

Staða umhverfis og vistkerfa í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga



Staða umhverfis og vistkerfa í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga

**Skýrsla Hafrannsóknastofnunar
2021**



*Staða umhverfis og vistkerfa í hafinu við Ísland og
horfur næstu áratuga*

Hafrannsóknastofnun 2021
Hönnun og umbrot: Hafrannsóknastofnun
Forsíðumynd: Svanhildur Egilsdóttir
ISSN er 2298-9137
HV 2021-14

Ritnefnd:

Guðmundur J. Óskarsson (ritstj.), Guðmundur Þórðarson, Guðni
Guðbergsson, Ingibjörg G. Jónsdóttir, Sigurður Guðjónsson, Sólveig R.
Ólafsdóttir

Hvernig vitna á í skýrsluna:

[Höfundur kafla]. 2021. [Heiti kafla]. Í Guðmundur J. Óskarsson (ritstj.),
Staða umhverfis og vistkerfa í hafinu við Ísland og horfur næstu
áratuga. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2021-14.

Efnisyfirlit

1 Inngangur.....	6
2 Umhverfisbreytingar í hafinu við Ísland	7
2.1 Hitastig og selta sjávar	7
2.2 Breytingar á styrk næringarefna og sýrustigi undanfarin ár.....	14
2.3 Líffræðilegar afleiðingar súrnunar sjávar	17
2.4 Möguleg framvinda loftslagsbreytinga og áhrif á hafið við Ísland í nágrenni framtíð	21
3 Plöntu- og dýrasvif.....	26
4 Uppsjávarfiskar	31
4.1 Loðna (<i>Mallotus villosus</i>)	31
4.2 Síld (<i>Clupea harengus</i>)	35
4.2.1. Sumargotssíld.....	35
4.2.2. Norsk-íslensk síld	37
4.3 Makrill (<i>Scomber scombrus</i>).....	38
4.4 Göngufiskar	42
4.4.1 Lax (<i>Salmo salar</i>)	42
4.4.2 Sjógenginn silungur	47
4.5 Aðrar uppsjávartegundir.....	50
4.5.1 Kolmunni (<i>Micromesistius poutassou</i>)	50
4.5.2 Hrognkelsi (<i>Cyclopterus lumpus</i>)	52
4.5.3 Sandsíli (<i>Ammodytes</i> sp)	53
4.5.4 Ískóð (<i>Boreogadus saida</i>)	54
4.5.5 Spærlingur (<i>Trisopterus esmarkii</i>)	55
5 Botnfiskar.....	63
5.1 Þorskur (<i>Gadus morhua</i>)	63
5.2 Ýsa (<i>Melanogrammus aeglefinus</i>)	73
5.3 Aðrir botnfiskar	78
5.3.1 Ufsi (<i>Pollachius virens</i>)	78
5.3.2 Gullkarfi (<i>Sebastes norvegicus</i>)	78
5.3.3 Grálúða (<i>Reinhardtius hippoglossoides</i>).....	80
5.3.4 Hlýri (<i>Anarhichas minor</i>)	81
5.3.5 Skötuselur (<i>Lophius piscatorius</i>)	82
5.3.6 Aðrir flatfiskar	82
5.3.7 Aðrar tegundir.....	83
5.3.8 Breytingar á fiskasamfélögum við Ísland.....	83
6 Sjávarhryggleysingar.....	88

6.1 Rækja (<i>Pandalus borealis</i>)	88
6.2 Humar (<i>Nephrops norvegicus</i>)	90
6.3 Hörpudiskur (<i>Chlamys islandica</i>)	92
7 Sjávarspendýr	94
7.1 Hvalir	94
7.1.1 Steypireyður (<i>Balaenoptera musculus</i>).....	96
7.1.3 Hrefna (<i>Balaenoptera acutorostrata</i>)	97
7.1.4 Hnúfubakur (<i>Megaptera novaeangliae</i>)	98
7.1.5 Tannhvalir	98
7.2 Selir	100
7.2.1 Landselur (<i>Phoca vitulina</i>).....	100
7.2.2 Útselur (<i>Halichoerus grypus</i>).....	101
8 Sjófuglar	107
9 Veiðar og sókn	113
10 Áhrif sjávarhita á fiskeldi við strendur Íslands	120
11 Umhverfis- og vistkerfisbreytingar á næstu áratugum.....	123

1 Inngangur

Tildrög þessarar skýrslu má rekja til ákvörðunar sjávarútvegs- og landbúnaðarráðherra um að veita fé í gerð skýrslu um stöðu vistkerfa Íslandsmiða. Þessi fjárveiting var í tengslum við þingsályktunartillögu Alþingis um tímabundið fjárfestingaráttak til að vinna gegn samdrætti í hagkerfinu í kjölfar heimsfaraldurs kórónuveiru. Byggði verkefnið á fyrri tillögum frá Hafrannsóknastofnun og skyldi stofnunin hafa yfirumsjón með því.

Loftslagsbreytingar af mannavöldum eru vandamál heimsins alls. Afleiðingar þeirra er nú þegar víða að sjá en þær munu aukast og verða alvarlegri á næstu áratugum ef spár ganga eftir. Greina þarf aðsteðjandi breytingar og vakta umhverfið með tilliti til þeirra. Í hafinu við Ísland má búast við margvíslegum áhrifum vegna loftslagsbreytinga í framtíðinni. Í umhverfinu eru hins vegar einnig náttúrulegar sveiflur sem ekki eru alltaf auðgreinanlegar frá áhrifum loftslagsbreytinga af mannavöldum. Mikilvægt er að þekkja og skilja þessar náttúrulegu sveiflur og áhrif þeirra á vistkerfi og lífríki hafsins enda hefur sjálfbær nýting sjávarauðlinda verið undirstaða byggðar og velsældar á Íslandi.

Megineinkenni íslenska hafsvæðisins er sá breytileiki sem hér ríkir vegna áhrifa úr bæði suðri og norðri. Ísland er við straumamót heitra og kaldra hafstrauma en því valda neðansjávarhryggir auk hnattstöðu landsins. Hlýr og seltumikill Atlantssjór streymir að suðurströndinni og áfram norður fyrir land þar sem hann mætir köldu suðurstreymi seltulítils pólsjávar sem berst að norðan. Tiltölulega hlýr Atlantssjór er þannig ríkjandi sjógerð fyrir sunnan land en kaldari sjór fyrir norðan og austan. Þessi straumakerfi móta vistkerfi hafsins við Ísland og eru meginástæðan fyrir þeim mikla breytileika sem finnst í lífríkinu. Þessar aðstæður valda miklum breytileika í umhverfinu bæði í tíma og rúmi.

Til viðbótar við landfræðilegan breytileika skiptast á köld og hlý ár eða lengri tímabil sem stjórna af veðurfarslegum þáttum eða margvíslegum, en oft óútskýrðum, ytri breytingum. Samspil þessara umhverfispátta, ásamt lögun landgrunnsins, og fleiri þátta, gerir hafsvæðið kringum Ísland næringarefnaríkt og frjósamt. Þetta er undirstaða

fjölbreytts vistkerfis sjávar með mikilli framleiðni. Umhverfi og vistkerfi sjávar við Ísland breytist jafnframt með árstíma. Á vorin þegar sól hækkar á lofti skapast aðstæður fyrir vorblóma svifþörungum og þá á sér stað stærsti hluti frumframleiðinnar ár hvert. Samfara honum koma sviflæg krabbadýr, t.d. rauðáta, upp úr djúpunum til hrygningar en ungviði þeirra er undirstöðufæða fyrir fiskungviði. Hrygningartími fiskitegunda er aðlagður að því að afkvæmin klekist og hefji fæðunám þegar sviflæg krabbadýr eru að klekjast út. Varptími sjófugla er einnig innstilltur á árstíðirnar í hafinu þannig að ungar hafi fæðu þegar þeir klekjast úr eggjum. Nýliðun getur því ráðist af því hvort samstilling allra þessara þátta sé ungviðinu hagstæð. Þessu til viðbótar hefur breytileiki í sjávarstraumum áhrif á rek eggja og lirfa og þannig áhrif á afkomu ungviðis nytjastofna.

Samspil umhverfis og lífríkis hefur verið þekkt lengi og mótart langtímarannsóknir og vöktun Hafrannsóknastofnunar. Ýmsar breytingar hafa orðið á vistkerfi og umhverfi hafsins við Ísland undanfarna áratugi m.a. á magni, útbreiðslu og göngum uppsjávarfiska sem og magni og útbreiðslu botnfiska og hryggleysingja. Þessar breytingar eru m.a. taldar stafa af ástandi sjávar, fæðuframboði, stofnstærð tegundanna, nýliðunarbresti, afráni og fiskveiðum.

Markmið þessarar skýrslu er að gera grein fyrir þeim breytingum sem orðið hafa á umhverfi og lífríki hafsins undanfarin ár og orsakasamhengi þeirra. Í skýrslunni er fjallað um flesta mikilvægustu þætti vistkerfisins, þar með talið helstu nytjastofna á Íslandsmiðum. Þær upplýsingar eru síðan notaðar til að leggja mat á áhrif umhverfis- og loftslagsbreytinga framtíðarinnar á vistkerfi sjávar miðað við mismunandi forsendur. Úttekt af þessu tagi getur legið til grundvallar við aðlögun að umhverfisbreytingum í framtíðinni, styrkir grunn að vistkerfisnálgun við ráðgjöf um nýtingu auðlindanna og dregur fram hvar nauðsyn er á aukinni þekkingaröflun.

2 Umhverfisbreytingar í hafinu við Ísland

2.1 Hitastig og selta sjávar

Steingrímur Jónsson¹ og Sólveig R. Ólafsdóttir²

¹) Háskólinn á Akureyri

²) Hafrannsóknastofnun

Ýmsar sviptingar í loftslagi hafa átt sér stað á Íslandi og í hafinu umhverfis landið frá örófi alda. Lengst af voru þessar breytingar af náttúrulegum orsökum. Á síðustu tveim öldum hafa breytingar á loftslagi á jörðinni, sem stafa af mannavöldum, orðið æ umfangsmeiri og ágerast sífellt hraðar. Birtingarmynd þessara breytinga er m.a. hækun á meðalhita við yfirborð jarðar, hækkuð sjávarstaða, aukin bráðnun freðhvolfsins (e. Cryosphere) og aukið varmainingald sjávar, sérstaklega í yfirborðslögum¹. Þó að varmainingald sjávar hafi hækkað er ekki ástæða til að ætla að meðalselta sjávar hafi breyst. Vissulega hefur aukið magn ferskvatns streymt í sjóinn við bráðnun freðhvolfsins en í svo litlum mæli að það hefur ekki mælanleg hnattræn áhrif á meðalseltu sjávar. Ástæða þessara breytinga er mikil losun mannkynsins á gróðurhúsalofttegundum vegna brennslu jarðefnaeldsneytis auk breytinga á landnotkun. Breytingunum er þó ekki jafndreift um jörðina heldur getur verið mismunandi eftir svæðum hvernig áhrifin koma fram. Hvernig hafa svo þessar breytingar komið fram í hafinu umhverfis Ísland? Á þeim tíma sem til eru áreiðanleg gögn um hitastig og seltu sjávar við Ísland hafa töluverðar breytingar átt sér stað. Síðustu tvo áratugi hefur sjávarhiti verið tiltölulega hár en á sama tíma hækkaði selta sjávarins einnig.

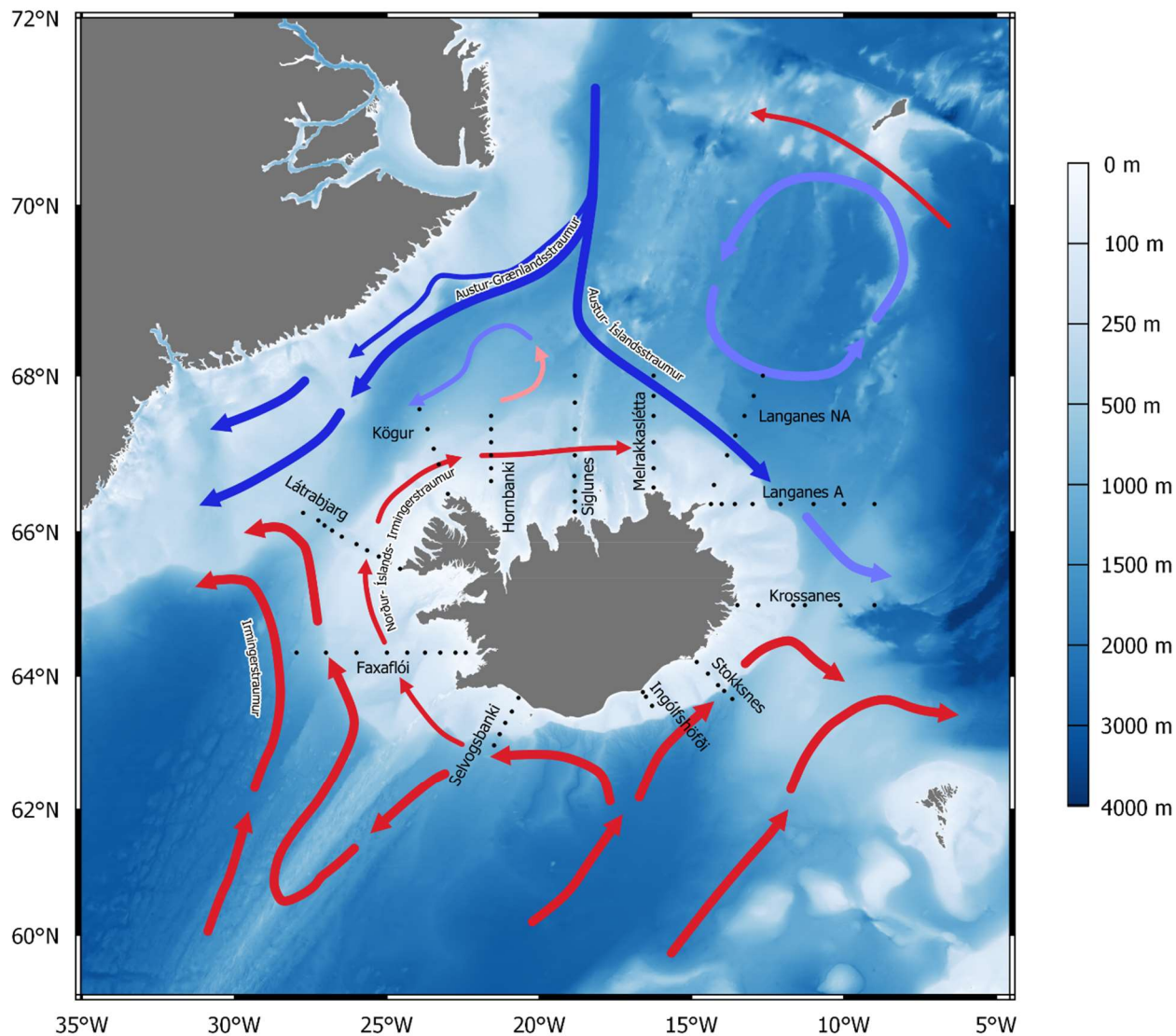
Hafstraumar

Sunnan og suðvestan við landið liggur rangsælis hringstreymi sem kallað hefur verið kaldtempraði hvirfillinn (subpolar gyre). Þar fyrir sunnan liggur svo annað hringstreymi, heittempraði hvirfillinn (subtropical gyre), sem fer réttsælis og er hann mun heitari og saltari en sá kaldtempraði. Sjór úr honum berst til norðurs austan við kaldtempraða hvirfilinn. Sjór úr báðum þessum hvirflum berst hingað til lands og í báðum tilfellum er talað um Atlantssjó en misjafnt er hver hlutdeild þeirra er í sjónum sem hingað streymir og hefur það áhrif á hitastigið og seltuna hér við land. Þegar kaldtempraði hvirfillinn er veikur þá streymir hingað meira af heitari og saltari sjó en ef kaldtempraði hvirfillinn er sterkur og nær þá lengra til austurs, þrengist að heittempraða hvirflinum. Minna streymir þá úr honum hingað til lands sem leiðir til lægra hitastigs og seltu í sjónum sunnan Íslands.

Mynd 2.1.1. sýnir meginhafstrauma í yfirborðslögum í hafinu umhverfis Ísland. Þar mætast heitur og saltur Atlantssjór úr suðri sem kemur hingað með Irminger-

straumnum og kaldur og seltulítill pólsjór úr norðri sem berst hingað með Austur-Grænlandsstraumnum. Það er styrkleiki og samsetning sjávarins í þessum straumum sem mestu ræður um ástand sjávar við landið og þetta veldur því að náttúrulegur breytileiki á ástandi sjávar við Ísland er tiltölulega mikill. Atlantssjórinn er yfirleitt allsráðandi sunnan og vestan við landið, allt að Látrabjargi og nær hann á þessu svæði langt út fyrir landgrunnið og er þar mörg hundruð metra djúpur. Næst landi, sérstaklega vor og sumar, gætir áhrifa af ferskvatnsrennsli frá landi og sést það á því að seltan er lægri í sjónum nálægt landi. Mismikill hluti Atlantssjávarins streymir norður um Grænlandssund og svo áfram til austurs yfir landgrunninu norðanlands og nefnist þar Norður- Íslands-Irmingerstraumur. Þar er yfirborðssjórinn yfirleitt um 200 m þykkt lag og er blanda af Atlantssjó og pólsjó í mismunandi hlutföllum en undir honum getur legið kaldari sjór af norðlægum uppruna.

Í Grænlandssundi mætir Atlantssjórinn köldum pólsjónum sem kemur með Austur-Grænlandsstraumnum beint úr Norður-Íshafinu meðfram Grænlandi. Í Grænlandssundi ræðst hvert hlutfall þessara sjógerða verður yfir landgrunninu norðanlands². Utan landgrunnsbrúnarinnar og yfir landgrunnshlíðinni norðan við landið flæðir svo Austur-Íslandsstraumur sem flytur með sér kaldan sjó. Selta hans er mun meiri en pólsjávarins en lægri en í Atlantssjónum og hefur hann stundum verið nefndur Svalsjór. Norður-Íslands-Irmingerstraumurinn og Austur-Íslandsstraumurinn sameinast svo úti fyrir Norðaustur-landi og streyma síðan meðfram Austurlandi þar til straumurinn mætir Atlantssjónum að sunnan sem er á leiðinni austur³. Samhliða streyma þeir svo til austurs úti fyrir Suðausturlandi í átt til Færeyja yfir Íslands-Færeyjahryggnum. Styrkur allra straumanna er misjafn og einnig er hitastigið og seltan í þeim sjógerðum sem þeir flytja með sér mismunandi á ýmsum tímaskölum og markast hitastigs- og seltubreytingar í sjónum við Ísland af þessum þáttum.



Mynd 2.1.1. Meginhafstraumar í yfirborðslögum umhverfis Ísland og lögun hafsbotnsins. Sýndar eru þær stöðvar þar sem reglubundnar mælingar sjórannsóknar eru gerðar ásamt nöfnum sniðanna. Rauðar örvar tákna heitan og saltan Atlantssjó, bláleitar örvar seltuminni og kaldari pólsjó eða svalsjó.

Hita- og seltubreytingar í norðanverðu Norður-Atlantshafi og á Íslandsmiðum

Reglubundnar mælingar á hitastigi og seltu allt í kringum Ísland hófust um 1971 og hafa mælingar verið gerðar ársfjórðungslega frá þeim tíma. Mælt er á föstum stöðvum á sniðum út frá landinu eins og sýnt er á mynd 2.1.1 og eru stöðvunum gefin hækkandi númer því lengra sem þær eru frá landinu en sniðin ná yfirleitt út fyrir landgrunnsbrúnina. Stopulli mælingar á færri stöðvum voru þó gerðar á fyrri tímum, t.d. í tengslum við síldarleit norðanlands og verða þær mælingar einnig notaðar hér. Lengstu samfelldu og reglulegu mælingar, sem til eru frá íslenskum hafsvæðum, eru árlegar mælingar að vorlagi frá Siglunessniði norður af Siglunesi við Siglufjörð og ná aftur til ársins 1947.

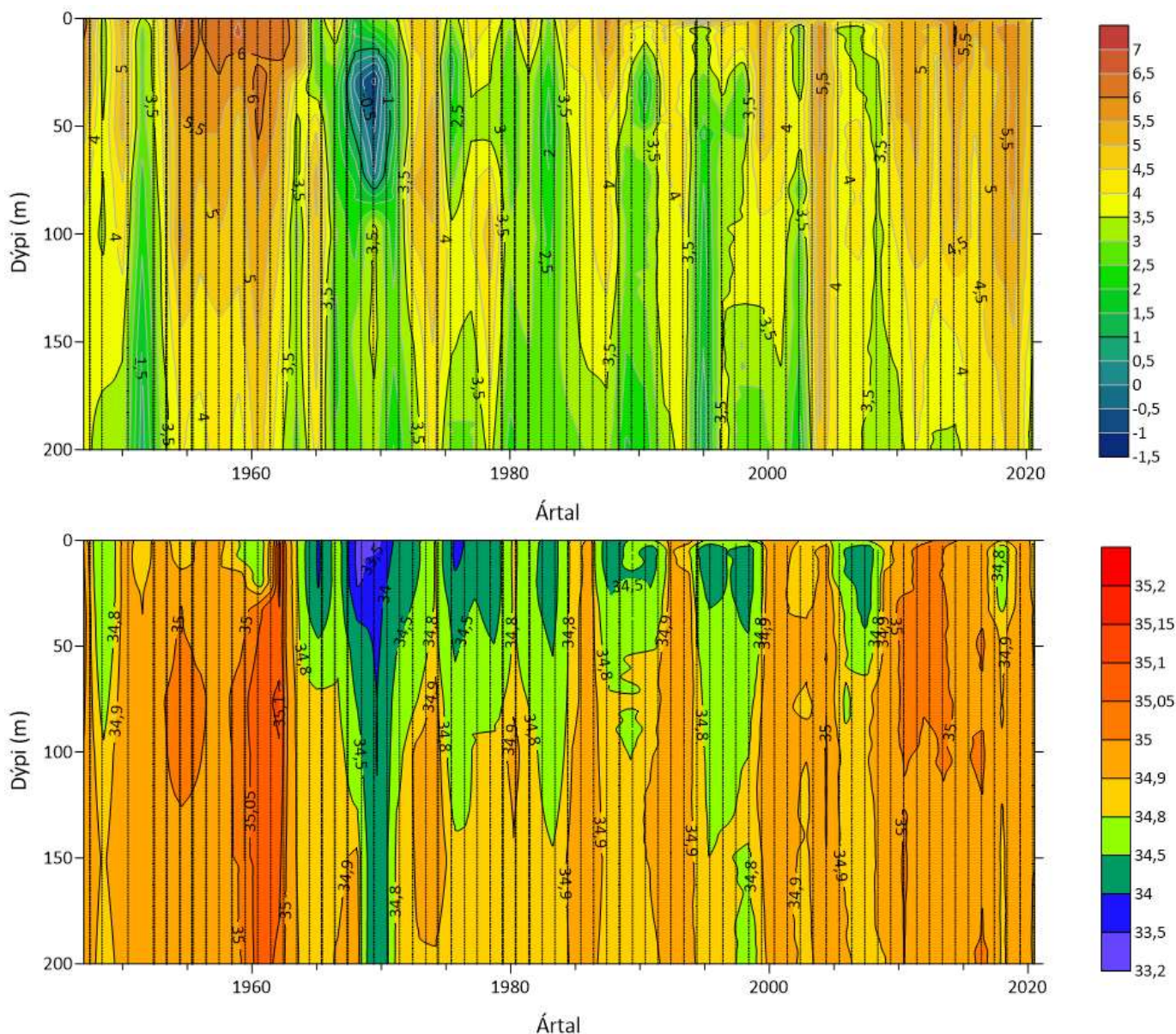
Á mynd 2.1.2 er sýnd dreifing hitastigs og seltu frá stöð 3 á Siglunessniðinu frá 1947–2020 að vorlagi (maí/júní). Fyrstu árin og fram til 1965 einkennast af tiltölulega heitum

(5–6°C) og selturíkum sjó með seltu í kringum 35. Þetta átti við um allt tímabilið frá 1930–1964⁴. Árið 1965 urðu síðan mjög snögg umskipti þar sem bæði hitastigið og seltan lækkuðu mjög skarpt og þannig var það allt fram til 1970. Þessi ár eru gjarnan kölluð hafísárin en á þessum árum var hafís viðloðandi landið og þakti oft sjóinn yfir landgrunnið norðanlands og 1968 náði hafísinn að streyma suður fyrir land allt vestur að Ingólfshöfða. Þessi snögg umskipti orsökuðust af því að ískaldur og seltulítil pólsjór úr Austur-Grænlandsstraumi streymdi yfir landgrunnið norðanlands og flutti með sér hafís. Þetta var upphafið að því sem kallað hefur verið stóra seltufrávikið (e. Great Salinity Anomaly) sem vísar til þess að kaldur sjór með lága seltu streymdi um norðanvert Norður-Atlantshaf og olli miklum umhverfisáhrifum með tilheyrandi áhrifum á vistkerfin sem hann fór um, allt frá

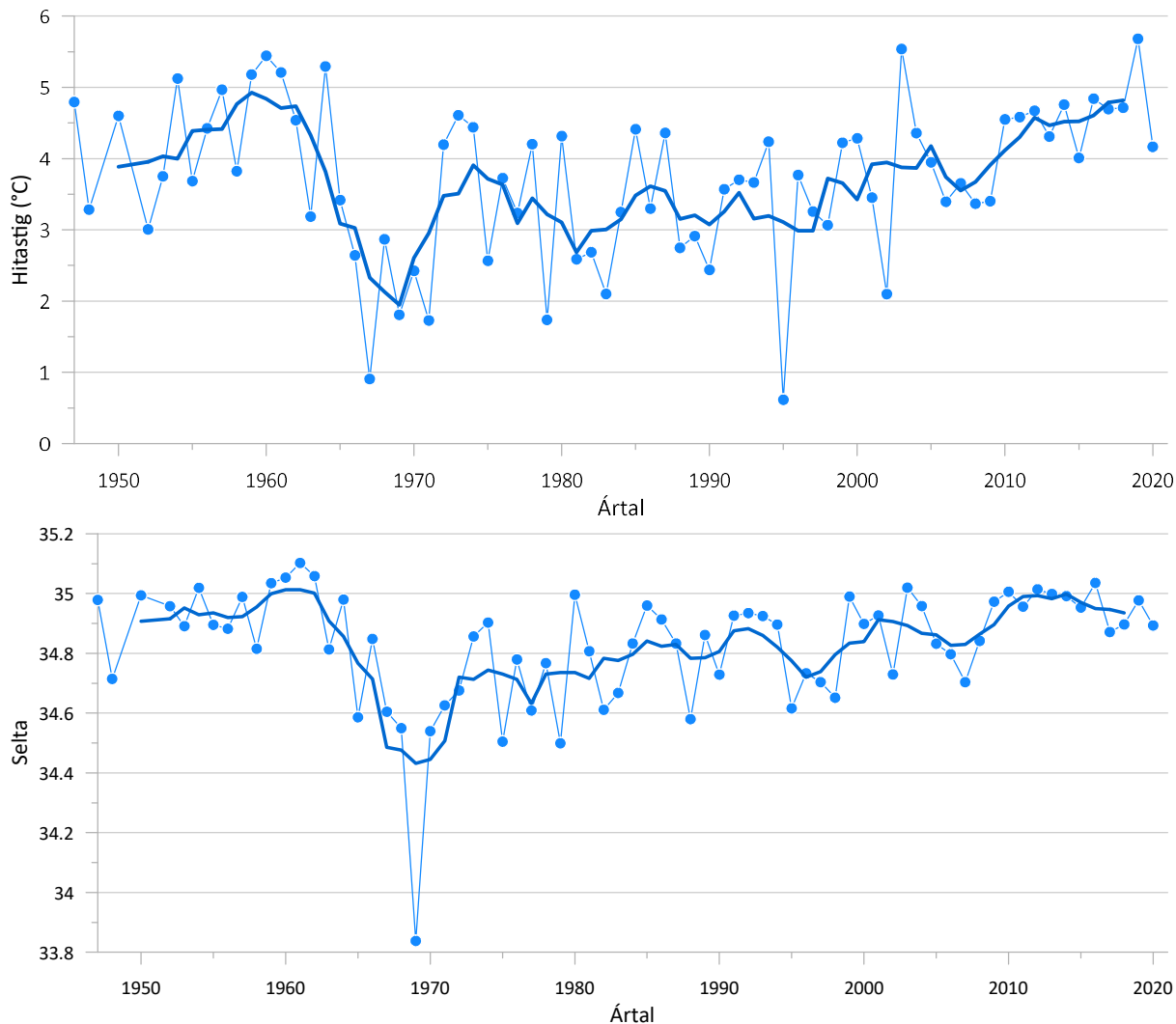
Vestur-Grænlandi um Labradorhaf og yfir Atlantshafið til Noregshafs og Barentshafs⁵. Áhrifa hans tók að gæta sunnanlands um miðjan áttunda áratug síðustu aldar eins og sést á Selvogsbanka (mynd 2.1.4). Fyrir norðan land tók svo við tímabil eftir 1970 sem var mun kaldara en það sem stóð yfir frá 1930–1964 en þó ekki eins kalt og hafísárin voru. Slíkt ástand hélst síðan fram til 1995 en eftir það hækkaði hitastigið um u.þ.b. 1°C á næstu 5 árum og samfara hækkaði seltan einnig. Þetta hefur síðan haldist þannig að mestu leyti.

Á mynd 2.1.3 sem sýnir meðaltal hitastigs og seltu frá 0–200 m dýpi á stöðvum 2–5 á Siglunessniði sést að bæði hitastig og selta eru tiltölulega há á árunum eftir 1995

en þó ekki hærri en þau voru á tímabilinu fyrir 1965. Einnig koma hafísárin vel fram bæði hvað varðar hitastig og seltu sem áberandi lægstu gildin milli 1965 og 1971. Eftir það hækkaði hitastigið um u.þ.b. 1°C og hélst þannig til 1998 þegar það fer hækkaði og fylgir seltan einnig svipuðu ferli. Á heitu tímabilunum var Atlantssjór ráðandi norðan við landið en á hafísárunum var pólsjórinn mun meira áberandi. Fyrstu fimm mánuði ársins 2003 svaraði hlutfall Atlantssjávar til 76% af innflæði Norður-Íslands-Irmingerstraumsins en samsvarandi hlutfall var 36% árið 1995².



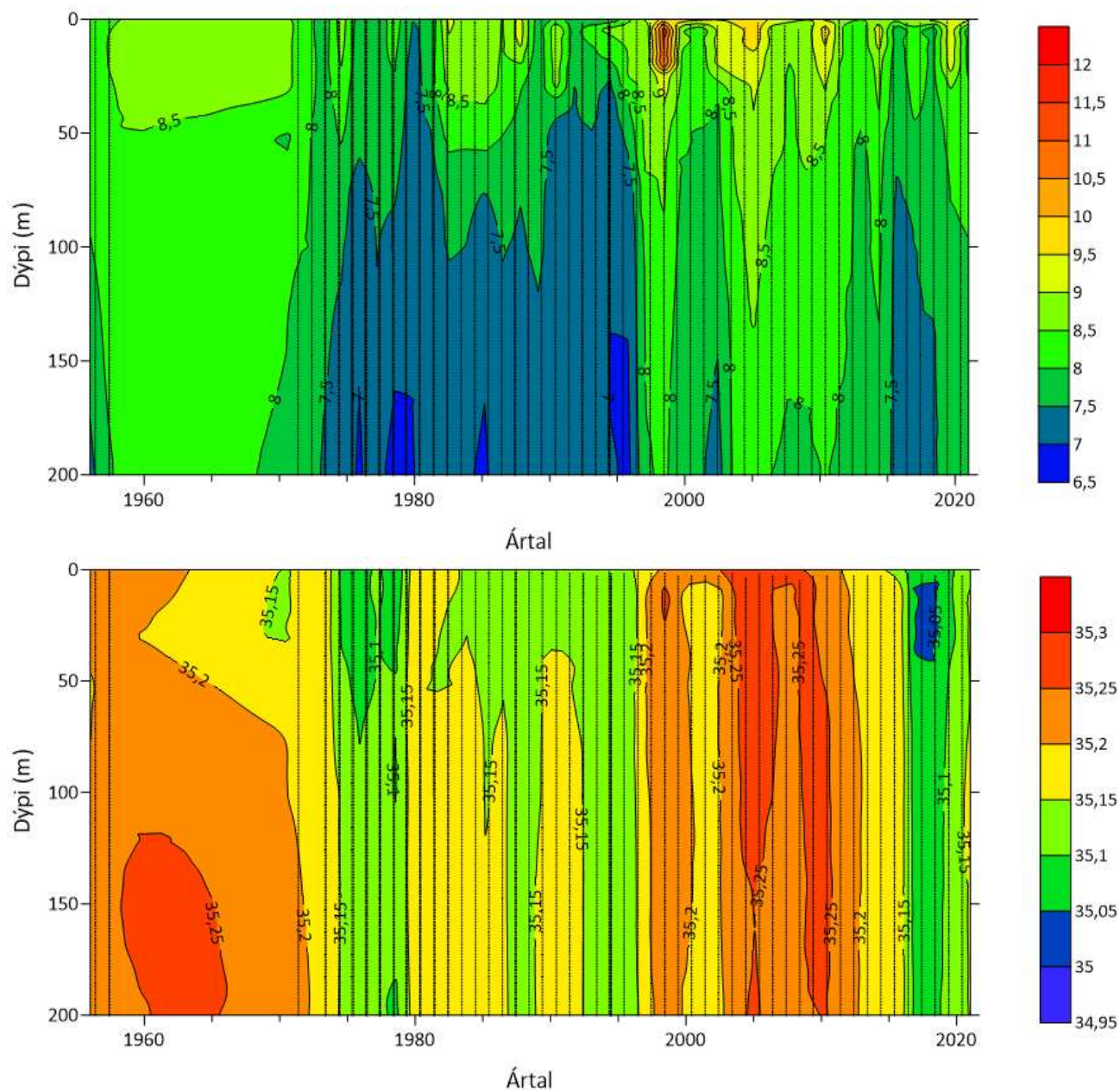
Mynd 2.1.2 Hitastig (efri mynd) og selta (neðri mynd) að vori í vatnsúlunni frá 0–200 m dýpi á stöð si3 á Siglunessniði norður af Siglunesi. Lóðréttu punktalínurnar á myndinni sýna hvar gögn eru tiltæk.



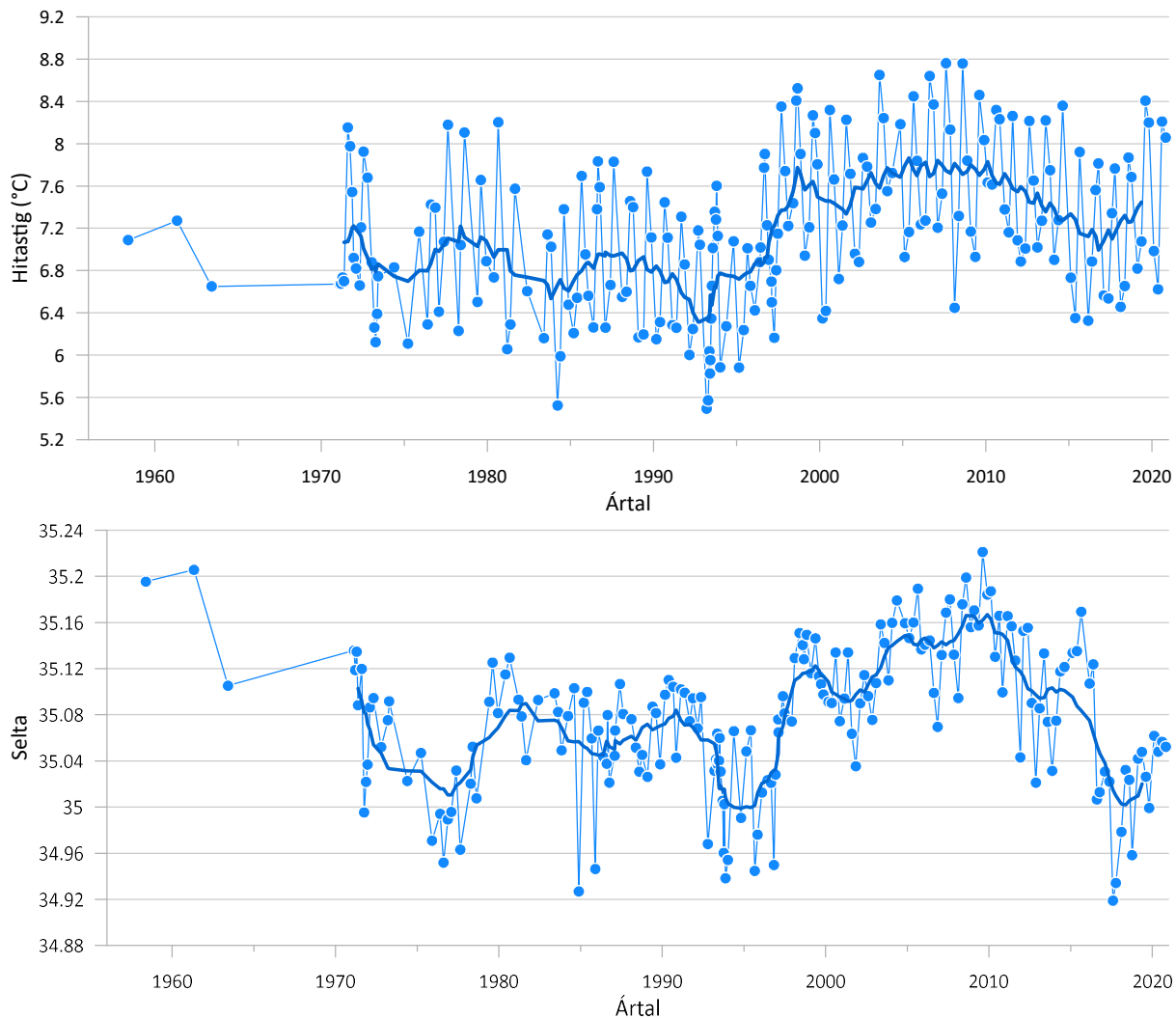
Mynd 2.1.3. Meðaltal af hitastigi (efri mynd) og seltu (neðri mynd) frá stöðvum 2-5 á Siglunessniði frá 0–200 m dýpi ásamt 5 ára keðjumeðaltali (þykka línan).

Atlantssjórinn fyrir sunnan land er ekki blandaður með öðrum sjógerðum eins og á Siglunessniðinu. Þar hófust reglulegar ársfjórðungslegar mælingar 1971 eins og á öðrum staðalsniðum við landið. Þó eru til stakar mælingar frá svæðinu á ýmsum tímum frá því fyrir 1971. Á mynd 2.1.4. eru sýnd hitastig og selta frá stöð 5 á Selvogsbankasniði frá 0–200 m dýpi. Þarna skiptist þetta í svipuð tímabil og í sjónum fyrir norðan land en þó eru nokkur atriði sem skera sig úr því fyrir sunnan land gætir ekki blöndunar við kaldari sjó úr norðri. Bæði hitastigið og seltan eru mun hærri en fyrir norðan land auk þess sem breytileikinn er mun minni. Þetta stafar af því að Atlantssjórinn sem þarna er nánast einráður er frekar einsleitur. Í kringum miðjan áttunda áratuginn kólnar og seltan lækkar og var þetta tengt stóra seltufrávikinu sem átti upphaf sitt í miklu magni pólsjávar sem streymdi úr Norður-Íshafinu og fór inn í hringrás Norður-Atlantshafsins gegnum Grænlandssund og barst síðan með kaldtempraða hvirflinum til Labradorhafs og þaðan til austurs og varð þessa vart um miðjan áttunda áratuginn á Selvogsbanka⁵. Eftir þetta héldust hitastigið og seltan frekar lág en upp

úr 1995 fer síðan bæði hitastigið og seltan að hækka sem skilaði sér síðan einnig inn á norðurmið. Þetta sést líka vel á mynd 2.1.5 sem sýnir meðaltal hitastigs og seltu frá 0–200 m dýpi á stöð 9 á Faxaflóasniði yfir landgrunnshlíðinni þar sem botndýpi er um 1000 m. Hitastigið og seltan lækkuðu síðan tímabundið á árunum 2012–2017 en fóru að stíga eftir það tímabil. Á þessum árum mældist mesta ferskvatn á svæðinu síðustu 120 ár⁶. Var ályktað að þetta stafaði af auknu flæði ferskvatns sem væri drifið af óvenjulegum vetrarvindum⁶. Ferskvatnið átti uppruna á heimskautasvæðinu og barst í Labradorhaf og þaðan inn í Grænlandshaf og Íslandsdjúp. Þetta stóð þó ekki lengi við og síðustu ár hafa bæði hitastigið og seltan hækkað á nýjan leik en þó ekki náð fyrri gildum.



Mynd 2.1.4 Hitastig (efri mynd) og selta (neðri mynd) að vori í vatnsúlunni frá 0–200 m dýpi á stöð sb5 á Selvogsbankasniði. Lóðréttu punktalínurnar á myndinni sýna hvar gögn eru tiltæk en engin gögn eru til fyrir tímabilið 1958–1970.



Mynd 2.1.5. Meðaltal af hitastigi (efri mynd) og seltu (neðri mynd) frá stöð 9 á Faxaflóasniði og stöð 8 á Reykjanessniði frá 0–200 m dýpi ásamt 5 ára keðjumeðaltali (þykka línan). Til 1982 eru mælingarnar frá stöð 8 á Reykjanessniði sem nú er aflagt en er í sams konar sjó eilítið sunnar en Faxaflóasniðið. Eftir 1982 eru mælingarnar frá stöð 9 á Faxaflóasniði.

Yfir hafsvæðinu í kringum Ísland er lofthitinn meira en 5°C yfir meðalhita á sömu breiddargráðu þar sem hafsvæðið nýtur mikils varmaflutnings með tiltölulega hlýjum hafstraumum úr suðri⁷. Þetta á einnig við um stóran hluta vestanverðrar Evrópu. Loftslagsbreytingar á og við Ísland hafa yfirleitt tengst breytingum í hafinu við Ísland og má í því sambandi benda á hafísárin frá 1965–1970 þegar pólsjór sem flutti með sér hafís úr Austur-Grænlandsstraumnum var ráðandi fyrir Norður- og Austurlandi. Á þessum árum fór lítið fyrir heitum og selturíkum Atlantssjó fyrir norðan land. Lofthiti á landinu fylgdi að verulegu leyti sjávarhitnum⁸. Eitt einkenni hafsvæðisins við Ísland er að lofthitinn er að öllu jöfnu lægri en sjávarhitinn. Þetta leiðir til þess að varmi flæðir frá sjónum og upp í andrúmsloftið og hitar það og það gerist í auknum mæli þegar heitari sjór streymir inn á svæðið. Mælingar sýna að Atlantssjórinn kólnar sífellt á leið sinni til landsins og eftir því sem hann streymir lengur við landið. Á leið sinni frá sniði frá suðurodda Grænlands (Hvarfi) til Skotlands⁹, og þar til hann fer inn í Norðurhöf yfir hryggina milli Grænlands og Skotlands¹⁰, þá tapar hann gífurlegri orku sem að mestu leyti fer í það að hita andrúmsloftið. Sjórinn við Ísland hefur verið tiltölulega heitur síðustu tvo áratugi og það hefur einnig gilt um andrúmsloftið yfir Íslandi. Flæði Atlantssjávar og varminn, sem það flytur með sér inn í Norðurhöf yfir hryggina milli Grænlands og Skotlands, voru rannsökuð yfir tímabilið 1993–2016¹⁰. Niðurstaðan var að meðaltal varmaflutningsins frá 2002–2016 var 21 TW (7%) hærra en fyrir tímabilið 1993–2000. Þessari aukningu var nokkuð jafnt skipt á milli hinna þriggja greina Atlantssjávarins þ.e. Norður-Íslands-Irmingerstraumsins um Grænlandssund, greinina sem fer yfir Íslands-Færeyjahrygginn og svo greinina sem fer milli Færeyja og Skotlands. Þetta þýðir að yfir 30% (7 TW) aukning varð á flæði varma inn á norðlenska landgrunnið á árunum eftir 2002 en 24 TW fluttust að meðaltali með Norður- Íslands-Irmingerstraumnum norður fyrir land á tímabilinu 1993–2017¹⁰. Varmaaukningin átti sér stað bæði vegna aukins flutnings á Atlantssjó inn á svæðið vegna þess að straumurinn

var sterkari en líka vegna þess að sjórinn var heitari og skiptist varmaaukningin nokkuð jafnt á milli þessara þátta. Sjórinn var enn fremur mun saltari. Aukningin í varmaflutningi yfir Grænlands-Skotlandshrygginn er talin hafa verið næg til að skýra mesta ef ekki alla varmaaukningu sem orðið hefur í höfunum norðan við Grænlands-Skotlandshrygginn frá árinu 2001¹⁰. Þetta staðfestir mikilvægi varmaflutnings með hafstraumum fyrir loftslag á háum breiddargráðum. Streymi Atlantssjávarins yfir hryggina milli Grænlands og Skotlands er efri hluti hita-seltuhringrásarinnar (AMOC) í Norður-Atlantshafinu og flutningur kalds djúpsjávar sem myndast við kælingu norðan við hryggina er neðri hluti hringrásarinnar. Bæði efri og neðri hluti hita-seltuhringrásarinnar yfir tímabilið 1993–2015 voru rannsakaðir og ályktað að báðir hlutar hita-seltuhringrásarinnar hefðu verið mjög stöðugir yfir tímabilið¹¹.

Samantekt

Hafsvæðið við Ísland er mjög hlýtt miðað við önnur svæði á svipaðri breiddargráðu. Þetta er ekki síst vegna mikils streymis heits og selturíks Atlantssjávar upp að landinu. Flæðið er hins vegar breytilegt og veldur miklum umhverfisbreytingum í hafinu við Ísland sem hefur mjög mikil áhrif á allt lífríkið í sjónum. Einnig getur aukið flæði pólsjávar frá Norður-Íshafi haft þau áhrif að verulega kaldari og seltuminni sjór streymi yfir landgrunnið norðanlands og hafi mikil áhrif á lífríkið þar. Gögn sýna að þær breytingar sem orðið hafa á hitastigi og seltu á hafsvæðinu kringum Ísland frá 1995 eru ekki meiri en áður hafa sést hér við land. Hægt er að útskýra þessar breytingar að mestu leyti með auknu flæði Atlantssjávar sem hefur hátt hitastig og seltu sem streymir hingað af meiri krafti en á tímabilinu frá 1965–1995¹⁰.

2.2 Breytingar á styrk næringarefna og sýrustigi undanfarin ár

Sólveig R. Ólafsdóttir
Hafrannsóknastofnun

Á kaldtempruðum svæðum breytist styrkur næringarefna og ólífræns kolefnis í yfirborðslögum sjávar reglulega eftir árstíðum og er það afleiðing af bæði lífrænum og eðlisfræðilegum ferlum. Dýpt blandaða lagsins við yfirborð er mest um hávetur en minnkar við myndun hitaskiptalags að vori eða við aðstæður þar sem sjór með lága seltu flæðir yfir eðlisþyngri og saltari sjó. Samhengi er á milli vetrarstyrks næringarefna í yfirborðslögum og dýptar blandaða lagsins að vetrarlagi því dýpri lóðrétt blöndun að vetrarlagi dregur næringarefnaríkan sjó upp í yfirborðslagið þar sem birtu nýtur og svifþörungur vaxa. Slíkt samband er mun algengara að sjá fyrir norðan en í hlýsjónum sunnan og vestan landsins¹². Þannig ráða aðstæður að vetrarlagi miklu um styrk næringarefna að vorlagi og hafa þannig áhrif á framleiðni svæðisins, en fleiri þættir komapó einnig við sögu. Næringarefni berast yfirborðslaginu eftir mörgum leiðum svo sem við lóðréttu blöndun, vegnahreyfingar sjávar, með blöndun vegna vinda og blöndun yfir hitaskiptalagið. Á norðlægum slóðum er lóðréttu blöndunin langmikilvægasta ferlið og er heildarframleiðni gróðurtímabils svifþörungum talin byggjast að mestu leyti á næringarefnaforðanum sem er til staðar í yfirborðslögum í lok vetrarblöndunar og skiptir því vetrarstyrkurinn verulegu máli við að útskýra breytingar þar á.

Styrkur næringarefna á íslenska landgrunninu er aðallega háður styrk þeirra í þeim sjó sem berst á grunnin. Nálægt ströndum landsins er viðbótarframboð uppleysts kísils sem berst með afrennsli til sjávar frá ám og fljótum¹³.

Reglubundnar rannsóknir á næringarefnum á öllu íslenska hafsvæðinu hafa lengi verið gerðar á vorin, í tengslum við rannsóknir á svifþörungum og framleiðni. Einnig hafa farið fram ársfjórðungslegar rannsóknir í tæp 40 ár á tveimur stöðum, í hlýsjó vestur af Faxaflóa og í köldum sjó Íslandshafs fyrir norðaustan land (mynd 2.1.1). Þar hefur verið fylgst með hlutþrýstingi CO₂ í sjó, karbónatkerfi sjávar, og styrk næringarefna. Sjór á þessum tveimur stöðvum er af ólíkum uppruna. Á Faxaflóastöðinni er Atlantssjór sunnan úr hafi með tiltölulega háa seltu og hitastig en í Íslandshafi er kaldur og seltulægri sjór af norðurslóðum. Árstíðabreytingar á þessum hafsvæðum eru verulegar bæði á mældum gildum í karbónatkerfinu og styrk næringarefna og koma fram í mælingum vetur, vor, sumar og haust. Eftir langan dimman vetur og uppblöndun efri laga sjávarins myndast skilyrði fyrir vorblóma svifþörungum sem leiðir til skyndilegs falls í styrk næringarefna og

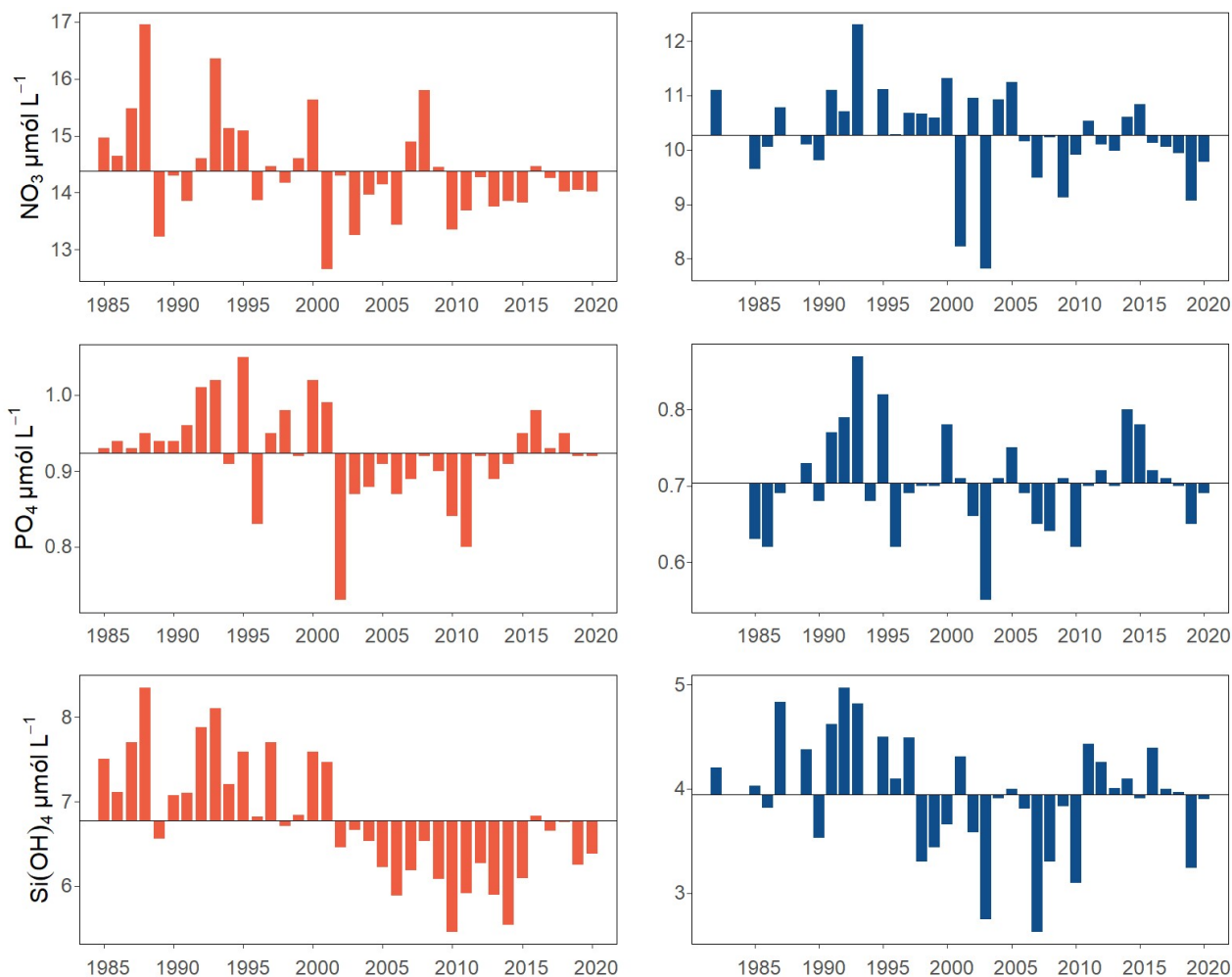
uppleysts, ólífræns kolefnis en hækkunar á sýrustigi (pH). Það getur tekið stuttan tíma (2–3 vikur) fyrir svifþörungum að klára vetrarforða næringarefna í hitaskiptalaginu og vorblóminn er stundum afstaðinn þegar vorleiðangur er farinn en stundum ekki. Þá tekur við hægfara styrkukning næringarefnanna og hámarksstyrk er náð á nýjan leik í árslok hið fyrsta. Árstíðasveiflan á styrk næringarefna og CO₂ er miklu meiri heldur en breytileiki milli ára á þessum þáttum. Því veita niðurstöður mælinga á vetrum styrkari vísbendingarum langtímabreytingar en mælingar á öðrum árstíðum.

Breytingar á styrk næringarefna

Langtímabreytingar á styrk næringarefnanna fosfats, nitrats og kísils að vetrarlagi eru hér metnar út frá styrk þeirra um hávetur þegar svifþörungavöxtur liggur niðri. Langtímabreytingar á árunum 1985–2020 á styrk nitrats og kísils að vetrarlagi í hlýsjónum vestan landsins og djúpt í Íslandshafi frá 1982–2020 (mynd 2.2.1) má greina í meðaltölum styrks næringarefna í efstu 100 metrum sjávar vestan landsins og úr efstu 50 metrum sjávar Íslandshafs. Mælingarnar voru gerðar á tímabilinu frá janúar til mars ár hvert. Í Íslandshafi og á landgrunninu fyrir norðan er vetrarstyrkur næringarefna lægri en í hlýsjónum sunnan lands og vestan¹⁴. Langtímameðaltölin í Íslandshafi eru 10,30 µmól L⁻¹ fyrir nítrat, 3,95 µmól L⁻¹ fyrir kísil og 0,70 µmól L⁻¹ fyrir fosfat en á Faxaflóa eru langtímameðaltal fyrir vetrarstyrk nitrats 14,38 µmól L⁻¹, 6,78 µmól L⁻¹ fyrir kísil og 0,92 µmól L⁻¹ fyrir fosfat (mynd 2.2.1).

Mikil breyting varð á kísilstyrk í hlýsjónum í kringum aldamótin og tengist það breytingum á hita og seltu hlýsjávarins sem berst að sunnan. Vetrarstyrkur kísils lækkaði um fjórðung og þar með forða kísils sem kísilþörungur hafa úr að spila í komandi vorblóma. Frá árinu 2014 hefur vetrarstyrkur kísils í hlýsjónum hækkað og selta sömuleiðis.

Heildarframleiðni svifþörungum takmarkast af styrk nitrats en styrklutföll þessara næringarefna kunna að hafa áhrif tegundasamsetningu svifsins. Fosfatstyrkur lækkaði einnig á sama tíma og kísillinn en fosfat verður aldrei takmarkandi næringarefni fyrir svifþörungavöxt í hafinu við Ísland^{13,14}.



Mynd 2.2.1. Langtímabreytingar 1985–2020 á meðalstyrk nitrats (NO_3), kísils (Si(OH)_4) og fosfats (PO_4) að vetrarlagi sem frávik frá langtímameðaltali, í efstu 100 metrum sjávarins í hlýsjó vestan landsins (vinstra megin) og úr efstu 50 metrum sjávarins djúpt í Íslandshafi frá 1982–2020 (hægra megin).

Breytingar á sýrustigi

Frá upphafi iðnbýltingar hafa athafnir mannsins, svo sem bruni jarðefnaeldsneytis og sementsframleiðsla, leitt til þess að 675 ± 80 Gt af kolefni hafa verið losuð út í andrúmsloftið¹⁵. Um 25% af losuninni hefur verið tekin upp af heimshöfunum sem CO_2 (koldíoxíð) og á þannmáta haldið aftur af gróðurhúsáhrifum og hlýnun jarðar. Upptaka hafsins af CO_2 leiðir til þess að hafið verður súrara þ.e.a.s. að styrkur vetnisjóna ($[\text{H}^+]$) eykst, við það lækkar pH og einnig lækkar styrkur CO_3^{2-} sem er annað byggingarefnið sem lífverur þurfa til að mynda kalk, CaCO_3 . Þetta ferli kallast súrnun sjávar. Frá 1750 hefur sýrustig við yfirborð heimshafanna lækkað að meðaltali um 0,1 pH einingu eða frá 8,2 til 8,1¹⁶. Þetta svarar til aukningar á $[\text{H}^+]$ um u.þ.b. 26% þannig að yfirborð heimshafanna er nú 26% súrara en það var fyrir iðnbýltingu. Áætlað hefur verið að við Ísland hafi orðið enn meiri breytingar, pH fallið um 0,14 og $[\text{H}^+]$ hækkað um 37%¹⁷. Útreikningar með líkönum benda til þess að yfirborð heimshafanna súrni um 0,1–0,4 pH einingar til viðbótar í lok þessarar aldar eftir því hvaða losunarhraða er reiknað með¹⁸. Súrnunin breytir mikilvægum þáttum umhverfisins einkum fyrir lífverur sem mynda kalk¹⁹.

Súrnun sjávar er skilgreind út frá pH og mettnarstigi kalsíumkarbónats (Ω). pH og Ω breytast við upptöku á koldíoxíði úr andrúmsloftinu en einnig vegna náttúrulegra ferla eins og ljóstillífunar, öndunar, myndunar og niðurbrots kalkskelja, hlýnunar, kólnunar og blöndunar við ferskari eða saltari vatnsmassa. Þessi ferli eru árstíðatengd og valda hliðrunum á efnajafnvægjum karbónatkerfisins og leiða til árstíðabreytinga á pH og Ω .

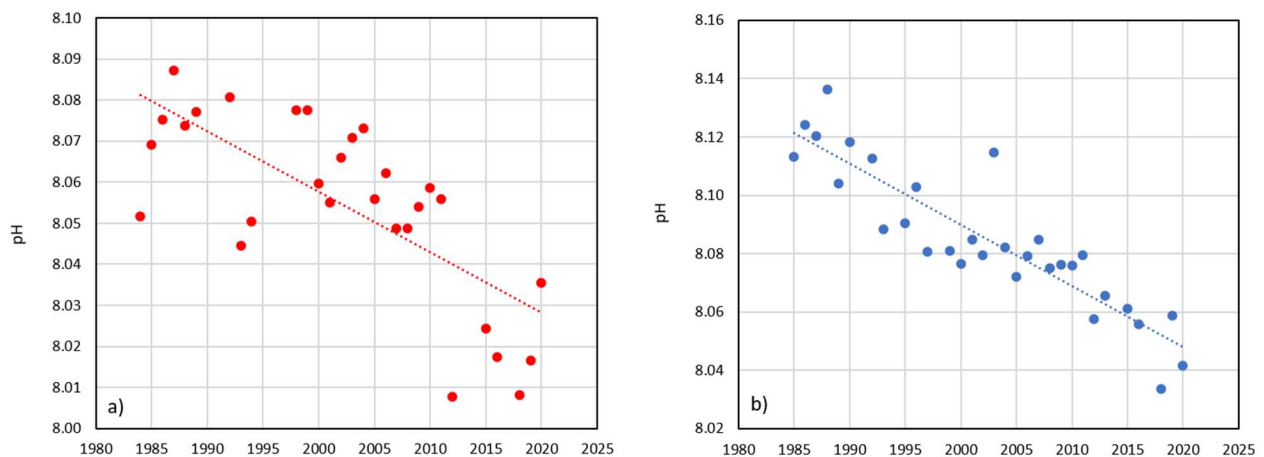
Tímaraðir af eiginleikum karbónatkerfisins frá vetrarathugunum á tveimur stöðvum ná yfir 35 ár og hafa þær verið notaðar til að meta hraða súrnun sjávar²⁰. Á því tímabili hafa orðið breytingar í umhverfisaðstæðum á þessum svæðum en hlýnun og hækkun seltu í Atlantssjónum frá árinu 1996 hafði einnig í för með sér lækkun á kísilstyrk og breytingar á karbónatkerfinu. Aðstæður í Íslandshafi hafa hins vegar verið stöðugri. Þetta veldur því að meiri breytileiki er á sýrustigi í hlýsjónum vestan lands og sunnan. Á ársgrundvelli er flæði koldíoxíðs milli andrúmslofts og sjávar mun meira í kalda sjónum heldur en í Atlantssjó²¹.

Sýrustig er reiknað út frá mældum þáttum karbónatkerfisins úr efstu metrum sjávarins um hávetur en breytingar eru einnig mælanlegar úr allri vatnssúlunni þó að hröðustu breytingarnar séu í yfirborði. Svipaðar breytingar mælast á nærliggjandi hafsvæðum²². Hraði breytinga á sýrustigi er meiri í Íslandshafi en á Faxaflóa en á tímabilinu 1985–2020 er lækkunin 0,0021 pH einingar á ári. Á Faxaflóa er lækkunin 0,0015 pH einingar á ári fyrir tímabilið 1984–2020 (mynd 2.2.2). Fyrir Íslandshaf hefur verið sýnt fram á að súrnunin hefur nú þegar hliðrað sýrustigi niður fyrir þau mörk sem voru á öllum árstímum fyrir iðnbyltingu, þrátt fyrir mikinn árstíðabreytileika²³.

Samantekt

Næringarefnastyrkur í efstu lögum sjávar í lok vetrar sem stendur undir stórum hluta frumframleiðinnar á ársvísu, fer eftir dýpt blandaða lagsins að vetri. Frumframleiðni kann því að lækka verði lagskipting sterkari sem afleiðing afhlýnun og seltulækkun sem leiðir til minnkandi samskipta milli yfirborðslaga og djúpsjávar. Slíkar breytingar eru ekki enn aðgreinanlegar frá náttúrulegum breytileika á næringarefnastyrknum.

Sjórinn mun halda áfram að taka upp koldíoxíð úr andrúmsloftinu og heldur áfram að súrna sem afleiðing af þeirri upptöku. Hraði súrnunarinnar fer þó eftir því hver losun á koldíoxíði til andrúmsloftsins verður. Þessar breytingar á sýrustigi hafa minnkað stöðugleika kalks þar sem lækkun verður einnig á styrk karbónatjónar. Þær breytingar eru hraðari norðanlands en sunnan.



Mynd 2.2.2. Sýrustig sjávar að vetrarlagi sem fall af tíma reiknað við yfirborð og meðalhitastig tímabilisins, a) á Faxaflóa 1984–2020 (meðalhiti 6,50 °C), hallatala línunnar er -0,0015 ($r^2=0,56$) og b) í Íslandshafi 1985–2020 (meðalhiti 0,00 °C), hallatala línunnar er -0,0021 ($r^2=0,80$).

2.3 Líffræðilegar afleiðingar súrnunar sjávar

Hrönn Egilsdóttir

Hafrannsóknastofnun

Súrnun sjávar er samheiti yfir þær breytingar sem verða á karbónatkerfi sjávar vegna upptöku hans á koldíoxíði (CO_2). Þær breytingar sem helst geta haft áhrif á lífríki sjávar eru af tvennum toga, annars vegar er um að ræða lækkun á sýrustigi (pH) og hins vegar lækkun á kalkmettunarstigi (Ω) (mynd 2.3.1). Lækkun á sýrustigi sjávar (pH) getur haft margs konar áhrif á lífríki í sjó. Mörg grundvallar lífeðlisfræðileg ferli sem skipta máli fyrir öndun, vöxt og hegðun stýrast að hluta til af sýrustigi og hafa sjávarlífverur misgóða stjórn á sínu innra sýru-basa kerfi. Afleiðingar lægra sýrustigs í umhverfi þeirra geta komið fram á margs konar hátt, t.d. sem breytt hegðunarmynstur, breyting á taugalíffræðilegum eiginleikum eða vefjaskemmdir^{24, 25}.



Mynd 2.3.1 Þegar styrkur koldíoxíðs eykst í sjó og sjór súrnar þá eiga sér stað afleiddar breytingar á tveimur mikilvægum þáttum sem hafa áhrif á lífríki sjávar: sýrustigi (pH) og kalkmettunarstigi (Ω). Aukning á styrk koldíoxíðs getur einnig haft bein áhrif á lífverur, s.s. frumframleiðendur.

Í súrnun sjávar felst meiri ógn fyrir lífverur sem mynda kalk (CaCO_3) heldur en lífverur sem gera það ekki. Kalkmettunarstig sjávar lækkar samhliða lækkandi sýrustigi. Fyrir margar kalkmyndandi lífverur leiðir lækkandi kalkmettunarstig sjávarins til þess að kalkmyndunarferlið verður orkukræfara. Þá getur mjög lág kalkmettun (undirmettun kalks, $\Omega < 1$) valdið því að kalk sem er óvarið með lífrænum vef leysist upp. Lífverur hafsins mynda þrjár gerðir kalks sem hafa mismunandi eiginleika og leysni. Aragónít (CaCO_3) og magnesíum-ríkt kalsít ($\text{Ca}(\text{Mg})\text{CO}_3$) eru uppleysanlegri form kalks heldur en hreint kalsít (CaCO_3). Búast má við að tegundir sem mynda aragónít (t.d. lindýr og kóraldýr) og magnesíum-ríkt kalsít (t.d. rauðþörungar og skrápdýr) séu viðkvæmari fyrir súrnun sjávar en þær sem mynda kalsít²⁶.

Aðstæður við Ísland

Á Íslandi hafa farið fram langtímarannsóknir á breytileikaí karbónatkerfi sjávar (sjá kafla 2.2) en engar beinar rannsóknir hafa farið fram á líffræðilegum áhrifum súrnunar sjávar. Þó rannsóknir við Ísland hafi verið takmarkaðar hefur safnast talsverð þekking úr rannsóknum við sambærilegar aðstæður sem tengja má við lífríki og vistkerfi í hafinu við Ísland. Þegar niðurstöður erlendra rannsókna eru heimfærðar á íslensk hafsvæði þarf að taka til greina þann umhverfisbreytileika sem er til staðar við landið auk upplýsinga um tegundasamsetningu og vistkerfi sjávar.

Hitastig sjávar skiptir talsverðu máli þegar litið er til líffræðilegra áhrifa súrnunar sjávar. Leysni CO_2 er meiri í köldum sjó en heitum og upptaka á CO_2 á köldum hafsvæðum er því hraðari. Þar er kalkmettunarstig sjávar einnig náttúrulega lágt en önnur efnafræðileg ferli stuðla einnig að hraðri upptöku í pólsjó²¹. Af þessu leiðir að afleiðingar súrnunar sjávar eru taldar geta orðið verstar fyrir vistkerfi á köldum hafsvæðum. Ísland liggur á mörkum kaldsjávar í norðri og hlýrri sjávar í suðri. Þessi umhverfisbreytileiki endurspeglast í lífríkinu í kring um landið því margar tegundir sem finnast einungis í hlýsjó suður af landinu, t.d. kalkmyndandi kóraldýr og ýmsar tegundir kalkmyndandi lindýra^{27,28}. Kalkmyndandi kóraldýr og lindýr framleiða kalkgerðina aragónít og því er mögulegt að lág kalkmettun norður af landinu hamli útbreiðslu þeirra er norðar dregur en vafalaust hafa aðrir umhverfisþættir einnig áhrif²⁹. Líklegt má telja að hafsvæðið norður af Íslandi verði að mestu undirmettað með tilliti til aragóníts og magnesíum-ríks kalsíts árið 2100^{22, 30}. Við þær aðstæður er kalkið óstöðugt og óvarið kalk leysist smám saman upp (hægt ferli). Vegna hraða súrnunar sjávar og lágrar kalkmettunar í sjó af náttúrunnar hendi er ástæða til þess að líta á súrnun sjávar sem umhverfisvá við strendur Íslands.

Líffræðileg áhrif

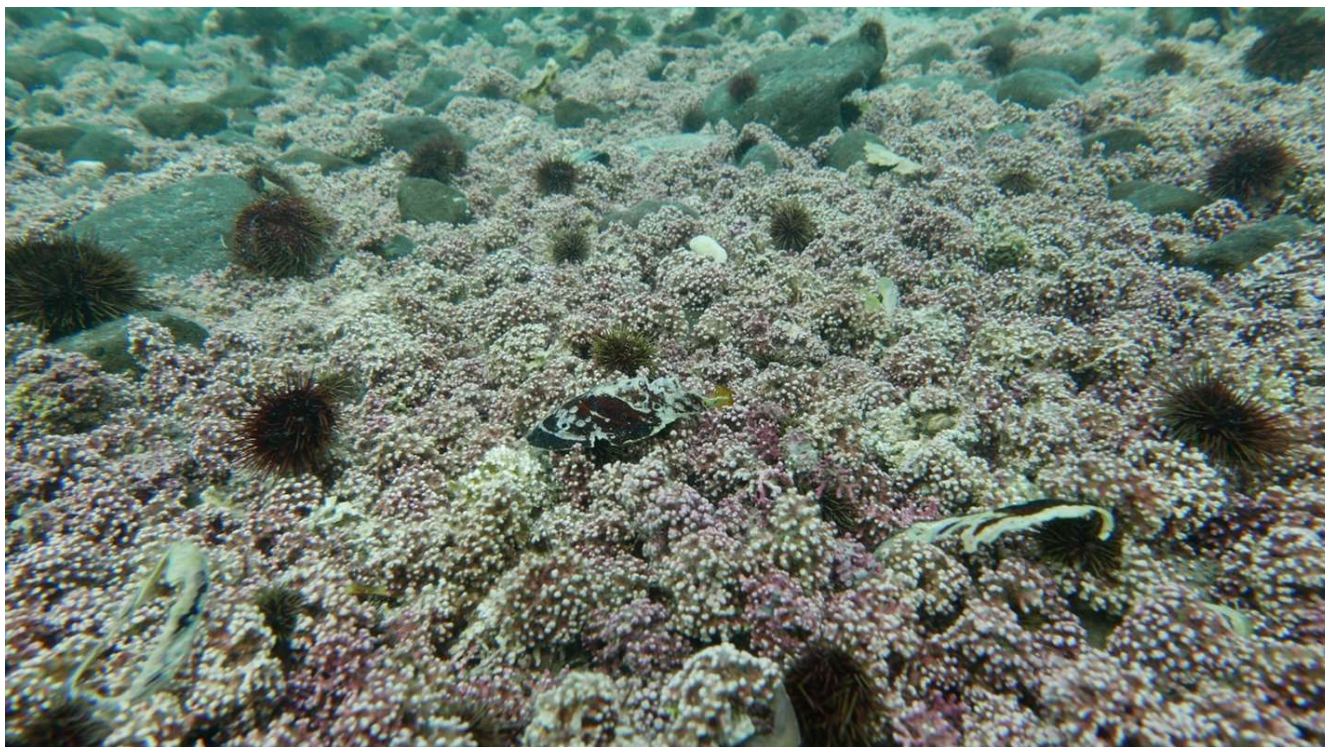
Þekking á líffræðilegum áhrifum súrnunar sjávar er enn brotarkennd en rannsóknir síðustu tveggja áratuga hafa þó varpað ljósi á nokkur atriði sem almennt eiga við:

- Talsverður breytileiki er til staðar í viðbrögðum lífvera við súrnun sjávar á milli tegunda og jafnvel á milli stofna sömutegundar³¹.
- Dýr þola síður þrengra svið umhverfisþátta snemma á lífsferlinum heldur en fullvaxta dýr. Þannig eru lirfur fiska og hryggleysingja almennt mun viðkvæmari fyrir súrnun sjávar heldur en fullvaxta einstaklingar sömu tegundar³².
- Álag vegna súrnunar sjávar getur leitt til aukinnar orkuþarfar hjá lífverum. Við ákveðnar aðstæður getur nægilegt fæðuframboð dregið talsvert úr neikvæðum áhrifum súrnunar sjávar á lífverur^{33, 34}.
- Geta lífveru til að þola það álag sem stafar af súrnun sjávar minnkar ef hún er undir annars konar álagi að auki^{35, 36}.

Súrnun sjávar getur haft bein eða óbein áhrif á lífverur. Allar lífverur eru þó hluti af vistkerfum og hafa þar ólík hlutverk. Bein áhrif á eina tegund getur haft afleiðd áhrif á aðra tegund en þá er um að ræða óbein áhrif súrnunar sjávar á seinni tegundina. Dæmi um slík áhrif eru hnignun á búsvæðamyndandi tegund (t.d. kóraldýra) sem leiða af sér neikvæð áhrif fyrir það lífríki sem nýtir búsvæðið.

Þótt almennt megi búast við neikvæðum áhrifum súrnunar sjávar á lífríki og vistkerfi er á því ein undantekning. Aukning á uppleystu CO_2 í sjó getur haft jákvæð áhrif á vöxt nokkurra frumframleiðenda sem nýta CO_2 til framleiðslu á lífrænum vef s.s. marhálms (*Zostera marina*)³⁷ og stórþara (*Laminaria hyperborea*)³⁸. Rannsóknir hafa þó bent til takmarkaðra áhrifa á vöxt ýmissa annara tegunda þörungar³⁹. Þá bendir t.d. rannsókn Gutow o. fl.⁴⁰ á bólupangi (*Fucus vesiculosus*) til þess að aukning í styrk CO_2 takmarki vöxt, þvert á það sem búist var við. Tilraunir á frumframleiðendum hafa sýnt fram á flókin áhrif súrnunar þar sem mælanleg áhrif geta reynst vera af völdum aukins styrks CO_2 , lækkunar á sýrustigi eða vegna samspils þessara þátta⁴¹. Í tilfelli kalkmyndandi frumframleiðenda má bæta við einum umhverfisþætti í viðbót, kalkmettunarstigi.

Kalkmyndandi frumframleiðendum stafar talsverð ógn af súrnun sjávar vegna áhrifa lækkandi kalkmettunarstigs. Kalkmyndandi rauðþörungar eru margir hægvoxta og mynda magnesíum-ríkt kalsít. Nokkrar tegundir finnast á grunnsævi hér við land og skapa sumar þeirra, svokallaðir kórálþörungar, búsvæði fyrir aðrar lífverur vegna flókins vaxtarforms síns (mynd 2.3.2). Vegna lækkandi kalkmettunar stafar kalkmyndandi rauðþörungum veruleg ógn af súrnun sjávar hér við land og eru taldar

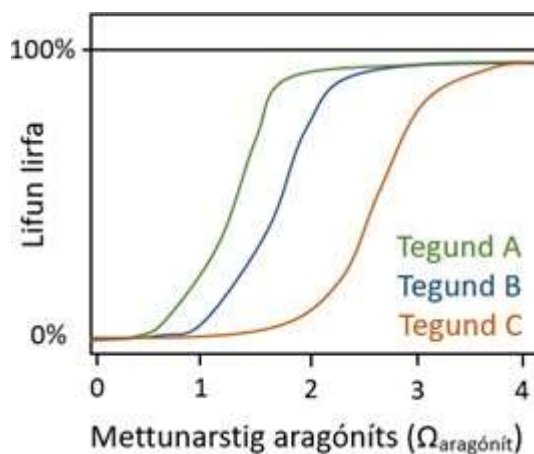


Mynd 2.3.2 Kóralþörungabreiða í Ísafjarðardjúpi. Rauðþörungar mynda kalk og geta myndað miklar breiður sem skapa búsvæði fyrir aðrar lífverur. Mynd: Hrönn Egilsdóttir

líkur á að vaxtarskilyrði fyrir kalkmyndandi rauðþörungum sem mynda kóralþörungabreiður verði orðin mjög óhagstæð á þessari öld sem takmarkar enn frekar vöxt þeirra. Það gæti leitt til þess að lifandi kóralþörungar hverfi að mestu af íslenskum strandsvæðum á þessari eða næstu öldum⁴².

Viðbrögð svifþörungum við súrnun sjávar eru afar breytileg en fyrirliggjandi gögn benda til þess að súrnun sjávar muni eiga þátt í að móta tegundasamsetningu þeirra er fram líða stundir⁴³.

Kalkmyndun er eiginleiki sem þróast hefur meðal margra gerðra sjávarhryggleysingja, s.s. lindýra, kóraldýra, skrápdýra og krabbadýra. Margar tegundir lindýra mynda þykka kalkskel, oftast úr aragóníti eða bæði aragóníti og kalsíti, og teljast því viðkvæmar gagnvart súrnun sjávar. Á meðal lindýra eru ýmsar nytjategundir, s.s. kræklingur (*Mytilus edulis*), hörpudiskur (*Chlamys islandica*) og beitukóngur (*Buccinum undatum*). Sýnt hefur verið fram á að lifun lirfa lindýra sem mynda kalk er mjög háð kalkmettunarstigi en hver þolmörkin eru er breytilegt eftir tegundum, stofnum innan tegunda og áhrifum annara umhverfispáttanna⁴⁴ (mynd 2.3.3).



Mynd 2.3.3. Dæmi um áhrif mismunandi kalkmettunarstigs á lífuproska þriggja tegunda kalkmyndandi lindýra. Við of lágt kalkmettunarstig deyja allar lírfur snemma í þroskaferlinu vegna þess að myndun kalkskeljar mistekst. Skýringarmyndin er byggð á ferlum sem birtast í grein eftir Waldbusser o.fl.⁴⁴.

Þótt mikill breytileiki sé í viðbrögðum lindýra við súrnun sjávar er ljóst að sá hópur lífvera er viðkvæmur bæði vegna lækkandi kalkmettunarstigs og vegna lækkandi sýrustigs⁴⁵. Skrápdýr teljast einnig til viðkvæmra hópa en þau bregðast um margt við súrnun sjávar svipað því sem greint var frá fyrir lindýr⁴⁶. Sviflæg krabbadýr (átutegundir) þjóna mikilvægu hlutverki í vistkerfi sjávar við Ísland en áhrif súrnunar sjávar virðast afar breytileg á milli lífsstiga og tegunda. Rannsókn Thor o. fl.⁴⁷ sýndi fram á að súrnun sjávar geti haft alvarleg áhrif á heilbrigði stofna átutegundarinnar *Calanus glacialis* á arktískum svæðum. Þá benda rannsóknir á stókröbbum til þess að búast má við auknum neikvæðum áhrifum á stofna sem búa við norðlæg útbreiðslumörk, þ.e.a.s. við neðri hitastigspölmörk⁴⁸.

Við upphaf rannsókna á líffræðilegum áhrifum súrnunar sjávar var talið að alvarlegustu afleiðingar hennar á fiska væru einkum óbein, t.d. vegna neikvæðra áhrifa á mikilvægar fæðutegundir. Tilraunir hafa hins vegar bent til þess að fiskar geti einnig orðið fyrir beinum áhrifum af súrnun sjávar sem felast þá helst í röskun á innra sýrubasa jafnvægi og takmörkun á vexti og lifun lirfa⁴⁹. Í tilfelli þorsks (*Gadus morhua*) hefur verið sýnt fram á röskun á þroska lirfa vegna súrnunar sjávar²⁴ en einnig að nægilegt fæðuframboð geti vegið verulega á móti neikvæðum áhrifum⁵⁰. Þá sýndi rannsókn Dahlke o.fl.⁵¹ fram á að súrnun sjávar auki álag á þorsklirfur og þrengi það hitastigsbil sem þeim hentar. Mikil óvissa er þó til staðar um aðlögunarhæfni fiska og annarra lífvera.

Sjór mun halda áfram að súrna næstu áratugi. Í því felst veruleg ógn fyrir lífríki hans og því eru blikur á lofti fyrir heilbrigði vistkerfa í hafinu við Ísland. Þetta er ljóst þrátt fyrir óvissu um hverjar afleiðingar verða fyrir lífverur og vistkerfi sjávar er fram líða stundir⁵². Efnahagsleg áhrif súrnunar sjávar hafa þegar komið fram erlendis en rekja má hrun í ostrueldi við vesturströnd Bandaríkjanna til súrnunar sjávar⁵³.

Þörf er á frekari rannsóknum sem taka tillit til staðbundins umhverfisbreytileika og vistkerfa við strönd Íslands. Til dæmis gætu afleiðingar súrnunar sjávar verið aðrar fyrir kalkmyndandi rauðþörunga í Ísafjarðardjúpi heldur en í Hvalfirði vegna ólíkra umhverfisaðstæðna. Meta þarf þörmörk lífvera og kortleggja hvaða lífverur þjóna mikilvægu hlutverki í vistkerfum sjávar við Ísland en sem gætu jafnframt reynst viðkvæmar gagnvart súrnun sjávar. Líffræðilegar rannsóknir þurfa að fara fram samhliða rannsóknum á umhverfisbreytileika í karbónatkerfi sjávar. Þekking á breytileika í karbónatkerfi sjávar auk þekkingar á líffræðilegum áhrifum súrnunar sjávar er forsenda þess að hægt sé að meta neikvæð áhrif súrnunar sjávar á ýmsa haftengda starfsemi og fyrir hugsanlegar mótvægisáðgerðir til að vernda líffræðilegan fjölbreytileika á standsvæðum^{54–56}.

Samantekt

Líffræðileg áhrif súrnunar sjávar geta komið fram vegna lækkunar á sýrustigi og/eða lækkunar á kalkmettunarstigi í sjó. Lífverur sjávar eru misjafnlega viðkvæmar fyrir súrnun sjávar en þegar áhrifa gætir eru þau almennt neikvæð, t.d. vefjaskemmdir, takmarkaður vöxtur eða takmörkuð geta til framleiðslu kalks. Undantekning frá þessu eru jákvæð áhrif hækkunar á styrk CO₂ í sjó á vöxt einstaka frumframleiðenda, s.s. marhálms. Ljóst er að áhrif súrnunar sjávar eru margs konar en almennt teljast kalkmyndandi lífverur viðkvæmari en þær sem ekki mynda kalk.

Vegna lágs hitastigs, lágrar kalkmettunar og hraðra breytinga felst veruleg ógn í súrnun sjávar fyrir lífríki og vistkerfi í hafinu við Ísland. Takmörkuð þekking umhverfisbreytileika í karbónatkerfi sjávar og líffræðilegum áhrifum súrnunar sjávar skapar mikla óvissu um afleiðingar súrnunar sjávar er fram líða stundir. Þörf er á að efla rannsóknir á þessu sviði.

