyngdaraukningin hjá 2 ára hængum en hjá 2 og 3 ára hrygnum var þyngdaraukning svipuð yfir allt tímabilið (1. mynd C og D).



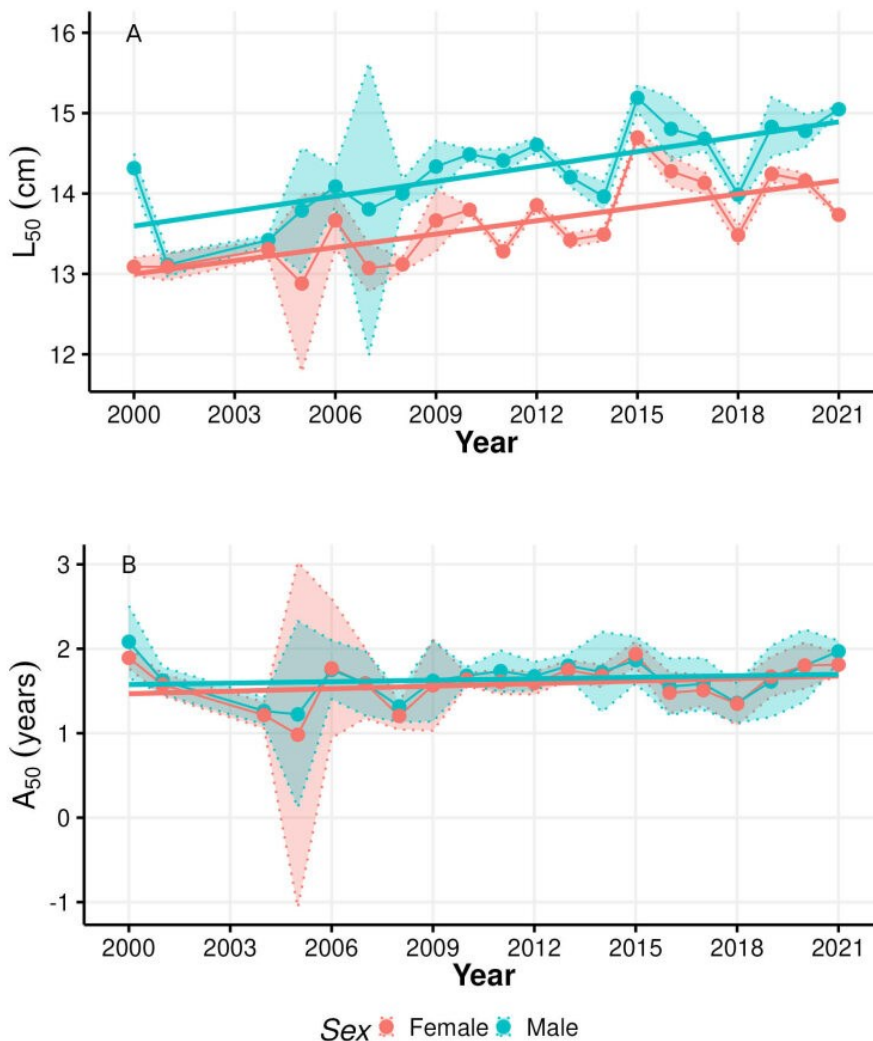
1. mynd. Langtímabreytingar í meðallengd loðnu eftir aldri hænga (A) og hrygna (B) og meðalþyngd eftir aldri hænga (C) og hrygna (D) að hausti árin 2000-2021 fyrir þrjú aldurshópa (1 árs = bleikt, 2 ára = blátt og 3 ára = grænt). Skyggð svæði sýna 95% öryggismörk.

Ástand loðnu var yfirleitt betra eftir árið 2009 þar sem meðalgildi ástandsstuðuls voru almennt yfir 1 fyrir bæði hænga og hrygnur samanborið við tímabilið 2000-2009 þegar gildin voru að jafnaði undir 1 (2. mynd).

Almenn aukning var í L_{50} hjá báðum kynjum yfir tímabilið ($p < 0.001$; 3. mynd A). Aftur á móti var lítil breyting á A_{50} hjá báðum kynjum yfir tímabilið (3. mynd B). Ekki var mögulegt að meta L_{50} og A_{50} árið 2003 vegna þess að kynþroska fiskar voru of fáir.



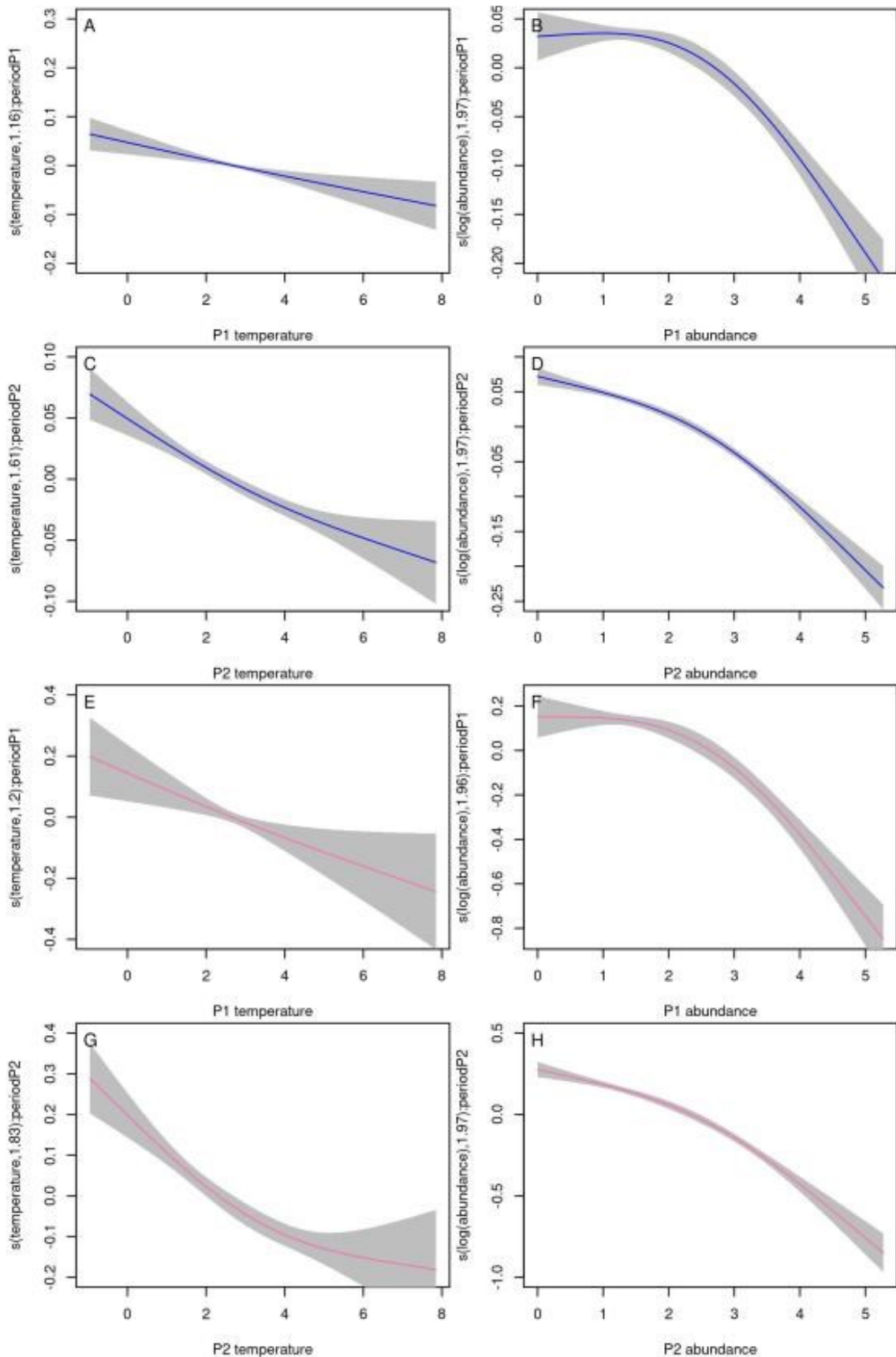
2. mynd. Langtímabreytingar á meðal ástandsstuðli hænga (A) og hrygna (B) á tímabilinu 2000-2021. Punktalínan skilgreinir ástand loðnunnar (lélegt <1 og gott >1).



3. mynd. Langtímabreytingar á (A) L_{50} og (B) A_{50} fyrir hænga (blátt) og hrygnur (rautt) með 95% öryggismörkum (skyggð svæði) á tímabilinu 2000-2021. Öryggismörkin eru há fyrir árin 2005-2007 vegna fárra fiska þau ár.

Niðurstöður tímarúmslíkans fyrir lengd- og þyngd eftir aldri voru svipaðar (4. mynd). Fyrir bæði tímabilin var neikvætt samband milli þeirra og stofnstærðar loðnu og yfirborðshitastigs sjávar, þ.e. bæði lengd og þyngd eftir aldri

jókst þegar stofnstærð og/eða yfirborðshitastig lækkaði. Þrátt fyrir að líkönin sýni marktækar niðurstöður, útskýra þau tiltölulega lítinn hluta breytileikans (27.8% af lengd og 28.2% af þyngd).



4. mynd. Svörunarferlar tímarúmslíkans fyrir lengd eftir aldri (blátt; A,B,C,D) og þyngd eftir aldri (bleikt; E,F,G,H) sem fall af yfirborðshitastigi (temperature) og stofnstærð loðnu (abundance) árin 2000-2009 (P1) og 2010-2021 (P2).

UMRÆÐUR OG ÁLYKTANIR

Niðurstöður rannsóknarinnar sýna að lífssögubættir loðnu hafa breyst á síðustu tveimur áratugum. Lengd og þyngd eftir aldri hafa aukist yfir tímabilið, sérstaklega hjá eldri loðnu. Ástand loðnunnar hefur einnig batnað, ásamt því að vísir um framleiðslugetu stofnsins, L_{50} , jókst einnig yfir tímabilið. Stofnstærð loðnu hefur að öllu jöfnu verið minni frá árinu 2000 en á áratugunum á undan, sem hefur haft í för með sér lægra aflamark og minni heildarveiði á þessari öld. Þótt ástæður minni stofns séu óljósar, bendir aukningin í lengd- og þyngd eftir aldri og betra ástand loðnu á þessu tímabili til þéttleikaháðra áhrifa á vöxt. Þessi áhrif má skýra með minni samkeppni um fæðu innan stofnsins og þannig aukins fæðuframboðs (Arranz og fl., 2019). Að öllu jöfnu veldur hlýnun sjávar hraðari vexti (Rijn og fl., 2017, Wang et al., 2020). Neikvætt samband hitastigs við lengd og þyngd fyrir bæði tímabil bendir til þess að smærri loðna haldi sig í hlýrri sjó sem getur ýtt undir hraðari vöxt ef fæðuframboð er nægilegt. Á hinn bóginn, sækir stærri og þyngri loðna í kaldari sjó að hausti sem getur verið aðlögun til þess að spara orku fyrir hrygningargöngu um veturinn. Hins vegar útskýrðu umhverfisbreyturnar sem skoðaðar voru hér aðeins hluta af breytileikanum í lengd og þyngd eftir aldri hjá loðnu. Þörf er á frekari rannsóknum sem taka tillit til annarra vistkerfisþátta svo sem fæðuframboðs og aldurstengdra viðbragða stofnsins. Með því að rannsaka breytingar á lífssögulegum þáttum fáum við betri innsýn í aðlögunarhæfni loðnunar til að bregðast við líffræði- eða umhverfistengdum breytingum í umhverfi hennar.

ÞAKKIR

Verkefnið var fjármagnað að hluta af Horizon 2020 rannsókn- og nýsköpunaráætlun Evrópubandalagsins, skv. verkefnissamningi No. 869383 (ECOTIP).

HEIMILDASKRÁ

Arranz, I., Mehner, T., Benejam, L., Argillier, C., Holmgren, K., Jeppesen, E., Lauridsen, T.L., Volta, P., Winfield I.J., & Brucet, S. 2019. Density-dependent effects as key drivers of intraspecific size structure of six abundant fish species in lakes across Europe. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73(4), 519-534.

Beukhof, E., Dencker, T. S., Pecuchet, L., and Lindegren, M. 2019. Spatio-temporal variation in marine fish traits reveals community-wide responses to environmental change. *Marine Ecology Progress Series*, 610, 205–222.

Cardinale, M., Casini, M., & Arrhenius, F. (2002). The influence of biotic and abiotic factors on the growth of sprat (*Sprattus sprattus*) in the Baltic Sea. *Aquatic Living Resources*. 15, 273–281

Chambers R. C., Leggett W. C. 1996. Maternal influences on variation in egg sizes in temperate marine fishes. *American Zoologist*, 36, 180–196.

Gjøsaeter, H. 2000. Studies on the Barents Sea Capelin (*Mallotus villosus* Müller), with emphasis on growth Projecting Barents Sea Ecosystem State, Functioning, and Productivity Under Climate Change Using Migration

Models for Capelin View project Barents Ecosystem survey View project.

<https://www.researchgate.net/publication/283898267>.

ICES. 2022. Northwestern Working Group (NWWG). ICES Scientific Reports, 4: 755pp.

<http://doi.org/10.17895/ices.pub.5298>.

Penton P. M., Davoren G. K. 2013. Capelin (*Mallotus villosus*) fecundity in post-1990s coastal Newfoundland. *Marine Biology*, 160, 1625–1632.

Perry, A. L., Low, P. J., Ellis, J. R., and Reynolds, J. D. 2005. Ecology: Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308, 1912–1915.

Rijn I., Buba, Y., DeLong, J., Moshe, K, Belmaker, J. 2017. Large but uneven reduction in fish size across species in relation to changing sea temperatures. *Global Change Biology*, 23(9), 3667-3674

Tsubouchi, T., Våge, K., Hansen, B., Larsen, K. M. H., Østerhus, S., Johnson, C., Jónsson, S., et al. 2021. Increased ocean heat transport into the Nordic Seas and Arctic Ocean over the period 1993–2016. *Nature Climate Change*, 11, 21–26.

Vilhjalmsson, H. (2007). Impact of changes in natural conditions on ocean resources. In *Law, Science & Ocean Management*, 11, 225-269. Brill Nijhoff. doi: 10.1163/ej.9789004162556.i-059

Wang, H. Y., Shen, S. F., Chen, Y. S., Kiang, Y. K., & Heino, M. (2020). Life histories determine divergent population trends for fishes under climate warming. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17937-4>

Wood, S. N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of Royal Statistical Society (B)*, 73, 3–36.

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

Singh, W., Bjarnason, S., Guðnason, K., Bárðarson, B., Jónsson, S.P., Pampoulie, C. (2023). Þróun á lífssögu loðnu samfara breyttri útbreiðslu. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.P. Jónsson og G.J. Óskarsson, *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 16-20)

4. Umhverfisáhrif á dreifingu loðnulirfa (*Mallotus villosus*)

Thassya C. dos Santos Schmidt*, James Kennedy

Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður

Ágrip

Vistkerfisþættir, svo sem hitastig, fæðuframboð og heppileg straumskilyrði til að bera egg og lirfur á hagfelldar uppeldisslóðir geta haft áhrif á afkomu fyrstu lífsskeiða og afleiðingar fyrir nýliðun. Loðna er mikilvæg bráð sem finnst víða á norðurslóðum og í Norður-Íshafinu. Loðnustofninn á hafsvæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen hrygnir aðallega undan suður- og suðvesturströnd Íslands. Eftir að loðnulirfur klekjast út rekur þær með straumum að uppeldisstöðvum norðan Íslands og yfir á landgrunnid við Austur-Grænland. Markmið þessarar rannsóknar var að kanna áhrif umhverfisþátta á dreifingu, þéttleika og vöxt loðnulirfa sem komust á legg eftir hrygningu árin 2017–2020 á Íslandsmiðum. Þetta er liður í rannsóknum á að auka skilning á ferlum sem hafa áhrif á nýliðun. Niðurstöður okkar sýna háan þéttleika lirfa sunnan og vestan lands í maí, og að heitari sjór (> 6°C) hafði neikvæð áhrif á þéttleika loðnulirfa. Veik jákvæð fylgni var á milli þéttleika og magns blaðgrænu a. Við sáum þess dæmi að stærri lirfur (> 30 mm) höfðu sennilega náð uppvaxtarstöðvum vestan og norðan lands í maí, en fundum líka nýklaktar lirfur (< 10 mm) á öllum svæðum en þó sérstaklega austan lands.

Lykilorð: afkoma, fyrstu lífsferilsstig, loðnulirfur, hrygningarstöðvar

*Fyrirspurnum skal beint til: thassya.dos.santos.schmidt@hafogvatn.is

INNGANGUR

Sýnt hefur verið fram á að allmargir þættir geta haft áhrif á nýliðun fiskistofna, til að mynda umhverfi, stofnstærð, fæðuframboð, afrán og lirfurek (t.d. Carscadden og fl. 2013, Endo og fl. 2021, Gabellini og fl. 2023, Gjøsæter og fl. 2015). Afkoma lirfa og rek að uppvaxtarstöðvum ræðst af samspili þátta eins og staðsetningu hrygningastöðva, tímasetningu og umhverfisskilyrðum (Silve og fl. 2023). Ráðandi sjógerðir á Íslandsmiðum eru kaldur og seltulitill sjór Austur-Íslandsstraumsins og Austur-Grænlandsstraumsins fyrir norðan og hlýr og saltur Atlantssjór fyrir sunnan land (Vilhjálmsson 2002; Jónsson og Ólafsdóttir 2021).

Loðna (*Mallotus villosus*) er lykiltegund sem bráð á norðurslóðum og í Norður-Íshafinu og er auk þess verðmæt nytjategund (Carscadden og fl. 2013). Loðna gegnir mikilvægu visfræðilegu hlutverki þar sem hún tengir mismunandi fæðuprep með því að nærast á dýrasvifi og er auk þess afar mikilvæg bráð ránfiska, hvala og sjófugla (Vilhjálmsson 2002). Árgangastyrkur er talinn ráðast á fyrsta ævivetri og nýliðun er metin út frá magni eins árs loðnu (Vilhjálmsson 2002). Síðustu tvo áratugi hefur árgangastyrkur (fjöldi fyrsta árs nýliða) verið afar breytilegur og spannað 5–141 milljarða (árgangarnir frá 2002 og 2019, ICES 2023). Árgangar sem fjallað er um í þessari rannsókn klöktust árin 2017–2020 og er stærð þeirra metin (í aldursröð) 12, 83, 141 og 86 milljarðar eins árs nýliða (ICES 2023). Athyglinni var beint að afkomu lirfa og reki þeirra á uppvaxtarstöð og markmið rannsóknarinnar voru eftirfarandi: i) meta breytileika á milli ára í þéttleika og dreifingu loðnulirfa

í kringum Ísland árin 2017–2020; ii) meta áhrif sjávarhita og magns blaðgrænu a á þéttleika og dreifingu lirfa; iii) og leggja mat á breytileika í stærðarsamsetningu og fjölda loðnulirfa umhverfis Ísland.

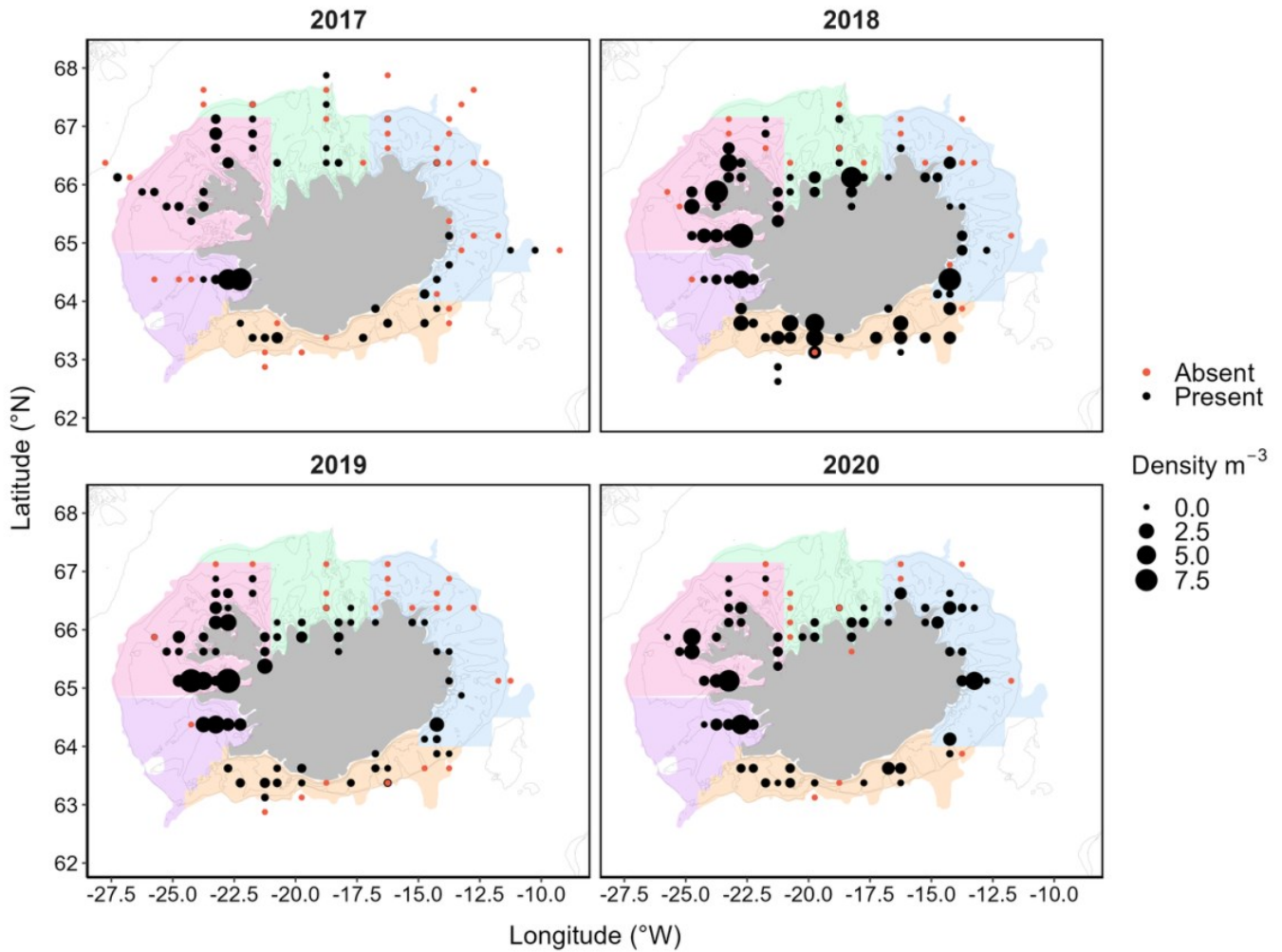
EFNI OG AÐFERÐIR

Loðnulirfum var safnað í maí árin 2017–2020 bæði á föstum hafrræðistöðvum og á fyrirfram ákveðnum stöðvum þegar tækifæri gafst í leiðöngrum Hafrannsóknastofnunar á landgrunninu allt umhverfis Ísland (1. tafla). Lirfunum var safnað með Gulf 7 háf yfir dýpisbilið frá yfirborði niður á 60 m með flæðismæli áfastan nálægt opi háfsins til að áætla hve mikill sjór var síaður. Þéttleiki lirfa var metinn sem fjöldi lirfa á hverri stöð deilt með síuðu rúmmáli sjávar (m^{-3}).

Hiti og selta voru mæld eftir dýpi (CTD) á öllum stöðvum og sjósýni tekin til að mæla blaðgrænu a (Chl-a) í yfirborði og á 10, 20, 30 og 50 m dýpi. Ákvarðaður var meðalhiti frá yfirborði niður á 60 m dýpi, og meðaltal blaðgrænu á öllum dýpum fyrir hverja stöð. Lirfudreifing var skoðuð eftir 5 svæðum, svokölluðum Bormicon svæðum, en Bormicon er líkan sem var sett fram til að lýsa fjölstofnatengslum á Íslandsmiðum (Stefánsson og Pálsson, 1997). Alhæft viðbætið aðhvarfslíkan (GAM, R pakkinn mgcv; Wood 2011) var notað til að meta áhrif umhverfisþátta á staðnum (hitastig og blaðgræna a) á þéttleika loðnulirfa ár hvert. Blaðgræna a var notuð sem ígildi fæðuframboðs þar sem lirfunum var safnað. Ári var bætt við sem skýribreytu svo hægt væri að meta niðurstöðurnar eftir árum.

1. tafla. Fjöldi GULF 7 háfastöðva eftir árum og svæðum.

Ár/Svæði	Suðvestur	Norðvestur	Norður	Austur	Suður
2017	7	22	17	32	19
2018	6	31	23	26	26
2019	5	34	20	25	21
2020	5	24	21	23	17



1. mynd. Viðvera ('presence') og þéttleiki loðnulirfa. Stöðvar án loðnulirfa ('absent') eru sýndar sem rauðir hringir og stærð hringa er í hlutfalli við þéttleika. Bormicon svæðin eru einnig sýnd (suðvestur (fjólublátt), norðvestur (bleikt), norður (grænt), austur (blátt) og suður (appelsínugult)), en stöðvar utan afmarkaðra svæða voru teknar með næsta Bormicon svæði.

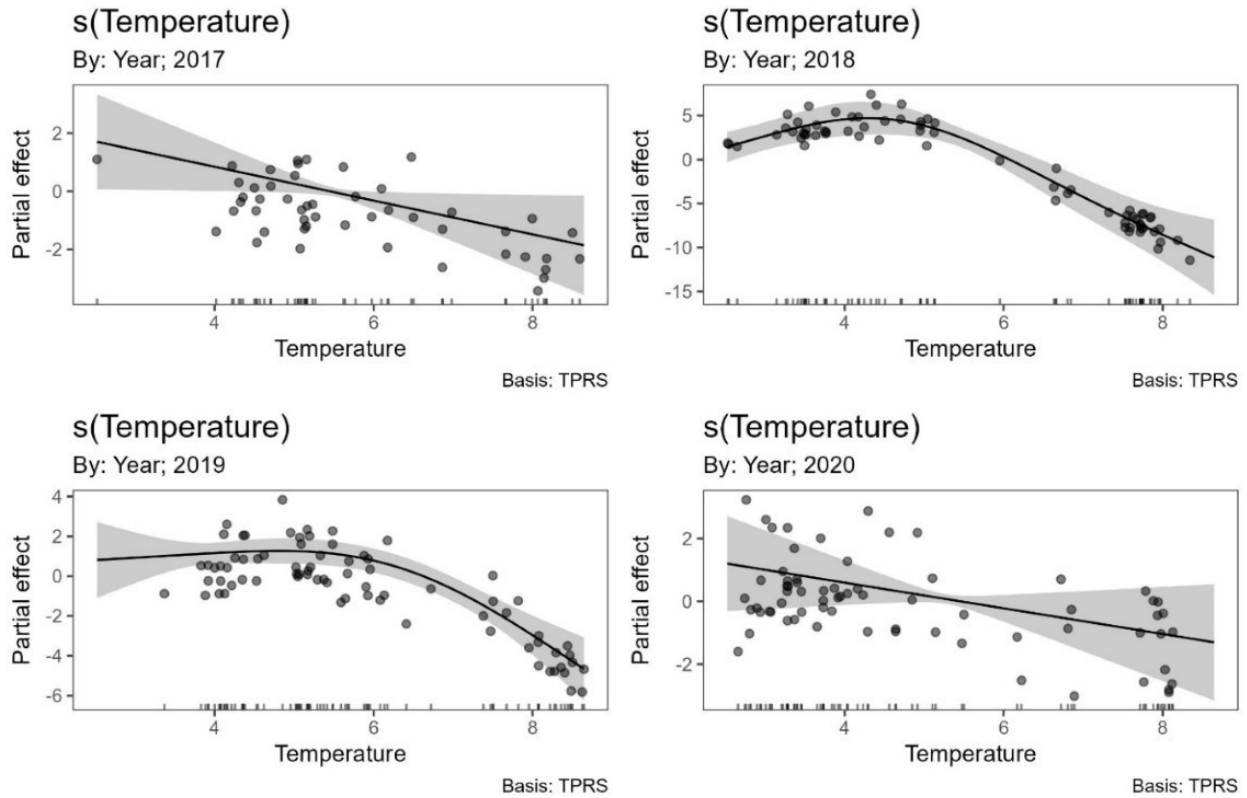
NIÐURSTÖÐUR

Þéttleiki lirfa og dreifing þeirra var breytileg eftir árum. Þéttleikinn var hæstur árið 2018 (meðaltal = $1.08 \pm$ staðalfrávik = 1.80 m^{-3}), en því næst árið 2019 ($0.79 \pm 1.68 \text{ m}^{-3}$), 2020 ($0.68 \pm 1.28 \text{ m}^{-3}$), og 2017 ($0.45 \pm 1.42 \text{ m}^{-3}$) þegar aðeins stöðvar með loðnulirfum eru teknar með. Einnig var þéttleikamunur á milli svæða innan ára ($p < 0.05$). Hæsti meðallirfupéttleiki var á suðvestursvæði árið 2017 ($3.65 \pm 1.28 \text{ m}^{-3}$), suðursvæði 2018 ($1.28 \pm 1.33 \text{ m}^{-3}$), og aftur á suðvestursvæði 2019 ($2.39 \pm 1.42 \text{ m}^{-3}$) og 2020 ($1.64 \pm 2.22 \text{ m}^{-3}$) (1. mynd).

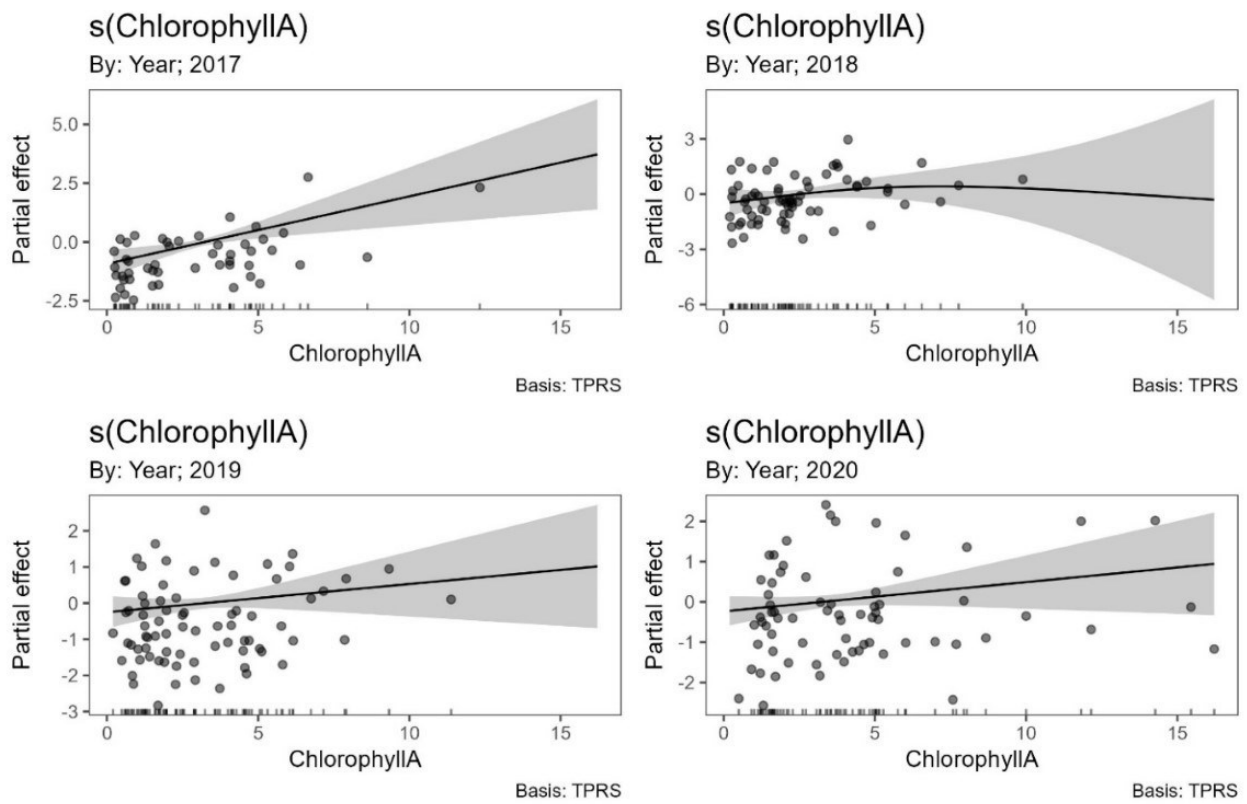
GAM líkanið skýrði 52.5% breytileika í lirfupéttleika. Lirfupéttleiki lækkaði öll árin, fyrir utan 2020 ($p=0.145$), þar sem hitastig sjávar var herra en 5–6 °C og hækkaði marktækt með magni blaðgrænu á árið 2017 en ekki árin 2018-2020 ($p>0.05$) (2. mynd).

Lengd loðnulirfa spannaði 4–62 mm og litlar lirfur (< 20 mm) voru í meirihluta í flestum sýna (82%). Stærri lirfur (> 20 mm) voru algengari í sýnum sem var safnað á norður- og austursvæði, og að auki fáeinir austan lands (3. mynd). Fjöldi smárra lirfa (< 10 mm) og nýklakinna voru í sýnum sem safnað var austan lands.

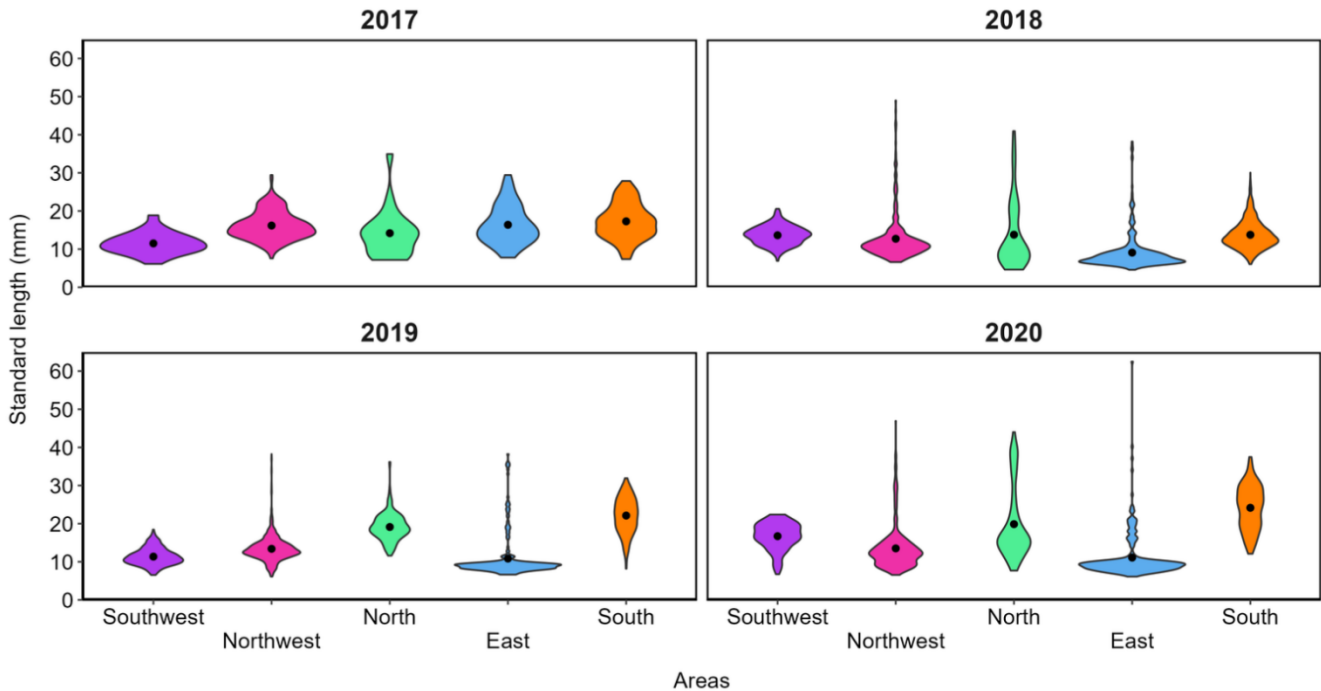
A



B



2. mynd. Áhrif hitastigs (a) og magns blaðgrænu a (b) þéttleika loðnulirfa eftir árum.



3. mynd. Lengdardreifingar loðnúlirfa eftir svæðum sem lituð 'fiðlurit' (sem eru blendingar kassarits og þéttiferils) fyrir ári 2017, 2018, 2019 og 2020. Meðaltöl eru sýnd sem svartir punktar.

UMRÆÐUR OG ÁLYKTANIR

Rannsókn okkar lýsti breytileika í þéttleika loðnúlirfa á milli ára í maí árin 2017–2020. Ennfremur sýndi hún að suður og suðvestur hlutar íslenska landgrunnsins eru enn meginhrygningarstöðvar loðnu (Vilhjálmsson 2002). Við fundum nýklaktar lirfur á öllum svæðum, mest á suðursvæði. Það sýnir aftur að loðna hrygnir á öllu íslenska landgrunninu en nefnt hefur verið að lirfur sem klekjast norðan og austan við land séu mögulega ekki mikilvægar loðnustofnum (Gunnarsson & Þórisson 2012 og þar í vitnað).

Neikvæð fylgni á milli loðnuþéttleika og hitastigs bendir til að hærri sjávarhiti en 6 °C sé óákjósanlegur, en komi þó ekki veg fyrir að loðnúlirfur geti þrífist. Það er hinsvegar ekki hægt að fullrýða hvort hærra hitastig hafi neikvæð áhrif á afkomu lirfana og þannig bein áhrif á þéttleikann, eða hvort loðna kjósi fremur að hrygna þar sem hitastig er lægra og lirfuþéttleiki í kjölfarið því lægri vegna umfangsminni hrygningar á nálægum hrygningarstöðvum.

