

NÁTTÚRU FRÆÐINGURINN

94. ÁRG. 3.–4. HEFTI 2024

Hið íslenska
náttúrufræðifélag
Stofnað 1889

Náttúruminjasafn Íslands
Stofnað 2007

NÝTT GOSSKEIÐ Á REYKJANESSKAGA

Uppeldissvæði laxfiska í
Þingvallavatni og tengdum ám

Orkunotkun íbúðabygginga
á Íslandi

Viðkvæm vistkerfi í djúpsjó við
Ísland: Kóral- og svampasvæði

Norræna eldfjallastöðin
1974–2024





NÁTTÚRUFRAEÐINGURINN

Alþýðlegt fræðslurit um náttúrufræði

94. árgangur 3.–4. hefti 2024

MYND Á FORSIÐU:

Litli-Hrútur 12. júlí 2023. Í bakgrunni sést fjallið Keilir. – Litli-Hrútur, 12th of July, 2023. In the background, the mountain Keilir is visible. Ljósmynd/Photo: Gyða Henningsdóttir

Efni

- 85) *Ríkey Júlíusdóttir*
Við erum öll áhuga-náttúrufræðingar!
- 87) *Ríkey Júlíusdóttir, Bergrún Arna Óladóttir, Magnús T. Guðmundsson, Birgir Vilhelm Óskarsson, Sydney Gunnarson, Joaquín Muñoz-Cobo Belart, Gro B. M. Pedersen, Ragnar Heiðar Þrastarson, Einar Bessi Gestsson, Ásta Rut Hjartardóttir og Michelle M. Parks*
Nýtt gosskeið hafið á Reykjanesskaga
- 110) *Guðbjörg Ósk Jónsdóttir, Benóný Jónsson, Magnús Jóhannsson og Arnar Pálsson*
Uppeldissvæði laxfiska í Þingvallavatni og tengdum ám
- 128) *Þórhildur Fjóla Kristjánsdóttir og Jónas Þór Snæbjörnsson*
Orkunotkun íbúðabygginga á Íslandi – Yfirlitsgrein
- 140) *Steinunn H. Ólafsdóttir*
Viðkvæm vistkerfi í djúpsjó við Ísland: Kóral- og svampasvæði
- 154) *Erik Sturkell, Kristján Jónasson og Anders Schomacker*
Norræna eldfjallastöðin 1974–2024 – Eftirmæli

NÁTTÚRUFRAEÐINGURINN er félagsrit Hins íslenska náttúrufræðifélags og tímarit Náttúruminjasafns Íslands. Að jafnaði eru gefin út fjögur hefti á ári.

RITSTJÓRI:

Margrét Rósa Jochumsdóttir
ritstjori@hin.is

RITSTJÓRN:

Sveinn Kári Valdimarsson líffræðingur (formaður)
Guðrún Óskarsdóttir, gróðurvistfræðingur
Ragnhildur Guðmundsdóttir líffræðingur
Ríkey Júlíusdóttir jarðfræðingur
Sindri Gíslason sjávarlíffræðingur
Tómas Grétar Gunnarsson dýravistfræðingur
Þóroddur F. Þóroddsson jarðfræðingur

PRÓFÖRK:

Mörður Árnason íslenskufraeðingur

FORMAÐUR HINS ÍSLENSKA

NÁTTÚRUFRAEÐIFÉLAGS:

Sölvi Rúnar Vignisson líffræðingur

AÐSETUR OG SKRIFSTOFA FÉLAGSINS ER HJÁ:

Náttúruminjasafni Íslands
Suðurlandsbraut 24, 108 Reykjavík
Sími: 577 1800

AFGREIÐSLUSTJÓRI

NÁTTÚRUFRAEÐINGSINS:

Guðrún Óskarsdóttir
dreifing@hin.is

ÚTLIT OG UMBROT:

Ingi Kristján Sigurmarsson

PRENTUN:

Prentmet Oddi

ISSN 0028-0550

DOI: 10.33112/nfr.94.3

© Náttúrufræðingurinn 2024

ÚTGEFENDUR:

Hið íslenska náttúrufræðifélag og Náttúruminjasafn Íslands



Icelandic
Museum
of Natural
History



STOFNAD 1889

Við erum öll áhuga- náttúrufræðingar!



Náttúrufræðingurinn á sér rótgróinn sess í íslenskum vísindum og er mikilvægur vettvangur fyrir birtingu rannsókna og upplýsinga, hvort heldur er til gagns eða gamans, og oft hvors tveggja. Ég varð þeirrar gæfu aðnjótandi að fá sæti í ritstjórn Náttúrufræðingsins fyrir rúmu ári og hef síðan notið þess að skeggræða við það góða fólk sem með mér skipar ritstjórn blaðsins, glugga í innsendar greinar og fræðast meira um fjölbreytt viðfangsefni vísindafólks á Íslandi. Þetta ár í ritstjórn hefur því verið mér lærdómsríkt og ánægjulegt í senn. Ég hef notið þess að víkka sýn mína út fyrir mitt sérsvið, þótt sérsvið séu reyndar ekkert annað en flokkun mannsins á umhverfi sínu, sem þrátt fyrir allt er nauðsynlegt að horfa á í samhengi til að skilja heildarmyndina.

Búseta á Íslandi hefur alltaf kallað á varkárni gagnvart náttúruöflum úr lofti, láði og legi. Stórfenglegir kraftar vatnsafls, veðurofsa og eldgosa hafa skiljanlega mikið aðdráttarafl, en þessi

náttúruöfl ber að nálgast af virðingu og þekkingu á þeim hættum sem þau geta skapað. Umbrotin á Reykjanesskaga, sem nú hafa staðið yfir í fimm ár, hafa gjörbreytt lífi íbúanna í Grindavík og vakið aðra landsmenn til umhugsunar um þær fjölmörgu (á)hættur sem fylgja sambúð við virkt eldstöðvakerfi.

Þegar gos hófst í Fagradalsfjalli í mars 2021 vakti það mikinn áhuga bæði innanlands og erlendis og flyktist fólk að í þúsundatali til að berja náttúruundrin augum, enda var gosið í bakgarði höfuðborgarsvæðisins ef svo má segja. Aðdráttarafl eldgossins kallaði reyndar á mikinn viðbúnað viðbragðsaðila því aðsóknin var slík að leggja þurfti göngustiga, kortleggja bæði örugg og óörugg svæði fyrir almenning og viðbragðsaðila og fylgjast með umferð gangandi, hjólandi, akandi og fljúgandi. Eldgosaferðir urðu kærkomin afþreying mitt í Covid-19 heimsfaraldri þar sem útivist varð vinsælt áhugamál margra. Þeir náttúruunnendur sem ekki áttu

heimangengt gátu notið dýrðarinnar í einhverri þeirra fjölmörgu vefmyndavéla sem streymdu beint frá svæðinu og var beinu streymi meðal annars varpað á stórt sýningartjald í Laugardalshöll þar sem hópar mættu í bólusetningu. Eldgosin í Fagradalsfjalli voru jafnframt nytsamleg til rannsókna á sviði jarðvísinda og verkfræði og hefur þekkingu á eðli eldstöðvakerfisins fleytt fram, sem og kunnáttu um það hvernig hægt er að verja innviði fyrir hraunflæði, sem kom sér vel þegar umbrot hófust í Svartsengi.

Eldvirkni á kerfi Svartsengis hefur yfir sér öllu alvarlegri brag en Fagradalsfjallseldar. Umbrotin hafa umturnað lífi fólks sem bjó eða starfaði í Grindavík og vakið okkur öll til umhugsunar um hvernig við búum okkur undir slíkar hamfarir. Mikill lærdómur hefur fengist í tengslum við umbrotin og þau hafa velt upp áleitnum spurningum, svo sem um það hvernig samfélagið er í stakk búið þegar eldgosavá ber að höndum, hvar við skipuleggjum byggð, hvernig verja



Mælifell á Mælifellssandi. Ljósmynd: Ríkey Júlíusdóttir

má mikilvæga innviði fyrir hraunflæði, hvernig hægt er að búa í haginn með tilliti til hugsanlegra viðgerða á rafkerfi og stofnæðum vatnsveitu og vegakerfis, og ekki síst hvaða hættur geta skapast þegar eldgos verður við mannabyggð.

Þekking á náttúru landsins er samfélagslegt verðmæti. Hún eflir tengsl við umhverfi okkar og er undirstaða þess að við getum notið náttúrunnar með virðingu og aðgát að leiðarljósi. Þessa þekkingu er mikilvægt að byggja upp strax frá unga aldri og það er nauðsynlegt að til sé efni á íslensku sem höfðar til almennings og er við hæfi allra aldurshópa. Nýverið kom í ljós að læsi íslenskra ungmenna á náttúruvísindi er mun lakara en í nágrannalöndunum. Sú staða verður grafalvarleg eftir því sem á líður, því samfélagið þarf á menntuðu fólki að halda á öllum sviðum náttúruvísinda. Við þessari þróun þarf að bregð-

ast af krafti, með því að auka áherslu á útgefið efni á íslensku sem hentar jafnt ungum sem öldnum.

Náttúrufræðingurinn gegnir mikilvægu hlutverki við miðlun traustar upplýsinga um lífríki og náttúrufar landsins. Með tilkomu rafrænnar útgáfu blaðsins er efnið orðið aðgengilegt stærri lesendahópi en áður og var það mjög til bóta, enda eru Íslendingar, og eflaust einnig sá stóri hópur þjóðarinnar sem er af erlendu bergi brotinn, upp til hópa miklir áhugamenn um náttúruvísindi. Það má segja að okkur sé í blóð borið að vera áhuga-náttúrufræðingar. Höldum áfram að skrifa greinar sem kveikja áhuga almennings en ekki aðeins annarra fræðimanna í faginu, styðjum við íslensku í vísindum og eflum samfélagið okkar.

Ríkey Júlíusdóttir

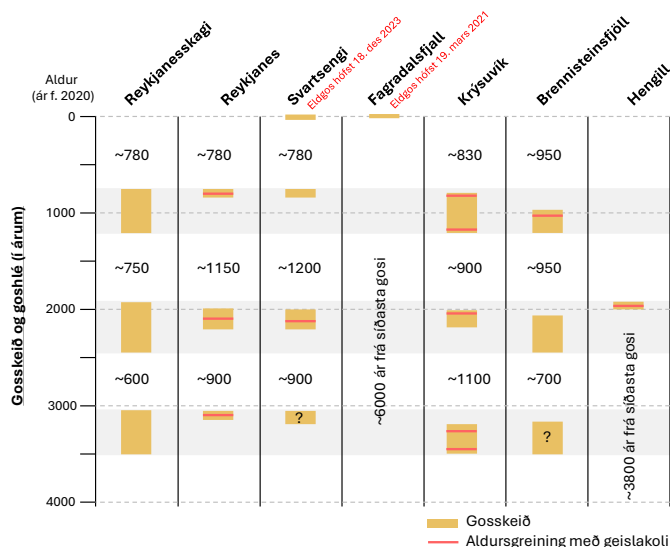
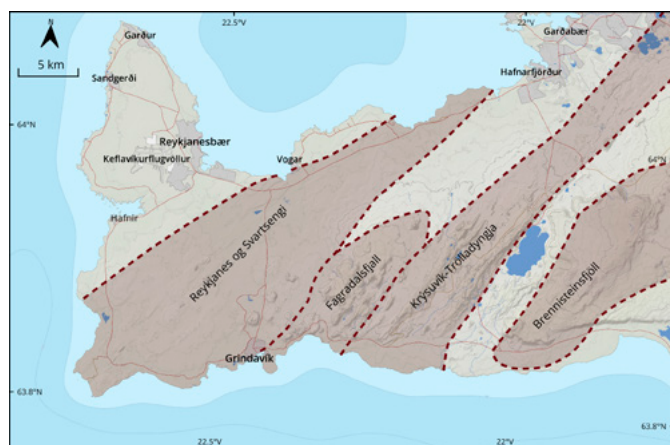
*Ríkey Júlíusdóttir, Bergrún Arna Óladóttir, Magnús T. Guðmundsson,
Birgir Vilhelm Óskarsson, Sydney Gunnarson, Joaquín Muñoz-Cobo Belart,
Gro B. M. Pedersen, Ragnar Heiðar Þrastarson, Einar Bessi Gestsson,
Ásta Rut Hjartardóttir og Michelle M. Parks*

Nýtt gosskeið hafið á Reykjanesskaga

TÍMABIL ELDVIRKNI er hafið á Reykjanesskaga. Þegar hafa tvö eldstöðvakerfi látið til sín taka, fyrst Fagradalsfjall sem ekki hafði látið á sér kræla í meira en 6.000 ár, og svo Svartsengi sem síðast gaus fyrir um 2.400 árum. Endurtekin gos hafa orðið á þessum kerfum síðan í mars 2021 og hafa þau bæði vakið aðdáun og skapað krefjandi aðstæður. Fyrirboðar gosanna eru nú taldir vel þekktir og bætt þekking hefur eflt viðbragðsgetu vísindamanna og annara viðbragðsaðila, enda hefur fyrirvari gosanna oft verið afar skammur, jafnvel innan við klukkustund í tilfelli Svartsengiskerfisins. Eldsumbrot í nálægð við byggð og mikilvæga innviði hafa vakið fólk til umhugsunar um uppbyggingu nærri eldvirkum svæðum og komið af stað vangaveltum um hvernig og hvort verja eigi mikilvæga innviði. Jarðhræringarnar hafa valdið umtalsverðum skemmdum á innviðum í Grindavík og er óljóst hvenær bærinn verður aftur byggður í þeirri mynd sem hann var. Gera þarf ráð fyrir að næstu aldir einkennist af tíðum gosum á Reykjanesskaga til skiptis við tímabil án gosvirkni. Þótt eldgos séu landsmönnum kunn hefur hingað til ekki verið lögð mikil áhersla á forvarnaraðgerðir til að auka áfallapol samfélagsins gagnvart eldgosavá. Í kjölfar yfirstandandi eldsumbrota hefur ríkisstjórn landsins hins vegar stofnað vinnuhóp til að fjalla um varnir innviða og alþingi hefur sett lög til að tryggja að hægt sé að byggja varnargarða. Umbrotin á Reykjanesskaga hafa breytt sýn samfélagsins á eldgos og minna okkur á að búseta í nágrenni virkra eldstöðva krefst fyrirhyggju.

Geldingadalir í Fagradalsfjalli. – Geldingadalir in Fagradalsfjall. Ljósmynd./Photo: Einar Guðmann





1. mynd. Mynd til vinstri: Yfirlitskort af eldstöðvum á Reykjanesskaga. Reykjanes- og Svartsengis-kerfin eru hér sýnd saman. – Mynd til hægri: Gos í eldstöðvakerfum Reykjanesskaga sl. 3.500 ár.^{1,27} (Endurbætt mynd). Ákvörðun tímabila byggist á sögulegum heimildum, aldursgreiningu með geislakoli (C-14 samsætum) og gjóskulagatímatali. – Figure 1. Left: Overview of the volcanic systems on the Reykjanes Peninsula. The Reykjanes and Svartsengi volcanic systems are presented as a joint system on the map. – Right: Volcanic eruptions in volcanic systems of the Reykjanes Peninsula over the past 3.500 years.^{1,27} (Modified image). The periods are based on historical data, carbon-14 dating and tephrochronology.

INNGANGUR

Umbrotatímabil stendur yfir á Reykjanesskaga. Síðustu fimm ár hafa einkennst af kvikuhreyfingum með tilheyrandi þenslu og aflögun ásamt jarðskjálftahrinum og ekki síst endurteknum eldgosum í tveimur eldstöðvakerfum. Því fer ekki á milli mála að nýtt tímabil eldvirkni er hafið á Reykjanesskaga eftir tæplega átta alda hlé.¹ Mikilvæg þekking skapast á mörgum sviðum með hverjum atburði, s.s. á sviði jarðvísinda, almannavarna, verkfræði og jafnvel skipulagsfræða. Umbrotin á Reykjanesskaga kalla á endurskoðun samfélagsins um það hvernig sambúð við eldstöðvar er best háttáð með öryggi fólks og lífsviðurværi í huga.

Þegar þetta er skrifað (desember 2024) hefur gosið þrisvar sinnum úr eldstöðvakerfi Fagradalsfjalls og sjöunda gosið á Sundhnúksígárgaröðinni í eldstöðvakerfi Svartsengis stendur yfir. Í þessari grein verður talað um gosin sem hluta Fagradalsfjallselds og Sundhnúkselds þótt þau hafi formlega ekki fengið nafn ennþá. Hegðun eldstöðvanna Fagradalsfjalls og Svartsengis, sem nú láta til sín taka, hefur á þessum árum verið undir vökulu eftirliti vísindamanna. Fyrirboðar yfirvofandi eldgosa úr kerfunum tveimur

eru nú vel þekktir og að öllum líkindum má einnig yfirfæra þá á önnur kerfi Reykjanesskaga. Þessi þekking hefur mótað viðbrögð um allt samfélagið, enda er skammtíma fyrirboði eldgoss (einkum áköf skjálftavirkni og hröð aflögun) gjarnan afar skammur, minnst tæpur hálf tími og mest rúmar fjórar klukkustundir þegar horft er til þeirra eldgosa sem hafa orðið á Sundhnúksígárgaröðinni. Hliðstæðir fyrirboðar stóðu þó yfir mun lengur í Fagradalsfjallskerfinu.

Í öllum atganginum er auðvelt að missa yfirsýn um atburðina og upplýsingum hættir til að renna saman í eitt. Hér verður stiklað á helstu atriðum og kennistærðum hvers goss, ásamt því að fjalla lauslega um vörn innviða og áfallaþol samfélagsins. Um er að ræða samantekt rannsókna og eftirlitsgagna sem hefur verið aflað af samstilltum hópi vísindamanna á ýmsum stofnunum og fyrirtækjum, svo sem Jarðvísindastofnun Háskólans, Náttúrufræðistofnun (áður Landmælingum Íslands og Náttúrufræðistofnun Íslands), Veðurstofu Íslands, Almannavörnum og verkfræðistofnunum Verkís og Eflu, o.fl., oft undir miklu álagi í aðdraganda goss og á fyrstu klukkustundum þess.



Meradalir. Ljósmynd: Einar Guðmann

GOSSAGA REYKJANESSKAGA

Á suðvesturhluta Íslands hefst þorri þjóðarinnar við á mörkum tveggja stórra jarðflekka, Norður-Ameríkuflekans og Evrasíuflekans. Virkni á flekaskilum á þessu svæði einkennist af tímabilum þar sem eldvirkni og hraðrar aflögunar gætir í nokkrar aldir (á bilinu 4–5) en á milli koma lengri tímabil án gosvirkni, svo sem það sem nú er nýlokið og stóð í tæpar átta aldir (1. mynd, neðri). Á þeim öldum þegar eldgos verða, koma tímabil með tilheyrandi jarðhræringum og líflegri gosvirkni, eins og það sem nú hefur staðið í fimm ár.

Sambúð við eldstöðvakerfi hefur ýmsa kosti fyrir samfélag manna, einkum og sér í lagi aðgengi að heitu vatni sem nýtist bæði til húshitunar, rafafls og baðstaða af ýmsum toga. Á hinn bóginn skapa virk eldstöðvakerfi hættu og geta valdið tjóni þegar þau ókyrrast. Reykjanesskagi státar af fimm eldstöðvakerfum á landi. Þau eru, frá vestri til austurs, kennd við Reykjanes, Svartsengi, Fagradalsfjall, Krýsuvík og Brennisteinsfjöll (1. mynd, efri).² Að auki er eldstöðvakerfið Eldey úti fyrir Reykjanestá. Næstu nágrannar Reykjanesskaga á Suðurlandi eru eldstöðvakerfin Hengill og Hrómundar-

tindur, en Hengill er stundum sagður sjötta kerfi Reykjanesskagans þar sem suðurhluti þess telst innan svæðisins.

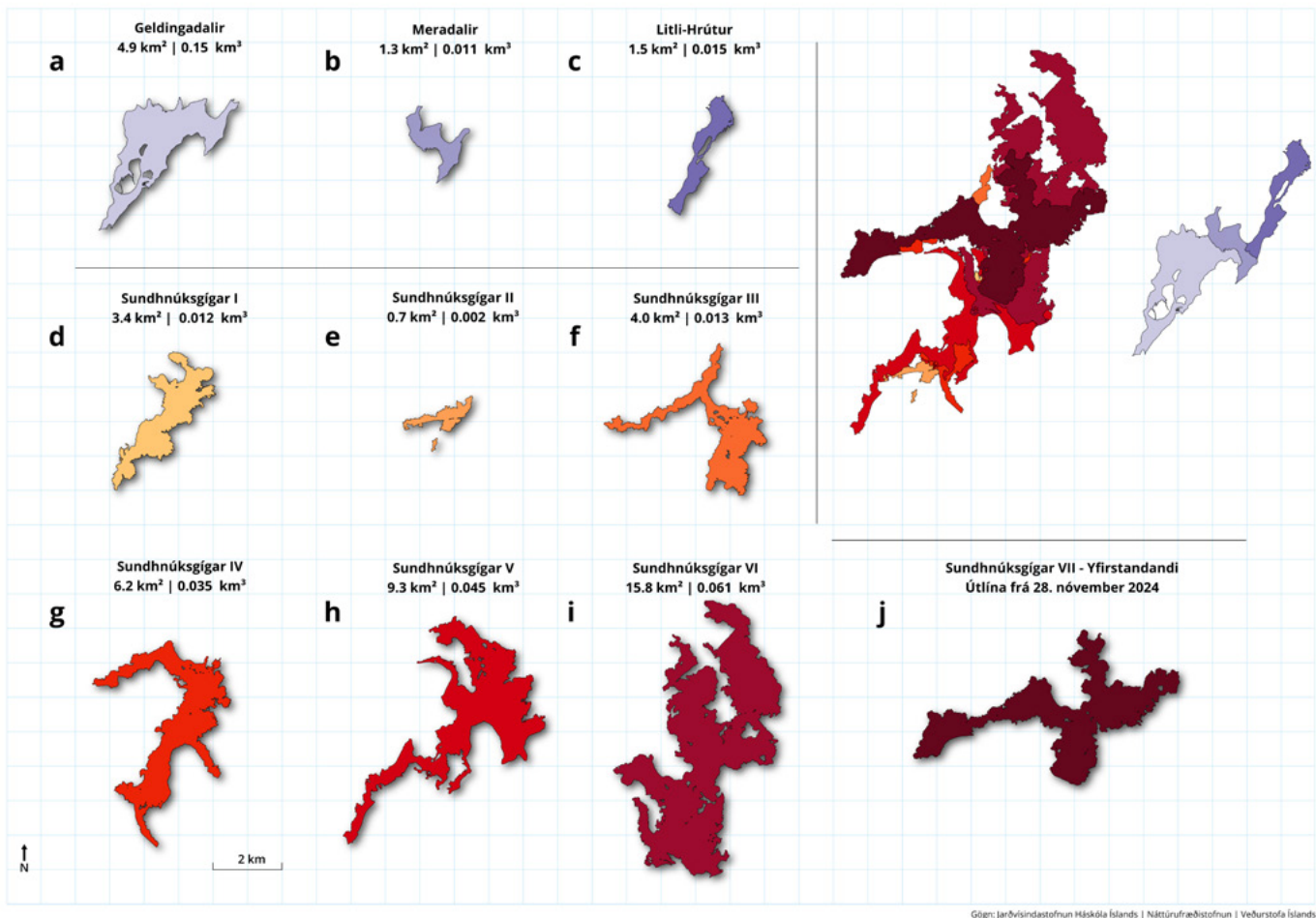
Hinn gríðarlangi Atlantshafshryggur liggur þvert í gegnum Ísland og er landið sá hluti hans sem stendur uppúr sjó. Tilvist eldstöðvakerfa hér er afleiðing samspils möttulstróks undir landinu og gliðnandi flekaskila Norður-Ameríkuflekans og Evrasíuflekans. Flekaskilin liggja í gegnum landið frá Reykjanesi, um miðhálandið, til norðausturs og í Öxarfjörð.^{3(m.a.)} Flekarnir færast í sundur um u.þ.b. 19 mm á ári og eldvirkni og sprungur bera vitni um þessi jarðrænu öfl.^{2,4}

Stór hluti Reykjanesskaga er hulin hraunum, dyngjuhraunum og sprungu-
hraunum, sem hafa myndast eftir að jökla leysti fyrir um 14.000 árum.^{5,6(m.a.)} Öll eldstöðvakerfi Reykjanesskaga eru talin vera án þróaðrar megineldstöðvar og skilgreinast af sprungusveimum sem samanstanda af gossprungum, gjám, sigdældum og jarðhitasvæðum sem liggja skástígt á flekaskilin. Kvikan sem kemur upp er öll basísk og myndar að langmestu leyti hraun. Í sjó við Reykjanes hafa þó orðið sprengigos, tiltölulega

lítil, þar sem kvikan kemst í snertingu við vatn og tvístrast. Þetta gerðist síðast í Reykjaneseldum á 13. öld. Stærsta gosið varð árið 1226 þegar miðaldalagið svokallaða myndaðist. Það lag er 5–10 cm að þykkt vestan Grindavíkur.^{7,8} Flest hraun á Reykjanesskaga eru innan við 0,2 km³ að rúmmáli (tafla 1).

Oftast gýs úr sprungum með stefnu í norðaustur-suðvestur. Virknimiðja kerfanna er þar sem sprungusveimar skera flekaskilin. Norðan til á Reykjaneskaga er minna um gossprungur og þar ber meira á misgengjum og gjám.¹

Þegar gos hófst í Fagradalsfjalli árið 2021 hafði eldvirkni ekki gætt á Reykjanesskaga frá árinu 1240. Þekking á virkni Reykjanesskagans er allgóð síðustu 4.000 ár. Á tímabilinu 1210–1240 urðu nokkur gos, fyrst við Reykjanes og síðan á Eldvarpagosreininni. Þar áður urðu þrjú gos í Krýsuvíkurkerfinu á árunum 1151–1188, eftir um 150 ára goshlé á Reykjanesskaga. Gos urðu í Brennisteinsfjallakerfinu á árunum 950–1000 en fyrstu gosin á síðasta góstímabili urðu í kringum 800 sunnarlega í Brennisteinsfjallakerfinu auk lítils goss í Krýsuvíkurkerfinu.^{1(m.a.)}



2. mynd. Flatar- og rúmmál hrauna sem myndast hafa í Fagradalsfjalls- (fjólubláir litir) og Sundhnúkseldum (rauðir litir) frá 19. mars 2021 til 28. nóvember 2024. Ath. að útlínur á mynd j eru ekki endanlegar þar sem gosið stendur enn yfir þegar þetta er skrifað (2. desember). – Figure 2. Area and volume of the lavas formed during the Fagradalsfjall eruptions (purple) and Sundhnúkseldum eruptions (red) from 19th of March 2021 to 28th of November 2024. Note that the area shown on figure j is preliminary since the eruption is still ongoing at the time of writing (2nd of December). Mynd/Photo: Ragnar H. Þrastarson

Í stórum dráttum virðist hegðun hlið-stæð á góstímabilunum fyrir 1.900–2.500 árum og fyrir 3.000–3.500 árum¹ eins og sjá má á 1. mynd (neðri). Gos-sagan bendir því til þess að aldirnar með eldgosavirkni einkennist af goshrinum, eða eldum, sem hver um sig einangrast við ákveðinn hluta skagans og stendur í nokkur ár eða áratugi, en á milli þeirra séu oft löng tímabil án umbrota. Stað-setning gossins í Fagradalsfjalli var nokkuð óvænt, enda hafði ekki gosið þar í um 6.000 ár og vegna þess að þarna er ekki eiginlegur sprungusveimur, hafði verið talið líklegra að nýtt góstímabil hæfist á öðrum kerfum skagans, þeim sem hafa verið virkari á nútíma.⁹

FAGRADALSFJALL

Eldstöðvakerfið sem kennt er við Fagra-dalsfjall hafði ekki látið á sér kræla að ráði í um 6.000 ár þegar lotur þenslu og

jarðskjálfta áttu sér stað í rúmt ár áður en til tíðinda dró í Geldingadölum árið 2021.^{10(t.d.)} Fagradalsfjallskerfið liggur á milli kerfa Svartsengis og Krýsuvíkur, er um 5–6 km breitt og 19 km langt í norð-austur-suðvestur-stefnu. Sökum sér-stöðu sinnar var það oft flokkað sem hluti Krýsuvíkurkerfisins fremur en sjálf-stætt kerfi, enda nokkuð ólíkt nágranna-kerfum sínum. Þar er ekki jarðhiti og enginn vel skilgreindur sprungu-sveimur, en að auki eru sniðgengi með norður-suður-stefnu mun algengari í því en misgengissprungur og gjár með norðaustur-suðvestur-stefnu, sem ein-kenna hin kerfin.⁹ Fyrstu vísbendingar um vaxandi ökyrrð á Reykjanesskaga komu fram í árslok 2019 þegar skamm-vinnar jarðskjálftahrinur urðu við Fagradalsfjall. Í janúar 2020 varð síðan vart við landris og jarðskjálfta-virknin óx. Aflögun hélt áfram, sem og

skammvinnar jarðskjálftahrinur, líklega í tengslum við innskotavirkni. Þúsundir skjálfta mældust í þessum lotum og fundust stærstu skjálftarnir víða á Reykjanesskaga, á höfuðborgarsvæðinu og á Suður- og Vesturlandi. Stærsti skjálftinn í aðdraganda gossins varð 24. febrúar, 5,6 að stærð. Honum fylgdu margir eftirskjálftar, níu stærri en 4,8 og 64 stærri en 4. Síðasti skjálftinn af viðlíka stærð varð 14. mars og var 5,3. Þessi umbrot fylgdu myndun fyrsta og stærsta gangainnskotsins af fjórum við Fagradalsfjall.¹¹ Þremur dögum fyrir gos dvínaði jarðskjálftavirkni, hátíðni-skjálftum fækkaði en skjálftar af lægri tíðni á grunnu dýpi mældust þar sem stuttu síðar gaus í Geldingadölum við Fagradalsfjall, 19. mars 2021. Það gos markaði upphaf umbrotahrinu sem enn stendur yfir þegar þetta er ritað.^{10,12}

Sundhnúkagígar VII, gos sem hófst 20. nóvember 2024.
– Sundhnúkagígar VII, an eruption that began on the 20th
of November, 2024. Ljósmynd./Photo: Golli





1. tafla. Sprungugos á Reykjaneseskaga á síðustu 3.500 árum, áætlað flatar- og rúmmál hrauna. Söguleg hraun eru í óskyggðum dálkum, en forsöguleg í skyggðum. Í 3. dálki er ýmist gefið upphafsár (skáletrað), eða aldur. Til að auðvelda samanburð áætlaðs rúmmáls milli gosskeiða er áætlað rúmmál alls staðar sett fram í km³ en ekki m³ eins og annars staðar í greininni. – Table 1. Fissure eruptions on Reykjanes Peninsula for the past 3.500 years, estimated area and volume of lavas. Historical lavas are in unshaded columns, prehistoric lavas are in shaded columns. In column 3, italics indicate starting year and non-italics show estimated ages. Volumes are presented in cubic kilometers for easier comparison between eruptive periods, though they are provided in cubic meters in the text.

Hraun	Eldar	Upphafsár/Aldur	Flatarmál (km ²)	Áætluð meðal- þykkt (m)	Áætlað rúmmál (km ³)
Reykjanes					
Yngra Stampahraun	Reykjaneseldar	1211 ³⁷	4 ³⁷	4 ³⁷	0,016 ³⁷
Sýrfellshraun (Eldra Stampahraun)		~1.900 ²⁸	15 ²⁸	5 ²⁸	0,1 ²⁸
Gunnuhraun		3.100–3.200 ¹			
Svartsengi					
Sundhnúksíggar VII	Sundhnúkseldar	2024 (20.11.–?)	8,6 ^{a,β}	5 ^{a,β}	0,043 ^{a,β}
Sundhnúksíggar VI	Sundhnúkseldar	2024 (22.8–5.9)	15,8 ^a	3,9 ^a	0,061 ^a
Sundhnúksíggar V	Sundhnúkseldar	2024 (29.5–22.6)	9,3 ^a	4,8 ^a	0,045 ^a
Sundhnúksíggar IV	Sundhnúkseldar	2024 (16.3–8.5)	6,2 ^a	5,6 ^a	0,035 ^a
Sundhnúksíggar III	Sundhnúkseldar	2024 (8.–9.2)	4,0 ^a	3,1 ^a	0,013 ^a
Sundhnúksíggar II – Hagafell	Sundhnúkseldar	2024 (14.–16.1.)	0,7 ^a	3,4 ^a	0,002 ^a
Sundhnúksíggar I	Sundhnúkseldar	2023 (18.–21.12.)	3,4 ^a	3,3 ^a	0,012 ^a
Arnarseturshraun	Reykjaneseldar	~1235 ¹	22,7 ²⁹	14 ³¹	0,32 ³¹
Illahraun	Reykjaneseldar	~1235 ¹	2,8 ²⁹	10 ³¹	0,03 ³¹
Eldvarpahraun	Reykjaneseldar	1226–1240 ¹	18,3 ²⁹	10 ³¹	0,21 ³¹
Háahraun		~2.200 ¹	3 ³¹	10 ³¹	0,03 ³¹
Blettahraun		~2.200 ¹	7,9 ³¹	10 ³¹	0,07 ³¹
Berghraun		~2.200 ¹			
Klofningahraun		~2.200 ¹	7,8 ³²	20 ³²	0,16 ³²
Sundhnúkahraun		~2.400 ¹	26,5 ³¹	9 ³¹	0,18 ³¹
Lynghólshraun		~3.000 ¹	<10 ¹		
Fagradalsfjall					
Litli Hrótur	Fagradalseldar	2023 (10.7.–5.8.)	1,5 ³⁶	10	0,015 ³⁶
Meradalir	Fagradalseldar	2022 (3.–21.8.)	1,3 ¹⁹	8–9	0,011 ¹⁹
Geldingadalir	Fagradalseldar	2021 (19.3.–18.9.)	4,9 ¹⁵	30	0,15 ¹⁵
Krýsuvík					
Ögmundarhraun	Krýsuvíkureldar	1151 ³³	18,6 ³³	7 ³³	0,13 ³³
Kapelluhraun (Háibruni)	Krýsuvíkureldar	1151 ³³	13,7 ³³	5 ³³	0,07 ³³
Mávahlíðahraun	Krýsuvíkureldar	1188 ³³	3,7 ³³	5 ³³	0,02 ³³
Hrútafellshraun		~800 ¹			
Afstapahraun		~2.000 ³⁸	22 ³²	20 ³²	0,44 ³²
Óbrinnishólshraun og Melrakkahraun		2.100 ¹			
Brennisteinsfjöll					
Tvíbollahraun	Kristnitökueldar	~950 ³⁰			0,37 ³²
Selvogshraun	Kristnitökueldar				0,19 ³²
Kistuhraun	Kristnitökueldar				
Húsfellsbruni	Kristnitökueldar				
Mið-Húsfellsbruni	Kristnitökueldar	950 ³⁰			0,053 ³²
Svartihryggur	Kristnitökueldar				

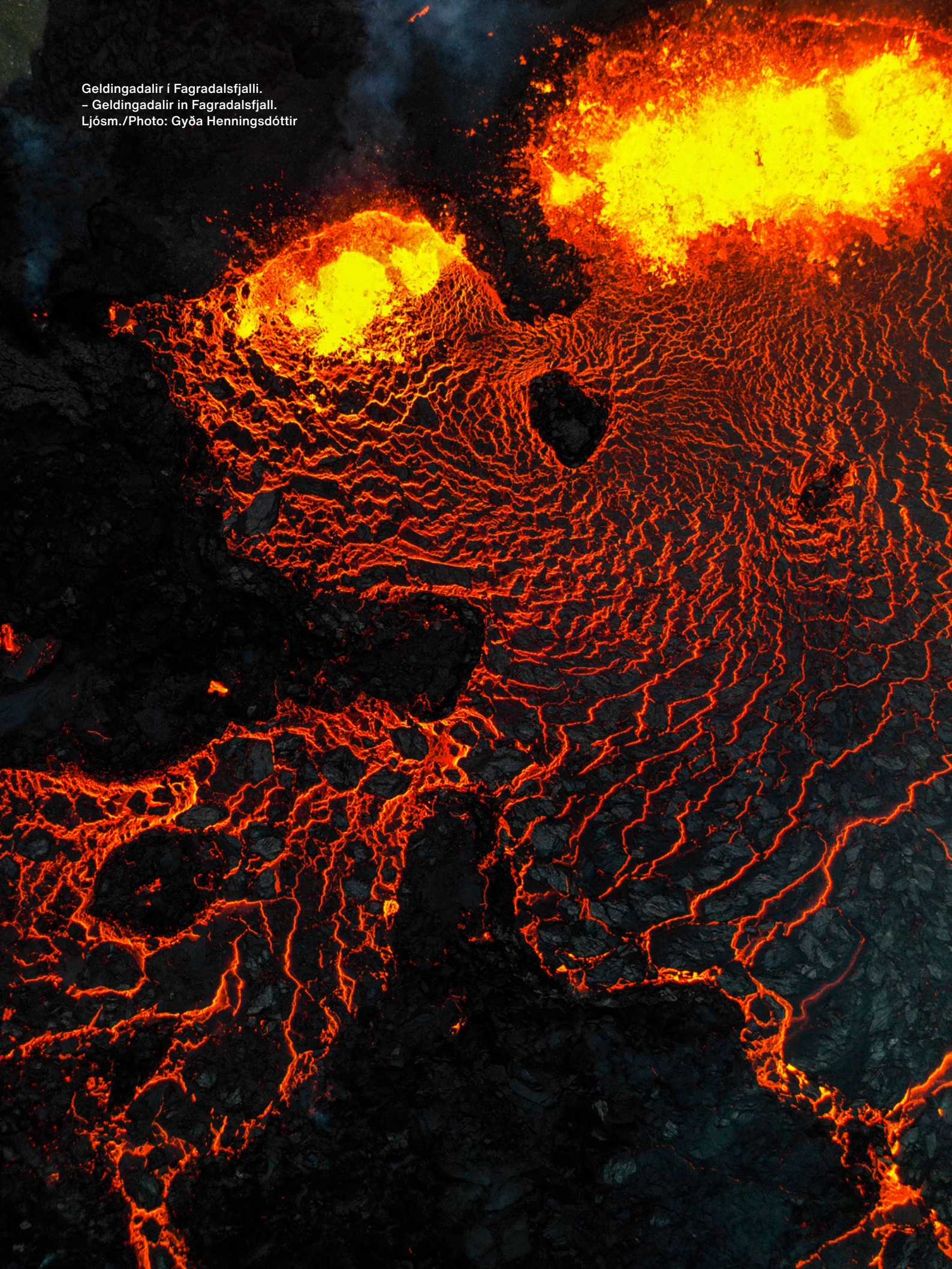
Hraun	Eldar	Upphafsár/Aldur	Flatarmál (km²)	Áætluð meðal- þykkt (m)	Áætlað rúmmál (km³)
Svínahraunsbruni	Kristnitökueldar	1000 ³⁰			
Vörðufellsborgahraun		~800 ³⁴			
Hvammahraun		~800 ¹			0,72 ³²
Stórabollahraun		2.500–3.000 ¹			0,36 ¹
Kálfadalshraun		2.000–2.500 ¹			
Eldra Hellnahraun		2.000–2.500 ¹			
Hólmshraun í Heiðmörk		2.000–2.500 ¹			
Litla Eldborg (Geitahlíð)		~3.500 ¹			

^aMyndmælingateymi Náttúrufræðistofnunar og Landmælinga Íslands
(byggt á samvinnu margra stofnana VÍ, NÍ, LMÍ, Jarðvísindastofnun, Eflu, Verkís, Svarma).
^bMæling gerð 23.nóvember 2024 kl. 13:50 og því ekki um endanlegar tölur að ræða.

Meradalir. Ljósmynd: Pórarinn Jónsson



Geldingadalir í Fagradalsfjalli.
- Geldingadalir in Fagradalsfjall.
Ljósmynd./Photo: Gyða Henningsdóttir



2. tafla. Yfirlit atburða í nýju gosskeiði Reykjanesskagans, sem hófst árið 2021. – Table 2. Overview of events marking the beginning of a new eruptive period on the Reykjanes Peninsula, which started in 2021.

Gos	Upphaf og endir goss	Lengd goss (dagar)	Lengd goshlés á Reykjanesskaga fyrir upphaf (dagar)	Áætluð hámarks lengd gossprungu (km)	Endanlegt flatarmál (km ²)	Áætlað rúmmál (milljón m ³)
Svartsengi						
Sundhnúksíggar VII	20.11.–?	?	75	3	?	?
Sundhnúksíggar VI	22.8.–5.9. 2024	14	60	6	15,8	61 ^a
Sundhnúksíggar V	29.5.–22.6. 2024	24	20	4	9,3	45 ^a
Sundhnúksíggar IV	16.3.–8.5. 2024	53	35	3	6,2	35 ^a
Sundhnúksíggar III	8.–9.2. 2024	1	22	3	4,0	13 ^a
Sundhnúksíggar II – Hagafell	14.–16.1. 2024	2	23	1	0,7	2,5 ^a
Sundhnúksíggar I	18.–21.12. 2023	3	135	4	3,4	11 ^a
Fagradalsfjall						
Litli Hrútur	10.7.–5.8. 2023	26	324	0,8	1,5 ³⁶	15 ³⁶
Meradalir	3.–21.8. 2022	18	319	0,3	1,3 ³⁵	11 ³⁵
Geldingadalir	19.3.–18.9. 2021	182	780*	0,18	4,9 ¹⁵	150 ¹⁵

*Ár en ekki dagar eins og aðrar einingar í dálknum.

^aMyndmælingateymi Náttúrufræðistofnunar og Landmælinga (byggt á samvinnu marga stofnana, Ví, Ní, LMÍ, Jarðvísindastofnunar, Eflu, Verkíss, Svarma).

FAGRADALSFJALLSELDAR

19. mars til 18. september 2021

– Geldingadalir

Hraungos hófst í Geldingadölum í Fagradalsfjalli kl. ~20:45 föstudagskvöldið 19. mars 2021 með opnun 12 stuttra skástigra sprungna, samanlagt 180 m langra, með norðaustur-suðvestur-stefnu. Virkni dróst fljótt saman og næsta dag gaus úr átta gosopum og á sunnudegi úr tveimur.^{13,14} Hraunflæði var ákaflega rólegt og í gosinu var enginn öflugur upphafsfasa. Rennsli var aðeins 5–8 m³/s í upphafi, hélst þannig fyrstu vikurnar en jókst heldur þegar kom fram í maí og var 10–13 m³/s (meðaltal yfir nokkurra daga tímabil) lengst af fram í september.¹⁵ Kvikusamsetning var afar frumstæð og talið er að kvikan hafi komið af miklu dýpi (>15 km).¹⁶ Í upphafi aprílmánaðar opnuðust fleiri gosop norð-norðaustur af upphafsgígum. Þeir voru aðeins virkir í nokkra daga en kvikuflæðið hélst nokkuð stöðugt. Frá því seint í apríl var aðeins einn gígur virkur. Í maí-júní var ríkjandi hegðun þannig að öflugir kviku-strókar mynduðust í nokkrar mínútur, síðan kom álíka langt hlé. Á þessum tíma rann hraun að mestu í lokuðum rásum og myndaðist meðal annars hrauntjörn, 400 m í þvermál.^{15,17} Í byrjun júlí breyttist

virknin enn og fram í september skiptust á samfelld gos í 12–24 tíma og álíka löng tímabil án gosvirkni.¹⁵ Hlé kom í virknina 2. september en hún tók sig upp aftur níu dögum síðar og hélst til gosloka 18. september. Gosið stóð yfir í 182 daga, og alls mynduðust 150 milljónir m³ af hrauni, sem þekur 4,9 km² (2. mynd a, tafla 2).¹⁵

3. ágúst til 21. ágúst 2022

– Meradalir

Tæpu ári eftir gosið í Geldingadölum braust út eldgos í vestanverðum Meradölum, upp úr hádegi 3. ágúst 2022 á ~375 m langri, norðaustur-suðvestur-lægri sprungu.¹⁸ Skjálftavirkni hafði aukist mjög um fjórum dögum áður en tók að dvína nokkrum klukkustundum fyrir upphaf goss. Um 2.700 skjálftar mældust á svæðinu sólarhring áður. Gossprungan var í litlu dalverpi norðaustan við gígana í Geldingadölum. Hún opnaðist upp í neðanverðar hlíðar Meradalahnúks og teygði syðri hluti hennar sig inn í hraunið sem rann í Geldingadalsgosinu. Gosið var nokkru aflmeira en það fyrra og var hraunframleiðsla í upphafi metin ~30 m³/s.^{19,20} Líkt og í fyrra gosi dróst virkni á gossprungunni fljótt saman og norðausturhluti sprungunnar, sá sem náði í hlíðar Meradalahnúks,

kulnaði. Sólarhring eftir gosbyrjun gaus á 130–140 m langri sprungu og hratt dró úr hraunflæði sem var aðeins þriðjungur af því sem mældist í upphafsfasa. Virknin einangraðist síðan enn frekar og að fimm dögum liðnum var hún bundin við einn megingíg. Frá honum rann hraun sem myndaði hrauntjörn með ústreymi til suðausturs, fyllti upp í Meradali og rann meðal annars að hluta til yfir hraunið frá árinu áður. Á sextánda degi var gosið orðið svo aflítið að aðeins kraumaði nægilega í gígnum til að sletta hrauni upp á gígbarmana en á yfirborði sást hvorki í hrauntjörn né hraunár. Aðfaranótt 21. ágúst féll gosórói niður og var goslokum lýst yfir. Í kjölfar gossins dró verulega úr þenslu og þar með jarðskjálftavirkni. Gosið stóð í 18 daga og myndaði hraun sem þakti 1,3 km² og var metið um 11 milljónir m³.¹⁹ (2. mynd b, tafla 2).

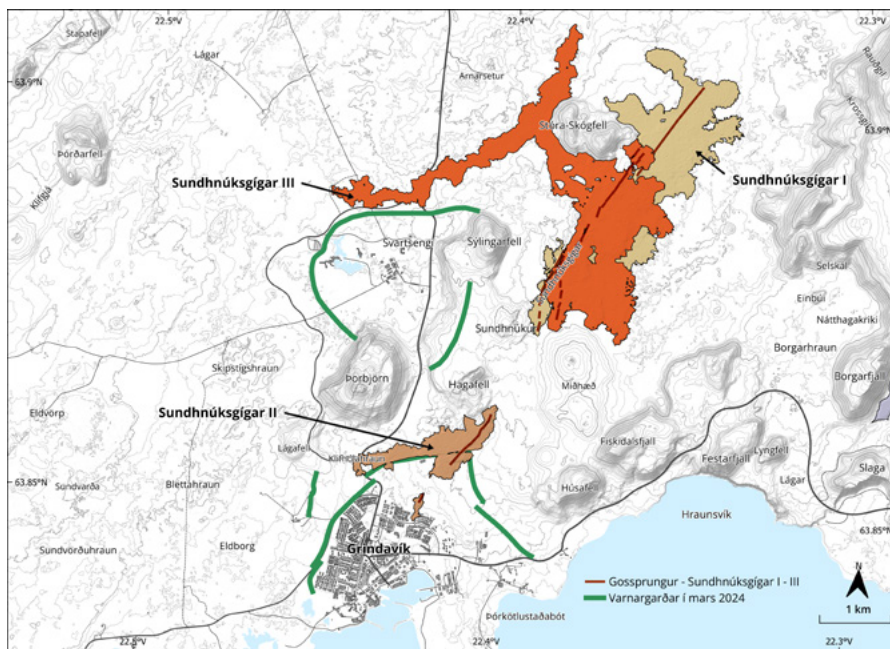
10. júlí til 5. ágúst 2023

– Litli-Hrútur

Tæpu ári síðar, 10. júlí kl. 16:40, hófst þriðja eldgosíð og nú við Litla-Hrút, norðaustan við fyrri gosupptök. Skammtafyrirboði þess var sambærilegur fyrri gosum á svæðinu, þ.e. öflug jarðskjálftahrina sem stóð í nokkra daga (frá 4. júlí) en dvínaði skömmu áður en gos



3. mynd. Stór kvikugangur, allt að 15 km langur, myndaðist í miklum gliðnunaratburði 10. nóvember 2023. – Figure 3. A large magma dyke, up to 15 km in length, was formed during a significant deformation event on the 10th of November 2023. Mynd/Photo: Ragnar H. Þrastarson



4. mynd. Lega gossprungna Sundhnúksgíga I–III (brúna línur) og útbreiðsla hrauna frá fyrstu þremur gosunum í Sundhnúkseldum. Grænar línur sýna varnargarðana í mars 2024. – Figure 4. Location of the eruptive fissures from the first three eruptions in the Sundhnúks Fires (brown lines) and their respective lava flow fields. Green lines indicate the locations of lava protection barriers as of March 2024. Mynd/Photo: Ragnar H. Þrastarson

hófst. Gossprungan sem opnaðist var í fjórum skástígum bútum og var samantölð lengd þeirra um 800 m. Útstreymi kviku í upphafi var meira en í fyrri gosunum tveimur en dvínaði hratt. Virkni á gossprungunni dróst saman líkt og í fyrri gosum og einskorðaðist við aðeins einn gíg sólarhring eftir gosupphaf. Hraun flæddi frá Litla-Hrúti til suðurs og rann að hrauninu austan hans, því sem myndast hafði í Meradölum árið áður. Gosið stóð í 26 daga, frá 10. júlí til 5. ágúst, og myndaði hraun sem þakti um 1,5 km² og var metið ~15 milljónir m³.²⁰ (2. mynd, tafla 2).