2.4 Möguleg framvinda loftslagsbreytinga og áhrif á hafið við Ísland í náninni framtíð

Steingrímur Jónsson¹ og Sólveig R. Ólafsdóttir²

¹) Háskólinn á Akureyri

²) Hafrannsóknastofnun

Þær breytingar sem orðið hafa hér við land síðustu tvo áratugi má rekja að mestu leyti til breytinga á hafstraumum sem hafa borið upp að landinu sunnanverðu heitari og saltari Atlantssjó af meiri krafti en var hér á árunum 1965–1995 og breytingarnar hafa líka skilað sér norður fyrir land. Það virðist sem breytingar á aðstæðum í hafinu við Ísland, bæði hitastigi og seltu megi einkum rekja til til náttúrulegra sveiflna en tengist síður breytingum á loftslagi af mannavöldum. Þetta kann að breytast haldi loftslagsbreytingar af mannavöldum áfram að aukast eins og allt bendir til. Ekki er ástæða til að ætla annað en að í náninni framtíð muni þetta halda áfram að vera svo þó það kunni að breytast sé til lengri tíma lítið þegar loftslagsbreytingar af mannavöldum aukast enn frekar eins og allt stefnir í. Þá hefur verið sýnt fram á að ekki hefur verið aukning á varmaflutningi með Norður-Íslands-Irmingerstraumnum inn á norðurmið frá árinu 2003 er hann var í hámarki¹⁰. Varmaflutningurinn er samt enn mjög hár miðað við hvað hann var á tímabilinu 1995–2000 og hefur haldist nokkuð stöðugur síðasta áratug¹⁰. Eins og fram kom í kafla 2.1. þá virðast breytingar á ástandi sjávar við Ísland geta gerst tiltölulega hratt. Þannig urðu mjög snöggar breytingar sem skópu hafísárin og alger umskipti urðu þá úti fyrir Norðurlandi frá 1964–1965. Það sem olli þessum umskiptum var aukið streymi kalds og seltulítls pólsjávar úr Norður-Íshafi. En hverjar eru aðstæðurnar í Norður-Íshafinu núna? Ferskvatn hefur verið að safnast fyrir í Beaufort-hvirflinum í vestanverðu Norður-Íshafi vegna aukins styrks hæðarinnar yfir Norður-Íshafinu og hefur uppsöfnunin numið 6400 km³ yfir tímabilið 2003–2018⁵⁷. Þetta er svipað magn og talið er hafa valdið stóra seltufrávikinu sem hófst með hafís-árunum 1965–1970. Það er því ekki hægt að útiloka að nýtt tímabil með aukinni útbreiðslu pólsjávar geti skolið á ef hæðin gefur eftir og ferskvatnið flæðir til Íslands með Austur-Grænlandsstraumi líkt og gerðist á hafísárunum. Ekki er þó víst að því myndi fylgja jafnmikill hafís og þá en hafísinn í Norður-Íshafinu hefur minnkað verulega á síðustu áratugum. Árlega streymdu að meðaltali um 4000 km³ af ferskvatni með Austur-Grænlandsstraumnum út um Framsund á fyrsta áratug þessarar aldar⁵⁸. Til samanburðar var bráðnun Grænlandsjökuls áætluð 278 km³/ári yfir tímabilið 2006–2015¹.

Hvað varðar Atlantssjóinn sem streymir til Íslands þá var hann heitur og saltur yfir megnið af tímabilinu frá 1930–

1964 og hefur einnig verið það mestmegnis á tímabilinu 2000–2020. Á milli þessara tímabila var svo mun kaldari og seltuminni sjór ríkjandi sunnan við Ísland. Í bæði skiptin sem hlýnaði tók það einungis nokkur ár þar til hitastigið og seltan höfðu aukist til muna en síðan hélst ástandið nokkuð stöðugt. Talið er að breytingar á samspili og styrk kaldtempraða hvirfilsins (e. subpolar gyre) og þess heittempraða (e. subtropical gyre) lengra suður í Atlantshafi valdi þessu. Þegar kaldtempraði hvirfillinn veikist þá eykst framlag heittempraða hvirfilsins til straumanna sem hingað streyma en það þýðir að bæði hitastigið og seltan hækka vegna þess að í heittempraða hvirflinum er sjórinn heitari og saltari en í þeim kaldtempraða⁵⁹. Hitastigið og seltan á Selvogsbanka og Faxaflóa virðast vera á uppleið aftur eftir nokkra niðursveiflu á árunum 2012–2016 (kafla 2.1). Það er því ekkert lát á streymi heits og salts Atlantssjávar til Íslands og hann er einnig til staðar á norðurmiðum. Streymi heits Atlantssjávar inn á norðurmið hefur verið nokkuð stöðugt síðan 2000 og varmaflutningurinn aukistverulega frá kalda tímabilinu á undan¹⁰.

Oft hefur ástand sjávar hér við land verið sett í samband við AMO (e. Atlantic Multidecadal Oscillation, <https://psl.noaa.gov/data/timeseries/AMO/>) sem er vísitala fyrir hitastig í Norður-Atlantshafi⁶⁰. Á mynd 2.4.1 er AMO sýnt ásamt fráviki frá meðallofthita á norðurhveli jarðar (NHT)^{61, 62} og meðaltali hitastigs frá stöðvum 2–5 á Siglunessniði frá 0–200 m dýpi. Öll gröfin sýna 5 ára hlaupandi meðaltöl. Þarna sést að í byrjun fylgjast AMO og NHT að en síðan hækkar NHT mun meira en AMO væntanlega vegna loftslagsbreytinga af mannavöldum sem virðist gæta í meira mæli annars staðar en hér við land. Einnig kemur fram að hitastig á Siglunesi er í takti við AMO og það er svipað núna og það var fyrir 1965.

AMO hefur verið hátt frá árinu 1998 og þar sem AMO virðist enn vera hátt og hefur verið nokkuð stöðugt síðustu 20 ár líkt og varmaflutningur inn á norðurmið er líklegast að það ástand sem nú er við Íslandsstrendur muni verða ríkjandi á næstu árum en um það er þó nokkur óvissa og gott að hafa í huga að hafísárin komu okkur að övörum 1965.

Fyrra hlýja tímabilið stóð í yfir 30 ár en núverandi tímabil hefur staðið í u.þ.b. 20 ár og enn er AMO frekar hátt og það eru því engin sérstök teikn á loft sem benda til þess að ástandið sé að fara að breytast mikið á næstu árum.

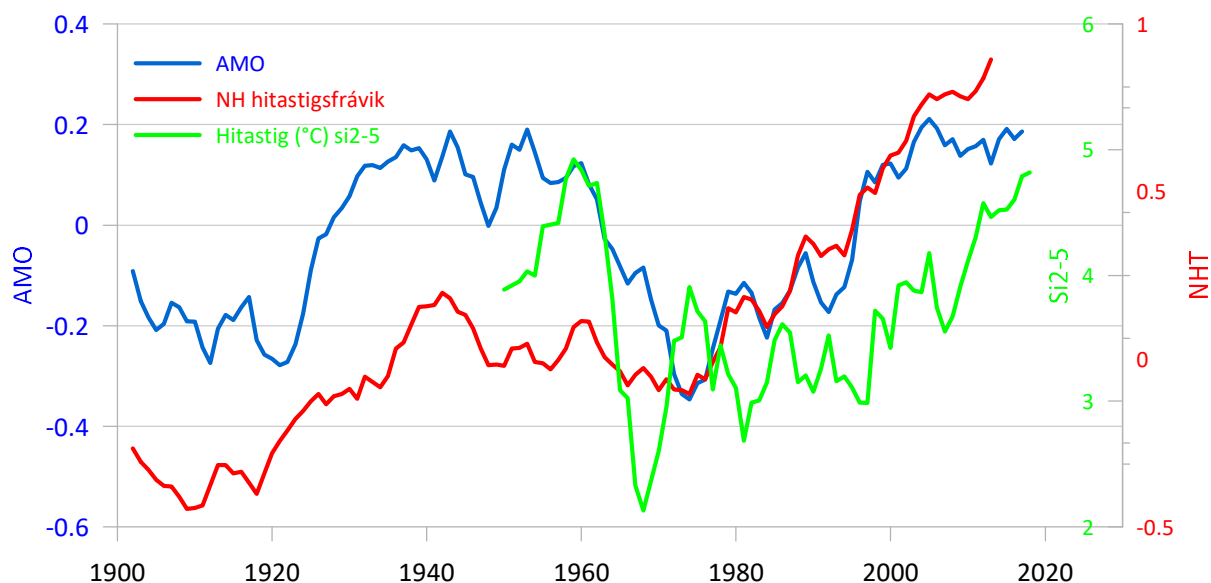
Samantekt

Áhrif loftslagsbreytinga af mannavöldum verða ekki útskýrð á fullnægjandi hátt nema tillit sé tekið til náttúrulegra breytinga á ástandi sjávar og hafstraumum við Ísland. Einnig þarf að huga að ástandi sjávar á nálægum hafsvæðum sem hefur áhrif á umhverfisbreytingar sem verða við Ísland.

Enn sem komið er virðist sem breytingar á aðstæðum í hafinu við Ísland, bæði hvað varðar hitastig og seltu, megi rekja til náttúrulegra sveiflna en tengist síður breytingum á loftslagi af mannavöldum.

Núverandi hlýindatímabil hefur staðið í u.þ.b. 20 ár og enn eru engin sérstök teikn á lofti sem benda til þess að ástandið sé að fara að breytast mikið á næstu árum. Fyrri hlýja tímabilið sem mælingar ná yfir stóð í um 30 ár (~1930–1960).

Ekki er hægt að útiloka að nýtt tímabil með aukinni útbreiðslu pólsjávar geti komið líkt og gerðist á hafísárunum þó ekki sé víst að því myndi fylgja jafnmikill hafís og þá.



Mynd 2.4.1. Bláa línan sýnir AMO. Rauða línan sýnir frávik frá meðallofthita á norðurhveli jarðar (NHT). Græna línan sýnir meðaltal af hitastigi frá stöðvum 2–5 á Siglunessniði frá 0–200 m dýpi. Allar línurnar eru 5 ára hlaupandi meðaltöl.

Heimildir

1. IPCC. 2019. Summary for Policymakers. Kaffli í IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [ritstj. H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer.
2. Steingrímur Jónsson & Héðinn Valdimarsson. 2012. Water mass transport variability to the North Icelandic shelf, 1994–2010. *ICES Journal of Marine Science*. 69(5), 809–815.
3. Casanova-Masjoan, M., Pérez-Hernández, M.D., Pickart, R. S., Héðinn Valdimarsson, Sólveig Rósa Ólafsdóttir, Macrander, A., Grisolia-Santos M.D., Torres D.J., Steingrímur Jónsson, Våge K., Lin, P. & Hernández-Guerra, A. 2020. Along-stream, seasonal and interannual variability of the North Icelandic Irminger Current and East Icelandic Current around Iceland. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 125. e2020JC016283.
4. Svend-Aage Malmberg & Steingrímur Jónsson. 1997. Timing of deep convection in the Greenland and Iceland Seas. *ICES Journal of Marine Science*. 54(3), 300–309.
5. Dickson, R.R., Malmberg, S.A., Meincke, J. & Lee, A.J. 1988. The “Great Salinity Anomaly” in the northern North Atlantic, 1968–1982. *Progress in Oceanography*. 20, 103–151.
6. Holliday, N.P., Bersch, M., Berx, B., Chafik, L., Cunningham, S., Florindo-López, C., Hátún, H., Johns, W., Josey, S.A., Larsen, K.H., Mulet, S., Oltmanns, M., Reverdin, G., Rossby, T., Thierry, V., Héðinn Valdimarsson & Yashayaev, I. 2020. Ocean circulation causes the largest freshening event for 120 years in eastern subpolar North Atlantic. *Nature Communications*. 11, 585.
7. Rahmstorf, S. & Ganopolski, A. 1999. Long-Term Global Warming Scenarios Computed with an Efficient Coupled Climate Model. *Climatic Change*. 43, 353–367.
8. Hamilton, L.C., Jónsson, S., Helga Ögmundardóttir & Belkin, I.M. 2004. Sea Changes Ashore: The Ocean and Iceland’s Herring Capital. *Arctic*. 57(4), 325–335.
9. Lozier, M.S., Li, F., Bacon, S., Bahr, F., Bower, A.S., Cunningham, S.A., de Jong, M.F., de Steur, L., DeYoung, B., Fischer, J., Gary, S.F., Greenan, B.J. W., Holliday, N.P., Houk, A., Houpert, L., Inall, M.E., Johns, W.E., Johnson, H.L., Johnson, C., Karstensen, J., Koman, G., Le Bras, I.A., Lin, X., Mackay, N., Marshall, D.P., Mercier, H., Oltmanns, M., Pickart, R.S., Ramsey, A.L., Rayner, D., Straneo, F., Thierry, V., Torres, D.J., Williams, R.G., Wilson, C., Yang, J., Yashayaev, I. & Zhao J. 2019. A sea change in our view of overturning in the subpolar North Atlantic. *Science*. 363, 516–521.
10. Tsubouchi, T., Våge, K., Hansen, B., Larsen, K.M.H., Østerhus, S., Johnson, C., Steingrímur Jónsson & Héðinn Valdimarsson. 2021. Increased ocean heat transport into the Nordic Seas and Arctic Ocean over the period 1993–2016. *Nature Climate Change*. 11, 21–26.
11. Østerhus, S., Woodgate, R., Héðinn Valdimarsson, Turrell, B., de Steur, L., Quadfasel, D., Olsen, S.M., Moritz, M., Lee, C.M., Larsen, K.M.H., Steingrímur Jónsson, Johnson, C., Jochumsen, K., Hansen, B., Curry, B., Cunningham, S. & Berx, B. 2019. Arctic Mediterranean exchanges: a consistent volume budget and trends in transports from two decades of observations. *Ocean Science*. 15, 379–399.
12. Jón Ólafsson. 2003. Winter mixed layer nutrients in the Irminger and Iceland Seas, 1990–2000. *ICES Marine Science Symposia*. 219, 329–332.
- 13.. Unnsteinn Stefánsson & Jón Ólafsson. 1991. Nutrients and fertility of Icelandic waters. *Rit Fiskideildar*. 12(3), 1–56.
- 14 Sólveig R. Ólafsdóttir. 2006. Styrkur næringarefna í hafinu umhverfis Ísland. Fjölrit Hafrannsóknastofnunarinnar nr. 122.
15. Friedlingstein, P. o.fl. Global Carbon Budget 2019, *Earth System Science Data*. 11, 1783–1838.
16. Gattuso, J.-P. & Hansson, L. 2011. Ocean acidification: background and history. Í *Ocean Acidification* (ritstj. Gattuso, J.-P. & Hansson, L), 1–20 (Oxford University Press, Oxford, Bretland).
17. Halldór Björnsson, Bjarni D. Sigurðsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Jón Ólafsson, Ólafur S. Ástþórsson, Snjólaug Ólafsdóttir, Trausti Baldursson & Trausti Jónsson. 2018. Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar. Veðurstofa Íslands.
18. Bopp, L., Resplandy, L., Orr, J.C., Doney, S. C., Dunne, J.P., Gehlen, M., Halloran, P., Heinze, C., Ilyina, T., Séférian, R., Tjiputra, J. & Vichi, M. 2013. Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences*. 10, 6225–6245.
19. Doney, S.C., Busch, D.S., Cooley, S.R. & Kroeker, K.J. 2020. The Impacts of Ocean Acidification on Marine Ecosystems and Reliant Human Communities. *Annual Review of Environment and Resources*. 45, 83–112.
20. Jón Ólafsson, J., Sólveig, R. Ólafsdóttir, Alice Benoit-Cattin, Magnús Danielsen, Þórarinn S. Arnarson & Takahashi, T. 2009. Rate of Iceland Sea acidification from time series measurements. *Biogeosciences*. 6, 5251–5270.
21. Jón Ólafsson, Sólveig, R. Ólafsdóttir, Takahashi, T., Magnús Danielsen & Þórarinn S. Arnarson. 2021. Enhancement of the North Atlantic CO₂ sink by Arctic Waters, *Biogeosciences*. 18, 1689–1701.
22. Fransner, F., Fröb, F., Tjiputra, J., Chierici, M., Fransson, A., Jeansson, E., Johannessen, T., Jones, E., Lauvset, S.K., Sólveig R. Ólafsdóttir, Omar, A., Skjelvan, I. & Olsen, A. 2020 Nordic Seas Acidification. *Biogeosciences Discussion*, doi.org/10.5194/bg-2020-339.
23. Sutton, A.J., Sabine, C.L., Feely, R.A., Cai, W.-J., Cronin, M.F., McPhaden, M.J., Morell, J.M., Newton, J.A., Noh, J.-H., Sólveig R. Ólafsdóttir, Salisbury, J.E., Send, U., Vandemark, D.C. & Weller, R.A. 2016. Using present-day observations to detect when anthropogenic change forces surface ocean carbonate chemistry outside preindustrial bounds. *Biogeosciences*. 13, 5065–5083.
24. Frommel, A.Y., Maneja, R., Lowe, D., Malzahn, A.M., Geffen, A.J., Folkvord, A., Piatkowski, U., Reusch, T.B. & Clemmesen, C. 2012. Severe tissue damage in Atlantic cod larvae under increasing ocean acidification. *Nature Climate Change*. 2, 42–46.
25. Tresguerres, M. & Hamilton, T.J. 2017. Acid–base physiology, neurobiology and behaviour in relation to CO₂-induced ocean acidification. *The Journal of Experimental Biology*. 220, 2136.
26. Andersson, A., Mackenzie, F. & Bates, N. 2008. Life on the margin: implications of ocean acidification on Mg-calcite, high latitude and cold-water marine calcifiers. *Marine Ecology Progress Series*. 373, 265–273.
27. Buhl-Mortensen, L., Steinunn H. Ólafsdóttir, Buhl-Mortensen, P., Burgos, J.M. & Stefán Áki Ragnarsson. 2015. Distribution of nine cold-water coral species (Scleractinia and Gorgonacea) in the cold temperate North Atlantic: effects of bathymetry and hydrography. *Hydrobiologia*. 759, 39–61.

28. Hrönn Egilsdóttir, McGinty, N., & Guðmundur Guðmundsson. 2019. Relating Depth and Diversity of Bivalvia and Gastropoda in Two Contrasting Sub-Arctic Marine Regions. *Frontiers in Marine Science*. 6, 129.
29. Morato, T., González-Irusta, J.M., Dominguez-Carrió, C., Wei, C.L., Davies, A., Sweetman, A.K., Taranto, G.H., Beazley, L., García-Alegre, A. & Grehan, A. 2020. Climate-induced changes in the suitable habitat of cold-water corals and commercially important deep-sea fishes in the North Atlantic. *Global Change Biology*. 26, 2181-2202.
30. Orr, J.C., Fabry, V.J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S.C., Feely, R.A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R.M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R.G., Plattner, G.K., Rodgers, K.B., Sabine, C.L., Sarmiento, J.L., Schlitzer, R., Slater, R.D., Totterdell, I.J., Weirig, M.F., Yamanaka, Y. & Yool, A. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*. 437, 681-686.
31. Kroeker, K.J., Kordas, R.L., Crim, R., Hendriks, I.E., Ramajo, L., Singh, G.S., Duarte, C.M., & Gattuso, J.-P. 2013. Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global Change Biology*. 19, 1884-1896.
32. Przeslawski, R., Byrne, M. & Mellin, C. 2015. A review and meta-analysis of the effects of multiple abiotic stressors on marine embryos and larvae. *Global Change Biology*. 21, 2122-2140.
33. Thomsen, J., Casties, I., Pansch, C., Körtzinger, A. & Melzner, F. 2013. Food availability outweighs ocean acidification effects in juvenile *Mytilus edulis*: laboratory and field experiments. *Global Change Biology*. 19, 1017-1027.
34. Cominassi, L., Moyano, M., Claireaux, G., Howald, S., Mark, F.C., Zambonino-Infante, J.-L. & Peck, M. A. 2020. Food availability modulates the combined effects of ocean acidification and warming on fish growth. *Scientific Reports*. 10, 2338.
35. Pörtner, H.-O. 2008. Ecosystem effects of ocean acidification in times of ocean warming: a physiologist's view. *Marine Ecology Progress Series*. 373, 203-217.
36. Kroeker, K.J., Kordas, R.L., & Harley, C.D.G. 2017. Embracing interactions in ocean acidification research: confronting multiple stressor scenarios and context dependence. *Biology Letters*. 13, 20160802.
37. Zimmerman, R.C., Hill, V.J., Jinuntuya, M., Celebi, B., Ruble, D., Smith, M., Cedeno, T., & Swingle, W.M. 2017. Experimental impacts of climate warming and ocean carbonation on eelgrass *Zostera marina*. *Marine Ecology Progress Series*. 566, 1-15.
38. Olischläger, M., Bartsch, I., Gutow, L., & Wiencke, C. 2012. Effects of ocean acidification on different life-cycle stages of the kelp *Laminaria hyperborea* (Phaeophyceae). *Botanica Marina*. 55, 511-525.
39. Bergstrom, E., Silva, J., Martins, C. & Horta, P. 2019. Seagrass can mitigate negative ocean acidification effects on calcifying algae. *Scientific Reports*. 9, 1932.
40. Gutow, L., Rahman, M.M., Bartl, K., Saborowski, R., Bartsch, I., & Wiencke, C. 2014. Ocean acidification affects growth but not nutritional quality of the seaweed *Fucus vesiculosus* (Phaeophyceae, Fucales). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 453, 84-90.
41. Hurd, C.L., Hepburn, C.D., Currie, K.I., Raven, J.A. & Hunter, K.A. 2009. Testing the effects of ocean acidification on algal metabolism: considerations for experimental designs. *Journal of Phycology*. 45, 1236-1251.
42. Brodie, J., Williamson, C.J., Smale, D.A., Kamenos, N.A., Mieszkowska, N., Santos, R., Cunliffe, M., Steinke, M., Yesson, C., Anderson, K.M., Asnaghi, V., Brownlee, C., Burdett, H.L., Burrows, M.T., Collins, S., Donohue, P.J.C., Harvey, B., Foggo, A., Noisette, F., Nunes, J., Ragazzola, F., Raven, J.A., Schmidt, D. N., Suggett, D., Teichberg, M. & Hall-Spencer, J. M. 2014. The future of the northeast Atlantic benthic flora in a high CO₂ world. *Ecology and Evolution*. 4, 2787-2798.
43. Dutkiewicz, S., Morris, J.J., Follows, M.J., Scott, J., Levitan, O., Dyhrman, S. T. & Berman-Frank, I. 2015. Impact of ocean acidification on the structure of future phytoplankton communities. *Nature Climate Change*. 5, 1002.
44. Waldbusser, G.G., Hales, B., Langdon, C.J., Haley, B.A., Schrader, P., Brunner, E.L., Gray, M.W., Miller, C.A. & Gimenez, I. 2015. Saturation-state sensitivity of marine bivalve larvae to ocean acidification. *Nature Climate Change*. 5, 273-280.
45. Parker, L.M., Ross, P.M., O'Connor, W.A., Portner, H. O., Scanes, E. & Wright, J.M. 2013. Predicting the response of molluscs to the impact of ocean acidification. *Biology (Basel)*. 2, 651-692.
46. Dupont, S., Ortega-Martínez, O. & Thorndyke, M. 2010. Impact of near-future ocean acidification on echinoderms. *Ecotoxicology*. 19, 449-462.
47. Thor, P., Bailey, A., Dupont, S., Calosi, P., Sørensen, J.E., De Wit, P., Guscetti, E., Loubet-Sartrou, L., Deichmann, I.M., Candee, M.M., Svensen, C., King, A.L. & Bellerby, R.G.J. 2018. Contrasting physiological responses to future ocean acidification among Arctic copepod populations. *Global Change Biology*. 24, e365-e377.
48. Walther, K., Sartoris, F.J. & Pörtner, H.O. 2011. Impacts of temperature and acidification on larval calcium incorporation of the spider crab *Hyas araneus* from different latitudes (54 vs. 79 N). *Marine Biology*. 158, 2043-2053.
49. Esbaugh, A. J. 2018. Physiological implications of ocean acidification for marine fish: emerging patterns and new insights. *Journal of Comparative Physiology B*. 188, 1-13.
50. Stiasny, M.H., Mittermayer, F.H., Sswat, M., Voss, R., Jutfelt, F., Chierici, M., Puvanendran, V., Mortensen, A., Reusch, T.B.H. & Clemmesen, C. 2016. Ocean acidification effects on Atlantic cod larval survival and recruitment to the fished population. *PLoS ONE* 11. e0155448.
51. Dahlke, F.T., Butzin, M., Nahrgang, J., Puvanendran, V., Mortensen, A., Pörtner, H.-O. & Storch, D. 2018. Northern cod species face spawning habitat losses if global warming exceeds 1.5°C. *Science Advances* 4. eaas8821.
52. AMAP. 2018. AMAP Assessment 2018: Arctic Ocean Acidification. Tromsø, Norway.
53. Ekstrom, J.A., Suatoni, L., Cooley, S.R., Pendleton, L.H., Waldbusser, G.G., Cinner, J.E., Ritter, J., Langdon, C., van Hooidonk, R., Gledhill, D., Wellman, K., Beck, M.W., Brander, L.M., Rittschof, D., Doherty, C., Edwards, P.E.T. & Portela, R. 2015. Vulnerability and adaptation of US shellfisheries to ocean acidification. *Nature Climate Change*. 5, 207-214.
54. Kelly, R.P., Foley, M.M., Fisher, W.S., Feely, R.A., Halpern, B.S., Waldbusser, G.G. & Caldwell, M.R. 2011. Mitigating local causes of ocean acidification with existing laws. *Science*. 332, 1036-1037.

55. Arnberg, M., Refseth, G.H., Pettersen, R., Borch, T. & Dupont, S. 2020. Impact of climate change and ocean acidification on ocean-based industries and society in Norway: Observed and future impacts, mitigation and adaption actions. Akvaplan-niva report: 61400 -1; Norwegian Environment Agency report: M-1632| 2020. Akvaplan-niva, Oslo, Noregur.
56. Doney, S.C., Busch, D.S., Cooley, S.R. & Kroeker, K.J. 2020. The impacts of ocean acidification on marine ecosystems and reliant human communities. *Annual Review of Environment and Resources*. 45, 83-112.
57. Proshutinsky, A., Krishfield, R.J., Toole, M., Timmermans, M.-L., Williams, W., Zimmermann, S., Yamamoto-Kawai, M., Armitage, T.W.K., Dukhovskoy, D., Golubeva, E., Manucharyan, G.E., Platov, G., Watanabe, E., Kikuchi, T., Nishino, S., Itoh, M., Kang, S.-H., Cho, K.-H., Tateyama, K. & Zhao, J. 2019. Analysis of the Beaufort Gyre freshwater content in 2003–2018. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 124, 9658-9689.
58. Haine, T.W.N., Curry, B., Gerdes, R., Hansen, E., Karcher, M., Lee, C., Rudels, B., Spreen, G., de Steur, L., Stewart, K.D. & Woodgate, R. 2015. Arctic freshwater export: Status, mechanisms, and prospects, *Global and Planetary Change*. 125, 13-35.
59. Hátún, H., Sandø, A.B., Drange, H., Hansen, B. & Héðinn Valdimarsson. (2005). Influence of the Atlantic subpolar gyre on the thermohaline circulation. *Science*. 309, 1841-1844.
60. Enfield, D.B., Mestas-Núñez, A.M. & Trimble, P.J. 2001. The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relationship to rainfall and river flows in the continental U.S., *Geophysical Research Letters*. 28, 2077-2080.
61. GISTEMP Team. 2021. GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP), version 4. NASA Goddard Institute for Space Studies. Náð í gögn 4.3.2021 á <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
62. Lenssen, N.J.L., Schmidt, G.A., Hansen, J.E., Menne, M.J., Persin, A., Ruedy R. & Zyss D. 2019. Improvements in the GISTEMP uncertainty model. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 124(12), 6307-6326.

3 Plöntu- og dýrasvif

Hildur Pétursdóttir, Kristinn Guðmundsson og
Ástþór Gíslason

Hafrannsóknastofnun

Samspil lífvera í sjónum getur verið flókið. Til einföldunar eru fæðutengsl lífvera gjarnan skoðuð sem keðja eða vefur. Svifþörungar eru einfrumungar sem nýta orku sólar til vaxtar og þeir eru fyrsti hlekkur í fæðukeðju sjávar. Ljóstíllífur þessara örsmáu frumframleiðenda hafsins er undirstaða alls lífríkis í sjó. Fjölbreyttur hópur lífvera sem kallast dýrasvif éta þennan smágerða svifgróður og gegnir lykilhlutverki við að gera frumframleiðsluna aðgengilega dýrum ofar í fæðukeðjunni.

Árleg heildarframleiðsla svifþörunganna innan íslensku fiskveiðilögsögunnar hefur verið metin 122 milljón tonn kolefnis að meðaltali¹, bundið í lífrænt efni. Meðalársframleiðsla undir fermetra yfirborðs er yfirleitt hærri fyrir sunnan og vestan (u.þ.b. 150–400 g C m⁻²ár⁻¹) en fyrir norðan og austan land (u.þ.b. 75–200 g C m⁻²ár⁻¹). Helstu ástæður þess eru að norður af landinu er yfirborðssjór oft blandaður seltulágum pólsjó sem flæðir yfir selturíkari Atlantssjó. Það stuðlar að viðvarandi lagskiptingu á svæðinu. Lagskipting hindrar lóðréttu blöndun og þar með að næringarefni berist úr dýpri lögum sjávar^{1,2,3,4}. Almennt verður mestur blómi (hámark lífmassa svifgróðurs) á vorin, samfara upptöku og bindingu á forða uppleystra næringarefna í yfirborðslaginu, eftir uppblöndun sjávar á undangengnum vetri. Vænta má að annar en minni blómi eigi sér stað þegar haustvindar dýpka eðlislétt yfirborðslagið⁴ með tilheyrandi uppblöndun næringarefna sem svifþörungar geta nýtt sér meðan haustbirtan dugar til vaxtar. Afdrif frumframleiðslunnar og vitneskja um hvernig hún nýtist mismunandi lífverum í fæðuvef sjávar er óljós. Gróft fyrsta mat á afdrifum framleiðslunnar er gjarnan skipt í annars vegar beitarálag í yfirborðslaginu, sem væntanlega skilar sér fyrst og fremst í vexti svifdýra, og hins vegar hrip svifþörunganna niður í myrk djúp sjávar þar sem afraksturinn nýtist fyrst og fremst lífverum sem þrífast á hafsbotninum.

Á norðlægum hafsvæðum eru það einkum tveir hópar krabbadýra, þ.e. krabbaflær og ljósátur, sem eru mikilvægastir þeirra dýra sem að staðaldri finnast í dýrasvifinu. Krabbaflóin rauðáta (*Calanus finmarchicus*), sem er fullvaxin um 2–4 mm, er langalgengasta svifdýrið í sjónum við landið; að vorlagi er hún iðulega 40–80% allra svifdýra í yfirborðslögum⁵. Rauðátan er því gríðarlega mikilvæg í vistkerfi Íslandsmiða sem aðalfæða lirfa og seiða nær allra botnfiska og uppsjávarfiska og einnig flestra uppsjávarfiska síðar á lífsskeiðinu. Heildarlífmassi (votvigt) rauðátu innan íslensku fiskveiðilögsögunnar hefur verið áætlaður um 7 milljónir tonna⁶. Ljósáta, sem er fullvaxin 24–45 mm, er einnig mikilvæg tegund í vistkerfi Íslandsmiða. Hún lifir á plöntusvifi og smáum

svifdýrum og er svo sjálf mikilvæg fæða fyrir fiska og hvali. Heildarlífmassi (votvigt) ljósátu innan íslensku fiskveiðilögsögunnar hefur verið áætlaður um 5 milljónir tonna⁶. Almennt er heildarlífmassi og fjöldi dýrasvifs lágur að vetri til þegar margar tegundir og þar á meðal rauðáta halda sig tiltölulega djúpt. Dýrasvif kemur upp úr dýpri lögum sjávar á vorin, fjölgar sér og nær hámarki seint í maí á grunnunum við strendur landsins en síðla sumars lengra úti á hafi^{6,7,8,9}. Á vorin mælist lífmassi dýrasvifs í efstu 50 m sjávar yfirleitt á bilinu 2–4 g þurrvigt m⁻² 10,11. Mesti lífmassinn mælist yfirleitt á landgrunninu suður og vestur af landinu (aðallega rauðáta) og í úthafinu norður og norðaustur af landinu þar sem stærri kaldsjávartegundir, svo sem póláta (*Calanus hyperboreus*)^{10,11}, eru gjarnan ríkjandi.

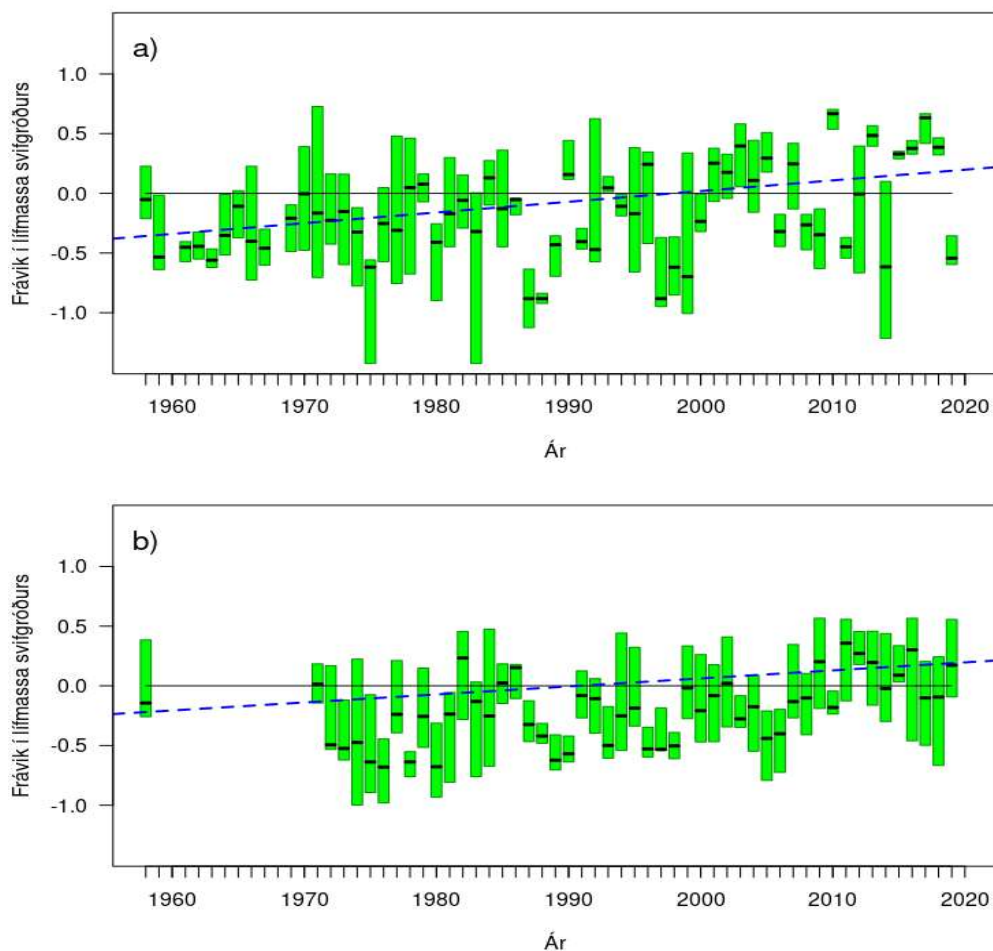
Í þeim tilgangi að fylgjast með breytingum á magni, tegundasamsetningu og útbreiðslu svifs að vorlagi í sjónum umhverfis Ísland hafa verið gerðar árlegar athuganir í maí/júní í um 60 ár. Rannsóknir á svifi tengdust upphaflega síðarleit og rannsóknum á útbreiðslusvæði síldar í hafinu norðan lands. Frá árinu 1971 var þeim haldið áfram umhverfis landið ásamt fleiri umhverfisrannsóknum að vorlagi, þ.e. árlegri vöktun á hitastigi, seltu og næringarefnastyrk.

Hér verður fjallað um breytingar sem orðið hafa á magni, tegundasamsetningu og útbreiðslu svifs á Íslandsmiðum undanfarna áratugi.

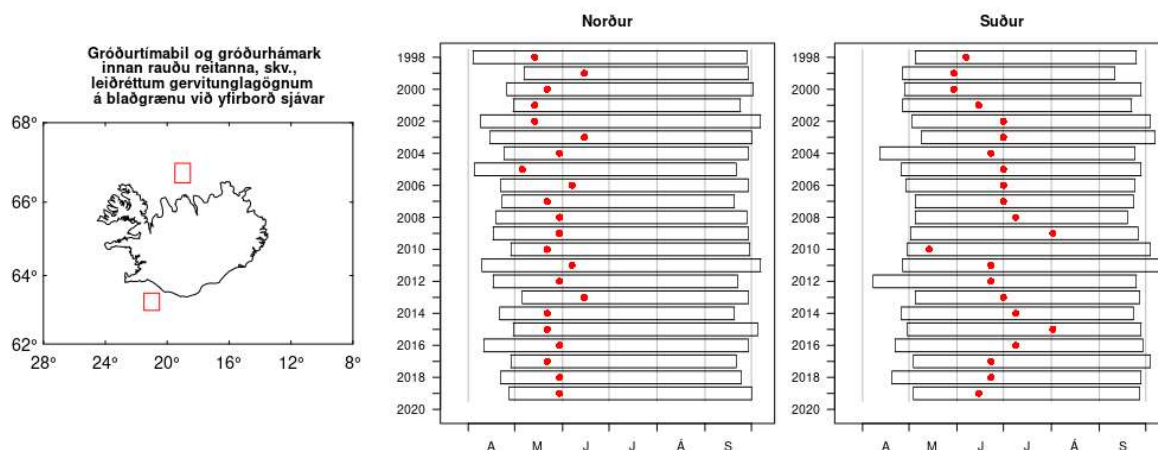
Breytingar á magni og framvindu plöntusvifs

Blaðgræna er sameiginleg öllum frumbjarga plöntum og forsenda ljóstíllífunar. Hér er litið svo á að magn α -blaðgrænu sé í réttu hlutfalli við lífmassa svifþörunganna. Nokkur aukning hefur orðið á mældu gróðurmagni bæði fyrir norðan og sunnan land yfir það tímabil sem rannsóknirnar ná yfir. Sunnan lands mælast að jafnaði hærri gildi og minni árlegur breytileiki en norðan lands (mynd 3.1). Sveiflur á magni svifþörunganna fyrir norðan land hafa verið skýrðar með breytilegu ástandi sjávar en meðalfrumframleiðni þörunganna að vorlagi á norðurmiðum er allt að tvisvar sinnum meiri þegar hlýr selturíkur Atlantssjór er ríkjandi heldur en þegar kaldur og seltulítill pólsjór er þar í meira mæli⁴. Breytileikann sunnanlands má að einhverju leyti rekja til mismunandi afrennslis frá landi og vindstyrks sem geta haft áhrif á vaxtarskilyrði svifþörunganna¹². Skýringar á þeirri almennu aukningu sem kemur fram bæði fyrir norðan og sunnan land þegar til langs tíma er litið eru ekki augljósar. Vissulega getur aukning á innstreymi Atlantssjávar norður fyrir land eftir

síðustu aldamót skýrt að einhverju leyti þær breytingar sem hafa orðið norður af landinu en það skýrir ekki aukninguna sem orðið hefur suður af landinu. Svonefnd átuvisagögn (CPR) sem safnað hefur verið undanfarna sex áratugi gefa vísbendingar um langtímabreytingar á magni svifþörunga á ársgrundvelli á stóru svæði í Norður-Atlantshafi, fyrir sunnan Ísland. Samantekt á gögnum, sem unnin er á vegum ICES¹³, sýnir svipaða aukningu og þá sem hér er sýnd fyrir Ísland.



Mynd 3.1. Árlegur breytileiki í lífmassa svifþörunga (a-bl aðgrænu) í maí/júní á dýptarbilinu 0–20 metrar, sýnt sem frávik frá vegnu meðaltali fyrir árin 1958–2020. Niðurstöður eru sýndar fyrir sýnastöðvar yfir landgrunninu annars vegar (a) fyrir norðan land milli Húnaflóa og Siglunes og hins vegar (b) fyrir sunnan land á Selvogsbanka. Niðurstöður árlegra mælinga á magni svifgróðurs í sjó við Ísland að vorlagi hófust með mælingum á bindingu kolefnis við ljósmettun árin 1958–1999 og niðurstöður mælinga á magni a-blaðgrænu liggja fyrir frá árunum 1976–2020. Allar þessar niðurstöður hafa verið samræmdar, þ.e. skalaðar til samræmingar við niðurstöður mælinga á blaðgrænu, svo skoða megi hugsanlegar breytingar á rannsóknatímabilinu.



Mynd 3.2. Svifþörungagróður fyrir norðan (fyrir utan Siglunes) og sunnan land (á Selvogsbanka) metið út frá gervitunglamyndum á tímabilinu 1998–2019. Sýnd er lengd gróðurtímans og hvenær blaðgrænan var í hámarki (rauðir punktar)¹⁵.

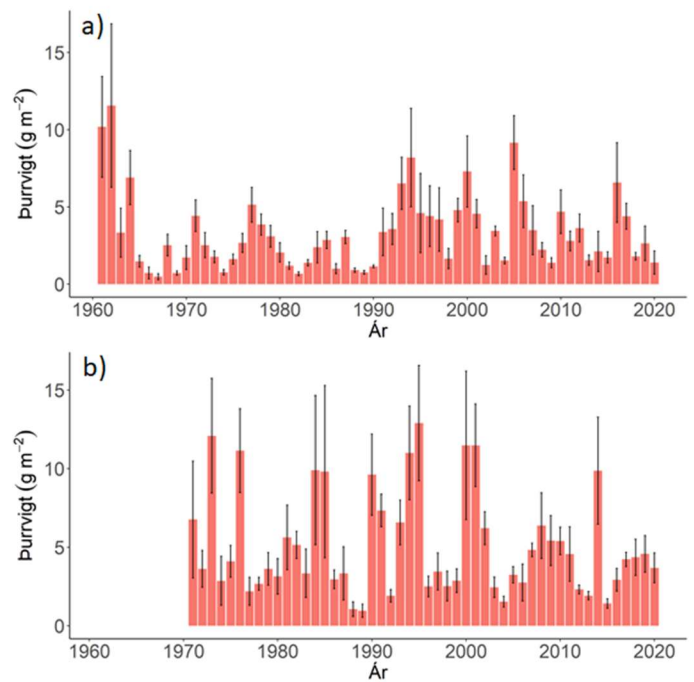
Breytileiki á magni svifþörungum er mikill, frá nánast engu yfir vetrarmánuðina og í umtalsvert magn þegar svifþörungarnir eru í blóma. Gróðurtímabilið takmarkast af árstíðabundnum breytileika sólarljóssins, en eins og á við um Norður-Atlantshafið almennt¹⁴ telst hafsvæðið umhverfis landið frjósamt¹.

Nánar má meta gróðurfar ár frá ári og á völdum svæðum samkvæmt reglubundnum skráningum frá gervitunglum (mynd 3.2). Þessar niðurstöður¹⁵ staðfesta að breytileiki á bæði lengd gróðurtímabila og tímasetningu (upphafs- og lokadegi) er meiri fyrir norðan en fyrir sunnan land (mynd 3.2). Hins vegar er tímasetning árlegs gróðurhámarks breytilegri fyrir sunnan en norðan land (mynd 3.2). Þessar tímasetningar^{12,15} geta skipt sköpum fyrir afkomu lífvera á næstu þrepum fæðukeðjunnar.

Breytingar á lífmassa dýrasvifs

Langtímarannsóknir á lífmassa dýrasvifs að vorlagi við Ísland sýna að magn dýrasvifs hefur verið nokkuð stöðugt, þ.e. hvorki merkjanleg viðvarandi hækkun né lækkun (mynd 3.3). Þó sjást miklar og reglubundnar sveiflur í magni dýrasvifs, bæði fyrir norðan (Siglunessnið) og fyrir sunnan land (Selvogsbankasnið), með 5–10 árum milli hámarka (mynd 3.3). Sveiflur í magni dýrasvifs að vorlagi segja sennilega að einhverju leyti til um mismunandi heildarframleiðslu dýrasvifs yfir sumarið þótt að hluta megi einnig skýra þær með breytilegum upphafstíma vorvaxtar. Bæði vorvöxtur og heildarframleiðsla dýrasvifs eru talin ráðast m.a. af umhverfisskilyrðum og fæðuframboði (svifþörungum). Munur á hæstu og lægstu gildum er um áttfaldur fyrir norðan en tólfaldur fyrir sunnan land. Fyrir norðan land var dýrasvifsmagnið í hámarki í upphafi sjöunda áratugarins en síðan hafa verið reglubundnar sveiflur. Síðasta dýrasvifshámark fyrir norðan land var árið 2016 (mynd 3.3a). Fyrir sunnan land voru óreglulegar sveiflur í magni dýrasvifs milli ára í upphafi mælingatímabilsins (1971–1977) en eftir það verða breytingar milli ára reglubundnari, líkt og fyrir norðan land. Síðasta hámark fyrir sunnan land var árið 2014 (mynd 3.3b).

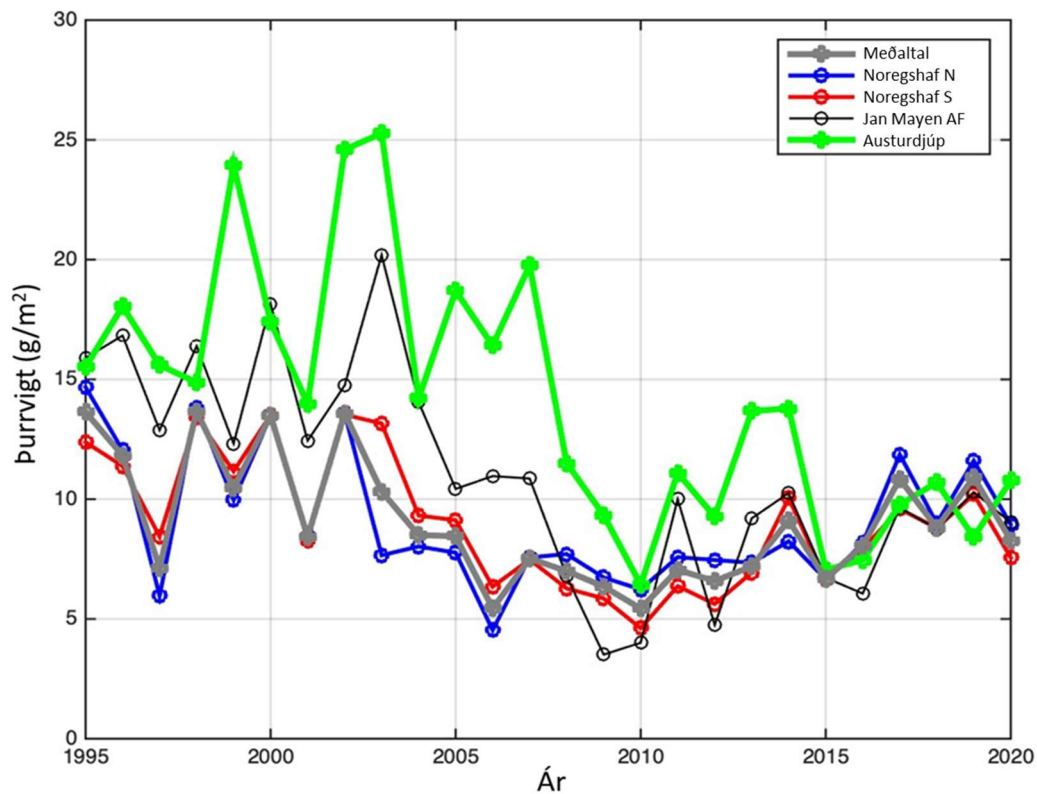
Sveiflur í magni dýrasvifs fyrir norðan land (mynd 3.3a) skýrast m.a. af meiri breytileika í ástandi sjávar fyrir norðan en fyrir sunnan land. Við aukið flæði hlýs Atlantssjávar norður fyrir land og þar með aukins flutnings á næringarefnum, þörungum og dýrasvifi fylgir almennt aukin framleiðni þörungum og dýrasvifs og því ákjósanlegri fæðuskilyrði fyrir lífverur á hærri fæðuþrepum⁶. Sambærilegt við frumframleiðni þörungum reynist meðal-



Mynd 3.3. Breytingar í magni dýrasvifs (g þurrvigt m^{-2} , 0–50 m) að vorlagi (a) fyrir norðan (á Siglunessniði) árin 1961–2020 og (b) fyrir sunnan land (á Selvogsbankasniði) árin 1971–2020. Súlurnar sýna meðaltöl allra stöðva á sniðinu. Staðalskekkja er sýnd með lóðréttum strikum.

magn dýrasvifs að vorlagi á norðurmiðum um tvisvar sinnum meiri í hlýrri en kaldari árum^{16,6}. Sveiflur í magni dýrasvifs við sunnanvert landið hafa verið tengdar við staðsetningu kaldtempraða hvirfilsins (e. subpolar gyre)¹⁷. Þessi hvirfill er í Labrador- og Grænlandshafi og nær áhrifasvæði hans mislangt til norðausturs. Eftir því sem áhrifasvæðið færir lengra til norðausturs því meira dýrasvifsmagn mælist, bæði djúpt suður af landinu og á landgrunninu.

Ekki mælist jafn mikið og viðvarandi fall í dýrasvifsmagni á Íslandsmiðum (mynd 3.3) og á viðamiklu svæði í norðanverðu Atlantshafi samkvæmt átuvísagögnum sem spanna sex áratugi^{18,19,20,13}. Það er vísbending um að staðbundin áhrif séu mikilvæg^{21,22}. Veruleg minnkun hefur þó átt sér stað í Austurdjúpi, hafsvæði djúpt austur og norðaustur af landinu, en árlegar athuganir á dýrasvifi á því svæði hafa farið fram frá og með árinu 1995 (mynd 3.4)²⁰.



Mynd 3.4. Breytingar á magni dýrasvifs (g burrvigt m⁻², 0-50 m) að vorlagi í Austurdjúpi (græn lína) og Noregshafi árin 1995–2020. Tölurnar tákna meðaltöl innan hvers svæðis. Endurteiknuð eftir gögnum ICES²⁰.

Breytingar í samfélagsgerð dýrasvifs

Mikill munur er á tegundasamsetningu dýrasvifs milli ára, bæði fyrir norðan og sunnan land, og ræður ástand sjávar þar mestu um⁵. Á norðurmiðum sést hlutfallslega meira magn af rauðátu og ljósátu í hlýju árferði en hlutfallslega meira af pólátu og marflóm í köldu árferði⁵. Því hefur verið spáð að við áframhaldandi hnattræna hlýnun gæti ástandið í hlýju árferði orðið viðvarandi sviðsmynd²³. Þannig hafa verið greindar miklar breytingar á magni dýrasvifs og samfélagsgerð í Norður-Atlantshafi tengt hækkandi hitastigi sjávar, þar sem bæði kaldsjávartegundir og tegundir sem fremur tengjast tiltölulega hlýjum sjó hafa færst norðar^{24,25,26}. Nýlegar rannsóknir á breytingum á magni rauð- og pólátu fyrir norðan Ísland á 31 árs tímabili (1990–2020) leiða í ljós að með hlýnandi árferði í hafinu sést aukning á atlantísku tegundinni rauðátu djúpt norður af landinu en magn kaldsjávar systurtegundarinnar pólátu minnkar bæði yfir landgrunninu og utan þess²⁷.

Samantekt

Aukning hefur orðið á magni svifþörungum bæði á Íslandsmiðum og á stóru svæði suður af Íslandi. Hins vegar hefur ekki mælst viðvarandi lækkun á magni dýrasvifs á Íslandsmiðum eins og raunin er á stóru svæði í Norður-Atlantshafi en talsverðar sveiflur eru þó á milli ára. Fyrir norðan land hafa orðið breytingar á magni og útbreiðslu mikilvægra dýrasvifstegunda með hækkandi hitastigi sjávar þar sem hlutur rauðátu hefur aukist en pólátu minnkað.

Heimildir

1. Þórunn Þórðardóttir. 1994. Plöntusvif og frumframleiðni í sjónum við Ísland. Í Íslendingar, hafið og auðlindir þess (ritstj. Unnsteinn Stefánsson), 65-88 (Vísindafélag Íslendinga).
2. Þórunn Þórðardóttir. 1976. The spring primary production in Icelandic waters 1970-1975. ICES CM 1976/L:31, 37 bls.
3. Unnsteinn Stefánsson & Jón Ólafsson. 1991. Nutrients and fertility of Icelandic waters. Rit Fiskideildar. 12, 1-56.
4. Kristinn Guðmundsson. 1998. Long-term variations in phytoplankton productivity during spring in Icelandic waters. ICES Journal of Marine Science. 55, 635-643.
5. Ástþór Gíslason, Hildur Pétursdóttir, Ólafur S. Ástþórsson, Kristinn Guðmundsson & Héðinn Valdimarsson. 2009. Interannual variability in abundance and community structure of zooplankton south and north of Iceland in relation to environmental conditions in spring 1990-2007. Journal of Plankton Research. 31, 541-551.
6. Ólafur S. Ástþórsson, Ástþór Gíslason & Steingrímur Jónsson. 2007 Climate variability and the Icelandic marine ecosystem. Deep-Sea Research. 54, 2456-2477.
7. Ingvar Hallgrímsson. 1954. Noen bemerkinger om Faxaflois hydrografi og zooplankton bestand i 1948 (Aspects of the hydrography and zooplankton of Faxaflói Bay during 1948). M.Sc. ritgerð, Háskólinn í Osló, Noregi.
8. Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson. 1996. Seasonal development of *Calanus finmarchicus* along and inshore-offshore gradient southwest of Iceland. Ophelia. 44, 71-84.
9. Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson. 1998. Seasonal variations in biomass, abundance, and composition of zooplankton in the subarctic waters north of Iceland. Polar Biology. 20, 85-94.
10. Ástþór Gíslason. 2018. Dýrasvif. Í Ástand sjávar 2016. Hafrannsóknastofnun, HV 2018-29. Reykjavík. 58 bls.
11. Hildur Pétursdóttir. 2018. Dýrasvif í Austurdjúpi. Í Ástand sjávar 2016. Hafrannsóknastofnun, HV2018-29. Reykjavík. 58 bls.
12. Þórunn Þórðardóttir. 1986. The timing and duration of spring blooming south and southwest of Iceland. Í The Role of Freshwater outflow in Coastal Marine Ecosystems (ritstj. S. Skreslet), 345 - 360. NATO ASI, Series G, 7. 453 bls.
13. O'Brien, T. o.fl. 2021. ICES Zooplankton Status Report 2021. Uppfærsla á O'Brien o.fl. 2012. Handrit í vinnslu.
14. Kulk, G., Platt, T., Dingle, J., o.fl. 2020. Primary Production, an Index of Climate Change in the Ocean: Satellite-Based Estimates over Two Decades. Remote Sens. 12, 826.
15. Kristinn Guðmundsson. 2018. Svifþörungur. Í Ástand sjávar 2016. Hafrannsóknastofnun. HV 2018-29. Reykjavík. 58 bls.
16. Ólafur Ástþórsson & Ástþór Gíslason. 1995. Long-term changes in zooplankton biomass in Icelandic waters in spring. ICES Journal of Marine Science. 52 (3-4), 657-668.
17. Hátun, H., Lohmann, K., Matei, D., Jungclaus, J.H., Pacariz, S., Bersch, M., Ástþór Gíslason., Jón Ólafsson & Reid, P.C. 2016. An inflated subpolar gyre blows life toward the northeastern Atlantic. Progress in Oceanography. 147, 49-66.
18. Fromentin, J.-M. & Planque, B. 1996. Calanus and environment in the eastern North Atlantic. II. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. finmarchicus* and *C. helgolandicus*. Marine Ecology Progress Series. 134, 111-118.
19. Teresa Silva, Ástþór Gíslason, Licandro, P., Guðrún Marteinsdóttir, Ferreira, A.S.A., Kristinn Guðmundsson & Ólafur S. Ástþórsson. 2014. Long-term changes of euphausiids in shelf and oceanic habitats southwest, south and southeast of Iceland. Journal of Plankton Research. 36, 1262-1278.
20. ICES. 2020. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWISE). ICES Scientific Reports. 2, 82. 1019 bls.
21. Ástþór Gíslason, Hildur Pétursdóttir, Ólafur S. Ástþórsson & Kristinn Guðmundsson. 2014. Long-term changes in abundance of *Calanus finmarchicus* south and north of Iceland in relation to environmental conditions and regional diversity in spring 1990-2013. ICES Journal of Marine Science. 71, 2539-2549.
22. Espinasse, M., Halsband, C., Varpe, Ö., Ástþór Gíslason, Kristinn Guðmundsson, Falk-Petersen, S. & Eiane, K. 2017. Polar Biology. 40, 2363-2380.
23. Hildur Pétursdóttir. 2012. Trophic relationships and the role of Calanus in the oceanic ecosystems south and north of Iceland (Dr. ritgerð, Háskólinn í Tromsø, Noregi, The Arctic University of Norway).
24. Beaugrand, G., Reid, P.C., Ibañez F., Lindley, J.A. & Edwards, M. 2002. Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. Science. 296, 1692-1694.
25. Beaugrand, G. 2005. Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators. ICES Journal of Marine Science. 62, 333-338.
26. Beaugrand, G. 2009. Decadal changes in climate and ecosystems in the North Atlantic Ocean and adjacent seas. Deep-Sea Research II. 56, 656-673.
27. Ástþór Gíslason, Kristinn Guðmundsson, Sólveig R. Ólafsdóttir & Hildur Pétursdóttir. 2021. Inter-annual variability of *Calanus finmarchicus* and *C. hyperboreus* in subarctic waters north of Iceland 1990-2020. Handrit í vinnslu.

4 Uppsjávarfiskar

4.1 Loðna (*Mallotus villosus*)

*Birkir Bárðarson, Kristinn Guðnason, Warsha Singh,
Hildur Pétursdóttir og Sigurður Þór Jónsson
Hafrannsóknastofnun*

Loðna er smávaxinn og skammlífur uppsjávarfiskur sem finnst á norðurhveli jarðar en hér er fjallað um stofninn sem heldur sig á hafsvæðinu milli Íslands, Austur-Grænlands og Jan Mayen og á aðliggjandi landgrunnssvæðum^{1,2}.

Loðnuveiðar við Ísland hófust um miðjan sjöunda áratug síðustu aldar^{1,2}. Auk þess að vera mikilvægur nytjastofn er loðnan lykiltegund í vistkerfinu við Ísland. Hún nærast á smáu dýrasvifi, einkum rauðátu en einnig marflóm og ljósátu³⁻⁶ en er sjálf mikilvæg fæða þorsks, ufsa, ýsu, grálúðu og fleiri nytjafiska⁷. Þá er hún líka eftirsótt af hvölum⁸⁻¹⁶ og fuglum^{17,18}. Þannig er loðna mikilvægur hlekkur í flutningi orku og næringarefna til efri þrepa fæðuvefsins. Kjörhitastig loðnu er gjarnan 1–3°C á fæðugöngu og er hún þá oft við syðri mörk kalds heimskautasjávar. Þegar fullorðin loðna kemur úr fæðugöngu langt norðan úr hafi er hún í meginráttum talin ganga inn að landgrunninu fyrir norðan Ísland, þaðan austur og suður með Austfjörðum og vestur með suðurströndinni. Hluti aðalgöngunnar heldur áfram alla leið inn í Faxaflóa og Breiðafjörð. Hrygning á sér stað á grunnsævi í mars-apríl í tiltölulega hlýjum sjó við suður og suðvestur strönd landsins (mynd 4.1.1.)^{19,20}. Einnig hefur orðið vart við hrygningu norðan lands en umfang þeirrar hrygningar hefur verið talið lítið miðað við þann fjölda sem hrygnir fyrir sunnan. Loðnan deyr nánast undantekningarlaust að lokinni hrygningu, þá yfirleitt þriggja ára gömul. Hrygningarganga loðnu stuðlar því að gríðarlegum orkuflutningi inn í vistkerfi íslenska landgrunnsins. Lirfur og seiði reka réttsælis yfir landgrunnið norður og austur af Íslandi og í breytilegu magni um Grænlandssund og norðanvert Grænlandshaf

yfir á landgrunn Austur-Grænlands. Uppvöxtur ungloðnu er á hafsvæðinu norður af Íslandi og í auknum mæli á landgrunni Austur-Grænlands, norðvestur af Íslandi.

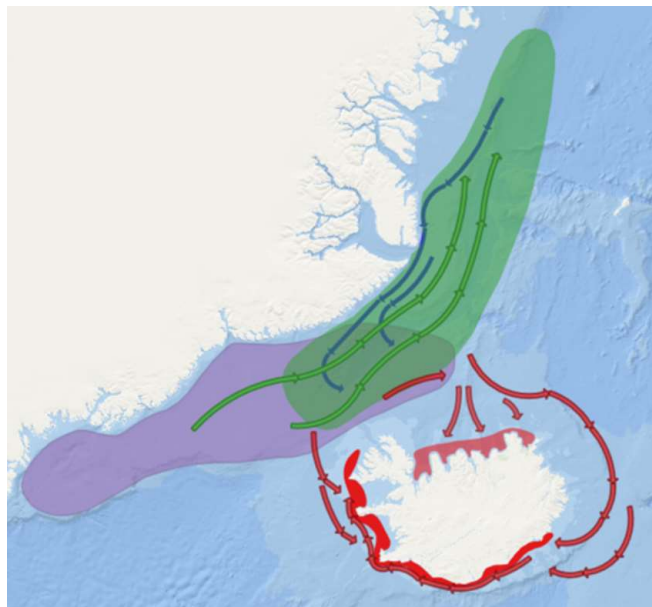
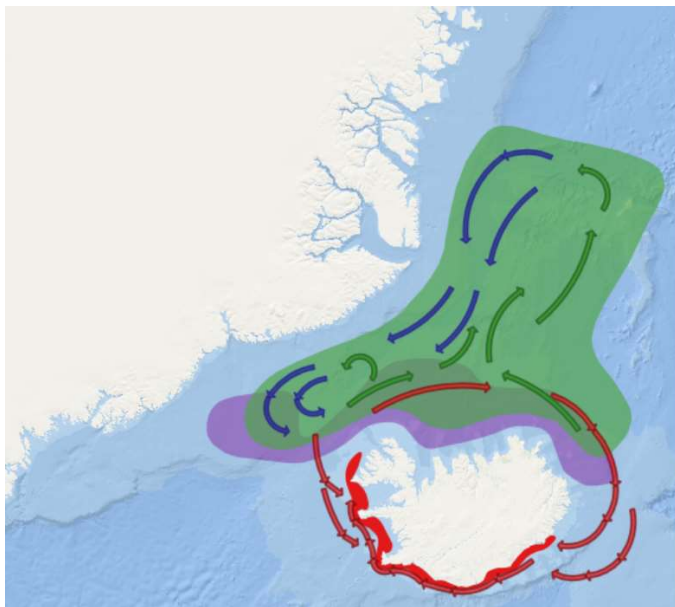
Mælingar á stærð veiðistofns og útbreiðslu loðnu hófust haustið 1978. Síðan þá og fram að síðustu aldamótum hefur veiðistofninn verið mældur að hausti og vetri nánast á hverju ári.

Breytingar á útbreiðslu

Búast má við breytileika milli ára í útbreiðslu, göngumynstri og stofnstærð hjá skammlífum uppsjávarfiski eins og loðnu sem lifir á mörkum kalds heimskautasjávar og hlýrri Atlantssjávar. Loðnugöngur á tímabilinu frá 1965 fram að síðustu aldamótum einkenndust þó af nokkrum stöðugleika þar sem frávik í útbreiðslu, tímasetningum hrygningargöngu og stofnstærð gengu jafnan til baka í fyrra horf innan eins til tveggja ára^{1,21,22,19}.

Samfara hækkandi hitastigi sjávar um og eftir seinustu aldamót breyttist dreifing loðnu (mynd 4.1.1), bæði fullorðinnar loðnu og ungloðnu^{4,19}. Fullorðin loðna, sem áður hafði fæðusvæði sitt í Íslandshafi, færðist vestar að landgrunnskanti Grænlands og sum árin jafnvel norður fyrir 74°N. Magn ungloðnu minnkaði einnig mikið á miðunum norðanlands og úti af Vestfjörðum en auk þess færðist útbreiðsla hennar vestar og norðar.

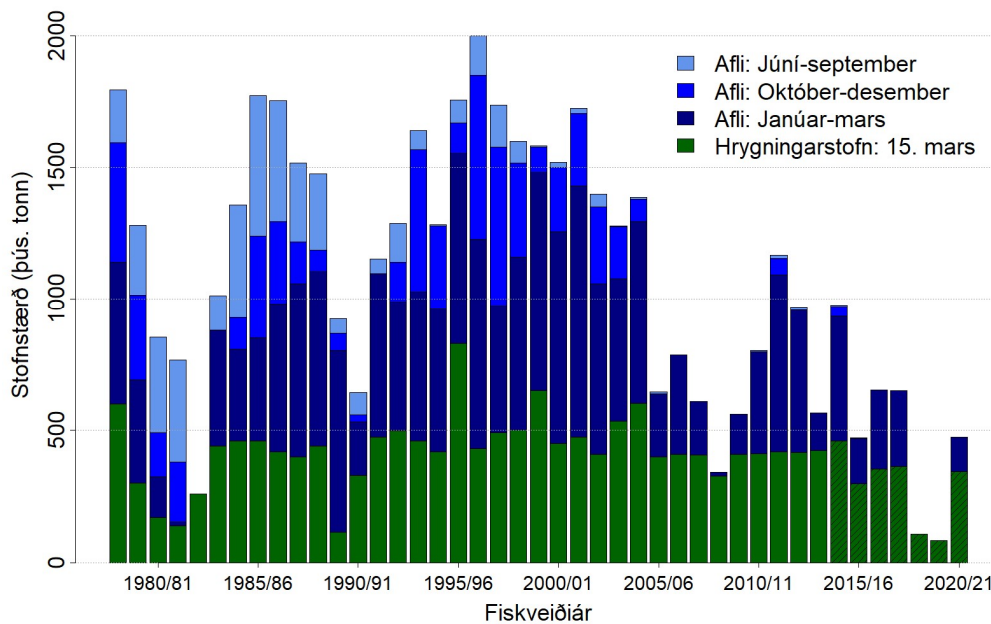
Ungloðna heldur sig nú aðallega á grænlenka landgrunninu sunnan 69°N en einnig dálítið úti fyrir vestanverðu Norðurlandi. Vöktun á fæðunámi loðnu er nýlega hafin og því eru ekki til langar tímaraðir um fæðu loðnu en stakar rannsóknir frá fyrri tíð gefa vísbendingar um að samfara vestlægari útbreiðslu og þar með meiri nánd við kaldan pólsjó Austur-Grænlandsstraumsins gæti loðnan verið í auknum mæli að nærast á kaldsjávardýrasvifi eins og marflónni *Themisto libellula*⁵.



Mynd 4.1.1. Göngumynstur loðnu. A) Fyrir 2000. B) Eftir 2000. Græn þekja: fæðuslóð fullorðinnar loðnu. Fjólublá þekja: Útbreiðsla ungloðnu. Rauð þekja: Hrygningarsvæði. Grænar og bláar örvar: Göngur á og af fæðuslóð. Rauðar örvar: Hrygningargöngur ^{19,16}.

Upp úr síðustu aldamótum fór að bera á breyttu hegðunarmynstri í hrygningargöngu loðnunnar. Fullorðna loðnan kom seinna af fæðuslóð í Íslandshafi inn á landgrunnið fyrir norðan land þar sem hún safnast saman áður en hún hefur hrygningargöngur sínar. Í stað þess að koma inn á landgrunnið í október/nóvember hefur hún síðastliðin ár komið þangað seint í desember og byrjun janúar^{19,23} en hefur þó að öllu jöfnu verið komin til hrygningar sunnan og vestanlands á hefðbundnum tíma²³. Sum undanfarin ár hefur verið talsverð aukning í hrygningu norðanlands²⁴. Árið 2017 hóf Hafrannsóknastofnun rannsókn á útbreiðslu loðnulirfa umhverfis Ísland með það að markmiði að kortleggja útbreiðslu loðnuungviðis umhverfis landið og áætla uppruna seiðanna og þar með meginhrygningarsvæði loðnunnar út frá aldursgreiningu seiðanna og reklíkönunum. Þessar athuganir hafa þegar

gefið vísbendingu um allnokkra hrygningu norðan lands árið 2018. Reklíkönin sýna að breytileiki sjávarstrauma, staðsetning hrygningarstöðva, lóðrétt far loðnuseiða og tímasetning hrygningar eru þættir sem geta haft áhrif á hvert loðnuseiðin rekur og hvernig þeim reiðiraf²⁵. Breytingar í ástandi sjávar, útbreiðslu hafíss og fæðuskilyrðum eiga líklega stóran þátt í þeim sviptingum í útbreiðslu og gönguafferli loðnunnar sem lýst hefur verið. Veturinn 2020–2021 átti sér stað talsverð breyting í göngumynstri þar sem kynþroska loðna var komin að Kolbeinseyjarhrygg í nóvember. Því var hrygningargangan mun fyrr á ferðinni en undanfarin ár og minnir þessi tímasetning meira á það sem tíðkaðist fyrir síðustu aldamót.

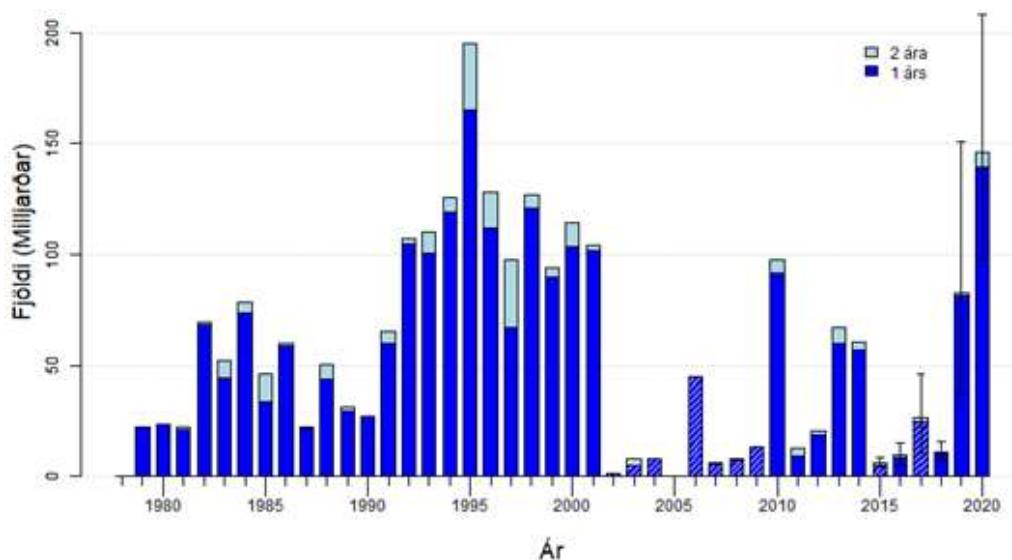


Mynd 4.1.2. Stofnstærð loðnu sem heildarafl á fiskveiðiárinu ásamt hrygningarstofni í mars. Fyrir fiskveiðiárin 2015/16 og síðar eru ekki notaðar sömu forsendur um afrán í framreikningum á hrygningarstofni til 15. mars (skástrikaðar súlur) og fyrri ár (gert ráð fyrir meira afráni eftir 2015).

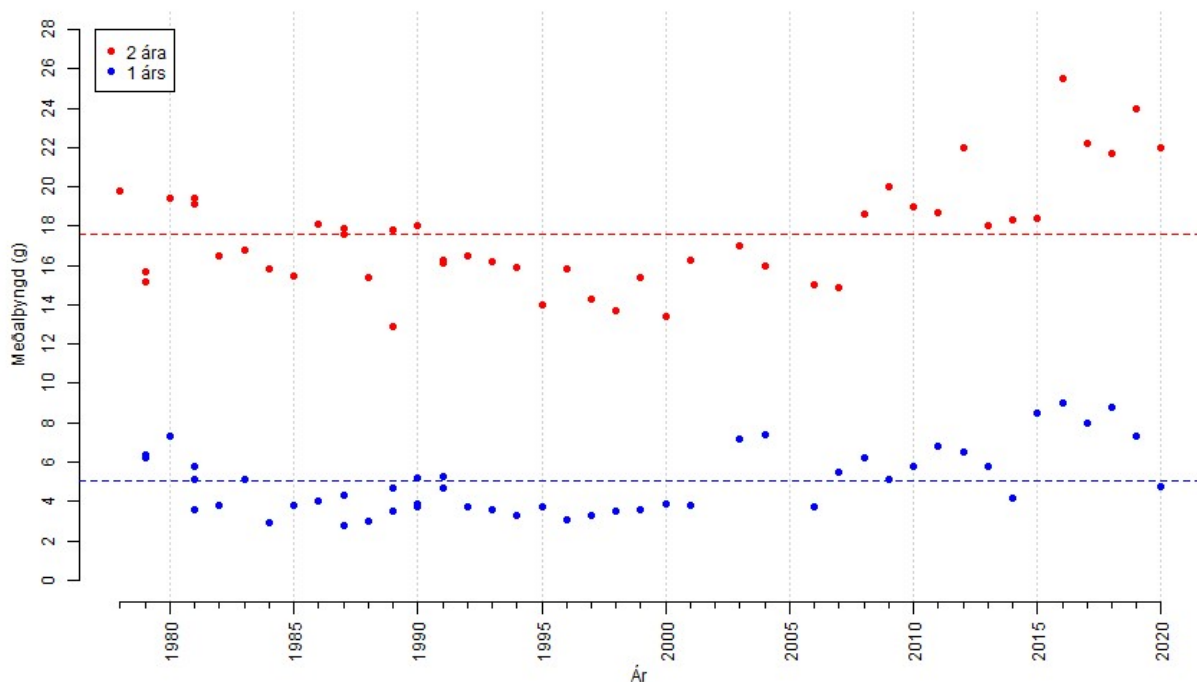
Breytingar á framleiðni og líffræðilegum þáttum

Árlegur veiðistofn loðnu hefur verið metinn frá 83 þúsund tonnum upp í 2 milljónir tonna. Minnstur var hann fiskveiðiárið 2019/20 en stærstur 1996/97 (mynd 4.1.2). Uppistaða aflans á hverju fiskveiðiári er þriggja ára fiskur, eða aðeins einn árgangur. Fram að 2015/16 var aflaregla í gildi sem miðaði við að skilja 400 þúsund tonn eftir til hrygningar ár hvert. Síðan þá hefur stjórnun veiða byggst á aflareglu sem miðar við að skilja eftir 150 þúsund tonn til hrygningar með 95% vissu. Ætla má að núgildandi aflaregla hafi skilað að meðaltali um 340 þúsundum til hrygningar þau ár sem veiðar voru leyfðar en þessi aflaregla byggist á forsendum um meira afrán og því hugsanlegt að meira sé nú skilið eftir til hrygningar en áður.

Ljóst er að síðasta einn og hálfan áratug hefur loðnustofninn verið mun minni en áður fyrr. Jafnframt hefur vísitala unglöðnu eftir síðustu aldamót oft verið lág og langt undirlangtímameðaltali en þó mældist mikið magn unglöðnu haustin 2019 og 2020 (mynd 4.1.3). Breyting í útbreiðslu loðnunnar í vesturátt olli vandræðum að hausti árin 2002 til 2009 þar sem ís var oft lagstur yfir útbreiðslusvæði unglöðnunnar þegar mælingar voru gerðar. Frá árinu 2010 hafa haustmælingar farið fram í september, mánuði fyrr en áður og þá með mun minni takmörkunum vegna íss.



Mynd 4.1.3. Vísitala unglöðnu (ókyngroska 1 og 2 ára) samkvæmt bergmálmælingum að hausti. Skástrikun sýnir þau ár þar sem ekki náðist full yfirferð yfir útbreiðslusvæðið vegna hafíss eða af öðrum orsökum. 90% vkmörk vísitölunnar eru sýnd 2015 og síðar.



Mynd 4.1.4. Meðalþyngd 1 og 2 ára loðnu í haustmælingum. Brotnarlínur sýna langtíma meðaltal hvors aldurshóps.

Síðastliðin ár, samfara lágrí nýliðunarvísitölu, hefur verið aukning í meðallengd og -þyngd 1 og 2 ára loðnu að hausti (mynd 4.1.4), hugsanlega vegna minni samkeppni um fæðu Samfara hárrí unglóðnu vísitölu var meðalþyngd eins árs loðnu síðasta haust undir langtímameðaltali og því á svipuðu róli og fyrir aldamót. Þetta getur bent til þess að minni framleiðni stofnsins undanfarin ár megi frekar rekja til nýliðunarbrests en t.d. fæðuskorts loðnu eins árs og eldri. Hins vegar eru orsakir breytilegrar nýliðunar ekki þekktaren rannsókn hefur sýnt jákvætt samband hennar við meðalfituinnihald stofnsins við hrygningu og neikvætt sambandvið hitastig sjávar við Siglunes²⁶. Þá má benda á að aukning í meðalstærð eins árs loðnu að hausti getur leitt til þess að loðnan verði kynþroska fyrr. Fyrir skammlífa tegund eins og loðnu getur eins árs tilfærsla í kynþroska haft afdrifarík áhrif á tímasetningu hrygningar, lífslíkur seiða og þar meðafrakstur stofnsins. Loðnustofninn við Nýfundnaland er dæmi um stofn sem hrundi í kjölfar sviptinga í umhverfi fyrir tveim áratugum. Hann hefur ekki náð sér aftur á strik og er nú með síðbúna hrygningu og hátt hlutfall tveggja ára í hrygningargöngu^{26,27}.

Samantekt

Loðnan er smávaxinn og skammlífur uppsjávarfiskur sem er í lykilhlutverki í vistkerfi hafsins við Ísland en auk þess er hún mjög mikilvægur nytjastofn. Um síðustu aldamót varð umtalsverð breyting á útbreiðslu loðnu þar sem uppeldisstöðvar unglóðnu hafa færst vestar og fæðuslóðir fullorðinnar loðnu vestar og norðar. Undanfarin ár hefur loðnan auk þess verið að skila sér seinna að íslenska landgrunninu í hrygningargöngu sinni en hefur þó að öllu jöfnu verið komin til hrygningar sunnan og vestanlands á hefðbundnum tíma. Ætla má að tengja megi þessar breytingar í útbreiðslu og gönguhegðun loðnunnar við breytingar á ástandi sjávar, útbreiðslu hafíss og fæðuframboði en í kjölfar þessara breytinga hefur léleg nýliðun verið tíð og hrygningarstofninn mun minni en hann var fyrir aldamót. Síðastliðið ár hafa komið fram breytingar sem minna á fyrri tíma en mikið mældist af unglóðnu síðastliðið haust auk þess sem loðna kom mun fyrr að íslenska landgrunninu á hrygningargöngu sinni í vetur.

4.2 Síld (*Clupea harengus*)

Lísa A. Libungan
Hafrannsóknastofnun

Atlantshafssíld finnst beggja vegna Atlantshafsins²⁹ og er lífmassi hennar sérstaklega mikill með ströndum og í innhöfum Norður-Evrópu þar sem síldarstofnar hafa verið veiddir í árhundruð³⁰. Líflandafræði hennar er flókin og stofnar eru skilgreindir út frá hrygningarsvæðum og hrygningartíma, þar sem hver stofn hrygnir yfir nokkurra vikna tímabil á mismunandi tíma á árinu³¹. Hún lifir á breiðu dýptarsviði frá yfirborði og niður á 400 m dýpi (gögn Hafrannsóknastofnunar) og við hitastig frá 1–15°C³². Hún finnst í fullsöltum sjó, ísöltu vatni og allt þar á milli³³. Síldin er langlíf og getur orðið allt að 20–25 ára. Þessi aðlögunarhæfni er eitt af sérkennum síldarinnar og er talin vera undirstaða mikillar útbreiðslu hennar³⁴.

Þrír síldarstofnar finnast við Ísland: íslensk sumargotssíld, sem hrygnir í júlí^{35,36}, íslensk vorgotssíld sem hrygnir í mars–apríl³⁶ og norsk-íslensk vorgotssíld, sem jafnframt er stærsti síldarstofn í heimi. Norsk-íslenska vorgotssíldin hrygnir í febrúar–mars, aðallega nálægt Mæri við vesturströnd Noregs³⁷ en fer í fæðugöngu inn á íslenskt hafsvæði og dvelur hér að öllu jöfnu fram í nóvember (gögn Hafrannsóknastofnunar). Staðbundnu síldarstofnarnir tveir við Ísland voru áþekkir að stærð áður en allir þessir þrír stofnar hrundu seint á sjöunda áratugnum vegna ofveiði og umhverfisbreytinga³⁸. Fyrir utan hrygningartíma þeirra voru stofnarnir blandaðir í veiðinni en þó í mismiklum mæli yfir árið³⁶. Í kjölfar hrunsins hvarf norsk-íslenska síldin af Íslandsmiðum³⁹ en byrjaði að birtast aftur um 2004^{40,41}. Stofn sumargotssíldar náði sér nokkuð fljótt á strik en vorgotssíldin hefur ekki náð sér frá hruni og hlutfall hennar í veiði hefur verið rúmlega 1% að meðaltali á tímabilinu 1970–2016 en hefur aukist nokkuð hin síðari ár^{41,42}. Hér verður megináhersla lögð á að lýsa tengslum umhverfis og líffræði sumargotssíldar og norsk-íslenskrar síldar.

4.2.1. Sumargotssíld

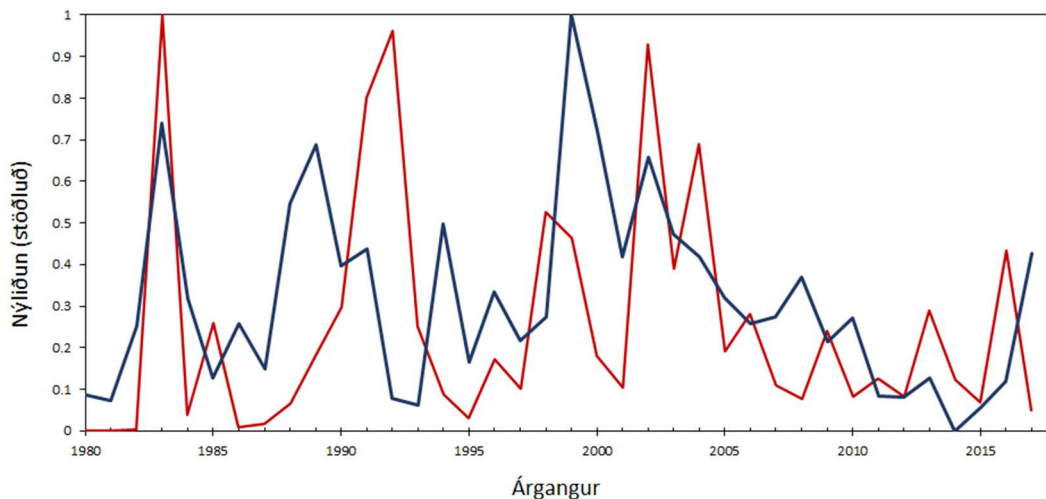
Breytingar á útbreiðslu

Síldin er uppsjávarfiskur sem er að finna allt í kringum landið en magn hennar á mismunandi hafsvæðum fylgir árstíðabundnu fari þar sem hún er ýmist við fæðuöflun, hrygningu (~júní–júlí) eða í vetursetu (~nóvember–mars)⁴¹. Þekking á breytileika milli ára á útbreiðslu stofnsins takmarkast að mestu við vetursetustöðvar hennar þegar bæði meginhluti veiðanna og bergmálmælingar á stærð stofnsins eiga sér stað. Aðal-

vetursetustöðvarnar hafa ýmist verið grunnt eða djúpt úti af Austur- eða Vesturlandi eða grunnt út af Suðurlandi^{38,43}. Umhverfisþættir svo sem sjávarhiti virðast ekki hafa áhrif á útbreiðslu stofnsins þegar horft er til útbreiðslusvæðisins í heild, en sjávarhitinn kann að hafa staðbundin áhrif t.d. á hegðun en dæmi þess er að stofninn leitaði í svalan sjó í litlum fjörðum á norðanverðu Snæfellsnesi haustin 2006 til 2014^{43,44}. Þær rannsóknir gáfu jafnframt til kynna að farleiðir kunni að vera lærðar og breytingar á þeim eigi sér einkum stað þegar stórir árgangar koma og taka upp breytt mynstur. Þó að flutningur á slíku atferli milli kynslóða sé almennt talinn mikilvægur gæti hann hamlað yngri kynslóðum að breyta um mynstur sem annars hefði komið þeim til góða, til að mynda þegar bregðast þarf við breyttu umhverfi⁴⁵. Breytingar á útbreiðslu voru einnig tengdar við aldursamsetningu stofnsins, þ.e. því fleiri eldri einstaklingar í stofninum, því líklegra var að vetrarútbreiðsla vetrarins á undan myndi viðhaldast ári seinna⁴⁴.