Nýlegar rekhermanir (Jansen og fl. 2021) sýndu að hrygningartími (og þar af leiðandi klaktími) og hrygningarstaðsetning skipti miklu um rekleiðir eftir klak. Lirfur, upprunnar úr hrygningu á vestur- og norðvestursvæði, rak vestur á meðan lirfur af norðlægum hrygningarstöðvum rak austur á bóginn. Dýpi lirfa í vatnssúlunni hafði einnig áhrif á rek þannig að lirfur nálægt yfirborði höfðu meiri tilhneigingu til að reka vestur samanborið við lirfur neðar í blandaða yfirborðslaginu.

Val á hrygningarstöð er afdrifarikt. Fullorðin loðna verður að finna hentuga hrygningarstöð til að hámarka líkur á að afsprengið komist af. Hrygningarganga umhverfis Ísland er þó kostnaðarsöm þannig að hver loðna getur aðeins gengið jafn

langt og orkuforði leyfir (McBride og fl. 2015). Hætta á því að verða ræningjum að bráð skiptir líka máli, því lengri hrygningarganga, því meiri hætta á að verða étin. Þar sem loðna er torfufiskur getur atferli annara fiska líka skipt máli um það hvenær og hvar hrygning á sér stað. Þannig er val á hrygningarstöð háð fjölmörgum innri og ytri þáttum.

Heilt yfir fundust nýklaktar lirfur (< 10 mm) á öllum svæðum á landgrunninu þar sem söfnun fór fram sem bendir til að loðna hrygni allt í kring um Ísland. Staðsetning hrygningarstöðva getur að hluta til endurspeglað orkuforða hrygningarloðnunnar en ráðandi umhverfisskilyrði hafa líklega einnig áhrif. Þau skilyrði sem lirfur ganga í gegnum að klaki yfirstöðnu hljóta að hafa áhrif á afkomu þeirra.

HEIMILDIR

Carscadden, J.E., Gjøsæter, H. & Vilhjálmsson, H. (2013). Recruitment in the Barents Sea, Icelandic, and eastern Newfoundland/Labrador capelin (*Mallotus villosus*) stocks. *Progress in Oceanography*, 114, 84-96.

Endo, C.A.K., Vikebø, F., Yaragina, N.A., Hjøllø, S.S. & Stige, L.C. (2021). Effects of climate and spawning stock structure on the spatial distribution of Northeast Arctic cod larvae. *ICES Journal of Marine Science*, 78(2), 666-679.

Gabellini, A.P., Mariani, P. & Christensen, A. (2023). Population connectivity and dynamics in early-life stages of Atlantic fish communities. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1141726.

Gjøsæter, H., Hallfredsson, E.H., Mikkelsen, N., Bogstad, B. & Pedersen, T. (2015). Predation on early life stages is decisive for year-class strength in the Barents Sea capelin

(*Mallotus villosus*) stock. *ICES Journal of Marine Science*, 73(2), 182-195.

Gunnarsson, B. & Þórisson, K. (2012). *Uppruni og rek loðnulirfa*. In: Vistkerfi Íslandshafs – The Iceland Sea Ecosystem Project. Hafrannsóknir nr. 164. Pp. 103 – 118.

ICES (2023). *Northwestern Working Group (NWWG)*. ICES Scientific Reports. Report.
<https://doi.org/10.17895/ices.pub.23267153.v2>.

Jansen, T., Hansen, F.T. & Bardarson, B. (2021). Larval drift dynamics, thermal conditions and the shift in juvenile capelin distribution and recruitment success around Iceland and East Greenland. *Fisheries Research*, 236, 105845.

Jónsson, S. & Ólafsdóttir, S. (2021). Umhverfisbreytingar í hafinu við Ísland. Í Guðmundur J. Óskarsson (ritstj.), Staða umhverfis og vistkerfa í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2021-14

McBride, R. S., Somarakis, S., Fitzhugh, G.R., Albert, A., Yaragina, N.A., Wuenschel, M.J., Alonso-Fernández, A. & Basilone, G. (2015). Energy acquisition and allocation to egg production in relation to fish reproductive strategies. *Fish and Fisheries*, 16, 23-57.

Silve, V. Cabral, H., Huret, M. & Drouineau, H. (2023). Sensitivity to life-history parameters in larval fish drift modelling predictions for contrasting climatic conditions. *Progress in Oceanography*, 217, 103102.

Stefánsson, G. & Pálsson, O.K. (1997). *Bormicon – A boreal migration and consumption model*. Marine Research Institute Report 58, 223 p.

Vilhjálmsson, H. (2002). Capelin (*Mallotus villosus*) in the Iceland-east Greenland-Jan Mayen ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, 59, 870-883.

Wood, S.N. (2011). Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)*, 73(1), 3-36.

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

dos Santos Schmidt, T.C. & Kennedy, J. (2023). Umhverfisáhrif á dreifingu loðnulirfa (*Mallotus villosus*). Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.P. Jónsson og G.J. Óskarsson, *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 21-25)

5. Loðnurannsóknir í tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunar í Grindavík

Tómas Árnason*¹, Birkir Bárðarson², Agnar Steinarsson¹

¹Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Staður, 240 Grindavík.

²Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður

Ágrip

Vorið 2021 fór af stað tilraun á eldi loðnu í tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunar í Grindavík. Markmiðið var að rannsaka hvort mögulegt væri að ala loðnulirfur í eldisstöð og framleiða seiði fyrir grunnrannsóknir á líf- og vistfræði loðnu. Eldisaðferðin, sem byggði á aðferðum í þorskeldi reyndist vel, þar sem okkur tókst að ala loðnu og fylgjast með vexti hennar frá klaki að fullorðinsstærð. Í gegnum allan eldisferilinn hafði loðnan ávallt nægan aðgang að fæðu og var alin við stöðugt hitastig (7°C). Við þessar aðstæður urðu fyrstu loðnurnar kynþroska eins árs. Eftir fyrsta árið hægði á vextinum og við lok tilraunar, tæpum tveimur árum frá klaki, var loðnan nálægt áætlaðri hámarkslengd (18.7 cm).

Lykilorð: loðna, eldi, klak, vaxtarhraði

*Fyrirspurnum skal beina til: tomas.arnason@hafogvatn.is

INNGANGUR

Tilraunir á fangaðri loðnu í kerjum og sjávartjörnum byrjuðu árið 1958, þegar rússneskum vísindamanni tókst að fá villtar loðnur til að hrygna í steiptum kerjum í Murmansk (Pozdnyakov, 1959). Síðan þá hafa rannsóknir farið fram á þáttum eins og hrygningarhegðun, fósturþroskun, vexti og fl. (t.d. Friðgeirsson 1976; Moksness 1982; Christiansen og fl., 2008).

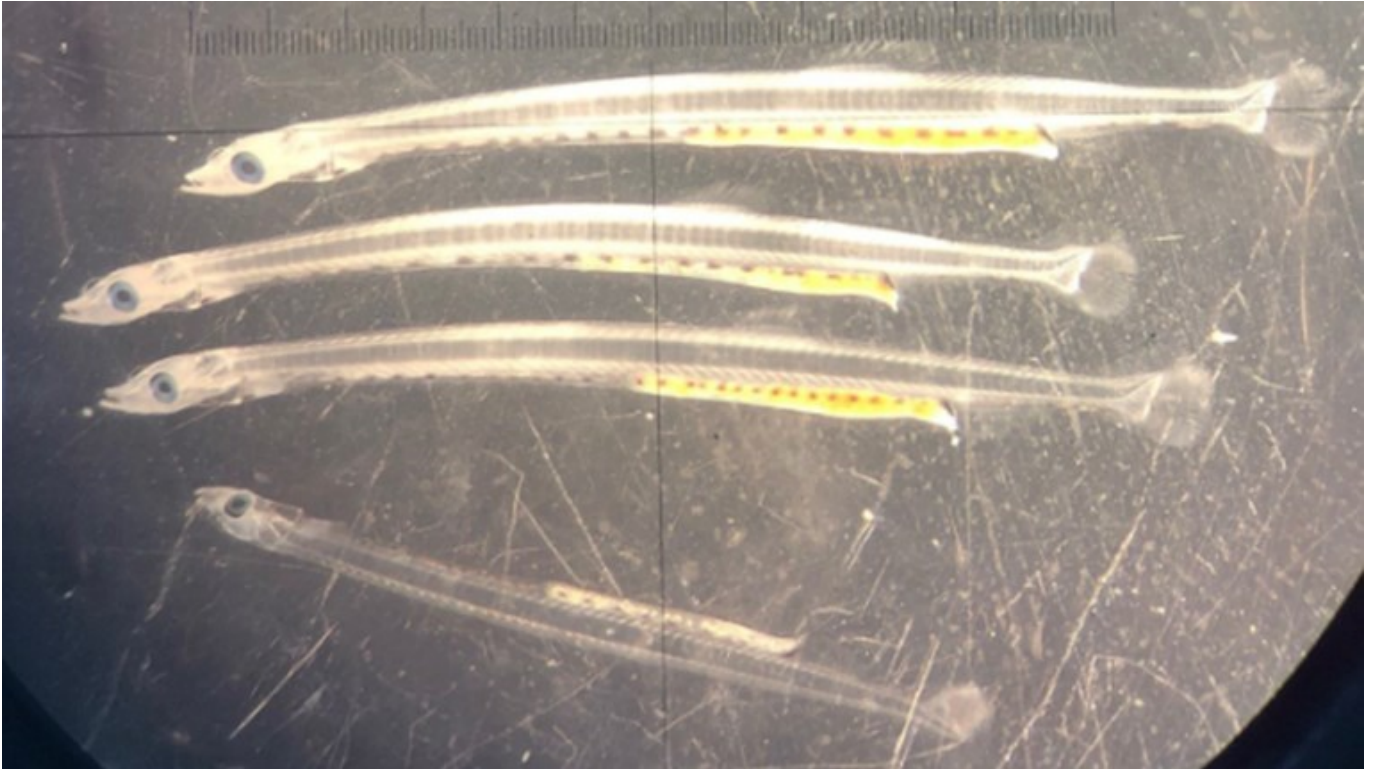
Fyrrgreindar rannsóknir hafa hins vegar einungis náð yfir afmörkuð tímabil í lífsferli loðnunnar. Þessi rannsókn greinir frá því hvernig starfsmönnum tilraunaeldisstöðvarinnar í Grindavík tókst að ala loðnu frá klaki að fullorðinsaldri í eldisumhverfi í fyrsta sinn á heimsvísu.

EFNI OG AÐFERÐIR

Tilraunin byrjaði 5. mars 2021 þegar nýkreistum sviljum og hrognum var blandað saman í fötur um borð í loðnuskipinu Víkingi AK 100. Í kjölfarið voru fötturnar fylltar upp með hreinum sjó og hrognin geymd í kæli um borð þar til skipið lagðist að bryggju við Akraneshöfn tveimur dögum seinna. Þaðan voru hrognin flutt í tilraunaeldisstöð

Hafrannsóknastofnunar í Grindavík þar sem þeim var dreift yfir botninn á einu 3000 l eldiskeri. Hrognin klöktust 30 dögum frá frjóvgun við ~7°C hita. Alls klöktust u.þ.b. 3000 – 5000 lirfur. Ræktun loðnulirfanna byggði á eldisaðferðum sem hafa verið þróaðar í eldisstöðinni til eldis á þorsk með góðum árangri. Á upphafsstigum eldisins voru lifandi hjóldýr (*Brachionus rotundiformis*, 85 – 150 µm) notuð sem fyrsta fæða. Þar sem loðnan er afar lítil og kjaftsmá við klak er lyklatríði að hefja fóðrunina með smáum hjóldýrum. Eftir því sem lirfurnar stækkuðu fengu þær stærri hjóldýr (*Brachionus plicatilis*, ~210 µm), svo artemíu (*Artemia salina*), og að lokum þurrfóður. Loðnan var alin við stöðugan hita (7°C) og hafði ávallt nægan aðgang að fæðu (ad libitum). Lirfurnar voru aldar við náttúrulega ljóslotu fram að degi 255, en frá þeim tímapunkti og til loka tilraunarinnar á degi 681 var loðnan alin við stöðuga birtu allan sólarhringinn..

Meðallengd eldisloðnu var ákvörðuð 34 sinnum frá klaki að degi 681 með mælingum á heildarlengd 5 til 35 handahófsvaldra fiska, nema á lokadeginum þegar allir fiskar voru mældir. Ákveðið var að lágmarka fjölda fiska í sýnatökum vegna þess hve viðkvæm loðnan er fyrir meðhöndlun.



1. mynd. Loðnulirfur 39 dögum frá klaki. Þrjár efstu loðnurnar eru um 21 mm og sú neðsta er 16 mm. Þær stærri éta artemíu á meðan sú litla ræður ekki við svo stóra bráð og étur eingöngu hjóldýr.

NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐUR

Fyrsta árið var vöxtur tilraunaloðnunnar 0.36 mm/dag (mynd 2A) sem er í samræmi við vöxt villtra loðnulirfa í íslensku náttúru (0.3 – 0.4 mm/dag, Ólafsdóttir og Andersson, 2010). Þar sem tilraunaloðnan var alin við stöðugt hitastig og fæðuframboð var vöxturinn, til lengri tíma litið, mun hraðari en í náttúrunni. Þegar loðnan hafði náð eins árs aldri tók að hægja á vextinum (mynd 2B). Á endanum var áætluð hámarksstærð tilraunaloðnunnar álíka og villtrar loðnu (mynd 2C).

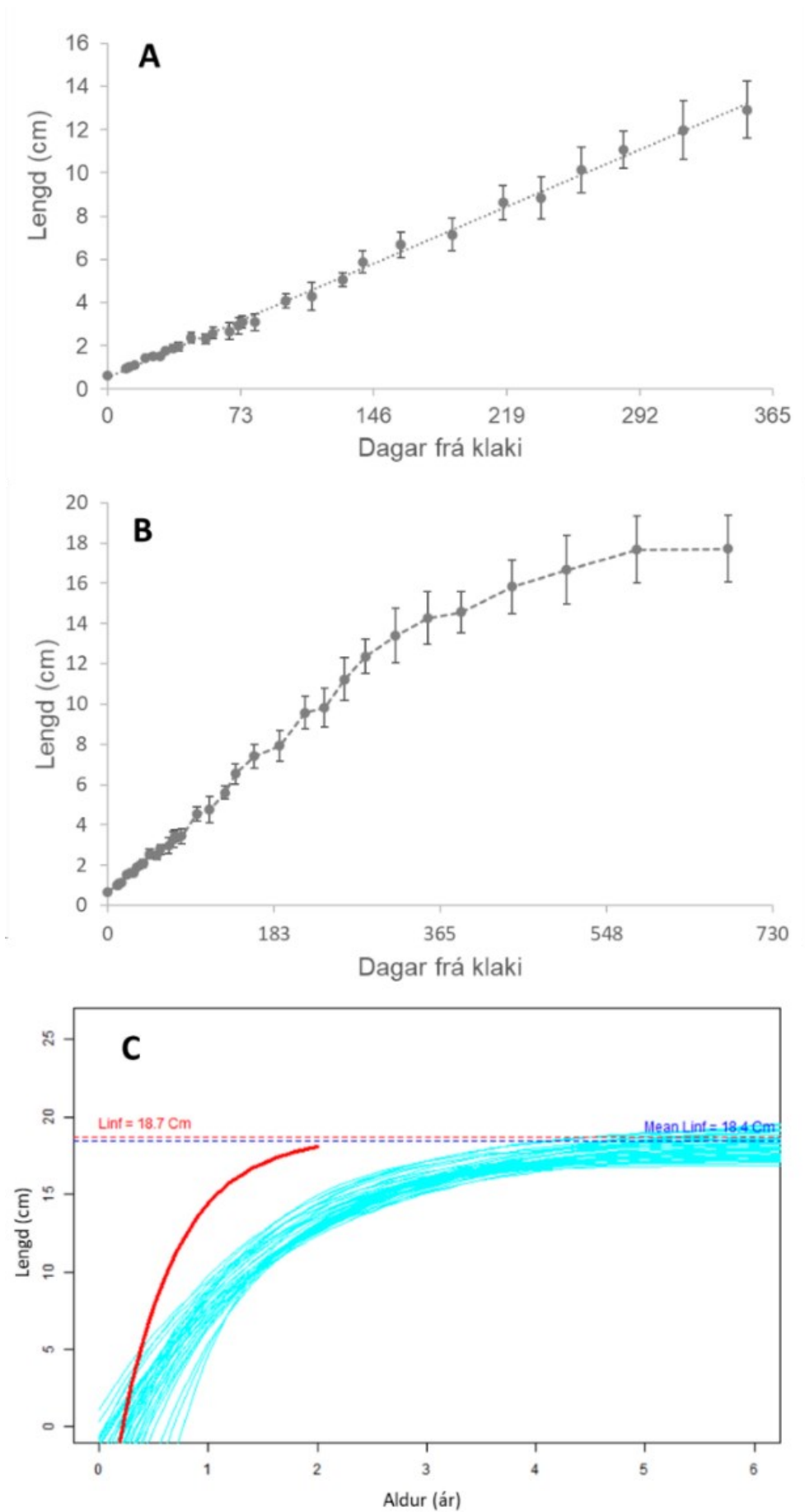
Hraður vöxtur tilraunaloðnunnar gerði það að verkum að fyrstu loðnurnar urðu kynþroska einungis einu ári frá klaki sem er 2 árum á undan villtri loðnu. Í maí 2022 tókst að loka lífshringnum hjá loðnunni þegar fyrsta kynslóð af tilraunaloðnulirfum klaktist úr hrognum sem safnað var úr eldisloðnu. Afföll voru skráð frá degi 255 til loka tilraunarinnar. Á þessu tímabili drápust í 62.4% af loðnunni. Megin ástæða affallanna mátti rekja til meðhöndlunar við mælingar og flutning milli kerja.

flutning milli kerja. Með því að hafa náð tókum á ræktun loðnu á öllum stigum lífsferilsins opnast möguleikar á rannsóknum á líf- og vistfræði þessarar mikilvægu tegundar.

Hraður vöxtur tilraunaloðnunnar gerði það að verkum að fyrstu loðnurnar urðu kynþroska einungis einu ári frá klaki sem er 2 árum á undan villtri loðnu. Í maí 2022 tókst að loka lífshringnum hjá loðnunni þegar fyrsta kynslóð af tilraunaloðnulirfum klaktist úr hrognum sem safnað var úr eldisloðnu.

Afföll voru skráð frá degi 255 til loka tilraunarinnar. Á þessu tímabili drápust í 62.4% af loðnunni. Megin ástæða affallanna mátti rekja til meðhöndlunar við mælingar og flutning milli kerja.

Með því að hafa náð tókum á ræktun loðnu á öllum stigum lífsferilsins opnast möguleikar á rannsóknum á líf- og vistfræði þessarar mikilvægu tegundar.



2. mynd. A) Meðallengd eldisloðnu (\pm staðalfrávik) fyrsta árið. B) Meðallengd í gegnum alla tilraunina. C) Vöxtur samkvæmt von Bertalanffy vaxtarlíkani. Bláar línur sýna vöxt árganga frá 1982 – 2019 í íslenska loðnustofninum samkvæmt gögnum Hafrannsóknastofnunar en rauð lína sýnir vaxtarferil loðnu í eldisrannsókninni.

HEIMILDIR

- Christiansen, J.S., Præbel, K., Siikavuopio, S.I., and Carscadden, J. 2008. Facultative semelparity in capelin *Mallotus villosus* (Osmeridae)-an experimental test of a life history phenomenon in a sub-arctic fish. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 360, 47 – 55.
- Friðgeirsson, E. 1976. Observations on spawning behaviour and embryonic development of the Icelandic capelin. *Rit Fiskideildar*, 4, 35 pp.
- Moksness, E. 1982. Food uptake, growth and survival of capelin larvae (*Mallotus villosus* Müller) in an outdoor constructed basin. *Fiskeridirektoratets Skrifter: Serie Havundersøkelser*, 17: 267 – 285.
- Ólafsdóttir, A.H., and Anderson, T. 2010. Growth and survival of Icelandic capelin *Mallotus villosus* larvae. *Marine Ecology Progress Series*, 403, 231 – 241.
- Pozdnyakov, Yu. F. 1959. Hrygning loðnu í kerjum. Izvestiya Karelskogo i Kolskogo Filialov an SSSR 3: 145 – 147 (á rússnesku).

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

- Árnason, T., Bárðarson, B. & Steinarsson, A. (2023). Loðnurannsóknir í tilraunaeldisstöð Hafrannsóknastofnunar. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.P. Jónsson og G.J. Óskarsson (ritst.), *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 26-29)

6. Lagrange-aðferð við rakningu á ögnum til greiningar á loðnuhrygningaratburðum

Kristinn Guðnason*¹, Thassya Christina dos Santos Schmidt¹, Tómas Árnason¹,
Sigurður Þór Jónsson¹, Birkir Bárðarson¹, Warsha Singh¹

¹Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúdir 5, 220 Hafnarfjörður

²Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Staður, 240 Grindavík.

Ágrip

Nýliðun uppsjávarstofna er meðal annars háð breytilegum sjávarstraumum þar sem lirfur rekur frá hrygningarstöðvum til hentugra uppeldisstöðva með misgóðum árangri. Frá fyrsta áratug þessarar aldar hefur dreifing á bæði unglöðnu og fullorðinni loðnu verið vestar en áður. Þetta er möguleg afleiðing af breytingum á rekleiðum lirfa og breytingu á staðsetningu hrygningar. Erfitt er að greina breytingar á hrygningarstaðsetningu því loðna hrygnir við botn og því erfitt að ákvarða hvort hrygningaratburður hafi átt sér stað. Í þessari rannsókn er kynnt afturrakningaraðferð til að greina virkar hrygningarstöðvar með notkun á háupplausnar-sjávarstraumslíkaninu VIKING20. Hrygningarstaður loðnulirfa sem safnað var árið 2018 var áætlaður með viðsnúnni Lagrange-agnarakningaraðferð þar sem aldurs-lengdar samband var notað til að meta staðsetningu klaks út frá reiknuðum rekferlum. Samband milli hitastigs og klaktíma var fengið út frá klaktíraunum á loðnu. Þá var hægt að reikna tíma hrygningar fyrir hermaðar lirfuagnir út frá botnhita áætlaðra klaksvæða.

Lykilorð: hrygning, rek, búsvæði, klak

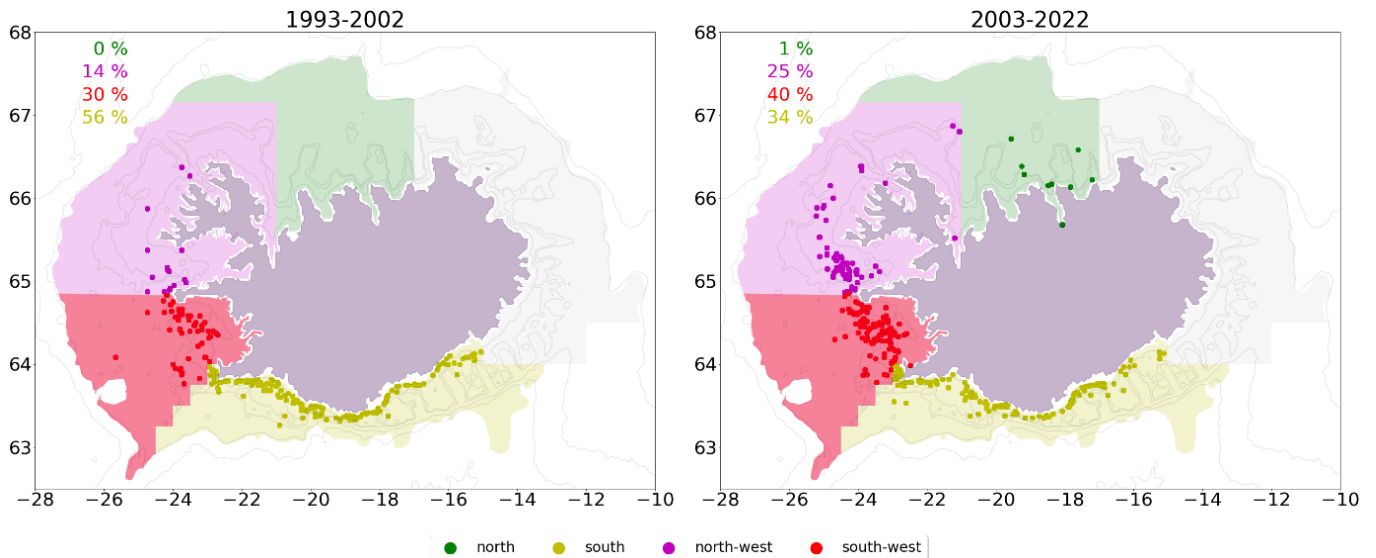
*Fyrirspurnum skal beina til: kristinn.gudnason@hafogvatn.is

INNGANGUR

Hrygningarsvæði Íslands-Austur-Grænlands-Jan Mayen (IEGJM) loðnu eru á grunnsævi, grynnra en 150 m, undan suður- og vesturströnd Íslands (Vilhjálmsson 2002) en einnig hefur verið vitað að einhver hrygning eigi sér stað norðanlands (Vilhjálmsson og Friðgeirsson, 1976). Við hrygningu festast egg við botnlag (Friðgeirsson 1976) og kviðpokaseiði þroskast í þeim í kjölfar frjóvgunar. Rannsókn sem gerð var á Nýfundnalandi sýnir að klaktími loðnu er mjög næmur fyrir hita (Pitt 1958) og var allt að 55 dagar við 0 °C og 15 dagar við 12°C. Í rannsókn á umhverfi hrygningarsvæða loðnu suður af Íslandi (Thors 1981) mældist botnhiti um 5--7 °C og dýpi, gerð botnlags og straumskilyrði töldust vera mikilvægir þættir við val á hrygningarstöðvum.

Því hefur lengi verið haldið fram að breytileiki á reki á fyrstu lífstigum fiska hafi áhrif á breytileika í nýliðun (Hjort, 1914). Á fyrsta áratug 21. aldar færðist landfræðileg útbreiðsla loðnustofnsins, bæði seiða og fullorðinnar loðnu, vestur frá Íslandshafi og landgrunnssvæðum norðvestur, norður og norðaustur af Íslandi að landgrunni Austur-Grænlands

(Vilhjálmsson, 2007; Carscadden og fl., 2013). Þetta var hugsanlega afleiðing af breytingum á rekleiðum (Carscadden og fl. 2013), sem stuðlaði að auknum tengslum á milli hrygningarsvæða og uppeldissvæða á landgrunni við Austur-Grænlandsland. Nýleg rannsókn sýnir að vesturtek þangað er háð því hvar hrygning átti sér stað við Ísland (Jansen og fl., 2021). Dreifing á hrygnandi loðnu, sem byggir á greiningum á kynþroskastigi loðnu úr aflasýnum, sýnir tilfærslu til vesturs á hrygningarsvæðinu sem átti sér stað snemma á fyrsta áratug þessarar aldar (1. mynd). Mest var af hrygnandi loðnu fyrir sunnan land fram til ársins 2003. Eftir 2003 dró úr hlutfalli hrygnandi fiska fyrir sunnan en það hlutfall jókst hins vegar vestan til. Einnig fannst eitthvað af hrygnandi loðnu fyrir norðan. Þetta bendir til breytinga á megin hrygningarsvæðum stofnsins með aukinni hrygningu fyrir vestan land. Markmið þessarar rannsóknar er að þróa aðferð til að greina hrygningaratburði loðnu. Það felur í sér að notast við sjávarstraumslíkan ásamt ýmsum líffræðilegum breytum til að rekja loðnulirfur aftur til hrygningarstöða þeirra og ákvarða hrygningardag.

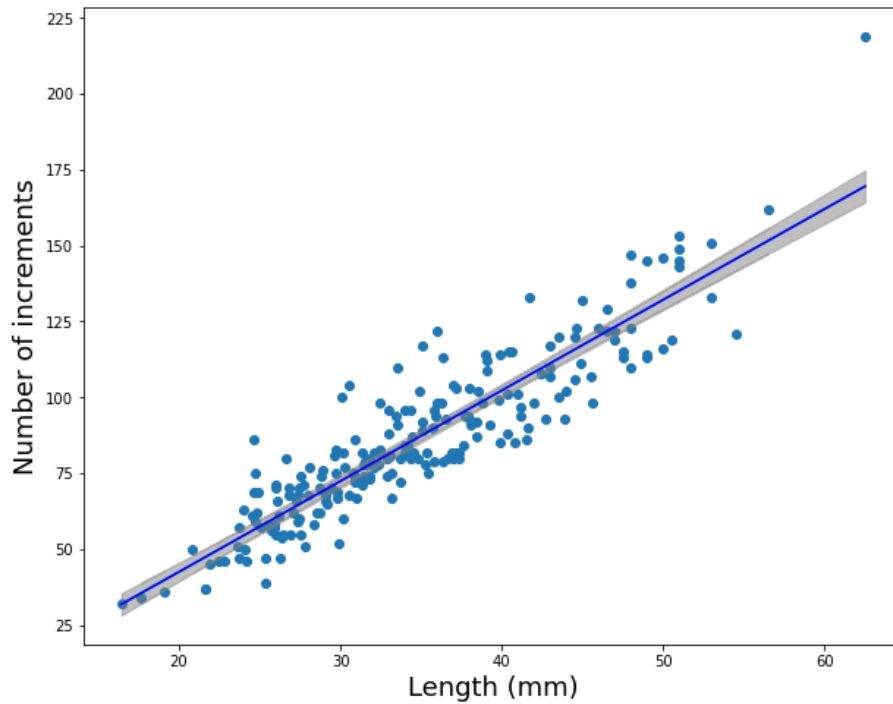


1. mynd. Afslýni með hrygnandi loðnu á mismunandi svæðum fyrir tímabil 1993-2002 vinstra megin, og 2003-2022 hægra megin. Hlutfall hrygnandi loðnu af heildarafla innan hvers tímabils er ofarlega vinstra megin á hvorri mynd.

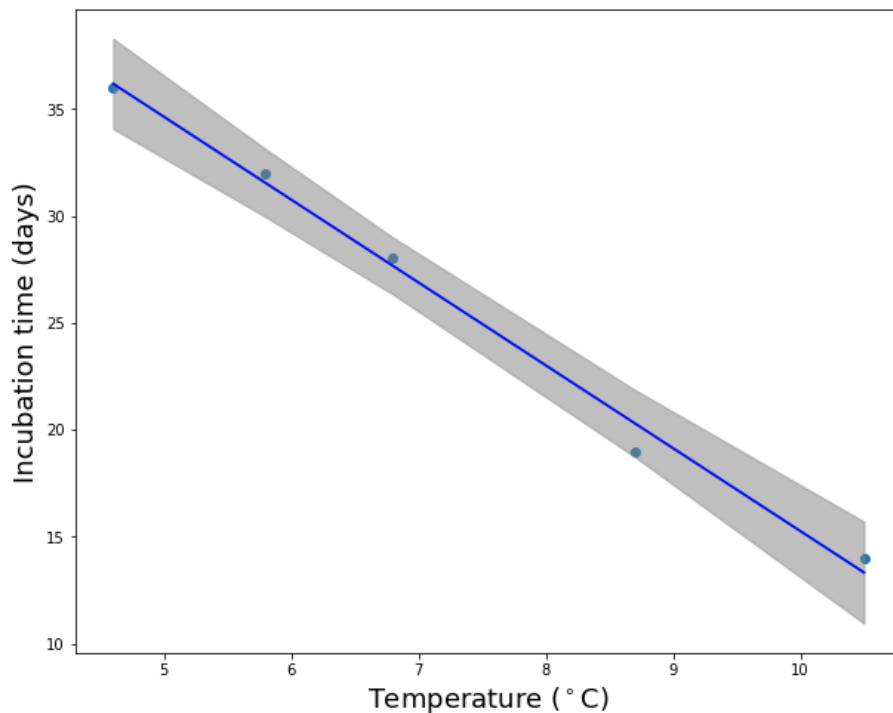
EFNI OG AÐFERÐIR

Til að ákvarða uppruna loðnulirfa, þ.e. hvar þær klöktust út, voru lirfur hermdar sem agnir með Lagrange-agnarakingaraðferð. Til þess var stuðst við PARCELS „Probably A Really Computationally Efficient Lagrangian Simulator“ (Delandmeter & Van Sebille, 2019). Hermanir notast við strauma úr sjávarstraumslíkanu VIKING20 (Böning og fl., 2016), sem er byggt á NEMO sjávarlíkaninu (Madec og fl., 2017). Aldur lirfuagna var áætlaður út frá lengd loðnulirfa til þess að hægt væri að innleiða aðferð til að rekja hermdar agnir til baka þar sem ferill agna er reiknaður afturábak þar til aldri 0 er náð til að spá fyrir um hvar klak átti sér stað. Klaktími hverrar agnar var síðan áætlaður með tilliti til staðbundins botnhita á spáðum klak- og hrygningarstöðum. Með áætluðum aldri og klaktíma var svo hægt að reikna tíma hrygningar.

Agnarakningarhermanir voru byggðar á loðnulirfum sem safnað var í leiðangri Hafrannsóknastofnunar í maí 2018 (Grein 4 í þessu riti). Notaðar voru stöðvar við norður- og vesturströndina þar sem mikið fannst af loðnulirfum (> 50 stk). Aldurs-lengdarsamband var byggt á gögnum um loðnulirfur sem safnað var 2001 og 2002 (Olafsdóttir og Anderson, 2010). Aðhvarfslína með öryggisbili (2. mynd) var fengið með því að nota gögn frá báðum árum. Samband hitastigs og klaktíma var ákvarðað með gögnum úr klakrannsókn sem gerð var í aðstöðu Hafrannsóknastofnunar í Grindavík (3. mynd; Grein 5 í þessu riti). Með ákvörðun á botnhita nálægt tilgreindum klakstöðum og sambandinu milli hitastigs og klaktíma var því hægt að áætla tíma milli hrygningar og klaks.



2. mynd. Aðhvarfslína aldurs og lengdar með 95% öryggisbili fyrir loðnusýni frá 2001 og 2002 (Ólafsdóttir og Anderson, 2010). Fjöldi dægurbauga vísar í aldurslestur á kvörnum lirfa.

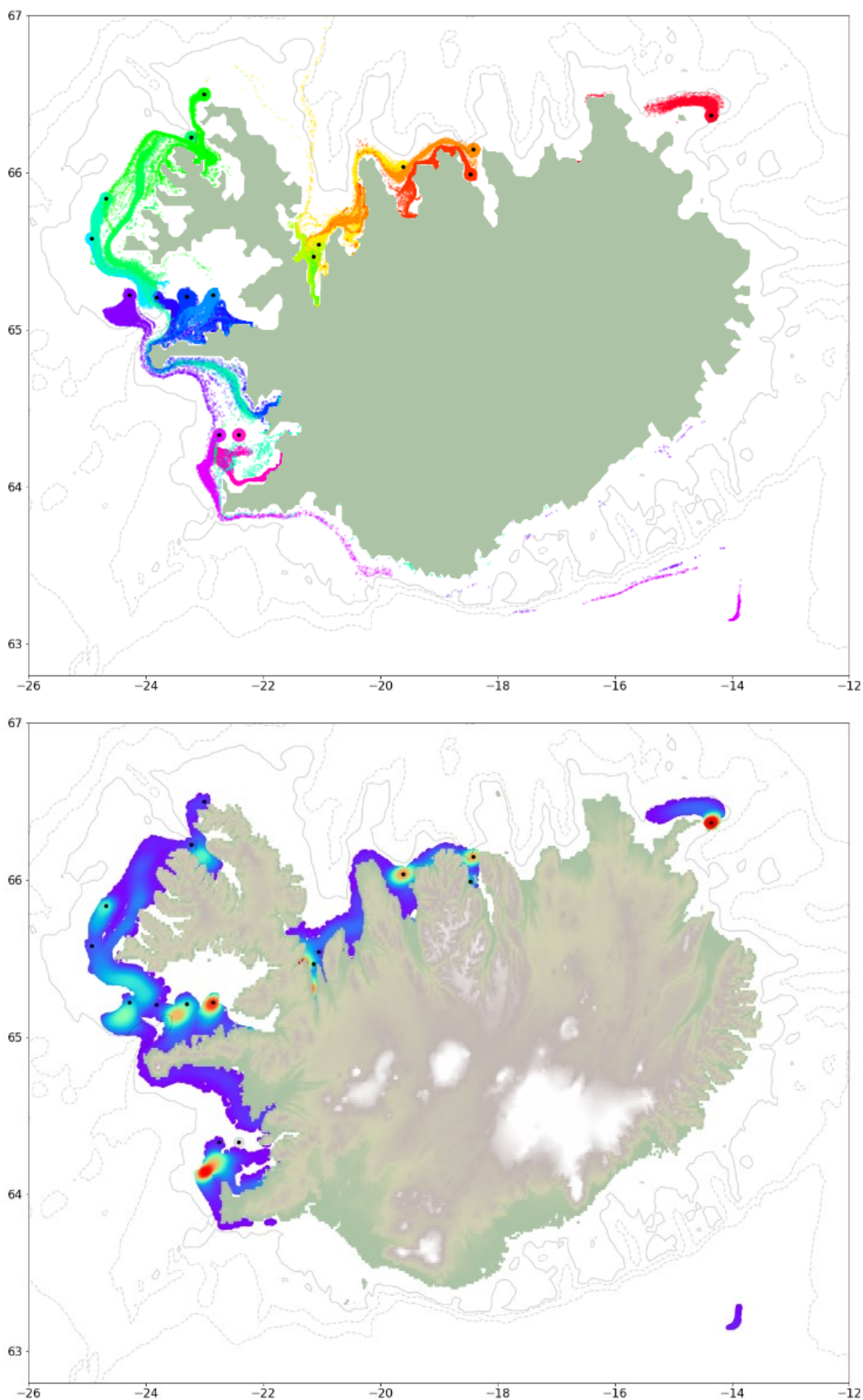


3. mynd. Línulegt hitastigs-klaktímasamband með 95% öryggisbili. Gögn frá klaktíraunum í Grindavík (sjá Grein 5 í þessu riti).

