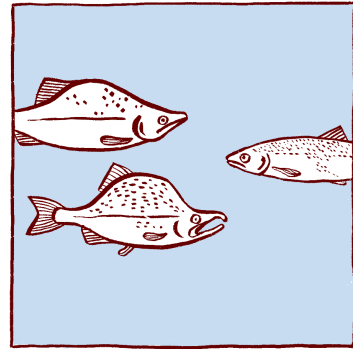
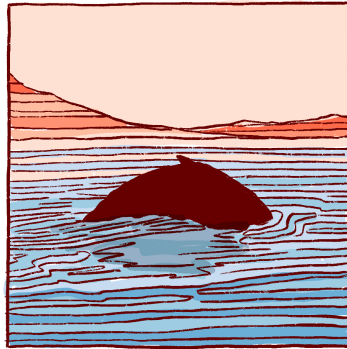


KAFLI

5

ÁSTAND OG LÍFRÍKI SJÁVAR



Efnisyfirlit kafla

5.1	Inngangur	166
5.2	Umhverfisbreytingar	166
5.2.1	Hitastig, selta	166
5.2.2	Súrnun sjávar og líffræðilegar afleiðingar	170
5.3	Lífriki sjávar	172
5.3.1	Plöntu- og dýrasvif	172
5.3.2	Breytingar á útbreiðslu fisktegunda við landið	174
5.3.3	Einstaka tegundir	175
5.3.4	Botnfiskar	175
5.3.5	Uppsjávarfiskar	177
5.3.6	Sjávarhryggleysingjar	179
5.3.7	Sjávarspendýr	180
5.3.8	Sjófuglar	183

Samantekt

1. Erfitt er að greina áhrif hnattrænnar hlýnunar í breytingum á ástandi sjávar (hita og seltu) við Ísland. Þær breytingar sem orðið hafa á hita og seltu á hafsvæðinu kringum Ísland síðan 1995 fara ekki út fyrir mörk náttúrulegs breytileika.
2. Frá upphafi mælinga fyrir norðan land er hægt er að greina fjögur mismunandi tímabil, byggð á ástandi sjávar. Frá 1995 hefur Atlantssjór verið ráðandi fyrir norðan land og hitastigið og seltan verið tiltölulega há.
3. Talið er líklegt að við landið verði áframhaldandi hlýindaskeið eins og tvo síðustu áratugi.
4. Vegna aðstæðna í hafinu við Ísland, og almennt í norðurhöfum, hefur súrnun sjávar orðið örari hér við land en að jafnaði í heimshöfunum. Súrnunin við Ísland endurspeglast í lækkuðu pH-gildi sem nemur 0,14 frá iðnbyltingu við Ísland.
5. Reikningar sýna að einungis við róttæka minnkun á losun gróðurhúsalofttegunda tekst að snúa súrnun sjávar við. Þó fer pH-gildi sjávar ekki að hækka á ný fyrir en í fyrsta lagi á síðari hluta aldarinnar.
6. Almennt eru áhrif súrnunar á lífverur neikvæðar þótt undantekninga gæti. Kalkmyndandi lífríki er talið einkar viðkvæmt, en einnig getur súrnun sjávar haft áhrif á aðrar lífverur, eins og t.d. fiska.
7. Aukning hefur orðið á magni svifþörunga, bæði á Íslandsmiðum og á stóru svæði suður af Íslandi. Ekki hefur mælst viðvarandi lækkun á magni dýrasvifs á Íslandsmiðum, eins og á stóru svæði í Norður-Atlantshafi, en talsverðar sveiflur eru þó milli ára.
8. Meðalmagn plöntu- og dýrasvifs að vorlagi á norðurmiðum er meira á hlýrri en kaldari árum.
9. Fyrir norðan land hafa orðið breytingar á magni og útbreiðslu mikilvægra dýrasvifstegunda með hækkandi hitastigi sjávar þar sem hlutur rauðátu (atlantísk tegund) hefur aukist en pólátu (kaldsjávartegund) minnkað.
10. Hækkandi hitastig á íslenska landgrunninu hefur leitt til breytinga á útbreiðslu margra botnfisktegunda. Tegundir, sem hafa verið við nyrðri mörk útbreiðslu sinnar á Íslandsmiðum og fundist að mestu í hlýja sjónum sunnan og vestan við landið, hafa stækkað útbreiðslusvæði sitt í norðaustur. Á sama tíma hefur stofnstærð og útbreiðsla kaldsjávartegunda minnkað.
11. Frá árinu 2006 hefur fæðuslód makrils breiðst út frá Noregshafi á Íslandsmið, á sama tíma hefur sumarbeitsvæði loðnu færst í vestur frá Íslandshafi upp að landgrunnskantinum við Austur-Grænland.
12. Nýliðun margra hlýsjávartegunda hefur minnkað mikið á undanförunum árum og líklega má rekja þessa neikvæðu þróun til breyttra umhverfisskilyrða í hafinu síðastliðin 20 ár. Um er að ræða tegundir sem halda sig aðallega í hlýjum sjó við suður- og vesturströndina.
13. Tilfærsla hefur orðið í útbreiðslu margra tegunda hvala við landið samhliða aukningu í stofnstærð. Þannig hefur hrefnu fækkað á landgrunninu en finnst nú aðallega lengra frá landi fyrir norðan land. Stofnstærð flestra tegunda skíðishvala hefur aukist undanfarin 20-30 ár.
14. Stofnar helstu sjófugla við landið hafa farið minnkandi á síðustu árum, sem í sumum tilfellum má rekja með óbeinum hætti til umhverfisbreytinga í hafinu við landið. Þannig hafa breytingar í stofnum fæðutegunda, eins og sandsílis og loðnu, leitt til lélegrar afkomu sjófugla.

5.1 Inngangur

Umfjöllun um ástand og lífríki sjávar er að miklu leyti byggð á skýrslu Hafrannsóknastofnunar *Staða umhverfis og vistkerfa í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga* (Guðmundur J. Óskarsson o.fl., 2021). Viðbótarupplýsingum hefur þó verið bætt við þar sem nýjar rannsóknir hafa komið fram og um efni sem ekki var farið yfir. Í þeirri skýrslu var meðal annars gerð grein fyrir breytingum á ástandi sjávar ásamt útbreiðslu, lífmassa, framleiðni og líffræði sjávarlífvera við Ísland sem tengja má við umhverfisbreytingar undanfarinna áratuga (Guðmundur J. Óskarsson o.fl., 2021).

5.2 Umhverfisbreytingar

5.2.1 Hitastig, selta

Lengi hefur verið vitað að hiti við Ísland er almennt þó nokkuð hærri en annars staðar á sömu breiddargráðu (Þorvaldur Thoroddsen, 1911) sem skýrist að miklu leyti af varmaflutningi með Golfstraumnum úr suðri sem flytur með sér hlýjan og selturíkan sjó (sjá t.d. mynd 4.3 í V2018 og Rahmstorf og Ganopolski, 1999). Lofthitinn við Ísland er að jafnaði lægri en sjávarhitinn og því flæðir varmi frá sjónum upp í andrúmsloftið og við það hækkar lofthitinn og sjórinn kólnar.

Sjórinn tapar því varma til andrúmsloftsins þegar hann berst með Golfstraumnum og hefur varmatap-
ið í norðurhöfum verið áætlað 115 TW (Smedsrud o.fl., 2022). Eftir því sem sami sjórinn er lengur við landið því kaldari verður hann. Hins vegar getur hitastigið í sjónum við Ísland hækkað þegar heitari sjór berst að landinu með hafstraumum, eins og rætt verður síðar í kaflanum. Loftslagsbreytingar hafa m.a. áhrif á ým-
iss ferli tengd náttúrulegum breytileika í sjónum, og erfitt getur reynst að greina áhrif hnattrænnar hlýnunar frá náttúrulegum breytileika. Mikilvægt er því að vakta náttúrufar og reyna að greina jafnharðan þær breytingar sem eru að verða á ástandi sjávar og meta hvaða þróun sé líkleg.

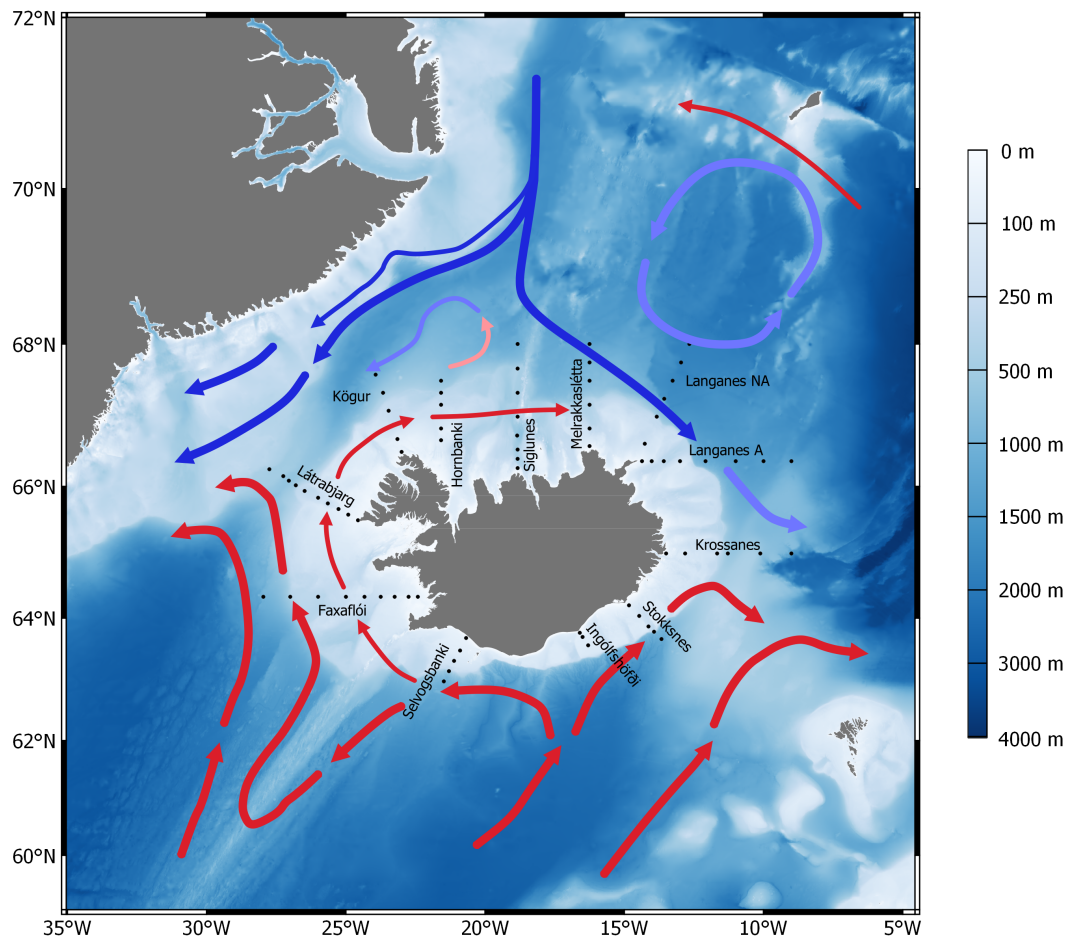


Mynd 5.1: Hópur æðarfugla. (Ljósmynd Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi).

5.2.1.1 Straumar og sjógerðir

Ísland er á straumamótum og kemur sjórinn við Ísland aðallega frá Atlantshafinu sunnan Íslands en norðan Íslands gætir einnig áhrifa sjávar frá Norður-Íshafinu (mynd 5.2).