Breytingar á framleiðni og líffræði

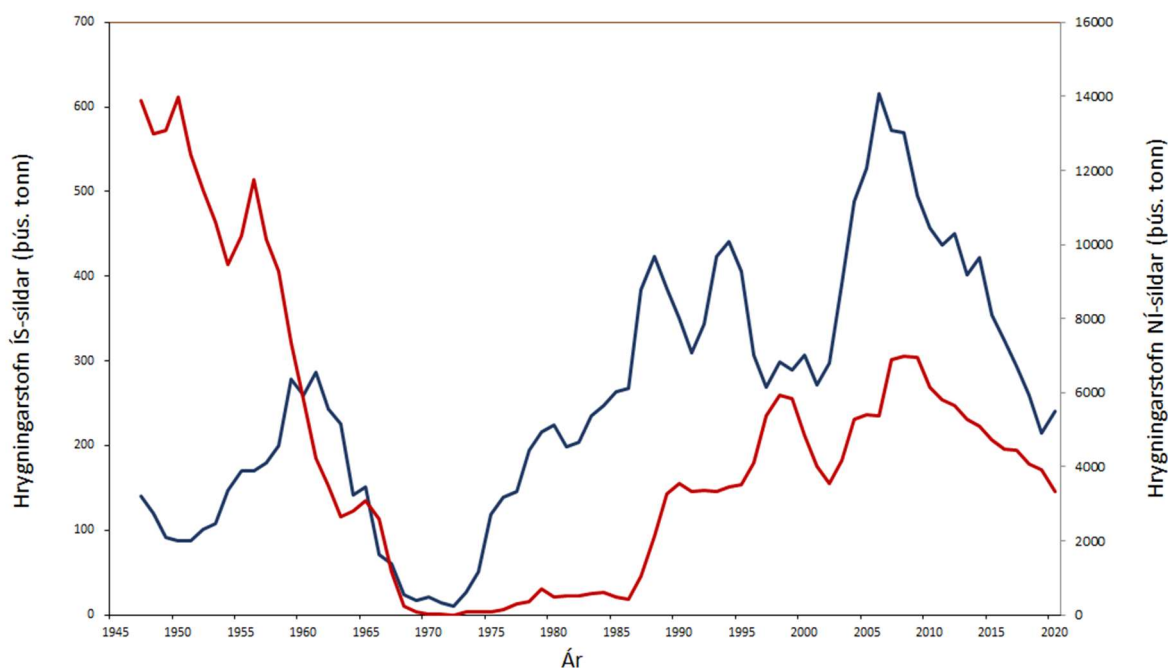
Hrygningarstöðvar sumargotssíldar er að finna meðfram suður- og suðvesturströnd Íslands^{35,36} en helstu uppeldisstöðvar eru í fjörðum fyrir norðvestan og norðan land⁴⁶. Eftir klak hroga á botninum berast lifur norður fyrir land með straumum. Niðurstöður rannsókna á breytileika nýliðunar í stofninum sýndu að hrogaframleiðni stofnsins, sem er tengd beint við stærð hrygningarstofns, útskýrði 40% af breytileikanum en Norður-Atlantshafssveiflan (NAO)⁴⁷ útskýrði 18% og sjávarhitastig 6%⁴⁸. Sterkir árgangar eru því líklegri til að koma fram í árum með jákvæða NAO vísitölu og hærra hitastigi sjávar norðan lands veturinn eftir klak. Þá er tilkoma stórra árganga inn í stofninn oft að gerast á svipuðum tíma og hjá norsk-íslenskri síld (mynd 4.2.1) sem er jafnframt vísbending um mikilvægi stórskala umhverfisáhrifa á nýliðun og viðgang þessara stofna.



Mynd 4.2.1. Nýliðun íslenskrar sumargotssíldar (blá lína) og norsk-íslenskrar vorgotssíldar (rauð lína) samkvæmt stofnmati 2020^{49, 50}.

Frá haustinu 2008 hefur sumargotssíldin verið plöguð af sýkingu af völdum frumdýrsins *Ichthyophonus* sp.⁵¹. Sýkingin sést vel á hjartanu og því er sýkingartíðni í síldarhjörtum mælikvarði á umfang hennar. Mat á umfangi sýkingar í stofninum, bæði í fullorðinni síld og ungsíld, hefur verið metið frá 2008 í aflasýnum og sýnum úr rannsóknarleiðöngnum. Þessar rannsóknir hafa sýnt árlega þróun sýkingar í stofninum og að umfang sýkingar hefur verið 30–50% í hverjum árgangi⁵¹. Metið hefur verið að 30% af öllum sýktum fiski drepst árlega af völdum

sýkingarinnar og eru þau afföll notuð í stofnstærðarmatinu. Sýkingarfaraldurinn hefur því haft umtalsverð áhrif á þróun stofnstærðar⁴¹ (mynd 4.2.2). Lítið er vitað um uppruna sýkingarinnar en ljóst að hún berst í síldina úr umhverfinu í gegnum át og líklegast á fæðuslóð. Sjávarhitastig getur haft áhrif á þróun sýkingarinnar hjá síldinni þar sem ræktunartilraunir hafa sýnt að *Ichthyophonus* sp. vex aðeins við hitastig frá 3 til 20°C, með mesta vöxtinn við 10°C⁵². Það er hins vegar óvíst hvort tengja megi sýkingarfaraldurinn í stofninum við hlýrri sjó við landið upp úr síðustu aldamótum.



Mynd 4.2.2. Þróun stofnstærðar hjá íslenskri sumargotssíld (blá lína) og norsk-íslenskri vorgotssíld (rauð lína) árin 1947–2020^{49,50}.

4.2.2. Norsk-íslensk síld

Breytingar á útbreiðslu

Norsk-íslenski síldarstofninn er stærsti síldarstofn sem fyrirfinnst og viðhefur lengri fæðugöngur en aðrir síldarstofnar³⁹. Að lokinni hrygningu við Noreg heldur síldin í fæðugöngu í Noregshaf og aðliggjandi hafsvæði, m.a. austur og norður af Íslandi, sem hafa mikla framleiðni⁵³. Bæði víðáttumikið fæðusvæði kynþroska hlutans sem og meginuppeldissvæði stofnsins í Barentshafi eru líklegast ástæður fyrir mikilli framleiðni og stærð hans⁵⁴. Fæðugöngur hennar eru tengdar árstíðabundnum sveiflum í dýrasvifi⁵⁵ og er fæðuvalið stærðarháð^{56,57,58}. Þetta hefur verið skoðað austan við Ísland⁵⁶ þar sem mikinn þéttleika af síldinni er að finna stóran hluta úr árinu (gögn Hafrannsóknastofnunar). Fæðunám er hafið í apríl eftir vetursetu en eykst í maí og júní þegar mikilvægur hluti af fæðunni eru eldri stig krabbablóa, sér í lagi rauðátu (*Calanus finmarchicus*) og *Metridia longa*⁵⁶ en vitað er að rauðátan er á þessum tíma að færa sig úr dýpri lögum í efri lög eftir vetursetu⁵⁹.

Breytingar á framleiðni og líffræði

Helstu hrygningarstöðvar norsk-íslenskrar síldar eru við Mæri við vesturströnd Noregs³⁷. Einkennandi fyrir stofninn eru að upp koma sterkir árgangar en þegar langt líður á milli þeirra getur það haft afdrifaríkar afleiðingar fyrir stofninn⁶⁰. Til að mynda kom enginn sterkur árgangur inn í stofninn á árunum 2005–2015 og þá minnkaði hrygningarstofninn um 40%, og fór hann frá 7 niður í 4 milljónir tonna⁶¹. Þróun stofnstærðar byggist á nýliðun inn í stofninn og ástæður breytilegrar nýliðunar hafa mikið verið rannsakaðar án þess að vera að fullu útskýrðar. Í árum þar sem stofninn er með háa nýliðun má greina umhverfispætti á borð við ríkjandi suðvestan vinda ásamt lágrí seltu meðfram strandlengju Noregs sem taldir eru auka lífslíkur lirfa sem flytjast með straumum í norður á uppeldisstöðvarnar⁶². Hitastig er einnig talið geta haft áhrif á nýliðun þar sem í hlýrri sjó hrygnir síldin fyrr sem veldur því að klak lirfa verður einnig fyrr sem veldur minni skörun við afræningja eins og makríl, kolmunna, lax, ufsa, síld (sjálfrán) og lunda en þessar tegundir hafa einungis stuttan viðkomutíma á farleið lirfanna þegar þær berast með straumum norður eftir strönd Noregs⁶³.

Samantekt

Síldin býr yfir mikilli aðlögunarhæfni en hvernig hún bregstvið umhverfisbreytingum næstu áratugina verður að koma í ljós. Stór hrygningarstofn, jákvæð NAO vísitala og hlýrri sjór norðan lands hafa oftast í för með sér meiri nýliðun hjá sumargotssíld. Á móti hefur skæður sýkingarfaraaldur í stofninum haft neikvæð áhrif á þróun stofnstærðar á þeim tíma þegar stofninn var í hámarki og sjórinn norður af landi hlýr. Hvernig og hvort eitthvað orsakasamhengi liggur þar að baki er óvíst. Farmynstur norsk-íslensku síldarinnar er háð árstíðabundnum sveiflum á dýrasvifi og búast má við hárrí nýliðun inn í stofninn við sérstakar umhverfisaðstæður á borð við ríkjandi suðvestan vinda og lágrí seltu. Talið er að hlýnun geti haft óbein áhrif á nýliðunina þannig að yngri lífsstig skarist síður við afræningja sem er að finna meðfram strandlengju Noregs. Sé litið til síðustu áratuga, þá má rekja helstu breytingar í stofnstærð þessara stofna til umhverfisbreytinga í lok sjötta áratugar síðustu aldar ásamt ofveiði og til sýkingarinnar í sumargotssíldinni. Ljóst er að fjölmargir samverkandi þættir munu hafa áhrif á viðkomu þessara stofna hér við land, til að mynda nýliðun, stofnstærð, árgangastyrk, fæðuframboð og umhverfispætti, þá helst sjávarhiti og selta.

4.3 Makrill (*Scomber scombrus*)

Anna Heiða Ólafsdóttir og Sigurður Þór Jónsson
Hafrannsóknastofnun

Makrill er víðförull og útbreiddur uppsjávarfiskur. Hann er hlýsjávartegund sem finnst beggja vegna Norður-Atlantshafsins⁵⁴. Í Norðaustur-Atlantshafi er jafnan talað um einn stofn og er veiðum á honum stjórnað með tilliti til þess⁶⁴. Um 2015 náði útbreiðslusvæði hans frá suðurodda Spánar til Svalbarða og frá ströndum meginlands Evrópu til austurstrandar Grænlands^{65,66}. Kynþroska makrill fylgir árstíðabundnu göngumynstri á milli aðskilinna sumarfæðusvæða, vetrardvalarsvæða og hrygningarsvæða^{67,68}.

Á síðustu öld var makrill sjaldséður flökkufiskur í íslenski landhelgi en fljótlega eftir aldamótin fór hans að verða vart suðaustan og sunnan við Ísland að sumarlagi^{69,70}. Makrill fór m.a. að veiðast í vaxandi magni sem meðafli í sumarveiðum á norsk-íslenski vorgotssild fyrir suðaustan land frá 2000 til 2006⁷⁰ og fannst í fæðu súluunga við Vestmannaeyjar sumarið 2005⁶⁹. Makrílveiðar í íslenski landhelgi hófust sumarið 2007. Árið 2010 hófst fjölþjóða rannsóknaleiðangur (sumaruppsjávarleiðangur), þar sem útbreiðsla og þéttleiki makríls er metin að sumarlagi í Norðurhöfum, þar með talið í íslenski landhelgi^{70,71}. Makrílstofninn í Norðaustur-Atlantshafi er einn af verðmætustu fiskstofnum Evrópu í efnahagslegu tilliti. Síðan árið 2000 hefur árlegur heildarafl úr stofninum sveiflast á bilinu 0,5–1,4 milljón tonn og heildarafl íslenskra skipa, frá 2007 til 2020, verið á bilinu 37–173 þúsund tonn⁶⁴. Hér verður fjallað um breytingar á útbreiðslu, framleiðni og líffræði makrílstofnsins frá aldamótum með áherslu á makríl í íslenski landhelgi að sumarlagi.

Breytingar á útbreiðslu

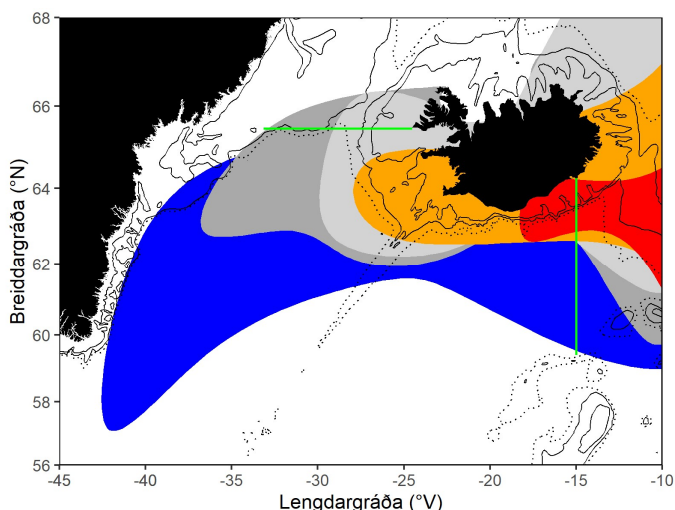
Makrill hrygnir á landgrunni og landgrunnsbrún meginlands Evrópu frá janúar fram í júlí^{67,68}. Hrygningin byrjar syðst og færast norðar, eftir því sem líður á árið⁷². Eftir hrygningu gengur makrill áfram í norður eða norðvestur inn í Norðurhöf og inn í Norðursjó til fæðuleitar yfir sumarmánuðina^{67,68}. Þegar hausta tekur safnast makrill saman í þéttar torfur í norðurhluta Norðursjávar sem ganga síðan suður á bóginn þegar líður á veturinn^{73,74}. Yfir veturinn er makrill dreifður yfir landgrunnsbrún og landgrunn Evrópu frá ströndum Portúgals til Hjaltlandseyja⁶⁴. Ungviðið heldur sig á uppeldissvæðum á landgrunninu við Írland og vestur og norður af Skotlandi, í Biskayaflóa og í Norðursjó uns kynþroska er náð við tveggja eða þriggja ára aldur⁷⁷ og byrjar þá árlega göngu með hrygningarstofninum.

Hrygningarganga

Síðan um aldamótin hefur hrygningarsvæði makríls stækkað í norður og norðvestur frá landgrunninu vestur af Írlandi. Sú vitneskja, ásamt umfjölluninni hér að neðan, byggja á fjölþjóðlegum rannsóknarleiðöngum sem farnir eru á þriggja ára fresti til að meta magn og útbreiðslu makrílhrygningar^{74,76–81}. Nokkur breytileiki er á milli ára í staðsetningu og tímasetningu hrygningar makrílsins. Niðurstöður mælinga á útbreiðslu og þéttleika makríleggja sýndu aukningu vestur af Skotlandi vorið 2007 samanborið við fyrri ár. Vorið 2010 náði hrygningarsvæði makríls út frá ströndum Skotlands, norður að Færeyjum (62 °N) og einnig vestur í Íslandsdjúp, að lengdargráðu 20 V° suður af Vestmannaeyjum. Árið 2013 náði hrygningarsvæðið norður að landgrunnsbrúninni fyrir sunnan Ísland og vestur fyrir Vestmannaeyjar. Árið 2019 hrygndi makrill í suðurhluta Noregshafs (sunnan 64°N).

Staðsetning meginhluta hrygningar makrílstofnsins hefur ekki færast norðar þó að hrygningarsvæðið hafi stækkað í norður og norðvestur. Meginsvæðið hefur oftast verið vestur af Írlandi en á því eru undantekningar. Árið 2013 var aðal hrygningarsvæðið í Biskayaflóa og árið 2016 vestur af Skotlandi. Árin 2010 og 2019 náði aðal hrygningin yfir stór svæði meðfram landgrunnsbrúninni allt frá Spáni til Skotlands. Rannsóknir benda til að makrill hrygni á ákveðnum stöðum og dýpi (um 250 m) við landgrunnsbrúnina frá norðurströnd Spánar til vesturstrandar Skotlands⁸². Umhverfispættir virðast hafa lítil áhrif á breytingar í staðsetningu hrygningarsvæðis makríls og ekki er fylgni á milli stofnstærðar og stærðar hrygningarsvæðisins⁸². Ekki er vitað hvað veldur breytileika í staðsetningu aðal hrygningarsvæðisins á milli ára. Aðal hrygningartímabilið er einnig breytilegt og hefur mælst frá mánaðamótunum febrúar–mars til loka maí. Ekkert mynstur er í breytingum á tímasetningu en hún sveiflaðist frá því að vera snemma árið 2013 til seint 2016 og í meðallagi 2019. Ástæðan fyrir þessum sveiflum í tímasetningum er ekki þekkt.

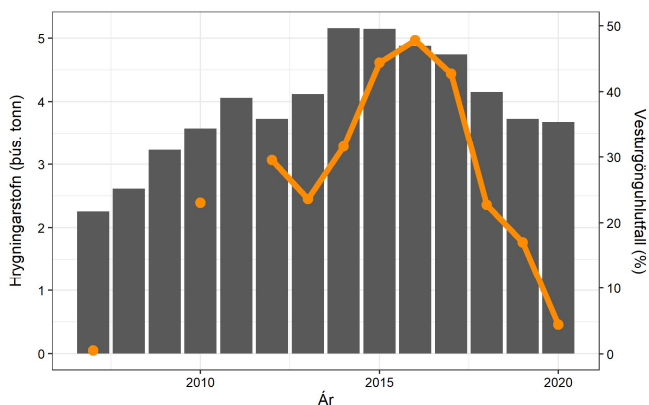
Útbreiðsla makríls að sumarlagi hefur tekið miklum breytingum frá síðustu aldamótum (mynd 4.3.1). Um aldamótin var sumarfæðuslóð makríls aðallega í Noregshafi, fyrir austan 10°V og sunnan 72°N⁸³. Sumrin 2005 og 2006 tók útbreiðslan að aukast í vesturátt úr Noregshafi allt að austurströnd Íslands^{69,70,83}. Niðurstöður sumaruppsjávarleiðangra sýna að sumarið 2010 náði útbreiðsla makríls vestur fyrir Ísland og nánast að miðlínunni við Grænland, að 30°V⁶⁶. Sumarið 2013 mældist makrill í grænlenkri landhelgi í fyrsta skipti þegar útbreiðslan náði inn í norðurhluta Irmingerhafs, og voru vesturmörk útbreiðslu við 36°V og suðurmörk við 62°N⁶⁶.



Mynd 4.3.1. Aukning og samdráttur í útbreiðslu makríls á vestursvæði samkvæmt mælingum í sumaruppsjávarleiðangri. Sumarið 2010 var makrill kominn vestur fyrir Ísland (ljósgrátt svæði), 2013 náði útbreiðsla inn í grænlenka landhelgi (dökkgrátt svæði), mest var útbreiðslan 2015 (blátt svæði), vesturganga minnkaði mikið 2019 (appelsínugult svæði) og 2020 var útbreiðslan takmörkuð við suðausturströnd Íslands (rautt svæði). Grænar línur skilgreina vesturgöngusvæði fyrir mynd 4.3.3.

Niðurstöður sumaruppsjávarleiðangursins sýna jafnframt að magn makríls á vestursvæðinu, í landhelgi Íslands og Grænlands, var í hámarki sumrin 2015 til 2017 þegar meira en 40% af heildarvísitölu lífmassa mældist á því svæði⁸⁵⁻⁹⁸ (mynd 4.3.2). Sumarið 2018 lækkaði hlutfall lífmassavísitölu á svæðinu niður í ríflega 20% af heildarmagni og niður í tæplega 5% sumarið 2020. Útbreiðsla makríls í íslenski landhelgi minnkaði áberandi mikið fyrir vestan land sumarið 2019. Sumarið 2020 mældist makrill einungis

við suðausturströnd Íslands en á því svæði varð hans fyrst vart í íslenski landhelgi upp úr aldamótum. Enginn makrill mældist í grænlenkri landhelgi sumarið 2020. Á sama tíma og útbreiðsla makríls jókst í vesturátt var enn mikið af makrill í Noregshafi við fæðunám yfir sumartímann. Eins færðust norðurmörk útbreiðslusvæðis makríls í Noregshafi í norðurátt u.þ.b. frá 72°N að 77°N. Jafnframt því að sumarútbreiðslan hefur minnkað við Grænland og Ísland eftir árið 2015 hefur stærð útbreiðslusvæðisins í Noregshafi haldist svipað og þéttleiki makríls þar aukist samanborið við fyrri sumur. Nokkrar tilgátur hafa verið settar fram til að útskýra hvers vegna útbreiðsla makríls að sumarlagi jókst í vesturátt inn í landhelgi Íslands og Grænlands. Niðurstöður rannsókna sýna samhengi milli hlýsjávartímabíla í hafinu við Ísland og skráninga á viðveru makríls á íslensku hafsvæði á 20. öld⁷⁰. Einnig er jákvæð fylgni á milli stærðar hrygningarstofnsins og flatarmáls fæðuslóðar að sumri og er þar með talin þensla útbreiðslunnar í vesturátt til Íslands⁶⁶. Á tímabilinu 2007 til 2015 þegar útbreiðslusvæði makríls stækkaði, tvöfaldaðist stærð hrygningarstofnsins^{64,66} (mynd 4.3.2). Einnig er jákvætt samband á milli magns rauðátu, algengustu fæðutegundar makríls⁹⁹, og útbreiðslu og þéttleika makríls samkvæmt mælingum í sumaruppsjávarleiðangri^{66,100}.



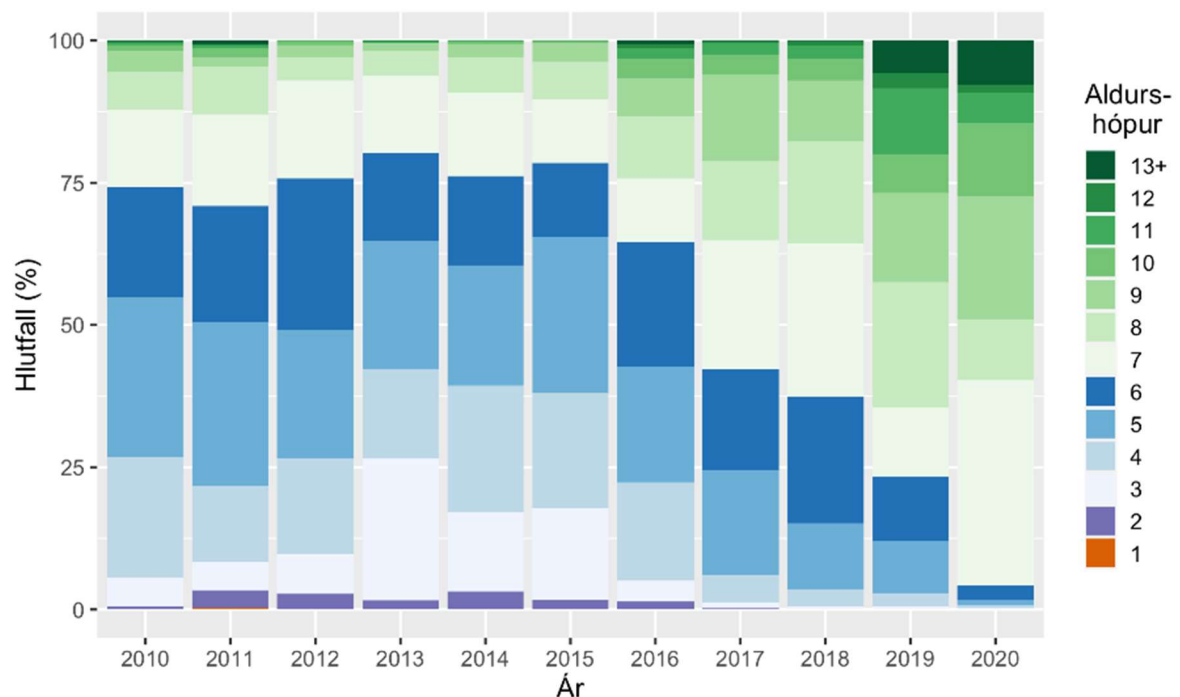
Mynd 4.3.2. Stærð hrygningarstofns makríls (gráar súlur) samkvæmt stofnmati ICES árið 2020⁶⁵ og hlutfall lífmassavísitölu makríls sem mældist í landhelgi Íslands og Grænlands í sumaruppsjávarleiðangri⁸⁵⁻⁹⁸ (appelsínugul lína og punktar).

Makríll er algengur og þéttleiki hans oft mikill aðsumarlagi í Norðurhöfum þar sem hitastig er á bilinu 8–13°C^{66,83,100}. Makríll getur fundist þar sem hitastig sjávarer á bilinu 5–15°C en er fátíður og þéttleiki almennt lítill við hitastig < 7°C og > 13°C^{66,83,100}. Það má því ætla að hitastigyfirborðslaga sjávar útskýri mun á þéttleika makríls í kringum Ísland. Útbreiðsla makríls er takmörkuð og þéttleiki hans lítill í köldum pólsjó fyrir norðvestan, norðanog norðaustan land samanborið við í hlýjum Atlantssjó fyrir suðaustan, sunnan og vestan landið^{66,91,93,95,97}.

Minni fiska og þekking þeirra á gönguleiðum eru meðal margra þátta sem geta haft áhrif á útbreiðslu víðförulla göngufiska eins og makríls. Nýjar rannsóknir á norsk-íslenskri síld sýna að stofninn viðhafi svipað göngumynstur allt þar til að stórir árgangar, sem geta tekið upp nýtt mynstur, ganga inn í stofninn og breytingar eiga sér stað¹⁰¹. Af þessum ástæðum getur tregða eldri árganga við að bregðast við breyttum umhverfisaðstæðum hægt á svörun heildarstofns við breyttum aðstæðum. Aldurssamsetning makríls á vesturgöngusvæðinu breyttist um 2017 þegar hlutfall ungfisks (3–6 ára) lækkaði í 40% samanborið við ríflega 60% árin þar á undan (mynd 4.3.3). Þessi lækkun hélt áfram næstu ár og var hlutfall ungfisks um 5% sumarið 2020. Frá og með sumrinu 2016 hefur lítið af 3 ára makríl en það er yngsti fiskurinn sem tekur þátt

í sumarfæðugöngu, gengið í vesturátt til Íslands samanborið við árgangana á undan og eru ástæður þess óþekktar.

Frá árinu 1880 til ársins 2010 er ljóst að komur makríls inn á íslensk hafsvæði til fæðuöflunar að sumri tengjast hlýindaskeiðum⁷⁰. Hlýindaskeið hefur verið á Íslandsmiðum frá því upp úr síðustu aldamótum (kafla 2.1) og sást makríll í miklu magni fljótlega eftir að skeiðið byrjaði. Tölfræðilegar greiningar á gögnum frá því tímabili sýna hins vegar ekki með eins skýrum hætti bein tengsl hlýindanna og komu makríls. Þær sýna hins vegar að líklegast er að um sé að ræða áhrif fjölmargra samverkandi þátta, svo sem stofnstærðar, aldurssamsetningar og nýliðunar inn í stofninn, þéttleika fæðu makríls, þekkingar makríls á gönguleiðum og umhverfisaðstæða. Að lokum, hlýindaskeið stendur enn yfir á Íslandsmiðum en mikið hefur dregið úr göngu makríls inn á svæðið síðan árið 2018. Möguleiki er að staðbundin lækkun á yfirborðshita sjávar að sumarlagi síðustu ár hafi hindrað vesturgöngu makríls. Hitagögn úr sumaruppsjávarleiðangrinum sýna að meðalhitastig í yfirborðslagi sjávar (10 m dýpi) fyrir austan landið hefur lækkað úr 9°C í júlí 2017 í um 8°C í júlí 2018 og ríflega 7°C í júlí 2020. Þetta þarf að rannsaka frekar.



Mynd 4.3.3. Hlutfallsleg aldurssamsetning á vesturgöngusvæði á árunum 2010–2020. Mælt sem hlutfall fjöldavísitölu aldurshópa af heildarfjöldavísitölu á svæðinu í sumaruppsjávarleiðangri. Skilgreining á vesturgöngusvæði má sjá á mynd 4.3.1.

Frá síðustu aldamótum hefur stærð hrygningarstofns makríls sveiflast á milli tæplega 2 milljón tonna og ríflega 5 milljón tonna⁶⁴. Stofninn var lítill um aldamótin, tók að stækka um 2004, náði hámarki 2014 en hefur minnkað frá 2014 til 2020⁶⁴. Sveiflur í stofnstærð má einkum rekja til breytileika í nýliðun. Stærð hrygningarstofns virðist hafa takmörkuð áhrif á nýliðun makríls þar sem stór hrygningarstofn hefur gefið af sér ýmist litla eða stóra árganga¹⁰². Fæðuframboð virðist hafa áhrif á nýliðun þar sem jákvæð fylgni er á milli átumagns á uppeldissvæðinu og nýliðunar¹⁰³, annars eru ástæður breytilegrar nýliðunar illa þekktar eins og gildir um allflest fiskistofna.

Makríll er hraðvaxta fyrsta árið og er meðallengd hans fyrsta vetur eftir klak 18 til 22 cm⁷⁵. Líkt og aðrar hlýsjávartegundir þá vex makríll hraðar í hlýrri sjó¹⁰⁴. Vöxturinn er einnig þéttleikaháður þar sem aukinn þéttleiki dregur úr vaxtarhraða og á þetta bæði við um ókynþroska og kynþroska fisk^{75,105}. Einnig er neikvæð fylgni á milli stofnstærðar norsk-íslenskrar síldar og vaxtar kynþroska makríls. Skýringin gæti verið fæðusamkeppni tegundanna, þar sem norsk-íslensk síld hefur fæðugöngu sína fyrr og étur svipaða fæðu¹⁰⁵.

Makríll er víðförull göngufiskur í Norðaustur-Atlantshafi og frá aldamótum hefur útbreiðsla hans, bæði á hrygningartíma og á fæðuslóð að sumarlagi, tekið miklum breytingum. Hrygningarsvæðið stækkaði frá landgrunninu vestan við Írland í norður, inn í suður hluta Noregshafs og í norðvestur, inn í Íslandsdjúp. Þessar breytingar virðast hvorki tengjast umhverfisbreytingum né stofnstærð. Eins hefur aðalhrygningartíminn sveiflast á milli ára frá mánaðamótunum febrúar–mars til maí af óþekktum ástæðum. Breytingar á sumarútbreiðslu eru enn meiri þar sem hluti stofnsins hóf göngu í vesturátt inn á Íslandsmið fljótlega eftir aldamótin. Gangan náði hámarki árin 2014 til 2017 þegar stór hluti stofnsins gekk í vestur. Vesturgangan hefur minnkað mikið síðan þá og var takmörkuð við suðaustur strönd Íslands sumarið 2020. Sögulega tengist viðvera makríls á Íslandsmiðum hlýindaskeiðum en hitastig eitt og sér útskýrir ekki ris og fall vesturgöngunnar síðustu ár. Líklega hafa margir samverkandi þættir áhrif eins og stofnstærð, aldurssamsetning og nýliðun inn í stofninn, fæðuframboð, þekking árganga á gönguleiðum og umhverfisaðstæður.

4.4 Göngufiskar

Guðni Guðbergsson, Hlynur Bárðarson, Ingi Rúnar
Jónsson, Sigurður Már Einarsson og Magnús
Jóhannsson
Hafrannsóknastofnun

Þær breytingar á loftslagi sem spáð hefur verið að komi fram á næstu áratugum munu hafa áhrif á vistkerfi jafnt í hafinu og í fersku vatni. Auk hlýnunar geta orðið breytingar á úrkomu og hvort hún fellur sem rigning eða snjór. Það getur aftur haft áhrif á rennsli áa og vatnshita en þessir tveir þættir hafa hvað mest áhrif á lífsskilyrði laxfiska¹⁰⁶. Hugsanlegt er að tíðni flóða og þurrka breytist frá því sem verið hefur og að hér á landi geta áhrifin verið breytileg milli svæða og eftir árum ekki síst þar sem munur er á loftslagi milli norður og suðurhluta landsins. Umhverfispættir hafa breytileg áhrif á lífsskilyrði einstakra tegunda með tilliti til afkomu og nýtingu þeirra.

Hér á landi finnast fimm tegundir fiska í fersku vatni og teljast einkum þrjár þeirra til nytjafiska, þ.e. laxfiskategundirnar, lax (*Salmo salar*), urriði (*Salmo trutta*) og bleikja (*Salvelinus alpinus*)¹⁰⁷. Aðrar tegundir eru áll (*Anguilla anguilla*) og hornsíli (*Gasterosteus aculeatus*). Auk þeirra hefur flundra (*Platichthys flesus*) og hnúðlax (*Oncorhynchus gorboscha*) fundist í auknum mæli í íslenskum ám á síðustu árum. Urriði og bleikja eru oft nefndar einu nafni silungur sem er íslenskt samheiti, hvort sem um staðbundna eða sjógengna stofna að ræða. Þessar tegundir hrygna allar í fersku vatni en laxaseiði og seiði sjógöngustofna bleikju og urriða ganga til sjávar og taka út mest af sínum vexti í sjó. Af þessum tegundum eru verðmæti veiða mest í laxi en silungsveiði er þó mikilvæg og vaxandi hlunnindi víða.

Frá 1932 hefur veiði á laxi í sjó verið bönnuð við Ísland og nýtingin því nær eingöngu átt sér stað í fersku vatni. Stangveiði er aðalnýtingarformið en netaveiði er stunduð í nokkrum jökulám en úr henni hefur dregið á síðustu áratugum. Lítils háttar strandveiði er stunduð á silungi. Í netaveiði getur veiðin verið samsett úr fleiri stofnum innan sama vatnakerfis meðan að stangveiðin byggist að langmestu á veiðum úr einum stofni¹⁰⁸. Þegar veitt er úr blönduðum stofnum geta litlir stofnar verið undir miklu veiðialagi sem erfitt getur verið að greina út frá heildarveiði þegar aðgreining einstakra stofna er ekki tiltæk.

Aðlögun fisktegunda að sjó og fersku vatni er ólík. Í fersku vatni er fiskurinn saltari en umhverfið og þarf að losa vatn og passa upp á sölt. Í sjó er þessu öfugt farið þar sem umhverfið er saltara en fiskurinn sem þá þarf að halda inni vatni og losa sig við sölt. Frumur í tálknum laxfiska hafa það hlutverk að stjórna seltuþvægi. Ávinningur af sjávargöngu er einkum sá að þar er meira framboð af fæðu en sjávarganga getur jafnframt verið áhættusöm. Tegundir

laxfiska hafa mismunandi kjörhitastig en lax er einkum að finna í hlýrri og frjósamari ám en bleikja er ríkjandi í þeim snauðari og kaldari. Urriði þrífst við aðstæður sem liggja á milli þess sem lax og bleikju gera hvað varðar frjósemi vatns, hitastig og straumhraða¹⁰⁷. Samkeppni getur því verið á milli bleikju og urriða í ám og einnig á milli urriða og lax^{106,109}. Ef breytingar verða á hitastigi getur útbreiðsla og stofnstærðir tegundanna breyst. Á meginlöndum er oftast samkeppni milli lax og sjóbirtings en samkeppni laxa við sjóbleikju er sjaldgæfari en þannig háttar til hér á landi einkum á norðanverðu landinu. Hér á landi hafa útbreiðsla og stofnstærðir breyst milli tímabila og fylgt að nokkru breytingum á tíðarfari^{107,108}. Bleikja og urriði hafa verið ríkjandi á kaldari tímabilum en lax aukið stofnstærð á hlýskeiðum. Lax er ríkjandi tegund í ám á láglendi á yngri berggrunni á Suður- og Norðurlandi en er einnig að finna í frjósamari ám í öðrum landshlutum. Um 40% af laxveiði landsins er í ám á Vesturlandi¹⁰⁸.

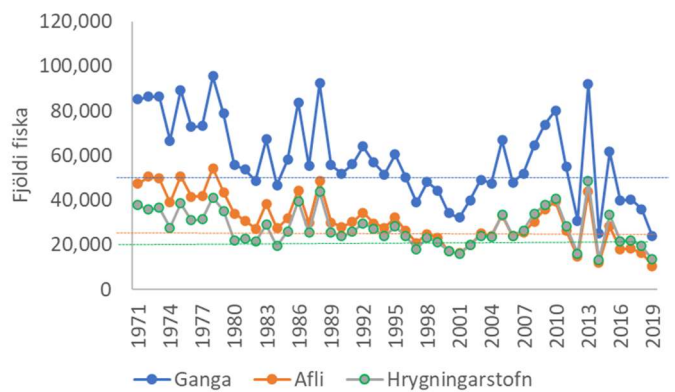
4.4.1 Lax (*Salmo salar*)

Lífssögulegir þættir

Hrygningarlax gengur úr sjó í árnar á vorin og fyrri hluta sumars og er nýttur til veiða í ám yfir sumarið og fram á haust (lok september). Hrygningartími er í október og nóvember og jafnan fyrr þar sem vatnshiti er lægri. Stór hluti laxa drepst að lokinni hrygningu eða gengur aftur til sjávar vorið eftir hrygningu og drepst þar. Lítil hluti laxins (3–10%) nær að lifa aðra sjávargöngu, þroska ný hrogn eða svil og koma aftur til hrygningar, yfirleitt sama sumar¹¹⁰. Hrogn laxa eru í malarbotni ána yfir veturinn og seiðin fara að taka til sín fæðu næsta vor og sumar. Það tekur laxaseiði um 2–5 ár að ná sjógöngustærð sem er að meðaltali frá 11–13 cm¹¹¹. Seiðin ganga að jafnaði til sjávar að vori eða snemma sumars.

Íslenskur lax dvelur ýmist eitt eða tvö ár í sjó áður en hann nær kynþroska og gengur til hrygningar í sína heimaá. Á fyrsta ári í sjó tekur laxinn út mikinn vöxt og um það bil hundrað faldar þyngd sína. Hluti laxanna gengur til baka í ferskvatn eftir eitt ár sem smálax (1,5–4 kg) en hinir eru tvö ár í sjó og koma til baka sem stórlaxar (lax yfir 4 kg). Lengri sjávaraldur er sjaldgæfur hjá laxi hér á landi¹⁰⁷. Ekki eru til gögn um útbreiðslu íslenskra laxastofna í sjó, m.a. vegna þess að ekki eru sjávarveiðar á laxi við Ísland. Þekkt er að merktir íslenskir laxar hafa komið fram í laxveiðum norðan

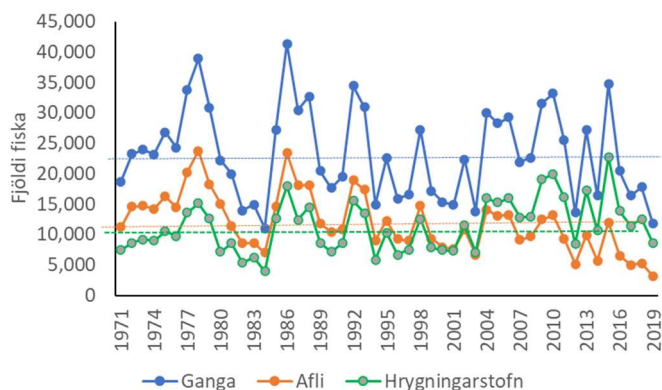
við Færeyjar og einnig við Vestur-Grænland¹¹². Merkingar laxaseiða af eldisuppruna með mælimerkjum sem skrá hitastig og dýpi benda til þess að lax af Suðvesturlandi gangi suður fyrir Ísland og haldi sig á hafsvæði þar sem yfirborðshiti er um 8°C yfir veturinn¹¹³. Veiði á laxi og silungi er skráð í veiðibækur og byggir á hefð sem víða nær aftur til ársins 1946¹¹⁴. Frá árinu 1996 hafa verið fiskteljarar í allmörgum ám þar sem fjöldi, göngutími og tegundasamsetning göngufiska er skráð. Við samanburð á skráðri veiði og göngu kemur fram að veiðitölurnar endurspeglar í meginráttum fjölda fiska í göngu¹¹⁵. Á árunum 1971–2019 gengu að meðaltali um 23 þúsund laxar í ár á Norður- og Austurlandi. Aflinn var um 11.300 laxar og hrygningarstofn um 12 þúsund laxar á ári (mynd 4.4.1). Mikil minnkun kom fram í göngu (stofnstærð) á árunum eftir 1980 og svo aftur núna síðustuár en brugðist hefur verið við því með því að draga úr sókn með því að sleppa löxum í stangveiði, einkum síðastliðin 20 ár.



Mynd 4.4.2. Mat á göngu (stofnstærð laxa), afla og stærð hrygningarstofna í ám á Suður- og Vesturlandi á árunum 1971–2019 (brotnar línur sýna meðaltöl).

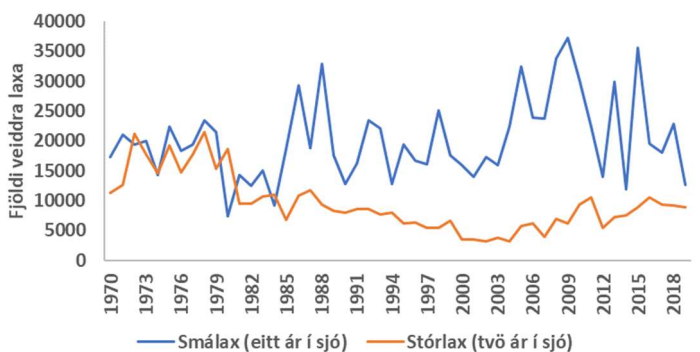
Á árunum frá 1971–2019 hefur meðalafli á laxi á Íslandi á ári verið um 43 þúsund laxar en á því tímabili hefur áætluð ganga laxa úr sjó verið að meðaltali um 82 þúsund fiskar á ári. Hærra hlutfall laxagöngunnar hefur á síðustu árum verið eftir í hrygningarstofni í kjölfar breytinga á veiðistjórnun vegna minnkandi sóknar í netaveiði og sleppingum í stangveiði. Þær breytingar á stofnstærðum laxa á Íslandi sýna að niðursveifla eftir 1980 fylgdi köldu árferði og kom á þeim tíma harðast niður á stofnum á Norður- og Austurlandi¹⁰⁷.

Miklar breytingar hafa orðið á sjávaraldri laxa en á áttunda áratug síðustu aldar veiddust um 19 þúsund smálaxar og einnig um 19 þúsund stórlaxar á ári hverju¹¹⁴ (mynd 4.4.3). Eftir 1980 fækkaði bæði stór- og smálöxum en fjöldi smálaxa jókst eftir 1985 en stórlöxum hélt áfram að fækka fram yfir 2000.



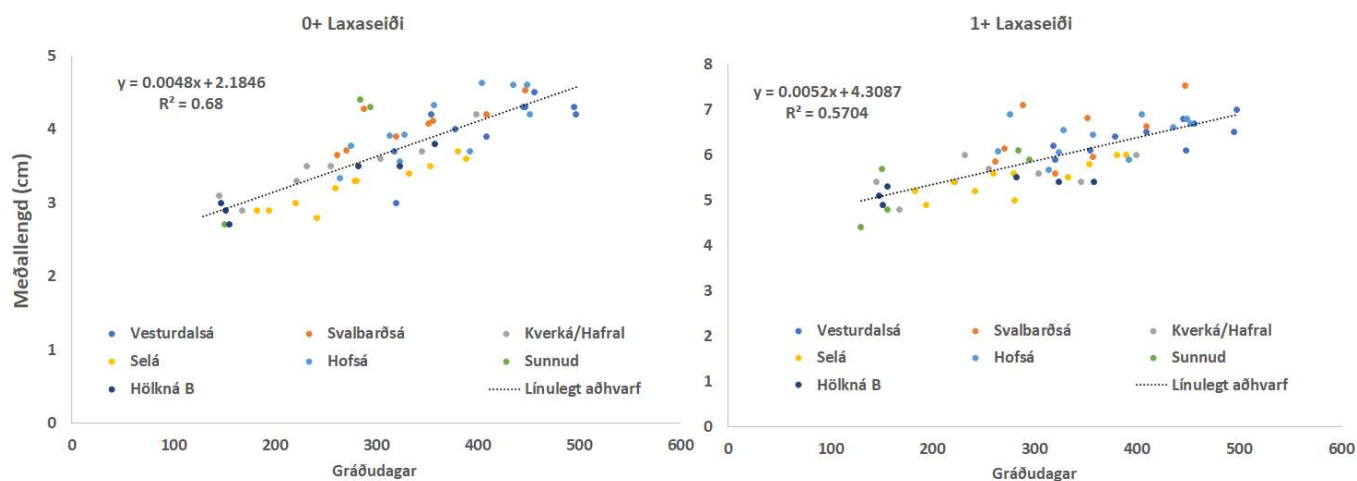
Mynd 4.4.1. Mat á göngu laxa (stofnstærð), afla og stærð hrygningarstofna í ám á Norður- og Austurlandi á árunum 1971–2019 (brotnar línur sýna meðaltöl tímabilsins).

Umtalsvert fleiri laxar ganga í ár á Suður- og Vesturlandi en þeir hafa að meðaltali verið um 58.500 á ári frá 1971. Aflinn var um 31 þúsund laxar og hrygningarstofninn um 27.500 laxar (mynd 4.4.2). Umtalsverður samdráttur hefur orðið í fiskgengd og dregið hefur verið úr veiði bæði með því að draga úr netaveiði og sleppa laxi í stangveiði.

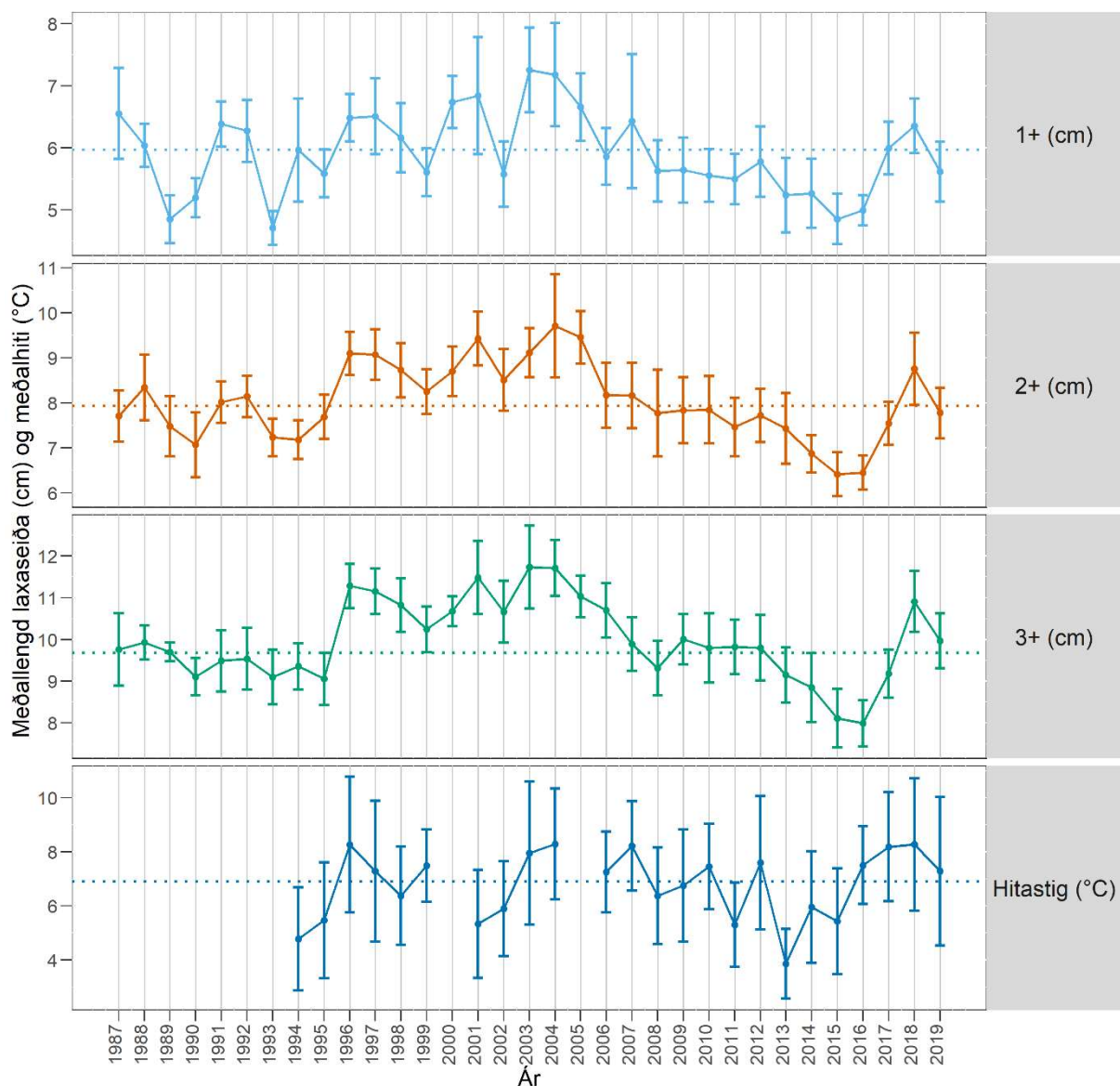


Mynd 4.4.3. Fjöldi veiddra smálaxa (eitt ár í sjó) og stórlaxa (tvö ár í sjó) í stangveiði í ám sem hafa samfellda veiði-skráningu (88% af stangveiðinni að meðaltali á árunum 1970–2019).

Sterk tengsl eru á milli stærðar laxaseiða og hitastigs í ám á Norðausturlandi þar sem stærð laxaseiða að hausti eykst eftir því sem fjöldi gráðudaga (margfeldi fjölda daga og meðalhitastigs hvers dags) eykst¹¹⁶ (mynd 4.4.4). Breytileiki í hitastigi ána skýrir um 60% af stærðarmun seiðanna. Langtímabreytingar á stærðum árganga laxaseiða í seiðamælingum hausti fylgjast að innan sama landshluta en frá 2008 hafa skipst á hlý og köld ár en ekki samfelld hlýnun (mynd 4.4.5).



Mynd 4.4.4. Tengsl meðallengdar við vatnshita mældan í gráðudögum yfir árið og meðallengd hjá vorgömlum (0+) og árgömlum (1+) laxaseiðum að hausti í nokkrum ám á Norðausturlandi á árunum 2008–2019.



Mynd 4.4.5. Meðallengdir eins til þriggja ára laxaseiða í Selá í Vopnafirði á árunum 1987–2019 og meðalvatnshita í Vesturdalsá í Vopnafirði (lóðrétt strik sýna 95% öryggismörk).

Hækkun vatnshita veldur styttri kynslóðatíma laxa í ám hér á landi einkum í ám á Norður- og Austurlandi þar sem hann er lengri en á Suður- og Vesturlandi. Aldur gönguseiða eykst á tímum þegar vatnshiti er lágur og lækkar á tímum þegar vatnshiti hækkar. Þannig lækkaði gönguseiðaaldur hjá laxi í Vesturdalsá í Vopnafirði niður í að vera að mestu þrjú ár og að hluta til fjögur ár í kjölfar hlýrri ára eftir 2000

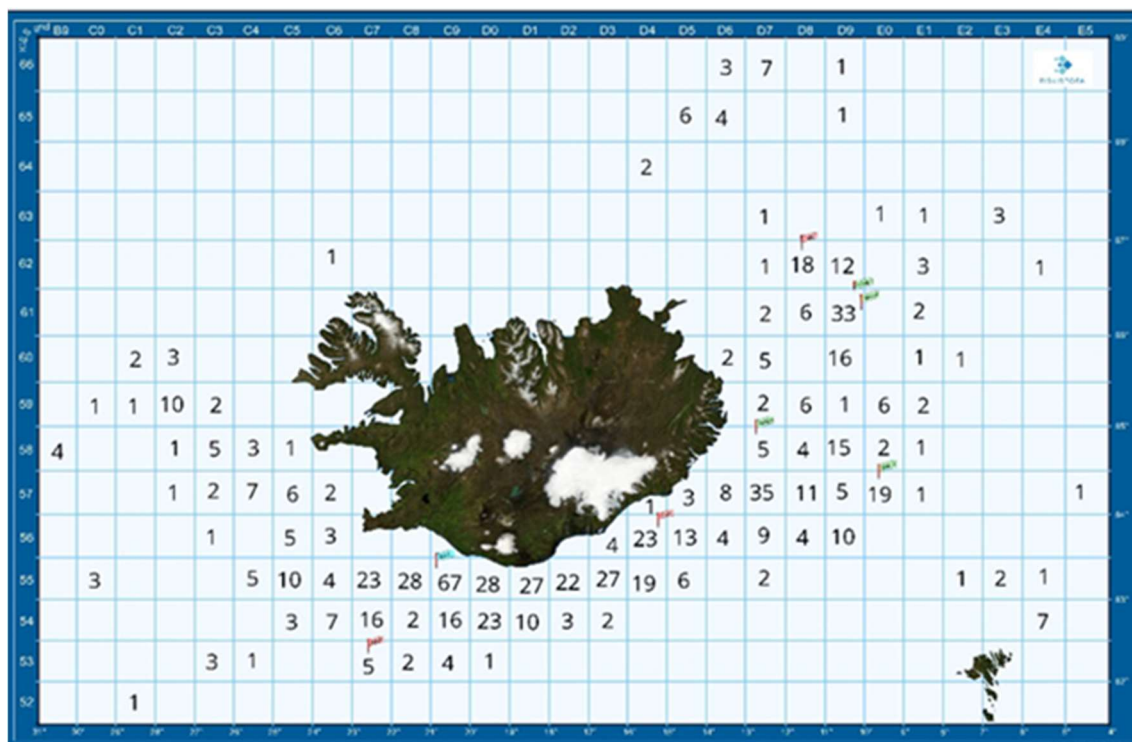
en hefur hækkað aftur síðustu ár (mynd 4.4.6). Ekki er að fullu ljóst hvaða áhrif það getur haft á stofnstærðir og veiðinýtingu en með styttri kynslóðatíma er líklegt að seiðaframleiðsla á aukist en á sama tíma gætu sveiflur í fiskgengd einnig aukist þar sem færri árgangar eru í uppeldi á hverjum tíma og því minni skörun á milli þeirra.



Mynd 4.4.6. Hlutfallsleg aldurskipting (%) gönguseiða í Vesturdalsá í Vopnafirði á árunum 1989–2020.

Ganga makríls í íslenska fiskveiðilögsögu hefur a.m.k. að hluta til verið rakinn til breytinga á hitastigi¹¹⁷. Eftir að farið var að veiða makríl og síld í flottroll hér við land hefur nokkuð af laxi veiðst sem meðafli og hefur að meðaltali verið um 5,5 laxar á hver eitt þúsund tonn af makríl og síld¹¹⁸. Á árunum frá 2010–2018 hafa alls safnast sýni af 788 lögum úr veiðum í sjó (mynd 4.4.7). Dreifing laxa í meðafli endurspeglar þau veiðisvæði sem makríl- og síldveiðar eru stundaðar á en staðfestir að þar eru beitarsvæði laxa. Ríflega fimmtungur laxanna hefur verið erfðagreindur og

af þeim reyndust 68% vera frá meginlandi Suður-Evrópu og Bretlandseyjum, 30% frá Norður-Evrópu og Rússlandi og einungis 2% frá Íslandi¹¹⁹. Þetta lága hlutfall íslenskra laxa endurspeglar líklega hlutfall þeirra í heildarfjölda laxa á íslensku hafsvæði. Nokkrir merktir laxar hafa endurheimst í uppsjávarveiðum hér við land og hafa þeir komið frá Noregi og Bretlandseyjum. Ljóst er að laxar frá suðurhluta Skandinavíu og Bretlandseyjum hafa verið að ganga inn í íslenska lögsögu á undanförunum árum og hafa komið fram sem meðafli í makríl- og síldveiðum í flottroll.



Mynd 4.4.7. Staðsetning og fjöldi laxa sem veiðst hafa sem meðafli við Ísland árin 2010–2018. (Mynd frá Sumarliða Óskarssyni, Fiskistofu).

Heildarafli laxa í og við Norður-Atlantshaf hefur minnkað frá því að vera yfir tólf þúsund tonn á áttunda áratugs síðustu aldar og niður að vera undir eitt þúsund tonn 2020¹²⁰. Aflinn einn og sér segir ekki alla söguna um ástand stofna sem skipta mörg hundruðum og víða hefur verið dregið verulega úr sókn samfara minnkandi veiðiþoli stofna. Lífslíkur laxa aukast þegar umhverfis- og fæðuskilyrði eru hagstæð¹²¹. Jafnframt hefur verið sýnt fram á tengsl á milli stærðar laxa með eins ár sjávaraldur, fjölda þeirra og sjávarhita fyrir Norðurlandi^{122,123}. Þetta samband hitastigs og laxgengdar hefur rofnað á síðari árum af óþekktum orsökum. Greining á vexti laxa í N-Atlantshafi út frá vaxtarlínunum í hreistri sýna að vöxtur eykst eftir því sem hitastig er hærra og magn dýrasvifs er meira¹²⁴. Fyrir jákvæða afkomu göngufiska þurfa skilyrði í bæði ferskvatni og sjó að vera hagstæð. Endurheimtur laxa úr sjó hafa almennt farið lækkað í N-Atlantshafi frá því um miðjan níunda áratuginn þótt þess sjái ekki merki hér á landi enn sem komið er¹²⁰.

4.4.2 Sjógenginn silungur

Hér á landi er sjóbleikja ríkjandi tegund í ám á Austfjörðum og á Tröllaskaga og var til skamms tíma útbreidd á Vestfjörðum en þessi svæði tilheyra eldri berggrunni landsins¹⁰⁷. Stærstu stofnar sjóbirtings eru í ám við suðurströndina einkum í Vestur-Skaftafellsýslu. Bleikja er hánorræn tegund og hefur útbreiðslu allt í kringum Norðurskautið. Sjóbleikja finnst sjaldan þar sem sjávarhiti fer yfir 10°C sem er um það bil við 64 breiddargráðu þegar miðað er við Noreg¹⁰⁹. Hér á landi er sjóbleikja sjaldgæfari á Suðurlandi en í öðrum landshlutum¹⁰⁷. Sjóbirtingur hefur hærra hitaþol en bleikja og nær útbreiðsla hans allt suður að Miðjarðarhafi. Seltuþol bleikju og urriða er minna en laxa og eru sjóbleikja og sjóbirtingur því aðeins nokkrar vikur eða mánuði í sjó á hverju ári, frá vori og fram eftir sumri. Sjóbirtingur er með lengri sjávarðvöl en sjóbleikja¹⁰⁷. Þó geta verið undantekningar frá þessu þar sem ekki er full selta¹⁰⁹.

Sjógenginn urriði (sjóbirtingur) og sjógengin bleikja (sjóbleikja) hafa svipaðan lífsferil og laxinn nema seiðin eru að jafnaði stærri við sjógöngu og allur stofninn er í fersku vatni yfir veturinn. Seltupól sjóbleikju eykst með hækkandi hitastigi upp að ákveðnu marki. Í sjó heldur sjóbleikjan sig mest í efstu lögum sjávar og nærri landi. Fæðan er mest krabbadýr og marfló en einnig smáfiskur. Sjóbleikja gengur yfirleitt ekki langt frá sinni uppeldisá. Lengstu þekktar göngur hér á landi er um 95 km sem kom fram í rannsókn sem gerð var á bleikju í Blöndu¹²⁵. Lengri sjávargöngur eru þekktar frá öðrum löndum og allt að 940 km í Norður-Noregi¹⁰⁹. Sjóbleikja gengur til sjávar 2–3 ára og nær kynþroska eftir tvær sjávargöngur en bleikja getur gengið til sjávar nokkrum sinnum yfir ævina og hrygnt oftast en einu sinni¹²⁶. Þar sem ár falla í ísölt lón gengur hluti bleikjuseiða árgömul niður í lónin og leita fæðu. Þar sem svo háttar taka bleikjuseiði minni fæðu úr ánum og getur fjöldi seiða sem ganga úr ánum á önnur beitarsvæði því verið mun meiri og hrygningarstofnar staðið undir meiri framleiðslu¹²⁷.

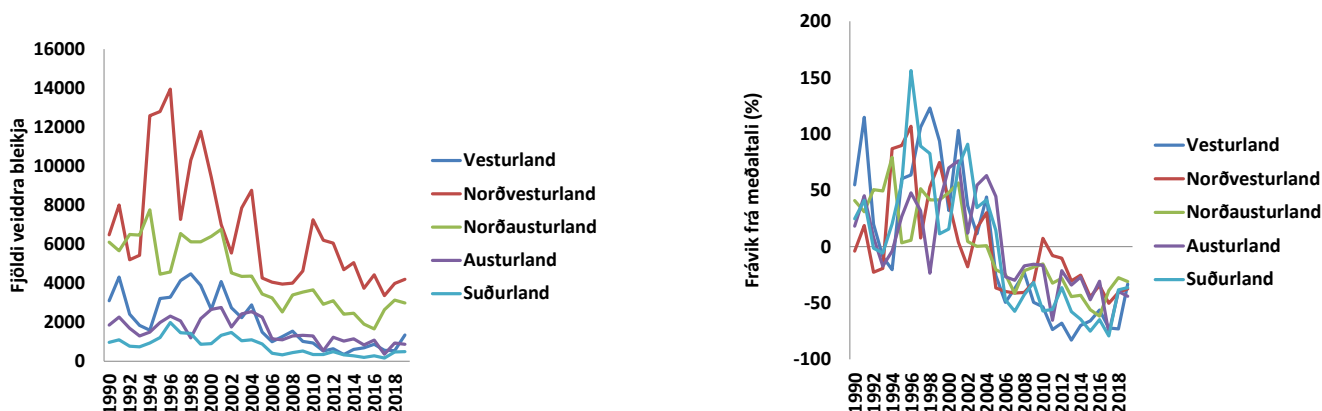
Lífsferill og sjávardvöl sjóbirtings er að flestu leyti svipuð og sjóbleikju og eru þeir jafnan innan 100 km frá sinni heimaá þótt mun lengri sjávargöngur séu þekktar¹⁰⁹. Hlutdeild fiska í fæðu sjóbirtings er oft hærra en hjá sjóbleikju. Lengd sjávardvalar sjóbirtings hækkar með hækkandi hitastigi sjávar og eins getur sjóbirtingur verið lengur í sjó þar sem sjórinn er ekki fullsaltur.

Veiðinýting og ástand stofna

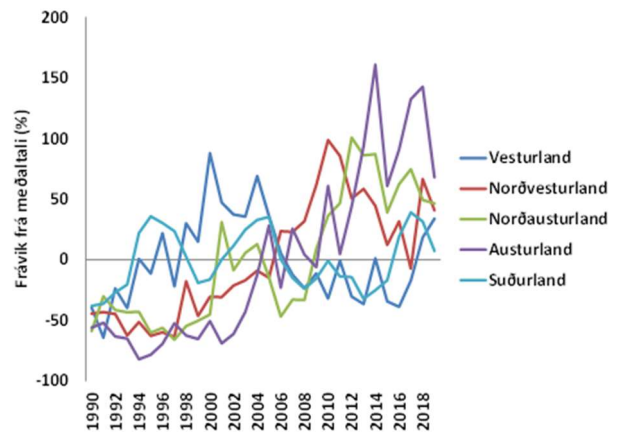
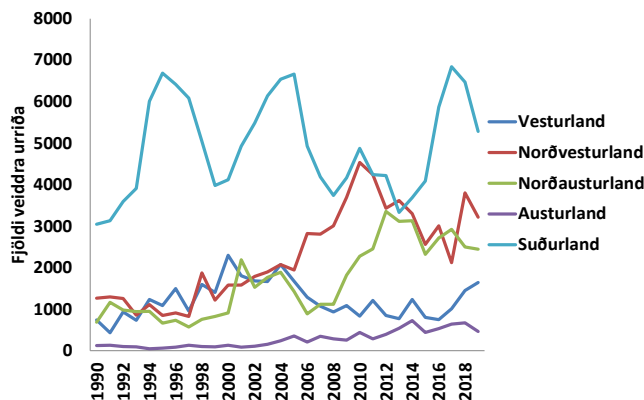
Takmörkuð silungsveiði er í sjó hér við land og einungis örfáir aðilar sem gefa upp veiðiskýrslur en þeir einir hafa veiðirétt sem geta sýnt fram á að hafa haft veiðireynslu á árunum 1952–1957. Veiddum sjóbleikjum hefur á síðustu áratugum farið fækkandi í öllum landshlutum hér á landi

(mynd 4.4.8). Sambærileg þróun hefur einnig orðið í Norður-Noregi¹³⁰ en þegar líkir atburðir koma fram yfir stærri svæði er nærtækast að líta til breytinga í umhverfisskilyrðum. Hér á landi hefur staðbundinni bleikju í vötnum einnig víða fækkað^{128,129}. Ekki hefur tekist að skýra hvar í lífsferlinum þessi hnignun sjóbleikju kemur fram og því ekki hægtað rekja beint til breytinga á hitastigi en meðallofthiti á Íslandi hefur hækkað um 1,0–1,5°C á síðustu 26 árum¹³⁰. Mikilvægt er að fá betra yfirlit yfir þá þætti sem liggja að baki. Setja má fram sem tilgátu að hækkun á vatnshita leiði til þess að bleikjuhrogn kleikist út fyrr að vori og ef það gerist áður en frumframleiðni og hryggleysingar, sem eru undirstöðu fæða laxfiskaseiða, er komin nægjanlega vel af stað getur það leitt til aukinna affalla á því lífsskeiði. Því til rökstuðnings má sjá að þær bleikjur sem lifa af eru almennt vel haldnar og hraðvaxta og meðalaldur hefur farið vaxandi¹²⁹ (Skrínan, gagnagrunnur Hafrannsóknastofnunar). Ef sú þróun sem verið hefur í ástandi bleikjustofna síðustu áratugi heldur áfram má ætla að margir stofnar verði undir þeim mörkum að hafa veiðipól og því verði að draga úr veiðisókn eða friða líkt og gert hefur verið á vatnakerfi Hvítár í Borgarfirði. Líkur eru til að stofnar sjóbirtings komi áfram til með að stækka a.m.k. á Norður- og Austurlandi og fylli að einhverju leyti það skarð sem sjóbleikja skilur eftir varðandi stofnstærðir og nýtingu. Veiðidánartala hefur lækkað með auknum sleppingum fiska úr stangveiði og meðalstærð fiska aukist sem gerir þá eftirsóttari til stangveiða. Líkur eru til að sveiflur haldi áfram að koma fram í stofnum laxfiska ef öfgar í veðurfari aukast sem gæti skilað sér í meiri og örrari breytileika í vatnshita og vatnsrennsli sem hefur áhrif á afkomu fiskstofna í ám.

Á sama tíma og sjóbleikjuveiði hefur minnkað hefur veiði á sjóbirtingi farið vaxandi hér á landi (mynd 4.4.9). Í rannsókn sem gerð var í lækjum í Hengladölum kom fram að þéttleiki urriðaseiða jókst með hækkandi vatnshita^{131,132}.



Mynd 4.4.8. Veiði á sjóbleikju í ám á Íslandi skipt eftir landshlutum og hlutfallslegt frávik veiði frá meðaltali árunum 1990–2019.



Mynd 4.4.9. Veiði á sjóbirtingi í ám á Íslandi skipt eftir landshlutum og hlutfallslegt frávik veiði frá meðaltali frá 1990.

Samantekt

Lax, urriði og bleikja gera ólíkar kröfur til umhverfisins hvað varðar hitastig, frjósemi og straumhraða. Það hversu breytileg vatnakerfi eru hér á landi og fáar tegundir fiska til staðar gefur einstakt tækifæri til að rannsaka þessa þætti frekar. Nú þegar hafa komið fram breytingar á umhverfi hér á landi með breytingu á hitastigi, bráðnun jökla og breytingu á líffræðilegum fjölbreytileika, t.d. í útbreiðslu fiska í sjó hér við land, og vænta má að frekari breytingar komi fram á næstu árum¹³³. Vatnshiti í ám hækkaði almennt til ársins 2003 en hefur síðan farið lækandi þótt nokkur breytileiki sé á milli áa¹¹⁶. Líkur eru til að stofnstærð og afrakstur tegunda sem þola aukinn vatnshita komi til með að aukast. Líkt og hér hefur verið rakið getur samspil umhverfispáttar og stofnstærðar verið flókið og því mikilvægt að vakta sem flesta af þeim lykilþáttum sem áhrif hafa. Þegar um göngufiska er að ræða á það bæði við um þann hluta sem er í fersku vatni en einnig og ekki síður um afdrif þeirra í sjó en þéttleiki göngufiska er lítill þar. Með aukinni tækni og betri mælitækjum er mögulegt að rannsaka aðstæður göngufiska í sjó þótt ljóst sé að rannsóknir geti verið nokkuð kostnaðarsamar.

Á síðustu árum hafa komið fram umhverfisbreytingar sem hafa haft áhrif á stofnstærðir og útbreiðslu laxfiska. Sjóbleikju, sem af laxfiskunum gerir minnstar kröfur til hitastigs og frjósemi vatns, hefur fækkað en sjóbirtingi hefur fjölgað. Á sama tíma eru vísbendingar um að auknar öfgar í veðurfari, sem koma fram t.d. í miklum þurrkum og miklum flóðum¹³³. Laxastofnar hafa sýnt meiri og tíðari sveiflur í stofnstærð en áður var og samsetning þeirra hefur breyst í sjávaraldri og stórlaxi fækkað. Þessar breytingar hafa haft áhrif á veiðiþol og kallað á breytta veiðistjórnun. Ljóst er að þau vistkerfi sem ferskvatnsfiskar lifa í eru mun kvikari og viðkvæmari en gerist í sjávarumhverfinu. Hrygning og nýliðun göngufiska fer fram í fersku vatni og víða eru ákjósanlegar aðstæður og tækifæri til að nálgast og mæla helstu áhrifaþætti á nýliðun fiskstofna. Jafnframt er möguleiki til að meta áhrif breytilegs umhverfis og fæðuframboðs á beitarsvæðum í sjó á afkomu og afla þannig þekkingar bæði til verndar og viðhalds stofna göngufiska. Þannig mætti meta og spá fyrir um hvernig verðmæti nýtingar á stofnum ferskvatnsfiska getur komið til með að breytast og áhrif slíkra breytinga á líf fólks sem byggir a.m.k. hluta af sinni afkomu á tekjum af sölu veiðileyfa og/eða veiði.

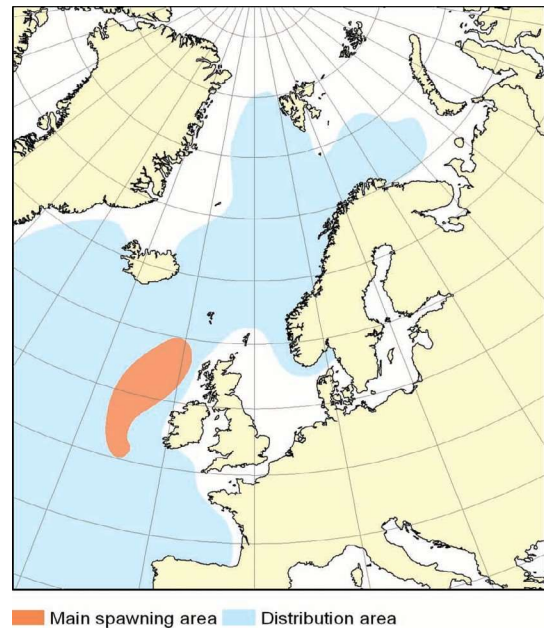
4.5 Aðrar uppsjávartegundir

Sigurvin Bjarnason, James Kennedy og Valur Bogason
Hafrannsóknastofnun

Helstu tegundir uppsjávartegunda á íslensku hafsvæði sem ekki eru teknir fyrir í köflum 4.1-4.4 eru kolmunni (*Micromesistius poutassou*), sandsíli (*Ammodytes* sp), hrognkelsi (*Cyclopterus lumpus*), ískóð (*Boreogadus saida*) og spærlingur (*Trisopterus esmarkii*). Útbreiðslusvæði þessara tegunda eru mismunandi og aðeins hrognkelsi og sandsíli hrygna við strendur Íslands. Takmarkaðar rannsóknir hafa þó verið gerðar á þessum tegundum við Ísland. Einungis eru gerðar stofnmælingar á kolmunna og hrognkelsi sem teljast til nytjastofna auk þess sem reglubundin vöktun fer fram á stofnstærð sandsílis við landið. Spærlingur og ískóð eru skammlífar tegundir en gegna mikilvægu hlutverki í fæðuvistkerfi sjávar við Ísland.

4.5.1 Kolmunni (*Micromesistius poutassou*)

Kolmunni er víðförull úthafs-, uppsjavar- og miðsjávartegund af þorskaætt sem er útbreiddur í Norður- og Norðaustur Atlantshaf frá Svalbarða og Barentshafi í norðri til Íberíuskaga í suðri^{54,134} (mynd 4.5.1). Hann verður kynþroska 2 til 7 ára en 82% stofnsins er þó kynþroska við 3 ára aldur. Fullorðinn kolmunni heldur sig gjarnan á um 300–500 m dýpi en það er háð hitastigi sjávar þar sem hann finnst yfirleitt ekki í kaldari sjó en 3°C¹³⁵. Helstu hrygningarsvæði kolmunna eru meðfram landgrunnsbrúninni vestan og norðvestan Bretlandseyja, við úthafsbankana Rockall, Rosemary og Porcupine og norður að færeyska landgrunninu¹³⁶ (mynd 4.5.1). Hrygningarslóðir kolmunna hafa verið breytilegar síðustu ár og sýnt hefur verið fram á sterka tengingu hafstrauma við svæðaval^{137,148}. Að lokinni hrygningu gengur kolmunni inn í Noregshaf þar sem eru bæði uppeldissvæði og helsta fæðuslóð hans⁶⁴. Kolmunni gegnir mikilvægu hlutverki í mið- og uppsjávartegundakerfinu, bæði sem afræningi dýrasvifs og minni miðsjávartegunda en einnig sem bráð stærri bolfiska og sjávarspendýra¹³⁹. Kolmunni er einnig efnahagslega mikilvæg tegund og í aldarbyrjun var tegundin sú þriðja mest veidda í heiminum¹⁴⁰.



Mynd 4.5.1 Útbreiðslusvæði (blátt) og helsta hrygningarsvæði (appelsínugult) kolmunna¹³⁴.

Breytingar í útbreiðslu

Kolmunni finnst allt í kringum Ísland einkum við suðaustur-, suður- og suðvesturströndina en þó í breytilegu magni. Hlutfall kolmunnaafra íslenskra skipa innan íslenskrar lögsögu er breytilegt milli ára. Einungis um 1% aflans veiddist innan íslenskrar lögsögu árið 2019 í samanburði við 8–20% á árunum 2006–2018 og að meðaltali um 60% á árunum 2000–2005¹⁴¹. Ísland liggur við norðvesturmörk útbreiðslusvæðis kolmunna (mynd 4.5.1). Upp úr síðustu aldamótum stækkaði kolmunnaastofninn hratt og á sama tíma jókst magn kolmunna við Ísland (mynd 4.5.2) en minnkaði í takt við stofnstærðina árin á eftir. Stofninn stækkaði aftur á tímabilinu 2013–2017 og í kjölfarið jókst magn kolmunna við Ísland. Sömu sögu er að segja úr Barentshafi þar sem kolmunni fannst í auknum mæli þau ár sem stofninn var stór¹⁴². Síðastliðin 5 ár hefur útbreiðsla kolmunna minnkað umtalsvert í Norðursjó samhliða minnkun stofnstærðar⁶⁴.

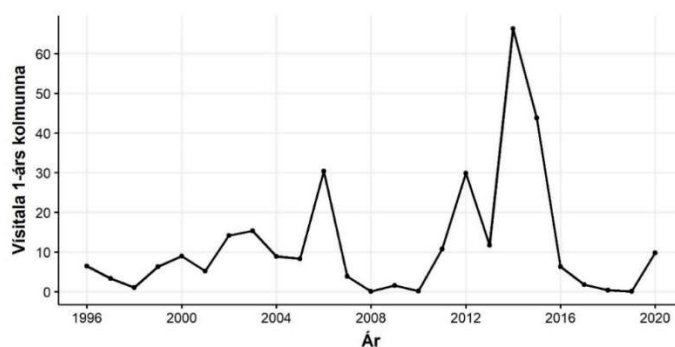


Mynd 4.5.2. Útbreiðsla kolmunna við Ísland í togararalli að vori með þriggja ára millibili árin 1998 til 2019. Afli er reiknaður fyrir reiti á logaritmískum kvarða. Gráir punktar tákna stöðvar án kolmunna.

Breytingar í framleiðni og líffræði

Hækkun hita og seltu í Íslandsdjúpi suður af landinu og í Irmingerhafi hófst á miðjum 10. áratugnum fram að fyrsta áratug þessarar aldar¹⁴³. Tímabilið einkenndist einnig af veikri hringrás sjávar í Norðvestur-Atlantshafi (subpolar gyre, oft skammstafað SPG) þar sem kaldur vatnsmassi sem áður einkenndi svæðið vék fyrir saltari og heitari vatnsmössum úr suðri¹⁴⁴. Þessi breyting hafði mikil áhrif á svifdýrasamfélög og þar af leiðandi á kolmunna sem er í fæðugöngu á þessum slóðum. Í kjölfarið jókst stofnstærð hans til muna⁶⁴ en breyting hafstraumanna er talin hafa áhrif á uppvaxtarskilyrði fyrir ungvíði kolmunna, þar sem hlýrri og saltari sjór hefur jákvæð áhrif á vöxt kolmunna með aukinni fæðu¹⁴². Stærð árganga kolmunna hefur þó mikil áhrif á vaxtarhraða og Trenkel o.fl.¹⁴⁵ sýndu fram á að þéttleikaháð áhrif (vísitala eins árs fisks) hafi meiri áhrif ávöxt en umhverfisáhrif (hiti og fæðuframboð).

Vísitala eins árs kolmunna við Ísland hefur verið reiknuð úr stofnmælingu botnfiska í mars síðan 1996 og nýtist hún við mat á nýliðun ásamt vísitölum frá öðrum svæðum (mynd4.5.3). Magn eins árs kolmunna við Ísland helst í hendur við sterka árganga sem ganga inn í stofninn sem virðist vera ráðandi þáttur í útbreiðslu hans við Íslandsstrendur, óháð þeim umhverfisbreytingum sem hér hafa átt sér stað.



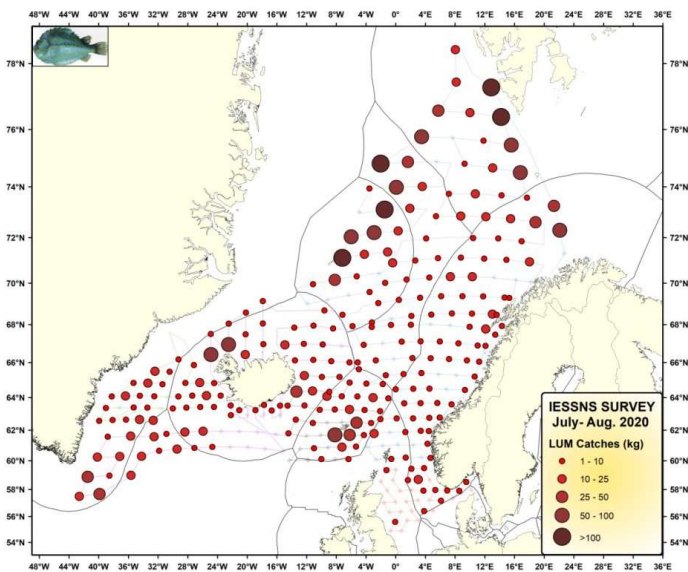
Mynd 4.5.3. Vísitala eins árs kolmunna í mars.

Samantekt

Við Ísland er kolmunni við norð-vestur útbreiðslumörk tegundarinnar og finnst helst við suðaustur-, suður- og suðvesturströndina en þó í breytilegu magni. Kolmunni er hlýsjávarategund sem kys ekki kaldari sjó en 3°C. Sýnt hefur verið fram á að nýliðun jókst, og þar af leiðandi stækkandi stofnstærð kolmunna, við veikingu hafhringrásar hafsins í Norður-Atlantshafi (e. subpolar gyre) sem hefur í för með sér að heitari og saltari sjór berst inn á uppvaxtarsvæði stofnsins. Magn kolmunna við Íslandsstrendur ræðst af velgengni nýliðunar í stofninum frekar en beinum umhverfisáhrifum.

4.5.2 Hrognkelsi (*Cyclopterus lumpus*)

Útbreiðsla hrognkelsis í Norðaustur-Atlantshafi liggur frá Ermarsundi í suðri, til Svalbarða í norðri og dreifist um Irmingerhaf og Noregshaf. Til hrygningarsvæða hrognkelsa við Ísland teljast strandsvæðin við Faxaflóa, Breiðafjörð, Vestfirði og meðfram norðurströnd Íslands. Aðal hrygningartíminn er frá mars fram í júlí. Lirfur og ungvíði hrognkelsis hafast við fyrst um sinn í þangbeltum þar sem þau eru örugg fyrir afræningjum. Með vaxandi aldri leita þau út af landgrunninu inn í Irmingerhaf, í Grænlandssund og Noregshaf (mynd 4.5.4) þar til þau eru fullvaxin og tilbúin til hrygningar. Ungvíði hrognkelsis heldur sig yfirleitt á um 50 m dýpi en finnst þó á allt að 150 m dýpi¹⁴⁶. Á hrygningargöngu er algengast að finna hrognkelsi niður á allt að 300 m dýpi¹⁴⁷.



Mynd 4.5.4 Útbreiðsla hrognkelsis á togstöðvum úr alþjóðlegum vistfræðileiðöngum að sumri. Mynd fengin frá Nøttestad o.fl.⁹⁷

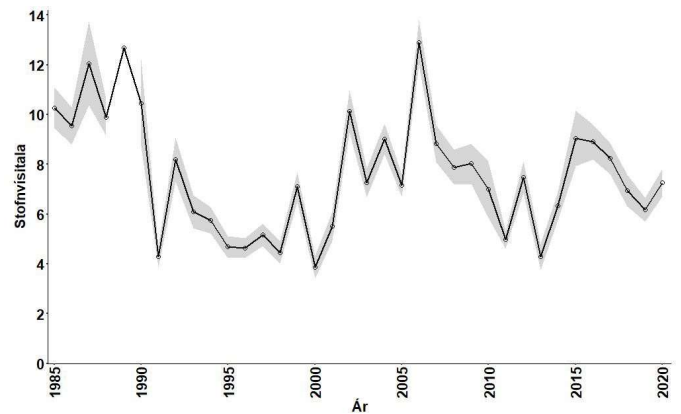
Breytingar í útbreiðslu

Norður- og vesturmörk fæðuslóðar hrognkelsis í Noregshafi og Irmingerhafi eru líklega afmörkuð af köldum pólsjó sem kemur úr Austur-Grænlandshafsstraumnum. Hitastigið í straumnum er yfirleitt í kringum 0°C sem er of kalt fyrir hrognkelsi¹⁴⁸. Breytingar í þessum straumi myndu að öllum líkum stækka/minnka útbreiðslu hrognkelsis sem gæti haft áhrif á framleiðni stofnsins. Takmörkuð þekking á líffræði stofnsins hefur þó aftrað vísindamönnum í að spá fyrir um hugsanlegar afleiðingar þessara breytinga.

Breytingar í framleiðni og líffræði

Stofnvísitala hrognkelsis við Ísland, sem sýnir hlutfallslega breytingu í kynþroska grásleppu (kvenkyns hrognkelsi), hækkaði umtalsvert árin 2001 og 2002 (mynd 4.5.5). Á árunum 1995–2001 var stofnvísitalan lág en jókst 2002 og hefur verið að öllu jöfnu há síðan þá. Það er þó óljóst hvort

þessi aukning í stofnvísitölu sé af völdum umhverfisbreytinga eða lækkunar í veiðiálagi. Árið 1998, fjórum árum fyrir hækkunina, var umtalsverð lækkun bæði í veiðiálagi og fiskveiðidauða í stofninum (mynd 4.5.5).



Mynd 4.5.5. Stofnvísitala hrognkelsis úr togararalli að vori.