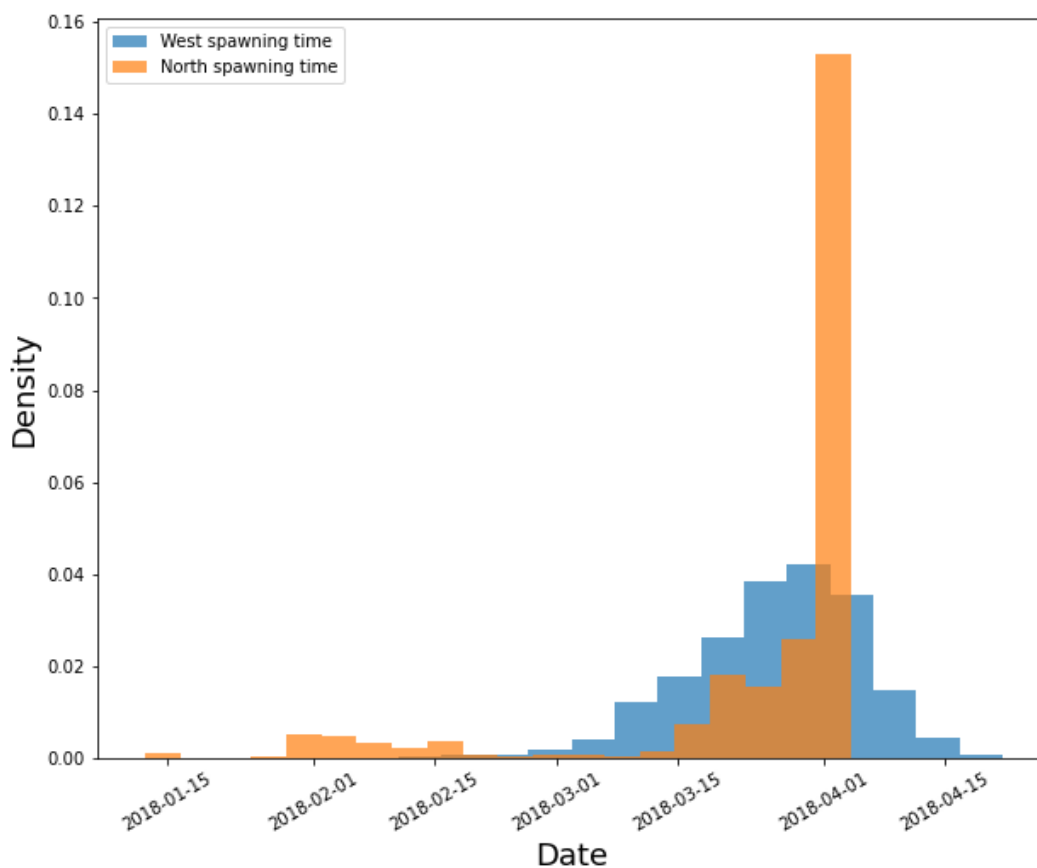
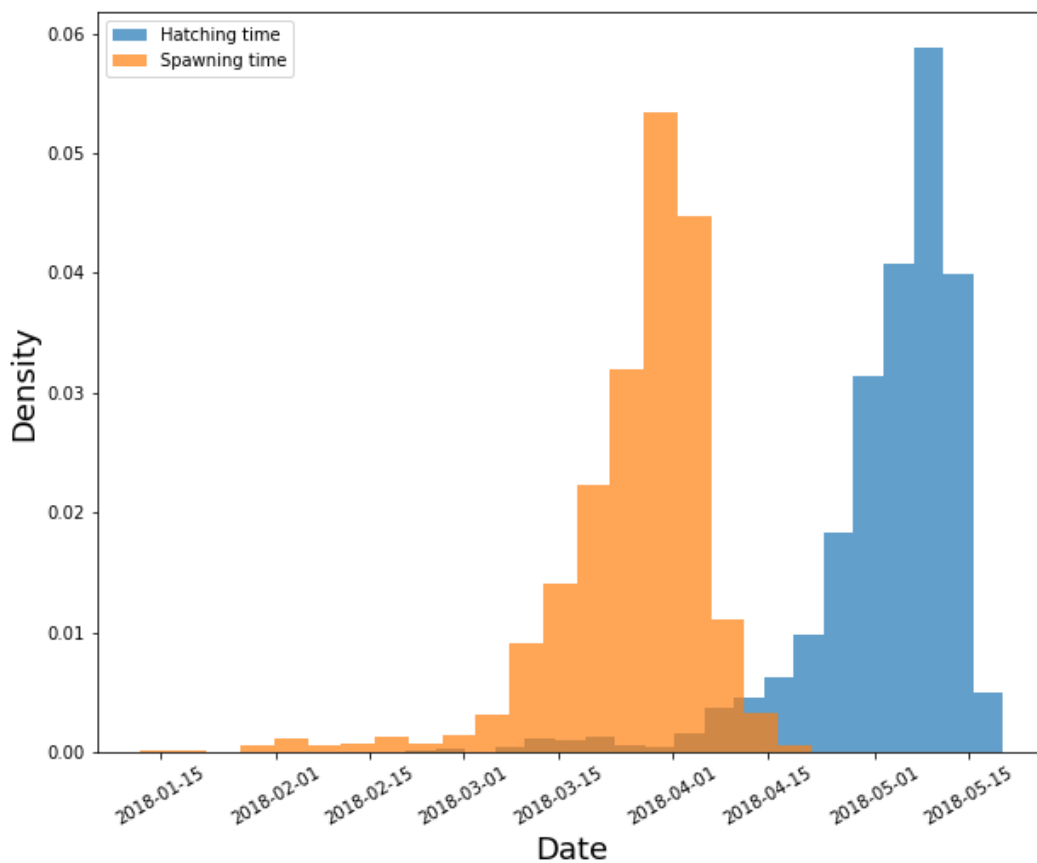
NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöður afturakningarhermana, fyrir loðnulirfur sem safnað var á norður- og vestursvæðum í maí 2018, eru sýndar á 4. mynd. Þar koma fram áætluð hrygningar/klaksvæði lirfa, bæði frá stökum stöðvum (efri mynd) og sem heildarþéttleiki (neðri mynd), sem gefur til kynna líkindi hrygningar- og klakatburða.

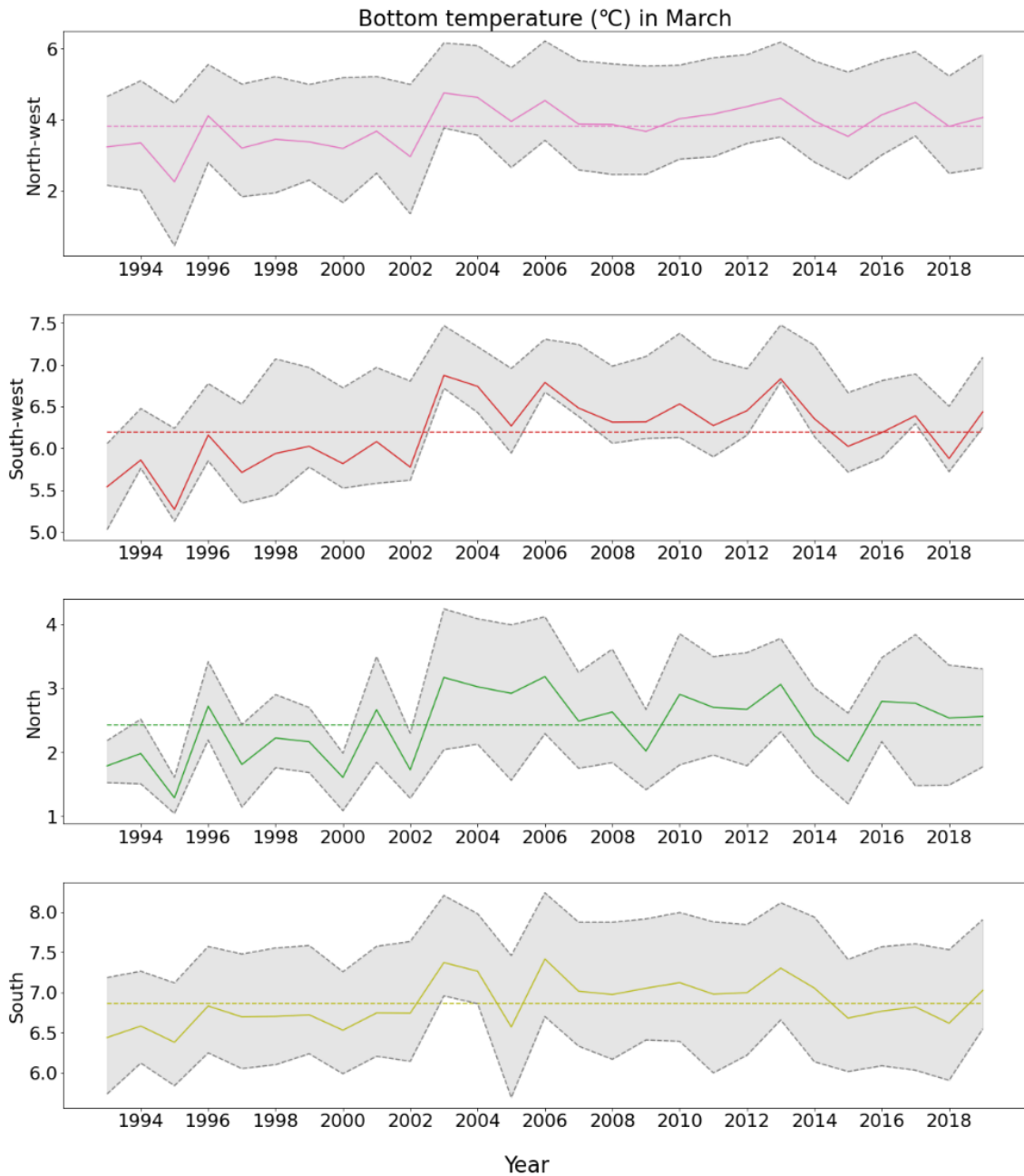
Um 5% lirfanna klöktust út innan við 1 sólarhring frá því að sýni voru tekin samkvæmt matinu. Meira en 99% metna klak- og hrygningarstaða falla innan 150 metra dýptarlínu. Dreifing áætlaðans klak- og hrygningartíma er sýnd á 5. mynd. Niðurstöður benda til þess að hrygning hafi að mestu átt sér stað seinni hluta mars. Merkja má hækkun á botnhita frá VIKING20 eftir 2003 (6. mynd).



4. mynd. Rakningarniðurstöður á loðnulirfum sem safnað var fyrir norðan og vestan Ísland í maí 2018. Söfnunarstöðvar eru sýndar sem svartir punktar. Efri mynd: Áætlaður upphafsstaður hversrar agnar í mismunandi lit eftir sýnatökustað. Neðri mynd: Þéttleiki áætlaðra upphafsstaða, sem gefur til kynna dreifingu hrygningar- og klakatburða. Rautt þýðir hár þéttleiki og blár lágur.



5. mynd. Efri mynd: Tíðnidreifing (lóðréttur ás) áætlaðs klaks og hrygningar eftir tíma árs (láréttur ás). Neðri mynd: Dreifing hrygningar á norð- og vestlægum hrygningarsvæðum í tíma.



6. mynd. Meðalhiti við botn á íslenska landgrunninu í mars árin 1993-2019 samkvæmt VIKING20 fyrir mismunandi svæði (norðvestur, suðvestur, norður og suður) sýndur með lituðum ferli ásamt gráu öryggisbili [20%, 80%]. Brotin lárétt lína sýnir meðalhita alls tímabilsins. Athugið mismunandi hitastigsbil á y-ásnum.

UMRÆÐUR OG ÁLYKTANIR

Það er flókið að kortleggja hrygningarburði loðnustofnsins en afturrakningaraðferðin sem hér er kynnt áætla hrygningarstað og -tíma út frá staðsetningu og aldri veiddra loðnulirfa. Hermanir rekleiða loðnulirfa í maí 2018 á landgrunninu sýna líklega dreifingu hrygningarburða sem áttu sér stað á landgrunninu norðan og vestan við land. Tilfærsla á veiðum á loðnu sem komin var að hrygningu eftir 2003 (1. mynd) fer saman við aukinn botnhita (6. mynd). Hitaskilyrði hrygningar norðvestan við land urðu hagstæðari en áður ef gert er ráð fyrir að hitastig nálægt 5 - 7°C (Thors, 1981) henti betur. Aftur á móti fór meðalbotnhiti fyrir sunnan land yfir 7°C í nokkur ár eftir 2003, á svæði þar sem veiðar á hrygnandi loðnu virðast hafa dregist saman. Búast mætti við að slík tilfærsla myndi leiða til breytinga á tengingum milli

hrygningar- og uppeldisstöðva þar sem rekmynstur er mjög næmt fyrir hrygningarstað (Jansen og fl., 2021). Aukin hrygning fyrir vestan og norðan land sem átti sér stað á fyrsta áratug 21. aldar hefur því haft áhrif á rekleiðir loðnulirfa sem og möguleika þeirra á að komast af.

ÞAKKIR

Þessi grein hefur hlotið fjárhagsstuðning frá Horizon 2020 rannsóknar- og nýsköpunaráætlun Evrópusambandsins samkvæmt styrksamningi nr. 818123 (iAtlantic). Við viljum þakka Önnu H. Ólafsdóttir fyrir lirfu gögn sem voru notuð til að ákvarða aldurs-lengdar sambandið. Við viljum einnig þakka Kristin Burmeister og GEOMAR fyrir umhverfislíkanagögn.

HEIMILDASKRÁ

Böning, C. W., Behrens, E., Biastoch, A., Getzlaff, K., & Bamber, J. L. (2016). Emerging impact of Greenland meltwater on deepwater formation in the North Atlantic Ocean. *Nature Geoscience*, 9(7), 523-527.

Delandmeter, P., & Van Sebille, E. (2019). The Parcels v2. 0 Lagrangian framework: new field interpolation schemes. *Geoscientific Model Development*, 12(8), 3571-3584.

Friðgeirsson, E. (1976). *Observations on spawning behaviour and embryonic development of the Icelandic capelin*. Hafrannsóknastofnunin.

Hjort, J. (1914). Fluctuations in the great fisheries of northern Europe viewed in the light of biological research. ICES.

Jansen, T., Hansen, F. T., & Bardarson, B. (2021). Larval drift dynamics, thermal conditions and the shift in juvenile capelin distribution and recruitment success around Iceland and east Greenland. *Fisheries Research*, 236, 105845.

Madec, G., Bourdallé-Badie, R., Bouttier, P. A., Bricaud, C., Bruciaferri, D., Calvert, D., ... & Vancoppenolle, M. (2017). NEMO ocean engine.

Ólafsdóttir, A. H., & Anderson, J. T. (2010). Growth and survival of Icelandic capelin *Mallotus villosus* larvae. *Marine Ecology Progress Series*, 403, 231-241.

Petitgas, P., Rijnsdorp, A. D., Dickey-Collas, M., Engelhard, G. H., Peck, M. A., Pinnegar, J. K., Drinkwater, K., Huret, M., Nash, R. D. (2013). Impacts of climate change on the complex life cycles of fish. *Fisheries Oceanography*, 22(2), 121-139.

Pitt, T. K. (1958). Distribution, spawning and racial studies of the capelin, *Mallotus villosus* (Müller), in the offshore Newfoundland area. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 15(3), 275-293.

Thors, K. (1981). Environmental features of the capelin spawning grounds south of Iceland. *Rit Fiskideildar*, 6(1), 7-13.

Vilhjálmsón, H. (2002). Capelin (*Mallotus villosus*) in the Iceland–East Greenland–Jan Mayen ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, 59(5), 870-883.

Vilhjálmsón, H. (2007). Impact of changes in natural conditions on ocean resources. In *Law, Science & Ocean Management*, 11, 225-269. Brill Nijhoff. doi: 10.1163/ej.9789004162556.i-0.59

Vilhjálmsón, H., & Friðgeirsson, E. (1976). *A review of O-group surveys in the Iceland-East Greenland area in the years 1970-1975*. ICES Cooperative Research Reports (CRR).

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

Guðnason, K., dos Santos Schmidt, T.C., Árnason T., Jónsson, S. Þ., Bárðarson, B. & Singh, W., (2023). Lagrange-aðferð við rakningu á ögnum til greiningar á loðnuhrygningaratburðum. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.Þ. Jónsson og G.J. Óskarsson (ritst.), *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 30-36)

7. Fæða loðnu á nýrri fæðuslóð

Hildur Pétursdóttir*, Teresa Silva, Sigurður Þ. Jónsson, Warsha Singh og Birkir Bárðarson

Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður

Ágrip

Frá byrjun 21. aldar hefur útbreiðsla loðnu (*Mallotus villosus*) á öllum aldri breyst. Uppeldis- og fæðuslóðir loðnunnar hafa færst úr Íslandshafi og norður af Íslandi að Austur-Grænlandi. Því er mjög áhugavert að bera saman fæðu loðnunnar á nýrri og eldri fæðuslóðum. Fæða loðnu var rannsökuð við Austur-Grænland að hausti til (september-október) árin 2018-2021 og norður af Íslandi að vetri til (janúar-febrúar) 2018 og 2019. Loðnan var að éta á þessum árstímum þar sem fæða var í 77-99% maga að hausti og í 60-64% maga að vetri. Dýrasvifshóparnir krabbaflær (copepods) og ljósátur (euphausiids) reyndust uppistaða fæðu að hausti sem endurspegladi samsetningu dýrasvifs á svæðinu. Mikilvægi þessara fæðuhópa var mismunandi milli ára. Árið 2018 reyndust bæði krabbaflær og ljósátur mikilvægir fæðuhópar, ljósátur voru mest áberandi 2020 og krabbaflær 2021. Þessar niðurstöður sýna það að loðnan er tækifærissinni þegar kemur að fæðu og étur það sem er á hverju svæði á hverjum tíma. Hlutfall stærri bráðar eykst með stærð loðnunnar. Krabbaflær reyndust mikilvægari í fæðu hjá minni loðnu en ljósátur (sem eru stærri en krabbaflær) voru mikilvægari hjá stærri loðnu. Stöðugar samsætur köfnunarefnis, $\delta^{15}\text{N}$, veita mikilvægar upplýsingar um fæðusögu, það er fæðunám yfir lengri tíma. Hærri gildi á $\delta^{15}\text{N}$ (þ.e. herra fæðuprep) hjá stærri loðnu bendir til þess að hlutfall stærri bráðar aukist. Mikill þéttleiki loðnu árin 2020 og 2021 gæti hafa valdið auknu afráni á dýrasvifi á svæðinu sem gæti skýrt minni fæðu á þessum árum. Þessar niðurstöður gefa mikilvægar upplýsingar um fæðutengsl lífvera og munu nýtast í vistkerfislíkön í framtíðinni.

Lykilorð: loðna, fæða, fæðutengsl, magainnihald, stöðugar samsætur

*Fyrirspurnum skal beina til: hildur.petursdottir@hafogvatn.is

INNGANGUR

Loðnan (*Mallotus villosus*) leikur stórt hlutverk í samspili lífvera í vistkerfi sjávar við Ísland og er tengiliður á milli dýrasvifs (fæða loðnu) og lífvera á hærri fæðuprepum (Sigurðsson og Ástþórsson 1991, Ástþórsson og Gíslason 1997), þar sem loðnan er mikilvæg fæða fyrir margar tegundir fiska, fugla og spendýra (Magnússon og Pálsson 1989, Vilhjálmsson 1994).

Til að skilja orkuflutning um vistkerfið er nauðsynlegt að átta sig á samspili afræningja og bráðar. Reynst hefur gagnlegt að flétta saman hefðbundinni aðferð til að meta fæðu lífvera með greiningu á magainnihaldi þeirra og fá nákvæmar upplýsingar um síðustu máltíð, við greiningu á stöðugum samsætum köfnunarefnis ($\delta^{15}\text{N}$) sem segja til um fæðuvistfræðilega stöðu lífvera og veita mikilvægar upplýsingar um fæðunám yfir lengri tíma (vikur til mánuði; Fry og fl. 1988, Divine og fl. 2017). Tilfærsla á fæðu- og uppeldisslóð loðnunnar frá byrjun 21. aldar, úr Íslandshafi og norður af Íslandi að Austur-Grænlandi (Vilhjálmsson 2007, Bárðarson og fl. 2021) gera það mjög áhugavert og þarft að bera saman fæðu og fæðuframboð (dýrasvif) á nýjum fæðuslóðum við eldri fæðuslóðir. Upplýsingar um fæðutengsl uppsjávarlífvera við Austur-

Grænland eru af skornum skammti (Pálsson og fl. 2012, Pétursdóttir og fl. 2012). Markmið þessarar rannsóknar er að skoða fæðuvistfræði loðnu á nýjum fæðu- og uppeldisslóðum við austurströnd Grænlands að hausti og norður af Íslandi að vetri, með því að skoða fæðu í maga, greina stöðugar samsætur og rannsaka fæðuframboð loðnunnar. Einnig að bera niðurstöðurnar saman við það sem er vitað um fæðu loðnu á eldri fæðuslóðum norður af Íslandi.

EFNIVIÐUR OG AÐFERÐIR

Sýnum var safnað að hausti við Austur-Grænland og norður af Íslandi að vetri til (1., 3. og 4. mynd og tafla 1). Flotvarpa var notuð til að safna loðnu (tafla 1). Maga- og vefjasýni voru tekin úr 10 loðnum á hverri stöð, valdar með tilviljanakenndum hætti (tafla 1). Fæðan var greind til tegunda og þroskastiga ef hægt var og síðan þurrkuð og vegin (ekki var hægt að nota sýni frá hausti 2019 þar sem vogin var biluð). Fyrir hverja stöð var reiknað meðaltal fyrir sérstaka vísitölu (e. Partial Fullness Index, PFI) sem segir til um magn bráðar/fæðu hjá loðnu af mismunandi stærð (Lilly og Fleming 1981).

Formúla fyrir PFI:

$$PFI_{i,k} = \frac{S_{i,k}}{L_k^3} \times 10^4$$

þar sem S_i stendur fyrir þyngd (g) bráðar i í maga afræningja k , og L_k stendur fyrir lengd (cm) afræningja k .

Vísitalan TFI (e. Total Fullness Index) var svo reiknuð fyrir allar stöðvar með því að leggja saman PFI allrar bráðar í hverjum maga og endurspeglar því TFI magn fæðu í maga.

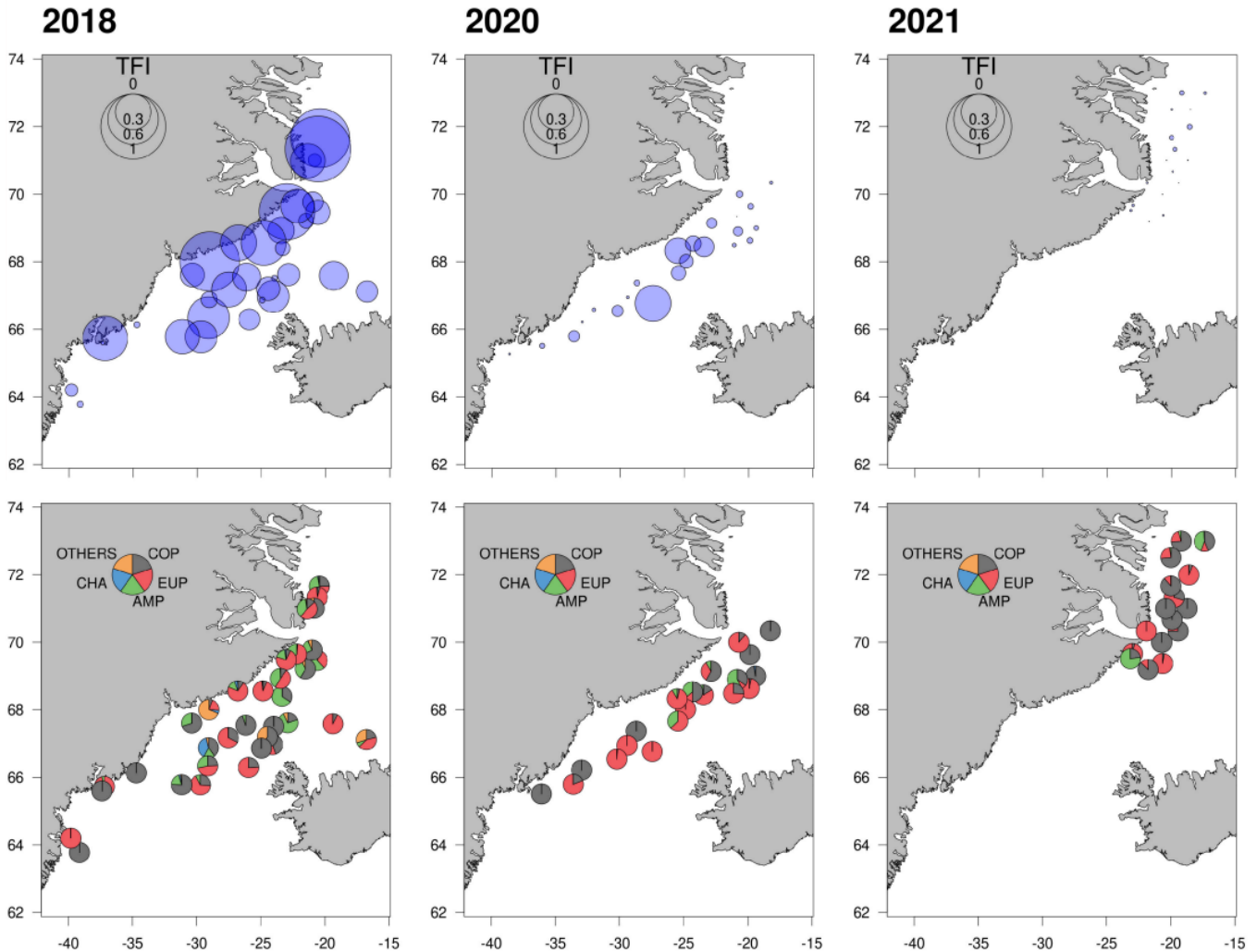
Til að rannsaka fæðuval eftir stærð loðnu var henni skipt í tvo stærðarflokka, <14 cm og ≥14 cm en loðnan verður yfirleitt kynþroska við 14 cm lengd (**Grein 13** í þessu riti). Vöðvasýni

voru greind til að fá hlutfallslegan styrk stöðugra samsæta af köfnunarefni ($\delta^{15}N = \frac{^{15}N}{^{14}N}$, tafla 1).

Til að kanna fæðuframboð fyrir loðnu var dýrasvifi safnað (0-50 m og 0-200 m) með WP2 háfum (möskvastærð: 200 µm) og sýnin stærðarflokkuð með 1000 µm sigti (tafla 1). Það sem fer í gegnum sigtin (<1000 µm) eru einkum smávaxnari svifdýr, eins og ungstig rauðátu (*Calanus finmarchicus*) en það sem verður eftir (>1000 µm) eru aðallega tiltölulega stórar krabbaflær t.d. eldri þroskastig rauðátu og pólátu (*C. hyperboreus*) en einnig ljósáta, marflær og pílormar sem voru flokkuð frá til að fá hugmynd um dreifingu stærri dýrasvifshópa. Til að fá lífmassa dýrasvifsins voru allir hóparnir þurrkaðir.

Tafla 1. Yfirlit yfir sýnasöfnun og umfang fæðugreininga austur af Grænlandi og norður af Íslandi árin 2018-2021

Ár	Mánuður	Veiðarfæri	Lífmassi dýrasvifs		Fæða loðnu		
			WP2-háfur		Flotvarpa Loðna lengd (cm)	magar N (%með fæðu)	vefir (SI) N
			0-50m N	0-200 N			
2018	haust	7.-23. september	101	100	7.5-19.0	318 (84)	218
	vetur	18.-30. janúar	-	-	11.5-19.5	330 (64)	-
2019	haust	15. september-19. október	93	86	10.1-18.8	175 (98)	156
	vetur	25. janúar-23. febrúar	-	-	12.5-19.0	93 (60)	-
2020	haust	9.-24. september	46	26	9.0-19.8	241 (77)	-
2021	haust	8.-16. september	47	45	12.5-18.2	169 (99)	-



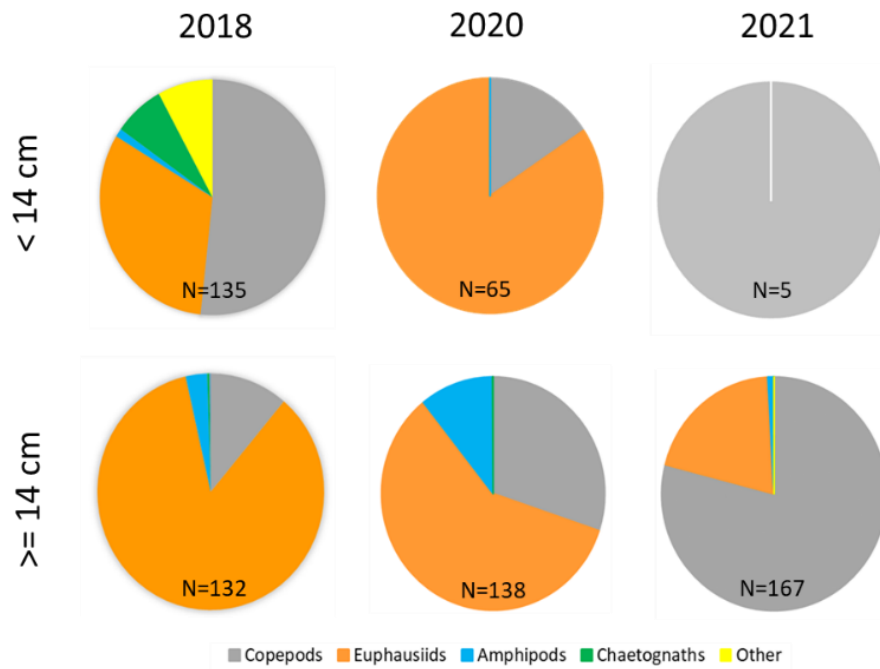
1. mynd. Meðalþyngd fæðu í 10 loðnumögum (TFI, efri myndir) og hlutfall fæðuhópa (PFI, neðri myndir) á mismunandi stöðvum við Austur-Grænland að hausti 2018, 2020 og 2021. Krabbaflær (COP) eru litaðar gráar, ljósátur (EUP) rauðar, marflær (AMP) grænar, píllormar (CHA) bláir og aðrir hópar (OTHERS) appelsínugulir.

NIÐURSTÖÐUR

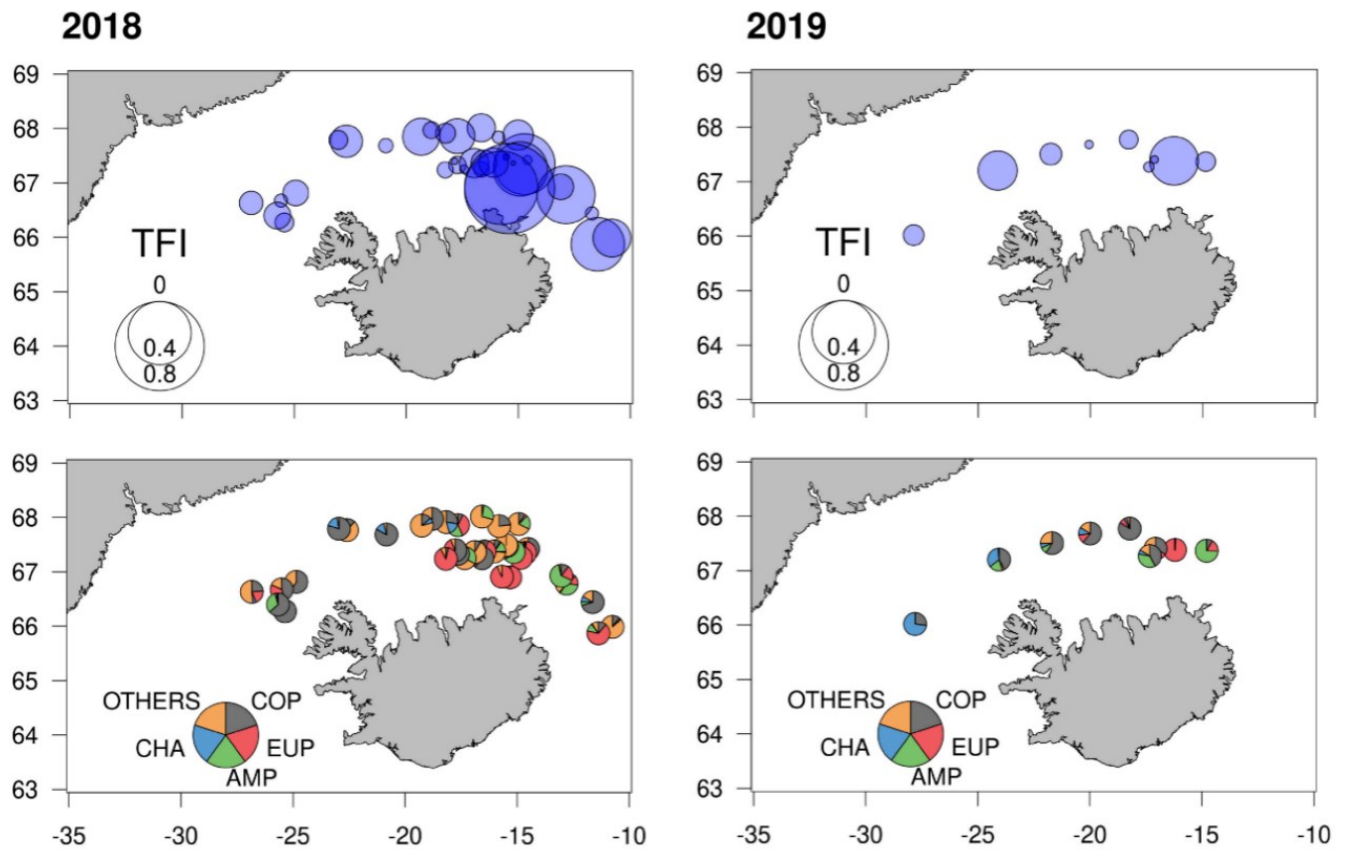
Alls var fæðusamsetning greind í 1326 loðnum á stærðarbilinu 7.5-19.8 cm. Hátt hlutfall af mögum innihélt fæðu, frá 60-99% (tafla 1). Krabbaflær (aðallega rauðáta og pólláta) og ljósátur (aðallega Thysanoessa tegundir) voru uppistaða fæðu loðnu á haustin (1. mynd). Krabbaflær voru aðalfæða smærri loðnu (<14 cm) en ljósátur voru meira áberandi hjá eldri loðnu (≥14 cm, 2. mynd). TFI sem endurspeglar magn fæðu í maga var mun hærra haustið 2018 (meðaltal 0.228) heldur en 2020 (meðaltal 0.061) og 2021 (meðaltal 0.019).

Vetrargildi TFI (meðaltal 2018: 0.117 og 2019: 0.109) sýna að loðnan étur líka á veturna (3. mynd). Krabbaflær og ljósátur

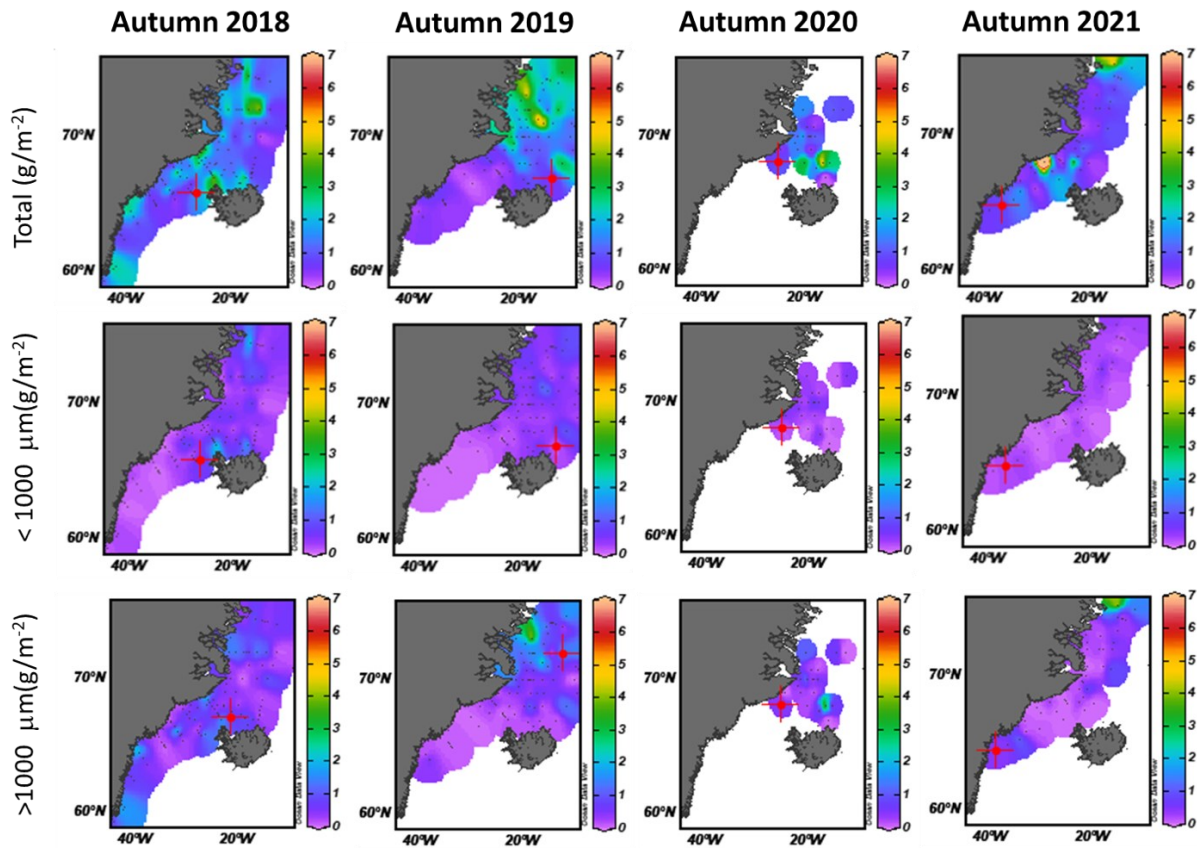
voru enn áberandi í fæðu loðnunnar en aðrir fæðuhópar eins og marflær og píllormar voru meira áberandi sem fæða yfir veturinn heldur en að hausti. Meðaltöl samsætugilda $\delta^{15}N$ hjá smærri loðnu voru 10.39‰ árið 2018 og 10.28‰ árið 2019. Hins vegar voru gildin fyrir stærri loðnu 10.88‰ árið 2018 og 11.07‰ árið 2019. Lífmassi dýrasvifs var hærri árin 2018 (meðaltal 1.56 þurrvigt g m⁻², 50-200 m) og 2019 (meðaltal 1.60 þurrvigt g m⁻², 50-200 m) heldur en árin 2020 (meðaltal 1.14 þurrvigt g m⁻², 50-200 m) og 2021 (meðaltal 0.86 þurrvigt g m⁻², 50-200 m) (4. mynd). Ljósátur fengust á öllu rannsóknarsvæðinu en hins vegar voru marflær og píllormar algengari á norðurhluta svæðisins (5. mynd).