Styrkur strauma og samsetning sjávar sem berst að landinu er breytileg (Steingrímur Jónsson og Sólveig Ólafsdóttir, 2021). Irmingerstraumurinn ber að landinu heitan og saltan Atlantssjó úr suðri og er hann ríkjandi við sunnan- og vestanvert landið allt að Látrabjargi. Í Grænlandssundi mætir Atlantssjórinn Austur-Grænlandsstraumnum sem ber með sér mjög kaldan og seltulágan pólsjó norðan úr Norður-Íshafinu. Lítill, en þó mismikill hluti Irmingerstraumsins, streymir norður um Grænlandssund og síðan austur yfir landgrunnið norðanlands en þar er yfirborðssjórinn blanda af Atlantssjó og pólsjó. Svalsjór, sem myndast við blöndun á Atlantssjó og pólsjó ásamt kælingu, er kaldur og tiltölulega seltulágur sjór í efri lögum Íslandshafs (norður af Íslandi) og



Mynd 5.2: Meginhafstraumar í yfirborðslögum umhverfis Ísland og lögun hafsbotsins. Sýndar eru þær stöðvar þar sem reglubundnar umhverfisrannsóknir eru gerðar, ásamt nöfnun sniðanna. Rauðar örvar tákna heitan og saltan Atlantssjó, bláleitar örvar seltuminni pólsjó eða svalsjó. Mynd úr Steingrímur Jónsson og Sólveig Ólafsdóttir (2021).

Norður-Grænlandshafs. Svalsjórinn berst til austurs yfir og utan við landgrunnshlíðina norðan Íslands með Austur-Íslandsstraumnum og er hitastigið og seltan hærri en í pólsjónum en lægri en í Atlantssjónum (mynd 5.2). Djúpt suður og vestur af landinu eru tvö hringstreymi sem hafa mikil áhrif á samsetningu Atlantssjávarins sem berst úr suðri að landinu. Svokallaður kaldtempraður hvirfill (*e. subpolar gyre*) er rangsælis hringstreymi í Labrador- og Grænlandshafi og nær áhrifasvæði hans mislangt til austurs. Fyrir sunnan hann er annað hringstreymi, þ.e. heittempraður hvirfill (*e. subtropical gyre*) sem fer réttsælis en sjórinn í honum er bæði heitari og saltari en í þeim kaldtempraða. Það fer eftir styrkleika og stærð áhrifasvæðis kaldtempraða hvirfilsins til austurs hversu mikið berst af heitari og saltari sjó úr heittempraða hvirflinum til landsins (Hátún o.fl., 2005).

5.2.1.2 Langtímarannsóknir

Langtímarannsóknir Hafrannsóknastofnunar sýna mismikinn breytileika í hita og seltu á landgrunninu umhverfis Ísland (Steingrímur Jónsson og Sólveig Ólafsdóttir, 2021). Sveiflur á svæðinu norðan við landið eru yfirleitt mun meiri en fyrir sunnan landið og eru margir þættir sem hafa þar áhrif. Á norðursvæðinu eru t.d. sterk en mjög breytileg áhrif pól- og svalsjávar úr norðri. Einnig eru miklar breytingar á innflæði hlýsjávar úr suðri inn á norðurmið.

Á tímabilinu 1947-2020 hefur meðalhiti og meðalselta breyst mikið á föstum athugunastöðvum á Siglunessniði að vorlagi, stöðvum 2-5 á 0-200 m dýpi (mynd 5.4). Á norðursvæðinu er hægt að greina fjögur mismunandi tímabil frá upphafi mælinga hér við land. Fyrsta tímabilið, frá 1947-1962, einkenndist af tiltölulega heitum (5-6 °C) og selturíkum sjó (selta í kringum 35) og var Atlantssjór ráðandi. Síðan tók við tímabil frá 1963-1970 þar sem bæði hitastig og selta minnkaði mjög ört og eru þessi ár gjarnan kölluð hafísárin, en ískaldur og seltulítill pólsjór úr norðri streymdi yfir landgrundið norðanlands og bar með sér hafís. Tímabilið frá 1971-1994 var mun



Mynd 5.3: Úrvinnsla sjósýnis. (Ljós. Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi).

kaldara en fyrsta tímabilið en þó ekki eins kalt og á hafísárunum. Á fjórða tímabilinu, 1995-2020 hefur Atlantssjór verið ráðandi fyrir norðan land og hitastigið og seltan verið tiltölulega há.

Hiti og selta breyttist heldur minna á tveimur föstum stöðvum suðvestan við landið en á norðursvæðinu (mynd 5.4.) Fyrir sunnan land er einungis Atlantssjór og engin blöndun við kaldari sjógerðir eins og fyrir norðan. Hitastig og selta eru þar af leiðandi mun meiri en fyrir norðan og breytileikinn mun minni. Þó skiptast á svipuð tímabil og í sjónum fyrir norðan land. Áhrif stóra seltufráviksins komu fram um miðjan áttunda áratuginn fyrir sunnan land, nokkuð seinna en fyrir norðan en þá er sjórinn búinn að ferðast með hringrás kaldtempraða hvirfilsins um Grænlands- og Labradorhaf að suðurströndinni. Upp úr 1995 hækkaði bæði hitastig og selta fyrir sunnan land sem skilaði sér einnig norður fyrir land. Þessi hækkun hefur verið tengd við veikingu á kaldtempraða hvirflinum á þessu tímabili og gat því heitari og saltari Atlantssjór borist að sunnan úr heittempraða hvirflinum austan við kaldtempraða hvirfilinn og að landinu (Hátún o.fl., 2005). Á árunum 2012-2017 lækkaði einnig hitastig og selta fyrir sunnan land og er það talið hafa stafað af óvenjulegum vetrarvindum sem leiddu til streymis á ferskvatni frá Labradorstraumnum inn á svæðið (Holliday o.fl., 2020). Hitastig og selta hafa síðan aukist aftur.

Að meðaltali var varmaflutningur inn í norðurhöf yfir hryggina milli Grænlands og Skotlands á árunum 2002-2016 21 TW meiri en fyrir tímabilið 1993-2000 (Tsubouchi o.fl., 2021). Þessi varmaaukning átti sér stað vegna aukins flutnings á Atlantssjó inn á svæðið, bæði vegna sterkari strauma og hærri sjávarhita. Þær breytingar, sem orðið hafa á hita og seltu á hafsvæðinu kringum Ísland síðan 1995, eru ekki meiri en áður hafa sést hér við land (myndi 5.4).

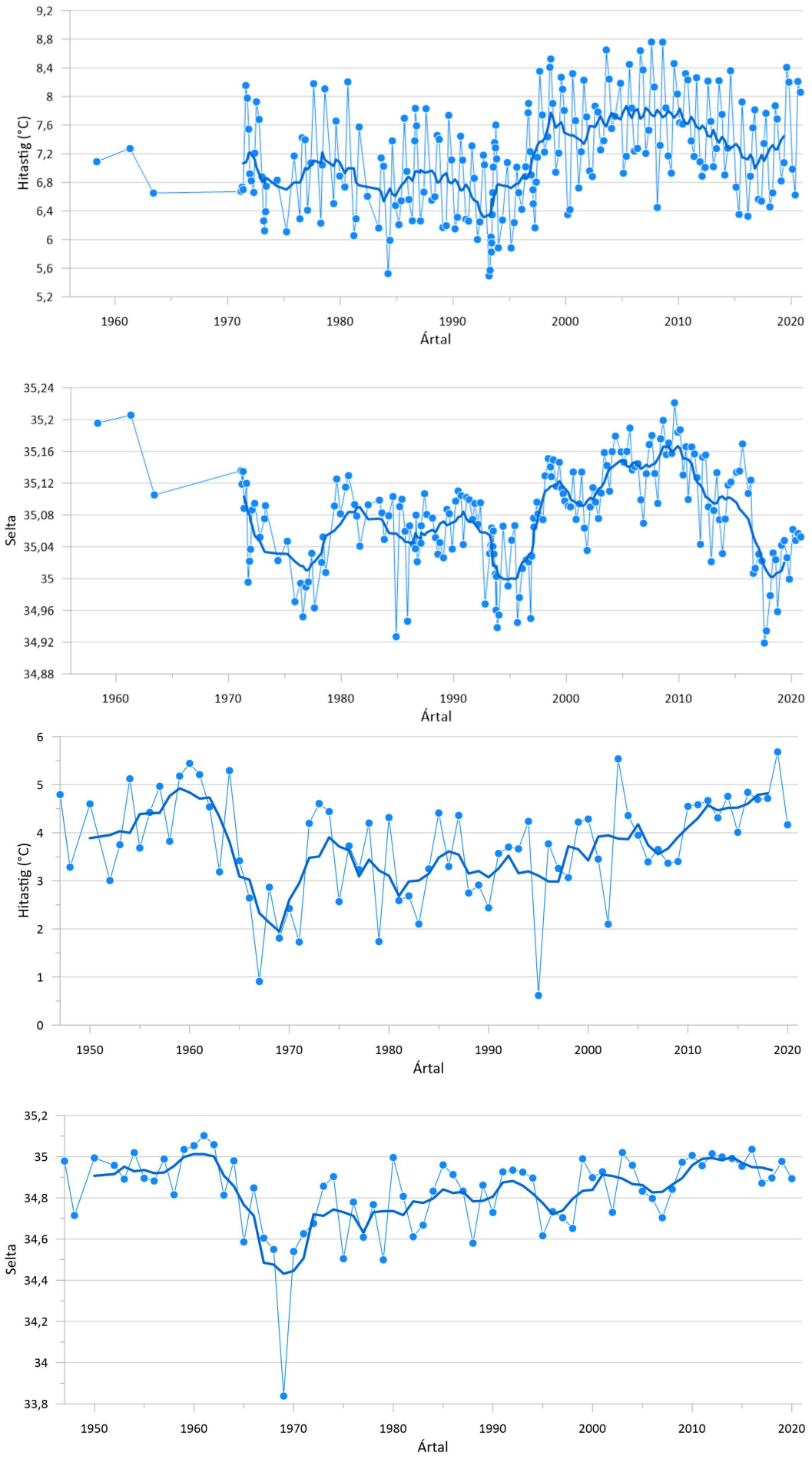
Texti með mynd 5.4: Efstu tvær myndirnar sýna mælingar að vori frá stöð 9 á Faxaflóasniði og stöð 8 á Reykjanessniði frá 0-200 m dýpi, ásamt 5 ára keðjumeðaltali (þykka línan).

Efsta mynd: Meðaltal hitastigis. **Önnur mynd að ofan:** meðaltal seltu.

Neðstu tvær myndirnar sýna mælingar að vori frá stöðvum 2-5 á Siglunessniði frá 0-200 m dýpi, ásamt 5 ára keðjumeðaltali (þykka línan).

Þriðja mynd að ofan: Meðaltal af hitastigi. **Neðsta myndin:** Meðaltal af seltu.

Allar myndirnar eru úr skýrslu Hafrannsóknarstofnunar Steingrímur Jónsson og Sólveig Ólafsdóttir, 2021.