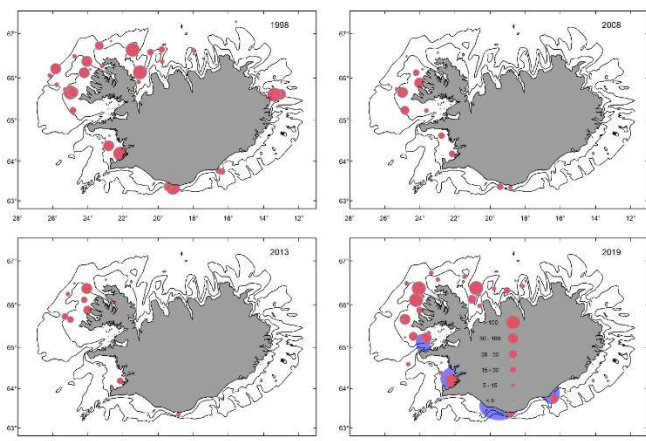
Breytingar í hitastigi við Íslandsstrendur eru taldar hafa áhrif á hrygningu og þroskun eggja og lirfa. Á sama tíma og ungvíði sækir út af landgrunninu gætu umhverfisbreytingar haft áhrif á þroska þess. Þekking á grunnlíffræði hrognkelsa er ábótavant þar sem aldur við kynþroska, vöxtur, og langlífi tegundarinnar eru lítið þekkt. Kynþroska hrognkelsi þola mikinn breytileika í hita, allt frá frostmarki¹⁴⁷ að 15°C¹⁴⁹. Rannsóknir hafa þó sýnt að við 14°C geta hrognkelsi ekki hrygnt¹⁵⁰ og við hærri hitastig (>16°C) verða fiskar reikulir¹⁴⁹. Í eldisstöðvum er algengt að hrognin séu frjógvúð við 10°C en klaktími lengist með lægra hitastigi og <4°C stöðvast klakið¹⁵¹. Kjörhitastig vaxtar er breytilegt eftir stærð fiskanna þar sem ungvíði (40 g) ná mesta vaxtarhraða við ~16°C, ungfiskar (100–110 g) við ~13°C og stærri fiskar (120–200 g) við ~9°C¹⁵². Almennt kjörhitastig ungfiska virðist þó vera um 6–7°C þar sem þeir virðast sækja í efri lög laxakvíva þar sem jafnan er kaldara en dýpra í kvínni^{153,154}. Í Barentshafi halda hrognkelsi sig við 3–7°C og vitað er að breytingar í sjávarhita hafa áhrif á útbreiðslu og stofnvísitölu þeirra¹⁴⁸. Í heitari árferði hækka vísitala stofnsins líklega vegna aukinnar nýliðunar og hann dreifist einnig á stærra svæði. Aftur á móti, vegna stíglækkandi veiðiálags, er lág fiskveiðidánartala líka einkennandi fyrir heitari árin og því er erfitt að ákvarða eingöngu áhrif hitastigs.

Samantekt

Umhverfisbreytingar eru taldar hafa margvísleg áhrif á hrognkelsi þar sem það ferðast langar vegalengdir á milli fæðu- og hrygningarsvæða og útbreiðsla þess á fæðugöngu er víðáttumikil. Lítið er þó vitað um líffræði hrognkelsis við Ísland og því reynist erfitt að meta nákvæm áhrif umhverfisbreytinga. Rannsóknir í Barentshafi benda til þess að hærri sjávarhiti gæti leitt til aukningar í stofnstærð.

4.5.3 Sandsíli (*Ammodytes* sp)

Hér við land finnast 3 tegundir af sandsílum; sandsíli (*Ammodytes tobianus*), marsíli (*Ammodytes marinus*) og trönusíli (*Hyperoplus lanceolatus*). Sandsíli og trönusíli eru frekar sjaldgæfar tegundir og finnast aðeins við suður- og vesturströndina^{155,156,157} en marsíli finnst umhverfis allt land (mynd 4.5.6). Þrátt fyrir að marsíli sé langalgengasta tegund síla við landið er jafnan talað um ættarheitið sandsíli í daglegu máli og er það einnig gert í þessari skýrslu. Sandsíli lifir á 10 til 150 metra dýpi en þéttleiki þess er mestur á 30 til 70 metra dýpi. Fyrir síli ræðst val á búsvæði af kornastærð í botni og dýpi auk þess sem straumur yfir botni þarf helst að vera meiri en 0,6 ms⁻¹^{158,159}. Eftir að sílin taka botn á fyrsta sumri þá eru þau staðbundin á sínu búsvæði og eru ýmist uppi í sjó eða grafa sig niður í sandbotninn. Það fer síðan eftir tíma dags og árstíma í hve miklum mæli þau liggja grafin. Síli eru í svokölluðu vetrarástandi frá hausti fram á vor og liggja þá meira og minna grafin í sandinn fyrir utan hrygningartímann. Þegar "gýs upp síli" þá er sílið að koma upp úr sandinum í miklu magni. Síli geta náð átta ára aldri og er meiri hluti stofnsins orðinn kynþroska eins árs. Hrygning fer fram frá nóvember–janúar.



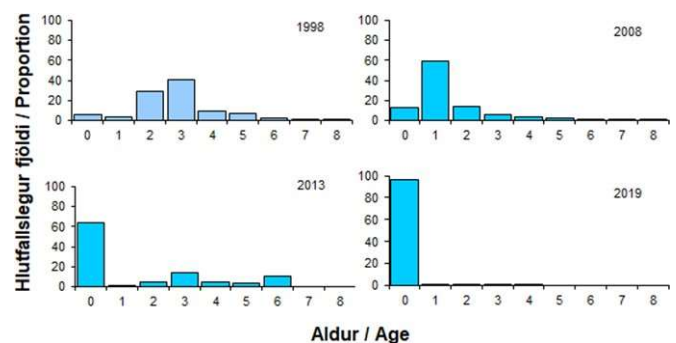
Mynd 4.5.6 Útbreiðsla sandsílis byggð á fjölda í þorsk-, ýsu og ufsamögum í haustralli, árin 1998, 2008, 2013 og 2019. Skyggð blá svæði á mynd fyrir 2019 eru þau fjögur svæði sem vöktun fer fram á.

Breytingar í útbreiðslu

Marsílaseiði finnast víða við landið, bæði djúpt og grunnt en mikill breytileiki er þó á milli ára í dreifingu þeirra^{160,161}. Þegar líða fer á sumar leita þau inn á búsvæði sem henta þeim og verða botnlæg og sýna lítið far eftir það¹⁶². Þegar útbreiðsla sílis í haustralli, ákvörðuð út frá sílum í fiskmögum, er skoðuð sést mikill breytileiki í magni á milli ára á þeim svæðum sem það fæst. Magn sílis sunnan- og vestanlands var meira árið 1998 en á árunum eftir aldamótin. Það var fyrst árið 2019 sem vart varð við sambærilegt magn aftur (mynd 4.5.6). Samkvæmt þessum fæðugögnum minnkaði þéttleiki sandsílis upp úr aldarmótum sérstaklega sunnan- og vestanlands en engar vísbendingar eru um breytingar á útbreiðslu sílis kringum landið.

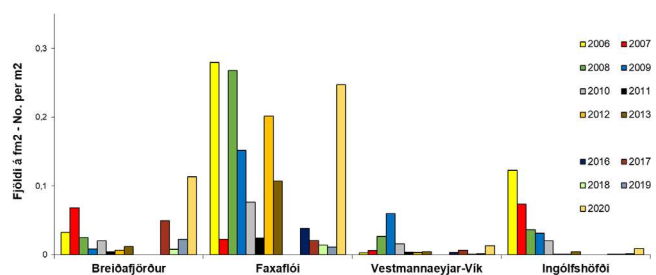
Breytingar í framleiðni og líffræði

Fæðuskortur hjá sjófuglum árið 2005 benti til niðursveiflu í sandsílastofninum sunnan- og vestanlands og hófst þá vöktun á fjórum svæðum árið eftir¹⁶³. Aldursdreifing sandsílis þá var svipuð og í eldri gögnum frá árinu 1998 en greinilegt var að nýliðun hafði verið léleg árin 2005 og 2006 (mynd 4.5.7) sem ber saman við gögn úr ýsumögum en ýsan sækir helst í 0-grúppu síli. Síðan vöktun hófst hefur nýliðun verið léleg flest ár. Aðeins 2007 árgangurinn skilaði sér vel sem eins árs fiskur árið 2008 og var árgangurinn áberandi í aldursdreifingunni árin á eftir og sást vel sem sex ára fiskur árið 2013 (mynd 4.5.7). Aldursdreifing hefur síðan verið þannig að seiði eru mest áberandi í stofninum en hafa ekki náð að skila sér sem eins árs nýliðar og lítið hefur fengist af eldra síli (mynd 4.5.7).



Mynd 4.5.7. Aldursdreifing sandsílis á árin 1998, 2008, 2013 og 2019.

Þegar þéttleiki í sandsílaplógi er skoðaður sést að komið hafa toppar í þéttleika síla í Faxaflóa sem rekja má til seiða sem skila sér ekki árið eftir (mynd 4.5.8). Þegar vöktunin hófst var þéttleiki sandsílis mjög lítill við Vestmannaeyjar en tók aðeins við sér með tilkomu 2007 árgangs en fjaraði síðan aftur út. Við Ingólfsshöfða minnkaði þéttleikinn smám saman þegar eldra síli sem var til staðar í byrjun hvarf úr stofninum.



Mynd 4.5.8. Þéttleiki sandsílis í plógi á rannsóknarsvæðunum fjórum. Ekki var farið í leiðangra árin 2014 og 2015 en árið 2016 var farið á tvö af fjórum svæðum þ.e. Faxaflóa og Vestmannaeyjar – Vík.

Þessi gögn benda til þess að eftir að fór að hlýna sunnan- og vestanlands hafi nýliðun hjá sandsíli minnkað og fæðugögn benda til þess að þetta ferli hafi byrjað um aldamótin. Eftir árið 2004 minnkaði nýliðun enn og stofninn sunnan- og vestanlands hefur ekki náð sér á strik eftir það. Lítið er vitað um ástand sílis norðan og austan lands en mjög breytilegt er á milli ára hvað kemur af síli í fæðu fiska í haustralli.

Samantekt

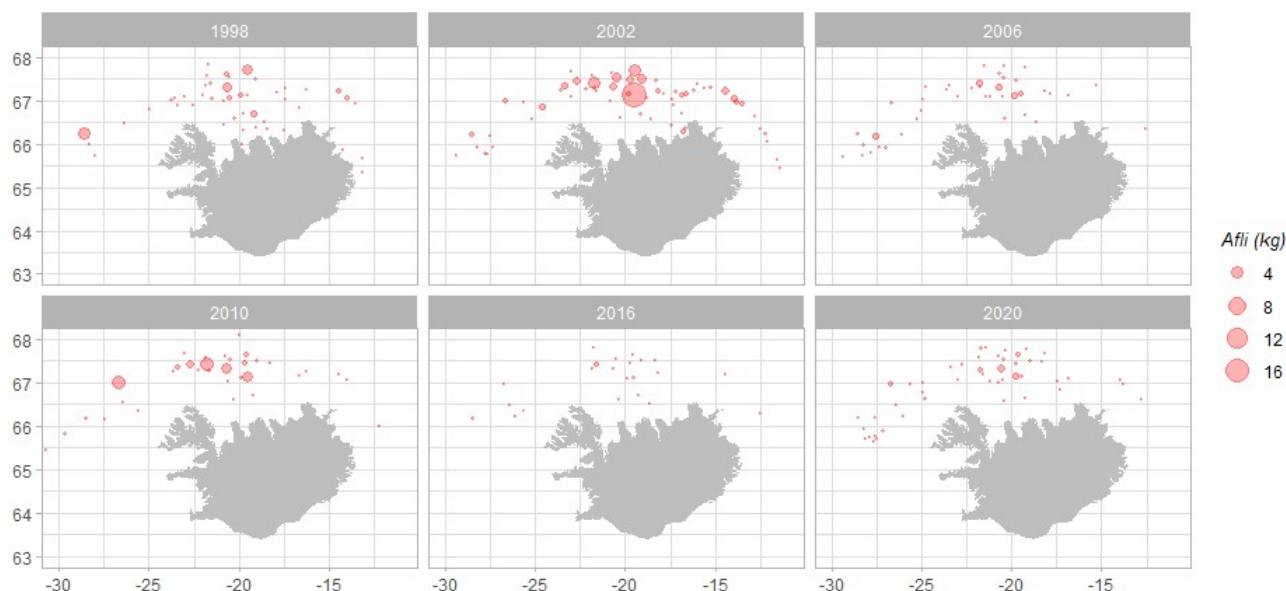
Þessa lægð í sandsílastofninum má að öllum líkindum rekja til þeirra umhverfisbreytinga í hafinu sem hafa orðið með hækkandi hitastigi. Hins vegar hefur ekki enn tekist að tengja eina ákveðna umhverfisbreytu við þetta ástand og líklega eru margir samverkandi þættir sem hafa þar áhrif. Hugsanlega gæti hrygning og klak verið að hitta illa (match-mismatch) á tíma þar sem fæðuframboð er mest fyrir seiðin. Einnig gæti fæðuframboð og samkeppni við aðrar tegundir um fæðu verið einn þáttur ásamt auknu afráni. Hærra hitastig að vetrarlagi þegar síli er í vetrarástandi gæti einnig minnkað lífslíkur þess yfir veturinn þegar það nærast lítið og efnaskiptahraði eykst með hærri hita¹⁶⁴.

4.5.4 Ískóð (*Boreogadus saida*)

Ískóð er smávaxin hánorræn þorskfiskategund, útbreidd allt í kringum norðurheimskautið¹⁶⁵. Auk þess að vera nytjategund í Barentshafi þá gegnir ískóð mikilvægu hlutverki í fæðuvef Íshafsins þar sem það étur dýrasvif og er fæða annarra fiska, sjávarspendýra og fugla.

Meginhrygningarsvæði ískóðs í Norðurhöfum eru talin vera í suðaustanverðu Barentshafi og austur af Svalbarða og á hrygningin á sér stað undir hafísnum að vetri til¹⁶⁵. Kynþroska hluti stofnsins sækir einkum á fæðuslóðir norðan og austan við straumaskil hlý- og kaldsjávar í Barentshafi^{165,166}.

Lítið er vitað um lífshætti ískóðs við Ísland en það finnst í kalda sjónum fyrir norðan landið (mynd 4.5.9). Ólafur S. Ástþórsson¹⁶⁷ sýndi fram á hvernig hlýnun sjávar leiddi til afmarkaðri útbreiðslu ískóðs við Ísland. Ískóð er heimskautategund háð sjávarhita undir frostmarki til þess að hrygna, nærast og fjölga sér og því er útbreiðsla þess undan austurströnd Grænlands háð staðsetningu ísrandarinnar¹⁶⁵. Stöðug minnkun hafíss í Grænlandshafi^{168,169} ásamt staðbundinni hlýnun eru talin hafa áhrif á útbreiðslu ískóðs undan austurströnd Grænlands og þar með dregið bæði úr aðflutningi ungvíðis og göngum fullorðins fisks inn á íslenska hafsvæðið¹⁶⁷.



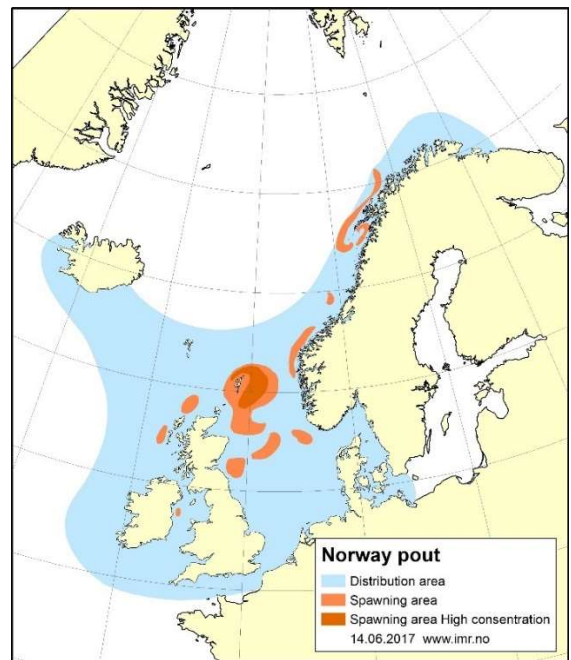
Mynd 4.5.9. Útbreiðsla ískóðs við Ísland í togararalli að hausti með fjögurra ára millibili árin 1998 til 2020.

4.5.5 Spærlingur (*Trisopterus esmarkii*)

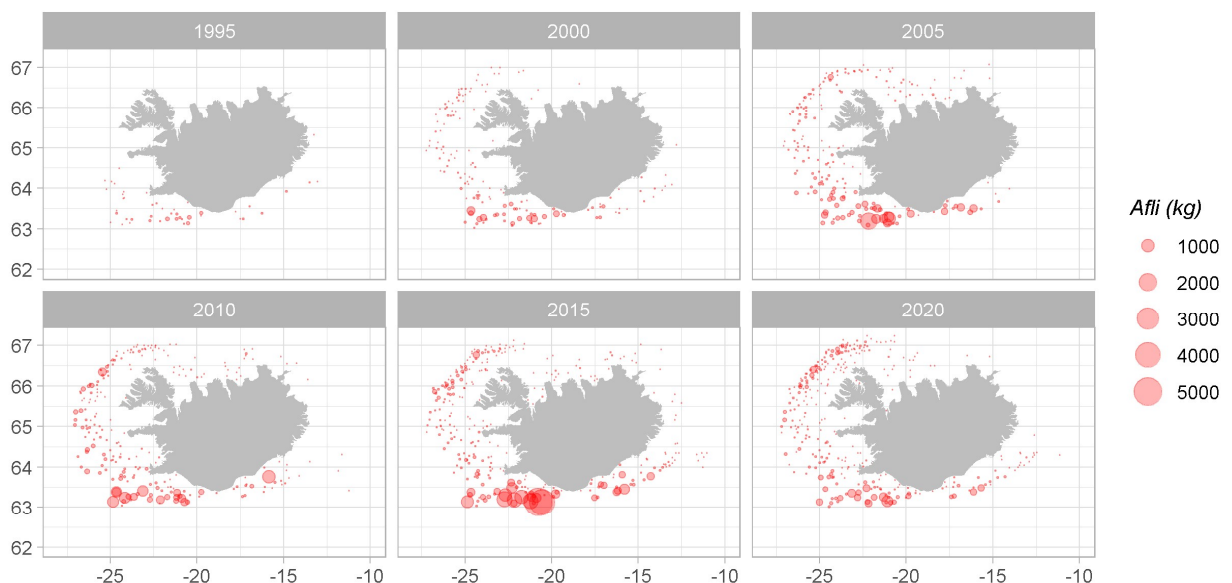
Spærlingur er smávaxinn þorskfiskategund, yfirleitt 10–20 cm að lengd, og verður sjaldnast eldri en þriggja ára. Spærlingur finnst víða í Norðaustur-Atlantshafi en er í mestum þéttleika í norðurhelming Norðursjávar og meðfram landgrunni Noregs¹⁷⁰ (mynd 4.5.10). Helstu hrygningarsvæði spærlings eru á hafsvæðinu milli Noregs og Bretlandseyja¹⁷¹. Hrygningarsvæðum spærlings við Ísland hefur ekki verið lýst en telja verður líklegt að hann hrygni hér. Spærlingur heldur sig á 50–250 m dýpi og safnast gjarnan saman í þéttar torfur við leirbotn¹⁷².

Hrygningartími spærlings er frá janúar til maí og getur um 20% stofnsins hrygnt strax á fyrsta aldursári en spærlingur verður almennt kynþroska tveggja ára^{174,175}. Að lokinni hrygningu reka egg og lirfur í efri lögum sjávar og dreifast um útbreiðslusvæði sitt. Nýliðun getur verið mjög breytileg á milli ára og vísbendingar eru fyrir því að hitastig sjávar að vori ákvarðaði velgengni nýliðunar¹⁷⁶. Þar sem spærlingur er skamlíf tegund geta orðið verulegar breytingar á stofnstærð á milli ára^{174,175}.

Spærlingur er mikilvægur liður í vistkerfinu við Ísland. Helsta bráð hans eru hryggleysingar, aðallega ljósáta og rauðáta en auk þess er spærlingur mikilvæg fæða fyrir margar stærri fisktegundir, svo sem þorsk, ýsu og ufsa¹⁷⁷. Spærlingur finnst sunnan og suðvestan við landið en með breytingum í umhverfisskilyrðum í hafinu í kringum Ísland síðustu ár hefur útbreiðslusvæðið stækkað og hann er nú kominn norðvestan/norðan við landið (mynd 4.5.11). Lítið er vitað um magn eða líffræði spærlings við Íslandsstrendur og óvíst hvernig frekari breytingar í umhverfinu munu hafa áhrif á stofninn hér við land.



Mynd 4.5.10. Útbreiðslusvæði (blátt) og aðal hrygningarsvæði (appelsínugult) spærlings¹⁷³.



Mynd 4.5.11. Útbreiðsla spærlings með fimm ára millibili við Ísland í togararalli að vori.

Heimildir

1. Hjálmar Vilhjálmsson. 1994. The Icelandic Capelin Stock: Capelin, *Mallotus villosus* (Müller) in the Iceland-Greenland-Jan Mayen Area. Journal of the Marine Research Institute. 13(1), 281.
2. Birkir Bárðarson, Sigurður Þ. Jónsson, Ásta Guðmundsdóttir & Þorsteinn Sigurðsson. 2016. „Loðnan: Saga - Staða - Framtíð“, Ægir. 9, 14–19.
3. Ólafur S. Ástþórsson & Ástþór Gíslason. 1997. On the food of capelin in the subarctic waters north of Iceland. Sarsia. 82. 81–86.
4. Ólafur K. Pálsson, Ástþór Gíslason, Hafsteinn G. Guðfinnsson, Björn Gunnarsson, Sólveig R. Ólafsdóttir, Hildur Pétursdóttir, Sveinn Sveinbjörnsson, Konráð Þórisson & Héðinn Valdimarsson. 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. doi:10.1093/icesjms/fss071
5. Hildur Pétursdóttir, Falk-Petersen, S. & Ástþór Gíslason. 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. doi:10.1093/icesjms/fss125
6. Þorsteinn Sigurðsson & Ólafur S. Ástþórsson. 1991. Aspects of the feeding of capelin (*Mallotus villosus*) during autumn and early winter in the waters north of Iceland. ICES CM 1991/H:49. 16 bls.
7. Ólafur K. Pálsson. 1983. The feeding habits of demersal fish species in Icelandic waters. Rit Fiskideildar. 7(1), 1–61.
8. Jóhann Sigurjónsson & Gísli A. Víkingsson. 1997. Seasonal abundance of and estimated food consumption by Cetaceans in Icelandic and adjacent waters. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. 22, 271–287.
9. Pike, D., Paxton, C., Þorvaldur Gunnlaugsson & Gísli Víkingsson. 2013. Trends in the distribution and abundance of cetaceans from aerial surveys in Icelandic coastal waters, 1986–2001. NAMMCO Scientific Publications. 7, 117. doi:10.7557/3.2710
10. Gunnar Stefánsson, Jóhann Sigurjónsson & Gísli A. Víkingsson. 1997. On dynamic interactions between some fish resources and cetaceans off Iceland based on a simulation model. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. 22, 357–370.
11. Gísli Víkingsson, Pike, D., Desportes, G., Øien, N., Þorvaldur Gunnlaugsson & Bloch, D. 2009. Distribution and abundance of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Northeast and Central Atlantic as inferred from the North Atlantic Sightings Surveys 1987–2001. NAMMCO Scientific Publications. 7, 49–72. doi:10.7557/3.2705
12. Gísli Víkingsson, Droplaug Ólafsdóttir & Jóhann Sigurjónsson. 2003. Geographical and seasonal variation in the diet of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in Icelandic waters. NAMMCO Scientific Publications. 5, 243–270. doi:10.7557/3.2829
13. Gísli A. Víkingsson, Pike, D.G., Héðinn Valdimarsson, Schleimer, A., Þorvaldur Gunnlaugsson, Silva, T., Bjarki Þ. Elvarsson, Mikkelsen, B., Øien, N., Desportes, G., Valur Bogason & Hammond, P.S. 2015. Distribution, abundance, and feeding ecology of baleen whales in Icelandic waters: have recent environmental changes had an effect? Frontiers in Ecology and Evolution. 3, 6. doi:10.3389/fevo.2015.00006
14. Gísli A. Víkingsson, Bjarki Þ. Elvarsson, D. Ólafsdóttir, Jóhann Sigurjónsson, Chosson, B. & Galan, A. 2014. Recent changes in the diet composition of common minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in Icelandic waters. A consequence of climate change? Marine Biology Research. 10(2), 138–152. doi:10.1080/17451000.2013.793812
15. Gísli A. Víkingsson. 1997. Feeding of fin whales (*Balaenoptera physalus*) off Iceland – diurnal and seasonal variation and possible rates. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. 22, 77–89.
16. Hjálmar Vilhjálmsson. 2002. Capelin (*Mallotus villosus*) in the Iceland–East Greenland–Jan Mayen ecosystem. ICES Journal of Marine Science. 59(5), 870–883. doi:10.1006/jmsc.2002.1233
17. Kristján Lilliendahl. 2010. Sjófuglar í Lífriki Hafsins. Náttúrufræðingurinn. 79(1–4), 136–145.
18. Kristján Lilliendahl & Jón Sólmundsson. 2018. Sumarféða sex sjófuglategunda við Ísland. Bliki. 19, 1–12.
19. Carscadden, J.E., Gjøsæter, H. & Hjálmar Vilhjálmsson. 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. doi:10.1016/j.pocean.2013.05.005
20. Hjálmar Vilhjálmsson. 2007. Impact of Changes in Natural Conditions on Ocean Resources. Law, Science & Ocean Management. 11, 225–269.
21. Ásta Guðmundsdóttir & Hjálmar Vilhjálmsson. 2002. Predicting total allowable catches for Icelandic capelin, 1978–2001. ICES Journal of Marine Science. 59(5), 1105–1115. doi:10.1006/jmsc.2002.1244
22. Hjálmar Vilhjálmsson & 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. doi.org/10.1006/jmsc.2002.1232
23. Warsha Singh, Birkir Bárðarson, Sigurður Þ. Jónsson, Bjarki Elvarsson & 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. doi:10.1016/j.fishres.2020.105653
24. ICES 2018. Report of the North-Western Working Group (NWWG).
25. Jansen, T., Hansen F.T & Birkir Bárðarson. 2020. Larval drift dynamics, thermal conditions and the shift in juvenile capelin distribution and recruitment success around Iceland and East Greenland. Fisheries Research. 236, 105845. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105845
26. Viðar Engilbertsson. 2014. Energy Dynamics and Recruitment of Icelandic Capelin. (Mastersritgerð, Háskóli Íslands). http://skemman.is/item/view/1946/19866
27. Buren, A., Murphy, H., Adamack, A., Davoren, G., Koen-Alonso, M., Montevecchi, W., Mowbray, F., Pepin, P., Regular, P., Robert, D., Rose, G., Stenson, G. & Varkey, D. 2019. The collapse and continued low productivity of a keystone forage fish species. Marine Ecology Progress Series. 616, 155–170. doi:10.3354/meps12924
28. Carscadden, J., Nakashima, B.S. & Frank, K.T. 1997. Effects of fish length and temperature on the timing of peak spawning in capelin (*Mallotus villosus*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 54(4), 781–787. doi:10.1139/f96-331
29. Whitehead, P.J.P. 1985. FAO Species Catalogue. Vol. 7. Clupeoid fishes of the world (suborder Clupeoidei). An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings. FAO Fisheries Synopsis 125, 303 bls.
30. Smylie, M. 2004. Herring. A history of the silver darlings. 224 bls (Tempus Publishing Limited, Bretland).
31. Cushing, D.H. J. 1969. The Regularity of the Spawning Season of Some Fishes. ICES Journal of Marine Science. 33, 81–92.

32. Jakob Jakobsson. 2000. Lífríki sjávar - Síld. Námsgagnastofnun og Hafrannsóknastofnun. 8 bls.
33. Gunnar Jónsson & Jónbjörn Pálsson. 2006. Íslenskir fiskar. 336 bls (Forlagið).
34. Geffen, A.J. 2009. Advances in herring biology: from simple to complex, coping with plasticity and adaptability. ICES Journal of Marine Science. 66, 1688–1695.
35. Guðmundur J. Óskarsson & Taggart, C.T. 2009. Spawning time variation in Icelandic summer-spawning herring (*Clupea harengus* L.). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 66, 1666-1681.
36. Jakob Jakobsson, Hjálmar Vilhjálmsson & Sigfús A. Schopka. 1969. On the biology of the Icelandic herring stocks. Rit Fiskideildar. 4, 1-16.
37. Slotte, A. & Johannessen, A. 1997. Spawning of Norwegian spring spawning herring (*Clupea harengus* L.) related to geographical location and population structure. ICES CM 1997/CC:17.
38. Jakob Jakobsson. 1980. Exploitation of the Icelandic spring- and summer spawning herring in relation to fisheries management, 1947-1977. Rapports et Proces-Verbaux des Reunions Conseil International pour l'exploration de la Mer. 177, 23-42.
39. Dragesund, O., Johannessen, A. & Ulltang, Ø. 1997. Variation in migration and abundance of Norwegian spring spawning herring (*Clupea harengus* L.). Sarsia. 82, 97-105.
40. Utne, K.R., Huse, G., Ottersen, G., Holst, J.C., Zabavnikov, V., Jacobsen, J.A., Guðmundur J. Óskarsson & Nottestad, L. 2012. Horizontal distribution and overlap of planktivorous fish stocks in the Norwegian Sea during summers 1995-2006. Marine Biology Research. 8, 420-441.
41. Guðmundur J. Óskarsson. 2018. The existence and population connectivity of Icelandic spring-spawning herring over a 50-year collapse period. ICES Journal of Marine Science. 75, 2025-2032.
42. Guðmundur J. Óskarsson. 2019. Fimmtíu ár frá hruni íslensku vorgotssildarinnar - þróun stofnstærðar og tengsl við aðra síldarstofna. Náttúrufræðingurinn. 89, 49-54.
43. Guðmundur J. Óskarsson, Ásta Guðmundsdóttir & Þorsteinn Sigurðsson. 2009. Variation in spatial distribution and migration of Icelandic summer-spawning herring. ICES Journal of Marine Science. 66, 1762-1767.
44. Macdonald, J.I., Logemann, K., Krainski, E.T., Þorsteinn Sigurðsson, Beale, C.M., Huse, G., Hjøllo, S. & Guðrún Marteinsdóttir. 2018. Can collective memories shape fish distributions? A test, linking space-time occurrence models and population demographics. Ecography. 41, 938-957.
45. Keith, S.A. & Bull, J.W. 2017. Animal culture impacts species' capacity to realise climate-driven range shifts. Ecography. 40, 296-304.
46. Ásta Guðmundsdóttir, Guðmundur J. Óskarsson & Sveinn Sveinbjörnsson. 2007. Estimating year-class strength of Icelandic summer-spawning herring on the basis of two survey methods. ICES Journal of Marine Science. 64, 1182-1190.
47. Hurrell, J. W. 1995. Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation. Science. 269, 676-679.
48. Guðmundur J. Óskarsson & Taggart, C.T. 2010. Variation in reproductive potential and influence on Icelandic herring recruitment. Fisheries Oceanography. 19, 412-426.
49. Hafrannsóknastofnun. 2020. Síld. Ástand nytjastofna og ráðgjöf 2020.
50. ICES. 2020. Herring (*Clupea harengus*) in subareas 1, 2, and 5, and in divisions 4.a and 14.a. Norwegian spring-spawning herring (the Northeast Atlantic and the Arctic Ocean). 1-8.
51. Guðmundur J. Óskarsson, Jónbjörn Pálsson & Ásta Guðmundsdóttir. 2018. An ichthyophonias is epizootic in Atlantic herring in marine waters around Iceland. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 75, 1106-1116.
52. Sindermann, C.J. & Scattergood, L.W. 1954. Diseases of fishes of the western North Atlantic. II. Ichthyosporidium disease of the sea herring (*Clupea harengus*). Research Bulletin of the Department of Sea and Shore Fisheries Maine. 19, 1-40.
53. Misund, O., Hjálmar Vilhjálmsson, Jákupsstovu, S., Røttingen, I., Belikov, S., Ólafur S. Ástþórsson, Blindheim, J., Jón Jónsson, Krysov, A., Malmberg, S., Sveinn Sveinbjörnsson. 1998. Distribution, Migration and Abundance of Norwegian Spring Spawning Herring in Relation to the Temperature and Zooplankton Biomass in the Norwegian Sea as Recorded by Coordinated Surveys in Spring and Summer 1996. Sarsia. 83, 117-127.
54. Trenkel, V.M., Huse, G., MacKenzie, B.R., Alvarez, P., Arrizabalaga, H., Castonguay, M., Goñi, N., Grégoire, F., Hátún, H., Jansen, T., Jacobsen, J.A., Lehodey, P., Lutcavage, M., Mariani, P., Melvin, G.D., Neilson, J.D., Nøttestad, L., Guðmundur J. Óskarsson, Payne, M.R., Richardson, D.E., Senina, I. & Speirs, D.C. 2014. Comparative ecology of widely distributed pelagic fish species in the North Atlantic: Implications for modelling climate and fisheries impacts. Progress in Oceanography. 129, 219-243.
55. Pavshits, E.A. 1956. Seasonal changes in plankton and feeding migrations of herring. Trudy Polyarnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta morskogo rybnogo khozyaistva i okeanografii imeni N.M. Knipovicha. 99, 93-123.
56. Ástþór Gíslason & Ólafur S. Ástþórsson. 2002. The food of Norwegian spring-spawning herring in the western Norwegian Sea in relation to the annual cycle of zooplankton. Sarsia. 87, 236-247.
57. Østvedt, O.J. 1965. The migration of the Norwegian herring to Icelandic waters and the environmental conditions in May-June. 1961-1964. Fiskeri direktoratets Skrifter. Serie Havundersøkelser. 13, 29-47.

58. Dalpadado, P. Ellertsen, B., Melle, W. & Dommasnes, A. 2000. Food and feeding conditions of Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus*) through its feeding migrations. ICES Journal of Marine Science. 57, 843-857.
- 59.. Ástþór Gíslason & 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.
- 60 Toresen, R. & Østvedt, O.J. 2000. Variation in abundance of Norwegian spring herring (*Clupea harengus*, Clupeidae) through the 20th century and the influence on climatic fluctuation. Fish and Fisheries. 1, 231-256.
61. Tiedemann, M., Nash, R.D.M., Stenevik, E.K., Stiasny, M.H., Slotte, A. & Kjesbu, O.S. 2020. Environmental influences on Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus* L.) larvae reveal recent constraints in recruitment success. ICES Journal of Marine Science. fsaa072, 1-13.
62. Skagseth, Ø., Slotte, A., Stenevik, E.K. & Nash, R.D.M. 2015. Characteristics of the Norwegian Coastal Current during years with high recruitment of Norwegian spring spawning herring (*Clupea harengus* L.). PLoS ONE 10. e0144117.
63. Slotte, A., Husebo, A., Berg, F., Stenevik, E., Folkvord, A., Fossum, P., Mosegaard, H., Vikebø, F. & Nash, R.D.M. 2019. Earlier hatching and slower growth: A key to survival in the early life history of Norwegian spring spawning herring. Marine Ecology Progress Series. 617-618, 25-39.
64. ICES. 2020. Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). ICES Scientific Reports 2:82. 1019 bls. doi.org/10.17895/ices.pub.7475
65. ICES. 2015. Report of the Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE), 25 August - 31 August 2015, Pasaia, Spain. ICES CM 2015/ACOM:15. 588 bls.
66. Anna H. Ólafsdóttir, Utne, K.R., Jacobsen, J.A, Jansen, T., Guðmundur J. Óskarsson, Nøttestad, L., Bjarki P. Elvarsson, Broms, C. & Slotte, A. 2019. Geographical expansion of Northeast Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) in the Nordic Seas from 2007 to 2016 was primarily driven by stock size and constrained by low temperatures Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 159, 152-168. doi.org/10.1016/j.dsr2.2018.05.023.
67. Uriarte, A. & Lucio, P. 2001. Migration of adult mackerel along the Atlantic European shelf edge from a tagging experiment in the south of the Bay of Biscay in 1994. Fisheries Research. 50, 129-139.
68. Iversen, S.A. 2002. Changes in the perception of the migration pattern of Northeast Atlantic mackerel during the last 100 years. ICES Marine Science Symposia. 215, 382-390.
69. Freydís Vigfúsdóttir, Kristján Lilliendahl & Arnþór Garðarsson. 2009. Fæða súlu við Ísland. Bliki. 30, 55-60.
70. Ólafur S. Ástþórsson, Héðinn Valdimarsson, Ásta Guðmundsdóttir & Guðmundur J. Óskarsson. 2012. Climate-related variations in the occurrence and distribution of mackerel (*Scomber scombrus*) in Icelandic waters. ICES Journal of Marine Science. 69, 1289-1297. doi:10.1093/icesjms/fss084.
- 71 .Nøttestad, L., Utne, K.R., Guðmundur J. Óskarsson, Sigurður Þ. Jónsson, Jacobsen, J.A., Tangen, Ø., Anthonypillai, V., Aanes, S., Vølstad, J.H., Bernasconi, M., Debes, H., Smith, L., Sveinn Sveinbjörnsson, Holst, J.C., Jansen, T. & Slotte, A. 2016. Quantifying changes in abundance, biomass, and spatial distribution of Northeast Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) in the Nordic seas from 2007 to 2014. ICES Journal of Marine Science. 73, 359-373.
72. ICES. 2019a. Working Group on Mackerel and Horse Mackerel Egg Surveys (WGMEGS). ICES Scientific Reports. 1:66. 233 bls. doi.org/10.17895/ices.pub.5605
73. Walsh, M., Reid, D.G. & Turrell, W.R. 1995. Understanding mackerel migration off Scotland: Tracking with echosounders and commercial data, and including environmental correlates and behaviour. ICES Journal of Marine Science. 52, 925-939.
74. Reid, D.G., Turrell, W.R., Walsh, M. & Corten, A. 1997. Cross-shelf processes north of Scotland in relation to the southerly migration of Western mackerel. ICES Journal of Marine Science. 54, 168-178.
75. Jansen, T. and Burns, F. 2015. Density dependent growth changes through juvenile and early adult life of North East Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus*). Fisheries Research. 169, 37-44. dx.doi.org/10.1016/j.fishres.2015.04.011
76. ICES. 2002. Report of the working group on mackerel and horse mackerel egg surveys. ICES CM 2002/G:6, 102 bls.
77. ICES. 2005. Report of the Working Group on Mackerel and Horse Mackerel Egg Survey (WGMEGS), 4–8 April 2005, Bergen, Norway. ICES CM 2005/G:09, 134 bls.
78. ICES. 2008. Report of the Working Group on Mackerel and Horse Mackerel Egg Surveys (WGMEGS), 7-11 April 2008, IJmuiden, Netherlands. ICES CM 2008/LRC:09, 111 bls.
79. ICES. 2011. Report of the Working Group on Mackerel and Horse Mackerel Egg Surveys (WGMEGS), 11–15 April 2011, San Sebastian, Spain. ICES CM 2011/SSGESST:07, 109 bls.
80. ICES. 2014. Report of the Working Group on Mackerel and Horse Mackerel Egg Surveys (WGMEGS), 7-11 April 2014, Reykjavik, Iceland. ICES CM 2014/SSGESST:14, 110 bls.
81. ICES. 2017. Final Report of the Working Group on Mackerel and Horse Mackerel Egg Surveys. WGMEGS Report 2017 24-28 April 2017. Vigo, Spain. ICES CM 2017/SSGIEOM:18, 134bls.
82. Brunel, T., van Damme, C.J.G., Samson, M. & Dickey-Collas, M. 2018. Quantifying the influence of geography and environment on the northeast Atlantic mackerel spawning distribution. Fisheries Oceanography. 27, 159-173. doi.org/10.1111/fog.12242
83. Utne, K.R., Huse, G., Ottersen, G., Holst, J.C., Zabavnikov, V., Jacobsen, J.A., Guðmundur J. Óskarsson & Nøttestad, L. 2012. Horizontal distribution and overlap of planktivorous fish stocks in the Norwegian Sea during summers 1995–2006. Marine Biology Research. 8, 420–441.
84. ICES. 2010. Cruise Report from the Coordinated Ecosystem Survey with M/VLibas, M/V Brennholm, M/V Finnur Fridi and R/VArni Fridriksson in the Norwegian Sea and Surrounding Waters, 9 July–20 August 2010. Working Document to Working Group of Widely Distributed Stocks, ICES, Copenhagen, Denmark, 28 August–3 September 2010. 48 bls.
85. ICES. 2011. Cruise report from the coordinated ecosystem survey (IESSNS) with M/V "Libas", M/V "Finnur Fridi" and R/V "Arni Fridriksson" in the Norwegian

- Sea and surrounding waters, 18 July- 31 August 2011. Working Document to Group of Widely Distributed Stocks, ICES, Copenhagen, Denmark, 23-29 August 2011. 31 bls.
86. ICES. 2012. Cruise Report from the Coordinated Ecosystem Survey (IESSNS) with R/V G.O. Sars, M/V Brennholm, M/V Christian í Grótinum and R/VArni Fridriksson in the Norwegian Sea and surrounding waters, 1 July–10 August 2012. Working Document to Working Group of Widely Distributed Stocks, ICES, Lowestoft, UK, 21–27 August 2012. 45 bls.
87. ICES. 2013. Cruise Report from the Coordinated Ecosystem Survey (IESSNS) with M/V Libas, M/V Eros, M/V Finnur Fríði and R/V Arni Fridriksson in the Norwegian Sea and surrounding waters, 2 July–9 August 2013. Working Document to Working Group of Widely Distributed Stocks, ICES, Copenhagen, Denmark, 27 August–2 September 2013. 42 bls.
88. ICES. 2014. Cruise Report from the Coordinated Ecosystem Survey (IESSNS) with M/V Brennholm, M/V Vendla, M/V Finnur Fríði and R/VArni Fridriksson in the Norwegian Sea and surrounding waters, 2 July–12 August 2014. Working Document to Working Group of Widely Distributed Stocks, ICES, Copenhagen, Denmark, 26 August–1 September 2014. 49 bls.
89. ICES. 2015. Cruise report from the International Ecosystem Summer Survey in the Nordic Seas (IESSNS) with M/VBrennholm, M/V Eros, M/V Christian í Grótinum and R/V Árni Friðriksson, 1 July–10 August 2015. ICES Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE), AZTI-Tecnalia, Pasaia, Spain, 25–31 August 2015. 48 bls.
90. ICES. 2016. Cruise Report from the International Ecosystem Summer Survey in Nordic Seas (IESSNS) with M/V M. Ytterstad, M/V Vendla, M/V Tróndur í Gøtu, M/V Finnur Fríði and R/V Arni Fridriksson 1-31 July 2016. Working Document to Working Group of Widely Distributed Stocks, ICES, Copenhagen, Denmark, 31 August–6 September 2016. 41 bls.
91. ICES. 2017. Cruise report from the International Ecosystem Summer Survey in the Nordic Seas (IESSNS) with M/V "Kings Bay", M/V "Vendla", M/V "Tróndur í Gøtu", M/V "Finnur Fríði" and R/V "Árni Friðriksson", 3rd of July – 4th of August 2017. ICES Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE), ICES HQ, Copenhagen, Denmark, 30. August – 5. September 2017. 45 bls.
92. ICES. 2017. Swept are biomass estimates of mackerel biomass, from the 2017 IESSNS survey, by exclusive economic zone. Working document to the 2020 International Ecosystem Summer Survey in Nordic Seas (IESSNS) post cruise meeting hosted in Iceland from August 21-25, 2017. 2 bls.
93. ICES. 2018. Cruise report from the International Ecosystem Summer Survey in the Nordic Seas (IESSNS) 30th of June – 6th of August 2018. Working Document to ICES Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE), Havstovan, Tórshavn, Faroe Islands, 28. August – 3. September 2018. 39 bls.
94. ICES. 2018. Swept area biomass estimates of mackerel biomass, from the 2018 International Summer Survey in Nordic Seas (IESSNS) survey, by exclusive economic zone. Working document to the 2018 International Ecosystem Summer Survey in Nordic Seas (IESSNS) post cruise meeting that was hosted in Copenhagen, Denmark from August 21-23, 2018. 2 bls.
95. ICES. 2019. Cruise report from the International Ecosystem Summer Survey in the Nordic Seas (IESSNS) 28th June – 5th August 2019. Working Document to ICES Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE, No. 5) Spanish Institute of Oceanography (IOE), Santa Cruz, Tenerife, Canary Islands 28. August – 3. September 2019. 51 bls.
96. ICES. 2019. Swept area biomass estimates of mackerel biomass, from the 2019 International Summer Survey in Nordic Seas (IESSNS) survey, by exclusive economic zone. Working document to the 2019 International Ecosystem Summer Survey in Nordic Seas (IESSNS) post cruise meeting that was hosted in Bergen, Norway from August 19-23, 2019. 2 bls.
97. ICES. 2020. Cruise Report from the International Ecosystem Summer Survey in the Nordic Seas (IESSNS), 1st July – 4th August 2020. Working Document no 3 to ICES Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE), ICES HQ, Copenhagen, Denmark, (digital meeting) 26. August – 1. September 2020. 55 bls.
98. ICES. 2020. International Summer Survey in Nordic Seas (IESSNS) survey in July-August 2020, swept area biomass estimates of mackerel biomass by exclusive economic zone. Working document to the 2020 International Ecosystem Summer Survey in Nordic Seas (IESSNS) post cruise meeting hosted online from August 17-21, 2020. bls.
99. Kvaavik, C., Guðmundur J. Óskarsson, Anna K. Daniélsdóttir & Guðrún Marteinsdóttir. 2019. Diet and feeding strategy of Northeast Atlantic mackerel (*Scomber scomber*) in Icelandic waters. PLOS ONE. 14(12), e0225552. doi.org/10.1371/journal.pone.0225552.
100. Nikoloudakis, N., Skaug, H.J., Anna H. Ólafsdóttir, Jansen, T., Jacobsen, J.A. & Enberg, K. 2018. Drivers of the summer-distribution of Northeast Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) in the Nordic Seas from 2011 to 2017; a Bayesian hierarchical modelling approach. ICES Journal of Marine Science. 76, 530-548. doi:10.1093/icesjms/fsy085.
101. Corten, A. 2002. The role of "conservatism" in herring migrations. Reviews in Fish Biology and Fisheries. 11, 339–361.
102. ICES. 2017. Report of the Workshop on management strategy evaluation for the mackerel in subareas 1–7 and 14, and in divisions 8.a–e and 9.a (Northeast Atlantic) (WKMACMSE), 28–29 August 2017, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2017/ACOM:48, 212 bls.
103. Jansen, T. 2016. First-year survival of North East Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) from 1998 to 2012 appears to be driven by availability of Calanus, a preferred copepod prey. Fisheries Oceanography. 25, 457-469.
104. Mendiola, D., Alvarez, P., Cotano, U. & De Murguía, A.M. 2007. Early development and growth of the laboratory reared north-east Atlantic mackerel *Scomber scombrus* L. Journal of Fish Biology. 70, 911-933.
105. Anna H. Ólafsdóttir, Slotte, A., Jacobsen, J.A., Guðmundur J. Óskarsson, Utne, K.R. & Nøttestad, L. 2016. Changes in weight-at-length and size-at-age of mature Northeast Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) from 1984 to 2013: effects of mackerel stock size and herring (*Clupea harengus*) stock size. ICES Journal of Marine Science. 73, 1225–1235.
106. Jonsson, B. & Jonsson, N. 2011. Ecology of Atlantic salmon and brown trout. Habitat as a template for life histories. 708 bls (Springer, London).
107. Guðni Guðbergsson & Þórólfur Antonsson. 1996. Fiskar í ám og vötnum. Landvernd, Reykjavík 191 bls.
108. Guðni Guðbergsson. 2016. Lax- og silungsveiðin 2016. Veiðimálastofnun VMST/16026. 38 bls.
109. Klemetsen A., Amundsen P.-A., Dempson J.B., Jonsson B., Jonsson N., O'Connell M.F. & Mortensen E. 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout

Salmo trutta L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. Ecology of Freshwater Fish. 12, 1–59.

110. Halla Kjartansdóttir. 2008. Repeat spawning of the Atlantic salmon (*Salmo salar*) in various salmon river in Iceland. (B.Sc. ritgerð Landbúnaðarháskóli Íslands).
111. Þórólfur Antonsson, Þorkell Heiðarsson & Sigurður S. Snorrason. 2010. Smolt Emigration and Survival to Adulthood in Two Icelandic Stocks of Atlantic Salmon. Transactions of the American Fisheries Society. 139(6), 1688-1698, doi: 10.1577/T08-200.1
112. Árni Ísaksson & Sumarliði Óskarsson. 2013. Meðafli á laxi í flotvörpuveiði 2010-2012. http://www.fiskistofa.is/media/frettir/Medafli_Sjor_2010_2012_Lokaskjal.pdf (skoðað 31.12.2020).
113. Sigurður Guðjónsson, Sigurður Már Einarsson, Ingi Rúnar Jónsson & Jóhannes Guðbrandsson. 2015. Marine feeding areas and vertical movements of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as inferred from recoveries of data storage tags. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. 72, 1087-1098.
114. Guðmunda Björg Þórðardóttir & Guðni Guðbergsson. 2020. Lax- og silungsveiðin 2019. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2020-38. Reykjavík. 41. bls.
115. Ingi Rúnar Jónsson, Þórólfur Antonsson & Sigurður Guðjónsson. 2008. Relation between stock size and catch data of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Icelandic Agricultural Sciences. 21, 61-68.
116. Hlynur Bárðarson, Sigurður Óskar Helgason, Eydis Njarðardóttir & Friðþjófur Árnason. 2020. Rannsóknir á fiskstofnum nokkurra áa á Norðausturlandi 2019. Haf- og vatnarannsóknir, HV 2020-18. Reykjavík. 118 bls.
117. Anna H. Ólafsdóttir, Utne, K.R., Jacobsen, J.A., Jansen, T., Guðmundur J. Óskarsson, Nøttestad, L., Bjarki Þ. Elvarsson, Broms, C. & Slotte, A. 2018. Geographical expansion of Northeast Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) in the Nordic Seas from 2007 to 2016 was primarily driven by stock size and constrained by low temperatures. Deep-Sea Research Part II. 159, 152-168. doi.org/10.1016/j.dsr2.2018.05.023
118. ICES. 2014. Report of the working group on North Atlantic salmon (WGNAS). ACOM:09. Copenhagen 19-28 March. 431 bls. http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2014/WGNAS/wgnas_2014.pdf
119. Kristinn Ólafsson, Sigurður M. Einarsson, Gilbey, J., Pampoulie, C., Guðmundur O. Hreggviðsson, Sigríður Hjörleifsdóttir & Sigurður Guðjónsson. 2016. Origin of Atlantic salmon (*Salmo salar*) at sea in Icelandic waters. ICES Journal of Marine Science. 73, 1525-1532. doi:10.1093/icesjms/fsv176.
120. ICES. 2020. Working Group on North Atlantic Salmon (WGNAS). ICES Scientific Reports. 2:21. 358 bls. doi.org/10.17895/ices.pub.5973
121. Lorentzen, K. 1996. The relationship between body weight and natural mortality in juvenile and adult fish: a comparison of natural ecosystems and aquaculture. Journal of Fish Biology. 49, 627-647.
122. Scarnecchia, D.L. 1984. Climatic and oceanic variation affecting yield of Icelandic stocks of Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 41, 917-935.
123. Scarnecchia, D.L., Árni Ísaksson & White, S.E. 1989. Oceanic and riverine influences on variations in yield among Icelandic stocks of Atlantic salmon. Transactions of the American Fisheries Society. 118, 482-494.
124. Jensen, A.J., Ó Maoiléidigh, N., Thomas, J., Sigurður M. Einarsson, Haugland, M., Erkinaro, J., Fiske, P., Friedland, K.D., Ásta K. Guðmundsdóttir, Haantie, J., Kuusela, J., Melle, W., Mork, K.A., Wennevik, V. & Østborg, G.M. 2012. Age and fine-scale marine growth of Atlantic salmon post-smolts in the Northeast Atlantic. ICES Journal of Marine Science. 69, 1668- 1667. doi.org/10.1093/icesjms/fss086
125. Sigurður Guðjónsson. 1989. Migration of anadromous Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) in a glacier river, River Blanda, North-Iceland. Í Proceedings of the Salmonid migration and distribution symposium (ritstj. Brannon, E. & Jonsson, B.), 116-123. Þrándheimi, júní 1987.
126. Ingi Rúnar Jónsson & Þórólfur Antonsson. 2005. Emigration of age-1 Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, in a brackish lagoon. Environmental Biology of Fishes. 74, 195–200. doi:10.1007/s10641-005-7693-0
127. Ingi Rúnar Jónsson & Þórólfur Antonsson. 2015. Farleiðir sjóbleikju um ísalt svæði. Náttúrufræðingurinn. 85 (1-2), 54-59:
128. Þórólfur Antonsson & Friðþjófur Árnason. 2011. Elliðaár 2010. Rannsóknir á fiskstofnum vatnakerfisins. Veiðimálastofnun VMST/11030. 38 bls.
129. Guðni Guðbergsson. 2018. Silungurinn í Mývatni – Veiðinýting og stofnsveiflur 1986-2016. Náttúrufræðingurinn. 88 (3-4), 85-102.
130. Svenning, M.A., Falkegaard, M., Dempson, J.B., Power, M., Braadsen, B.-J., Guðni Gudbergsson & Fauchald, P. 2021. Temporal changes in the relative abundance of anadromous Arctic charr, brown trout, and Atlantic salmon in northern Europe: Do they reflect changing climates? Freshwater Biology. 00, 1-14. Doi.org/10.1111/fwb.13693
131. Ólafur Patrick Ólafsson. 2019. Temperature effects on trout production and movements across a natural thermal gradient in an arctic geothermal environment. (Mastersritgerð, Háskóli Íslands).
132. O’Gorman, E.J., Ólafur P. Ólafsson, Demars, B.O.L., Friberg, N., Guðni Guðbergsson, Elísabet R. Hannesdóttir, Jackson, M.C., Johansson, L.S., McLaughlin, Ó.B., Jón S. Ólafsson, Woodward G. & Gísli M. Gíslason. 2016. Temperature effects on fish production across a natural thermal gradient. Global Change Biology. 22, 3206-3220
133. Halldór Björnsson, Bjarni D. Sigurðsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Jón Ólafsson, Ólafur S. Ástþórsson, Snjólaug Ólafsdóttir, Trausti Baldursson & Trausti Jónsson. 2018. Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar 2018. Veðurstofa Íslands.
134. Huse, G., MacKenzie, B.R., Trenkel, V., Doray, M., Nøttestad, L., & Guðmundur J. Óskarsson. 2015. Spatially explicit estimates of stock sizes, structure and biomass of herring and blue whiting, and catch data of bluefin tuna. Earth System Science Data. 7(1), 35–46.
135. Monstad, T., Belikov, S.V. & Shamrai, E.A. 1996. Report of the joint Norwegian-Russian acoustic survey on blue whiting, spring 1996. 24 s. ICES CM 1992/H:6.
136. Bailey, R.S. 1982. The population biology of Blue Whiting in the North Atlantic. Í Advances in Marine Biology (ritstj. Blaxter, J.H.S., Russell, F.S. & Yonge, M.), 257–355 (Academic Press).
137. Hátún, H., Payne, M.R., Beaugrand, G., Reid, P.C., Sandø, A.B., Drange, H., Hansen, B., Jacobsen, J.A., & Bloch, D. 2009. Large bio-geographical shifts in the north-eastern Atlantic Ocean: From the subpolar gyre, via plankton, to blue whiting and pilot whales. Progress in Oceanography. 80(3), 149–162.

138. Miesner, A.K. & Payne, M.R. 2018. Oceanographic variability shapes the spawning distribution of blue whiting (*Micromesistius poutassou*). Fisheries Oceanography. 27(6), 623–638.
139. Heino, M. & Godø, O. 2002. Blue whiting—A key species in the mid-water ecosystems of the north-eastern Atlantic. ICES CM 2002/L:28.
140. Review of the state of world marine fishery resources. 2013. Global overview of marine fishery resources. FIRMS Reports. Í FAO Fisheries Division. Rome.
141. Hafrannsóknastofnun. 2020. Kolmunni. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf. 30. September 2020.
142. Heino, M., Engelhard, G.H. & Godø, O.R. 2008. Migrations and hydrography determine the abundance fluctuations of blue whiting (*Micromesistius poutassou*) in the Barents Sea. Fisheries Oceanography. 17(2), 153–163.
143. Reid, P.C. & Valdés, L. 2011. ICES status report on climate change in the North Atlantic. ICES Cooperative Research Report No. 310. 262 bls. Series Editor: Emory D. Anderson
144. Hátún, H., Payne, M.R. & Jacobsen, J.A. 2009. The North Atlantic subpolar gyre regulates the spawning distribution of blue whiting (*Micromesistius poutassou*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 66(5), 759–770.
145. Trenkel, V.M., Lorange, P., Fässler, S.M.M. & Høines, Å.S. 2015. Effects of density dependence, zooplankton and temperature on blue whiting *Micromesistius poutassou* growth. Journal of Fish Biology. 87(4), 1019–1030.
146. Rosen, S. & Holst, J.C. 2013. Deep Vision in-trawl imaging: Sampling the water column in four dimensions. Fisheries Research. 148, 64–73.
147. Kennedy, J., Sigurður Þ. Jónsson, Halldór G. Ólafsson & Kasper, J. M. 2016. Observations of vertical movements and depth distribution of migrating female lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) in Iceland from data storage tags and trawl surveys. ICES Journal of Marine Science. 73, 1160–1169.
148. Eriksen, E., Durif, C.M.F., & Prozorkevich, D. 2014. Lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) in the Barents Sea: development of biomass and abundance indices, and spatial distribution. ICES Journal of Marine Science. 71, 2398–2402.
149. Hvas, M., Folkedal, O., Imsland, A. & Oppedal, F. 2018. Metabolic rates, swimming capabilities, thermal niche and stress response of the lumpfish, *Cyclopterus lumpus*. Biology Open. 7, bio036079.
150. Pountney, S.M., Lein, I., Migaud, H. & Davie, A. 2020. High temperature is detrimental to captive lumpfish (*Cyclopterus lumpus*, L) reproductive performance. Aquaculture. 522, 735121.
151. Collins, M.A.J. 1978. Experiments on the hatching period of the eggs of the lumpfish *Cyclopterus lumpus* L. in Newfoundland waters. Naturaliste canadien. 105, 169–171.
152. Nytrø, A.V., Vikingstad, E., Foss, A., Hangstad, T.A., Reynolds, P., Eliassen, G., Elvegård, T.A., Falk-Petersen, I.B. & Imsland, A.K. 2014. The effect of temperature and fish size on growth of juvenile lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.). Aquaculture. 434, 296–302.
153. Geitung, L., Wright, D.W., Oppedal, F., Stien, L.H., Vågseth, T. & Madaro, A. 2020. Cleaner fish growth, welfare and survival in Atlantic salmon sea cages during an autumn-winter production. Aquaculture. 528, 735623.
154. Mortensen, A., Johansen, R.B., Hansen, Ø.J. & Puvanendran, V. 2020. Temperature preference of juvenile lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) originating from the southern and northern parts of Norway. Journal of Thermal Biology. 89, 102562.
155. Hermann Einarsson. 1951. The post-larval stages of Sandeels (*Ammodytidae*) in Faroe, Iceland and W-Greenland waters. Acta Naturalia Islandica. Vol.I - No 7.
156. Hermann Einarsson. 1955. On the post-larval stages of *Ammodytes lancea* Cuvier. Acta Naturalia Islandica Vol. II – No. 1.
157. Eyjólfur Friðgeirsson. 1983. Sandsíli. Ægir. 76(2), 98-106.
158. Holland, G.J., Greenstreet, S.P.R., Gibb, I.M., Fraser, H.M. & Robertson, M.R. 2005. Identifying sandeel *Ammodytes marinus* sediment habitat preferences in the marine environment. Marine Ecology Progress Series. 269, 269-282
159. Wright, P.J., Jensen, H. & Tuck, I. 2000. The influence of sediment type on the distribution of lesser sandeel, *Ammodytes marinus*. Journal of Sea Research. 44, 243-256
160. Eyjólfur Friðgeirsson. 1979. Notes on capelin and sandeel larvae collected in Icelandic waters 1976-1979. ICES CM 1979/L:28165.
161. Eyjólfur Friðgeirsson. 1980. On Sandeel in 0-group Surveys in Icelandic and Adjacent waters 1970 – 1979. ICES CM 1980/G:15
162. Gauld, J.A. 1990. Movements of lesser sandeels (*Ammodytes marinus* Raitt) tagged in the northwestern North Sea. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer. 46, 229-231
163. Kristján Lilliendahl, Erpur S. Hansen, Valur Bogason, Marínó Sigursteinsson, Margrét L. Magnúsdóttir, Páll M. Jónsson, Hálfðán H. Helgason, Gísli J. Óskarsson, Pálmi F. Óskarsson & Óskar J. Sigurðsson. 2013. Viðkomubrestur lunda og sandsílis við Vestmannaeyjar. Náttúrufræðingurinn. 83 (1-2), 65-79
164. Van Deurs, M., Hartvig, M. & Steffensen, J.F. 2011. Critical threshold size for overwintering sandeels (*Ammodytes marinus*). Marine Biology. 158, 2755-2764.
165. Gjøsæter, H. 2009. Commercial fisheries (fish, seafood and marine mammals). Í Ecosystem Barents Sea (ritstj. Sakshaug, E., Johansen, G. & Kovacks, K.M.) 373–414 (Tapir Academic Press, Bråndheimur).
166. Ajiad, A., Oganin, I. & Gjøsæter, H. 2011. Polar cod. Í The Barents Sea - ecosystem, resources, management. Half a century of Russian - Norwegian cooperation (ritstj. Jakobsen, T. & Ozhigin, V.K.) 315–328. (Tapir Akademisk Forlag).
167. Ólafur Ástþórsson. 2017. Náttúrufræðingurinn. 87 (1–2), 15–23.
168. Onarheim, I.H., Eldevik, T., Smedsrud, L.H. & Stroeve, J.C. 2018. Seasonal and Regional Manifestation of Arctic Sea Ice Loss. Journal of Climate. 31, 4917–4932.
169. Divine, D.V. & Dick, C. 2006. Historical variability of sea ice edge position in the Nordic Seas. Journal of Geophysical Research: Oceans. 111.

170. Raitt, D.F.S. 1968. Synopsis of biological data on the Norway pout, *Trisopterus esmarkii*, Nilsson, 1855. FAO Fisheries Synopsis No.33, Rev. 1, 30 bls.
171. ICES. 2017. Report of the Benchmark Workshop on Norway Pout (*Trisopterus esmarkii*) in Subarea 4 and Division 3a (North Sea, Skagerrak, and Kattegat), 23–25 August 2016, Copenhagen, Denmark. ICES CM 2016/ACOM:35, 69 bls.
172. Albert, O.T. 1994. Biology and ecology of Norway pout (*Trisopterus esmarkii* Nilsson, 1855) in the Norwegian Deep. ICES Journal of Marine Science. 51, 45–61.
173. Topic: Norway pout. 2019. Havforskningsinstituttet, <https://www.hi.no/en/hi/temasider/species/-norway-pout>
174. Lambert, G., Nielsen, J.R., Larsen, L.I. & Sparholt, H. 2009. Maturity and growth population dynamics of Norway pout (*Trisopterus esmarkii*) in the North Sea, Skagerrak, and Kattegat. ICES Journal of Marine Science. 66, 1899–1914.
175. Nielsen, J.R., Lambert, G., Bastardie, F., Sparholt, H. & Vinther, M. 2012. Do Norway pout (*Trisopterus esmarkii*) die from spawning stress? Mortality of Norway pout in relation to growth, sexual maturity, and density in the North Sea, Skagerrak, and Kattegat. ICES Journal of Marine Science. 69, 197–207.
176. Kempf, A.K., Floeter, J.F. & Temming, A.T. 2009. Recruitment of North Sea cod (*Gadus morhua*) and Norway pout (*Trisopterus esmarkii*) between 1992 and 2006: the interplay between climate influence and predation. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 66, 633–648.
177. Sparholt, H., Larsen, L.I. & Nielsen, J.R. 2002. Verification of multispecies interactions in the North Sea by trawl survey data on Norway pout (*Trisopterus esmarkii*). ICES Journal of Marine Science. 59, 1270–1275.

5 Botnfiskar

5.1 Þorskur (*Gadus morhua*)

Jón Sólmundsson, Einar Hjörleifsson og Ingibjörg G. Jónsdóttir
Hafrannsóknastofnun

Þorskur er algengur á hafsvæðum frá Bretlandseyjum norður í Barentshaf, við Færeyjar, Ísland og sunnanvert Grænland og einnig við Labrador, Nýfundnaland og suður á Georges banka út af Maine flóa. Tegundin finnst frá fjöruborði niður á um 600 m dýpi við hitastig á bilinu -1,5 til 20°C en fyrst og fremst á svæðum þar sem meðalárshiti sjávar er 0–12°C^{1,2}. Víðast hvar í Norður-Atlantshafi hafa afgerandi breytingar á hitastigi sjávar haft áhrif á útbreiðslu og stofnstærð þorsks, t.d. í Barentshafi^{1,3}, á landgrunninu frá Labrador suður á Miklabanka⁴ og við Grænland og Ísland⁵. Auk þess að hafa bein áhrif á útbreiðslu og stofnstærðir þorsks geta breytingar á umhverfispáttum, s.s. hitastigi, seltu og straumum haft óbein áhrif eins og t.d. vegna breytinga á fæðuframboði.

Þorskur er mikilvægasta tegund botnfiska á Íslandsmiðum, bæði í efnahagslegu og vistfræðilegu tilliti. Árlegur afli hefur sveiflast á bilinu 146–546 þúsund tonn frá árinu 1920; mestur afli fékkst árið 1954 en minnstur 2008⁶. Helstu hrygningarstöðvar eru fyrir sunnan og suðvestan land en hrygningarsvæði finnst allt í kringum landið. Egg og lirfur berast með straumum frá hrygningarsvæðum á uppeldissvæði og mest er af þorskungviði fyrir vestan, norðan og austan land. Styrkur og stefna strauma ráða miklu um afdrif þorsklirfa og sum ár berst hluti þeirra til Grænlands þar sem þorskurinn dafnar ef aðstæður eru hagstæðar. Fyrir utan Grænlandsmið virðist lítill samgangur vera milli Íslandsmiða og annarra hafsvæða^{7,8}. Hér verður fjallað um breytingar sem orðið hafa á útbreiðslu, framleiðni og líffræði þorsks við Ísland með áherslu á undanfarna þrjá til fjóra áratugi. Á því tímabili hefur ástand sjávar breyst mikið og umfangsmikil gögn eru til um útbreiðslu og ástand þorsks. Áhrif fiskveiða á áður nefnda þætti eru rædd lítilllega en hafa þarf í huga að stífar veiðar geta haft mikil áhrif á stofna nytjafiska.

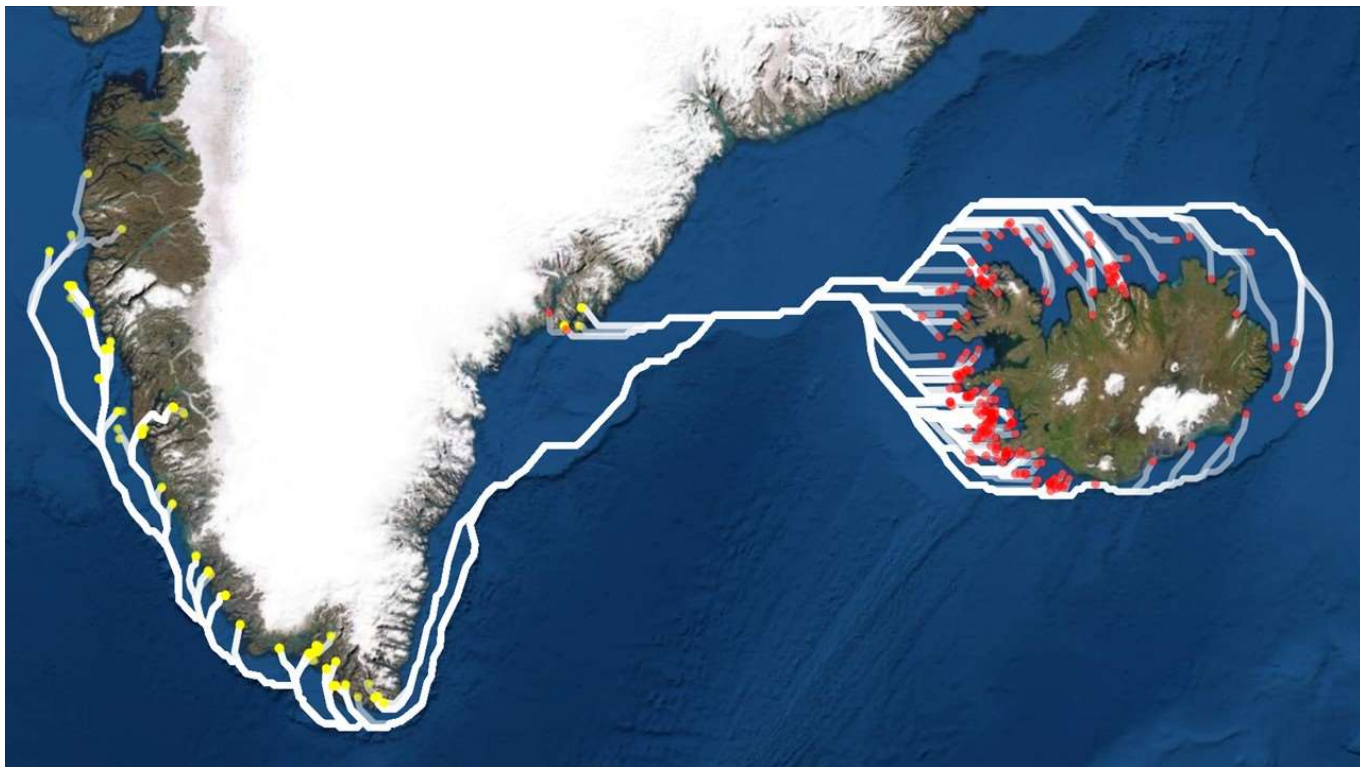
Breytingar á útbreiðslu og stofnstærð

Skoðun á hryggjarliðum frá fornum verstöðvum við vestanvert landið bendir til þess að sveiflur í íslenska þorskstofninum fyrr á öldum hafi verið tengdar umhverfisbreytingum⁹. Þannig virðist þorskstofninn hafa farið stækkandi á hlýskeyði miðalda um og eftir árið 1000 en minnkað aftur á kuldaskýðinu 1450–1850 (litlu ísöld). Jón Jónsson¹⁰ setti aflabrögð þorsks árin 1600–1900 í

samhengi við breytingar á metnu hitastigi og komst að því að þessir þættir sveifluðust í takt; hlýjum árum fylgdu góð aflabrögð en inn á milli komu köld tímabil með hafísárum og aflabresti. Greina mátti langtímasveiflu (50–60 ár) í hitastigi og aflabrögðum og var minnkandi afli mögulega talinn orsakast af minni nýliðun vegna óhagstæðra umhverfisskilyrða á uppeldissvæðum þorsks¹⁰. Lítið er þó vitað um samhengi á milli stofnsveifla og aflabragða á þessum tíma.

Ef lítið er til síðustu aldar hafa breytingar á útbreiðslu og stofnstærð þorsks verið raktar til afgerandi veðurfarssveiflna við Ísland og í Norður-Atlantshafi þar sem löngum hlýindakafli sem hófst upp úr 1920 fylgdi skammvinn kuldatíð (hafísárin 1965–1971)⁵. Árni Friðriksson¹¹ lýsti breytingum sem urðu á atferli og útbreiðslu þorsks árin eftir 1925. Fyrstu tvo áratugi síðustu aldar fór hrygning aðallega fram við suður- og suðvesturströndina en fæðuslóðir voru fyrir vestan, norðan og austan land eins og hefðbundið er. Í lok 3. áratugarins urðu fæðugöngur á Grænlandsmið algengari, sumarafli brást fyrir norðvestan, norðan og austan land en þorskurinn kom aftur á Íslandsmið til hrygningar. Í byrjun 4. áratugarins fór hrygning þorsks að dreifast meira umhverfis landið og eftir 1937 fékkst lítið af þorski á hefðbundnu hrygningarsvæðunum þannig að vertíðarafli brást í nokkur ár. Eftir 1942 fóru göngur þorsks aftur að færast í það horf sem var fyrir hlýnun.

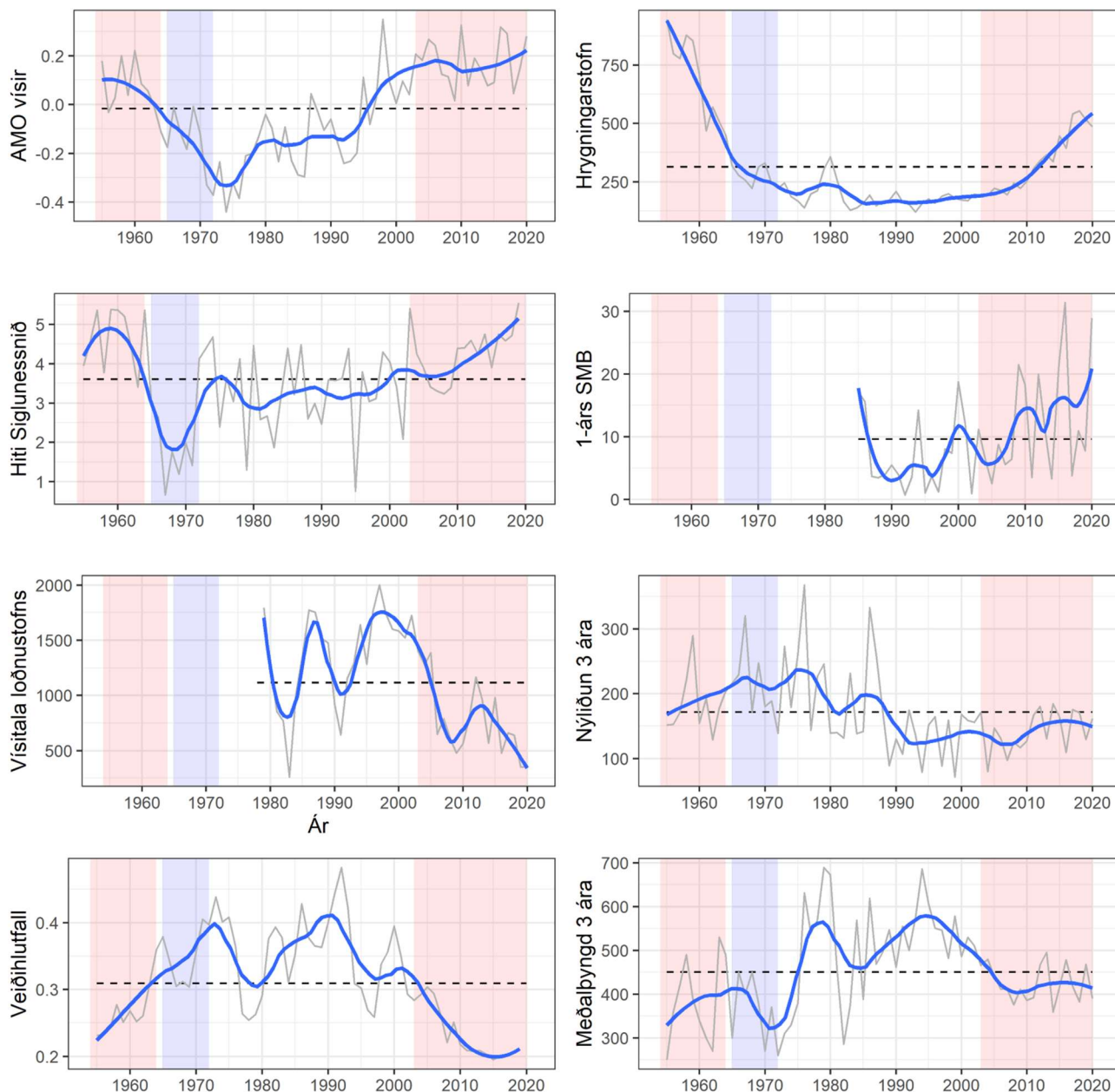
Hljáa tímabilinu 1925–1964 fylgdi rek þorsklirfa frá hrygningarsvæðum við Ísland á uppeldissvæði við Grænland og í kjölfarið auknar göngur þorsks til baka frá Grænlandsmiðum^{5,12}. Í köldu árferði eru Grænlandsmið á mörkum þess að vera lífvænleg fyrir þorsk en þegar sjór hlýnar í fjörðum og á landgrunninu við Grænland stækkar mögulegt uppeldissvæði íslenska þorskstofnsins verulega og þá má segja að útbreiðslusvæðið geti náð frá Íslandi til Vestur-Grænlands¹³ (mynd 5.1.1). Það er þó háð því að þorsklirfur berist frá Íslandi á Grænlandsmið en í því samhengi má nefna að hlýnun við Vestur-Grænland tengist auknu innflæði Irmingerstraumsins sem eykur jafnframt líkur á reki seiða frá Íslandi^{12,14}.



Mynd 5.1.1. Göngur þorsks frá Grænlandi til Íslands skv. merkingum árána 1924–1939¹³. Stystu mögulegu gönguleiðir eru áætlaðar út frá þeirri forsendu að þorskar hafi haldið sig á u.þ.b. 350 m dýpi á gönguleið sinni frá merkingarstað á endurheimtustað. Sjá nánar: <https://heima.hafro.is/~einarhj/hansen/>

Seiðarek til Grænlandsmiða virðist hafa verið nokkuð tíður viðburður á hlýju árunum eftir 1920 en þó vógu þýngst gríðarlega stórir árgangar frá 1922, 1924 og 1945^{5,15}. Áhrif slíkra risaárganga á fiskgengd við Ísland voru mikil. Þannig hefur verið metið að ef enginn fiskur af árgangi 1945 hefði komið frá Grænlandi árið 1953 hefði metinn lífmassi 8 ára þorsks við Ísland verið um 200 þúsund tonn en Grænlandsgöngur breyttu því mati í yfir 900 þúsund tonn¹⁶. Á Íslandsmiðum var fjöldi veiddra fiska úr árgangi 1945 við 7 ára aldur um 15 milljónir en yfir 40 milljónir veiddust 8 ára og álíka mikið 9 ára.

Erfðarannsóknir benda til að árin 1950–1965 hafi þriðjungur til helmingur þorsks við Vestur-Grænland verið af íslenskum uppruna sem samsvarar því að um milljón tonn af íslenskum þorski hafi verið við Grænland allt þetta tímabil¹⁷. Miklar veiðar og skyndileg kólnun á hafísárunum 1965–1971 urðu til þess að hrun varð á magni þorsks á Grænlandsmiðum⁵. Á uppeldissvæðum þorsks norðan Íslands urðu einnig miklar breytingar á lífríki hafsins¹⁸ með hruni í frumframleiðni¹⁹. Þessar umhverfisbreytingar, minni þorskgengd frá Grænlandsmiðum og aukinn fiskveiðidauði urðu til þess að hrygningarstofn íslenska þorsksins minnkaði nær stöðugt á árunum 1958–1975 (mynd 5.1.2).



Mynd 5.1.2. Tímaraðir sem sýna breytileika í íslenska þorsstofninum og þáttum sem mögulega hafa áhrif á hann. Til hægri: Stærð hrygningarstofns þorsks, fjöldavísitala 1 árs þorsks í stofnmælingu botnfiska (SMB), nýliðun (fjöldi 3 ára) og meðalþyngd 3 ára þorsks skv. stofnmæti. Til vinstri: AMO vísitala, hitastig á Siglunessniði (meðaltal á 20–200 m dýpi á stöðvum 1-5 í maí–júní), vísitala á stærð loðnustofnsins (aflí+hrygningarstofn) og veiðihlutfall. Hafísárin 1965–1971 eru sýnd með ljósbílum bakgrunni; hlý tímabil fyrir hafísárin og eftir 2002 eru sýnd með bleikum bakgrunni. Brotnar láréttar línur sýna meðaltöl.

Í kjölfar hafísáranna fylgdi um aldarfjórðungstímabil með sveiflukenndum sjávarhita fyrir norðan land sem var þó að jafnaði undir meðaltali árána 1955–2020 (mynd 5.1.2). Svipaða sögu má segja um AMO-vísitöluna sem er talin góður mælikvarði á langtímasveiflur í fyrirborðshita í Norður-Atlantshafi²⁰. Á árunum 1970–1995 var veiðihlutfall hærra en á nokkru öðru tímabili í sögunni og hrygningarstofninn náði sér ekki á strik fyrir utan skammvinna hækkun í kringum 1980 (mynd 5.1.2). Stórir nýliðunarárgangar héldu áfram að bætast við veiðistofninn allt til ársins 1987, m.a. árgangar 1973 og 1984 sem ólust að hluta til upp á Grænlandsmiðum^{15,16,21}. Síðan þá hafa árgangar í besta falli náð meðalstærð miðað við fjölda 3 ára fiska og ekki

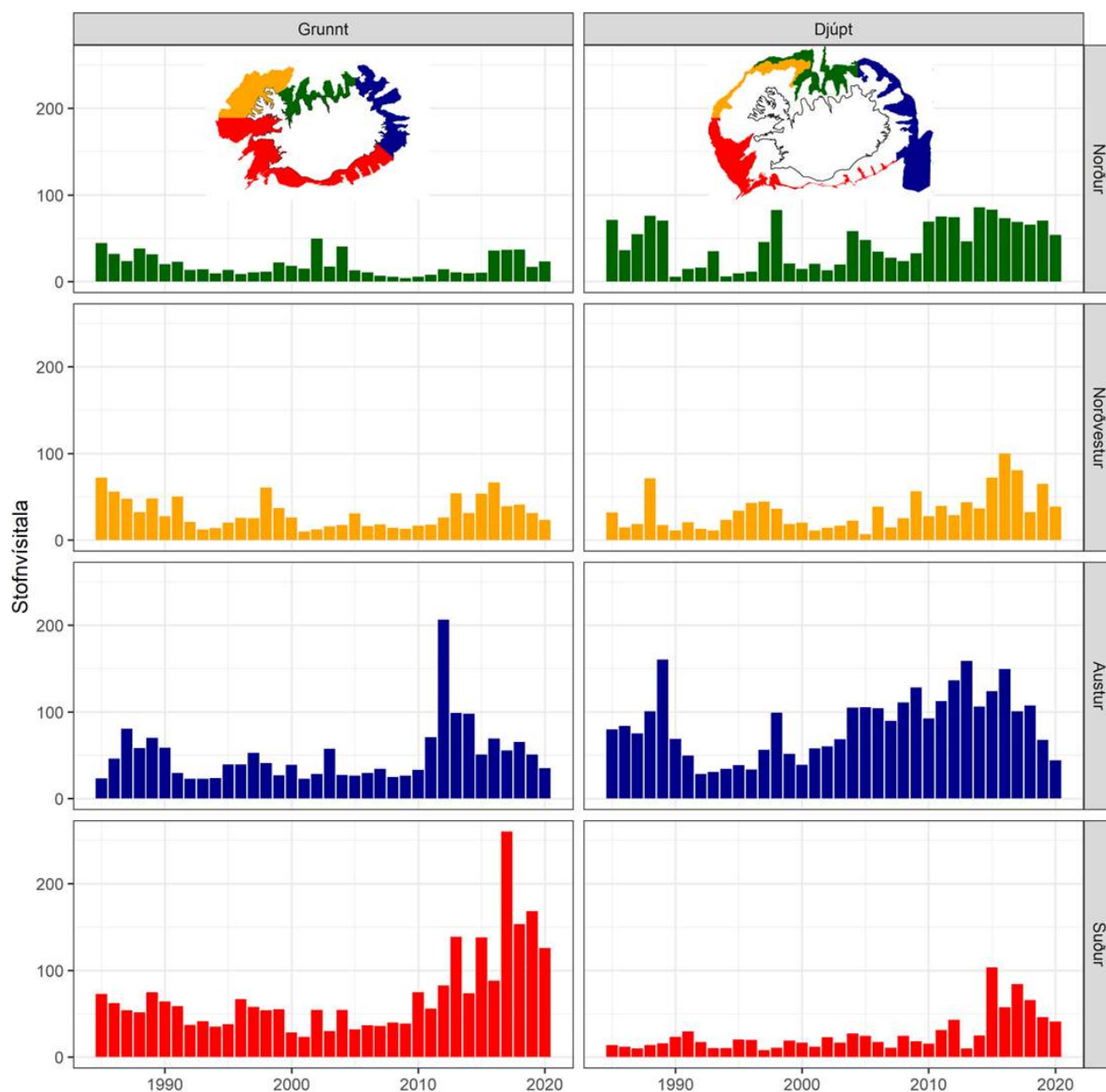
hefur orðið vart við mikið af þorski við Vestur Grænland. Samgangur þorsks milli Íslands og Grænlands er þó enn til staðar því frá árinu 2007 hafa um 200 þorskar sem merktir voru á Grænlandsmiðum sunnan- og austanverðum verið endurheimtir við Ísland⁸.

Árlegar stofnmælingar botnfiska í mars frá árinu 1985 (SMB) og október frá árinu 1996 (SMH) veita upplýsingar um útbreiðslu þorsks á Íslandsmiðum²². Í SMB er rannsóknasvæðinu skipt í undirsvæði eftir umhverfis-aðstæðum, s.s. hitastigi sjávar og dýpi. Stofnvísitala þorsks var há árin 1985–1989 sem m.a. má rekja til mikils magns þorsks djúpt (>200 m) fyrir norðan

og austan (mynd 5.1.3). Á síðasta áratug 20. aldar var stofnvísitalan lág flest ár, fyrst og fremst vegna lítills magns á dýpri hluta miðanna fyrir norðan og austan. Þorskur sem finnst á djúpslóð fyrir norðan og austan í mars er að miklu leyti ókynþroska fiskur og á þessum árum var nýliðun mjög léleg. Í kjölfar aukinnar nýliðunar eftir aldamótin fór magn þorsks aftur vaxandi djúpt fyrir norðan og austan og eftir 2010 einnig á flestum öðrum svæðum. Með stækkandi hrygningarstofni undanfarinn áratug hefur meira mælst af þorski fyrir sunnan og suðvestan land og er það í samræmi við vaxandi hrygningu þorsks á þessum svæðum²³. Síðustu þrjú ár hefur stofnvísitala þorsks í SMB farið lækkandi eftir að hafa verið í hámarki árin 2015–2017 og má það aðallega rekja til minnkandi magns fyrir austan land (mynd 5.1.3). Á árunum eftir 1996 fór magn þorsks vaxandi fyrir norðan land yfir sumartímann en einnig jókst magn þorsks innan fjarða á Vestfjörðum og við Norðurland og er aukin fiskgengd talin vera ein af ástæðum þess að rækjustofnar

svæðanna hrundu eða létu mikið á sjá²⁴. Þessi aukning á þorski sem sást í rækjuleiðöngnum innan fjarða við norðanvert landið í kringum aldamótin var meiri en fram kom á grunnsvæðum í SMB, hugsanlega vegna ólíkra dreifingar stöðva og mismunandi árstíma.

Í árlegri stofnmælingu á hrygningarþorski (SMN) sem hefur farið fram frá 1996 hefur orðið breyting á vægi hrygningarsvæða. Magn þorsks hefur aukist á hrygningarsvæðum í Faxaflóa og Breiðafirði og má fyrst og fremst rekja hækkun stofnvísitölu hrygningarþorsks undanfarinn áratug til þessara svæða. Síðustu ár hefur einnig orðið aukning á hrygningu þorsks fyrir suðaustan og norðan land. Kanturinn austur af Eyjum er ólíkur öðrum svæðum og hefur stofnvísitalan þar verið í lágmarki frá árinu 2010²³.



Mynd 5.1.3. Stofnvísitala þorsks eftir svæðum og dýpi í SMB 1985–2020. Grunnt = 10–200 m; djúpt = 200–500 m.

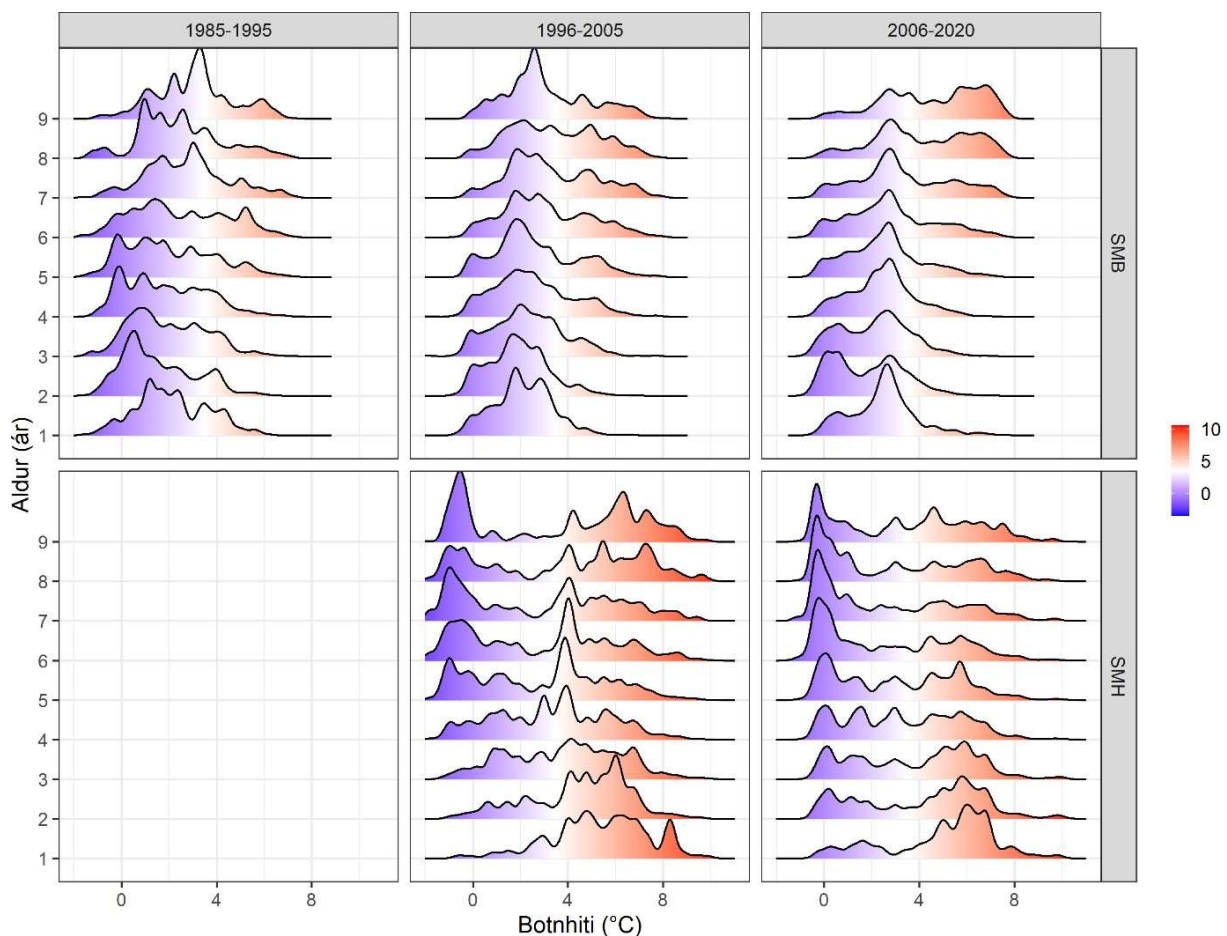
Á Íslandsmiðum er tegundin þorskur nálægt miðju útbreiðslusvæðis tegundarinnar og á kjörsvæði sínu bæði landfræðilega og m.t.t. hitastigs. Þó þarf að hafa í huga að norður og austur af landinu er stutt í svalsjó Austur-Íslandsstraumsins og norðvestur og vestur af landinu flæðir pólsjór með Austur-Grænlandsstraumi til suðurs og hamla þær aðstæður útbreiðslu þorsks í þessar áttir. Mikið dýpi hamlar einnig útbreiðslu tegundarinnar til norðurs og austurs.

Hitastig hefur mikil áhrif á vaxtarhraða þorsks við eldisaðstæður^{25,26} og samanburður á þorskstofnum í Atlantshafi sýnir að almennt eykst vaxtarhraði með hækkandi hitastigi. Það getur líka átt við um mun innan stofna eins og t.d. við Ísland²⁷. Breytingar á hitastigi geta haft áhrif á hrygningu þorsks því þroskun kynkirtla getur orðið hraðari við hærri hitastig og leitt til þess að hrygning sé fyrr á ferðinni¹.

Í samanburði við aðrar fisktegundir í stofnmælingu botnfiska að hausti (SMH) hefur þorskur mjög vítt kjörhitasvið²⁸. Þetta kemur vel fram á mynd 5.1.4 sem sýnir að á haustin er þorskur algengur við hitastig á bilinu

-1 til 9°C. Það er þó mismunandi eftir aldurshópum því í SMH fæst yngri þorskur við hærri hitastig en eldri þorskur. Þorski eldri en 4 ára í SMH má skipta í tvo hópa eftir hitastigi, annars vegar þorskar sem fást þar sem botnhiti er -1 til 1°C og hins vegar þorskar sem fást við botnhita 3–9°C (mynd 5.1.4). Á þessum árstíma eru grunnfarsþorskurog djúpfarsþorskur aðskildir²⁹ og endurspeglar þessir skipting eftir hitastigi ólíkt atferli og útbreiðslu þessara hópa á fæðuöflunartíma. Ekki er þó um algera skiptingu að ræða heldur sýnir fjöldi þorska atferli, útbreiðslu og hitadreifingu sem liggur á milli þessara atferlisgerða.

Í SMB í mars er hitastig á landgrunninu lægra en á haustin og fæst 1–4 ára þorskur mest við -1 til 4°C (mynd 5.1.4). Hér er um ókynþroska þorsk að ræða sem heldur sig mest við norðan- og austanvert landið en á þessum árstíma er eldri kynþroska þorskur farinn að færa sig nær hrygningarsvæðum í hlýrri sjó við suðvestanvert landið. Það kemur fram á mynd 5.1.4 að þorskur fæst á þessum árstíma í hlýrri sjó eftir því sem hann verður eldri og er sú breyting meira áberandi síðasta tímabilið (2006–2020). Athyglisvert er að 1 árs þorskur fæst yfirleitt í hlýrri sjó en 2 ára þorskur, bæði í SMB og SMH, sem gæti bent til meiri affalla í hlýrri sjó eða tilfærslu í kaldari sjó á öðru ári. Merkingar benda þó til að fyrstu þrjú árin sé þorskur tiltölulega staðbundinn³⁰.



Mynd 5.1.4. Hlutfallsleg dreifing þorsks eftir hitastigi í SMB (mars, efri myndir) og SMB (október, neðri myndir), sýnt fyrir mismunandi aldurshópa (1–9 ára) og tímabil.

Upplýsingar um frjósemi og framleiðni fiskistofna skipta miklu máli varðandi stofnmat og veiðiráðgjöf. Rannsóknir á hrygningu og klaki þorsks við Ísland árin 1993–2000 sýndu fram á mikilvægi þess að hrygningarstofninn væri nægilega stór og stærðar- og aldurssamsetning við þar sem stærstu og best höldnu hrygnurnar framleiða lífvænlegustu eggja^{31,32,33}. Jafnframt er talið æskilegt að hrygningin dreifist vel í tíma og rúmi til að auka líkur á að svíflægar lurfur hitti á hagstæðar aðstæður til fæðuöflunar og þroska og berist á heppileg uppeldissvæði³⁴.

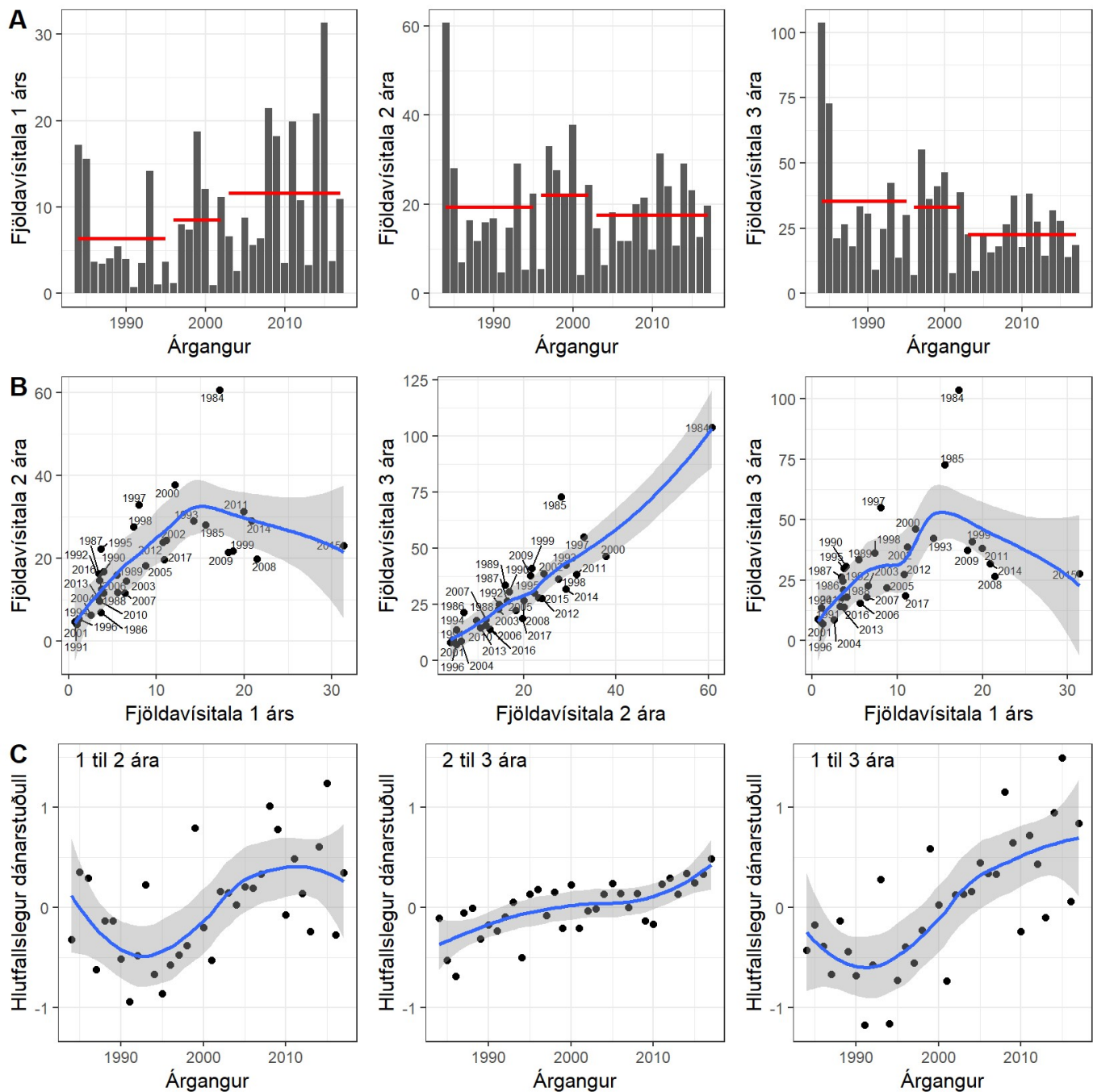
Afrakstur hrygningar má meta fljótlega eftir hrygningu með því að rannsaka magn svíflægra eggja og lirfa. Betra mat á stærð árganga fæst þó yfirleitt eftir að seiðin hafa leitað botns á haustin vegna þess hve gríðarlega mikil og breytileg afföllin eru á fyrstu mánuðunum^{35,36,37}. Jafnvel þótt mat liggi fyrir á magni botnlægra fyrsta árs þorskseiða er ekki þar með sagt að upplýsingar um nýliðun í veiðistofn liggi fyrir því enn líða 2–3 ár þar til fiskarnir ná veiðistærð og afföll seiða og ungvíðis geta áfram verið breytileg. Í dag er þekking og vöktun á hrygningu þorsks við Ísland nokkuð góð en nánast engin þegar kemur að útbreiðslu og afkomu svíflægra eggja, lirfa og seiða eða hvaða líffræðilegu og/ eða haffræðilegu áhrifaþættir koma þar við sögu³⁸. Sem dæmi þá er ekkert vitað um magn seiðareks frá Íslandi á Grænlandsmið undanfarna tvo áratugi.

Nýliðun þorsks er skilgreind sem fjöldi fiska við 3 ára aldur í stofnmati⁶. Nýliðun er breytileg en líkur á lélegri nýliðun virðist meiri þegar hrygningarstofninn er lítill^{38,39}. Hrygningarstofn þorsks hélst mjög lítill fram yfir aldamót en með lægra veiðihlutfalli hefur stofninn meira en tvöfaldast að stærð frá árinu 2008. Þrátt fyrir það hafa engir stórir árgangar mælst og er meðalfjöldi 3 ára nýliða árin 1986–2020 um þriðjunglægr en árin 1955–1985 (mynd 5.1.2).

Ekki er ljóst hvaða áhrifaþættir það eru í umhverfinu, líffræði þorsks eða athöfnum manna sem valda því að nýliðun miðað við gefna stærð hrygningarstofns er mismunandi milli þessara tímabila. Árgangar 1984 og 1985 voru sterkir við Vestur-Grænland en í kjölfarið tók við langt tímabil með lélegri nýliðun²¹.

Með staðlaðri gagnasöfnun í stofnmælingum, sem farið hafa fram frá 1985, gefst kostur á að skoða breytingar á fjölda fiska yngri en 3 ára. „Framleiðni“ þorskstofnsins má því skoða sem fjölda fiska allt frá 1 árs aldri í SMB. Með stækkandi hrygningarstofni undanfarin ár hefur hroгнаframleiðsla aukist verulega og breytingar á fjölda 1 árs þorsks eru í takti við það því meðalfjöldavísitala árganga 2003–2017 við 1 árs aldur er tvöfalt hærri en árganga 1984–1995 (mynd 5.1.5 A). Á hinn bóginn hefur meðalfjöldi 2 og 3 ára þorska staðið í stað eða minnkað með stækkandi hrygningarstofni. Árgangar sem mældust stórir sem 1 árs (1999, 2008, 2009, 2011, 2014, 2015) skiluðu sér ekki síðar í tilsvarende fjölda sem 2 ára eða 3 ára fiskur (mynd 5.1.5 A, B). Þetta gæti bent til aukinna affalla þorsks á aldrinum 1–2 ára.

Mun betra samræmi er milli fjöldavísitalna 2 og 3 ára þorsks en þó má greina að eftir 2010 hefur fjöldi 3 ára verið undir væntingum miðað við fyrri ár (mynd 5.1.5 A, B). Ef mismunur á fjöldavísitölum hvers árgangs frá ári til árs er notaður sem mat á hlutfallslegan dánarstuðul, sést að dánarstuðlar hafa farið hækkandi og virðist sú breyting gerast í kringum aldamótin (mynd 5.1.5 C). Ekki er ljóst hvort ástæðan sé aukið „sjálfrán“ á yngstu aldurshópunum vegna stækkandi þorskstofns, minna fæðuframboðs eða hægari vaxtar þorskungviðis (sjá síðar) né heldur hvort og þá hvernig það tengist ástandi sjávar.



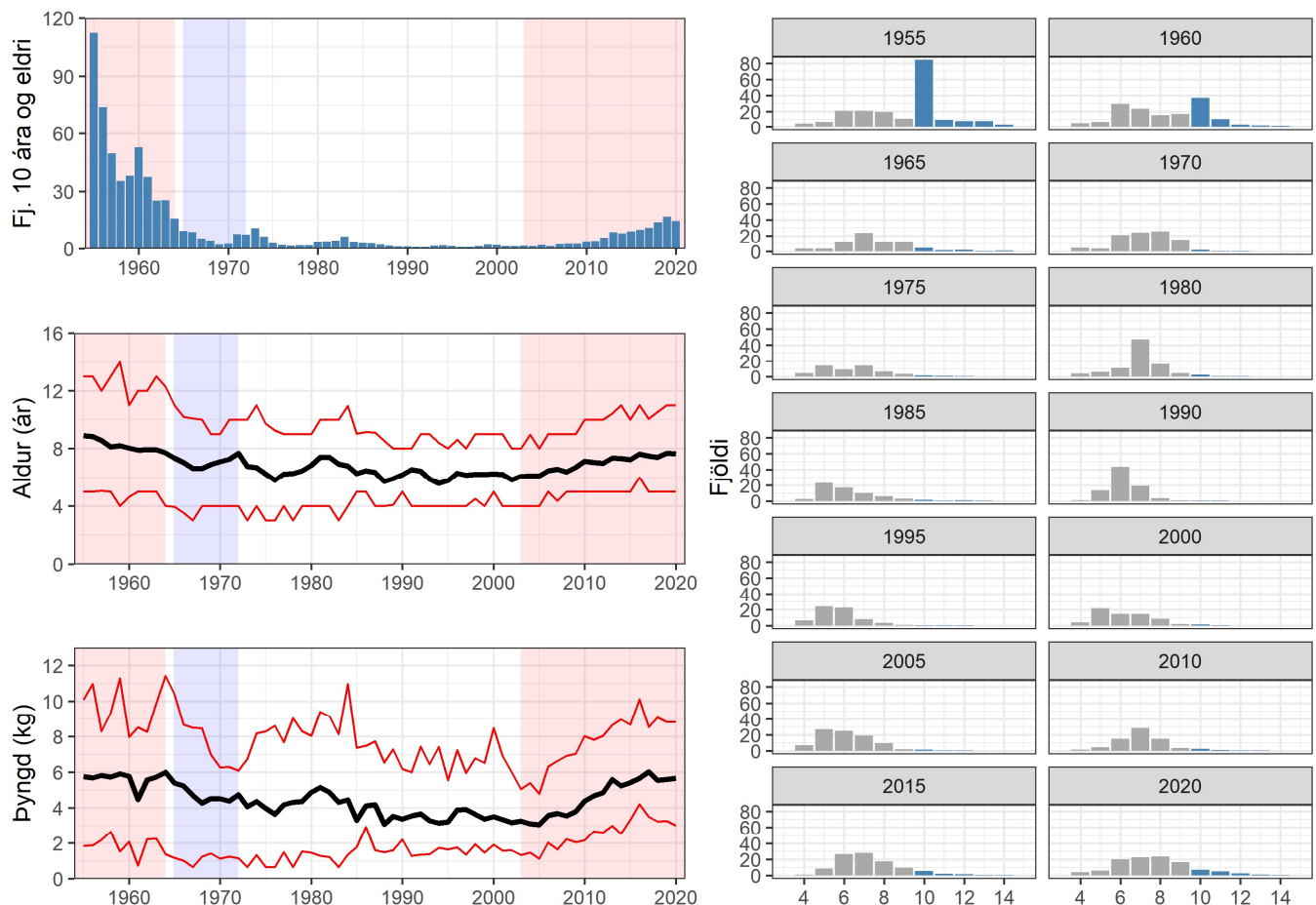
Mynd 5.1.5. (A) Fjöldavísitölur þorsks í SMB við 1–3 ára aldur, árgangar 1984–2017. Rauðar láréttar línur sýna meðaltöl árganga 1984–1995, 1996–2002 og 2003–2017. (B) Fjöldavísitölur 1–3 ára þorsks í SMB teiknaðar hver á móti annarri. (C) Breytingar á hlutfallslegum dánarstuðli eftir aldri og árgöngum, reiknaðar út frá breytingum á fjöldavísitölu í SMB.

Breytingar á ástandi og stofngerð

Nokkra mælikvarða má nota til að meta líffræðilegt ástand þorsks við Ísland, m.a. meðallengd og meðalþyngd mismunandi aldurshópa og aldursdreifingu stofnsins. Aldurslestur og erfðarannsóknir á hryggjarliðum frá fornum verstöðvum bendir til að þorskstofninn hafi verið hlutfallslega stór og aldursdreifing víð á hlýskeyði miðalda en meðalaldur hafi síðan farið lækkandi eftir því sem leið á litlu ísöld⁹. Risaárgangar sem fram komu á hlýju áratugum síðustu aldar (árgangar 1922, 1924 og 1945) voru lengi til staðar í stofnunum þannig að fjöldi 10 ára og eldri var

mikill meðan þeirra naut við (mynd 5.1.6). Mat á fjölda 10 ára þorska árið 1955 er t.d. yfir 80 milljónir fiska og hefur ekki sést viðlíka fjöldi síðan.

Í stofnmælingum frá 1988–2005 var þorskur 10 ára og eldri sjaldgæfur, en síðastliðinn áratug hefur aldursdreifingin verið víðari og 10–14 ára þorskur algengari²² (mynd 5.1.6). Sama má segja um aldursdreifingu þorsks í afla. Á árunum 1988–2005 var hrygningarstofninn mjög lítill og nær einungis samsettur af 5–7 ára þorski (mynd 5.1.6). Ástand hrygningarstofnsins var því með þeim hætti að líkur á góðri nýliðun eða umtalsverðu seiðareki til Grænlands verða að teljast hafa verið litlar.



Mynd 5.1.6. Til vinstri: Fjöldi 10 ára og eldri þorska í hrygningarstofni (efst, milljónir fiska), meðalaldur fiska í hrygningarstofni (miðja) og meðalþyngd fiska í hrygningarstofni (neðst, rauðar línur sýna hvar 90% gagnanna liggja). Til hægri: Fjöldi eftir aldri 4-14 ára í hrygningarstofni sýnt fyrir valin ár (bláar súlur sýna 10 ára og eldri). Risaárgangurinn frá 1945 kemur greinilega fram sem 10 ára fiskur árið 1955.

Meðalþyngdir 3 ára þorsks árin 1955–2020 hafa sveiflast mikið milli tímabila. Meðalþyngd var lág 1955–1975 þegar skiptust á heit og köld tímabil, há á síðasta fjórðungi aldarinnar sem leið þegar hitastig var lengst af lágt en sveiflukennt en lág frá aldamótum (mynd 5.1.2). Meðalþyngdir eru því lægstar á þeim árabílum sem sýna mest frávík í hitastigi. Hægur vöxtur á hafísárunum tengist líklega miklum breytingum sem urðu á öllu vistkerfinu á uppeldisslóð þorsks fyrir norðan land þegar frumframleiðni minnkaði verulega¹⁹ og átustofnar hrundu¹⁸.

Almennt má búast við að vöxtur þorsks sé hægari í kaldari sjó^{26,27} og því gætu lægri meðalþyngdir sem sést hafa á hlýjum tímabilum bent til aukinnar samkeppni um fæðu. Meðalþyngd 3 ára þorsks hefur verið tengd stærð loðnustofnsins enda er loðna stór hluti af fæðu þorsks árið um kring og þorskurinn virðist ekki nema að litlu leyti geta bætt sér upp loðnuskort með áti á annarri bráð⁴⁰. Frá aldamótum hefur loðnustofninn farið minnkandi (mynd 5.1.2) sem gæti útskýrt lágar meðalþyngdir 3 ára þorsks. Við það bætist að lítið hefur verið af rækju á uppeldissvæðum þorsks fyrir norðan land, bæði á grunnslóð og djúpslóð²⁴ en rækja er mikilvæg fæða yngri aldurshópa þorsks⁴⁰. Lítið er vitað um stærð loðnustofnsins hlýju árin 1955–1965, en þá var þorskstofninn mjög stór og fæða hugsanlega

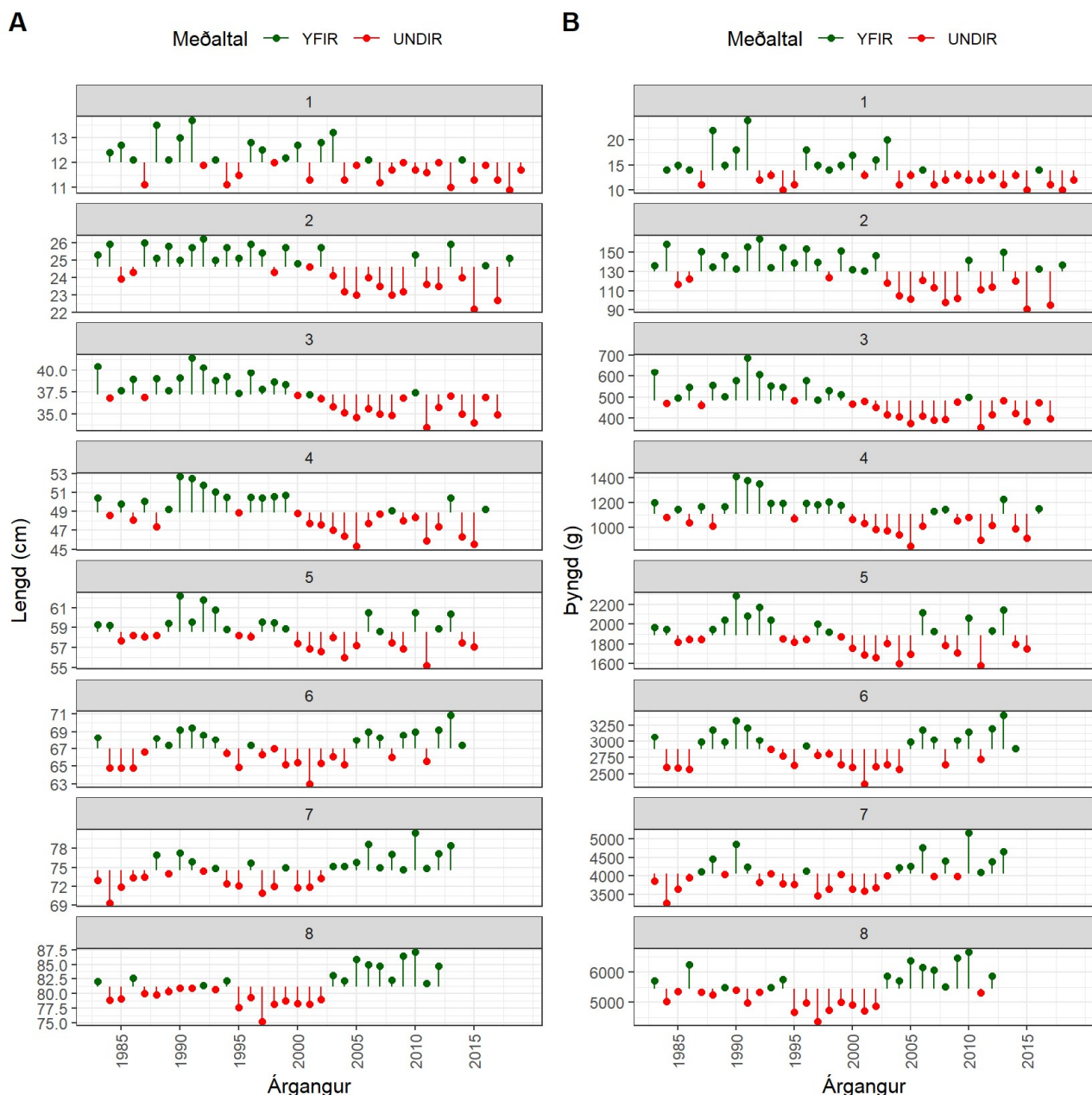
af skornum skammti. Vangaveltur Bjarna Sæmundssonar voru á þessum nótum en hann tengdi óvenju lélegt holdafar þorsks árin fyrir 1930 við annaðhvort skort á loðnu eða fæðusamkeppni innan stórs þorskstofns⁴¹.

Gögn frá SMB spanna samfelldar rúmlega þriggja áratuga (1985–2020) staðlaðar mælingar á meðallengd og meðalþyngd þorsks eftir aldri í marsmánuði (mynd 5.1.7). Breytingar á lengd miðað við aldur annars vegar og þyngd hins vegar haldast í hendur sem sýnir að þyngdarbreytingar má fyrst og fremst rekja til breytilegs vaxtar í lengd. Í þessum gögnum kemur fram að árgangar 1983–2000 uxu hlutfallslega hratt fram til 4 ára aldurs en voru hins vegar í flestum tilfellum undir meðallengd og meðalþyngd við 6–8 ára aldur. Árgangar eftir aldamótin uxu aftur á móti hlutfallslega hægt fyrstu fjögur árin en voru yfir meðallengd sem 6–8 ára fiskur. Nærtækast er að tengja lágar meðallengdir ungþorsks eftir aldamót við minna aðgengi að loðnu og rækju en ekki liggur ljóst fyrir af hverju þessir sömu árgangar náðu rúmlega meðalþyngd og vel það við hærri aldur. Mögulega er skýringin minni sókn eftir aldamót sem veldur því að hraðvaxta fiskar eru ekki veiddir jafn stíft og áður og lifa því lengur. Ástæðan er sú að helstu þorskveiðarfæri velja aðallega stærstu einstaklinga í hverjum aldurshópi, einkum aldurshópana

sem fyrst koma inn í veiðina (3-5 ára). Hugsanlega tengist það einnig breyttu fæðuframboði og breytingum sem verða á fæðuvali með stærð þorsksins⁴⁰.

Hér hefur lítið verið fjallað um stofngerðarbreytileika sem býr í íslenska þorskstofninum og gæti verið lykilatriði varðandi umhverfistengdar stofnsveiflur og þol stofnsins gagnvart umhverfisbreytingum. Hrygningarsvæði finnast allt í kringum landið og sum ár getur framlag minni hrygningarsvæða verið töluvert sem líklega skýrir stöðugleika í nýliðun íslenska þorsksstofnsins⁴². Auk aðskilinna hrygningarsvæða hefur þorskur við Ísland verið aðgreindur í tvo hópa; grunnfarsþorsk og djúpfarsþorsk, sem sýna ólíkt atferli og útbreiðslu á fæðuöflunartíma²⁹. Sýnt hefur verið fram á að arfgerðin *Pan I^{AA}* einkennir

grunnfarsþorsk sem heldur sig á grunnslóð árið um kring en arfgerðin *Pan I^{BB}* einkennir djúpfarsþorsk sem leitar í dýpri sjó og hitaskil til fæðuöflunar⁴³. Um og yfir helmingur íslensks hrygningarsþorsks er þó arfblendinn m.t.t. *Pan* gensins (*Pan I^{AB}*) og sýnir sá hópur fjölbreytilegri fæðugöngur (bæði djúpt og grunnt) en arfhreindir fiskar. Bent hefur verið á að hátt hlutfall arfblendinna fiska gæti því verið hagstætt í sveiflukenndu umhverfi þorsksins⁴⁴. Í rannsókn á erfðaeefni þorsks á tímabilinu 1948–2002 kom fram að hlutfall *Pan I^{BB}* hækkaði með aldri þorsksins en lækkaði jafnframt innan aldurshópa eftir því sem leið á 20. öldina⁴⁴. Þótt áhrif umhverfis hafi ekki verið útilokuð var lækkandi hlutfall *Pan I^{BB}* frekar rakið til vaxandi sóknar fiskiskipa á dýpri mið.



Mynd 5.1.7. Þorskur 1–8 ára. (A) Meðallengd og (B) meðalþyngd árganganna 1983–2019 í stofnmælingu í mars. Grænir punktar sýna gildi yfir meðaltali tímabilsins fyrir hvern aldurshóp; rauðir undir meðaltali. Vigtanir hófust árið 1993 og meðalþyngdir fyrir þann tíma eru áætlaðar út frá lengd.

Sagan sýnir að hlýnun á Grænlandsmiðum eykur vaxtarmöguleika íslenska þorsstofnsins og þá í kjölfar seiðareks til Vestur-Grænlands þar sem suðlægir hafstraumar gera aðstæður lífvænlegar fyrir þorsk á hlýjum tímabilum^{5,15,17}. Á landgrunni Austur-Grænlands er kaldur pólsjór allsráðandi en þar finnast þó hitaskil þar sem fæðuskilyrði geta verið hagstæð og á hlýjum tímabilum hrygnir þorskur á því svæði. Með hlýnandi sjó undanfarna tvo áratugi hefur meira orðið vart við þorsk á landgrunninu við Austur-Grænland og líklegt er að það sé frekar *Pan I^{BB}* arfgerðin sem geti nýtt sér þessi svæði (djúpfar). Erfðarannsókn á þorski við Vestur- og Austur-Grænland árin 2003–2006 sýndi að *Pan I^{BB}* arfgerðin var mun algengari en *Pan I^{AA}* í útköntum en því var öfugt farið innfjarða⁴⁵.

Samantekt

Hlýnun hafsvæðanna umhverfis Ísland getur haft mikil áhrif á útbreiðslu og framleiðni íslenska þorsstofnsins, m.a. vegna breytinga sem verða á grænlenka landgrunninu. Ef lítið er áratugi og aldir aftur í tímann hafa tímabil hlýinda haft jákvæð áhrif á stofnstærð og framleiðni þorsstofnsins. Að einhverju leyti hafa slík áhrif komið fram við þær hlýju aðstæður sem nú ríkja á Íslandsmiðum, a.m.k. hvað varðar aukinn lífmassa og langlífi einstaklinga en það tengist því einnig að veiðialag hefur ekki verið lægra í meira en hálfa öld. Þrátt fyrir að stækkandi hrygningarstofni og víðari aldursdreifingu hafi fylgt aukin þorskgengd á helstu hrygningarsvæðum undanfarin 15 ár og fjöldi 1 árs þorsks í stofnmælingum hafi aukist samfara því hefur það ekki skilað sér í stórum árgöngum í veiðistofni. Þó að hækkandi sjávarhiti á Íslandsmiðum geti í sumum tilfellum haft

jákvæð áhrif á vaxtarhraða og nýliðun, geta einnig komið fram neikvæð áhrif þegar magn helstu fæðu þorsks, þ.e. loðnu og rækju sem eru kaldsjávartegundir, minnkar.

Dánartíðni yngstu árganga þorsks af völdum afráns er líklega mest þegar stofn afræningja er stór, fæðuframboð afræningja lítið, og vöxtur þorskungviðis hægur. Afránstíðni minnkar með aukinni stærð bráðarinnar og hægvoxta þorskungviði er því lengur að komast úr „afránsglugganum“^{46,47}. Einnig eykur hærri sjávarhiti orkuþörf afræningja sem gæti aukið afránstíðni á ungborski. Undanfarin 15 ár virðast aðstæður á Íslandsmiðum hafa stuðlað að hlutfallslega miklum náttúrulegum afföllum á ungborski (1–3 ára): Seiði hafa verið smá, stofn helsta afræningjans (þorskur) stór, og hitastig hátt. Þessir þættir geta takmarkað nýliðun og vöxt þorsstofnsins en hlutfallsleg áhrif þeirra eru ekki þekkt.

Þrátt fyrir hagstæðar umhverfisaðstæður hafa enn ekki komið fram vísbendingar um vaxandi þorskgengd við Vestur-Grænland eða umtalsverðar göngur þaðan til Íslands og alls ekki í líkingu við það sem var á hlýju árunum um miðbik síðustu aldar. Sá mikli þorskafli, sem fékkst hér við land á árunum fyrir og eftir seinni heimsstyrjöldina, tengdist nokkrum stórum og jafnvel gríðarlega stórum árgöngum sem að hluta til ólust upp við Grænland og héldu hver um sig uppi góðri veiði við Grænland og Ísland um árabíl. Skilyrði fyrir slíkum atburðum virðast nú hafa verið fyrir hendi í rúman áratug, a.m.k. hvað varðar hitastig sjávar við Grænland og stærð og aldurssamsetningu hrygningarstofnsins við Ísland. Lítið er þó vitað um rek þorsklirfa frá íslenskum hrygningarsvæðum eða afkomu þeirra og engar vísbendingar eru enn um sterka nýliðun þorsks við Vestur-Grænland.

5.2 Ýsa (*Melanogrammus aeglefinus*)

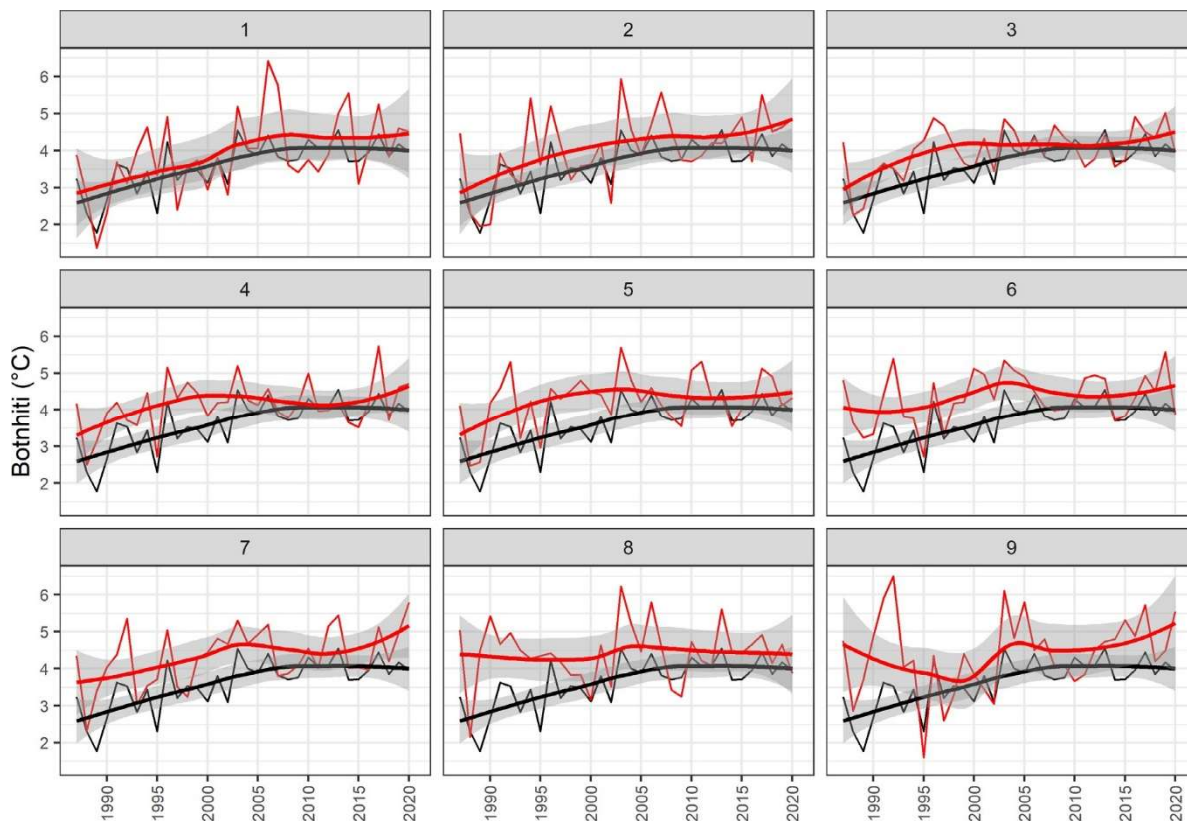
Ingibjörg G. Jónsdóttir og Jón Sólmundsson
Hafrannsóknastofnun

Ýsa er ein af mikilvægari tegundum botnfiska á Íslandsmiðum, bæði efnahagslega og vistfræðilega. Árlegur afli hefur sveiflast á bilinu 12–120 þúsund tonn frá árinu 1920; mestur afli fékkst árið 1962 en minnstur árið 1944. Ýsa finnst allt í kringum landið en hún er grunnsævisfiskur sem heldur sig aðallega á 10–200 m dýpi þó að hún geti farið niður á 300 m dýpi eða jafnvel meira⁴⁸. Almenn er ýsa fremur staðbundin, bæði sem ókynþroska og kynþroska fiskur. Merkingar sýna að þótt ýsa sé almennt staðbundnari en þorskur á hún það til að ganga langar vegalengdir milli svæða, t.d. frá Skjálfanda að Reykjanesi og frá Vestmannaeyjum austur fyrir land⁷. Hins vegar eru engar vísbendingar um göngur ýsu milli Íslandsmiða og annarra hafsvæða⁷. Stofninn við Ísland er talinn sérstofn sem er aðskilinn frá öðrum ýsustofnum í Norður-Atlantshafi nema hugsanlega með einni undantekningu en á hlýskeyðum á ýsa það til að finnast á Grænlandsmiðum en talið er að hún sé upprunnin frá hrygningarsvæðum suðvestur af Íslandi og að egg og ýsulirfur berist með straumum til Grænlands þar semhún elst upp¹⁵. Engar merkingar hafa farið fram á ýsu við Grænland en miðað við hve staðbundin hún hefur reynst við Ísland má telja líklegt að ýsa snúi ekki til baka til Íslands

þegar kynþroska er náð. Hér verður fjallað um breytingar sem orðið hafa á útbreiðslu, framleiðni og líffræði ýsu, með áherslu á undanfarna þrjá til fjóra áratugi en á því tímabili hefur ástand sjávar breyst mikið en á sama tíma hefur gagnasöfnun á ýsu verið umfangsmikil, sérstaklega í stofnmælingu botnfiska í mars (SMB) sem farin hefur verið árlega frá árinu 1985.

Breytingar á útbreiðslu

Við Ísland er ýsa talin vera á mörkum útbreiðslu sinnar vegna kaldra sjógerða sem hindra dreifingu hennar til norðurs. Kjörhitastig ýsu í Norðursjó og við Skotland var metið á milli 6–7°C^{49,50} en milli 4–8°C við Nýfundnaland⁵¹. Í mars, samkvæmt niðurstöðum SMB, er ýsu að finna við Ísland við botnhitastig um eða undir þessum neðstu mörkum við Nýfundnaland ($\leq 4^\circ\text{C}$; mynd 5.2.1). Hún leitar á hlýrri svæði og er í allt að 2°C heitari sjó en sem nemur meðalhitastiginu á útbreiðslusvæðinu. Samfara hækkandi hitastigi á rannsóknatímabilinu hefur ýsa fundist í heitari sjó frá árinu 2005 samanborið við árin á undan en almennt hafa litlar breytingar orðið eftir þann tíma.

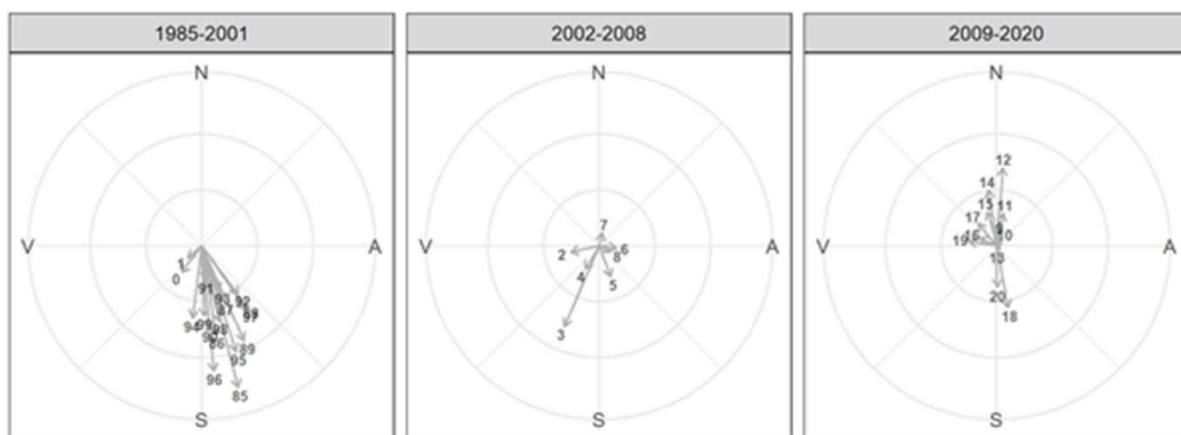


Mynd 5.2.1: Ýsa og hitastig sjávar í mars. Svartar línur sýna meðalhitastig við botn á útbreiðslusvæði ýsu í SMB. Rauðar línur sýna vegið meðalhitastig fyrir hvern aldurshóp 1–9 ára.

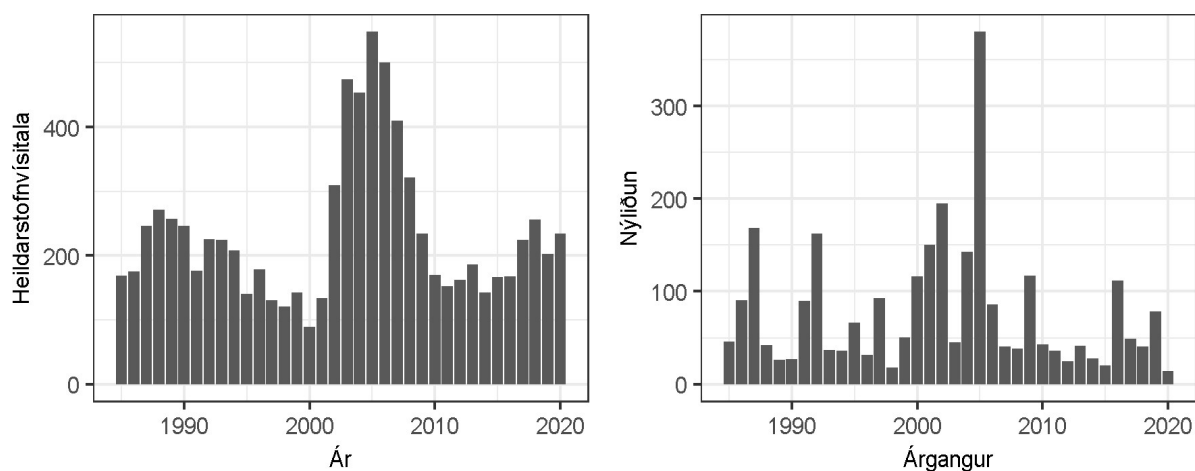
Ýsa finnst allt í kringum landið en þó er meginhluti lífmassa hennar að öllu jöfnu í hlýsjónum fyrir sunnan land líkt og á árunum 1985–2001 (mynd 5.2.2). Í kringum aldamótin urðu til nokkrir stórir árgangar og í kjölfarið stækkaði ýsustofninn hratt. Samfara því jókst magn ýsu fyrir norðan land og á árunum 2009 til 2017 var lífmassinn meiri fyrir norðan en fyrir sunnan landið. Á árunum 2018–2020 breyttist útbreiðsla ýsu aftur til þess sem var árin 1985–2001.

Breytingar á framleiðni og líffræði

Vísitölu um stofnstærð ýsu hefur verið aflað í SMB frá árinu 1985. Vísitala ýsu lækkaði frá árinu 1988 til 2000 þegar hún náði sögulegu lágmarki (mynd 5.2.3). Árgangarnir 1998–2002, að undanskildum 2001, voru allir nokkuð stórir og árgangur 2003 sá stærsti sem mælt hefur. Þessi góða nýliðun leiddi til þess að stofnvísitalan hækkaði til ársins 2005. Eftir það lækkaði hún hratt til ársins 2010 en síðan þá hefur hún hækkað óverulega en á þessum tíma hafa flestir árgangarnir verið fremur litlir⁵².



Mynd 5.2.2: Ýsa 1985–2020. Breytingar á útbreiðslu umhverfis Ísland samkvæmt SMB sýndar með örvum þar sem stefna örva sýna hvar magn ýsu er mest og lengdir örva sýna hve afgerandi munurinn er (stuttar örvar gefa til kynna að ýsa er nokkuð jafndreifð umhverfis landið).



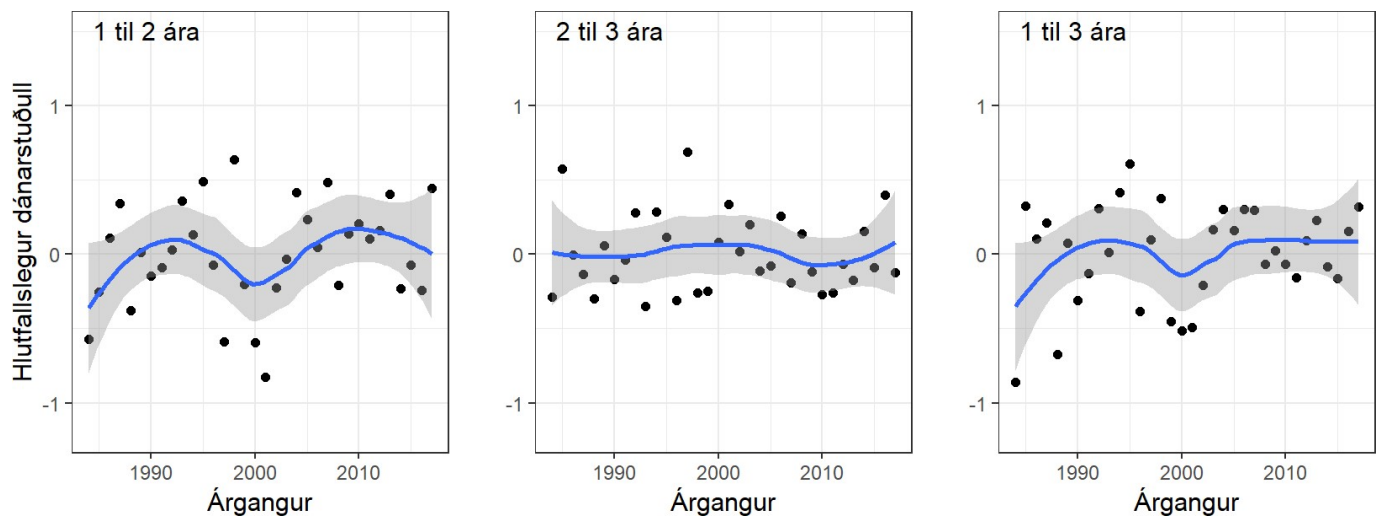
Mynd 5.2.3: Heildarstofnvísitala og nýliðun 2 ára ýsu.

Aðalhrygningarsvæði ýsu er við suðvesturströndina í apríl–maí og mælingar á árunum 1976–1981 sýndu mestan þéttleika eggja á því svæði⁵³. Egg og lirfur reka með Norður-Atlantshafsstraumnum og strandstraumnum réttisælis með landinu á uppeldissvæði vestur og norður af landinu. Breytileiki í innflæði Atlantshafssjávar hefur áhrif á aðstæður á uppeldissvæðunum fyrir norðan landið⁵⁴. Kjörhitastig ýsulirfa er 4–10°C⁵⁵ en í maí er hitastig sjávar fyrir norðan land um eða undir 4°C sem er fremur lágt fyrir ýsulirfur. Undantekningar eru þegar öflugt streymi hlýsjávar fer inn á norðurmið líkt og gerðist árið 2003 þegar mjög mikið af ýsuseiðum var á svæðinu fyrir norðan og leiddi það til stærsta árgangs ýsu sem mælst hefur. Slík hitafrávik eru líkleg til að stuðla að betri lífsskilyrðum og lægri dánartölu ungvíðis.

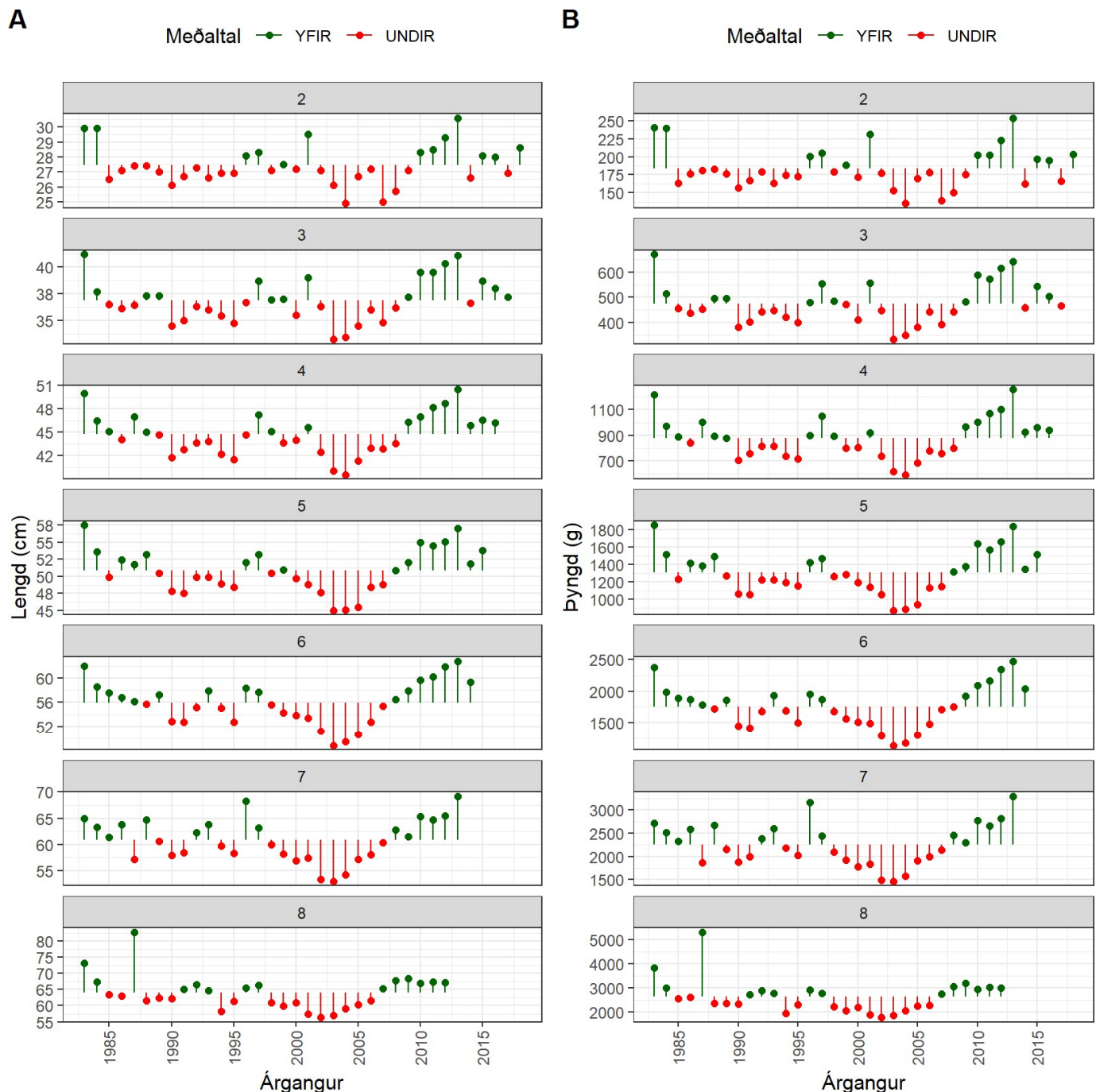
Miklar sveiflur í stofnstærð ýsu má rekja til sveiflna í nýliðun. Líkt og hjá ýsustofnum á öðrum hafsvæðum hefur nýliðun ýsu verið mjög sveiflukennd í gegnum tíðina og er sveiflukenndari miðað við aðra botnlæga fiska, eins

og þorsk⁵⁶. Umhverfisþættir hafa mikil áhrif á nýliðun en ekki er hægt að tengja sveiflur í nýliðun ýsu eingöngu við hitastig sjávar þar sem aðrir þættir, líkt og lirfurek og fæðuframboð, hafa einnig áhrif. Styrkur árganga ræðst á fyrsta aldursárinu samkvæmt samanburði á hlutfallslegum dánarstuðlum ýsu á aldrinum 1–3 ára sem sýnir að breytileikinn milli ára er lítill hjá þessum aldurshópum (mynd 5.2.4). Stærð hrygningarstofns virðist hafa lítil áhrif á nýliðun ýsu en samband milli hrygningarstofns og nýliðunar var lélegt á árunum 1962–1980⁵⁷ og 1985–2020⁵² sem felur í sér að lítill hrygningarstofn getur gefið af sér ýmist stóra eða litla árganga.

Ýsa er hraðvaxta fyrstu árin en vöxtur hennar við Ísland er breytilegur (mynd 5.2.5), mestur í hlýsjónum fyrir sunnan land en minnkar eftir því sem norðar og austar dregur þar sem hitastig sjávar er lægra⁵⁸. Að auki má greina mun í vexti milli nálægra svæða við suðurströndina en það gæti verið vegna þess hve ýsa er staðbundin og sýnir lítið far⁵⁸.



Mynd 5.2.4: Breytingar á hlutfallslegum dánarstuðli eftir aldri og árgöngum, reiknað út frá breytingum á fjöldavísitölu í SMB.



Mynd 5.2.5: (A) Meðallengd og (B) meðalþyngd árganganna 1983–2019 í SMB í mars. Grænir punktar sýna gildi yfir meðaltali tímabilsins fyrir hvern aldurshóp; rauðir undir meðaltali. Vigtanir hófust árið 1993 og meðalþyngdir fyrir þann tíma eru áætlaðar út frá lengd.

Stærð árganga hefur mikil áhrif á meðallengdir og -þyngdir ýsu, bæði stóru árganganna en einnig þeirra árganga sem á undan og eftir koma. Margir árgangar ýsu deila sama fæðusvæði og með tilkomu stórra árganga eykst samkeppni um fæðu og fæðuframboð minnkar. Þetta kemur greinilega fram í lágum meðallengdum og þyngdum hjá árgöngunum sem eru að vaxa upp á sama tíma og stóri 2003 árgangurinn (mynd 5.2.5). Meðallengdir og -þyngdir árganga frá 2007 hafa almennt verið yfir meðallagi sem líklega má rekja til minnkandi stofnstærðar ýsu.

Ýsa verður kynþroska við 3–4 ára aldur og að meðaltali fyrr í hlýja en kalda sjónum. Miklar breytingar urðu í kynþroska ýsu hjá árgöngum 1959–1984 við Suðvesturland. Í byrjun

tímabilsins urðu ýsur kynþroska á litlu aldursbili og nær allar voru orðnar kynþroska 4 ára. Þetta breyttist smá saman og í lok tímabilsins var hluti ýsanna kynþroska fyrr en jafnframt á breiðara aldursbili þannig að einstaka ýsur urðu ekki kynþroska fyrr en við 8 eða 9 ára aldur⁵⁹. Óvíst er hvað olli þessum breytingum en í öðrum ýsustofnum hafa breytingar í kynþroskaaldri verið útskýrðar með auknu fiskveiðialagi⁶⁰ og umhverfisbreytum⁶¹.

Helsta fæða ýsu eru ýmis botndýr, svo sem burstaormar og slöngustjörnur, en einnig svifdýr svo sem ljósáta⁶². Ýsa er tækifærissinni og því geta aðrar tegundir, sem eru í miklu magni á ákveðnum svæðum eða ákveðnum tíma, orðið mikilvæg fæða um tíma. Breytingar í fæðuvali eru

sérstaklega áberandi í mars þegar loðna er mikilvæg fæða ýsu^{62,63}. Næringargildi loðnu er meira en annarrar fæðu ýsu og getur því haft jákvæð áhrif á ástand ýsu. Magn loðnu í fæðu ýsu var meira frá árinu 2006 en hefur minnkað í mars frá árinu 2013, sérstaklega hjá minni ýsu⁶³ vegna breytinga á stærð loðnustofnsins og loðnugöngum inn á íslenska landgrunnið. Önnur heppileg fæðutegund er síli og var það algengasta fæðutegundin þar sem það var til staðar fyrir sunnan land⁶⁴ og hefur hrun sílastofnsins eftiraldamót minnkað hlutdeild sílis í fæðu ýsu. Stofnstærð og útbreiðsla mikilvægra fiskbráðar, þ.e.a.s. loðnu og sílis, hefur því áhrif á fæðuval og væntanlega afkomu ýsu.

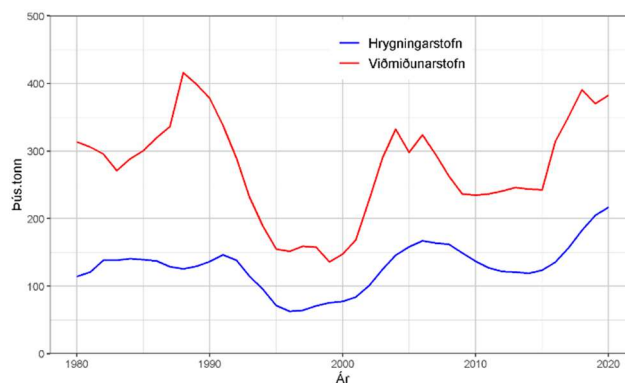
Samantekt

Við Ísland er ýsa við norðurmörk útbreiðslusvæðis síns og þó hún finnist allt í kringum landið hefur hún verið í mestu magni í hlýsjónum suður af landinu fyrir utan árin 2009–2017 þegar lífmassi ýsu var hærri fyrir norðan land. Hitastig hefur einnig áhrif á vöxt og kynþroska ýsu við Ísland en hún vex hraðar og verður kynþroska fyrr í hlýrri sjó. Aðrir þættir, líkt og stofnstærð, hafa áhrif á meðallengdir og þyngdir því stórir árgangar auka samkeppni um fæðu og stuðla að lægri meðalþyngdum bæði hjá viðkomandi árgangi en einnig árgöngum sem deila með þeim búsvæðum. Nýliðun er mjög sveiflukennd hjá ýsu en afföll fyrsta árið virðast ráða styrk árgangsins þar sem breytileiki í dánarstuðlum er lítill milli 1–3 ára ýsu. Hitastig sjávar hefur því áhrif á útbreiðslu, vöxt og kynþroska ýsu og líklegt að það hafi einhver áhrif á nýliðun, a.m.k. hefur aukinn styrkur innflæðis Atlantssjávar norður fyrir land jákvæð áhrif á nýliðun, og þar með stofnstærð, ýsu við Ísland.

5.3 Aðrir botnfiskar

Klara Jakobsdóttir, Ásgeir Gunnarsson, Guðjón Sigurðsson, Kristján Kristinsson og Magnús Thorlacius Hafrannsóknastofnun

Síðustu áratugi hafa átt sér stað margvíslegar breytingar á útbreiðslu og stofnstærð fjölmargra tegunda botnfiska, mjög líklega vegna breytinga á sjávarhita en einnig er líklegt að þróun veiða ráði þar nokkru. Breytingar á sjávarhita geta haft margvísleg bein og óbein áhrif á marga þætti í lífssögu fiskistofna, svo sem fæðuframboð, vaxtarhraða og nýliðun, en áhrifin eru lítt þekkt fyrir hina ólíku fiskistofna við Ísland. Tegundir botnfiska sem hafa fundist á íslensku hafsvæði skipta hundruðum en af þeim teljast u.þ.b. tuttugu til mikilvægra nytjategunda. Í fyrri köflum var farið yfir stöðu þekkingar á stofnum þorsks og ýsu en í þessum kafla rekjum við stöðu þekkingar á nokkrum öðrum mikilvægum nytjategundum botnfiska, ufsa, gullkarfa, grálúðu, hlýra, skötusel og ýmsum tegundum flatfiska. Einnig verður fjallað um breytingar á magni og útbreiðslu nokkurra algengra tegunda botnfiska sem ekki teljast til nytjategunda.



Mynd 5.3.1. Hrygningarstofn (blátt) og viðmiðunarstofn (rautt) ufsa⁶⁵.

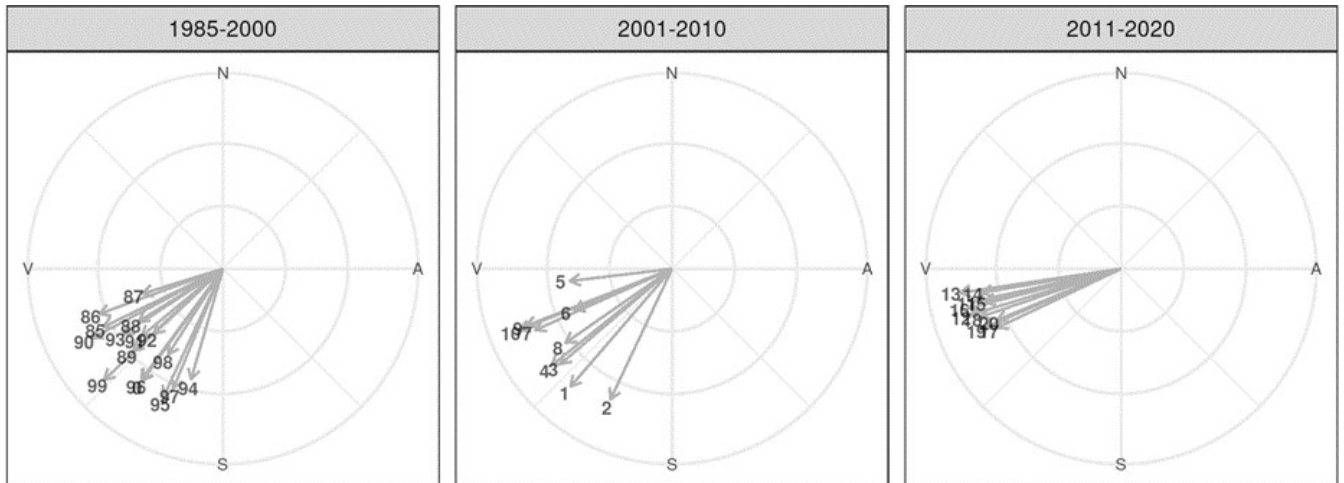
5.3.1 Ufsi (*Pollachius virens*)

Ufsi er talinn vera bæði botn- og uppsjávarfiskur þar sem fullorðinn ufsi heldur sig bæði uppi í sjó og við botn. Fæða hans bendir þó til þess að hann nærir sig helst í uppsjó. Ufsi við Ísland finnst mest við 4–12°C. Hrygning ufsa fer aðallega fram í hlýsjó fyrir suðvestan land í febrúar – mars. Seiðin (3–5 cm) halda sig grunnt en um 2 ára aldur flytur ufsinn sig á dýpri hafsvæði og verður kynþroska 4–7 ára. Útbreiðsla ufsa er allt í kringum landið en mesti þéttleikinn er þó við suður- og suðvesturströndina. Á síðustu árum hafa orðið breytingar á útbreiðslu ufsa og fara nú veiðarnar fram í síauknum mæli fyrir vestan, norðvestan og norðan land⁶⁵. Viðmiðunarstofn ufsa er hár um þessar mundir og er hrygningarstofninn talinn vera í sögulegu hámarki (mynd 5.3.1). Hins vegar er stofnmat ufsa talið ónákvæmt og er helsta orsök mikill breytileiki í stofnvísitölum sem útskýrist af miklum breytileika í aflabrogðum. Bætt fiskveiðistjórnun er talin hafa leitt til stækkunar á stofninum en ekki er hægt að útiloka áhrif hækkingar sjávarhita.

5.3.2 Gullkarfi (*Sebastes norvegicus*)

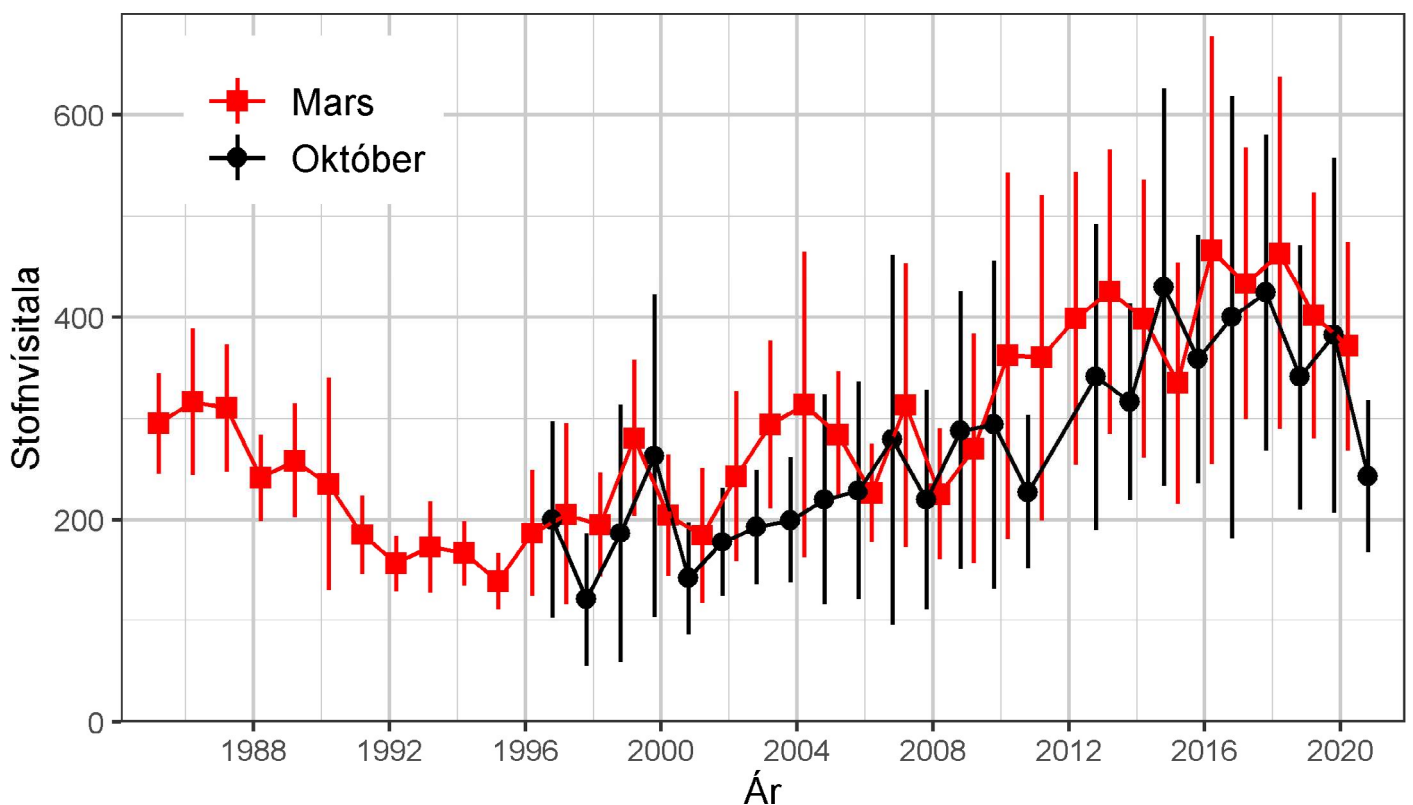
Karfategundir eru langlífir, hægvoxta og seinkynþroska en slíkar tegundir eru jafnan viðkvæmar fyrir miklu veiðiálagi. Gullkarfi getur orðið meira en 40 ára gamall og nær kynþroska að meðaltali 8–12 ára og verða hængar kynþroska fyrr en hrygnur. Gullkarfi getur orðið allt að 90 cm langur („aldamótakarfi“) en verður þó sjaldan lengri en 60 cm. Í afla er 35–50 cm karfi algengastur. Karfategundir fæða lifandi afkvæmi. Innri frjóvgun á sér stað og því klekjast egginn í gotu hrygnunnar. Mökun er á haustin en got á vorin. Aðaluppeldissvæði gullkarfa er við Austur-Grænland og Ísland. Gullkarfi telst til botnfiska þó að hann sé í raun bæði botn- og miðsjávarfiskur. Hann er algengastur á 100–400 m dýpi í 3–8°C heitum sjó. Hann heldur sig við botn að degi til en leitar upp í sjó að nóttu til.

Gullkarfi á Íslandsmiðum, í kringum Færeyjar og við Austur-Grænland er skilgreindur sem ein stjórnunareining. Við Ísland er gullkarfa að finna allt í kringum landið en hann er algengastur í hlýja sjónum undan Vestur-, Suðvestur-, Suður- og Suðausturlandi. Frá árinu 1985 hefur meginútbreiðsla á gullkarfa í norralli færst norðar og er útbreiðslan vestlægari nú en áratugin á undan. Er talið að þessi tilfærsla tengist hækkingu hitastigi (mynd 5.3.2).



Mynd 5.3.2. Breytingar á meginútbreiðslu gullkarfa við Ísland byggt á afla í vorralli 1985–2020. Tölur vísa í ártöl. Breytingar eru sýndar með örvum þar sem stefna örva sýna hvar magn var mest og lengdir örva sýna hve afgerandi munurinn er (stuttar örvar gefa til kynna nokkuð jafna dreifingu).

Stofnvísitölur gullkarfa í marsralli og haustralli fóru Nýliðun hefur verið léleg undanfarinn áratug en stórir hækkandi frá árinu 2000–2016 en hafa síðan þá lækkað nýliðunarpúlsar koma jafnan á margra ára fresti. þó að þær séu enn háar (mynd 5.3.3)⁶⁶.

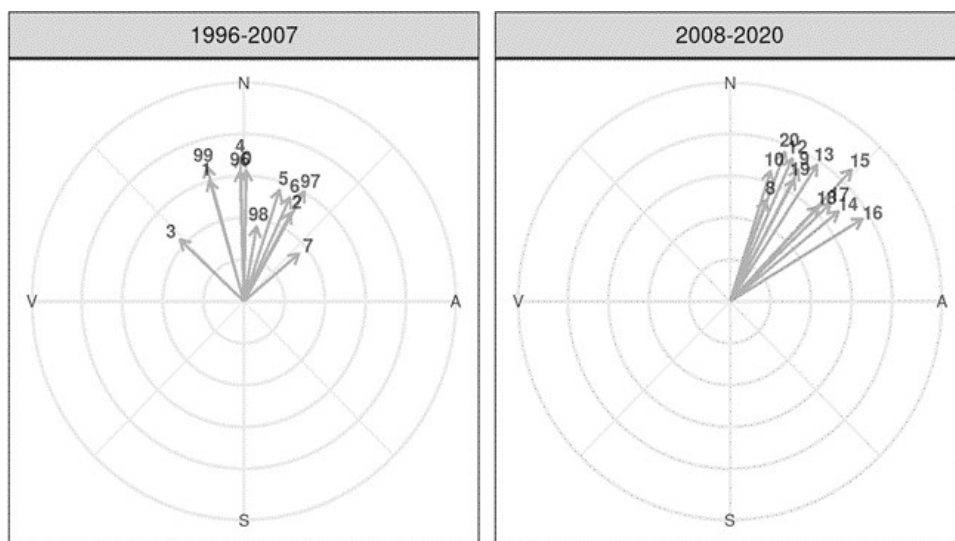


Mynd 5.3.3. mynd. Stofnvísitölur gullkarfa í marsralli 1985–2020 (rauðir kassar) og haustralli 1996–2019 (svartir hringir) ásamt 95% öryggismörkum⁶⁶.

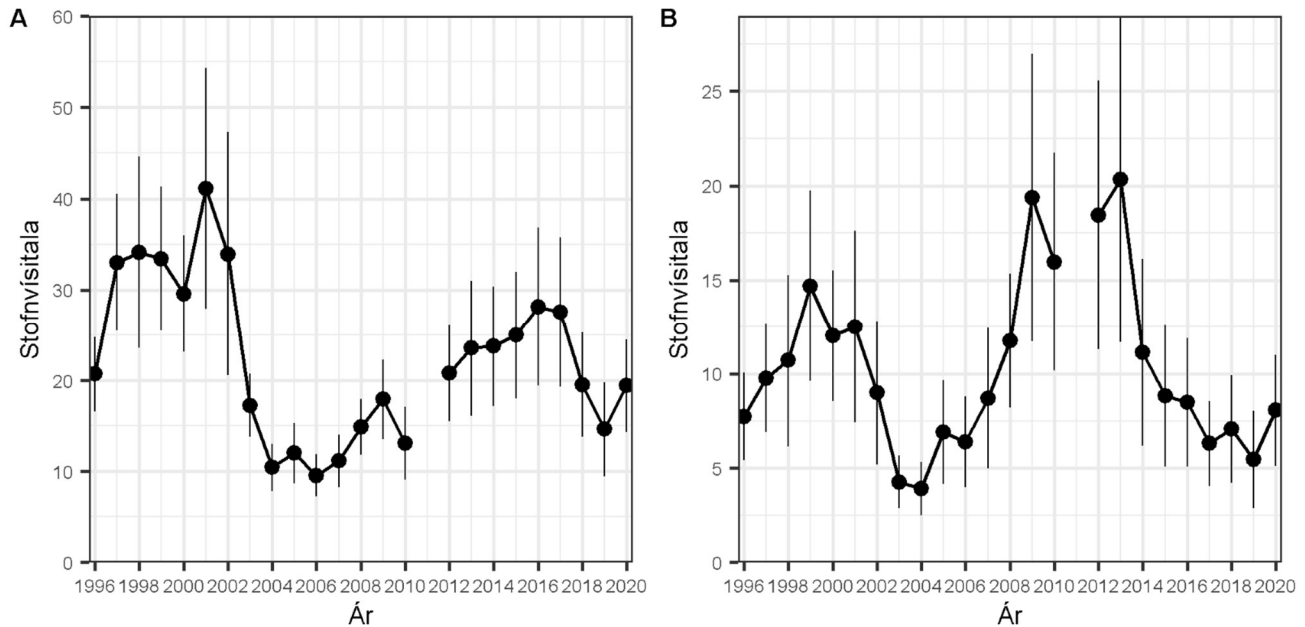
5.3.3 Grálúða (*Reinhardtius hippoglossoides*)

Grálúða er djúpsjavar- og kaldsjávarfiskur af ættbálki flatfiska sem lifir á mörg hundruð metra dýpi við norðvestur-, norður- og austurströndina. Hún heldur oft til í hitaskilum, á mótum kaltra og hlýrra strauma en þó aðallega í kaldari sjó. Rafeindamerki sem fest hafa verið við grálúðu benda til að hún haldi sig aðallega við 2–3°C⁶⁷ en aðrir lífshættir grálúðu við Ísland eru enn að mörgu leyti óþekktir. Stofngerðin er flókin og er grálúða hér við land talin tilheyra stærra stofni með útbreiðslu frá Austur-Grænlandi til Færeyja og jafnvel norður til Jan Mayen og Noregs en bæði merkingar og erfðafræðirannsóknir benda til frekari blöndunar stofnsins í Norður-Atlantshafi^{68,69}. Hún virðist því vera mikil flökkutegund sem er talin vaxa hægt og lifa lengi. Hún er talin ná kynþroska við

9–12 ára aldur og hrygna á um 1000 m dýpi í sjónum á milli Grænlands og Íslands aðallega frá janúar til apríl. Dýptardreifing grálúðu getur verið breytileg eftir aldri og svæðum. Hrogn eru stór og tiltölulega fá og afföll mikil. Rannsóknir á grálúðu í Beringssundi benda til að hún leiti dýpra með hækkun hitastigi sjávar⁷⁰ og vegna hlýnunar við Austur-Grænland hafa orðið breytingar á því fiskasamfélagi sem grálúða lifir í⁷¹. Meginútbreiðsla grálúðu hér við land hefur færst austar (mynd 5.3.4) og er þessi breyting einkum rakin til breytinga á veiðialagi, svo sem vegna aukinna veiða við Austur-Grænland⁷². Mikil niðursveifla var í stofnstærð grálúðu á árunum 2002 til 2010 (mynd 5.3.5) en veiðistofninn hefur verið stöðugur undanfarin ár og yfir skilgreindum gátmörkum⁷².



Mynd 5.3.4. Breytingar á meginútbreiðslu grálúðu við Ísland byggt á afla í haustralli 1996–2020. Tölur vísa í ártöl. Breytingar eru sýndar með örvum þar sem stefna örva sýna hvar magn var mest og lengdir örva sýna hve afgerandi munurinn er (stuttar örvar gefa til kynna nokkuð jafna dreifingu).



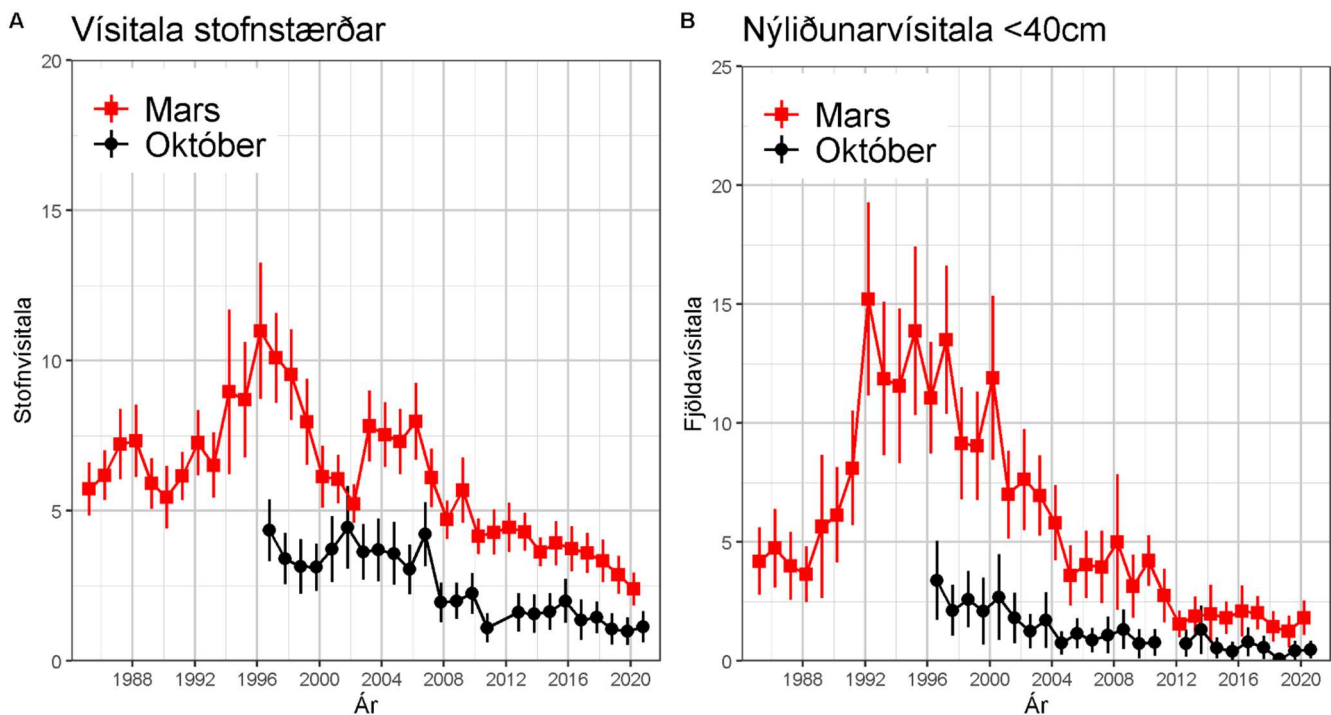
Mynd 5.3.5. Vísitölur veiðistofns grálúðu (A) og ungfisks (B) í haustralli 1996-2020 ásamt 95% öryggismörkum⁷³.

5.3.4 Hlýri (*Anarhichas minor*)

Hlýri finnst allt í kringum landið en er algengari í kantinum út af Vestfjörðum og fyrir norðan land, á 100–700 m dýpi, aðallega á leir- eða sandbotni. Hann verður almennt kynþroska um 9 ára gamall og fer hrygningin fram í ágúst til nóvember. Samkvæmt haustralli Hafrannsóknastofnunar hrygnir hlýri víða umhverfis Ísland en mest út af Vestfjörðum, einkum út af Víkurálnum og á Halanum.

Stofnvísitala hlýra hefur almennt farið lækkandi frá árinu

1996 þegar veiðar á hlýra byrjuðu að aukast og er hún núna í sögulegu lágmarki (mynd 5.3.6). Þessi lækkun á stofnvísitölu er talin tengjast miklu veiðiálagi en einnig hefur nýliðunarvísitala verið með allra minnsta móti. Rannsóknir hafa sýnt að mikilvægir þættir í líffræði hlýra, svo sem hrygning og klak, eru háðir þröngu hitabili og því er nýliðun viðkvæm fyrir hækkandi hitastigi sjávar⁷⁴.



Mynd 5.3.6. Hlýri. Stofnvísitala (A) og nýliðunarvísitala (<40 cm, B) úr marsralli (rautt) frá árinu 1985 og haustralli (svart) frá árinu 1996 ásamt öryggismörkum⁷⁵.

5.3.5 Skötuselur (*Lophius piscatorius*)

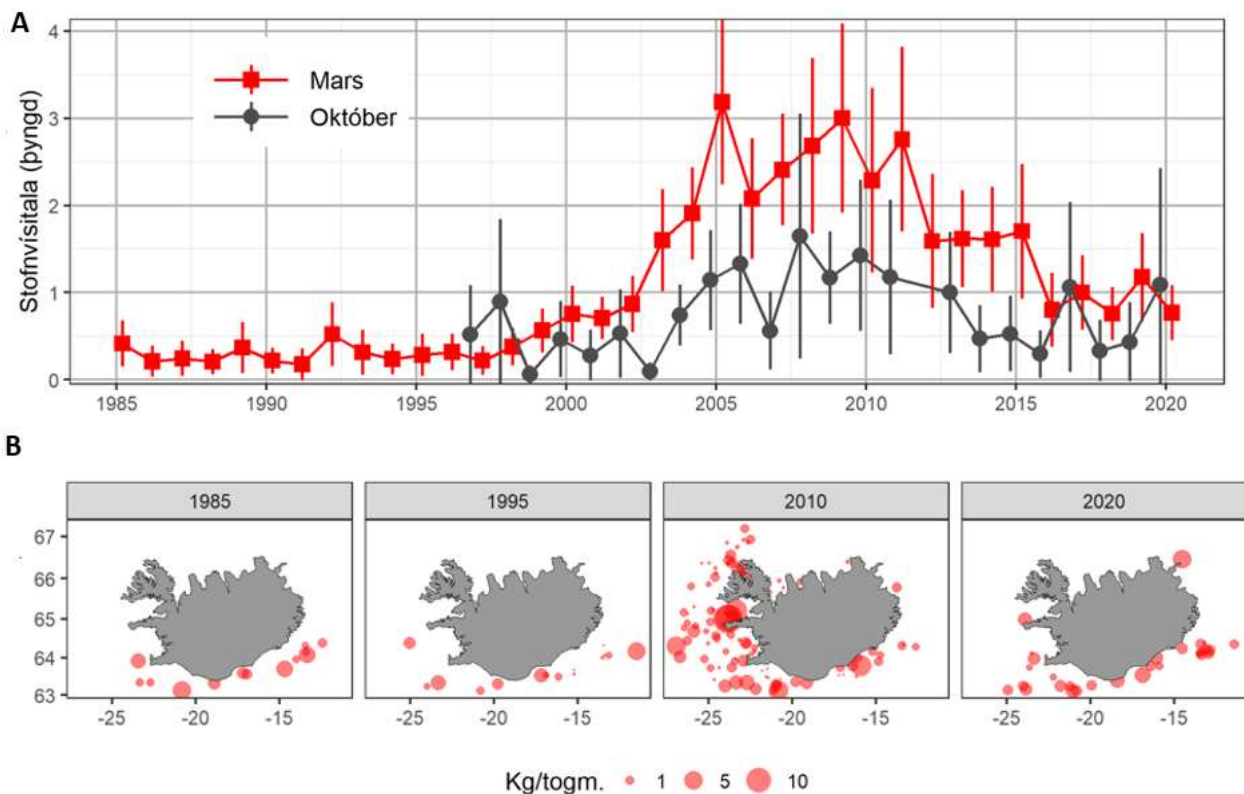
Skötuselur er algengastur suður og vestur af landinu, allt frá grunnslóð og niður á 1800 m dýpi. Hann hrygnir á djúpslóð sunnan og suðvestan við Ísland en egginn, sem eru bundin í eins konar borða, rekur á grunnslóð. Þar klekjast lírfurnar út nærri yfirborði og seiðin leita botns við 5–9 cm lengd. Skötuselur er talinn vaxa hratt fyrstu árin og ná kynþroska við 4–6 ára aldur og er þá 40–80 cm að lengd, hrygnur eldri og stærri en hængar. Mikil aukning varð á útbreiðslu skötusels í kjölfar hlýnunar á tíunda áratugnum þar sem útbreiðslan teygði sig réttssælis meðfram Vestur- og Norðvesturlandi með hækkandi sjávarhita⁷⁶. Útbreiðsla hans hefur þó dregist saman undanfarin ár og er orðin lík því sem var fyrir aldamótin (mynd 3.5.7 B). Vísitölur skötusels fóru ört vaxandi eftir aldamótin sem endurspegladist í háum afla á árunum 2003–2012. Hins vegar hafa vísitölur lækkað verulega á undanförunum árum (mynd 5.3.7 A)⁷⁷. Í kjölfar meiri útbreiðslu og auknu magni má segja að sprengja í nýliðun hafi orðið á árunum 2005–2008 en hún minnkaði verulega eftir það. Undanfarinn áratug hefur lítil sem engin nýliðun mælst á Íslandsmiðum. Nýliðunarbrestur sem virðist einkenna margar tegundir botnfiska er talinn tengjast umhverfisbreytingum í hafinu.

5.3.6 Aðrir flatfiskar

Nýliðunarbrestur er orðinn langvinnur hjá flatfiskategundum með suðræna útbreiðslu, þ.e. langlúruog stórkjöftu. Þrátt fyrir það hefur langlúrustofninn nokkurn veginn haldist stöðugur vegna minnkandi veiðialags og aldursgögn benda til að stofninn sé að verðastærri og eldri með ári hverju⁷⁸. Langlúra er aðallega veidd fyrir sunnan land á humarslóð en þó sýna niðurstöður vor- og haustralls að hana er að finna í töluverðu magni fyrir norðan land. Ástandið er verra hjá stórkjöftu þar sem nýliðun minnkaði mikið eftir 2010 og hefur verið lág síðan⁷⁹. Þetta langvarandi ástand hefur leitt til töluverðrar minnkunar á stórkjöftustofninum og líkt og hjá langlúru eru þeir fiskar sem veiðast stærri og eldri með hverju ári sem líður.

Samkvæmt vor- og haustralli breyttist útbreiðsla sandkollaog skrápflúru töluvert í kringum 2005 og á sama tíma minnkaði stofnstærð beggja tegunda mikið og er nú í lágmarki^{80,81}. Óljóst er í hve miklum mæli annars vegar umhverfisbreytingar og hins vegar ofveiði leiddu til þessara breytinga.

Útbreiðsla þykkvalúru hefur lítið breyst á undanförunum 25 árum og er helst að finna við Vesturland og suðurströndina. Töluverð aukning varð í stofnmælingum í kringum árið 2003, og náði stofninn hámarki í vor- og



Mynd 5.3.7. A) Stofnvísitölur skötusels í marsralli 1985–2020 (rautt) og haustralli 1996–2019 (svart) ásamt 95% öryggismörkum. B) Útbreiðsla skötusels í vorralli árin 1985, 1995, 2010 og 2020⁶³.

haustralli milli 2006 og 2010, en síðan þá hefur stofninn minnkað aftur og er kominn í svipaða stöðu og hann var fyrir þessa hröðu aukningu⁸².

Stofnvísitölur skarkola hafa verið stöðugar frá því í kringum 1990 en svo virðist sem stofninn hafi verið töluvert stærri fyrir 1990 ef marka má fyrstu mælingar í vorralli. Ólíkt sandkola og skrápflúru hefur magn skarkola í vorralli aukist á síðustu 10 árum fyrir suðaustan en á sama tíma minnkað fyrir norðvestan. Svipað mynstur má sjá í haustralli en þó finnst skarkoli í mestu magni fyrir norðvestan land á þeim árstíma⁸³.

Lúðustofninn við landið hrundi í kringum 1990 og hefur enn ekki náð sér þrátt fyrir að veiðibanni hafi verið komið á árið 2012. Ofveiði er líklega ástæða hrunsins en lúður eru hægvoxta og verða seint kynþroska, og því mun taka áratugi að byggja upp stofninn á ný⁸⁴.

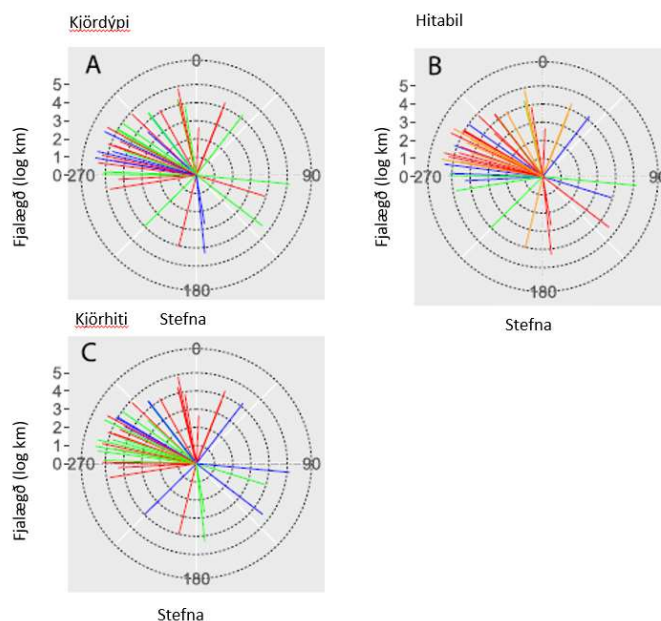
Flundra er tiltölulega ný tegund sem byrjaði að nema land á Íslandi upp úr aldamótum og er talið að lifur hennar hafi borist hingað með kjölfestuvatni⁸⁵. Áhrif landnáms hennar á lífríkið eru enn að mestu leyti óþekkt⁸⁶.

5.3.7 Aðrar tegundir

Í kjölfar hlýnunar, sem hófst fyrir aldamót, hafa mælingar Hafrannsóknastofnunar í hinum árlegu togaraðöllum sýnt að stofnvísitölur margra botnlægra kaldsjávartegunda á landgrunninu og landgrunnsbrúninni fyrir norðan og austan land hafa farið lækkanði. Dæmi um slíkar tegundir eru áttstrendingur, krækill og nokkrar tegundir mjóra⁶³. Jafnframt lækkan á stofnvísitölu breyttist einnig útbreiðsla sumra en ekki allra tegundanna. Upp úr aldamótum fór magn ýmissa suðlægra tegunda, svo sem geirnytar, aftur á móti vaxandi við sunnanvert landið⁸⁷. Önnur dæmi eru litla brosma, loðháfur, svartgóma og urrari. Þessar tegundir voru óalgengar milli 1985–1990 en eftir 2010 hefur fjöldi þeirra aukist mikið⁶³. Á árunum upp úr aldamótum fannst töluverður fjöldi áður óþekktra tegunda og aðrar sjaldgæfari urðu algengari⁸⁸. Hins vegar hefur magn margra þeirra suðlægu tegunda, sem jukust upp úr aldamótum, farið aftur lækkanði undanfarin ár^{63,89}. Dæmi um slíkar tegundir á grunnslóð eru skötuselur, lýsa, blálanga, litla brosma og urrari⁶³. Á djúpslóð hafa vísitölur fjölmargra tegunda, svo sem hjá stinglaxi og ingólfshala, minnkað undanfarin ár auk þess sem algjört hrun virðist hafa orðið í slétthalastofninum⁷³. Sumar tegundir, t.d. silfurkóð og trjónuhali, sem voru sjaldgæfar fyrir hlýnun og jukust um tíma hafa nær alveg horfið aftur. Aftur á móti hefur vísitala sumra tegunda eins og svartgómu, ugga og digra geirsílis haldist há frá aukningu sem varð fyrir um áratug^{63,73}.

5.3.8 Breytingar á fiskasamfélagum við Ísland

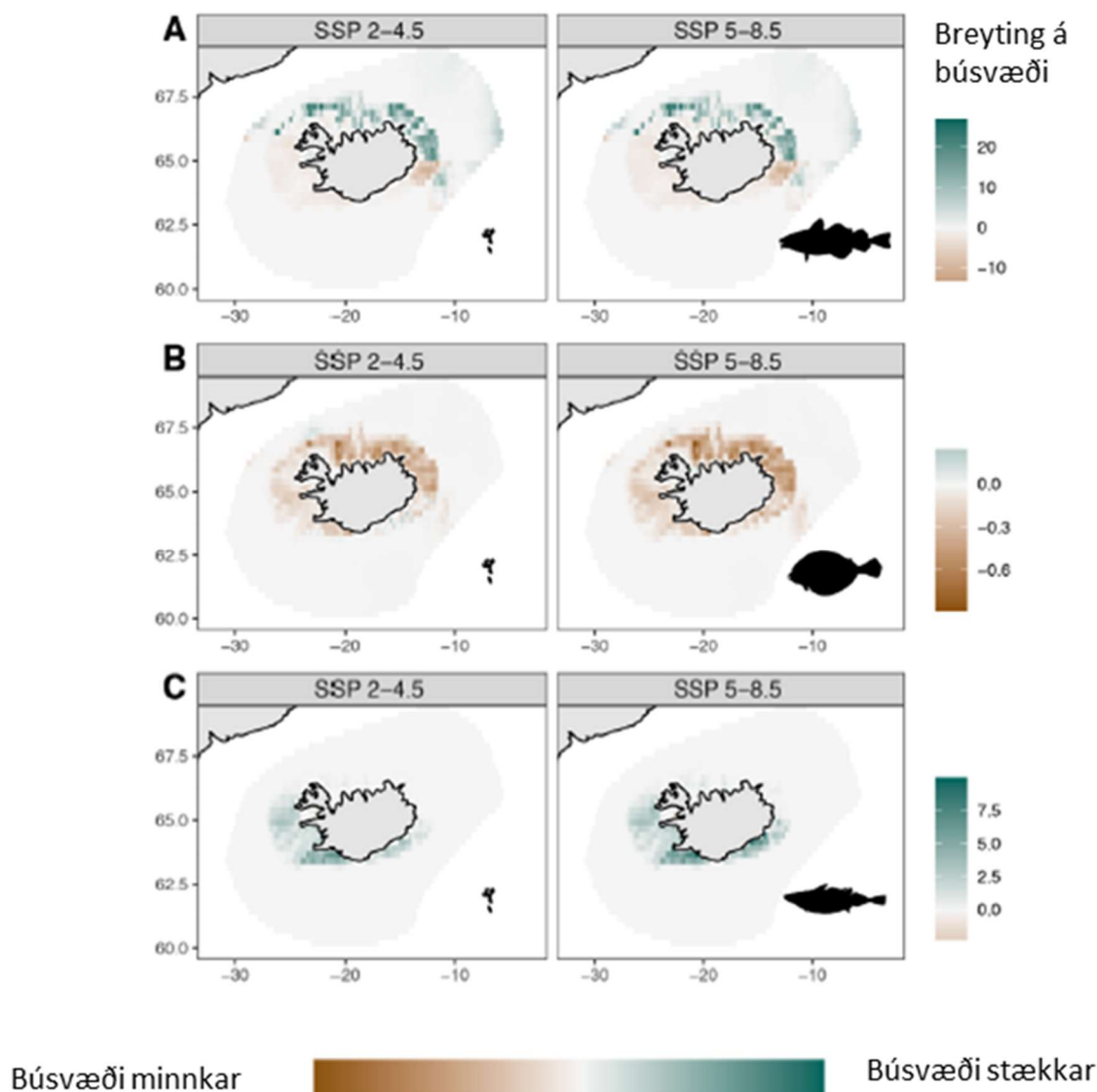
Árið 2020 birtist vísindagrein um útbreiðslu áttatíu og tveggja fisktegunda í sjónum umhverfis Ísland að haustlagi yfir tuttugu ára skeið⁹⁰. Alls reyndist útbreiðsla helmingis tegundanna hafa breyst og langflestar sýndu tilfærslu til vesturs, norðvesturs eða norðurs. Þessar breytingar á útbreiðslu voru mest áberandi hjá tegundum á grunnslóð og þá sérstaklega hlýsjávartegundum og þeim sem lifa við þröngt hitabil á Íslandsmiðum (e. *stenothermal*) (mynd 5.3.8). Tilfærsla tegundanna samfara 1°C hækkun sjávarhita var metin vera á bilinu 1–326 km og að meðaltali 38 km⁹⁰. Í rannsókninni komu ekki fram greinileg merki þess að tegundir færðu sig í dýpri sjó þegar hlýnaði á landgrunninu, ólíkt því sem sést hefur á öðrum hafsvæðum. Rannsóknin sýndi að útbreiðsla flestra tegundanna jókst með aukinni stofnstærð en þær breytingar voru ekki eins stefnuháðar og þær sem tengdust hækkandi sjávarhita. Rannsóknin sýndi að heimasvæði 7% tegunda færðist til um meira en 100 km við einungis 1°C hækkun hitastigs sjávar. Hækkun um 2–3°C væri því líkleg til að valda verulegum breytingum á útbreiðslu fiska við Ísland.



Mynd 5.3.8. Skífurit sem sýnir tilfærslu 41 fisktegunda í stefnu og fjarlægð síðastliðin 22 ár í haustralli Hafrannsóknastofnunar. A. Hver litur einkennir kjördýpi tegundar, rautt= grunnslóð (<330m), grænt= meðaldýpi (300-800m) og blátt=djúpsjávartegund (>800m). B. Litur táknar það hitabil sem einkennir tegund metið samkvæmt, steno index frá 0–9,5. Rautt og rauðgult= tegundir sem þrífast á þröngu hitabili (0–2,5 og 2,5–5), grænt= meðal hitabil (5–7,5) og blátt= tegundir sem þrífast á mjög víðu hitabili (7,5–9,5). C. Hver litur einkennir kjörhita tegundar. Rautt= kaldsjávartegund (–7– –3°C), grænt= svalsjávartegund (–3–0), rautt= hlýsjávartegund (0–4). Mynd tekin úr Campana o.fl. 2020⁹⁰.

Í annarri vísindagrein, sem verður send til birtingar síðar á þessu ári, eru einnig notuð gögn úr stofnmælingaleiðöngurum Hafrannsóknastofnunar ásamt fimm hnattrænum loftslagslíkönum til að ákvarða út frá hitastigi hvaða búsvæði hæfir best hverri tegund⁹¹. Út frá fyrri breytingum á hitastigi var spáð fyrir um breytingar á yfirborðs- og botnhita Íslandsmiða 80 ár fram í tímann. Haldi sjórinn áfram að hlýna á þessum hraða mun yfirborðshiti hækka um 1,96–2,40°C og botnhitinn um 0,06–0,20°C eftir svæðum. Þær upplýsingar voru notaðar til að spá fyrir umhlutfallslega breytingu á stærð búsvæða (prósent stækkun eða minnkun) fyrir hverja tegund ásamt þeirri stefnu og vegalengd sem meginþungi hvers stofns muni færast (mynd 5.3.9). Eins og við var að búast sýna niðurstöðurnar bætt skilyrði fyrir flestar hlýsjávartegundir ásamt aukinni útbreiðslu í norðurátt. Fyrir kaldsjávartegundirnar var búist við hinu gagnstæða.

Það var sameiginlegt með þessum rannsóknum að vísbendingar um stefnu og breytingar á búsvæði voru ekki einhliða, þ.e. margar tegundir hegðuðu sér á annan hátt en búast mátti við út frá gefnum forsendum. Þannig sýndu sumar tegundir samdrátt búsvæða ólíkt því sem búist hafði verið við⁹⁰. Þessi margbreytilegu viðbrögð í útbreiðslu við breyttum aðstæðum undirstrikar flókið samband hitastigs og líffræði fisktegunda.



Mynd 5.3.9. Myndræn framsetning á spám um breytt búsvæði miðað við tvær sviðsmyndir á þróun hnattrænnar hlýnunar. SSP (Shared Socioeconomic Pathways of societal development) eru mismunandi sviðsmyndir fyrir magn kolefnislosunar. Myndir vinstra megin sýna spár um breytingar miðað við að dregið verði í einhverjum mæli úr kolefnislosun (SSP2–4,5). Myndir til hægri sýna áframhaldandi mikla kolefnislosun (SSP 5–8,5). A) Breytingar á búsvæði þorsks, B) Breytingar á búsvæði skrápflúru, C) Breytingar á búsvæði lýsu (Mynd tekin úr Mason o.fl.2021⁹¹).

Heimildir

1. Drinkwater, K.F. 2005. The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change. ICES Journal of Marine Science. 62, 1327–1337.
2. Righton, D. A., Haste Andersen, K., Neat, F., Thorsteinsson, V., Steingrund, P., Svedang, H., Michalsen, K., Hinrichsen, H.-H., Bendall, V., Neuenfeldt, S., Wright, P., Jonsson, P., Huse, G., van der Kooij, J., Mosegaard, H., Hussy, K. & Metcalfe, J. 2010. Thermal niche of Atlantic cod *Gadus morhua*: Limits, tolerance and optima. Marine Ecology Progress Series. 420, 1–13.
3. Kjesbu, O.S., Bogstad, B., Devine, J.A., Gjøsæter H., Howell, D., Ingvaldsen R.B., Nash, R.D.M. & Skjæraasen, J.E. 2014. Synergies between climate and management for Atlantic cod fisheries at high latitudes. PNAS. 111, 3478–3483.
4. Rose, G.A., DeYoung, B., Kulka, D.W., Goddard, S.V. & Fletcher, G.L. 2000. Distribution shifts and overfishing the northern cod (*Gadus morhua*): a view from the ocean. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 57, 644–663.
5. Hjálmar Vilhjálmsson. 1997. Climatic variations and some examples of their effects on the marine ecology of Icelandic and Greenland waters, in particular during the present century. Rit Fiskideildar. 13, 9–29.
6. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Cod – þorskur.
7. Jón Jónsson. 1996. Göngur þorsks og ýsu við Ísland. Niðurstöður merkinga á árunum 1948–1986. Hafrannsóknir. 50, 96 bls.
8. Ingibjörg G. Jónsdóttir, Jón Sólmundsson, Einar Hjörleifsson, Magnús Thorlacius & Hjalti Karlsson. 2021. Göngur og atferli þorsks: þorskmerkingar við Ísland í rúma öld. Náttúrufræðingurinn [í prentun].
9. Guðbjörg Á. Ólafsdóttir, Westfall, K.M., Ragnar Edvardsson & Snæbjörn Pálsson. 2013. Historical DNA reveals the demographic history of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in medieval and early modern Iceland. Proceedings of the Royal Society B. 281, 20132976.
10. Jón Jónsson. 1994. Fisheries off Iceland, 1600–1900. ICES Marine Science Symposia. 198, 3–16.
11. Árni Friðriksson. 1949. Boreo-tended changes in the marine vertebrate fauna of Iceland during the last 25 years. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer. 125, 30–32.
12. Stein, M. 2007. Warming periods off Greenland during 1800–2005: Their potential influence on the abundance of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) in Greenlandic waters. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. 39, 1–20.
13. Hansen, P.M. 1949. Studies on the biology of the cod in Greenland waters. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer. 123, 1–77.
14. Post, S., Werner, K.M., Núñez-Riboni, I., Chafik, L., Hátún, H. & Jansen, T. 2021. Subpolar gyre and temperature drive boreal fish abundance in Greenland waters. Fish and Fisheries. 22, 161–174.
15. Wieland, K. & Hovgård, H. 2002. Distribution and drift of Atlantic cod (*Gadus morhua*) eggs and larvae in Greenland offshore waters. Journal of Northwest Atlantic Fishery Science. 30, 61–76.
16. Sigfús A. Schopka. 1993. The Greenland cod (*Gadus morhua*) at Iceland 1941–90 and their impact on assessments. NAFO Scientific Council Studies. 18, 81–85.
17. Bonanomi, S., Pellissier, L., Therkildsen, N.O., Hedeholm, R.B., Retzel, A., Meldrup, D., Olsen, S.M., Nielsen, A., Pampoulie, C., Hemmer-Hansen, J., Wisz, M.S., Grønkjær, P. & Nielsen, E.E. 2015. Archived DNA reveals fisheries and climate induced collapse of a major fishery. Scientific Reports. 5, 15395.
18. Ólafur S. Ástþórsson, Ingvar Hallgrímsson & Guðmundur S. Jónsson. 1983. Variations in zooplankton densities in Icelandic waters in spring during the years 1961–1982. Rit Fiskideildar. 7, 73–113.
19. Þórunn Þórðardóttir 1977. Primary production in North Icelandic waters in relation to recent climatic changes. Í Polar Oceans (ritstj. Dunbar, M.J.), Proceedings of the Polar Oceans Conference, McGill University, Montreal, May 1974. Arctic Institute of America, China. 655–665.
20. Halldór Björnsson, Bjarni D. Sigurðsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Jón Ólafsson, Ólafur S. Ástþórsson, Snjólaug Ólafsdóttir, Trausti Baldursson & Trausti Jónsson. 2018. Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar 2018. Veðurstofa Íslands.
21. Storr-Paulsen, M., Wieland, K., Hovgård, H. & Rätz, H.J. 2004. Stock structure of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in West Greenland waters: implications of transport and migration. ICES Journal of Marine Science. 61, 972–982.
22. Hafrannsóknastofnun. 2020. Tækniskýrslur Hafrannsóknastofnunar 2020. Þorskur. https://www.hafogvatn.is/static/extras/images/01-cod_tr1206998.pdf
23. Valur Bogason, Jón Sólmundsson, Höskuldur Björnsson, Ásgeir Gunnarsson, Hlynur Pétursson, Jóhann Á. Gíslason & Magnús Thorlacius. 2020. Stofnmæling hrygningarþorsks með þorskanetum (SMN) 2020 – framkvæmd og helstu niðurstöður. Haf- og vatnarannsóknir. HV2020-28. Reykjavík. 22 bls.
24. Ingibjörg G. Jónsdóttir, Guðmundur Skúli Bragason, Stefán H. Brynjólfsson, Anika K. Guðlaugsdóttir & Unnur Skúladóttir. 2017. Yfirlit yfir rækjurannsóknir við Ísland, 1988–2015. Haf- og vatnarannsóknir. HV2017-7. Reykjavík. 92 bls.
25. Björn Björnsson, Agnar Steinarsson & Matthías Oddgeirsson. 2001. Optimal temperature for growth and feed conversion of immature cod (*Gadus morhua* L.). ICES Journal of Marine Science. 58, 29–38.
26. Björn Björnsson, Agnar Steinarsson & Tómas Árnason. 2007. Growth model for Atlantic cod (*Gadus morhua*): Effects of temperature and body weight on growth rate. Aquaculture. 271, 216–226.
27. Brander, K. M. 1995. The effects of temperature on growth of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). ICES Journal of Marine Science. 52, 1–10.
28. Campana, S.E., Ragnhildur B. Stefánsdóttir, Klara B. Jakobsdóttir & Jón Sólmundsson. 2020. Shifting fish distributions in warming sub-Arctic oceans. Scientific Reports. 10, 16448.
29. Ólafur. K. Pálsson & Vilhjálmur Þorsteinsson. 2003. Migration patterns, ambient temperature, and growth of Icelandic cod (*Gadus morhua*): evidence from storage tag data. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 60, 1409–1423.

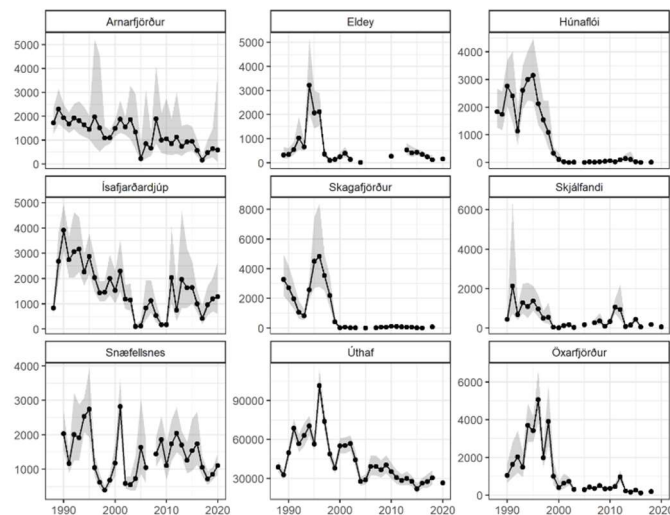
30. Kristinn Sæmundsson, Jónas P. Jónasson, Begg, G.A., Hjalti Karlsson, Guðrún Marteinsdóttir & Ingibjörg G. Jónsdóttir. 2020. Dispersal of juvenile cod (*Gadus morhua* L.) in Icelandic waters. Fisheries Research. 232, 105721.
31. Guðrún Marteinsdóttir & Agnar Steinarsson. 1998. Maternal influences on the size and viability of Icelandic cod *Gadus morhua* eggs and larvae. Journal of Fish Biology. 52, 1241–1258.
32. Guðrún Marteinsdóttir & Kristján Þórarinnsson. 1998. Improving the stock-recruitment relationship in Icelandic cod (*Gadus morhua*) by including age diversity of spawners. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 55, 1372–1377.
33. Guðrún Marteinsdóttir. 2006. Mikilvægi stórþorsks í viðkomu þorskstofnsins við Ísland. Náttúrufræðingurinn. 74, 3–10.
34. Begg, G. A. & Guðrún Marteinsdóttir. 2000. Spawning origins of pelagic juvenile cod *Gadus morhua* inferred from spatially explicit age distributions: potential influences on year-class strength and recruitment. Marine Ecology Progress Series. 202, 193–217.
35. Hjort, J. 1914. Fluctuations in the great fisheries of northern Europe, viewed in the light of biological research. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer. 20, 1–228.
36. Campana, S.E., Frank, K.T., Hurley, P.C.F., Koeller, P.A., Page, F.H. & Smith, P.C. 1989. Survival and abundance of young Atlantic cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) as indicators of year-class strength. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 46, 171–182.
37. Cushing, D.H. 1996. Towards a science of recruitment in fish populations. Ecology Institute, Oldendorf/Luhe. 175 bls.
38. Ingibjörg G. Jónsdóttir, Woods, P., Klara B. Jakobsdóttir, Jónas P. Jónasson, Bjarki Elvarsson & Jón Sólmundsson. 2019. Life history of juvenile Icelandic cod. Haf- og vatnarannsóknir. HV 2019–61, 1–53.
39. Höskuldur Björnsson & Einar Hjörleifsson. 2020. Athugun á aflareglu fyrir íslenskan þorsk. Hafrannsóknastofnun. http://www.hafro.is/images/HCR_Evaluations/iCod_endurskodun_a_aflareglu_2014
40. Ólafur K. Pálsson & Höskuldur Björnsson. 2011. Long-term changes in trophic patterns of Iceland cod and linkages to main prey stock sizes. ICES Journal of Marine Science. 68, 1488–1499.
41. Bjarni Sæmundsson. 1934. Probable influence of changes in temperature on the marine fauna of Iceland. Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer. 86, 1–6.
42. Guðrún Marteinsdóttir, Björn Gunnarsson & Suthers, I.M. 2000. Spatial variation in hatch date distributions and origin of pelagic juvenile cod in Icelandic waters. ICES Journal of Marine Science. 57, 1182–1195.
43. Pampoulie, C., Klara B. Jakobsdóttir, Guðrún Marteinsdóttir & Vilhjálmur Þorsteinsson. 2008. Are vertical behaviour patterns related to the Pantophysin locus in the Atlantic cod (*Gadus morhua* L.)? Behavior Genetics. 38, 76–81.
44. Klara B. Jakobsdóttir, Pardoe, H., Árni Magnússon, Höskuldur Björnsson, Pampoulie, C., Ruzzante, D.E. & Guðrún Marteinsdóttir. 2011. Historical changes in genotypic frequencies at the Pantophysin locus in Atlantic cod (*Gadus morhua*) in Icelandic waters: evidence of fisheries-induced selection? Evolutionary Applications. 4, 562–573.
45. Pampoulie, C., Anna Kristín Daniélsdóttir, Storr-Paulsen, M., Hovgård, H., Einar Hjörleifsson & Björn Ævarr Steinarsson. 2011. Neutral and nonneutral genetic markers revealed the presence of inshore and offshore stock components of Atlantic cod in Greenland waters. Transactions of the American Fisheries Society. 140, 307–319.
46. Caddy, J.F. 1991. Death rates and time intervals: is there an alternative to the constant natural mortality axiom? Reviews in Fish Biology and Fisheries. 1, 109–138.
47. Bogstad, B., Yaragina, N.A. & Nash, R.D.M. 2016. The early life-history dynamics of Northeast Arctic cod: levels of natural mortality and abundance during the first 3 years of life. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 73, 246–256.
48. Gunnar Jónsson, Jónbjörn Pálsson & Jón Baldur Hlíðberg. 2006. Íslenskir fiskar. Vaka Helgafell, Reykjavík.
49. Gonzáles-Irusta, J.M. & Wright, P.J. 2016. Spawning grounds of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) in the North Sea and West of Scotland. Fisheries Research. 183, 180–191.
50. Hedger, R., McKenzie, E., Heath, M., Wright, P., Scott, B., Gallego, A. & Andrews, J. 2004. Analysis of the spatial distribution of mature cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) abundance in the North Sea (1980–1999) using generalised additive models. Fisheries Research. 70, 17–25.
51. Rogers, R., Rowe, S. & Morgan, J.M. 2016. Lack of life history change in two over-exploited haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) stocks. Fisheries Research. 181, 77–83.
52. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Haddock – ýsa.
53. Eyjólfur Friðgeirsson. 1982. Hrygning þorsks og ýsu 1976–1981. Ægir. 75, 417–423.
54. Steingrímur Jónsson & Héðinn Valdimarsson. 2012. Water mass transport variability to the North Icelandic shelf, 1994–2010. ICES Journal of Marine Science. 69, 809–815.
55. Laurence, G.C. & Rogers, C.A. 1976. Effects of temperature and salinity on comparative embryo development and mortality of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). ICES Journal of Marine Science. 36, 220–228.
56. Fogarty, M.J., Myers, R.A. & Bowen, K.G. 2001. Recruitment of cod and haddock in the North Atlantic: a comparative analysis. ICES Journal of Marine Science. 58, 952–961.
57. Jón Ólafsson. 1985. Recruitment of Icelandic haddock and cod in relation to variability in the physical environment. ICES C.M. 1985/G:59
58. Einar Jónsson. 1996. Vöxtur ýsu við Ísland. Ægir. 89, 26–30.
59. Guðmundur Þórðarson. 2005. Growth and maturation of Icelandic haddock and their implications for management. (Dr. ritgerð, Imperial College, London).

60. Neuheimer, A.B. & Taggart, C.T. 2010. Can changes in length-at-age and maturation timing in Scotian Shelf haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) be explained by fishing? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 67, 854–865.
61. Devine, J.A. & Heino, M. 2011. Investigating the drivers of maturation dynamics in Barents Sea haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). Fisheries Research. 110, 441–449.
62. Ólafur K. Pálsson. 1981. On the food of demersal fish species in Icelandic waters. ICES C.M. 1981/G:25
63. Jón Sólmundsson, Hjalti Karlsson, Hlynur Pétursson, Höskuldur Björnsson, Ingibjörg G. Jónsdóttir, Klara B. Jakobsdóttir, Kristján Kristinsson & Valur Bogason. 2020. Stofnmæling botnfiska á Íslandsmiðum 2020 – framkvæmd og helstu niðurstöður. Haf- og vatnarannsóknir. HV2020-20, 1–29.
64. Einar Jónsson & Hafsteinn Guðfinnsson. 2004. Ýsa á grunnslóð fyrir Suðurlandi 1994–1998. Hafrannsóknastofnun. Fjölrit nr. 105.
65. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Saithe – ufsi.
66. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Golden redfish – gullkarfi.
67. Peklova, I., Hussey, N.E., Hedges, K.J., Treble, M.A. & Fisk, A.T. 2012. Depth and temperature preferences of the deep-water flatfish, Greenland halibut *Reinhardtius hippoglossoides* in an Arctic marine ecosystem. Marine Ecology Progress Series. 467, 193–205.
68. Albert, O.T. & Vollen T. A. 2015. A major nursery area around the Svalbard archipelago provides recruits for the stocks in both Greenland halibut management areas in the Northeast Atlantic. ICES Journal of Marine Science. 72, 872–879.
69. Westgaard, J.-I., Saha, A., Kent, M., Hansen, H.H., Knutsen, H., Hauser, L., Cadrin, S.X., Albert, O.T. & Johansen, T. 2017. Genetic population structure in Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) and its relevance to fishery management. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 74, 475–485.
70. Vestfals, C.D., Ciannelli, L. & Hoff, G. R. 2016. Changes in habitat utilization of slope-spawning flatfish across a bathymetric gradient. ICES Journal of Marine Science. 73, 1875–1889.
71. Emblemsvåg, M., Núñez-Riboni, I., Christensen, H.T., Nogueira, A., Gundersen, A. & Primicerio, R. 2020. Increasing temperatures, diversity loss and reorganization of deep-sea fish communities east of Greenland. Marine Ecology Progress Series. 654, 127–141.
72. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Greenland halibut – grálúða.
73. Klara Björg Jakobsdóttir, Höskuldur Björnsson, Jón Sólmundsson, Kristján Kristinsson, Steinunn Hilma Ólafsdóttir & Valur Bogason. 2020. Stofnmæling botnfiska að haustlagi 2020. Framkvæmd og helstu niðurstöður. Haf- og vatnarannsóknir. HV2020-54, 1–61.
74. Ásgeir Gunnarsson, Einar Hjörleifsson, Kristján Þórarinnsson & Guðrún Marteinsdóttir. 2006. Growth, maturity and fecundity of wolffish *Anarhichas lupus* L. in Icelandic waters. Journal of Fish Biology. 68, 1158–1176.
75. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Spotted wolffish – hlýri.
76. Jón Sólmundsson, Einar Jónsson & Höskuldur Björnsson. 2010. Phase transition in recruitment and distribution of monkfish (*Lophius piscatorius*) in Icelandic waters. Marine Biology. 157(2), 295–305.
77. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Anglerfish – skötuselur.
78. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Witch – langlúra.
79. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Megrím – stórkjafta.
80. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Dab – sandkoli.
81. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Long rough – skrápflúra.
82. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Lemon sole – þykvalúra.
83. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Plaice – skarkoli.
84. Hafrannsóknastofnun. 2020. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf 2020. Atlantic halibut – lúða.
85. Karl Gunnarsson, Guðrún G. Þórarinsdóttir & Óskar Sindri Gíslason. 2015. Framandi sjávarlífverur við Ísland. Náttúrufræðingurinn. 85(1–2), 4–14.
86. Henke, T., Patterson, W.P. & Guðbjörg Á. Ólafsdóttir. 2020. First record of niche overlap of native european plaice (*Pleuronectes platessa*) and non-indigenous european flounder (*Platichthys flesus*) on nursery grounds in Iceland. Aquatic Invasions. 15, 671–682.
87. Klara B. Jakobsdóttir, Jónas P. Jónasson, Kristján Kristinsson & Jónbjörn Pálsson. 2020. Hámýs í stofnmælingaleiðöngnum Hafrannsóknastofnunar. Haf- og vatnarannsóknir. HV2020-47, 1–47.
88. Héðinn Valdimarsson, Ólafur Ástþórsson & Jónbjörn Pálsson. 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.
89. Hreiðar Valtýsson & Steingrímur Jónsson. 2018. Impacts of a Changing Climate on Icelandic Marine Stocks. Í Impacts of a Changing Environment on the Dynamics of High-latitude Fish and Fisheries (ritstj.: Mueter, F.J., Baker, M.R., Dressel, S.C., Hollowed, A.B.). Alaska SeaGrant, University of Alaska Fairbanks. 29 bls.
90. Campana, S.E., Ragnhildur B. Stefánsdóttir, Klara B. Jakobsdóttir & Jón Sólmundsson. 2020. Shifting fish distributions in warming sub-Arctic oceans. Scientific Reports. 10(1), 16448.
91. Mason, J.G., Woods, P.J., Magnús Thorlacius, Kristinn Guðnason, Saba, V.S., Sullivan, P.J. & Kleisner, K.M. Projecting climate-driven shifts in demersal fish habitat in Iceland's waters. (handrit: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2021.03.04.433927v1>).

6 Sjávarhryggleysingar

Ingibjörg G. Jónsdóttir og Jónas P. Jónasson
Hafrannsóknastofnun

Við Ísland finnast margar tegundir sjávarhryggleysinga en aðeins nokkrar teljast til nytjategunda. Sjávarhryggleysingar finnast allt í kringum landið en útbreiðsla þeirra getur verið blettótt þar sem hver tegund finnst stundum á afmörkuðum svæðum. Rækja, sem er kaldsjávartegund, finnst helst fyrir vestan og norðan landið meðan humar, sem er hlýsjávartegund, finnst sunnan og vestan við landið. Báðar þessar tegundir finnast á dýpra vatni en aðrir nytjastofnar sjávarhryggleysinga. Aðrar tegundir sem hafa verið nýttar, beitukóngur, hörpudiskur, kúfiskel, ígulker og sæbjúgu, finnast grynna og hafa verið veiddar á afmörkuðum svæðum kringum landið. Lítið er til af tímaraðagögnum og takmarkaðar rannsóknir hafa verið gerðar á flestum þessara tegunda við Ísland. Athyglinni er því hér beint að rækju, hörpudisk og humri en reglubundnar stofnstærðarmælingar hafa farið fram á þessum tegundum síðustu áratugina.



Mynd 6.1.1. Vísitala stofnstærðar rækju á níu svæðum við Ísland.

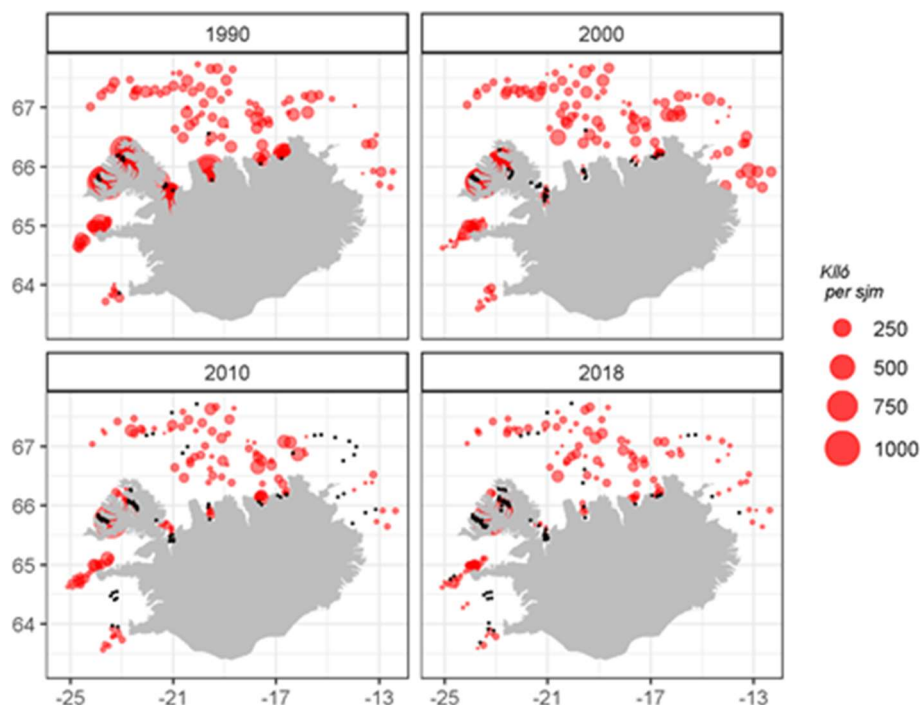
6.1 Rækja (*Pandalus borealis*)

Rækja er kaldsjávartegund sem finnst allt í kringum Ísland en hefur verið í veiðanlegu magni frá Eldey réttisælis í kringum landið að Austurlandi. Við Ísland hafa verið skilgreindir níu rækjustofnar; úthafsrækja og átta stofnar á grunnslóð. Almennt er vísitala stofnstærðar lægri á öllum svæðum núna en hún var á tíunda áratug tuttugustu aldar. Í kringum aldamótin lækkaði vísitala stofnstærðar á öllum svæðum (mynd 6.1.1). Lækkunin var mismikil á milli svæða en mest var hún í Húnaflóa, Skagafirði, Skjálfanda, Öxarfirði og við Eldey. Vísitala stofnstærðar lækkaði einnig í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. Við Snæfellsnes var vísitala stofnstærðar í lágmarki árin 1997–1999 og 2002–2004. Frá þeim tíma hefur vísitalan sveiflast í kringum meðallag. Þessi mikla lækkun í kringum aldamótin við Snæfellsnes má einkum tengja ofveiði en mikil rækjuveiði var stunduð á svæðinu. Á öðrum svæðum má rekja lækkunina að miklu leyti til aukins afráns en magn þorsks og ýsu jókst í kringum aldamótin þegar sjávarhiti hækkaði.

Samspil á milli þorsks og rækju er vel þekkt á öðrum hafsvæðum þar sem afrán hefur haft mikil áhrif á stofnstærð rækju^{1,2} og jafnvel meiri áhrif en veiðar. Þó rækja sé ekki ein helsta fæða ýsu þá er afrán ýsu á rækju í sumum tilvikum meira en þorsks þar sem lífmassi ýsu er mikill í fjörðum héraendis³. Áhrif hækkaðs hitastigs á þessar snöggu breytingar í vísitölu rækju eru flóknar en hækkanði hitastig hefur haft áhrif á lífríki svæðanna og hefur líklega að einhverju leyti stuðlað að auknu magni þorskfiska inn á fjörðum og þannig haft óbein áhrif á rækju.

Breytingar í útbreiðslu

Samfara auknu fiskmagni og lækkun vísitölu minnkaði útbreiðsla rækju. Þetta var sérstaklega áberandi í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. Á níunda áratugnum fannst rækja um nær alla firðina en þegar fiskmagnið jókst minnkaði útbreiðslusvæði hennar og nú finnst hún aðeins á afmörkuðum svæðum innst í fjörðunum en þar getur hún verið í miklum þéttleika (mynd 6.1.2). Hins vegar finnst þorskur og ýsa í töluverðu magni utar í fjörðunum þar sem rækja hafði áður verið. Í Ísafjarðardjúpi er rækja einnig í Útdjúpinu en þéttleikinn er mun minni en í Innjúpinu.



Mynd 6.1.2. Útbreiðsla og magn rækju í stofnmælingaleiðöngnum árin 1990, 2000, 2010 og 2018. Svartir punktar sýna stöðvar þar sem engin rækja fékkst.

Í úthafinu fjölgaði stöðvum í stofnmælingu úthafs-rækju þar sem enga rækju var að hafa (mynd 6.2). Það gerðist bæði út af Norðausturlandi og í Norðurkantinum. Hvort tveggja bendir til minnkandi útbreiðslu og minni lífmassa rækju.

Breytingar í framleiðni og líffræði

Rækja er tvíkynja, hún byrjar lífsferilinn sem karldýr en skiptir síðar um kyn en það er misjafnt milli svæða hvenær það gerist. Þessi mikla og snögga breyting í vísitölu stofnstærðar fyrir norðan hafði áhrif á það hvenær rækja skiptir um kyn. Fyrir aldamót voru tveir árgangar karldýra á hverjum tíma en eftir aldamót þá skipti hún fyrr um kyn og nú er aðeins einn árgangur karldýra⁴. Þetta gerðist eingöngu á svæðum fyrir norðan þar sem vísitalan hafði lækkað hratt en ekki á Vestfjörðum þar sem breytingar í vísitölu voru minni.

Nýliðun rækju hefur haldist fyrir neðan meðallag á öllum svæðum eftir aldamót. Stærðardreifing rækju hefur breyst í kjölfar minnkandi stofnstærðar og minni kvendýr framleiða færri egg⁴. Hins vegar er lélegt samband á milli fjölda kvendýra og nýliðunar sem bendir til þess að utanaðkomandi þættir hafi meiri áhrif á nýliðun rækju⁵. Léleg nýliðun hefur verið tengd við afrán þorsks og hitastig sjávar en báðir þessir þættir hafa neikvæð áhrif á nýliðun úthafs-rækju⁶. Þættirnir hafa áhrif á mismunandi lífsstigum þar sem hærri yfirborðshiti sjávar hefur neikvæð áhrif á lírfustigið en rækjulírfur eru við yfirborð sjávar yfir

sumartímann áður en þær taka botn að hausti. Afrán þorsks hefur neikvæð áhrif síðar á lífsferlinum þegar rækja er botnlæg.

Jákvætt samband er á milli vaxtar rækju og sjávarhita. Úthafs-rækja sem finnst í kaldasta sjónum við Ísland vex hægar en rækja við Eldey þar sem hitastig sjávar er hærri⁷. Rækja í Ísafjarðardjúpi vex hraðar en rækja í Arnarfirði þar sem hitastig sjávar að hausti er að meðaltali 2°C lægra en í Ísafjarðardjúpi⁸. Rækja vex hraðar í þessum tveim fjörðum nú en fyrir aldamót en hraðari vöxt eins árs rækju má rekja til hækkanði hitastigs í Arnarfirði⁴ og líklega einnig í Ísafjarðardjúpi þar sem hitastig sjávar hefur hækkað eftir aldamót⁸.

Samantekt

Rækja er kaldsjávartegund sem finnst í mestu magni fyrir vestan og norðan Ísland. Breytingar í stofnstærð rækju um og eftir aldamótin má rekja til aukins fiskmagns á útbreiðslusvæði rækju. Hækkandi sjávarhiti hefur líklega að einhverju leyti stuðlað að auknum lífmassa þorskfiska inn á fjörðum og þannig haft óbein áhrif á stofnstærð rækju. Hitastig sjávar hefur haft áhrif á nýliðun rækju en hærri yfirborðshiti hefur neikvæð áhrif á lírfur meðan þær eru í yfirborði sjávar. Að auki hefur hitastig áhrif á vöxt rækju sem vex hraðar við hærri hitastig og má greina breytingu í vaxtarhraða hjá eins árs rækju eftir að hitastig sjávar hækkaði í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi.

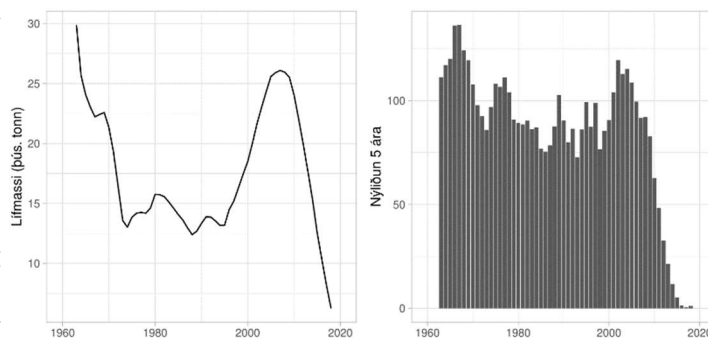
6.2 Humar (*Nephrops norvegicus*)

Leturhumar er hlýsjávarategund og liggja norðurmörk útbreiðslu hans við suðurströnd Íslands⁹. Humar við Ísland hefur verið skilgreindur sem einn stofn. Hann er þó að finna á um níu aðskildum svæðum þar sem finna má mjúkan leirkenndan botn. Svæðin eru fjögur við SA-hluta landins (Lóns-, Hornafjarðar-, Breiðamerkur-, Skeiðarárdýpi/Meðallandsbugt), eitt samfellt veiðisvæði frá Háfadýpi, suður af Surtsey og vestur á Selvogsbanka og á SV-hlutanum er að finna fjögur svæði: á Selvogsgrunni, stórt svæði sem nær frá Grindavíkurdýpi, suður af Eldey og með Reykjaneshrygg suður í Skerjadjúp, svæði á Eldeyjarbanka og annað svæði í Jökuldjúpi (mynd 6.3).

Farnir voru árlegir rannsóknaleiðangrar með humarvörpu á árabílinu 1973–2015. Stofnvísitalan úr leiðöngrunum náði hámarki árið 2009 og lágmarki við lok þeirra árið 2015. Fylgni var á milli stofnvísitölu og afla á sóknareiningu en hún var veikari undir lok þessarar tímaraðar¹⁰. Veiðanleiki humars í humarvörpu hefur verið tengdur sjóndýpi (styrkleika þörungablómans) þar sem meiri afli fæst jafnan þegar mikill gróður er og lítið sjóndýpi. Einnig hefur aukið magn bolfisks áhrif þar sem minna af humar veiðist þegar fiskafli er mikill. Allt endurspeglast þetta svo í líffræði humarsins. Hann grefur sér holur í leirinn og getur dvalið lengi í þeim. Þetta hegðunarmynstur hans útskýrir mikinn breytileika í veiðanleika sem aftur veldur því að hefðbundin stofnmæling með humar/fiskivörpu er ekki heppileg aðferð til að meta veiðistofninn. Árið 2016, þegar færi gafst með stærra rannsóknarskipi, voru hafnar humarholumyndatökur til að fá mat á veiðistofninum líkt og tíðkast við stofnstærðarmat flestra stofna leturhumars¹¹.

Breytingar í útbreiðslu

Humar er staðbundin tegund eftir að lírfustigi sleppir. Útbreiðsla hans er nokkuð stöðug og eru skörp skil í útbreiðslu hans til austurs sem afmarkast af hitaskilum norður af Lónsdýpi. Útbreiðsla hans er breytilegri á vesturhluta útbreiðslusvæðisins en mikið dró úr veiðum á nyrsta svæðinu (Jökuldjúpi) undir lok sjöunda áratugarins og fram á þessa öld þegar veiðar hófust þar aftur. Humar er núna einnig að finna í nokkrum mæli í Kolluál vestur af Snæfellsnesi en einnig hafa stök dýr fundist allt norður í Ísafjarðardjúpi. Við upphaf humarveiða var þess einnig getið að humar hafi verið í veiðanlegu magni í Kolluál.



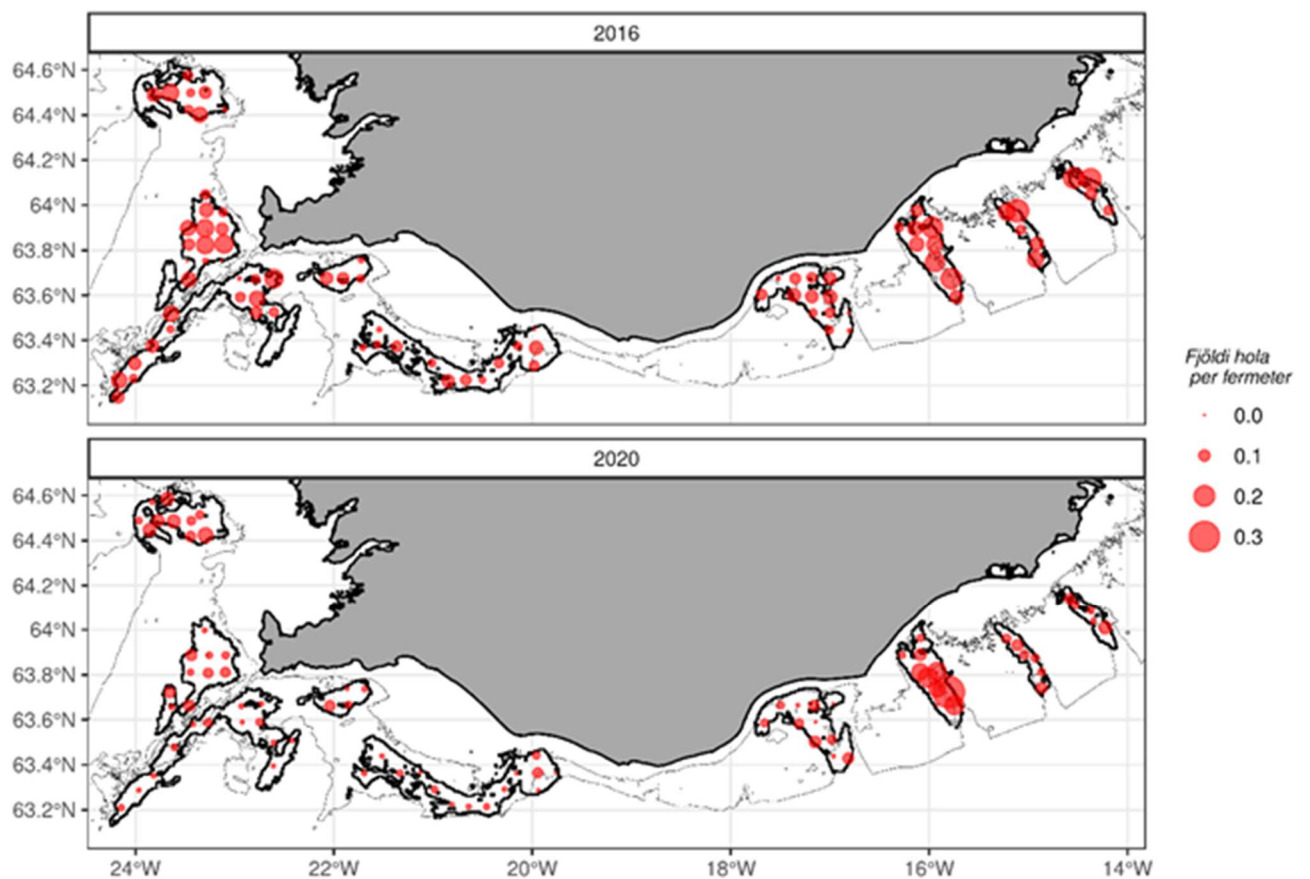
Mynd 6.2.1. Til vinstri, lífmassa vísitala humra (karldýra), skv. VPA greiningu og til hægri, nýliðunarfjölda (milljónir 5 ára dýra).

Breytingar í framleiðni og líffræði

Frá árinu 1977 var stærð humarstofnsins (karldýr) metinn með aldursafllaaðferð (VPA) og var þeirri vinnu framhaldið til ársins 2018⁹. Samkvæmt því mati, þá var lífmassinn hár við upphaf veiða upp úr 1960, minnkaði svo mikið fram á miðjan áttunda áratuginn, sveiflaðist nokkuð áður en lífmassinn jókst mikið rétt fyrir aldamótin og náði hámarki árið 2006 (mynd 6.2.1). Eftir það hefur verið stöðug lækkun í lífmassavísitölunni. Meðalfjöldi humarhola var um 0,09 holur á hvern fermetra við upphaf humarholu leiðangra árið 2016 en hefur lækkað í um 0,065 holur á fermetra árið 2020 (mynd 6.2.2).

Nýliðun humars metin sem fjöldi við fimm ára aldur hefur sveiflast nokkuð reglulega, með hámarki á seinni hluta sjöunda áratugarins og svo upp úr aldamótunum (mynd 6.2.1). Nýliðunin hefur svo farið lakkandi frá árinu 2010 og endurspeglast það líka í því að smár humar hefur vart sést síðasta áratuginn¹². Sökum vandkvæðavið aldursgreiningar og langlífis humars renna árgangar saman í greiningum og sveiflur milli aðliggjandi ára verðalítlar.

Sýnt hefur verið fram á kvendýr geti af sér afkvæmi annað hvert ár samanborið við á hverju ári við Skotland, Írland, Frakkland og Portúgal og þar af leiðandi minni framleiðni¹³. Langur tíma án hamskipta hjá kvendýrum þegar eggj eru undir halanum veldur því að vöxtur eftir kynþroska er hægari. Það hefur áhrif á afrakstursgetu stofnsins samanborið við suðlægari stofna og gefur tilefni til varkárari nýtingar en ella.



Mynd 6.2.2. Útbreiðsla humarholna (fjöldi á fermetra) í stofnmælingaleiðöngnum árið 2016 og 2020. Gráir punktar sýna stöðvar þar sem engin humarhola sást. Afmörkun humarsvæða eru teiknaðar auk 100 og 200 metra dýptarlína.

Samantekt

Humar er hlýsjávartegund sem finnst í hlýsjónum fyrir sunnan og suðvestan landið. Stofnstærð humars jókst upp úr aldamótum þegar nýliðun og útbreiðsla jókst. Viðvarandi nýliðunarbrestur frá árinu 2005 hefur hins vegar valdið minnkandi stofnstærð og eru nú einungis leyfðar takmarkaðar veiðar svo fylgjast megi með breytingum í stofnstærð og útbreiðslu.

6.3 Hörpudiskur (*Chlamys islandica*)

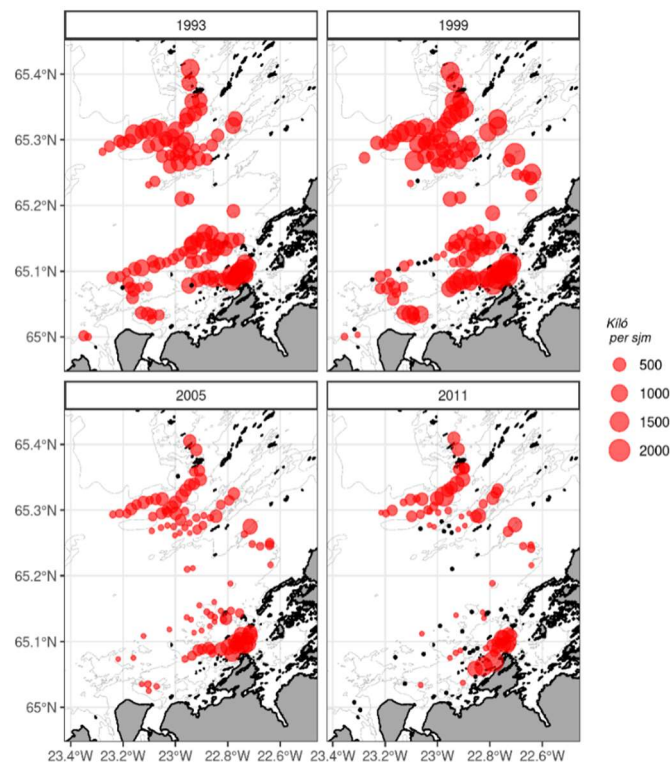
Hörpudiskur er kaldsjávartegund og liggja suðurmörk útbreiðslunnar við Ísland¹⁴. Hörpudiskur er að finna víða í kringum Ísland en þó síst við suðurströndina. Veiðar hafa farið fram á stofnum frá Hvalfirði, réttsælis til Reyðarfjarðar en stærsta stofninn er að finna í Breiðafirði. Stofninn þar mældist stærstur árið 1982 en vísitalan lækkaði í framhaldinu til ársins 1990 (mynd 6.3.1). Vísitalan mælist nokkuð stöðug fram til ársins 2000 er hún tekur skarpa dýfu og hrun verður í stofninum¹⁴ (mynd 6.3.1). Stofninn hefur enn ekki náð sér en tilraunaveiðar voru stundaðar á árunum 2014 til 2019¹⁵. Mjög takmarkaðar veiðar voru í framhaldinu ráðlagðar árið 2020 á tveimur svæðum í Breiðafirði.



Mynd 6.3.1. Vísitala stofnstærðar hörpudisks í Breiðafirði árin 1976–2012.

Breytingar í útbreiðslu

Þekkt útbreiðsla og veiðisvæði hörpudisks er að finna víða í Breiðafirði, einkum miðsvæðis í firðinum. Miðin voru könnuð árlega milli 1970 og 2012 í stofnmælingarleiðöngrum með skelplóg. Milli árána 1993 og 1999 mátti greina nokkurn samdrátt í útbreiðslu hörpudisks á ytri slóð í suðurhluta fjarðarins (mynd 6.3.2). Samfara hruninu minnkaði mjög magn hörpudisks á öllum svæðum og útbreiðslan dróst saman en árið 2011 er skel í veiðanlegu magni einungis að finna á stöðvum innarlega í firðinum.



Mynd 6.3.2. Útbreiðsla og magn hörpudisks í stofnmælingarleiðöngrum árin 1993, 1999, 2005 og 2011. Svartir punktar sýna stöðvar þar sem enginn hörpudiskur fékkst.

Breytingar í framleiðni og líffræði

Hrunið í hörpudiskstofninum í Breiðafirði var að hluta rakið til frumdýrasýkingar en háan náttúrulegan dauða var að finna víða, sér í lagi í suðurhluta fjarðarins¹⁴. Nýliðun í stofninn var einnig metin léleg en auk þess var hátt veiðialag til staðar. Aðrir smærri stofnar voru kannaðir síðsumars árið 2001 og var mismikið fall að finna í stofnvísitölu eða meðalafli á öllum svæðum. Í Breiðafirði var smittíðni frumdýrasýkingar í vöðva metin mjög há árið 2003, fyrsta árið er vöktun á sýkingu hófst og ári eftir að sníkjudýrið var fyrst greint¹⁶. Smittíðnin var hærri á vorin en á haustin og fór aðeins lækkaði á næstu árum en mældist samt umtalsverð allt fram til ársins 2008. Síðustu ár hefur almennt verið gott ástand á holdafari skelja í Breiðafirði og samkvæmt sjónmati er ekki merki um sýkingu. Frumdýrasýkingu var líka að finna í skeljum á öðrum svæðum sem voru könnuð, til að mynda í öllum mældum skeljum árið 2003 í Húnaflóa og töluvert smitmagn mældist þar einnig vorið 2010¹⁷. Eitthvert smitmagn var að finna öll árin í Breiðafirði og sama frumdýrasýkingin hefur greinst í stofnum annarra hörpudiskstegunda þar sem ekki hefur orðið hrun en svo virðast sem að sníkjudýrið og skeljarnar séu þar í ákveðnu samvægi¹⁶.

Rannsóknir hafa sýnt fram á að hörpudiskur þolir sjávarhita upp að 13°C en yfirborðshiti fór yfir 12°C í ágúst 2003 og hækkun sjávarhita við Ísland var því að nálgast þolmörk tegundarinnar¹⁸. Bein áhrif hækkaðs sjávarhita er því ólíkleg skýring á hruni hörpudisksstofna við Ísland. Hins vegar geta breytingar á sjávarhita ásamt öðrum umhverfisbreytum, eins og seltu og sýrustigi, raskað samvægi hýsils og sníkjudýra og valdið faraldri¹⁶. Einnig skiptir næringarástand skeljanna máli en sýkingarmagn var lægra á haustin eftir vaxtartímabil sumarsins¹⁶ en ákveðnar vísbendingar eru um að þyngd vöðva að hausti haldist í hendur við metið magn blaðgrænu sama árs¹⁴.

Samantekt

Hörpudiskur er kaldsjávartegund og við Ísland er hann við suðurmörk útbreiðslusvæðis síns. Hrun í hörpudisksstofninum í Breiðafirði á tíunda áratug síðustu aldar var rakið til nýliðunarskorts, aukins veiðialags auk umfangsmikillar frumdýrasýkingar en breytingar í sjávarhita geta raskað samspili hýsils og sníkjudýra og þannig haft óbein áhrif á hörpudisksstofninn.

Heimildir

1. Worm, B. & Myers, R.A. 2003. Meta-analysis of cod-shrimp interactions reveals top-down control in oceanic food webs. *Ecology*. 84, 162–173.
2. Wieland, K. & Siegstad, H. 2012. Environmental factors affecting recruitment of northern shrimp *Pandalus borealis* in West Greenland waters. *Marine Ecology Progress Series*. 469, 297–306.
3. Ingibjörg G. Jónsdóttir. 2017. Predation on northern shrimp (*Pandalus borealis*) by three gadoid species. *Marine Biology Research*. 13, 447–455.
4. Ingibjörg G. Jónsdóttir, Guðrún G. Þórarinsdóttir & Jónas P. Jónasson. 2018. Influence of decreased biomass on the ogive of sex change of northern shrimp (*Pandalus borealis*). *ICES Journal of Marine Science*. 75, 1054–1062.
5. Ingibjörg G. Jónsdóttir. 2018. Effects of changes in female size on relative egg production of northern shrimp stocks (*Pandalus borealis*). *Regional Studies in Marine Science*. 24, 270:277.
6. Ingibjörg G. Jónsdóttir, Árni Magnússon & Unnur Skúladóttir. 2013. Influence of increased cod abundance and temperature on recruitment of northern shrimp (*Pandalus borealis*). *Marine Biology*. 160, 1203–1211.
7. Unnur Skúladóttir & Einar Jónsson. 1980. Rækjan við Ísland. *Ægir*. 73., 86–95.
8. Ingibjörg G. Jónsdóttir & Unnur Skúladóttir. 2019. Vöxtur rækju í Arnarfirði og Ísafjarðardjúpi. Haf- og vatnarannsóknir HV2019–001. Reykjavík. 14 bls.
9. Hrafnkell Eiríksson & Jónas P. Jónasson. 2018. The fishery and stock assessment of Norway lobster (*Nephrops norvegicus*) in Icelandic waters during 1950 - 2016. Haf- og vatnarannsóknir HV2018–25. Reykjavík. 27 bls.
10. Hafrannsóknastofnun. 2019. Humar. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf, 31. janúar.
11. Campbell, N., Dobby, H. & Bailey, N. 2009. Investigating and mitigating uncertainties in the assessment of Scottish *Nephrops norvegicus* populations using simulated underwater television data. *ICES Journal of Marine Science* 66. (4), 646–655.
12. Hafrannsóknastofnun. 2020a. Humar. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf, 22. janúar.
13. Hrafnkell Eiríksson. 2014. Reproductive biology of female Norway lobster, *Nephrops norvegicus* (Linnaeus, 1758) Leach, in Icelandic waters during the period 1960–2010: comparative overview of distribution areas in the Northeast Atlantic and the Mediterranean. *Advances in Marine Biology*. 68, 65–210.
14. Jónas P. Jónasson, Guðrún G. Þórarinsdóttir, Hrafnkell Eiríksson, Jón Sólmundsson & Guðrún Marteinsdóttir. 2007. Collapse of the fishery for Iceland scallop (*Chlamys islandica*) in Breidafjörður, West Iceland. *ICES Journal of Marine Science*. 64(2), 298–308.
15. Hafrannsóknastofnun. 2020b. Hörpudiskur. Ástand nytjastofna sjávar og ráðgjöf, 16 júní.
16. Árni Kristmundsson, Ásthildur Erlingsdóttir og Freeman, M. 2015. Is an Apicomplexan parasite responsible for the collapse of the Iceland scallop *Chlamys islandica* stock? *PLoS One*. 10(12).
17. Halldór Gunnar Ólafsson, Bjarni Jónasson & Árni Kristmundsson. 2011. Ástand hörpudisks (*Chlamys islandica*) í Húnaflóa m.t.t. til sýkinga. Lokaskýrsla til Vaxtarsamnings Norðurlands vestra.
18. Jónas P. Jónasson, Guðrún G. Þórarinsdóttir, Hrafnkell Eiríksson & Guðrún Marteinsdóttir. 2004. Temperature tolerance of Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O.F. Müller) under controlled experimental conditions. *Aquaculture Research*. 35(15), 1405–1414.

7 Sjávarspendýr

7.1 Hvalir

*Gísli Víkingsson
Hafrannsóknastofnun*

Á heimsvísu eru nú þegar ýmsar vísbendingar og kenningar komnar fram um áhrif loftslagsbreytinga á hvali¹⁻³ en sjávarspendýr eru almennt talin vera góðir vísar á breytingar í vistkerfi hafsins⁴. Áhrifin eru líklega mjög mismunandi eftir tegundum og eru heimskauta-tegundirnar (t.d. norðhvalur, mjaldur og náhvalur) almennt taldar viðkvæmastar fyrir hlýnun sjávar vegna rýrnunar hafiss meðan tegundir á tempruðum og kaldtempruðum svæðum (t.d. langreyður, steypireyður, hnúfubakur og hrefna) eru ekki eins viðkvæmar og gætu jafnvel notið góðs af slíkum breytingum, til skamms/meðallangs tíma litið⁵. Áhrifin eru þó enn mjög óviss og ráðast væntanlega mikið af áhrifum breytinganna á mikilvægar fæðutegundir hvalanna.

Alls hafa sést 23 tegundir hvala (15 tannhvalir og 8 skíðishvalir) við Ísland. Þar af teljast 15 reglulegir íbúar hafsins við Ísland en sjö teljast til flækinga og ein tegund (sandlægja) er útdauð í Norður-Atlantshafi^{6,7}. Hvalir eru sem heild óvída algengari en á hafsvæðinu við Ísland og hafa þar verið nýttir með ýmsum hætti allt frá landnámi⁸⁻¹⁰. Hvalir skipa veigamikinn sess í vistkerfi hafsins kringum Ísland (tafla 7.1.1) með samanlagðan lífmassa um 4 milljónir tonna og árlegt afrán metið um 6–9 milljónir tonna¹¹.

Helstu gögn um fjölda og útbreiðslu hvala við Ísland og á nálægum hafsvæðum eru skipulegar fjölþjóðlegar hvalatalningar sem framkvæmdar hafa verið með mislöngu (oftast 6–8 ára) millibili síðan 1987¹². Þótt allar tegundir hvala, sem sjást séu skráðar, eru upplýsingar mjög misgóðar fyrir mismunandi tegundir en hönnun og framkvæmd talninganna við Ísland tekur mest mið af langreyði og hrefnu. Þótt talningarnar séu meðal þeirra umfangsmestu sem fyrirfinnast í heiminum eru breytingar á útbreiðslu og fjölda hvala sjaldnast tölfræðilega marktækar þótt sterkar vísbendingar séu fyrir hendi í mörgum tilfellum. Fjöldi aðgreindra stofna hvalategundanna í N-Atlantshafi og mörk milli þeirra eru illa þekkt fyrir flestar tegundir. Fyrirliggjandi gögnum reyðarhvali benda þó til aðskilnaðar milli þriggja meginstofnsvæða: Vestur-, Mið- og Austursvæði¹³. Ísland tilheyrir Miðsvæðinu en vesturmörk þess eru dregin um suðurodda Grænlands og austurmörkin milli Íslands og Noregs, austan við Jan Mayen. Þessi skipting hefur verið helsti grundvöllur úttekta á ástandi stofna reyðarhvala en þessum meginsvæðum er svo skipt upp í undirsvæði sem eru mismunandi eftir tegundum.

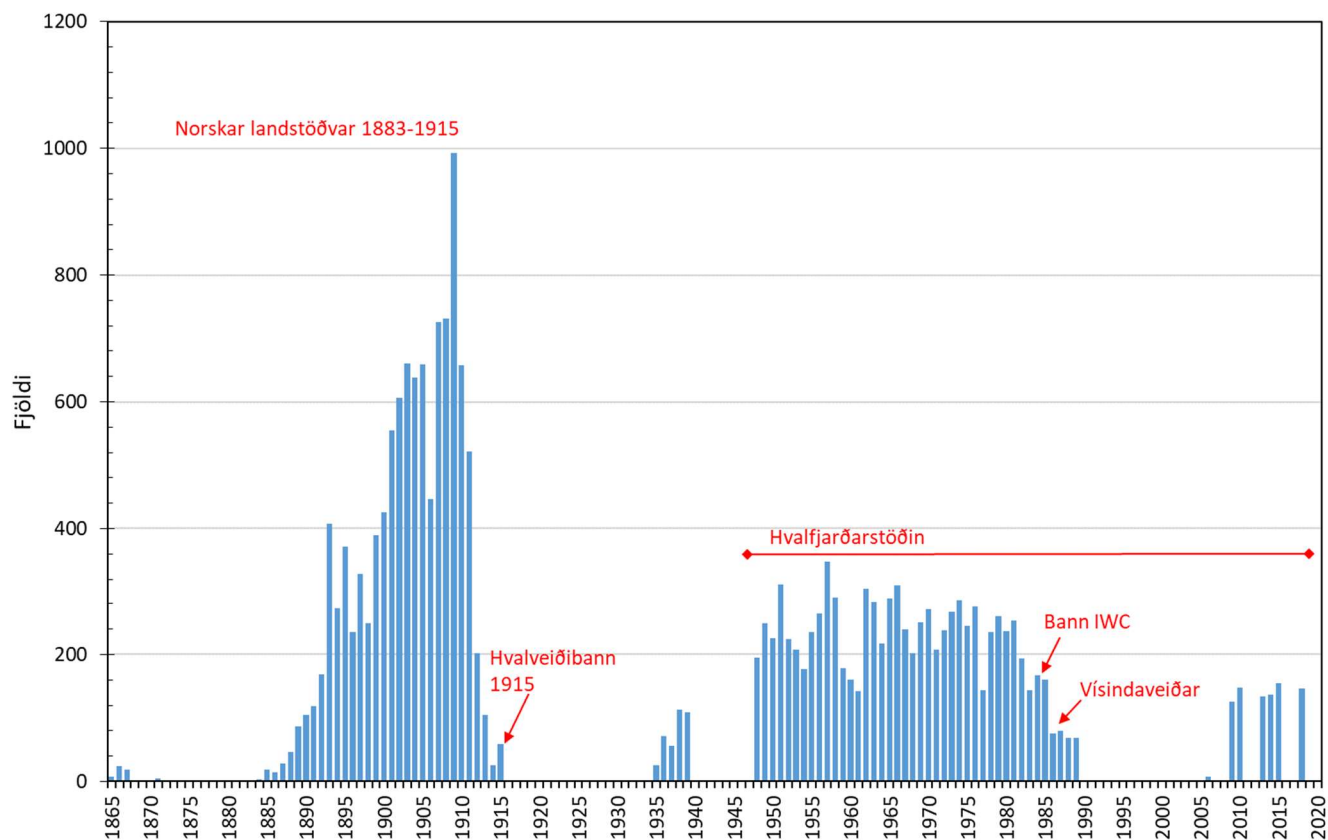
Auk skipulegra hvalatalninga geta ýmsar aðrar upplýsingar gefið vísbendingar um breytingar á útbreiðslu hvala hér við land sem hugsanlega eru af völdum loftslagsbreytinga, t.d. tíðni hvalreka, skráningar í hvalaskoðunarferðum, upplýsingar úr beinum og óbeinum veiðum, og tilfallandi skráningum hvala í rannsóknaleiðöngnum.

Mikilvægt er að hafa hvalveiðisöguna í huga þegar skoðaðar eru breytingar á útbreiðslu og fjölda hinna stærri hvalategunda, og hvernig staða stofnanna er í dag. Þótt hvalir hafi verið nýttir hér við land allt frá landnámi með þeirri tækni sem til var á hverjum tíma voru hinir hraðsyndu reyðarhvalir að mestu óaðgengilegir til nýtingar fyrr en seint á 19. öld, með tilkomu gufuskipa og sprengiskutuls, sem markaði upphaf svokallaðra nútímahvalveiða. Áður höfðu þó Baskar, Hollendingar og fleiri Evrópuþjóðir stundað umtalsverðar veiðar á hægsyndari tegundum, s.s. sléttbak og norðhval hér við land á 17–19 öld^{10,14}.

Skipa má sögu nútímahvalveiða sem skipulegs atvinnuvegar á Íslandi gróflega í þrjú tímabil: svokallaðar aldamótaveiðar frá norskum landstöðvum á Vestfjörðum og Austfjörðum 1883–1915, veiðar frá hvalveiðistöð í Tálknafirði 1935–1939 og veiðar frá hvalstöðinni í Hvalfirði 1948–1989 og aftur frá árinu 2006 (mynd 7.1.1). Á fyrsta tímabilinu var stunduð gegndarlaus ofveiði á stærstu tegundunum, fyrst steypireyði og langreyði og síðan smærri tegundunum eftir því sem hinum fækkaði. Hvalveiðistöðvarnar voru í upphafi bundnar við Vestfirði en fluttust til Austfjarða eftir aldamótin 1900 þegar hvöllum hafði fækkað mikið fyrir vestan. Veiðar á hrefnu hafa verið stundaðar víða við Ísland frá árinu 1914¹⁵ en ekki í þeim mæli að hafa veruleg áhrif á stofnstærð.

Tafla 7.1.1. Stofnstærðir, lífmassi og breytingar á fjölda og útbreiðslu hvala við Ísland á tímabilinu 1987-2015. Fjöldatölur miðast við nýjasta stofnstærðarmat og stofnsvæðið Mið-Norður-Atlantshaf nema annað sé tekið fram. Fjöldi tákna (+ og x) gefa til kynna umfang breytinga, () tákna veikari (ekki tölfraðilega marktækar) vísbendingar, og 0 að gögn bendi ekki til breytinga (eyður= óþekkt).

	Stofnstærð (fjöldi)		Breytingar á fjölda (trend)				Breytingar á útbreiðslu			
	Fjöldi (cv)	Lífmassi (þús tonna)	NASS	Hvala-skoðun	Meðafli	Annað	NASS	Hvala-skoðun	Meðafli	Annað
Steypireyður	3.000 (0.4) ⁱ	208	(++)			+	x	xxx		(x)
Langreyður	36.773 (0.17) ⁱ	1555	++				xx			(x)
Sandreyður	10.300 (0.27) ⁱⁱ	205	0							
Hrefna	42.515 (0.31) ⁱ	223	0				xx	xx		x
Hrefna	13.497 (0.5) ⁱⁱⁱ	70	--- ^{iv}	+ ^v			xx	xx		
Hnúfubakur	9.867 ⁱ	314	++	+ ^{vi}		+ ^{vii}	xx	x		x
Marsvín	344.148 (0.35) ⁱ	272	0			(+)				
Hnísa	43.179 (0.45) ^{viii}	2	0		+	+	0		xx	
Hnýðingur	159.000 (0.53) ⁱ	36	++	0			xx	x		
Leiftur	131.022 (0.73) ⁱ	25	0							
Búrhvalur	23.166 (0.59) ⁱ	795	0			0				
Andarnefja	19.974 (0.06) ⁱ	108				+7				
Háhyrningur	14.611 (0.55) ^{ix}	34					x	xx		xx



Mynd 7.1.1. Fjöldi langreyða sem veiddar voru árlega við Ísland á tímabilinu 1864–2018

7.1.1 Steypireyður (*Balaenoptera musculus*)

Steypireyður er stærsta dýrategund sem þróast hefur á jörðinni og getur orðið yfir 30 m að lengd og 190 tonn að þyngd. Kynþroskaaldur steypireyða er á bilinu 5–10 ár og talið er að þær geti orðið yfir 100 ára gamlar.

Útbreiðslusvæði steypireyðar nær yfir öll heimshöfin og er tegundina að finna bæði á úthafssvæðum og strandsvæðum. Hún er farhvalur og á sumrin má sjá steypireyðar allt að ísröndinni í norðri og suðri en útbreiðslan að vetrarlagi, þegar æxlun fer fram, er fjær heimskaunum en er víðast hvar illa þekkt. Greint er á milli þriggja undirtegunda steypireyðar og er sú íslenska, *Balaenoptera musculus musculus* bundin við norðurhvel jarðar.

Í Norður-Atlantshafi liggja norðurmörk útbreiðslu steypireyðar um Davíðssund í vestri og Svalbarða í austri en suðurmörk útbreiðslunnar í Norður-Atlantshafi eru hins vegar illa þekkt. Steypireyðar hafa þó oft sést að vetrarlagi nálægt Azoreyjum, Grænhöfðæyjum, Míritaníu og Senegal en einnig finnast einstöku heimildir um steypireyðar undan ströndum Flórída og í Karíbahafi^{16,17}.

Breytingar á útbreiðslu og fjölda

Steypireyðar hafa sést allt í kringum Ísland að sumarlagi¹⁸. Talið er að megingangan komi sunnan úr höfum í maí og haldi aftur suður á bóginn í september eða október. Á grunnsævi er algengast að sjá steypireyðar hér við land frá miðjum júní til loka júlí. Vestur af Íslandi, þar sem þéttleiki steypireyðar er mestur á sumrin, heldur hún sig mest nálægt landgrunnsbrúninni og innan við hana á 300–1000 m dýpi¹⁹. Athuganir á ferðum steypireyðar, sem merkt var við austurströnd Grænlands í lok júlí 1999, benda til að farleið steypireyða norðan Íslands liggja milli Íslands og Grænlands²⁰. Útbreiðsla steypireyðar við Ísland skarast talsvert við útbreiðslu hnúfubaks og langreyðar en mun minna við útbreiðslu hrefnu sem heldur sig mest grynna. Talsverðar breytingar hafa orðið á útbreiðslu steypireyða við Ísland undanfarna áratugi^{7,21}. Þær hafa lengst af verið algengastar sunnan og vestan við landið, á svæðinu frá Vestmannaeyjum til Breiðafjarðar, þótt steypireyðar hafi einnig sést reglulega norðaustan við landið, milli Íslands og Jan Mayen. Talningarnar (1986–2016) ásamt skráningum hvalaskoðunariðnaðarins benda til að hliðrun frá suðvestri til norðausturs hafi orðið á útbreiðslu tegundarinnar á grunnsævi við Ísland og að steypireyðar komi fyrr að ströndum landsins en áður²².

Eins og flestum öðrum stofnum skíðishvala, fækkaði steypireyðum mjög vegna ofveiði seint á 19. öld og snemma á 20. öld^{9,14,19}. Þrátt fyrir óverulegar veiðar frá því að hvalafriðun tók gildi við Ísland árið 1915 og aukningu á þéttleika vestan við landið á árunum 1969–1988²³ er talið að núverandi fjöldi steypireyða við landið sé enn mun minni en var fyrir tíma hvalveiða, ólíkt því sem er hjálangreyði, hrefnu og hnúfubak. Hugsanlega tengist það fábreyttu fæðuvali tegundarinnar en steypireyðar nærast næstum eingöngu á sviflægum krabbadýrum (átu).

Samkvæmt talningum var marktæk aukning á fjölda steypireyða á Mið-Norður-Atlantshafi á árabílinu 1989–2001 og fjöldinn metinn um 1.000 dýr í lok tímabilsins^{21,24}. Nýjasta matið frá 2015 er það hæsta frá því að talningar hófust (3.000 steypireyðar; 95% öryggismörk 1.377–6.534) og vekur vonir um að stofninn sé að rétta úr kútnum²⁵.

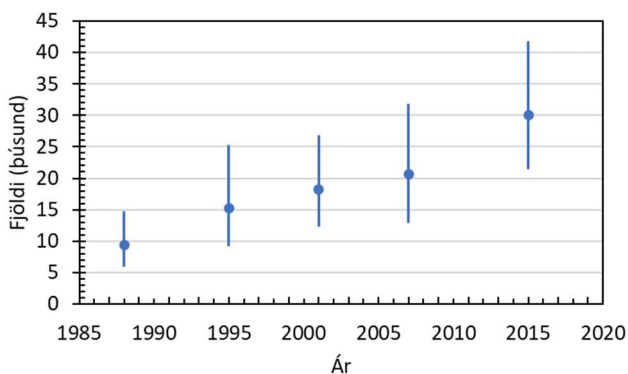
7.1.2 Langreyður (*Balaenoptera physalus*)

Langreyður er næststærsta dýrategund heims og verður allt að 26 m löng og yfir 100 tonn að þyngd. Langreyður er útbreidd um allan heim og eru aðskildar deilitegundir á norður- og suðurhveli jarðar. Langreyður er algengasta tegund stórhvala við Ísland og á mælikvarða lífmassa (tafla 7.1.1) er tegundin því meðal mikilvægustu dýrategunda í vistkerfi hafsins við Ísland og á aðlægum hafsvæðum¹¹. Langreyður er farhvalur sem dvelur við Ísland að sumarlagivið fæðunám en heldur suður á bóginn á haustin þar sem æxlun fer fram. Tegundin finnst allt kringum Ísland en er algengust við og utan við landgrunnsbrúnina vestan Íslands. Kynþroskaaldur er 8–12 ár og langreyðar geta orðið yfir 100 ára gamlar^{26–29}. Langreyður hefur verið ein helsta uppistaðan í hvalveiðum við Ísland allt frá upphafi „núttímahvalveiða“ árið 1883. Henni fækkaði mikið vegna ofveiði kringum aldamótin 1900 en, ólíkt steypireyði, virðist langreyðarstofninn hafa náð sér að talsverðu leyti þegar hvalveiðar hófust að nýju eftir friðun árið 1948⁹.

Breytingar á útbreiðslu og fjölda

Langreyði hefur fjölgað mikið frá því að skipulegar hvalatalningar hófust árið 1987^{25,30,31} (mynd 7.1.2). Á tímabilinu 1987–2007 var árleg fjölgun um 4%. Langstærsti hluti þeirrar fjölgunar var í Irmingerhafi milli Ísland og Grænlands þar sem fjölgunin nam 10% á ári. Samkvæmt síðustu talningum (2015) voru tæplega 37 þúsund langreyðar á Mið-Norður-Atlantshafi²⁵. Líklega er þessi mikla fjölgun bæði afrakstur breytinga á útbreiðslu og líffræðilegs vaxtar í stofninum^{22,30,31}. Upplýsingar um umhverfisþætti sem skýrt

gætu þessar breytingar eru takmarkaðar en sýna þó talsverða hlýnun sjávar milliáranna 1994 og 2003 á því svæði sem mest aukning hefur verið í þéttleika langreyðar²². Þótt rannsóknir frá öðrum hafsvæðum hafi sýnt að fæða langreyðar sé allfjölbreytt, virðist fæðan mjög einsleit á hvalamiðunum vestur af Íslandi þar sem ljósátan *Meganyctiphanes norvegica* var yfir 95% af fæðunni^{11,27,32}. Talningar í leiðöngurum Hafrannsóknastofnunar utan sumartíma benda til að viðvera langreyða á Íslandsmiðum hafi aukist frá því fyrir aldamót³³. Samkvæmt hvalatalningu í loðnuleiðangri haustið 2015 sást mikill fjöldi langreyða á loðnuslóð vestur og norðvestur af Íslandi og að austurströnd Grænlands. Þéttleiki langreyða reyndist þar vera þrisvar sinnum meiri en á sama svæði að sumarlagi²⁵.



Mynd 7.1.3. Breytingar á fjölda langreyða í Mið-Norður-Atlantshafi 1988–2015 samkvæmt NASS hvalatalningunum (óleiðrétt gögn).

Líffræði

Langtímarannsóknir á langreyðum, sem landað hefur verið í hvalstöðinni í Hvalfirði^{19,34–37}, hafa sýnt miklar sveiflur í kynþroskaaldri og frjósemi tegundarinnar. Þannig lækkaði kynþroskaaldur úr 11 í 8 ár á tímabilinu 1955–1980 en hækkaði aftur eftir það. Frjósemi (þungunartíðnikynþroska kúa) sveiflaðist milli 55% og 85% á tímabilinu 1976–1988. Þessar sveiflur tengjast orkubúskap sem einnig hefur sveiflast mikið milli ára^{36,38–40} og virðist ráðast mest af samspili fæðuframboðs og stofnstærðar^{35,41}.

Veiðar á langreyði lágu niðri á tímabilinu 1990–2006. Frumniðurstöður yfirstandandi rannsókna á langreyðarafla 2006–2010⁴² benda til að breytingar hafi orðið á kynþroskaaldri og frjósemi (þungunartíðni) sem túlka mætti sem viðbrögð stofnsins við minnkuðu fæðuframboði og/eða fjölgun langreyða á svæðinu.

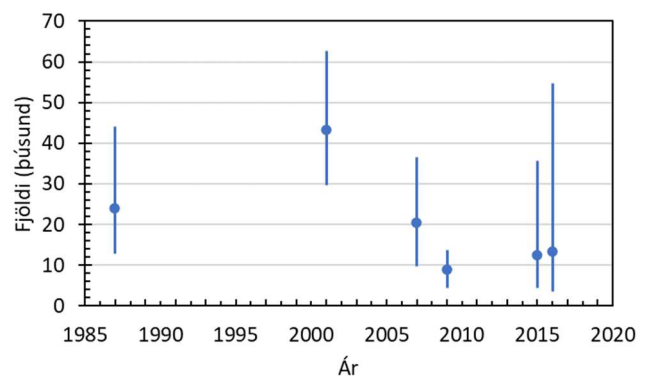
7.1.3 Hrefna (*Balaenoptera acutorostrata*)

Hrefna (hrafnnreyður) er minnst skíðishvala við Ísland og nær mest um 10 m lengd og 8–9 tonna þyngd⁴³. Hrefna erútbreidd í öllum heimshöfum og er greint milli þriggja deilitegunda, með búsvæði í Norður-Atlantshafi, Norður-Kyrrahafi og á suðurhveli jarðar. Stofnsvæði hrefnu við Ísland er talið ná frá austurströnd Grænlands um Ísland og norðaustur fyrir Jan Mayen (Mið-Norður-Atlantshafsstofn). Hrefnan er farhvalur og heldur sig að mestu á grunnsævi við fæðunám yfir sumarið en útbreiðslan að vetrarlagi, þegar æxlun á sér stað, er illa þekkt. Þó er almennt talið að tegundin haldi sig að mestu í hlýrri sjó að vetrarlagi og benda takmörkuð gögn gervitunglamerkinga til að farleið hrefna frá Íslandi að hausti liggi fjarri ströndum a.m.k. suður að 20°N⁴⁴.

Breytingar á útbreiðslu og fjölda

Hrefnan hefur lengst af verið talin langalgengasti skíðishvalurinn á grunnsævi við Ísland^{45,46} og fékkst það staðfest í fyrstu skipulegu hvalatalningunum á landgrunninu árin 1986 og 1987^{47,48}. Fjöldinn náði hámarki í talningunum sumarið 2001 þegar hann var metinn 44 þús. dýr. Mikil fækkun hrefnu á landgrunninu kom fyrst fram í talningunum 2007 og hefur hrefnu ekki fjölgað þar síðan þá (mynd 7.1.3). Fækkunin var langmest í Faxaflóa og við Suðausturland en lítil sem engin á norðurhluta landgrunnsins^{22,49,50}.

Landgrunn Íslands er einungis lítill hluti útbreiðslusvæðis Mið-Norður-Atlantshafsstofns þótt stór hluti stofnsins hafi haldið sig þar að sumarlagi fram yfir aldamót. Á stofnsvæðinu í heild hafa ekki orðið marktækar breytingará fjölda hrefna frá því að talningar hófust en mikill fjöldi hrefna hefur haldið sig í kaldari sjó við Austur-Grænland og kringum Jan Mayen í síðustu talningum^{51,52}. Það virðast því hafa orðið verulegar breytingar á útbreiðslu hrefnu frá aldamótum, tilfærsla frá landgrunni Íslands til norðurs og norðvesturs en einnig norðlæg hliðrun innan íslenska landgrunnsins.



Mynd 7.1.3. Mat á fjölda hrefna á íslenska landgrunninu (þús. dýra) samkvæmt flugtalningum á tímabilinu 1987–2016.

Þótt meðgöngutími hrefnu sé svipaður og hinna stærri reyðarhvala (um 10 mánuðir) er æxlunarhringurinn styttri því hrefnur eiga að jafnaði eitt afkvæmi á ári⁵³. Ekki eru fyrirbyggjandi gögn um breytingar í tímgunarhraða eftir aðstæðum í sjónum eins og sýnt hefur verið fram á hjá langreyði. Rannsóknir á orkubúskap benda þó til að hrefnan líkist langreyði að þessu leyti^{54,55} og geti því verið viðkvæm fyrir sveiflum í fæðuframboði.

Samfara breytingum í útbreiðslu hrefnu við Ísland hafa orðið miklar breytingar á fæðusamsetningu tegundar-innar á landgrunni Íslands. Á árunum 1977–1997 var sandsíli helsta fæðutegundin úti fyrir Suðurlandi og Vesturlandi en loðna og ljósáta yfirgnæfandi hluti fæðunnar norðanlands⁵⁶. Eftir aldamót (2003–2007) hafði hlutfall loðnu og ljósátu í fæðunni minnkað mikið en vægi þorskfiska (einkum ýsu) og síldar aukist að sama skapi^{22,57}. Í seinni rannsókninni minnkaði hlutdeild sandsíls í fæðu hrefnu sunnanlands úr 90% árið 2003 í 20% árið 2007. Þessar miklu breytingar á fæðusamsetningu hrefnu við Ísland eru í samræmi við miklar breytingar sem urðu á stofnum þessara fæðutegunda (sandsíli, loðnu, ýsu og átu) á sama tíma^{22,58–60}. Hrefna virðist því hafa brugðist við breyttum lífsskilyrðum í hafinu bæði með því að færa sig norðar og með breytti fæðusamsetningu²².

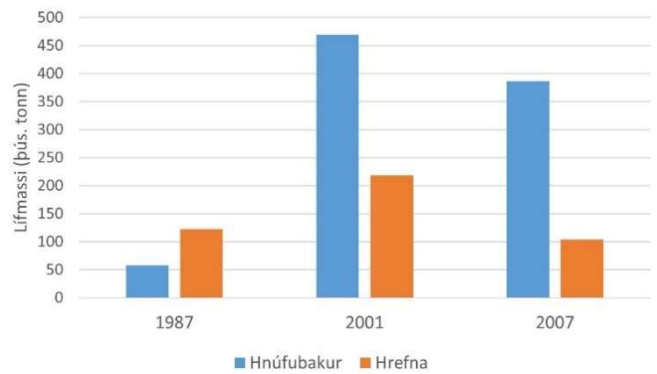
7.1.4 Hnúfubakur (*Megaptera novaeangliae*)

Hnúfubakur sker sig frá reyðarhvolunum í útliti þótt erfðafræðilegur skyldleiki sé mikill⁶¹. Hann er kubbslegri og hægsyndari en reyðarnar og var því skotmark hvalveiðavíða um heim fyrir tíma nútímahvalveiða^{8,9,10}. Með tilkomu norsku hvalveiðistöðvanna í lok 19. aldar var gengið mjög nærri hnúfubaksstofninum^{9,45}.

Breytingar á útbreiðslu og fjölda

Hnúfubakur var mjög sjaldgæfur langt fram eftir síðustu öld en tók að fjölga á hafsvæðinu vestan Íslands upp úr 1970²³. Þrátt fyrir það var fjöldinn á Mið-Norður-Atlantshafi metinn innan við 2 þúsund dýr árið 1987 þegar skipulegar hvalatalningar hófust⁶². Eftir það fjölgaði hnúfubak mjög hratt og var stofninn metinn um 14 þúsund í talningunum 2001. Eftir aldamót (frá og með 2001) hafa ekki orðið marktækar breytingar á stofnstærð og virðist vaxtarskeiði þessu því lokið og jafnvel vísbendingar um fækkun í síðustu talningu²⁵.

Í heild hefur orðið mikil fjölgun hnúfubaks á hafsvæðinu við Ísland síðustu áratugi og jafnframt hliðrun á úrbreiðslutil norðurs^{49,63}. Athyglisvert er að samfara aukningu hnúfubaks á landgrunnssvæðinu var mikil fækkun hrefnu á því svæði og hefur hnúfubakur því velt hrefnunni úr sessi sem ráðandi tegund skíðishvala á landgrunni Íslands (mynd 7.1.4).



Mynd 7.1.4. Breytingar á lífmassa (pús. tonn) hrefnu (blátt) og hnúfubaks (appelsínugult) á landgrunni Íslands 1987–2007 samkvæmt talningum.

Í haustmælingum loðnu (sept. – okt.) hefur undanfarin ár sést mikill fjöldi hnúfubaka norðvestur af Íslandi og við austurströnd Grænlands²⁵ og virðist útbreiðslan fylgja dreifingu loðnu í stórum dráttum. Jafnframt er ljóst að nokkur þúsund hnúfubakar og langreyðar halda til á þessu svæði a.m.k. eitthvað fram eftir hausti. Lengi hefur verið þekkt að óþekktur fjöldi hnúfubaka er við Ísland langt fram eftir vetri og fylgir því ekki dæmigerðu farmynstri meginhluta stofnsins og annarra skíðishvala^{33,61,64}. Talningar utan sumartíma benda til að haust- og veturseta hnúfubaka við Ísland hafi almennt aukist á síðustu áratugum³³.

7.1.5 Tannhvalir

Almennt er minni þekking á breytileika í líflandafræði og líffræði og tengslum þeirra þátta við umhverfisbreytingar hjá tannhvölum en skíðishvölum. Umfjöllunin hér að neðan er því að mestu takmörkuð við þrjár tegundir, háhyrning (*Orcinus orca*), hnýðing (*Lagenorhynchus albirostris*) og hnísu (*Phocoena phocoena*).

Háhyrningur er stærsta tegund höfrungaættarinnar og er útbreidd um allan heim frá hitabeltissvæðum til heimskautasvæða^{65,66}. Háhyrningar hafa mjög fjölbreytt fæðuval og éta allt frá smávöxnum uppsjávarfiskum til stærstu dýrategundar heims, steypireyðar og eru því stundum kallaðir úlfar hafsins. Háhyrningar finnast allt kringum Ísland árið um kring og eru sérstaklega algengir á síldarslóðum^{45,67} þótt fæðan sé einnig fjölbreytt hérvið land⁶⁸. Stofnar háhyrninga eru almennt mun minnir annarra höfrungategunda sem eru mun neðar í fæðuvefnum og veldur það, ásamt hnappdreifingu, erfiðleikum við að meta stofnstærðir út frá hefðbundnum hvalatalningum. Samkvæmt nýjustu talningum (2015) er fjöldi háhyrninga á Mið-Norður-Atlantshafssvæðinu (Ísland og Færeyjar) metinn 30.540 dýr en mikil óvissa er í því mati (95% CI 8.316–112.120)⁶⁹ og því ekki unnt að meta hvort breytingar á heildarfjölda hafi orðið á talningatímabilinu 1986–2015⁶⁹. Líklega er ekki um einn einsleitan stofn að ræða á þessu stóra svæði heldur samsafn

margra misstórra hjarða með mismunandi sérhæfingu í fæðuvistfræði^{67,70,71}. Langtímarannsóknir á síldarmiðum hafa sýnt fram á að a.m.k. nokkur hundruð einstaklingar fylgja síldargöngum að meira eða minna leyti^{67,72,73} en einnig hefur nýlega verið sýnt fram á lengra far hjá hluta stofnsins⁷⁴.

Á síðustu áratugum hafa orðið umtalsverðar breytingar á haust- og vetrar útbreiðslu háhyrninga á grunnsævi við Ísland samfara breytingum á útbreiðslumynstri íslensku sumargotssíldarinnar^{70,75}. Þannig hefur meginútbreiðslu-kjarni háhyrninga, sem sérhæfa sig í síldaráti, færst frá Austfjörðum til Vesturlands (Breiðafjarðar) kringum síðustu aldamót. Ekki er ljóst hvort og þá hvernig þessar breytingar tengjast umhverfisbreytingum í hafinu. Hluti þessara háhyrninga heldur til við Vestmannaeyjarað sumarlagi en aðrar hjarðir halda til við Skotland að sumarlagi og nærast þar m.a. á sjávarspendýrum^{74,76}. Ekki er ljóst hvenær þessi reglubundnu ferðalög milli Íslands og Bretlands hófust en leiddar hafa verið líkur að því að um sé að ræða nýlega breytingu sem gæti tengst breytingum í fæðuframboði⁷⁴.

Það virðist því vera talsverður breytileiki meðal háhyrninga varðandi sérhæfingu í fæðunámi. Sumar hjarðir virðast nærast svo til eingöngu á síld meðan aðrar eru sveigjanlegri í fæðuvali og ferðast langar leiðir. Leiða má líkum að því að fyrrnefndu hjarðirnar séu viðkvæmarifyrir umhverfisbreytingum sem hefðu áhrif á framboðsildar sem fæðu.

Hnýðingur er algengasta höfrungategundin við Ísland. Tegundin er í mestum þéttleika á landgrunssvæðum en finnst einnig í talsverðu magni í úthafinu þar sem hin náskylda tegund leiftur (*L. acutus*) er algengari, einkum sunnan Íslands. Fjöldi hnýðinga var metinn 159.000 (95% CI 49.957–506.054) í síðustu talningu (2015) á Mið-Norður-Atlantshafi²⁵. Samkvæmt talningum á landgrunni Íslands hefur fjöldi hnýðinga aukist (einkum) fyrir norðan Ísland á tímabilinu 1986–2016⁴⁹. Mestur hluti þessarar aukningar er vegna mikillar fjölgunar norðan Íslands og er hugsanlegt að heildarfjölgunin sé að stórum hluta vegna hliðrunar á útbreiðslu til norðurs. Það væri í samræmi viðfæðu hnýðings hér við land sem samanstendur að miklu leyti af þorskfiskum og er ýsa algengasta fæðutegundin⁷⁷. Hnísa er langminnsta hvalategundin við landið og mælist því verr í hvalatalningum sem hannaðar eru m.t.t. mun stærri hvalategunda. Ekki eru marktækar breytingar í fjölda hnísa við landið á tímabilinu 1986–2016 samkvæmt talningum⁴⁹ en stöðluð gögn um tíðni hnísu sem meðafla í netaveiðum benda til hliðrunar í útbreiðslu frá hlýsjónum sunnan og vestan lands til svalsjávarins fyrir Norðausturlandi.

Samantekt

Frá því að reglulegar hvalatalningar hófust árið 1987 hafa umtalsverðar breytingar átt sér stað í fjölda og útbreiðslu hvala við Ísland. Breytingar þessar virðast í mörgum tilfellum tengjast breytingum í vistkerfinu sem rekja mátil hlýnunar sjávar. Upplýsingar eru mjög takmarkaðar um flestar þeirra 23 tegunda hvala sem sést hafa við Ísland en helstu breytingar sem merkja má af fyrirbyggjandi gögnum eru eftirfarandi. Mikil aukning hefur orðið í fjöldahnúfubaks og langreyðar og einnig virðist hnýðingi hafa fjölgað nokkuð. Hrefnu hefur hins vegar fækkað mikið á landgrunssvæði Íslands þótt ekki hafi orðið marktæk stofnstærðarbreyting á stofnsvæði hrefnu sem heildar (Mið-Norður-Atlantshaf). Þessi fækkun virðist tengjast miklum breytingum á framboði mikilvægra fæðutegunda hrefnu á landgrunni, s.s. sandsíli og loðnu. Jafnframt hafa orðið talsverðar breytingar á útbreiðslu. Fjölgun hnúfubaks og fækkun hrefnu hefur leitt til þess að hnúfubakur er nú ráðandi tegund skíðishvala á landgrunni Íslands. Hrefnu hefur hins vegar fjölgað norðan við landið (m.a. við Jan Mayen) og virðist því hafa komið fram hliðrun á útbreiðslu hrefnu til norðurs innan stofnsvæðisins. Fjölgun langreyðar virðist að hluta til mega skýra með stækkun á útbreiðslusvæði milli Íslands og Grænlands, samfara hlýnun sjávar í Irmingerhafi. Einnig vekur athygli mikill fjöldi langreyða og hnúfubaka að haustlagi við strendur austur Grænlands samkvæmt talningum í loðnuleiðangri 2015. Fyrirliggjandi gögn benda einnig til hliðrunar útbreiðslu til norðurs hjá steypireyði, hnýðingi, hnísu og hugsanlega einnig marsvíni (grindhval). Tíðnihvalreka á Íslandsstrendur bendir auk þess til aukningarí komum suðrænna flækinga til landsins, s.s. rákahöfrungs (*Stenella coeruleoalba*)⁷⁸ og nokkurra tegunda svínhvala (Ziphiidae)^{79–83} undanfarin 30 ár.

7.2 Selir

Sandra M. Granquist
Hafrannsóknastofnun

Tvær selategundir kæpa við Íslandsstrendur, útselur (*Halichoerus grypus*) og landselur (*Phoca vitulina*). Auk þess eru fjórar tegundir þekktar hér við land sem flækingaren það eru vöðuselur (*Phoca groenlandica*), kampselur (*Erignathus barbatus*), blöðruselur (*Cystophora cristata*) og hringanóri (*Phoca hispida*). Þar að auki er rostungur (*Odobenus rosmarus*) mjög sjaldséður gestur á Íslandi. Rannsóknir á sel við Ísland hafa beinst að þeim tegundumsem kæpa hér við land, landsel og útsel, og reglulegt stofnmat hefur verið framkvæmt á landsel síðan 1980 og á útsel síðan 1982.

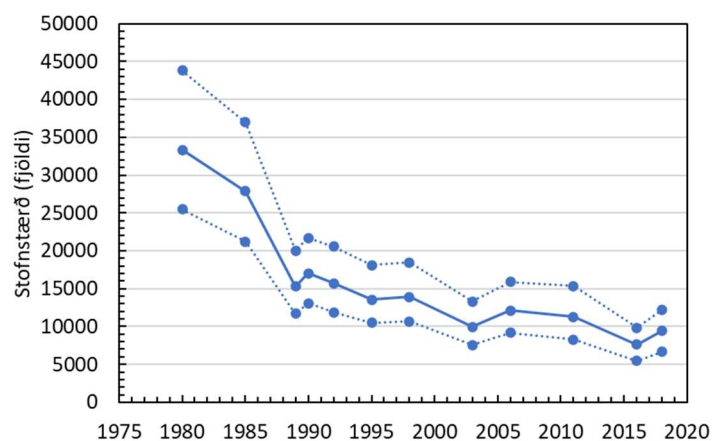
Veiðar á landsel og útsel voru umfangsmiklar á Íslandi áðurfyrr, fyrst sem hlunnindi sjávarjarða, en síðar var greitt fyrir veidda seli bæði af hringormanefnd og veiðifélögum laxveiðiaá^{84,85}. Selveiðar voru bannaðar við Ísland árið 2019⁸⁶ en hægt er að sækja um undanþágu fyrir hefðbundnar nytjaveiðar. Helsta ógn selastofnanna við Ísland í dag er talin vera vegna fiskveiða, einkum netaveiðaá grásleppu en margir selir drukkna í grásleppunetum á ári hverju⁸⁷. Umhverfisbreytingar geta einnig haft áhrif á þróun stofnstærðar sela og velferð stofna.

Rannsóknir sýna að loftslagsbreytingar hafa áhrif á útbreiðslu og viðgang stofna, vegna breytinga á vistkerfi, ekki síst á heimskautasvæðunum⁸⁸. Bein áhrif umhverfisbreytinga á selastofna hafa lítið verið rannsökuð við Ísland en erlendar rannsóknir hafa sýnt að umhverfi og breytingar þar á geta haft margvísleg áhrif á ástand selastofna⁸⁹. Í nýlegri samantekt um áhrif loftslagsbreytinga á landseli á heimsvísu voru margvísleg áhrif tilgreind. Má þar nefna breytingar á veðri sem geta haft áhrif á hitastjórnun sela í látrum, fækkun á hentugum selalátrum, breytingar á útbreiðslu mikilvægra fæðutegunda og samkeppni milli tegunda, breytingar á útbreiðslu sjúkdómsvalda og breytingar á mengandi efnum⁸⁹. Ljóst er að selir eru mjög útsettir fyrir neikvæðum áhrifum loftslagsbreytinga en önnur áhrif af mannavöldum geta einnig aukið álag á viðkvæmum selastofnum. Landselir samnýta oft svæði með mönnum og eru ekki bara undir hugsanlegum áhrifum vegna umhverfisbreytinga heldur einnig undir álagi vegna t.d. framkvæmda og umferðar. Á Íslandi er þekkt að selir hafatruflast vegna aukinnar ferðamennsku hér við land, þá ekki síst á viðkvæmum tímabilum svo sem þegar kæping eða háraskipti eiga sér stað⁹⁰.

Þróun stofnstærðar hjá landsel og útsel frá upphafi mælinga, breytingar á útbreiðslu og öðrum líf- og vistfræðilegum þáttum ásamt hugsanlegum áhrifum umhverfisbreytinga á þessa þætti eru rædd í þessum kafla.

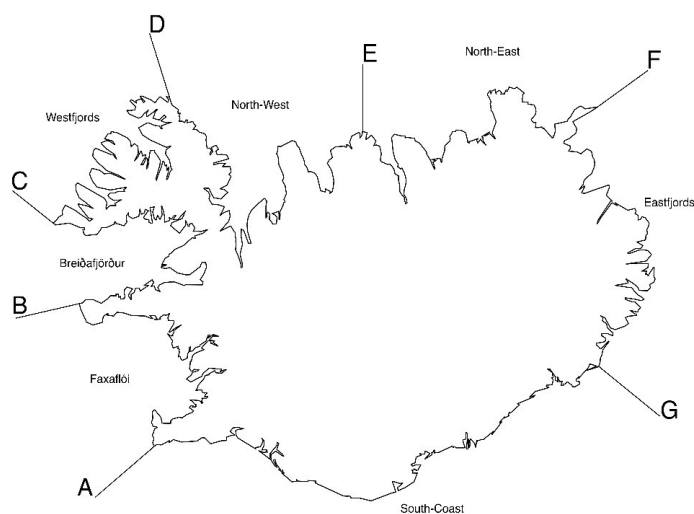
7.2.1 Landselur (*Phoca vitulina*)

Mat á stofnstærð landsela fer fram með talningum á dýrum sem sjást í látrum á háraskiptatímabilinu að sumri til (lok júlí – ágúst). Til að áætla stofnstærð út frá talningargögnum er notaður leiðréttingarstuðull til að leiðrétta fyrir áætluðum fjölda dýra sem eru neðansjávar meðan talið er eða sem talningarmenn geta hafa misst af. Á Íslandi hófust reglulegar talningar á landsel árið 1980 og gefur stofnmat til kynna að fækkun hafi átt sér stað síðan þá (mynd 7.2.1)⁹¹. Mesta fækkunin í landselsstofninum átti sér stað á tímabilinu frá 1980–1989. Helsta ástæða þess er talin vera markvissar veiðar til að fækka í stofninum þar sem greitt var fyrir veidd dýr⁸⁴. Síðan 1989 hefur orðið áframhaldandi fækkun en mun hægari. Nýjasta stofnmatið á landsel er frá 2018 og var áætluð stofnstærð eftir að leiðréttingarstuðli hafði verið beitt, 9.434 selir (CI 95%= 6.149–12.726)⁹¹. Árið 2018 var stofninn því 72% minni en þegar hann var fyrst metinn (1980). Samkvæmt stjórnunarmarkmiði fyrir íslenska landselsstofninn skal stofnstærðin ekki fara niður fyrir 12.000 dýr. Rannsóknir á breytingum í stofnstærð árin 2011–2018 sýna að stofninn sveiflast nú í kringum lágmarksstofnstærð.



Mynd 7.2.1. Breytingar á stærð íslenska landselsstofnsins (í fjölda) á árunum 1980 til 2018 (heil lína) ásamt 90% öryggis-mörkum (brotnar línur)⁹¹.

Útbreiðsla landsela eftir svæðum (mynd 7.2.2) hefur verið rannsökuð⁹¹. Í síðustu talningu frá 2018 var flesta seli að finna á Suðurlandi (1.084 selir) og á Norðvesturlandi (867 selir). Fæstir selir voru hins vegar á Norðausturlandi. Þegar breytingar á fjölda landsela frá 2011 til 2018 voru skoðaðar kom í ljós fækkun í öllum landshlutum nema á Austfjörðum og á Suðurlandi þar sem fjöldinn hafði aukist. Mesta fækkunin kom fram á Norðausturlandi (54%) og mesta fjölgunin á Suðurlandi (53%) á því tímabili. Þegar breytingar fyrir allt tímabilið eru skoðaðar (1980–2018) var fækkun á öllum svæðum og ekki að sjá neitt skýrt mynstur í breytingum eftir landsvæðum sem er hægt að rekja beint til umhverfisbreytinga. Þessar tölur sýna hins vegar eingöngu útbreiðslu landsela á hárskiptartímabilinu. Skortur er á gögnum um útbreiðslumynstur landsela utan þess tíma, eins og t.d. á kæpingartímabilinu að vori.



Mynd 7.2.2. Skipting strandlengju Íslands í undirsvæði. A – B Faxaflói, B – C Breiðafjörður, C – D Vestfirðir, D – E Norðvesturland, E – F Norðausturland, F – G Austfirðir og G – A Suðurland.

Landselur og útselur verja miklum tíma á landi. Því eru það ekki einungis breytingar á hitastigi sjávar sem geta haft áhrif á seli heldur geta lofthiti og veðurfar haft áhrif á bæði atferli og hitastjórnun sela í látrum en hitastjórnun er orkufrétt ferli hjá landselum. Rannsókn á atferli landsela í látrum og áhrifum veðurs þar á sýndi að selir eru líklegri til að liggja uppi á landi þegar vindur er mikill og einnig hafði hærri hiti jákvæð áhrif á þann á tíma sem selirnir vörðu á landi⁹². Veðurfarsbreytingar, svo sem aukin tíðni storma og breytingar á hitastigi, hafa þannig áhrif á þann tíma sem landselir verja á landi og á orkubúskap þeirra en óvíst er um áhrif á afkomu dýranna. Rannsóknir erlendis frá sýna að ef hiti verður of hár verja selir hins vegar minni tíma á landi vegna hættu á að ofhitna⁹³.

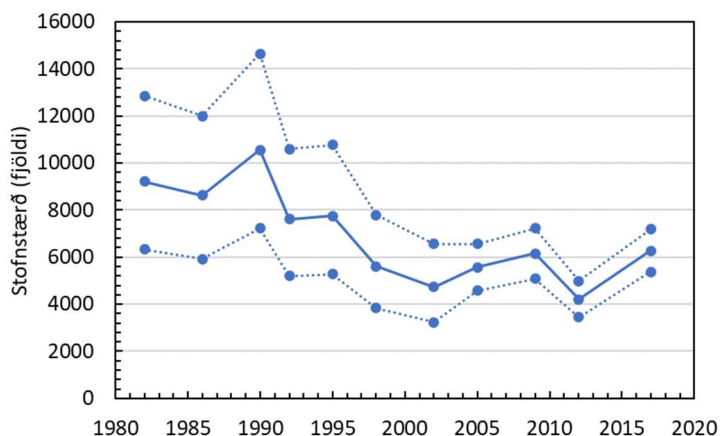
Ein leið til að meta líkamsástand sela er að mæla spikþykkt dýra. Í rannsókn sem var framkvæmd á Íslandi var sýnt fram á að spikþykkt á bringubeini landsela var minni hjá selum sem voru veiddir 2009 en hjá selum veiddum á árunum 1985 og 1995. Ástæða þessa breytileika er óljós en breytingar á fæðuframboði eða

áhrif af mannavöldum hafa verið nefnd sem möguleg ástæða⁹⁴. Frekari rannsókna er þörf til að geta metið áhrif umhverfisbreytinga á ástand landsela.

Landselir og útselir eru taldir vera tækifærissinnar í fæðuvali og taka þá bráð sem er aðgengileg á hverjum tíma. Slíkar tegundir eiga auðveldara með að bregðast við breytingum á fæðuframboði, miðað við tegundir sem eru sérhæfðari í fæðuvali. Engu að síður geta miklar breytingar á fæðuframboði og útbreiðsla mikilvægra fæðutegunda haft áhrif á afkomu landsels og útsels⁹⁵ og getur t.d. leitt til verri líkamlegs ástands⁹⁶. Fæðurannsóknir geta gefið vísbendingar um vistkerfisbreytingar og ástand annarra stofna. Sem dæmi sýndi rannsókn á Norðvesturlandi að sandsíli væri ein helsta fæðutegund landsela á því svæði á tímabilinu sem rannsóknin fór fram (2010–2011)^{97,98}. Á sama tíma hafði verið hrun og viðkomubrestur í sandsílastofninum fyrir sunnan og vestan land⁹⁹. Fæðurannsóknirnar á sel gáfu því sterklega til kynna að ekki hafi orðið hrun á magni sandsíls á Norðvesturlandi sem voru þá óþekktar upplýsingar.

7.2.2 Útselur (*Halichoerus grypus*)

Talning á útsel fer fram á kæpingartímabilinu að hausti þar sem viðkoma stofnsins (kópaframleiðsla) er metin. Áætluð kópaframleiðsla er svo notuð til að meta heildarstofnstærð. Mat á stærð stofnsins við Ísland nær aftur til ársins 1982. Í nýjasta mati á útselastofninum frá árinu 2017 var heildarfjöldi kópa metinn 1452 dýr (95% CI= 1385–1529) og áætluð heildarstofnstærð útsels 6269 (95% CI=5375–7181) dýr (mynd 7.2.3)¹⁰⁰. Stofnstærð útsels var því um 32% minni en við fyrstu talningu árið 1982. Viðmiðunarmörk stjórnvalda eru að útselsstofninn skuli ekki fara niður fyrir 4100 dýr og er hann því yfir viðmiðunarmörkum.



Mynd 7.2.3. Stofnstærð útsels (fjöldi dýra eldri en eins árs) 1982 til 2017 með 90% öryggismörkum. Stofnstærð árunum 1982–2002 var metin með eldri aðferð sem byggðist á einniflugtalningu á hverjum kæpingarstað að hausti.

Breiðafjörður er langmikilvægasta kæpingarsvæði íslenska útselastofnsins. Í síðustu talningu sem fór fram árið 2017 var áætlaður fjöldi kópa þar 845 (95% CI= 807–887) sem svaraði til 58% af heildarkópafjölda það árið. Önnur mikilvæg kæpingarsvæði eru Strandir og Skagafjörður á Norðurlandi vestra ásamt Surtsey og Öræfum á Suðurlandi¹⁰⁰. Niðurstöður talninga benda ekki til þess að skýrt mynstur sé til staðar í breytingum eftir landssvæðum sem er hægt að rekja beint til umhverfisbreytinga. Mikilvægt er að benda á að þessar tölur sýna eingöngu útbreiðslu útsela á kæpingartímabilinu meðan gögn um útbreiðslu utan þess tíma eru lítil eins og t.d. á háraskiptatímabilinu á vorin. Litlar rannsóknir hafa verið gerðar á öðrum líffræðilegum þáttum hjá útsel síðastliðin ár, umfram það sem komið hefur hér fram.

Samantekt

Reglulegar talningar á landsel frá árinu 1980 gefa til kynna fækkun í stofnnum síðan þá, einkum á árunum 1980–1989 vegna veiða. Fækkun hefur orðið allt í kringum landið. Stofnstærð útselastofnsins hefur einnig verið á niðurleið síðan talningar hófust 1982 en hlutfallslega minni lækkun. Engar niðurstöður hafa sýnt fram á áhrif umhverfisbreytinga á selastofnana við Ísland meðan að slík áhrif eru þekkt annars staðar en frekari rannsókna er þörf. Breytingar í umhverfi sjávar og veðurfari geta haft áhrif á seli þar sem þeir verja töluverðum tíma á landi. Landselir og útselir eru taldir vera tækifærissinnar í fæðuvali og taka þá bráð sem er aðgengileg á hverjum tíma sem gerir þeim auðveldara með að bregðast við breytingum á fæðuframboði, t.d. af völdum umhverfisbreytinga.

Heimildir

1. Laidre, K.L. Stirling, I., Lowry, L.F., Wiig, Ø., Heide-Jørgensen, M.P. & Ferguson, S.H. 2008. Quantifying the sensitivity of Arctic marine mammals to climate-induced habitat change. *Ecological Application*. 18, 97–125.
2. Moore, S.E. 2005. Long-term environmental change and marine mammals. Í *Marine Mammal Research Conservation* (ritstj. Reynolds III, J.E., Perrin, W.F., Reeves, R.R., Montgomery, S., & Ragen, T.J.) 137–147 (Crisis Johns Hopkins University Press Baltimore Md. USA).
3. Moore, S.E., Haug, T., Gísli A. Víkingsson & Stenson, G. B. 2019. Baleen whale ecology in arctic and subarctic seas in an era of rapid habitat alteration. *Progress in Oceanography*. 176, 102118.
4. Moore, S.E. 2008. Marine mammals as ecosystem sentinels. *Journal of Mammalogy*. 89, 534–540.
5. Moore, S.E. 2016. Is it ‘boom times’ for baleen whales in the Pacific Arctic region? *Biological Letters*. 12, 20160251.
6. Páll Hersteinsson. 2004. Íslensk Spendýr (Icelandic Mammals). (Vaka-Helgafell).
7. Gísli A. Víkingsson. 2016. Decadal changes in distribution, abundance and feeding ecology of baleen whales in Icelandic and adjacent waters - A consequence of climate change? (Dr. ritgerð, Háskólinn í Tromsø, The Arctic University of Norway).
8. Lúðvík Kristjánsson. 1986. Íslenskir sjávarhættir, vol. 5. Bókaútgáfa Menningarsjóðs Reykjavík.
9. Jóhann Sigurjónsson. 1989. To Icelanders, Whales Were a Godsend. *Oceanus*. 32, 29–36.
10. Smári Geirsson. 2015. Stórhvalveiðar við Ísland til 1915. (Sögufélag, Reykjavík).
11. Jóhann Sigurjónsson & Gísli A. Víkingsson. 1997. Seasonal abundance of and estimated food consumption by cetaceans in Icelandic and adjacent waters. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*. 22, 271–287.
12. Lockyer, C. & Pike, D.G. 2009. North Atlantic Sightings Surveys - Counting whales in the North Atlantic 1987-2001. NAMMCO Science Publication. 7, 1–243.
13. Donovan, G.P. 1991. A review of IWC stock boundaries. Reports of the International Whaling Commission Special Issue. 13, 39–68.
14. Trausti Einarsson. 1987. Hvalveiðar við Ísland 1600-1939. (Bókaútgáfa Menningarsjóðs).
15. Jóhann Sigurjónsson. 1982. Icelandic minke whaling 1914-1980. Report of the meeting of the International Whaling Commission. 32, 287–29.
16. Sears, R., Burton, C. & Gísli Víkingsson. 2005. Review of blue whale (*Balaenoptera musculus*) photoidentification distribution data in the North Atlantic, including the first long-range match between Iceland and Mauritania. Proceedings from the 16th Biennial conference on the biology of marine mammals. San Diego, CA 254 (Society for Marine Mammalogy).
17. Cooke, J.G. 2018. *Balaenoptera musculus* (errata version published in 2019). <https://www.iucnredlist.org/species/2477/156923585> (2019).
18. Gísli A. Víkingsson. 2004. Steypireyður. Í Íslensk Spendýr (ritstj. Páll Hersteinsson) 200–203 (Vaka-Helgafell).
19. Jóhann Sigurjónsson. 1995. On the life history and autecology of North Atlantic rorquals. *Developments in Marine Biology*. 4, 425–441.
20. Heide-Jørgensen, M. P., Kleivane, L., Øien, N., Laidre, K. L. & Jensen, M. V. 2001. A new technique for deploying satellite transmitters on baleen whales: Tracking a blue whale (*Balaenoptera musculus*) in the North Atlantic. *Marine Mammal Science*. 17, 949–954.
21. Pike, D. G., Gísli A. Víkingsson, Þorvaldur Gunnlaugsson & Øien, N. 2009. A note on the distribution and abundance of blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the Central and Northeast North Atlantic. NAMMCO Science Publication. 7, 19–29.
22. Gísli Víkingsson, Pike, D., Schleimer, A., Héðinn Valdimarsson, Þorvaldur Gunnlaugsson, Silva, T., Bjarki Elvarsson, Mikkelsen, B., Øien, N., Desportes, G., Valur Bogason & Hammond, P.S. 2015. Distribution, abundance and feeding ecology of baleen whales in Icelandic waters: have recent environmental changes had an effect? *Frontiers in Ecology and Evolution*. 3, 1–18.
23. Jóhann Sigurjónsson & Þorvaldur Gunnlaugsson. 1990. Recent trends in abundance of blue (*Balaenoptera musculus*) and humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) off west and southwest Iceland, with a note on occurrence of other cetacean species. Report of the meeting of the International Whaling Commission. 40, 537–551.
24. Pike, D.G., Þorvaldur Gunnlaugsson, Mikkelsen, B., Sverrir D. Halldórsson, Gísli A. Víkingsson, Acquarone, M. & Desportes, G. 2020. Estimates of the abundance of cetaceans in the Central North Atlantic from the T-NASS Icelandic and Faroese ship surveys conducted in 2007. NAMMCO Science Publication. 11, 1–19.
25. Pike, D., Þorvaldur Gunnlaugsson, Mikkelsen, B., Sverrir D. Halldórsson & Gísli A. Víkingsson. 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 Science Publication. 11.
26. Atli Konráðsson & Jóhann Sigurjónsson. 1989. Studies on Growth Layers in Tympanic Bullae of Fin Whales (*Balaenoptera physalus*) caught off Iceland. Report of the meeting of the International Whaling Commission. 39, 277–279.
27. Gísli A. Víkingsson. 2004. Langreyður. Í: Íslensk Spendýr (ritstj. Páll Hersteinsson) 204–211 (Vaka-Helgafell).
28. Nielsen, N.H. Garde, E., Heide-Jørgensen, M.P., Lockyer, C.H., Ditlevsen, S., Droplaug Ólafsdóttir & Hansen, S.H. 2012. Application of a novel method for age estimation of a baleen whale and a porpoise. *Marine Mammal Science*. 29(2), E1-E23.
29. Garde, E. Bertelsen, M.F., Ditlevsen, S., Heide-Jørgensen, M.P., Nielsen, N.H., Frie, A.K., Droplaug Ólafsdóttir, Siebert, U. & Hansen, S.H. 2018. Accuracy of the Aspartic Acid Racemization Technique in Age Estimation of Mammals and the Influence of Body Temperature. NAMMCO Science Publication. 10.
30. Gísli A. Víkingsson & Héðinn Valdimarsson. 2006. Hvalir og umhverfisþættir. *Hafrannsóknastofnun Fjölrit*. 125, 30–33.
31. Gísli A. Víkingsson Pike, D.G., Desportes, G., Øien, N., Þorvaldur Gunnlaugsson & Bloch, D. 2009. Distribution and abundance of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Northeast and Central Atlantic as inferred from the North Atlantic Sightings Surveys 1987-2001. NAMMCO Science Publication. 7, 49–72.
32. Rørvik, C.J., Jón Jónsson, Mathiesen, O. A. & Jonsgård, Å. 1976. Fin whales, *Balaenoptera physalus* (L.), off the west coast of Iceland: distribution, segregation by length and exploitation. *Rit Fiskideildar*. 5, 1-30.

33. Þorvaldur Gunnlaugsson & Gísli A. Víkingsson. 2014. Winter occurrence of whales in waters around Iceland. IWC SC/65b/RMP06.
34. Lockyer, C. & Brown, S.G. 1979. A review of recent biological data for the fin whale population off Iceland. Report of the meeting of the International Whaling Commission. 29, 185–189.
35. Jóhann Sigurjónsson. 1992. Recent studies on abundance and trends in whale stocks in Icelandic and adjacent waters. Royal Academy of Overseas Sciences. 77–111.
36. Gísli A. Víkingsson. 1990. Energetic Studies on Fin and Sei Whales Caught off Iceland. Report of the meeting of the International Whaling Commission. 40, 365–373.
37. Gísli A. Víkingsson. 1995. Body condition of fin whales during summer off Iceland. Í: Whales, seals, fish and man (ritstj. Blix, A. S., Walløe, L. & Ulltang, Ø.) Volume 4, 361–369 (Elsevier Science B.V.).
38. Lockyer, C. 1987. The relationship between body fat, food resource and reproductive energy costs in North Atlantic fin whales (*Balaenoptera physalus*). Symposia of the Zoological Society of London. 57, 343–361.
39. Lockyer, C. 1987. Evaluation of the role of fat reserves in relation to the ecology of North Atlantic fin and sei whales. Í: Approaches to Marine Mammal Energetics (ritstj. Huntley, A.C., Costa, D.P., Worthy, G.A.G. & Castellini, M.A.). Special Publication no. 1. Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS.
40. Gísli A. Víkingsson. 1993. Orkubúskapur langreyðar við Ísland og tengsl hans við far og æxlun. Í: Villt íslensk spendýr (ritstj. Guttormur Sigbjarnarson & Páll Hersteinsson) 175–187 (Hið íslenska Náttúrufræðifélag og Landvernd).
41. Williams, R., Gísli A. Víkingsson, Ástþór Gíslason, Lockyer, C., New, L., Thomas, L. & Hammond, P.S. 2013. Evidence for density-dependent changes in body condition and pregnancy rate of North Atlantic fin whales over four decades of varying environmental conditions. ICES Journal of Marine Science. 70, 1273–1280.
42. Þorvaldur Gunnlaugsson, Gísli Víkingsson & Sverrir Halldórsson. 2013. Recent changes in biological parameters of North Atlantic fin whales. IWC SC/65a/RMP04. 1–5.
43. Gísli A. Víkingsson. 2004. Hrefna. Í: Íslensk Spendýr (ritstj. Páll Hersteinsson) 218–223 (Vaka-Helgafell).
44. Gísli A. Víkingsson & Heide-Jørgensen, M.P. 2015. First indications of autumn migration routes and destination of common minke whales tracked by satellite in the North Atlantic during 2001–2011. Marine Mammal Science. 31, 376–385.
45. Bjarni Sæmundsson. 1939. Mammalia. Zoology of Iceland. 4, 1–38.
46. Bjarni Sæmundsson. 1932. Íslensk dýr II: Spendýrin. Reykjavík.
47. Donovan, G.P. & Þorvaldur Gunnlaugsson. 1989. North Atlantic sightings survey 1987: Report of the aerial survey off Iceland. Report of the meeting of the International Whaling Commission. 39, 437–441.
48. Þorvaldur Gunnlaugsson, Jóhann Sigurjónsson & Donovan, G.P. 1988. Aerial Survey of Cetacean in the Coastal Waters off Iceland, June-July 1986. Report of the meeting of the International Whaling Commission. 38, 489–500.
49. Pike, D., Þorvaldur Gunnlaugsson, Jóhann Sigurjónsson & Gísli Víkingsson. 2020. Distribution and abundance of cetaceans in Icelandic waters over 30 years of aerial surveys. NAMMCO Science Publication. 11.
50. Bertulli, C.G. Guéry, L., McGinty, N., Suzuki, A., Brannan, N., Marques, T., Rasmussen, M.H., & Gimenez, O. 2018. Capture-recapture abundance and survival estimates of three cetacean species in Icelandic coastal waters using trained scientist-volunteers. Journal of Sea Research. 131, 22–31.
51. Solvang, H.K., Skaug, H.J. & Öien, N. 2017. Preliminary abundance estimates of common minke whales in Svalbard 2014, the Norwegian Sea 2015, and Jan Mayen 2016 – the first three years of the survey cycle 2014-2019 of the Northeast Atlantic. IWC SC/67A/RMP/03 11 bls.
52. Hansen, R.G. Boye, T.K., Larsen, R.S., Nielsen, N.H., Tervo, O., Nielsen, R.D., Rasmussen, M.H., Sinding, M.H.S. & Heide-Jørgensen, M.P. 2018. Abundance of whales in West and East Greenland in summer 2015. NAMMCO Science Publication. 11.
53. Gísli A. Víkingsson & Jóhann Sigurjónsson. 1998. Hrefna. Lífríki sjávar – Námsgagnastofnun.
54. Christiansen, F., Gísli Víkingsson, Rasmussen, M.H. & Lusseau, D. 2014. Female body condition affects foetal growth in a capital breeding mysticete. Functional Ecology. 28, 579–588.
55. Christiansen, F., Gísli A. Víkingsson, Rasmussen, M. H., & Lusseau, D. 2013. Minke whales maximise energy storage on their feeding grounds. Journal of Experimental Biology. 216, 427–436.
56. Jóhann Sigurjónsson, Galan, A. & Gísli A. Víkingsson. 2000. A note on stomach contents of minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in Icelandic waters. NAMMCO Science Publication. 2, 82–90.
57. Gísli A. Víkingsson, Bjarki Þór Elvarsson, Droplaug Ólafsdóttir, Jóhann Sigurjónsson, Chosson, V. & Galan, A. 2014. Recent changes in the diet composition of common minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in Icelandic waters. A consequence of climate change? Marine Biology Research. 10, 138–152.
58. Ólafur S. Ástþórsson, Ástþór Gíslason & Steingrímur Jónsson. 2007. Climate variability and the Icelandic marine ecosystem. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 54, 2456–2477.
59. Valur Bogason & Kristján Lilliendahl. 2009. Rannsóknir á sandsili. Hafrannsóknir. 145, 36–41.
60. Kristján Lilliendahl, Erpur S. Hansen, Valur Bogason, Marínó Sigursteinsson, Margrét L. Magnúsdóttir, Páll M. Jónsson, Hálf dán H. Helgason, Gísli J. Óskarsson, Pálmi F. Óskarsson & Óskar J. Sigurðsson. 2013. Viðkomubrestur lunda og sandsilis við Vestmannaeyjar. Náttúrufræðingurinn. 83, 65–79.
61. Gísli A. Víkingsson. 2004. Hnúfubakur. Í: Íslensk spendýr (ritstj. Páll Hersteinsson) 224–229 (Vaka-Helgafell).
62. Þorvaldur Gunnlaugsson & Jóhann Sigurjónsson. 1990. NASS-87: Estimation of whale abundance based on observations made onboard Icelandic and Faroese survey vessels. Report of the meeting of the International Whaling Commission. 40, 571–580.

63. Klotz, L., Fernández, R. & Rasmussen, M. 2017. Annual and monthly fluctuations in humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) presence in Skjálfandi Bay, Iceland, during the feeding season (April–October). *J. Cetacean Res. Manag.* 16, 9–16.
64. Edda E. Magnúsdóttir & Lim, R. .2019. Subarctic singers: Humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) song structure and progression from an Icelandic feeding ground during winter. *PloS One* 14, e0210057.
65. Gísli A. Víkingsson. 2004. Háhyrnir. Í: Íslensk spendýr (ritstj. Páll Hersteinsson) 150–153 (Vaka-Helgafell).
66. Jourdain, E., Ugarte, F., Gísli A. Víkingsson, Samarra, F.I., Ferguson, S.H., Lawson, J., Vongraven, D. & Desportes, G. 2019. North Atlantic killer whale *Orcinus orca* populations: a review of current knowledge and threats to conservation. *Mammal Review*. 49, 384–400.
67. Jóhann Sigurjónsson, Lyrholm, T., Leatherwood, S., Erlendur Jónsson & Gísli Víkingsson. 1988. Photoidentification of killer whales, *Orcinus orca*, off Iceland, 1981 through 1986. *Rit Fiskideildar*. 11, 99–114.
68. Samarra, F.I. Basso, M., Béreau, J., Margrét Ó. Elíasdóttir, Karl Gunnarsson, Mrusczok, M.-T., Rasmussen, M., Rempel, J.N., Baldur Þorvaldsson & Gísli A. Víkingsson GA. 2018. Prey of killer whales (*Orcinus orca*) in Iceland. *PloS One*. 13, e0207287.
69. Pike, D.G., Thorvaldur Gunnlaugsson, Bjarni Mikkelsen, Gísli Víkingsson & Desportes, G. 2020. Distribution and Abundance of Killer Whales in the Central North Atlantic, 1987–2015. NAMMCO Science Publication. 11.
70. Samarra, F.I.P., Tavares, S.B., Béreau, J., Deecke, V.B., Fennell, A., Miller, P.J.O., Hlynur Pétursson, Jóhann Sigurjónsson & Gísli A. Víkingsson. 2017. Movements and site fidelity of killer whales (*Orcinus orca*) relative to seasonal and long-term shifts in herring (*Clupea harengus*) distribution. *Marine Biology*. 164, 159.
71. Samarra, F.I., Vighi, M., Aguilar, A. & Gísli A. Víkingsson. 2017. Intra-population variation in isotopic niche in herring-eating killer whales off Iceland. *Marine Ecology Progress Series*. 564, 199–210.
72. Lyrholm, T., Leatherwood, S. & Jóhann Sigurjónsson. 1987. Photoidentification of killer whales (*Orcinus orca*) off Iceland, October 1985. *Cetology*. 52, 1–14.
73. Samarra, F.I.P., Tavares, S.B., Miller, P.J.O. & Gísli A. Víkingsson. 2017. Killer whales of Iceland 2006–2015. Haf- og vatnarannsóknir HV2017-005. 83 bls.
74. Samarra, F. & Foote, A.D. 2015. Seasonal movements of killer whales between Iceland and Scotland. *Aquatic Biology*. 24, 75–79.
75. Guðmundur J. Óskarsson, Ásta Guðmundsdóttir & Þorsteinn Sigurðsson. 2009. Variation in spatial distribution and migration of Icelandic summer-spawning herring. *ICES Journal of Marine Science*. 66, 1762–1767.
76. Foote, A.D., Similae, T., Gísli A. Víkingsson & Stevick, P.T. 2010. Movement, site fidelity and connectivity in a top marine predator, the killer whale. *Evolutionary Ecology*. 24, 803–814.
77. Gísli A. Víkingsson & Droplaug Ólafsdóttir. 2004. Hnýðingur. Í: Íslensk spendýr (ritstj. Páll Hersteinsson) 154–157 (Vaka-Helgafell).
78. Gísli A. Víkingsson. 2004. Rákahöfrungur. Í: Íslensk spendýr (ritstj. Páll Hersteinsson) 164–165 (Vaka-Helgafell).
79. Gísli A. Víkingsson. 1999. Norðsnjaldri (*Mesoplodon bidens*) greinist í fyrsta sinn á Íslandi. Skýrsla um starfsemi Hafranns. 1998 54, 57.
80. Gísli A. Víkingsson. 2004. Norðsnjaldri. Í: Íslensk spendýr (ritstj. Páll Hersteinsson) 184–185 (Vaka-Helgafell).
81. Sverrir D. Halldórsson, Þorvaldur Gunnlaugsson, Chosson, V. & Gísli A. Víkingsson. 2019. Cetacean strandings in Iceland 1981–2019. *Habitat and Distribution*. doi:10.13140/rg.2.2.14001.33121.
82. Droplaug Ólafsdóttir & Gísli A. Víkingsson. 2004. Skugganefja. Í Íslensk Spendýr (ritstj. Páll Hersteinsson) 180–181 (Vaka-Helgafell).
83. Droplaug Ólafsdóttir. 2004. Króksnjaldri. Í Íslensk spendýr (ritstj. Páll Hersteinsson) 182–183 (Vaka-Helgafell).
84. Sandra M. Granquist & Erlingur Hauksson. 2016. Management and status of harbour seal population in Iceland 2016: Catches, population assessments and current knowledge. *Veiðimálastofnun VMST/15002*. 17p.
85. Sandra M. Granquist & Erlingur Hauksson. 2016. Status of the grey seal population in Iceland. NAMMCO. SC/24/CSWG/13. 8p.

86. Atvinnuvega og Nýsköpunarráðuneyti. 2019. Reglugerð um bann við selveiðum. 1100/2019. Sótt 17. Mars 2021: (<https://www.reglugerd.is/reglugerdir/eftir-raduneytum/atvinnuvega--og-nyskopunarraduneyti/nr/1100-2019>)
87. Hafrannsóknastofnun. 2018. Bycatch of seabirds and marine mammals in lump sucker gillnets 2014-2017. Hafrannsóknastofnun. 16 bls. <https://www.hafogvatn.is/static/files/skjol/techreport-bycatch-of-birds-and-marine-mammals-lumpsucker-en-final-draft.pdf>
88. Poloczanska, E.S., Brown, C.J., Sydeman, W.J., Kiessling, W., Schoeman, D.S., Moore, P.J. & Richardson, A.J. 2013. Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*. 3(10), 919–925.
89. Blanchet, M.A., Vincent, C., Womble, J.N., Steingass, S.M. & Desportes, G. 2021. Harbour Seals: Population Structure, Status, and Threats in a Rapidly Changing Environment. *Oceans*. 2, 41–63.
90. Sandra M. Granquist & Hrefna Sigurjonsdottir. 2014. The effect of land based seal watching tourism on the haul-out behaviour of harbour seals (*Phoca vitulina*) in Iceland. *Applied Animal Behaviour Science*. 156, 85–93.
91. Sandra M. Granquist & Erlingur Hauksson. 2019. Population estimate, trends and current status of the Icelandic harbour seal (*Phoca vitulina*) population in 2018 [Landselstalning 2018: Stofnstærðarmat, sveiflur og ástand stofns]. Haf- og vatnarrannsóknir. HV2019-36. Reykjavík. 22 bls.
92. Sandra M. Granquist & Erlingur Hauksson. 2016. Seasonal, meteorological, tidal and diurnal effects on haul-out patterns of harbour seals (*Phoca vitulina*) in Iceland. *Polar Biology*. 39(12), 2347–2359.
93. Hansen, B.B., Isaksen, K., Benestad, R.E., Kohler, J., Larsen, J.O. & Varpe, Ø. 2014. Warmer and wetter winters: Characteristics and implications of an extreme weather event in the High Arctic. *Environmental Research Letter*. 9, 114021.
94. Erlingur Hauksson & Halldór Ólafsson. 2016 Condition of harbour seals (*Phoca vitulina*) in the period 2007-2010, in Icelandic northwestern coastal waters. Comparison with data from the periods, 1979-1983 and 1990–2000. Working paper, Nammco coastal seal working group meeting, Reykjavík, Iceland, Mars 2016.
95. Thompson, P.M., McConnell, B.J., Tollit, D.J., Mackay, A., Hunter, C. & Racey, P.A. 1996. Comparative Distribution, Movements and Diet of Harbour and Grey Seals from Moray Firth, N.E. Scotland *Journal of Applied Ecology*. 1572, 33–1584.
96. Thompson, P.M., Tollit, D.J., Corpe, H.M., Reid, R.J. & Ross, H.M. 1997. Changes in haematological parameters in relation to prey switching in a wild population of harbour seals. *Functional Ecology*. 11, 743–750.
97. Sandra M. Granquist & Erlingur Hauksson. 2016. Diet of harbour seals in a salmon estuary in North-West Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences*. 29, 7–19.
98. Granquist, S.M., Esparza-Salas, R., Hauksson, E., Karlsson, O. & Angerbjörn, A. 2018. Fish consumption of harbour seals (*Phoca vitulina*) in north western Iceland assessed by DNA metabarcoding and morphological analysis. *Polar Biology*. 41, 1–12.
99. Kristján Lillíendahl, Erpur Hansen, Valur Bogason, Marínó Sigursteinsson, Margrét L. Magnúsdóttir, Páll M. Jónsson Hálfán H. Helgason, Gísli J. Óskarsson, Pálmi F. Óskarsson & Óskar J. Sigurðsson. 2013. Viðkomubrestur lunda og sandsílis við Vestmannaeyjar. *Náttúrufræðingurinn*. 83, 65–79.
100. Sandra M. Granquist & Erlingur Hauksson. 2019. Aerial census of the Icelandic grey seal (*Halichoerus grypus*) population in 2017: Pup production, population estimate, trends and current status [Útselstalning 2017: Stofnstærðarmat, sveiflur og ástand stofns]. Haf- og vatnarrannsóknir. HV2019-02. Reykjavík. 19 bls.
101. Náttúrufræðistofnun Íslands. 2017. Válisti spendýra. Sótt 17. mars 2021. <https://www.ni.is/midlun/utgafa/valistar/spendyr/valisti-spendyra>

8 Sjófuglar

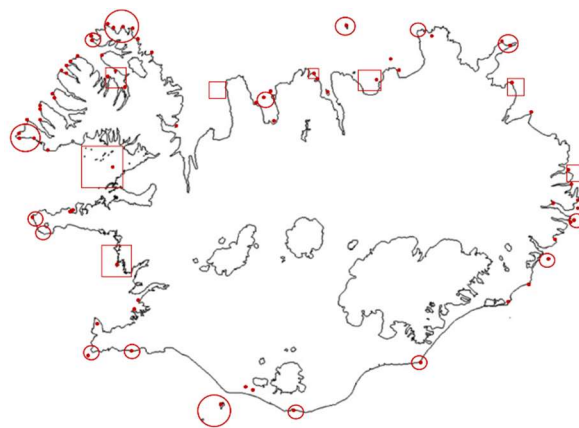
Freydís Vigfúsdóttir
Háskóli Íslands

Sjófuglar er sá lífveruhópurur sem er hvað mest áberandi við strendur landsins á öllum árstímum. Á Íslandi er að finna 24 tegundir sjófugla sem telja um 7,5 milljón varppör eða um 20–30 milljón einstaklinga^{1–3} og eru sumir þessara stofna þeir stærstu í Evrópu og hvað varðar nokkrar tegundir, þeir stærstu í heimi^{4–6}.

Sjófugl er samheiti yfir fugla sem dvelja að mestu við sjávarsíðuna eða úti á rúmsjó stærstan hluta ársins, afla þar fæðu og eru aðlagðir að lífi í og við sjó^{7–9}. Það sem einkennir lífsmynstur sjófugla er að flestar tegundir eru langlífir, verða seint kynþroska og eiga fá afkvæmi á hverjum varptíma⁹. Slíkir stofnar þola stök ár þar sem varp og nýliðun brestur¹⁰. Hins vegar veldur langvarandi ástand, sem leiðir til endurtekens nýliðunarbrests og neikvæðra áhrifa á lifun fullorðna einstaklinga, viðkomubresti og minnkandi stofnstærð^{10,11}. Át sjófuglastofna heimsins hefur verið metið um 100 milljón tonn af sjávarfangi árlega^{12,13} og um 12% af því í Norður-Atlantshafi^{1,14}.

Sjófuglar eru rándýr í efri þrepum fæðuvefja sjávar og geta því gefið upplýsingar um umhverfi sitt og ástand þess^{15–19}. Þeir hafa verið nýttir víða um heim sem vísitægur eða svokallaðir ávitar á umhverfi sjávar og breytingar sem þar eiga sér stað^{19,20}, t.d. til að finna staðsetningu straumamóta og næringarefnauppstreymis²¹, mikilvæg fæðusvæði²² og til að öðlast skilning og skýra breytingar á stórum skala í umhverfi sjávar²³. Tæpum helmingi eða 47% allra sjófuglategunda heimsins fer fækkandi²⁴. Ein af meginástæðum fækkunarinnar á alþjóðavísu er rakin til áhrifa af völdum loftslagsbreytinga²⁴ sem með beinum eða óbeinum hætti hafa haft áhrif á fæðuvefi og æti^{24–28}. Sjófuglabbyggðir er að finna allt í kringum Ísland (mynd 8.1) en þó eru vörpin misstór og munur milli landshluta á dreifingu og samsetningu tegunda. Útbreiðsla þeirra tegunda sem verpa í vel sýnilegum og afmörkuðum byggðum er vel þekkt og er stærð byggða og þar með varpstofns metin með talningu hreiðurstæða og/eða álegufugla²⁹. Stærstu byggðirnar er að finna á Vestfjörðum (Látrabjarg, Horn- og Hælavíkurbjarg), sem hýsa stærstu varpstaði bjargfugla^{29,31}, og í Vestmannaeyjum sem hýsa heimsins stærsta varpstofn lunda⁴ og stærsta varpstofn Evrópu af sjósvölu^{5,6}.

Hér verður gerð grein fyrir stöðu íslenskra sjófuglastofna og þeim breytingum sem þar hafa átt sér stað undanfarna áratugi í samhengi við umhverfisbreytingar.



Mynd 8.1. Útbreiðsla sjófuglabbyggða á Íslandi^{3–6,29–31} ásamt staðsetningu 70 skilgreindra mikilvægra sjófuglasvæða⁵ eða IBAs (e. Important Bird Areas) (hringir: meginfuglabjörg, ferningar: dreifðar fuglabbyggðir, punktar: IBAs).

Breytingar á stærð íslenskra sjófuglastofna

Eins og víða um heim^{24,32} hafa orðið miklar breytingar í stofnstærð flestra sjófuglategunda við Ísland^{6,33–36} og víða nánast árlegur varpbrestur frá árinu 2005^{6,36–39}. Ástæða er til að kanna orsakir þessa í víðu samhengi við aðra lífveruhópa og umhverfisþætti í lífríki sjávar við Ísland. Gæði upplýsinga eru misjöfn milli tegunda og landsvæða en vöktun sjófugla hefur almennt verið óregluleg.

Aðeins einstök átaksverkefni hafa fylgst náið með stofnstærðabreytingum á landsvísi og lýðfræðilegum breytum svo sem ungaframleiðslu og viðkomu. Hægt er þó að byggja nokkuð skýra mynd þegar upplýsingarnar eru teknar saman. Allt bendir til þess, með fáum undantekningum, að í flestum stofnum íslenskra sjófugla hafi orðið veruleg fækkun, meðal annars hjá tegundum þar sem stór hluti heims- og/eða Evrópastofns verpir hérlandis (tafla 8.1)^{6,36}.

Mat á stofnstærð fimm bjargfuglategunda (fýll, rita, langvía, stuttnefja, álka) í varpi árin 2006–2009 sýndi að þeim hafði fækkað um 12–44% síðan frá árunum 1983–1986 (tafla 8.1)^{33–35}. Fækkunin var mest á Suður- og Vesturlandi hjá öllum tegundum nema ritu sem fækkaði mest á Norðaustur- og Austurlandi. Mest var fækkun stuttnefju á landsvísi (44%) og er tegundin nú horfin sem varpfugl á Suðurlandi. Heildartalning lundastofnsins sýndi 44% fækkun árabilið 2003–2019⁴⁰ og á grundvelli þessarar fækkunar er tegundin nú metin í bráðri hættu á válista⁶.

Tafla 8.1. Yfirlit stofnstærða og stofnbreytinga þeirra 24 sjófuglategunda sem hér er fjallað um. Röðun tegunda fer eftir flokkunarfræði og gæði heimilda metið (**góð mæling, **sæmilegt mat og *ágiskun).

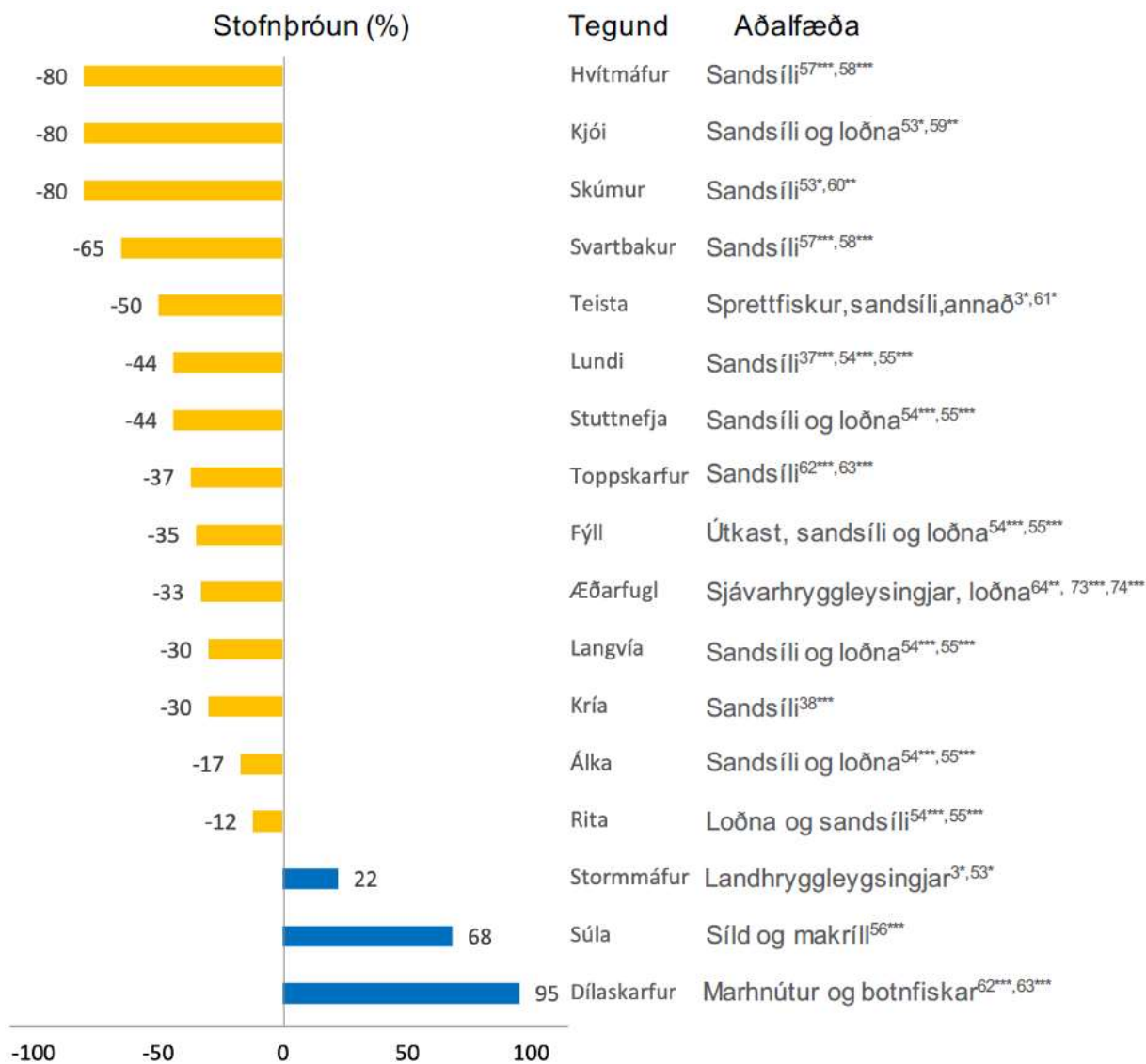
Tegund	Latneskt heiti	Stofnstærð (pör)	Matsár	Stofn-breyting	Viðmiðunarár stofnbreytinga	Heimildir (stofnstærð, stofnbreyting)
Fýll	<i>Fulmarus glacialis</i>	1,260,000	2013-2015	-35%	1983-1986 v. 2005-2008	31***,34***
Skrofa	<i>Puffinus puffinus</i>	5,660	1991	óþekkt		6*
Sjósvala	<i>Hydrobates leucorhous</i>	200,000	1991	óþekkt		6*
Stormsvala	<i>Hydrobates pelagicus</i>	50.000-100.000	1992	óþekkt		6*
Súla	<i>Morus bassanus</i>	37,000	2014	68%	1983 v. 2014	43***
Dílaskarfur	<i>Phalacrocorax carbo</i>	4,581	2017	95%	1995 v. 2017	44***
Toppskarfur	<i>Phalacrocorax aristotelis</i>	3,793	2017	-37%	1991 v. 2017	44***,6**
Skúmur	<i>Catharacta skua</i>	5,400	1991	-80%	1991 v. 2005-2018	45***,6**
Kjóí	<i>Stercorarius parasiticus</i>	11,000	2012-2013	-80%	2005-2016 NA-lands	6**,46***
Rita	<i>Rissa tridactyla</i>	580,000	2005-2009	-12%	1983-1986 v. 2005-2009	35***
Kría	<i>Sterna paradisaea</i>	150.000-250.000	2000	-30%	2008 v. 2018	6*
Haftyrðill	<i>Alle alle</i>	0	1997	-100%	1997	3***,6***
Stuttnefja	<i>Uria lomvia</i>	327,000	2005-2009	-44%	1983-1986 v. 2005-2009	33***
Langvía	<i>Uria aalge</i>	698,000	2005-2009	-30%	1983-1986 v. 2005-2009	33***
Álka	<i>Alca torda</i>	313,000	2005-2009	-17%	1983-1986 v. 2005-2009	33***
Teista	<i>Cephus grylle</i>	10.000-15.000	2000	-50%	1981-2014	6*
Lundi	<i>Fratercula arctica</i>	2,000,000	2007-2015	-44%	2003 v. 2019	6***,40***
Stormmáfur	<i>Larus canus</i>	800-1.000	2018	13-30%	2000 v. 2004 v. 2016	6*,47***,48***
Svartbakur	<i>Larus marinus</i>	6.000-8.000	2016	-65%	1978-2014 (Vetrartalning)	6**
Sílamáfur	<i>Larus fuscus</i>	50,000	2004	óþekkt		6*
Silfurmafur	<i>Larus argentatus</i>	5.000-10.000	1992	-23%	1975-2014 (Vetrartalning)	49*,6*
Hvítmáfur	<i>Larus hyperboreus</i>	2,400	2005-2009	-80%	1990 v. 2005-2009	50***,51***
Hettumáfur	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	25.000-30.000	1990	fækkun	1990-2015	49*,6*
Æðarfugl	<i>Somateria mollissima</i>	850.000 fuglar	2008	-33%	1987-2014 (Vetrartalning)	52**,6**

hérlandis. Íslenski skúmastofninn er einnig válista-flokkadur í bráðri hættu en nýlegt mat sýnir um 80% fækkun í stofninum á aðalvarpsvæðunum á SA-landi⁶. Haftyrðill er dæmi um tegund sem nú er útdauð sem varpfugl við Ísland en í upphafi 20. aldar voru talin 150–200 varppör í Grímsey og á Langanesi⁴¹ en frá 1997 hefur varpfugla ekki orðið þar vart³. Á undanförunum áratugum hefur orðið yfir 30% fækkun í varpstofni 13 tegunda sjófugla hérlandis en stofnstærð hefur aðeins aukist hjá þremur tegundum: súlu, dílaskarf og stormmáf (tafla 8.1).

Niðurstaða vinnu um forgangsroðun til vöktunar íslenskra fugla³⁶ sýndi að 21 tegund sjófugla þarf að vakta sérstaklega á forsendum alþjóðlegs mikilvægis Íslands fyrir tegundirnar og verndarviðmiða vegna bágrar stöðu þeirra og stofnþróunar. Í nýlega uppfærðum válista fugla telst helmingur allra válistategunda á Íslandi til sjófugla⁶. Ástæður fækkunar og bágrar stöðu sjófuglastofna á Íslandi hefur verið rakin hjá flestum tegunda til endurtekens nýliðunarbrests vegna skorts á viðundandi æti til ungauppeldis á varptíma. Einstök átaksverkefni hérlandis hafa rannsakað sérstaklega áhrif breytilegs ætis á viðkomu og sýna sterk tengsl magns, gerðar og staðsetningu ætis við varpárangur og ástand unga hjá lunda^{37, 40, 42} og kríu^{38, 39}.

Tengsl sjófugla við lífríkis hafsins

Reglubundin vöktun á fæðu sjófugla hérlandis hefur ekki farið fram. Til eru nokkuð góðar upplýsingar um fæðu 14 tegunda úr einstaka átaksverkefnum og upplýsingar um fæðu 10 tegunda sem byggja á tilfallandi verkefnum. Samantekt þessara upplýsinga⁵³ auk upplýsinga úr nýlegum rannsóknaverkefnum síðustu 10 ár, sýna að langmikilvægasta fæðutegund flestra sjófuglategunda hérlandis er sandsíli *Ammodytes marinus*^{37–40, 53}. Við norðanvert landið hefur loðna *Mallotus villosus* verið mikilvæg í fæðu sjófugla^{53–55}. Nánast allar tegundir íslenskra sjófugla reiða sig á þessar tvær fiskitegundir. Undantekningarnar eru dílaskarfur, tvær sæsvölutegundir og nokkrar máfategundir sem líklega reiða sig á annað æti⁵³. Sandsíli mældist mikilvægt í fæðu súluunga árið 2004 en eftir hvarf sandsílis var makrill og síld aðalfæða súlu í varpi við Ísland⁵⁶. Fyrir þær tegundir sem upplýsingar eru til um stofnþróun og meginfæðu sýna gögnin að þær tegundir sem reiða sig að mestu á síli og/eða loðnu sýna neikvæða stofnþróun en þær tegundir sem reiða sig á aðra fæðuhópa sýna jákvæða stofnþróun (mynd 8.1.2).



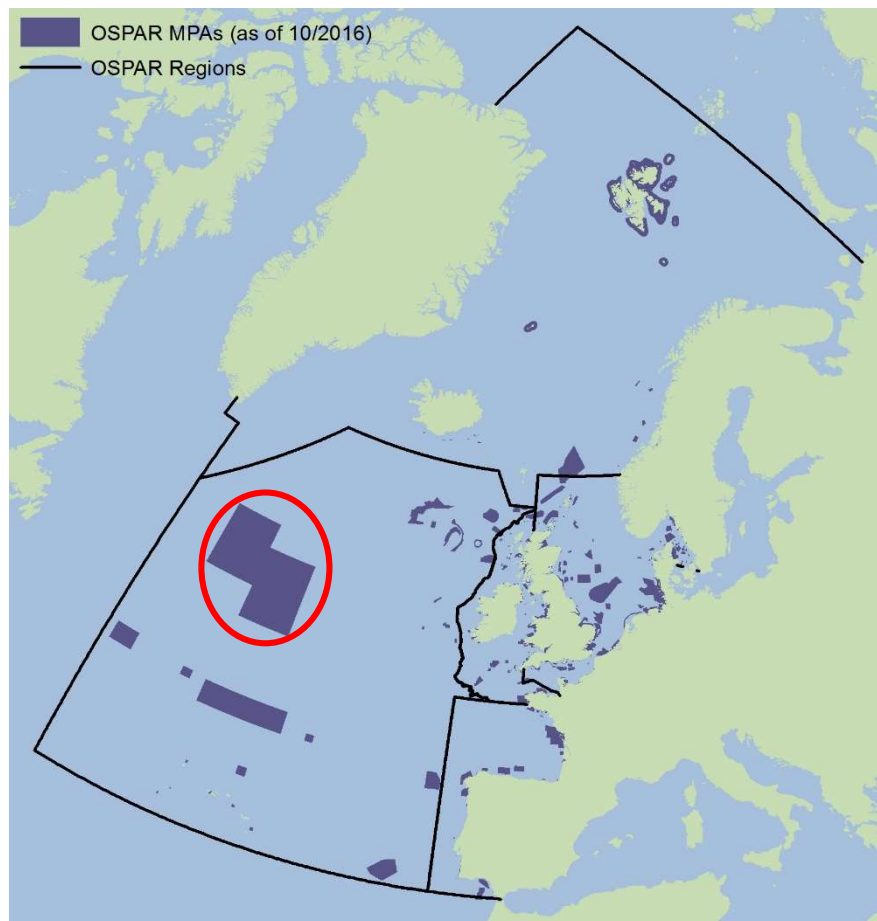
Mynd 8.2. Tengsl stofnþróunar (%) og meginætis sjófugla við Ísland með neikvæða stofnþróun (gult) og jákvæða stofnþróun (blátt). Nánari upplýsingar, heimildir og heimildagæði fyrir stofnþróun einstakra tegunda má sjá í töflu 8.1. Gæði heimilda ætis er metið sem ***góð mæling, **sæmilegt mat og *ágiskun.

Ástæður þess að sandsíli og loðna eru einstaklega heppilegar ætistegundir fyrir rándýr eins og sjófugla eru að næringarinnihald þeirra er mikið (prótein og fituríkt) og stærð fiskanna hentar fyrir smáa unga. Þetta eru lífverur sem mynda þetta hópa (torfur) sem auðveldar stöku rándýri að fá fylli sína en stuttar og árangursríkar fæðuferðir frá varpstöð eru undirstaða varps og varpárangurs sjófugla^{42,65}.

Afdrif sjófugla við Ísland eru þó ekki aðeins háð umhverfis- og vistfræðipáttum við strandsvæðið því flestar sjófuglategundir dvelja mestan hluta ársins úti á sjó og koma aðeins á land til varps að sumri. Vitneskja okkar um sjófugla hefur hingað til byggst á gögnum sem safnað er á varptíma. Með tilkomu nýrra tækja og aðferða til að rannsaka far og ferðir sjófugla úti á rúmsjó er nú hægt að rannsaka stað- og tímasetningar sjófugla úti á hafi utan varptíma sem gefur tækifæri til að spyrja spurninga um

afdrif tegunda að vetri og áhrif aðstæðna þar. Nýleg rannsókn⁶⁶, þar sem far- og staðsetningargögnum 21 tegundar sjófugla í Atlantshafi var skeytt saman, sýndi að þeir héldu til á ákveðnu svæði úti á rúmsjó sem ekki var áður talið mikilvægt svæði. Svæðið hefur nú verið tilnefnt til verndarsvæðis í sjó utan lögsögu (e. ABNJ MPA) innan samnings um verndun Norðaustur-Atlantshafsins, þ.e. OSPAR-samningsins⁶⁷ (mynd 8.3). Staðsetningagögn átta íslenskra sjófuglategunda, sem allar eru á valista, voru í þessari samantekt og nýttu þetta svæði að vetri⁶⁶.

Engar rannsóknir hafa verið gerðar hérlandis til að kanna bein áhrif loftslagsbreytinga á sjófuglastofna en beinna áhrifa getur m.a. gætt vegna tíðari storma^{69,70} og hækkunar umhverfishita^{71,72}.



Mynd 8.3. Verndarsvæði í sjó í Norður-Atlantshafi á vegum OSPAR (fjólublátt) 68. Verndarsvæðið sem er tilnefnt á forsendum gagna um ferðir sjófugla að vetri er tilgreint með rauðum hring⁶⁶.

Samantekt

Áhrif loftslagsbreytinga á sjófugla á Íslandi eru fyrst og fremst óbein í gegnum breytingar á fæðu. Að sumri hafa fæðubreytingarnar áhrif á viðkomu og nýliðun og að vetri á dreifingu fuglanna um vetrarbúsvæði úti á rúmsjó sem aftur getur haft áhrif á lifun, bæði fullorðinna og ungfugla og þar með á stofnþróun. Stærstu sjófuglastofnar Íslands eru á miklu undanhaldi (tafla 8.1) og allt bendir til að þessi þróun hérlandis sé vegna breytinga í vistkerfi hafsins sem leitt hefur til skorts á meginfæðutegundum flestra sjófuglategunda hérlandis: sandsílis og loðnu. Á meðan sandsíli og loðna eru í lægð má búast við að þeir stofnar

sjófugla sem hafa þessar tegundir að aðalfæðu muni áfram sýna lélega afkomu sem einkennist af varpbresti og minnkun stofnstærða (mynd 8.2). Utan varptímans á sumrin dvelja flestar sjófuglategundir úti á rúmsjó. Afdrif sjófugla við Ísland eru því ekki aðeins háð umhverfis- og vistfræðilegum þáttum á íslensku hafsvæði heldur líka fjarri þeim (mynd 8.3). Áhrif loftslagsbreytinga á sjófuglastofna geta því verið flókin og margþætt. Bein áhrif loftslagsbreytinga á sjófugla hafa ekki verið rannsökuð hérlandis.

Heimildir

1. ICES 2004. Report of the Working Group on Seabird Ecology (WGSE). ICES Document CM 2004/C:05 Ref. ACME, ACE.
2. Náttúrufræðistofnun Íslands. Fuglastofnar. <https://www.ni.is/dyr/fuglar/fuglastofnar> [skoðað 11.3.2021]
3. Ævar Petersen. 1998. Íslenskir fuglar. Reykjavík: Vaka-Helgafell.
4. Erpur Snær Hansen, Magnús Sigursteinsson & Arnþór Garðarsson. 2011. Lundatal Vestmannaeyja. Bliki. 31, 15–24.
5. Kristinn Haukur Skarphéðinsson, Borgný Katrínardóttir, Guðmundur A. Guðmundsson & Svenja N.V. Auhage. 2016. Mikilvæg fuglasvæði á Íslandi. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar. Nr. 55, 295 bls.
6. Náttúrufræðistofnun Íslands. Válisti fugla. <https://www.ni.is/midlun/utgafa/valistar/fuglar/valisti-fugla> [skoðað 11.3.2021]
7. Anthony J. Gaston. 2004. Seabirds: A Natural History. T & AD Poyser, 222 bls.
8. Bryan J. Nelson. 1980. Seabirds: their biology and ecology. London: Hamlyn, 224 bls.
9. Hamer, K.C., Schreiber, E.A. & Burger, J. 2001. Breeding Biology, Life Histories, and Life History-environment Interactions in Seabirds. í Schreiber, E.A. & Burger, J. (ritstj.) Biology of Marine Birds: 217-261. Florida, USA; CRC Press.
10. Ian Newton. 1998. Population limitation in birds. Academic Press, 597 bls.
11. William J. Sutherland. 1996. From Individual Behaviour to Population Ecology. Oxford University Press, 213 bls.
12. Brooke, M. 2004. The food consumption of the world's seabirds. Proceedings of the Royal Society B (Supplement). 271, 246–248.
13. Karpouzi, V.S., Watson, R. & Pauly, D. 2007. Modelling and mapping resource overlap between seabirds and fisheries on a global scale: a preliminary assessment. Marine Ecology Progress Series. 343, 87–99.
14. Barrett, R.T., Chapdelaine, G., Anker-Nilssen, T., Mosbech, A., Montevecchi, W.A., Reid, J.B. & Veit, R.R. 2006. Seabird numbers and prey consumption in the North Atlantic. ICES Journal of Marine Science. 63, 1145–1158. doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.04.004.
15. Furness, R.W. & Camphuysen, K.C.J. 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. ICES Journal of Marine Science. 54, 726–737.
16. Boyd, I.I., Wanless, S. & Camphuysen, C.J. (ritstj.). 2006. Top Predators in Marine Ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge.
17. Piatt, I. & Sydeman, W. 2007. Seabirds as indicators of marine ecosystems. Marine Ecology Progress Series. 352, 199–204.
18. Parsons, M., Mitchell, I., Butler, A., Ratcliffe, N., Frederiksen, M., Foster, S. & Reid, J.B. 2008. Seabirds as indicators of the marine environment. ICES Journal of Marine Science. 65, 1520-1526.
19. Einoder, L.D. 2009. A review of the use of seabirds as indicators in fisheries and ecosystem management. Fisheries Research. 95, 6-13. doi: 10.1016/j.fishres.2008.09.024.
20. Sydeman, W.J., Piatt, J.F., Thompson, S.A., García-Reyes, M., Hatch, S.A., Arimitsu, M.L., Slater, L., Williams, J.C., Rojek, N.A., Zador, S.G., & Renner, H.M. 2017. Puffins reveal contrasting relationships between forage fish and ocean climate in the North Pacific. Fisheries Oceanography. 26, 379–395.
21. Scott, B.E., Sharples, J., Ross, O.N., Wang, J., Pierce, G.J. & Camphuysen, C.J. 2010. Subsurface hotspots in shallow seas: fine scale limited locations of top predator foraging habitat indicated by tidal mixing and sub-surface chlorophyll. Marine Ecology Progress Series. 408, 207-226. doi: 10.3354/meps08552.
22. Scales, K.L., Miller, P.I., Hawkes, L.A., Ingram, S.N., Sims, D.W. & Votier, S.C. 2014. On the Front Line: frontal zones as priority at-sea conservation areas for mobile marine vertebrates. Journal of Applied Ecology. 51, 1575–1583.
23. Serratos, J., Hyrenback, K.D., Miranda-Urbina, D., Portflitt-Toro, M., Luna, N. & Luna-Jorquera, G. 2020. Environmental Drivers of Seabird At-Sea Distribution in the Eastern South Pacific Ocean: Assemblage Composition Across a Longitudinal Productivity Gradient. Frontiers in Marine Science. 6, 838. doi: 10.3389/fmars.2019.00838.
24. Dias, M.P., Martin, R., Pearmain, E.J., Burfield, I.J., Small, C., Philips, R.A., Yates, O., Lascelles, B., Borgodoglu, P.G. & Croxall, J.P. 2019. Threats to seabirds: A global assessment. Biological Conservation. 237, 525-537. doi.org/10.1016/j.biocon.2019.06.033.
25. Grégory Beaugrand. 2009. Decadal changes in climate and ecosystems in the North Atlantic Ocean and adjacent seas. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 56, 656-673. doi: 10.1016/j.dsr2.2008.12.022.
26. Beaugrand, G. & Kirby, R.R. 2018. How Do Marine Pelagic Species Respond to Climate Change? Theories and Observations. Annual Review of Marine Science. 10, 169–97. doi.org/10.1146/annurev-marine-121916-063304.
27. Frederiksen, M., Anker-Nilssen, T., Beaugrand, G. & Wanless, S. 2013. Climate, copepods and seabirds in the boreal Northeast Atlantic - current state and future outlook. Global Change Biology. 19, 364-372. doi: 10.1111/gcb.12072.
28. Sydeman, W., Thompson, S. & Kitaysky, A. 2012. Seabirds and climate change: roadmap for the future. Marine Ecology Progress Series 454: 107–117.
29. Arnþór Garðarsson. 1995. Svartfugl í íslenskum fuglabjörgum. Bliki. 16, 47–65.
30. Arnþór Garðarsson. 1996. Ritubyggðir. Bliki. 17, 1–16.
31. Arnþór Garðarsson, Kristján Lillendahl & Guðmundur A. Guðmundsson. 2019. Fýlabyggðir á Íslandi 2013–2015. Bliki. 33, 1–14.
32. Croxall, J.P., Butchart, S.H.M., Lascelles, B., Stattersfield, A.J., Sullivan, B., Symes, A. & Taylor, P. 2012. Seabird conservation status, threats and priority actions: a global assessment. Bird Conservation International. 22, 1–34.
33. Arnþór Garðarsson, Guðmundur A. Guðmundsson & Kristján Lillendahl. 2019. Svartfugl í íslenskum fuglabjörgum 2006–2008. Bliki. 33, 35–46.
34. Arnþór Garðarsson, Guðmundur A. Guðmundsson & Kristján Lillendahl. 2011. Fýlabyggðir fyrr og nú. Bliki. 31, 1–10.
35. Arnþór Garðarsson, Guðmundur A. Guðmundsson & Kristján Lillendahl. 2013. Framvinda íslenskra ritubyggða. Bliki. 32, 1–10.
36. Guðmundur A. Guðmundsson & Kristinn Haukur Skarphéðinsson. 2012. Vöktun íslenskra fuglastofna – Forgangsröðun tegunda og tillögur að vöktun. NÍ-12010 Garðabær, desember 2012.
37. Kristján Lillendahl, Erpur Snær Hansen, Valur Bogason, Marínó Sigursteinsson, Margrét Lilja Magnúsdóttir, Páll Marvin Jónsson, Hálfán Helgi Helgason, Gísli J. Óskarsson, Pálmi F. Óskarsson & Óskar J. Sigurðsson. 2013. Viðkomubrestur lunda og sandsílis við Vestmannaeyjar. Náttúrufræðingurinn. 83, 65–79.
38. Freydís Vigfúsdóttir. 2012. Drivers of productivity in a subarctic seabird: Arctic Terns in Iceland. Dr. Ritgerð, Háskólinn í Austur Angliu, University of East Anglia, Norwich, United Kingdom.

39. Freydís Vigfúsdóttir, Tómas Grétar Gunnarsson & Gill, J.A. 2013. Annual and between-colony variation in productivity of Arctic Terns in West Iceland. *Bird Study*. 60, 289–297.
40. Erpur Snær Hansen. 2019. Stofnvöktun lunda 2017-2019: Lokaskýrsla til Umhverfisstofnunar. Óbirt skýrsla [sótt af <https://nattsud.is/download/voktun-lunda-a-landi-lokaskýrsla-2019-v2/> 11.3.2021].
41. Finnur Guðmundsson. 1951. The effects of the recent climatic changes on the bird life of Iceland. – Proceedings of the Xth International Ornithological Congress. 502-514.
42. Fayet, A.L., Clucas, G.V., Anker-Nielsen, T., Syposz, M. & Erpur Snær Hansen. 2021. Local prey shortages drive foraging costs and breeding success in a declining seabird, the Atlantic puffin. *Journal of Animal Ecology*. doi.org/10.1111/1365-2656.13442.
43. Arnþór Garðarsson. 2019. Íslenskar súlubyggðir 2013–2014. *Bliki*. 33, 69–71.
44. Guðmundur A. Guðmundsson 2017. Skarfatal 2017. Framvinduskýrsla. Náttúrufræðistofnun Íslands, 3 bls.
45. Lund- Hansen, L.C. & Lange, P. 1991. The numbers and distribution of the Great Skua *Stercorarius skua* breeding in Iceland 1984-1985. *Acta Naturalia Islandica* no 34. Icelandic Museum of Natural History.
46. Halldór W. Stefánsson 2014. Vöktun skúms á Úthéraði 2005–2013. Náttúrustofa Austurlands, NA-140136. Neskaupsstaður: Náttúrustofa Austurlands.
47. Ævar Petersen & Sverrir Thorstensen. 2004. Vöktun stormmáfsstofnsins í Eyjafirði 1980–2000. Náttúrufræðingurinn. 72, 144–154.
48. Sverrir Thorstensen & Ævar Petersen. 2013. Enn fjölgar stormmáfum í Eyjafirði. Náttúrufræðingurinn. 83, 159–166.
49. Umhverfisráðuneytið. 1992. Iceland: national report to UNCED. Reykjavík: Umhverfisráðuneytið.
50. Ævar Petersen, Irons, D.B., Gilchrist, G.G., Robertson, G.J., Boertmann, D., Strøm, H., Gavrilov, M., Artukhin, Y., Clausen, D.S., Kuletz, K.J. & Mallory, M.L. 2015. The status of Glaucous Gulls *Larus hyperboreus* in the circumpolar Arctic. *Arctic*. 68, 107-120.
51. Ævar Petersen, Sverrir Thorstensen & Böðvar Þórisson. 2014. Útbreiðsla og breytingar á fjölda hvítmáfa á Íslandi. Náttúrufræðingurinn. 84, 153–163.
52. Arnþór Garðarsson. 2009. Fjöldi æðarfugls, hávellu, toppandar og stokkandar á grunnsævi að vetri. *Bliki*. 30, 49–54.
53. Kristján Lillíendahl. 2010. Sjófuglar í lífríki hafsins. Náttúrufræðingurinn. 79, 136–145.
54. Kristján Lillíendahl & Jón Sólmundsson. 1998. Sumarfæða sex sjófuglategunda við Ísland að sumarlagi. *Bliki*. 19, 1–12.
55. Kristján Lillíendahl & Jón Sólmundsson. 1997. An estimate of summer food consumption of six seabird species in Iceland. *ICES Journal of Marine Science*. 54, 624–630.
56. Freydís Vigfúsdóttir, Arnþór Garðarsson & Kristján Lillíendahl. 2009. Fæða súlu við Ísland. *Bliki*. 30, 55–60.
57. Agnar Ingólfsson. 1976. The feeding habits of Great Black-backed Gulls, *Larus marinus*, and Glaucous Gulls, *L. hyperboreus*, in Iceland. *Acta Naturalia Islandica* 24.
58. Agnar Ingólfsson. 1982. Máfar, kjóar og skúmar. Í: Fuglar (ritstj. Arnþór Garðarsson). Rit Landverndar. 8, 61–76.
59. Einar Árnason & Grant, P.R. 1978. The significance of kleptoparasitism during the breeding season in a colony of Arctic Skuas *Stercorarius parasiticus* in Iceland. *Ibis*. 120, 38-54.
60. Furness, R.W. 1979. Foods of great skuas *Catharacha skua* at North Atlantic breeding localities. *Ibis*. 121, 86–92.
61. Björk Guðjónsdóttir & Jón Hallur Jóhannsson. 2003. Teistulíf á Ströndum. Fuglar. 1, 52–55.
62. Kristján Lillíendahl, Jón Sólmundsson & Anton Galan. 2004. Fæða tpppskarf og dílaskarfs við Ísland. *Bliki*. 25, 1–14.
63. Kristján Lillíendahl & Jón Sólmundsson. 2006. Feeding ecology of sympatric European shags *Phalacrocorax aristotelis* and great cormorants *P. carbo* in Iceland. *Marine Biology*. 149, 979-990.
64. Karl Skírnisson, Áki Á. Jónsson, Arnór Þ. Sigfússon & Sigurður Sigurðarson. 2000. Árstíðabreytingar í fæðuvali æðarfugla á Skerjafirði. *Bliki*. 21, 1–14.
65. David K. Cairns. 1987. Seabirds as indicators of marine food supplies. *Biological Oceanography*. 5, 261–271.
66. Davies, T., Carneiro, A., Tarzia, M. ofl. 2021. Multi-species tracking reveals a major seabird hotspot in the North Atlantic. *Conservation Letters* in press.
67. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. 2009. OSPAR's Regulatory Regime for establishing Marine Protected Areas (MPAs) in Areas Beyond National Jurisdiction (ABNJ) of the OSPAR Maritime Area. ANNEX 6 (Ref. §6.13c). [sótt af: <https://www.ospar.org/work-areas/bdc/marine-protected-areas/mpas-in-areas-beyond-national-jurisdiction>, 12.03.2021].
68. OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. 2021. Marine Protected Areas. [sótt af <https://www.ospar.org/work-areas/bdc/marine-protected-areas>, 23.03.2021].
69. Maxwell, S.L., Butt, N., Maron, M., McAlpine, C.A., Chapman, S., Ullmann, A., Segan, D.B., & Watson, J.E.M. 2019. Conservation implications of ecological responses to extreme weather and climate events. *Diversity and Distributions*. 25, 613–625. doi.org/10.1111/ddi.12878.
70. Acker, P., Daunt, F., Wanless, S., Burthe, S.J., Newell, M.A., Harris, M.P., Grist, H., Sturgeon, J., Swann, R.L., Gunn, C., Payo-Payo, A. & Reid, J.M. 2021. Strong survival selection on seasonal migration versus residence induced by extreme climatic events. *Journal of Animal Ecology*. 90, 1–13. doi.org/10.1111/1365-2656.13410.
71. Oswald, S.A. & Arnold, J.M. 2012. Direct impacts of climatic warming on heat stress in endothermic species: seabirds as bioindicators of changing thermoregulatory constraints. *Integrative Zoology*. 7, 121-136.
72. Cook, T.R., Martin, R. Roberts, J., Häkkinen H., Botha, P., Meyer, C., Sarks, E., Underhill, L.G., Ryan, P.G. & Sherley, R.B. 2020. Parenting in a warming world: thermoregulatory responses to heat stress in an endangered seabird. *Conservation Physiology*. 8, co2109: doi.org/10.1093/conphys/coz109
73. Þórður Örn Kristjánsson, Jón Einar Jónsson & Arnþór Garðarsson. 2012. Spring diet of common eiders (*Somateria mollissima*) in Breiðafjörður, West Iceland, indicates non-bivalve preferences. *Polar Biology*. 36. doi: 10.1007/s00300-012-1238-8
74. Jón Einar Jónsson. 2017. Eru tengsl milli æðarvarps og loðnugengdar? Náttúrufræðingurinn. 87, 45-51.

9 Veiðar og sókn

Kristján Kristinsson
Hafrannsóknastofnun

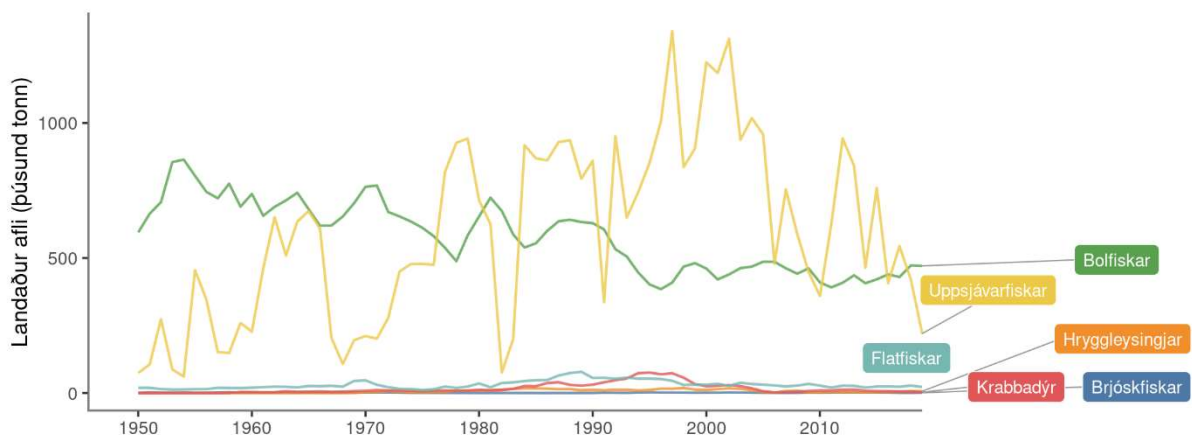
Fiskveiðar hafa verið stundaðar við Ísland frá landnámi, í margar aldir eingöngu af Íslendingum í smáum stíl en síðan í um þrjár aldir einnig af erlendum fiskveiðipjóðum, einkum Frökkum og Englendingum. Síðustu áratugi hafa veiðarnar að langmestu leyti verið í höndum Íslendinga og þeim stýrt af íslenskum stjórnvöldum. Sumir stofnarnir eru þó undir stjórn Norðaustur-Atlantshafsveiðinefndarinnar og í samræmi viðsamninga milli strandríkja. Hafrannsóknastofnun veitir ráðgjöf um veiðar á Íslandsmiðum auk ýmissa alþjóðlegra stofnana eins og Alþjóðahafrannsóknaráðsins. Í þessum kafla verður fjallað um veiðar við Ísland undanfarna sjö áratugi með áherslu á aflapróun helstu nytjategunda. Kaflinn byggir að miklu leyti á samantekt Alþjóðahafrannsóknaráðsins um fiskveiðar á Íslandsmiðum¹.

Veiðar við Ísland

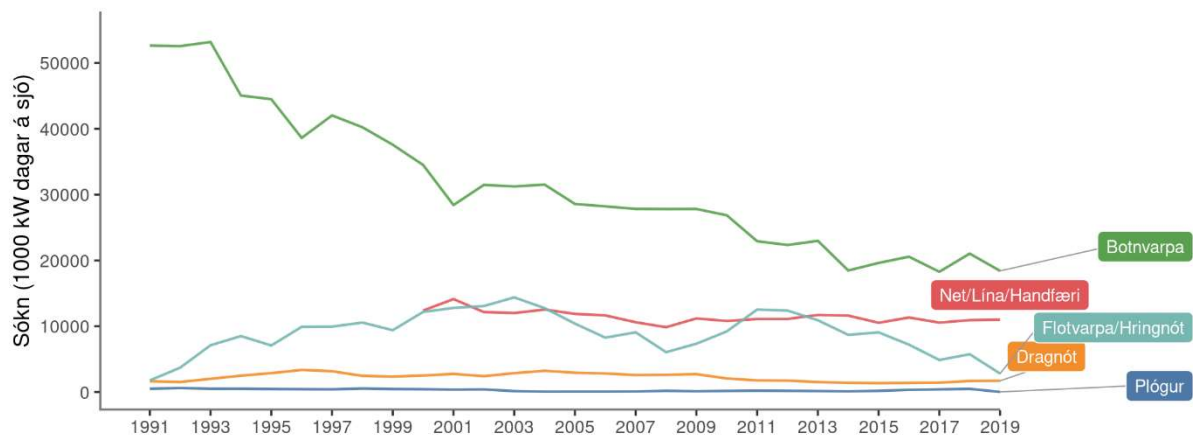
Á hafsvæðinu umhverfis Ísland eru veiddir yfir 40 stofnar af fiskum og hryggleysingjum, þar af teljast sex þeirra deilistofnar sem fleiri þjóðir en eingöngu Íslendingar veiðaúr. Árlegur heildaraflí var mestur um miðjan tíunda áratug síðustu aldar þegar landað var um tveimur milljónum tonna (mynd 9.1). Aflinn hefur síðan minnkað í rúmlega milljón tonn. Landaður aflí uppsjávarfiska hefur verið meiri en botnfiska flest ár síðustu þrjá áratugi.

Við fiskveiðar á Íslandsmiðum eru notuð margvísleg veiðarfæri en sóknin er mest með botnvörpum ef miðað er við einingu yfir vélarkraft (kW) og daga á sjó (mynd 9.2). Botnvörpuveiðar eru stundaðar á landgrunni og landgrunnshalla Íslands en eru mestar á landgrunnshallanum norðvestur af landinu (mynd 9.3). Á sumum svæðum eru botnvörpuveiðar bannaðar innan 3–12 sjómílna frá landi en það fer þó eftir eðli veiða og stærð skipa. Næst mest er sókn með kyrrstæðum veiðarfærum, þ.e. línu, netum og handfærum. Þessar veiðar eru einnig stundaðar á landgrunninu og á landgrunnshallanum allt í kringum landið.

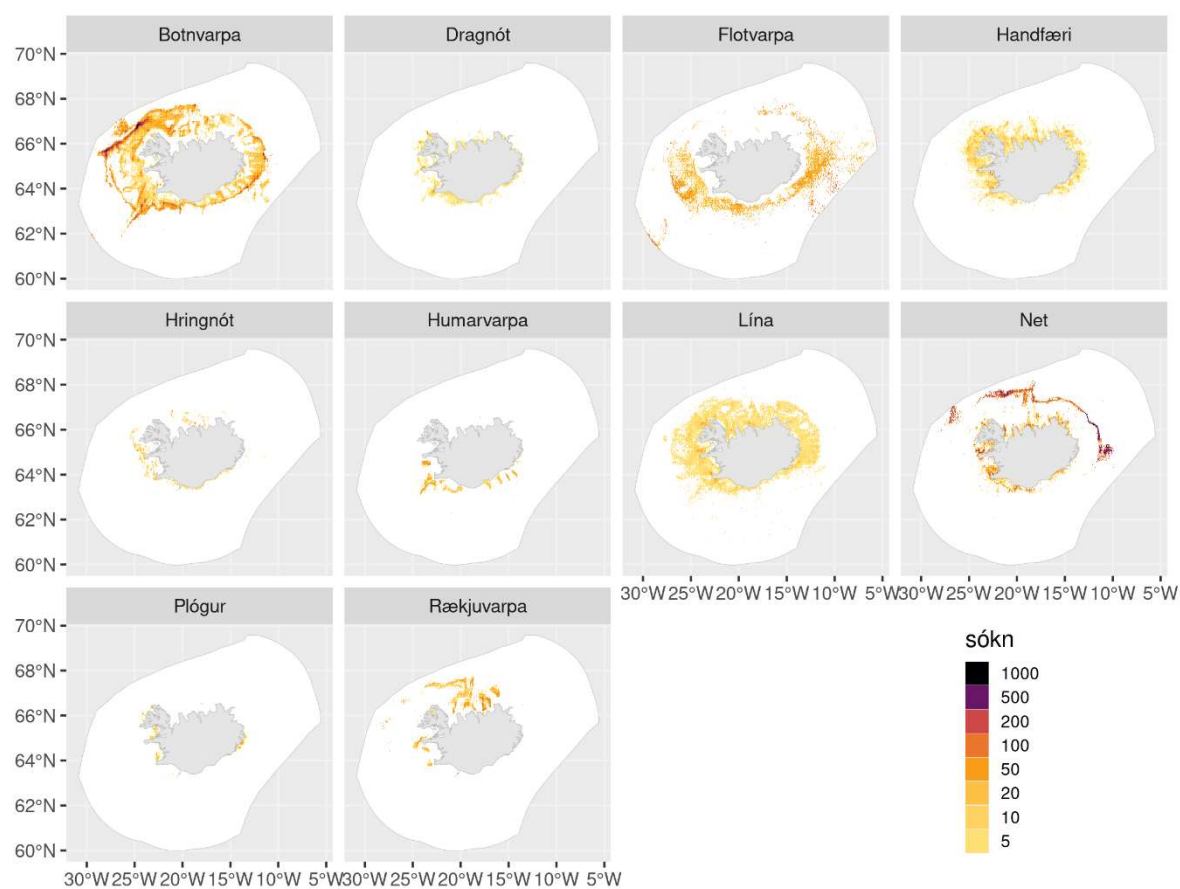
Sókn með flotvörpu og hringnót hefur sveiflast mikið á tímabilinu 1991–2019 en hefur farið minnkandi frá 2012. Flotvörpu- og hringnótaveiðar eru stundaðar á öllum miðum í kringum landið en eru breytilegar eftir dreifingu uppsjávartegunda. Dragnótaveiðar eru að mestu stundaðar í grunnnum sjó suður og vestur af landinu. Plógveiðar eru staðbundnar á litlu svæði. Mestar eru plógveiðar á sæbjúgum (brimbút) vestur og austur af Íslandi og á ígulkerum og hörpudisk vestur af landinu.



Mynd 9.1. Landaður aflí (þúsund tonn á ári) af íslenska hafsvæðinu 1950–2019, skipt eftir tegundahópum (sjá nánari sundurgreiningu á öðrum myndum í kaflanum).



Mynd 9.2. Sókn (eining yfir vélarkraft (kW) og daga á sjó) með helstu veiðarfærðum 1991-2019, en kyrrstæðum veiðarfærðum frá árinu 2000 (byggt á veiðidagbókum íslenskra fiskiskipa).



Mynd 9.3. Dreifing meðalsóknar (eining yfir vélarkraft (MW) og klukkustundir veiddar) íslenskra fiskiskipa á hafsvæðunum við Ísland 2015–2019, skipt eftir veiðarfærum.

Veiðar á botnfiski

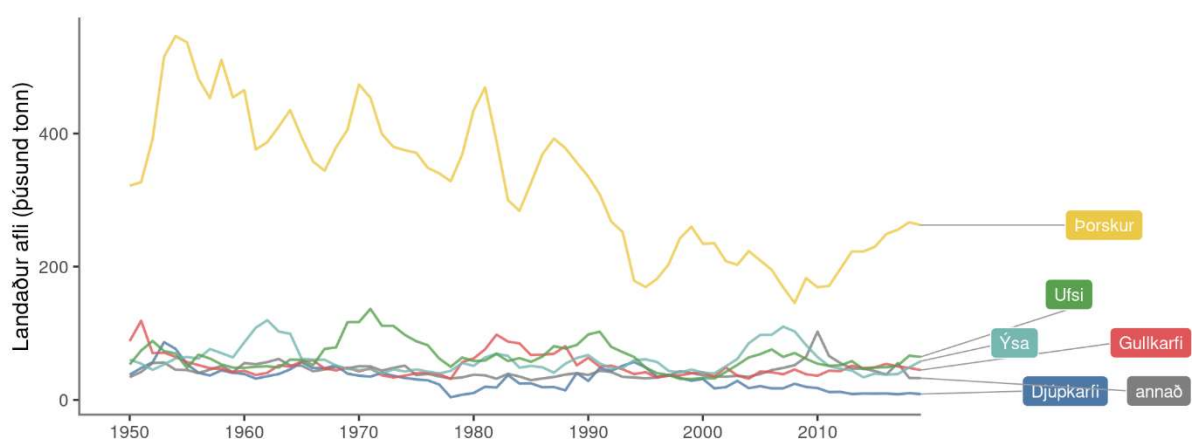
Um 50 togarar, bæði frysti- og ísfisktogarar (30–80 m langir), stunda nú botnvörpuveiðar við Ísland og veiða aðallega þorsk, ýsu, ufsa, gullkarfa, djúpkarfa og grálúðu. Árlegur landaður afli bolfiska minnkaði frá 1950 til 1995 en hefur síðan verið tiltölulega stöðugur (mynd 9.1). Botnfiskveiðar teljast vera blandaðar veiðar þar sem veiddar eru fleiri en ein tegund. Aflasamsetningin miðast við svæði, dýpi og gerð vörpunnar. Á landgrunnskantinum, þar sem sókn með botnvörpu er hvað mest, eru helstu fisktegundirnar þorskur, ufsi og gullkarfi (mynd 9.3).

Þorskur er að mestu veiddur í botnvörpu og á línu og er sú tegund sem mest er veitt af (mynd 9.4). Afli þorsks náði hámarki árið 1954 þegar 546 þúsund tonn var landað. Árlegur þorskafli lækkaði með sveiflum í lágmarkið árið 2008 þegar landaður þorskafli var 146 þúsund tonn. Síðan þá hefur aflinn aukist og var árin 2018 og 2019 rúm 260 þúsund tonn, svipað og árunum fyrir aldamót.

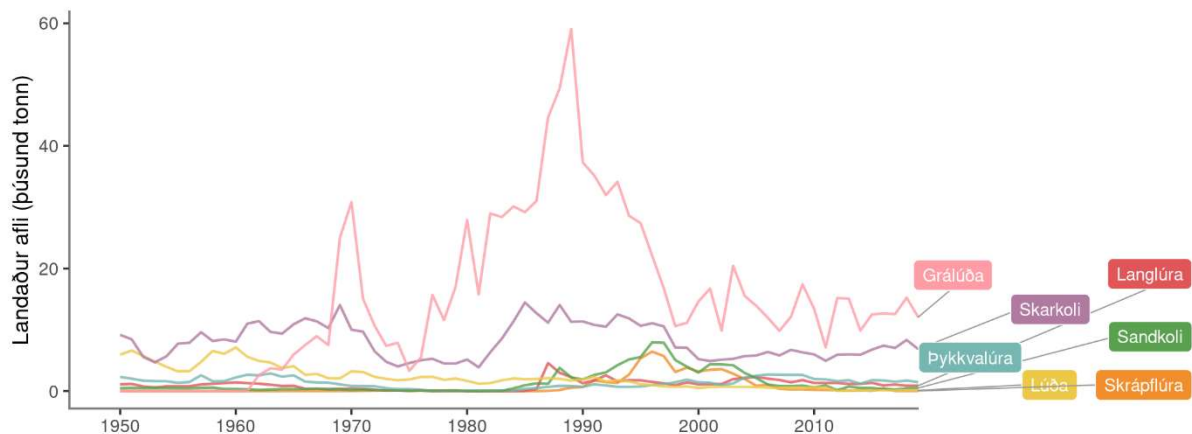
Það eru stundaðar umtalsverðar botnvörpuveiðar á ýsu á landgrunninu allt í kringum landið en þessar veiðar eru á grynna vatni en veiðar á þorski. Afli ýsu í seinni tíð fór hæst í um 100 þúsund tonn á árunum 2005 til 2008, sem er nærri hæstu aflatölum sjöunda áratugar seinustu aldar en hefur síðan lækkað talsvert og er nú svipaður og hann var á árunum 1975 til 2000 (mynd 9.4). Á landgrunnshallanum á um 500–1000 m dýpi eru helstu sóknartegundirnar grálúða (norður og austur af landinu), djúpkarfi (aðalega suðvestur og vestur af landinu) og gulllax (suður og suðvestur af landinu).

Árlegur afli ufsa og gullkarfa hefur verið tiltölulega stöðugur undanfarna tvo áratugi en afli djúpkarfa hefur minnkað mikið (mynd 9.4).

Grálúða er sú flatfiskategund sem mest hefur verið veitt af á Íslandsmiðum (mynd 9.5). Grálúðaflinn náði hámarki árið 1989 þegar rúmum 59 þúsund tonn var landað. Síðan þá hefur aflinn minnkað og var árlegur afli á árunum 2004–2019 á bilinu 10–18 þúsund tonn. Næstmest hefur verið veitt af skarkola, 5–8 þúsund tonn á ári síðustu tvo áratugi. Veiðar á öðrum tegundum flatfiska hafa verið tiltölulega litlar. Mest var veitt af sandkola og skrápflúru á árunum 1990–2005 en lítið er veitt af þessum tegundum nú. Afli lúðu hefur minnkað mikið frá því árið 1951 þegar um 6600 tonn var landað. Lítið er nú veitt af lúðu og hefur árlegur afli verið minni en 100 tonn frá árinu 2012 þegar bein sókn í lúðu var bönnuð.



Mynd 9.4. Landaður afli bolfiskstegunda í þúsundum tonna á ári af íslenska hafsvæðinu 1950–2019, skipt eftir fimm helstu tegundum sem mest hefur verið veitt af á tímabilinu. Samanlagður afli annarra tegunda er táknað sem „annað“.



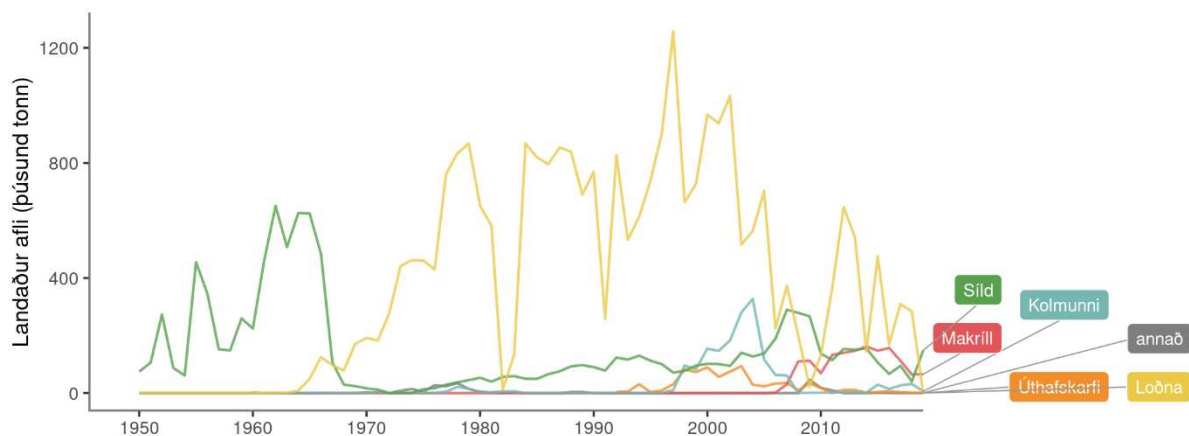
Mynd 9.5. Landaður afli flatfiska í þúsundum tonna á ári af íslenska hafsvæðinu 1950–2019, skipt eftir sjö helstu tegundum.

Veiðar á uppsjávarfiski

Síðustu árin hafa 20 til 25 uppsjávarskip (60–90 m löng) veitt loðnu, síld, makríl og kolmunna með flotvörpu og hringnót en um 2–5% af afla makríls hefur verið veiddur af handfærabátum. Frá árinu 2005 hefur mestur hluti uppsjávaraflans verið veiddur með flotvörpu og á sama tíma hafa veiðar í hringnót minnkað mikið. Frá árinu 2011 hefur sókn með flotvörpu minnkað um meira en 80% og er ástæðan minnkandi loðnuveiði en einnig minni kolmunnaveiði innan landhelginnar. Veiðar með hringnót beinast að loðnu og síld nálægt ströndum landsins.

Afli uppsjávartegunda hefur sveiflast mikið frá árinu 1950 (mynd 9.6). Frá 1950 til 1967 var eingöngu veidd síld (norsk-íslensk síld og íslensku sumar- og vorgotsíldarstofnarnir). Þegar síldarstofnarnir hrundu í lok sjöunda áratugarins hófust loðnuveiðar og á tímabilinu 1977–2003 var árlegur loðnuafli flest árin á bilinu 800–1100 þúsund tonn. Síðan 2003 hefur árlegur loðnuafli minnkað og var á tímabilinu

2003–2018 að meðaltali um 360 þúsund tonn. Engar loðnuveiðar voru stundaðar árin 2019 og 2020. Frá árinu 2000 hefur hlutfallslegt vægi loðnu minnkað og vægi flökkustofna (norsk-íslensk síld, kolmunni og makrill) og íslensku sumargotsíldarinnar aukist (mynd 9.6). Á árunum 2007–2019 veiddi íslenski flotinn misstóran hluta af afla sínum innan íslensku lögsögunnar, 45–99% af makríl, 45–99% af norsk-íslensku vorgotsíldinni og 8–20% af kolmunna. Þá hefur hluti úthafskarfa verið veiddur með flotvörpu innan íslensku lögsögunnar þar sem einungis íslensk skip mega stunda veiðarnar. Sókn íslenska flotans í stofninn hefur minnkað frá árinu 1996 þegar 32 frystitogarar stunduðu þessar veiðar niður í 4–5 skip 2015–2019. Árið 2019 var tiltölulega litlum uppsjávarafla landað af Íslandsmiðum einkum vegna þess að engar loðnuveiðar voru stundaðar en einnig vegna þess að veiðar á kolmunna og makríl innan íslensku lögsögunnar höfðu minnkað mikið.

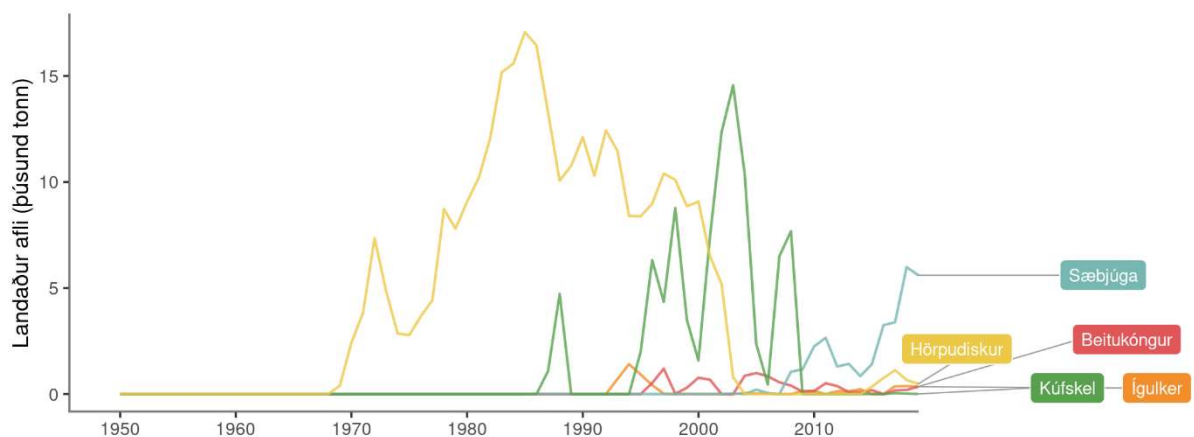


Mynd 9.6. Landaður afli sex uppsjávartegunda í þúsundum tonna á ári af íslenska hafsvæðinu 1950–2019.

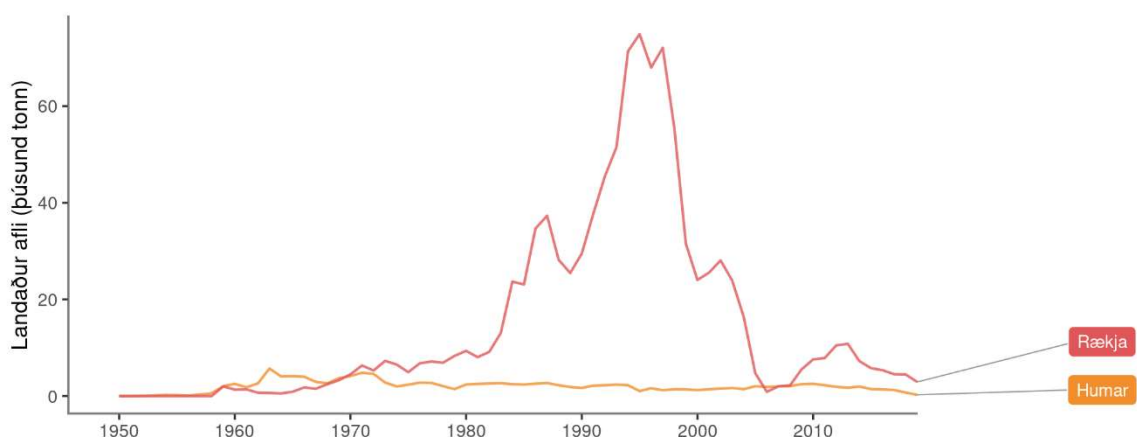
Veiðar á sjávarhryggleysingjum

Sjávarhryggleysingjar hafa verið nytjaðir við Ísland í nær heila öld. Humar og rækja voru fyrstu sjávarhryggleysingjarnir sem voru veiddir af einhverju ráði en nokkru síðar hófust veiðar á hörpudiski. Undir lok síðustu aldar hófust veiðar á kúfiskel, ígulkerum og beitukóng, og nú síðast árið 2008 á sæbjúgum. Það sem einkennir nytjar á sjávarhryggleysingjum er að veiðarnar eru svæðisbundnar. Þær geta verið sveiflukenndar og ráðast stundum af markaðsaðstæðum fremur en stærð og ástandi stofnsins. Við Ísland eru yfirleitt fáir aðilar sem stunda veiðar á sjávarhryggleysingjum fyrir utan humar og rækju. Það getur haft töluverð áhrif á heildarafla ef einn aðili dregur sig úr veiðunum, eins og má sjá í sögu veiða á kúfiskel, beitukóng, ígulkerum og sæbjúgum (mynd 9.7).

Humarveiðar eru stundaðar á afmörkuðum svæðum suður og suðvestur af landinu. Sókn með humarvörpu hefur minnkað mikið frá árinu 1992 og frá árinu 2019 hafaveiðar verið takmarkaðar vegna bágs ástands stofnsins (mynd 9.8). Einnig hefur sókn með rækjuvörpu fallið hratt frá árinu 1993 til ársins 2005 og hefur síðan þá verið lítil. Ástæða þessarar sóknarminnkunar er hrun fimm af átta rækjustofnum á grunnslóð en einnig hafa veiðar á úthafsrækju, sem er stærsti stofninn, minnkað mikið. Frá árinu 2009 hafa litlar skelfisksveiðar verið stundaðar eftir að stofn hörpudisks hrundi árið 2003 (mynd 9.8). Árið 2008 hófust veiðar á brimbút (sæbjúga) og undanfarin ár hefur aflinn aukist ár frá ári og var mestur árin 2018 og 2019.



Mynd 9.7. Landaður afli fimm tegunda hryggleysingja í þúsundum tonna á ári af íslenska hafsvæðinu 1950–2019, skipt eftir fimm helstu tegundum.



Mynd 9.8. Landaður afli rækju og humars í þúsundum tonna á ári af íslenska hafsvæðinu 1950–2019.

Tiltölulegar fáar fisktegundir á íslenska hafsvæðinu virðast hafa orðið fyrir alvarlega neikvæðum áhrifum vegna veiða. Í lok sjöunda áratugar síðustu aldar hrundu þrír síldarstofnar (norsk-íslensk vorgotssíld og íslensku sumar og vorgotsíldarstofnarnir) vegna ofveiði. Hafa tveir þeirra (norsk-íslensk vorgotssíld og íslenska sumargotssíldin) náð sér. Stofnar lúðu og hlýra hafa minnkað mikið vegna ofveiði og veiðast nú sem meðafli í öðrum veiðum.

Lífmassavísitala lúðu úr stofnmælingum lækkaði hratt árin 1985–1992 og hefur verið lág síðan, þó lítils háttar aukning hafi orðið frá lágmarkinu árið 2012. Árið 2012 voru beinar lúðuveiðar bannaðar og gert var skylt að sleppa lífvænlegri lúðu. Einnig var ákveðið að aflaverðmæti lúðu, sem óhjákvæmilegt er að landa, rynni í sjóð til rannsókna og nýsköpunar á sviði sjávarútvegs. Hlýri er önnur tegund þar sem lífmassavísitala hefur lækkað mikið. Vísitölur áranna 2010–2020 eru þær lægstu frá upphafi. Í lok árs 2020 var heimilt að sleppa lífvænlegum hlýra sem leið til verndunar stofnsins.

Í þeim tegundum, þar sem afli hefur farið minnkandi, virðist minnkun stofnsins fremur tengjast breyttu umhverfi en aukinni sókn. Þannig geta umhverfisbreytingar leitt tilnýliðunarbrests, breyttrar útbreiðslu eða aukins afráns. Mjög óljóst samband er gjarnan milli stærðar hrygningarstofns og nýliðunar. Má þar til dæmis nefna að þó að hrygningarstofn þorsks hafi farið stækkandi undanfarin ár hafa fáir sterkir árgangar þorsks komið inn í stofninn. Breytileiki í nýliðun og þar með árgangastærð er ástæðan fyrir miklum sveiflum í afla loðnu þar sem veiði hvers árs byggir að mestu leyti á einum árgangi. Stofnstærð hryggleysingja líkt og rækju og humars hefur minnkað og í sumum tilfellum er stofnstærð nú sú lægstasem mælst hefur. Aukið afrán þorskfiska hefur valdið mikilli lækkun í stofnstærð rækju og nýliðunarbrestur hefur verið í humarstofninum.

Helstu uppeldissvæði nytjategunda eru á grunnslóðinni vestur og norður af landinu. Í hafinu kringum Ísland eru sérstök friðunarsvæði til verndunar ungvíðis fiska og hryggleysingja². Til að mynda er djúpt vestur af Íslandi stórt svæði lokað fyrir botn- og flotvörpuveiðum til verndunar gullkarfaungviðis. Árið 2019 voru þrjú svæði suðaustur af Íslandi lokað fyrir botn- og flotvörpuveiðum til verndunar á humri. Einnig eru tíu lítil svæði fyrir sunnan og suðaustan Ísland (heildarstærð 480 km²) lokað fyrir öllum botnveiðum til verndar kóralsvæða³.

Fiskveiðar hafa verið stundaðar við Ísland frá landnámi en á hafsvæðinu umhverfis Ísland eru veiddir yfir 40 stofnar af fiskum og hryggleysingjum, þar af teljast sex þeirra deilistofnar. Árlegur heildarafli var mestur um miðjan tíunda áratug síðustu aldar þegar landað var um tveimur milljónum tonna en síðan þá hefur aflinn minnkað í rúmlega milljón tonn. Landaður afli uppsjávarfiska hefur verið meiri en botnfiska flest ár síðustu þrjá áratugi.

Við fiskveiðar á Íslandsmiðum eru notuð margvísleg veiðarfæri. Um 50 togarar stunda botnvörpuveiðar við Ísland og veiða aðallega þorsk, ýsu, ufsa, gullkarfa, djúpkarfa og grálúðu. Þorskur er að mestu veiddur í botnvörpu og á línu og er sú botnfiskategund sem mest er veitt af. Það eru umtalsverðar botnvörpuveiðar á ýsu á landgrunninu allt í kringum landið en þessar veiðar eru á grynnra vatni en veiðar á þorski. Grálúða er sú flatfiskategund sem mest hefur verið veitt af á Íslandsmiðum. Á bilinu 20 til 25 uppsjávarskip veiða loðnu, síld, makríl og kolmunna með flotvörpu og hringnót. Afli uppsjávartegunda hefur sveiflast mikið frá árinu 1950. Sjávarhryggleysingjar hafa verið nytjaðir við Ísland í nær heila öld. Humar og rækja voru fyrstu sjávarhryggleysingjarnir sem voru veiddir af einhverju ráði en nokkru síðar hófust veiðar á hörpudisk. Undir lok síðustu aldar hófust veiðar á kúfiskel, ígulkerum og beitukóng, og nú síðast árið 2008 á sæbjúgum.

Tiltölulegar fáar fisktegundir á íslenska hafsvæðinu virðast hafa orðið fyrir alvarlega neikvæðum áhrifum vegna veiða. Hrun þriggja síldarstofna og mikil lækkun stofnstærðar lúðu og hlýra hefur verið tengt ofveiði. Í þeim tegundum þar sem afli hefur farið minnkandi virðast það fremur tengjast breytingum í stofnstærð vegna utanaðkomandi þátta, s.s. nýliðunarbrests, breyttrar útbreiðslu eða aukins afráns.

Heimildir

1. ICES Advice. 2019. ICES Fisheries Overview. Icelandic Waters ecoregion. http://ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Advice/2019/2019/FisheriesOverview/IcelandicWaters_2019.pdf.
2. Sigfús A. Schopka. 2007. Friðun svæða og skyndilokanir á Íslandsmiðum. Sögulegt yfirlit. Hafrannsóknastofnunin Fjölrit nr. 133. 86. bls. (<https://www.hafogvatn.is/static/research/files/fjolrit-133.pdf>).
3. Steinunn Hilma Ólafsdóttir, Julian Mariano Burgos, Stefán Áki Ragnarsson og Hjalti Karlsson. 2020. Kóralsvæði við Ísland. Rannsóknir 2009-2012 lýsing – útbreiðsla – verndun. Haf- og vatnarannsóknir. HV 2020-31. Reykjavík. 84 bls.

10 Áhrif sjávarhita á fiskeldi við strendur Íslands

Ragnar Jóhannsson
Hafrannsóknastofnun

Síðustu fjóra áratugi hefur eldi í sjókvíum aukist mjög mikið í Norður-Atlantshafi. Þessa aukningu má skýra nær eingöngu með eldi á Atlantshafslaxi. Norðmenn byrjuðu á laxeldi í sjó um 1970 og áratug seinna var framleiðslan orðin um 40.000 tonn en er nú um 2 milljónir tonna í eldi í Norður-Atlantshafi. Á Íslandi hefur verið fylgst náið með sjókvíaeldi í Noregi og voru fyrstu tilraunir með sjókvíar framkvæmdar í Hvammsvík í Hvalfirði árið 1972¹. Niðurstöður þessara tilrauna og mælingar á sjávarhita við Ísland á árunum 1970–1980 bentu til að sjókvíaeldi laxfiska væri helst mögulegt við suðurströnd landsins og hugsanlega í Vestmannaeyjum. Jafnframt er áréttað í grein eftir Árna Ísaksson² „samkvæmt þeim hitamælingum sem fyrir liggja er varasamt að treysta á eldi í flotkvíum yfir veturinn við Vesturland og algjörlega útilokað við Norður- og Austurland“.

Umhverfisaðstæður fyrir sjókvíaeldi við Ísland eru erfiðar og í gegnum tíðina hefur orðið tjón á bæði fiski og búnaði vegna lágs sjávarhita, ísingar og öldugangs. Lágur sjávarhiti fyrir Vestur- og Austurlandi hefur valdið því að sjókvíaeldi hefur ekki þróast með sama hætti og í nágrannalöndunum eins og Færeyjum, Skotlandi og í Noregi. Það má telja yfirgnæfandi líkur á því að vaxtarhraði hjá laxi muni aukast og tilkostnaður minnka við 2–5°C hækkun meðalhita³. Sú hækkun sem orðið hefur á sjávarhita frá 1995 hefur gert eldið mun fýsilegra en áður fyrr. Þar kemur aðallega til hærri hiti að vetrarlagi sem minnkar hættuna á undirkælingu. Mildara veðurfar mun einnig hafa áhrif þar sem lofthiti getur haft áhrif á sjávarhita í fjörðum⁴.

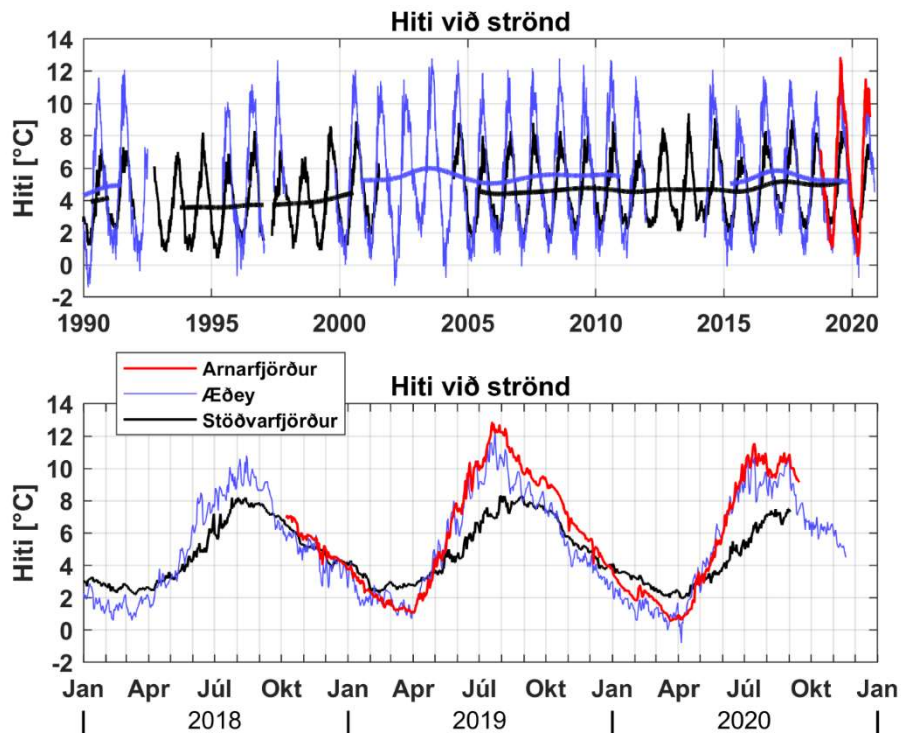
Fiskeldi er vaxandi atvinnugrein á Íslandi og hefur framleiðslan aukist hratt á síðustu árum. Mestur hluti eldisins fer fram í sjókvíum og byggist það eldi nær eingöngu á Atlantshafslaxi en einnig hefur verið stundað eldi á regnbogasilungi en í mun minna mæli. Framleiðsla á eldislaxi var komin í 32.000 tonn árið 2020⁵ en gert er ráð fyrir að framleiðslan verði komin í um 55.000 tonn árið 2023 miðað við fjölda útsettra seiða. Núverandi áhættumat erfðablöndunar gerir ráð fyrir hámarks-lífmassa 106.500 tonn sem jafngildir 84.000 tonna framleiðslu en erfðablöndun er sá þáttur sem helst takmarkar framleiðslumagnið. Áhættumatið var síðast endurskoðað árið 2020 og næsta endurskoðun verður, samkvæmt lögum, eigi síðar en árið 2023. Áhættumatið er hugsað sem stjórnþæki til að draga úr líkum á að strokulaxar úr eldi valdi erfðablöndun við íslenska laxastofna en erfðablöndun og áhrif laxalúsar á afkomu villtra laxastofna eru þeir þættir sem taldir hafa hvað

mestu umhverfisáhrif í Noregi. Laxeldið er einungis heimilað í fjörðum nærri dreifðum byggðum Aust- og Vestfjarða og því mikilvæg viðbót fyrir atvinnulíf þar.

Sjávarhiti í fjörðum við Ísland er með því lægsta sem þekktist í laxeldi í sjókvíum á heimsvísu og í mjög köldum árum getur vetrarhitinn valdið miklum afföllum. Líklegt er að helstu áhrif umhverfisbreytinga á skilyrði til fiskeldis í sjókvíum við Ísland komi fram í breytingum á hitastigi. Má því telja líklegt að svipuð kólnun og sú sem varð á hafísárunum 1965–1970 muni gera sjókvíaeldi óarðbært en þá lækkaði sjávarhitinn fyrir norðan land um nokkrar gráður (mynd 2.1.3). Búast má við (sjá kafla 2.4) að sjávarhiti við strendur Íslands geti sveiflast verulega á komandi árum þrátt fyrir þá hnattrænu hlýnun sem gert er ráð fyrir á norðlægum slóðum⁶. Hlýnun mundi minnka áhættuna af því að stunda sjókvíaeldi við Ísland með fækkun á fjölda hættulegra kaldra daga þegar aðstæður til myndunar lagnaðaríss og undirkælingu skapast. Hækkun sjávarhita getur einnig aukið vaxtarhraða og þar með framleiðni í laxeldi⁷. Aftur á móti getur hlýnun aukið viðkomu laxalúsar og valdið þörungablóma og öfgum í veðurfari⁸.

Sú eldisstarfsemi, sem nú er í fjörðum landsins, hefur einungis verið rekin í fáein ár á yfirstandandi hlýskeyði frá síðustu aldamótum (mynd 2.1.3) en samt hafa komið upp aðstæður þar sem óvenju kaldrar vikur hafa valdið vandræðum en fiskurinn þolir ekki langan tíma undir 0°C. Hvernig starfseminni vindur fram er erfitt að segja til um en nauðsynlegt er að vakta hana vel og rannsaka.

Eins og fyrr er nefnt er fiskeldi stundað á grunnsævi inni á fjörðum Vest- og Austfjarða þar sem lofthiti og vindhraði hafa mikil áhrif á sjávarhita. Hafrannsóknastofnun hefur síðastliðin 30 ár vaktað hitastig standsjávar á níu stöðum kringum landið en til eru styttri mæliraðir á 13 stöðum til viðbótar.



Mynd 10.1. Sjávarhiti nærri yfirborði mælt með síritum í Stöðvarfirði (svart), Æðey (blátt) og Arnarfirði (rautt). Efri myndin sýnir árabilið 1990 til dagsins í dag og sú neðri þrjú síðastiðin ár. Árstíðasveiflu við Æðey og í Arnarfirði ber vel saman meðan sveiflan í Stöðvarfirði er minni. Þykkar línur á efri mynd eru með þriggja ára sigti (low-pass filter). Mynd Andreas Macrander.

Þessi gögn sýna að árstíðahitasveiflan í hitastigi er mun meiri á Vestfjörðum en Austfjörðum (mynd 10.1) og hlýnun sjávar á vori hefst þar fyrir en í fjörðum fyrir austan. Hiti að vetri til hefur farið niður fyrir 0°C í skamman tíma í sjö tilfellum við Æðey á tímabilinu 1990 til 2020. Hætta á slíku er minni á Austfjörðum en aftur á móti er sumarhiti þar lægri. Ef sjávarhiti fer undir 0°C geta orðið afföll á eldisfiski, sérstaklega ef kuldakastið varir í nokkra daga. Með forvörnum, svo sem með því að stöðva fóðrun og láta fiskinn alveg í friði, má minnka afföll. Þá gera spár um hlýnun jarðar ráð fyrir að veðuröfgaatburðum, svo sem stormum, kunni að fjölga⁷ sem getur valdið vanda í eldi.

Síritandi hitamælingar ná aðeins til síðustu þrjátíu ára og á þeim tíma hefur sjávarhiti á Vestfjörðum og Austfjörðum hækkað um $1,5^{\circ}\text{C}$ og hefur skapað grundvöll fyrir fiskeldi í sjó (mynd 10.1). Ef hins vegar er horft til mælinga á sjávarhita á landgrunninu fyrir norðan land, sem staðið hafa yfir í 70 ár, má sjá að verulegar sveiflur hafa orðið í sjávarhita að vorlagi. Á tímabilinu 1950–1965 var hlýskeyð

svipað og á árunum 2000–2020 en kuldaskýð 1965–1970. Því er ekki hægt að útiloka að veruleg lækkun á sjávarhita geti orðið á strandsjónum við Ísland á næstu árum eða áratugum (kafla 2.4) með alvarlegum afleiðingum fyrir laxeldið. Auk þess, ef hafís bærir til Íslands í sama mæli og gerðist á hafísárunum, mætti búast við gríðarlegu eignatjóni á sjókvíum, fóðrunarbúnaði og fiski.

Samantekt

Mestur hluti eldis á Íslandi fer fram í sjókvíum og byggist það eldi nær eingöngu á Atlantshafslaxi. Umhverfis- aðstæður fyrir sjókvíaeldi við Ísland eru erfiðar. Hins vegar hefur hlýnun sjávar undanfarna áratugi skapað tækifæri til eldis. Búast má við að meiri hlýnun muni hafa jákvæð áhrif á laxeldi í sjókvíum meðan að veruleg lækkun á sjávarhita mun hafa alvarlegar afleiðingar fyrir laxeldið.

Heimildir

1. Ingimar Jóhannsson. 1979. Tilraunir með laxeldi í sjó í Hvalfirði. *Ægir*. 72(3), 129–132.
2. Árni Ísaksson. 1973. Eldi laxfiska í sjó. *Freyr*. 69(11-12), 285–289.
3. Björn Björnsson. 2003. Þættir úr vistfræði sjávar. Hafrannsóknastofnunin Fjölrit nr 101.
4. Trausti Jónsson. 2003. Langtímasveiflur III - Sjávarhiti. Veðurstofa Íslands. Greinargerð 03013.
5. Gísli Jónsson. 2021. Ársskýrsla dýralæknis fisksjúkdóma. Matvælastofnun.
6. Hoegh-Guldberg, O.D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K.L. Ebi, F. Engelbrecht, J. Guiot, Y. Hijioka, S. Mehrotra, A. Payne, S.I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, & G. Zhou, 2018. Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
7. Halldór Björnsson, Bjarni D. Sigurðsson, Brynhildur Davíðsdóttir, Jón Ólafsson, Ólafur S. Ástþórsson, Snjólaug Ólafsdóttir, Trausti Baldursson & Trausti Jónsson. 2018. Loftslagsbreytingar og áhrif þeirra á Íslandi – Skýrsla vísindanefndar um loftslagsbreytingar 2018. Veðurstofa Íslands.
8. Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S. & Poulain, F. 2018. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical paper 627.

11 Umhverfis- og vistkerfisbreytingar á næstu áratugum

Líklegar umhverfisbreytingar á hafsvæðinu kringum Ísland á næstu 1–3 áratugum eru kynntar í kafla 2.4. Þær spár byggjast að verulegu leyti á þekktum sveiflum í umhverfinu á fyrri áratugum sem enn virðast ekki tengjast breytingum loftslags af mannavöldum með óbyggjandi hætti. Samfara breytingum á umhverfi sjávar hafa orðið breytingar á lífríkinu en hvers má vænta og hvar er aukinna rannsókna þörf?

Til einföldunar má ætla að framtíðarhorfur um umhverfisbreytingar geti orðið með þrennum hætti:

- Áframhaldandi hlýndaskeið við Ísland þar sem varmaflutningur í NA-Atlantshafi til norðurs er hár líkt og síðustu tvo áratugi.
- Kólnun, einkum norðanlands, vegna mikillar uppsöfnunar ferskvatns í Norður-Íshafinu líkt og gerðist á árunum 1965–1970 með stóra seltufrávikinu.
- Meðalár með tilliti til hitastigs sjávar líkt og var við landið á árunum 1970–2000.

Líklegt er að viðbrögð vistkerfa við umhverfisbreytingum framtíðarinnar verði í meginráttum sambærileg við það sem áður hefur gerst. Þó hafa orðið breytingar, eins og göngur makríls inn á íslensk hafsvæði, sem erfitt var að sjá fyrir. Þá eru breytingar á stofnstærð og útbreiðslu tegunda ekki eingöngu svörun við breytingum á umhverfisaðstæðum sjávar heldur einnig samspili við aðra þætti innan vistkerfanna. Hér verður greint frá í meginatriðum hvað einkenndi lífríkið á þessum mismunandi tímabilum þar sem það forspárgildi sem í þeirri vitneskju felst er vísir að sviðsmyndum um framtíðarbreytingar lífríkisins.

Hlýndaskeið og meðalár

Á núverandi hlýndaskeiði, frá um 2000, hafa orðið margvíslegar breytingar á lífríki hafsins við Ísland, eins og tíundað er í köflum þrjú til níu, í samanburði við áratugina þrjá þar á undan. Má þar nefna aukningu í magni svifþörungna sunnanlands, vaxandi hlutfall dýrasvífstegundarinnar rauðátu djúpt norður af landinu samfara minnkandi hlutfalls pólátu, makrill fór að ganga á Íslandsmið, fæðuslóð loðnu færðist norður og vestur inn á grænensk hafsvæði, útbreiðsla fjölmargra botnfisktegunda hliðraðist til norðurs og inn á norðurmið og sandsílastofninn sunnanlands hrundi með afleiðingum fyrir afkomu sjófuglastofna og á útbreiðslu hvalastofna.

Framleiðni nytjastofna, eða nýliðun, ákvarðar afrakstur þeirra til lengri tíma lítið. Nýliðun fiskistofna á þessu hlýndaskeiði hefur verið misjöfn. Kaldsjávartegundir hafa

átt erfitt uppdráttar, til dæmis hafa rækjustofnar verið litlir og loðna hefur ekki getið af sér stóra árganga síðan fyrir árið 2000. Framleiðni annarra uppsjávarfiskistofna hefur verið mikil, einkum hjá makríl og kolmunna. Síldarstofnarnir gátu af sér góða nýliðun í byrjun tímabilsins og aftur frá árinu 2016. Framleiðni botnfisktegunda hefur verið misjöfn. Viðvarandi nýliðunarbrestur undanfarinn áratug einkennir margar tegundir sem þó þrífast betur í hlýrra og saltara umhverfi en Íslandsmið eru við nyrstu mörk útbreiðslu þeirra. Sem dæmi má nefna skötusel, blálöngu, ýmsar tegundir flatfiska og humar. Sumar þessara tegunda gáfu hins vegar af sér góða nýliðun í byrjun hlýndaskeiðsins, svo sem skötuselur. Nýliðun ýsu og ufsa hefur verið breytileg þetta hlýndaskeið en ekkert frábrugðin því sem var fyrir þann tíma, árin 1980–2000. Þorsstofninn hefur hvorki gefið af sér sterka árganga á hlýndaskeiðinu núna né á tímabilinu á undan. Á hlýndaskeiðinu 1925–1964 var þorsklirfurek til Grænlands, og þorskurinn ólst þar upp og skilaði sér í sterkum árgöngum sem gengu til Íslands til hrygningar sem þýðir að stærra útbreiðslusvæði þorsks sé mögulega ein forsenda stórra árganga á hlýndaskeiðum.

Framleiðni nytjastofna tengist einnig fæðuskilyrðum í hafinu, sem líkt og sjávarhiti, hefur áhrif á vaxtarhraða og líkamlegt ástand. Þorskur er tækifærissinni þegar kemur að fæðu og étur hann það sem er á viðkomandi svæði á viðkomandi tíma. Hins vegar er loðna langmikilvægasta fæða hans og ýmissa annarra nytjategunda. Vægi hennar má meðal annars glögg sjá á því að ástand þorsks versnar þegar lítið er af loðnu.

Hækkun á sjávarhita í fjörðum vestan og austan lands hefur átt þátt í því að skapa þar grundvöll fyrir fiskeldi í sjó. Ætla má að áframhald á núverandi hlýndaskeiði muni hafa jákvæð áhrif á eldið meðan að búast má við meiri skakkaföllum í meðalárum. Áhrif sníkjudýra, þar með talið laxalúsar, og fisksjúkdóma á fiskeldi í sjó samfara umhverfisbreytingum er flóknara að spá um og þarfnast frekari rannsókna.

Þessi samantekt á stöðu lífríkisins undanfarna áratugi leiðir í ljós ýmsar breytingar þar sem svörun tegunda við breyttum aðstæðum hefur verið mismunandi. Margar hlýsjávartegundir nutu góðs af hlýnuninni með tilliti til stofnstærðar og útbreiðslu en hjá öðrum var viðkomubrestur, svo sem hjá humri og sandsíli. Áhrif hlýnunar á kaldsjávartegundir voru hins vegar þau að bæði útbreiðsla og framleiðni minnkaði.

Síðasta kuldatímabil í hafinu við Ísland var á árunum 1965–1970 og eru ástæður þess vel þekktar. Áhrifa þess gætti mest fyrir norðan land. Vöktun á lífríki hafsins á þessum tíma var minni en í dag og með öðrum hætti. Sem dæmi voru stofnmælingar botnfiska ekki hafnar en þær gefa meðal annars upplýsingar um breytingar á magni og útbreiðslu botnfiska. Rannsóknir á magni átu fyrir norðan land sýndu verulega lækkun þessi ár. Þá var nýliðun helstu nytjastofna léleg, til dæmis þorsks og síldar. Það virðist því vera svo að framleiðni íslenska hafsvæðisins hafi almennt verið minni þessi köldu ár.

Áherslur næstu ára í rannsóknum á umhverfi og vistkerfi sjávar

Áhrif breytilegs umhverfis á lífríki hafsins við Ísland verða ekki skýrð nema því aðeins að rannsóknir verði stundaðar með fjölþættari hætti en nú. Í því felst meðal annars að tengja niðurstöður betur við umhverfisskilyrði á nálægum hafsvæðum sem hafa áhrif hafa á þær breytingar sem hér verða. Þá verða áhrif loftslagsbreytinga af mannavöldum ekki greind nema að tillit sé tekið til náttúrulegra breytinga á ástandi sjávar og hafstraumum við Ísland.

Reglulegar mælingar á ástandi sjávar ná allt aftur til ársins 1970 en mælingar á uppleystu CO₂ í sjó byrjuðu á fyrri hluta níunda áratugarins og síðan þá hafa ýmiss konar rannsóknir bæst við. Má þar telja straummælingar, mælingar með ýmsum siritandi tækjum og fjarkönnun. Þessi gögn eru meðal annars notuð í haffræðilíkon sem verða sífellt mikilvægari rannsóknartæki en upplausn þeirra og nákvæmni helgast meðal annars af undirliggjandi mælingum. Til viðbótar við áframhaldandi vöktun og þróun hennar ætti áhersla næstu ára að vera á sjómælingar og líkanagerð fyrir grunnsævi og frekari rannsóknir á breytileika helstu straumakerfa í kringum landið.

Gögn Hafrannsóknastofnunar sýna að sjórinn norðan Íslands súrnar hratt og er lækkun sýrustigs að jafnaði um 50% hraðari en í heittempruðum hluta Atlantshafsins. Í dýpri lögum sjávar (>1500 m) nemur lækkun sýrustigs um fjórðungi af lækkun í yfirborðslögum. Hvenær og eins hvernig áhrif súrnunar hafsins fer að gæta á lífríki hafsins við Ísland er óljóst. Tilraunir hafa sýnt að afkoma, kalkmyndun, vöxtur, þróun og stofnstærð geta orðið fyrirneikvæðum áhrifum af súrnun sjávar. Viðbrögðin geta verið mismunandi eftir því um hvaða lífsstig og hvaða tegundir er að ræða, og eftir ytri skilyrðum, þar með talið fæðuframboði. Vöktun á súrnun sjávar verður haldið áfram en einnig þarf að rannsaka enn frekar áhrif súrnunar á einstaka lífverur og vistkerfið.

Sterk tenging er á milli umhverfisaðstæðna og frumframleiðni hafanna. Unnið hefur verið að líkanagerð á undanförunum árum sem byggjast á gervihnattagögnum ásamt mælingum á sjó í þeim tilgangi að geta metið frumframleiðni hafsins við Ísland meðal annars. Breytileiki í frumframleiðni hafsins og í tegundasamsetningu þörunga-svifsins endurspeglar að stórum hluta þá orku sem er til skiptanna fyrir lífverur ofar í fæðukeðjunni. Því ættu tímaraðir um heildarfrumframleiðni eftir hafsvæðum og hlutdeild mismunandi þörungahópa að vera takmarkið. Slík gögn gerðu kleift að meta áhrif umhverfisbreytinga á framleiðni hafsins.

Svifdýr mynda tengingu í orkuflutningi milli frumframleiðni og nytjastofna. Vísitölur um magn svifdýra að vori eru til fyrir mismunandi hafsvæði kringum Ísland en þær gefa aðeins vísbendingar um magn milliátu (til dæmis rauðátu), en ná ekki yfir stórátu eins og ljósátu. Þá er framleiðni svifdýra háð mörgum þáttum svo sem tegundasamsetningu, fæðuframboði og afráni. Þetta eru þættir sem hafa verið rannsakaðir en frekari rannsókna er þörf enda ungið þessara svifdýra meginfæða lírfustigs allra nytjastofna og fullorðinsstigin helsta fæða uppsjávarfiskistofna. Bergmálmælingar á stórátu hafa verið í þróun en þarft er að byggja upp tímaraðir vísitalna um magn hennar. Ljósáta er meðal annars helsta fæða margra stórhvela við Ísland, margra nytjategunda á sumum tímum árs svo og sjófugla.

Umfangsmestu verkefni Hafrannsóknastofnunar eru tengd árlegum stofnmælingum á nytjastofnum sem liggja til grundvallar að veiðráðgjöf. Þetta eru allt verkefni sem verður að halda áfram enda forsenda sjálfbærrar nýtingar auðlindanna. Þau ber hins vegar að taka til endurskoðunar reglulega, líkt og önnur verkefni, og meta hvort aðstæður hafi breyst sem kallað gæti á breytta framkvæmd til að ná settum markmiðum. Sem dæmi um breyttar aðstæður má nefna breytingar á útbreiðslu og stofnstærð tegunda, breytta nýtingu og umhverfisbreytingar. Breytingar í útbreiðslu og göngumynstri lykiltegunda í vistkerfinu, líkt og þorsks, ýsu, loðnu og síldar, er nauðsynlegt að rannsaka og vakta. Breytingar í útbreiðslu þeirra hafa víðtæk áhrif á vistkerfið, meðal annars samspil tegunda í fæðukeðjunni en líka á veiðar og efnahag.

Breytileiki nýliðunar hjá nytjastofnum, sem einkum ákvarðar framleiðni þeirra, er jafnan talinn tengjast umhverfisþáttum sem eru þó oft illa skilgreindir og orsakasamhengið óljóst. Þá er illa þekkt hvenær á lífsskeiði ungiðis stærð árganga ákvarðast og hvernig samspili samverkandi umhverfis- og líffræðilegra þátta er háttað. Engu að síður hefur rannsóknum á fyrstu æviskeiðum nytjastofna ekki verið sinnt nægilega. Til dæmis er lítið vitað um uppeldissvæði ungiðis margra nytjastofna. Sem lið í eflingu slíkra rannsókna mætti til dæmis koma á fót árlegum vistkerfisleiðangri að hausti

sem hefði það markmiði að magnmæla 0-grúppu fiskistofna og átustofna í kringum landið í tengslum við umhverfismælingar. Aðrar þarfar framtíðarrannsóknir eru rannsóknir á þýðingu fjarða og grunnsævis sem uppeldissvæða, reki eggja og lirfa af hrygningarsvæðum, og efling rannsókna á fæðuvistfræði svo eitthvað sé nefnt. Flestar þessara upplýsinga munu jafnframt nýtast við gerð vistfræðilíkana fyrir vistkerfi sjávar kringum Ísland en þau eru gjarnan álitin ein forsenda fyrir vistfræðilegri stjórnun fiskveiða.

Umtalsverðar breytingar hafa átt sér stað í fjölda og útbreiðslu hvala og sela við Ísland sem virðast í mörgum tilfellum tengjast breytingum í vistkerfinu sem rekja má til hlýnunar sjávar. Upplýsingar eru hins vegar mjög takmarkaðar um flestar tegundir sjávarspendýra. Efla þarf vöktun hvalastofna við Ísland, t.d. samfara vistkerfisleiðöngum kringum landið og leggja jafnframt stund á rannsóknir á fæðuvistfræði sjávarspendýra til að geta betur greint stöðu þeirra í fæðuvef hafsins og magngreina afrán þeirra.

Umhverfisbreytingar síðustu áratugi hafa með óbeinum hætti, í gegnum fæðuvefi, haft neikvæð áhrif á flesta stofna sjófugla við Ísland. Fjölbreyttar rannsóknir hafa verið gerðar á líffræði, líflandafræði, fæðu, stofngerð og fjölda sjófugla. Tengsl umhverfis- og vistkerfisbreytinga við þessa þætti þarfnast frekari rannsókna. Efling reglulegrar vöktunar á sveiflum í stofnstærð sjófugla allt í kringum landið þyrfti að verða liður í því.

Líffræðileg fjölbreytni er hugtak sem hefur ekki verið mikið nefnt í köflunum hér að ofan. Hverskonar umhverfisbreytingar hafa áhrif á líffræðilega fjölbreytni innan vistkerfa en geta einnig haft áhrif á líffræðilega fjölbreytni innan einstakra tegunda. Breytingar í útbreiðslu tegunda, á stofnstærð og tilkoma nýrra tegunda í vistkerfi eru þættir sem endurspeglar líffræðilegri fjölbreytni. Kerfisbundnar og heildstæðar rannsóknir á líffræðilegum fjölbreytileika í vistkerfum hafsins við Ísland eru hins vegar skammt á veg komnar þótt vissulega liggi fyrir margvíslegar upplýsingar um einstaka þætti vistkerfanna. Á tímum loftslagsbreytinga, með öllum þeim áhrifum sem þær munu hafa á mismunandi vistkerfi sjávar, og með markmiðum um sjálfbæra nýtingu auðlinda hafsins, eru rannsóknir og vöktun á líffræðilegri fjölbreytni aðkallandi. Verndun á líffræðilegri fjölbreytni er jafnframt skuldbinding sem Ísland hefur undirgengist samkvæmt Ríóýfirlýsingu Sameinuðu þjóðanna frá 1992.

Lokaorð

Áhrif umhverfisbreytinga á vistkerfi sjávar eru víðtæk þar sem þau hafa áhrif á bæði ólífræna og lífræna þætti vistkerfisins, allt frá eiginleikum sjávar, í gegnum svif að sjávarhryggleysingjum, fiskum, fuglum og spendýrum. Um er að ræða flókið samspil margra þátta og viðbrögð lífríkisins vandmetin.

Í hafinu við Ísland er umhverfið breytilegt frá einum tíma til annars en skipst hafa á köld og hlý tímabil á undanförunum áratugum. Síðasta áratuginn hefur sjávarhiti verið hærri en nokkurn tíma áður síðan mælingar hófust en sjávarhiti hefur þó lækkað allra síðustu ár. Næstu áratugi má búast við svipuðum sveiflum í umhverfinu og hafa verið undanfarna áratugi. Þær sveiflur tengjast breytingum loftslags af mannavöldum aðeins lítillega en það kann að breytast til lengri tíma litið þegar loftslagsbreytingar aukast enn frekar eins og allt stefnir í.

Sé miðað við að umhverfissveiflur næstu áratuga verði sambærilegar við það sem verið hefur á undanförunum áratugum má ætla að þær breytingar á lífríki sjávar sem þekktar eru nú hafi forspárgildi um viðbrögð við breytilegu umhverfi og séu vísir að framtíðarsviðsmyndum. Hlýindaskeiðum í hafinu kringum Ísland fylgja bæði neikvæðar og jákvæðar afleiðingar á afrakstur nytjastofna. Við slíkar aðstæður má gera ráð fyrir minni framleiðni lykilfæðutegunda í vistkerfinu, loðnu og sílis, með neikvæðum afleiðingum á aðrar tegundir. Magn suðrænni tegunda, svo sem makríls, kann að aukast og útbreiðslusvæði sumra botnsjávarstofna að stækka. Þá eru ákveðnar líkur á kólnun sjávar við landið á næstu árum, einkum norðan til, sem má búast við að hafi almennt neikvæðar afleiðingar á afrakstur nytjastofna.

Íslendingar eiga mikið undir afkomu sjávarauðlindarinnar og sjálfbærrar nýtingar hennar en umhverfis- og vistkerfisvöktun og öflugar hafrannsóknir eru forsenda hennar og því þjóðhagslega mikilvægar. Frekari greining á samhengi umhverfisbreytinga og breytinga á stofnstærð og útbreiðslu helstu nytjastofna er þörf en ljóst er að aukna áherslu þarf að leggja á grunnrannsóknir á nýliðun og vistfræði. Af þeim sökum er brýnt að gerð verði heildstæð áætlun um hafrannsóknir á komandi árum þar sem saman fer endurmat og endurskipulag núverandi rannsókna og auknar áherslur lagðar á að aflað verði nauðsynlegrar þekkingar sem þörf er á til að svara hvernig okkar helstu nytjastofnum muni farnast í framtíðinni. Rannsóknir á hnattrænum breytingum á hafinu og auðlindum þess verður einungis unnin í samvinnu margra aðila og því er bæði alþjóðlegt og innlent samstarf á þessum vettvangi nauðsynlegt, til dæmis með öflugu rannsóknanámi.

Þakkir

Þessi skýrsla er unnin fyrir tilstuðlan og með fjárstuðningi frá atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytinu sem liður í tímabundnu fjárfestingarátaki til að vinna gegn samdrætti í hagkerfinu í kjölfar heimsfaraldurs kórónuveirunnar. Ritnefnd, undir forystu Guðmundar J. Óskarssonar ritstjóra, ákvað efnistöð skýrslunnar og ritrýndi efni hennar. Ritnefnd vill þakka öllum þeim fjölmörgu höfundum sem eru nafngreindir í ritinu. Prófarkalesarar voru Ágústa Þorbergsdóttir, Björn Björnsson, Guðrún G. Þórarinsdóttir og Sigurður Már Einarsson og um uppsetningu og lokafrágang sáu Sigurborg Jóhannsdóttir og Svanhildur Egilsdóttir. Þeim er öllum þakkað kærlega fyrir þeirra framlag.



HAFRANNSÓKNASTOFNUN

Rannsókn- og ráðgjafarstofnun hafs og vatna