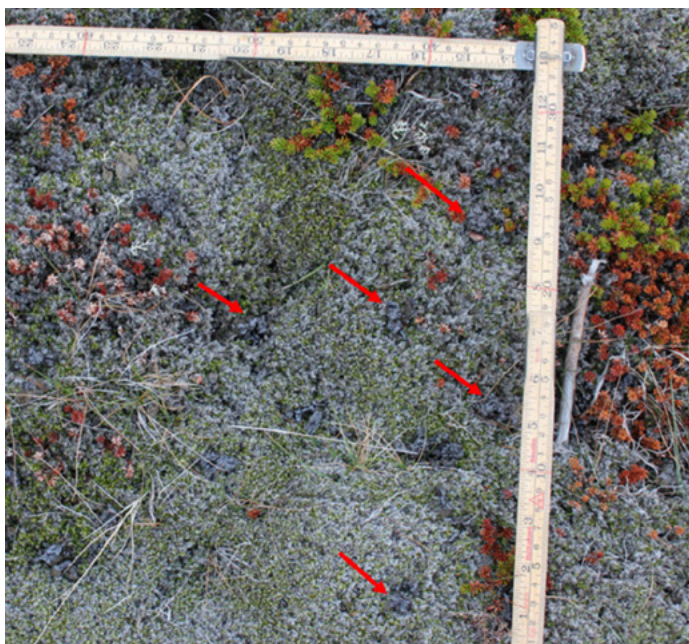
SVARTSENGI

Vestan kerfis Fagradalsfjalls er Svartsengiskerfið, sem stundum er kennt við Eldvörp. Nágranni Svartsengis í vestri er Reykjaneskerfið en erfitt er að greina sprungusveima þessara tveggja kerfa í sundur. Svartsengiskerfið er 7 km breitt og 30 km langt með stefnu norð-austur-suðvestur. Tvær gosreinar eru skilgreindar á kerfinu, Eldvarparein og Svartsengisrein, og hefur sú síðarnefnda verið virkari í gegnum tíðina.¹ Virka svæðið í núverandi goshrinu er á Svartsengisreininni og hafa gossprungur fylgt Sundhnúksgígariðinni sem gaus síðast

fyrir 2.400 árum.^{1(t.d.)} Þarna hefur nú gosið sjö sinnum síðan í desember 2023 (sjöunda gosið stendur yfir þegar þetta er ritað í byrjun desember 2024).

Kvikugangurinn 10. nóvember 2024

Haustið 2023 var viðburðaríkt á Reykjaneskaganum. Ákafar jarðskjálftahrinur og aflögun mældust við Þorbjörn, Svartsengi og norðan Grindavíkur og flúðu íbúar Grindavíkur margir hverjir heimili sín. Þáttaskil urðu í atburðarásinni 10. nóvember 2023 þegar ríkislögreglustjóri lýsti í samráði við lögreglustjóran á Suðurnesjum yfir



5. mynd. Gjóska féll víðs vegar um svæðið. Myndir teknar 8. október 2024 rétt sunnan við varnargarðana norðan Grindavíkur. Lengdarás korna allt að 8 cm. – Figure 5. Tephra fell around the unrest area. Photos taken on the 8th of October 2024, just south of the lava protection barriers north of Grindavík. The longitudinal axis of tephra grains measured up to 8 cm. Ljós m. / Photo: Bergrún A. Óladóttir

hættustigi almannavarna vegna ákafrar jarðskjálftahrinu við Sundhnúksgíga. Bærinn var rýmdur um kvöldið enda báru mælingar þess merki að kvika væri á ferð undir honum. Virknimiðja jarðskjálftahrinnunar var á Sundhnúksgígaröðinni snemma dags en þegar á leið mældust sífellt fleiri skjálftar norðar, til móts við Stóra-Skógfell, og var ljóst að kvika flæddi um sprungur og myndaði kvikugang. Í kjölfar skjálfta af stærð 4,1 kl. 15:23 tók skjálftavirknin að fíkra sig hratt til suðurs og urðu tveir skjálftar (4,8 og 5,2 að stærð, sá stærri kl. 18) við Hagafell. Klukkan 18:30 var skjálftavirkni komin að Grindavík og klukkustund síðar suðvestur fyrir bæinn í sjó fram.²¹ Mikil aflögun fylgdi í kjölfar jarðskjálftans kl. 18 og myndun kvikugangsins, og tilfærslur bæði í lárréttum og lóðréttum fleti um rúmlega 1 metra ollu miklum skemmdum á mannvirkjum og innviðum í Grindavík. Talið er að 130–139 milljónir m³ af kviku hafi myndað kvikugang sem varð 15 km langur og náði frá Kálffellsheiði í norðri og í sjó fram norðan Arfadalsvíkur (3. mynd).²¹

SUNDHNÚKSELDAR

18. til 21. desember 2023

– Sundhnúksgígar I

Eldgos hófst 18. desember kl. 22:17 í kjölfar jarðskjálftahrinu sem hófst á Sundhnúksgígaröðinni um einni og hálfri klukkustund áður. Gossprunga opnaðist austan Sýlingarfells og Stóra-Skógfells, þar sem hinn gríðarmikli kvikugangur myndaðist mánuði áður. Sprungan var í skástígum bútum og náði samtals ~4 km að lengd. Kvikustrókar náðu um 100 m hæð og kvikuflæði var margfalt á við það sem nokkurn tíma varð í gosunum í Fagradalsfjalli 2021–2023. Virkni dróst fljótt saman á sprungunum og einangraðist í staka gíga, og flæddi hraun að mestu til austurs án þess að ógna innviðum. Gosið stóð í tæpa þrjá daga og þvarr afl þess hratt. Hraunið sem það myndaði þakti um 3,4 km² og var metið ~11 milljónir m³.²⁰ (2. mynd, tafla 2).

14. til 16. janúar 2024

– Sundhnúksgígar II – Hagafell

Aðfaranótt 14. janúar 2024 hófst áköf jarðskjálftahrina við Sundhnúksgígaröðina, sunnar en sást í desember. Aflögun sem mældist á GPS-mælum og aukinn þrýstingur í borholum HS Orku

við Svartsengi renndu stoðum undir grun um að um kvikuhreyfingar væri að ræða og var Grindavík rýmd í kjölfarið, en þá var búið í um 100 húsum. Jarðskjálftahrinn hófst nálægt Stóra-Skógfelli en virknin færðist fljótt suður í átt að Hagafelli og Grindavík. Um fjórum klukkustundum frá upphafi jarðskjálftahrinnunar, eða kl. 7:57, opnaðist sprunga suðaustan Hagafells sem náði ~1 km lengd að klukkutíma liðnum. Syðsti hluti hennar var tæpan kílómetra frá nyrsta hluta Grindavíkur og skar hún varnargarð norðan við bæinn. Mest var hraunrennsli norðan varnargarðsins, sem leiddi hraunið til suðvesturs. Hraun rann yfir Grindavíkurveg sunnan Þorbjörns og heitavatnslögn frá Svartsengi til Grindavíkur, og olli skemmdum á rafstrengjum. Grindavík varð því heitavatns- og rafmagnslaus (4. mynd). Útstreymi í upphafsfasa var verulegt, en allmiklu minna en í desembergosinu. Laust eftir hádegi rann hraun úr 100 m langri sprungu aðeins 200 m frá nyrsta hluta bæjarins. Talið er að þarna hafi komið upp gjávellu, þ.e. hraun sem ferðast lárétt frá upptökum um sprungur í berginu nærri yfirborði. Útstreymishraði kviku úr sprungunni var mun minni en



6. mynd. Gossprungan, Grindavík, varnargarðarnir umhverfis bæinn og hraun undanfarinna umbrota 29. maí 2024 kl. 17:05 til 17:15. Loftmynd úr flugi sérfræðinga Náttúrufræðistofnunar og Landmælinga. – Figure 6. The volcanic fissure, Grindavík, lava protection barriers and lava flow fields of the Sundhnúkur Fires I-V the 29th of May 2024 at 17:05-17:15. Photo taken in an aerial survey flight by the Icelandic Institute of Natural History and the National Land Survey of Iceland. Ljós./Photo: Birgir V. Óskarsson

úr fyrri sprungu, eða aðeins $10 \text{ m}^3/\text{s}$, sem þó nægði til þess að hraun rann í hverfið Efrahóp og gjöreyðilagði þar þrjú hús. Gosið var skammlíft, og um kl. 1 aðfaranótt 16. janúar sáu stíðustu hraunsletturarnar renna frá nyrðri sprungunni. Endanlegt flatarmál hraunsins varð $0,7 \text{ km}^2$ og umfang þess $0,002 \text{ km}^3$ (2. mynd, tafla 2).

8. til 9. febrúar 2024 – Sundhnúksíggar III

Aðeins tveimur dögum eftir goslok í janúar sáu stíðustu ummerki um landris samkvæmt GPS-gögnum. Veðurstofa Íslands

greindi frá því á fréttaveitu sinni 25. janúar að land risi um 8 mm á dag við Svartsengi, sem væri meiri hraði en áður. Hinn 5. febrúar var áætlað að 9 milljónir rúmmetra af kviku hefðu safnast undir Svartsengi. Aðdragandi eldgoss var í þetta sinn mjög skammur. Um kl. 5:20 aðfaranótt 8. febrúar hófst áköf hrina smáskjálfta við Stóra-Skógfell og kl. 6:02 opnaðist gossprunga sem varð lengst um 3 km og lá frá Sundhnúki til austurenda Stóra-Skógfells, samsíða þeirri sem úr gaus í desember árið áður (3. mynd). Aðeins kom til rýmingar í Bláa lóninu þar sem dvöl í Grindavík var þá ekki leyfileg

að nóttu að tilskipan lögreglustjórans á Suðurnesjum. Líkt og í desembergosinu dró fljótt úr virkninni og eftir hádegi gaus aðallega á þremur stöðum á sprungunni. Gjóska féll til jarðar í Grindavík, allt að 8 cm í þvermál, og fingerð gjóska myndaðist þegar kvika komst í snertingu við grunnvatn og olli sprengivirkni um miðbik sprungunnar (5. mynd). Gosið var heldur aflmeira en fyrri gos og var meðalhraunflæði fyrstu sjö klukkutímanna metið um $600 \text{ m}^3/\text{s}$ með samiburði gagna frá myndmælingateymi Náttúrufræðistofnunar Íslands og Landmælinga Íslands og landhæðarlíkana fyrir upphaf goss. Gosmökkurinn reis í um 3 km hæð og hæð kvikustróka náði 80 m . Hraun rann til austurs og vesturs, náði yfir Grindavíkurveg norðan Þorbjörns kl. -10 og eyðilagði heitavatnslögn frá Svartsengi til norðurs (Njarðvíkuræð) skömmu síðar. Það olli miklum ama, því lögnin færir ~30.000 íbúum Reykjanesbæjar, Voga og Suðurnesjabæjar heitt vatn til húshitunar og heimilisnota. Næsta dag var gosórói dottinn niður og lauk gosinu aðeins um 26 klukkustundum eftir að það hófst. Rúmmál hrauns samkvæmt gögnum úr loftmyndaflugi Náttúrufræðistofnunar Íslands að morgni 9. febrúar er metið tæplega 13 milljónir m^3 og flatarmál um 4 km^2 (2. mynd f, tafla 2).



7. mynd. Vatni var sprautað á hraunjaðarinn til að hefta framgang hraunsins. – Figure 7. Water was sprayed onto the lava flow front in an attempt to slow its progression. Ljós./Photo: Vefmyndavél Almannavarna – Civil Protection Authorities web-camera

16. mars til 8. maí 2024

– Sundhnúksgígur IV

Fjórða gosið í Svartsengiskerfinu hófst um kl. 20:22 16. mars. Aðdragandinn var sem fyrr aukning í jarðskjálftavirkni sem hófst tæpri klukkustund áður á milli Stóra-Skógfells og Sýlingarfells. Þar sem jarðskorpa svæðisins var þegar orðin mjög sprungin eftir undangengin umbrot voru skjálftar í aðdraganda gossins minni en áður (<M2) og jarðskjálftavirkni óvenju lítil. Kviku-hreyfingar mátti marka meðal annars af fjölgun skjálfta á svæðinu og nærraúntíma GPS-færslum við Svartsengi. Um 2,9 km löng gossprunga opnaðist nærri miðju skjálftavirkninnar, á milli Stóra-Skógfells og Sýlingarfells. Aðeins 2 km skildu að innviði Svartsengis og gossprunguna, en búið var að reisa gríðarmikla varnargarða umhverfis orkuverið. Hraun rann að mestu til vesturs og austurs, nokkuð hraðar en í fyrri gosum, eða á um 1 km/klst. í byrjun goss. Rétt eftir kl. 23 var hraun úr syðri hluta sprungunnar komið að varnargörðunum norðan og austan Grindavíkur og hraunflæði til vesturs náði enn á ný yfir Grindavíkurveg, norðan Þorbjörns, eftir miðnætti. Gosmökkur reis í 3 km hæð og bárust tilkynningar um gjóskufall nærri Grindavíkurvegi. Land

tók að rísa að nýju á meðan gosið stóð yfir, sem hafði ekki sést áður, enda varði gosið til 8. maí eða í 53 daga. Það var þó mjög aflítið síðustu þrjár vikurnar. Þetta gos var mun stærra en hin þrjú sem á undan fóru, um 35 milljón m³ af kviku barst til yfirborðs og myndaði 6,2 km² hraunbreiðu (2. mynd g, tafla 2).

29. maí til 22. júní 2024

– Sundhnúksgígur V

Skjálftahrina hófst kl. 10:45 á milli Stóra-Skógfells og Sýlingarfells, en í þetta sinn greindust engar breytingar í aflögun né borholubrýstingi fyrr en klukkustund eftir upphaf hrinunnar. GPS-mælar á svæðinu sýndu skýr merki um kvikuhreyfingar (landsig) kl. 12 og gossprunga opnaðist kl. 12:46, skammt austan gígsins sem síðast var virkur 8. maí. Gossprungan teygði sig til norðurs að suðausturhluta Stóra-Skógfells og var mesta lengd hennar áætluð 4 km. Kvikustrókar náðu um 70 m hæð þegar mest lét og gosmökkurinn varð tæplega 4 km hár. Tilkynnt var um lítilsháttar gjóskufall. Sprunga opnaðist til suðurs, og komst í grunnvatn nærri Hagafelli og olli þar sprengivirkni sem var mikið sjónarspil. Hraun rann til vesturs nokkuð svipaða leið og í febrúargosinu og í byrjun marsgossins, norðan Þor-

bjarnar. Grindavíkurvegur slapp þó í fyrstu, því hrauntungan stöðvaðist aðeins 20 m frá veginum, norðan varnargarðanna við Svartsengi. Þá lét syðri hluti sprungunnar til sín taka og rann hraun í stríðum straumum til vesturs, yfir Grindavíkurveg sunnan Þorbjarnar, eyðilagði þau raflínumöstur sem á vegi þess urðu og náði varnargörðunum sem verja vesturhluta bæjarins. Grindavík varð því enn á ný rafmagnslaus. Þá rann hraunið einnig yfir Norðurljósavæg á ferð sinni suður á bóginn og síðan yfir Nesveg. Suðurstrandarvegur var því eini færi vegurinn inn í bæinn og þar með eina flóttaleiðin úr honum. Gögn úr loftmyndaflugi kl. 17:06 sýna að á fyrstu fjórum tímum gossins mynduðust 8,7 km² af hrauni. Meðal-ústreymishraði fyrstu fjóra klukkutímanna var um 1.500 m³/s samkvæmt túlkun á gögnum myndmælingateymis Náttúrufræðistofnunar Íslands og Landmælinga Íslands. Aflið í gosinu þvarr jafnt og þétt og var meðal-ústreymishraði fyrstu fimm daga gossins um 30 m³/s. 6. mynd sýnir gossprunguna og rennsli hraunsins til vesturs og suðurs. Virkni var mest í gíg rétt við þann sem gaus í mars og rann úr honum til norðvesturs í átt að Sýlingarfelli. Sprungan norðan hans dróst saman í tvo aflitla gíga og rann hraun úr



Litli-Hrútur. Ljósmynd. / Photo: Gyða Henningsdóttir

þeim aðallega til austurs, en þeir koðnuðu niður 4. júní og var uppfra því aðeins einn gígur virkur fram til gosloka. Hrauntjörn myndaðist við Sýlingarfell og rann úr henni í virka hraunstrauminn norðan Sýlingarfells. Þar þyknaði hraunið mikið og fór hraunspýja frá hraunjaðrinum yfir varnargarð norðaustan við Svartsengi en dreif skammt. Reynt var að hemja hraunrennslið með vatnskælingu, og má á 7. mynd sjá vatni sprautað á hraunjaðarinn. Líkt og í síðasta gosi á undan hófst landris aftur á meðan enn gaus. Gosið stóð yfir í 24 daga og myndaði 9,3 km² af hrauni sem var 45 milljónir m³ að umfangi (2. mynd h, tafla 2). Fimm til sjö dögum eftir að virkni hætti að sjást í gígnum var enn sjáanleg hreyfing á hraunbreiðunni.

22. ágúst til 5. september 2024

– Sundhnúksgígur VI

Það kom fáum á óvart að gos hófst að nýju síðsumars enda hafði landris mælst frá 8. júní. Skömmu fyrir kl. 21 hinn 22. ágúst sýndu mælar ákafa jarðskjálfta-

virgni á milli Stóra-Skógfells og Sýlingarfells og á svipuðum tíma greindust verulegar þrýstingsbreytingar í borholum í Svartsengi, og í kjölfarið aukin aflögun samkvæmt GPS-mælum. Mest var skjálftavirknin til norðurs og opnaðist sprunga á svipuðum stað og í desember árið áður kl. 21:26. Gossprungan sem opnaðist var í sjö skástígum bútum og var samanlögð lengd þeirra tæpir 4 km. Upp úr henni risu myndarlegir kvikustrókar (~430 m háir) og er þetta gos það aflmesta í Sundhnúkseldum til þessa. Virknin einskorðaðist að lokum við tvo gíga norðan Stóra-Skógfells. Síðast sást virkni í gígum 5. september og gosórói féll þann dag á milli kl. 15 og 17 en í nokkra daga eftir það mátti sjá svolitla hreyfingu á hrauni. Gosið stóð yfir í 14 daga, 61 milljónir m³ af hrauni komu til yfirborðs og þekur það 15,8 km² (2. mynd i, 8. mynd, tafla 2). Landris hófst strax að gosi loknu í september, sem benti til þess að umbrotunum væri ekki lokið.

20. nóvember 2024, ólokið á rittíma – Sundhnúksgígur VII

Aftur dró til tíðinda 20. nóvember, og var nokkuð óvænt því vísindamenn höfðu ekki gert ráð fyrir að nægilegum þrýstingi vegna kvikusöfnunar yrði náð fyrr en í desember. Aukinnar jarðskjálftavirkni á milli Sýlingarfells og Stóra-Skógfells varð vart skömmu fyrir kl. 22:30 og breytingar á borholuþrýstingi í Svartsengi mældust kl. 22:37. Þá þótti ljóst að draga færi til tíðinda og voru Grindavík og Bláa lónið rýmd í kjölfarið, en búið var að opna bæinn fyrir almenningi og var búið í um 50 húsum þrátt fyrir að engin hefðbundin þjónusta væri til staðar, s.s. leik- og grunnskólar, heilsugæsla o.þ.h. Gossprunga opnaðist kl. 23:14 nærri gígnum sem var virkastur í desember gosinu árið áður (Sundhnúksgígur I), lengdist í norðaustur-suðvestur og náði lengst ~3 km lengd. Upphafsfasi gossins var sjónrænt metinn talsvert minni en í gosinu áður en hraun rann frá sprungunni bæði til norðurs og vesturs á milli Sýlingarfells og Stóra-Skógfells.

Fljótlega eftir að gos hófst mældist sig á GPS-mæli við Svartsengi. Aðfaranótt 21. nóvember var megin-hraunstraumurinn til vesturs og á milli kl. 4:30 og 4:37 rann hraun bæði yfir gamla og nýja Grindavíkurvegin. Hraunið rann jafnframt yfir sömu heitavatnslögn og skemmdist í febrúar (Njarðvíkureð) kl. 7:55 en hún hafði verið grafin í jörðu og hefur enn ekki skemmst þegar þetta er skrifað (2. desember). Komi til skemmda á lögninni er allt viðgerðarefni tiltækt. Hraun rann undir raflínu í lofti (Svartsengislínu 1) og hiti frá því varð til þess að leiðarinn í línunni seig ofan í hraunið og slitnaði (9. mynd). Varð um stund rafmagnslaust í Grindavík. HS Orka hafði undirbúið varaafstöð í Svartsengi sem nú er nýtt til að tryggja bænum og öðrum notendum rafmagn. Landsnet rekur línuna

hækka varnargarðana þar og jafnframt var gripið til hraunkælingar á sólarhringsvöktum. Afl gossins hefur dvínað smám saman og sáust merki um fall í gosóróa um kl. 5 að morgni 24. nóvember. Að morgni 25. nóvember var lítil ef nokkur virkni sjáanleg í suður- og mið-gígnum og gosórói féll enn. Landsig mældist í Svartsengi út nóvember og virkni helst á nyrsta gígnum. Þegar þetta er ritað (desember) er ekki ljóst hvort landris er hæfið á ný en gosið stendur enn.

Ákveðinn munur hefur verið á aðdraganda eldgosanna í kerfi Fagradalsfjalls árin 2021–2023 og gosanna sem orðið hafa á Sundhnúksígjaröðinni 2023 og 2024. Fyrstu ótvíræðu merkin



9. mynd. Hraun rann undir Svartsengislínu 1, sem seig ofan í hraunið og eyðilagðist. – Figure 9: Lava flowed under the Svartsengislína 1 powerline, causing it to subside into the lava. Ljósmynd: Jón Haukur Steingrímsson

um kvikusöfnun í jarðskorpunni við Svartsengi, upptakasvæði eldgosanna á Sundhnúksgígarröðinni, komu fram í ársbyrjun 2020. Slík merki sáust aftur nokkrum sinnum næstu árin þar til verulega dró til tíðinda í nóvember 2023.

Undanfari fyrsta gossins í Fagradalsfjalli í mars 2021 einkenndist af þenslu og áköfum hrinum með þúsundum jarðskjálfta í nokkrar vikur samfara myndun kvikugangs í jarðskorpunni. Hliðstæðar hrinur, sem þó voru minni og stóðu nokkru skemur, gengu yfir fyrir gosin 2022 og 2023. Virknin dvínaði þó rétt áður en gosin hófust. Stærri (≥ 4) há-tíðniskjálftar hættu og skjálftavirkni einkenndist af smærri lágtíðniskjálftum. Þetta gerðist vikum og stundum aðeins fáeinum sólarhringum fyrir upphaf gosanna.¹²

Vísindamenn telja sig nú hafa góða mynd af forboðum eldgosa á Svartsengisreininni. Fyrsta langtímaþvíðing er þensla við Svartsengi. Líkanreikningar byggðir á GPS-mælingum og gervi-

tunglagögnum (bylgjuvíxlmyndum) gefa til kynna að þrýstingsmörk sem þarf til að koma eldgosum af stað virðast hafa hækkað eftir því sem á líður, sem minnir um margt á umbrotin í Kröflueldum. Skemmri fyrirboðar (á klukkustundarskala) eldgoss á Sundhnúksrein eru grunnstæðir skjálftar á Sundhnúksgígarröðinni, skyndileg aflögun sem kemur fram á GPS mælum á svæðinu og þrýstingsbreytingar á borholumælum í orkuverinu í Svartsengi.

INNVIÐIR OG ÁFALLAPÓL

Jarðsaga á Reykjaneskaga ber vott um tímabil líflegrar eldvirkni en þó hefur fram til þessa fremur lítið reynt á áfallapól nútímasamfélags á Íslandi gagnvart þeirri vá sem af eldgosum stafar, og forvarnaaðgerðir til að minnka tjónnæmi vegna eldgosa eru harla litlar. Meiri fyrirhyggja hefur verið sýnd gagnvart jarðskjálftavá og hafa hönnunarkröfur til mannvirkja vegna jarðskjálftaálags sífellt aukist. Fyrsti ís-

lenski hönnunarstaðallinn kom út 1976 og við tók Evrópastaðall 2002, en þá tvöfölduðust hönnunarkröfur á brotabeltum Suður- og Norðurlands og eru nú með þeim mestu í Evrópu. Reglugerðir til að minnka tjónnæmi samfélags gagnvart snjóflóðavá voru settar í kjölfar hinna mannskæðu snjóflóða í Súðavík og á Flateyri 1995. Samþykkt voru lög sem heimila uppkaup eða eignarnám húsa undir hlíðum sem flóð geta fallið úr og hafist handa um gerð varnargarða í byggðum víða um land.

Fram til þessa hefur lítið borið á á móta aðgerðum vegna eldgosahættu og enginn lagabókstafur fjallar um hættumat af völdum eldgosavár, enda er slíkt hættumat ekki til fyrir marga staði á landinu. Það hefur þó verið unnið fyrir Vestmannaeyjar og Reykjaneskaga vestan Kleifarvatns.^{22,23} Viðbrögð hafa sem betur fer verið skjót þegar til kastanna kemur og voru varnargarðar reistir í flýti í Heimaey til að reyna að verja byggð í gosinu árið 1973. Þá voru



Varnargörðum lokað við krefjandi aðstæður við Grindavíkurveg áður en hraunflæmið nær að brjóta sér leið til Grindavíkur. – Protective barriers were closed under challenging conditions near Grindavíkurvegur before the lava flow could break its way into Grindavík. Ljós./Photo: Gollu

varnargarðar einnig reistir þegar umbrotin í Kröflu stóðu yfir frá 1975. Síðast gaus í Kröflu í september 1984, en landris og skjálftahrinur því tengdar héldu áfram allt fram til ársins 1989.²⁴ Varnargarðarnir í Vestmannaeyjum veittu mikilvæga reynslu við uppbyggingu slíkra garða. Byggingarefnið reyndist ekki æskilegt þar sem notast var við létt gosefni sem til staðar voru. Fyrstu garðarnir voru byggðir við Eldfell nálægt upptökum gossins en skömmu síðar var reistur varnargarður meðfram gömlu strandlínunni, sem nýttist ásamt hraunkælingu með sjó til að leiða hraunið frá bænum.²⁵

Gagnsemi varnargarða og hraunkælingar sannaði gildi sitt í Vestmannaeyjum og var því brugðið á sama ráð þegar Kröflueldar stóðu yfir. Til að lágmarka hugsanlegt tjón á íbúabyggð og mikilvægum mannvirkjum, svo sem kísilgúrverksmiðjunni, voru reistir varnargarðar á þremur stöðum, 4–5 metra háir. Ekki kom til þess að á þá reyndi.²⁵

Þótt eldgos hafi orðið nálægt mannabyggð á síðustu áratugum eru dauðsföll af völdum þeirra sem betur undan tekning. Í Heimaey má kannski segja að heppni hafi ráðið miklu um það að ekki varð mannskaði í byrjun gossins. Það varð íbúum Heimaeyjar til happs að vonsku veður gerði daginn fyrir gos, sem varð til þess að bátaflotinn lá við bryggju og gat flutt íbúa burt þegar um nóttina. Þó varð þar dauðsfall vegna gasmengunar meðan á gosinu stóð. Umbrotasvæðið í og við Grindavík var opið íbúum og starfsfólki á svæðinu frá Þorláksmessu 2023 en öðrum var óheimill aðgangur, og var það liður í að lágmarka áhættu á manntjóni. Þó varð þar dauðsfall í ársbyrjun 2024 þegar unnið var að sprungulagfæringum innan bæjarmarka. Svæðið var innan lokunarpósta fram til 21. október 2024 þegar almenníngi var aftur heimilaður aðgangur.

Það þykir ekki hyggilegt að treysta á heppnina eingöngu þegar mannlíf og viðurværi eru annars vegar og því hafa

stjórnvöld óskað eftir áhættumati vegna jarðskjálfta, eldgosa og annarrar jarðrænnar náttúruvár á Reykjanesskaga. Sú vinna hófst í ársbyrjun 2024 og er undir forystu Veðurstofu Íslands, en fjölbreyttur hópur sérfræðinga frá mörgum stofnunum og fyrirtækjum tekur þátt í verkefninu. Umbrotin á Reykjanesskaga hafa kallað á aðgerðir og endurskoðun á lögum og reglum um viðbrögð við náttúruhamförum, og er þetta ein umfangsmesta áskorun sem stjórnvöld hafa tekist á við hérlandis, einkum í ljósi þess að alls er óvíst hvenær umbrotunum lýkur.

Eldsumbrotin á Reykjanesskaga hafa þrátt fyrir allt reynst verkfræðingum, starfsmönnum almannavarna, lögreglu, hagaðilum og jarðvísindamönnum dýrmæt reynsla. Þegar ljóst varð að eldgos gæti orðið í Fagradalsfjallskerfinu var stofnaður vinnuhópur um varnir mikilvægra innviða á Reykjanesskaga með fulltrúum verkfræðistofanna Verkíss og Eflu, Háskóla Íslands og Veðurstofu Íslands. Hafist var handa við að greina

mikilvæga innviði á skaganum og keyra hraunhermunarlíkön til að meta hvort líkur væru á tjóni. Úr varð að varnargarðar voru reistir ofan Náttþaga til að kanna hvort fýsilegt væri að reyna að hemja hraunstraum eða leiða frá mikilvægum innviðum og vernda bæði Suðurstrandaveg og ljósleidara. Hraun rann yfir þessa garða og þeir sjást ekki í dag en þeir juku þekkingu um uppbyggingu og getu slíkra garða til að aftra hraunfræði eða leiða það frá innviðum.

Í nóvember 2023 varð vísindamönnum ljóst að til eldgoss gæti komið nærri orkuverinu við Svartsengi. Reynsla og undirbúningur viðbragðsaðila í kjölfar eldgosanna í Fagradalsfjallskerfi kom sér vel og var strax ráðist í byggingu varnargarða. Vinna hófst við varnargarða umhverfis orkuverið fáeinum dögum eftir lagasetningu um vernd mikilvægra innviða 13. nóvember. Til mikilvægra innviða teljast heitt og kalt vatn, rafmagn, fjarskipti, vegir, borholur, fráveita, orkuver og sér í lagi íbúabyggðin sem þarf á þessari þjónustu að halda, en segja má að orkuverið sé lífæð meirihluta byggðanna á Reykjanesskaga. Síðan þá hafa greiningar verið unnar á innviðum og stefnur og varnaraðgerðir mótaðar með tilliti til bætts viðbragðs og aukins áfallapöls. Umfangsmesti þáttur varnanna er bygging varnargarðanna sem hafa þegar komið í veg fyrir mikið tjón. Vinna við varnargarða er rýnd á meðan á hverjum atburði stendur og að atburði loknum til að meta varnargetu þeirra, og þeir hækkaðir og breikkaðir ef þurfa þykir. Jafnframt hafa stjórnvöld keypt búnað til hraunkælingar við varnargarða eða þar sem þurfa þykir, og var gripið til slíkrar hraunkælingar þegar hraunspýja rann yfir varnargarðinn norðaustan við Svartsengi í júní 2024 (7. mynd)²⁶ og aftur þegar hraun náði hæð varnargarðanna norðan Bláa lónsins í nóvember 2024.

Í lok desember 2023 hófst vinna við gerð varnargarða norðan Grindavíkur, rétt í tæka tíð fyrir gosið við Hagafell,

Sundhnúksgríga II. Vinna við varnargarð austan Grindavíkur var vel á veg komin þegar hraun rann á ný og lagðist að nýju varnargörðunum í febrúar. Nú er búið að reisa varnargarða til að verja Grindavík og þá innviði á sunnanverðum Reykjanesskaga sem taldir voru í hættu. Vinna við þá heldur að einhverju leyti áfram, meðal annars undirbúningur við hækkan þeirra, sem einkum felst í að safna saman tiltæku efni. Til að taka tillit til legu varnargarðanna og nýrunnins hrauns hefur Vegagerðin þurft að breyta vegakerfi svæðisins lítilllega, frá Reykjanesbraut til Grindavíkur. Að auki er hugað að vörn Reykjanesbrautar, Voga og mikilvægra innviða norðan megin á skaganum þótt engar ákvarðanir hafi enn verið teknar um þær.²⁶

SAMANTEKT

Nýtt tímabil eldvirkni er hafið á Reykjanesskaga eftir tæplega átta alda hlé. Óvíst er á þessari stundu hve lengi það varir, en gossaga skagans bendir til að aldri líði áður en þessu tímabili lýkur. Miðað við söguna má búast við að á næstu öldum komi öðru hverju nokkur ár með tíðum gosum á sama kerfinu, eins og við sjáum nú, eða að gos verði með nokkurra missera eða ára millibili yfir nokkra áratugi. Oft er talað um *elda* þegar gos verða í eldstövakkerfi með stuttu millibili í ár eða áratugi. Jafnframt er líklegt að milli gosa líði margir áratugir, jafnvel öld. Frá árinu 2021 hefur nú gosið 10 sinnum á Reykjanesskaga, þar af sjö sinnum í næsta nágrenni við Grindavík og orkuverinu Svartsengi, og er óljóst hvenær eðlileg búseta verður aftur möguleg í bænum. Samstillt átak þvert á samfélagið er forsenda þess að hægt sé að lifa og starfa með ókyrra eldstöð í næsta nágrenni. Af hverjum atburði er dreginn lærdómur á ýmsum sviðum. Það bætir þekkingu og viðbrögð og nýtist til að vara við hættum, minnka tjónnæmi samfélagsins og yfirfæra þekkinguna á sambærilega staði.

ABSTRACT

The Reykjanes Peninsula has entered a phase of volcanic activity. Eruptions have already occurred in two volcanic systems, Fagradalsfjall, which had remained quiescent for more than 6.000 years, and Svartsengi, which last erupted around 2.400 years ago. Since March 2021, repeated eruptions have taken place in these systems and attracted both admiration and created significant challenges. The precursors to these eruptions are now well understood, and improved knowledge has strengthened the response from scientists and other responders, particularly as the eruption warning times have often been very short – sometimes less than an hour, as in the case of the Svartsengi volcanic system. The proximity of these eruptions to populated areas and critical infrastructure has raised concerns about regional planning, particularly regarding the construct of residences and essential infrastructure near active volcanic zones, as well as strategies for protecting such infrastructure from volcanic hazards. Seismicity and deformation have caused considerable damage to Grindavík's infrastructure, and it remains uncertain when the town will be rebuilt to its previous state. Geological evidence suggest that the next centuries will be characterized by frequent eruptions in the Reykjanes Peninsula, alternating with periods of several decades without volcanic activity. Although volcanic eruptions are well known to Icelanders, so far little has been done to mitigate volcanic hazards and increase societal resilience. In the wake of the ongoing volcanic eruptions, the government has established a working group to discuss and advise on infrastructure protection and has passed a legislation to allow the construction of lava protection barriers. The recent eruptions on the Reykjanes Peninsula have changed society's view of volcanic eruptions and serve as a reminder that living in the vicinity of active volcanoes requires forethought.



ÞAKKIR

Umbrotin á Reykjanesskaga hafa leitt saman stóran hóp vísindamanna og annarra sérfræðinga frá mörgum stofnunum. Þessi hópur hefur hist reglulega til að leggja fram og túlka í sameiningu fjölbætt gögn og líkön, líklega aðdraganda og tímalínur, yfirvofandi hættur og aukna vöktunarþörf. Þessi grein er samantekt úr mikilvægu samstarfi undir forystu Jarðvæðingaráðs Veðurstofu Íslands með þátttöku sérfræðinga Jarðvísindastofnunar Háskólans, myndmælinga- og kortlagningasérfræðinga Náttúrufræðistofnunar (áður Landmælinga Íslands og Náttúrufræðistofnunar Íslands), Almannafræðingurinn, Verkis, Eflu og HS Orku.

Jarðvæðingaráðs Veðurstofunnar: Benedikt Halldórsson, Benedikt G. Ófeigsson, Birta Líf Kristinsdóttir, Bogi Brynjar Björnsson, Chiara Lanzi, Esther H. Jensen, Gunnar B. Guðmundsson, Halldór Björnsson, Haukur Hauksson, Helga Ívarsdóttir, Hermann Arngrímsson, Hildur María Friðriksdóttir, Kristín Jónsdóttir, Kristín Vogfjörð, María F. Garces, Martina Stefani, Matthew J. Roberts, Melissa A. Pfeffer, Pála Hallgrímsdóttir, Vincent Drouin, William Moreland, Sara Barsotti, Sigurlaug Hjaltadóttir, Talfan Barnie; og náttúruvársérfræðingarnir Bjarki Kaldalóns Friis, Bryndís Ýr Gísladóttir, Böðvar Sveinsson, Elísabet Pálmadóttir, Einar Hjörleifsson, Ingibjörg Andrea Bergþórsdóttir, Jóhanna Malen Skúladóttir, Kristín Elísa Guðmundsdóttir, Lovísa Mjöll Guðmundsdóttir, Minney Sigurðardóttir, Salóme Jörunn Bernharðsdóttir, Sigríður Kristjánsdóttir, Sigríður Magnea Óskarsdóttir og Steinunn Helgadóttir

Almannavarnir: Björn Oddsson, Hjördis Guðmundsdóttir, Sólberg S. Bjarnason og Viðir Reynisson.

Jarðvísindastofnun Háskólans: Alberto Caracciolo, Andri Stefánsson, Ármann Höskuldsson, Enikő Bali, Freysteinn Sigmundsson, Gregory Paul De Pascale, Halldór Geirsson, Olgeir Sigmarsson, Páll Einarsson, Rikke Pedersen, Simon W. Matthews, Sæmundur A. Halldórsson, Þorvaldur Þórðarson, Þórdís Högnadóttir.

Háskólinn í Reykjavík: Vala Hjörleifsdóttir.

Landmælingar Íslands: Guðmundur Valsson.

Verkis: Ari Guðmundsson, Emília Sól Guðgeirsdóttir og Hörn Hrafnisdóttir.

Efla: Jón Haukur Steingrímsson.

HS Orka: Alma Gytha Huntingdon-Williams, Catherine Rachael Gallagher og Lilja Magnúsdóttir.

HEIMILDIR

- Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson. 2013. Reykjanesskagi. Bls. 379–401 í: Náttúruvá á Íslandi, eldgos og jarðskjálftar (ritstj. Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson og Bjarni Bessason). Viðlagatrygging Íslands og Háskólaútgáfan, Reykjavík.
- Kristján Sæmundsson, Magnús Á. Sigurgeirsson & Guðmundur Ómar Friðleifsson. 2020. Geology and structure of the Reykjanes volcanic system, Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 391. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(20\)30005-3](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(20)30005-3)
- Páll Einarsson. 2008. Plate boundaries, rifts and transforms in Iceland. *Jökull* 58, bls. 35–58.
- Sigrún Hreinsdóttir, Páll Einarsson & Freysteinn Sigmundsson. 2001. Crustal deformation at the oblique spreading Reykjanes Peninsula, SW Iceland: GPS measurements from 1993–1998. *Journal of Geophysical Research* 106(B7). 13803–13816.
- Kristján Sæmundsson. 1995. Um aldur stóru dyngnanna á utanverðum Reykjanesskaga. Bls. 165–72 í: Eyjar í Eldhafi. Afmælisrit til heiðurs Jóni Jónssyni jarðfræðingi (ritstj. Björn Hróarsson, Dagur Jónsson, Sigurður Sveinn Jónsson). Gott mál, Reykjavík.
- Hreggviður Norðdahl & Halldór G. Pétursson. 2005. Relative sea-level changes in Iceland: New aspect of the Weichselian deglaciation of Iceland. Bls. 25–78 í: Iceland – Modern processes and past environments (ritstj. Caseldine, C., Russel, A., Jörunn Harðardóttir, Óskar Knudsen). Elsevier, Amsterdam. [https://doi.org/10.1016/S1571-0866\(05\)80005-3](https://doi.org/10.1016/S1571-0866(05)80005-3)

- Magnús Á. Sigurgeirsson. 1992. Gjókumyndanir á Reykjanesi. MS-ritgerð í jarðfræði við Háskóla Íslands. 114 bls.
- Magnús Á. Sigurgeirsson. 1995. Miðaldalagið. Bls. 189–198 í: Eyjar í eldhafi. Afmælisrit til heiðurs Jóni Jónssyni jarðfræðingi (ritstj. Björn Hróarsson, Dagur Jónsson, Sigurður Sveinn Jónsson). Gott mál, Reykjavík. hf., bls. 189–198.
- Vígfús Eyjólfsson. 1998. Kortlagning sprungna og nútíma eldvarpa í Fagradalsfjalli á vestanverðum Reykjanesskaga. BS-ritgerð í jarðfræði við Háskóla Íslands. 70 bls.
- Greenfield, T., Winder, T., Rawlinson, N., MacLennan, J., White, R.S., Þorbjörg Ágústsdóttir, Bacon, C.A., Bryndís Brandsdóttir, Eibl, E.P.S., Glastonbury-Southern, E., Egill Á. Guðnason, Gylfi Páll Hersir & Horálek, J. 2022. Deep long period seismicity preceding and during the 2021 Fagradalsfjall eruption, Iceland. *Bulletin of Volcanology* 84, 101. <https://doi.org/10.1007/s00445-022-01603-2>
- Parks, M., Freysteinn Sigmundsson, Barsotti, S., Halldór Geirsson, Kristín S. Vogfjörð, Benedikt Ófeigsson & Páll Einarsson. 2024. Tímabil eldvirkni og jarðskorpuhreyfinga á Reykjanesskaganum frá 2019: Yfirlit og hættur. Á vefsetri Veðurstofu Íslands. Slóð (sótt 27.11. 2024): <https://www.vedur.is/eldfjoll/eldgos-a-reykjanesi/>
- Freysteinn Sigmundsson, Parks, M., Hooper, A., Halldór Geirsson, Kristín S. Vogfjörð, Drouin, V., Benedikt G. Ófeigsson, Sigrún Hreinsdóttir, Sigurlaug Hjaltadóttir, Kristín Jónsdóttir, Páll Einarsson, Barsotti, S., Horálek, J. & Þorbjörg Ágústsdóttir. 2022. Deformation and seismicity decline before the 2021 Fagradalsfjall eruption. *Nature* 609. 523–528.
- Ásta R. Hjartardóttir, Dürig, T., Parks, M., Drouin, V., Vígfús Eyjólfsson, Reynolds, H., Páll Einarsson, Esther H. Jensen, Birgir V. Óskarsson, Belart, J.M.C., Ruch, J., Gies, N.B. & Pedersen, G.B.M. 2023. Pre-existing fractures and eruptive vent openings during the 2021 Fagradalsfjall eruption, Iceland. *Bulletin of Volcanology* 85, 56. <https://doi.org/10.1007/s00445-023-01670-z>
- Soldati, A., Dingwell, D.B., Þorvaldur Þórðarson, Ármann Höskuldsson, Ingibjörg Jónsdóttir, Moreland, W.M., Jóna S. Pálmadóttir, Gallagher, C.R., Helga K. Torfadóttir, Licari J.G., Þórunn Kara Valdimarsdóttir, Lilja B. Pétursdóttir & Askew, R.A. 2024. A lower bound on the rheological evolution of magma in the 2021 Fagradalsfjall fires. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 451. 108098 <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108098>.
- Pedersen, G.B.M., Belart, J.M.C., Birgir V. Óskarsson, Magnús Tumi Guðmundsson, Gies, N., Þórdís Högnadóttir, Ásta Rut Hjartardóttir, Pinel, V., Berthier, E., Dürig, T., Reynolds, H.I., Hamilton, C.W., Guðmundur Valsson, Páll Einarsson, Ben-Yehoua, D., Andri Gunnarsson & Björn Oddsson. 2022. Volume, effusion rate, and lava transport during the 2021 Fagradalsfjall eruption: Results from near real-time photogrammetric monitoring. *Geophysical Research Letters*, 49. <https://doi.org/10.1029/2021GL097125>
- Sæmundur A. Halldórsson, Marshall, E.W., Caracciolo, A., Matthews, S., Bali, E., Rasmussen, M.B., Ranta, E., Jóhann Gunnarsson Robin, Guðmundur H. Guðfinnsson, Olgeir Sigmundsson, MacLennan, J., Jackson, M.G., Whitehouse, M.J., Jeon, H., van der Meer, Q.H.A., Mibei, G.K., Kalliokoski, M.H., Repczynka, M.H., Rebekka Hlín Rúnarsdóttir, Gylfi Sigurðsson, Pfeffer, M.A., Scott, S.W., Ríkey Kjartansdóttir, Kleine, B.I., Oppenheimer, C., Aiuppa, A., Ilyinskaya, E., Bitetto, M., Giudice, G. & Andri Stefánsson. 2022. Rapid shifting of a deep magmatic source at Fagradalsfjall volcano, Iceland. *Nature* 609. 529–534.
- Hutchinson, K.J. 2023. The identification and evolution of lava tubes within the 2021 Fagradalsfjall lava flow field as a potential planetary analogue. MS-ritgerð í jarðfræði við Háskóla Íslands. 116 bls.
- Parks, M., Freysteinn Sigmundsson, Drouin, V., Ásta R. Hjartardóttir, Halldór Geirsson, Hooper, A., Kristín S. Vogfjörð, Benedikt G. Ófeigsson, Sigrún Hreinsdóttir, Esther H. Jensen, Páll Einarsson, Barsotti, S. & Hildur M. Friðriksdóttir. 2023. Deformation, seismicity, and monitoring response preceding and during the 2022 Fagradalsfjall eruption, Iceland. *Bulletin of Volcanology* 85. 60. <https://doi.org/10.1007/s00445-023-01671-y>
- Gunnarson, S.R., Belart, J.M.C., Birgir V. Óskarsson, Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir, Pedersen, G.B.M., Dürig, T. & Pinel, V. 2022. Automated processing of aerial imagery for geohazards monitoring: Results from Fagradalsfjall eruption, SW Iceland, August 2022. (I.O.) . Zenodo. doi:10.5281/zenodo.7701194, <https://zenodo.org/records/7701194>
- Pedersen, G.B.M., Belart, J.M.C., Birgir V. Óskarsson, Gunnarson, S.R., Magnús Tumi Guðmundsson, Reynolds, H.I., Guðmundur Valsson, Þórdís Högnadóttir, Pinel, V., Parks, M.M., Drouin, V., Askew, R.A., Dürig, T. & Ragnar Þrastarson. 2024. Volume, effusion rates and lava hazards of the 2021, 2022 and 2023 Reykjanes fires: Lessons learned from near real-time photogrammetric monitoring. EGU General Assembly 2024. Vín, 14.–19. apríl 2024. EGU24-10724. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-10724>

21. Freysteinn Sigmundsson, Parks, M., Halldór Geirsson, Hooper, A., Drouin, V., Kristín Vogfjörð, Benedikt G. Ófeigsson, Greiner, S.H.M., Yang, Y., Lanzi, C., De Pascale, G.P., Kristín Jónsdóttir, Sigrún Hreinsdóttir, Tolpekin, V., Hildur M. Friðriksdóttir, Páll Einarsson & Barsotti, S. 2024. Fracturing and tectonic stress drive ultrarapid magma flow into dikes. *Science* 383. 1228–1235. <https://doi.org/10.1126/science.adn2838>
22. Pfeffer, M.A., Barsotti, S., Bergrún A. Óladóttir, Esther H. Jensen, Pagneux, E.P., Bogi B. Björnsson, Guðrún Jóhannesdóttir, Ármann Höskuldsson, Sandri, L., Selva, J., Tarquini, S., de' Micheli Vitturi, M., Ingibjörg Jónsdóttir, Davíð Egilson, Sigrún Karlsdóttir, Roberts, M.J., Kristín Vogfjörð. 2021. Forgreinng á hættu vegna goss á eldstöðvakerfi Vestmannaeyja. Frummat á áhrifum hraunrennslis og öskufalls í Heimaey. Veðurstofa Íslands (VÍ 2021-003), Reykjavík. 60 bls. Á vefsetri Veðurstofunnar. Slóð (sótt 27.11. 2024): https://www.vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2021/VI_2021_003.pdf
23. Bergrún A. Óladóttir, Pfeffer, M.A., Barsotti, S. & Bogi B. Björnsson. 2023. Langtímaheittum Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns: Hrauna-, gasmengungar- og gjóskufallsvá. Veðurstofa Íslands, Reykjavík. Á vefsetri Veðurstofunnar. Slóð (sótt 27.11. 2024): https://vedur.is/media/vedurstofan-utgafa-2023/Reykjanes_BAO_ofl_VI_2023_003.pdf
24. Páll Einarsson. 1991. Umbrotin við Kröflu 1975–1989. Bls. 97–139 í: Náttúra Mývatns (ritstj. Arnþór Garðarsson, Árni Einarsson. Hið íslenska náttúrufræðifélag, Reykjavík.
25. Fjola G. Sigtryggisdóttir. 2021. Suðurnes – hermun flóða og varnartillögur. Minnisblað, unnið fyrir Almannavarnir. Verkis (nr. 214492), Reykjavík. 59 bls.
26. Þingskjal nr. 331/2024–2025. Skýrsla forsætisráðherra um helstu verkefni stjórnvalda og mat á framtíðarhorfum vegna jarðhræringa og eldsumbrota á Reykjanesskaga.
27. Kristján Sæmundsson & Haukur Jóhannesson. 2006. Varðar líkur á hraunrennslis og öskufalli milli Hafnarfjarðar og Keflavíkur. Íslenskar orkurannsóknir (ÍSÖR-06006), óútgefin skýrsla, Reykjavík. 20 bls.
28. Magnús Á. Sigurgeirsson. 2004. Þáttur úr gossögu Reykjaness. Náttúrufræðingurinn 72(1–2). 21–28.
29. Magnús Á. Sigurgeirsson & Sigmundur Einarsson 2019. Reykjaness og Svartsengi. Í: Íslensk eldfjallavefsíða (ritstj. Bergrún A. Óladóttir, Guðrún Larsen og Magnús Tumi Guðmundsson). Vefsíða á vegum Veðurstofu Íslands, Háskóla Íslands og Almannavarnadeildar Ríkislögreglustjóra. Slóð: <http://islandskeldfjoll.is/?volcano=REY>
30. Kristján Sæmundsson, Haukur Jóhannesson, Árni Hjartarson, Sigurður Garðar Kristinsson & Magnús Á. Sigurgeirsson. 2010. Jarðfræðikort af Suðvesturlandi 1:100.000. Íslenskar orkurannsóknir, Reykjavík.
31. Páll Imsland & Bjarni Richter. 2020/1997. Eldgos og hraunflóðavá við Grindavík. Óútgefin skýrsla Reykjavík. 82 bls.
32. Jón Jónsson. 1978. Jarðfræðikort af Reykjanesskaga. I. Skýringar við jarðfræðikort. II. Jarðfræðikort. Orkustofnun (OS JHD 7831), Reykjavík.
33. Sigmundur Einarsson, Haukur Jóhannesson & Árný Erla Sveinbjörnsdóttir. 1991. Krísvíkureldar II. Kapelluhraun og gátan um aldur Hellnahrauns. Jökull 41. 61–80.
34. Kristján Sæmundsson, Magnús Á. Sigurgeirsson, Árni Hjartarson, Ingibjörg Kaldal, Sigurður Garðar Kristinsson & Skúli Víkingsson. 2016. Jarðfræðikort af Suðvesturlandi. 1:100 000. 2. útgáfa. Íslenskar orkurannsóknir, Reykjavík.
35. Magnús Tumi Guðmundsson, Belart, J.M.C., Olgeir Sigmarsson, Jóhann Gunnarsson Robin, Guðmundur H. Guðfinnsson, Sæmundur A. Halldórsson & Þórdís Högnadóttir. 2022, 30.9. Eldgos í Meradölum. Upphafl. á vefsetri Jarðvísindastofnunar Háskóla Íslands. Slóð (sótt 28.11 2024): https://vefsafn.is/is/20221001114937/http://jardvis.hi.is/eldgos_i_meradolum
36. Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir, Sæmundur A. Halldórsson, Olgeir Sigmarsson, Jóhann Gunnarsson Robin, Andri Stefánsson, Scott, S., Reynolds, H., Birgir V. Óskarsson, Askew, R. og Belart, J.M.C. 2023, 1.8. Eldgos við Litla-Hrút, niðurstöður mælinga 31. júlí. Upphafl. á vefsetri Jarðvísindastofnunar Háskóla Íslands. Slóð (sótt 28.11. 2014): <https://vefsafn.is/is/20240303192507/>, <https://jardvis.hi.is/is/eldgos-vid-litla-hrut-nidurstodur-maelinga-31-juli>
37. Magnús Á. Sigurgeirsson. 1995. Yngra Stampagosið á Reykjanesi. Náttúrufræðingurinn 64(3). 211–230.
38. Kristján Sæmundsson & Magnús Á. Sigurgeirsson. 2015. Flugvallarstæði með tilliti til sprunguvirkni og hraunrennslis. Íslenskar orkurannsóknir (ÍSÖR-15008), Reykjavík. 16 bls.