Mynd 5.4: Myndatexti á síðunni á undan

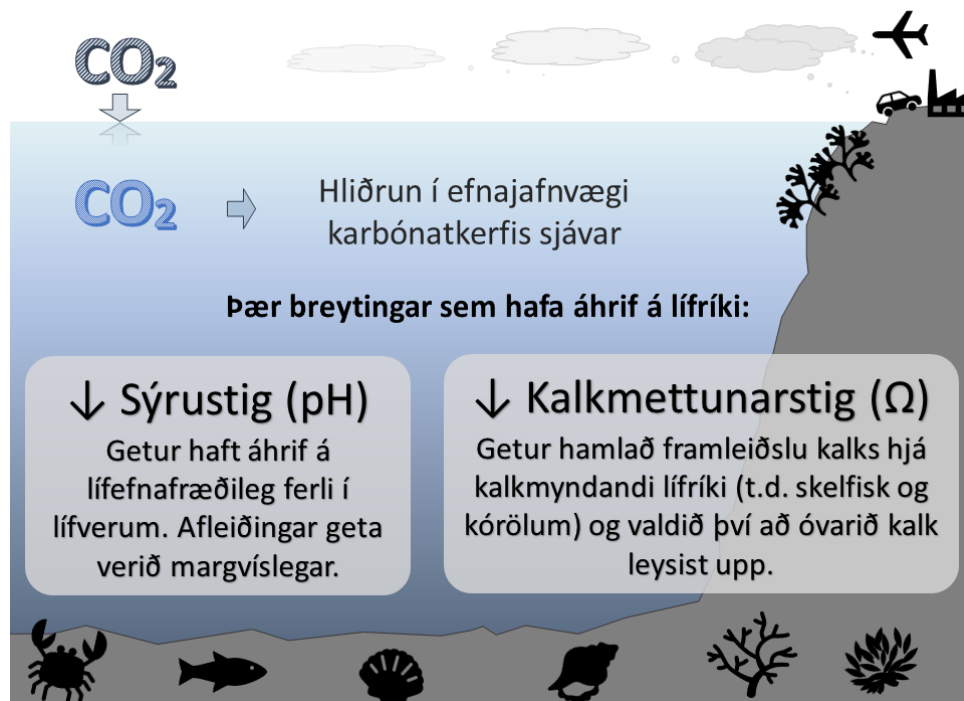
5.2.1.3 Möguleg framvinda

Talið er líklegt að við landið verði áframhaldandi hlýndaskeið eins og tvo síðustu áratugi þar sem engin sérstök teikn eru á lofti um að ástandið sé að fara að breytast á næstu árum (Steingrímur Jónsson og Sólveig R. Ólafsdóttir, 2021). Annar möguleiki er kólnun, aðallega norðanlands, eins og átti sér stað á hafísárunum 1965-1970. Mikil uppsöfnun ferskvatns hefur átt sér stað í Norður-Íshafinu í svokölluðum Beaufort-hvirfli og hefur safnast svipað magn og talið er hafa valdið stóra seltufrávikinu sem hófst með hafísárunum (Proshutinsky o.fl., 2019). Ef hæðin yfir Norður-Íshafinu gæfi eftir er möguleiki á aukinni útbreiðslu pólsjávar með Austur-Grænlandsstraumnum en ólíklegt er að því myndi fylgja jafnmikill hafís og á hafísárunum.

5.2.2 Súrnun sjávar og líffræðilegar afleiðingar

Í kafla 6 í V2018 er all ítarlegur kafli um efnafræðihlið súrnunar sjávar. Frá iðnbyltingu hefur sýrustig yfirborðssjávar heimshafanna fallið um að meðaltali 0,1 pH-einingu, þ.e. úr 8,2 í 8,1 (Gattuso og Hansson, 2011). Vegna aðstæðna í hafinu við Ísland og almennt í norðurhöfum hefur súrnun sjávar orðið örari hér við land en að jafnaði í heimshöfunum og er lækkunin um 0,14 pH-einingar við Ísland.

Súrnun sjávar er skilgreind sem lækkun á pH-stigi vegna athafna manna, og þá einkum vegna bruna jarðefnaeldsneytis og iðnaðar og landnotkunar (Rhein et al 2013). Heimshöfin hafa tekið upp um fjórðung af því koldíoxíði (CO_2) sem mannkynið hefur losað út í andrúmslofið og hefur þróunin verið hröð (Schlunegger o.fl., 2019). Þegar koldíoxíð leysist upp í sjó veldur það breytingu á karbónatkerfi sjávar. Hugtakið súrnun sjávar er almennt notað yfir þær breytingar sem verða á karbónatkerfi sjávar, þ.á m. lækkun á pH (aukinn styrkur H^+) og lækkun á kalkmettunarstigi (mynd 5.5).

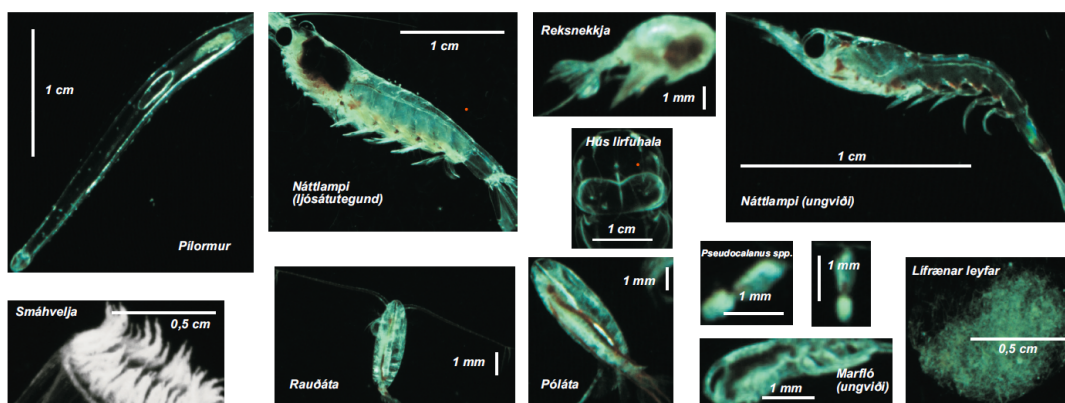


Mynd 5.5: Þegar styrkur koldíoxíðs eykst í sjó og sjór súrnar þá eiga sér stað breytingar á sýru- (pH) og kalkmettunarstigi (Ω), þættir sem geta haft óbein áhrif á sumar lífverur sjávar. Aukning á styrk koldíoxíðs getur einnig haft bein áhrif á sumar lífverur, s.s. frumframleiðendur. (Mynd úr grein Hrannar Egilsdóttur (2021)).

Hafrannsóknastofnun heldur úti einna lengstu tímaröðum af eiginleikum karbónatskerfisins í heiminum og hafa þær verið notaðar til að meta hraða súrnunar sjávar (Sólveig Ólafsdóttir, 2021). Frá 1983 hefur karbónatskerfið verið rannsakað að vetri til, annars vegar í hlýjum Atlantssjó, suðvestur af landinu, og hins vegar í kaldari sjó, norðan landsins í Íslandshafi. Sýrustig (pH) yfirborðssjávar við Ísland hefur fallið hratt frá upphafi mælinga. Sýrustig í hlýja sjónum sunnanlands að vetri til er lægra en í Íslandshafi en á móti fellur sýrustigið hraðar í Íslandshafi vegna aðstæðna í sjónum þar (Sólveig Ólafsdóttir, 2021). Í V2018 kom fram að hnattræn súrnun sjávar myndi halda áfram nema dregið yrði hratt úr losun gróðurhúsalofttegunda (sjá mynd 6.1 í V2018). Sambærilegar niðurstöður fengust nýlega í rannsókn þar sem gögnin úr Íslandshafi voru m.a. notuð, ásamt gögnum frá nærliggjandi hafsvæðum, til að reikna súrnun sjávar í norðurhöfum til ársins 2100 miðað við þrjár mismunandi losunarsviðsmýndir: RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5 (Fransner o.fl., 2022). Einungis við róttæka takmörkun á losun (RCP2.6) tekst að snúa þróuninni við og ekki fyrr en upp úr miðri öldinni færi pH að hækka á ný. Ef gert er ráð fyrir óheftri losun (RCP8.5) verður gríðarleg lækun á pH og líklegt að pH yfirborðssjávar nái 7,7 árið 2100.

Súrnun sjávar getur haft verulegar breytingar á lífríki sjávar (mynd 5.5). Lífverur sjávar eru misjafnlega viðkvæmar fyrir súrnun og eru áhrifin almennt neikvæð þó að undantekninga gæti (Hrönn Egilsdóttir, 2021). Til skamms tíma var talið að súrnun sjávar hefði ekki bein áhrif á fiska en komið hefur í ljós að hún getur valdið röskun á innra jafnvægi sýrubasa og takmörkun á vexti og lifun lirfa. Súrnun sjávar getur einnig haft mikil áhrif á kalkmyndandi lífverur hafsins þegar styrkur karbónats (CO_3^{2-}) lækkar og leysni kalks ($CaCO_3$) eykst en karbónat er annað byggingarefni kalks. Talið er að t.d. lindýr, kóraldýr, skrápdyr og rauðþörungar séu sérstaklega viðkvæm fyrir súrnun sjávar (Andersson o.fl., 2008). Leysni koldíoxíðs er meiri í köldum sjó en heitum og upptaka á koldíoxíði á köldum svæðum því hraðari. Í kaldari sjó er kalkmettunarstig sjávar einnig náttúrulega lágt, og því er talið að afleiðingar súrnunar sjávar gætu orðið mestar á köldum svæðum eins og við Ísland og þá sérstaklega í kaldari sjó fyrir norðan land.

Engar beinar rannsóknir hafa verið gerðar á lífræðilegum áhrifum súrnunar sjávar við Ísland og er þörf á rannsóknum þar sem tekið er tillit til staðbundins umhverfisbreytileika og vistkerfa (Hrönn Egilsdóttir, 2021). Það stendur þó til bóta þar sem Hafrannsóknastofnun er að setja upp tilraunaaðstöðu í eldisstöð sinni á Stað við Grindavík. Aðstaðan mun bjóða upp á fjölpáttatíraunir (e. *multiple stressor experiments*) í 45 kerjum og áherslan verður í byrjun á hita- og sýrustigstilraunir til að rannsaka hvernig ýmsum lífverum muni vegna við breytingar á þessum þáttum.



Mynd 5.6: Ýmsar tegundir svifdýra. Myndir eru teknar með svifsjá (e. Video Plankton Recorder) Hafrannsóknastofnunar. Svifsjái en neðansjávarsmásjá sem tekur myndir af svifi og lífrænu reki í sjónum.

5.3 Lífríki sjávar

5.3.1 Plöntu- og dýrasvif

Svifþörungar nýta sér sólarljós og ólífræn næringarefni til orkuframleiðslu og eru undirstaða alls lífríkis í sjó. Þegar vorar og sjór verður lagskiptur skapast kjöraðstæður fyrir vöxt svifþörungna. Almennu verður mestur blómi svifþörungna á vorin eftir uppblöndun sjávar á undangengnum vetri.