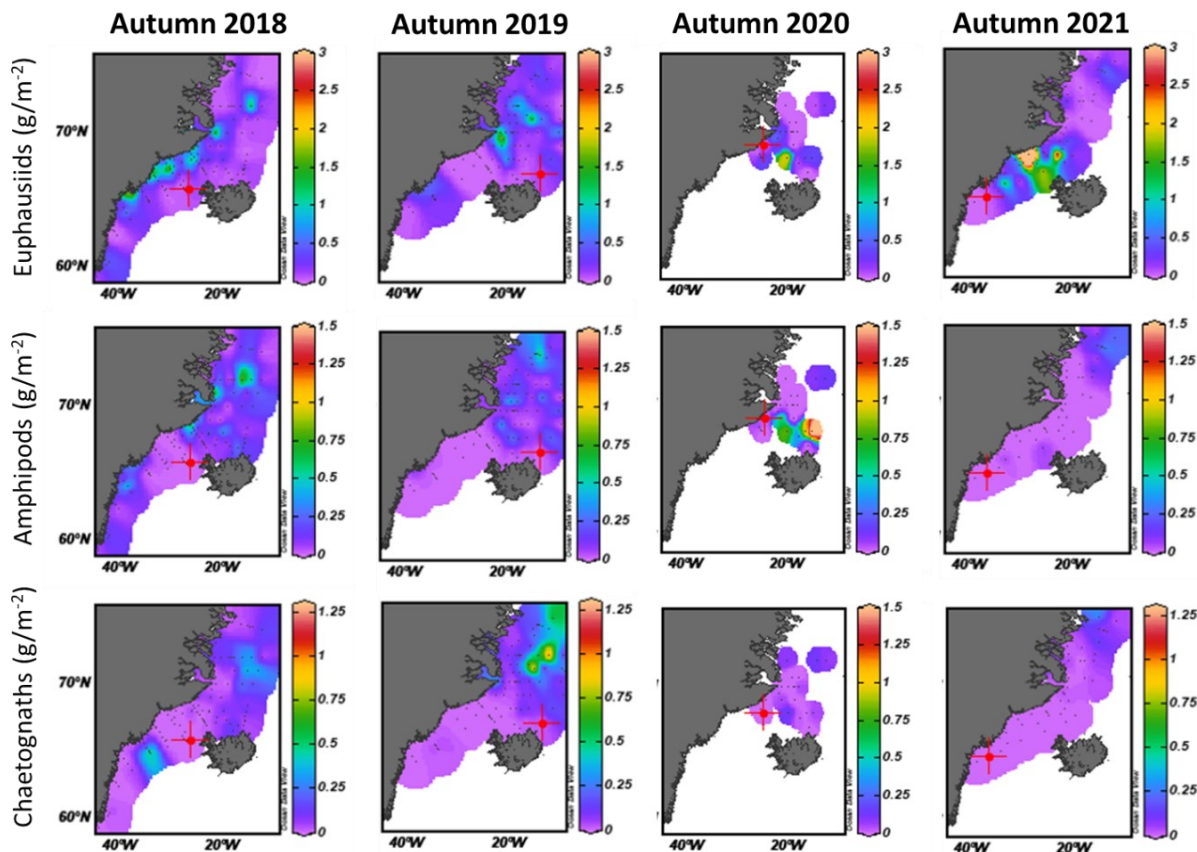
2.mynd. Vægi mismunandi dýrasvifshópa (þurrvigt) í fæðu loðnu í hafinu við Austur-Grænland og norður af Íslandi haustin 2018, 2020 og 2021. Loðna <14 cm að lengd (efri myndir) og ≥14 cm að lengd (neðri myndir).



3.mynd. Meðalþyngd fæðu í 10 loðnumögum (TFI, efri myndir) og hlutfall fæðuhópa (PFI, neðri myndir) á mismunandi stöðvum norður af Íslandi að vetri 2018 og 2019. Krabbablær (COP) eru litaðar gráar, ljósáttur (EUP) rauðar, marflær (AMP) grænar, pílfomar (CHA) bláir og aðrir hópar (OTHERS) appelsínugulir.



4. mynd. Lífmassi dýrasvifs (þurrvigt $g\ m^{-2}$, 50-200 m) í hafinu við Austur-Grænland og norður af Íslandi haustin 2018 - 2021. Efstu myndir: Heildarlífmassi. Miðju myndir: $<1000\ \mu m$, er smærra dýrasvif sem fer í gegnum $1000\ \mu m$ síu. Neðstu myndir: $>1000\ \mu m$, er stærra dýrasvif sem situr eftir á $1000\ \mu m$ síu og búið að tína stærra dýrasvifshópa úr sem eru sýndir á 5. mynd.



5. mynd. Lífmassi stærra dýrasvifshópa (þurrvigt $g\ m^{-2}$, 50-200 m) í hafinu við Austur-Grænland og norður af Íslandi haustin 2018 - 2021. Efstu myndir: ljósátur (euphausiids). Miðju myndir: marflær (amphipods). Neðstu myndir: píllormar (chaetognaths).

UMRÆÐUR

Magainnihald loðnu árin 2018-2021 sýnir að loðnan virðist éta talsvert bæði á haustin og á veturna. Hlutfall maga sem innihéldu fæðu var svipað og í eldri rannsóknum á aðalfæðutímabili loðnunnar yfir sumarið í Íslandshafi (Ástþórsson og Gíslason 1997). Hlutfallslega fleiri magar innihéldu fæðu að vetri í þessari rannsókn (60-64%) heldur en Sigurðsson og Ástþórsson (1991) sáu árin 1989-1990 (18% maga innihéldu fæðu).

Krabbaflær (aðallega rauðáta og póláta) og ljósátur (aðallega *Thysanoessa* tegundir) reyndust uppistaða fæðu á haustin og endurspeglar það lífmassa dýrasvifs á svæðinu (Gíslason og Silva 2012). Þegar niðurstöður þessarar rannsóknar eru skoðaðar ber að hafa í huga að sýnum var ekki safnað á sömu stöðvum ár hvert. Árið 2018 reyndust bæði krabbaflær og ljósátur mikilvægir fæðuhópar, ljósátur voru mest áberandi árið 2020 og krabbaflær 2021. Þessar niðurstöður ásamt upplýsingum um framboð fæðu (dýrasvif) á svæðinu styðja það að loðnan er tækifærissinni þegar kemur að fæðu og étur hún það sem er á viðkomandi svæði á viðkomandi tíma. Ástþórsson og Gíslason (1997) fengu sömu niðurstöður þegar þeir skoðuðu fæðu loðnu á eldri fæðuslóðum í Íslandshafi yfir sumartímamán árin 1993 og 1994.

Hlutfall stærri bráðar eykst almennt með stærð loðnunnar. Krabbaflær reyndust mikilvægari í fæðu minni loðnu en ljósáta var mikilvægari hjá stærri loðnu. Stöðugar samsætur köfnunarefnis, $\delta^{15}\text{N}$, veita mikilvægar upplýsingar um fæðusögu, þ.e. fæðunám yfir lengri tíma (Hobson og Welch 1992). Hærra gildi á $\delta^{15}\text{N}$ hjá stærri loðnu bendir til þess að hlutfall stærri bráðar sé meira og getur það endurspeglad fæðunám undanfarnar vikur og jafnvel mánuði. Þessar niðurstöður eru í samræmi við fæðurannsóknir á öðrum loðnustofnum. Í Barentshafi eru krabbaflær mikilvægastar hjá minni loðnu en ljósátur hjá stærri loðnu (Dalpadado og Mowbray 2013). Við Nýfundnaland eru krabbaflær ríkjandi fæða í báðum stærðarflokkum (Dalpadado og Mowbray 2013) en hins vegar eru krabbaflær uppistaða fæðu hjá minni loðnu við kanadíska heimskautasvæðið en marflær hjá stærri loðnu (Ogloff og fl. 2020).

Bæði fæðuframboð (lífmassi dýrasvifs) og þyngd fæðu í mögum loðnu (TFI) voru meiri haustið 2018 samanborið við 2020 og 2021. Þéttleiki loðnunnar var aftur á móti meiri árin 2020 og 2021 heldur en 2018 (ICES 2023), sem gæti hafa valdið auknu afráni á dýrasvifi á svæðinu seinni árin. Það gæti skýrt minni fæðu á þessum árum og þar af leiðandi verra líkamlegt ástand loðnunnar sem væri afleiðing meiri þéttleika (Grein 3 í þessu riti).

HEIMILDIR

Astthorsson, O. S., & Gíslason, A. (1997). On the food of capelin in the subarctic waters north of Iceland. *Sarsia*, 82(2), 81-86.
<https://doi.org/10.1080/00364827.1997.10413641>

Bárðarson, B., Guðnason, K., Singh, W., Pétursdóttir, H., & Jónsson, S. P. (2021). Loðna (*Mallotus villosus*). *Haf- Og Vatnarannsóknir, HV 2021(14)*, 31–34.

Dalpadado, P., & Mowbray, F. (2013). Comparative analysis of feeding ecology of capelin from two shelf ecosystems, off Newfoundland and in the Barents Sea. *Progress in Oceanography*, 114, 97-105.
<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.05.007>

Divine, L. M., Bluhm, B. A., Mueter, F. J., & Iken, K. (2017). Diet analysis of Alaska Arctic snow crabs (*Chionoecetes opilio*) using stomach contents and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ stable isotopes. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 135, 124-136.
<https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2015.11.009>

Fry, B. (1988). Food web structure on Georges Bank from stable C, N, and S isotopic compositions. *Limnology and oceanography*, 33(5), 1182-1190.

Gíslason, A., & Silva, T. (2012). Abundance, composition, and development of zooplankton in the Subarctic Iceland Sea in 2006, 2007, and 2008. *ICES Journal of Marine Science*, 69(7), 1263-1276.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fss070>

Hobson, K. A., & Welch, H. E. (1992). Determination of trophic relationships within a high Arctic marine food web using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analysis. *Marine ecology progress series*, 84, 9-18.

ICES. 2023. Northwestern Working Group (NWWG). ICES Scientific Reports. 5:64. 843 pp.
<https://doi.org/10.17895/ices.pub.23267153>

Lilly, G. R., and A. M. Fleming. "Size relationships in predation by Atlantic cod." *Gadus morhua* (1981): 41-45.

Magnússon, K. G., & Pálsson, Ó. K. (1989). Trophic ecological relationships of Icelandic cod. *Rapports et Proces-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 188, 206-224.

Ogloff, W. R., Ferguson, S. H., Tallman, R. F., & Davoren, G. K. (2020). Diet of capelin (*Mallotus villosus*) in the Eastern Canadian Arctic inferred from stomach contents and stable isotopes. *Polar Biology*, 43(9), 1273-1285.
<https://doi.org/10.1007/s00300-020-02707-1>

Pálsson, Ó. K., Sveinbjörnsson, S., Valdimarsson, H., Gíslason, Á., & Vilhjálmsson, H. (2012). Lífshættir loðnu í Íslandshafi. Í *Vistkerfi Íslandshafs, Hafannsóknir*, 164, 119-132.

Pétursdóttir, H., Falk-Petersen, S., & Gíslason, A. (2012). Trophic interactions of meso- and macrozooplankton and fish in the Iceland Sea as evaluated by fatty acid and stable isotope analysis. *ICES Journal of Marine Science*, 69(7), 1277-1288.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/fss071>

Sigurðsson, T. H., & Astthorsson, O. S. (1991). Aspects of the feeding of capelin (*Mallotus villosus*) during autumn and early winter in the waters north of Iceland. *ICES Document CM*.

Vilhjálmsson, H. (1994). The Icelandic capelin stock. Capelin (*Mallotus villosus*) in the Iceland-East-Greenland-Jan Mayen ecosystem. *Rit Fiskdeildar*, 13, 281 pp.

Vilhjalmsson, H. (2007). Impact of changes in natural conditions on ocean resources. In *Law, Science & Ocean Management*, 11, 225-269. Brill Nijhoff. doi: 10.1163/ej.9789004162556.i-0.59

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

Pétursdóttir, H., Silva, T., Jónsson, S.P., Singh, W. & Bárðarson, B. (2023). Fæða loðnu á nýrri fæðuslóð. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.P. Jónsson og G.J. Óskarsson (ritst.), *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 37-43)

8. Dreifing loðnu í mismunandi sjógerðum við Austur-Grænland á fæðutíma á haustin

Warsha Singh*, Kristinn Guðnason, Sigurður Þ. Jónsson, Teresa Silva

Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður

Ágrip

Gera má ráð fyrir að göngur loðnu séu háðar straumum og þar af leiðandi sjógerðum á búsvæði hennar. Lítið er vitað um lóðrétt dreifingu loðnu í samhengi við haffræðileg skilyrði á nýrri fæðuslóð á haustin. Þess vegna voru bergmálmælingar á loðnu að hausti og valin haffræðisnið árin 2019–2022 notuð til að sýna bæði lóðrétt og lárétt dreifingu loðnu í samhengi við sjógerðir á Austur-Grænlenska landgrunninu. Lóðrétt dreifing hita og seltu á tveimur sniðum, frá vestri til austurs á 70 og 72 °N breiddar, sýndi að tvær aðalsjógerðir eru á svæðinu, útfrá skilgreiningu sem er byggð á hita, seltu og þéttleika sjávar. Loðnu var að finna á báðum sniðum og hvort tveggja á landgrunninu og utan þess og var breytileiki í láréttri dreifingu loðnunnar á milli ára. Á þessum sniðum sýna T-S-rit (mættishita-seltu-rit) fyrir öll árin saman að loðnu var aðallega að finna í Atlantískum sjó, en einnig í yfirborðs pólsjó. Vitað er að loðna er virk í fæðunámi á haustin, og sköruðust dreifingar hennar og ljósátu náíð tvö árána (2019 og 2020). Loðna virðist fara á milli sjógerða á mismunandi dýpi á fæðutíma, mögulega að elta bráð eða vegna eðlislægrar stjórnar á lóðréttu fari.

Lykilorð: sjógerðir, Atlantískur sjó, yfirborðs pólsjó, blandaður pólsjó, skörun ljósátu og loðnu

*Fyrirspurnum skal beina til: warsha.singh@hafogvatn.is

INNGANGUR

Göngur loðnu og dreifing hennar eru tengdar margslungnu kerfi straum á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen, og þar með sjógerðum á svæðinu (Vilhjálmsson 2002). Snemma á fyrsta áratug 21. aldar varð tilfærsla á dreifingu loðnu að hausti úr Íslandshafi og yfir á austur-grænlenska landgrunninu (Vilhjálmsson 2007; Carscadden og fl., 2013). Þessi tilfærsla hefur verið rakin til breyttra hafeðlisfræðilegra skilyrða í Íslandshafi (**Grein 2** í þessu ritsafni). Loðna stundar fæðunám á sumrin og haustin. Fullorðin loðna, sem finnst aðallega norðarlega á landgrunninu við Austur-Grænland, étur aðallega ljósátu, en ókynþroska fiskar sem eru gjarnan sunnar éta aðallega krabbaflær (**Grein 7** í þessu ritsafni).

Austur-Grænlandsstraumurinn flæðir suðvestur á bóginn meðfram Austur-Grænlandi yfir landgrunninu og brún þess (Håvik og fl., 2017). Það er álitnið að loðna hagnýti sér strauminn á göngu sinni tilbaka af fæðuslóð (Vilhjálmsson, 2002). Lítið er vitað um samband loðnu við mismunandi sjógerðir á þessu svæði. Því var í þessari rannsókn stefnt að lýsandi greiningu mögulegum tengslum þessara þátta. Líklegt þykir að dreifing loðnu á þessum stað og árstíma sé háð fæðuframboði, því hún er enn í virku fæðunámi (**Grein 7** í þessu ritsafni). Því könnuðum við líka skörun loðnu og ljósátu á svæðinu.

EFNI OG AÐFERÐIR

Flatarþéttleika endurvarps loðnu og ljósátu og haffræðigöngnum var safnað í árlegum bergmálsleiðöngnum Hafrannsóknastofnunar að hausti, í september-október 2019–2022. Á haffræðistöðvum var sondu sókkt niður á 500 m dýpi eða 10 m fyrir ofan botn á grynna vatni og leiðni, sjávarhiti og dýpi (CTD) skráð sífelli.

Mættishiti (ϑ) og selta (S) til skilgreingar á sjógerðum (Håvik og fl., 2017; Rudels og fl., 2002). Þrjár sjógerðir voru skilgreindar: Atlantískur sjór (AW) með $\vartheta > 0$ og $S > 34.4$, og alls staðar þar sem heimskauta-yfirborðssjó er (PSW) með seltu $S < 34.4$ sem er til bæði í heitri og kaldri útgáfu, og blandaður pólsjó (PIW), sem hefur hærri eðlisþyngd $\vartheta < 0$ og $S > 34.4$ og hefur mættisþéttni (σ) > 27.7 .

Haffræðisniðin sem voru endurtekin eftir 70. og 72. breiddargráðu öll árin, voru í upphafi notuð til að setja fram lóðrétt snið sjávarhita og seltu og dreifing endurvarpsstuðuls loðnunnar lögð ofan á þær myndir. Þetta var gert til að finna sjónrænt þá stigla hita og seltu sem loðnu varð vart í, eftir sniðunum og í vatnssúlunni.

Því næst voru hita-seltu-rit (T-S diagram) þar sem sjógerðirnar þrjár voru aðgreindar teiknaðar fyrir hvort haffræðisnið en öll árin tekin saman. Loðnuendurvarp var einnig lagt yfir T-S-ritin ef vera kynni að það gæfi sjónrænar vísbendingar um tengsl loðnu við ákveðnar sjógerðir.

Og að endingu, að því gefnu að ljósáta er meginfæða loðnu á þessu svæði (**Grein 7** í þessu ritsafni), var skörun ljósátu og loðnuendurvarps í rúmi skoðuð sjónrænt fyrir allt rannsóknarsvæðið árin 2019 og 2020.

NIÐURSTÖÐUR

Loðnu var aðallega að finna á landgrunninu og meðfram austur-grænlenku landgrunnsbrúninni árin sem rannsóknin náði yfir (1. mynd). Lóðrétt snið sjávarhita og seltu ásamt dreifingu loðnu sýnir að loðnu er að finna yfir vítt svið hita og seltu auk þess að nokkur breytileiki er á milli ára (2. og 3. mynd). Lóðrétt far (**Grein 13** í þessu ritsafni) er greinilegt á þann hátt að loðnutorfur eru nálægt botni á daginn (72 °N) samanborið við að dreifingin er nær yfirborði að nóttu til (70 °N, 2019 og 2020).

Á rannsóknarsvæði okkar á austur-grænlenka landgrunninu er AW sjógerðin ráðandi. Á 70. gráðu breiddar voru loðnuskráningarnar algengari í AW borið saman við PSW sjógerðina, og með hærri endurvarpsgildi þ.e. þéttari loðnutorfur (5. mynd, til vinstri). Annað dæmi um loðnu í AW sjógerðinni var að finna í hlýju millilagi á 100–300 m dýpi eins og má sjá á 2. mynd. Há loðnugildi var einnig að finna í PSW sjógerðinni, en loðnuskráningar voru strjálari í þeirri sjógerð. Lægri loðnuþéttleika var að finna á 72. breiddargráðu borið saman við þá 70., og loðnan aðallega tengd AW sjógerðinni (5. mynd, til hægri). Ljósátuskráningar var að finna á flestum stöðum þar sem loðnu var að finna (6. mynd) en ljósátan hafði víðáttumeiri útbreiðslu en loðnan. Greinilegt er að lóðrétt far loðnu og ljósáta skarast að talsverðu leyti (6. mynd).

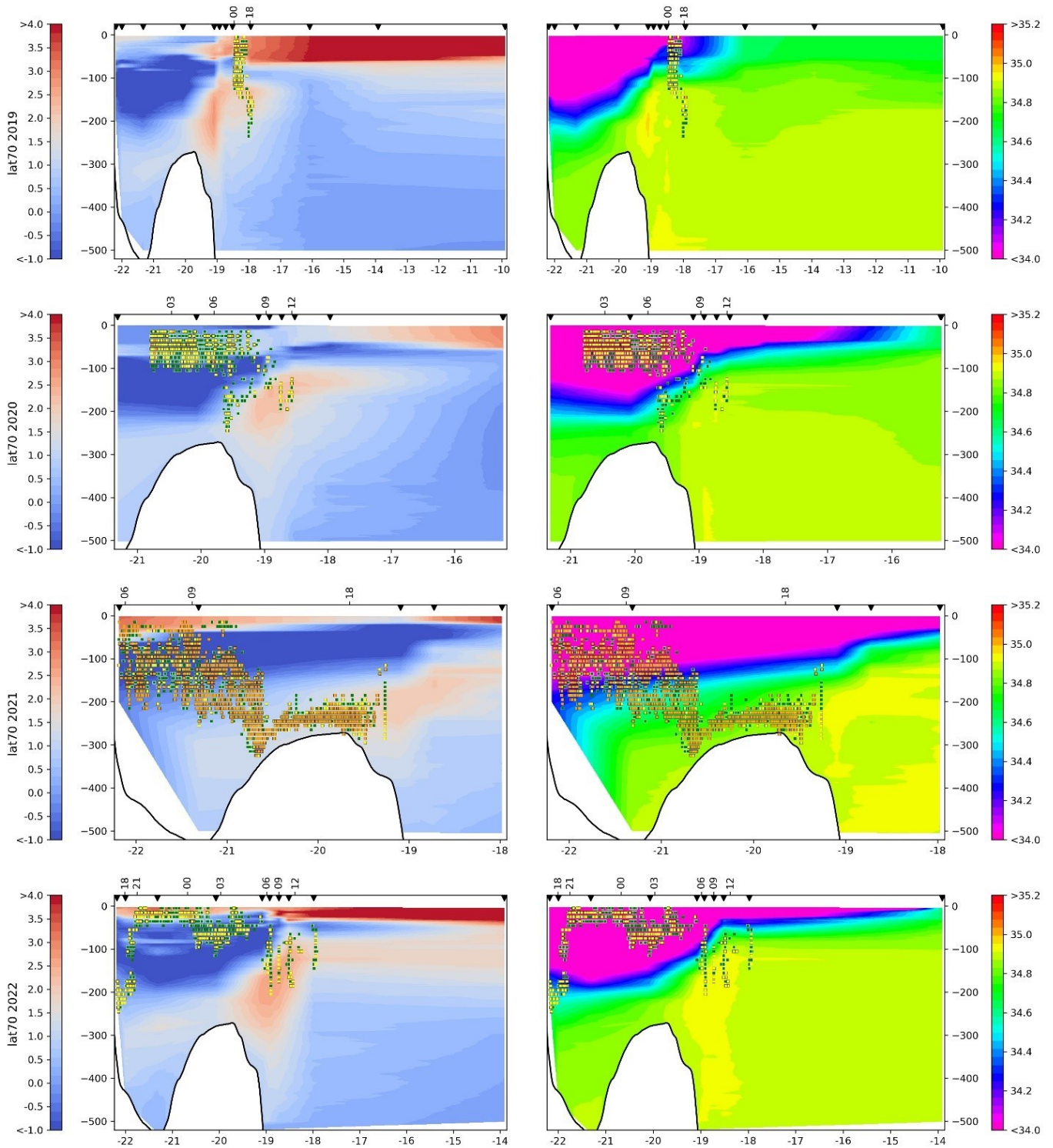
UMRÆÐUR OG ÁLYKTANIR

Loðna virðist ganga á milli og jafnvel í gegnum sjógerðir á fæðutíma að haustlagi. Á birtutíma var loðna neðar í vatnssúlunni og fremur í hlýjum AW sjó en PSW. Á nóttunni hins vegar voru loðnuskráningarnar dreifðari og mest í PSW sjó. Skýra má ferðir loðnu á milli þessara sjógerða með innbyggðri dægurstýringu lóðrétt fars (Figure 6; Mowbray, 2002).

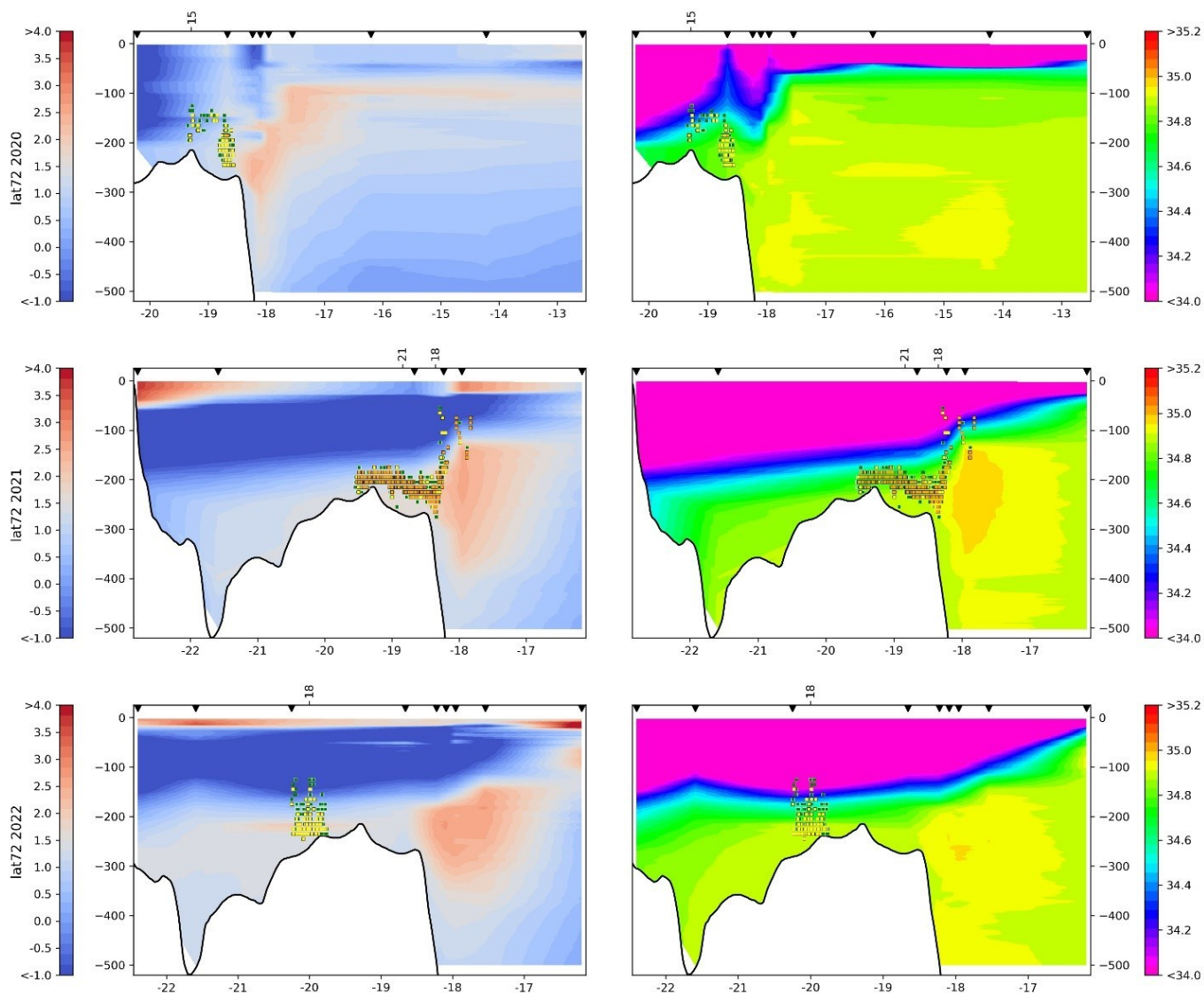
AW sjógerðin hefur fremur há gildi næringarefna því þau endurnýjast mun greiðar í yfirborðslögum með kvikusveimi heldur en í mun lagskiptari PSW sjógerðinni (Håvik og fl., 2019). AW lagið er fremur næringarríkt og því ríkt af dýrasvifi á við ljósátu, og því marksvæði loðnu í fæðunámi. Í PSW sjógerðinni á hinn bóginn er mergð stórra krabbaflóa (*Calanus hyperboreus*) (Gíslason og Silva, 2012) sem eru líka kjörbráð loðnu (Ástþórsson og Gíslason, 1997). Lóðrétt far loðnu gæti verið knúð af fæðuframboði (6. mynd), því vegið meðaldýpi loðnu fylgir vegnu meðaldýpi ljósátu náð. Þessu hefur áður verið lýst fyrir loðnustofninn við Nýfundnaland (Mowbray, 2002). Hins vegar gætu aðrir þættir skipt máli, á við umhverfisskilyrði, sérstaklega birtustig, og að auki flóttaviðbrögð við afræningjum á við hvali sem hefur fjölgað á svæðin samkvæmt talningum (**Grein 11** í þessu ritsafni). Frekari rannsókn er þörf til að öðlast aukinn skilning á því hvers vegna loðna sýnir af sér lóðrétt dægurfar og á fæðuvistfræðilegum tengslum á svæðinu. Engu að síður er þarft að rannsaka tengsl dreifingar loðnu og bráðar við umhverfisþætti með vistfræðilegu sjónarhorni og getur nýst til að greina áhrif umhverfisbreytinga á þróun loðnustofnsins.



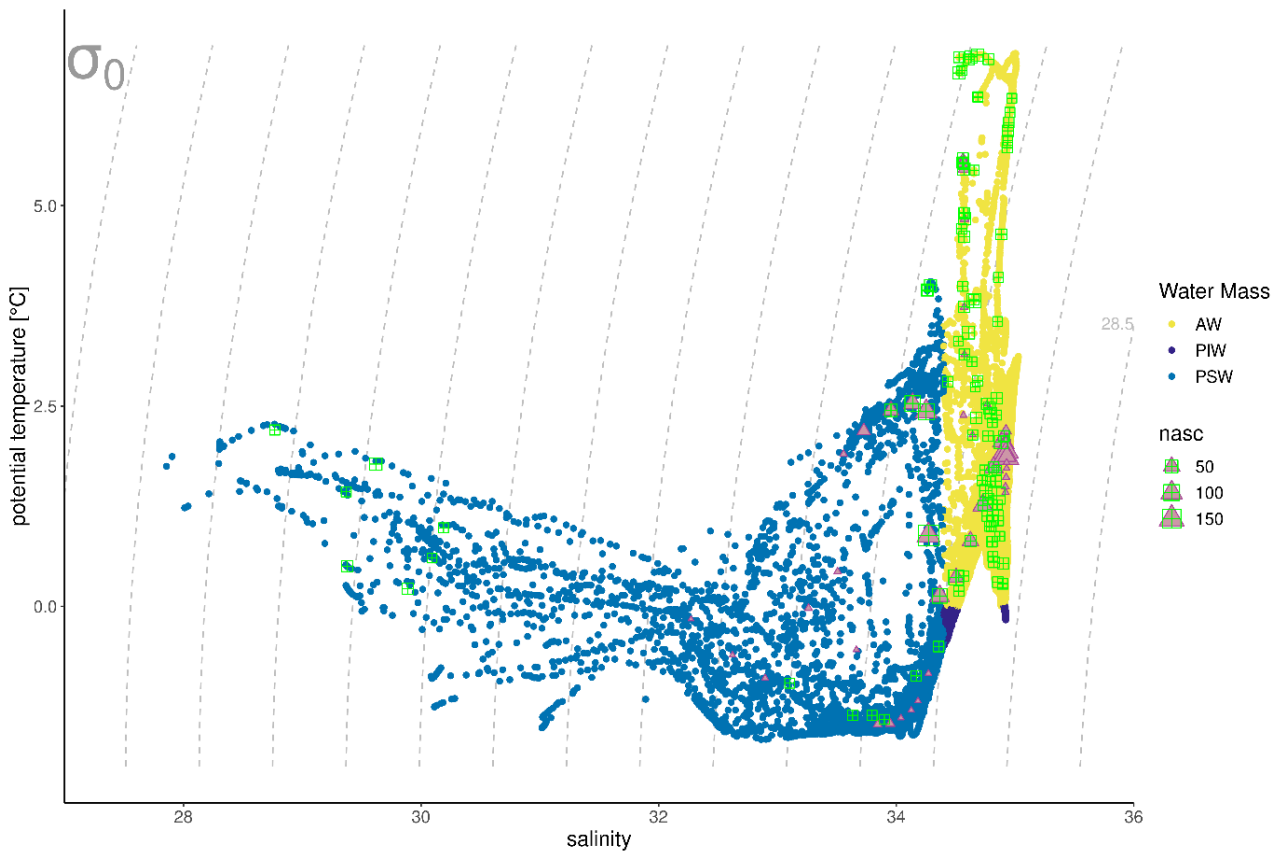
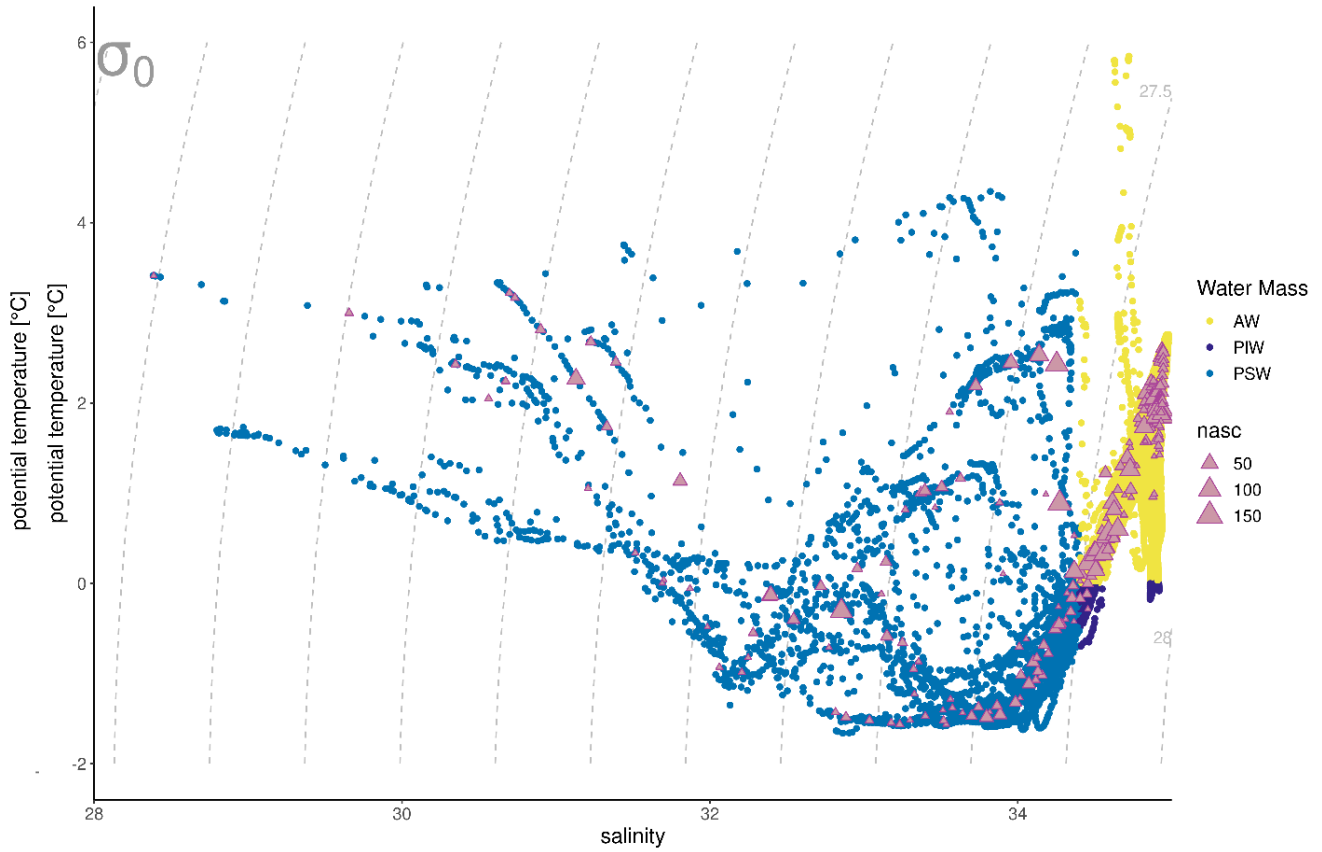
1. mynd. Fastar sjómælingastöðvar milli 70 og 72 gráður norður. Ekki voru gerðar mælingar á stöðvunum austast öll árin.