UM HÖFUNDA



Ríkey Júlíusdóttir (f. 1984) lauk meistaraþráðu í jarðfræði frá Háskóla Íslands með áherslu á jökla- og jarðfræði. Hún starfar á Veðurstofu Íslands þar sem hún fer m.a. með verkefnastjórn, s.s. evrópuverkefnisins EUROVOLC (2018–2021) og umfangsmiklu, innlendu innviðaverkefni um eldfjallagögn sem enn stendur yfir (EPOS Ísland). Þá leiðir hún tæknilegt gagnasamstarf um eldfjallagögn innan evrópsku innviðasamtakanna EPOS ERIC.



Bergrún Arna Óladóttir (f. 1978) lauk doktorsprófi í gjóskulagafræðum frá Háskóla Íslands og Blaise Pascal háskóla, Clermont Ferrand í Frakklandi árið 2009. Hún starfar nú á Veðurstofu Íslands við gerð hættu- og áhættumats vegna eldgosa.

PÓST- OG NETFÖNG HÖFUNDA / AUTHORS' ADDRESSES

Ríkey Júlíusdóttir, 1984
jarðfræðingur, Veðurstofa Íslands
ríkey@vedur.is

Bergrún Arna Óladóttir, 1978
jarðfræðingur, Veðurstofa Íslands
bergrun@vedur.is

Magnús Tumi Guðmundsson, 1961
jarðeðlisfræðingur, Jarðvísindastofnun Háskólans
mtg@hi.is

Birgir Vilhelm Óskarsson, 1982
jarðfræðingur, Náttúrufræðistofnun
birgir.voskarsson@natt.is

Sydney Gunnarson, 1990
jarðfræðingur, Náttúrufræðistofnun
sydney.r.gunnarson@natt.is

Joaquín Muñoz-Cobo Belart, 1989
jarðeðlisfræðingur, Náttúrufræðistofnun
joaquin.m.belart@natt.is

Gro B. M. Pedersen, 1982
eldfjallafræðingur, Veðurstofa Íslands
gropedersen@vedur.is

Ragnar Heiðar Þrastarson, 1980
landfræðingur, Veðurstofa Íslands
rhth@vedur.is

Einar Bessi Gestsson, 1991
jarðfræðingur, Veðurstofa Íslands
einar.bessi@vedur.is

Ásta Rut Hjartardóttir, 1978
jarðfræðingur, Veðurstofa Íslands
astahj@vedur.is

Michelle M. Parks, 1974
eldfjallafræðingur, Veðurstofa Íslands
michelle@vedur.is

Guðbjörg Ósk Jónsdóttir, Benóný Jónsson,
Magnús Jóhannsson og Arnar Pálsson

Uppeldissvæði laxfiska í Þingvallavatni og tengdum ám

UPPELDISSVÆÐI SEIÐA og ungra fiska veita þeim athvarf og fæðu og eru því mikilvæg fyrir líf einstaklingsins, stofninn og tegundina sem heild. Í Þingvallavatni lifa tvær tegundir af ætt laxfiska, urriði (*Salmo trutta*) og bleikja (*Salvelinus alpinus*), sem á íslensku hafa samheitið silungur. Hafa umfangsmiklar rannsóknir verið stundaðar á fullorðnum einstaklingum þessara tegunda, en minna farið fyrir athugunum á seiða- og ungstigi tegundanna. Vegna mikilvægis uppeldissvæða fyrir fiskana og þýðingu þeirra fyrir líffræðilegan fjölbreytileika var ákveðið að leitast með rannsókn við að varpa ljósi á dreifingu og þéttleika bleikju og urriðaseiða í fjöruvist Þingvallavatns og straumvötnum sem tengjast vatninu. Spurt var:

- 1) Hvar í vatninu og tengdum ám finnast seiði þessara tegunda?
- 2) Hefur þéttleiki og dreifing seiða bleikju og/ eða urriða breyst á síðustu tuttugu árum?
- 3) Er tenging milli umhverfisaðstæðna (ólífrænna (e. abiotic) og lífrænna (e. biotic) þátta) og tilvistar seiða?

Greind voru gögn úr vöktun Veiðimálastofnunar (nú Haf-rannsóknastofnunar) í Þingvallavatni og nærliggjandi ám frá 2000 til 2021. Sumarið 2022 voru tíu svæði í Þingvallavatni könnuð, fiskar veiddir og mældir og umhverfisaðstæður kannaðar. Helstu niðurstöður eru að tegundirnar nýta ólík svæði. Urriðaseiði finnast helst í nærliggjandi ám og hefur þéttleiki aukist frá 2000 til 2021. Bleikjan er fyrst og fremst í vatninu sjálfu og hefur þéttleiki hennar lítið breyst, eða jafnvel aðeins dvínað. Árið 2022 fundust seiði á sex mögulegum uppeldissvæðum í Þingvallavatni. Á fjórum þeirra var bleikjan í miklum meirihluta en á tveimur var það urriðinn. Tegundirnar sköruðust lítið. Gróður á strandlengju var eini umhverfisþátturinn sem virtist hafa áhrif á það hvort seiði fundust. Í framhaldi af þessari rannsókn væri forvitnilegt að kanna nýtingu mismunandi afbrigða bleikju og arfgerða urriðans á ólíkum uppeldissvæðum og kanna samspil umhverfisþátta og gena við þroskun fullorðinna fiska og ýmsa eiginleika þeirra, svo sem stærð og fæðu- og búsvæðaatferli.



Net dregin úr Þingvallavatni. – Nets pulled from Lake Þingvallavatn. Ljós./Photo: Arnar Pálsson

UPPELDISSVÆÐI FISKA OG MIKILVÆGI ÞEIRRA

Mörg dýr skipta um búsvæði eftir æviskeiðum eða með árstíðarbundnu fari. Til dæmis hrygna sumir fiskar á tilteknum svæðum en taka út vöxt á öðrum svæðum.¹ Hér á landi hrygna laxfiskar, þ.e. urriði, bleikja og lax (*Salmo salar*), í ám og lækjum en ganga til vatna eða hafs þegar ákveðinni stærð er náð. Laxfiskar hrygna einnig í stöðuvötnum, svo sem urriðar í Veðivötnum, og vatnableikjur nýta hrygningarstöðvar í vötnum. Hrygning urriða er þó háðari rennandi vatni en hjá bleikju sem hrygnir jöfnum höndum í stöðu- og straumvatni. Í vötnum sem í eru bæði urriði og bleikja er skörun möguleg á hrygningarsvæðum og ef til vill einnig á uppeldissvæðum seiða.

Uppeldissvæði eru svæði sem veita athvarf, fæðu og hagstæðar aðstæður fyrir seiði margra fiskitegunda, og skar-

ast stundum, en ekki alltaf, við hrygningarsvæði. Samkvæmt skilgreiningu nýta seiði slík uppeldissvæði og eru þau því nauðsynleg fyrir afkomu bæði stofna og tegunda.^{2,3} Uppeldissvæði fiska eru því mikilvæg fyrir vistkerfi heimsins, menningu og hagkerfi.⁴ Góð uppeldissvæði auka vöxt og lífslíkur seiða og geta svæðin því haft mikil áhrif á fjölda fullorðna einstaklinga í næstu kynslóð.^{2,3} Rannsóknir í sjó hafa sýnt að verndun búsvæða með mikinn seiða-fjölda eða lífþyngd getur haft jákvæð áhrif á viðkomandi fiskistofna með því að draga úr dánartíðni seiðanna.^{5,6} Heppileg hlutfallsleg stærð hrygningar- og uppeldissvæða, til dæmis miðað við svæði sem stálpaðir og fullorðnir fiskar sömu tegundar nýta, getur stuðlað að hámarks stofnstærð. Í ferskvatnsvistkerfum sést að vötn eða árkerfi með takmarkaðar hrygningar- eða uppeldisstöðvar geta ekki borið stóra stofna,

en einnig að stór uppeldissvæði geta staðið undir stórum stofnum og jafnvel ýtt undir hraðari þróun eða aðgreiningu í tvo eða fleiri undirstofna og afbrigði.^{7,8} Uppeldissvæði eru mikilvæg fyrir myndun og viðhald líffræðilegs fjölbreytileika, og einnig fyrir fjölbreytileika innan tegunda.⁹ Í stöðuvatninu Kronotskoje á Kamtsjatkaskaga lifa sjö samsvæða afbrigði kyrrahafsbleikju (*Salvelinus malma*), sem eru mjög fjölbreytileg í útliti og háttum.⁹ Rannsóknir benda til mögulegra tengsla milli svipfarsbreytileika meðal fullorðinna einstaklinga afbrigðanna og breytileika í umhverfispáttum á uppeldissvæðum hvers afbrigðis.⁹ Hérlandis hafa flest samsvæða afbrigði bleikju fundist í Þingvallavatni, fjögur talsins, dvergbleikja, kuðungableikja, murta og sílableikja, mjög ólík í útliti og lífsháttum og hafa aðlagast mismunandi vistum í vatninu.^{8,10–12}

BLEIKJAN OG URRIÐINN Í ÞINGVALLAVATNI

Í Þingvallavatni lifa sem áður segir tvær tegundir af ætt laxfiska, bleikja og urriði. Hornsili er þriðja fisktegundin. Bleikjan hrygnir í vatninu en urriðinn nýtir að mestu svæði í straumvötnum sem í það renna til hrygningar og uppeldis, en áður hrygndi hann einnig í útfalli vatnsins.¹³ Bleikjan skiptist í fjögur ólík afbrigði, en undirgerðir þekkjast ekki meðal urriðanna. Rannsókn bendir þó til erfðaáhrifa frá stofni í Þverá sem rennur í Ölfusvatnsá og þaðan í vatnið (sjá umræður).¹⁴

Bleikjan finnst nyrst af tegundum ferskvatnsfiska. Hún lifir um allt norðurhvel jarðar, helst í straumvötnum tengdum hafi, og í stöðuvötnum og lækjum.¹ Samsvæða afbrigði bleikju í sama stöðuvatni finnast víða, svo sem í Noregi,¹⁵ Síberíu,¹⁶ á Grænlandi¹⁷ og hérlandis. Algengast er að finna tvö afbrigði saman en dæmi um fleiri þekkjast,¹⁷ líkt og í Þingvallavatni þar sem afbrigðin eru fjögur og mjög ólík sem áður segir. Á Íslandi finnast bæði sjóbleikjur (göngu- stofnar) og staðbundnir stofnar vatnableikja.^{18,19} Bæði kynþroska og ókynþroska einstaklingar sjóbleikja stunda árstíðarbundið far milli ferskvatnskerfa og strandsvæða, dveljast í ám og stöðuvötnum yfir veturinn og hrygna þar.^{1,18,20} Vatnableikjur geta á hinn bóginn sýnt far innan stöðuvatns, sem stundum tengist nýtingu ólíkra búsvæða eftir stærðar- eða aldurshópum, og í öðrum tilfellum í tengd straumvötn.¹ Almennt byrja seiði bæði sjó- og vatnableikju að éta botnlæga fæðu en yfirleitt skipta þau yfir í sviflæga fæðu, svo sem sviflæga hryggleysingja eða aðra fiska, þegar þau stálpast.¹ Þó eru þess mörg dæmi að stofnar vatnableikju halda sig meira eða minna við botnlæga fæðu allt sitt líf,¹ svo sem kuðungableikjan og dvergbleikjan í Þingvallavatni.^{11,12,21}

Náttúruleg heimkynni urriða eru við norðanvert Atlantshaf. Talið er að hann hafi upprunalega lifað í Evrópu, Norður-Afríku og vesturhluta Asíu, og einnig hér á Íslandi.²² Menn hafa flutt urriðastofna til að minnsta kosti 24 landa utan Evrópu og er urriðinn því talinn hafa hnattlæga dreifingu.^{1,13} Ein af ástæðunum fyrir góðum árangri urriðans á framandi slóðum er mikið umhverfisþol (e. environmental tolerance).¹ Hér á landi finnast bæði urriðastofnar sem ganga til hafs (sjóbirtingur) og stofnar sem eru allan lífsferilinn í ferskvatni og eru staðbundnir (lækjalonta, straumurriði og vatnaurriði).^{13,18} Almennt hrygna urriðar í grjót- og malarbotn í ám en til eru líka urriðastofnar sem hrygna í stöðuvötnum.^{1,13} Seiði byrja á því að nærast að mestu á botnlægri bráð og gera það sum allt æviskeiðið²³ en önnur skipta yfir í sviflæga fæðu þegar þau fullorðnast. Í ferskvatni er algengast að urriðinn fari ekki að éta fisk fyrr en líkamslengd hans fer yfir um 15 cm.¹

Þingvallavatn er stærsta stöðuvatn Íslands, um 83 km² að yfirborðsflatarmáli, meðaldýpi ~34 m en dýpst ~114 m.²⁴ Fiskur gengur ekki í vatnið úr sjó, og hefur ekki gert í nokkur þúsund ár vegna ófiskgengra fossa, sér í lagi vegna Írafoss sem var stærstur þeirra. Við Írafoss og síðar við Ljósafoss og útfall Þingvallavatns í Efra-Sog voru reistar stíflur og byggðar virkjanir á sjötta áratug síðustu aldar og koma þær einnig í veg fyrir að fiskur gangi úr sjó í Þingvallavatn. Fiskstofnar í Þingvallavatni og tengdum ám ofan Steingrímsstöðvar eru því landluktir og staðbundnir. Vel þekkt hrygningarsvæði kuðungableikju í vatninu eru í Ólafsdreppi og murtu við Mjóanes og Svínanes.^{10,25} Nú á tímum virðist urriðinn hrygna helst í Öxará, Ölfusvatnsá og Villingavatnsá, sem allar renna í Þingvallavatn.²⁶⁻³⁰ Áður fyrr var mikilvægt hrygningarsvæði urriðans við útfall vatnsins í Efra-Sog.^{13,31} Tvö af

bleikjuafbrigðunum fjórum í vatninu eru botnlæg, dvergbleikjan og kuðungableikjan, og éta helst vatnabobba (*Radix peregra*) á strandgrunninu, en hin tvö eru sviflæg. Murtan er jafnt úti í vatnsbolnum og á strandgrunni þar sem hún heldur sig mest ofan við botninn og étur aðallega smábert dýrasvif (krabbadýr). Síableikjan lifir mest á hornsílum (*Gasterosteus aculeatus*) sem hún finnur aðallega í kransþörungabelti á 10–20 m dýpi á strandgrunninu.^{7,11,12,21} Urriðinn er ásamt síableikjunni helsta fiskiætan í vatninu og étur bæði hornsíli og litla laxfiska, þar á meðal murtu.^{12,21,31} Urriðastofninn í Þingvallavatni hrundi um miðja 20. öld í kjölfar stíflugerðar í Efra-Sogi, sem eyðilagði hið mikilvæga hrygningarsvæði við útfallið.^{31,32,33} Hrygning og nýliðun urriða í Öxará jókst eftir að urriðaseiðum var sleppt í Þingvallavatn árin 2000 til 2004.³⁴ Nýlegar rannsóknir og vöktun benda til þess að urriði sé núna í mikilli uppsveiflu í vatninu en bleikju fari fækkanði³⁵ (Sigurður S. Snorrason, óbirtar niðurstöður). Ýmsar stofnanir og fyrirtæki hafa annast vöktun á vatninu, þar á meðal Hafrannsóknastofnun (áður Veidimálastofnun), Náttúrufræðistofa Kópavogs, Líffræðistofnun Háskóla Íslands og Laxfiskar ehf. Starfsmenn Náttúrustofunnar hafa vakt að hrygningarstofn murtunnar árlega. Hafrannsóknastofnun hefur vakt að silungastofnana í vatninu og tengdum ám reglulega, bæði fullorðna einstaklinga og seiði.^{35,34} Þrátt fyrir þessa vöktun vantar upplýsingar um dreifingu, fæðuöflun og kjörvíst silungaseiðanna í Þingvallavatni. Talsvert er þó til af gögnum um seiði í ánum sem renna í vatnið (sjá síðar). Þessar upplýsingar eru sérstaklega aðkallandi á tímum loftslagsbreytinga sem virðast bleikjunni erfiðar.³⁶ Uppeldisvæði bleikju eru á grynningum meðfram strandlengju og er hún því einkar viðkvæm fyrir auknum hita.³⁷

MARKMIÐ RANNSÓKNAR

Í Norður-Evrópu eru greinanlegar breytingar í ferskvatnsvistkerfum. Hitaþolnar tegundir virðast vera í sókn en kulsælar á undanhaldi.^{38,36} Sambærilegar breytingar virðast eiga sér stað í Þingvallavatni þar sem urriðinn, sem þolir meiri hita en bleikja,^{1,39,40} virðist vera í vexti en bleikjunni, sérstaklega minni afbrigðunum, fer fækkandi (Sigurður S. Snorrason, óbirtar niðurstöður). Mögulega á bleikjan erfiðara með að laga sig að breytingum á hita og öðrum þáttum í vatninu, en sterkar vísbendingar eru um að vatnið hafi hlýnað og breytingar orðið í frumframleiðslu sviðþörungna og framboði dýrasvífs.⁴¹ Markmið rannsókna okkar var að kortleggja dreifingu seiða silungstegundanna í ám sem tengjast Þingvallavatni og í fjöruborði á niður á 80 cm dýpi í vatninu, og varpa með því móti ljósi á kjöruppeldissvæði og umhverfispætti sem henta hvorri tegund best. Rannsóknarspurningarnar voru:

Hvar á strandgrunni í vatninu og í tengdum straumvötnum finnast seiði bleikju og urriða helst? Er búsvæðanyting tegundanna ólík?

Hefur þéttleiki bleikju- og/eða urriðaseiða breyst í vatninu og nærliggjandi ám á síðustu tuttugu árum?

Er tenging milli umhverfisaðstæðna (ólífrænna (e. abiotic) og lífrænna (e. biotic) þátta) á svæðum og tilvistar seiða?

Til að svara þessum spurningum var notast við tvær gagnasýrur. Í fyrsta lagi voru gögn greind úr seiðaveiðum Hafrannsóknastofnunar frá um 20 ára tímabili, bæði í tengdum ám og meðfram strandlengju Þingvallavatns. Í öðru lagi voru seiði veidd meðfram strandlengju Þingvallavatns sumarið 2022.



1. mynd. Kort af Þingvallavatni og tengdum ám. Rafveiðistöðvar eru merktar inn á kortið með punktum, dökkbláum úr vöktun 2000 til 2020 og rauðum frá sumrinu 2022. Svæði eru merkt með skammstöfunum, sbr. 1. töflu. – Map of Þingvallavatn and nearby rivers. Fishing locations are shown with points. Dark blue: locations from the 2000 to 2020 survey; Red: from summer 2022. Locations are shown with single letter codes or abbreviations, see Table 1.

1. tafla. veiðisvæðin sumarið 2022, GPS-hnit hvers svæðis, veiðidagur og veiðitími – Fishing locations for summer 2022 for the project, GPS coordinates for each location, fishing day and duration of fishing.

Svæði Location	Skammstöfun Abbreviation	GPS	Dagsetning (D. M. Á) Date (D. M. Y)	Tími dags og lengd veiða Time of day and duration of fishing
Öxará	Öxa	64°15'3"N, 21°7'43"W	08.07.22	10:30 - 11:42, 72 mín
Ólafsdraúttur	Óla	64°14'09"N, 21°02'42"W	01.06.22	10:30 - 14:00, 210 mín
Mjóanes	Mjó	64°11'11"N, 21°05'13"W	20.06.22	11:35 - 13:30, 115 mín
Kaldárhöfði	Kal	64°8'34"N, 21°1'46"W	28.06.22	13:44 - 15:20, 95 mín
Útfall í Efra-Sog	Sog	64°8'1"N, 21°1'40"W	28.06.22	11:11 - 12:25, 74 mín
Einbúi	Ein	64°8'17"N, 21°6'8"W	05.07.22	11:12 - 11:38, 26 mín
Djúpavík	Djú	64°8'15"N, 21°6'37"W	05.07.22	11:45 - 12:33, 48 mín
Stapavík	Sta	64°9'7"N, 21°12'13"W	05.07.22	14:21 - 14:47, 26 mín
Nesjar	Nes	64°9'34"N, 21°13'13"W	05.07.22	13:56 - 14:10, 14 mín
Heiðabær	Hei	64°11'17"N, 21°13'37"W	08.07.22	13:36 - 14:09, 33 mín

AÐFERÐAÐFRÆÐI:

Sýnataka

Sýnataka fór fram annars vegar í leið-öngum Veiðimálastofnunar/Hafrannsóknastofnunar árin 2000 til 2021 og hins vegar á okkar vegum sumarið 2022. Fyrst verður gerð grein fyrir lengri gagnasýrpunni.

Í stuttu máli var sýnataka hluti af vöktun urriðans í Þingvallavatni og nokkrum tengdum straumvötnum, sbr. skýrslur stofnunarinnar.^{26–30,34,42,43} Gögnin innihalda upplýsingar um laxfiskaseiði frá 18 svæðum (úr Ölfusvatnsá (D, D1, D2, D3, D4, D5, E), Kaldá (H), Villingavatnsá (G, F), Öxará (B, C), Efra-Sogi (S) og Þingvallavatni (I, J, J1, K, M)), í allt 97 gagnapunktur. Sýnin voru tekin á sumarmánuðum (helst ágúst og september), en ekki var farið á hverja stöð árlega. Á meðan veiðiátakið var staðlað var sýnataka mismunandi eftir árum. Farin var ein rafveiðiumferð um hvert svæði og stærð þess skráð. Seiðaþéttleiki var metinn (fjöldi seiða / 100 m² í einni rafveiðiumferð, sbr. skýrslur sem vitnað var til að ofan).

Sumarið 2022, frá 1. júní til 8. júlí, voru könnuð tíu mismunandi svæði í fjöruborði Þingvallavatns (tafla 1, 1. mynd), einu sinni hvert. Svæðin voru (1) við ós Öxará, (2) Ólafsdraúttur, þekkt hrygningsvæði kuðungableikjunnar,¹⁰ (3) Mjóanes, þekkt hrygningsvæði murtunnar,¹⁰ (4) Kaldárhöfði, (5) við Sogshorn, norðan við útfallið í Efra-

Sog úr Þingvallavatni, gamalt hrygningsvæði urriðans,³² (6) Einbúi, horn sunnan á Lambhaganesinu, (7) Djúpa-vík, norðan á sama nesi, (8) við bátaskýli í Stapavík, (9) Nesjar, (10) við bátaskýli við Heiðarbæ. Sjá nánar 1. mynd 1 og töflu 1.

Á hverju svæði var rafveitt með LR-24 Electrofisher-rafveiðitæki frá Smith-Root. Ef ekkert veiddist fyrstu 15 mínúturnar var veiði hætt á því svæði. Allir fiskarnir voru taldir og svæðir með 2-Phenoxyethanol (0,2 ml í 1 lítra af vatni),⁴⁴ og síðan tegundargreindir og ljósmyndaðir frá vinstri hlið (með Canon EOS 77D-myndavél). Lengd seiða (cm með 1 mm nákvæmni) var mæld og þau vegin (g) á Mettler Toledo-vog. Líkamsástand einstaklinga var metið með Fultons-holdastuðli (e. Fulton's condition factor (K)) samkvæmt jöfnunni:

$$K = \frac{W \times 100}{L^3}$$

þar sem W er þyngd einstaklingsins (g), og L er lengd einstaklingsins (cm).⁴⁵ Að mælingum loknum fengu seiðin að jafna sig í fersku vatni í fötu og var síðan sleppt aftur, að undanskildum 10–20 fiskum frá hverri stöð sem notaðir voru til frekari svipfars- og erfðagreiningar. Þeir fiskar voru valdir með slembiúrtaki (með rand() fallinu R-inu) nema þeir sem drápust við veiðar eða mælingar sem urðu hluti af þýðinu.

Hitastig á hverju veiðisvæði var mælt á þeim þremur stöðum þar sem þéttleiki fiska var mestur, á 30–80 cm dýpi, og meðalhitastig reiknað. Einnig var botngerð svæðisins og fleiri umhverfisþáttum lýst. Þrjár botngerðir voru skilgreindar, 1) sandbotn, 2) fingerður malarbotn og 3) grjótbott með stórum eða miðlungsstórum steinum. Botngróður var einnig flokkaður í þrennt: 1) enginn gróður eða þörungur á botni, 2) lítið af gróðri eða þörungum, og 3) mikið af gróðri eða þörungum. Tvær strandgerðir voru skilgreindar, gróin strandlengja eða ekki gróin.

Gagnavinnsla

Fyrir tölfraeðigreiningar var notast við R (sjá: <http://www.r-project.org/>), útgáfu R-4.2.1, 64-bit, niðurhlaðið á PC-tölvu 21.6. '22 (R Core Team, 2021) í Rstudio-umhverfinu (útgáfa 1.3.1093, niðurhlaðið 30.8. '21, RStudio Team, 2020). Fyrst voru útlagar (e. outliers) greindir í gagnasettinu með því að teikna upp punktarit með lógaritma lengdar á móti lógaritma þyngdar.

Úr gögnunum um seiðarannsóknir í Þingvallavatni og nærliggjandi ám frá 2000 til 2021 (sbr. að ofan) voru notaðar tölur um fjölda einstaklinga (á 100 m²) í aldursflokkum og eftir tegundum á hverjum stað. Aðeins þau svæði voru höfð með þar sem mælt hafði verið tvisvar eða oftar á tímabilinu, alls níu (Ölfusvatnsá (D, D1, D5), Öxará (C),



Kalina H. Kapralova og Marcos G. Lagunas austan megin Þingvallavatns. Rafveitt var í ferskvatnslindum við bakkann (vinstra megin). Kalina H. Kapralova and Marcos G. Lagunas on the east side of Lake Thingvallavatn. Electrofishing was conducted in freshwater springs near the shore (left on photo). Ljós./Photo: Arnar Pálsson

Villingavatnsá (F), Efra-Sog (S), Þingvallavatn (I, J, K)). Beitt var alhæfðri línulegri aðhvarfsgreiningu (e. generalized linear model, glm) og gert ráð fyrir Gaussian-dreifingu á fjölda fiska ($\log$ vörpun á fjölda/100 m²), til að kanna áhrifaþætti á þéttleika laxfiska-seiða. Einnig var notað formerkjapróf í safngreiningu.

Fyrir gögnin frá 2022 var prófað fyrir sambandinu milli veiðiátaks (tíma) og fjölda fiska með alhæfðri línulegri aðhvarfsgreiningu (quasi-poisson-dreifingu). Gert var kí-kvaðrat-próf til að meta hvort munur væri á hlutfalli tegunda milli svæðanna. Meðalhiti hvers svæðis var reiknaður, og metið hvaða tegund væri í meirihluta á hverju þeirra. Til þess að meta breytileika í lengd, þyngd og holdastuðli (K) milli tegunda og svæða var notast við línuleg líkön í R. Breytileikinn var metinn fyrir ólík gagnasett, til dæmis svæði þar sem tegundirnar sköruðust, eða sköruðust ekki. Fyrst var breytileiki í dreifni milli hópa metinn með Bartlett-prófi. Eftir það var fervika-prófið (ANOVA „aov“) framkvæmt til að kanna mun á meðaltölum, og svo eftirápróf Tukeys („TukeyHSD“) til að kanna muninn á milli hópanna. Sambærilegar greiningar voru notaðar fyrir próf á hitastigi og mun á vistgerðum eða umhverfisþáttum.

NIÐURSTÖÐUR:

Þéttleiki seiða á árunum 2000 til 2021

Þéttleiki laxfiskaseiða var rannsakaður í þremur ám sem renna í Þingvallavatn (Ölfusvatnsá, Villingavatnsá og Öxará), einni á sem rennur úr því (Efra-Sogi) og á alls 29 stöðvum meðfram strandlengju vatnsins á árunum 2000 til 2022. Tvær gagnasýrur voru greindar.

Fyrst var breytileiki í þéttleika metinn yfir 19 ára tímabil, fyrir níu stöðvar (97 gagnapunktur alls) og báðar tegundir, með línulegu líkani. Frá árinu 2001 til 2021 jókst þéttleiki urriðaseiða en minnkaði hjá bleikjuseiðum (2. mynd A). Þessi tilhneiging sést skýrast í yngstu tveimur aldurshópunum, hjá fyrsta árs (kallaðir núllarar) og eins árs seiðum, sem voru algengust í gagnasettinu (2. mynd B og C). Þar sem mjög fá seiði tveggja ára og eldri fundust (u.þ.b. 0,1 fiskur á 100 m² ef leiðrétt er fyrir veiðiátaki) var einkum notast við yngstu hópana í frekari greiningum. Breytileiki í þéttleika seiða tengdist nokkrum þáttum, og í vissum tilfellum samspili þeirra (tafla 2). Eins og áður sagði fjölgaði urriða og var breytingin marktæk (hallatala = 0,11, $p = 0,001$) en bleikju virtist fækka eða standa í stað (hallatala = -0,025, $p = 0,24$ – ath. hallatalan er neikvæð). Áberandi munur var á þéttleika tegunda eftir veiðistöðvum. Urriðinn var allsráðandi í straumvatni en bleikjan í stöðuvatninu (3. mynd).

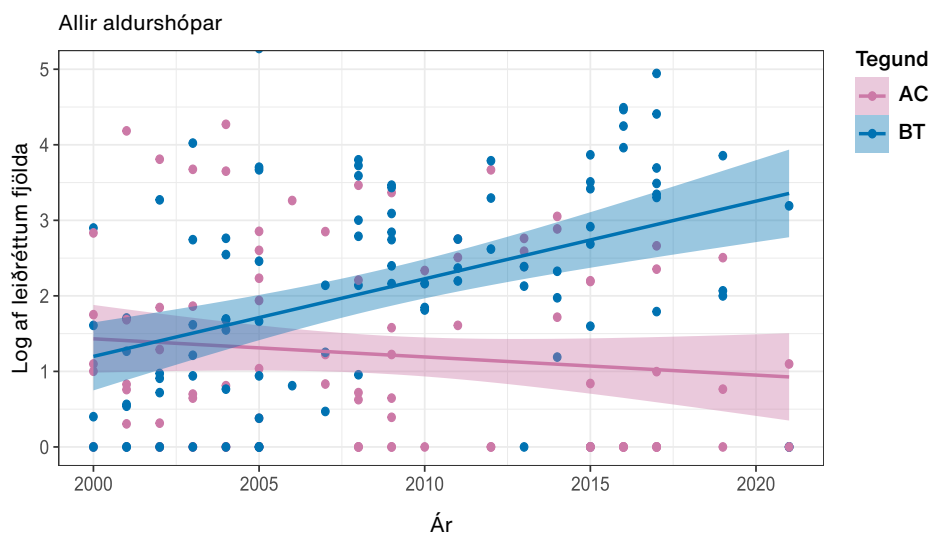
Leifar fyrir besta líkanið litu vel út og voru tilviljunarkennt dreifðar í kringum núllið á leifaritinu.

Þótt samspil árs, tegundar og veiðisvæðis væri ekki marktækt ($p = 0,79$) var skoðað hvernig þéttleiki breytist yfir tímabilið fyrir hvert svæði og tegund (töflur 3 og 4). Urriðum fjölgaði marktækt á sumum veiðisvæðum, en ekki á öllum (tafla 3). Þéttleiki urriða jókst mest í Ölfusvatnsá (stöðvar D, D1 og D5, fjölgun um u.þ.b. þrjú seiði hvert ár, $p \leq 0,035$), Villingavatnsá (F, fjölgun um u.þ.b. 6 seiði hvert ár, $p < 0,001$) og Efra-Sogi (S, fjölgun um u.þ.b. 2 seiði hvert ár, $p = 0,001$). Urriða fjölgaði líka vestan við útfall Þingvallavatns (I: þar sem Efra-Sog hefst, um 1 seiði á hverjum tveimur árum, $p = 0,002$). Á öllum veiðistöðvunum níu var hallatala urriða yfir tíma jákvæð, sem sýnir að tilhneigingin er marktæk (samkvæmt formerkjaprófi, $p = 0,004$).

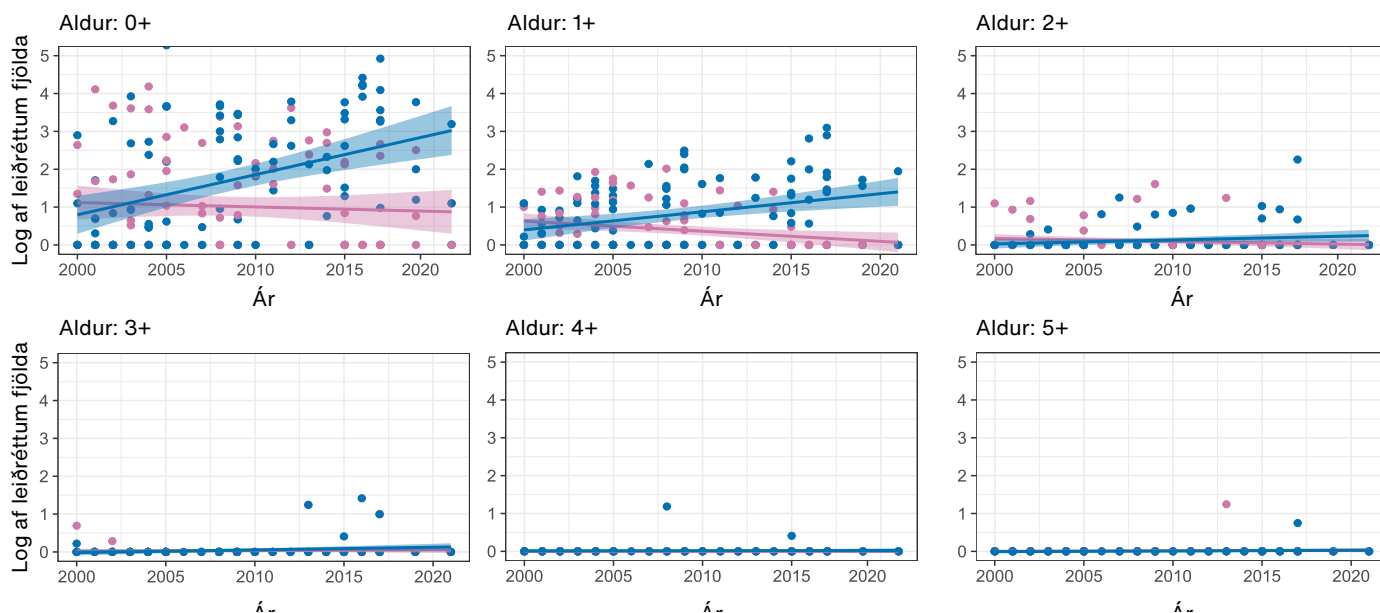
Bleikjunni fór marktækt fækkandi á tveimur svæðum (J, austan útfalls í Efra-Sog, fækkun um 0,1 seiði hvert ár ($p = 0,01$), og F, Villingavatnsá (fækkun um 0,05 seiði hvert ár, $p = 0,01$; tafla 4). Þótt breyting á þéttleika bleikju væri ekki marktæk á fleiri stöðum hafði þeim fækkað alls staðar (9 af 9 með neikvæða hallatölu), sem samkvæmt formerkjaprófi er ekki tilviljun ($p = 0,004$).

2. tafla. Áhrif nokkurra þátta á þéttleika seiða (log vörpuð gögn). Fervikagreining fyrir besta línulega líkanið fyrir þessar breytur og samspil þeirra. Metið með $\text{aov}(\text{glm}(\log(\text{fjöldi}) \sim \text{Ár} + \text{Stöð} + \text{Ár} * \text{Tegund} + \text{Stöð} * \text{Tegund} + \text{suð}))$. – Results from Anova for the best fitted linear model for density of juveniles (log transformed). Model used: $\text{aov}(\text{glm}(\log(\text{amount}) \sim \text{Year} + \text{Station} + \text{Year} * \text{Species} + \text{Station} * \text{Species} + \text{error}))$.

Breyta Term	Frígráður Degrees of freedom	Frávik Deviance	Leifar frígráður Resid. Df	Leifar frávik Resid. Dev	p-gildi p-value
Ár / Year	1	12,490	192	371,43	< 0,001
Stöð / Station	8	65,301	184	306,13	< 0,001
Tegund / Species	1	38,468	183	267,67	< 0,001
Ár * Tegund Year * Species	1	31,822	182	235,84	< 0,001
Stöð * Tegund Station * Species	8	108,458	174	127,39	<< 0,001



2. mynd. Þéttleiki (log af fjölda seiða veiddra á 100 m²) urriðaseiða (BT, bláir punktar og lína) og bleikjuseiða (AC, bleikir punktar og lína) árin 2000 til 2021 á hverri veiðistöð, fyrir alla aldurshópana saman (efst) og hvern aldurshóp sér. Metið var línulegt aðhvarf fyrir hvora tegund um sig, og teiknuð besta lína með 96% vikmörkum. – The density (log of the amount corrected for sampling effort) of Brown trout (BT, blue points and lines) and Arctic charr (AC, pink points and lines) juveniles per sampling site, over the years 2000 to 2021, for all the age groups together and separately (aldur = age). The best fitted linear regression was evaluated for each species, represented as line with 95% confidence intervals.



3. tafla. Línuleg fjölgun urriða yfir tímabilið, fyrir allar níu stöðvarnar saman og hvert svæði fyrir sig.

– Linear rise of Brown trout over the time period, for all 9 stations together and separately.

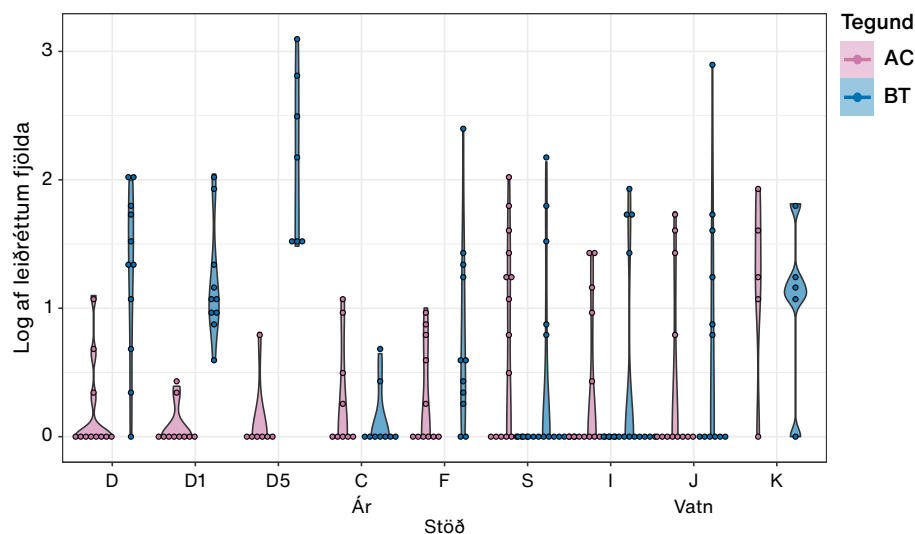
Gerð / Type	Stöðvar / Sites	Hallatala / Slope	SE _b ¹	t-gildi / t-value	p-gildi / p-value
	Allar / All	0,11	0,02	5,16	0,001
Á / River	C	0,07	0,12	0,61	0,564
Á / River	D	0,19	0,03	5,57	<0,001
Á / River	D1	0,18	0,02	9,25	<0,001
Á / River	D5	0,17	0,06	2,87	0,035
Á / River	F	0,27	0,03	10,45	<0,001
Á / River	S	0,18	0,05	4,04	0,001
Vatn / Lake	I	0,13	0,04	3,74	0,002
Vatn / Lake	J	0,08	0,06	1,44	0,180
Vatn / Lake	K	0,01	0,13	0,11	0,918
Á / River	S	0,18	0,05	4,04	0,001

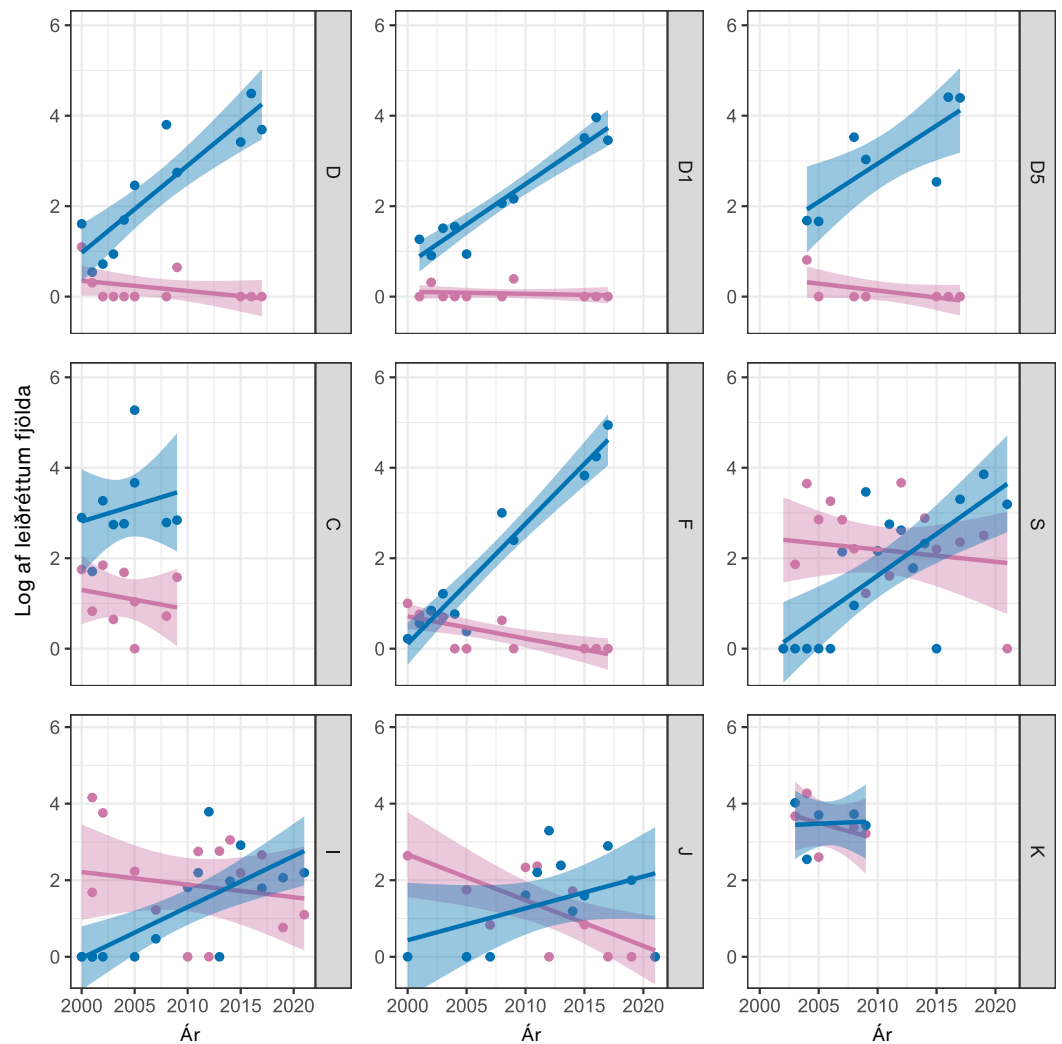
¹SE_b er staðalskekkjan, þ.e. staðalfrávik meðaltals mælinganna.– SE_b is the standard error, i.e. the standard deviation of the mean.

4. tafla. Smávægileg minnkun í þéttleika bleikju á öllum níu stöðvunum saman, og á hverju svæði um sig.

– Weak decrease in Arctic charr density; shown are results from glm model for all 9 stations together and separately.

Gerð / Type	Stöðvar / Sites	Hallatala / Slope	SE _b	t-gildi / t-value	p-gildi / p-value
	Allar / All	-0,03	0,02	-1,18	0,240
Á / River	C	-0,04	0,08	-0,56	0,594
Á / River	D	-0,02	0,02	-1,26	0,241
Á / River	D1	-0,01	0,01	-0,52	0,613
Á / River	D5	-0,03	0,02	-1,43	0,212
Á / River	F	-0,05	0,02	-3,17	0,011
Vatn / Lake	I	-0,03	0,05	-0,62	0,548
Vatn / Lake	J	-0,12	0,04	-2,80	0,012
Vatn / Lake	K	-0,09	0,13	-0,68	0,546
Á / River	S	-0,03	0,05	-0,56	0,584

3. mynd. Þéttleiki (log af fjölda seiða veiddra á 100 m²) urriðaseiða (BT, bláir punktar) og bleikjuseiða (AC, bleikir punktar) fyrir hvert veiðisvæði og öll árin. – Density (log transformed density corrected for sampling effort) for Brown trout (BT, blue points and lines) and Arctic charr (AC, pink points and lines) juveniles for each fishing location.