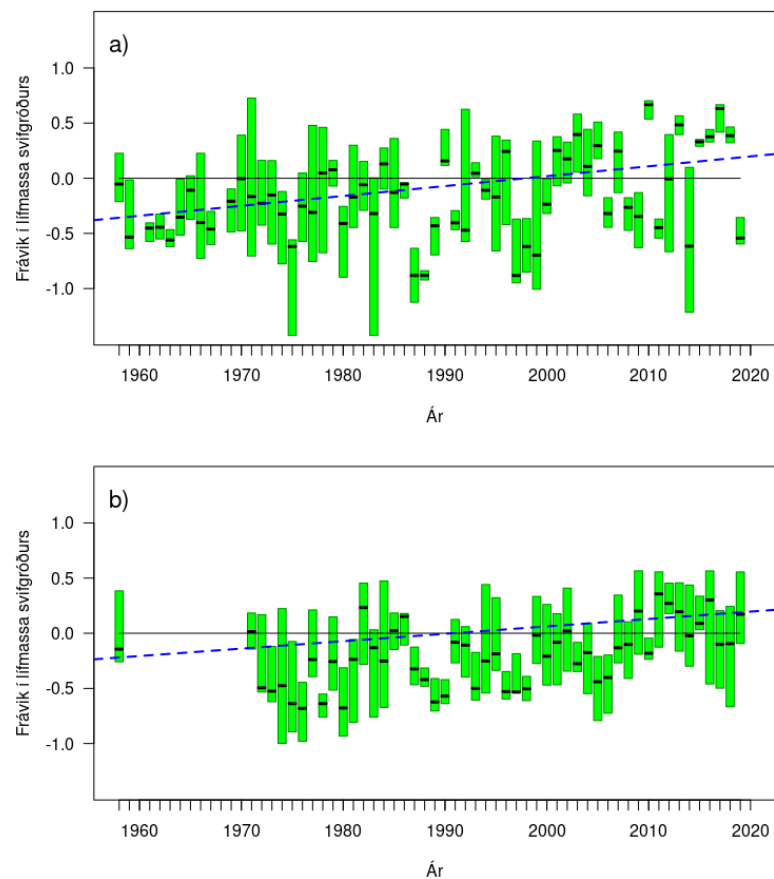
Dýrasvif er fjölbreyttur hóp-ur lífvera (mynd 5.6) sem étur þörungana og gegnir því lykilhlutverki við að gera frumframleiðsluna aðgengilega dýrum of-ur í fæðukeðjunni. Tveir hópar krabbadýra, þ.e. krabbaflær (*Copepoda*) og ljósáta (*Euphausiacea*), eru mikilvægastir þeirra dýra sem að staðaldri finnast í dýrasvifinu á norðlægum hafsvæðum. Krabbaflóin rauðáta (*Calanus finmarchicus*) (mynd 5.6) er langalgengasta svifdýrið í sjónum við landið og er hún að meðaltali um 40-80 prósent lífmassa allra svifdýra í yfirborðslögum að vorlagi (Gíslason o.fl., 2009). 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. Ljósáta (mynd 5.6) er einnig mikilvægur hóp-ur svifdýra við Ísland og lifir á plöntusvifi og smáum svifdýrum og er svo sjálf mikilvæg fæða fyrir fiska og hvali.

Almennt er heildarlífmassi og fjöldi dýrasvifs lítill að vetri til, þegar margar tegundir, m.a. rauðáta, halda sig tiltölulega djúpt en fjöldinn nær hámarki í efstu lögum sjávar á vorin.

5.3.1.1 Breytingar á magni plöntusvifs

Aukning hefur orðið á lífmassa svifþörungna, bæði fyrir norðan og sunnan land (mynd 5.7). Langtímarannsóknir á svokölluðum átuvisagögnum (CPR), sem ná yfir sex áratugi á stóru svæði í Norður-Atlantshafi, sýna svipaða aukningu (O'Brien, 2023). Sunnanlands mælast að jafnaði hærri gildi og minni árlegur breytileiki en fyrir norðan land (mynd 5.7).

Sveiflur á magni svifþörungna fyrir norðan land hafa verið skýrðar með breytilegu ástandi sjávar, en meðalfrumframleiðni þörungna að vorlagi á norðurmiðum er allt að tvisvar sinnum meiri



Mynd 5.7: Árlegur breytileiki í lífmassa svifþörungna (a-blaðgrænu) sýndur sem frávik frá vegnu meðaltali mælinga í maí/júní á dýptarbilinu 0 - 20 metrar árin 1958 - 2019. Niðurstöður eru sýndar fyrir stöðvar á landgrunninu sem teknar eru annars vegar (a) fyrir norðan land milli Húnaflóa og Siglu-ness og hins vegar (b) fyrir sunnan land á Selvogsbanka (Mynd: Hildur Pétursdóttir o.fl. (2021)).

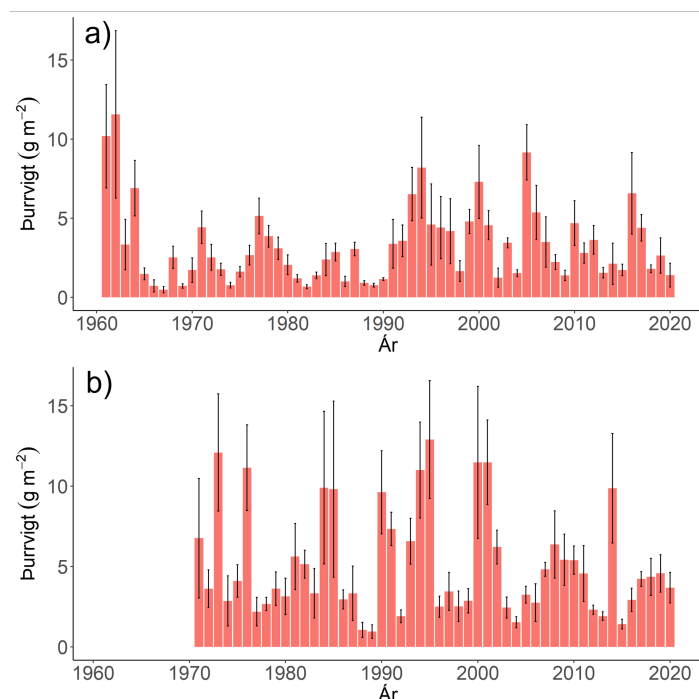
þegar hlýr, selturíkur Atlantssjór er ríkjandi heldur en þegar kaldur og seltulítill pólsjór er þar í meira mæli (Gudmundsson, 1998). Breytileikann sunnanlands má að einhverju leyti rekja til mismunandi afrennslis frá landi og vindstyrks, en hvort tveggja getur haft áhrif á vaxtarskilyrði svifþörungna (Þórunn Þórðardóttir, 1986). Skýringar á þeirri almennu aukningu, sem kemur fram bæði fyrir norðan og sunnan land þegar til langs tíma er litið, eru ekki augljósar.

5.3.1.2 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 aukning né rýrnun (mynd 5.8).

Hins vegar mælist viðvarandi fall í magni dýrasvifs á viðamiklu svæði í norðanverðu Atlantshafi samkvæmt átuvisagögnum sem spanna sex áratugi (Fromentin og Planque, 1996, Silva o.fl., 2014, 13,20). Það er vísbending um að staðbundin áhrif séu mikilvæg við Ísland (Gislason o.fl., 2014, Espinasse o.fl., 2017). Miklar og reglubundnar sveiflur í magni dýrasvifs eru merkjanlegar, bæði fyrir norðan (Siglunessnið) og sunnan land (Selvogsbankasnið) (mynd 5.8). Skýra má sveiflur í magni dýrasvifs fyrir norðan land m.a. af meiri breytileika í ástandi sjávar fyrir norðan en fyrir sunnan land. Sambærilegt við frumframleiðni þörungna reynist meðalmagn dýrasvifs að vorlagi á norðurmiðum meiri í hlýrri en kaldari árum (Gudmundsson, 1998, Olafur S Astthorsson o.fl., 2007, Olafur S Astthorsson og Gislason, 1995).

5.3.1.3 Breytingar á tegundasamsetningu dýrasvifs



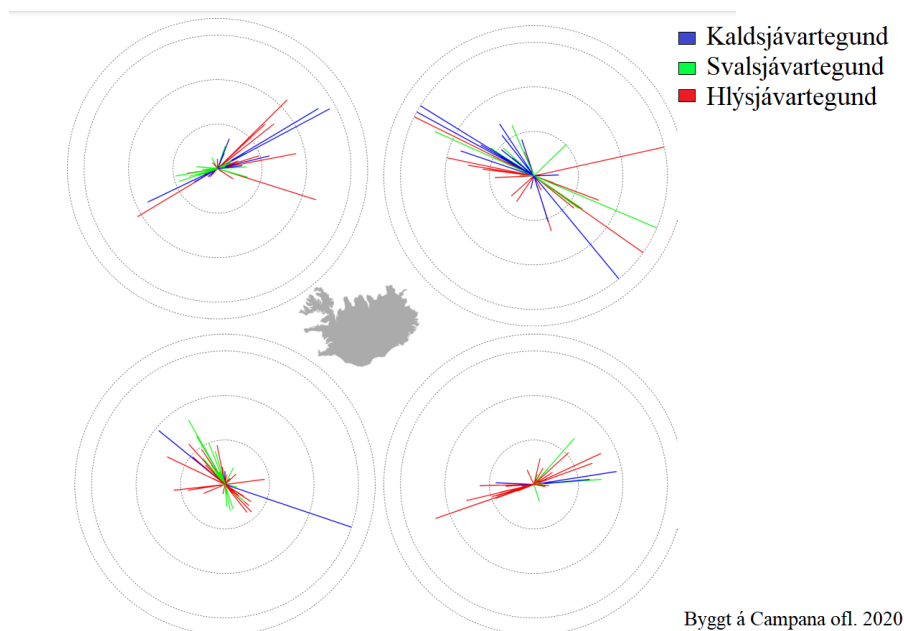
Mynd 5.8: Breytingar á magni dýrasvifs (g þurrvig m^{-2} , 0–50 m) að vorlagi (a) fyrir norðan (á Siglunessniði) árin 1961–2020 og (b) fyrir sunnan land (á Selvogsbankasniði) árin 1971–2020. Súlnar sýna meðaltöl allra stöðva á sniðinu. Staðalskekkja er sýnd með lóðréttum strikum. Mynd úr Hildur Pétursdóttir o.fl. (2021).

(Gislason o.fl., 2021).

Mikill munur er á tegundasamsetningu dýrasvifs milli ára, bæði fyrir norðan og sunnan land, og ræður ástand sjávar þar mestu um (Gislason o.fl., 2009). Á norðurmiðum sést hlutfallslega meira magn af rauðátu og ljósátu í hlýju árferði en hlutfallslega meira af pólátu og marflóm í köldu árferði (Gislason o.fl., 2009). Hægt er að gera ráð fyrir að við áframhaldandi hlýnun sjávar gæti ástandið í hlýju árferði orðið viðvarandi. Miklar breytingar á magni dýrasvifs og samfélagsgerð í Norður-Atlantshafi hafa verið tengdar hækkandi hitastigi sjávar, þar sem bæði kaldsjávartegundir og tegundir sem fremur tengjast tiltölulega hlýjum sjó hafa færst norðar (Gregory Beaugrand o.fl., 2002, Grégory Beaugrand, 2005, Grégory Beaugrand, 2009). Nýlegar rannsóknir á breytingum á magni rauð- og pólátu fyrir norðan Ísland á tímabilinu 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 þess