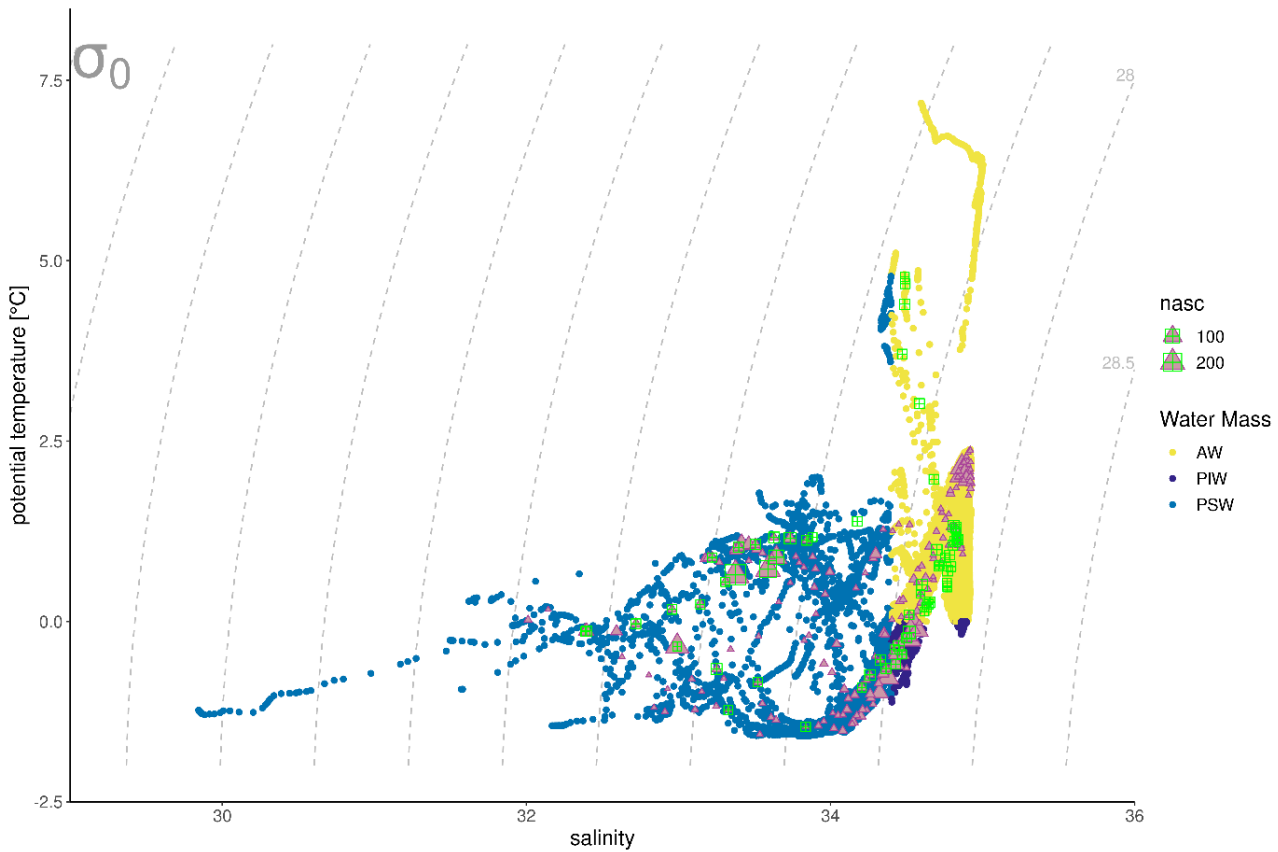
2. mynd. Lóðrétt snið sjávarhita (til vinstri) og seltu (til hægri) á 70 °N árin 2019–2022. Loðnureifing sem endurvarpsstuðull (NASC) lagður yfir sniðið (grænt: lágt, <50% hlutfallsmark loðnureifingarinnar; gult: miðlungs, á milli 50–75% hlutfallsmarka og appelsínugult: hátt, > 75% hlutfallsmark). Staðsetningar hafrræði (CTD) stöðva sýndar við yfirborð og tímasetning loðnuskráninga gefin til kynna fyrir ofan hverja mynd. ATH fjarlægð hafrræðistöðva frá strönd Grænlands ekki alltaf eins vegna breytileika í stöðvatöku á milli ára.



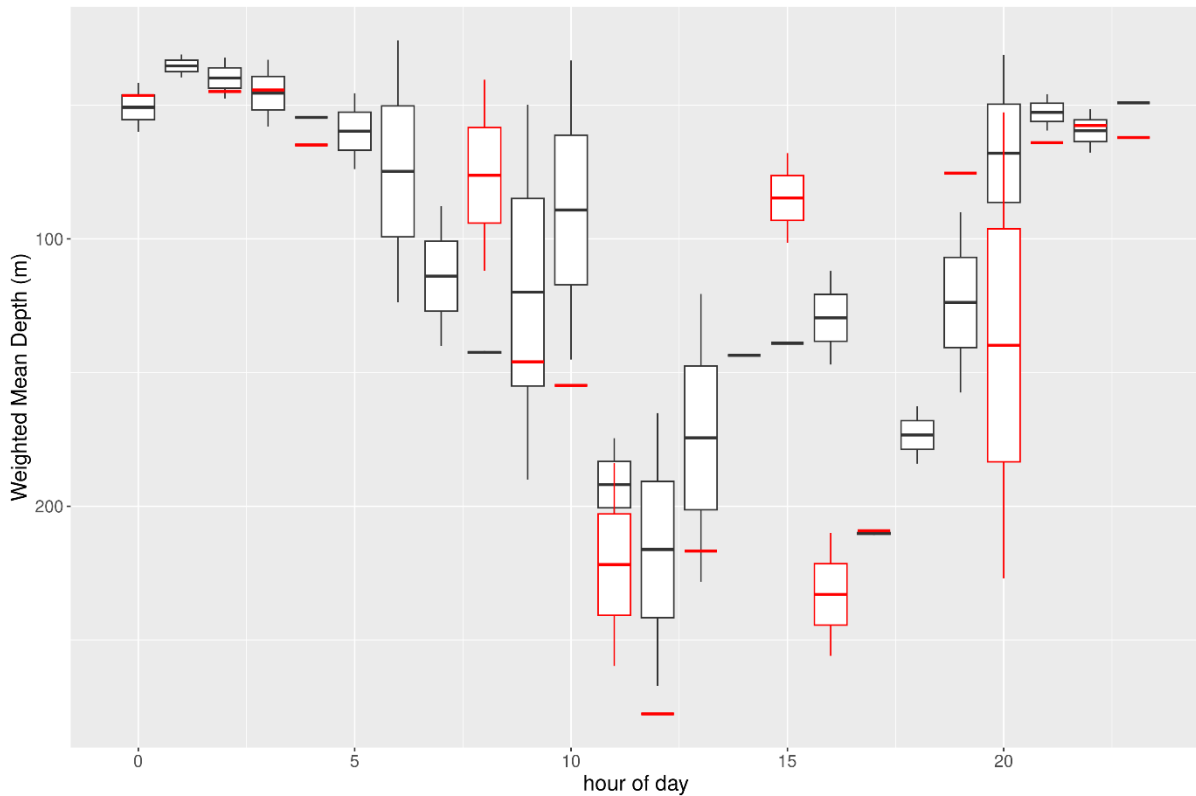
3. mynd. Lóðrétt snið sjávarhita (til vinstri) og seltu (til hægri) á 72 °N árin 2020, 2021 og 2022. Árið 2019 var enga loðnu að sjá á sniðinu. Skýringar á loðnudreifingu sem er lögð yfir sniðið og haffræðistöðum eins og fyrir 2. mynd.



4. mynd. Hita-seltu-rit þar sem loðnuskráningar (nasc) eru lagðar yfir T-S gildi á næstu stöð á sama dýpi á hafrræðisniði á 70°N (efri mynd) og á 72°N (neðri mynd) árin 2019–2022. T-S mælingar litakóðaðar eftir sjógerð, og mættisþéttni er sýnd sem brotnar línur.



5. mynd. Hita-seltu-rit þar sem skráningar loðnu (nasc: bleikir þríhyrningar) og ljósátu (nasc: grænir ferningar) eru lagðar yfir T-S gildi á næstu stöð á sama dýpi á hafrræðisniði á 70 °N (efri mynd) og á 72 °N (neðri mynd) árin 2019 (efri mynd) og 2022 (neðri mynd). T-S mælingar litakóðaðar eftir sjógerð, og mættispéttni er sýnd sem brotnar línur.



6. mynd. Kassarit sem sýna vegið meðaldýpi (m) loðnu (svört) og ljósátu (rauð) eftir tíma dags. Birtutíminn er frá 0600 til 1800.

ÞAKKIR

Við viljum þakka Steingrími Jónssyni og Kjetil Våge verðmætar athugasemdir við þessar við þessa frumgreiningu gagnanna.

Verkefnið var fjármagnað að hluta af Horizon 2020 rannsókn- og nýsköpunaráætlun Evrópubandalagsins, skv. verkefnissamningi No. 869383 (ECOTIP).

HEIMILDASKRÁ

- Astthorsson, O. S., and Gislason, A. (1997). On the food of capelin in the subarctic waters north of Iceland. *Sarsia*, 82(2), 81–86.
- Carscadden, J. E., Gjøsæter, H., and Vilhjálmsson, H. (2013). A comparison of recent changes in distribution of capelin (*Mallotus villosus*) in the Barents Sea, around Iceland and in the Northwest Atlantic. *Progress in Oceanography*, 114, 64–83.
- Gislason, A., and Silva, T. (2012). Abundance, composition, and development of zooplankton in the Subarctic Iceland Sea in 2006, 2007, and 2008. *ICES Journal of Marine Science*, 69(7), 1263–1276.
- Håvik, L., Pickart, R. S., Våge, K., Torres, D., Thurnherr, A. M., Beszczynska-Möller, A., Walczowski, W., and von Appen, W. J. (2017). Evolution of the East Greenland Current from Fram Strait to Denmark Strait: Synoptic measurements from summer 2012. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(3), 1974–1994.
- Håvik, L., Almansi, M., Våge, K., and Haine, T. W. N. (2019). Atlantic-origin overflow water in the east Greenland current. *Journal of Physical Oceanography*, 49(9), 2255–2269.
- Mowbray, F. K. (2002). Changes in the vertical distribution of capelin (*Mallotus villosus*) off Newfoundland. *ICES Journal of Marine Science*, 59, 942–949.
- Rudels, B., Fahrbach, E., Meincke, J., Budéus, G., and Eriksson, P. (2002). The East Greenland Current and its contribution to the Denmark Strait overflow. *ICES Journal of Marine Science*, 59(6), 1133–1154.
- Vilhjálmsson, H. (1994). The Icelandic capelin stock. Capelin (*Mallotus villosus*) in the Iceland-East-Greenland-Jan Mayen ecosystem. *Rit Fiskdeildar*, 13, 281 pp.
- Vilhjálmsson, H. (2007). Impact of changes in natural conditions on ocean resources. In *Law, Science & Ocean Management*, 11, 225–269. Brill Nijhoff. doi: 10.1163/ej.9789004162556.i-0.59

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

- Singh, W., Guðnason, K., Jónsson, S.Þ., Silva, T. (2023). Dreifing loðnu í mismunandi sjógerðum við Austur-Grænland á fæðutíma á haustin. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.Þ. Jónsson og G.J. Óskarsson (ritst.), *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 44-51)

9. Mikilvægi loðnu í fæðu þorsks á íslenska landgrunninu

Höskuldur Björnsson

Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður.

Ágrip

Loðna er mikilvæg fæða fyrir botnfiska á Íslandsmiðum. Í stofnmælingum botnfiska á vegum Hafrannsóknastofnunar í október (SMH) og mars (SMB) er magainnihald úr tilteknum fisktegundum greint. Magn loðnu í þorskmögum er viðfangsefnið hér. Magn loðnu í þorskmögum í SMH sýnir að skörun milli loðnu og þorsks er eingöngu nálægt brúnum landgrunnins fyrir norðan Ísland á þeim árstíma. Talsverð minnkun var á loðnumagni í mögum eftir 2002-2004 eða á sama tíma og útbreiðsla loðnu færðist norðar. Magn loðnu í þorskmögum í SMB árin 1993-2023 sýnir töluverðan breytileika milli ára og endurspeglar útbreiðslu loðnunnar að nokkru leyti. SMB fer fram í mars nálægt hrygningartíma loðnunnar og yfirleitt er loðnuveiðum lokið á þeim tíma. Magn loðnu í þorskmögum í SMB er því vísitala um magn loðnu sem mun hrygna eða stærð hrygningarstofnsins.

Lykilorð: þorskur, loðna, magainnihald, fæða, SMB, SMH

Fyrirspurnum skal beina til: hoskuldur.bjornsson@hafogvatn.is

INNGANGUR

Loðna er mikilvæg fæða fyrir botnfiska á Íslandsmiðum, sérstaklega þorsk, grálúðu og ufsa. Eitt verkefnið í stofnmælingum Hafrannsóknastofnunar á botnfiskum í október (SMH) og mars (SMB) (1. mynd til hægri) er að greina magainnihald úr tilteknum fisktegundum (1. mynd til vinstri). Tímaröðin fyrir þorsk er lengst og gefur upplýsingar um útbreiðslu og magn loðnu á íslenska landgrunninu síðan 1993 (að vori, SMB) og 1996 (að hausti, SMH).

Árlegt afrán á loðnu af völdum fiska hefur verið metið frá 1000-1300 þúsund tonn (kt) og 3000–5000 kt ef sjávarspendýr og sjófuglar eru tekin með (Vilhjálmsson, 2002). Mat á afráni fiska er byggt á magasýnum og meltingarhraðalíkönnum (Pálsson og Björnsson, 2009), en mat á afráni hvala byggir á litlum gögnum. Þorskur, ýsa og ufsi eru afræningjarnir í líkaninu sem er notað við stofnmat til að spá fyrir um hrygningarstofn loðnu. Mat á afráni þeirra er 900-1100 kt á ári, þar af eru 250 kt úr aðalhrygningargöngu loðnu þegar hún gengur á hrygningarstöðvarnar á tímabilinu 15. janúar til 15. mars. Allar þessar áætlanir um afrán eru hærri en metin stærð loðnustofnsins með bergmálmælingum eins og var sýnt fram á árið 1989 (Magnússon og Pálsson, 1989). Endurmat á bæði afráni og bergmálmælingum eru nauðsynleg skref til að átta sig á þessu ósamræmi.

Kynþroska loðna er vetrarfæða fyrir íslenskan þorsk (Magnússon og Pálsson, 1989) því stór hluti loðnunnar gengur norður í höf snemma sumars og er þar af leiðandi ekki aðgengilegur fyrir þorskinn. Loðnan kom síðan til baka að landgrunninu í október-nóvember (Vilhjálmsson 1994). Fæðugöngurnar breyttust nálægt aldamótum og loðna fór að koma til baka 1-2 mánuðum seinna en áratugina á undan (Carscadden og fl. 2013). Tíminn sem loðnan er aðgengileg fyrir þorsk er þar af leiðandi styttri. Í þessari grein eru dreifing og magn loðnu í þorskmögum frá SMB, SMH og sýnum úr togveiðum fyrir tímabilið 1993-2023 skoðuð með tilliti til breytinga í útbreiðslu og magni loðnu.

AÐFERÐIR

Árleg vísitala á magn loðnu í þorskmögum á íslenska landgrunninu var ákvörðuð. Vísitalan er meðaltal magafylli sem er þyngd loðnu í maga sem prósent af þyngd þorsksins. Útbreiðslukort af magafylli voru teiknuð eftir árum til að sjá breytileika í tíma og rúmi. Hægt er að nota sýni úr afla fiskiskipa sem viðbótarupplýsingar frá öðrum árstímum í greiningu af þessu tagi. Sýnum var safnað allt árið frá 2001-2017 á togaranum Páli Pálssyni og þau síðan notuð til að skoða breytileika loðnumagns í þorskmögum eftir árstíma.

NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐUR

Loðnumagn í þorskmögum í SMH (október) sýnir að skörun milli loðnu og þorsks er eingöngu nálægt brúnum landgrunnins fyrir norðan Ísland (2. mynd og 3. mynd vinstra megin). SMH hófst árið 1996 og sýna gögnin að loðnumagn var meira fyrstu árin, 1996-2001, borið saman við hinn hluta tímaraðarinnar þ.e. frá 2002 (4. mynd). Loðnumagn minnkaði talsvert frá 2002 til 2004 á sama tíma og útbreiðsla loðnustofnsins breyttist. Á þessum árum færðust fæðusvæði loðnu frá Íslandshafi og svæðinu norðvestur, norður og

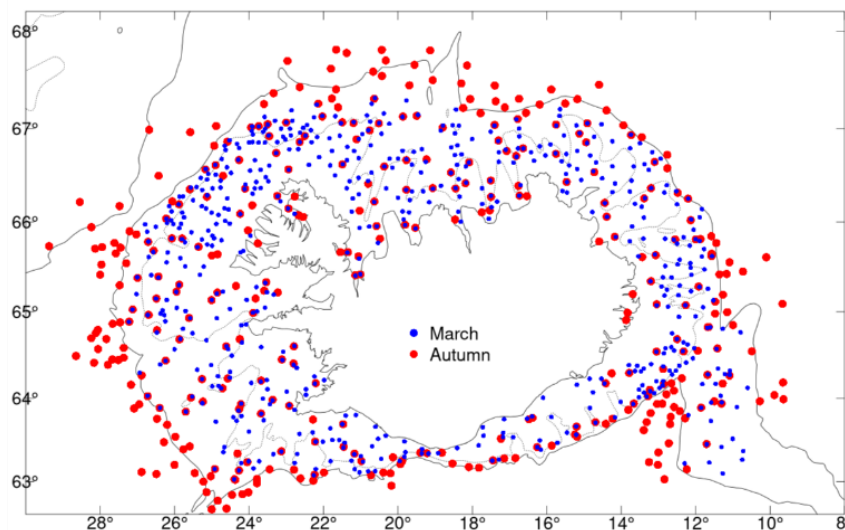
norðaustur af Íslandi yfir á austur-grænlenka landgrunninn (Carscadden og fl., 2013).

Vísitala um magn loðnu í þorskmögum í SMB er töluvert breytilegt milli ára í útbreiðslu, eða frá núlli í 4% (mikið) (3. Mynd til hægri og 6. Mynd). SMB fer fram í mars, nálægt hrygningartíma loðnunnar og yfirleitt á uppsjávarflotinn eftir að veiða mjög lítið af loðnu á þeim tíma. Magn loðnu í þorskmögum í SMB er því vísitala á magn loðnu sem er eftir í mars að veiðum loknum, það er hrygningarstofni loðnunnar (5. mynd).

a)



b)



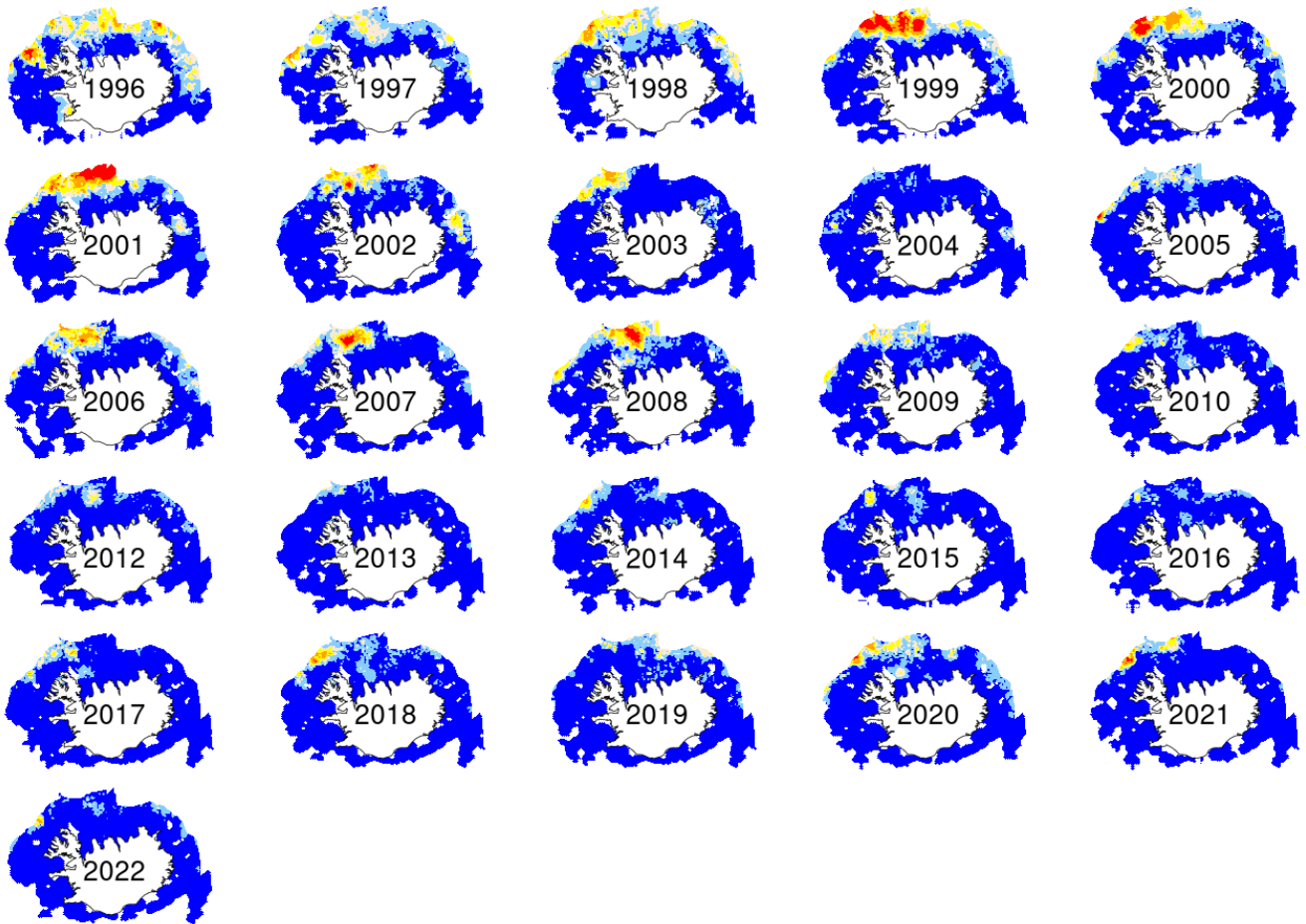
1. mynd. a) Þorskmagi fullur af kynþroska loðnu (mynd frá Höskuldi Björnssyni, tekin í stofnmælingu botnfiska í mars).

b) Staðsetning togstöðva í stofnmælingum botnfiska í mars og október (SMB og SMH) (hægra megin).

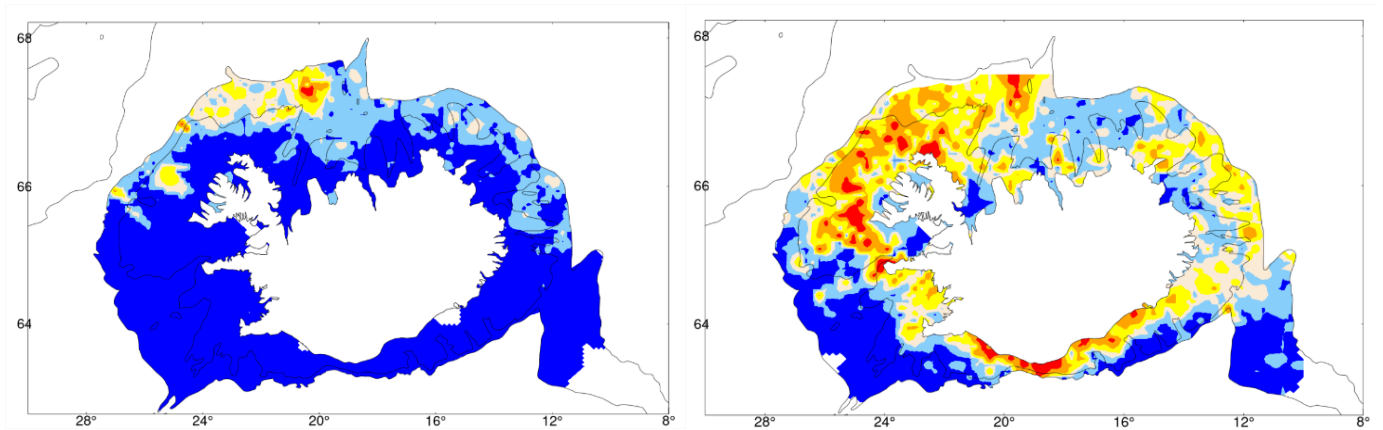
Hrygningarstofn loðnu hefur yfirleitt verið metinn stór (350-500 þúsund tonn) eftir að nýja aflareglan var tekin í notkun árið 2016 (5. mynd; ICES 2023). Þetta er ekki óvænt því nýja aflareglan er varkárari sú eldri. Metinn hrygningarstofn loðnu hefur víð óvissumörk þannig að töluverður breytileiki milli ára er ekki óvæntur. Aflareglur fyrir loðnu byggja á því að skilja tiltekið magn loðnu eftir til hrygningar svo lítil fylgni er milli loðnumagns í þorskmögum fyrir og eftir veiðar. Þar af leiðandi er magn loðnu í þorskmögum í SMB engin vísbending um magn loðnu sem var

aðgengilegur fyrir þorsk á þeirri vertíð né stofnstærð loðnu í upphafi vertíðar.

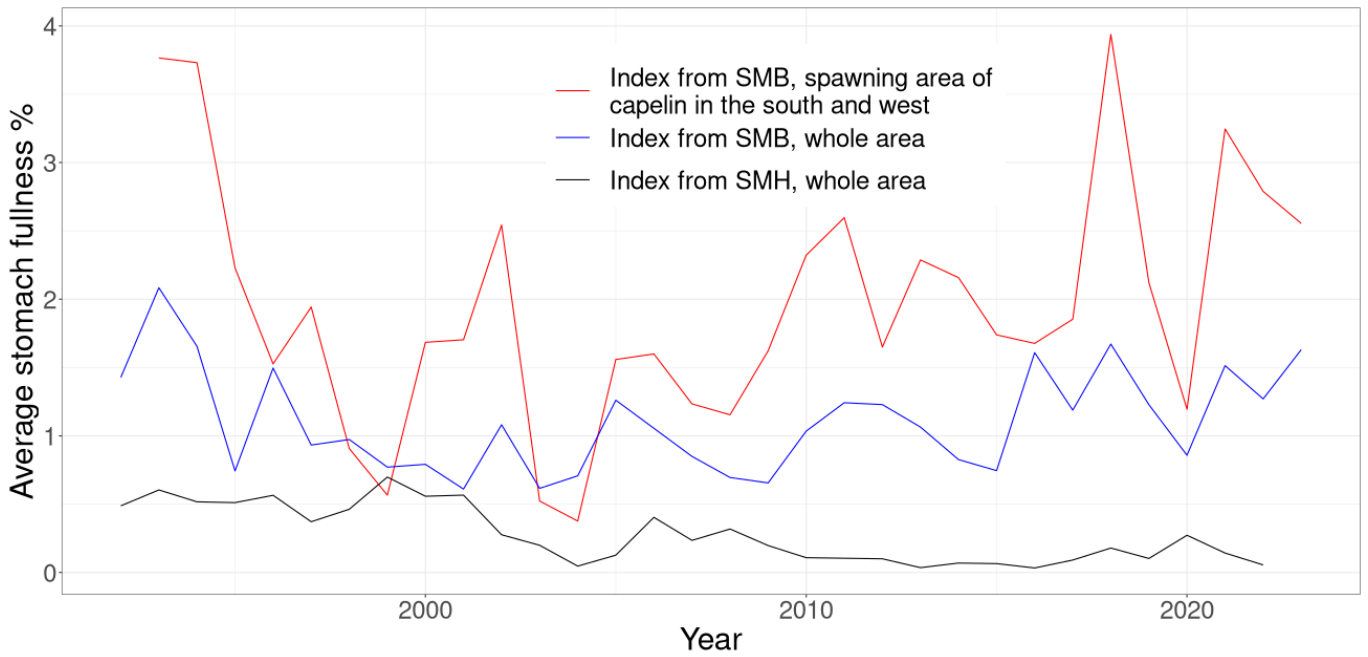
Sýnin sem var safnað af áhöfn togarans Páls Pálssonar frá 2001-2017 sýna loðnu í þorskmögum flesta mánuði ársins (7. mynd). Það er þekkt að hluti kynþroska loðnunnar verður eftir nálægt íslenska landgrunninu á sumrin (Vilhjálmsson, 1994; Pálsson, 1985). Þessar niðurstöður byggja á sýnatöku samhliða veiðum djúpt út af Vestfjörðum og staðfesta viðveru hluta loðnustofnsins á þeim slóðum stóran hluta ársins.



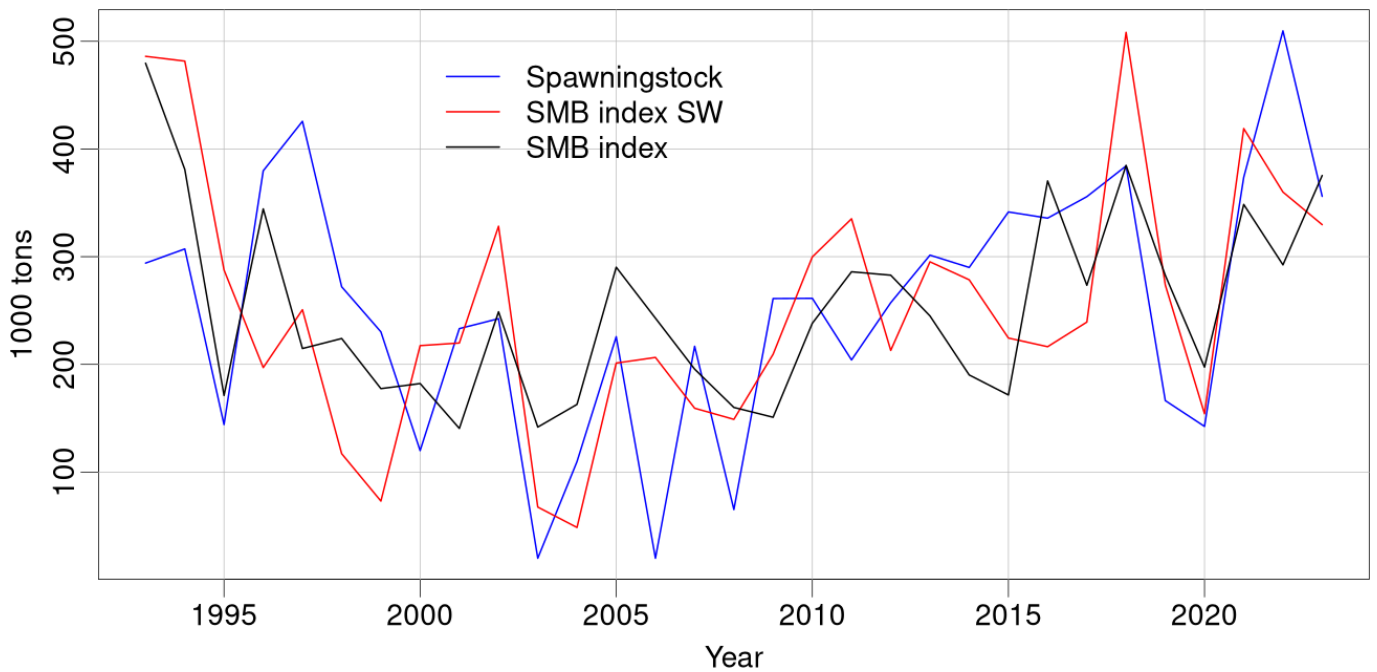
2. mynd. Loðna í þorskmögum í SMH árin 1996 til 2022. Myndin sýnir magafylli þ.e magn loðnu í maga sem prósent af þyngd þorsksins. Skalinn sýnir gildi vísitölunnar frá núlli (blár) yfir í mikið (rauður).



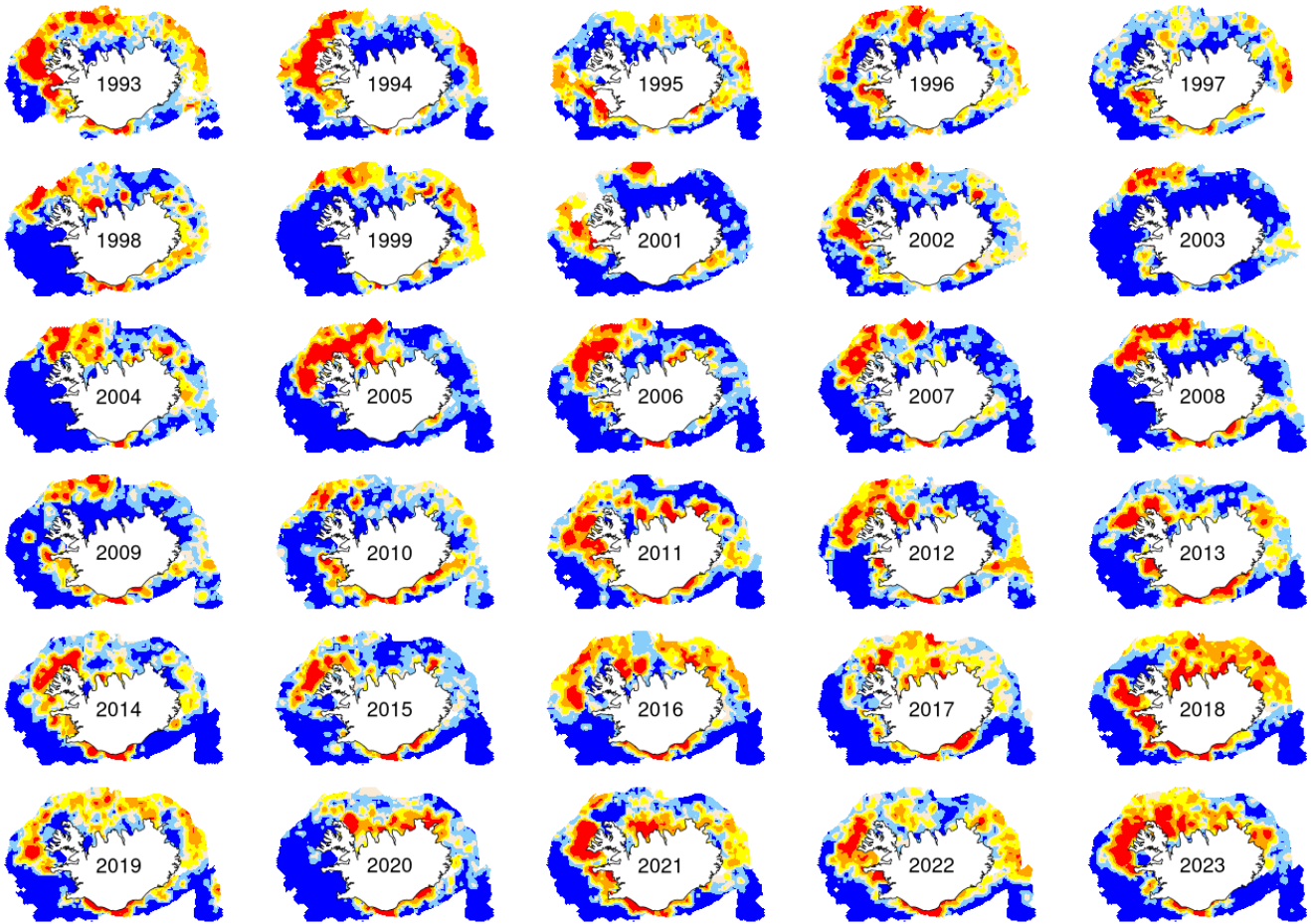
3. mynd. Meðalloðnumagn í þorskmögum í stofnmælingum botnfiska, vinstra megin SMH í október 1996-2022 og hægra megin SMB í mars 1993-2023. Myndin sýnir magafylli þ.e magn loðnu í maga sem prósent af þyngd þorsksins. Skalinn sýnir gildi vísitölunnar frá núlli (blár) yfir í mikið (rauður).



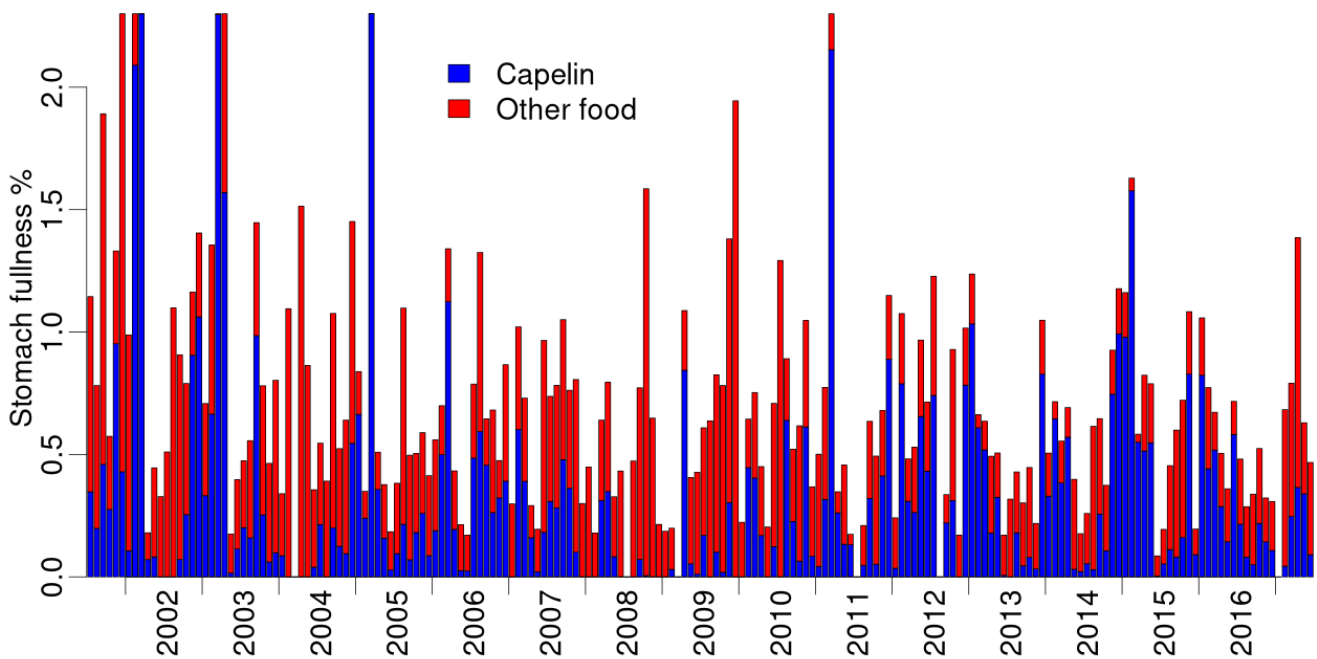
4. mynd. Vísitala á magn loðnu reiknuð sem meðalmagafylli 40-100 cm þorsks. Rauða línan sýnir meðalmagafylli þorsks í mars á hrygningarsvæði loðnu suður og vestur af Íslandi, bláa línan í mars yfir öll svæði saman og svarta línan öll svæði í október.