4. mynd. Breytileiki í þéttleika (fjöldi seiða veiddra á 100 m²) urriðaseiða (BT, bláir punktar og lína) og bleikjuseiða (AC, bleikir punktar og lína) yfir tímabilið, fyrir rannsóknarsvæðin níu. Mismikið af gögnum var til fyrir staðina, Ölfusvatnsá (D, D1, D5), Öxará (C), Villingavatnsá (F), Efra-Sog (S) og Þingvallavatn (I, J, K). Metið var línulegt aðhvarf fyrir hvora tegund um sig, og besta lína með vikmörkum teiknuð á grófin. Öll gróf hafa sömu X- og Y-ása til að auðvelda samanburð. – Changes in density (corrected for sampling effort) for Brown trout (BT, blue points and lines) and Arctic charr (AC, pink points and lines) juveniles over the fishing year, each station shown separately. The sampling effort varied by locations, Ölfusvatnsá (D, D1, D5), Öxará (C), Villingavatnsá (F), Efra-Sog (S) and Þingvallavatn (I, J, K). The best fitted linear regression was evaluated for each species, seen on images with confidence intervals. All graphs have the same X- and Y-axis for comparison.

Seiði í fjöruborði vatnsins sumarið 2022

Á svæðunum tíu sem skoðuð voru sumarið 2022 fundust seiði (nýklakin og eldri) á sex svæðum, við ós Öxarár, í Ólafsdretti, við Mjóanes, við Kaldárhöfða, við útfallið í Efra-Sog og í Djúpuvík – norðan á Lambhaga-totunni, norðvestan við Einbúa. Ekki var marktækt samband milli veiðiáttaks og heildarfjölda laxfiska á svæðum sem þeir fundust á ($p > 0,05$). Dreifing tegundanna og hlutfall var ólíkt eftir svæðunum ($\chi^2 = 127,71$, $p < 0,001$). Flokka má svæðin í bleikjussvæði og urriðasvæði, eftir því hvor tegundin var ríkjandi. Bleikju-

svæðin voru Ólafsdreittur, Mjóanes, Kaldárhöfði og við útfallið í Efra-Sog, en urriðasvæðin við ós Öxarár og Djúpuvík. Á bleikjussvæðunum í Ólafsdretti, við Mjóanes og Kaldárhöfða fannst einn urriði á hverju svæði, en bleikjurnar voru 41, 25 og 24 (í þessari röð, fjöldi á tíma var 0,2 fiskar á mínútu fyrir öll svæðin). Miðað við stærð voru urriðarnir líklegast tveggja ára eða eldri. Engin bleikjuseiði fundust á urriðasvæðunum tveimur, eingöngu ein fullorðin bleikja (dvergbleikja miðað við lit og höfuðlag) á hvoru svæði.

Að meðaltali voru urriðarnir lengri ($p < 0,001$, $F = 12,85$) og þýngri ($p = 0,001$,

$F = 11,22$) en bleikjurnar, en það endurspeglar nær örugglega mun í aldri. Meðallengd urriða var 6,56 cm, meðalþyngd 6,56 g og holdastuðullinn K að meðali 1,11. Hjá bleikjunni var meðallengd 4,86 cm, meðalþyngd 2,28 g og K að meðaltali 1,03.

Marktækur munur var á meðallengd ($p = 0,01$) og K-gildi ($p = 0,004$) bleikju milli svæðanna, en ekki þyngd ($p = 0,21$, 6. mynd). Þöruð próf sýndu að fyrir lengd var munur milli Ólafsdreittar og Kaldárhöfða ($p = 0,02$), og voru bleikjurnar við Kaldárhöfða almennt styttri. K-gildið sýndi annað munstur, því að þar skáru bleikjurnar frá útfallinu

5. tafla. Fjöldi bleikju og urriða á sýnatökusvæðum sumarið 2022. Meðaltal og staðalfrávik fyrir lengd (cm), þyngd (g) og K-gildi, fyrir hverja tegund/stað. Ath. að ekki er hægt að reikna staðalfrávik fyrir einn fisk. NA: engar stærðir fyrir engan fisk. – Number of Arctic charr (bleikja) and Brown trout (urriði) at each sampling location, as well as mean and standard deviation for length (cm), weight (g) and K-value for each species per location. Note, sd was not calculated for one fish. NA: could not calculate statistics for zero individual.

Svæði Location	Tegund Species	Fjöldi (N) Count (N)	Lengd ($\bar{Y} \pm sd$, í cm) length ($\bar{Y} \pm sd$, in cm)	Meðal þyngd ($\bar{Y} \pm sd$, í g) Mean weight ($\bar{Y} \pm sd$, in g)	Meðal K ($\bar{Y} \pm sd$) Mean K ($\bar{Y} \pm sd$)
Öxará	Bleikja	1	9,60	8,60	0,97
	Urriði	31	4,54 ± 1,23	1,26 ± 1,30	1,07 ± 0,25
Ólafsdrauttur	Bleikja	41	5,64 ± 2,31	2,93 ± 3,76	1,09 ± 0,19
	Urriði	1	9,90	10,00	1,03
Mjóanes	Bleikja	25	4,52 ± 2,32	2,09 ± 4,28	1,09 ± 0,15
	Urriði	1	8,50	7,10	1,16
Kaldárhöfði	Bleikja	24	4,00 ± 1,93	1,33 ± 2,68	0,97 ± 0,26
	Urriði	1	10,50	14,40	1,24
Útfallið í Efra-Sogið	Bleikja	11	3,98 ± 1,52	0,95 ± 1,12	0,85 ± 0,28
	Urriði	0	NA	NA	NA
Einbúi	Bleikja	0	NA	NA	NA
	Urriði	0	NA	NA	NA
Djúpavík	Bleikja	1	6,50	3,00	1,09
	Urriði	13	10,69 ± 3,27	18,29 ± 18,37	1,19 ± 0,11
Stapavík	Bleikja	0	NA	NA	NA
	Urriði	0	NA	NA	NA
Nesjar	Bleikja	0	NA	NA	NA
	Urriði	0	NA	NA	NA
Heiðabær	Bleikja	0	NA	NA	NA
	Urriði	0	NA	NA	NA

í Efra-Sog sig úr, með marktækt lægra K-gildi en bleikjurnar frá Mjóanesi ($p = 0,01$) og Ólafsdraetti ($p = 0,008$), sem gæti endurspeglad dreifingu afbrigða eða holdafar. Fyrir urriðann var marktækur munur milli svæðanna í lengd ($p < 0,001$) og þyngd ($p < 0,001$) en ekki K-gildum ($p = 0,11$). Ástæða þess að urriðarnir við ós Öxarár voru minni og léttari en urriðarnir í Djúpuvík er líklega sú að á fyrrnefndu stöðinni voru nýklakin seiði en að öllum líkindum eins eða tveggja ára fiskar á hinn síðarnefndu.

Sumarið 2022 var kannad hvort umhverfisþættir á svæðunum hefðu áhrif á fjölda fiska. Botngerð hafði ekki mark-

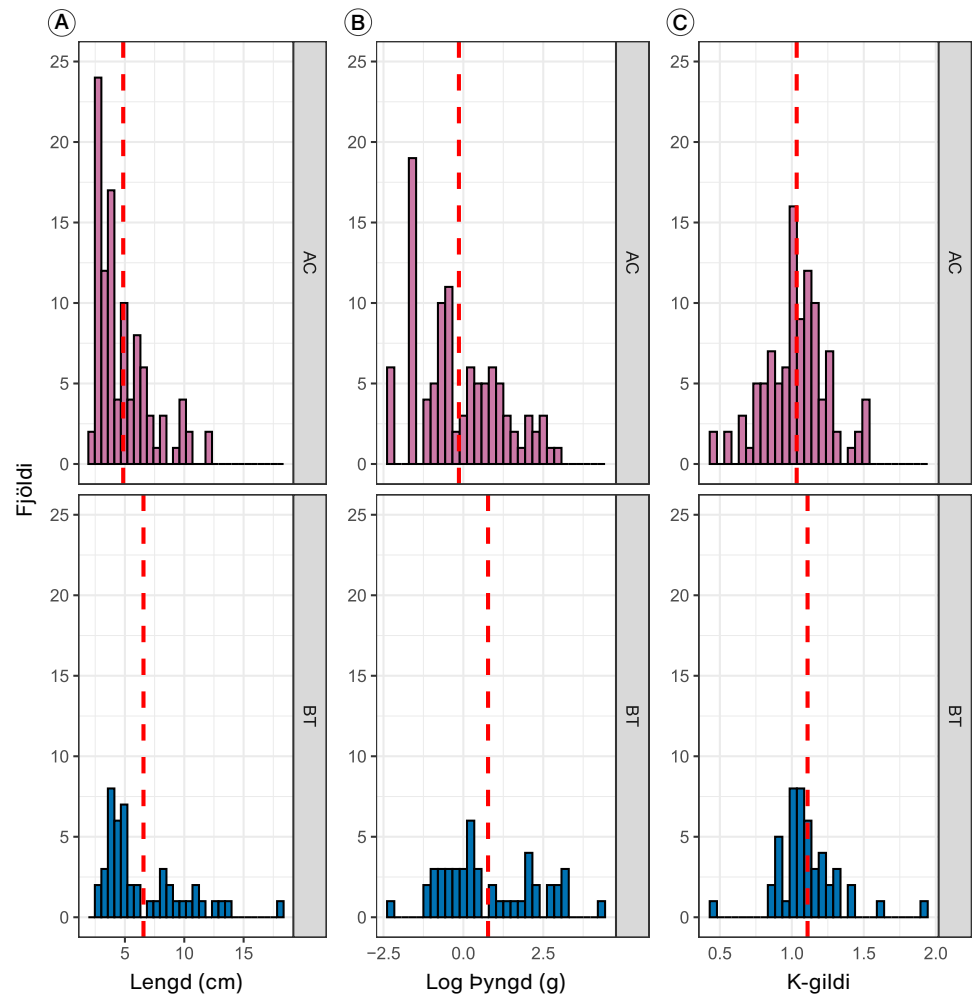
tæk áhrif á það hvort fiskar veiddust á svæði, hvorki hjá bleikju (p -gildi = 0,29, F -gildi = 1,26) né urriða ($p = 0,49$, $F = 0,52$). Sama á við um magn gróðurs eða þörungna á botninum, bæði fyrir bleikju ($p = 0,24$, $F = 1,78$) og urriða ($p = 0,49$, $F = 0,52$), og einnig um magn gróðurs á strandlengju (strandgerð, fyrir bleikju, $p = 0,16$, $F = 2,44$ og urriða, $p = 0,36$, $F = 0,93$). Tilhneigingin er samt sem áður áþekk hjá báðum tegundum. Þegar tegundir voru greindar saman fannst marktækur munur – fleiri laxfiskar fundust við gróna strandlengju en ógróna ($F = 6,47$, $p = 0,03$). Meðal-hita-stig bleikjusvæðanna var um 4,48°C en

um 6,30°C á urriðasvæðum, sem ekki er marktækur munur ($p = 0,59$). Aðeins tíu svæði voru skoðuð og var því ekki mikið afl til þessara greininga.

UMRÆÐUR:

Laxfiskar finnast í æði mörgum straum- og stöðuvötnum á Íslandi¹⁸ og fjölmargar rannsóknir hafa verið gerðar á fullorðnum fiskum í vötnunum. Þótt margt sé vitað um lífssögu og eiginleika þessara fisktegunda og afbrigða meðal þeirra^{46,47} er mun minna vitað um stöðu mála meðal seiða og ungvíða. Í rannsókn okkar var reynt að varpa ljósi á vistnýtingu og dreifingu urriða- og

5. mynd. Breytileiki í lengd (cm) (A), þyngd (log af g) (B) og K-gildi (C) bleikju (bleikt, AC) og urriða (blátt, BT) sem veiddust sumarið 2022. Brotna rauða línan táknar meðaltal hvers hóps. – Variation in length (cm) (A), log weight (g) (B) and K-value (C) for Arctic charr (pink, AC) and Brown trout (blue, BT) sampled in the summer 2022. The dashed red line stands for arithmetic mean per group.



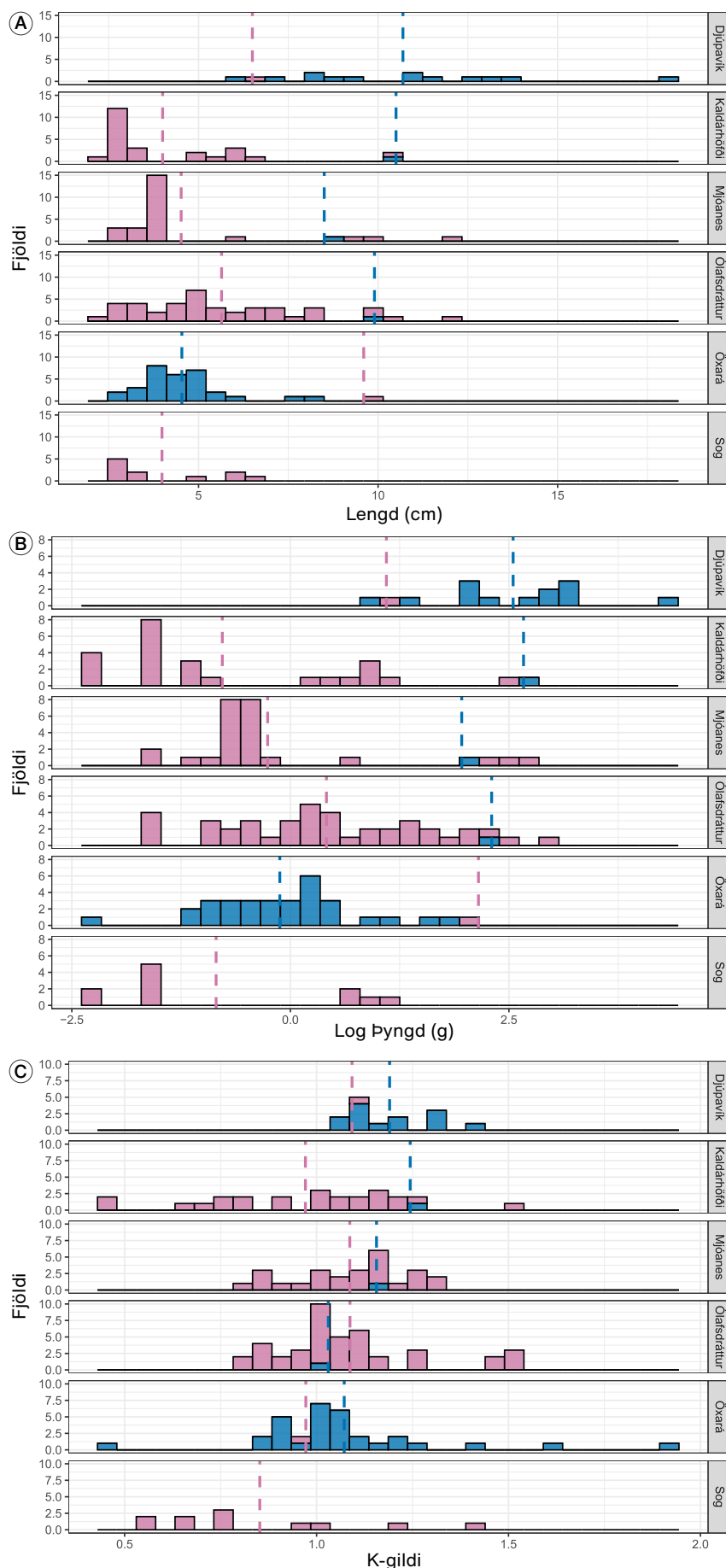
bleikjuseiða í Þingvallavatni og fjórum tengdum ám, þremur sem renna í vatnið og einni sem rennur úr því. Umfangsmiklar rannsóknir hafa farið fram á bleikjuafbrigðunum í Þingvallavatni um áratugaskeið, og hafa einkum beinst að eldri og kynþroska fiski en minna hefur verið hugað að vistfræði seiða og lífi fiskanna fyrstu tvö árin eða svo.^{11,32} Gögn okkar sýna greinilega að seiði urriða og bleikju nýta sér ólíka hluta vatnasviðsins. Urriðaseiði eru í mestum þéttleika í straumvatni, þ.e. í Ölfusvatnsá og Villingavatnsá, og töluverður þéttleiki smárra urriðaseiða (líklega nýklakinn) var í Öxará og við ós Öxarár í gögnum Veidimálastofnunar árin 2000 til 2009. Ekki var rafveitt í Öxará árið 2022 en töluvert fannst af urriðaseiðum við ós árinna það sumar. Í fjöruvist Þingvallavatns fundust sumarið 2022 urriða- og bleikjuseiði á sex svæðum, við Ólafsdrautt, við Mjóanes, í ósi Öxarár, við Kaldárhöfða, við útfallið í Efra-Sog og í Djúpuvík fremur stutt frá ósi Ölfusvatnsár. Öll svæðin eru nálægt þekktum

hrygningarsvæðum.^{10,13,25} Tvö svæðin eru þekkt hrygningarsvæði bleikju, kuðungableikjunnar í Ólafsdrautti og murtu og sílableikju milli Mjóanes og Svínanes. Við ós Öxarár má búast við urriðaseiðum því mikil hrygning er í ánni.⁴⁸ Urriðar fundust í Djúpuvík sem er frekar langt frá ósi Ölfusvatnsár, næstu ár sem hann hrygnir í. Hins vegar er líklegt að þarna séu nálægar hrygningarstöðvar urriða í vatninu sjálfu, enda þekkt að urriði hrygni á þessum slóðum.¹³ Aðeins einn af 16 urriðum úr Djúpuvík var minni en 3 cm. Hinir voru allir töluvert stærri og því líklega eldri. Þar sem aldursgreiningu vantar er ekki hægt að fullyrða um aldur þeirra. Út frá gögnunum er ólíklegt að Djúpuvík sé uppeldissvæði fyrir yngstu urriðaseiðin (á fyrsta sumri), eins og árnar og ós Öxarár virðast vera.

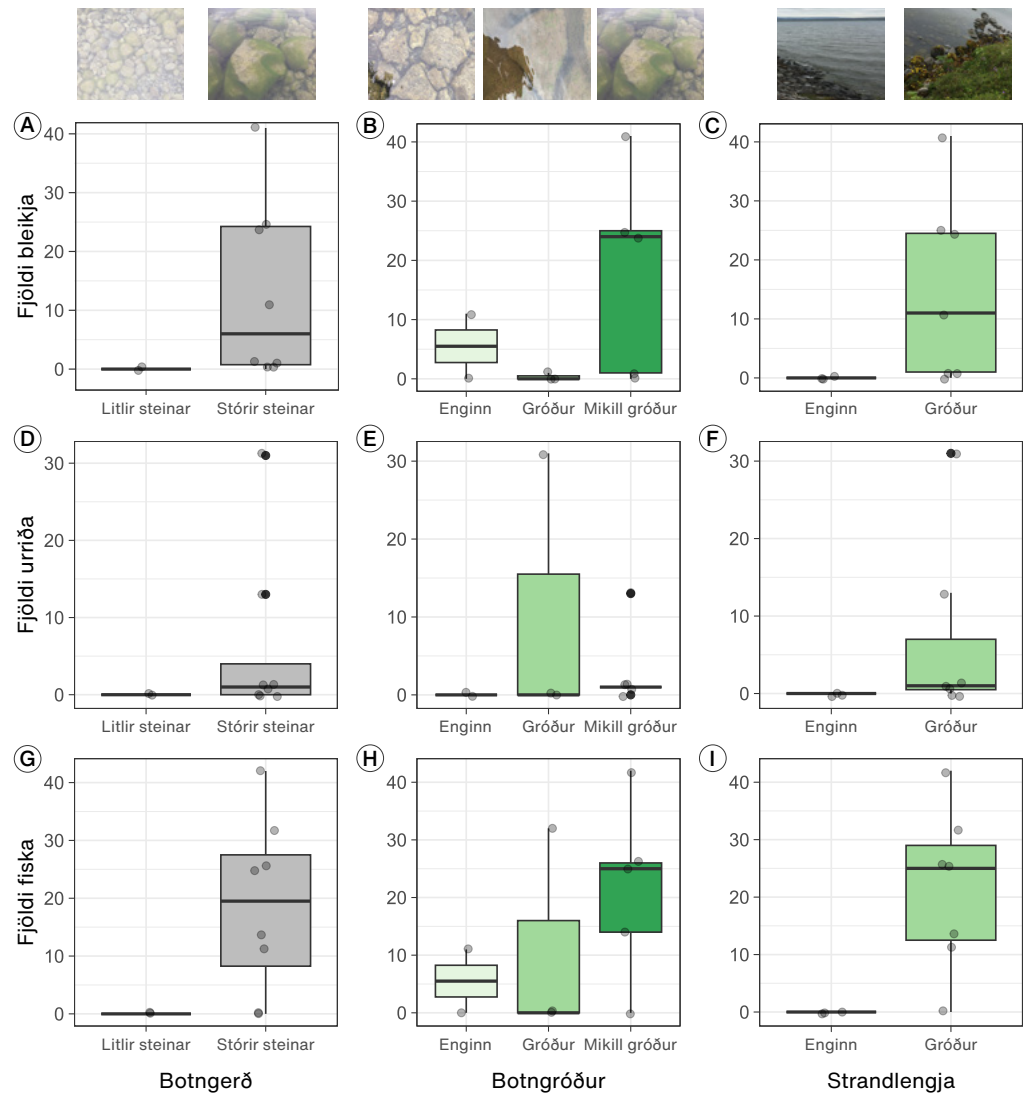
Bleikjuseiði voru í mestum þéttleika á þekktum hrygningarsvæðum, í Ólafsdrautti og víkinni milli Mjóanes og Svínanes. Af stærðinni að dæma virðast flest seiðin hafa verið á fyrsta ári. Á

báðum stöðum fannst einn smáurriði (8 og 9 cm). Sumarið 2020 rafveiddi einn höfunda ásamt Kristjáni Þórhallssyni fjóra urriða í sömu vík við Mjóanes, alla af svipaðri stærð (Arnar Pálsson & Kristján Þórhallsson, óbirt gögn). Engin þekkt straumvötn eða klakstöðvar urriða eru austan til í vatninu, og er líklegast að seiðin komi úr Öxará. Bleikjuseiði voru einnig í merkjanlegum þéttleika við Efra-Sog og Kaldárhöfða, nokkuð fjarri þekktum hrygningarsvæðum tegundarinnar og afbrigða hennar. Bleikjur eru taldar hrygna á hraunbotni, sem er víða í vatninu, en ýtarlega kortlagningu vantar. Vitað er að dvergbleikjur (og murtur) hrygna á að minnsta kosti fimm svæðum í vatninu.⁴⁹ Bleikjuseiði eru þekkt við útfallið í Efra-Sog (3. og 4. mynd).^{26,30} Sennilega eru önnur (minna rannsökuð) hrygningarsvæði dvergbleikju og murtu víða meðfram strandgrunni vatnsins.^{10,49} Bleikjuseiðin á uppeldissvæðum við útfallið í Efra-Sog og við Kaldárhöfða eru því líklega komin frá óþekktum hrygningarsvæðum í nágrenninu.

6. mynd. Breytileiki í lengd (cm) (A), log þyngd (g) (B) og K-gildi (C) milli svæðanna og tegundanna fyrir sumarið 2022. Bleikjur eru táknaðar með bleikum lit (AC) og urriðar með bláum (BT). Brotnu línurnar tákna meðaltal. – Variation in length (cm) (A), log weight (g) (B) and K-value (C) between the locations and species, for the 2022 summer sampling. Arctic charr are shown with the pink colour (AC) and Brown trout with the blue (BT). The dashed lines stand for arithmetic means.



Erfðafræði og uppruni urriðans í Þingvallavatni hefur lengi verið á huldu. Nýleg rannsókn með rúmlega 2.000 breytilegum stöðum í erfðamengi urriða í Þingvallavatni og tengdum straumvötnum afhjúpaði uppskiptingu innan stofnsins.¹⁴ Fiskar úr Öxará voru erfðafræðilega einsleitir, og aðgreinanlegir frá öðrum hreinum stofni staðbundinna urriða í Þverá, sem er austan til í Henglinum og er auðguð af heitu lindarvatni. Urriðarnir þar eru smá-vaxnir og er stofninn einangraður fyrir ofan foss í Þverá, sem rennur í Ölfusvatnsá. Mörg seiði úr Ölfusvatnsá og Villingavatnsá, sem og urriðar veiddir úr Þingvallavatni og Úlfjótssvatni, bera þó merki um erfðablöndun milli undirstofna Þverár og Öxarár. Engin erfðagreining var gerð á fiskum í þessari rannsókn, en í framhaldinu væri athyglisvert að kanna hvort stærð, útlit og lögum seiða eða fullorðinna urriða er mismunandi eftir uppeldisstað og/ eða erfðasamsetningu.

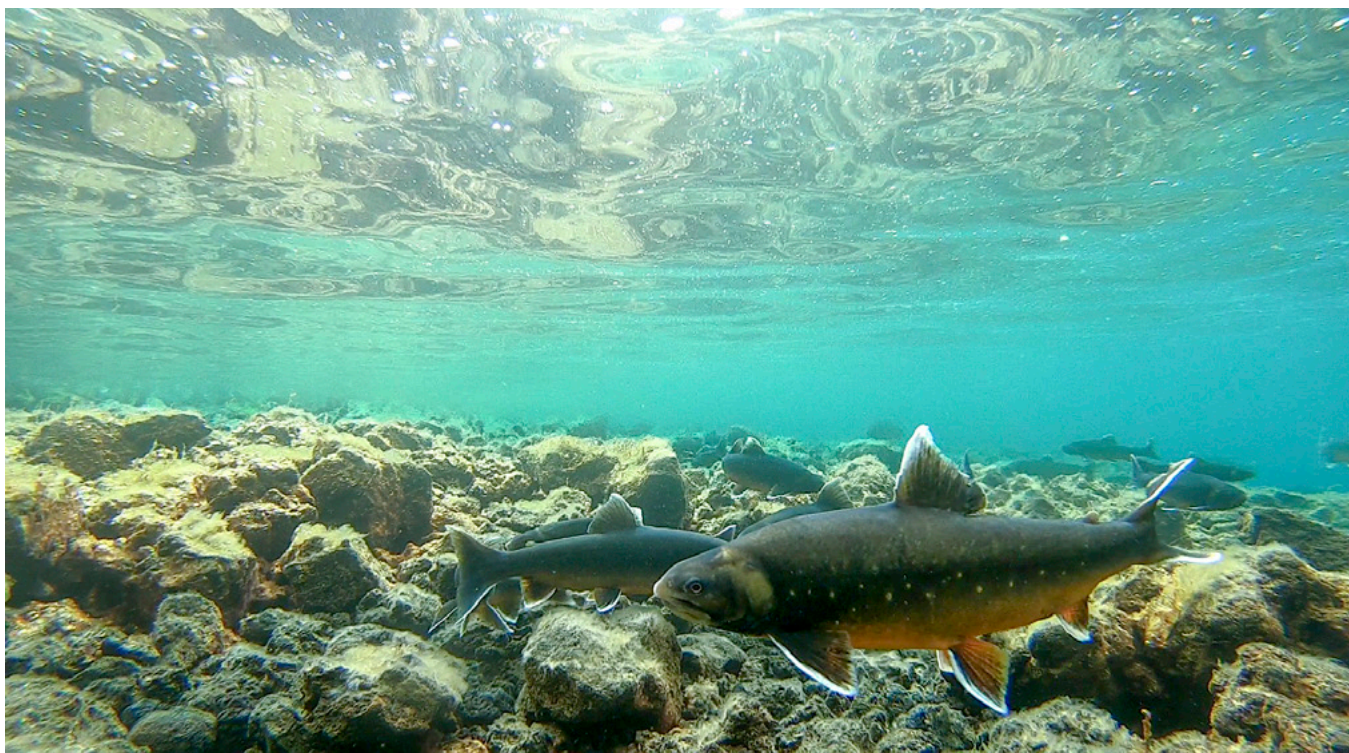


7. mynd. Breytileiki í fjölda fiska eftir umhverfispáttum svæðanna tíu. Fyrsta röðin sýnir bleikju (A-C), önnur urriða (D-F) og sú þriðja báðar tegundir saman (G-I). Sýndar eru dreifingar fyrir botnngerð (A, D og G), botngróður (B, E og H) og gróður strandlengju (C, F og I). Bara strandlengjugróður tengdist marktækt ($p = 0,03$) heildarfjölda laxfiska. – Variation in number of fish by environmental conditions for the 10 locations. The first line shows differences in Arctic charr (A-C), second line Brown trout (D-F) and the third combined data (G-I). Shown are numbers by bottom type (A, D and G), bottom vegetation (B, E and H) and shoreline vegetation (C, F and I). Only shoreline vegetation had a significant effect (p -value = 0.03) on the total number of salmonids.

Betur þekkt eru afbrigði bleikjunnar í Þingvallavatni, sem eru ólík í útliti, fæðu- og búsvæðavali og lífssögu.^{7,10,11,21} Murtur, kuðungableikjur og dvergbleikjur má greina sundur á grundvelli arfgerðar.⁵⁰ Hugsanlega mætti erfðagreina seiði til að kanna hvort afbrigði bleikju skipta með sér ungvíðisbúsvæðum eða samnýta þau fram eftir aldri. Rannsóknir með veiðum staðfesta reyndar að strax á fyrsta ári á sér stað búsvæðasérhæfing meðal seiða bleikjuafbrigðanna, þar sem murtuseiði (meðallengd 1,8–4,7 cm) hafa veiðst síðsumars langt úti í svífvíst Þingvallavatns í efstu 15–20 metrum

vatnsins.^{10,51} Svæðin í okkar rannsókn voru afar ólík hvað varðar gróður og hitastig (meðal annars fyrir tilverknad kaldra lunda austan til í vatninu), og því er líklegt að framboð fæðudýra sem ung silungsseiði nýta sé ólíkt.^{10,51} Hér skulu reifaðar tvær sviðsmyndir í þessu samhengi. Fyrri sviðsmyndin lýtur að því að eiginleikar lífvera mótast bæði af umhverfi og erfðum, sem og sértæku samspili gena og vissra umhverfispátta. Það er mjög erfitt að greina og skilgreina þessa þætti, en kynni að verða kleift ef afbrigðin nýta ólík svæði sem ungvíði. Hægt væri að prófa hvort fiskar með

ákveðna arfgerð, jafnvel á ákveðnum genum, eigi auðveldara en aðrir með að nýta vissa vistgerð sem ungvíði. Sterkar vísbendingar um sérhæfingu af þessu tagi, þ.e. mismunandi hæfileika, getu og eða hvata til að nýta tiltekin fæðudýr, hafa verið staðfestar í fæðuatferlistilraunum bæði á seiðastigi meðal dvergbleikju, murtu og sílableikju⁵² og á meðal uppvaxinnar dvergbleikju og murtu.^{11,21} Arfbundinn munur í auðlindanýtingu silungsseiða gæti birst sem mismunur í tíðni ákveðinna erfðapátta milli aldurshópa innan afbrigðis. Kapralova og félagar prófuðu slíka tilgátu á



Kuðungableikjur á hrygningarslóð í Ólafsdraúttir. – Large benthic adults on the spawning site in Ólafsdraúttur.
Ljósmynd: Kalina H. Kapralova and Quentin L. Horta

ónæmisgeni í bleikjunni, en fundu ekki stöðugt samband yfir árganga.⁵³

Hin sviðsmyndin felur í sér þá tilgátu að sílableikjur séu framan af ævi murtur sem breyti fæðuvali sínu þegar þær eru fullvaxnar, skipti úr áti smágerðs dýrasvifs yfir í hornsíli og taki við það vaxtarkipp. Erfðafræðilega eru flestar sílableikjur eins og murtur⁵⁰ og báðar bleikjugerðirnar eru að stærð undanskilinni keimlíkar að lögun og lit, ljósar yfirlitum, jafnmynntar og rennilegar.^{71,54} Annar möguleiki er að sílableikjan sé mjög nýleg þróunarlega, og hafi aðskilist frá murtu fyrir tiltölulega fáum kynslóðum. Það flækir raunar myndina að sumar sílableikjur bera merki erfðablöndunar við kuðungableikju.⁵⁰ Þriðji möguleikinn er sá að einhverjar fullorðnar sílableikjur makist við kuðungableikjur. Kuðungableikjur hrygna í ágúst (í Ólafsdraútti a.m.k.) en sílableikjur í október. Sennilegast er að hængar kuðungableikju séu enn með virk svil í október og að genaflæðið sé þannig háð kyni. Þetta er hægt að greina með því að skoða stökkbreytingar í hvatberum sem greina milli afbrigðanna.⁵⁵ Þannig gæti erfðagreining seiða af ólíkum aldri á tilteknum stöðum varpað ljósi á þetta þroskastökk og um leið á uppruna sílableikjunnar.

ÞÉTTLEIKI URRIÐASEIÐA HEFUR AUKIST Á SÍÐUSTU TUTTUGU ÁRUM

Gögnin sýna skýrt að þéttleiki urriðaseiða hefur aukist á síðustu tuttugu árum, sérstaklega í Ölfusvatnsá og Villingavatnsá sem renna í Þingvallavatn. Aukningin er meiri í ánum en í vatninu sjálfu, fyrir utan eina stöð vestan við útfallið í Efra-Sog (I). Á hinn bóginn virðist þéttleiki bleikjuseiða heldur hafa minnkað frá aldamótum. Greining ferskvatnssviðs Hafrannsóknastofnunar (sömu gögn og hér) benda til uppsveiflu urriðastofnsins,³⁵ og ungum urriðum virðist líka hafa fjölgað vestan (og austan) við útfallið frá árinu 2000.

Aukningu í urriðanum má setja í eftirfarandi samhengi: Aukinn þéttleiki urriðaseiða kemur fram á sama tíma og hrygningarstofn Öxarár hefur stækkað verulega⁴⁸ og veiði einnig aukist á urriða í Þingvallavatni (Sigurður S. Snorrason, óbirt gögn)⁵⁶ og er líklegt að þessa þróun megi rekja til aukinnar hrygningar urriða úr Þingvallavatni (stækkandi hrygningarstofn). Ástæðuna fyrir því að hrygningarstofn urriða stækkar má líklega að hluta rekja til til fiskræktar. Árið 1993 var sleppt um 10 þúsund urriðaseiðum í vatnið⁵⁷ og á árunum 2000–2004 var gert sérstakt átak í að fjölga ur-

riðum í Þingvallavatni og ám sem í það renna. Um 123 þúsund urriðaseiðum frá klakfiski úr Öxará var þá sleppt í vatnið og um 1.000 í Ölfusvatnsá. Að auki voru grafin hrogn í Ölfusvatnsá og við útfallið.⁴³ Aukning sást í urriðastofninum í vöktunarverkefni sumarið 2019, sem Sigurður S. Snorrason (Háskóla Íslands) og Finnur Ingimarsson (Náttúrustofu Kópavogs) stóðu að (Sigurður S. Snorrason o.fl., óbirtar niðurstöður). Samfara því virðast smærri bleikjuafbrigðin láta undan, sérstaklega murtan. En hvað veldur? Sigrar urriðinn í samkeppni um fæðu eða stundar hann afrán á murtu og dvergbleikju? Vísbending um samkeppni um uppeldissvæði er úr ósi Öxarár. Bleikjur sáust þar fyrir rúmum áratug^{29,30,34} en engar fundust sumarið 2022. Ljóst er að seiði urriða eru í sókn á mörgum svæðum, sérstaklega í Villingavatnsá og Ölfusvatnsá. Einnig eru dæmi um unga urriða (1+) á búsvæðum sem ungbleikjur nýta sér. Þekkt er að urriðinn étur bleikju á grunnslóð og hafa urriðaseiði allt niður í um 8 cm fundist með bleikjuseiði í maga.²⁷ Í rannsókninni þar sem þessi seiði fundust kom ekki fram mikil skörun á fæðu urriðasleppiseiða og bleikjuseiða. Samkeppni og afrán kunna að skýra fækkun bleikjuseiða, en frekari greining á maga-



Zophonías O. Jónsson siglir út víkina milli Mjóness og Svínanes síðla í desember. – Zophonías O. Jonsson steers the boat out of the cove between Mjóanes and Svínanes late in December. Ljósmynd/Photo: Arnar Pálsson

innihaldi urriðaseiða (eða stöðugum samsætum) á grynningum vatnsins gæti varpað ljósi á hvað þau éta og hvort þau éta bleikjuseiði svo einhverju nemi. Stærri urriði étur murtu⁴² og kann að hafa áhrif á stofnstærð hennar ef um umtalsvert át er að ræða. Þá hefur Þingvallavatn hlýnað á síðustu árum.⁴¹ Vera kann að það komi niður á þrifum bleikju í vatninu, bæði vegna óbeinna áhrifa gegnum breytingar af völdum hækkandi vatnshita í fæðuvefnum⁴¹ og vegna beinna hitaáhrifa þar sem hún er hánorræn og kuldakær tegund.¹ Hér skiptir einnig máli að sókn í netaveiði í Þingvallavatni hefur minnkað mikið og murtuveiði er nánast aflögð. Töluvert af urriða veiddist áður í net. Sókn í stangveiði hefur hins vegar stórkæmt en stærstum hluta af urriða sem veiddist á stöng er sleppt aftur.⁴³

Sumarið 2022 var gert einfalt mat á umhverfisþáttum á grynningum Þingvallavatns. Þar sem fáir staðir voru skoðaðir er ekki hægt að draga sterkar ályktanir. Mælingar á vatnshita benda til að búsvæði bleikju séu kaldari (4 til 5°C) en urriðasvæðin (6,2 til 6,5°C), en munurinn er ekki marktækur. Aðrar rannsóknir sýna að hitastig skiptir máli fyrir laxfiska, og að bleikja þolir

almennt kaldara vatn en urriði.¹ Gróðurþekja á strandlengju hafði marktæk áhrif á það hvort seiði fundust, og eru seiði frekar á svæðum með vel gróna strandlengju. Niðurstöður benda til að botngerð og gróðurmagn á botni hafi ekki sterk áhrif á seiðabéttleika, en lítil sýnastærð er líklega að gera höfundum skráveifu. Í þessari rannsókn voru umhverfisþættir grófflokkaðir, hvert svæði sett í einn flokk og þar með ekki gert ráð fyrir misleitni innan svæða. Rétt er að endurtaka þessa rannsókn með fleiri svæðum, og ef til vill á smærri skala, því í sumum tilfellum var umtalsverður munur á vatnshita yfir nokkurra metra spönn (svo sem í lindum við bakkann í Vatnsvíkinu).

LOKAORÐ

Skýrustu niðurstöður þessarar rannsóknar eru að urriðaseiði nýta árnar mun meira en bleikjuseiði, sem aftur nýta fjöruvist Þingvallavatns mun meira, sem og að umtalsverð aukning hefur orðið á þéttleika urriðaseiða frá síðustu aldamótum. Af svæðunum sex í Þingvallavatni voru bleikjuseiði ráðandi, hvað þéttleika varðar, í þremur, í Ólafsdretti, við Mjóanes og við Kaldárhöfða. Má skilgreina þessi svæði sem

uppeldissvæði bleikjunnar. Urriði nýtir fyrst og fremst eitt þessara sex svæða, við ós Öxarár. Eins og áður segir væri forvitnilegt að kanna eiginleika, aldur og erfðafræðilegan uppruna seiða eftir svæðum, bæði urriða og bleikjuafbrigða. Einnig væri áhugavert að meta fæðunám og vistnýtingu seiða með stöðugum samsætum. Árangursríkt gæti verið að kanna nánar samspil fæðunáms bleikjuungviðis og þroskun fæðuöflunarfæra, svo sem neðri kjálkabeina og höfuðlags. Finnur Ingimarsson sýndi fyrstur fram á breytileika í lögun beina neðri kjálkans milli botnlægra og svíflægra afbrigða og fyrsti höfundur staðfesti það í meistararitgerð sinni með stærra sýni.^{58,59} En hvenær kemur munurinn í neðri kjálkabeinum fram? Það væri hægt að finna með því að greina form og erfðasamsetningu seiða af ólíkum aldri, sem og föstur sem ekki hafa klakist.

Þá er mikilvægt að afla meiri þekkingar á hæfileikum og viðbrögðum silungsseiðanna við náttúruhamförum á borð við loftslagsbreytingar og kanna meðal annars með tilraunum hvernig tegundirnar bregðast við breytingum í vatnshita. Rannsóknir á bleikju í háfjallavötnum í Ölpunum benda til að hækkun hitastigs dragi úr lífslíkum og



Útsýni suður úr Davíðsgjá á Þingvallavatn, Arnarfell í fjarða. – View south from Davíðsgjá rift toward Arnarfell mountain, over Þingvallavatn. Ljósmynd: Arnar Pálsson

vexti seiða, en einnig að áhrif hita séu háð öðrum umhverfisþáttum.³⁷ Rannsóknir á bleikju í Elliðavatni gefa einnig til kynna að ungfiskar kunni að eiga í erfiðleikum við hækkingu vatnshita, bæði beinlínis vegna hás hitastigs og vegna óbeinna áhrifa, meðal annars af völdum sníkjudýrs sem fer á kreik þegar vatnið hefur náð ákveðnum hita.^{38,60} Nánari rannsóknir á fleiri lífskeiðum laxfiska og svörun þeirra við umhverfisþáttum eru mikilvægar, sérstaklega í ljósi loftslagsbreytinga sem hafa áhrif á klak-, uppeldis- og búsvæði þeirra. Augljóslega er þörf á reglulegri vöktun á seiðum beggja tegunda í Þingvallavatni og víðar til að fylgjast betur með ástandi stofna og breytingu á þeim.

ABSTRACT

Nursery grounds of juvenile fish provide them shelter and food making them essential for the life of an individual, the population and species as a whole. In Lake Þingvallavatn, Iceland, two species of salmonids inhabit the lake, Brown trout (*Salmo trutta*) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). Extensive biological studies have been conducted on adult fish of both species in the lake and its catchment area, but

much less is known about the biology of age-0 fish and the ecology of their first 1–2 years in the life. Given the critical importance of nursery areas for the existence of fish populations and their contribution to biological diversity, research was undertaken to examine the distribution of charr and trout juveniles in the surf zone of Lake Þingvallavatn and in streams connected to the lake. The research questions were, 1) Where in the lake and connected streams are juvenile fish found? 2) Has the density of charr and trout juveniles changed in the last twenty years? 3) Is there a connection between the environmental conditions and the presence of juvenile fish? Data from Veiðimálastofnun (now Hafrannsóknastofnun) surveys of salmonid juveniles in Þingvallavatn and adjacent rivers, spanning 2000 to 2021, were analyzed. In the summer of 2022, ten locations in Þingvallavatn were surveyed, fish were caught and measured, and several environmental factors were assessed using electrofishing. Fish were counted, identified by species, and measured for length and weight. Additionally, environmental factors, including the lake bottom composition and shoreline vegetation, were docu-

mented. The results show that the two species utilize different juvenile habitats, trout predominantly occupy river habitats, whereas charr are more abundant in the surf zone of the lake. There was a significant increase in density of the Brown trout over the 19-year period, but density of Arctic charr remained relatively stable with a sign of subtle decline. In 2022, six possible nursery sites were documented in the surf zone, four with majority of Arctic charr and two with mainly Brown trout. There was little overlap in the species distribution. Vegetation on the shoreline was the only environmental factor significantly correlated with the presence or absence of juvenile fish on a given site. Further studies on juvenile fish biology in the lake and adjacent streams and river might explore the interplay of environmental factors and genetics in shaping the size and morphology of adult fish in both species' populations. This is particularly relevant for Arctic charr, which features four distinct sub-populations (or morphs) differing in size, shape, trophic morphology and ecology.

ÞAKKIR

Við þökkum Samuel Tersigni, Anthony Curtat og Ruhilu Goswani fyrir hjálp við sýnatöku. Einnig þökkum við Þingvallabjóðgarð og sérstaklega hinum einstaka og frábæra Jóhanni Jónssyni bónda á Mjóanesi. Aðrar góðar þakkir fá umsjónarmenn, landeigendur og veiðréttarhafar, Sigurður Guðjónsson og Matthildur M. Guðmundsdóttir (Landsvirkjun), Einar Sveinsson (Lambhaga), Örn Jónasson (Nesjum), fulltrúar Veiðifélags Þingvallavatns og Jóhannes Sveinbjörnsson (Heiðarabæ), fyrir góð viðbrögð og ráðleggingar, sem og aðgang að bökkum vatnsins. Nýsköpunarsjóði námsmanna, Orkuveitunni og Landsvirkjun er þökkud fjármögnun.

Framlag höfunda var sem hér segir: Magnús og Benóný öfluðu allra sýna frá 2000 til 2021, greindu og skráðu, og útbjuggu 1. mynd. Guðbjörg og Arnar öfluðu sýna sumarið 2022, greindu og skráðu. Guðbjörg annaðist tölfraðigreiningar, gerði allar myndir og ritaði fyrstu drög greinar. Arnar umskrifaði síðan greinina og Benóný og Magnús lásu yfir og leiðréttu.