5.3.2 Breytingar á útbreiðslu fisktegunda við landið

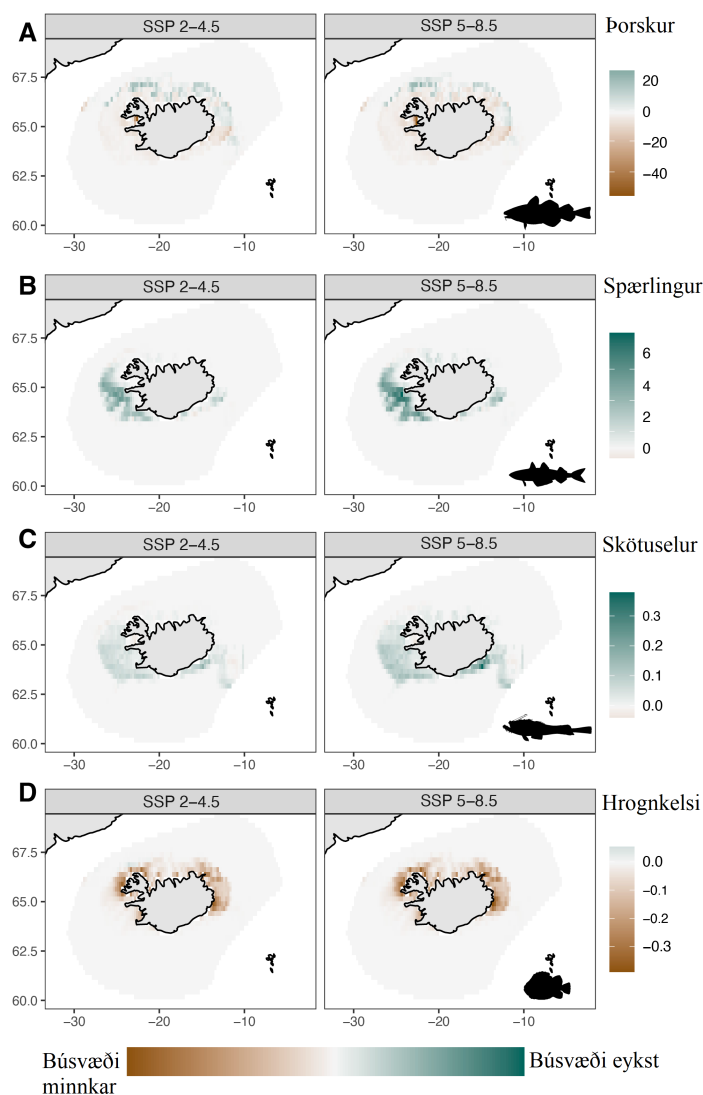
Á síðustu tveimur áratugum hefur útbreiðsla margra fisktegunda á Íslandsmiðum verið að færast til (sjá mynd 5.9). Viðamiklar samantektir, byggðar á gögnum úr stofnmælingum Hafrannsóknastofnunar að hausti, sýndu tilfærslu til norðausturs (Campana o.fl., 2020). Þar var skoðuð útbreiðsla 82 tegunda fiska að haustlagi í hafinu kringum landið á árunum 1995-2019 og kom í ljós að útbreiðsla yfir helmings tegundanna hafði breyst. Langflestar tegundirnar höfðu sýnt tilfærslu til vesturs, norðvesturs eða norðurs og voru breytingarnar mest áberandi hjá hlýsjávartegundum á grunnslóð og þeim tegundum sem kjósa tiltölulega þröngt hitabil. Rannsóknin sýndi að kjörsvæði 7% tegundanna færðist um 100 km við 1 °C hækkun hitastigs sjávar. Önnur vísindagrein byggist einnig á gögnum úr stofnmælingaleiðöngrum, auk gagna úr fimm hnattrænum loftslagslíkönum, til að spá fyrir um breytingar á stærð búsvæða fisktegunda á Íslandsmiðum 80 ár fram í tímann (Mason o.fl., 2021). Í henni kom í ljós bætt skilyrði fyrir flestar hlýsjávartegundir, ásamt aukinni útbreiðslu í norðurátt, á meðan skilyrði fyrir flestar kaldsjávartegundir versnuðu (Mason o.fl., 2021). Í þessum tveim greinum er gert ráð fyrir tölurverðum og almennum breytingum á útbreiðslu tegunda við landið að gefnum forsendum um áframhaldandi hlýnun sjávar við Ísland.



Mynd 5.9: Skífurit sem sýnir tilfærslu 59 tegunda í haustralli Hafrannsóknastofnunar yfir 22 ára tímabil. Hringirnir sýna tilfærslu tegunda frá hverjum landshluta (SV, NV, NA, SA) eftir hitaþoli (rautt, grænt, eða blátt). Rauðar tegundir eru svokallaðar hlýsjávartegundir sem þýðir að þær kjósa búsvæði þar sem hitastig er hærra en meðalhiti á rannsóknasvæðinu, grænar tegundir kjósa búsvæði þar sem hitastig er í kringum meðaltalið og bláar kjósa kaldari búsvæði en meðaltalið. Myndin er byggð á Campana o.fl. (2020)

5.3.3 Einstaka tegundir

Umfjöllunin um einstaka tegundir hér að neðan er að miklu leyti byggð á skýrslu Hafrannsóknastofnunar *Staða umhverfis og vistkerfa í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga* (Guðmundur J. Óskarsson o.fl., 2021), en viðbótarupplýsingum hefur þó verið bætt við þar sem nýjar rannsóknir hafa komið fram. Í þeirri skýrslu var gerð grein fyrir breytingum á meðal annars útbreiðslu, lífmassa, framleiðni og líffræði sjávarlífvera við Ísland sem tengja má við umhverfisbreytingar undanfarinna áratuga sem eru raktar til náttúrulegra sveiflna frekar en loftslagsbreytinga (Steingrímur Jónsson og Sólveig Ólafsdóttir, 2021).



Mynd 5.10: Breytingar á útbreiðslu þorsks, spærlings, skötusels og hrognkelsis við landið 2060-2081 samkvæmt tveimur sviðsmyndum (SSP2-4.5 og SSP5-8.5) í samanburði við árin 2000-2018. Grænn litur merkir aukningu meðan brúnn merkir minnkun á kjörbúsvæði. (Byggt á Mason o.fl., 2021).

5.3.4 Botnfiskar

5.3.4.1 Þorskur

Þorskur þarf vart að kynna, en hann er algengur víða í Norður-Atlantshafi, frá Bretlandseyjum í suðri allt norður í Barentshaf. Tegundin finnst á nokkuð víðu hitabili, eða frá $-1,5\text{ °C}$ til 20 °C ,

en kýs svæði þar sem meðalárshiti er 0-12 °C (I. Jón Sólmundsson E., 2021). Ef litið er langt aftur (áratugir eða aldir jafnvel) má segja að tímabil hlýinda hafi haft jákvæð áhrif á stærð og framleiðni þorsstofnisins við Ísland. Að einhverju leyti hafa áhrif komið fram við þær hlýju aðstæður sem nú ríkja, þar sem lífmassi og langlífi einstaklinga hefur aukist, þó að það tengist einnig litlu veiðiálagi.

Stærri hrygningarstofn og víðari aldrumdreifing en áður olli aukinni þorskgengd á helstu hrygningarsvæðum við landið og aukningu í fjölda 1 árs þorsks í stofnmælingum undanfarin 15 ár. Þessi aukning hefur þó ekki skilað sér í stórum árgöngum í veiðistofni. Hækkandi sjávarhiti á Íslandsmiðum getur haft jákvæð áhrif á vaxtarhraða og nýliðun, en neikvæð áhrif geta einnig komið fram ef magn helstu fæðu þorsks, þ.e. kaldsjávartegundanna loðnu og rækju, minnkar í kjölfar hlýnunar. Undanfarin 15 ár hafa aðstæður á Íslandsmiðum verið þannig að hlutfallslega mikil náttúruleg afföll hafa verið á ungborski. Þar skiptir máli stærð seiða, sem hafa verið smá á þessum tíma, aukin orkuþörf helsta afræningjans (stærri þorskar) og stór þorsstofn. Aukið sjálfsrán stærri þorska getur því takmarkað nýliðun á stofninum. Þrátt fyrir góð skilyrði í hafinu, vaxandi stofnstærð og breiðari aldurssetningu hrygningarstofnsins við Ísland hafa ekki komið fram vísbendingar um aukna þorskgengd við vesturströnd Grænlands, en mjög stórir árgangar, sem ólust að hluta til upp við strendur Grænlands, voru undirstaða góðrar þorskveiði við Ísland og Grænland fyrir miðbik síðustu aldar.



Mynd 5.11: Þorskur merktur. (Ljósmynd Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi).

5.3.4.2 Ýsa

Ýsa er talin vera á norðurmörkum útbreiðslu sinnar við Ísland, en kjörhitastig hennar hefur verið metið milli 4-8 °C á nærliggjandi hafsvæðum, þó svo að hér við land hafi ýsu verið að finna við hitastig um eða undir þessum mörkum (Ingibjörg G. Jónsdóttir og Jón Sólmundsson, 2021). Meginhluti lífmassa hennar hefur yfirleitt verið í hlýsjó fyrir sunnan land. Um síðustu aldamót jókst stærð ýsustofnsins á sama tíma og sjávarhiti hækkaði, en við það jókst magn ýsu fyrir norðan land. Á árunum 2009-2017 var lífmassi hennar orðinn meiri fyrir norðan en sunnan landið. Hlýnun hefur einnig áhrif á vöxt og kynþroska við landið, en ýsa vex hraðar og verður kynþroska fyrr í hlýrri sjó. Stofnstærðir og útbreiðsla mikilvægara fædutegunda ýsu, eins og loðnu og sandslís, getur haft óbein áhrif á bæði lífmassa og útbreiðslu ýsu við landið.

5.3.4.3 Aðrir botnfiskar



Mynd 5.12: Ýsa. (Ljósmynd Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi)

Tegundir af suðrænum uppruna, eins og geirnytt, svartgóma, urrari, litla brosma og loðháfur, hafa aukið útbreiðslu sína og finnast nú í töluverðu magni við sunnanvert landið. Í kjölfar hlýnunar sem hófst fyrir aldamót hafa stofnvísitölur margra kaldsjávartegunda í farið lækkandi í árlegum mælingum. Þessar tegundir, sem eru t.d. krækill, áttstrendingur og ýmsar mjórattegundir, finnast helst fyrir norðan og austan land á landgrunninu og með landgrunnsbrúninni. Samhliða þessari fækkun hefur útbreiðsla sumra þeirra færst norðar í kaldari sjó (Mason o.fl., 2021). Nýliðun ýmissa hlýsjávartegunda, sem eru með aðalútbreiðslu sína við suður- og suðvesturland, hefur verið lítil á undanförunum árum. Þar á

meðal eru tegundir eins og langa, blálanga, gullkarfi, djúpkarfi, skötuselur, langlúra, stórkjafta og humar. Ástæður þessarar neikvæðu þróunar eru enn óþekktar en nærtækast er að horfa á breytingar sem orðið hafa á umhverfisskilyrðum í hafinu við landið síðastliðin 10-20 ár (Klara Jakobsdóttir o.fl., 2021).

Stofnstærð og útbreiðsla hlýsjávartegundarinnar skötusels jókst mikið í kjölfar hlýnunar á tíunda áratugnum. Í kjölfarið jókst bæði afli og nýliðun tegundarinnar við landið, sem hafði áður verið tiltölulega sjaldgæf tegund (Jón Sólmundsson o.fl., 2010). Eftir góða nýliðun á árunum 2005-2008 minnkaði stofnstærðin hratt og hefur verið lítil sem engin undanfarinn áratug. Ef hitastig hækkar má búast við aukinni nýliðun skötusels við landið eins og gerðist á tíunda áratugnum. Kaldsjávartegundin hlýri (sjá mynd 5.13) á undir högg að sækja og hefur nýliðun verið með allra minnsta móti. Talið er að hrygning og klak sé háð þröngu hitabili og því er nýliðun hlýra viðkvæm fyrir hækandi hitastigi sjávar (A. Gunnarsson o.fl., 2006).



Mynd 5.13: Hlýri. (Ljósma. Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi).

5.3.5 Uppsjávarfiskar

5.3.5.1 Loðna

Loðna (sjá mynd 5.14) er smáfaxinn og skammlífur uppsjávarfiskur sem finnst víða í köldum sjó á norðurhveli jarðar. Kjörhitastig loðnu á fæðuslóð er 1-3 °C, þó að hún leiti í hlýrri sjó til hrygningar (Carscadden o.fl., 2013). Loðna er mikilvægur nytjastofn auk þess sem hún er lykiltegund í vistkerfinu við landið. Loðna tók að breyta útbreiðslu sinni umtalsvert í kringum síðustu aldamót.



Mynd 5.14: Loðna, hængur (efri) og hrygna (neðri). (Ljósma. Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi.)

arson o.fl., 2021).

Uppeldisstöðvar unglöðnu hafa þannig færst vestar og finnast nú aðallega á grænlenka landgrunninu á meðan fæðuslóð fullorðinnar loðnu hefur færst bæði vestar og norðar meðfram strönd Grænlands. Auk þess hefur loðnan skilað sér seinna að landgrunninu í hrygningargöngu, nýliðun oft verið léleg og þar af leiðandi hefur hrygningarstofninn minnkað frá því sem hann var fyrir aldamót. Þessar breytingar má líklega rekja til breytinga á ástandi sjávar, útbreiðslu hafíss og fæðuframboði. Þó varð viðsnúningur árin 2021-2022 þegar mikið mældist af bæði unglöðnu og kynþroska loðnu, og útgefið aflamark var hærra en síðustu 15 ár (Birkir Bárð-

5.3.5.2 Makrill

Makrill er hlýsjávartegund, með víða útbreiðslu beggja vegna Norður-Atlantshafsins. Í Norðaustur-Atlantshafi finnst hann frá Spáni í suðri til Svalbarða í norðri og allt frá ströndum Eystrasalts í austri til austurstrandar Grænlands í vestri (Trenkel o.fl., 2014).



Mynd 5.15: Makrill. (Ljósm. Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi).

Á síðustu öld var makrill frekar sjaldséður í íslenski landhelgi, en það breyttist um síðustu aldamót þegar hann fór að sjást bæði suðaustan og austan við land. Eins fór svo að bera á honum í vaxandi mæli í afla uppsjávarskipa á sumarveiðum á norsk-íslenski síld milli 2000 og 2006 (Anna Heiða Ólafsdóttir og Sigurður Þór Jónsson, 2021). Eiginlegar makrílveiðar hófust síðan í íslenski landhelgi sumarið 2007. Hrygningarsvæði makrils stækkaði mikið frá landgrunni vestan við Írland til suðurhluta Noregshafs í norður og síðan inn í Íslandsdjúp í norðvestur. Breytingar á sumarútbreiðslu urðu enn meiri, þar sem hluti stofnins hóf að ganga í vesturátt inn á Íslandsmið og allt að strönd Grænlands á árunum eftir aldamótin, og náðu þessar göngur hámarki árin 2014-2017. Þessar göngur hafa minnkað mikið síðan þá, og aðeins náð að suðausturströnd Íslands undanfarin ár. Sögulega hefur magn og útbreiðsla makrils við landið tengst hlýindum (Olafur S. Astthorsson o.fl., 2012), en þó virðist hitastig eitt og sér ekki vera nægilegt til að útskýra þessar vesturgöngur. Líklega er um marga samverkandi þætti að ræða eins og stofnstærð, nýliðun, fæðuframboð, þekkingu á gönguleiðum og umhverfisaðstæður.

5.3.5.3 Síld

Síld er mikilvæg nytjategund, sem finnst beggja vegna Atlantshafsins. Þrjár síldarstofnar finnast við Ísland, en stofnar eru skilgreindir út frá hrygningarsvæðum og tímabilum. Hlýrri sjór norðan við landið, auk stórs hrygningarstofns, hefur haft í för með sér aukningu á nýliðun hjá sumargotssíld. Á móti kemur að skæður *Ichthyophonus* sýkingarfaraldur hefur haft neikvæð áhrif á þróun stofnstærðar. Samfara hlýnun síðustu áratuga stækkaði norsk-íslenski síldarstofninn og jókst sumarútbreiðsla hans á íslensku hafsvæði. Betri nýliðun í stofninum hefur einnig verið rakin til hlýnunar en þó á óbeinni hátt þar sem útbreiðsla yngri síldar í Barentshafi skarast síður við afræningja í hlýrri árum (Lísa Libungan, 2021).



Mynd 5.16: Síld. (Ljósm. Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi).

5.3.5.4 Aðrir uppsjávarfiskar

Kolmunni er efnahagslega mikilvæg tegund og ein þeirra sem mest er veidd í heiminum. Kolmunni er hlýsjávartegund sem kýs ekki sjó kaldari en 3 °C. Því er ljóst að hentugt búsvæði hans við Ísland mun stækka við hækkun hitastigs sjávar, þó svo að nýliðun og stofnstærð virðist hafa meiri áhrif á magn kolmunna við landið en bein umhverfisáhrif (Sigurvin Bjarnason o.fl., 2021).

Sandsíli er ein af undirstöðutegundum vistkerfisins fyrir sunnan land og mikilvæg fæðutegund ýmissa nytjastofna, sjávarspendýra og sjófugla. Magn sílis sunnan- og vestanlands, bæði í mögum botnfiska í stofnmælingaleiðöngrum sem og í sérstakri könnun með sandsílaplógi, minnkaði hratt

frá síðustu aldamótum og var nálægt lágmarki allt til ársins 2019 þegar sambærilegt magn við fyrri ár fór að sjást aftur.



Mynd 5.17: Brislingur, nýlegur landnemi við Íslandsstrendur. (Ljósmynd Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi).

Þessa miklu lægð, sem hafði mikil áhrif á vistkerfið, má að öllum líkindum rekja til umhverfisbreytinga í hafinu þó að ekki hafi enn tekist að tengja eina ákveðna breytingu við þetta ástand. Hugsanlegt er að hækkun hitastigs hafi flýtt fyrir vorblóma í hafinu og framleiðslutopp þess að vori og hrygning og klak sandsílis hafi ekki fylgt því eftir með þeim afleiðingum að fæðuframboð sandsíla-seiða hafi verið verulega skert. Auk þess gæti hærra hitastig að vetrarlagi einnig minnkað lífslíkur síla yfir veturinn þegar það nærast lítið (Sigurvin Bjarnason o.fl., 2021).

Spærlingur er mikilvægur liður í vistkerfinu við Ísland og mikilvæg fæða fyrir stærri fisktegundir og sjávarspendýr. Með breytingum í hafinu kringum Ísland síðustu ár hefur útbreiðslusvæði hans stækkað og má

gera ráð fyrir frekari aukningu í útbreiðslu hans ef sviðsmyndir ganga eftir (mynd 5.10) (Mason o.fl., 2021). Árið 2017 veiddist uppsjávartegundin brislingur í fyrsta skipti við landið og hefur síðan fundist á ýmsum stöðum við sunnan- og vestanvert landið í auknu magni. Má því telja að útbreiðsla og magn þessarar tegundar, sem hingað til hefur haft meginútbreiðslu í Eystrasalti og Norðursjó, muni aukast á næstu árum (Jónbjörn Pálsson o.fl., 2021).

5.3.6 Sjávarhryggleysingar

5.3.6.1 Rækja

Rækja er kaldsjávartegund, algengust í köldum sjó fyrir vestan og norðan land. Stofnstærð rækju minnkaði töluvert um síðustu aldamót sökum afráns frá stækkandi stofnum þorskfiska, eins og þorsks og ýsu. Hækkandi hiti sjávar hefur líklega stuðlað að aukum lífmassa þorskfiska á grunn-sævi og þannig haft óbein áhrif á stofnstærð, auk þess sem hærri yfirborðshiti hefur neikvæð áhrif á nýliðun rækju, þar sem lírfustigið er viðkvæmt fyrir hita (Ingibjörg G. Jónsdóttir og Jónas P. Jónasson, 2021).



Mynd 5.18: Rannsóknir á rækju. (Ljósmynd Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi).

5.3.6.2 Humar



Mynd 5.19: Humar. (Ljósmynd Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi).

í álfunni.

5.3.7 Sjávarspendýr

Sjávarspendýr eru almennt talin vera góðir vísar um breytingar í vistkerfum heimshafanna. Ættu sjávarspendýr hér við land ekki að vera undantekning þar á (Moore og E, 2008). Áhrifin eru líklega misjöfn eftir tegundum og því er umfjölluninni hér að neðan skipt upp að mestu leyti eftir tegundum. Við Ísland finnast 24 tegundir hvala, en af þeim eru 15 algengir. Einnig eru tvær selategundir algengar, auk fjögurra flækinga. Helstu gögn sem þessi umfjöllun byggist á eru reglulegar, fjölþjóðlegar hvalatalningar sem farið hafa fram á 6-8 ára fresti frá 1987 (Pike o.fl., 2019) auk reglulegra talninga á land- og útsel, sem hófust 1980 og 1982. Mikilvægt er að hafa veiðisöguna í huga þegar breytingar á útbreiðslu og fjölda eru skoðaðar, en bæði hval- og selategundir við landið voru mikið veiddar fyrr á árum. Á árunum 1883-1915 var t.d. stunduð ofveiði á steypireyði og langreyði og á áttunda áratug síðustu aldar stóð Hringormanevnd fyrir stórfelldu drápi á sel við landið.

5.3.7.1 Hvalir



Mynd 5.20: Sporðblaðka hnúfubaks. (Ljósmynd Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi).

útbreiðslu steypireyðar við landið (Pike o.fl., 2019), en tegundin var algengust sunnan og vestan

Humar er hlýsjávartegund og eru norðurmörk útbreiðslu hans við strendur Íslands. Stofnstærð hans stækkaði upp úr síðustu aldamótum, þegar bæði nýliðun og útbreiðsla jókst. Nýliðun hrundi í kringum árið 2005 og hefur þessi nýliðunarbrestur verið viðvarandi síðan, sem hefur leitt til hruns í stofnstærð (Ingi-björg G. Jónsdóttir og Jónas P. Jónasson, 2021). Veiðibanni á humri var því komið á árið 2022. Líklega má rekja nýliðunarbrestinn til umhverfisbreytinga að einhverju leyti, þar sem álíka nýliðunarbrestur hefur sést hjá fisktegundum og fuglum á sama svæði. Auk þess hefur verið sýnt fram á að framleiðni humars hér við land er minni en á hafsvæðum sunnar

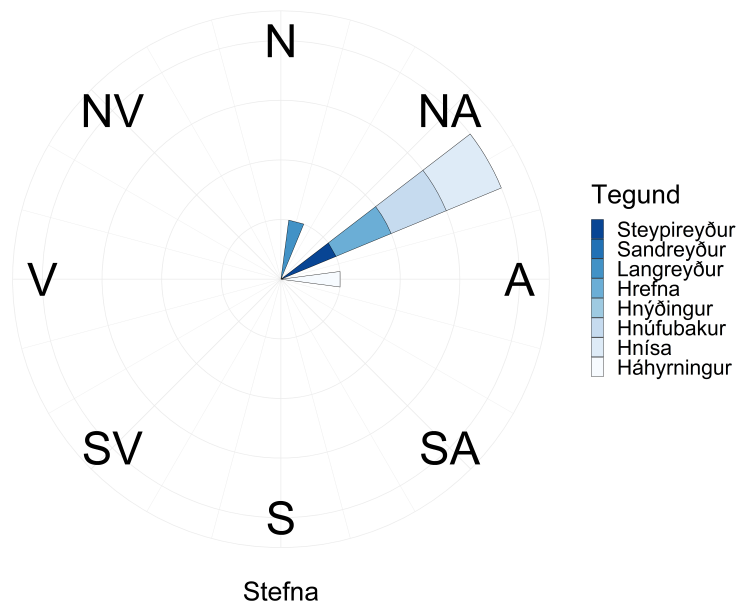
Nokkrar breytingar hafa orðið á bæði magni og útbreiðslu skíðishvala við landið. Hrefnan, sem lengst af var talin algengasti skíðishvalurinn á grunnsvæði við Ísland, náði hámarki á landgrunninu í talningu sumarið 2001. Þá var stofninn metinn um 44 þúsund dýr, en hefur síðan farið minnkandi á landgrunninu. Útbreiðsla hrefnu hefur á sama tíma færst í norður og vestur frá Faxaflóa og Suðausturlandi í kaldari sjó fyrir norðan land, en hrefnum hefur fjölgað við Austur-Grænland og Jan Mayen. Á sama tíma hefur fjöldi hnúfubaka við landið aukist mikið. Hefur hnúfubakar því velt hrefnu úr sessi sem ráðandi tegund skíðishvala á landgrunni Íslands. Tafla 5.1 sýnir að svipaða hliðrun og hjá hrefnunni má sjá í

við landið, c.a. frá Vestmannaeyjum til Breiðafjarðar, en finnast nú í meira mæli fyrir norðaustan land, allt norður til Jan Mayen. Langreyðum hefur fjölgað mikið síðan talningar hófust árið 1987, líklega vegna bæði breytinga á útbreiðslu og líffræðilegs vaxtar í stofninum. Erfitt er að tengja þessar breytingar við umhverfisþætti, en þó er hægt að tengja töluverða hlýnun sjávar milli 1994 og 2003 við aukningu í stofninum á því svæði sem mest aukning í þéttleika hefur orðið. Erfitt er að sjá breytingar á útbreiðslu annara tegunda skíðishvala við landið, í flestum tilfellum vegna skorts á gögnum (Gísli Víkingsson, 2021). Á hafsvæðinu við suðaustur Grænland, sem er að mörgu leyti sama hafsvæði og liggur norðvestur af Íslandi, er talað um að ástandsbreyting (*e. regime shift*) hafi átt sér stað á síðustu 20 árum vegna hækkandi hitastigs sjávar og minnkandi hafíss á svæðinu. Á sama tíma hefur orðið mikil aukning í fjölda langreyða, hnúfubaka, grindhvala, háhyrninga og höfrunga. Tegunda sem margar hverjar voru sjaldséðar á þessum slóðum. Á sama tíma hefur norðlægum tegundum, eins og náhval og rostungi, fækkað á sama svæði (Heide-Jørgensen o.fl., 2022).

Tafla 5.1: Breytingar á fjölda helstu tegunda hvala við Ísland á tímabilinu 1987-2015. Fjöldi tákna (+/-) gefur til kynna umfang breytinga, () í kringum táknið merkir veikari vísbendingar og 0 að gögn bendi ekki til breytinga. Byggt á samantekt úr grein Gísla Víkingssonar (2021).

Tegund	Stofnstærð (fjöldi)	Breytingar á fjölda
Steypireyður	3 000	(++)
Langreyður	36 773	++
Sandreyður	10 300	0
Hrefna	42 515	-
Hnúfubakur	9 867	++
Grindhvalur	344 148	0
Hnísa	43 179	(+)
Hnýðingur	159 000	++
Leiftur	131 022	0
Búrhvalur	23 166	0
Andarnefja	19 974	0
Háhyrningur	14 611	0

Almennt er minna vitað um breytingar á fjölda og útbreiðslu tannhvala og tengsl við umhverfisbreytingar heldur en hjá skíðishvölum hér við land. Hér því aðeins fjallað stuttlega um þrjár tegundir; háhyrning, hnýðing og hnísu. Háhyrningur er stærsta tegund höfrungaættar og er algeng við strendur Íslands. Útbreiðsla háhyrninga við landið hefur færst frá Austurlandi til Vesturlands, en líklega vegna breytinga á útbreiðslu síldar við landið frekar en vegna umhverfisbreytinga. Ekki er hægt að segja hvort stofninn hafi stækkað frá því talningar hófust þar sem mikill óvissa er í stofnstærðarmati. Hnýðingur er algengasta höfrungategundin við Ísland og finnst í mestum þéttleika á landgrunninu, þó að hann finnist einnig í úthafinu. Fjöldi hnýðinga hefur aukist töluvert við landið síðan talningar hófust 1987, og þá sérstaklega fyrir norðan land.



Mynd 5.21: Breytingar á útbreiðslu helstu tegunda hvala við Ísland á tímabilinu 1987-2015. Á myndinni sést átt breytingar á útbreiðslu helstu hvala. Byggt á grein Gísla Víkingssonar (2021).

Hnísa er langminnsta hvalategundin við landið og er erfitt að meta stofnstærð hennar með hefðbundnum mælingum og óvissa því mikil í stofnstærðarmati. Ekki hafa orðið marktækar breytingar á fjölda hnísa við landið á tímabilinu 1986-2016. Þó benda stöðluð gögn um tíðni hnísu sem meðafla, í stofnmælingu Hafrannsóknastofnunar með netum, til hliðrunar í útbreiðslu tegundarinnar við landið, frá hlýsjónum sunnan- og vestanlands í kaldari sjó fyrir norðaustan land. Auk hefðbundinna hvalatalninga gefa hvalrekar við landið upplýsingar um útbreiðslu tegunda hvala við landið. Aukinnar komu suðrænna flækinga hefur orðið vart síðustu 30 ár eða svo. Má þar helst nefna rákahöfrung (*Stenella coeruleoalba*), nokkrar tegundir svínhvala (*Ziphiidae*), auk rispuhöfrungs (*Grampus griseus*), sem fannst í fyrsta sinn við landið sumarið 2022. Í heildina litið hefur fjöldi hvala á Íslandsmiðum aukist í flestum tilfellum (sjá töflu 5.1), auk þess sem segja má að tilfærsla meginútbreiðslu í norðaustur hafi orðið hjá flestum tegundum (sjá mynd 5.21).

5.3.7.2 Selir



Mynd 5.22: Landselur. (Ljós. Svanhildur Egilsdóttir, Hafrannsóknastofnun, birt með leyfi).

að stofnstærðir þeirra og komum til landsins muni fækka.

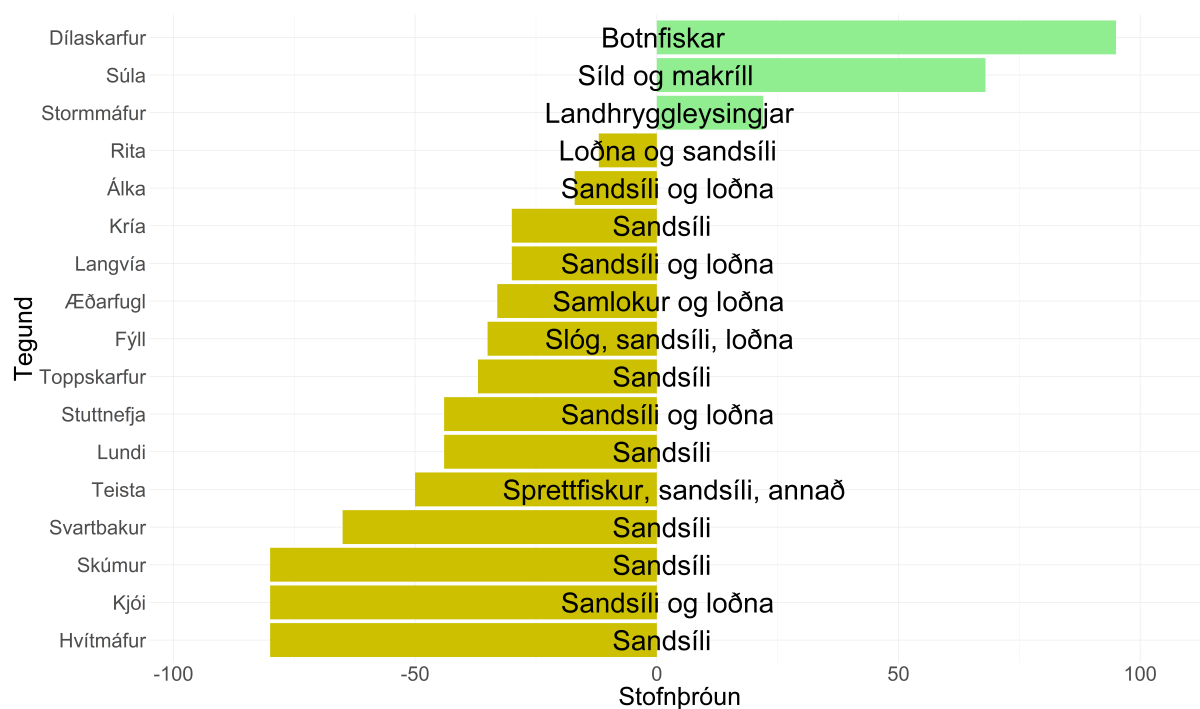
Útbreiðsla landsels og útsels hefur lítið breyst, en stofnstærðir þessara tegunda hafa rýrnað töluvert frá fyrstu talningum kringum 1980. Þó að ekki sé hægt að útiloka að umhverfisbreytingar hafi haft áhrif á rýrnun þessara stofna eru engar rannsóknir sem sýna að slíkt hafi átt sér stað. Þar sem þessar tegundir eru tækifærissinnar í fæðuvali er líkleggra að kerfisbundin veiði á vegum Hringormanefndar hafi þar verið aðalástæðan, ásamt meðafla í fiskveiðum, frekar en breytingar á umhverfinu (Sandra Granquist, 2021). Aðrar tegundir sela, sem finnast hér við land; vöðuselur, kampselur, hringanóri, og blöðruselur, eru norðlægir flækingar, með kæpingu á hafis. Því er líklegt

5.3.8 Sjófuglar

Stofnar helstu sjófugla við landið hafa farið minnkandi á síðustu árum og má í sumum tilfellum rekja það með með óbeinum hætti til umhverfisbreytinga í hafinu við landið. Þannig hafa breytingar í stofnum fæðutegunda, eins og sandsílis og loðnu, leitt til lélegrar afkomu sjófugla (mynd 5.24). Á meðan þessar fæðustofnar eru í lægð má búast við áframhaldandi lélegri afkomu sem einkennist af varpbresti og þar með minnkun stofnstærða (Freydís Vigfúsdóttir, 2021).



Mynd 5.23: Lundi með síli í goggi. (Ljós. Svanhildur Egilsdóttir, Háfrannsóknastofnun).



Mynd 5.24: Tengsl stofnþróunar og meginætis tegunda sjófugla við Ísland með jákvæða stofnþróun (grænt) og neikvæða stofnþróun (gult). Byggt á grein Freydísar Vigfúsdóttur (2021).

Heimildir

- A. Gunnarsson, E. Hjörleifsson, K. Thórarinnsson og G. Marteinsdóttir (2006). „Growth, maturity and fecundity of wolffish *Anarhichas lupus* L. in Icelandic waters“. Í: *Journal of fish biology* 68.4, bls. 1158–1176.
- Andersson, Andreas J, Fred T Mackenzie og Nicholas R Bates (2008). „Life on the margin: implications of ocean acidification on Mg-calcite, high latitude and cold-water marine calcifiers“. Í: *Marine Ecology Progress Series* 373, bls. 265–273.
- Anna Heiða Ólafsdóttir og Sigurður Þór Jónsson (2021). „Makrill“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Astthorsson, Olafur S og Astthor Gislason (1995). „Long-term changes in zooplankton biomass in Icelandic waters in spring“. Í: *ICES Journal of Marine Science* 52.3-4, bls. 657–668.
- Astthorsson, Olafur S, Astthor Gislason og Steingrímur Jónsson (2007). „Climate variability and the Icelandic marine ecosystem“. Í: *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 54.23-26, bls. 2456–2477.
- Astthorsson, Olafur S., Héðinn Valdimarsson, Ásta Guðmundsdóttir og Guðmundur J. Óskarsson (jún. 2012). „Climate-related variations in the occurrence and distribution of mackerel (*Scomber scombrus*) in Icelandic waters“. Í: *ICES Journal of Marine Science* 69.7, bls. 1289–1297. DOI: 10.1093/icesjms/fss084.
- Beaugrand, Gregory, Philip C Reid, Frédéric Ibanez, J Alistair Lindley og Martin Edwards (2002). „Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate“. Í: *Science* 296.5573, bls. 1692–1694.
- Beaugrand, Grégory (2005). „Monitoring pelagic ecosystems using plankton indicators“. Í: *ICES Journal of Marine Science* 62.3, bls. 333–338.
- (2009). „Decadal changes in climate and ecosystems in the North Atlantic Ocean and adjacent seas“. Í: *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 56.8-10, bls. 656–673.
- Birkir Bárðarson, Kristinn Guðnason, Singh Warsha, Hildur Petursdóttir og Sigurður Þór Jónsson (2021). „Loðna“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Campana, Steven E, Ragnhildur B Stefánsdóttir, Klara Jakobsdóttir og Jón Sólmundsson (2020). „Shifting fish distributions in warming sub-Arctic oceans“. Í: *Scientific Reports* 10.1, bls. 1–14.
- Carscadden, James E., Harald Gjøsæter og 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“. Í: *Progress in Oceanography* 114. Norway-Canada Comparison of Marine Ecosystems (NORCAN), bls. 64–83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.05.005>.
- Espinasse, Marina, Claudia Halsband, Øystein Varpe, Astthor Gislason, Kristinn Guðmundsson, Stig Falk-Petersen og Ketil Eiane (2017). „The role of local and regional environmental factors for *Calanus finmarchicus* and *C. hyperboreus* abundances in the Nordic Seas“. Í: *Polar Biology* 40.12, bls. 2363–2380.
- Fransner, Filippa, Friederike Fröb, Jerry Tjiputra, Nadine Goris, Siv K Lauvset, Ingunn Skjelvan, Emil Jeansson, Abdirahman Omar, Melissa Chierici, Elizabeth Jones o.fl. (2022). „Acidification of the Nordic Seas“. Í: *Biogeosciences* 19.3, bls. 979–1012.
- Freydís Vigfúsdóttir (2021). „Sjófuglar“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Fromentin, Jean-Marc og Benjamin Planque (1996). „Calanus and environment in the eastern North Atlantic. II. Influence of the North Atlantic Oscillation on *C. finmarchicus* and *C. helgolandicus*“. Í: *Marine Ecology Progress Series* 134, bls. 111–118.

- Gattuso, Jean-Pierre og Lina Hansson (2011). *Ocean acidification*. Oxford University Press, USA.
- Gíslason, Astthor, Kristinn Gudmundsson, Solveig R Olafsdóttir og Hildur Petursdóttir (2021). „Inter-annual and decadal variability of *Calanus finmarchicus* and *C. hyperboreus* in Subarctic waters north of Iceland 1990–2020“. Í: *ICES Journal of Marine Science* 78.10, bls. 3735–3747.
- Gíslason, Astthor, Hildur Petursdóttir og Kristinn Gudmundsson (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“. Í: *ICES Journal of Marine Science* 71.9, bls. 2539–2549.
- Gíslason, Astthor, Hildur Petursdóttir, Olafur S Astthorsson, Kristinn Gudmundsson og Hedinn Valdimarsson (2009). „Inter-annual variability in abundance and community structure of zooplankton south and north of Iceland in relation to environmental conditions in spring 1990–2007“. Í: *Journal of Plankton Research* 31.5, bls. 541–551.
- Gísli Víkingsson (2021). „Hvalir“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Gudmundsson, Kristinn (1998). „Long-term variation in phytoplankton productivity during spring in Icelandic waters“. Í: *ICES Journal of Marine Science* 55.4, bls. 635–643.
- Guðmundur J. Óskarsson, Guðmundur Þórðarsson, Guðni Guðbergsson, Ingibjörg G. Jónsdóttir, Sigurður Guðjónsson og Sólveig R. Ólafsdóttir (2021). *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafnarfjörður: Hafrannsóknastofnun. URL: <https://www.hafogvatn.is/is/midlun/utgafa/haf-og-vatnarannsoknir/stada-umhverfis-og-vistkerfa-i-hafinu-vid-island-og-horfur-naestu-aratuga-hv-2021-14>.
- Guðni Guðbergsson, Hlynur Bárðarson, Ingi Rúnar Jónsson, Sigurður Már Einarsson og Magnús Jóhannsson (2021). „Göngufiskar“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Hátún, Hjálmar, Anne Britt Sandø, Helge Drange, Bogi Hansen og Hedinn Valdimarsson (2005). „Influence of the Atlantic subpolar gyre on the thermohaline circulation“. Í: *Science* 309.5742, bls. 1841–1844.
- Heide-Jørgensen, Mads Peter, Philippine Chambault, Teunis Jansen, Caroline VB Gjelstrup, Aqquale Rosing-Asvid, Andreas Macrande, Gíslí Vi'kingsson, Xiangdong Zhang, Camilla S Andresen og Brian R MacKenzie (2023). „A regime shift in the Southeast Greenland marine ecosystem“. Í: *Global Change Biology* 29.3, bls. 668–685.
- Hildur Pétursdóttir, Kristinn Gudmundsson og Ástþór Gíslason (2021). „Plöntu- og dýrasvif“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Holliday, N Penny, Manfred Bersch, Barbara Berx, Léon Chafik, Stuart Cunningham, Cristian Florindo-López, Hjálmar Hátún, William Johns, Simon A Josey, Karin Margretha H Larsen o.fl. (2020). „Ocean circulation causes the largest freshening event for 120 years in eastern subpolar North Atlantic“. Í: *Nature communications* 11.1, bls. 585.
- Hrönn Egilsdóttir (2021). „Líffræðilegar afleiðingar súrnunar sjávar“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Ingibjörg G. Jónsdóttir og Jón Sólmundsson (2021). „Ýsa“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Ingibjörg G. Jónsdóttir og Jónas P. Jónasson (2021). „Sjávarhryggleysingar“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.

- Jón Sólmundsson, Einar Jónsson og Höskuldur Björnsson (2010). „Phase transition in recruitment and distribution of monkfish (*Lophius piscatorius*) in Icelandic waters“. Í: *Marine biology* 157, bls. 295–305.
- Jón Sólmundsson Einar Hjörleifsson, Ingibjörg G. Jónsdóttir (2021). „Þorskur“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Jónbjörn Pálsson, Guðjón Már Sigurðsson, Ingibjörg G. Jónsdóttir, Klara B. Jakobsdóttir, Nicholas Hoad, Valur Bogason og Jón Sólmundsson (2021). „Brislingur, Sprattus sprattus (Linnaeus, 1758), ný fisktegund við Íslandsstrendur“. Í: *Náttúrufræðingurinn* 91, bls. 122–131.
- Klara Jakobsdóttir, Ásgeir Gunnarsson, Guðjón Már Sigurðsson, Kristján Kristinsson og Magnús Thorlacius (2021). „Aðrir botnfiskar“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Lísa Libungan (2021). „Síld“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Mason, Julia G, Pamela J Woods, Magnús Thorlacius, Kristinn Guðnason, Vincent S Saba, Patrick J Sullivan og Kristin M Kleisner (nóv. 2021). „Projecting climate-driven shifts in demersal fish thermal habitat in Iceland’s waters“. Í: *ICES Journal of Marine Science* 78.10, bls. 3793–3804. DOI: 10.1093/icesjms/fsab230.
- Moore og Sue E (2008). „Marine mammals as ecosystem sentinels“. Í: *Journal of Mammalogy* 89.3, bls. 534–540.
- O’Brien, T. ofl (2023). *ICES Zooplankton Status Report 2023: Upgrade on O’Brien et al. 2013*. Handrit í vinnslu. Uppfærsla á O’Brien, Todd D.; Wiebe, Peter H.; Falkenhaus, Tone (2013). *ICES Zooplankton Status Report 2010/2011*. ICES Cooperative Research Reports (CRR). Report. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.5487>.
- Pike, Daniel G, Thorvaldur Gunnlaugsson, Bjarni Mikkelsen, Sverrir Daniel Halldórsson, Gísli Víkingsson, Mario Acquarone og Genevieve Desportes (2019). „Estimates of the abundance of cetaceans in the Central North Atlantic from the T-NASS Icelandic and Faroese ship surveys conducted in 2007“. Í: *NAMMCO Scientific Publications* 11.
- Proshutinsky, A, R Krishfield, JM Toole, M-L Timmermans, W Williams, S Zimmermann, M Yamamoto-Kawai, TWK Armitage, D Dukhovskoy, E Golubeva o.fl. (2019). „Analysis of the Beaufort Gyre freshwater content in 2003–2018“. Í: *Journal of Geophysical Research: Oceans* 124.12, bls. 9658–9689.
- Rahmstorf, Stefan og Andrey Ganopolski (1999). „Long-term global warming scenarios computed with an efficient coupled climate model“. Í: *Climatic change* 43.2, bls. 353–367.
- Sandra Granquist (2021). „Selir“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Schlunegger, Sarah, Keith B Rodgers, Jorge L Sarmiento, Thomas L Frölicher, John P Dunne, Masao Ishii og Richard Slater (2019). „Emergence of anthropogenic signals in the ocean carbon cycle“. Í: *Nature climate change* 9.9, bls. 719–725.
- Sigurvin Bjarnason, James Kennedy og Valur Bogason (2021). „Aðrar uppsjávartegundir“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Silva, Teresa, Astthor Gislason, Priscilla Licandro, Guðrún Marteinsdóttir, Ana Sofia A Ferreira, Kristinn Guðmundsson og Olafur S Astthorsson (2014). „Long-term changes of euphausiids in shelf and oceanic habitats southwest, south and southeast of Iceland“. Í: *Journal of plankton research* 36.5, bls. 1262–1278.
- Smedsrud, Lars H, Morven Muilwijk, Ailin Brakstad, Erica Madonna, Siv K Lauvset, Clemens Spensberger, Andreas Born, Tor Eldevik, Helge Drange, Emil Jeansson o.fl. (2022). „Nordic

- Seas heat loss, Atlantic inflow, and Arctic sea ice cover over the last century“. Í: *Reviews of Geophysics* 60.1, e2020RG000725.
- Sólveig Ólafsdóttir (2021). „Breytingar á styrk næringarefna og sýrustigi undanfarin ár“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Steingrímur Jónsson og Sólveig Ólafsdóttir (2021). „Umhverfisbreytingar í hafinu við Ísland“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Steingrímur Jónsson og Sólveig R. Ólafsdóttir (2021). „Möguleg framvinda loftslagsbreytinga og áhrif á hafið við Ísland í náinni framtíð“. Í: *Staða umhverfis og vistkerfis í hafinu við Ísland og horfur næstu áratuga*. Gefið út af Guðmundur J. Óskarsson. Bd. HV 2021-14. Haf- og vatnarannsóknir. Hafrannsóknastofnun.
- Trenkel, V.M., G. Huse, B.R. MacKenzie, P. Alvarez, H. Arrizabalaga, M. Castonguay, N. Goñi, F. Grégoire, H. Hátún, T. Jansen, J.A. Jacobsen, P. Lehodey, M. Lutcavage, P. Mariani, G.D. Melvin, J.D. Neilson, L. Nøttestad, G.J. Óskarsson, M.R. Payne, D.E. Richardson, I. Senina og D.C. Speirs (2014). „Comparative ecology of widely distributed pelagic fish species in the North Atlantic: Implications for modelling climate and fisheries impacts“. Í: *Progress in Oceanography* 129. North Atlantic Ecosystems, the role of climate and anthropogenic forcing on their structure and function, bls. 219–243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.04.030>.
- Tsubouchi, Takamasa, Kjetil Våge, Bogi Hansen, Karin Margretha H Larsen, Svein Østerhus, Clare Johnson, Steingrímur Jónsson og Héðinn Valdimarsson (2021). „Increased ocean heat transport into the Nordic Seas and Arctic Ocean over the period 1993–2016“. Í: *Nature Climate Change* 11.1, bls. 21–26.
- Þorvaldur Thoroddsen (1911). *Lýsing Íslands*. Kaupmannahöfn: Hið Íslenska Bókmenntafélag.
- Þórunn Þórðardóttir (1986). *The timing and duration of spring blooming south and southwest of Iceland*. Gefið út af S. Skreslet. 453 pages.