5. mynd. Metinn hrygningarstofn loðnu (blátt; ICES 2023), vísitala úr þorskmögum fyrir allt athugunarsvæði SMB (svart) og vísitala úr SMB fyrir hrygningarsvæði loðnu (rautt). Vísitölurnar frá SMB eru þær sömu og á mynd 4 en skalaðar til að hafa sama meðaltal og hrygningarstofninn og vera þannig samanburðarhæfar.



6. mynd. Loðna í þorskmögum í SMB árin 1993 til 2023. Myndin sýnir magafylli þ.e magn loðnu í maga sem prósent af þyngd þorsksins. Skalin sýnir gildi vísitölunnar frá núlli (blár) yfir í mikið (rauður).



7. mynd. Loðna og önnur fæða í sýnum teknum um borð í Páli Pálssyni eftir mánuðum og árum 2001-2017.

HEIMILDASKRÁ

Carscadden, J., Gjøsæter, H. and Vilhjálmsson, H. 2013. A comparison of recent changes in distribution of capelin in the Barents Sea, around Iceland and in the Northwest Atlantic. *Progress in Oceanography*, 114, 64-83.

Magnússon, K.G. and Pálsson Ó.K.P. 1989. Trophic ecological relationships of Icelandic cod. *Rapp. P. -v. Réun. Cons.int. Explor.Mer*, 188, 206-224.

Pálsson, Ó.K.P. 1985. Fæða þorsks á togaramiðum. *Sjómannaþið VÍkingur* bls 22-28.

Pálsson Ó.K.P and Björnsson H. 2009. Long-term changes in trophic patterns of Iceland cod and linkages to main prey stock sizes. *ICES Journal of Marine Science*, 68, 1488–1499.

Vilhjálmsson, H. 2001. Capelin (*Mallotus villosus*) in the Iceland-East Greenland-Jan-Mayen ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, 59, 870-883.

Vilhjálmsson, H. 1994. The Icelandic capelin stock. *Rit Fiskideildar*, 13, 281 pp.

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

Björnsson, H. (2023). Mikilvægi loðnu í fæðu þorsks á íslenska landgrunninu. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.P. Jónsson og G.J. Óskarsson (ritst.), *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*, Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 52-57).

10. Loðna (*Mallotus villosus*) og hnísa (*Phocoena phocoena*) – tengsl bráðar og afræninga á Íslandsmiðum

Christophe Pampoulie^{1,*}, Filipa I. P. Samarra^{1,2}, Asunción Borrell³, Anna Selbmann⁴, Sverrir D. Halldórson¹, Valérie Chosson¹, Haseeb S. Randhawa^{4,5,6}, Alexandre Paumier-Bianco^{1,4}, Alex Aguilar³, Guðjón M. Sigurðsson¹

¹Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður.

²Stofnun rannsóknasetra Háskóla Íslands, 900 Vestmannaeyjar.

³Department of Evolutionary Biology, Ecology and Environmental Sciences, and Institute of Biodiversity Research (IRBio), Faculty of Biology, University of Barcelona, 08028 Barcelona, Spain.

⁴Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Iceland, 102 Reykjavík.

⁵New Brunswick Museum, Saint John, NB, E2K 1E5, Canada.

⁶South Atlantic Environmental Research Institute, Stanley, FIQQ 1ZZ, Falkland Islands

Ágrip

Fæða hnísa á Íslandsmiðum var rannsökuð á árunum 1991–1997 þar sem byggt var á greiningum á magainnihaldi yfir 1000 dýra sem veiddust sem meðafli. Sú rannsókn benti til að loðna væri meginfæða seint að vetri til og fram á vor, en að sandsíli væri ráðandi í fæðunni á sumrin. Um 30 ár eru liðin síðan rannsóknin var gerð og því var talin þörf á að kanna hvort loðna væri enn jafn mikilvæg í fæðu hnísu, nú eftir breytingar sem hafa orðið á útbreiðslu og stofnstærð loðnu. Til að kanna þetta var beitt aðferð sem felur í sér greiningu stöðugra samsæta kolefnis (C) og köfnunarefnis (N) og sem getur gefið skjót svör um tengsl bráðar og afræningja. Hlutföll samsæta C og N í vefjum afræningja endurspeglu hlutföll í umhverfinu og í bráðinni sem þeir éta. Þessari aðferð var hér beitt á hluta vefjasýna sem safnað var í mars og apríl á árunum 1990-2000 annars vegar og hins vegar 2010-2020. Niðurstöðurnar sýndu að hlutföll stöðugra samsæta í fæðu hnísu eru á fremur þröngu bili, sem bendir til að fæðuval þeirra sé stöðugt og mjög fáar tegundir uppistaða fæðunnar (loðna, sandsíli og þorskfiskar). Bayesísk greining hlutfalla samsætu gagnanna staðfesti fyrri niðurstöður magagreininga, að loðna væri enn meginbráð hnísu. Nýlegar krufningar á hnísum sem veiddust sem meðafli í mars og apríl 2020 staðfesta þessar niðurstöður, fimm af sjö hnísumögum voru fullir af loðnu en hinir tveir tómir.

Lykilorð: magainnihald, stöðugar samsætur, samsetning fæðu, hnísa, loðna.

*Fyrirspurnum skal beina til: christophe.s.pampoulie@hafogvatn.is

Ítarlegt ágrip þetta er að hluta til byggt á greininni:

Samarra F. I. P., Borrell A., Selbmann A., Halldórsson S. D., Pampoulie C., Chosson V., Gunnlaugsson T., Sigurðsson G. M., and Víkingsson G., 2022. Insights into the trophic ecology of white-beaked dolphin (*Lagenorhynchus albirostris*) and harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in Iceland. *Marine Ecology Progress Series* 702, 139-152. DOI: 10.3354/meps14208

INNGANGUR

Hnísur (*Phocoena phocoena*) eru tannhvalir og jafnframt smæstir hvala í Norður-Atlantshafi, oftast 1.5 til 1.7 m að lengd, ná mest um 24 ára aldri og eru mikilvægur afræningi uppsjávarfiska. Fæða hnísu er breytileg eftir árstímum og svæðum. Samsetningu fæðu hnísu hefur verið lýst þannig að hún samanstandi mest af torfufiskum á við sandsíli (*Ammodytes marinus*), brisling (*Sprattus sprattus*), síld (*Clupea harengus*) og loðnu (*Mallotus villosus*). Á Íslandsmiðum hefur árlegt afrán hnísu á uppsjávarfiskum

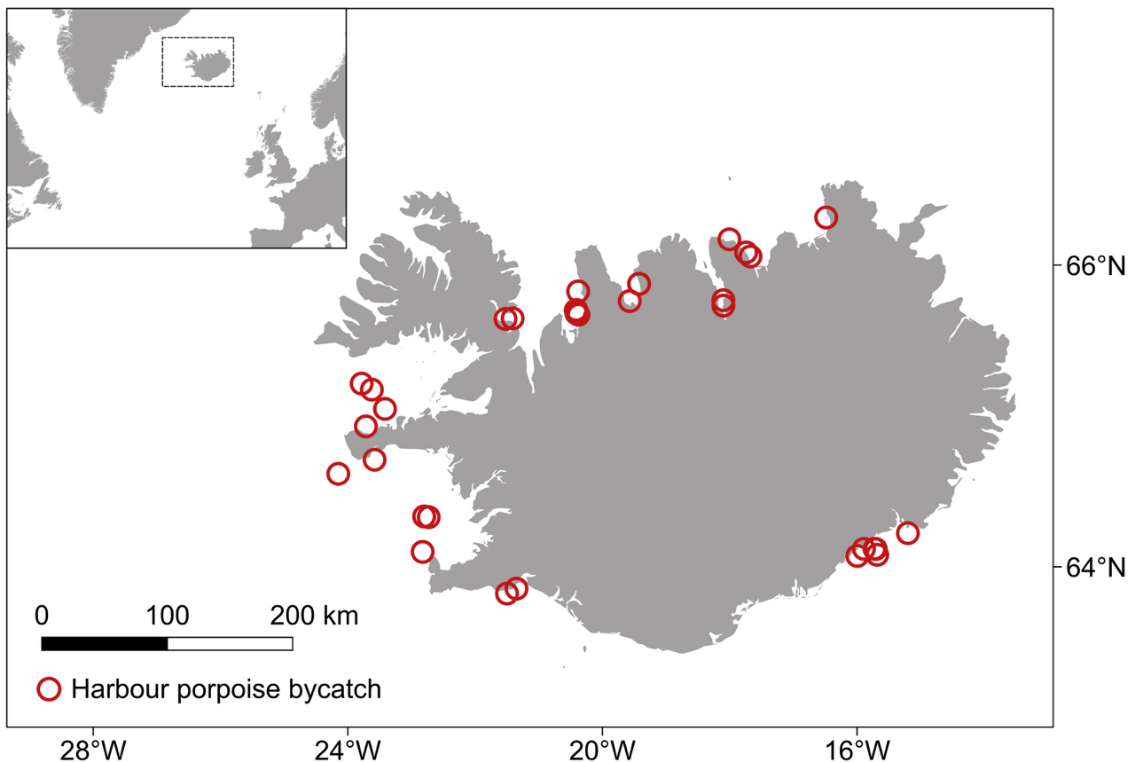
verið áætlað um 48 þúsund tonnum (Sigurjónsson og Víkingsson, 1997). Fæðusamsetningu hnísu sem veiddust sem meðafli í netaveiðum árin 1991–1997 við Ísland og byggir á greiningu magainnihalds, hefur verið lýst (Sigurjónsson og Víkingsson, 1997 og Víkingsson og fl., 2003). Í þessum greiningum sem byggja á meira en 1000 hnísumögum var loðna ráðandi bráð bæði síðla vetrar og að vorlagi en á sumrin var sandsíli yfirgnæfandi í fæðunni. Um 30 ár eru liðin síðan þessar rannsóknir voru gerðar sem var áður en breytingar urðu á útbreiðslu loðnu og stofnstærð hennar minnkaði

(Carscadden og fl., 2013). Því var talin þörf á að kanna hvort hnísa hefði breytt fæðuvali sínu síðla vetrar og að vorlagi í tengslum við minnkandi stofn loðnu á Íslandsmiðum (Carscadden og fl., 2013; Singh og fl., 2020). Til að leita svara við þessari spurningu var notast við mælingar á stöðugum samsætum og hlutföllum samsæta kolefnis (C) og köfnunarefnis (N) í vefjum 29 hnísa. Ef loðna væri enn mikilvæg bráð hnísa ættu hlutföll stöðugra samsæta í vefjasýnum að endurspegla hlutföll í umhverfinu og í loðnu. Ennfremur var magainnihaldi sjö einstaklinga sem veiddust sem meðafli í apríl 2020 í Faxaflóa safnað og það greint til samanburðar við niðurstöður úr samsætugreiningunni.

EFNI OG AÐFERÐIR

Sýnum úr hnísu var safnað 1992–1998 (n=11) og 2011–2019 (n=33) en aðeins reyndist unnt að greina stöðugar samsætur í vefjum 29 einstaklinga (sjá skýringar í Samarra og fl., 2022). Flestum sýnum var safnað í mars og apríl, á sama tíma og aðalvertíð með þorskanetum stendur yfir (1. mynd). Upplýsingar um söfnunarár, kyn dýrs og lengd voru skráðar í flestum tilfellum.

Aðferðum við greiningu stöðugra samsæta og tölfræðigreiningu niðurstaðna er lýst í Samarra og fl. (2022). Að auki var magainnihald úr 7 hnísum sem veiddust í Faxaflóa í apríl 2020 greint til bráðbirgða í tengslum við þessa rannsókn.



1. mynd. Staðsetningar hnísusýna (n = 29) til greininga á stöðugum samsætum 1992–2019

NIÐURSTÖÐUR

Mæligildi köfnunarefnissamsætu ($\delta^{15}\text{N}$) í vefjum hnísu voru á bilinu 11.35 til 14.57‰ ($12.65 \pm 0.74\%$, n=29), og fyrir kolefnissamsætu ($\delta^{13}\text{C}$) voru gildin á bilinu -20.37 til -17.64‰ ($-19.19 \pm 0.66\%$, n=29). Bæði niðurstöður um $\delta^{15}\text{N}$ (Shapiro-

Wilks-próf: $W=0.97$, $p=0.64$) og $\delta^{13}\text{C}$ (Shapiro-Wilks-próf: $W=0.98$, $p=0.84$) fylgdu normaldreifingu. Alhæft línulegt aðhvarf (GLM) sýndi ekki marktækan mun á $\delta^{15}\text{N}$ gildum fyrir breytur kyn, ár og lengd (GLM, $p>0.05$, 1. tafla). Eins hafði engin þessara breyta marktæk áhrif á gildi $\delta^{13}\text{C}$ (GLM, $p>0.05$, 1. tafla).

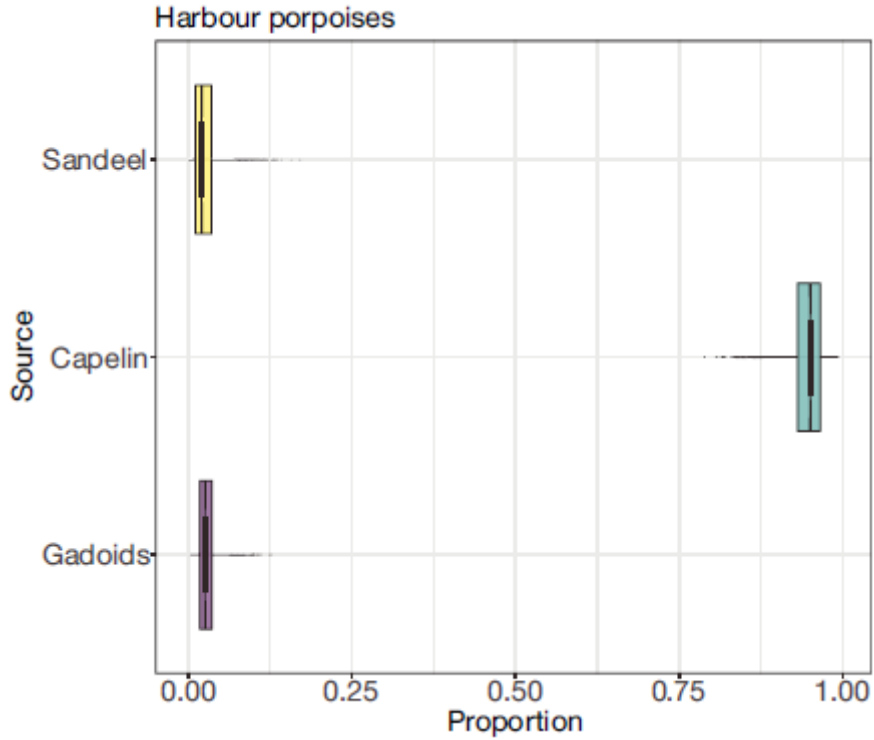
1. tafla. Niðurstöður alhæfðs línulegs aðhvarfs (GLM) um samband kyns, sýnatökuárs og lengdar við gildi stöðugra samsæta. SE: staðalskekka; t : t-próftala; p: p-gildi

	$\delta^{15}\text{N}$				$\delta^{13}\text{C}$			
	Estimate	SE	t	p	Estimate	SE	t	p
(Intercept)	-55.12	34.33	-1.61	0.13	14.99	23.35	0.64	0.53
Sex (males vs. females)	0.07	0.33	0.23	0.82	-0.42	0.23	-1.86	0.08
Year	0.03	0.02	1.92	0.07	-0.02	0.01	-1.34	0.20
Length	-0.02	0.03	-0.63	0.54	-0.008	0.02	-0.41	0.69

Bayesísk greining blandhlutfalla stöðugra samsæta sýndi að loðna var langmikilvægasta bráðin ($94.60 \pm 2.80\%$), en hvorki þorskfiskar ($2.80 \pm 1.50\%$) né sandsíli ($2.6 \pm 2.2\%$) lögðu mikið til í fæðu hnísunnar (2. mynd).

Þeirra greint. Bráðabirgðaniðurstöður sýna að allir magar nema tveir innihéldu mikið af loðnubeinagrindum og ýmsum kvörnum (3. mynd). Flestar kvarnir voru úr loðnu en fáeinar ýsu- og sílakvarnir fundust einnig (sjá 3. mynd).

Sjö hnísur sem veiddust sem meðafli í apríl 2020 í Faxaflóa voru krufnar á Hafrannsóknastofnu árið 2022 og magainnihald

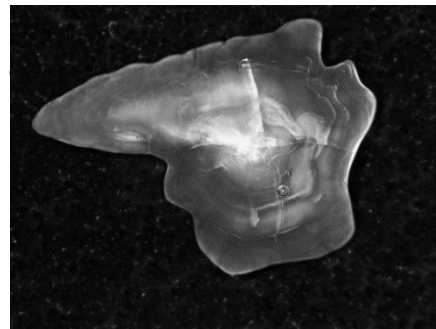


2. mynd. Bayesísk greining blandhlutfalla stöðugra samsæta (meðaltal, 25% og 75% hlutfallsmörk) í fæðu hnísu *Phocoena phocoena*. Meginfæðuhóparnir voru loðna (Capelin), sandsíli (Sandeel) og þorskfiskabráð (Gadoids) sem var slegið saman úr þorsk og ýsu.

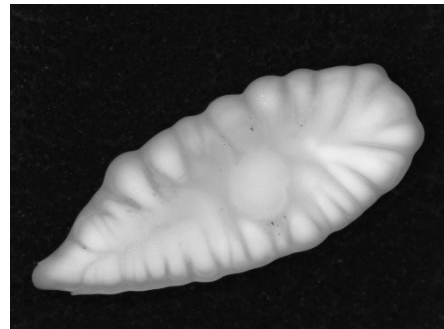
a)



b)



c)



3. mynd. Magasýni úr hnísu: a) loðnubeinagrindur, b) loðnukvörn, c) ýsukvörn.

UMRÆÐUR OG ÁLYKTANIR

Markmið þessarar rannsóknar var að meta hvort hnísa væri enn mikilvægur afræningi loðnu þrátt fyrir að stofnstærð þeirrar uppsjávarfisktegundar hafi minnkað (Carscadden og fl., 2013). Í fyrri rannsókn var fæða hnísu greind úr sýnum sem safnað var árin 1991–1997 (Víkingsson og fl., 2003), þ.e. samsetning fæðu hnísu hafði ekki verið könnuð í um það bil 30 ár. Af því að fæðugreiningar eru yfirleitt erfiðar í framkvæmd og tíma- og vinnuafslrekar var greiningu stöðugra samsæta beitt í þessari rannsókn. Niðurstöðurnar sýndu að hlutföll stöðugra samsæta í fæðu hnísu eru á fremur þröngu bili og að fæða þeirra er því fremur fábreytt í mars og apríl. Bayesíska blandhlutfallgreiningin staðfesti að loðna er enn mikilvægasta bráðin í fæðu hnísu á þessum árstíma þrátt fyrir breytingar í útbreiðslu og stofnstærð loðnu. Vefjasýnum til greiningar á hlutföllum stöðugra samsæta var safnað allt í kringum Ísland, sem bendir jafnframt til að hnísa hafi getað fundið loðnu á þessum árstíma allt umhverfis land. Efnaskiptahraði hnísu í náttúrunni er metinn vera á bilinu 7.8–31.0 MJ á dag, sem gefur til kynna mikið át og hraða upptöku fæðunnar (Rojano-Donāte og fl., 2018). Greining stöðugra samsæta í þessari rannsókn er talin endurspegla át og næringarefnaupptöku úr fæðu síðustu 7 til 30 daga áður en dýrið veiddist (Rojano-Donāte og fl., 2018). Að lokum má álykta að þrátt fyrir langan tíma á milli rannsóknanna tveggja (Víkingsson og fl., 2003; Samarra og fl., 2022), og breytingar á útbreiðslu og stofnstærð loðnu, staðfesti þessi rannsókn yfirgnæfandi mikilvægi loðnu í fæðu hnísu í mars- og apríl. Því hefur hnísa ekki breytt fæðuvali sínu síðustu 30 ár og er áfram háð því að loðna sé aðgengileg sem bráð.

ÞAKKIR

Þessi rannsókn er tileinkuð samstarfsbróður okkar, læriföður og vini, Gísla Arnóri Víkingssyni, sem féll frá á síðasta ári.

HEIMILDASKRÁ

Carscadden, J. E., Gjosæter, H., & Vilhjálmsson, H. (2013). A comparison of recent changes in distribution of capelin (*Mallotus villosus*) in the Barents Sea, around Iceland and in Northwest Atlantic. *Progress in Oceanography*, 114, 64–83.

Rojano-Donāte, L., McDonald, B. I., Wisniewska, D. M., Johnson, M., Teilmann, J., Wahlberg, M., Højer-Kristensen, J., & Madsen, P. T. (2018). High field metabolic rates of wild harbour porpoises. *Journal of Experimental Biology*, 221(23). <https://doi.org/10.1242/jeb.185827>

Samarra, F. I. P., Borrell, A., Selbmann, A., Halldórson, S. D., Pampoulie, C., Chosson, V., Gunnlaugsson, T., Sigurðsson, G. M., Aguilar, A., & Víkingsson, G. A. (2022). Insights into the trophic ecology of white-beaked dolphins *Lagenorhynchus albirostris* and harbour porpoises *Phocoena phocoena* in Iceland. *Marine Ecology Progress Series*, 702, 139–152. <https://doi.org/10.3354/meps14208>

Sigurjónsson, J., & Víkingsson, G. A. (1997). Seasonal Abundance of and Estimated Food Consumption by

Cetaceans in Icelandic and Adjacent Waters. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 22, 271–287.

Singh, W., Bárðarson, B., Jónsson, S., Elvarsson, B., & Pampoulie, C. (2020). When logbooks show the path: Analyzing the route and timing of capelin (*Mallotus villosus*) migration over a quarter century using catch data. *Fisheries Research*, 230, 105653. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105653>

Víkingsson G, Ólafsdóttir D, & Sigurjónsson J. (2003). Geographical, and seasonal variation in the diet of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in Icelandic coastal waters. *NAMMCO Scientific Publications*, 5, 243–270.

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

Pampoulie, C., Samarra, F.I.P., Borrell, A., Selbmann, A., Halldórsson, S. D., Chosson, V., Randhawa, H.S., Paumier-Bianco, A., Aguilar, A., & Sigurðsson G.M. (2023). Loðna (*Mallotus villosus*) og hnísa (*Phocoena phocoena*) – tengsl bráðar og afræninga á Íslandsmiðum. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.Þ. Jónsson og G.J. Óskarsson (ritst.), *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*, Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 58-61)

11. Samband útbreiðslu hvala og loðnu við Austur-Grænland að hausti

Guðjón Már Sigurðsson*¹, Gísli Víkingsson^{1(†)}, Warsha Singh¹, Teunis Jansen²

¹Hafnansóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður.

²Greenland Institute of Natural Resources, Kivioq 2, 3900 Nuuk, Grænlandi

Ágrip

Hvalir voru taldir í loðnuleiðöngrum að hausti 2017 og 2018. Markmið talninganna var að kanna skörun á útbreiðslu hvala (eftir hópum og tegundum) og loðnu. Í heildina voru 205 hvalir af sjö tegundum taldir árið 2017 en 1295 hvalir af átta tegundum árið 2018. Bæði árin var hnúfubakur (*Megaloptera novaanglea*) algengasta tegundin sem sást. Tegundunum var skipt upp í tvo hópa, skíðishvali og tannhvali fyrir greiningu gagna. Fjöldi hvala og magn loðnu var reiknað fyrir hvern smáreit (0.5° x 1°) og voru þau gildi notuð fyrir tölfræðigreiningu. Marktækt meiri fjöldi hvala úr báðum hópum, skíðishvala og tannhvala, var að finna í reitum þar sem loðnu var að finna en sambandið var sterkara hjá skíðishvölum. Eins sýndi alhæfð viðbættin aðhvarfsgreining (e. Generalized Additive Model) veikt en marktækt samband (11% af dreifni gagnanna útskýrð) milli heildarfjöldi hvala og magns loðnu. Frekari greining á tveimur algengustu hvalategundunum, hnúfubak og hrefnu, sýndi mun sterkara samband (49% af dreifni gagnanna útskýrð hjá hrefnu, 27% hjá hnúfubak).

Lykilorð: hvalir, loðna, vistfræðilegur sess

*Fyrirspurnum skal beina til: guðjon.sigurdsson@hafogvatn.is

† Gísli Víkingsson varð bráðkvaddur 18. júlí 2022.

INNGANGUR

Á hafsvæðunum milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen er loðna (*Mallotus villosus*) ein af lykiltegundunum í vistkerfinu, og mikilvæg fæða fyrir helstu tegundir botnfiska, sjávarspendýr og fugla á þessu svæði. Þrátt fyrir þetta mikilvægi er tiltölulega lítið vitað um samband loðnu og hvala, og á þetta sérstaklega við um samband hnúfubaka (*Megaloptera novaanglea*) og loðnu. Rannsóknir byggðar á magainnihaldi hvala veiddum við landið hafa sýnt að langreyðar (*Balaenoptera physalus*) og hrefnur (*B. acutorostrata*) éta töluvert magn af loðnu hluta ársins (Sigurjónsson og Víkingsson, 1997) Eins sýna niðurstöður að hnúfubakar finnast í miklu magni á veiðislóð loðnu á vetrarvertíðinni (Basran og Rasmussen, 2021). Stofnstærð hnúfubaka á Íslandsmiðum hefur aukist mikið á síðustu árum, frá innan við 2000 dýrum í fyrstu talningum árið 1987, upp í u.þ.b. 5000 dýr árið 2001 og svo yfir 10 000 dýr í talningum árið 2015 (Pike og fl. 2009; Pike og fl. 2019). Vegna þessara breytinga á stofnstærð er mikilvægt að rannsaka samband loðnu og hnúfubaka (auk annarra hvalategunda). Það er ekki síður mikilvægt vegna þess að útbreiðsla loðnu hefur breyst töluvert síðustu 20 ár, en sumarútbreiðsla loðnu hefur færst frá svæðinu norður af Íslandi til Austur-Grænlands (Vilhjálmsson 2007; Cascadden og fl. 2013).

Markmið þessarar rannsóknar var að meta fjölda hvala á fæðuslóð loðnu að hausti, þegar loðnu er aðallega að finna við Austur-Grænland og kanna hvort samband sé á milli magns loðnu og fjölda hvala eftir hópum og tegundum.

EFNI OG AÐFERÐIR

Magn loðnu og hvala var metið í loðnuleiðöngrum að hausti á þremur skipum árin 2017 og 2018. Rannsóknaskipin Árni Friðriksson og Bjarni Sæmundsson voru notuð bæði árin, en uppsjávarfiskiskipið EROS var einnig notað árið 2018. Magn loðnu var mælt með kvörðuðum bergmálstækjum um borð í skipunum þremur á hefðbundinn hátt.

Hvalir voru taldir á tveimur sjálfstæðum pöllum á rannsóknaskipunum tveimur, og var ekkert samband haft milli pallanna tveggja til að tryggja sjálfstæðar óháðar mælingar. Á EROS var einn útsýnispallur notaður, við brú skipsins og því um eina mælingu að ræða.

Þegar veður leyfði voru tveir talningarmenn á hverjum palli á vakt. Talningarmenn unnu í teymum, og voru vanalega á sama palli allan leiðangurinn. Sjónaukar voru notaðir til að greina hvali til tegunda, og til að meta fjarlægð frá skipi. Talningar fóru fram þegar veður leyfði, eða allt upp í stig 5 á Beaufort kvarðanum eða þegar skyggni varð minna en 500 m (sjá frekari

lýsingu á aðferðum í Pike og fl. 2019). Talningarmenn voru á vakt á meðan dagsljóss gætti og veður leyfði.

Nokkur óvissa var í tegundagreiningum, en fyrir greiningu gagna var besta ágiskun notuð. Fjöldi hvala var metinn eftir hópum (tannhvalir og skíðishvalir) og tegundum. Fjöldi hvala og magn loðnu var reiknaður á hvern smáreit (0.5° x 1° breiddargráða og lengdargráða) til að nota í tölfræðigreiningu. Hlutfall fjölda hvala sem voru í reitum þar sem loðna fannst var borið saman við fjölda reita þar sem loðna fannst með Z-prófi. Núlltilgátan var að dreifing hvala væri óháð útbreiðslu loðnu. Fyrir frekari greiningu var notast við alhæfða viðbættna aðhvarfsgreiningu (e. Generalized Additive Model, GAM) með poisson dreifingu og log-link samband, þar sem magn loðnu var notað sem skýribreyta fyrir fjölda hvala. Sambærileg greining var síðan gerð sérstaklega fyrir tvær algengustu tegundir hvala (hnúfubak og hrefnu). Allar tölfræðigreiningar voru gerðar í R (R Developmental Core Team 2021).

NIÐURSTÖÐUR

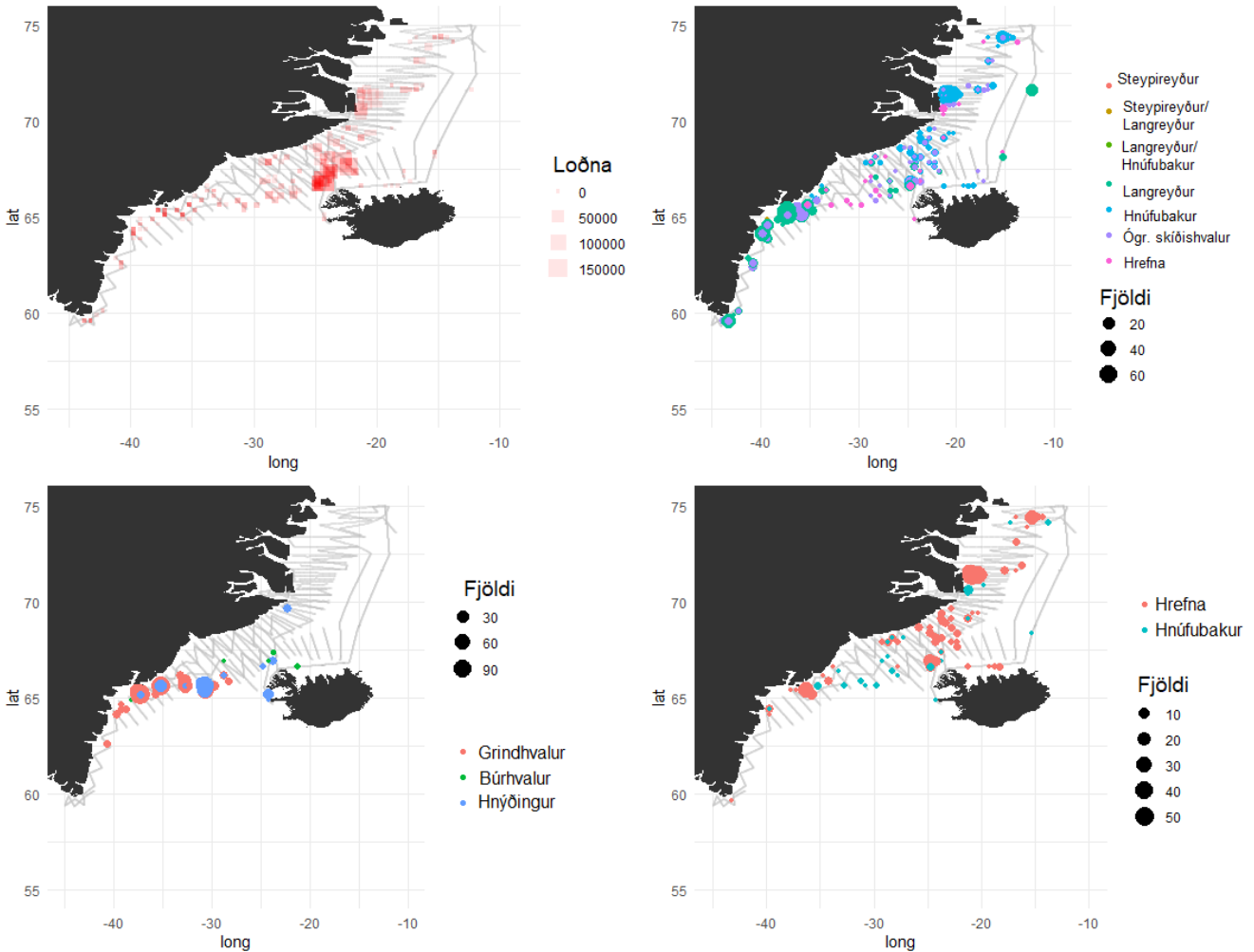
Í heildina voru 205 hvalir af sjö tegundum taldir árið 2017 en 1295 hvalir af átta tegundum árið 2018. Bæði árin var hnúfubakur algengasta tegundin sem sást. Hvalir sáust í 131

smáreitum af þeim 678 reitum þar sem leitað var af hvólum þessi tvö ár (1. mynd efri röð til vinstri). Skíðishvalir sáust í fleiri reitum (1. mynd efri röð til hægri, 121 reitir) heldur en tannhvalir (1. mynd neðri röð til vinstri, 30 reitir). Loðna fannst í 73 af 678 reitum, eða 11% reita. Hvalir sáust marktækt meira í þessum 73 reitum í samanburði við handahófskennda dreifingu, en 47% hvala sem sáust voru í reitum þar sem loðna var til staðar ($X^2 = 2822, p < 0.0001$). Þetta hlutfall var hærra hjá skíðishvólum (39% í loðnureitum) ($X^2 = 975, p < 0.0001$) heldur en hjá tannhvólum (24% í loðnureitum) ($X^2 = 142, p < 0.0001$). Þessi munur milli hópa var aðallega vegna hnúfubaka og hrefna, en 71% hnúfubaka ($X^2 = 1562, p < 0.0001$) og 69% hrefna ($X^2 = 158, p < 0.0001$) sáust í loðnureitum, í samanburði við 14% langreyða ($X^2 = 5, p = 0.02$) og 0% steypireyða (Tafla 1).

Þetta samband milli magns loðnu og fjölda hvala var kannað frekar með alhæfðri viðbættni aðhvarfsgreiningu (GAM). Í heild útskýrði magn loðnu 11% dreifni í hvalagögnunum ($p < 0.001$), en þetta samband var mun sterkara þegar tvær algengustu tegundirnar, hrefna og hnúfubakur, voru skoðaðar sér. Hjá hrefnu útskýrði magn loðnu 49% dreifni í gögnunum og hjá hnúfubak 27%.

Tafla 1. Fjöldi hvala eftir tegundum sem sáust í rannsókninni, og hlutfall þeirra sem sáust í loðnu reitum.

Tegund	Fjöldi	Hlutfall í loðnureitum
Hnúfubakur	427	71%
Hrefna	48	69%
Langreyður	592	14%
Steypireyður	11	0%
Aðrir/ógreindir	235	36%
Allir skíðishvalir	1313	38%
Hnýðingur	245	42%
Grindhvalur	560	16%
Búrhvalur	19	37%
Allir tannhvalir	824	24%



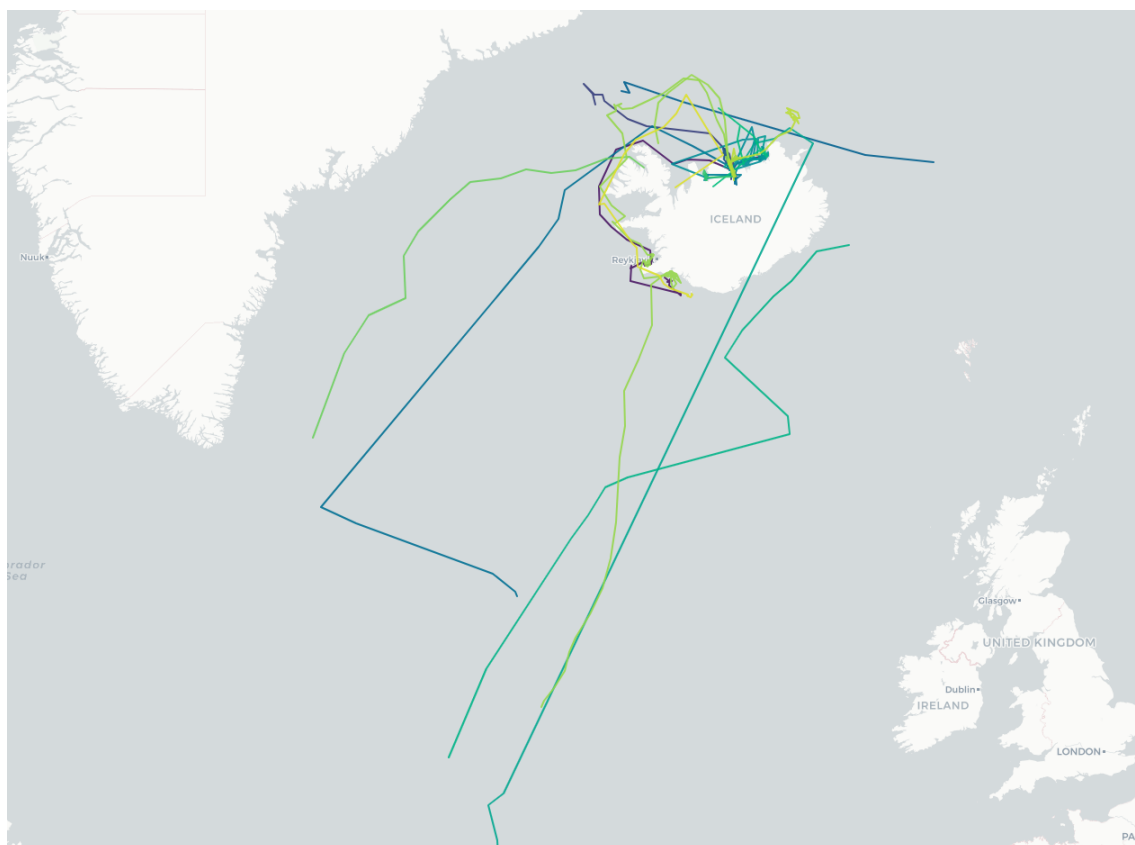
1. mynd. Kort sem sýnir magn loðnu (efri röð til vinstri), fjölda skíðishvala (efri röð til hægri), fjölda tannhvala (neðri röð til vinstri), og fjölda hnúfubaka og hrefnu (neðri röð til hægri). Leiðarlínur leiðangra eru sýndar með gráum línum.