HEIMILDIR

- 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). 1–59.
- Beck, M.W., Heck, K.L., Able, K.W., Childer, D.L., Eggleston, D.B., Gillander, B.M., Halpern, B., Hays, C.G., Hoshino, K., Minello, T.J., Orth, R.J., Sheridan, P.F. & Weinstein, M.P. 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates: A better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *BioScience* 51. 633–641.
- Gibson, R.N. 1994. Impact of habitat quality and quantity on the recruitment of juvenile flatfishes. *Netherland Journal of Sea Research* 32. 191–206.
- Sheaves, M., Baker, R., Nagelkerken, I. & Connolly R.M. 2015. True value of estuarine and coastal nurseries for fish: Incorporating complexity and dynamics. *Estuaries and Coasts* 38. 410–414.
- Horwood, J.W., Nichols, J.H. & Milligan, S. 2008. Evaluation of closed areas for fish stock conservation. *Journal of Applied Ecology* 35. 893–903.
- Le Quesne, W.J.F., Hawkins, S.J. & Shephard, J.G. 2007. A comparison of no-take zones and traditional fishery management tools for managing site-attached species with a mixed larval pool. *Fish and Fisheries* 8. 181–195.
- Sigurður S. Snorrason, Skúli Skúlason, Jonsson, B., Hilmar J. Malmquist, Pétur M. Jónasson, Sandlund, O.T. & Lindem, T. 1994. Trophic specialization in Arctic charr *Salvelinus alpinus* (Pisces; Salmonidae): Morphological divergence and ontogenetic niche shifts. *Biological Journal of the Linnean Society* 52. 1–18.
- Skúli Skúlason, Hilmar J. Malmquist & Sigurður S. Snorrason. 2002. Þróun fiska í Þingvallavatni. Bls. 207–211 í: Þingvallavatn. Undraheimur í mótun (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Mál og menning, Reykjavík. 303 bls.
- Esin, E.V., Markevich, G.N. & Pichugin, M.Y. 2018. Juvenile divergence in adaptive traits among seven sympatric fish ecomorphs arises before moving to different lacustrine habitats. *Journal of Evolutionary Biology* 31. 1018–1034.
- Sandlund, O.T., Karl Gunnarsson, Pétur M. Jónasson, Jonsson, B., Lindem, T., Kristinn P. Magnússon, Hilmar J. Malmquist, Hrefna Sigurjónsdóttir, Skúli Skúlason & Sigurður S. Snorrason. 1992. The Arctic charr *Salvelinus alpinus* in Thingvallavatn. *Oikos* 64. 305–351.
- Sigurður S. Snorrason, Hilmar J. Malmquist & Skúli Skúlason. 2002. Bleikjan. Bls. 179–196 í: Þingvallavatn. Undraheimur í mótun (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Mál og menning, Reykjavík. 303 bls.
- Hilmar J. Malmquist, Sigurður S. Snorrason & Skúli Skúlason. 1985. Bleikjan í Þingvallavatni. I. Fæðuhættir. *Náttúrufræðingurinn* 55(4). 195–217.
- Össur Skarphéðinsson. 1996. Urriðadans. Ástir og örlög stórríðans í Þingvallavatni. Mál og menning, Reykjavík. 296 bls.
- Lagunas, M., Arnar Pálsson, Benóný Jónsson, Magnús Jóhannsson, Zophonias O. Jónsson & Sigurður S. Snorrason. 2023. Genetic structure and relatedness of brown trout (*Salmo trutta*) populations in the drainage basin of the Ölfusá river, South-Western Iceland. *PeerJ* 11:e15985. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.15985>
- Østbye, K., Hassve, M.H., Peris Tamayo, A.-M., Hagenlund, M., Vogler, T. & Præbel, K. 2020. “And if you gaze long into an abyss, the abyss gazes also into thee”: Four morphs of Arctic charr adapting to a depth gradient in Lake Tinnsjøen. *Evolutionary Applications* 13(6). 1240–1261.
- Alekseyev, S.S., Bajno, R., Gordeeva, N.V., Reist, J.D., Power, M., Kirillov, A.F., Samusenok, V.P. & Matveev, A.N. 2009. Phylogeography and sympatric differentiation of the Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.) complex in Siberia as revealed by mtDNA sequence analysis. *Journal of Fish Biology* 75. 368–392.
- Dönz, C.J., Krähenbühl, A.K., Walker, J., Seehausen, O. & Brodersen, J. 2019. Ecological opportunity shapes a large Arctic charr species radiation. *Proceedings of the Royal Society B*. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1992>
- Guðni Guðbergsson & Dórolfur Antonsson. 1996. Fiskar í ám og vötnum. Landvernd, Reykjavík. 191 bls.
- Woods, P.J., Skúli Skúlason, Sigurður S. Snorrason, Bjarni K. Kristjánsson, Finnur Ingimarsson & Hilmar J. Malmquist. 2013. Variability in the functional role of Arctic charr *Salvelinus alpinus* as it relates to lake ecosystem characteristic. *Environmental Biology of Fishes* 96(12). 1361–1376. <https://doi.org/10.1007/s10641-013-0114-x>
- Dempson, J.B. & Green, J.M. 1985. Life history of anadromous arctic charr, *Salvelinus alpinus*, in Fraser River, northern Labrador. *Canadian Journal of Zoology* 63. 315–324.
- Hilmar J. Malmquist. 1992. Phenotype-specific feeding behaviour of two arctic charr *Salvelinus alpinus* morphs. *Oecologia* 92. 354–361.
- MacCrimmon, H.R., Marshall, T.L. & Gots, B.L. 1970. World distribution of brown trout, *Salmo trutta*: Further observations. *Journal of the Fisheries Research of Canada* 27. 811–811.
- Magnús Jóhannsson & Benóný Jónsson. 2017. Smáðýralíf og fæða fiska í Veiðivötnum. Bls. 158–63 í: Gunnar Guðmundsson. Veiðivötn á Landmannafrétti. Bókhláða Gunnars Guðmundssonar, Hellu.
- Hákon Aðalsteinsson, Pétur M. Jónasson & Sigurjón Rist. 1992. Physical characteristics of Thingvallavatn, Iceland. *Oikos* 64. 121–135.
- Skúli Skúlason, Sigurður S. Snorrason, Noakes, D., Ferguson, M.M. & Hilmar J. Malmquist 1989. Segregation in spawning and early life history among polymorphic Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, in Thingvallavatn, Iceland. *Journal of Fish Biology* 35. 225–232.
- Magnús Jóhannsson & Benóný Jónsson. 2000. Seiðarannsóknir í Öxará, Ölfusvatnsá, Villingavatnsá og útfalli Þingvallavatns árið 2000. Veiðimálastofnun, Selfossi. 17 bls.
- Magnús Jóhannsson & Benóný Jónsson. 2002. Seiðarannsóknir í Öxará, Ölfusvatnsá, Villingavatnsá og útfalli Þingvallavatns árið 2001. Veiðimálastofnun, Selfossi. 15 bls.
- Magnús Jóhannsson & Benóný Jónsson. 2003. Seiðarannsóknir í Öxará, Ölfusvatnsá og Villingavatnsá ásamt urriðarannsóknunum í Þingvallavatni. Veiðimálastofnun, Selfossi. 20 bls.
- Magnús Jóhannsson, Ingi Rúnar Jónsson & Benóný Jónsson. 2004. Seiðarannsóknir í Öxará, Ölfusvatnsá, Villingavatnsá og Efra-Sogi ásamt urriðarannsóknunum í Þingvallavatni árið 2004. Veiðimálastofnun, Selfossi. 20 bls.
- Magnús Jóhannsson, Benóný Jónsson & Ingi Rúnar Jónsson. 2005. Seiðarannsóknir í Öxará, Ölfusvatnsá, Villingavatnsá, Þingvallavatni og Efra-Sogi ásamt urriðarannsóknunum í Þingvallavatni árið 2005. Veiðimálastofnun, Selfossi. 22 bls.
- Hilmar J. Malmquist & Jóhannes Sturlaugsson. 2002. Urriði í Þingvallavatni. Bls. 197–202 í: Þingvallavatn. Undraheimur í mótun (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Mál og menning, Reykjavík. 303 bls.
- Pétur M. Jónasson. 1992. The ecosystem of Thingvallavatn: A synthesis. *Oikos* 64. 45–434.
- Hilmar J. Malmquist. 2002. Urriðinn forðum í Efra-Sogi. Bls. 224–236 í: Þingvallavatn. Undraheimur í mótun (ritstj. Pétur M. Jónasson & Páll Hersteinsson). Mál og menning, Reykjavík. 303 bls.
- Magnús Jóhannsson, Benóný Jónsson, & Guðni Guðbergsson. 2009. Rannsóknir á urriða í Öxará, Ölfusvatnsá, Villingavatnsá og Þingvallavatni árið 2008. Veiðimálastofnun, Selfossi. 12 bls.
- Benóný Jónsson & Magnús Jóhannsson. 2021. Vöktun laxfiska í Þingvallavatni 2020. Hafrannsóknastofnun, Hafnarfirði. 4 bls.
- Svenning, M.-A., Falkegärd, M., Dempson, J.B., Power, M., Bärdsen, B.-J., Guðni Guðbergsson & 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*. <https://doi.org/10.1111/fwb.13693>
- Mari, L., Garaud, L., Evanno, G. & Lasne, E. 2016. Higher temperature exacerbates the impact of sediments on embryo performance in a salmonid. *Biology Letters* 12(12). 20160725.
- Jeppesen, E., Mehner, T., Winfield, I.J., Kangur, K., Sarvala, J., Gerdeaux, D., Rask, M., Hilmar J. Malmquist, Holmgren, K., Volta, P., Romo, S., Eckmann, R., Sandström, A., Blanco, S., Kangur, A., Ragnarsson Stabo, H., Tervainen, M., Ventelä, A.-M., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L. & Meerhof, M. 2012. Impacts of climate warming on the long-term dynamics of key fish species in 24 European lakes. *Hydrobiologia* 694. 1–39.
- Baroudy, E. & Elliott, J.M. 1994. The critical thermal limits of juvenile Arctic charr *Salvelinus alpinus*. *Journal of Fish Biology* 45(6). 1041–1053.

40. Ojanguren, A.F., Reyes-Gavilán, F.G. & Braña, F. 2001. Thermal sensitivity of growth, food intake and activity of juvenile brown trout. *Journal of Thermal Biology* 26(3). 165–170.
41. Hilmar J. Malmquist, Finnur Ingimarsson, Haraldur R. Ingvason, Stefán Már Stefánsson & Þóra Hrafnadóttir. 2020. Hlýnun Þingvallavatns og hitaferlar í vatninu. Náttúrufræðingurinn 90(1). 80–99.
42. Magnús Jóhannsson & Benóný Jónsson. 2002. Aldursrannsóknir, merkingar og heimtur á urriða úr Öxará árin 2000–2001. Veiðimálastofnun, Selfossi. 15 bls.
43. Magnús Jóhannsson & Benóný Jónsson. 2018. Fiskrannsóknir á Ölfusvatnsá í Grafningi 2015–2017. Hafrannsóknastofnun, Reykjavík. 14 bls.
44. Ackerman, P.A., Morgan, J.D. & Iwama, G.K. 2005. Anesthetics. Viðauki við: The care and use of fish in research, teaching and testing. Canadian Council on Animal Care (CCAC), Ottawa. 22 bls. https://ccac.ca/Documents/Standards/Guidelines/Fish_Anesthetics.pdf
45. Htun-Han, M. 1978. The reproductive biology of the dab *Limanda limanda* (L.) in the North Sea: Gonadosomatic index, hepatosomatic index and condition factor. *Journal of Fish Biology* 13(3). 351–377.
46. Frank, B.M., Piccolo, J.J., Baret, P.V. 2011. A review of ecological models for brown trout: Towards a new demogenetic model. *Ecology of Freshwater Fish* 20(2). 167–198.
47. Weinstein, S.Y., Gallagher, C.P., Hale, M.C., Loewen, T.N., Power, M., Reist, J.D. & Swanson, H.K. 2024. An updated review of the post-glacial history, ecology, and diversity of Arctic char (*Salvelinus alpinus*) and Dolly Varden (*S. malma*). *Environmental Biology of Fishes* 107. 121–154.
48. Jóhannes Sturlaugsson. 2014, 31.12. Þingvallauriði – fréttir af hrygningarslóð 2014. Á vefsetrinu Laxfiskar – fiskirannsóknir í ám, vötnum og sjó. Slóð (sótt 26.11. 2024): http://www.laxfiskar.is/index.php?option=com_content&view=article&id=169&Itemid=179&lang=is
49. Kapralova, K.M., Morrissey, M.B., Bjarni K. Kristjánsson, Guðbjörg Á. Ólafsdóttir, Sigurður S. Snorrason & Ferguson, M.M. 2011. Evolution of adaptive diversity and genetic connectivity in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in Iceland. *Heredity* 106(3). 472–487.
50. Jóhannes Guðbrandsson, Kapralova, K.H., Sigríður Rut Franzdóttir, Þóra Margrét Bergsveinsdóttir, Völundur Hafstað, Zophanías O. Jónsson, Sigurður S. Snorrason & Arnar Pálsson 2019. Extensive genetic differentiation between recently evolved sympatric Arctic charr morphs. *Ecology and Evolution* 9(19). 10964–10983.
51. Sandlund, O.T., Hilmar J. Malmquist, Jonsson, B., Skúli Skúlason, Sigurður S. Snorrason, Pétur M. Jónasson, Gydemo, R. & Lindem, T. 1988. Density, length distribution, and diet of age-0 arctic charr *Salvelinus alpinus* in the surf zone of Thingvallavatn, Iceland. *Environmental Biology of Fishes* 23. 183–195.
52. Skúli Skúlason, Sigurður S. Snorrason, Ota, D. & Noakes, D.L.G. 1993. Genetically based differences in foraging behaviour among sympatric morphs of arctic charr (Pisces: Salmonidae). *Animal Behavior* 45(6). 1179–1192.
53. Kapralova, K.H., Jóhannes Guðbrandsson, Sigrún Reynisdóttir, Santos, C.B., Baltanás, V.C., Maier, V.H., Sigurður S. Snorrason & Arnar Pálsson. 2013. Differentiation at the *MHCIIa* and *Cath2* loci in sympatric *Salvelinus alpinus* resource morphs in Lake Thingvallavatn. *Plos One* <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069402>
54. Sigurður S. Snorrason, Skúli Skúlason, Sandlund, O.T., Hilmar J. Malmquist, Jonsson, B. & Pétur M. Jónasson. 1989. Shape polymorphism in Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Physiology and Ecology Japan*. Special volume 1. 393–404.
55. Jóhannes Guðbrandsson, Pashay Ahi, E., Sigríður Rut Franzdóttir, Kapralova, K.H., Bjarni K. Kristjánsson, Steinháuser, S.S., Maier, V.H., Ísak M. Jóhannesson, Sigurður S. Snorrason, Zophanías O. Jónsson & Arnar Pálsson. 2016. The developmental transcriptome of contrasting Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) morphs. *F1000Research* 4:136. <https://doi.org/10.12688/f1000research.6402.3>
56. Guðmunda Þórðardóttir & Guðni Guðbergsson. 2023. Lax- og silungsveiðin 2022. Hafrannsóknastofnun, Hafnafirði. 26 bls.
57. Guðni Guðbergsson & Sigurður Guðjónsson 1993. Rannsóknir á fiskistofnum Þingvallavatns 1992. Veiðimálastofnun, Selfossi. 2 bls.
58. Finnur Ingimarsson. 2002. Breytileiki í höfuðbeinum bleikjuafbrigða í Þingvallavatni. Óbirt lokaverkefni í fjórðaársnámi í líffræði við Háskóla Íslands.
59. Guðbjörg Ósk Jónsdóttir, von Elm, L.-M., Finnur Ingimarsson, Tersigni, S., Sigurður S. Snorrason, Arnar Pálsson & Steele, S.E. 2024. Diversity in the internal functional feeding elements of sympatric morphs of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Plos One* 19(5). e0300359. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0300359>
60. Hilmar J. Malmquist, Þórólfur Antonsson, Haraldur R. Ingvason, Finnur Ingimarsson & Friðþjófur Árnason. 2009. Salmonid fish and warming of shallow Lake Elliðavatn in Southwest Iceland. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 30. 1127–1132.

UM HÖFUNDA



Guðbjörg Ósk Jónsdóttir (f. 1997) er doktorsnemi í líffræði við Líf- og umhverfisvísindadeild Háskóla Íslands og rannsakar breytileika í lögun laxfiska og höfuðbeinum þeirra.

goj14@hi.is



Arnar Pálsson (f. 1970) er með doktorspróf í erfðafræði. Hann starfar sem prófessor í líffræði við Líf- og umhverfisvísindadeild Háskóla Íslands, og rannsakar þróun, þroskun og erfðir.

apalsson@hi.is



Benóný Jónsson (f. 1968) er með BS-próf í líffræði. Hann starfar hjá Hafrannsóknastofnun við rannsóknir á lífríki ferskvatns.

benony.jonsson@hafogvatn.is



Magnús Jóhannsson (f. 1954) er með cand. scient.-próf í vatnalíffræði. Hann starfar hjá Hafrannsóknastofnun við rannsóknir á lífríki ferskvatns með sérstakri áherslu á ferskvatnsfiska.

magnus.johannsson@hafogvatn.is

Þórhildur Fjóla Kristjánsdóttir
og Jónas Þór Snæbjörnsson

Orkunotkun íbúða- bygginga á Íslandi — Yfirlitsgrein

MARKMIÐ þessarar greinar er að gefa yfirlit um orkunotkun bygginga, rekja þær rannsóknir og greiningar sem gerðar hafa verið varðandi orkunotkun í íbúðarbyggingum á Íslandi og gera samanburð við stöðuna í Evrópu.

Fjallað verður um byggingarflokka og orkunotkun bygginga í heiminum. Stuttlega er farið yfir helstu þætti sem hafa áhrif á orkunotkun bygginga og hvernig má draga úr orkunotkun til upphitunar. Í því samhengi er þróun krafna um einangrun húsa í byggingarreglugerð hérlendis kynnt og rædd Evróputilskipun um orkunotkun bygginga.

Í framhaldinu eru teknar saman helstu niðurstöður eldri ástandskannana á vegum Orkustofnunnar og nýlegrar rannsóknar á raunorkunotkun bygginga, og fjallað bæði um þær nýjungar sem eru að eiga sér stað og um framtíðarþróun. Þar má nefna snjallmæla til að fylgjast með orkunotkun húsa, fyrirsjáanlega aukningu í orkunotkun og loftslagsáhrif núverandi orkunotkunar. Að lokum eru umræður, niðurstöður kynntar og næstu skref tekin saman.

INNGANGUR

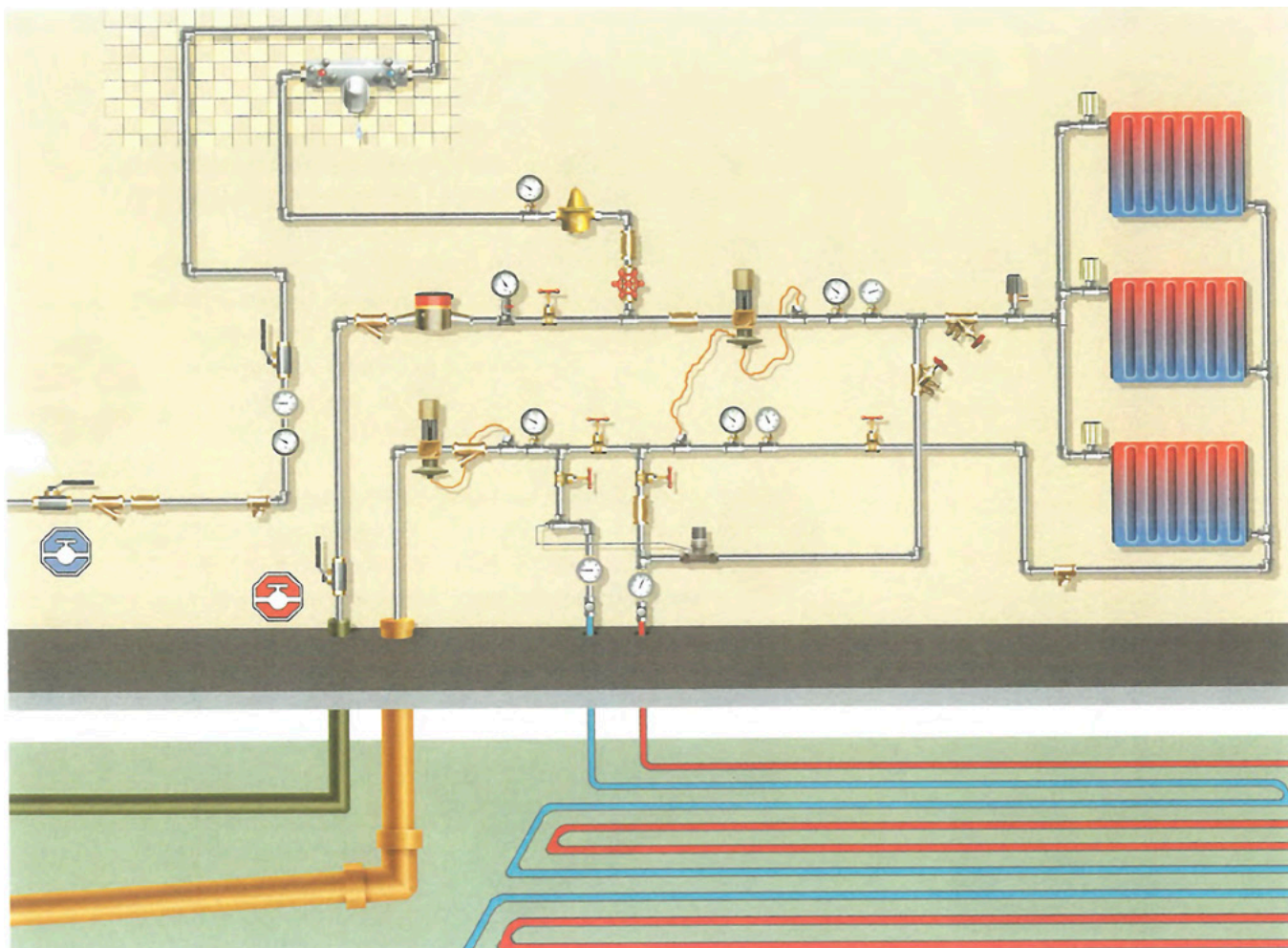
Byggingar eru margvíslegar og þjóna mismunandi hlutverki. Þeim er yfirleitt skipt í tvo meginflokka, atvinnuhúsnæði (s.s. skrifstofur og verslanir) og íbúðarhúsnæði (s.s. einbýlishús og fjölbýlishús). Samkvæmt samantekt frá verkefninu Byggjum grænni framtíð¹ er íbúðarhúsnæði um 48% bygginga á Íslandi, sjá töflu 1. Í Evrópusambandsríkjunum er hlutfall íbúðarhúsnæðis af heildarbyggingarmassanum hærra, eða um 75%.² Heildarflatarmál íbúðarhúsnæðis á Íslandi er samkvæmt fasteignaskrá 18,7 milljónir fermetra, og eru 63% bygginganna eldri en 30 ára.³

ORKUNOTKUN BYGGINGA

Á heimsvísu fer til bygginga um 30% af allri orku sem framleidd er og við það myndast um 26% af allri losun gróðurhúsalofttegunda frá orkunotkun.⁴ Mest er losunin (18%) frá framleiðslu fjarvarmaorku og rafmagns sem nýtt er í byggingum. Brúni olíu og gass við kyndingu og eldamennsku veldur um 8% af heildarlosun gróðurhúsalofttegunda frá orkunotkun í heiminum.⁵ Í Evrópusambandsríkjunum er hlutfall orkunotkunar til bygginga hærra en á heimsvísu, eða um 40%,⁶ og myndar um 35% af allri orkutengdri losun gróðurhúsalofttegunda innan ESB.⁷ Losun

gróðurhúsalofttegunda frá orkunotkun í byggingum í Evrópu hefur þó minnkað um rúmlega þriðjung milli 2005 og 2021 vegna aukinna krafna um orkunýtni og hreinni orkuframleiðslu.⁷

Mest orka í íbúðarhúsnæði í heiminum er nýtt við að hita og kæla byggingar til þess að skapa þægilega innivist. Yfirleitt er miðað við innihitastig á bilinu 20–26 °C.⁵ Í atvinnuhúsnæði er orkunotkunin yfirleitt fjölbreyttari og hlutfallslega meiri orka fer til lýsingar og tækjabúnaðar sem tengist starfsemiinni. Hitun og kæling nemur að meðaltali um 50% af orkunotkun atvinnuhúsnæðis í heiminum.⁵



Heildarmynd af hita- og neysluvatnskerfi og frárennsli, þ.e. inntak og tengigrind hitaveitu, inntak og tengigrind fyrir kalt vatn, húsveitu-grind, ofnakerfi og snjóbræðslukerfi. – A comprehensive overview of the heating, domestic water, and drainage systems, including geothermal heating and cold water inlets, connection manifolds, domestic water manifold, radiator system, and snow melting system. Mynd/Photo: Rannsóknarstofnun Byggingariðnarins, rit nr. 88.

Í ESB-ríkjunum er hlutfall orkunotkunar á heimilum til upphitunar rýmis 64%, til vatnshitunar 14,5%, orka, til lýsingar og tækja nemur 13,6% og til eldamennnsku 6%, eins og sjá má á mynd 1.⁶ Orkan sem nú er notuð í íbúðarbyggingum í ESB-ríkjunum er að mestum hluta gas (33,5%) og rafmagn (25,0%), en einnig er notast við olíu (9,5%) og kol (2,5%) auk annara orkukosta.⁶

Í Noregi hafa verið teknar saman tölur um orkunotkun mismunandi bygginga eins og sjá má á mynd 2 sem byggð er á gögnum frá Enova (2017).⁸ Í ljós kemur að orkunotkunin á fermetra er mest í

matvöruverslunum. Þar er bæði mikil kæling og lýsing og byggingarnar eru í notkun allt árið. Skólabyggingarnar eru með eina minnstu notkun á fermetra á ári, líklega vegna þess að þær eru ekki í samfelldri notkun allt árið.⁸ Meðaltal heildarorkunotkunar íbúðarbygginga í Noregi á ári er 143 kWst/m² í blokk og 166 kWst/m² í sérbýli, miðað við loftslag í Ósló.

Á Íslandi eru um 90% íbúða kynt með jarðhita og um 10% með rafmagni, fjarhitaveitum eða olíukyndingu.⁹ Orkunotkun heimila á jarðhitasvæðum má skipta í tvo aðalflokka eftir því hvaða orka er nýtt, jarðhiti til upphitunar og

heitavatnsnotkunar, og svo rafmagn til lýsingar, eldunar og tækjabúnaðar. Samkvæmt upplýsingum frá Orkustofnun og Húsnæðis- og mannvirkjastofnun (HMS) er ársnotkunin að meðaltali um 272 kWst/m² af heitu vatni og 33 kWst/m² af rafmagni, sem þýðir að á Íslandi nemur hlutfall orkunotkunar til upphitunar rýmis og öflunar heits vatns nálægt 90% allrar orkunotkunar í byggingum.^{9,10} Almenn heimilisnotkun rafmagns, var 619 GWst árið 2022 án rafhitunar heimila, og með rafhitun 738 GWst.¹¹ Heildar-jarðhitunotkun til hitunar heimila var sama ár um 4.192 GWst.¹²

1. Tafla. Hlutfall mismunandi byggingartegunda af heildarbyggingamassa á Íslandi.¹
– Proportion of different building types of the total building mass in Iceland.

Byggingarflokkur	Hlutfall af byggingum
Útihús	10%
Einbýli/sérbýli	25%
Fjölbýli	23%
Bílskúr/skúr	4%
Sumarhús	3%
Verslanir og skrifstofuhús	9%
Iðnaðarhús	10%
Vörugeymslur	2%
Sérhæfðar byggingar	14%

ÁHRIFAPÆTTIR ORKU-NOTKUNAR Í BYGGINGUM

Margir ólíkir þættir hafa áhrif á orku-notkun í byggingum. Hinir helstu eru:

- Loftslag (s.s. útihitastig, vindur og sólarstundir)
- Notendahegðun (fjöldi notenda, innihitastig, lengd og fjöldi sturtuferða, notkunartími o.fl.)
- Einangrun (veggir, þak, gólf, gluggar, dyr)
- Hitakerfi (hitastýring og stilling tæknikerfa)
- Loftskipti (þéttleiki húsa, loftun og loftræsikerfi)
- Hönnun og rýmisnýtni (s.s. lofthæð og stærð rýmis og stærð veðurhjúps)
- Nýting dagsbirtu
- Raftæki og lýsingarbúnaður (s.s. fjöldi tækja og nýtni)
- Byggingarefni (magn og eðlisvarmi byggingarefna)
- Orkugjafi (verð og aðgengi að orku)
- Umhverfi (s.s. skuggavarp, jarðvegur og skjól)

BYGGINGARREGLUGERÐIN

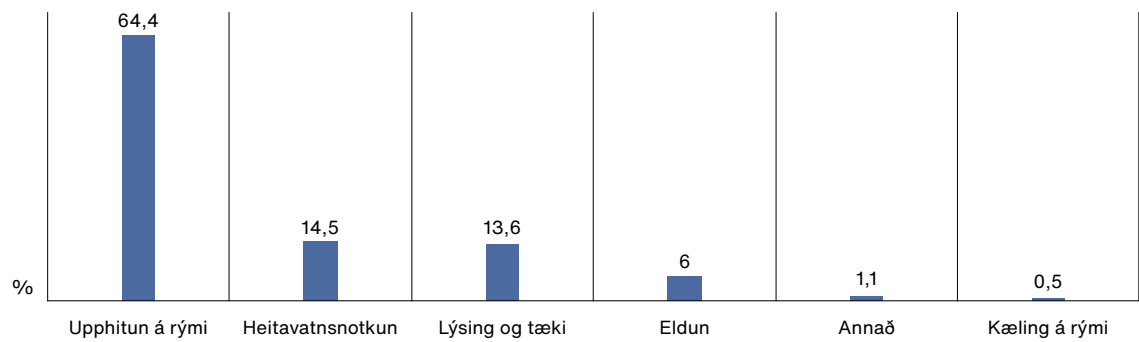
Fjallað er um orkusparnað og hita-einangrun í kafla 13 í byggingareglugerðinni frá 2012.¹³ Þar eru settar fram kröfur um einangrun, loftskipti og varmatap bygginga. Markmiðið er að stuðla að þægilegri innivist, hagkvæmri orkunýtingu og sjálfbærri nýtingu náttúruauðlinda. Tafla 2 sýnir kröfur um U-gildi einstakra byggingarhluta samkvæmt reglugerð¹³ og til hliðsjónar sömu atriði í samsvarandi reglugerð í Noregi¹⁴ ásamt gildum frá eldri útgáfum af byggingarreglugerðinni hér.^{3,15–17} U-gildið gefur til kynna hve mikil orka (W) streymir í gegnum flatareiningu (m²) þegar hitamunur í lofti sitthvoru megin við byggingarhlutann er 1°C. Eins og sjá má í töflu 2 hefur orðið lítil breyting á kröfum til einangrunar íslenskra bygginga síðastliðna fjóra áratugi, eða síðan 1984.

Við endurskoðun byggingarreglugerðarinnar árið 2012 var lagt til að lækka nokkur viðmiðunargildi af þessu tagi. Til dæmis var lagt til að U-gildið fyrir þök lækkaði úr 0,2 í 0,15 W/m²°C og veggja úr 0,4 í 0,25 W/m²°C, en breytingin mætti andstöðu og varð ekki að veruleika. Til samanburðar má sjá að kröfur til U-gilda útveggja eru helmingi lægri í Noregi (TEK17) en á Íslandi, og að auki er umtalsverður munur á leyfilegum U-gildum glugga.

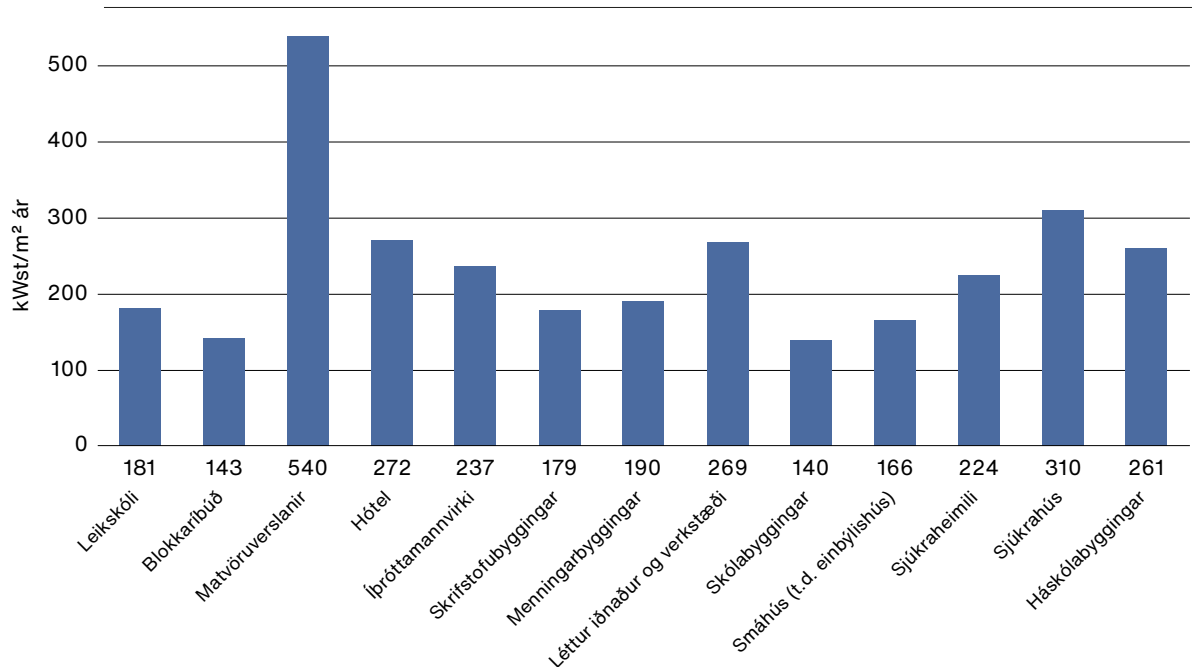
EVROPUREGLUGERÐ

Árið 2002 kom út fyrsta tilskipun Evrópu-sambandsins um orkunýtni bygginga (e. *Buildings Energy Performance Directive* (EPBD) 2002/91/EC). Hún hefur síðan verið uppfærð reglulega og var endurútfærin árið 2010.¹⁸ Í tilskipuninni er meðal annars farið yfir innleiðingu orku-merkinga fyrir byggingar og þar er mælt fyrir um að allar nýbyggingar skyldu vera „núllorku-byggingar“ (e. net-zero) fyrir árið 2020.¹⁸ Í skýrslu frá Almennu verkfræðistofunni (nú Verkís) var farið ýtarlega yfir reglugerðina frá 2010 og innleiðingu hennar í nágrannalöndum okkar.¹⁹ Ísland hefur sérstöðu varðandi upphitun bygginga vegna jarðhitans. Óskuðu stjórnvöld því eftir undanþágu frá tilskipuninni og var það samþykkt.²⁰ Hinar auknu kröfur ESB hafa haft merkjanleg áhrif á orkunotkun bygginga í ESB-ríkjunum, samanber mynd 3. Orkunotkun í byggingum frá því eftir 2010 er mun minni en orkunotkun til upphitunar eldri bygginga.²¹

Í Noregi hefur verið gefinn út sérstakur staðall um orkunotkun svokallaðra passífhúsa (n. passivhus). Í slíkum byggingum er lögð áhersla á að nýta vel allan gefins varma, svo sem sólarorku og hita frá notendum og tækjum í gangi. Orkunotkun í þessum byggingum getur farið allt niður í 80–120 kWst/m².²² Þær eru betur einangraðar en hefðbundin hús, og sérstaklega er hugað að orkunýtni hönnun. Til dæmis er staðsetning og stærð gluggaflata bestuð, varmaendurnýting lofts er skilvirk og virk stýring er á orkunotkuninni.



1. mynd. Hlutfallsleg orkunotkun heimila í Evrópu.⁶ – Relative Energy Consumption of Households in Europe.



2. mynd. Orkunotkun mismunandi tegunda bygginga í Noregi miðað við loftslag í Ósló.⁸
– Energy Consumption of Different Types of Buildings in Norway Based on the Climate in Oslo.

ORKUNÝTNI OG ORKUSPARNAÐUR

Til þess að draga úr þörf fyrir upphitun er hægt að bæta einangrun glugga, þaks, veggja og gólfs. Tafla 3 sýnir meðalhluftallsskiptingu varmataps mismunandi byggingarhluta og loftskipta úr ástandskönnun fjörutíu og þriggja bygginga.¹⁵

Varmatap einstakra bygginga og byggingarhluta reyndist mjög mismunandi og fór eftir hönnun bygginganna og mismunandi áhrifum einstakra byggingarhluta. Í niðurstöðum könnunarinnar kom fram að til þess að draga úr upphitunarþörf væri skynsamlegast að bæta einangrun byggingarhluta, minnka loftskipti, lækka innihita og bæta stýringu hitakerfa.

Ýmsar aðrar aðgerðir til orkusparnaðar í byggingum hafa verið kannaðar að undanfögnu.

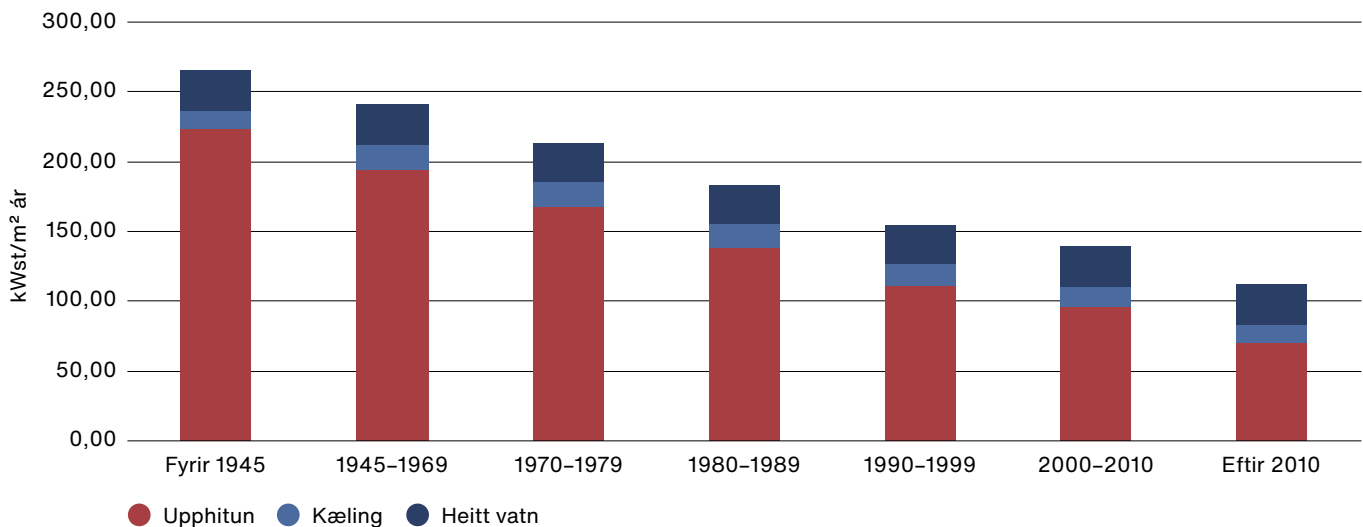
Jóhann Númasson (2012)²³ skoðaði hagkvæmar leiðir til þess að draga úr kostnaði til upphitunar skólabyggingar á köldu svæði. Í ljós kom að varmatapið var mest í gegnum gamla lélega glugga og væri ráðlegt að skipta út hluta þeirra og endureinangra sökklá. Magni Grétarsson (2012)²⁴ fór yfir áhrif mögulegra breytinga í byggingarreglugerð á byggingu nýrra einbýlishúsa á köldum svæðum. Samkvæmt þeirri greiningu var ekki hagkvæmt að einangra bygginguna miðað við drög að byggingarreglugerð 2012. Niðurstaða beggja þessara greininga var einnig að hagkvæmt væri að nýta varmadælur til upphitunar.

Jón Sigurðsson (2012)²⁵ skoðaði vistvænar áherslur í rekstri bygginga og bar saman orkunotkun í aðalbyggingu Orkuveitu Reykjavíkur við Bæjarháls 1 árin 2008 og 2011. Niðurstöður hans voru að hægt væri að draga úr kostnaði til upphitunar um allt að 40%, meðal annars með betri stillingum á húskerfum og betra eftirliti með loft-ræsi- og hitakerfum. Sú niðurstaða er í samræmi við niðurstöðu Matthíasar Ásgeirssonar (2023)³, sem komst að því að bætt hitastýring væri vænlegust til að bæta orkunotkun eldri bygginga.

Þórunn Nanna Ragnarsdóttir (2023)²⁶ athugaði reikningslega orkunotkun fyrir Svansvottað raðhús, og kom í ljós að varmatap var mest vegna loftskipta í gegnum glugga og að vélræn loftræsing

2. tafla. Kröfur um einangrunargildi helstu byggingarluta í byggingarreglugerð frá 1945 til 2012 með samanburði við gildi úr norsku byggingarreglugerðinni frá 2017 – Requirements for Insulation Values of Major Building Components in Building Regulations from 1945 to 2012 with a Comparison to Values from Norwegian Building Regulations of 2017.

U-gildi byggingahluta, U-gildi [$\text{W/m}^2\text{C}$]	1945	1965	1979	1984	1998	2012	Norsk TEK17
Útveggir	1.16	0.8	0.5	0.4	0.4	0.4	0.18
Léttir útveggir	1.16	0.8		0.4		0.3	0.18
Þök	1.16	0.8	0.3	0.2	0.2	0.2	0.13
Gólf	1.16	0.8	0.4	0.3	0.3	0.3 (0.2 útiloft)	0.10
Gluggar (vegið meðaltal karma og glers)	-	-	-	2.5	2	2	0.80
Útveggir, vegið meðaltal	-	-	-	0.85		0.85	-
Kuldabryr, vegið meðaltal	-	-	-			-	0.05-0.07



3. mynd. Orkunotkun bygginga í Evrópusambandinu eftir byggingarári, við upphitun og kælingu.²¹ – Energy Consumption of Buildings in the European Union by Year of Construction, for Heating and Cooling.

með varmaendurnýtingu gæti mögulega dregið úr orkunotkun til upphitunar.

Orkunotkun í byggingum er háð hegðun notenda bygginganna, sérstaklega því hversu heitt þeir vilja hafa inni hjá sér og hversu mikið þeir lofta út. Með því að lækka innihita um eina gráðu minnkar orkunotkun til upphitunar að meðaltali um 5–7%^{15,27} Fjöldi íbúa í hverri íbúð hefur líka áhrif á orkunotkun. Sá fjöldi hefur minnkað að meðaltali undanfarin ár, og hafa breytingar á fjölskyldustærð ekki síst haft áhrif á þá þróun.²⁸ Árið 1995 voru um 2,75 einstaklingar að meðaltali í hverri íbúð en núna um 2,5. Örar breytingar á orkunotkun tækjabúnaðar og lýsingar síðustu ár

hafa einnig haft áhrif á raforkunotkun heimila. Þar á meðal er innleiðing ljóstvists-tækninnar (e. LED) og almennt betri orkunýtni í nýjum tækjabúnaði. Árið 1992 kom út Evróputilskipun um orkumerkingar og nýtni heimilstækja²⁹ sem síðan hefur verið uppfærð reglulega. Dæmi um umræddar orkumerkingar eru á mynd 4. Meðaltalsorkunotkun allra nýrra ísskápa sem seldir voru í ESB-ríkjunum dróst saman um 25% milli 2004 og 2014.³⁰ Ljóstvistur notar um 75% minni orku en hefðbundin glóðarpera. Nýja tæknin hefur því dregið mjög úr orkunotkun til lýsingar og er að verða leiðandi tækni á markaðnum í heiminum.³¹

ORKUNOTKUN BYGGINGA GREIND

Unnið hefur verið að nokkrum stórum verkefnum við að greinaorkunotkun íbúðarbygginga síðastliðin 40 ár og hefur Orkustofnun haft yfirumsjón með flestum þessara verkefna. Tölulegar niðurstöður þessara rannsókna má sjá í töflu 4.

Orkunotkun til upphitunar með rafmagni hefur verið mæld í kWst á rúmmetra íbúðar, kWst/m³. Þegar jarðhiti er notaður til upphitunar er yfirleitt talað um magn í rúmmetrum af heitu vatni annaðhvort á rúmmetra af húsnæði eða á fermetra af húsnæði. Til þess að breyta rúmmetrum af heitu vatni í kWst þarf að áætla orkuinni-



Hefðbundinn 50 ára gamall þilofn með Retúr loka, staðsettur undir glugga. – A traditional 50-year-old panel oven with a return valve, located under a window. Ljósmynd/Photo: Jónas Þór Snæbjörnsson

3. tafla. Varmatap mismunandi byggingarhluta – meðaltal úr ástandskönnun 43 bygginga.¹⁵
– Heat Loss of Different Building Components – Average from a Condition Survey of 43 Buildings.

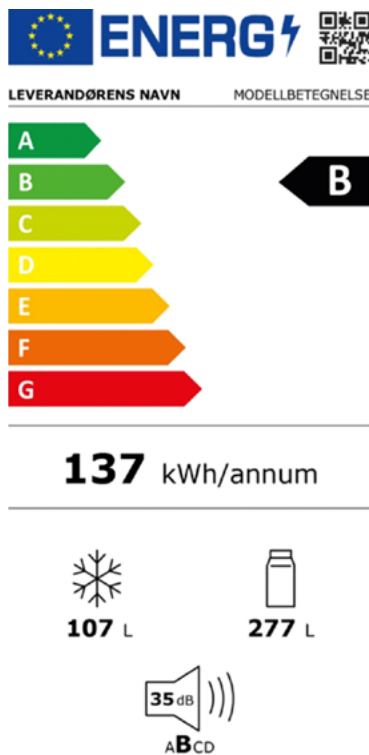
Byggingarhluti	Hlutfallsskipting varmataps byggingarhluta (meðaltal 43 bygginga)
Þak	14,7%
Veggir	21,3%
Gluggar og hurðir	25,6%
Gólf	16,4%
Loftskipti	22,0%
Sérhæfðar eignir	14,0%

haldið. Oft hefur verið miðað við að 1 m³ af heitu vatni nemi um 52 kWst, þar sem gert er ráð fyrir um 45 gráðu hitastigsbreytingu á vatninu (úr 75 gráðum í 30 gráður). Upplýsingar um fermetrafjölda húsnæðis eru tiltölulega áreiðanlegar og vel skráðar. Hins vegar er töluverður breytileiki og óvissa í fyrirliggjandi upplýsingum um rúmmál húsa þar sem það er ekki alltaf skráð í gagnagrunna um fasteignir. Raunveruleg hitastigsbreyting á innrás og bakrás hitakerfa er líka breytileg. Til þess að breyta tölum úr fermetrum húsnæðis í rúmmetra húsnæðis er almennt beitt nálgun um loft hæð húsa. Algenget hefur verið að miða við lofthæðina 3,3 m og er það gert hér.³

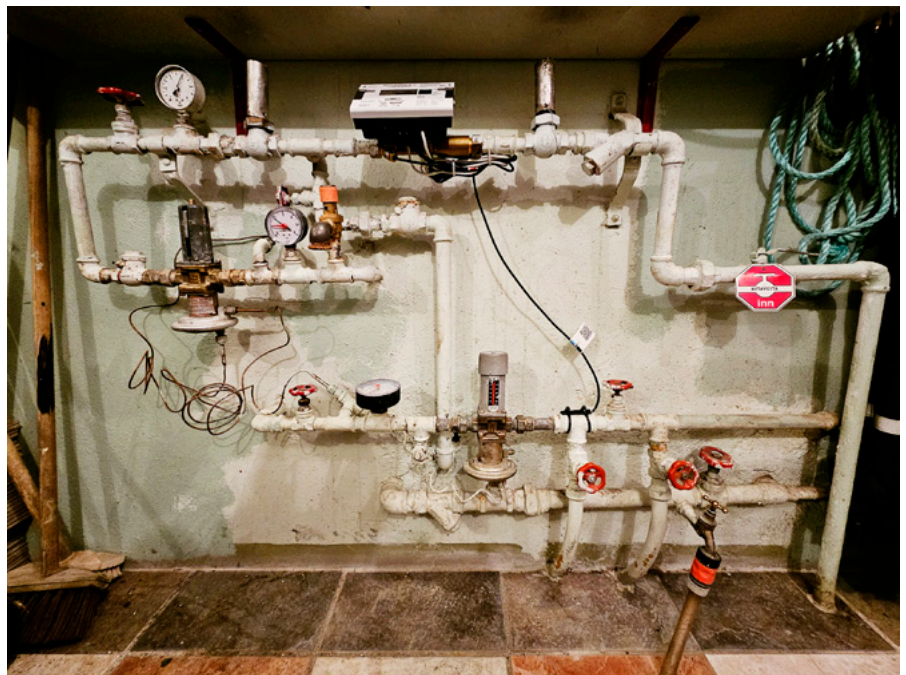
Fyrsta könnun um orkunotkun íslenskra bygginga var gerð árið 1979 í kjölfar olíukreppunnar þegar verð á olíu tvöfaldaðist frá 1978 til 1980.³³ Í ljósi þessara verðhækkana var farið að skoða betur hvernig mætti lækka orkukostnað á Íslandi. Gerð var ástandskönnun 1979–1980 um orkunotkun 320 bygginga á fjórum þéttbýlisstöðum, á Bolungarvík, í Neskaupstað, á Raufarhöfn og á Hvolsvelli.^{15,34}

Í tengslum við orkusparnaðaráttak iðnaðarráðuneytisins var árið 1984 athuguð orkunotkun rafhitaðs íbúðarhúsnæðis í þéttbýli á grundvelli gagna frá Orkubúi Vestfjarða og Rafmagnsveitu ríkisins (RARIK). Gögn um stærð

húsa voru fengin frá Fasteignamati ríkisins.³⁵ Þar sem árið 1985 voru einungis til haldbær gögn um raforkunotkun til upphitunar gerði Orkustofnun til sam- anburðar greiningu á jarðhitunotkun til hitunar á íbúðarhúsum í Kópavogi.³⁶ Gögnin voru fengin frá Hitaveitu Reykjavíkur og frá Fasteignamati ríkisins um rúmmál og aldur húsa. Orkustofnun kannaði jafnframt gögn frá Hitaveitu Hafnarhrepps fyrir íbúðarhús í Höfn í Hornafirði árin 1984 og 1985.³⁷ Greiningin sýndi að því stærri hús sem húsin voru, þeim mun minni var orkunotkunin á hvern rúmmetra, og að því eldri sem húsin voru, þeim mun meiri var notkunin.



4. mynd. Dæmi um orkumerkingar frá 2021 samkvæmt Evrópureglugerð, þar sem fram kemur áætluð orkunotkun á ári fyrir viðkomandi vöru.³² – Example of Energy Labels from 2021 According to European Regulations, Indicating Estimated Annual Energy Consumption for the Respective Product.



Dæmigerð hitaveitugrind í eldra húsnaði, með snjallmæli. Á grindinni eru mælar sem sýna þrýsting fyrir þrýstijöfnun, þrýsting eftir þrýstijöfnun ásamt þrýstingi og hita á bakrás. – A typical geothermal heating manifold in older buildings, equipped with a smart meter. The manifold includes gauges that display the pressure before and after pressure equalization, as well as the pressure and temperature on the return flow. Ljósmynd./Photo: Jónas Þór Snæbjörnsson

Til þess að afla meiri þekkingar um orkunotkun bygginga var gerð ástandskönnun um fjörutíu og þrjár byggingar sumarið 2005 fyrir Orkustofnun og iðnaðarráðuneytið¹⁵ sem áður var fjallað um. Markmiðið var að leita leiða til að draga úr orkunotkun bygginga á köldum svæðum til þess að hægt væri að draga úr niðurgreiðslum til húshitunar. Rannsóknin sýndi meðal annars að oft er mikill breytileiki í orkunotkun milli húsa, án þess að augljósar skýringar liggi fyrir.

Verkfræðideild Háskóla Íslands kortlagði orkunotkun í öllum húsum sem voru með niðurgreidda rafhitun árið 2004, samkvæmt upplýsingum Orkustofnunar, með það að markmiði að auka þekkingu og lækka kostnað ríkisins við niðurgreiðslu raforku til upphitunar.²⁷ Þar kom svipað í ljós og í könnuninni á Höfn í Hornafirði, að stærð, aldur og staður húsnaðs hefur tölfraðilega marktæk áhrif á orkunotkun til hús-

hitunar. Með meira rúmmáli minnkar hlutfall útveggja af upphituðu rými, það er betri einangrun í húsum sem byggð eru eftir 1980, og útilhitastig hefur mikil áhrif og þar með hvar húsið er á landinu.²⁷

Niðurstöður ástandskannana og rannsókna á orkunotkun við upphitun með raforku gefa nokkuð svipaðar niðurstöður, eða árlega orkunotkun á bilinu 214 kWst til 290 kWst/m², eins og sjá má í töflu 4.

Veitur gefa út tölfraði um líklega orkunotkun íbúðarhúsnaðs, og skipta því í þrjá flokka: stærri fjölbýli, minni fjölbýli og einbýlishús. Samkvæmt tölunum frá Veitum notar íbúðarhúsnaði að meðaltali um 231 kWst/m² á ári til upphitunar. Forsendur fyrir húshitun í Orkusparnefnd⁹ gera ráð fyrir því að orkupörf sé 60 kWst/m³ sem er ekki langt frá þeirri tölu sem fæst með því að deila með 3,3 m í 231 kWst/m², en það gefur 70 kWst/m³.

Í nýlegri rannsókn Háskólans í Reykjavík, Eflu, Grænni byggðar og fleiri voru greind sýnishorn af gagnasafni Orkuveitu Reykjavíkur, þar sem orkunotkun íbúða á höfuðborgarsvæðinu var skoðuð, bæði notkun rafmagns og heits vatns. Sú greining sýndi að meðaltalsnotkun heits vatns í íbúðarhúsum var um 5,5 m³/m².³⁸ Það gefur orkunotkun við upphitun sem samsvarar 286 kWst/m² (m.v. 52 kWst/m³). Það er svipað eða aðeins herra gildi en eldri greiningar á orkunotkun til upphitunar sýndu. Viðmið sem HMS hefur nýlega gefið út í tengslum við innleiðingu lífsferilsgreininga í byggingarreglugerð ríma ágætlega við þessa notkun, nefnilega 271,6 kWst/m² og 33,2 kWst/m² af rafmagni.¹⁰ Þetta samsvarar niðurstöðum áður nefndrar rannsóknar HR, Eflu o.fl. þar sem raforkunotkun íbúðarhúsnaðs árið 2019 reyndist að meðaltali vera um 31,3 kWst/m².

4. tafla. Árleg meðaltals-orkunotkun til upphitunar íbúðarbygginga samkvæmt ástandskönnunum og rannsóknarverkefnum (miðað er við að orkuinnihald sé 52 kwst/m³ og lofthæð 3,3 m). – annual average energy consumption for heating residential buildings based on condition surveys and research projects (assuming an energy content of 52 kwh/m³ and a ceiling height of 3.3 m).

Heimild	kWst/m ³	kWst/m ²	Fjöldi	Athugasemd
[34]	50-200	165-660	320	Bolungarvík, Neskaupsstað, Raufarhöfn, Hvolsvelli
[35]	83	274	3787	Rafhitun í þéttbýli. Íbúðir
[35]	77	254	3787	Rafhitun í þéttbýli. Íbúðir með bílskúr og geymslu.
[36]	88	290	1883	Jarðhiti í Kópavogi. Íbúðir.
[36]	83	274	1883	Jarðhiti í Kópavogi. Íbúðir með bílskúr og geymslu.
[36]	70	231	1883	Jarðhiti í Kópavogi. Íbúðir með bílskúr og geymslu. Byggð eftir 1980.
[37]	76, 79	251,261	185	Höfn í Hornafirði, fjarveita. Mismunur milli ára (1984, 1985)
[15]	80-200	264, 660	43	Rafhitun á köldum svæðum, ástandskoðun bygginga (2005)
[27]	65, 78	214, 257	793	Rafhitun. Mismunur milli staða. Vík í Mýrdal, Snæfellsbær
[38]		288	251	Gögn úr ólíkum íbúðum á höfuðborgarsvæðinu
Veitur (https://www.veitur.is/hollrad-umheitt-vatn/notkun)		206, 223, 257 (231)		Stór fjölbýlishús, minni fjölbýlishús, einbýlishús
[10]		215 / 271.6		Rafhitun / Hitaveita

NIÐURGREIÐSLUR VEGNA RAFHITUNAR

Þrátt fyrir að orkuverð á Íslandi til upphitunar sé það lægsta á Norðurlöndum er verð á orku sem fer í upphitun mjög mismunandi eftir landsvæðum.¹⁶ Samkvæmt upplýsingum frá Bygðastofnun er orkukostnaður heimila á bilinu 163.000 til 374.000 kr. á ári eftir landsvæðum.³⁹ Stjórnvöld hafa frá árinu 1982 niðurgreitt kostnað til upphitunar á svæðum þar sem ekki nýtur jarðvarma. Lög um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar nr. 78/2002 fjalla um þetta ásamt reglugerð um framkvæmd laga um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar nr. 698/2013. Niðurgreiðslur falla niður fyrir orkunotkun umfram 40.000 kWst.⁴⁰ Samkvæmt lögnum má veita 3% af árlegri fjárveitingu til orkusparnaðarverkefna.⁴¹ Á árunum 1982-2017 var í heildina varið 45 milljörðum úr ríkissjóði til lækunar á húshitunarkostnaði, eða u.þ.b. 1,3 milljarði á ári.^{42,43} Langmestur

hluti niðurgreiðslukostnaðar er vegna beinnar rafhitunar en einnig er niðurgreiddur kostnaður vegna fjarhitunar sem ekki byggist á jarðhiti, um 2 milljarðar króna árið 2020.⁴³

LOFTSLAGSÁHRIF ORKU- NOTKUNAR Í ÍBÚÐARBYGGINGUM

Í Evrópu eru þeir orkugjafar sem notaðir eru til upphitunar húsa að mestu leyti gas og rafmagn. Þetta eru orkugjafar með mun hærra kolefnisspor en íslenskur jarðhiti og íslenskt rafmagn sem framleitt er með vatnsafla eða jarðgufu. Kolefnisspor ólíkra orkugjafa má sjá í töflu 5. Þar sést að kolefnisspor á orkueiningu fyrir jarðvarma og rafmagn á Íslandi er mjög lágt samanborið við aðra orkugjafa, svo sem rafmagn frá bruna kolum, gass eða olíu, eða varma frá gasbrennslu.

Með auknum áherslum á sjálfbærni og græna fjármögnun eru vottunarkerfi um sjálfbærar byggingar sífellt út-

breiddari. Með slíkum vottunarkerfum er kappkostað að draga úr orkusóun, svo sem með bættri þekkingu notenda um orkunotkun, minna varmatapi og góðri varmaendurnýtingu loftræsikerfa. Á Íslandi hafa verið byggðar nokkrar Svansvottaðar og BREEAM-vottaðar byggingar.⁴⁷

Við Svansvottun bygginga er gerð krafa um að orkunotkun vottaðra bygginga sé 20% lægri en í viðmiðunarbyggingu eftir byggingarreglugerð.⁴⁸ Í BREEAM-vistvottunarkerfinu er meðal annars gerð krafa um nákvæma orkuút-reikninga og einnig um að orkunotkun byggingar sé minni en í viðmiðunarbyggingu reiknuð eftir byggingarreglugerð viðkomandi ríkis. Kolefnisspor frá íslenskum byggingariðnaði var kortlagt í Byggjum grænni framtíð verkefninu 2023¹ og samkvæmt þeirri greiningu er kolefnisspor frá orkunotkun yfir áætlaðan rekstrartíma byggingar u.þ.b. 30% af heildarkolefnisspori byggingarinnar.

5. tafla. Kolefnisspor orkugjafa í ESB ríkjunum miðað við orkugjafa á Íslandi. – Carbon Footprint of Energy Sources in Europe Compared to Energy Sources in Iceland.

Varmi frá gasbrennslu	Kolefnisspor (kg CO ₂ -íg./kWst)	Heimild
Rafmagn á Íslandi (vatnsafl og gufa)	3, 3 7	10
Jarðhitavarmi á Íslandi	11, 21	10, 44
Rafmagn í ESB ríkjunum (meðalgildi)	265	45
Varmi frá gasbrennslu	200–610	46, 3

Kolefnisspor yfir rekstrartíma byggingar með góða orkunýtni var borin saman við viðmiðunarbyggingu samkvæmt lágmarkskröfum byggingarreglugerðar.⁴⁹ Niðurstaðan var að heildarkolefnissporið væri á bilinu 472–478 kg CO₂-ígilda á m², nánast það sama fyrir báðar byggingarnar. Í greiningunni var hlutfall orkunotkunar af heildarkolefnisspori bygginganna mun lægra en 30%, eða nær 15%, þar sem miðað var við að losun frá orkunotkun væri 7 grömm CO₂-íg./kWst. Til samanburðar má nefna þá niðurstöðu Guðrúnar Hlíðkvist Kröyer (2022) að þeirri niðurstöðu að heildarkolefnisspor Svansvottaðra radhúsa væri 411 kg CO₂-íg./m², án tæknikerfa.⁵⁰ Síðar var gerð lífsferilsgreining á tæknikerfum sömu Svansvottuðu radhúsa,²⁶ og leiddi hún í ljós að losun frá framleiðslu á tækjabúnaði loftræsikerfis væri 12 kg CO₂-íg./m² og hitakerfis 22 kg CO₂-íg./m² á rekstrartíma bygginganna.

Stefán Ármann Hjaltason (2023)⁵¹ skoðaði áhrif af aukinni einangrun fyrir steiptan útvegg á kolefnislosun frá orkunotkun byggingar yfir rekstrartímann (50 ár). Niðurstöðurnar gefa til kynna að núverandi byggingarreglugerð væri hæfilega ströng varðandi einangrunargildi til þess að hámarka loftslagsávinning á rekstrartíma byggingarinnar. Í greiningunni var notuð steinullareinangrun með eðlisþyngdina 150 kg/m³ en ef notuð er einangrun með minni eðlisþyngd verður kolefnissporið minna. Kolefnisspor orkugjafans ræður því einnig hvaða aðferð er best umhverfis-

lega, en miðað var við losun upp á 3,8 grömm kg CO₂-íg./kWst vegna varmaorku. Forsendur fyrir losun á hverja kWst geta verið breytilegar, eftir því hvernig hún er reiknuð (t.d. með eða án lífsferilsnálgunar, eða við beinan bruna), og hvaðan orkan kemur, en samkvæmt samræmdum forsendum HMS fyrir lífsferilsgreiningu bygginga er núna ráðlagt að nota 3,4 grömm CO₂-íg./kWst fyrir rafmagn og 11,2 grömm CO₂-íg./kWst fyrir varma.¹⁰

Markmið verkefnisins Byggjum grænni framtíð á vegum Húsnæðis- og mannvirkjastofnunnar er að þróa viðmið og orkuflokkun fyrir íslenskar byggingar.⁵² Einnig hefur í tengslum við verkefnið verið sett það markmið að draga úr losun frá orkunotkun bygginga um 7,5% fyrir árið 2030.⁵³

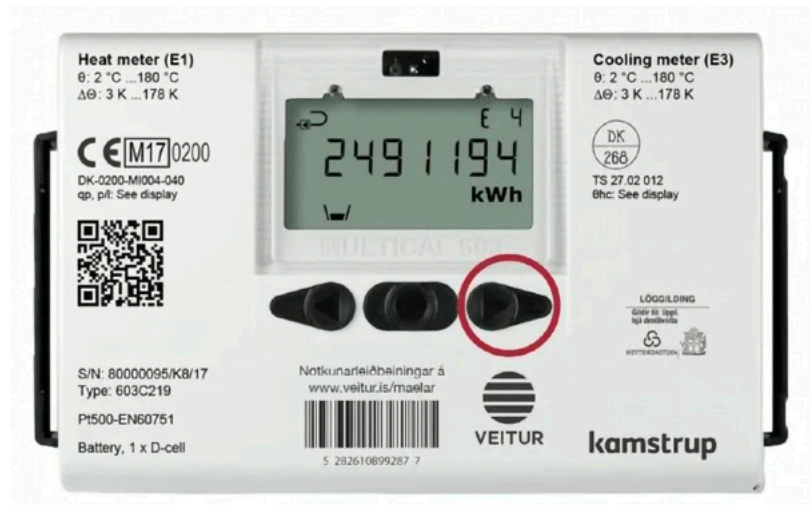
AUKIN ORKUNOTKUN OG SNJALLMÆLAR

Samkvæmt tölum Orkuveitu Reykjavíkur hefur heitavatnsnotkun á þjónustuvæði Veitna á höfuðborgarsvæðinu aukist um 2,4% árlega síðustu ár. Samhliða þessari aukningu hefur fólki fjölgað mjög á Íslandi og spáð er áframhaldandi fjölgun. Miðgildisspá Hagstofu Íslands gerir ráð fyrir því að fólksfjöldi á Íslandi verði í kringum 580 þúsund árið 2060.⁵⁴ Fjöldi ferðamanna hefur líka áhrif á orkunotkun. Þeim hefur fjölgað úr um 65 þúsund árið 1980 í 1,7 milljón árið 2022.⁵⁵ Með áframhaldandi aukningu notkunar þurfa Veitur að tvöfalda orkuöflun sína fyrir 2060.

Norðurorka sér um hitaveitu fyrir Akureyri og þar hefur heitavatnsnotkunin einnig verið að aukast, aukningin var 2,8% árið 2022.⁵⁶ Um 60% af heitu vatni sem notað er á Akureyri kemur frá Hjaltreyri, en þar hafa komið upp áskoranir tengdar auknu klóríðmagni í jarðhitavatninu, sem bendir til snefilmagns af sjó. Norðurorka er með mörg verkefni í gangi til aukinnar orkuöflunar, til dæmis mögulega nýtingu á glatvarma frá álþynnuframleiðandanum TDK, en einnig hefur verið lögð áhersla á að notendur fari vel með heita vatnið og dragi úr sóun.^{57,58}

Á Íslandi er varmi frá lághita- og háhitasvæðum endurnýjanleg auðlind, ef rétt er á haldið, en þó er vel þekkt að vatnsþrýstingur inn í einstakar borholur dregst saman við langtímanotkun. Sérstaklega getur þurft að hvíla lághitasvæðin þegar hægt er, svo sem á sumrin þegar orkuþörfin er í lágmarki.

Í fyrri rannsóknum hefur verið stuðst við árlegar mælingar heildarrennslis heits vatns inn í hús. Fyrir um það bil tveimur árum hófu Veitur að nýta snjallmæla hjá viðskiptavinum sínum. Helsti munurinn á gögnum úr snjallmælum og eldri rennslismælum er sá að snjallmælar skrá rennslis vatns ásamt hitastigi á innrás og útrás, og þar með orkunotkunina, á 60 mínútna fresti. Þar með er auðvelt er að sjá sveiflur yfir daginn, mánuðinn og árið.⁵⁹ Gögn um orkunotkun eru því að verða ýtarlegri og nákvæmari. Það verður áhugavert að sjá hvort, og þá hvernig, sú aukna þekking og yfirsýn verður nýtt til þess að bæta orkunýtingu í byggingum.



Snjallmælir fyrir heitavatnsnotkun. – A smart meter for hot water usage.
Mynd/Photo: Jónas Þór Snæbjörnsson

UMRÆÐUR, NIÐURSTÖÐUR OG NÆSTU SKREF

Hér hefur verið stiklað á stóru um orkunotkun bygginga með áherslu á upphitun íbúðarhúsa. Það virðist vera all gott samræmi á milli eldri og nýrri greininga um það að árleg orkunotkun við upphitun íslenskra íbúðarhúsa er á bilinu 214 til 290 kWst/m². Nýlegri greiningar virðast þó almennt sýna eilítið hærri meðaltalsnotkun en hinar eldri greiningar.

Þar sem Íslendingar hita hús sín mestmegnis með jarðhita, sem er orkugjafi með mjög lágt kolefnisspor, er hvatinn frá sjónarhóli loftslagsmála minni en í grannlöndunum að draga úr þessari orkunotkun. Einnig hefur orkuverð til upphitunar á Íslandi, þar sem jarðhitinn er aðgengilegur verið lægra en í hinum norrænu ríkjum. Orkunotkun bygginga á Íslandi er töluvert hærri enn gengur og gerist í byggingum í Noregi og byggingum í ESB-ríkjum, sérstaklega þegar litið er til nýrri bygginga. Í því sambandi er þó rétt að hafa í huga að meðallofthiti er lægri á Íslandi en víðast hvar í Evrópu, og upphitunarþörf því heldur meiri. Evróputilskipun um bættu orkunýtni bygginga hefur haft mikil áhrif á þróun orkunotkunar í nýbyggingum í Evrópu, en byggingarreglugerð á Íslandi hefur að mestu staðið í stað.

Heita vatnið er auðlind sem er mikilvægt að fara vel með, sérstaklega í ljósi þess að átt hefur sér stað mikil fólksfjölgun og horfur eru á áframhaldandi fólksfjölgun og að auki fjölgun ferða-

manna. Eins og fram hefur komið er mögulegt að frekari orkuöflun kalli á dýrari kosti en hingað til hafa staðið til boða og því gætu aðstæður breyst varðandi hagkvæmni orkusparandi aðgerða fyrir byggingar. Þá hafa allar framkvæmdir í för með sér rask á náttúru og umhverfi, og losun gróðurhúsalofttegunda.

Greiningar sem gerðar hafa verið um orkusparnað eru samhljóða um það að á köldum svæðum geta varmadælur gefið góða raun til þess að draga úr rafmagnsnotkun. Bætt stilling og stýring hitakerfa virðast líka vera hagkvæm aðferð til þess að draga úr óþarfa orkunotkun miðað við niðurstöður fyrri greininga.

Með notkun snjallmæla verða til rauntímagögn um orkunotkun bygginga sem hægt er að tengja við önnur tímaháð gögn, svo sem um veður, notkun íbúa og rekstrarþætti hitaveitna. Þannig verður hægt að athuga mun betur hvaða þættir hafa mest áhrif á orkunotkun bygginga. Greining á þessum gögnum er hafin⁶⁰ og verður áhugavert að þróa greiningu snjallmæligagna frekar og kanna hvort þær upplýsingar má nýta til að bæta orkunýtingu íslenskra bygginga.

ABSTRACT

This study examines energy consumption and efficiency in Icelandic residential buildings by compiling data from prior research, energy authorities, housing authorities, and energy companies. According to the reviewed studies, the average energy consumption per square meter ranges from approximately 214 to

290 kWh/m². Notably, around 90% of residential buildings in Iceland utilize geothermal energy, while the remaining 10% predominantly rely on direct electrical heating or heat pumps. Icelandic building regulations regarding energy efficiency have remained essentially unchanged since 1984. On average, energy consumption in Icelandic residential buildings exceeds that of new buildings in the European Union and Norway, where stricter energy efficiency standards are enforced. Heating accounts for roughly 90% of energy usage in Icelandic buildings, compared to an average of 64% in Europe. In recent years, there has been a continuous increase in the use of geothermal energy for heating in Reykjavík and Akureyri, with annual growth rates between 2.1% and 2.8%. This trend is primarily driven by population growth and the need to expand production capacities. Previous studies indicate that enhancing automatic control systems is a cost-effective method for improving energy efficiency. A clearer understanding of the current state of energy consumption in Icelandic buildings can support more informed policymaking aimed at improving energy efficiency.

ÞAKKIR

Greinin er unnin sem hluti rannsóknarverkefnis um Orkunotkun bygginga sem hlaut styrk úr Askí, styrktarsjóði Húsnæðis- og mannvirkjastofnunar, árið 2023. Háskólinn í Reykjavík annast verkefnið í samstarfi við dr. Egil Maron Þorbergsson hjá Orkuveitu Reykjavíkur, Íris Þórarinsdóttur, umhverfisstjóra fasteignafélagsins Reita, Guðmund Frey Atlason, orku- og umhverfissérfræðing hjá fasteignafélaginu Heimum, dr. Áróru Árnadóttur, framkvæmdastjóra hjá Grænni byggð og dr. Björn Marteinsson, arkitekt. Við þökkum öllum samstarfsmönnum okkar fyrir liðveisluna.

HEIMILDIR

- Sigríður Ósk Bjarnadóttir & Björn Marteinsson. 2022. Mat á kolefnislosun frá íslenskum byggjariðnaði. Vegvísir að vistvænni mannvirkjagerð 2030 I. Byggjum grænni framtíð, Reykjavík. 18 bls. Á vefsetri verkefnisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://byggjumgrænniframtid.is/wp-content/uploads/2022/06/Vegvísir-ad-vistvaenni-mannvirkjagerd-I-L-hluti-Losun.pdf>
- Gevorgian, A., Pezzutto, S., Sambotti, S., Croce, S., Oberegger, U.F., Lollini, R., Kranzl, L. & Müller, A. 2021. European building stock analysis: A country by country descriptive and comparative analysis of the energy performance of buildings. Eurac research, Bolzano. 238 bls.
- Matthías Ásgeirsson. 2023. Ávinningur af bættri orkunotkun eldri bygginga. VSÓ Ráðgjöf, Reykjavík. 30 bls.
- International Energy Agency. 2021. Key world energy statistics 2021. Á vefsetri IEA. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021>
- International Energy Agency. Á.á. Energy system: Buildings. Á vefsetri IEA. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.iea.org/energy-system/buildings>
- Eurostat. 2023. Energy consumption in households. Á vefsetri Eurostat. Slóð (sótt 30.11. 2024): https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households
- European Environment Agency. 2024. Greenhouse gas emissions from energy use in buildings in Europe. Á vefsetri EEA. Slóð: (sótt 30.11. 2024): <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-energy>
- Enova. Á.á. Enovas byggstatistikk 2017. 48 bls. Á vefsetri Enova. Slóð að niðurrhali (skoðað 30.11. 2024): <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/publikasjoner/>
- Orkusetur. 2024. Húshitun. Á.á. Á vefsetri Orkuseturs. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://orkusetur.is/hushitun/>
- Húsnæðis- og mannvirkjastofnun. Á.á. Lífsferilsgreining (LCA) / Íslensk meðaltalsgildi. Á vefsetri HMS. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://hms.is/mannvirki/lifsferilsgreining/islensk-medaltalsgildi-lea>
- Orkustofnun. 2023. Raforkunotkun á Íslandi 2020–2022. OS 2023-T-003-01. Á vefsetri OS. Slóð að niðurrhali (skoðað 30.11. 2024): <https://orkustofnun.is/upplýsingar/talnaefni/raforka>
- Orkustofnun. 2024. Varmanotkun á Íslandi 2022 eftir veituvæðum. OS-2024-15. Á vefsetri OS. Slóð að niðurrhali (skoðað 30.11. 2024): <https://orkustofnun.is/upplýsingar/talnaefni/varmi>
- Byggingarreglugerð nr. 112/2012.
- Direktoratet for byggkvalitet. 2017. Byggteknisk forskrift (TEK17) með veiledning. Á vefsetri DIBK. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>
- Björn Marteinsson. 2005. Orkunotkun húsa, ástandskönnun. Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík. 16 bls.
- Bryndís Tryggvadóttir. 2019. Yfirlit yfir orkunotkun, orkuverð og orkukröfur til upphitunar í íslenskum byggingum. Grænni byggð, Reykjavík. 20 bls.
- Magni Grétarsson. 2012. Kynding á köldum svæðum. Lokaverkefni í tæknifræði við Háskólann í Reykjavík. 49 bls.
- Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Á Eur-Lex, lagavef ESB. Slóð: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj>
- Almenna verkfræðistofan 2012. Orkumerking bygginga á Íslandi: Evróputilskipun um orkunýtni bygginga. Möguleikar á íslenski aðlögun. Almenna verkfræðistofan, Reykjavík. 73 bls.
- Tilskipun Evrópuþingsins og ráðsins 2010/31/ESB frá 19. maí 2010 um orkunýtingu bygginga. Í: EES-viðbætur við Stjórnartíðindi Evrópusambandsins. Á vefsetri Stjórnráðsins og EFTA. Slóð: <https://gagnagrunnur.ees.is/32010l0031>
- Rager, J., von Gunten, D., Wilczynski, E., Pezzutto, S., Balest, J. Fallahnejad, M. & Contant, C. .2021. EnerMaps project: A new open energy data tool to accelerate the energy transition. Datasets of the EnerMaps Data Management Tool. Gögn hafa verið innleidd í gagnagrunn EnerMaps: <https://lab.idiap.ch/enermaps/> (4.12.2024).
- Standard Norge. 2013. NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Boligbygninger. Staðall. Til sölu á vefsetri Standard Norge. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://online.standard.no/nb/ns-3700-2013>
- Jóhann Númason. 2012. Hagkvæmar leiðir til að lækka kyndikostnað á köldum svæðum. BS-verkefni í byggingartæknifræði við Háskólann í Reykjavík. 80 bls.
- Magni Grétarsson. 2012. Kynding á köldum svæðum. BS-verkefni í byggingartæknifræði við Háskólann í Reykjavík. 34 bls.
- Jón Sigurðsson. 2012. Vistvænar áherslur í rekstri bygginga: Áhrif á orkunotkun og líftímakostnað. MS-ritgerð í framkvæmdastjórnun við Háskólann í Reykjavík. 65 bls.
- Þórunn Nanna Ragnarsdóttir. 2023. Mat á hita- og loftþæsikerfum bygginga, með tilliti til lífsferilsgreiningar, orkunýtingar og loftgæða. MS-ritgerð í vélaverkfræði við Háskólann í Reykjavík. 93 bls. <https://hdl.handle.net/1946/44789>
- Eggert Þröstur Þórarinsson & Ólafur Pétur Pálsson. 2007. Raforkunotkun á köldum svæðum: Úttekt á raforkunotkun til húshitunar. Orkustofnun (OS-2007-004), Reykjavík. 79 bls.
- Þjóðskrá Íslands. 2017. Hversu mikill er skorturinn á íbúðamarkaðinum? Á vefsetri Þjóðskrár. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.skra.is/um-okkur/frettir/frett/2017/03/02/Hversu-mikill-er-skorturinn-a-ibudamarkadnum/>
- Council Directive 92/75/EEC of 22 September 1992 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by household appliances. Á Eur-Lex, lagavef ESB. Slóð: <https://data.europa.eu/eli/dir/1992/75/oj>
- Michel, A., Attali, S. & Bush, E. 2016. Energy efficiency of white goods in Europe: Monitoring the market with sales data. Á vefsetri Topten-verkefnisins; tengt ADEME. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://storage.topten.eu/source/files/Market-Monitoring-2016-EN-Topten.eu.pdf>
- International Energy Agency. 2023. Global residential lighting sales share by technology in the Net Zero Scenario, 2010–2030. Á vefsetri IEA. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-residential-lighting-sales-share-by-technology-in-the-net-zero-scenario-2010-2030>. Apríl 2024
- Norges vassdrags- og energidirektorat. 2024. Nye energietiketter i 2021. Á vefsetri NVE. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.nve.no/energi/virkemidler/okodesign-og-energimerking-av-produkter/nye-energetiketter-i-2021/>
- Statista. 2024. Average annual Brent crude oil price from 1976 to 2024 (in U.S. dollars per barrel). Á vefsetri Statista. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.statista.com/statistics/262860/uk-brent-crude-oil-price-changes-since-1976>
- Fundur Verkfræðingafélags Íslands: Hvernig leysum við húshitunarvandann. Alþýðublaðið 4. júní 1980. 1–2.
- Jón Vilhjálmsson & Ojala, O.M. 1984. Orkunotkun við hitun húsnæðis, nr. 1: Ráfið húsnæði í þéttbýli utan hitaveituvæða. Orkustofnun (OS-8499/OBP-03B), Reykjavík. 19 bls.
- Maria J. Gunnarsdóttir. 1986. Orkunotkun við hitun húsnæðis, nr. 2: Húshitun í Kópavogi. Orkustofnun (OS-86036/JHD-11 B), Reykjavík. 14 bls.
- Árni Ragnarsson. 1989. Orkunotkun við hitun húsnæðis, nr. 3: Höfn í Hornafirði. Orkustofnun (OS-89028/JHD-12 B), Reykjavík. 13 bls.
- Þórhildur Fjólá Kristjánsdóttir, Salvör Svanhvit Björnsdóttir, Jónas Þór Snæbjörnsson, Þórunn Vala Jónasdóttir, Björn Marteinsson, Áróra Árnadóttir, Sunna Hrönn Sigmarsdóttir, Guðmundur Freyr Atlason & Íris Þórarinsdóttir. 2023. Orkunotkun í byggingum – Gögn um raunnotkun. Efla og Húsnæðis- og mannvirkjastofnun, Reykjavík. 26 bls.
- Bygðastofnun og Orkustofnun. 2024. Orkukostnaður heimila. Mælaborð á vefsetri OS. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.byggdastofnun.is>
- Reglugerð um framkvæmd laga um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar nr. 698/2013.
- Lög um niðurgreiðslur húshitunarkostnaðar nr. 78/2002.
- Benedikt Guðmundsson & Jón Ragnar Guðmundsson. 2019. Niðurgreiðslur á húshitun og dreifingu raforku í dreifibýli 2018. Skýrsla til ferðamála-, iðnaðar- og nýsköpunarráðherra. Orkustofnun (OS-2019-02), Reykjavík. 13 bls.
- Benedikt Guðmundsson & Jón Ragnar Guðmundsson. 2021. Niðurgreiðslur á húshitun og dreifingu raforku í dreifibýli 2021. Skýrsla til ferðamála-, iðnaðar- og nýsköpunarráðherra. Orkustofnun (OS-2021-4), Reykjavík. 16 bls.
- Marta Rós Karlsdóttir, Heinonen, J. & Ólafur Páll Pálsson. 2020. Life cycle assessment of a geothermal combined heat and power plant based on high temperature utilization. Geothermics 84. 101 727. <https://doi.org/101016/j.geothermics.2019.10727>
- European Environment Agency. 2023. Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe. Á vefsetri EEA. Slóð: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>

46. Environmental Protection Agency 2024. Greenhouse-gases equivalencies – Calculator and references. Á vefsetri EPA. Slóð: <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gases-equivalencies-calculator-calculations-and-references>
47. Bryndís Tryggvadóttir, Bjartur Guangze Hu & Þórhildur Fjóra Kristjánsdóttir. 2019. Orkukröfur BREEAM 2016 og reynslan af að uppfylla þær í íslenskum verkefnum. Grænni byggð. Reykjavík. 19 bls.
48. Svanurinn. Ítarefni viðmiðaskjal 4. Nordic Ecolabelling 2023. Version 4.3 Nordic Ecolabelling for New buildings Residential, educational and office buildings. Á vefsetri www.svanurinn.is. Slóð (sótt 4.12 2024): <https://svanurinn.is/voruflokkar/byggingar/>.
49. Páll Hafstað. 2023. Áhrif byggingarefna og orkunýtingar á kolefnisspor bygginga. – Samanburður á kolefnisspori byggingarefna og orkunotkunar í BREEAM vottaðri og óvottaðri byggingu. Grænni byggð, Reykjavík. 31 bls.
50. Guðrún Hlíðkvist Kröyer. 2022. Samanburður á kolefnisspori burðarvirkja úr steypu og CLT einingum. BS-ritgerð í byggingartæknifræði við Háskólann í Reykjavík. 42 bls.
51. Stefán Ármann Hjaltason. 2023. Comparison of environmental performance of concrete and timber buildings in Iceland. MS-ritgerð í byggingarverkfræði við Háskólann í Árósum. 73 bls.
52. Byggjum grænni framtíð. 2023. 3.2. Samræma aðferðafræði við gerð orkuútreikninga mannvirkja og gefa út viðmið fyrir orkuflokka bygginga: Upplýsingar um aðgerð skv. II. hluta Vegvísis að vistvænni mannvirkjagerð, útg. í júní 2022. (Einnig uppl. um stöðuna í ágúst 2023). Á vefsetri verkefnisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://byggjumgraenniframtid.is/3-2-samraemdir-orkuut-reikningar-og-orkuflokkar-bygginga/>
53. Byggjum grænni framtíð. 2022. Markmið og aðgerðaráætlun. Vegvísir að vistvænni mannvirkjagerð 2030 II. Byggjum grænni framtíð og Húsnæðis- og mannvirkjastofnun, Reykjavík. 102 bls. Á vefsetri verkefnisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://byggjumgraenniframtid.is/wp-content/uploads/2022/06/Vegvisir-ad-vistvaenni-mannvirkjagerd.-II.hluti...Markmid-og-adgerdir.pdf>
54. Hagstofan. Á.á. Spá um mannfjölda eftir kyni og aldri 2025–2074. Á vefsetri Hagstofunnar. Slóð (sótt 30.11. 2024): https://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Ibuar/Ibuar_mannfjoldaspa/MAN09010.px
55. Ferðamálastofa. Á.á. Heildarfjöldi erlendra ferðamanna. Á vefsetri Ferðamálastofu. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.ferdamalastofa.is/is/gogn/fjoldi-ferdamanna/heildarfjoldi-erlendra-ferdamanna>
56. Norðurorka. 2023. Ársskýrsla 2022. Hitaveita. Á vefsetri fyrirtækisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://arsskyrsla.no.is/2022/yfirlit-yfir-starf-semina/hitaveita>
57. Norðurorka. 2023, 30.3. Viljayfirlýsing um könnun á nýtingu glatvarma frá TDK. Frétt á vefsetri Norðurorku. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.no.is/is/um-no/frettir/viljayfirlýsing-um-konnun-a-nytingu-glatvarma-fra-tdk>
58. Norðurorka. Á.á. Staðan á heitu vatni á starfssvæði Norðurorku. Á vefsetri fyrirtækisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.no.is/is/veiturnar-okkar/hitaveita/stada-hitaveitu>
59. Veitur. 2024. Snjallmælur: Álestur af orkumælum heyrir brátt sögunni til. Við skiptum orkumælum út fyrir snjallmæla. Á vefsetri fyrirtækisins. Slóð (sótt 30.11. 2024): <https://www.veitur.is/snjallmaelar>
60. Egill Kári Guðbergsson. 2024. Greining á varmaorkunotkun bygginga á höfuðborgarsvæðinu. MS-ritgerð í vélaverkfræði við Háskólann í Reykjavík. 137 bls. <https://hdl.handle.net/1946/48008>

UM HÖFUNDA



Þórhildur Fjóra Kristjánsdóttir (f.1979) lauk MS-prófi í umhverfis- og orkuverkfræði við Tækniháskólann í Brándheimi (Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet) árið 2004 og doktorsprófi við sama skóla árið 2017. Doktorsverkefni hennar fjallaði um kolefnishlutlausar byggingar í Noregi. Hún hefur komið víða við og unnið meðal annars hjá SINTEF Community í Ósló 2011–2014, sem framkvæmdastjóri Grænni byggðar á Íslandi 2016–2021 og verið sérfræðingur hjá EFLU verkfræðistofu 2021–2023. Þórhildur hefur unnið í mörgum ólíkum rannsóknarverkefnum á sviði orku- og umhverfismála í hinu byggða umhverfi, svo sem verkefninu HringRás, um þverfaglega samvinnu við innleiðingu hringrásarhagkerfis í byggingariðnaði og verkefninu Orkunotkun hönnuð og mæld, þar sem athuguð var mæld orkunotkun bygginga.

thorhildurfk@ru.is



Jónas Þór Snæbjörnsson (f. 1961) lauk meistaraþrófi í byggingarverkfræði við Háskóla Íslands 1985, MSCE-prófi við Washington-háskóla í Seattle, Bandaríkjunum, 1989 og doktorsprófi við Tækniháskólann í Brándheimi 2002. Hann starfaði við Háskóla Íslands árin 1985–2009 sem sérfræðingur, fræðimaður, vísindamaður og adjúnt. Hann var prófessor við háskólann í Stavanger í Noregi 2009–2011 og Prófessor II við sama skóla frá 2013. Hann hefur verið prófessor við Háskólann í Reykjavík frá 2011. Eftir hann liggja yfir 100 rannsóknarafurðir á ýmsum sviðum verkfræðinnar.

jonasthor@ru.is

Viðkvæm vistkerfi í djúpsjó við Ísland: Kóral- og svampasvæði

INNGANGUR

Á hafsbotninum í kringum Ísland er að finna ólík vistkerfi, vistgerðir og búsvæði. Rannsóknir benda til að þau séu mjög fjölbreytt en langt er í land með að lýsa þeim og kortleggja. Kortlagning kóralsvæða með neðansjávarmyndavélum hófst árið 2004 á vegum Haf-rannsóknastofnunar en stofnunin hefur einnig unnið að kerfisbundinni kortlagningu botnlægra búsvæða, óháð því hvort um viðkvæm svæði er að ræða.

Vistkerfi sem eru viðkvæm fyrir áhrifum mannsins hafa hlotið sérstaka athygli undanfarna áratugi. Samningurinn um verndun Norðaustur-Atlantshafsins (OSPAR) er mikilvægur, og fjallar fimmti viðauki hans um verndun og varðveislu vistkerfa og líffræðilegrar fjölbreytni hafsvæðisins. Listi yfir búsvæði og tegundir sem er ógnað eða hefur hnignað í Norður-Atlantshafi hefur verið gefinn út¹ og Matvæla- og landbúnaðarstofnun SÞ (FAO) hefur lagt fram leiðbeiningar um hvernig meta skuli vistkerfi í hafi með tilliti til neikvæðra áhrifa af völdum fiskveiða.² Sérfræðihópar hjá Alþjóðahafsrannsóknaráðinu³⁻⁵ og Norð-

austur-Atlantshafs fiskveiðiráðinu⁶ hafa listað upp viðkvæm vistkerfi og ein-kennistegundir þeirra, og byggt þar á viðmiðum FAO. Stuðst hefur verið við þessar skilgreiningar við greiningu viðkvæmra viskerfa við Ísland.

Kaldsjávarkóralrif, kóralagarðar, sæfjaðragarðar, þyrpingar svampa á djúpsævi og heitir neðansjávarhverir eru dæmi um viðkvæm vistkerfi í djúpsjó við Ísland.

Kaldsjávarkóralrif hafa án efa hlotið mesta athygli. Þau er að finna víða í Norður-Atlantshafi. Kóralrif eiga víða undir högg að sækja vegna veiða. Í lok tíunda áratugarins komu fram ábendingar um að rannsókn væri þörf á kóralsvæðum við Ísland, því sannarlega væru slík svæði einnig við Ísland og hefðu að öllum líkindum orðið fyrir áhrifum frá veiðum. Í kjölfar rannsókna á kóral í Norður-Atlantshafi eru nú nokkur kóralsvæði vernduð til að koma í veg fyrir frekari hnignun, meðal annars við Noreg, Svíþjóð, Færeyjar og Ísland. Í alþjóðasamningum sem Íslendingar eiga aðild að er kveðið á um að komið

skuli í veg fyrir hnignun líffræðilegrar fjölbreytni og komið verði á verndarkerfi (Samningur SÞ um líffræðilega fjölbreytni 1992 og Montréal-Kumnings-samningurinn 2022) og vernduð viðkvæm búsvæði og tegundir (OSPAR-samningurinn). Forsenda þess að hægt sé að framfylgja þeim samningum, sem og að nýta auðlindir hafsins á ábyrgan hátt, er að kortleggja útbreiðslu vistkerfa, meta ástand þeirra og koma á sérstakri verndun þar sem þess er þörf. Með þessari grein er ætlunin að gefa yfirlit um kortlagningu viðkvæmra búsvæða og vistkerfa í djúpsjó. Jafnframt eru listuð upp þau svæði sem hafa hlotið vernd í kjölfar þessara rannsókna.

UM KÓRAL

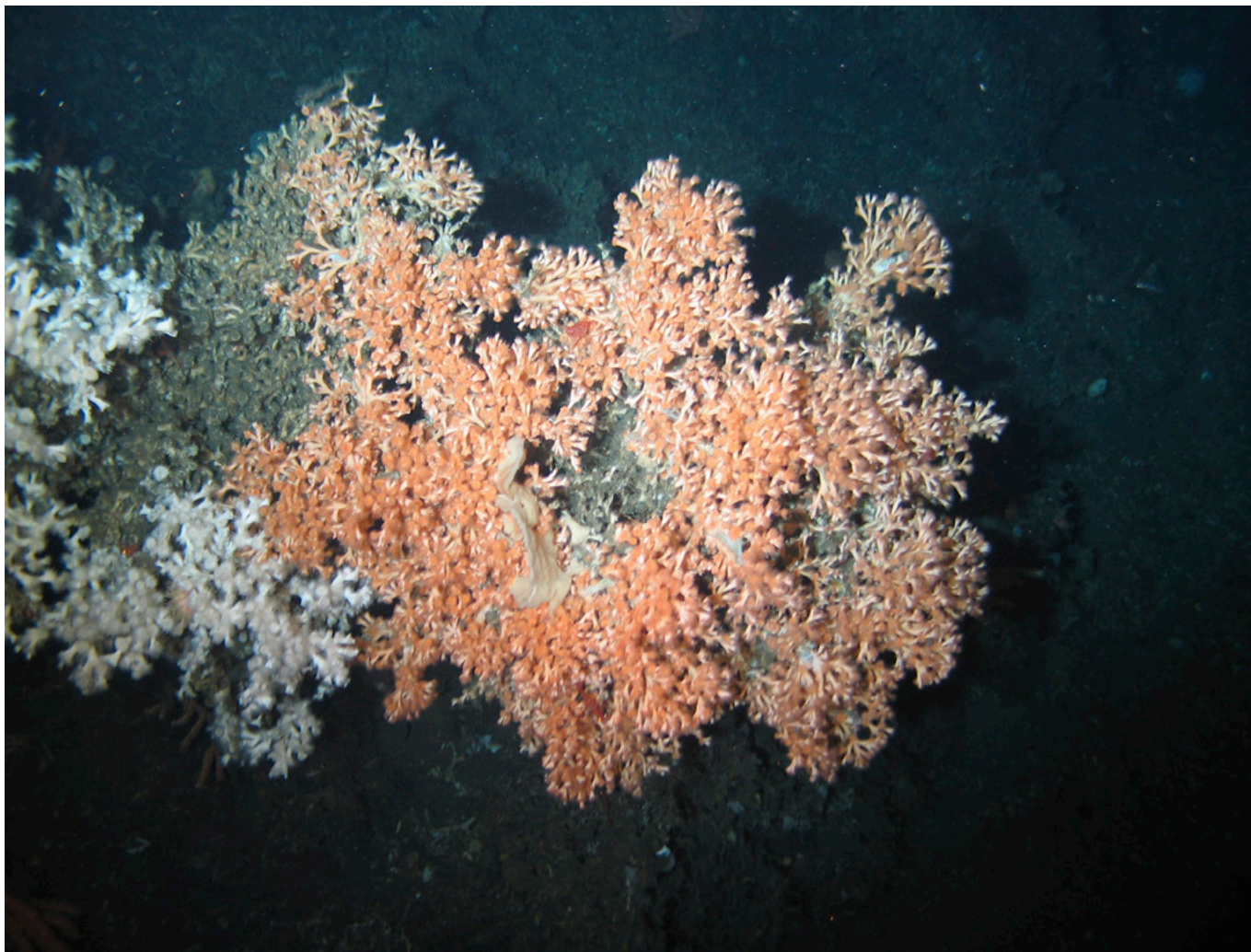
Kóralar er yfirheiti ýmissa tegunda sem tilheyra undirfylkingu kóraldýra (Anthozoa). Kóraldýr heyra undir fylkingu holdýra (Cnidaria) og skiptast í tvo flokka, sexukórala (Hexacorallia) og áttukórala (Octocorallia). Eins og öll holdýr mynda kóraldýr sepalaga bók með gripanga sem raðast í kringum munnopið.

Sexukóralar hafa sex slíka gripanga eða margfeldi af þeim. Sex ættbálkar tilheyra þessum flokki og eiga fimm þeirra fulltrúa hér við land. Þetta eru ættbálkarnir *Ceriantharia*, pípulaga lífverur, líkar sæfíflum, sem lifa í holum á botninum, einskonar holusæfíflar; sæfíflar (*Actiniaria*), stakir einstaklingar sem festa sig við botninn, iðulega litríkir, og finnast frá fjöru og niður í hafdjúpin; svartkóralar (*Antipatharia*), sjaldgæfir hér við land og eingöngu á miklu dýpi; steinkóralar (*Scleractinia*) og að lokum *Zoantharia*, samtengdir separ sem mynda einskonar fjölbýli, og hafa verið kallaðir *fjölanger*.

Áttkóralar hafa hins vegar átta gripanga og eru stundum nefndir „mjúkir kóralar“. Tveir ættbálkar tilheyra þessum flokki, *Malacalcyonacea* sem gæti útlagst sem *mjúkkkóralar* og *Scleractyonacea* sem gæti útlagst sem *harðkóralar*. Hér við land eru fulltrúar sex ætta sem tilheyra fyrri ættbálknum og þrettán af hinum síðari.



1. mynd. T.v. *Desmophylum pertusum*, í miðju *Madrepora oculata* og t.h. *Solenosmilia variabilis*. Ljós. t.v og t.h: Höf., í miðju: Hafrannsóknastofnun



2. mynd. Kóralrif í Lónsdjúpi. Ljós.: Hafrannsóknastofnun

Flokkun kórala hefur tekið töluverðum breytingum eftir að rannsóknir jukust á skyldleika þeirra út frá erfðabáttum. Greining tegunda byggist einnig á líkamsbyggingu og lögun smásærra kalkplatna (e. sclerites). Kóralar mynda stoðgrind, sem getur verið hörð ytri grind úr kalki eða innri stoðgrind úr hornlagi, gorgoníni og/eða kalsíti. Steinkóralar mynda harða ytri stoðgrind en svartkóralar og áttkóralar mynda innri stoðgrind. Formgerð stoðgrindarinnar getur verið sérkennandi og er notuð við tegundargreiningu. Á ytrabörðum áttkóralla eru smásæjar kalkplötur, fjölbreyttar að lögun, fjölda og gerð, og er samsetning þeirra einnig notuð við tegundargreiningu.

Orðið *kóral* kemur fyrst fyrir í íslenskum ritum á 18. öld, líklega myndað af danska orðinu *koral*. Þessi orðstofn í mörgum tungum heims er tekinn að

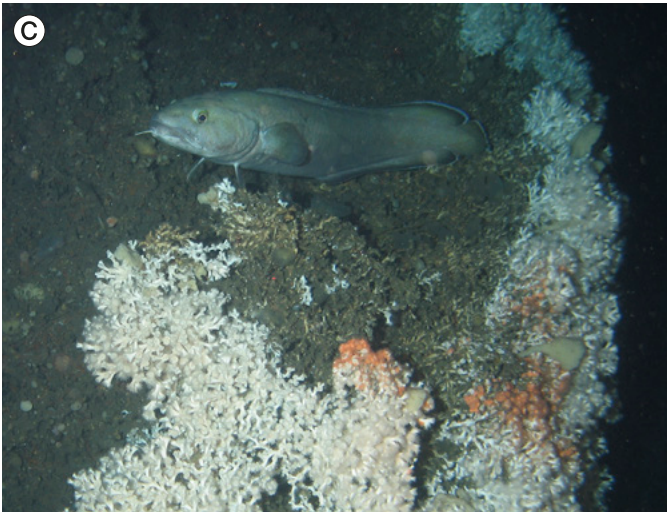
láni úr latínu, *corallum* eða *corallium*, og þangað kominn úr grísku, *korállion*. Orðmyndir af sama tagi í enn eldri íslenskum ritum eru *kúrill*, *korill*, *kúrel*, *kúriel* o.fl., en á síðari öldum voru kóralar eða kóralkennd fyrirbrigði úr sjó líka kölluð *marbendils*- eða *marmennilssmíð(i)*. *Marbendill* og *-mennill* eru orð um sjávarfólk skylt þeim sem við köllum nú hafmeyjur.⁷⁻⁹

Orðið kóral er á íslensku til í tveimur myndum, með -ll- í stofni: kóral, kóral, kórali, kóralls; kóralar ..., og með -l- í stofni: kóral, kóral, kóral, kórals: kóralar ... Hér verður síðarnefnda myndin notuð, enda algengari í samtímamáli.^{8,10}

Ein fyrsta fræðilega umfjöllun um kóral kemur frá náttúrufræðingnum Benedikt Gröndal. Nokkrum árum áður en Dýrafræði hans kom út skrifaði hann „Um náttúru Íslands“ í lokahefti

tímarits síns, Gefnar. Þar segir meðal annars um kalk: „Kolasúrt kalk [...] er mjög í enum óæðri dýrum: það myndar skel og gadda krossfiskanna og ígulkeranna, hús kóralla og pípuskelja, skelja og kuðunga, hreistur fiskanna, og því má brenna kalk úr þessum sjódýrum“. Benedikt fer yfir flokkun dýrahópa sem þekktir voru, allt frá „hinum lægstu dýrum“ sem hlaupdýrum, frumdýrum og myndlausum dýrum, til hryggdýra. Kóralar er þar flokkaðir sem blómdýr (Anthozoa). Þau dýr lifa „kalkhúsum“ en þau „köllum vér *marmennilssmíði* og *kúriel* (kóral, *corallium*)“.¹¹

Fyrsta vísindasöfnun kórals við Ísland átti sér stað rétt fyrir aldamótin 1900. Þekktust er rannsókn Dana á hafsvæðinu við Ísland í leiðngum þeirra á danska rannsóknaskipinu *Ingolf* á árunum 1895 og 1896. Í þessum leiðngum var



3. mynd. Fiskar innan um kóral. A. Bláriddari (*Lepidion eques*). B. Karfi (*Sebastes* sp.). C. Keila (*Brosme brosme*). D. Mögulega blámævill en ekki er hægt að staðfesta greininguna. Myndin var tekin úr sýni úr Lónsdjúpi við kóralrannsóknir 2010. Ljósmyndir: A-C: Hafrannsóknastofnun, D: Hrönn Egilsdóttir

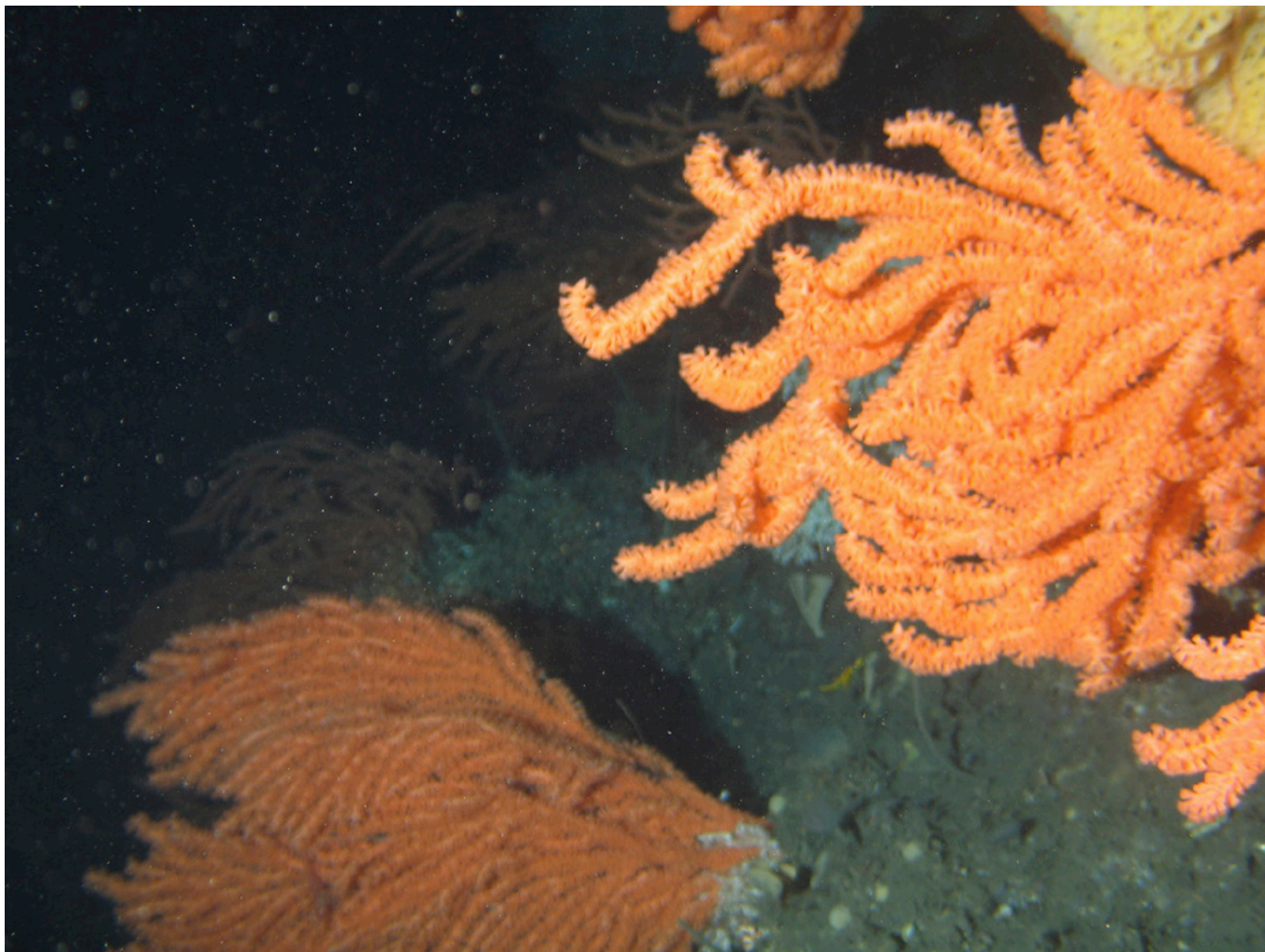
safnað gögnum og aflað upplýsinga um haffræði og líffræði umhverfis landið. Miklu magni botndýra var safnað, meðal annars fjölmörgum eintökum kórala. Í kjölfarið var kórölunum lýst og gerð grein fyrir tegundum þeirra í umfjöllun vísingandi sérfræðinga í ritröðunum *The Danish Ingolf-Expedition og Zoology of Iceland*.^{12,13} Einnig fóru rannsóknir fram árið 1903 á rannsóknaskipinu Thor og komu nokkrir kóralar upp við þær rannsóknir. Þær eru einnig raktar í fyrirnefndu ritröðinni.

Um miðja síðustu öld virðist þekking á kóralsvæðum við Ísland helst bundin við sjómenn. Þeir skrá kóral, kóralbotn og ýmsar aðrar hindranir á hafsbotninum sem þeir kjósa að forðast,¹⁴⁻¹⁸ þar sem kóral getur riflið net og önnur veiðarfæri og skaðað afla. Í umfjöllun um djúpfiskarannsóknir árið 1985 í Fiskifrættum segir:

„togbotn fannst ekki á djúpslóð allt frá Hávadápi austur undir Berufjarðarál, botninn var tindóttur og mikill kóral þar.“¹⁹ Rannsóknir með neðansjávarmyndavélum staðfesta þetta.^{20,21} En ekki allur kóral hefur þessi áhrif og af þeim ríflega 70 tegundum sem nú eru þekktar hér við land eru aðeins þrjár sem mynda rif og geta þar með valdið skaða á veiðarfærum. Stærstur hluti kórala við landið myndar ekki rif og verður því minna vart við þá í veiðarfærunum. Sumar tegundir áttkórala líkjast trjáum eða runnum og geta þær myndanir orðið nokkuð háar. Dæmi eru um að allt að 5 m háir kóralar hafi komið upp við veiðar. Árið 1932 nefnir Bjarni Sæmundsson metraháar hríslur af tveimur tegundum kórala sem komu upp við fiskirannsóknir út af Hvalbak. Hann nefnir þar bæði skeljungskóralhríslur (*Primnoa resedaeformis*) og hornkórala

(*Paramuricea placomus*) „sem áður en togarnir komu til mynduðu „skóga“ þarna í álum [Berufjarðarál], en eru nú sennilega tekin að þverra“.²²

Oft eru sumar kóralategundir taldar vera gróður. Þetta á til dæmis við um sæfjadrir, sem vissulega geta litið út eins og strá þegar þær koma upp vafðar í netið. Kalkmyndandi rauðþörungar hafa einnig verið kallaðir kóralar, og eru sumir í raun ekki ólíkir kóral, og kallast á íslensku kóralþörungur. Kóralþörungur vaxa á grunnsævi, enda þurfa þeir sólarljós til vaxtar. Þá getur rekið á fjörur og margir telja sig hafa fundið kóral þegar þeir sjá þá í fjörunni. Flestir kóralar við Ísland eru hins vegar djúpsjávarkóralar, að undanskilinni náhönd (*Alcyonium digitatum* Linnaeus, 1758) sem er útbreidd á grunnsævi og er meðal annars algeng í Faxaflóa og við Surtsey.^{23,24}



4. mynd. Kóralgarður: Skeljungskóral (*Primnoa resedaeformis*) í Lónsdjúpi.
Ljós.: Hafrannsóknastofnun

Innan lögsögu Íslands hafa verið skráðir yfir 2.600 fundarstaðir kórala samkvæmt ýmsum rannsóknum og heimildum. Mestum hluta þeirra kórala sem varðveittir eru hjá Náttúrufræðistofnun var safnað í rannsóknaverkefnum Botndýr á Íslandsmiðum eða BIOICE (Benthic Invertebrates of Icelandic waters) sem fór fram milli 1991 og 2004.²⁵ Flest þessara eintaka greindi Helmuth Zibrowius (steinkóralar) og Pablo José López-González ásamt Elía Sanmartín Payá (áttkóralar). Haustið 2023 var vinnufundur í Sandgerði og komu þangað ýmsir erlendir kóralsérfræðingar víða að til að skoða BIOICE-kóralsafnið, greina eintök sem ekki höfðu áður verið greind og fara yfir eldri greiningar.

Árin 2015–2016 var gert sérstakt átak við skráningu botndýra sem komu sem meðafli við botnfiskarannsóknir á djúpslóð.²⁶ Þá safnaðist nokkuð af kóral og við bættust nýjar tegundir sem ekki höfðu áður sést við Ísland.

Umfangsmesta skráning á kóralsvæðum og öðrum viðkvæmum svæðum í sjó er þó fyrrnefnd kortlagning búsvæða á hafsbótnei. Tekin hafa verið yfir 300 myndasnið frá botninum og fleiri þúsund ljósmynda hefur verið safnað auk kvikmynda. Skráningar á kórölum frá neðansjávarmyndefni eru yfir 10 þúsund. og eru einstaklingar þá taldir af myndunum eftir því sem kostur er. Lýsingu aðferðafræðinnar við söfnun þessara gagna má finna í skýrslu frá 2020 í ritröð Hafrannsóknastofnunar.²⁰

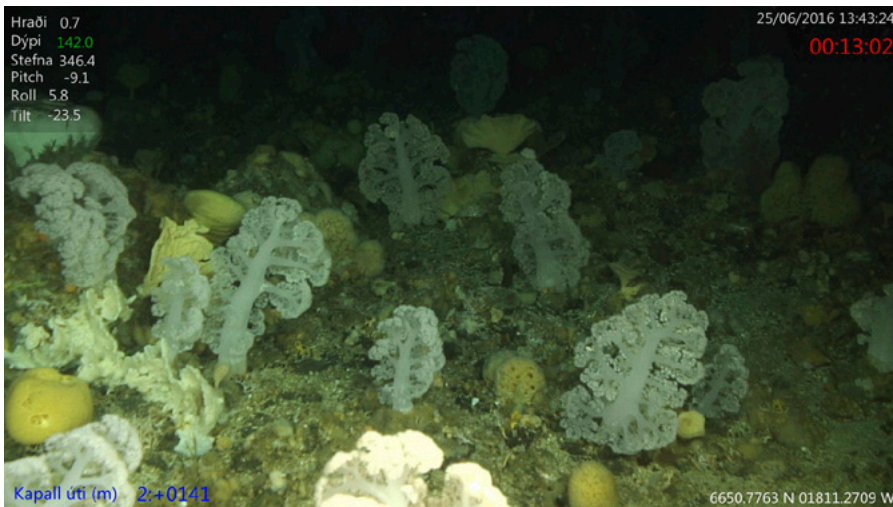
KALDSJÁVARKÓRALRIF

Steinkóralar mynda kóralrif. Hörð ytri stoðgrind byggist upp kynslóð eftir kynslóð á botninum og nýir kóralar leggja sitt af mörkum til að bæta við bygginguna, sem með tímanum og við réttar aðstæður myndar rif. Ekki mynda allir steinkóralar slík rif en við Ísland eru þrjár tegundir sem hafa þennan eiginleika. Meginmunur kóralrifa í heitum

sjó og köldum er sá að kóralar sem mynda rif í köldum sjó lifa yfirleitt á töluverðu dýpi. Þar þrífast þörungar ekki, en kóralar sem byggja rif í hlýrri sjó eru allajafna á grunnsævi og í sambyli við þörungar.

Kóralar hafa fundist í gegnum tíðina í Norður-Atlantshafi, meðal annars við Ísland, en það var þó ekki fyrr en seint á síðustu öld að kóralrif í köldum sjó uppgötvuðust þar, áþekk þeim sem menn hafa lengu þekkt í hlýrri höfum.

Kóralrif við Ísland voru ljósmynduð neðansjávar í fyrsta sinn árið 2004. Umfangsmikil könnun hafði farið fram meðal skipstjórnarmanna um það hvar kóralrif eða kóralsvæði væri að finna við Ísland.²⁷ Töldu þeir kóral vera á tólf svæðum, flest suður af landinu, einkum á landgrunninu, í og við landgrunnskantinn og í djúpálum, allt frá Víkurál út af Vestfjörðum að Færeyjahrygg suðaustur af landinu. Kóralsvæði í Reynisdjúpi, Skaftárdjúpi og Horna-



5. Mynd. Efri: Blómkálskóralar (*Duva* cf. *florida*) og svampar á Kolbeinseyjarhrygg. Neðri: *Gersemia* sp. og svampar í Grænlandssundi. Ljós.: Efri: Hafrannsóknastofnun. Neðri: Hafrannsóknastofnun, Greenland Institute of Natural Resources, Zoological Society of London.

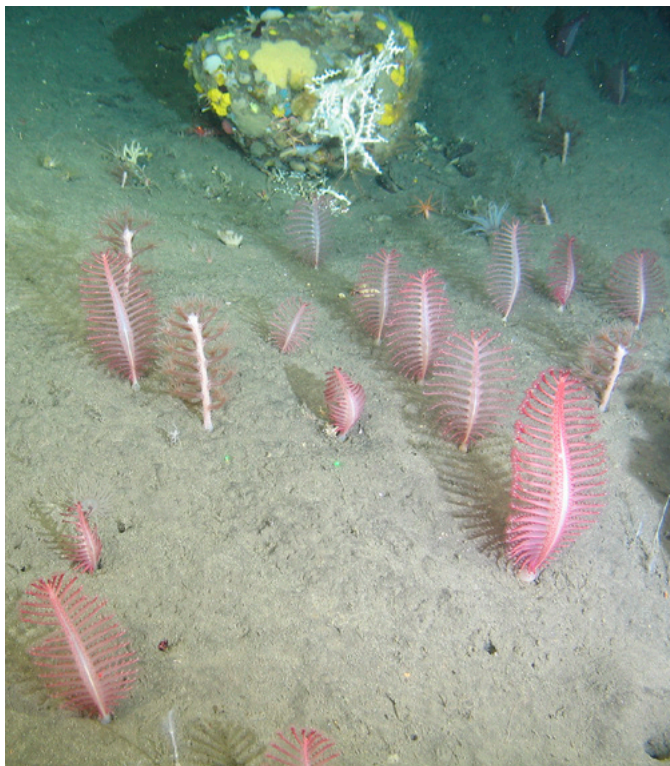


fjarðardjúpi voru mynduð í fyrsta kortlagningaleiðangrinum.²⁷ Áframhaldandi rannsóknir byggðar á þessari könnun fóru fram 2009, 2011, 2012, 2016, 2017 og 2019 og voru þá staðfest fleiri kóralrif á ýmsum svæðum sem skipstjórnarmenn höfðu nefnt. Að auki hafa önnur kóralsvæði fundist.^{20,21}

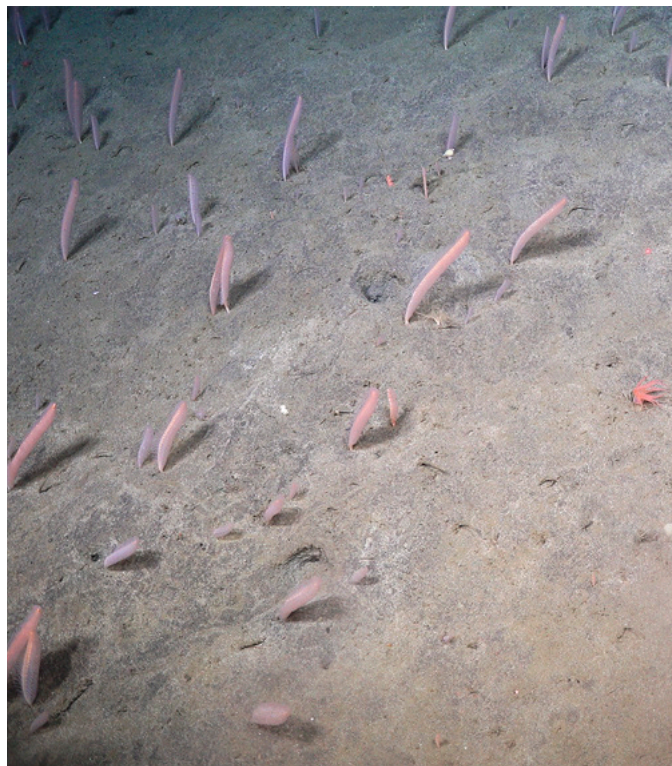
Sú tegund sem aðallega myndar kóralrif hér við land er postulínskóral (Desmophyllum pertusum (Linnaeus, 1758)), áður nefnd *Lophelia pertusa* (1 mynd a). Jafnframt eru tvær aðrar tegundir rifmyndandi, annars vegar *Madrepora oculata* Linnaeus, 1758 (1 mynd b) og hins vegar *Solenosmilia variabilis* Duncan, 1873 (1 mynd c). Í bók Jörundar Svavarssonar og Pálma Dungal frá 2008 er *M. oculata* kölluð „dropadrellir“ en uppruni þess heitis er óljós, og *S. variabilis* kölluð „fjölva-kóral“. ²³ Almennt er þörf á að gefa sjávarhryggleysingjum, þar með talið kórölunum, góð íslensk heiti.

Kóralrif eru búsvæði sem margar aðrar tegundir nýta sér, þar á meðal aðrar kóraltegundir og ber þá helst að nefna hornkórara (yfirheiti hóps kórara með innri stoðgrind úr hornlagi). Þetta eru greinótt kóralsambýli sem líkjast trjám eða runnum og hafa hornkennda innri stoðgrind. Dæmi um slíkar tegundir á kóralrifum við Ísland eru skeljungskóral (Primnoa resedaeformis (Gunnerus, 1763)), en íslenska nafnið er komið frá Bjarna Sæmundssyni,²⁸ Paragorgia arborea (Linnaeus, 1758), Acanthogorgia armata Stiasny, 1947, Anthothela/Lateothela, sem ekki hægt að greina á milli af myndum, og tegundir af ættkvíslinni Paramuricea en þær er ekki heldur hægt að greina til tegundar af myndum. Þær fiskategundir sem virðast nýta sér þessi svæði mest eru karfi, keila, bláriddari og geirnyt (3. mynd). Sérstaklega ber þó að nefna blámævil (*Bythites islandicus* Nielsen & Cohen, 1973) sem

lýst var árið 1973 út frá eintökum héðan.²⁹ Tegundin fannst fyrst 1967 og segir Gunnar Jónsson sögu af því í Ægi 1967, en nefnir hana röngu nafni (*Bythites fuscus* (Reinhardt, 1838), og síðar í Náttúrufræðingnum 1969.^{30,31} Í Ægi segir Gunnar meðal annars: „Síðan fannst einn á þilfarinu innan um kóral og grjót, sem komið hafði upp í vörpunni.“³² Þessi fiskur hefur einungis fundist á kóralsvæðinu í Lónsdjúpi og er því sennilega okkar eini sanni „kóralfiskur“. Því miður hefur blámævillinn ekki náðst á mynd við rannsóknir á svæðinu. Hann er einungis um 4–10 cm og getur því hæglega dulist innan um greinar kóralsins, og mögulega forðast hann myndavélarnar, ólíkt karfanum sem virðist ekkert kippa sér upp við framandi rannsóknartæki. Keilan er hins vegar forvitin og fylgist með því sem fram fer.



6. mynd. *Pennatulula* cf. *aculeata* og *Kophobelemnion* sp. í Háfadjúpi. Ljós.: Hafrannsóknastofnun (við kortlagningu búsvæða).



7. mynd. *Virgularia glacialis*-þyrping út af Vestfjörðum. Ljós.: Hafrannsóknastofnun, Greenland Institute of Natural Resources, Zoological Society of London.

KÓRALGARÐAR

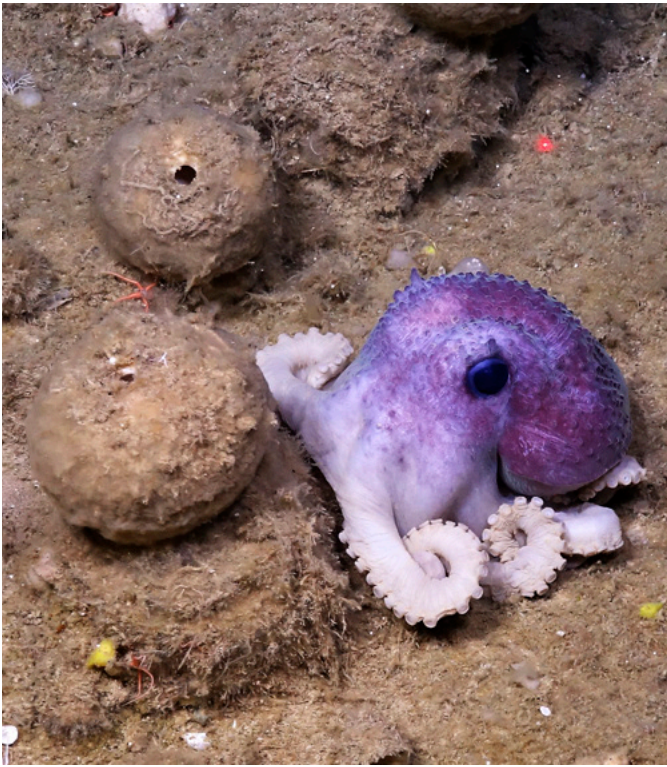
Kóralgarðar nefnast svæði þar sem þéttleiki einnar eða fleiri tegunda sem tilheyra áttkórölum (*Octocorallia*) er meiri en á öðrum svæðum og þær mynda þyrpingar. Hér við land þekkjum við nokkur slík svæði og er mismunandi hvaða lykiltegundir standa að þeim. Neðansjávarmyndir eru mikilvægar til finna slíka garða þar sem af þeim er hægt að meta fjölda eintaka á flatarmálseiningu og fá innsýn í hvaða aðrar lífverur er þar að finna. Fyrsta heimild um kóralgarða við Ísland er líklega rannsóknargrein Bjarna Sæmundssonar frá 1931 þar sem hann minnst á „kórallaskóginn“ sem hann segir í Berufjarðarálsmyndi: „þar sem upp komu metra-háar hríslur af bleikrauðum skeljungs-kóral (Primnoa resedæformis)“.³² Skeljungskóralgarður var myndaður í Lónsdjúpi 2009 (4. mynd).

BLÓMKÁLSKÓRALGARÐAR

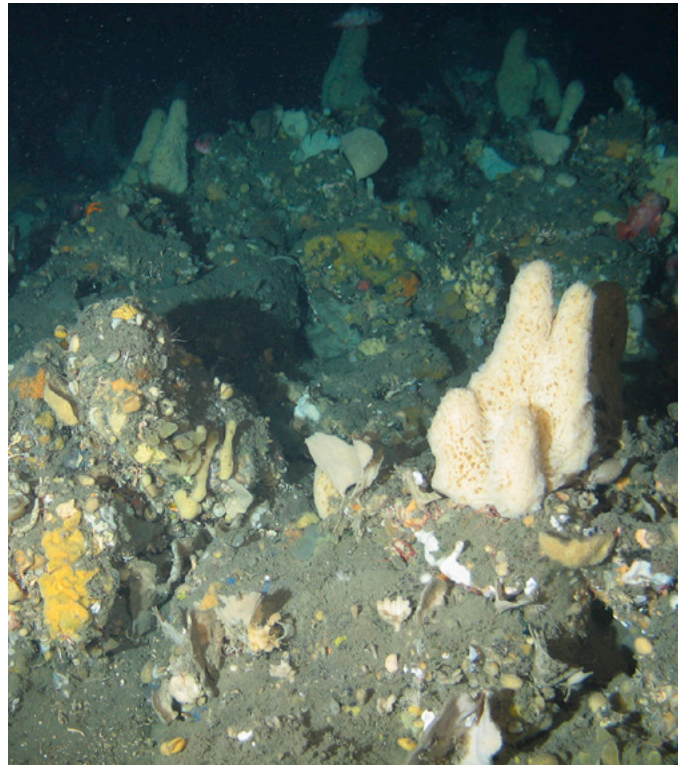
Kóralgarða sem samanstanda af blómkálskórölum og svömpum er að finna í köldum sjó úti fyrir Vestfjörðum og Norðurlandi. Blómkálskóralar er yfirheiti að minnsta kosti þriggja tegunda hér við land og eru fræðiheiti þeirra *Duva florida* (Rathke, 1806), *Drifa glommerata* (Verrill, 1869) og *Pseudodrifa groenlandica* (Molander, 1915), sem allar líkjast úr fjarlægð blómkáli og spergilkáli. Mögulega lifa fleiri tegundir af þessum ættkvíslum hérlendis. Aðrir kóralar algengir í kalda sjónum fyrir norðan tilheyra ættkvíslinni *Gersemia*. Það er nokkur óvissa um tegundir innan þessarar ættkvíslar: Hér hafa verið greindar þrjár tegundir (*G. fruticosa* (Sars, 1869) (kjarrlaga), *G. rubriformis* (Ehrenberg, 1834) (rauðleitur) og *G. clavata* (Danielssen, 1887) (kylfuform)) en mögulega eru þær fleiri.

SÆFJAÐRAGARÐAR

Sæfjaðrir eru yfirheiti áttkórara af yfirættinni Pennatulioidea. Sæfjaðrir við Ísland flokkast í níu ættir. Líklega er Benedikt Gröndal höfundur heitisins í Dýrafræði sinni frá 1878: „Sæfjöldur (*Pennatulula*), rauðleit, 5“, hefir kalkstaungul, og eru dýrin fjaðursett til beggja hliða, og lýsa í myrkri.“³³ Í Vesturheimsblaðinu Lögbergi 1915 birtist þýdd grein úr American Magazine þar sem þetta var skrifað um sæfjaðrir: „Aðrar einkennilegar skepnur sem víða þekja stór svæði af botni hafsins og eru ekki ólík runnum eða trjám, eru hinar svo nefndu sæfjaðrir. Þegar þær koma upp úr djúpinu bera þær daufa birtu ...“.³⁴ Það virðist því vera þekkt á þeim tíma að sæfjaðrir myndi breiður og einnig að þær búi yfir lífljómun. Nú er vitað að nokkrar tegundir sæfjaðra mynda breiður eða þyrpingar og hefur



8. mynd. Svampar af ættkvíslinni *Geodia* (þaktir þunnu setlagi) og kolkrabbi. Ljós.: Hafrannsóknastofnun, Greenland Institute of Natural Resources, Zoological Society of London.



9. mynd. Svampar af ættkvíslinni *Mycale* á Reykjaneshrygg. Ljós.: Hafrannsóknastofnun (við kortlagningu búsvæða).

Þetta verið myndað við kortlagningu búsvæða, meðal annars í Háfadjúpi (6. mynd).³⁵ Við suðurströndina mynda sæfjadrirnar *Kophobelemnion* sp. Asbjörnssen, 1856 og *Pennatula aculeata* Danielssen, 1860, sem kalla mætti *raudþyrnifjöður* þar sem hún er dökkrauð og ber þyrnilaga sepa á bakhliðinni, slíkar þyrpingar (6. mynd). Í kaldari sjó vestur af landinu er að finna sæfjadraragð þar sem ríkjandi tegund er *Virgularia glacialis* Kölliker, 1870, sem mætti ef til vill kalla *jökulfjöður* (7. mynd). Sú tegund heldur sig norðan við Grænlands-Íslands-Færeyjahrygginn.

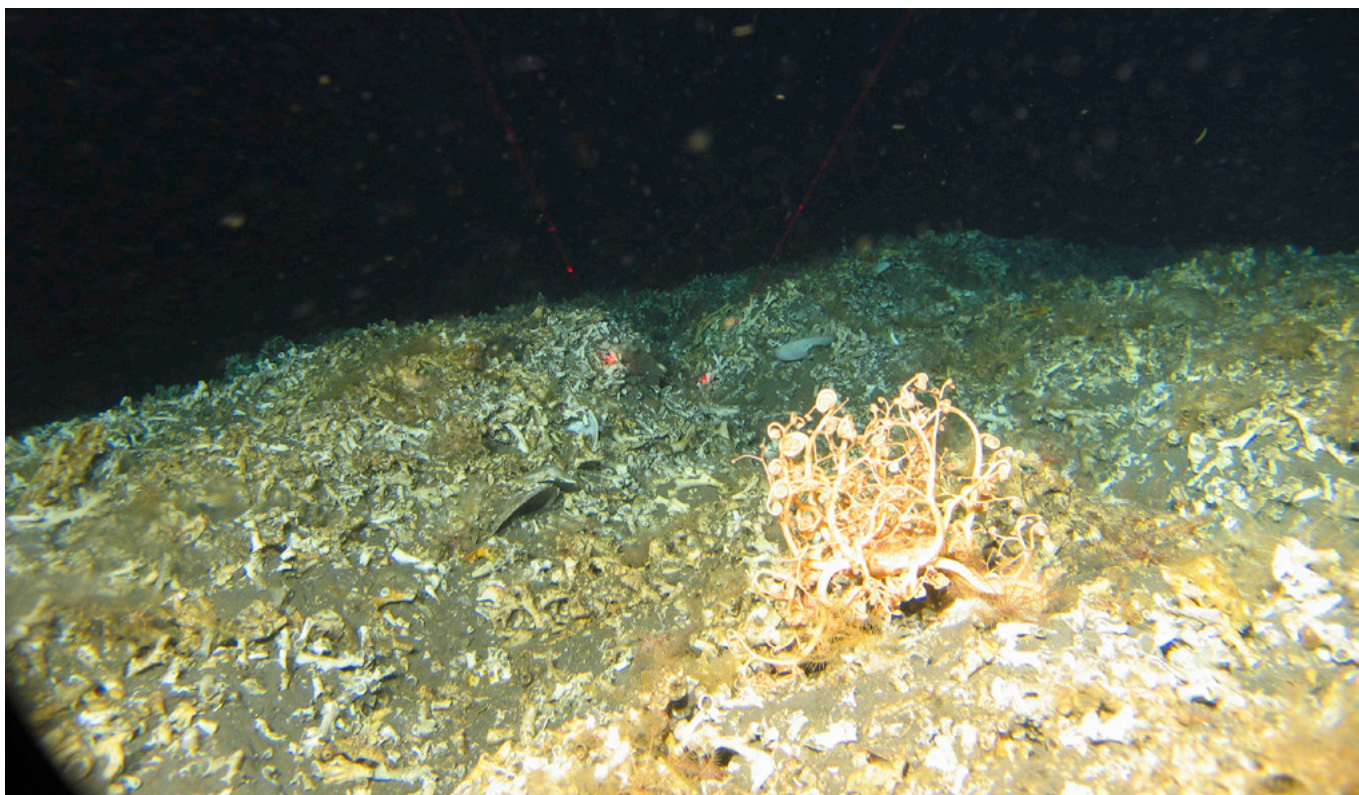
SVAMPAPÝRPINGAR

Svampar (samheiti svampdýr) tilheyra fylkingunni Porifera. Eldra heiti svampa er *njarðarvöttur*. Þeir hafa verið á jörðinni í hundruð miljóna ára. Tegundargreining svampa er flókin og krefst sérþekkingar.

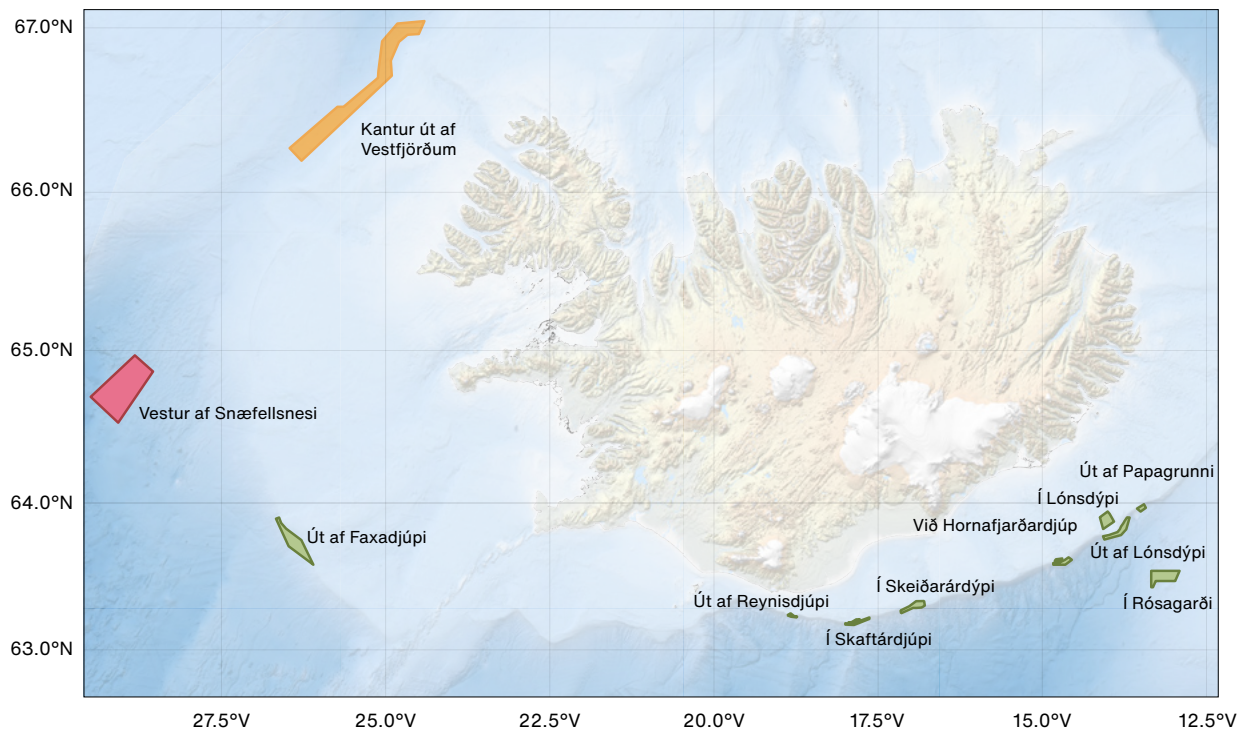
Helstu greiningareinkenni eru kalk- eða kísilnálar sem mynda stöðgrind dýranna. Þessar nálar eru afar fjölbreyttar í útliti og hver tegund hefur sérstaka samsetningu ólíkra gerða af þessum nálum. Tegundargreining er því nær ógerleg af neðansjávarmyndum, sem gerir skráningu og úrvinnslu gagna flókna. Við mat á svampasvæðum af myndefni er gjarnan horft til vaxtarforms og athugað hvort dýrin eru *kúlulaga*, *blaðlaga*, *fingerlaga*, *greinótt* o.s.frv. Á lista ICES^{4,5} yfir einkennistegundir fyrir svampapýrpingar í djúpsjó eru að minnsta kosti 35 tegundir hér við land.

Þrívíddarlögun svampa getur myndað búsvæði fyrir aðrar tegundir en mikilvægi svampasvæða er óðum að skýrast eftir því sem rannsóknum á hlutverki þeirra fleygir fram. Flestir svampar dæla sjó í gegnum örsmá op víða um líkamann. Með sérhæfðum frumum

safna þeir ögnum úr sjónum og skila sjónum síðan út um stór útstreymisop. Í vef svampa lifa bakteríur og sveppir sem mynda alls konar efnasambönd, eiturefni og lífhvata sem nú eru notaðir í líftækniiðnaði og í til lækninga. Kortlagning á útbreiðslu svampanna, tegundaauðgi þeirra og þéttleika skiptir miklu máli til að koma í veg fyrir að þeim hnigni. Í sjónum við Ísland eru tugir þekktra tegunda, en líklega á eftir að lýsa fjölmörgum tegundum í viðbót. Erfðafræðirannsóknir við tegundargreiningu hafa rutt sér rúms undanfarin ár. Það hefur meðal annars haft í för með sér endurmat á mörgum kóral- og svampategundum, og gerir að verkum að það getur verið erfitt nú um stundir að tilgreina fjölda þeirra tegunda sem hér lifa, þar sem tegundir eru ýmist sameinaðar öðrum eða skipt upp í fleiri tegundir út frá þessum erfðafræðirannsóknum.



10. mynd. Eyðilögð kóralsvæði mynduð við kortlagningu búsvæða. Efri myndin er frá Skeiðarárdjúpi og sú neðri frá Öræfagrunni. Ljós.: Hafrannsóknastofnun



11. mynd. Verndarsvæði viðkvæmra vistkerfa samkvæmt reglugerð 188/2023.

Svampasvæði sem ganga undir samheitinu „ostur“ eru þekkt á alþjóðavísu. Megintegundir þessa vistkerfis eru stórir, hvítleitir svampar sem sjómenn við Færeyjar og Ísland hafa kallað „ost“, og hefur það heiti náð talsverðri útbreiðslu. Þessar tegundir tilheyra meðal annars ættkvíslunum *Geodia*, *Stryphnus*, *Craniella* og ættinni *Polymastiidae*. Fleiri hundruð kíló og jafnvel mörg tonn af þessum svömpum hafa komið upp eftir eitt tog með botntrolli. Þessir svampar eru líklega allt í kringum Ísland en eru þekktir í miklu magni í Grænlandssundi og á Færeyjahrygg.³⁶ Við rannsóknir á botndýrum í meðafla við fiskirannsóknir á djúpslóð í haustralli voru mæld yfir 800 kg af svampi í einu togi á neðansjávarfjalli í Grænlandssundi (8. mynd).²⁶ Neðansjávarmyndefni sem tekið var þar 2021 sýnir mikið magn svampa og fjölbreytileika.

Á öðrum gerðum svampasvæða eru tegundir svampanna ekki eins vel þekktar og svamparnir fjölbreyttari í útliti. Slíkir svampar eru nokkuð algengir bæði á

Reykjaneshrygg og á Kolbeinseyjahrygg (9. mynd). Í Háfadjúpi er einnig að finna margar ólíkar og ógreinanlegar tegundir sem mynda svampabúsvæði.³⁵

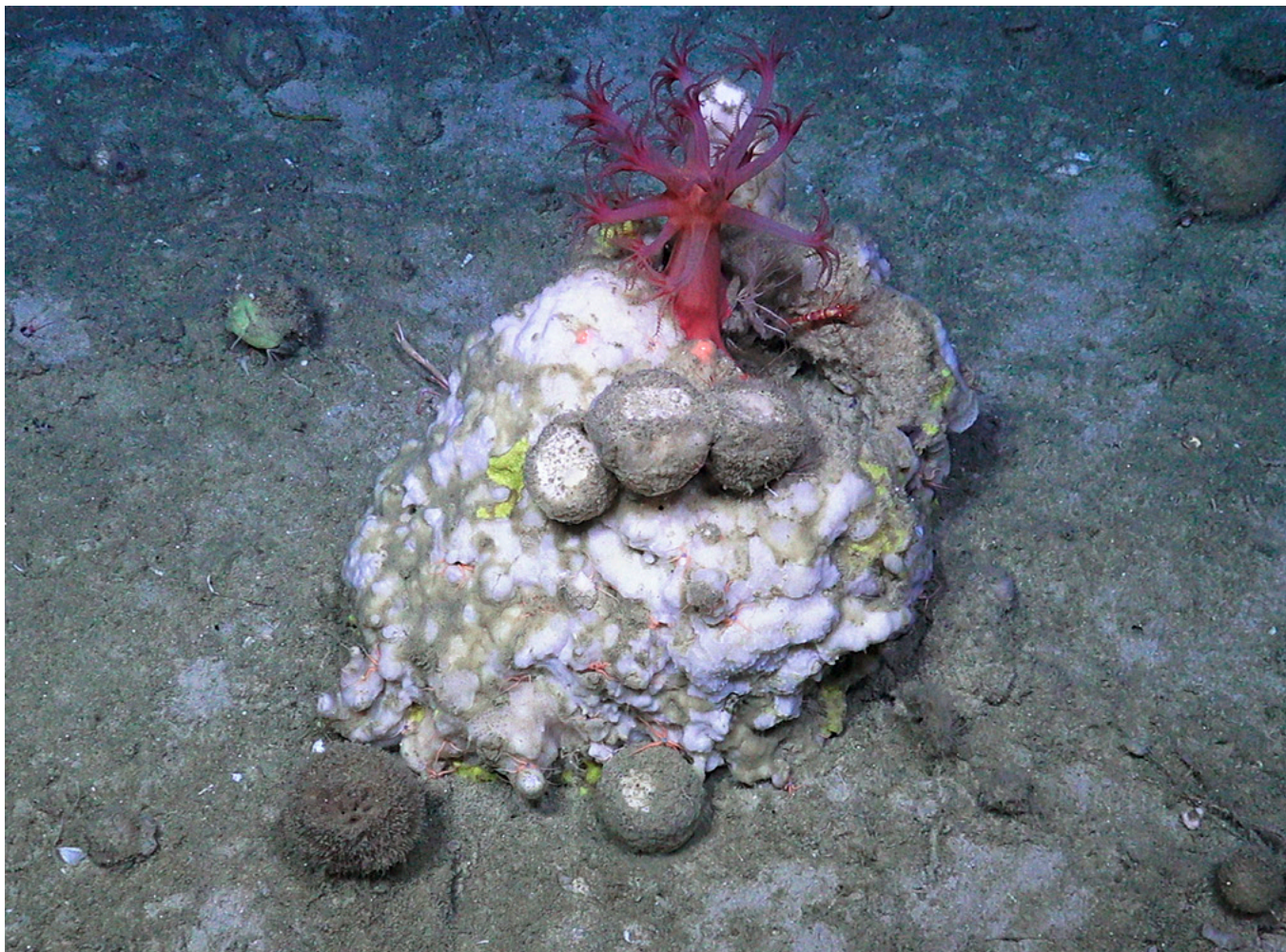
ÁLAG OG VERNDUN

Um kóral sem meðafla við fiskveiðar eða fiskirannsóknir hefur verið ritað og var það Bjarni Sæmundsson^{22,37,38} sem fyrst nefndi þetta, í sambandi viðlíkleg áhrif togveiða á kóralskóg í Berufirði árið 1932. Eftir 1950 verða slík ummæli algengari í blaðaumfjöllun um fiskveiðar. Umræða um skaðleg áhrif veiðarfæra á hafsbót og á kórala hófst upp úr 1990 og í lok tíunda áratugarins bentu samtök sjómanna á að rannsókna væri þörf á kóralsvæðum við Ísland.

Veiðar með botnlægum veiðarfærum hafa um áratugabil farið fram á landgrunnskantinum suður með landinu og út af Vestfjörðum, og á stórum hluta landgrunnsins. Fjölgeislamælingar á landgrunninu suður af landinu sýna hringlaga myndanir og við rannsóknir með neðansjávarmyndavélum

á nokkrum þeirra varð ljóst að þetta voru kóralsrif. Hins vegar voru þau flest niðurbrotin og eyðilögð eins og búast mátti við (10. mynd) þar sem þau lágu innan veiðislóðar. Helsta núverandi álag og ógn við þessi vistkerfi eru botnveiðar en áhætta getur einnig falist í öðrum athöfnum mannsins sem snerta hafsbótinn sérstaklega ef sótt verður í annars konar nýtingu hafsvæðisins umhverfis landið.

Flest þekkt viðkvæm vistkerfi í sjónum við Ísland eru vernduð á grundvelli fiskveiðilaga, en hverastrýturnar í Eyjafirði njóta þó verndar á grundvelli náttúruverndarlaga. Á verndarsvæðunum eru kóralsvæði, kóralgardar, svampabyrpingar og hverasvæði. Sum kóralsvæðin hafa verið vernduð síðan 2005. Verndun viðkvæmra svæða fellur undir reglugerð 188/2023, um verndarráðstafanir vegna viðkvæmra hafsvæða og botnvistkerfa, og hafa eldri reglugerðir um verndun kóralsvæða verið sameinaðar þeirri reglugerð (11. mynd).



12. mynd. Svampar af ættkvíslum *Geodia*, *Craniella* og *Stryphnus* ásamt rauðum kóral og fleiri lífverum. Ljóm.: Hafrannsóknastofnun, Greenland Institute of Natural Resources, Zoological Society of London.

VERNDUN KÓRALSVÆÐA

Við suðurströndina er að finna flest kórallríf við landið, ýmist á landgrunninu eða í landgrunnskantinum. Kóralsvæðið í Lónsdjúpi var fyrst friðað til skamms tíma 1994 til 1998 og lagði Skipstjóra- og stýrimannafélagið Sindri á það áherslu að á svæðinu, ásamt öðrum við suðurströndina, væri mikill kórall sem þyrfti að vernda. Hægt er að kynna sér aðdraganda og sögu þessarar verndunar í ýtarlegri samantekt Sigfúsar A. Schopka um friðun og skyndilokanir.³⁹ Kóralsvæði í Reynisdjúpi, Skaftárdjúpi, og Hornafjardardjúpi voru vernduð með reglugerð við fiskveiðilög árið 2005, í kjölfar fyrsta kortlagningarleidangurs Hafrannsóknastofnunar. Eftir áframhaldandi kortlagningu árin 2009 og

2010 voru kóralsvæði í Skeiðarárdjúpi, Lónsdjúpi, kantinum út af Lónsdjúpi og Papagrunni og í Rósagarðinum á Íslands-Færeyjahrygg vernduð árið 2011, einnig með reglugerð við fiskveiðilög. Ýtarlegri umfjöllun um þessi svæði er að finna í ritröðum Hafrannsóknastofnunar.^{21,27} Nýjasta verndarsvæði kórals er í kantinum úti fyrir Faxadjúpi og var það verndað 2023. Samtals þekja verndarsvæði kórala 707 km² eða 0,09% af heildarflatarmáli efnahagslögsögunnar.

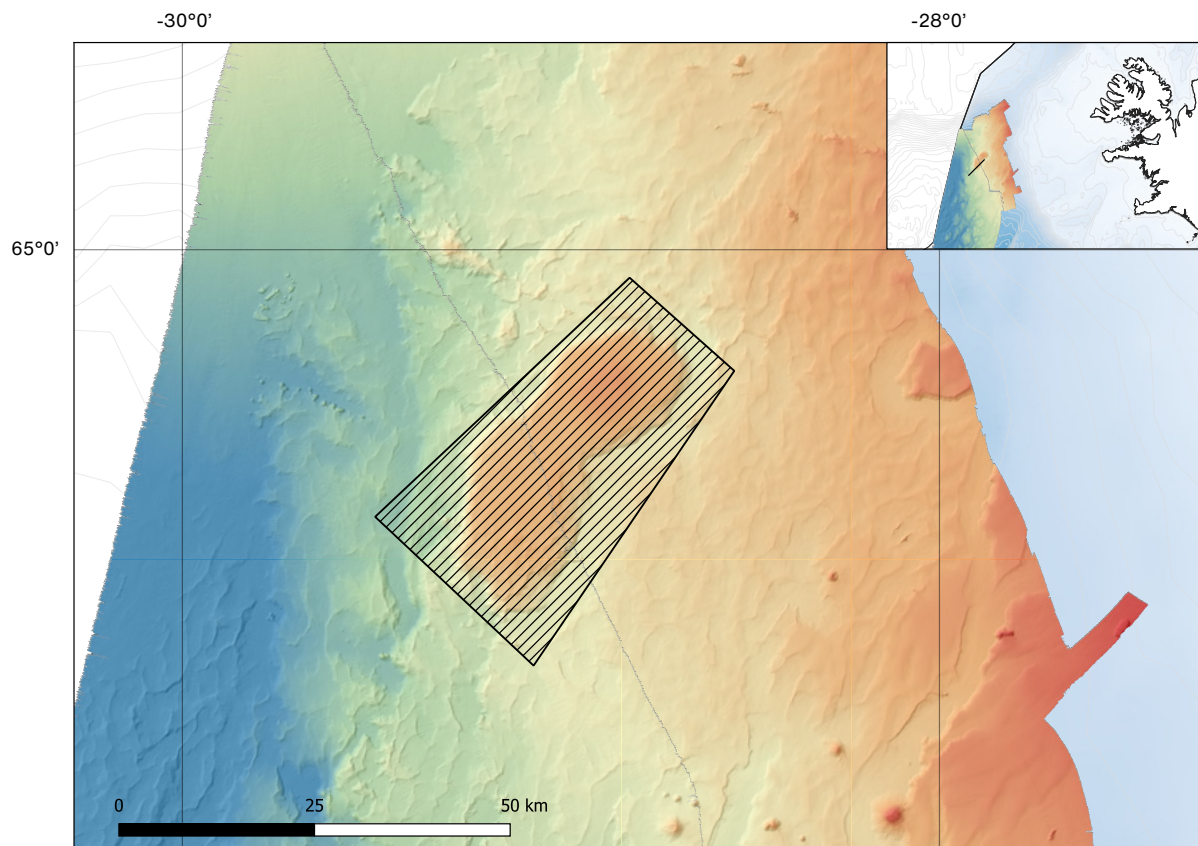
VERNDUN SVAMPA VESTUR AF SNÆFELLSNESI

Vistkerfi djúpsjávarsvampa finnast á neðansjávurfjöllum (guyot) vestur af Snæfellsnesi, sem rísa rúmlega 400 m upp frá botninum umhverfis (8. og

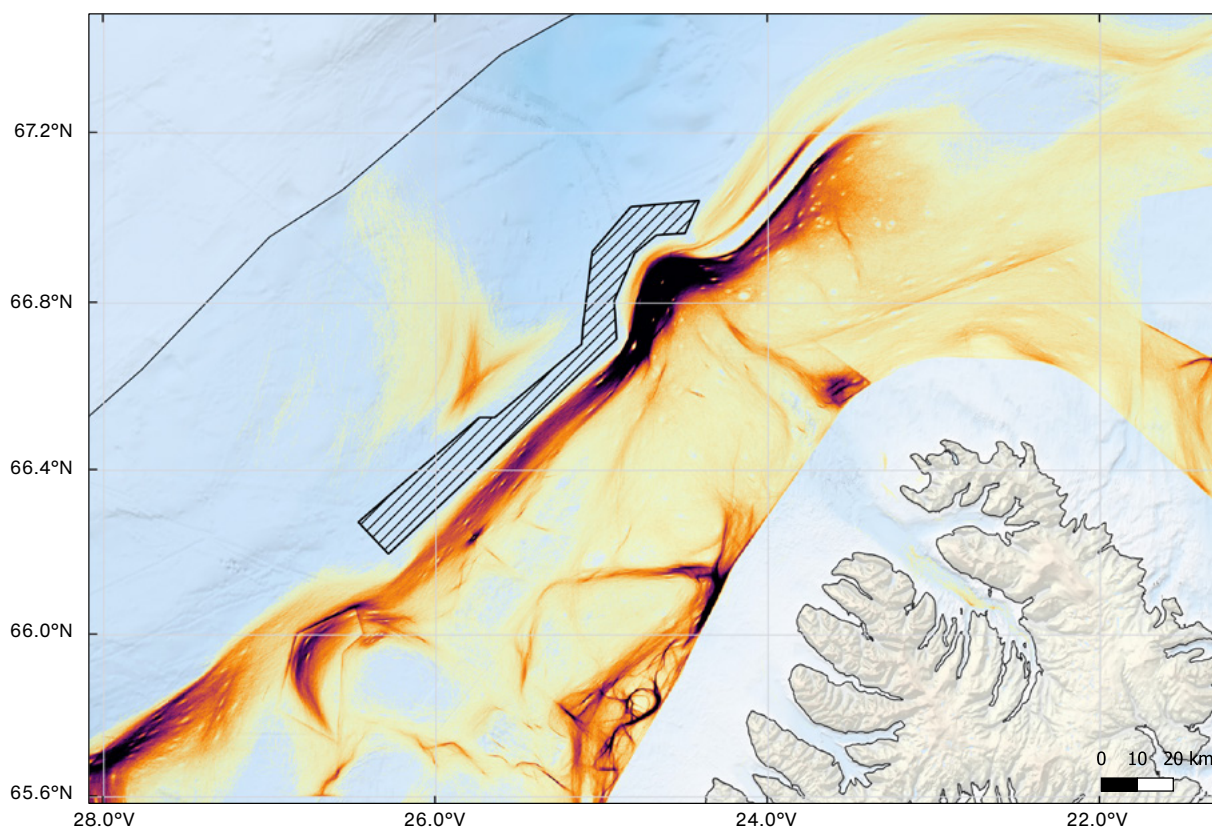
12. mynd). Fjöllin liggja á 960 m dýpi og á toppum þeirra og í hlíðum er viðkvæmt vistkerfi sem einkennist af „osta“-svömpum (12. mynd). Þar eru einnig kóralar, meðal annars sjaldgæfir bambuskóralar af ættinni Keratoisidae. Svæðið var friðað 2023 og er nánari útlistun og samantekt rannsókna að finna í skýrslu frá Hafrannsóknastofnun (13. mynd).²¹ Stærð verndarsvæðisins er 991 km² sem er 0,13% af efnahagslögsögu landsins.

VERNDUN KÓRALGARÐA, SVAMPA OG SÆFJAÐRA – KANTUR ÚT AF VESTFJÖRÐUM

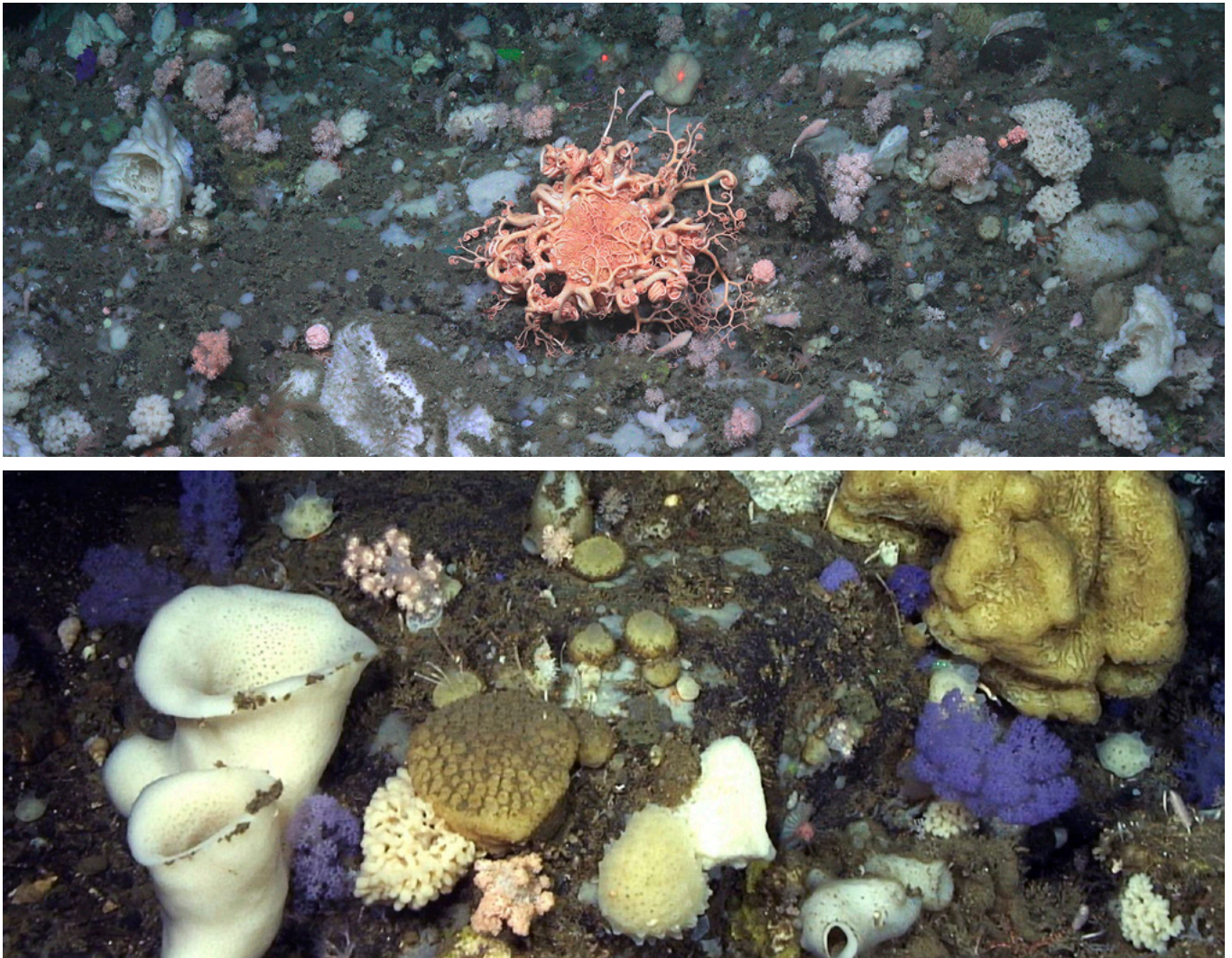
Á um 600 m dýpi í kantinum út af Vestfjörðum er belti með fjölbreytilegu botndýralífi. Þarna var myndað fyrst



13. mynd. Skástríkaði reiturinn sýnir verndarsvæðið umhverfis fjöllin vestur af Snæfellsnesi.



14. mynd. Verndarsvæði í kantinum út af Vestfjörðum norður af Víkurál og út að Horni. Veiðiálag sést vel umhverfis svæðið og eru Halamið og Kartöflugarðurinn þekkt heiti á veiðislóðum beggja vegna verndarsvæðisins. Litaskalin frá gulum í svartan sýnir fjölda skráninga á veiðiskipum á tímabilinu 2009–2023. Því dekkri litur, þeim mun meiri skipaumferð.



15. mynd. Myndir teknar í kantinum úti fyrir Vestfjörðum. Þyrping svampa og blómkálskóralla. Fyrir miðri efri mynd er marflækja (*Gorgonocephalus* sp.). Ljósm.: Hafrannsóknastofnun, Greenland Institute of Natural Resources, Zoological Society of London.

2016 og svo síðar 2021 við kortlagningu búsvæða og rannsóknir á Grænlandssundi. Fiskveiðar eru stundaðar beggja vegna við svæðið, og eru hin þekktu Halamið rétt grynna, en engar botnveiðar fara fram í beltinu sjálfu (14. mynd). Ástæðan er sú að þarna er sjórinn kaldari og virðast þorskur og aðrir nytjafiskar ekki halda sig þar. Þar eru hinsvegar botndýr löguð að köldu umhverfi. Úrvinnslu myndefnis er ekki lokið. Þarna er litríkt samspil botndýra og ber mest á fjóluhláum og bleikum blómkálskórölum, en vistkerfið einkennist af samspili svampa og blómkálskóralla (15. mynd). Norðar á svæðinu á mjúkum botni er sæfjaðragarður þar sem jökulfjöldur (*Virgularia glacialis*) er ríkjandi (sjá 7. mynd). Stærð verndarsvæðisins er 1.221 km² sem er 0,16% af efnahagslögsögu landsins.

LOKAORÐ

Aðeins lítill hluti hafsbotnsins hefur verið rannsakaður með það að markmiði að skilgreina botnvistkerfi og er þar um langtímaverkefni að ræða. Mikilvægt er að leggja meiri áherslu á þessa kortlagningu þar sem það er skylda okkar að fara vel með auðlindir hafsins og kortlagning vistkerfa er forsenda þess að við nýtum auðlindir okkar á sjálfbæran hátt. Vísindamenn hafa bent á að líffræðilegri fjölbreytni hefur hnignað bæði á landi og í hafi. Búsvæði og vistkerfi hafa eyðst og eða er ógnað með auknum athöfnum og sókn mannsins í auðlindir á hafsbotni eða annars konar nýtingu hafsvæða, svo sem vindorkugörðum í hafi, sjávareldi, efnistöku, sókn í fágæta málma og svo framvegis. Á ráðstefnu Sameinuðu þjóðanna um líffræðilega fjölbreytni í desember 2022,

COP 15, samþykktu flest aðildarríkin nýja stefnu og aðgerðaáætlun þess efnis að stöðva og snúa við rýrnun náttúrunnar. Meðal markmiða um að stöðva rýrnun líffræðilegrar fjölbreytni er að auka vernd, og er stefnt á 30% verndun á landi, ferskvatni og í sjó. Þetta hefur áhrif á Íslandi, þar sem mikið vantar upp á að verndun í hafi nái þessu markmiði. Kortlagning búsvæða og skilgreining vistkerfa er mikilvægur liður í að nálgast þetta verkefni á vísindalegan hátt.

ÞAKKIR

Bestu þakkir fá allir þeir sem hafa komið að skráningu og rannsóknum á kórólum og svömpum við landið í gegnum tíðina og hafa látið sig þessi dýr varða. Ég þakka sérstaklega Guðbjörgu Ólafsdóttur, Jörundi Svavarssyni og Merði Árnasyni fyrir að lesa þessa grein yfir og koma með mjög góðar ábendingar til bóta.

HEIMILDIR

1. OSPAR agreement. 2008. OSPAR agreement list of threatened and/or endangered species and habitats (OSPAR agreement 2008-06). Á vefsetri sammingsins. Slóð (2.12. 2014): <https://www.ospar.org/documents?d=32794>
2. Matvæla- og landbúnaðarstofnun SP. (FAO). 2008. International guidelines for the management of deep-sea fisheries in the high seas. FAO, Róm. 73 bls.
3. Alþjóðahafrannsóknaráððið. (ICES). 2015. Report of the ICES/NAFO joint working group on deep-water ecology (WGDEC). 16-20 February 2015, Horta, Azores, Portugal (ICES CM 2015/ACOM:27). ICES, Kaupmannahöfn. 32 bls. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.23507940>
4. Alþjóðahafrannsóknaráððið. (ICES). 2019. Report of the ICES/NAFO joint working group on deep-water ecology (WGDEC). ICES, Kaupmannahöfn. 119 bls. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.5567>
5. Alþjóðahafrannsóknaráððið. (ICES). 2020. ICES NAFO joint working group on deep-water ecology (WGDEC). ICES Scientific Reports. ICES, Kaupmannahöfn. 188 bls. <https://doi.org/10.17895/ices.pub.7503>
6. Norðaustur-Atlantshafsfiskveiðiráððið. NEAFC rec. 19: 2014/amended by rec. 09: 2015: <https://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC165665/>
7. Ásgeir Blöndal Magnússon. 1989. Íslensk orðsifjabók. Orðabók Háskólans, Reykjavík.
8. Ritmálssafn Orðabókar Háskólans. Á. Á vefsetri Stofnunar Árna Magnússonar í íslenskum fræðum. Slóð: <https://ritmalssafn.arnastofnun.is/>
9. Ordbog over det norrøne prosasprog. Slóð: onp.ku.dk
10. Beygingarlýsing íslensks nútímamáls. Á vefsetri Stofnunar Árna Magnússonar í íslenskum fræðum. Slóð: bin.arnastofnun.is
11. Benedikt Gröndal 1874. Um náttúru Íslands. Gefn 1874. (Tilv. bls. 40, 42–43).
12. The Danish Ingolf-Expedition 1–6. 1899–1928, 1942–1946. Ritroð, ýmsir höfundar. Hagerup, Kaupmannahöfn.
13. Zoology of Iceland. 1937 o.áfr. Ritroð, ýmsir höfundar. Levin & Munksgaard og Einar Munksgaard, Kaupmannahöfn og Reykjavík.
14. Karfaveiðar á nýjum miðum á miklu dýpi langt vestur af Eldeyjardrang: ... Kóralar og kynlegur botngróður kemur í vörpuna. 1953, 11.4. Alþýðublaðið (34. árg., 81. tbl.). 8.
15. Djúpmælingar. 1954. Sjómannaþingið Víkingur 16(4). 67.
16. Grönningsæter, Arne. 1971. Nútímataekni við línuveiðar. Þýð. Ásgeir Jakobsson. Ægir 64(13). 173, 176–177.
17. Guðni Þorsteinsson. 1980. Humarvörpur. Ægir 73(4). 197–198.
18. Sigurjón Óskarsson skipstjóri á Þórunni Sveinsdóttur VE-401: Kóral og karfablandaður afli. (Blaðhluti: Aflakóngur vikunnar). 1989, 5.4. Alþýðublaðið (70. árg. 50. tbl.). 5.
19. Djúpfiskarannsóknir. 1985, 22.3. Fiskifréttir 3(11). 6.
20. Steinunn Hilma Ólafsdóttir, Burgos, J.M., Stefán Áki Rag anarsson & Hjalti Karlsson. 2020. Kóralsvæði við Ísland: Rannsóknir 2009–2012, lýsing – útbreiðsla – verndun. Hafrannsóknastofnun (HV 2020-31), Reykjavík. 84 bls.
21. Steinunn Hilma Ólafsdóttir, Stefán Áki Ragnarsson, Burgos, J.M., Einar Hjörleifsson, Klara Björg Jakobsdóttir & Guðmundur Þórðarson. 2021. Vernd viðkvæmra botnvistkerfa: Samantekt upplýsinga og mat á fimm þáttum er varða viðkvæm botnvistkerfi fyrir atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytið. Hafrannsóknastofnun (HV 2021-50), Reykjavík. 62 bls.
22. Bjarni Sæmundsson. 1932. Austur á „Hvalsbak“ á Skallagrími. Lesbók Morgunblaðsins 3., 10., 17. og 24.4. (7. árg., 13.–16. tbl.). 95–97, 102–104, 111–113, 120–122. (Tilv. bls. 102, 104.)
23. Jörundur Svavarsson & Pálmi Dungall. 2008. Leynardardómur sjávarins við Ísland. Glóð, Reykjavík.
24. Aðalsteinn Sigurðsson. 1999. Botndýr við Surtsey. Náttúrufræðingurinn 68(3–4). 201–207.
25. Guðmundur Guðmundsson, Jón Gunnar Ottósson & Guðmundur Víðir Helgason. 2014. Botndýr á Íslandsmiðum (BIOICE). Náttúrufræðistofnun Íslands (NÍ-14004), Garðabæ. 30 bls.
26. Steinunn Hilma Ólafsdóttir & Guðmundur Guðmundsson. 2019. Vöktun botndýra á djúpslóð umhverfis Ísland. Hafrannsóknastofnun (HV 2019-41), Reykjavík. 28 bls.
27. Sigmar A. Steingrímsson & Sólmundur T. Einarsson. 2004. Kóralsvæði á Íslandsmiðum: Mat á ástandi og tillaga um aðgerðir til verndar þeim. Hafrannsóknastofnun (Fjölrit nr. 110), Reykjavík. 39 bls.
28. Bjarni Sæmundsson. 1924, 2.9. Til Náttúrugripasafnsins ... Visir (14. árg., 205. tbl.). [3].
29. Nielsen, J.G. & Cohen, D.M. 1973. A review of the viviparous ophidioid fishes of the genera Bythites Reinhardt and Abythites new (Pisces, Ophidiidae). Steenstrupia 3(8). 71–88.
30. Gunnar Jónsson. 1967. Tvær nýjar fisktegundir við Ísland. Ægir 60(18). 330–331.
31. Gunnar Jónsson. 1969. Nokkrar nýjar fisktegundir við Ísland. Náttúrufræðingurinn 38(3–4). 147–165.
32. Bjarni Sæmundsson. 1931. Fiskirannsóknir 1929–1930. Skýrsla til stjórnarráðsins. Andvari 56. 48–110. (Tilv. bls. 86).
33. Benedikt Gröndal. 1878. Dýrafraði. Ísafoldarpentsmiðja, Reykjavík. (Tilv. bls. 140).
34. Dýralíf í djúpsævi. 1915, 25.3. Lögberg (28. árg., 13. tbl.). 2.
35. Davíð Óðinnsson, Steinunn Hilma Ólafsdóttir & Burgos, J.M. 2019. Characterization of the geomorphology and biotopes of the Háfadjúp canyon system, south Iceland. Bls. 721–733 í: GeoHab Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats (ritstj. Harris P. & Baker, E.), Elsevier. 721–733. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00045-2>
36. Klitgaard, A.B. & Tendal, O.S. 2004. Distribution and species composition of mass occurrences of large-sized sponges in the northeast Atlantic. Progress in Oceanography 61(1). 57–98. doi. [org/10.1016/j.pocean.2004.06.002](https://doi.org/10.1016/j.pocean.2004.06.002)
37. Bjarni Sæmundsson. 1903, 3.10. Ferð með fiskirannsóknaskipinu „Thor“. Ísafold (30. árg., 62. tbl.). 245–246.
38. Bjarni Sæmundsson. 1925, 6., 13., 20., og 27.6; 4. og 11.7. 11 dagar á „Skallagrími“. Vörður (3. árg., 24.–29. tbl.). 2–3; 2–3; 1–2; 2–3; 1–2; 3–4.
39. Sigfús A. Schopka. 2007. Friðun svæða og skyndilokanir á Íslandsmiðum – Sögulegt yfirlit. Hafrannsóknastofnun (Fjölrit nr. 133), Reykjavík. 86 bls.

UM HÖFUNDINN



Steinunn Hilma Ólafsdóttir (f. 1974) lauk BSc-prófi í líffræði við Háskóla Íslands 1998. Árið 2002 lauk hún Cand.Agro. námi við Konunglega dýralækna- og landbúnaðarháskólann í Fredriksberg, Danmörku, undir leiðsögn Kurt Buckmann prófessors í snykjudyrafræðum. Viðfangsefnið var samspil milli ytri snykjudyra (*Gyrodactylus derjavini*) og laxa. Frá 2006 hefur Steinunn unnið hjá Hafrannsóknastofnun við rannsóknir á botndýrum og kortlagningu búsvæða sem fer fram með neðansjávarmyndavélum. Áhersla hefur verið lögð á að kortleggja og meta verndargildi viðkvæmra vistkerfa.

steinunn.hilma.olafsdottir@hafogvatn.is

Norræna eldfjallastöðin 1974–2024 — *Eftirmæli*

Norræna eldfjallastöðin eða NordVulk, seinna Norræna eldfjallasetrið á Íslandi, varð 50 ára árið 2024. Á þessum tímamótum hættir NordVulk því miður starfsemi í núverandi mynd og lýkur þá árangursríku skeiði norrænna eldfjallarannsókna á Íslandi. Hér verður stuttlega rakin saga stöðvarinnar og rifjaðar upp nokkrar frásagnir af lífinu á eldfjallastöðinni.



1. mynd. Fyrsti bíll Eldfjallastöðvarinnar var langur Land Rover III 109. Myndin er tekin í Kverkfjöllum árið 1975. Ljós.: Halldór Ólafsson



2. mynd. Eldfjallastöðin fékk draumaverkefni þegar Kröflueldar hófust í desember 1975. Myndin sýnir gos í Kröflu 19. október 1980. Ljósma.: Halldór Ólafsson

Upphaf Norrænu eldfjallastöðvarinnar má rekja til þess að fimm virtir norrænir jarðfræðiprófessorar, Gunnar Hoppe og Franz Eric Wickman í Svíþjóð, Tom Barth í Noregi, Arne Noe-Nygaard í Danmörku og Sigurður Þórarinnsson á Íslandi, lögðu til að komið yrði á fót norrænni stofnun um eldfjallafræði.

Norræna eldfjallastöðin (d. Nordisk Vulkanologisk Institut) var stofnuð árið 1974 með stuðningi Norrænu ráðherra-nefndarinnar. Guðmundur Sigvaldason, sem þá var í Ník-aragva, var ráðinn forstöðumaður og hófst handa við að ráða annað starfsfólk. Fyrsta sumarið var Páll Imsland fenginn til starfa, meðal annars til þess að safna bergsýnum fyrir ýtarlega rannsókn á bergfræði íslensks gosbergs, sérstaklega basalts. Tilgangurinn var að bera það saman við sýni sem safnað var í bandaríska djúpsjávarborverkefninu sem þá stóð yfir (DSDP, 1968–1983). Á Íslandi var hægt að kanna jarðfræðilega umgjörð sýnanna og ætlunin var að beita þeirri þekkingu til að auðvelda túlkun gagna frá hafsbótunum.

Guðmundur Sigvaldason kom svo til landsins um haustið 1974 og í lok árs var Niels Óskarsson ráðinn til starfa. Fyrsta verk Guðmundar var að fjárfesta í löngum Land Rover (Series III 109, Station) fyrir vettvangsvinnu og síðan hóf hann uppbyggingu rannsóknarstofu. Halldór Ólafsson var ráðinn sem tæknimaður í byrjun árs 1975. Hann hafði verið aðstoðar-maður Sigurðar Þórarinnssonar í rannsóknarferðum hans frá því á sjötta áratugnum. Sama ár var Karl Grönvold ráðinn frá Orkustofnun.

Guðmundur Sigvaldason hafði metnað til að byggja upp rannsóknarstofnun í eldfjallafræði í heimsklassa, og norræn fjármögnun gerði það mögulegt. Þegar umbrotahrina hófst við Kröflu í árslok 1975 gafst tækifæri til að fylgjast með gliðnunar-hrinu í rauntíma, sem var einstakur viðburður á heimsvísu. Árið 1976 var Eysteinn Tryggvason jarðeðlisfræðingur ráðinn til

stöðvarinnar. Sérsvið hans voru jarðskorpuhreyfingar, og fékk hann draumaverkefni með Kröflueldum.

Eldfjallastöðin stundaði fyrsta flokks rannsóknir í eldfjallafræði í 50 ár. Rannsökuð var aflögun jarðskorpunnar á Íslandi, bergfræði, steindafræði og jarðefnafræði gosbergs-ins, gjóskulagafræði, samspil eldfjalla og jökla og fjölmargt annað. Á síðustu árum hefur NordVulk leikið lykilhlutverk við vöktun eldgosa og rannsóknir á þeim, í Eyjafjallajökli 2010, í Holuhrauni 2014–2015 og í Geldingadöllum 2021 og 2022. Afrakstur þeirra rannsókna hefur meðal annars birst í tímaritinu Nature.

Eldfjallastöðin hefur einnig gegnt mikilvægu hlutverki í tengslum við almannavarnir, meðal annars vegna þess að dreifing gjósku í andrúmslofti hefur áhrif á flugsamgöngur og jökulhlaup geta ógnað fólki og innviðum.

DRAUMABYRJUN

Norræna eldfjallastöðin fékk sannarlega draumabyrjun með Kröflueldum, sem hófust í desember 1975 og lauk í september 1984. Í upphafi gistu þeir sem rannsökuðu eldana á hótelinu í Reykjavíki, en Guðmundur Sigvaldason sá fljótt að eldarnir gætu orðið langvinnir og hótélreikningurinn gríðarhár. Innan skamms keypti stofnunin því lítið hús við Múlaveg í Reykjavíki af Orkustofnun, eiginlega vinnuskúr. Þar var allt sem þurfti fyrir vettvangsvinnu, þótt plássið væri lítið. Þegar fram liðu stundir þótti húsið þó of lítið, en auk þess voru víðirnar orðnir fúnir. Árið 1995 voru því fest kaup á húsi á Helluhrauni 1. Þetta hús hefur síðan verið athvarf jarðvísindamanna frá Eldfjallastöðinni og Háskóla Íslands við rannsóknir á Norð-austurlandi. Í upphafi Kröfluelda voru snjósleðar leigðir á Húsavík til vettvangsvinnu að vetri til. Það kom þó fljótt í ljós að betra og ódýrara væri að fjárfesta í eigin snjósleðum.



3. mynd. Guðmundur Sigvaldason skráir athuganir í dagbók í rannsóknarleiðangri til Öskju í júní 1975. Ljósma.: Halldór Ólafsson

MERKAR RANNSÓKNIR

Kröflueldar sköpuðu eitt fyrsta tækifæri jarðvísindamanna til að fylgjast í rauntíma með gliðunarhrinu sem stóð yfir í um áratug. Öllum hugsanlegum jarðfræði- og jarðeðlisfræðirannsóknnum var beitt. Sérlega merkar þóttu rannsóknir á aflögun jarðskorpunnar (Eysteinn Tryggvason, Halldór Ólafsson og Sigurjón Sindrasón) og rannsóknir á jarðfræði og jarðefnafræði (Guðmundur Sigvaldason, Karl Grönvold og Níels Óskarsson). Jarðskjálftarannsóknir voru í höndum Páls Einarssonar og Bryndísar Brandsdóttur við Raunvísindastofnun Háskólans.

Samstarfið var náið, bæði faglega og félagslega. Rannsóknir á jarðskorpuhreyfingum og jarðskjálftum leiddu til þess að hægt var að greina þegar kvika fór að streyma úr kvikuhólfinu til yfirborðs eða meira lárétt eftir sprungusveimnum. Í ljós kom að undir Kröflu var bæði grunnt kvikuhólf á fárra kílómetra dýpi og svo annað kvikuhólf mun dýpra. Það var einnig í Kröflueldum sem Ævar Jóhannesson (Raunvísindastofnun Háskólans) fann upp rafræna hallamæla, sem Sigurjón Sindrasón (NordVulk) þróaði síðan frekar og Halldór Ólafsson (NordVulk) smíðaði. Jarðefnafræðilegar rannsóknir sýndu að hrauninum mátti skipta í tvo flokka, annars vegar frekar þróuð hraun sem áttu uppruna sinn í grunna hólfinu og hins vegar frumstæðari hraun með dýpri uppruna. Í sumum gosanna kom eingöngu önnur gerðin upp en í öðrum báðar gerðir.

VETTVANGSSTÖÐIN Í DYNGJUFJÖLLUM

Guðmundur Sigvaldason hafði sterk tengsl við eldfjallið Öskju í Dyngjufjöllum. Hann varð vitni að fyrstu gufusprengingunni í aðdraganda síðasta goss í Öskju árið 1961. Hann var einnig með Sigurði Þórarinssyni í Öskju 1967 og aðstoðaði við þjálfun geimfara í jarðfræði fyrir ferðina til tunglsins. Eysteinn Tryggvason vann líka mikið í Öskju. Árið 1966 kom hann upp mælilínu fyrir nákvæmar hallamælingar til þess að fylgjast með jarðskorpuhreyfingum sem orsakast af kvikuhreyfingum. Þegar menn töldu að Kröflueldum væri lokið árið 1983 beindist áhuginn aftur að Öskju. Eysteinn endurtók mælingar sínar 1983 eftir 10 ára hlé. Þessi 1,2 km langa mælilína hefur síðan verið mæld á hverju ári til dagsins í dag.

Til þess bæta aðstöðu við störfina fékk Guðmundur vinnuskrúr frá Vegagerðinni sem komið var fyrir á lítt áberandi stað nálægt Öskju. Húsið fékk nafnið Dyngja og stendur við gamla veginn inn í Öskju, sem eyðilagðist í gosinu 1961. Nýi vegurinn liggur norðar og er húsið því lítt áberandi, jafnvel svo að fólk sem veit af húsinu á erfitt með að finna það. Vísindamenn og styrkþegar Norrænu eldfjallastöðvarinnar, og ýmsir aðrir vísindamenn, hafa notið þessarar frábæru vettvangsstöðvar.



4. mynd. Fyrsta vettvangsstöð Eldfjallastöðvarinnar á Múlavegi 6 í útjaðri Reykjahlíðar. Myndin er tekin 1991. Ljós.: Kenneth Fjäder



5. mynd. Húsið sem Eldfjallastöðin festi kaup á 1995 á Helluhrauni 1 miðsvæðis í Reykjahlíð. Myndin er tekin 1999. Ljós.: Erik Sturkell

NORRÆNA ELDFJALLASTÖÐIN

Hugmyndin var að byggja upp á Íslandi rannsóknarstofnun sem gæfi norrænum jarðfræðingum möguleika á að vinna að rannsóknum á ungum og virkum eldfjöllum. Fyrir norræna jarðfræðinga frá meginlandi Evrópu er jarðfræði Íslands nýr heimur og gjörólíkur því sem þeir eiga að venjast. Auk þess að fá tækifæri til að vinna með ungt gosberg var mikilvægt að auðvelda jarðfræðingum að mynda tengslanet milli landa. Stuttnefnið *NordVulk* um stöðina varð til hjá Erik Sturkell og Risto Kumpulainen árið 1991 og hefur með tímanum fest sig í sessi.

STYRKÞEGARNIR

Hluti af kjarnastarfsemi eldfjallastöðvarinnar hefur ávallt verið styrkþegaverkefnið. Á hverju ári voru auglýstar um það bil fimm styrkþegastöður fyrir jarðfræðinga, doktorsnema og nýdoktora, sem fengu tækifæri til að vinna rannsóknarverkefni á Íslandi. Styrkurinn fól í sér ráðningu í eitt ár hjá eldfjallastöðinni og hægt var að sækja um framlengingu í allt að þrjú ár. Styrkárið var frá júní til maí. Nýir styrkþegar komu því til landsins í byrjun júní, á meðan bjart er allan sólarhringinn, og fóru beint í kynnisferð og síðan í vettvangsvinnu.

Styrkárinu má almennt skipta í þrjú tímabil. Fyrst er áhugasami fasinn, síðan þungbæri hlutinn og að lokum birtir til aftur. Áhugasami fasinn stendur yfir meðan allt er nýtt

og spennandi, það er sumar með vettvangsvinnu fyrir nýtt verkefni. Síðan kemur haustið og hinn grái hversdagsleiki. Þá getur depurðin tekið yfir. Verkefnið er ekki lengur nýtt og spennandi og það gengur kannski hægt á sama tíma og myrkrið fellur yfir. Styrkþeginn gerir sér grein fyrir því að hann er staddur á afskekktu eyju í Norður-Atlantshafi sem haustlægdin heimsækja í röðum. Það birtir aðeins til þegar jólin koma með öllum skreytingunum og ljósunum, en eftir þrettándann ríkir myrkrið á ný.

Eftir jólin fara verkefnin að taka á sig mynd, hlutirnir smella saman og í febrúar koma þorablótin. Þá fer að birta til og yfirleitt reddast þetta allt saman. Yfir árið er samvera með hinum norrænu styrkþegunum sem eru í sama báti mikilvæg og maður byggir upp fagleg og félagsleg tengsl sem endast alla ævi. Einn starfsmanna stofnunarinnar, Níels Óskarsson, sagði oft glæðlega að fólk að utan, sem ekki væri vant myrkurinu, berðist í gegnum veturinn og vorið með þá vitneskju að þegar birtan kemur aftur yrði allt gott á ný.

SAMNORRÆNA HUGMYNDIN VIRKAR – ENDURFUNDIR

Frá 1991 til 1993 var ég sjálfur (Erik Sturkell) styrkþegi við Norrænu eldfjallastöðina ásamt öðrum norrænum styrkþegum. Þetta var bæði skemmtilegur og lærdómsfullur tími og maður eignaðist vini til frambúðar.



6. mynd. Norrænir styrkþegar nýmættir til landsins í kynnisferð snemma sumars árið 1991. Erik Sturkell frá Svíþjóð, Kenneth Fjäder frá Finnlandi og Henrik Schiellerup frá Danmörku. Myndina tók íslenski styrkþeginn Kristján Jónasson við Geysi.

Einum 25 árum síðar átti Trond Forslund frá Noregi frumkvæði að því að styrkþegar á Eldfjallastöðinni 1991–1992 hittust aftur á Íslandi. Honum tókst að smala öllum saman ásamt mökum og börnum: Kristjáni Jónassyni (Íslandi), Henrik Schiellerup (Danmörku), Kenneth Fjäder (Finnlandi) og Erik Sturkell (Svíþjóð). Meira að segja Thor Hansteen (Noregi) kom, sem var á stöðinni sumarið 1991. Við hittumst á veitingastað um kvöldið og daginn eftir fórum við í skoðunarferð um Reykjanesskaga.

Allir vinna enn við jarðfræði, annaðhvort í opinbera geiranum eða í einkageiranum. Engin enska var töluð því það gekk vel að tala okkar eigin mál, Kristján á dönsku og Kenneth á finnlandssænsku. Þetta þótti mér vera fullkomlega í norrænum anda – allir að tala saman á skandinavísku og halda sambandi eftir fjórðung aldar. Mér þóttu þessar góðu norrænu fréttir eiga erindi til Norræna ráðherraráðsins. Skrifaði bréf um góðan árangur norrænnar samvinnu og fékk svar frá aðalritara ráðherraráðsins, Dagfinni Høybråten.

NORRÆNA JARÐFRÆÐIFERÐIN TIL ÍSLANDS

Norðurlandaráð stóð fyrir árlegum jarðfræðiferðum til Íslands til þess að efla jarðfræðipækkingu og norrænt samstarf. Áhersla í ferðunum var til skiptis lögð á ísaldarjarðfræði og eldfjallafræði. Ferðirnar hófust á sjöunda áratugnum og héldu áfram til ársins 1993. Þá breytti Norðurlandaráð um stefnu og gekkst í stað ferðanna fyrir sumarskóla sem Eld-

fjallastöðin skipulagði aðallega. Sigurður Þórarinnsson leiddi eldfjallafræðiferðirnar framan af. Eftir að hann féll frá árið 1983 tók Guðmundur Sigvaldason frá Eldfjallastöðinni við þar til ferðunum var hætt árið 1993, en Ágúst Guðmundsson sá þó um síðustu ferðina.

PRAUTAGANGA

Ágúst hafði mikinn áhuga á misgengjum og berggöngum, og á sprungum og spennusviði þeirra. Undir hans leiðsögn tóku þessi atriði meira rúm en áður í dagskrá ferðarinnar. Einn af uppáhaldsstöðum hans var á Kröflusvæðinu um 12 kílómetrum norður af bílastæðinu við Víti. Vegslóði liggur þangað en hann var ófær bílum því enn var snjór í brekkum og þurfti því að ganga. Gengið var frá Leirhnjúki og yfir hraunin, sem var nokkuð styttra en erfiðara yfirferðar en slóðinn.

Þátttakendur stigu út úr rútunni. Flestir héldu að þetta væri stutt stopp og tóku hvorki með sér mat né drykk. Loks var komið að hinum merka stað þar sem hraun hafði runnið ofan í sprungur og þannig myndað bergganga ofan frá. Sérlega merkilegur staður, en því miður var allt á kafi í snjó. Þá var ekkert annað að gera en að ganga aftur að rútunni. Einhver mat það á korti að leiðin fram og til baka hefði verið rúmir 30 kílómetrar. Á bakaleiðinni var vegslóðanum þó fylgt, sem var aðeins lengra en fljótlegra og auðveldara. Þessar ferðir sköpuðu sannarlega varanlegar minningar og norrænt tengslanet sem margir þátttakenda rækta enn!

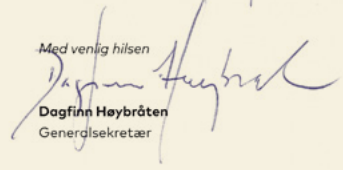
Beste Erik Sturkell,

Takki for din "rapport" om gæstfrihed nordiske
samarbejde og verdien av de nettskaper vi skaper
i vårt nordiske samarbeide. Den verdien kan ofte
undervurderes. Godt er!

Ved Stranden 18
DK-1061 København K
Telefon +45 33 96 02 00

www.norden.org

Med venlig hilsen


Dagfinn Høybråten
Generalsekretær

7. mynd. Svarbréf frá Dagfinn Høybråten, aðalritara Norrænu ráðherranefndarinnar, við erindi Eriks Sturkells um að norræna hugsunin virki: „Takk fyrir „skýrslu“ þína um hagnýta norræna samvinnu og gildi þeirra tengslaneta sem við sköpum í norrænu samstarfi. Gildi þessa er oft vanmetið. Gleðilegt ár!“

STUTT SAGA – EÐA: ÞAÐ ER EITTHVAÐ ROTIÐ Í BÍLNUM

Í janúar 1979 fóru Karl Grönvold og Halldór Ólafsson í leiðangur á stofnunarbílnum, splunkunýjum Toyota Landcruiser og höfðu snjósleða meðferðis. Þeir voru á leið í vettvangsvinnu norður af Mýrdalsjökli að setja upp net punkta fyrir fjarlægðarmælingar. Veður var mjög slæmt og svo mikið rok að Kalli fauk af snjósleða í ferðinni.

Báðum þótti hákarl góður og voru með svolitla dollu milli framsætanna. Þeir óku, átu og höfðu það gott í bílnum. Það kom þó upp ákveðinn vandi þegar þeir týndu einum bitanum milli sætanna og gátu ekki með nokkru móti fundið hann aftur. Lyktin af hákarli festist í bílnum og engin leið fannst til að losna við hinn sérstaka ilm, ekki einu sinni með Wunder-Baum. Forstöðumaðurinn, Guðmundur Sigvaldason, var ekki ánægður þar sem billinn þótti nú ónothæfur, nema kannski fyrir helstu hákarlsunnendur. Þetta endaði með því að hákarlsát var stranglega bannað í bílum stofnunarinnar.

LOKAORÐ

Ekki er öll saga NordVulk dans á rósum. Meðal annars leiddi ágreiningur til þess að fræðimaður þurfti frá að hverfa. Þá kastaðist einnig í kekki milli fyrsta forstöðumanns stofnunarinnar og stjórnar hennar, sem leiddi til starfsloka hans. Sumir styrkþegar hafa líka lent í erfiðleikum af ýmsum ástæðum, svo sem af því að rannsóknarverkefnið gekk ekki nógu vel, þeir

urðu einmana eða undu sér ekki í íslenska vetrarmyrkrinu. Fyrir velflesta hefur dvölin þó verið jákvæð upplifun og sumir styrkþegar hafa jafnvel dvalist áfram á Íslandi þegar styrkurinn rann út.

Eldfjallastöðin lagði alltaf áherslu á að útvega góð mælitæki, svo sem örgreini, massageini, skjálftamæla og landmælingatæki. Þar til í upphafi tíunda áratugarins gat stöðin líka keypt bíla til vettvangsvinnu skattfrjálst þannig að ávallt voru bestu farartæki til reiðu. Norræna ráðherranefndin lagði fram fjármagn og fékk í staðinn rannsóknarstofnun í heimsklassa.

Sögu Norrænu eldfjallastöðvarinnar lauk formlega árið 2004. Þá breyttist hún í Norræna eldfjallasetrið (d. Nordisk Vulkanologisk Center) við Háskóla Íslands. Þar var styrkþegaverkefninu haldið áfram. Við síðustu úthlutun styrkja árið 2021 reyndist enginn styrkþeganna vera frá Norðurlöndum og þegar styrktímabilinu lýkur árið 2024 er ævin-týrið úti. Þetta urðu í allt 50 ár af norrænu samstarfi í eldfjallafræði og á þeim tíma komu um 130 styrkþegar á Eldfjallastöðina og -setrið. Við þökkum Norrænu ráðherranefndinni kærlega fyrir.

Sams konar minningarorð um Norrænu eldfjallastöðina hafa nú verið birt í fagtímaritum í hinum norrænu ríkjunum:

Erik Sturkell. 2024. NordVulk 1974–2024. Geologiskt Forum 121. 14–19. Á sænsku.

Anders Schomacker og Erik Sturkell. 2024. NordVulk 1974–2024. Geonytt 29(1). 5–8. Á norsku.

Anders Schomacker, Erik Sturkell og Jakob Kløve Keiding. 2024. NordVulk 1974–2024. Geologisk Tidsskrift 29. 26–29. Á dönsku.

Heidi Soosalu og Erik Sturkell. 2024. Pohjoismaisen vulkanologisen instituutin joutsenlaulu. Geologi 76. 26–33. Á finnsku.



8. mynd. Berggangur sem myndaðist þegar hraun rann ofan í gliðnunarsprungu í Gjástykki árið 1984. Myndin er tekin árið 1991. Horft er til norðurs í átt að Hrítafjöllum. Kenneth Fjäder stendur við sprunguna. Ljós.: Erik Sturkell

UM HÖFUNDA



Carl Erik Olof Sturkell (f. 1962) lauk M.Sc. prófi í jarðfræði árið 1991, Licentiat-prófi í jarðeðlisfræði árið 1994 og doktorsprófi í jarðfræði árið 1998 frá Háskólanum í Stokkhólmi, Svíþjóð. Hann var styrkþegi á Norrænu eldfjallastöðinni árin 1991–1993 og 1998–2000. Erik starfaði á jarðeðlisfræðisviði Veðurstofu Íslands frá 2000 til 2004, var vísindamaður á Norrænu eldfjallastöðinni á árunum 2005–2008 og við Háskóla Íslands árið 2008. Þá var hann gestaprófessor við Tækniháskólann í Tallinn, Eistlandi, árin 2007–2008. Erik hefur verið prófessor í jarðeðlisfræði við Háskólann í Gautaborg, Svíþjóð, frá 2009.

Erik Sturkell, Prófessor
Göteborgs universitet | erik.sturkell@gvc.gu.se



Kristján Jónasson (f. 1964) lauk cand. scient. prófi í jarðfræði frá Kaupmannahafnarháskóla, Danmörku, 1990. Hann var styrkþegi á Norrænu eldfjallastöðinni á árunum 1991–1997, fyrstu þrjú árin sem norrænn styrkþegi og síðar með styrk úr Evrópuverkefni. Kristján hefur starfað við Náttúrufræðistofnun Íslands (nú Náttúrufræðistofnun) frá árinu 1997 við rannsóknir á berg- og steindafræði Íslands og umsjón með steinasafni stofnunarinnar. Auk þess kenndi hann steindafræði við Háskóla Íslands á árunum 1998–2007.

Kristján Jónasson, jarðfræðingur
Náttúrufræðistofnun Íslands | kristjan.jonasson@natt.is



Anders Schomacker (f. 1978) lauk B.Sc. og M.Sc. prófi í náttúrufræðum frá Kaupmannahafnarháskóla, Danmörku, 2001 og 2003 og doktorsprófi í jökla- og ísaldarjarðfræði frá Háskólanum í Lundi, Svíþjóð, árið 2007. Hann starfaði á árunum 2007–2010 sem styrkþegi á Norrænu eldfjallastöðinni og nýdóktor við Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands. Anders er nú prófessor í ísaldarjarðfræði í Háskólanum í Tromsø, Noregi, og á Háskólasetrinu á Svalbarða (UNIS).

Anders Schomacker, Prófessor
UiT – Norges arktiske universitet
anders.schomacker@uit.no

Hið íslenska
náttúrufræðifélag
Stofnað 1889

The Icelandic
Natural History
Society

Suðurlandsbraut 24, 108 Reykjavík, Iceland — www.hin.is / hin@hin.is

STJÓRN FÉLAGSINS 2023–2024 / BOARD MEMBERS 2023–2024

stjorn@hin.is

Sölvi Rúnar Vignisson
formaður@hin.is

Formaður / Chairman
Þekkingarsetur Suðurnesja / The Sudurnes Science and Learning Center

Sveinn Kári Valdimarsson

Varaformaður / Vice-chairman
Matvælaráðuneyti / Ministry of Food, Agriculture and Fisheries

Bryndís Guðrún Róbertsdóttir
gjaldkeri@hin.is

Gjaldkeri / Treasurer
Minjastofnun Íslands / The Cultural Heritage Agency of Iceland

María Helga Guðmundsdóttir
ritari@hin.is

Ritari / Secretary
*Háskóli Íslands og Náttúrufræðistofnun Íslands
/ University of Iceland and Icelandic Institute of Natural History*

Anna Heiða Ólafsdóttir
felagsvordur@hin.is

Félagsvörður / Board member
Hafrannsóknastofnun / Marine and Freshwater Research Institute

Einar Pétur Jónsson
kynning@hin.is

Fræðslustjóri / Board member
Hafrannsóknastofnun / Marine and Freshwater Research Institute

Benedikt Traustason
vefstjori@hin.is

Vefstjóri / Webmaster
Náttúruminjasafn Íslands / Icelandic Museum of Natural History

Tilgangur félagsins er að efla íslensk náttúruvísindi, glæða áhuga og auka þekkingu manna á öllu er snertir náttúrufræði. Innganga í félagið er öllum heimil.

Einstaklingsárgjald er 6.700 kr. Í því er fólgin áskrift að Náttúrufræðingnum. Hjónaárgjald er 7.500 kr. og nemendagjald 4.600 kr. Annual dues, which include the subscription of the society's journal, are 5.800 ISK.

Yfir vetrarmánuðina stendur félagið fyrir fræðslu- og umræðufundum og verða þeir og aðrir viðburðir, svo sem stuttar gönguferðir og annað sem tengist náttúrunni, auglýstir á heimasíðunni.

Náttúruminjasafn Íslands

Náttúruminjasafn Íslands er eign íslenska ríkisins, höfuðsafn á sviði náttúrufræða og heyrir undir mennta- og menningarmálaráðuneytið. Hlutverk Náttúruminjasafns Íslands eru skilgreind í Náttúruminjasafnslögum nr. 35/2007 og Safnalögum nr. 141/2011. Náttúruminjasafnið er fræðslu- og vísindastofnun, ætlað að gegna miðlægu hlutverki við miðlun þekkingar og upplýsinga um náttúrufræðileg efni og vera ráðgefandi gagnvart öðrum söfnum landsins sem sýsla með náttúr-una. Stofnunin byggir starfsemi sína á rannsóknum og gagnaöflun á eigin vegum og í samstarfi við aðra, og á miðlun þekkingar og upplýsinga með staf- og rafrænni útgáfu, ráðgjöf, fyrirlestrum og sýningahaldi.

Forstöðumaður Náttúruminjasafns Íslands er dr. Hilmar J. Malmquist.
hilmar.j.malmquist@nmsi.is

The Icelandic Museum of Natural History

The Icelandic Museum of Natural History is the property of the Icelandic state, a public institution appertaining to the Ministry of Education, Science and Culture. The primary roles of the museum are to shed light on Icelandic nature, natural history, use of natural resources and nature conservation, and thereby promote conservation of natural heritage in Iceland and sustainable use of nature. The museum implements its functions by exhibitons, publication and research.

Dr. Hilmar J. Malmquist is director of the Icelandic Museum of Natural History. hilmar.j.malmquist@nmsi.is

Suðurlandsbraut 24, 108 Reykjavík, Iceland — www.nmsi.is / nmsi@nmsi.is

ISSN 0028-0550



9 770028 055009