UMRÆÐUR OG LOKAORÐ

Ljóst er af niðurstöðunum að samband er á milli útbreiðslu loðnu og hvala, þar sem hlutfallslega fleiri hvalir sáust í reitum þar sem loðna var til staðar. Þetta samband var sterkast hjá tegundum sem eru þekktar fyrir að éta loðnu, hnúfubak og hrefnu, en einnig hjá hnýðingum. Þetta samband var veikara hjá langreyðum, sem er í samræmi við sýnatöku úr veiddum dýrum sem hefur leitt í ljós að þær éta að miklu leyti sviflæg krabbadýr (Víkingsson 1997).

Í framhaldi af þessum rannsóknum þarf að tengja þessar niðurstöður við greiningu á stöðugum samsætum úr hnúfubökum, sem eru í vinnslu, til að staðfesta að hversu

miklu leyti þeir éta loðnu. Nýleg grein byggð á greiningum á stöðugum samsætum sýnir að hnýðingar éta loðnu, en kjósi þó frekar þorskfiska, á meðan hnísur éta aðallega loðnu (Samarra og fl. 2022, Grein 10 í þessu riti). Merkingar á hnúfubökum með gervihnattamerkjum getur gefið okkur frekari upplýsingar um samband útbreiðslu loðnu og hnúfubaka. Átján hnúfubakar voru merktir við Norðurland, í Faxaflóa, og í Ísafjarðardjúpi að hausti og vetri (október-febrúar) á árunum 2008-2015 (2. mynd). Sum þessara merktu dýra, sérstaklega þau sem voru merkt við Norðurland, virðast stefna á loðnuslóðir í norðvestri, en þetta þarfnast frekari greininga.



2. mynd. Ferlar 18 hnúfubaka sem voru merktir með gervihnattamerkjum í þessu verkefni. Þessir hvalir voru merktir við Norðurland, í Ísafjarðardjúpi, í Faxaflóa, og við Austurland að hausti og vetri (október-febrúar) árin 2008-2015.

HEIMILDIR

Basran, C. J., & Rasmussen, M. H. (2021). Fishers and whales in Iceland: Details of whale interactions with fishing gear from the fishers' perspective, with focus on humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Journal of Cetacean Research and Management*, 22(1), 111-128.

Carscadden, J. E., Gjøsæter, H., and Vilhjálmsson, H. 2013. A comparison of recent changes in distribution of capelin (*Mallotus villosus*) in the Barents Sea, around Iceland and in the Northwest Atlantic. *Progress in Oceanography*, 114, 64–83.

Heide-Jørgensen, M. P., Chambault, P., Jansen, T., Gjelstrup, C. V. B., Rosing-Asvid, A., Macrander, A., Víkingsson, G., Zhang, X., Andresen, C. S., & MacKenzie, B. R. (2022). A regime shift in the Southeast Greenland marine ecosystem. *Global Change Biology*, 29, 668–685. <https://doi.org/10.1111/gcb.16494>

Pike, D. G., Gunnlaugsson, T., Mikkelsen, B., Halldórsson, S. D., & Víkingsson, G. (2019). Estimates of the Abundance of Cetaceans in the Central North Atlantic based on the NASS Icelandic and Faroese Shipboard Surveys Conducted in 2015. *NAMMCO Scientific Publications*, 11. <https://doi.org/10.7557/3.4941>

Pike, D. G., Paxton, C. G., Gunnlaugsson, T., & Víkingsson, G. A. (2009). Trends in the distribution and abundance of cetaceans from aerial surveys in Icelandic coastal waters, 1986-2001. *NAMMCO Scientific Publications*, 7, 117–142. <https://doi.org/10.7557/3.2710>

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Samarra F.I.P., Borrell A., Selbmann A., Halldórson S.D., Pampoulie, C., Chosson, V., Gunnlaugsson, Th., Sigurðsson, G.M., Aguilar, A. & Víkingsson, G.A. (2022) Insights into the trophic ecology of white-beaked dolphins *Lagenorhynchus albirostris* and harbour porpoises *Phocoena phocoena* in Iceland. *Marine Ecology Progress Series*, 702, 139-152. <https://doi.org/10.3354/meps14208>

Sigurjónsson, J., & Víkingsson, G. A. (1997). Seasonal abundance of and estimated food consumption by cetaceans in Icelandic and adjacent waters. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 22, 271-287

Vilhjálmsson, H. (2007). Impact of changes in natural conditions on ocean resources. In *Law, Science & Ocean Management*, 11,225-269. Brill Nijhoff. doi: 10.1163/ej.9789004162556.i-0.59

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

Sigurðsson, G.M., Víkingsson, G.A., Singh, W., Jansen, T. (2023). Samband útbreiðslu hvala og loðnu við Austur-Grænland að hausti. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.P. Jónsson og G.J. Óskarsson (ritst.), *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*, Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 62-65)

12. Sannprófun kynþroskagreininga á loðnu (*Mallotus villosus*)

Sigurvin Bjarnason*, Birkir Bárðarson, Svanhildur Egilsdóttir og Guðmundur J. Óskarsson

Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður

Ágrip

Mat á stærð veiðistofns og veiðiráðgjöf einskorðast við kynþroska loðnu og rétt ákvörðun á kynþroska er því mikilvæg. Haustmælingar á stærð loðnustofnsins hafa færest frá október/nóvember fram í september vegna breytinga á fæðuslóðum og fari loðnunnar. Við þessa tilfærslu hefur reynst erfiðara að greina hvort loðna muni hrygna á komandi vetri eða ekki. Í þessari rannsókn voru hefðbundnar sjónrænar kynþroskagreiningar (e. macroscopic) því sannprófaðar með vefjasýnaskoðun (e. microscopic) kynkirtla á loðnu úr haustleiðöngrum (2015-2018) og ákvarðað hvort og þá hvar væri þörf á endurbótum á hefðbundnum kynþroskagreiningum. Niðurstöður sýndu að greining kynþroskastiga I-III voru áreiðanlegastar (>83% samræmi), þar sem kynþroskastig III hafði mestu samsvörun (88.2%). Tölfræðiþróf sýndu ekki fram á marktækan mun á milli aðferðanna tveggja, sem rennir stoðum undir áframhaldandi notkun hefðbundinna kynþroskagreininga á loðnu í haustleiðangri. Ósamræmi milli kynþroskagreininga kom fram í 17.3% tilfella. Ósamræmi milli ókynþroska (stig I og II) og snemmkynþroska (stig III) loðnu, sem skiptir mestu máli þegar kemur að stofnmati, leiddi til 1.3% vanmats á magni kynþroska loðnu. Ósamræmi eftir mismunandi lengdarhópum sýndi að 14-15 cm loðnur reyndust erfiðastar í kynþroskagreiningu en mat á lengd við 50% kynþroska (L_{50}) féll á þá lengdarhópa með báðum greiningaraðferðum. Lagt er til að safnað verði vefjasýnum af þessu lengdarbili í leiðöngrum framtíðar til þess að auka áreiðnleika kynþroskamats.

Lykilorð: loðna, *Mallotus villosus*, capelin, kynþroski, kynþroskagreining, vefjafærði, kynþroskahlutfall, stofnmat

*Fyrirspurnum skal beina til: sigurvin.bjarnason@hafogvatn.is

Ítarlegt ágrip byggt á útgefinni tækniskýrslu:

Bjarnason S, Bárðason B, Óskarsson GJ, Egilsdóttir S. (2019). Verification of macroscopic maturity staging in Iceland-East Greenland-Jan Mayen capelin (*Mallotus villosus*). HV 2019-32

INNGANGUR

Hefðbundin kynþroskagreining fiska felst í sjónrænni skoðun (e. macroscopic) kynkirtla (West, 1990). Slík kynþroskagreining getur þó verið óáreiðanleg ef hún byggir á óskýru og jafnvel huglægu mati á stærð, lögum og lit kynkirtla sem lýsir ekki endilega frumþroska sem hefur átt sér stað (Vitale og fl., 2006; Costa, 2009). Þrátt fyrir þessar takmarkanir er sjónræn skoðun kynkirtla algengasta aðferðin til þess að ákvarða kynþroska fiska þar sem hún er bæði fljótleg og ódýr. Vefjasýnaskoðun (e. microscopic) kynkirtla er aftur á móti talin áreiðnlegasta aðferðin þar sem hún byggir á greiningum á skilgreindum þroskastigum fruma og gefur því möguleika á að greina milli kynþroska og ókynþroska fiska með mikilli nákvæmni (West, 1990; Vitale og fl., 2006). Helsti ókostur vefjasýnaskoðunar er að hún er tímafrek og kostnaðarsöm.

Ákvörðun kynþroskahlutfalls er mikilvægt við mat á stærð hrygningarstofns loðnu. Loðnuveiðar beinast aðeins að kynþroska hluta stofnsins þegar hann er á leið til hrygningar eða hrygnandi. Þar af leiðandi er nauðsynlegt að geta greint á milli kynþroska og ókynþroska loðnu í loðnuleiðöngrum. Röng ákvörðun kynþroska í haustleiðangri getur leitt til skekkju í stofnmati og því ónákvæmari veiðiráðgjafar. Markmið þessarar rannsóknar var að meta nákvæmni og áreiðnleika hefðbundnar kynþroskagreiningar með sjónrænni skoðun kynkirtla með samanburði við vefjasýnaskoðun. Jafnframt að meta hvort og þá hvar væri þörf á endurbótum á hefðbundnu aðferðinni.

EFNI OG AÐFERÐIR

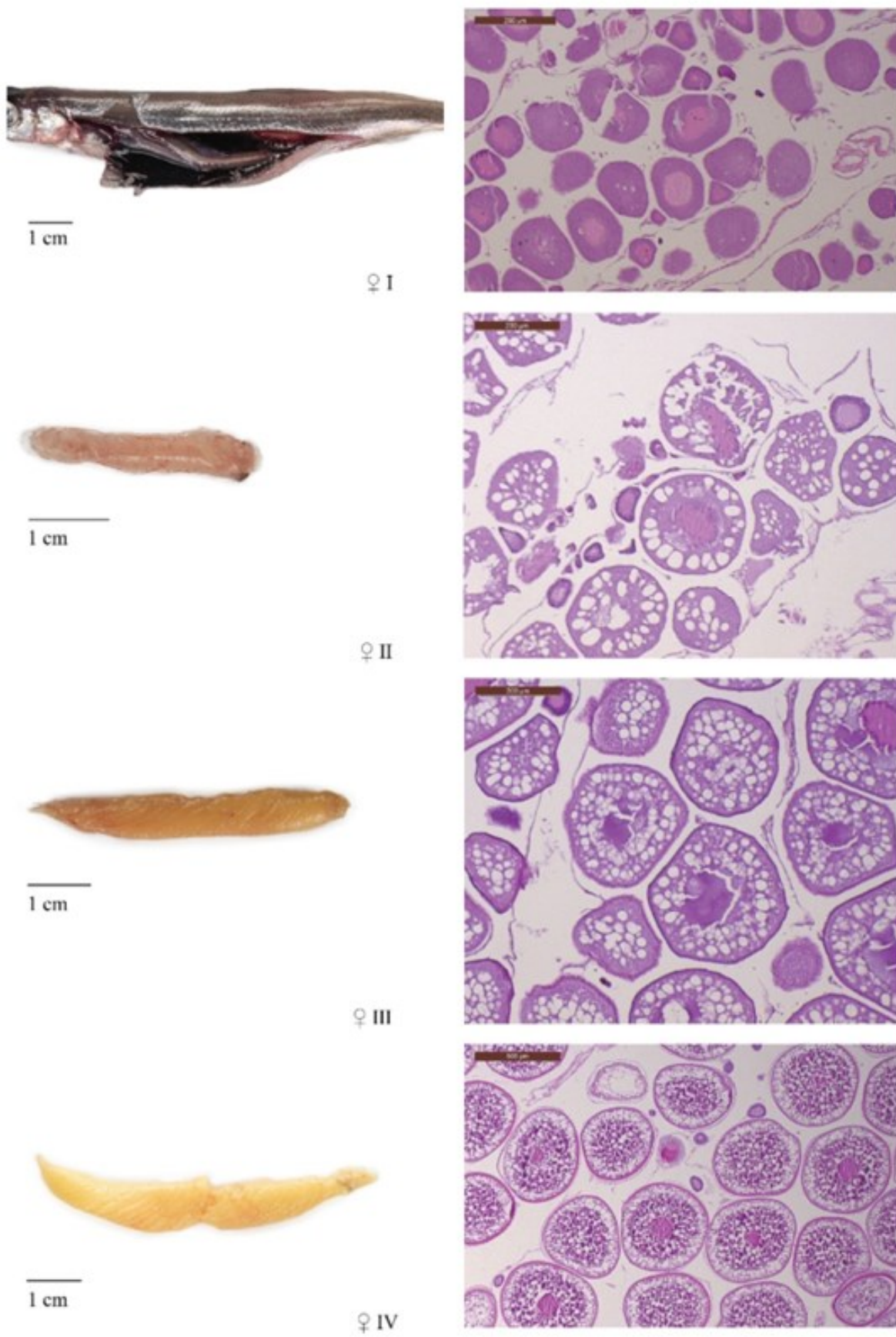
Sýnasöfnun kynkirtla fór fram í haustmælingu loðnu á árunum 2015-2018. Alls var 156 kynkirtlum safnað og þeir greindir með hefðbundinni kynþroskagreiningu um borð í rannsóknaskipi áður en þeir voru varðveittir í 4% formalíni fyrir vefjasýnaskoðun. Hefðbundinn kynþroskastigslykill loðnu inniheldur átta kynþroskastig (Forberg, 1982). Ókynþroska loðna telst vera á kynþroskastigi I og II en stig III og yfir eru kynþroska. Þessi rannsókn snýr að greiningum á stigum I-IV þar sem þau voru langalgengust (98%) í haustleiðöngrunum.

Vefjasýnin voru undirbúin á hefðbundinn hátt á rannsóknastofu og sneiðar greindar í smásjá. Bygging og eiginleikar fruma voru notaðir til þess að greina kynkirtla á mismunandi kynþroskastig. Hrygnur voru greindar eftir breytingum í eggfrumum svo sem þroska eggjagulu og myndun barkablaðra (e. cortical alveoli) í samræmi við

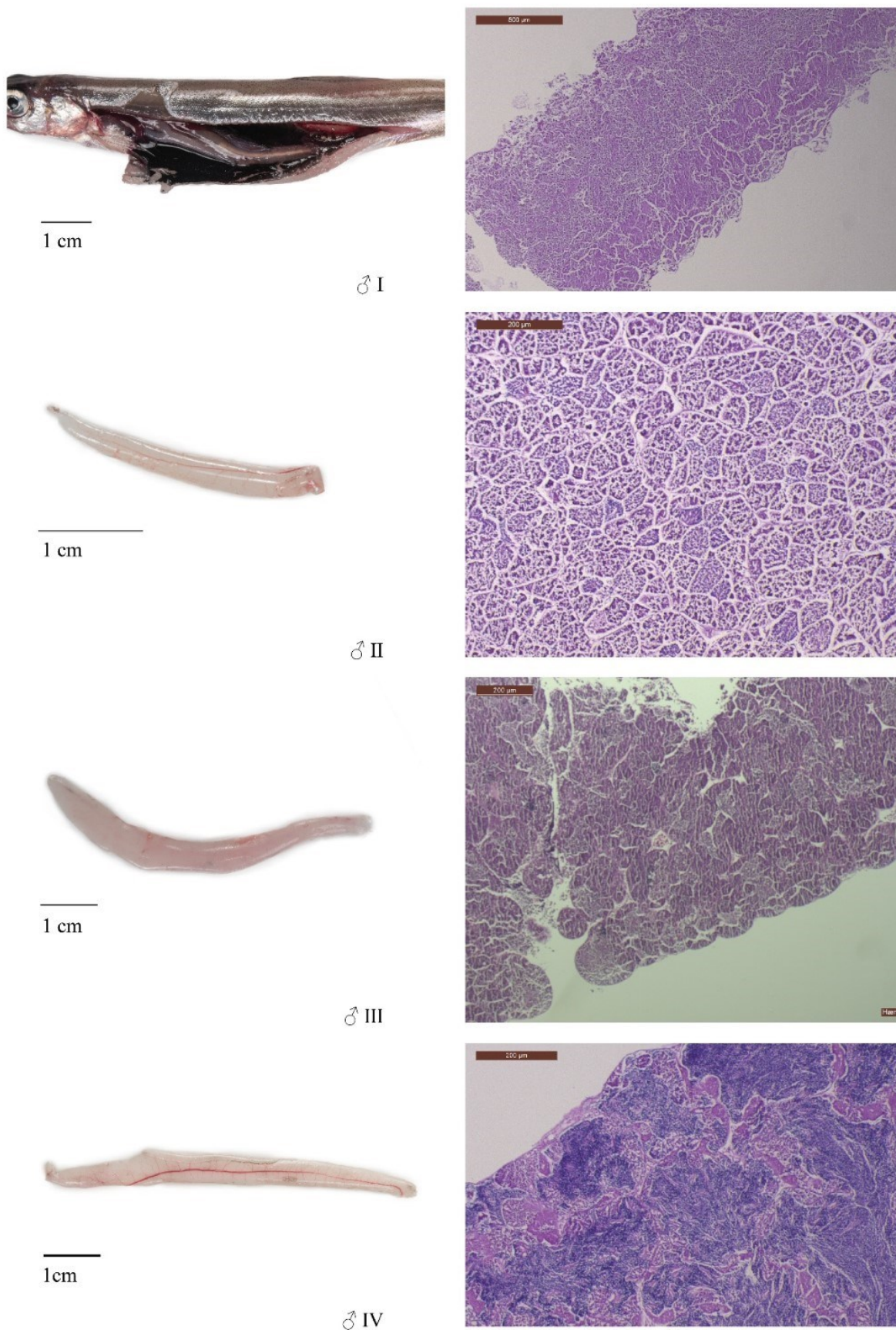
Forberg (1982, 1983) (1. mynd). Hængar voru greindir eftir fjölda og vexti mismunandi sæðismyndandi frumna (e. spermatogonia, spermatocytes og spermatozoa) (Flynn og Burton, 2003) (2. mynd).

Ósamræmi við sjónræna skoðun kynkirtla var reiknuð sem prósentufrávik frá vefjasýnaskoðuninni. Ósamræmi í kynþroskagreiningu var metið eftir kynþroskastigum og lengdarhópum. Óháð tölfræðilegt próf (t-próf) var notað til þess að meta hvort marktækur munur væri á greiningaraðferðum. Til þess að meta hvort nákvæmni í kynþroskagreiningum væri háð lengd fiska, var sýnum skipt í sex lengdarhópa (tafla á 3. mynd).

Lengd við 50% kynþroska (L_{50}) var metin, en það er sú lengd þar sem helmingur fiska er metinn vera kynþroska. Til þess voru gögnin metin með tvíkosta aðhvarfsgreiningu (Magallanes, 2016).



1. mynd. Kynkirtlar (stig I-IV) loðnuhrygna sýndir með hefðbundinni sjónrænni skoðun (til vinstri) og vefjasýnaskoðun (til hægri)



2. mynd. Kynkirtlar (stig I-IV) loðnuhænga sýndir með hefðbundinni sjónrænni skoðun (til vinstri) og vefjasýnaskoðun (til hægri)

NIÐURSTÖÐUR

Samanburður hefðbundinnar sjónrænnar skoðunar og vefjasýnaskoðunar leiddi í ljós að kynþroskastig I-III voru oftast greind rétt (>83%) (Tafla 1). Ósamræmi milli greininga á kynþroskastigi II var 16.3% og 11.8% fyrir stig III. Hæsta samsvörun sjónrænnar- og vefjasýnaskoðunar var á kynþroskastigi III (88.2%) sem var einnig algengasti hópurinn í sýnunum. Hafa ber í huga að mat samsvörunar á kynþroskastigum I og IV eru byggð á tiltölulega fáum sýnum.

Ósamræmi milli kynþroskagreininga í heild var 17.3% (27 loðnur voru ranglega greindar af alls 156). Af þeim voru 8 ókynþroska loðnur ranglega greindar sem kynþroska (5.1%), og 10 kynþroska loðnur voru ranglega greindar sem

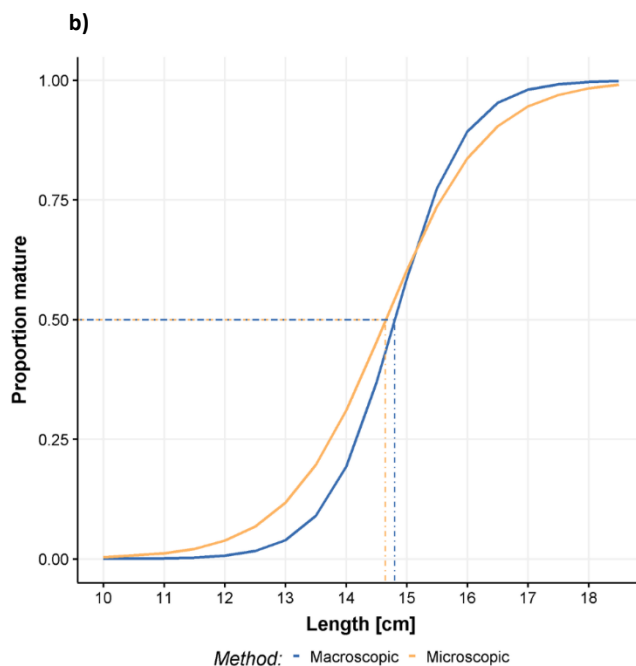
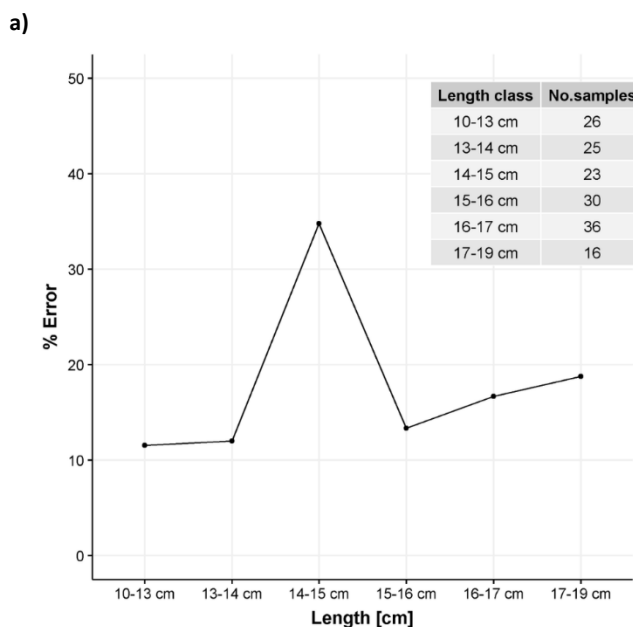
ókynþroska (6.4%) sem leiðir til 1.3% vanmats á fjölda kynþroska loðna. Tölfræðipróf sýndi að niðurstöður hefðbundinnar sjónrænnar mats á kynþroskastigi loðnu voru ekki frábrugðnar niðurstöðum vefjasýnaskoðunar ($t= 0.56$, $p= 0.57$).

Við hefðbundna sjónræna skoðun kynkirtla var kynþroskastig smærri loðnu (<14 cm) oftast rétt metið en hjá stærri loðnu (3a. mynd). Loðna að lengd 14-15 cm var með mesta ósamræmið.

Lengd við kynþroska var svipuð fyrir báðar greiningaraðferðir (3b. mynd). Áætluð lengd þar sem 50% af loðnu var kynþroska (L_{50}) var 14.8 cm samkvæmt sjónrænni skoðun kynkirtla og 14.7 cm samkvæmt vefjasýnaskoðun.

Tafla 1. Samanburður hefðbundinnar sjónrænnar skoðunar á kynkirtlum loðnu safnað í haustleiðangri við vefjasýnaskoðun fyrir kynþroskastig I-IV. Samanburðurinn er sýndur sem prósentuhlutfall þar sem fullkomið samræmi er feitiletrað. Í sviga er fjöldi fiska (n).

Vefjasýnaskoðun kynkirtla	Sjónræn skoðun kynkirtla (%)				
	Kynþroskastig				
	I	II	III	IV	Heildar % (n)
I	86.7 (13)	13.3 (2)	-	-	100 (15)
II	2.0 (1)	83.6 (40)	16.3 (8)	-	100 (49)
III	-	11.8(10)	88.2 (75)	-	100 (85)
IV	-	-	85.7 (6)	14.3 (1)	100 (7)



3. mynd. a) Hlutfall fiska með ranga greiningu kynþroskastigs samkvæmt sjónrænni skoðun (lóðrétti ásinn) kynkirtla eftir lengdarflokkum (lárétti ásinn), þar sem taflan sýnir fjölda sýna í hverjum lengdarflokki. **b)** Hlutfall kynþroska loðnu (lóðrétti ásinn) eftir lengd (lárétti ásinn) fyrir báðar greiningaraðferðir, hefðbundna sjónræna skoðun (blá) og vefjasýnaskoðun (gul). Punktalínur sýna lengd við 50% kynþroska (L_{50}) samkvæmt hvorri aðferð.

UMRÆÐUR

Helsta niðurstaða þessarar rannsóknar er sú að ekki var tölfraeðilega marktækur munur á kynþroskamati á milli sjónrænnar skoðunar kynkirtla og vefjasýnaskoðunar. Þetta styður áframhaldandi notkun hefðbundinnar sjónrænnar skoðunar kynkirtla í stofnmatsleiðöngnum loðnu. Vert er þó að benda á að þegar mjög stórir árgangar ganga inn í veiðistofninn gæti þetta ekki átt við þar sem þéttleikaháð áhrif geta valdið hægari vexti og þroska kynkirtla hjá uppsjávarfiskum (ICES, 2010; **Grein 3** í þessu riti). Þessi rannsókn náði þó ekki yfir tímabil þar sem mjög stórir árgangar komu inn í veiðistofn.

Ósamræmi milli kynþroskagreininga í heild var 17.3% sem undirstrikar mikilvægi nákvæmra kynþroskagreininga í loðnurannsóknum. Afleiðing rangflokknar kynþroska og ókynþroska loðnu fól í sér 1.3% heildarvanmat á stærð hrygningarhluta loðnu í leiðöngrunum.

Kynþroskagreining minni loðnu (<14 cm) með hefðbundinni sjónrænni skoðun kynkirtla var oftart rétt áætluð en hjá stærri loðnu og reyndist erfiðast að greina 14-15 cm lengdarhópinn. Mat á lengd við 50% kynþroska, með báðum aðferðum, féll einnig inn í þann lengdarhóp sem undirstrikar mikilvægi þess að greina kynþroska hans með nákvæmni. Þess vegna er mælt með því að í loðnuleiðöngnum framtíðar verði vefjasýni kynkirtla varðveitt úr þessum lengdarhópi, til að hægt sé að bregðast við komi upp vafi um áreiðanleika kynþroskagreininga.

Helstu orsakir rangs sjónræns mats á kynþroskastigi fiska tengjast skorti á samræmingu viðmiða sem notaðar eru til að lýsa mismunandi kynþroskastigum í greiningarlyklum og takmarkaðri samræmingu milli greinenda (Vitale og fl., 2006; McPherson og fl., 2011). Til þess að minnka skekkju í kynþroskaákvörðunum þarf hnitmiðaðri kynþroskalykla (t.d. með myndum af hverju stigi) eða sameiningu og fækkun kynþroskastiga þannig að augljósari munur væri á milli stiga.

HEIMILDASKRÁ

Costa, A. M. 2009. Macroscopic vs. microscopic identification of the maturity stages of female horse mackerel. *ICES Journal of Marine Science*, 66, 509–516.

Flynn, S. R., and Burton, M. P. M. 2003. Gametogenesis in capelin, *Mallotus villosus* (Müller), in the northwest Atlantic Ocean. *Canadian Journal of Zoology*, 81, 1511–1523.

Forberg, K. G. 1982. A histological study of development of oocytes in capelin, *Mallotus villosus* (Muller). *Journal of Fish Biology*, 20, 143–154.

Forberg, K. G. 1983. Maturity classification and growth of capelin, *Mallotus villosus* (M), oocytes. *Journal of Fish Biology*, 22, 485–496.

ICES. 2010. Report of the Workshop on estimation of maturity ogive in Norwegian spring spawning herring (WKHERMAT), 1-3 March 2010. Bergen, Norway. ICES CM 2010/ACOM:51. 47 pp.

McPherson, L. R., Ganas, K., and Marshall, C. T. 2011. Inaccuracies in routinely collected Atlantic herring (*Clupea harengus*) maturity data and correction using a gonadosomatic index model. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 91, 1477–1487.

Vitale, F., Svedang, H., and Cardinale, M. 2006. Histological analysis invalidates macroscopically determined maturity ogives of the Kattegat cod (*Gadus morhua*) and suggests new proxies for estimating maturity status of individual fish. *ICES Journal of Marine Science*, 63, 485–492.

McPherson, L. R., Ganas, K., and Marshall, C. T. 2011. Inaccuracies in routinely collected Atlantic herring (*Clupea harengus*) maturity data and correction using a gonadosomatic index model. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*; 91, 1477–1487.

Vitale, F., Svedang, H., and Cardinale, M. 2006. Histological analysis invalidates macroscopically determined maturity ogives of the Kattegat cod (*Gadus morhua*) and suggests new proxies for estimating maturity status of individual fish. *ICES Journal of Marine Science*, 63, 485–492.

West, G. 1990. Methods of Assessing Ovarian development in Fishes: a Review. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 41(2), 199-222.

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

Bjarnason, S., Bárðason B, Óskarsson G.J, Egilsdóttir S. (2023). Sannprófun kynþroskagreininga á loðnu (*Mallotus villosus*). Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.P. Jónsson og G.J. Óskarsson (ritst.), *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*, Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 66-71)

13. Áhrif lóðréttis fars og lífeðlisfræðilegra þátta á endurvarpsstyrk loðnu

Teresa Silva*, Sigurður Þór Jónsson, Birkir Bárðarson, Warsha Singh

Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður

Ágrip

Lífmassi loðnu er metinn með bergmálsaðferð. Lóðréttar hreyfingar loðnunnar og lífeðlisfræðilegt ástand (þ.e. lengd, þyngd, stærð sundmaga, halli, kynþroski og fitustuðull) geta haft áhrif á styrk endurvarps frá stökum fiskum (endurvarpsstyrkur stakra endurvarpara, TS, target strength). Þetta getur svo haft áhrif á mat á lífmassa. Markmið rannsóknarinnar var að kanna hvaða áhrif þessir þættir hafa á endurvarpsstyrk loðnu á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen. Bergmáls- og líffræðigögn sem var safnað í haust- og vetrarmælingum loðnu árin 2018-2022 voru notuð til að kanna lóðrétt far á seinni hluta fæðutíma á haustin og á hrygningargöngu að vetrarlagi. Loðnan hefur lóðrétt dægurfar á báðum tímabilum, og heldur sig grunnt (á minna en 100 m dýpi) á nóttunni en dýpkar á sér (niður á u.þ.b. 200-250 m) á daginn. Kynþroska fiskur hafði tilhneigingu til að halda sig dýpra á haustin (>150 m) og grynna (~100 m) að vetri til. Þetta getur haft áhrif á endurvarpsstyrk vegna útvíkkunar eða samþjöppunar sundmagans með breyttu dýpi. Því var mælingum á endurvarpsstyrk safnað á staðnum (*in situ* TS) með bergmálsæli sem var sökkt niður á ákveðna hæð fyrir ofan loðnutorfur á mismunandi dýpi. Greining þessara mælinga í sambandi við far og lífeðlisfræðilega þætti sýnir að endurvarpsstyrkur minnkar með dýpi og er í hlutfalli við fisklengd og stærð sundmaga. Frekari gagnasöfnunar og rannsókna er þörf til áreiðanlegrar endurskoðunar á sambandi endurvarpsstyrks og stærðar loðnu á þessu svæði.

Lykilorð: endurvarpsstyrkur, áhrif dýpis, lóðrétt dægurfar, DVM

*Fyrirspurnum skal beina til: teresa.silva@hafogvatn.is

INNGANGUR

Mat á stærð loðnustofnsins á svæðinu á milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen fer fram með bergmálsaðferð sem felur í sér heildun loðnuendurvarps og sýnatöku með flottrolli (Vilhjálmsson, 1994). Til að umbreyta endurvarpi (flatarþéttleika endurvarps, s_A) í fjölda og lífmassa er nauðsynlegt að nota endurvarpsstyrk stakra endurvarpara (TS), gjarnan með sambandi við fisklengd (Simmonds og MacLennan, 2007). TS-sambönd sem stuðst er við fyrir loðnustofna í Norður-Atlants- og Kyrrahafi er mismunandi (Dommasnes og Røttingen, 1985; Vilhjálmsson, 1994; Rose, 1998). Við Ísland er TS-sambandið byggt á mælingum á endurvarpseiginleikum loðnu í Barentshafi sem fóru fram á vegum norsku hafrannsóknastofnunarinnar (IMR, Bergen) fyrir meira en 30 árum síðan (Dommasnes og Røttingen, 1985; Vilhjálmsson, 1994). Ef meta á stofnstærð loðnu með meiri nákvæmni er æskilegt að TS-mælingar séu lýsandi fyrir loðnu við náttúrleg skilyrði því TS er háð atferli og lífeðlisfræðilegum þáttum (þ.e. fisklengd, stærð sundmaga, halli, kynþroska og fitustuðli). Dýpi sem loðna heldur sig á getur einnig haft marktæk áhrif á TS (Jørgensen, 2004; Fässler og fl., 2009). Þess vegna er markmið þessarar rannsóknar að kanna; 1) lóðrétt

far og lífeðlisfræðilega þætti í loðnutorfum með tilliti til dýpis og tíma árs (að hausti og vetrarlagi) og 2) framkvæma mælingar á styrk stakra endurvarpara á staðnum (*in situ* TS) og greina niðurstöður þeirra.

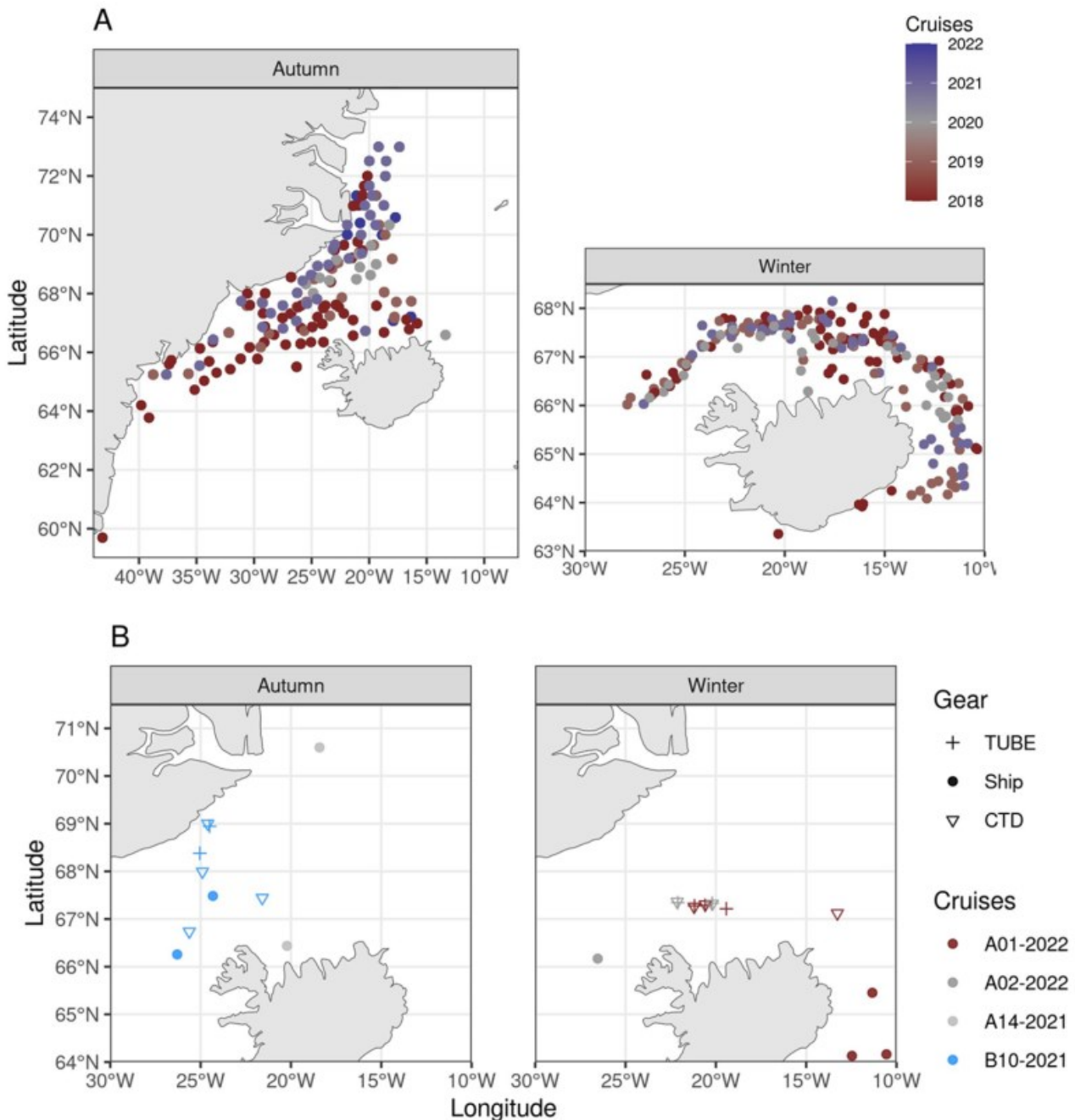
EFNI OG AÐFERÐIR

Hafrannsóknastofnun metur stærð loðnustofnsins yfirleitt í tveimur bergmálsleiðöngnum, að hausti þegar loðnan er á fæðuslóð og vetrarlagi þegar hún er á hrygningargöngu. Leiðangrarnir eru farnir á rannsóknaskipum með kvarðaða bergmálsæla og uppsjávar troll til sýnatöku úr loðnutorfum (Vilhjálmsson, 1994; Vilhjálmsson og Carscadden, 2002).

Bergmáls- og líffræðigögnum var safnað í leiðöngnum árin 2018-2022 og þau greind í þessari rannsókn (1. mynd). Til magnlægrar skoðunar á lóðréttu dægurfari var fundið vegið meðaldýpi loðnuendurvarps eftir tíma dags, en gert er ráð fyrir að endurvarpsstyrkur minnki með vaxandi dýpi. Ennfremur var breytileiki á kynþroska, fituinnihaldi, ástandi, þyngd og lengd með dýpi skoðaður. Árin 2021 og 2022 var að auki notaður sökkvanlegur breiðbandsbergmálsælir (WBT-TUBE) með 38 og 120 kHz botnstykkjum. Mælinum var sökkt niður að torfunum (~20 m ofan við loðnuna) á þremur

mismunandi dýpisbilum (grunnt, miðlungs og djúpt) og stökum endurvörpum safnað (single target data; 1. mynd B). TS gögnum var safnað með mjóbands (samfelldar bylgjur, CW, á 38 og 120kHz) og breiðbands sendingum (tíðnimótun, FM, yfir tíðnibilin 35-45 og 90-170kHz). Stakir endurvarparar á innan við 15-30 m færi frá botnstykkjunum í miðjum hljóðgeislanum (<3° frá miðju geislans) voru valdir með sjálfvirkum hætti (Ona, 1999; Jørgensen, 2004; Kubilius og Ona, 2012; Agersted og fl., 2021).

Línulegri fjölpátta aðhvarfsgreining (e. multiple regression analysis) var beitt til að prófa hver áhrif lífeðlisfræðilegra þátta og dýpis voru á TS á staðnum. Áhrif lengdar, þyндar, ástands og fitustuðuls í loðnutorum voru prófuð auk áhrifa dýpis og ætlaðrar meðallengdar sundmaga (SBL) samkvæmt formúlu Jørgensens (2004). Besta líkanið var valið byggt á viðmiði Akaike (Akaike information criterion, AIC).



1. mynd. (A) Staðsetningar þar sem sýni voru tekin með flottrolli í loðnuleiðöngnum að hausti og vetrarlagi 2018-2022. (B) Stöðvar þar sem gerðar voru TS mælingar á staðnum að hausti (A14-2021, B10-2021) og vetrarlagi (A01-2022, A02-2022), hver leiðangur með sínum lit. Mismunandi tákn sýna mismunandi sýnasöfnun: WBT-TUBE (Tube), bergmálmælir skips (Ship) og mælingar á hita og seltu (CTD).

NIÐURSTÖÐUR

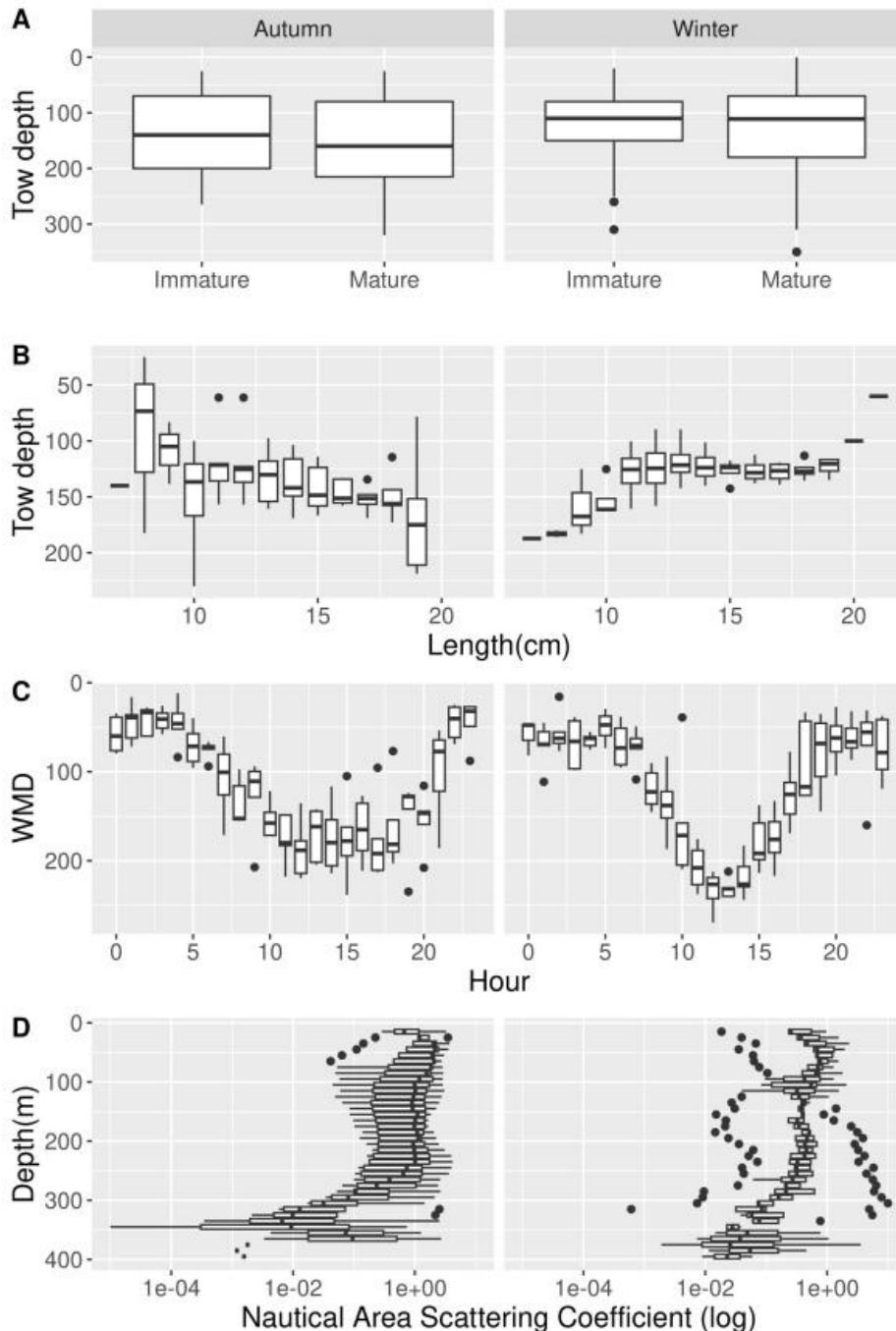
Lóðrétt far og lífeðlisfræðilegir þættir eftir árstíma

Með því að greina bergmálsskráningar með líffræðiupplýsingum sést að bæði ókynþroska og kynþroska loðna stendur dýpra á haustin (~150 m) en að vetrarlagi (~100 m; 2. mynd A). Lengd loðnu jókst með dýpi á haustin, en að vetrarlagi til héldu stærri einstaklingar sig yfirleitt grynna (2. mynd B). Loðna sýnir að jafnaði lóðrétt dægurfar (DVM; 2. mynd C) en marktækur munur var á DVM eftir árstíma (stigskipt ferveikagreining (nested ANOVA), $p < 0.001$).

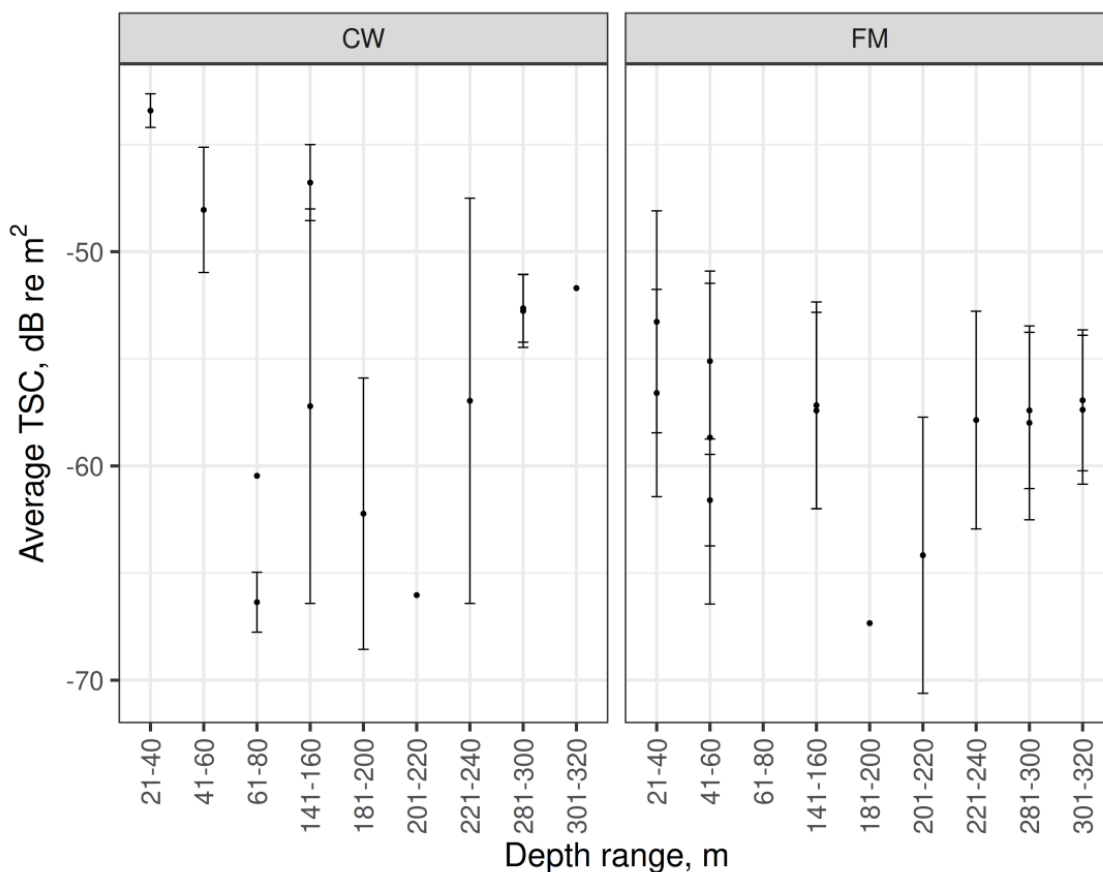
Bergmálgildi loðnu voru breytileg eftir dýpi, tíma dags og árstíma (Kruskal-Wallis-próf, $p < 0.001$). Mestur breytileiki í bergmálgildum en yfirleitt minnstur þéttleiki, var á meira en 300 m dýpi á báðum árstímum (2. mynd D). Þegar á heildina er litið var ~36% loðnuendurvarps á 100-200 m dýpi og ~25% dýpra en 200 m.

TS mælingar í loðnutorfum á staðnum (*in situ*)

Meðaltal TS-gilda loðnu minnkaði með dýpi en var mjög breytilegt bæði í mjó- og breiðbands gögnum (3. mynd). Fisklengd, metin lengd sundmaga, líkamsástandsstuðull og dýpi höfðu öll áhrif á endurvarpsstyrk loðnunnar og útskýrðu 83% breytileikans (1. tafla).



2. mynd. Lóðrétt dreifing loðnu og lífeðlisfræðilegir þættir á haustin og að vetri samkvæmt loðnusýnum teknum með flottrolli og bergmálgildum á 38 kHz árin 2018-2022 í loðnuleiðöngurum Hafrannsóknastofnunar. Kassarit sýna (A) dýpisdreifingu ókynþroska og kynþroska fiska í metrum og (B) lengdardreifingar eftir dýpi í metrum. (C) Breytileiki í vegnu meðaldýpi loðnutorfa eftir tíma dags (WMD, m). (D) Kassarit sem sýna breytileika bergmálgilda loðnu eftir dýpi (stuðull flatarþéttleika endurvarps, s_A , $m^2 \text{ nmi}^{-2}$).



3. mynd. Meðaltal (punktur) og staðalfrávik (skegg) endurvarpstyrks stakra endurvarpara leiðrétt fyrir staðsetningu í hljóðkeilunni (*in situ* TS beam Compensated, TSC, dB re m²) á mismunandi dýptarbilum (m) á mjó- (CW) og breiðbandi (FM) með WBT-TUBE og með bergmálmæli skipsins fyrir loðnutorfur nálægt yfirborði. Heildarfjöldi stakra endurvarpara (N=2059, >-70dB) sem var fundinn með sjálfvirkum hætti á báðum 38 kHz mælunum.

1. tafla. Niðurstöður besta líkans samkvæmt AIC um áhrif lífeðlifræðiþátta og dýpis á *in situ* TSC (dB re m²) í breiðbandsgögnum (fjöldi athugana=20, R² = 0.833, leiðrétt skýringarhlutfall/R²adjusted= 0.789, ferningssumma frávíka=34.7). Prófuð voru áhrif meðaltals lengdar, þyngdar, ástands- og fitustuðuls loðnunar auk þrýstings og spá um lengd sundmaga (SBL) samkvæmt Jørgensen (2004).

TSC					
Skýribreytur	Metið gildi	Öryggisbil (CI)	Lýsistærð	p	frígráður
(Skurðpunktur)	-276.94	-379.34 – -174.54	-5.76	<0.001	15.00
Lengd [log10]	145.86	60.55 – 231.16	3.64	0.002	15.00
Ástandsstuðull	28.24	-10.14 – 66.63	1.57	0.138	15.00
Þrýstingur [log10]	15.16	9.37 – 20.96	5.58	<0.001	15.00
SBL [log10]	70.34	50.48 – 90.21	7.55	<0.001	15.00

UMRÆÐUR OG ÁLYKTANIR

Loðna hefur lóðrétt dægurfar, dvelur ofar í vatnssúlunni að næturlagi og stendur dýpra á daginn. Á haustin heldur loðna sig djúpt stærri hluta dagsins miðað við að vetrarlagi. Þetta gæti endurspeglað lengri birtutíma en einnig mismunandi dreifingu bráðar á haustin og að vetrarlagi (Gíslason og Silva, 2012)

Hér var markmiðið ekki að rannsaka ástæður lóðréttis fars loðnunnar heldur mynstur þess og umfang og þar með áhrif á bergmálseiginleika loðnunnar. Samþjöppun sundmaga loðnu á niðurleið í hlutfalli við aukinn þrýsting getur skekkt mat á lífmassa. Breytileiki í endurvarpsstyrk loðnu var hæstur á meira en 300 m dýpi, en gæti skýrst af því að tiltöllega fáar mælingar voru af loðnu á því dýpi. TS jókst með dýpi, líklega vegna samþjöppunar sundmagans með auknu dýpi. Lengd

loðnu og líkamsástand hafði áhrif á endurvarpsstyrk. Hins vegar er gagnasöfnun þar sem loðnan er á meira dýpi takmörkuð og upplýsingar vantar um halla á syndandi loðnu (Gauthier og Horne, 2004).

Lokaályktunin er því að breytileiki í lóðréttri dreifingu loðnu getur leitt til bjögunar í niðurstöðum úr bergmálmælingu ef ekki er tekið tillit til áhrifa dýpis á endurvarpsstyrk. Ennfremur gæti þurft að taka tillit til lífeðlisfræðilegra þátta sem höfðu áhrif á endurvarpseiginleika samkvæmt þessari rannsókn. Frekari gagnasöfnun og greining er nauðsynleg til áreiðanlegrar endurskoðunar á TS-lengdar sambandi loðnunnar.

ÞAKKIR

Við viljum þakka samstarfsfólki á Hafrannsóknastofnun fyrir aðstoð við gagnasöfnun og greiningu sýna. Sérstakar þakkir fá Arnþór B. Kristjánsson og Björn Sigurðarson fyrir þróun sökkvanslegs bergmálmælis og dýrmætan stuðning.

HEIMILDASKRÁ

Agersted, M. D., Khodabandeloo, B., Klevjer, T. A., García-Seoane, E., Strand, E., Underwood, M. J., and Melle, W. 2021. Mass estimates of individual gas-bearing mesopelagic fish from *in situ* wideband acoustic measurements ground-truthed by biological net sampling. *ICES Journal of Marine Science*, 78, 3658–3673.

Dommasnes, A., and Røttingen, I. 1985. Acoustic stock measurements of the Barents Sea Capelin 1972-1984. *A Review*. 45–108 pp.

Fässler, S. M. M., Fernandes, P. G., Semple, S. I. K., and Brierley, A. S. 2009. Depth-dependent swimbladder compression in herring *Clupea harengus* observed using magnetic resonance imaging. *Journal of Fish Biology*, 74, 296–303.

Gauthier, S., and Horne, J. K. 2004. Acoustic characteristics of forage fish species in the Gulf of Alaska and Bering Sea based on Kirchhoff-approximation models. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61, 1839–1850.

Gislason, A., and Silva, T. 2012. Abundance, composition, and development of zooplankton in the Subarctic Iceland Sea in 2006, 2007, and 2008. *ICES Journal of Marine Science*, 69, 1263–1276.

Jørgensen, R. 2004. The effects of behaviour on the acoustic target strength of capelin (*Mallotus villosus*) and implications for acoustic abundance estimation. Dr. Sci thesis, Norwegian College of Fisheries Science, University of Tromsø.

Kubilius, R., and Ona, E. 2012. Target strength and tilt-angle distribution of lesser sandeel (*Ammodytes marinus*). *ICES Journal of Marine Science*, 69, 1099–1107.

Ona, E. (editor). 1999. Methodology for Target Strength Measurements. *ICES Cooperative Research Report*. No.235: 65.

Rose, G. A. 1998. Acoustic target strength of capelin in Newfoundland waters. *ICES Journal of Marine Science*, 55, 918–923.

Simmonds, J., and MacLennan, D. 2007. Fisheries acoustics: Theory and practice: Second edition. John Wiley & Sons. 437 pp.

Vilhjalmsson, H. 1994. The Icelandic Capelin Stock: Capelin, *Mallotus villosus* (Müller) in the Iceland-Greenland-Jan Mayen area. *Rit Fiskideildar*, 13. 281 pp.

Vilhjalmsson, H., and Carscadden, J. E. 2002. Assessment surveys for capelin in the Iceland-East Greenland-Jan Mayen area, 1978-2001. *ICES Journal of Marine Science*, 59, 1096–1104

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

Silva, T., Jónsson, S. Þ., Bárðarson B., Singh, W. (2023). Áhrif lóðrétts fars og lífeðlisfræðilegra þátta á endurvarpsstyrk loðnu. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.Þ. Jónsson og G.J. Óskarsson (ritst.), *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*, Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 72-76)

14. Rýni á stofnmati og ráðgjöf loðnustofnsins við Ísland, Austur-Grænland og Jan Mayen árið 2022

Birkir Bárðarson*, Kristinn Guðnason, Teresa Silva, Sigurður Þór Jónsson, Warsha Singh, Sigurvin Bjarnason, Höskuldur Björnsson.

Hafrannsóknastofnun, rannsókn- og ráðgjafastofnun hafs og vatna, Fornubúðir 5, 220 Hafnarfjörður

Ágrip

Æskilegt er að rýni og endurbætur á aðferðafræði og gögnum sem liggja að baki stofnmati og aflareglu fari fram reglulega. Þetta er gert á rýnifundum stofnmats og stjórnunarstefnu sem haldnir eru í kjölfar umfangsmikillar undirbúningsvinnu. Rýnifundur alþjóða hafrannsóknaráðsins (ICES) fyrir loðnustofninn við Ísland-Austur-Grænland-Jan Mayen fór síðast fram í nóvember 2022. Mælt var með lítilsháttar breytingum á fyrri ráðgjafarferli og aflareglu. Milliráðgjöf sem byggð er á haustmælingu skildi takmarkast við 2/3 af reiknuðum heildar afla (TAC) og við lokaráðgjöf sé vægi haustmælingar að hámarki 1/3.

Á grundvelli uppfærðrar matsaðferðar frá árinu 2015, þar sem gert er ráð fyrir hærri náttúrulegum afföllum, voru lífmassi hrygningarstofns og tímaröð nýliðunar fyrir tímabilið 1981-2015 endurskoðuð og metin lægri en áður. Við endurmat á stærð hrygningarstofns og sambandi hans við nýliðunarvísitölur lækkuðu viðmiðunarmörk (B_{lim}) úr 150 þt. í 114 þt. Markmið aflareglunnar var óbreytt, þ.e. að miða heildarafla við >95% líkur á að hrygningarstofn yrði yfir viðmiðunarmörkum (B_{lim}) á hrygningartíma. Niðurstaða vinnufundarins var sú að matsaðferðin endurspegli bestu fánlegu vísindi í samræmi við verklagsreglur ICES og að aflareglan feli í sér varúðarnálgun.

Lykilorð: fiskveiðistjórnun, stjórnunarstefna, aflaregla, ICES rýnifundur, loðna, afránslíkan, stofnmat.

*Fyrirspurnum skal beina til: birkir.bardarson@hafogvatn.is

INNGANGUR

Alþjóðahafrannsóknaráðið (ICES) hélt rýnifund um veiðiráðgjöf loðnu (*Mallotus villosus*) í nóvember 2022. Tilgangur rýnifundarins (WKCAPELIN) var að rýna stofnmatsaðferðir og ráðgjöf á loðnustofninum við Ísland, Austur-Grænland og Jan Mayen (IEGJM) (ICES, 2023a). Markmiðin voru að meta hversu viðeigandi núverandi gagnasöfnun og aðferðir séu við ákvörðun á stærð stofnsins, meta viðmiðunargildi og hvort núverandi aflaregla væri samkvæmt varúðarnálgun (ICES, 2023b).

Frá árinu 1980 hefur loðnustofninn verið metinn árlega með bergmálmælingum að hausti og/eða vetri. Á grundvelli fyrri rýnifundar árið 2015 (ICES, 2015) var tekið upp nýtt ráðgjafarferli sem byggði á nálgun líkindadreifingar þannig að 150 þús. tonn yrðu skilin eftir til hrygningar með 95% líkum.

Í gildandi samningi um aflareglu, sem strandríkin samþykktu árið 2020, var kveðið á um að veiðitímabilið skyldi hefjast 15. október og þar með var lokað fyrir sumarveiðar. Með ákvörðun um lokun sumarveiða missti upphafsafلامark gildi sitt og var sú ráðgjöf því ekki endurmetin á rýnifundinum. Upphafsráðgjöf er byggð á bergmálmælingum á ókynþroska loðnu að hausti, árið fyrir ráðgjafarár, þar sem leitast er við að mjög litlar líkur séu á að upphafsráðgjöf verði hærri en lokaráðgjöf. Milliráðgjöf er sett á grundvelli bergmálmælinga á veiðistofni að hausti innan fiskveiðiársins og lokaráðgjöf kemur svo í kjölfarið að loknum vetrarmælingum. Milli- og lokaráðgjöf miða við að >95% líkur séu á því að hrygningarstofninn verði yfir viðmiðunarmörkum (B_{lim}) á hrygningartíma. Gögn og líkón hvers þreps í ráðgjafarferli milli- og lokaráðgjafar voru metin á rýnifundinum.

NIÐURSTÖÐUR

Bergmálsleiðangrar sem lágu að baki stofnmati hvers árs voru skoðaðir. Farið var yfir vægi bergmálmælinga að hausti og vetri í lokastofnmati. Niðurstaðan varð að milliráðgjöf ætti aðeins að vera 2/3 hlutar af reiknuðu aflamarki haustmælingar. Enn fremur skildi haustmæling hafa að hámarki 1/3 vægi í lokamati. Engin slík mörk voru skilgreind í ferlinu sem samþykkt var á rýnifundi 2015. Þessar breytingar voru gerðar í varúðarskyni aðallega vegna nýlegs (2021/2022) misræmis milli stofnmats að hausti og vetri (ICES, 2023a).

Einnig var farið yfir hvort nota ætti fráviksstuðulinn (CV) úr einstökum leiðöngrum við matið eða hvort nota ætti 0.2 sem fast gildi og jafnframt hvort nota skuli 0.25 við millimatið. Margar mælingar hafa háan CV vegna hnappdreifingar stofnsins sem myndi leiða til of hárrar ráðgjafar ef ekki væri tekið tillit til hennar (ICES, 2009). Þess vegna var núverandi aðferðafræði við að nota óvissumat frá hverri stofnmælingu fyrir sig samþykkt en jafnframt var bent á að lágmarks gildi á CV gæti verið réttlætandi.

Lokaráðgjöf byggir á framreikningum stofnstærðar frá 15. janúar til 15. mars með afránslíkani þar sem spáð er fyrir um dreifingu loðnu og afla í tíma og rúmi ásamt áætluðu afráni þorsks, ýsu og ufsa. Ráðlagður afli samsvarar þá >95% líkum á því að hrygningarstofn sé yfir viðmiðunarmörkum (B_{lim}) á hrygningartíma. Þessi nálgun er óbreytt frá því sem ákveðið var á rýnifundi 2015.

Eina viðmiðunarmarkið sem þarf fyrir ráðgjöf loðnustofnsins er B_{lim} . B_{lim} var metið 150 þús. tonn árið 2015 miðað við meðaltal þriggja lægstu gilda hrygningarstofns, frá árunum 1981, 1982 og 1990, sem öll leiddu til meðalnýliðunar (ICES, 2015). Á rýnifundinum árið 2022 var mat hrygningarstofns frá 1981 endurreiknað með spálíkaninu sem samþykkt var 2015 og endurskoðuðum bergmálmælingum frá 2002–2006. Endurmetinn hrygningarstofn reyndist lægri flest ár. Byggt á endurmetnum tengslum stofnstærðar og nýliðunar (1. mynd) var ályktað að rétt væri að miða B_{lim} við sömu þrjú ár og áður. Endurmatið gaf 114 þús. tonn sem viðmiðunarmörk (2. mynd).

UMRÆÐUR OG ÁLYKTANIR

Niðurstöður rýnifundarins 2022 fela í sér að markmið núverandi aflareglu sé að skilja eftir a.m.k. 114 þús. tonn til hrygningar, með 95% líkum. Ráðgjöf heildaraflamarks er gefin í þremur skrefum:

- 1) Upphafsaflamark fyrir komandi fiskveiðitímabil byggir á mati á fjölda ókynþroska loðnu að hausti með hliðsjón af sögulegu sambandi nýliðunar og aflamarks.
- 2) Milliráðgjöf aflamarks byggir á mati á lífmassa kynþroska loðnu í haustmælingum. Aflamarkið er fengið með framreikningum stofnstærðar með afránslíkani frá september til mars, en milliráðgjöfin verður aðeins 2/3 af reiknuðu aflamarki. Milliráðgjöf mun hafa tekið gildi þegar veiðarnar opna 15. október.
- 3) Lokaráðgjöf aflamarks er gefin í janúar/febrúar samkvæmt mati á lífmassa kynþroska loðnu byggt á vegnu framlagi haust- og vetrarmælinga þar sem haustmæling getur að hámarki fengið 1/3 vægi.

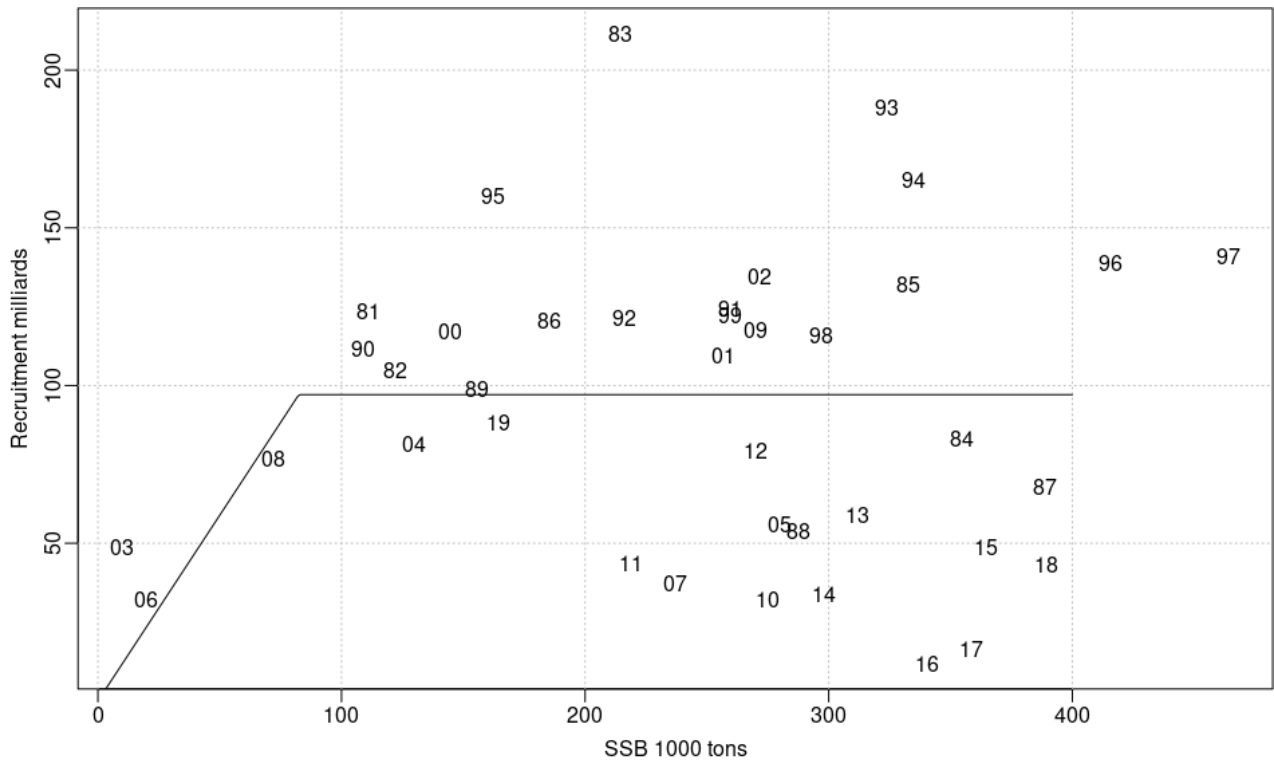
Rýnifundurinn sem fram fór árið 2022 komst að þeirri niðurstöðu að ráðgjafarferlið endurspegli bestu fánlegu vísindi samkvæmt verklagsreglum ICES og telur aflaregluna fylgja varúðarnálgun.

Lækkun B_{lim} úr 150 í 114 þús. tonn mun leiða til nálægt 36 þús. tonna aukningar á aflamarki miðað við fyrri aflareglu en aukningin veltur á líkindadreifingu stofnmatsins.

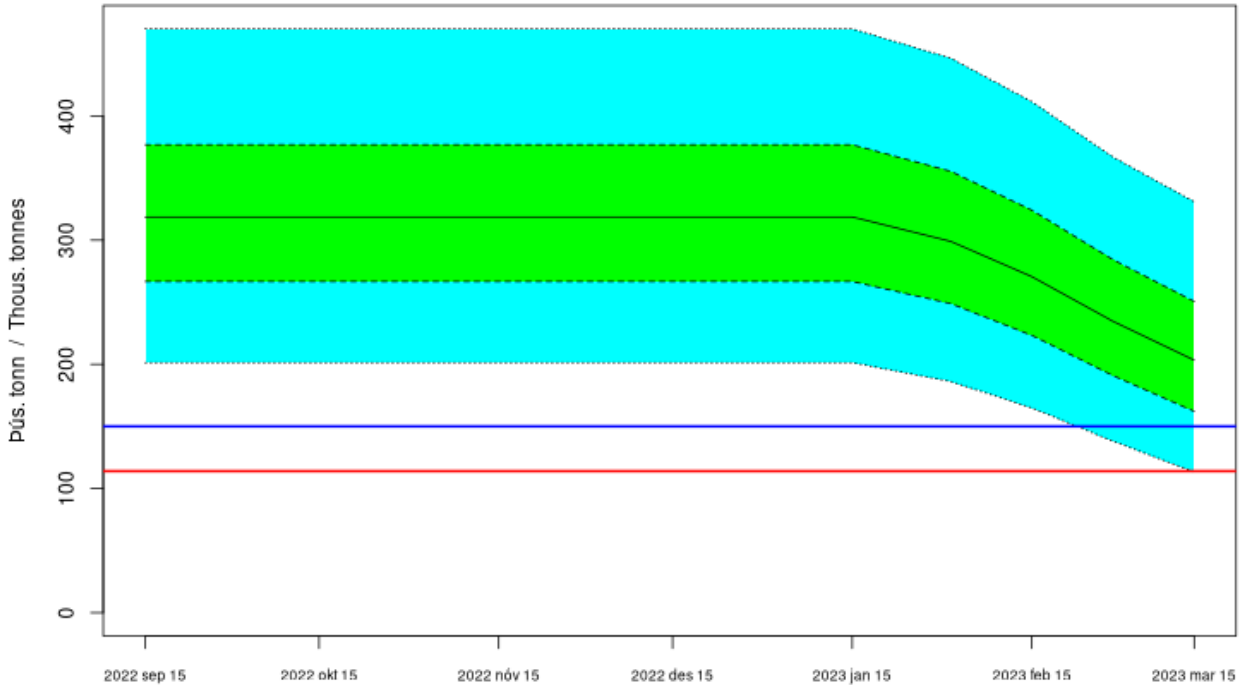
Helstu tillögur rýnifundarins að umbótum og framtíðarvinnu í tengslum við stofnmat og ráðgjöf loðnustofnsins voru: a) Endurmat á endurvarpsstuðli (TS) loðnu. Þessar greiningar eru einnig forsenda þess að hægt sé að meta mikilvægi loðnunnar í vistkerfinu; b) Þörf er á frekari rannsóknum á fæðutengslum loðnu, bæði með því að auka rannsóknir í tengslum við núverandi leiðangra og með því að fylla upp í þekkingargloppur í tíma og rúmi á milli hinna árlegu leiðangra, t.d. að sumri þegar meginhluti fæðuöflunar fer fram; c) Rannsóknir á afráni og fjölda hnúfubaka. Þá er janúar-mars mikilvægasta tímabilið en mat á afráni að sumri og hausti er einnig mikilvægt; d) Mælt er með að halda áfram og þróa það samstarf sem þegar á sér stað með hagsmunaaðilum.

ICES samþykkti niðurstöðu rýnifundarins með tveimur fyrirvörum. Í fyrsta lagi ætti að kanna til hlítar vægi leiðangra í matinu. Í öðru lagi ætti að gera nýtingarstefnuþrófanir (e. management strategy evaluation, MSE) á aflareglunni.

Sumar af þeim úrbótum sem lagðar voru til eru þegar í vinnslu á Hafrannsóknastofnun, aðrar eru í skoðun.



1. mynd. Bakreiknaður fjöldi 2ja ára loðnu 1. janúar árið áður (lóðrétti ásinn) borinn saman við áætlaða stærð hrygningarstofns í mars (lárétti ásinn). Tölur sýna árgang (ICES, 2023a, 2023c).



2. mynd. Spá um framvindu við engar veiðar, byggt á afránslíkani. Spáin nær frá bergmálmælingu að hausti 2022 fram til 15 mars 2023 þar sem tímabilið frá 15. janúar byggir á afránslíkani. Blá lína sýnir fyrri viðmiðunarmörk fyrri aflareglu (B_{lim} = 150 þús. tonn) (ICES, 2015) en rauð lína ný viðmiðunarmörk (B_{lim} = 114 þús. tonn) (ICES, 2023a, 2023c).

HEIMILDASKRÁ

Bárðarson, B., Guðnason, K., Singh, W., Pétursdóttir, H., & Jónsson, S. P. (2021). Loðna (*Mallotus villosus*). *Haf- Og Vatnarannsóknir, HV 2021*(14), 31–34.

ICES. (2009). ICES. 2009. Report of the Benchmark Workshop on Short-lived Species (WKSHORT), 31 August–4 September 2009, Bergen, Norway. *ICES CM 2009/ACOM:34*. 166 pp.

ICES. (2015). Report of the Benchmark Workshop on Icelandic Stocks (WKICE). *ICES CM, 2015/ACOM:31*, 327.

ICES. (2023a). *Benchmark workshop on capelin (WKCAPELIN)*. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.23260388.v1>

ICES. (2023b). *ICES Guidelines for Benchmarks* [Report]. ICES Technical Guidelines. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.22316743.v1>

ICES. (2023c). Stock annex: Capelin (*Mallotus villosus*) in subareas 5 and 14 and Division 2.a west of 5°W (Iceland and Faroes grounds, East Greenland, Jan Mayen area). *ICES Stock Annexes*. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.23600094>

HVERNIG Á AÐ VITNA Í GREININA?

Bárðarson, B., Guðnason, K., Silva, T., Jónsson, S. P. , Singh, W., Bjarnason, S. & Björnsson, H. (2023). Rýni á stofnmati og ráðgjöf loðnustofnsins við Ísland, Austur-Grænland og Jan Mayen árið 2022. Í W. Singh, A.H. Ólafsdóttir, S.P. Jónsson og G.J. Óskarsson (ritst.), *Loðna á tímum umhverfisbreytinga*. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2023-33 (bls. 77-80)



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókná- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna