

*Borgþór Magnússon, Sigurður H. Magnússon, Pawel Wasowicz,
Járngerður Grétarsdóttir, Olga Kolbrún Vilmundardóttir
og Bjarni Diðrik Sigurðsson*

Surtsey 60 ára: Landnám plantna og framvinda



INNGANGUR

Vestmannaeyjar eru ungar eldfjallaeyjar sem hafa myndast við gos undir ísaldarjökli eða í sjó á síðustu 100 þúsund árum.¹ Yngst eyjanna er Surtsey (1. mynd) sem varð til í eldgosi sem hófst í nóvember 1963 og stóð fram í júní 1967. Það eru því sextíu ár frá því að saga eyjarinnar hófst og er þessi grein skrifuð í tilefni af því. Síðasta eldgos í Vestmannaeyjum fram til þessa varð hins vegar í Heimaey árið 1973. Þar er miðsvæði eldvirkni í Eyjum og hafa endurtekin gos allt frá ísöld byggð upp eyna. Úteyjarnar hafa myndast eftir ísöld í einu gosi hver líkt og Surtsey. Hrína gosa er talin hafa orðið í Vestmannaeyjum fyrir 5.000–6.000 árum. Í henni mynduðust Stórhöfði og Helgafell á Heimaey, og Bjarnarey og Elliðaey þar skammt norðaustur af.¹ Surtseyjargosið varpaði skýru ljósi á eðli neðan-

sjávargosanna sem mynduðu úteyjar Vestmannaeyja fyrir þúsundum ára og einnig smærri eyjar undan Reykjanesi.² Jafnframt hafa rannsóknir í Surtsey eftir að gosi lauk leitt í ljós hve rofgjarnar eyjarnar eru á fyrsta skeiði og hve mikilvæg móbergsmyndun er þeim til viðhalds þegar frá líður.^{3,4}

Lífriki Vestmannaeyja er ekki síður áhugavert en jarðfræði þeirra. Hafsvæðið umhverfis Eyjar er frjósamt, ríkt af sjávarlífi og fiskimið þar gjöful.^{5,6} Mergð sjófugla af mörgum tegundum verpur í eyjunum og hefur mikil áhrif. Langstærstur er stofn lunda (*Fraticula arcticus*).⁷ Æðplöntur eru hins vegar fremur fábreyttar í flóru eyjanna, um 170 tegundir, og finnast þær allar í Heimaey með fáeinum undantekningum.⁸ Varpsvæði sjófugla utan bjarga einkennist af gróskumiklu en fremur

tegundasnaudu graslendi. Gróður er hins vegar fjölbreyttari en gróskuminni þar sem áhrif af sjófugli eru lítil.^{9–11} Við myndun Surtseyjar skapaðist einstakt tækifæri til fylgjast með landnámi lífvera og framvindu samfélaga á nýrri ey í norðurhöfum, og þótt víðar væri leitað.^{12–14}

Á líkan hátt og Surtseyjargosið opnaði augu manna fyrir myndun og mótun Vestmannaeyja hefur Surtsey veitt sýn um hvernig lífverur námu land í eyjunum og vistkerfi mótaðist í fyrndinni. Í þessari grein fjöllum við um landnám æðplantna í Surtsey og um framvindu gróðurs og dýralífs. Hverjir voru fyrstu landnemar og hvers vegna? Hvað hefur einkennt landnám seinni ára? Hafa fuglar og jafnvel selir haft áhrif á landnám og framvindu? Hvernig horfir um framtíð Surtseyjar?

1. mynd. Surtsey úr suðri, móbergshæðir, gígar, hraunbreiður og sjávarhamrar. Þéttur gróður í varpi máfa og fýls á syðsta hluta eyjarinnar sker sig úr. - Aerial view of Surtsey from south, palagonite hills, craters, lava shields and sea cliffs. Green areas are affected by breeding seabirds. Ljós./Photo: Borgþór Magnússon, júlí 2020.





2. mynd. Surtsey og staðsetning gróðurreita. Worldview 2 gervitunglamynd frá 8. ágúst 2021 (úr myndgrunni Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community). – Location of permanent vegetation plots (dots and numbers) on Surtsey, Worldview 2 image from 8 August 2021 (Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community).

RANNSÓKNASVÆÐI

Legu og veðurfar

Surtsey liggur syðst og vestast Vestmannaeyja og er hún útvörður Íslands í suðri (1. mynd). Næst henni er Geirfuglasker í 5 km fjarlægð og þá Súlnasker öðrum 5 km fjær til landnordurs. Til Heimaeyjar eru 18 km og 32 km upp í Landeyjasand. Við goslok var Surtsey 2,7 km² að flatarmáli og mesta hæð yfir sjávarmáli 175 m. Hún var þar með langstærst úteyja Vestmannaeyja en næst henni gengur Elliðaey sem er 0,46 km². Aðrar úteyjar eru aðeins 0,01–0,32 km² að flatarmáli.⁹ Heimaey ber hins vegar höfuð og herðar yfir aðrar eyjar í klasanum. Hún var 13,6 km² að flatarmáli eftir eldgosið þar árið 1973.¹⁵

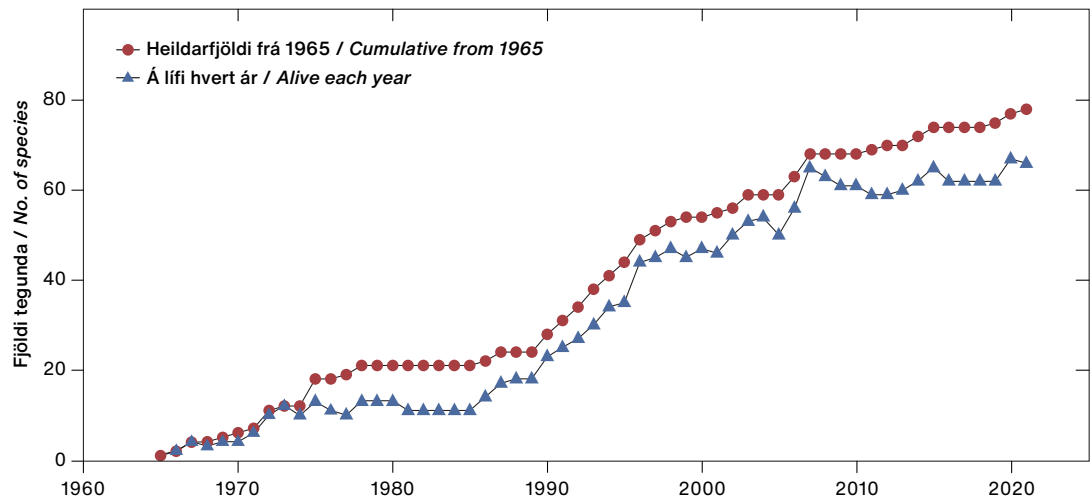
Mjög hefur gengið á Surtsey vegna sjávarrofs. Það var mest fyrstu árin en er enn mikið og stöðugt hin seinni ár.³ Samkvæmt síðustu mælingum, sumarið

2021, var flatarmál eyjarinnar 1,2 km². Mest hefur gengið á hraunskjöldinn á suðurhluta eyjarinnar en einnig á láglendistangann að norðan. Hann er gerður úr gosmálarseti og eru þar fjörkambar af lóbörðu hnullungagrjóti sem brimið hefur lagt af sér hlémegin eyjarinnar. Miðhluti Surtseyjar, hæsti hluti hennar, eru móbergsbunkarnir og gígarnir stóru, Surtur og Surtungur, sunnan undir bunkunum (1. mynd), en þar hefur minnst breyting orðið á eyinni.^{3,4}

Í Vestmannaeyjum er hafrænt loftslag. Þar er fremur úrkomusamt, milt og vindasamt. Sjálfvirk veðurstöð var sett upp í Surtsey árið 2009. Mælingar tímabilið 2009–2019 sýndu meðaláshitann 6,6°C og ársúrkomu 1.009 mm. Að meðaltali var tímabil frostleysis, frá vori til hausts, 199 dagar en regn mældist 229 daga.¹⁶

Rannsóknir og friðun

Það varð uppi fótur og fit þegar Surtseyjargosið hófst haustið 1963. Jarðfræðingar og fréttamenn flugu yfir gosstöðvarnar á fyrsta degi og á næstu dögum og vikum var siglt að þeim til að virða þetta undur betur fyrir sér. Ferðir vísindamanna til eyjarinnar áttu eftir að verða margar en fá eldgos og eldfjöll hér á landi hafa verið rannsökuð jafn ýtarlega. Menn gerðu sér fljótt grein fyrir mikilvægi hinnar nýju eyjar fyrir vísindin. Af mikilli framsýni var hún friðlýst árið 1965 og aðgangur að henni að mestu takmarkaður við þá sem þar vinna að rannsóknum og fræðslu.¹⁷ Þar skyldi náttúran hafa sinn gang án röskunar og inngripa mannsins. Sama ár var Surtseyjarfélagið stofnað af vísindamönnum og öðrum áhugamönnum um rannsóknir í Surtsey. Félagið starfar enn í dag og kemur að skipulagningu rannsókna í eyinni. Á þess vegum hafa þar



3. mynd. Landnám æðplantna í Surtsey 1965–2021, heild og fjöldi sem fundist hefur á lífi ár hvert. – Surtsey colonizing curve for vascular plants during 1965–2021.

veridi byggð rannsóknaskáli, þyrlupallur og veðurstöð. Enn fremur gefur það út vísindarit með niðurstöðum rannsókna sem þar fara fram (www.surtsey.is). Í tengslum við tilnefningu Surtseyjar á heimsminjaskrá UNESCO árið 2006 var friðlandið stækkað verulega og nær það frá þeim tíma yfir eldstöðina alla ofan og neðan sjávarmáls. Alls varð friðlandið 64 km² að flatarmáli við þessa breytingu.¹⁵ Árið 2008 var Surtsey síðan skráð á heimsminjaskrána.^{17–18}

Líffræðingar stigu fyrst á land í Surtsey vorið 1964 og leituðu merkja um hvort landnám plantna eða annarra lífvera væri hafið.^{19–20} Síðan hafa leiðangrar verið farnir til eyjarinnar á hverju ári til að fylgjast með landnámi og framvindu vistkerfis á landi, í fjörum og á grunnsævi. Ekki hefur þó verið um árlegar rannsóknir á öllum þessum sviðum að ræða, og hefur mislangt liðið

milli úttekta eftir þörfum og tiltækum mannafla. Ýtarlegast hefur verið fylgst með landnámi æðplantna í eyinni.

AÐFERÐIR

Rannsóknir á landnámi æðplantna

Í byrjun júní 1965 fannst smávaxin fjöruskálsplanta (*Cakile maritima*) á norðurströnd Surtseyjar og seinna í mánuðinum fleiri einstaklingar sömu tegundar. Fræi hafði augljóslega skolað á land og spírað í sandinum.²¹ Landnám æðplantna í eyinni hófst því áður en gosinu lauk. Í kjölfarið, sumrin 1966 og 1967, hélt landnám áfram og tegundum fjölgaði. Til að auðvelda skráningu og kortlagningu plantna var árið 1967 tekið upp fast reitakerfi í eyinni og tók það mið af hnitakerfi fyrir landið allt. Samkvæmt því var eyinni skipt niður í 1 ha (100 × 100 m) reiti.^{22–24} Þannig var framan af árum unnt að kortleggja með allgöðri nákvæmni fyrstu fundarstaði

landnema og afkomenda þeirra. Jafnframt voru einstaklingar merktir með því að reka niður tréhæla með númeri. Vitjað var um plönturnar með reglubundnu millibili, stærð þeirra mæld og skráð blómgun og fræmyndun.^{23,25} Merkingu plantna á þennan hátt var haldið áfram allt til ársins 1979 en var þá hætt vegna gífurlegrar fjölgunar plantna og þéttingar gróðurs í eyinni. Fundarstaðir nýrra tegunda voru þó áfram merktir og færðir inn á kort með svipuðum hætti allt þar til GPS-staðsetningartæki komu til sögunnar um 1995. Gögn um landnám og nákvæma staðsetningu plantna í Surtsey fyrir tímabilið 1965–1990 hafa nýlega verið tekin saman.²³ Jafnframt hafa niðurstöður rannsókna á landnámi og útbreiðslu æðplantna í eyinni yfir tímabilið 1965–2015 verið birtar.²⁴ Í báðum tilvikum er tekið mið af hinu upphaflega reitakerfi.

1. tafla. Gróðurreitir í Surtsey 2020, ár uppsetningar, undirlag og áætluð áhrif af sjófugli og útsel. – Permanent vegetation plots of Surtsey in operation in 2020, year of first sampling, substrate and relative nutrient impact from breeding seabirds and grey seals.

Reitur nr. Plot no.	Fyrsta mælingarár First sampling year	Undirlag Substrate	Áhrif sjófugls Seabird impact	Áhrif útsels Grey seal impact
1,3 4	1990	Sandorpið helluhraun Sandy sheet lava	Mikil High	
6–10	1994	Helluhraun Sheet lava	Mikil High	
22, 23	1995	Helluhraun Sheet lava	Nokkur Considerable	
11–14, 16, 18–21	1994, 1995	Sandorpið helluhraun Sandy sheet lava	Lítill Low	
15, 17	1994	Gosmöl í hlíðum Tephra slopes	Lítill Low	
30, 37	2005, 2014	Sandur við strönd Sand deposits	Nokkur Considerable	Nokkur Considerable
31–32	2008	Apalhaun Block lava	Nokkur Considerable	
33–36	2014	Móberg og gosmöl Palagonite and tephra	Lítill Low	

Mælingar í föstum reitum

Árið 1990 var byrjað að setja niður fasta gróðurmælireiti í Surtsey til að fylgjast með breytingum á tegundasamsetningu æðplantna og þéttleika gróðurs. Reitirnir eru 100 m² að flatarmáli (10 × 10 m) og hefur gróður þeirra verið tekinn út annað hvert ár. Reitirnir voru settir niður við mismunandi aðstæður í eygni, á berum hraunum, í sandorpnum hraunum, á vikrum, í fjörusandi og síðast uppi á móbergsbunkum. Tæpur helm-ingur reitanna var innan máfavarps sem var tekið að myndast á suðurhluta eyjarinnar en aðrir utan þess. Flestir reitanna voru settir upp á árunum 1990–1995 en nokkrum bætt við árin 2008 og 2014. Fáeinir reitir hafa tapast eða verið lagðir niður vegna sjógangs á norðurtanga eyjarinnar og endurskoðunar á verkefniinu. Árið 2021 voru virkir mælireitir 29 að tölu (2. mynd, 1. tafla). Með árunum var einnig tekið að safna smádyrum á yfirborði og jarðvegsdyrum í reitunum, gera þar mælingar á örverum, öndun og ljóstillífun plantna, kanna jarðvegsmyndun, lífmassa gróðurs og þéttleika hreiðra máfa og fýls í reitunum og við þá.^{26–33} Segja má að reitirnir hafi orðið lykilsvæði í framvindurannsóknum í eygni síðustu áratugi.

Gróður í reitum var frá upphafi mældur með því að leggja eftir þeim fimm 10 m löng snið, það fyrsta 1 m frá jafri og hin síðan með 2 m bili út eftir reitum. Á hverjum metra á sniðinu var lesið af málbandi og skráð hvort plöntu-tegundir fundust fast við það og hve mikið yfirborð þær þektu, mælt í cm. Auk þess voru skráðar viðbótartegundir sem fundust innan reita en utan sniða. Heildarþekja tegunda í reit var fundin með samlagningu en viðbótartegundum var gefin lægsta mögulega þekja, þ.e. 1 cm.

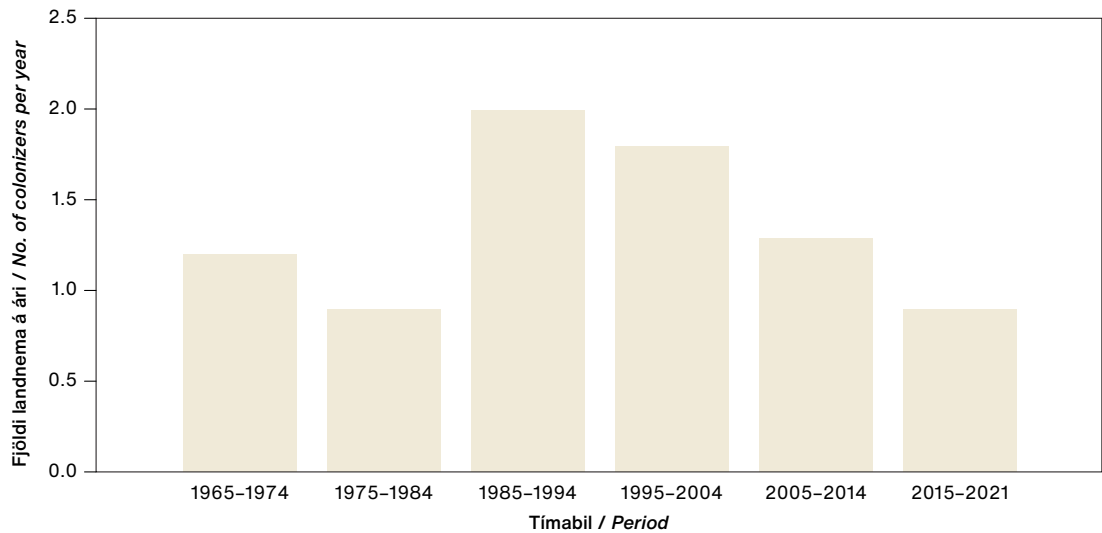
Árið 2020 voru þrjú til fjögur jarðvegsýni tekin með 1,5 cm breiðum bor í hverjum reit. Sýni voru tekin úr efstu 10 cm jarðvegs (þar sem jarðvegur náði því dýpi) við jafar hvers reits. Sýni úr hverjum reit voru sameinuð og þurrkuð við 40°C, sigtuð í gegnum 2 mm sigti og kúlumölud (Retsch MM301 Mixer Mill, Haan, Þýskalandi). Síðan var heildarmagn kolefnis (C) og fleiri efna í jarðveginum greint með þurrbruna í helíumgasi (NC2100 C/N analyser; Carlo Erba Instruments, Ítalíu) á efnagreiningarstofu Nýsköpunarmiðstöðvar.

Frá árinu 2003 voru hreiður máfa og fýla í gróðurreitum og við þá talin á hverju ári. Þetta var gert um miðjan júlí, á sama tíma og gróður var rannsakaður.

Leitað var að hreiðrum í hringlaga reit, 1.000 m² að flatarmáli, með miðpunkt í miðjum gróðurreit. Strengt var band frá miðpunkti að útjafri reits (17,84 m), maður hafður á hvorum enda og þrír til fjórir þar á milli. Síðan var genginn hringur og hreiðra leitað. Skráð voru hreiður sem báru þess merki að vera frá því fyrr um sumarið. Máfategundirnar voru svartbakur, sílamáfur og sílfur-máfur. Ungar þeirra höfðu að jafnaði yfirgefið hreiður þegar talning fór fram en hreiðurskálar mátti finna. Fýll verpir einnig uppi á eygni og hafa hreiður hans fundist í nokkrum reitum á síðustu árum. Fýlsungi var nýlega klakinn úr eggjum þegar talning fór fram og sat í hreiðrum.

Úrvinnsla

Niðurstöður þær sem hér eru birtar byggjast á mælingum á gróðri sem unnar voru sumarið 2020 í 29 föstum reitum. Við úrvinnslu á gróðurgögnum var beitt tvíátta klasagreiningu (e. two-way cluster analysis) í forritapakkanum PC-ORD.³⁴ Fimm tegundir sem aðeins fundust í einum reit hver voru felldar út og sátu þá eftir 22 tegundir í gagnasafninu. Fyrir greiningu var þekjugildum tegunda umbreytt með



4. mynd. Meðalfjöldi nýrra tegunda æðplantna (landnema) sem fundust á ári í Surtsey eftir tímabilum, árin 1965–2021. – Average number of new vascular plant species per year colonizing Surtsey during different periods from 1965 to 2021.

$\log_{10}+1$, en valdar voru sjálfgefna leiðir forrísins (Euclidean-fjarlægð og Ward-adferð).

Til að fá mynd af breytingum á útbreiðslu tegunda voru reiknuð hlutföll þeirra í reitum árin 2000 og 2020. Til að sýna dæmi um þróun í tegundasamsetningu og þekju æðplantna innan reita voru einnig valdir fjórir reitir utan og innan varpsvæða þar sem mælingar hafa staðið í um þrjá áratugi.

NIÐURSTÖÐUR

Landnám æðplantna

Strandplöntur námu fyrstar æðplantna land í Surtsey. Fjörukál fannst þar á ströndinni 1965 og í kjölfarið fylgdu melgresi (*Leymus arenarius*), fjöruarfi (*Honckenya peplodes*) og blálilja (*Mertensia maritima*) árin 1966 og 1967^a. Fyrstu einstaklingar þessara tegunda fundust einnig upp af sendinni strönd á norðurtanga eyjarinnar. Það leyndi sér ekki að fræ hafði borist sjóleiðina. Landnám þessara tegunda gekk þó ekki áfallalaust því mikil afföll urðu vegna sjógangs að vetri og öskufalls. En aftur skutu nýjar kímplöntur upp kollinum

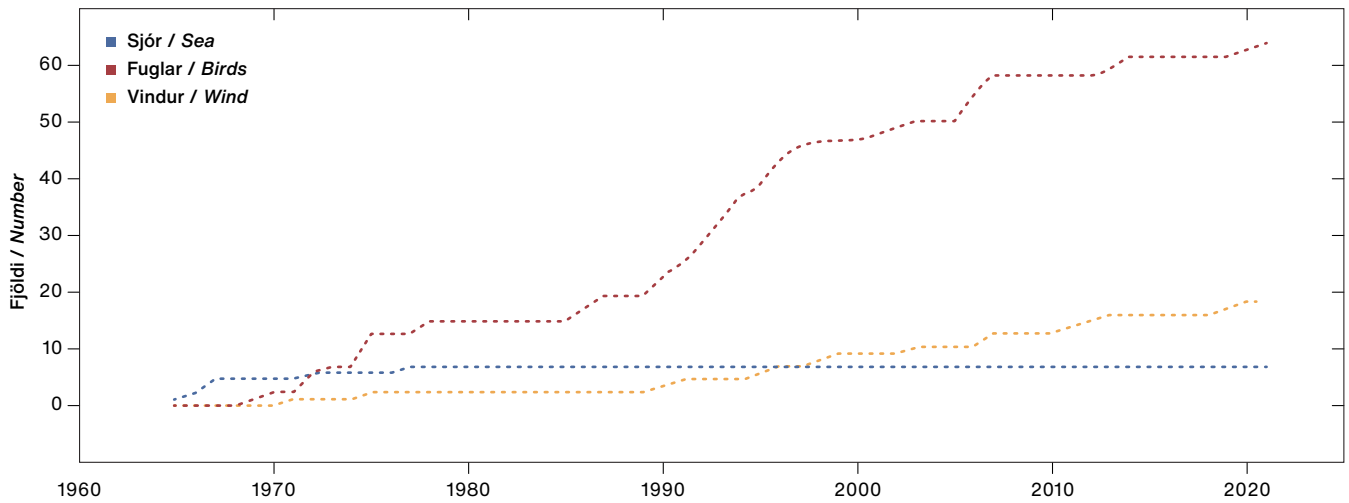
að vori, sem sýndi að aðflutningur fræs með sjó var nokkuð stöðugur. Sumarið 1967 var þessi fyrsti hjalli að baki og ljóst orðið að um varanlegt landnám yrði að ræða.²⁵ Það var fjöruarfi sem lét langmest að sér kveða á fyrstu árum. Hann tók að bera fræ 1971 og breiddist í kjölfarið hratt út um vikurborin svæði.^{24,35} Sumrin 1969 og 1970 fannst skarvakál (*Cochlearia officinalis*) og haugarfi (*Stellaria media*) inni á eyggi og bentu vaxtarstaðir og ummerki til að fuglar hefðu borið fræ þeirra til eyjarinnar.²⁵ Tófugras (*Cystopteris fragilis*) fannst síðan í hraunglufu sumarið 1971. Allar líkur eru á að það hafi vaxið upp af grói sem vindur feykta til eyjarinnar. Þar með var fengin góð vísbending um það eftir hvaða leiðum plöntur bærust til eyjarinnar, þ.e. með sjó, fuglum og vindi. Á fyrsta áratugnum, 1965–1974, fundust alls 12 tegundir æðplantna í Surtsey, en ekki var um varanlegt landnám að ræða hjá þeim öllum (3. mynd, 1. viðauki).

Eftir þetta upphaf landnáms æðplantna í Surtsey hægði mjög. Á tímabilinu 1975–1984 fundust einstaklingar af 9 nýjum tegundum í eyggi. Ekki voru þær allar komnar til að vera á þeim árum en seinna náðu þær flestar rótfestu í eyggi. Tegundum fjölgaði lítið á þessu tímabili (3. mynd).

Áratuginn 1985–1994 varð mikil breyting á. Nýr kraftur færðist þá í landnám æðplantna og 20 nýjar tegundir fundust (3. mynd, 1. viðauki). Það sem lá að baki var mikil fjölgun og stóraukið varp sjófugla. Árið 1970 fundust fyrstu hreiður fugla í Surtsey. Það voru fýll (*Fulmarus glacialis*) og teista (*Cephus grylle*) sem tóku að verpa í sjávarhömrum. Árið 1974 gerði svartbakspár (*Larus marinus*) sér hreiður uppi á eyggi og kom upp einum unga. Svartbak fjölgaði hægt næstu árin og voru hreiður hans orðin sex sumarið 1978.²⁵ Árið 1981 tók silfurmafur (*Larus argentatus*) einnig að verpa í hrauninu á suðurhluta eyjarinnar. Straumhvörf urðu hins vegar þegar silamáfur (*Larus fuscus*) bættist í hópinn árið 1985 og tók að verpa á sama svæði. Honum fjölgaði ört og árið 1990 voru hreiður hans orðin á annað hundrad, en hreiður svartbaks og silfurmafís um 60.³⁸ Á

^aHeiti æðplantna skv. skrá Pawels Wascowicz 2020,³⁶ sjá einnig 1. viðauka.

Heiti fugla eru skv. skrá Gunnlaugs Péturssonar 2008.³⁷



5. mynd. Fjöldi og líklegar dreifingarleiðir æðplöntutegunda til Surtseyjar 1965–2021, áætlað út frá fyrstu fundarstöðum í eyinni og aðlögunum þeirra að frædreifingu. Síndur er samanlagður fjöldi gegnum árin. - Cumulative curves of dispersal routes to Surtsey most probably used by different vascular plant species during the period 1965–2021. Based on dispersal-mode spectra of the flora and sites of first establishment on the island.

innan við áratug myndaðist því þétt máfavarp á afmörkuðu svæði í hrauninu á suðurhluta eyjarinnar og fór það stækkandi með árunum. Það kom fljótt í ljós að fuglarnir höfðu afgerandi áhrif á framvindu gróðurs og dýralífs í eyinni. Í varpinu tók gróður að þétta sig af áburði sem féll frá þeim með driti og fæðuleifum, sem og af dauðum ungum og fullorðnum fugli. Vaxtarskilyrði fyrir plöntur stórbötnuðu og gróska jókst. Enn fremur varð varpið, og næsta nágrenni þess, það svæði í eyinni þar sem flestir nýir landnemar æðplantna fundust.²⁴ Það leyndi sér ekki að fuglar voru mikilvirkir við flutning fræs af nýjum plöntutegundum til eyjarinnar. Sennilega hafa máfarnir átt þar drýgstan hlut en aðrir fuglar einnig komið við sögu.

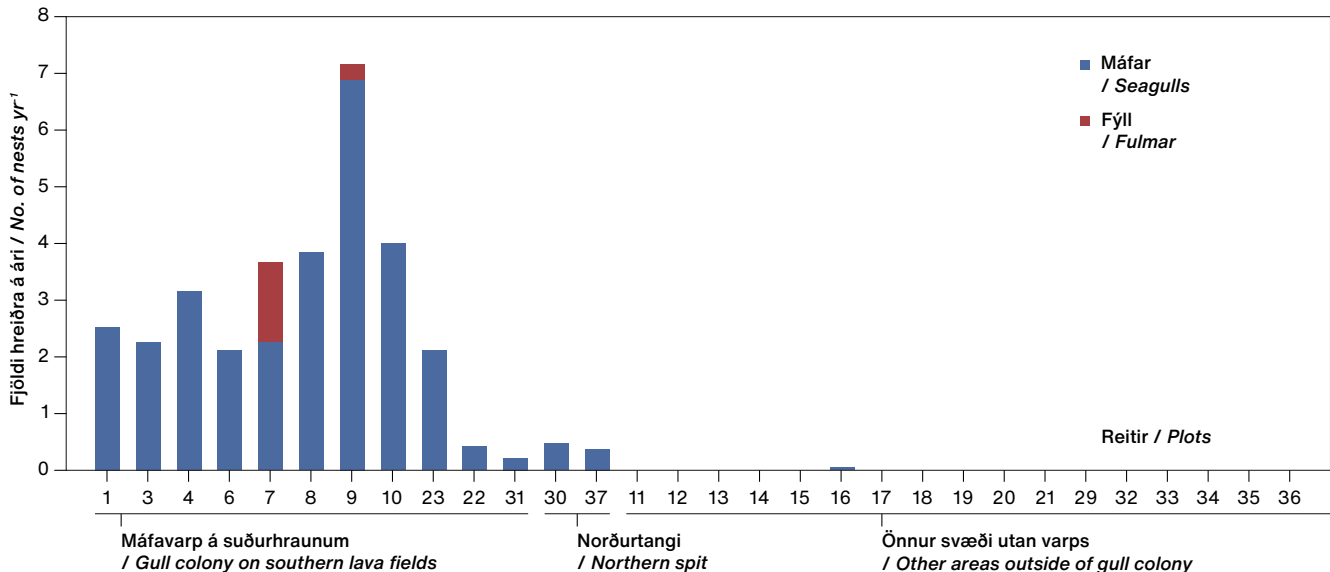
Árin 1995–2004 hélt sama þróun áfram en þá hægði þó aðeins á. Alls fundust 18 nýjar tegundir æðplantna (3. mynd, 1. viðauki). Það er eftirtektarvert að meðal landnema voru þrjár víðitegundir, og fleiri tegundir, svo sem skariffill (*Scorzoneroideides autumnalis*), köldugras (*Polypodium vulgare*) og friggjargras (*Platanthera hyperborea*), sem líklegt er að hafi borist með vindi til eyjarinnar. Fram að því hafði landnám æðplantna sem dreifast með vindi verið lítið í Surtsey.

Áfram fjölgaði nýjum tegundum áratuginn 2005–2014 en þó hægði verulega á, og sama er að segja um árin 2015–2021. Nýir landnemar skutu upp kollinum en lítt bættist í þann fjölda sem fannst á lífi í eyinni ár hvert eftir 2007. Árið 2021 höfðu alls fundist 78 tegundir æðplantna í Surtsey frá 1965. Af þeim voru lifandi einstaklingar af 66 tegundum þetta ár (3. mynd) og liðlega 40 tegundir höfðu myndað lífvænlega stofna (1. viðauki).

Þegar landnám og fjölgun tegunda frá 1965 eru dregin saman í einfaldari mynd eftir áratugum sést að í upphafi fór landnám vel af stað. Liðlega ein ný tegund fannst á ári hverju 1965–2004. Síðan hægði á, en með tilkomu máfavarpsins náði landnám nýjum hæðum og 1985–1994 bættust um tvær nýjar tegundir árlega í flóru eyjarinnar, og litlu færri árin 1995–2004. Eftir það dró úr og hin síðustu ár, þ.e. 2015–2021, var árleg fjölgun komin niður fyrir eina tegund á ári, sem var hægasta fjölgun frá upphafi (4. mynd). Því má bæta við að í leiðangri til Surtseyjar sumarið 2022 fundust ekki nýjar tegundir æðplantna en alls voru þá skráðar 63 tegundir með lifandi einstaklinga í eyinni.³⁹ Hafði þeim því fækkað um þrjár frá árinu áður.

Áhugavert er að líta á eftir hvaða leiðum æðplöntur hafa borist til Surt-

seyjar í gegnum árin. Þetta ráðum við af líkum, þ.e. af því hvar plönturnar fundust í fyrsta sinn og hver aðlögun þeirra er að frædreifingu. Planta sem finnst við rekarönd ofan fjöruborðs hefur að öllum líkindum borist með sjó. Sú sem finnst inni á hrauni við setstaði fugla eða á varpsvæðum hefur líklega borist með fugli sé hún ekki aðlöguð vinddreifingu. Eins og komið hefur fram námu fyrstar land strandplöntur aðlagðar eru frædreifingu með sjó. Hefur lítt bætt þar í frá upphafsárum (5. mynd). Fuglar komu fljótt við sögu og einkanlega eftir að máfum tók að stórfjölgast í eyinni. Allt fram undir 1990 var lítið um að æðplöntutegundir sem dreifa fræi eða gróum með vindi næmu land í Surtsey. Aðeins tófugras og klóelfting (*Equisetum arvense*), hvort tveggja byrkningar sem dreifast með vindbornum gróum, fundust í eyinni á fyrstu tveimur áratugunum. Eftir 1990 tóku tegundir sem bera létt vindborin fræ að skjóta upp kollinum í vaxandi mæli (5. mynd). Niðurstaða okkar er sú að þegar á allt er lítið hafi fuglar verið mikilvirkastir við flutning plantna til Surtseyjar. Líkur eru á að liðlega 70% tegunda sem þar fundust til ársins 2021 hafi borist með fuglum. Um 20% tegunda hafa að líkindum borist með vindi en tæplega 10% sjóleiðina (5. mynd).



6. mynd. Meðalfjöldi máfa- og fýlshreiðra í og við gróðurreiti í Surtsey 2003–2021. Reitir 1–23 höfðu allir verið settir niður árið 2003 en aðrir seinna (sjá 1. töflu) og voru þá utan varpsvæða. Ekki er útilokað að hreiður hafi því verið vantalin við reiti 30 og 37. Hreiður voru talin árlega á 1000 m² hringlaga svæði umhverfis reiti. – Average number of seabird nests recorded within and around permanent plots on Surtsey during 2003–2021. Nests were counted annually within 1000 m² circular area. Plots 1–23 had all been established in 2003, other plots later (see table 1) but were outside breeding areas at establishment. However, nests by plots 30 and 37 may be unaccounted for.

Þéttleiki varpfugla og framvinda gróðurs í reitum

Þéttleiki varpfugla

Heildarfjöldi hreiðra í gróðurreitum og við þá hefur verið mjög misjafn eftir árum tímabilið 2003–2021. Fæst voru hreiðrin 19 árin 2010 og 2018 en flest 52 árin 2008 og 2017. Á þessu 19 ára tímabili var meðalfjöldi hreiðra ár hvert 0–7,2 á 1000 m² talningarhring. Yfir tímabilið voru hreiður skráð í 14 af 29 reitum (6. mynd). Flest voru hreiðrin í reitum 1–10 sem voru í elsta hluta varpsins (2. mynd). Í reitum 22 og 23 við austurjaðar varpsins jókst varp á síðustu árum og einnig í reitum 30 og 37 á norðurtanga. Þá fundust hreiður einnig við reiti 16 og 31 (6. mynd). Sú niðurstaða sem fengist hefur með þessum talningum segir ekki alla söguna. Þétt varp tók að myndast á suðurhluta eyjarinnar árið 1986, rúmlega 15 árum áður en hreiðurtalningar hófust, og voru reitir 1,3, 4 og 6 á því svæði (2. mynd). Þar hefur gróður verið gróskumestur undanfarin ár. Yfir tímabilið 2003–2021 voru að meðaltali 34 hreiður á ha við reiti (1, 3, 4, 6–10) í meginvarpinu á ári hverju.

Plöntutegundir í reitum

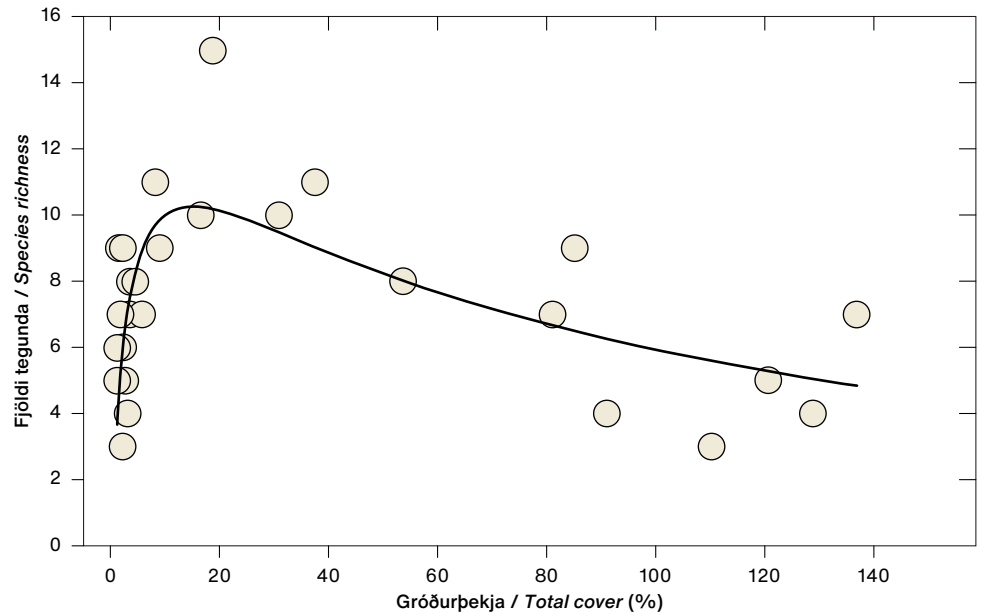
Í gróðurúttekt á reitum í Surtsey sumarið 2020 voru alls skráðar 27 tegundir æðplantna. Fjöldi tegunda í reit var á bilinu 3–15 en meðalfjöldi 7,3. Fæstar voru tegundir í reitum nr. 6 og 20 (2. mynd). Hinn fyrrnefndi, sem er í elsta hluta máfavarpsins, var þakinn breiðu af túnvingli (*Festuca richardsonii*) með ívafi af vallarsveifgrasi (*Poa pratensis*) og haugarfa. Hinn síðarnefndi er á vikrum langt utan varps, lítt gróinn og með strjálungi af fjöruarfa, holurt (*Silene uniflora*) og hundasúru (*Rumex acetosella*). Flestar voru tegundir hins vegar í reit nr. 23 sem er við austurjaðar varpsins og hálfgróinn. Ríkjandi tegundir í honum voru túnvingull, vallarsveifgras, skariffill og skammkrækill (*Sagina procumbens*). Þegar skoðað er hvernig sambandi gróðurþekju og tegundafjölda var háttáð árið 2020 kemur í ljós að tegundum fjölgaði skarpt með vaxandi þekju og fór yfir 10 við 10–40% gróðurþekju. Tegundum fækkaði eftir það og voru þær 4–6 í fullgrónum reitum (7. mynd).

Af tegundum sem fundust í reitum í Surtsey 2020 voru 6 skráðar í helmingi reita eða fleiri. Þetta voru vegarfi (*Cerastium fontanum*), fjöruarfi, skammkrækill, holurt, melgresi og vallarsveifgras (8. mynd). Ef þetta er borið saman

við árið 2000 kemur í ljós að flestar tegundir höfðu sótt í sig veðrið frá þeim tíma. Það endurspeglar landnám nýrra tegunda og aukna útbreiðslu þeirra og annarra sem fyrir voru. Fáeinir allútbreiddar tegundir, þ.e. varpasveifgras, varpafitjungur, skarfakál og blálilja, höfðu látið undan síga. Enn aðrar, sem þá stóðu tæpt, voru horfnar úr gróðurreitum (8. mynd).

Flokkun reita og tegunda

Við klasagreiningu komu fram fjórir meginhópar reita (H1–H4, 9.–13. mynd). Fyrstu tveir hóparnir (H1 og H2) samanstóðu af reitum sem voru í máfavarpinu (reitir 1–10) á suðurhluta eyjarinnar eða við jaðar þess (reitir 22 og 23). Annars vegar voru þetta reitir á sandorpnu hrauni innan varpsins (H1), sem einkenndust af gróskumiklum melgresisbreiðum. Þær voru ríkar af haugarfa, vallarsveifgrasi, túnvingli, baldursbrá (*Tripleurospermum maritimum*) og túnfílli (*Taraxacum* sp.) (10. mynd). Í þessum reitum var þekja 129%, fjöldi tegunda 5,3 og kolefni í jarðvegi 1,4% að meðaltali árið 2020. Í þeim og við þá höfðu þá verið skráð að meðaltali 2,8 hreiður sjöfugla frá árinu 2003. Hins vegar voru reitir á hraunklöppum innan varpsins (H2) þar sem var gróskuminna graslendi á mismunandi framvindu-



7. mynd. Tengsl heildargróðurþekju æðplantna og tegundafjölda þeirra í reitum í Surtsey árið 2020. Þar sem gróður var mestur var hann lagskiptur og gat því samanlögð heildarþekja farið yfir 100%. Ferill er dreginn samkvæmt þriggja liða log-jöfnu, $r^2=0,45$. – Total cover and species richness of vascular plants in permanent plots on Surtsey in 2020. Layering of vegetation occurred in the densest plots and total cover reached over 100%. A log-normal, 3-parameter trendline is shown, $r^2=0.45$.

stigum. Gróður þeirra var allfjölbreyttur á fyrstu stigum. Þar voru varpafitjungur (*Puccinellia coarctata*), skammkrækill, varpasveifgras og vegarfi helstu frumherjar en með tímanum urðu túnvingull og vallarsveifgras ríkjandi og tegundum fækkaði (11. mynd). Í reitunum var þekja 61%, fjöldi tegunda 8,1, kolefni í jarðvegi 7,9% og fjöldi hreiðra 3,5 að meðaltali.

Í þriðja hópnum (H3) voru flestir reitanna og voru þeir allir utan máfavarpsins (12. mynd). Reitirnir voru ýmist á sandorpnu landi, hrauni eða móbergi og var gróður þeirra eftir því. Þeir voru allir lítt grónir. Í sandorpnum reitum var mest um fjöruarfa, melgresi, holurt, hundasúru og melablóm en í hraunreitum voru hins vegar vegarfi, skammkrækill og varpasveifgras (*Poa annua*) ríkjandi. Í reitum á móbergi var plöntur helst að finna á blettum þar sem gosmöl sat í bollum og var gróður þeirra ekki frábrugðinn gróðrinum í sandorpnum reitum. Í reitum í þessum hópi kenndi allmargra annarra tegunda hér og þar, sem flestar létu lítið að sér kveða. Í þessum reitum var gróðurþekja 4%, fjöldi tegunda 7,1, kolefni í jarðvegi 0,11% og fjöldi hreiðra 0,04 að meðaltali.

Fjórða hópin (H4) skipuðu síðan tveir reitir, og voru báðir á norðurtanga eyjarinnar þar sem gróður hefur þétt sig verulega á síðustu árum. Á svæðinu er nokkurt máfavarp og þar kæpir útselur (*Halichoerus grypus*) að hausti. Af hvoru tveggja eru áburðaráhrif sem bætt hafa kjör gróðurs. Í þessum reitum voru melgresi og fjöruarfi ríkjandi en þar fundust einnig fjörukál og hrímblaðka (*Atriplex* sp.) sem ekki var annars staðar að finna. Þá var bláhlilla hvergi meiri en í þessum reitum. Á svæðinu hafði því myndast samfélag strandplantna sem skar sig úr öðrum gróðri í eygni (13. mynd). Í þessum reitum var gróðurþekja 46%, fjöldi tegunda 9,5, kolefni í jarðvegi 0,05% og fjöldi hreiðra 0,5 að meðaltali. Norðurtanginn er það svæði í Surtsey sem er undir mestum áhrifum sjávar. Hann er láglendur og sjór flæðir inn á hann í stórviðrum á vetrum.

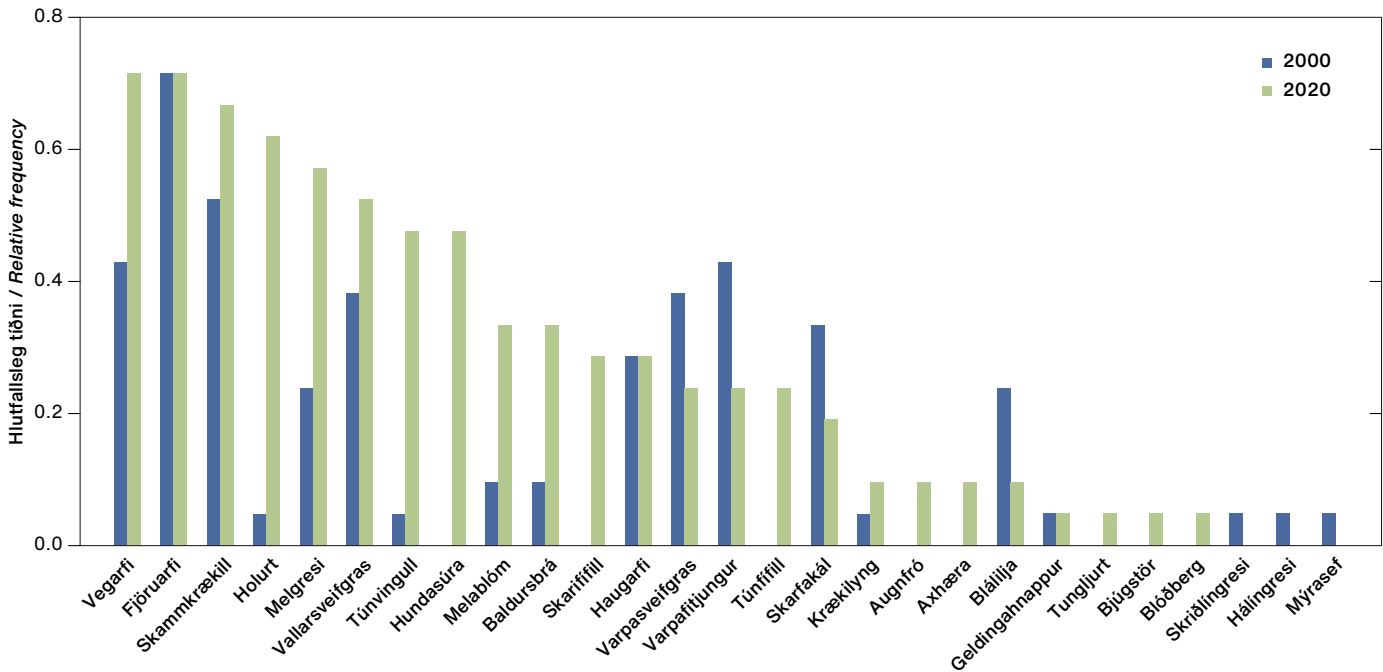
Ris og hnig tegunda með tíma

Lítum nú á nokkra reiti og skoðum hvernig gróður í þeim hefur þróast frá því þeir voru fyrst mældir á árunum 1990 og 1994 til ársins 2020. Reitir 13 og 22 eru á austurhluta eyjarinnar, á sandorpnu hrauni og helluhrauni. Báðir voru þeir

utan varpsvæða og áburðaráhrif af fugli því lítil. Í þessum reitum eins og flestum öðrum utan varpsvæða hafði gróður lítið þétt sig frá því þeir voru settir niður (14. mynd). Í hvorugum þeirra hafði heildarþekja gróðurs náð 10% árið 2020. Í reit 13, á sandorpnu hrauni, voru það fjöruarfi og melgresi sem mest hafði kveðið að. Í reit 22, á hraunklöppum, höfðu skammkrækill og varpasveifgras verið mest áberandi frumherjar gegnum árin en túnvingull hafði einnig fest þar rætur og farið vaxandi frá 2016. Í báðum þessum reitum hafði tegundum fjölgað frá því sem var í upphafi en tröppugangur verið í þeirri fjölgun (15. mynd).

Reitir 1 og 6 eru í elsta hluta varpsins á suðurhluta eyjarinnar. Þar var áburðaráhrifa af fugli þegar tekið að gæta þegar þeir voru settir niður 1990 og 1994 og gróður farinn að þétta sig (15. mynd). Í þessum reitum mátti sjá dæmi um hvernig tegundir brugðust við, risu eða hnigu eftir því sem árin liðu.

Reitur nr. 1 er sendinn og þar var fjöruarfi með um 30% þekju árið 1990. Hann jók við sig til 1994 en eftir það sáust merki um að honum væri tekið að hnigna. Á þessum árum fjölgaði



8. mynd. Tegundir sem skráðar voru í 21 föstum reit í Surtsey árin 2000 og 2020, um sömu reiti er að ræða bæði árin. Hlutfall reita sem þær fundust í á skalanum 0 – 1. – Plant species recorded within the same 21 permanent plots on Surtsey in 2000 and 2020. Proportion of plots with species on a scale of 0 – 1. Icelandic common names and matching Latin species names can be found in Appendix 1.

tegundum í reitnum og sumar náðu nokkrum hæðum um tíma en hnigu þegar enn aðrar risu. Þannig áttu varpasveifgras og vegarfi skammvinn blómaskeið. Vallarsveifgras tók seinna við sér en stigmagnadist síðan og var orðið ríkjandi í reitnum árið 2004. Auk þess treystu melgresi og haugarfi stöðu sína og ríktu í reitnum frá 2012 með vallarsveifgrasinu. Við þessar breytingar hurfu flestar tegundir sem áður var mest af í reitnum (14. mynd).

Á hraunklökk þar sem reitur 6 var settur niður var komin nokkur þétting af varpafitjungu og varpasveifgrasi árið 1994 (15. mynd). Þar var einnig lítilræði af sex öðrum tegundum, þar á meðal skammkrækli, vegarfa og túnvingli. Líkt og í reit 1 áttu varpasveifgras og vegarfi skammvinn blómaskeið, og einnig skarvakál, en tóku að hniga með risi túnvinguls. Hann skreið út og myndaði með árunum þykka breiðu í reitnum, og árið 2006 var hann alþakinn túnvingli. Frá þeim tíma hefur einnig lítilsháttar af vallarsveifgrasi, vegarfa og haugarfa fundist í reitnum í flestum árum. Í reitum 1 og 6 hafði tegundum fækkað frá því sem mest var árin 1996 og 1998 (15. mynd).

UMRÆÐUR

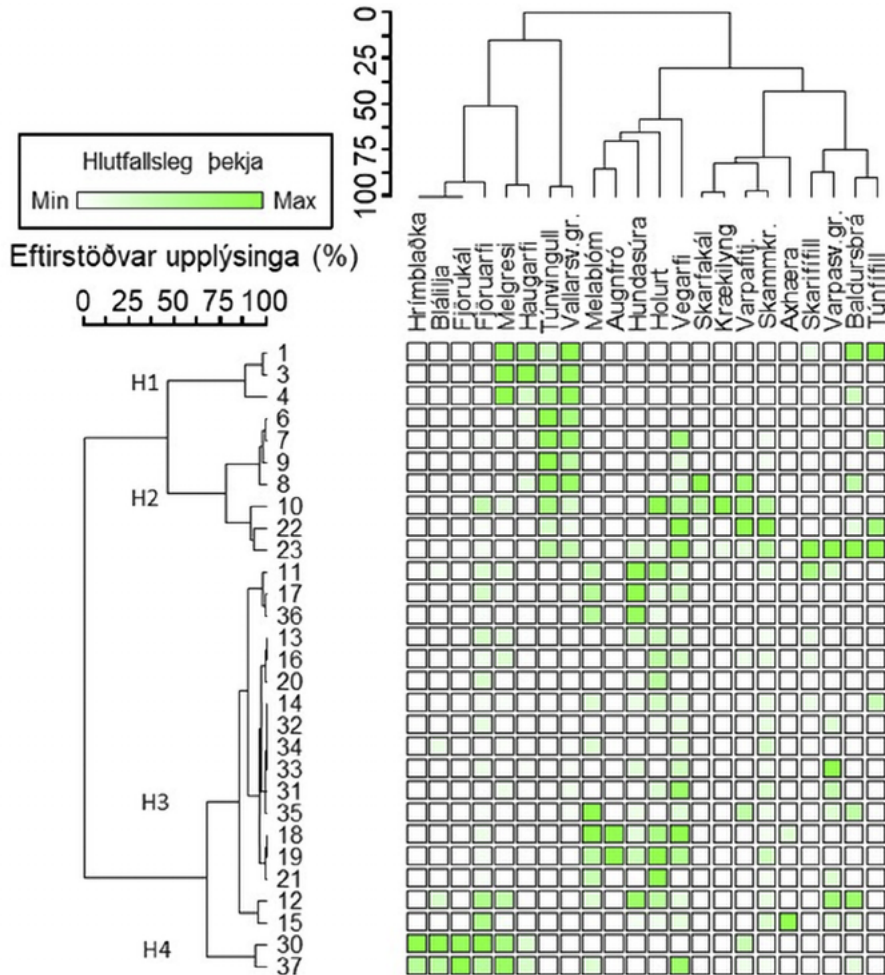
Hvaðan komu tegundirnar?

Tegundir æðplantna í Surtsey eru fyrir löngu orðnar miklu fleiri en í öðrum úteyjum Vestmannaeyja. Í þeim hafa verið skráðar 2 – 28 tegundir og ræðst fjöldinn fyrst og fremst af stærð eyjanna.⁹ Surtsey er enn langstærst úteyjanna og búsvæði hennar fjölbreyttust. Í eldri úteyjum eru lágur, sendnar strendur löngu horfnar og móberg, gömul hraun og gígar að mestu hulin gróskumiklu en fábreyttu graslendi á allþykku jarðvegi. Strand- og melategundir finnast þar ekki lengur. Allar þær tegundir sem einkenna gróður úteyjanna og eru þar ríkjandi hafa numið land í Surtsey og breiðst þar út.¹¹ Af þeim má líta á túnvingul, vallarsveifgras, haugarfa, baldursbrá og skarvakál sem lykilttegundir. Ekki verður fullyrt hvaðan plöntur hafa borist til Surtseyjar en líklegasta uppsprettan eru aðrar eyjar í klasanum og nálæg svæði á landi. Nær allar tegundir sem fundist hafa í Surtsey eru skráðar í Heimaeja.⁸

Flutningsleiðir og uppvaxtar-skilyrði plantna

Rannsóknirnar í Surtsey hafa gefið góða vísbendingu um það eftir hvaða leiðum og í hvaða röð plöntutegundir hafa borist til eyjarinnar og numið land. Eins og fram hefur komið voru fyrstu landnemarnir strandplöntur sem bárust sjóleiðina. Fræ þeirra eru fremur stór og forðarík, fljóta og þola seltu. Kímplöntur þeirra eru öflugar og geta komist á legg á sendnu og rýru landi.⁴⁰ Þar sem fræi skolar á land berst einnig upp lífrænn reki, svo sem þang, dýra- og plöntusvif o.fl., sem auðgar jarðveg ofan fjöruborðs.

Bróðurpartur plöntutegundanna hefur borist með fuglum til Surtseyjar. Þessa flutnings varð vart strax á fyrstu árunum en hann tók kipp með fjölgun og auknu varpi máfa í eyinni upp úr 1985. Þótt hægt hafi á landnámi síðustu ár bera fuglar áfram nýjar tegundir til eyjarinnar. Líklegt er að máfar hafi verið drýgstir við að flytja fræ af nýjum tegundum til Surtseyjar, einkum sílamáfur og silfuramáfur, sem sækja talsvert í gróid land til fæðuöflunar og meira en svartbakur gerir. Það er vel þekkt að



9. mynd. Rit sem sýnir niðurstöður tvíátta klasagreiningar á gögnum úr reitum í Surtsey frá 2020. Reitir spyrðast saman til vinstri en tegundir að ofan. Hlutfallsleg þekja hvernar tegundar í reitum er táknuð með grænum lit, óháð þekjugildum annarra tegunda. – Two-way cluster analysis graph showing grouping of plots (left) and plant species within them (above). Icelandic common names and matching Latin species names can be found in Appendix 1. Scales show information remaining.

10. mynd. Gróskumikið graslandi á sandorpnu hrauni í elsta hluta máfavarps á suðurhluta Surtseyjar, ríkjandi tegundir voru melgresi, vallarsveifgras, haugarfi og baldursbrá. Dæmi um land undir miklum og langvarandi áburðaráhrifum af varpi máfa, féll í gróðurflokk H1, sjá 9. mynd. – Lush grassland on sandy lava on southern Surtsey, dominant species are *Leymus arenarius*, *Poa pratensis*, *Stellaria media* and *Tripleurospermum maritimum*. Example of land under prolonged and strong nutrient influence from breeding seagulls, vegetation class H1, see Fig. 9. Ljósmynd./Photo: Borgþór Magnússon, júlí 2020.



máfar flytja fræ ýmissa tegunda, bæði innvortis og hið ytra. Hafa þeir með því, og með aðflutningi næringarefna, áhrif á gróðurfar í vörpum sínum og hvíldarstöðum.^{41–43} Fleiri fuglar hafa áreiðanlega flutt fræ til Surtseyjar gegnum árin, þeirra á meðal snjótittlingur (*Plectrophenax nivalis*), hrafn (*Corvus corax*) og grágæs (*Anser anser*) sem heimsækja eyna reglulega og hafa orpið þar á seinni árum.¹¹ Jafnframt hafa farfuglar viðkomu í eygni vor og haust og geta þeir borið með sér fræ.^{38,44} Á fartíma að vori hefur sést hópur heiðgæsa (*Anser brachyrhynchus*) í hrauninu neðan við veðurathugunarstöðina í Surtsey. Stöðin var sett upp árið 2009 og er búin vefmyndavél. Rannsóknir hafa sýnt að gæsir eru mikilvirkar við flutning plöntufræs. Þeir Hatterman og félagar⁴⁵ söfnuðu skít grágæsa á fjölda eyja í sænska skerjagarðinum í Eystrasalti. Í spírunarprófunum í rannsóknastofu uxu upp af gæsaskítum plöntur sem greindar voru til 97 tegunda. Af þeim var hlutfallslega mikið af grasleitum tegundum.

Á fyrstu áratugunum var lítið um að æðplöntur sem dreifa fræi sínu um langan veg með vindi næmu land í Surtsey. Sá flutningsmáti leyfir ekki

að ferðast sé með þungar byrðar og er forði í fræi að jafnaði lítill. Lífslíkur kímplantna byggjast því á að jarðvegur sé sémilega frjósamur og til staðar jarðvegslíf sem þeim er nauðsynlegt til að komast á legg.⁴⁶ Þær aðstæður sköpuðust ekki í Surtsey fyrr en áratugum eftir að eyjan myndaðist, eftir að máfavarpar var orðið verulegt, gróður hafði þétt sig og jarðvegur lífgast.

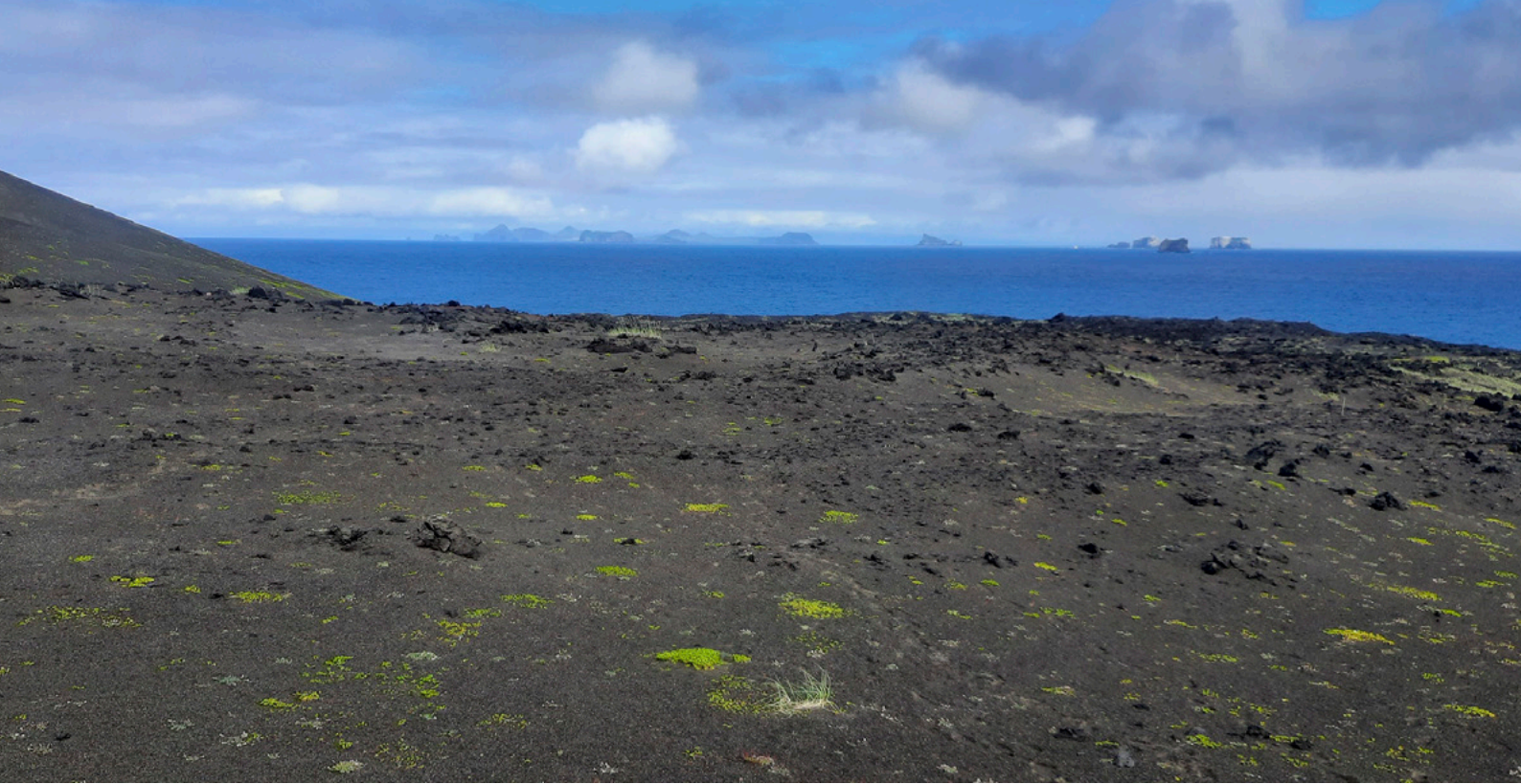
Rannsóknir á landnámi plantna og framvindu á jökulskerjum á Breiðamerkurjökli sýna einnig að fáar vindbornar tegundir eru meðal frumherja, en fjölgar með tímanum.⁴⁷ Sömu sögu er að segja úr niðurstöðum rannsókna á framvindu á St. Helens-eldfjallinu í Oregon í Bandaríkjunum eftir eldgos árið 1980. Tegundir sem dreifa fræi með vindi áttu þar erfitt með að nema land á snauðu, gróðurlausu yfirborði en hagar þeirra vænkaðist með batnandi jarðvegsskilyrðum.⁴⁶ Nokkur dæmi eru um þetta frá Surtsey og verður hér fjallað um tvö þeirra.

Víðir fannst fyrst í Surtsey árið 1995. Það var grasvíðiplanta (*Salix herbacea*) sem óx í hraunbolla við austurjaðar máfavarpsins. Á næstu árum fundust einnig gulvíðir (*Salix phylicifolia*) og loðvíðir (*Salix lanata*), og síðan

fjallavíðir (*Salix arctica*) árið 2012. Víðiplöntum hefur fjölgað mikið og finnast þær nú allvíða um sunnanverða eyna, bæði innan varpsvæða og utan. Yfirgnæfandi líkur eru á að víðifræ hafi að mestu borist með vindi til eyjarinnar. Fræ víðis eru smá, ullhærð og búin til svifflugs. Fullvíst er að víðifræ hefur borist til Surtseyjar strax á fyrstu árum en þá voru skilyrði til uppvaxtar ekki til staðar. Rúmir þrjár áratugir liðu því þar til víðir festi rætur í eygni. Hvað var það sem skorti til að hann kæmist á legg? Voru það næringarefni eða jarðvegslífverur, svo sem sveppir? Í rannsóknnum á sveppum í Surtsey haustið 2008 fundust sjö tegundir af hattsveppum við víðiplöntur. Sveppirnir höfðu að líkindum myndað svepprót með víðinum.⁴⁸ Ekkert verður fullryrt um það hvort tilteknir sveppir þurfi að vera til staðar og mynda svepprót með víði til að hann komist á legg, en full ástæða er til að rannsaka það nánar.⁴⁹ Í rannsóknnum á gróðurframvindu og jarðvegsmyndun framan við Skaftafellsjökul hefur komið fram að víðitegundir eru ekki meðal fyrstu landnema.^{50,51} Svipaða sögu er að segja úr rannsóknnum á gróðurframvindu í jökulskerjum í Breiðamerkurjökli.⁵² Í

11. mynd. Gróskumikið túnvingulgraslendi á hraunklöppum í elsta hluta máfavarps á suðurhluta Surtseyjar, túnvingull var algörlega ríkjandi en einnig fannst hér lítilræði af vallarsveifgrasi og haugarfa. Dæmi um land undir miklum og langvarandi áburðarhrifum af varpi máfa, féll í gróðurflokk H2, sjá 9. mynd. – Lush *Festuca*-grassland on a lava shield on southern Surtsey, dominant species is *Festuca richardsonii*. Example of land under prolonged and strong nutrient influence from nesting seagulls, vegetation class H2, see Fig. 9. Ljósmynd./Photo: Borgþór Magnússon, júlí 2021.





12. mynd. Strjálgróið, vikurborið hraun á austurhluta Surtseyjar, mest var hér um fjöruarfa og melgresi. Dæmi um land undir mjög litlum áburðaráhrifum af sjófugli, féll í gróðurflokk H3, sjá 9. mynd. – Sparsely vegetated sandy lava on eastern Surtsey, dominant species are *Honckenya peploides* and *Leymus arenarius*. Example of land under limited nutrient influence from breeding seabirds, vegetation class H3, see Fig. 9. Ljósmynd: Borgþór Magnússon, júlí 2021.

nýrri rannsókn sem beitti erfðagreiningu á jarðvegssýnum í Surtsey kom fram að enn virðast svepprótarsveppir fáir í jarðvegsgöngu eyjarinnar og geta því mögulega verið flöskuháls fyrir landnám þeirra tegunda æðplantna sem þarfnast þeirra til að komast af.⁵³

Menn ráku upp stór augu þegar friggjargras (*Platanthera hyperborea*) fannst í Surtsey árið 2003. Í miðju máfavarpinu á suðurhluta eyjarinnar var stök planta í blóma á svæði þar sem fjöruarfi, melgresi og vallarsveifgras voru tekin að þetta sig. Plantan fannst ekki aftur á þeim stað en þar myndaðist kafgras. Friggjargras fannst að nýju árið 2007 í austurjaðri máfavarpsins. Ekki reyndist það áhrifast framan af en frá sumrinu 2011 hefur fundist stök plantna á sama blettinum allt fram á þennan dag. Sumarið 2021 fannst friggjargras á þriðja staðnum í eyinni. Af tegundum æðplantna sem numið hafa land í Surtsey er fræ friggjargrassins smæst og vanbúnast að spíra og mynda fullþroska plöntu á nýju landi. Friggjargras er af brönugrasaætt, og eru fræ flestra tegunda af þeirri ætt örsmá, á stærð við rykkorn. Þau eru lítið annað en örþunnur frumubelgur utan um fáeinar fósturfrumur, og forðanæring er engin.

Hin smágerðu og léttu fræ berast hins vegar fyrir vindi yfir sjó og land, hundruð eða jafnvel þúsundir kílómetra.⁵⁴ Einnig geta þau dreifst með vatni. Til að spíra og mynda nýjan einstakling þarf fræið að ná sambandi við rötarsvepp í jarðvegi sem nærir það á fyrstu stigum. Í þessu sambyli þroskast plöntuvísir neðanjarðar án bladgrænu. Þessi vöxtur getur tekið tvö til fjögur ár uns hið græna gras birtist ofanjarðar.^{55,56} Í Surtsey höfðu þessar aðstæður skapast um fjórum áratugum eftir að eyjan reis úr sæ. Af sjó tegundum brönugrasa sem finnast á Íslandi er friggjargras langútbreiddast⁵⁶ en líklegt er að það sé ekki jafn vandfýsið á jarðvegssveppi og hinar tegundirnar og geti gert sér mat úr fleiri en einni tegund sveppa.⁵⁵

Sú mynd sem fengist hefur af flutningsleiðum og landnámi plantna í Surtsey svípar nokkuð til þeirra sem rannsóknir á öðrum eldfjallaeyjum hafa gefið, þ.e. Krakatau⁵⁷ og Anak Krakatau í Indónesíu⁵⁸ og Long Island í Nýju Gíneu.⁵⁹ Á þessum eyjum var flutningur með sjó virkur og mikilvægur á fyrstu árum en nokkuð misjafnt um flutning með dýrum og vindi.

Flutningur næringarefna frá sjó til lands

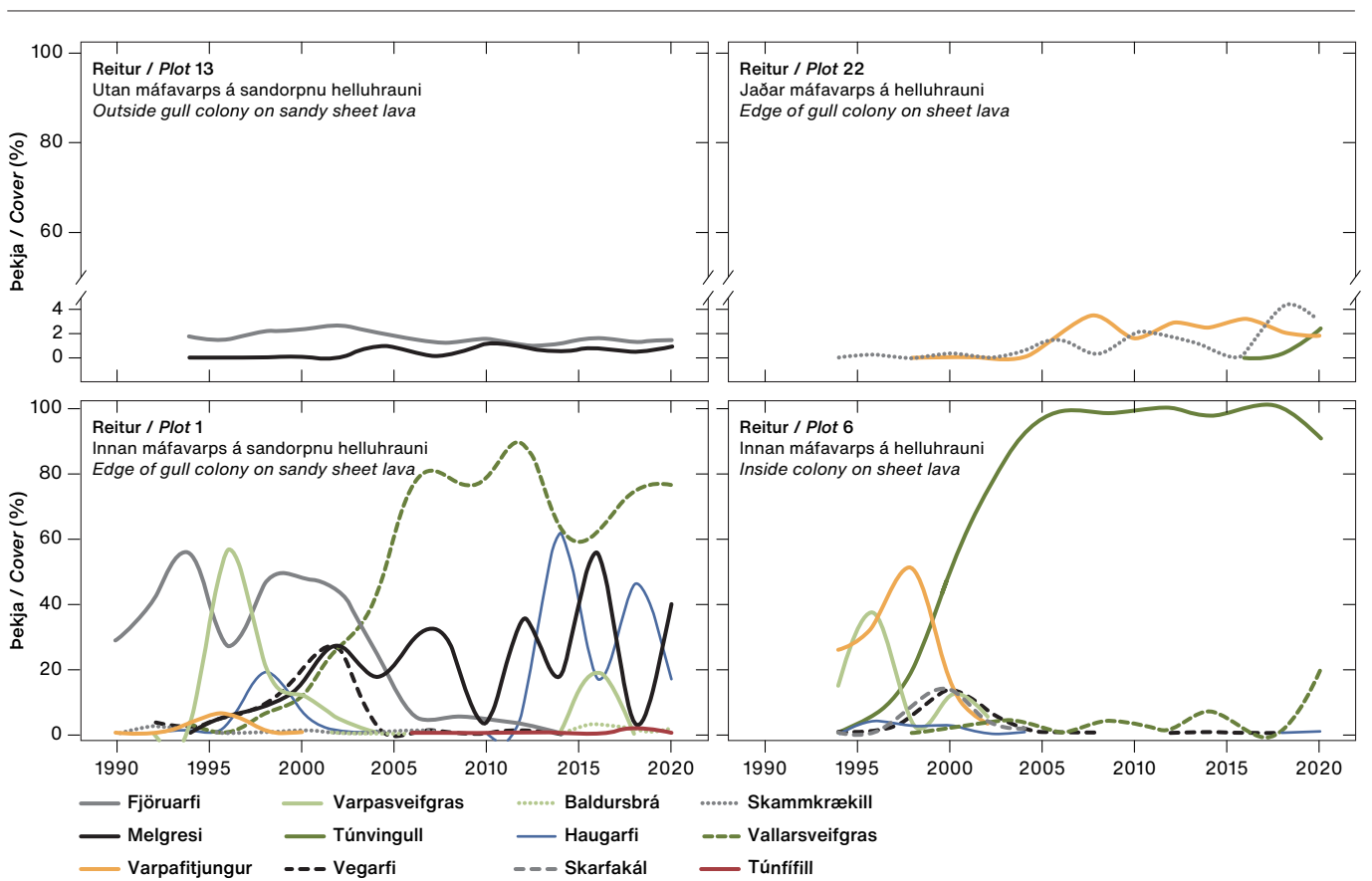
Þáttur sjófugla

Eins og fram hefur komið var framvinda í Surtsey mjög hæg þar til þétt máfavarpar tók að myndast þar. Enn í dag er stærsti hluti eyjarinnar strjálgróinn og breytingar fremur litlar frá ári til árs. Samanburður á gróðri og jarðvegi milli lítt gróinna og vel gróinna svæða leiðir í ljós hvað veldur. Það er flutningur næringarefna, einkum með fuglum en einnig selum í minna mæli, frá sjó til lands. Þekkt er að fuglaskítur er ríkur af næringarefnum fyrir plöntur og vega köfnunarefni, fosfór og kalíum þar þyngst.⁶⁰⁻⁶⁴ Sjófuglar sækja fæðu til hafs og á varptíma bera þeir æti í unga sína í vörpum á eyjum og strandsvæðum. Frá fuglunum fellur drit og fæðuleifar, og fuglar drepast á landi, og við þessu tekur jarðvegurinn sem augðgast með tímanum.⁶⁵ Auk aðflutnings næringarefna og fræs hafa fuglar fjölbreytt önnur áhrif í heimkynnum sínum og knýja í mörgum tilvikum vistfræðilega ferla.⁶⁶

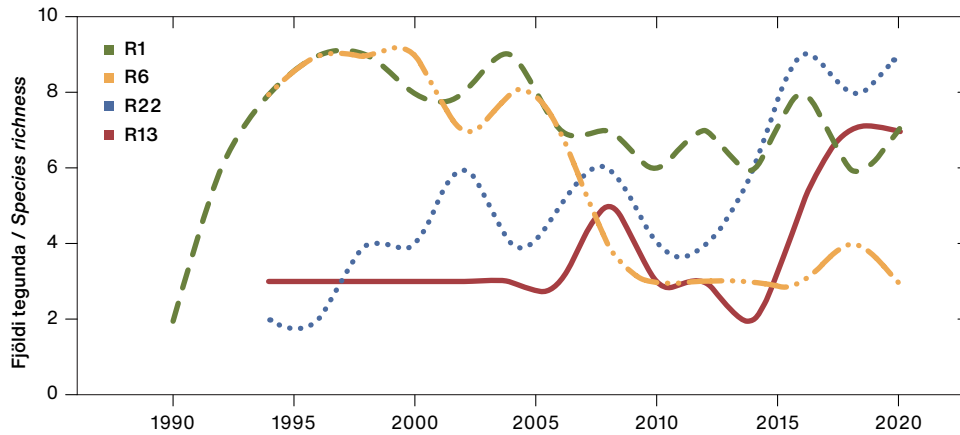
Árin 2012 og 2013 gerðu Leblans og félagar²⁹ víðamikla rannsókn á því hve mikill köfnunarefnisforði (N) hefur byggst upp í jarðvegi og gróðri í Surtsey.



13. mynd. Strandgróður á norðurtanga Surtseyjar, ríkjandi tegundir voru fjöruarfi, melgresi, bláililja og fjörukál. Dæmi um land undir nokkrum áburðaráhrifum af varpi máfa og útsels í látri, féll í gróðurflokk H4, sjá 9. mynd. - Sea shore community on northern spit of Surtsey, dominant species are *Honckenya peploides*, *Leymus arenarius*, *Mertensia maritima* and *Cakile maritima*. Example of land under nutrient influence from breeding seagulls and grey seals, vegetation class H4, see Fig. 9. Ljósmynd./Photo: Járngerður Grétarsdóttir, júlí 2020.



14. mynd. Þróun í tegundasamsetningu og þekju æðplantna í fjórum föstum reitum í Surtsey frá því þeir voru settir niður og til ársins 2020. Reitirnir voru mældir annað hvert ár. Sýndar eru tegundir sem náðu $\geq 1\%$ þekju eitthvert mælingarárið. Reitir 13 og 22 eru utan varps en reitir 1 og 6 innan þess (2. mynd). - Development in species composition and cover in four permanent plots on Surtsey. Plots were sampled biannually, species with $\geq 1\%$ cover in any year are shown. Plots 13 and 22 are outside seabird colony and plots 1 and 6 within it (Fig. 2). Icelandic common names and Latin species names can be found in Appendix 1.



15. mynd. Þróun í tegundafjölda í fjórum föstum reitum í Surtsey frá því þeir voru settir niður og til ársins 2020. Reitirnir eru hinir sömu og sýndir eru á 16. mynd. – Development in species richness in four permanent plots on Surtsey, the plots are the same as shown on Fig. 15.

Tekin voru sýni við gróðurreiði og borin saman svæði í elsta hluta máfavarpsins á suðurhluta eyjarinnar og svæði utan varps. Í stuttu máli var niðurstaða þeirra sú að utan varpsvæða hefðu á hverju ári bundist $0,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ sem að mestu væri komið frá úrkomu. Innan máfavarpsins var myndin allt önnur. Þangað höfðu fuglarnir að meðaltali flutt köfnunarefni sem nam 47 kg N ha^{-1} á ári.²⁹ Þess má geta að algengur áburðarskammtur á ræktuð tún hér á landi⁶⁷ er $90\text{--}140 \text{ kg N ha}^{-1}$. Af tünnum er hins vegar mestur hluti árlegs vaxtar plantna ofanjarðar fjarlægður á hverju ári í heyjum og þar með stór hluti áburðarefna. Í Surtsey liggur hann á staðnum og rotnar niður í svörðinn.

Þáttur sela

Á undanförunum árum hefur vaknað grunur um að útselur hafi átt þátt í þéttingu gróðurs á norðurtanga eyjarinnar, einkum á síðasta áratug. Líkt og sjófuglar flytja selir og sæljón næringarefni frá sjó til lands, einkum þar sem dýrin dveljast í láturum eða hópa sig á hvíldarsvæðum.⁶⁸⁻⁷⁰ Árið 1983 varð þess fyrst vart að útselur væri tekinn að kæpa á tunganum í Surtsey. Útselur kæpir að hausti og fara fyrstu urtur að mjaka sér upp í látur þegar líður á september en kæping stendur hæst um miðjan október. Síðbúnir kópar eru líklega í látri fram í desember. Frá árinu

1986 hefur útselur í Surtsey verið talinn reglubundið með myndatöku úr flugvél. Talningin er hluti af vöktun selastofna við Ísland. Útselsstofninn var síðast metinn árið 2017. Fjöldi sela hefur verið misjafn. Í Surtsey hafa sést á bilinu $15\text{--}67$ kópar en áætlað hefur verið að yfir 100 urtur hafi kæpt í eygni þegar mest hefur verið. Á seinni árum hefur myndast þar stærsta látur útsels við suðurströnd Íslands.^{71,72}

Haustið 2019 var flogið yfir Surtsey hinn 18. október á vegum Náttúrufræðistofnunar Íslands til að ljósmynda útseli í látri, kanna dreifingu þeirra og bera saman við útbreiðslu gróðurs á tunganum. Á myndum voru taldir 94 selir, 32 fullorðnir, flest urtur, en kópar 62. Margir selanna lágu inni á tunganum þar sem gróður var þéttastur.³² Vart leikur vafi á að selurinn hefur þar talsverð áburðaráhrif sem kemur gróðri á tunganum til góða. Nokkurt varp svartbaks er þar einnig og eykur á áburðinn.³² Spyrja má hví gróður hafi ekki þétt sig mun fyrr á tunganum líkt og gerðist í máfavarpinu á suðurhluta eyjarinnar. Þar á eru líklega nokkrar skýringar. Í fyrsta lagi hefur tanginn farið minnkandi með árunum og með fjölgun sela í látri hefur þéttleiki þeirra aukist á því svæði sem eftir stendur. Í öðru lagi berast áburðarefni frá selnum til jarðvegs að hausti eftir að vaxtartíma plantna

lýkur. Að vetri gengur sjór yfir tangann og útskolun á sér stað. Í þriðja lagi benda rannsóknir til að losun frá útsel í látri í formi saurs og þvags sé hlutfallslega lítil miðað við stærð skepnunnar. Kópar nærast eingöngu á móðurmjólk þegar þeir eru uppi í látri og halda fast í það sem ofan í þá fer.⁷³⁻⁷⁵

Í lok október 2019 gafst færi á að stíga fæti á land í Surtsey í stuttri heimsókn og var þá farið norður á tangann til að gæta að útselum í látri (16. mynd), en nánar hefur verið fjallað um það annars staðar.³² Allt bendir til að áfram muni ganga á tangann og hann hverfa á næstu áratugum. Við það verða dagar látursins einnig taldir. Áhrif útsels á gróður í eygni verða því mun skammvinnari og taka til miklu minna svæðis en þau af sjófuglum.

Vistkerfi tekur stakkaskiptum

Landnám og framvinda í Surtsey hefur ekki gengið jafnt og þétt. Skortur á næringarefnum í jarðvegi, einkum köfnunarefni, hamlaði mjög landnámi plantna í eygni framan af og einnig hægur aðflutningur nýrra tegunda. Segja má að þetta hafi verið hæstu þröskuldarnir⁷⁶ sem vistkerfið þurfti að yfirstíga til að komast úr hægagangi. Hvort tveggja leystist með fjölgun varpugla í eygni sem síðan hafði keðjuverkandi áhrif á alla framvindu og ferla.



16. mynd. Útselskópar í breiðum af melgresi og fjöruarfa á norðurtanga Surtseyjar. – Grey seal pups within beds of *Leymus arenarius* and *Honckenia peplodes* by the northern shore of Surtsey. Ljós.m./Photo: Borgþór Magnússon, 30. október 2019.

Þau straumhvörf sem urðu í landnámi og vexti plantna í Surtsey eftir að máfabyggðin tók að myndast hafa komið fram í örri framvindu alls lífríkis. Flestar rannsóknir í eygni á seinni árum hafa sýnt sláandi mun milli svæða eftir þéttleika fugla og áburðaráhrifa í varpi. Þetta hefur meðal annars komið fram við rannsóknir á jarðvegsmyndun,^{29,47,62,77} losun koltvíoxíðs frá jarðvegslífverum, ljóstillífum og vexti gróðurs,^{27,32,33} landnámi fléttna, mosa og sveppa,^{48,78,79} jarðvegslífi,³¹ smádýralífi á yfirborði²⁸ og fuglalífi.^{38,80}

Surtsey er ekki rík að tegundum varpfugla. Árið 2021 höfðu sautján tegundir reynt þar varp en undanfarin ár hafa um tíu tegundir verpt þar að staðaldri.⁸¹ Framvinda fuglalífs í eygni gefur áhugaverða mynd af breytingum á vistkerfi og fæðuvef sem þar hafa orðið gegnum árin. Fram til ársins 1996 höfðu aðeins sjöfuglar orpið í Surtsey. Þá verða hins vegar þáttaskil og kveður við nýjan tón. Snjótittlingur (*Plectrophenax nivalis*) hefur varp í eygni, fyrstur allra landfugla. Hann fæðir unga sína á smádýrum og koma hans sýnir að gróður og smádýralíf hafði náð því stigi að rými var fyrir landfugla í vefnum sem verið var að spinna. Árið 2002 bætti í raddirnar en þá tóku mariuerla (*Motacilla alba*) og þúfutittlingur (*Anthus pratensis*) að verpa í eygni en báðar tegundirnar lifa á smá-

dýrum og fæða unga sína á þeim. Jafnframt var komið þangað grágæsarpar sem verpti og kom upp ungum.³⁸ Þar með hafði grasbítur bæst í fuglafánu eyjarinnar. Á þessum tíma var samfelld graslendi í máfavarpinu orðið um 8 ha að flatarmáli.⁸² Hrafn, sem sést hafði í eygni frá fyrstu árum, hóf varp þar árið 2008. Byggði hann sér laup í vestari gígunum og kom upp ungum. Fæðuleifar við laupinn sýndu að hann fæddi unga sína meðal annars á eggjum sjófugla, einkum fýls sem mikið var orðið af í eygni.³⁸ Kominn var til sögunnar afræningi sem trónir efst í fæðukeðjunni. Hrafn hefur síðan verið árviss varpfugl í Surtsey. Síðustu ár hafa fýll, teista, svartbakur, silfurmafur, sílamáfur, snjótittlingur, mariuerla, þúfutittlingur, hrafn og líklega lundi orpið í Surtsey. Langstærstir eru stofnar fýls, svartbaks, sílamáfs, silfurmáfs og teistu.^{38,80} Landfuglarnir eru hins vegar mjög fálíðaðir. Sumarið 2021 voru í eygni um tugur af sólskríkjupörum, um fimm pör af þúfutittlingi og annað eins af mariuerlu. Eitt grágæsapar var þar með unga.⁸¹ Samfelld graslendi í Surtsey var þá orðið um 15 ha að heildarflatarmáli.³²

Hvert stefnir?

Einhver þekktasta kenning vistfræðinnar er sú sem MacArthur og Wilson^{83,84} settu fram um landnám og

útdauða tegunda í eyjum og jafnvægi þar á milli, sem réði tegundafjölda þegar til lengri tíma er litið. Olli hún straumhvörfum í rannsóknum og þróun í eyjavistfræði en hefur þó ekki leyst allar gátur sem lausna hefur verið leitað við.^{54,85} Við höfum ekki skoðað gögn frá Surtsey eða öðrum Vestmannaeyjum ýtarlega með ofangreinda kenningu í huga. Ljóst er þó að nán tengsl eru milli stærðar eyjanna og fjölda ædplantna sem í þeim finnast. Allt bendir til að það endurspegli hægfara rof þeirra og niðurbrot fremur en upphaflega stærð og jafnvægi milli landnáms og útdauða. Við höfum enn ekki dæmi um að ædplöntur hafi dáið út í Surtsey eftir að þær námu þar land og komu sér fyrir. Aðeins eru dæmi um misheppnaðar tilraunir til landnáms, að einstaklingur af nýrri tegund finnst en hverfur innan eins árs eða tveggja án þess að ná þroska og fjölga sér.

Líklegt er að nýjar tegundir ædplantna finnst í Surtsey á næstu áratugum og að eitthvað fjölgi í flóru eyjarinnar áður en halla tekur að marki undan fæti. Roft Surtseyjar heldur hins vegar áfram og búsvæði hverfa. Gróður þéttist en tegundum fækkar. Lundi tók að gera sig heimakominn í hömrum í Surtsey árið 2004 og sást þar smjúga inn í glufur með síli í goggi. Hans hefur orðið vart í hömrunum síðan í flestum

árum og einnig hafa sést merki um að hann sé tekinn að þreifa fyrir sér uppi í graslendinu. Miklar líkur eru á að lunda stórfjölgí í eygni og að hann verði þar einkennisfugl þegar tímar líða. Ásamt fýl, máfum og fleiri sjófuglum má búast við að hann viðhaldi þar gróskumiklu graslendi líkt og í öðrum úteyjum Vestmannaeyjaklasans. Þær sýna glögggt hvað bíður Surtseyjar og lífríkis hennar.

SUMMARY

Surtsey Volcanic Island At Sixty: Vascular Plant Colonization and Ecosystem Development

Surtsey volcanic island rose out of the sea in the fall of 1963, formed in a volcanic eruption that lasted into the summer of 1967. It is the youngest island of the Vestmannaeyjar island archipelago off the south coast of Iceland. From 1964, colonization of life and ecosystem development has been studied on Surtsey. The colonization of vascular plants has been studied in greatest detail and annual records from the first finding in 1965 exist. In 2022 a total of 78 species had been recorded on the island, of those 63 species had living individuals and over 40 species had formed viable populations. Shore species were the first colonizers of the island, their seeds washed by the sea upon the northern shores. They are adapted to sandy, infertile substrates and able to establish under harsh conditions. Most of the shore species were successful and started spreading within the next few years. Following their establishment plant colonization slowed markedly down. In 1985, a dense breeding colony of seagulls (Lesser black-backed gull, Herring gull and Great black-backed gull) started to form on the southern part of the island. It was followed by a sharp increase in plant colonization. The birds dispersed new plant species to the island and improved soil conditions through their nutrient transfer from sea to land. Within the breeding area plant growth was greatly enhanced. This second wave of colonization continued for about two decades when it slowed down. However, colonization by new vascular plant species is still ongoing and the flora of Surtsey has become considerably richer than that of the other but smaller neighbouring islands. In the later years, the number of wind-dispersed species has

increased considerably. They are more nutrient demanding and some of them need fungal symbionts for establishing. These conditions and amelioration were brought about by the breeding seabirds (gulls and fulmars) upon the island. Our studies indicate that about 10% of the current vascular plant flora was dispersed by the sea to the island, 70% by birds and 20% by wind. All but few of the plant species of Surtsey are found on the other Vestmannaeyjar islands, the others on the mainland of Iceland.

Since 1990, plant succession has been studied in permanent vegetation plots on the island. The study has revealed a distinct difference between areas affected by the seagulls and those where their impacts are limited. Plant growth and succession has been determined by nutrient supply, mainly nitrogen and phosphorous. Seagulls and fulmars breeding upon the island transport nutrients from the sea to their colonies and greatly enrich the soil. Within their breeding grounds a dense, lush grassland has formed, expanding from year to year. It has become increasingly dominated by the long-lived rhizomatous grass species *Festuca richardsonii*, *Poa pratensis* and *Leymus arenarius* along with the herbs *Stellaria media* and *Tripleurospermum maritimum*, out-competing smaller ruderal species. The vegetation of these areas has now strong affinities with vegetation of bird colonies of the older, neighbouring islands. Besides the greening of Surtsey by the seabirds there are indications that grey seals breeding on the northern, lowland spit have enhanced vegetation growth in their hauling-out area. Vegetation of areas on Surtsey that are little affected by seabirds or seals is still very sparse. However, their vegetation cover and species richness is gradually increasing. Their characteristic species are *Honckenya peploides*, *Leymus arenarius*, *Silene maritima*, *Rumex acetosella* and *Arabis petraea*.

The increased breeding of seabirds on the island and transfer of nutrients from sea to land was followed by a jump in ecosystem development on the island. In the expanding and lush grassland vegetation, invertebrate life became richer and more diverse. In 1996, the first land bird, snow bunting

feeding its young on insects, was found breeding on the island. Few years later the insectivorous passerine species, meadow pipit and white wagtail, also started breeding. In 2002, a pair of greylag geese bred on the island, feeding within the grassland area. A raven started breeding on the island in 2006, sitting at the top of the food chain.

The erosion of Surtsey by the ocean continues. In 2021, more than half of the island had disappeared. Within the coming decades and centuries, it will take the shape and size of the neighbouring islands and its biota will become alike. A decline will occur; habitats on Surtsey will be lost along with many species. It is probable that puffin, currently found in limited numbers in the sea cliffs, will invade the expanding grassland of Surtsey and form a large breeding colony. This will have profound effects on succession and ecosystem processes on the island as within their colonies on the other Vestmannaeyjar islands.

PAKKIR

Í leiðöngnum til Surtseyjar í gegnum árin hefur verið dvalið í skála Surtseyjarfélagsins. Flutningur til eyjarinnar og frá hefur að mestu verið í höndum Landhelgisgæslunnar og Björgunarfélagsins í Vestmannaeyjum. Fjöldmargir hafa tekið þátt í rannsóknnum okkar eða aðstoðað við mælingar, meðal þeirra Ásrún Elmarsdóttir, Erling Ólafsson, Hafdis Hanna Ægisdóttir, Jón Guðmundsson, Kristín Svavarsdóttir, Matthías V. Alfreðsson, Niki Leblans, Sigmar Metúsalemsson, Starri Heiðmarsson og síðast en ekki síst Sturla Friðriksson (1922–2015) sem fór fyrir líffræðirannsóknnum í Surtsey um árabíl.

HEIMILDIR

- Ingvar Atli Sigurðsson & Sveinn P. Jakobsson 2009. Jarðsaga Vestmannaeyja. Bls. 14–27 í: Vestmannaeyjar (ritstj. Jón Viðar Sigurðsson). Árbók Ferðafélags Íslands, Reykjavík 2009.
- Sigurður Þórarinnsson 1965. Neðansjávargöng við Ísland. Náttúrufræðingurinn 35. 153–181.
- Sveinn P. Jakobsson & Guðmundur Guðmundsson 2003. Rof Surtseyjar: Mælingar 1967–2002 og framtíðarspá. Náttúrufræðingurinn 71. 138–144.
- Birgir Vilhelm Óskarsson, Kristján Jónasson, Guðmundur Valsson & Bel, J.M.C. 2020. Erosion and sedimentation in Surtsey island quantified from new DEMs. Surtsey Research 14. 63–77. <https://doi.org/10.33112/surtsey.14.5>
- Ólafur S. Ástþórsson, Ástþór Gíslason & Steingrímur Jónsson 2007. Climate variability and the Icelandic marine ecosystem. Deep-Sea Research 54. 2456–2477.
- Karl Gunnarsson 2007. Marine life. Bls. 39–43 í: Nomination of Surtsey for the UNESCO World Heritage List (ritstj. Snorri Baldursson & Álfheiður Ingadóttir). Náttúrufræðistofnun Íslands, Reykjavík.
- Jóhann Óli Hilmarsson 2009. Fuglalíf í Vestmannaeyjum. Bls. 28–73 í: Vestmannaeyjar (ritstj. Jón Viðar Sigurðsson). Árbók Ferðafélags Íslands, Reykjavík 2009.
- Náttúrufræðistofnun Íslands, óbirt gögn, gbif.org 2023. GBIF: Global Biodiversity Information Facility. Free and open access to biodiversity data.
- Sturla Friðriksson & Björn Johnsen 1967. The vascular flora of the outer Westman Islands. Rit Visindafélags Íslendinga 4(3). 37–67.
- Sturla Friðriksson, Bjartmar Sveinbjörnsson & Skúli Magnússon 1972. On the vegetation of Heimaey, Iceland. II. Surtsey Research Progress Report VI. 36–53.
- Borgþór Magnússon, Sigurður H. Magnússon, Erling Ólafsson & Bjarni Diðrik Sigurðsson 2014. Plant colonization, succession and ecosystem development on Surtsey with reference to neighbouring islands. Biogeosciences 11 5521–5537. <https://doi.org/10.5194/bg-11-5521-2014>
- Thornton, I. 2007. Island colonization. The origin and development of island communities. Ritstj. T. New. Cambridge University Press, Cambridge. 302 bls.
- Kristín Svavarsdóttir & Walker, L.R. 2009. The value of Surtsey for ecological research. Surtsey Research 12. 133–148.
- del Moral, R. & Borgþór Magnússon 2014. Surtsey and Mount St. Helens: A comparison of early succession rates. Biogeosciences 11. 2099–2111. <https://doi.org/10.5194/bg-11-2099-2014>
- Snorri Baldursson og Álfheiður Ingadóttir (ritstj.) 2007. Nomination of Surtsey for the UNESCO World Heritage List. Náttúrufræðistofnun Íslands, Reykjavík. 123 bls.
- Guðrún Nína Petersen & Trausti Jónsson 2020: The climate of Surtsey. Surtsey Research 14. 9–16. <https://doi.org/10.33112/surtsey.14.1>
- Eyþór Einarsson 2009. Friðlýsing Surtseyjar og aðdragandi hennar. Náttúrufræðingurinn 78. 77–80.
- Erling Ólafsson & Lovisa Ásbjörnsdóttir 2014. Surtsey í sjónmáli. Edda, Reykjavík. 224 bls.
- Eyþór Einarsson 1965. Report on dispersal of plants to Surtsey. Surtsey Research Progress Report I. 16–18.
- Sturla Friðriksson 1965. Biological records on Surtsey. Surtsey Research Progress Report I. 19–22.
- Sturla Friðriksson 1966. The pioneer species of vascular plants in Surtsey, *Cakile edentula*. Surtsey Research Progress Report II. 63–65.
- Sturla Friðriksson & Björn Johnsen 1968. The colonization of vascular plants on Surtsey in 1967. Surtsey Research Progress Report IV. 31–38.
- Pawel Wasowicz, Thorsteinsson, S., Borgþór Magnússon, Eyþór Einarsson, Valgeir Bjarnason, Ágúst H. Bjarnason, Jón Guðmundsson, Sigurður H. Richter, Ragnar Jónasson, Bjartmar Sveinbjörnsson & Skúli Þ. Magnússon 2020. Vascular plant colonisation of Surtsey Island (1965–1990) – a dataset. Biodiversity Data Journal 8. e54812. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e54812>
- Sigurður H. Magnússon, Pawel Wasowicz & Borgþór Magnússon 2022. Vascular plant colonisation, distribution and vegetation development on Surtsey during 1965–2015. Surtsey Research 15. 9–29. <https://doi.org/10.33112/surtsey.15.2>
- Sturla Friðriksson 1994. Surtsey. Lífríki í mótun. Hið íslenska náttúrufræðifélag og Surtseyjarfélagið, Reykjavík. 112 bls.
- Borgþór Magnússon & Sigurður H. Magnússon 2000. Vegetation succession on Surtsey, Iceland, during 1990–1998 under the influence of breeding gulls. Surtsey Research 11. 9–20.
- Bjarni D. Sigurðsson & Borgþór Magnússon 2010. Effects of seagulls on ecosystem respiration, soil nitrogen and vegetation cover on a pristine volcanic island, Surtsey, Iceland. Biogeosciences 7. 883–891. <https://doi.org/10.5194/bg-7-883-2010>
- Erling Ólafsson & María Ingimarsdóttir 2009. The land-invertebrate fauna on Surtsey during 2002–2006. Surtsey Research 12. 113–128.
- Leblans, N.I.W., Bjarni Diðrik Sigurðsson, Roefs, P., Thuys, R., Borgþór Magnússon & Janssens, I.A. 2014. Effects of seabird nitrogen input on biomass and carbon accumulation after 50 years of primary succession on a young volcanic island, Surtsey. Biogeosciences 11. 6237–6250. <https://doi.org/10.5194/bg-11-6237-2014>. zzz
- Viggó Marteinsonn, Klonowski, A., Eyjólfur Reynisson, Vannier, P., Bjarni D. Sigurðsson & Magnús Ólafsson 2015. Microbial colonization in diverse surface soil types in Surtsey and diversity analysis of its subsurface microbiota. Biogeosciences 12. 1–13. <https://doi.org/10.5194/bg-12-1191-2015>
- Ilieva-Makulec, K., Brynhildur Bjarnadóttir & Bjarni D. Sigurðsson 2015. Soil nematode communities on Surtsey, 50 years after the formation of the volcanic island. Icelandic Agricultural Sciences 28. 43–58. <https://dx.doi.org/10.16886/IAS.2015.05>
- Borgþór Magnússon, Guðmundur A. Guðmundsson, Sigmar Metúsalemsson & Sandra M. Granquist 2020. Seabirds and seals as drivers of plant succession on Surtsey. Surtsey Research 14. 115–130. <https://doi.org/10.33112/surtsey.14.10>
- Bjarni D. Sigurðsson, Kapinga, E.M. & Borgþór Magnússon 2022. Vegetation cover, gross photosynthesis and remotely sensed vegetation indices in different aged sub-arctic volcanic islands in the Vestmannaeyjar archipelago. Surtsey Research 15. 31–40. <https://doi.org/10.33112/surtsey.15.3>
- McCune, B. & Mefford, M.J. 2011. PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data. Version 6.08. MjM Software, Gleneden Beach.
- Borgþór Magnússon, Sigurður H. Magnússon & Jón Guðmundsson 1996. Gróðurframvinda í Surtsey. Búvísindi 10. 253–272.
- Pawel Wasowicz 2020. Annotated checklist of vascular plants of Iceland. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar nr. 57. Náttúrufræðistofnun Íslands, Garðabæ. doi: 10.33112/1027-832X.57
- Gunnlaugur Pétursson 2008. Skrá yfir íslenska fugla. 3. útg. Fylgirit með Blika 29.
- Ævar Petersen 2009. Formation of a bird community on a new island, Surtsey, Iceland. Surtsey Research 12. 133–148.
- Náttúrufræðistofnun Íslands 2022, 22.7. Surtseyjarleiðangur líffræðinga 2022. Á vefsetri stofnunarunnar, slóð: <https://www.ni.is/is/frettir/2022/07/surtseyjarleidangur-liffraed-inga-2022>
40. Davy, A.J. & Figueroa, M.E. 1993. The colonization of strandlines. Bls. 113–131 í: Primary succession on land (ritstj. J. Miles & D.W.H. Walton). Special publication nr. 12 of the British Ecological Society.
- Ellis, J.C. 2005. Marine birds on land: A review of plant biomass, species richness and community composition in seabird colonies. Plant Ecology. 181. 227–241.
- Aoyama, Y., Kawakami, K., & Chiba, S. 2012. Seabirds as adhesive seed dispersers of alien and native plants in the oceanic Ogasawara Islands, Japan, Biodiversity and Conservation 21. 2787–2801.
43. De La Peña-Lastra, S. 2021. Seabird droppings: Effects on a global and local level. Science of the Total Environment 754. 142148. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142148>
- Sturla Friðriksson 1975. Surtsey: Evolution of life on a volcanic island. Butterworths, London. 198 bls.
- Hattermann, D., Bernhard-Römmerman, M., Otte, A. & Eckstein, R.L. 2019. Geese are overlooked dispersal vectors for vascular plants in archipelago environments. Journal of Vegetation Science 30. 533–541. <https://doi.org/10.1111/jvs.12742>
- Wood, D.M. & del Moral, R. 1987. Mechanisms of early primary succession in subalpine habitats on Mount St. Helens. Ecology 68. 780–790.
- Bjarni D. Sigurðsson & Leblans, N.I.W. 2020. Availability of plant nutrients and pollutants in the young soils of Surtsey compared to the older Heimaey and Elliðaey volcanic islands. Surtsey Research 14. 91–98. <https://doi.org/10.33112/surtsey.14.8>
- Guðriður Gyða Eyjólfsdóttir 2009. Investigation of the fungi of Surtsey 2008. Surtsey Research 12. 105–111.

49. Wallander, H., Jumpponen, A. & Trappe, J. 2015. Mychorriza and primary succession. *Surtsey Research* 13. 49–51.
50. Persson, Å. 1964. The vegetation at the margin of the receding glacier Skaftafellsjökull, Southeastern Iceland. *Botaniska Notiser* 117. 323–354.
51. Olga Kolbrún Vilmundardóttir, Guðrún Gísladóttir & Lal, R. 2015. Soil carbon accretion along an age chronosequence formed by the retreat of the Skaftafellsjökull glacier, SE Iceland. *Geomorphology* 228. 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.08.030>
52. Bjarni Diðrik Sigurðsson, Starri Heiðmarsson, Hálfðán Björnsson & Eyþór Einarsson 2020. Gróðurframvinda á jökulskerjum í Breiðamerkurjökli í 80 ár. *Náttúrufræðingurinn* 90. 225–240.
53. Almeida, J.P., Jumpponen, A., Bjarni D. Sigurðsson, Bahr, A. & Wallander, H. 2022. Sequence-based identification of soil fungi in different habitats on Surtsey. *Surtsey Research* 15. 41–50. <https://doi.org/10.33112/surtsey.15.4>
54. Thornton, I. 1997. *Krakatau: The destruction and reassembly of an island ecosystem*. Harvard University Press, Cambridge. 346 bls.
55. Bateman, R.M., Sramkó, G. & Rudall, P.J. 2015. Floral miniaturization and autogamy in boreal-arctic plants are epitomized by Iceland's most frequent orchid *Platanthera hyperborea*. *PeerJ* 3:e894. <https://doi.org/10.7717/peerj.894>
56. Hörður Kristinsson, Jón Baldur Hlíðberg & Þóra Ellen Þórhallsdóttir 2018. Flóra Íslands. Blómplöntur og byrkingar. Vaka-Helgafell, Reykjavík. 741 bls.
57. Whittaker, R.J., Bush, M.B., Partomihardjo, T., Asquith, N.M. & Richards, K. 1992. Ecological aspects of plant colonization on the Krakatau islands. *GeoJournal* 28. 201–2011.
58. Partomihardjo, T., Mirmanto, E. & Whittaker, R.J. 1992. Anak Krakatau's vegetation and flora circa 1991 with observations on a decade of development and change. *GeoJournal* 28. 233–248.
59. Harrison, R.D., Banka, R., Thornton, I.W.B., & Shaahan, M. 2001. Colonization of an island volcano, Long Island, Papua New Guinea, and an emergent island, Motmot, in its caldera lake. II. The vascular flora. *Journal of Biogeography* 28. 1311–1337.
60. Sobey, D.G. & Kenworthy, J.B. 1979. The relationship between herring gulls and the vegetation of their breeding colonies. *Journal of Ecology* 67. 469–496.
61. Bancroft, W.J., Garkaklis, M.J., & Roberts, J.D. 2005. Burrow building in seabird colonies: A soil-forming process in island ecosystems. *Pedobiologia*, 49, 149–165.
62. Aerts, R., van Logtstijn, R.S.P., Leblans, N.I.W. & Bjarni Diðrik Sigurðsson 2020. Effects of sea birds and soil development on plant and soil nutritional parameters after 50 years of succession on Surtsey. *Surtsey Research* 14. 85–90. <https://doi.org/10.33112/surtsey.14.7>
63. De La Peña-Lastra, S., Gómez-Rodríguez, C., Pérez-Alberti, A., Torre, F. & Otero, X.L. 2021. Effects of a yellow legged gull (*Larus michahellis*) colony on soils and cliff vegetation in the Atlantic Islands of Galicia National Park (NW Spain). *Catena* 199. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.105115>
64. Turner-Meservy, C., Olga Kolbrún Vilmundardóttir, Lal, R. & Guðrún Gísladóttir 2022. Soil chemical properties in glacial moraines across a chronosequence influenced by avifauna and volcanic materials: Breiðamerkurjökull, Iceland. *Catena* 209(1–3). 105836. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105836>
65. Sigurlaug Sigurðardóttir, Bryndís Marteinsdóttir, Freydis Vigfúsdóttir & Olga Kolbrún Vilmundardóttir 2022. Effects of nutrient transfer by great skuas (*Stercorarius skua*) and arctic skuas (*Stercorarius parasiticus*) on vegetation and soil at Breiðamerkurjökull, SE-Iceland. *Surtsey Research* 15. 51–60. <https://doi.org/10.33112/surtsey.15.5>
66. Sekercioglu, C.H. 2006. Increasing awareness of avian ecological function. *Trends in Ecology and Evolution* 21, 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.05.007>
67. Óttar Geirsson 1999. Áburður á tún. *Handbók bænda* 49. 75–78.
68. Farina, J.M., Salazar, S., Wallem, K.P., Witman, J.D. & Ellis, J.C. 2003. Nutrient exchanges between marine and terrestrial ecosystems: The case of the Galapagos sea lion *Zalophus wollebaeckii*. *Journal of Animal Ecology* 72. 873–887.
69. Moss, B. 2017. Marine reptiles, birds and mammals and nutrient transfer among the seas and the land: An appraisal of current knowledge. *Journal of Experimental Biology and Ecology* 492. 63–80.
70. Bokhorst, S., Huiskes, A., Convey, P. & Aerts, R. 2007. External nutrient inputs into terrestrial ecosystems of the Falkland Islands and Maritime Antarctic region. *Polar Biology* 30. 1315–1321.
71. Erlingur Hauksson 2015. Observations on seals on the island of Surtsey in the period 1980–2012. *Surtsey Research* 13 41–43.
72. Sandra M. Granquist & Erlingur Hauksson 2019. Aerial census of Icelandic grey seal (*Halichoerus grypus*) population in 2017: Pup production, population estimate, trends and current status. *Haf- og vatnarannsóknir / Marine and Freshwater Research in Iceland (HV 2019-02)*. 19 bls.
73. Fedak, M.A. & Anderson, S.S. 1982. The energetics of lactation: Accurate measurements from a large wild mammal, the grey seal (*Halichoerus grypus*). *Journal of Zoology* 198. 473–479.74. Reilly, J.J. 1991. Adaptations to prolonged fasting in free-living weaned gray seal pups. *American Journal of Physiology* 260. 677–690.
74. Reilly, J.J. 1991. Adaptations to prolonged fasting in free-living weaned gray seal pups. *American Journal of Physiology* 260, 677–690.
75. Mellish, J.E., Iverson, S.J. & Bowen, W.D. 1999. Variation in milk production and lactation performance in Grey seals and consequences for pup growth and weaning characteristics. *Physiological and Biochemical Zoology* 72. 677–690.
76. Hanusch, M., He, X., Ruiz-Hernández, V. & Junker, R.R. 2022. Succession comprises a sequence of threshold-induced community assembly processes towards multidiversity. *Communications Biology* 5. 424. <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03372-2>
77. Leblans, N.I.W., Bjarni D. Sigurðsson, Aerts, R., Vicca, S., Borgþór Magnússon & Janssens, I.A. 2017. Icelandic grasslands as long-term C sinks under elevated organic N inputs. *Biogeochemistry* 134(3). 279–299. <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0362-5>
78. Hörður Kristinsson & Starri Heiðmarsson 2009. Colonization of lichens on Surtsey 1970–2006. *Surtsey Research* 12. 81–104.
79. Gróa Valgerður Ingimundardóttir, Cronberg, N. & Borgþór Magnússon 2022. Bryophytes of Surtsey, Iceland: Latest developments and a glimpse of the future. *Surtsey Research* 15. 61–87. <https://doi.org/10.33112/surtsey.15.6>
80. Borgþór Magnússon & Erling Ólafsson 2003. Fuglar og framvinda í Surtsey. *Fuglar. Ársrit Fuglaverndar*. 22–29.
81. Náttúrufræðistofnun Íslands 2021, 207. Surtseyjarleiðangur líffræðinga 2021. Á vefsetri stofnunarinnar. Slóð: www.ni.is/frettir/2021/07/surtseyjarleiðangur-liffraedinga-2021.
82. Borgþór Magnússon, Sigurður H. Magnússon & Sturla Friðriksson 2009. Developments in plant colonization on Surtsey during 1999–2008. *Surtsey Research* 12. 57–76.
83. MacArthur, R.H. & Wilson, E.O. 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17. 373–387.
84. MacArthur, R.H. & Wilson, E.O. 1967. *The theory of island biogeography*. London, Wiley. X 203 bls.
85. Berry, R.J. 2009. *The natural history of islands*. Collins, London. 384 bls.

UM HÖFUNDA



Borgþór Magnússon (f. 1952) lauk BS-prófi í líffræði við Háskóla Íslands árið 1976, MS-prófi í vistfræði við Aberdeen-háskóla 1979 og doktorsprófi í plöntu- og vistfræði (Ph.D.) við grasfræðideild Manitoba-háskóla 1986. Hann starfaði á Rannsóknastofnun landbúnaðarins 1986–2001 en eftir það við Náttúrufræðistofnun Íslands til ársins 2022 þegar hann fór á eftirlaun. Borgþór hefur m.a. stundað rannsóknir á áhrifum búfjárbeitar á gróður, vistfræði alaskalúpínu, endurheimt votlendis, lýsingu og kortlagningu vistgerða og umhverfisáhrifum miðlunarlóna. Hann hefur komið að rannsóknum í Surtsey frá árinu 1975.



Sigurður H. Magnússon (f. 1945) lauk BS-prófi í líffræði við Háskóla Íslands árið 1975 og Ph.D.-prófi í plöntu- og vistfræði við Háskólann í Lundi árið 1994. Á árunum 1987–1997 starfaði hann sem sérfræðingur hjá Rannsóknastofnun landbúnaðarins á Keldnaholti og hjá Náttúrufræðistofnun Íslands frá 1997 til 2017 þegar hann fór á eftirlaun. Viðfangsefni hans hafa verið margvisleg en tengjast mörg landnámi plantna og framvindu gróðurs. Viðamesta verkefnið sem Sigurður hefur unnið að á síðustu árum er hins vegar flokkun og kortlagning lands í vistgerðir. Hann hefur unnið að rannsóknum í Surtsey frá árinu 1988.



Pawel Wasowicz (f. 1981) lauk doktorsprófi í grasfræði árið 2010 við Slesíuháskólann í Katowice í Póllandi og starfaði eftir það við Varsjárháskóla. Hann hóf störf hjá Náttúrufræðistofnun Íslands árið 2012 og vannur að rannsóknum í grasfræði. Pawel hefur stundað rannsóknir í Surtsey frá árinu 2014.



Járngerður Grétarsdóttir (f. 1967) lauk BS-prófi í líffræði við Háskóla Íslands 1992 og cand. scient.-prófi í grasfræði við Björgvinjarháskóla árið 2002. Hún starfaði við Rannsóknarstöð Skógræktar ríkisins 1992–1997, við Rannsóknastofnun landbúnaðarins 2003–2005 og var lektor í plöntu- og vistfræði við Landbúnaðarháskóla Íslands 2005–2018. Frá 2018 hefur hún starfað við gróður- og rannsóknir hjá Náttúrufræðistofnun Íslands. Helstu rannsóknarefni hafa verið framvinda gróðurs og endurheimt og á síðustu árum kortlagning vistgerða og mælingar á þungmálum í mosum. Járngerður hefur unnið að rannsóknum í Surtsey frá árinu 2020.



Olga Kolbrún Vilmundardóttir (f. 1981) lauk BS-prófi í landfræði árið 2004 við Háskóla Íslands og doktorsprófi í landfræði árið 2015 við sama skóla. Á árunum 2005 til 2010 starfaði hún hjá Náttúrufræðistofnun Íslands, síðan við Háskóla Íslands frá 2015 til ársins 2018 en hóf þá aftur störf á Náttúrufræðistofnun. Helstu rannsóknarefni hennar hafa varðað gróðurframvindu og jarðvegsmyndun á ungu landi, gróður á jarðhitasvæðum og umhverfisbreytingar við miðlunarlón. Olga Kolbrún hefur unnið að rannsóknum í Surtsey frá árinu 2020.



Bjarni Diðrik Sigurðsson (f. 1966) lauk BS-prófi í líffræði við Háskóla Íslands árið 1993 og doktorsprófi (Ph.D.) í skógvistfræði/vistkerfisfræði við Landbúnaðarháskóla Svíþjóðar (SLU) í Uppsöllum árið 2001. Bjarni starfaði við Rannsóknastofnun landbúnaðarins 1993–1997 og síðar sem sérfræðingur við Rannsóknarstöð skógræktar á Mógilsá 2001–2005. Frá árinu 2005 hefur Bjarni gegnt stöðu prófessors í skógræði við Landbúnaðarháskóla Íslands. Hann hefur stundað rannsóknir í Surtsey frá árinu 2006.

Borgþór Magnússon | Þingási 31, 110 Reykjavík
borgthor.magnusson@gmail.com

Sigurður H. Magnússon | Högnastöðum 1,
845 Flúðum | sigurdurh@vortex.is

Pawel Wasowicz | Náttúrufræðistofnun Íslands
Borgum við Norðurslóð, 600 Akureyri
pawel.wasowicz@ni.is

Járngerður Grétarsdóttir
Náttúrufræðistofnun Íslands | Urriðaholtsstræti
6–8, 210 Garðabæ | jarngerdur@ni.is

Olga Kolbrún Vilmundardóttir
Náttúrufræðistofnun Íslands | Urriðaholtsstræti
6–8, 210 Garðabæ | olgakolbrun@ni.is

Bjarni Diðrik Sigurðsson | Landbúnaðarháskóla
Íslands | Keldnaholti, 112 Reykjavík | bjarni@lbhi.is

1. Viðauki. Tegundir æðplantna sem skráðar voru í Surtsey frá 1965 til 2021, röð og fundartími. Tegundir merktar með grænum lit voru taldir hafa myndað lífvænlega stofna í eynni sumarið 2021 eða fyrr. Þær höfðu breiðst út og fundust á a.m.k. fimm blettum. Nafngiftir samkvæmt plöntuskrá Pawels Waszcowicz frá 2020.³⁶ – Appendix 1. Species of vascular plants found on Surtsey during 1965 to 2021, periods and order of colonization. Species with green labelling had formed viable populations on the island in 2021 or earlier, had started propagating and were found at five sites or more. Nomenclature for vascular plants follows Waszcowicz 2020.³⁶

Tímabil og tegundir í landnámsröð Periods and species order of colonization			Tímabil og tegundir í landnámsröð Periods and species order of colonization		
1965–1974			1995–2004		
1	Fjörukál	<i>Cakile maritima</i> subsp. <i>islandica</i>	42	Mýrasef	<i>Juncus alpinoarticulatus</i>
2	Melgresi	<i>Leymus arenarius</i>	43	Grasvíðir	<i>Salix herbacea</i>
3	Fjöruarfi	<i>Honckenya peploides</i> subsp. <i>Diffusa</i>	44	Hvítmaðra	<i>Galium normanii</i>
4	Blálilja	<i>Mertensia maritima</i>	45	Tágamura	<i>Potentilla anserina</i>
5	Skarfakál	<i>Cochlearia islandica</i>	46	Ilmreyr	<i>Anthoxanthum nipponicum</i>
6	Haugarfi	<i>Stellaria media</i>	47	Skariffill	<i>Scorzoneroides autumnalis</i>
7	Tófugras	<i>Cystopteris fragilis</i>	48	Njóli	<i>Rumex longifolius</i>
8	Ætíhvönn	<i>Angelica archangelica</i>	49	Köldugras	<i>Polypodium vulgare</i>
9	Bjúgstör	<i>Carex maritima</i>	50	Axhæra	<i>Luzula spicata</i>
10	Varpafitjungur	<i>Puccinellia coarctata</i>	51	Gleym-mér-ei	<i>Myosotis arvensis</i>
11	Baldursbrá	<i>Tripleurospermum maritimum</i>	52	Gulvíðir	<i>Salix phylicifolia</i>
12	Túnvingull	<i>Festuca richardsonii</i>	53	Ólafssúra	<i>Oxyria digyna</i>
1975–1984			54	Loðvíðir	<i>Salix lanata</i>
13	Vegarfi	<i>Cerastium fontanum</i> subsp. <i>fontanum</i>	55	Augnfró	<i>Euphrasia wettsteinii</i>
14	Klóelfting	<i>Equisetum arvense</i>	56	Kattartunga	<i>Plantago maritima</i>
15	Holurt	<i>Silene uniflora</i>	57	Friggiargras	<i>Platanthera hyperborea</i>
16	Hrossanál	<i>Juncus arcticus</i>	58	Gulmaðra	<i>Galium verum</i>
17	Vallarsveifgras	<i>Poa pratensis</i>	59	Selgresi	<i>Plantago lanceolata</i>
18	Skammkrækil	<i>Sagina procumbens</i>	2005–2014		
19	Hélublaðka	<i>Atriplex</i> sp.	60	Blíðberg	<i>Thymus praecox</i> subsp. <i>arcticus</i>
20	Hundasúra	<i>Rumex acetosella</i>	61	Þúfusteinbrjótur	<i>Saxifraga cespitosa</i>
21	Melablóm	<i>Arabidopsis petraea</i>	62	Burnirót	<i>Rhodiola rosea</i>
1985–1994			63	Blávingull	<i>Festuca vivipara</i>
22	Geldingahnaður	<i>Armeria maritima</i>	64	Vallhumall	<i>Achillea millefolium</i>
23	Varpasveifgras	<i>Poa annua</i>	65	Háliðagras	<i>Alopecurus pratensis</i>
24	Skriðlíngresi	<i>Agrostis stolonifera</i>	66	Hálmgresi	<i>Calamagrostis neglecta</i> subsp. <i>groenlandica</i>
25	Mariustakkur	<i>Alchemilla filicaulis</i>	67	Prílaufungur	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>
26	Mýradúnurt	<i>Epilobium palustre</i>	68	Klappadúnurt	<i>Epilobium collinum</i>
27	Hjartarfi	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	69	Fjallavíðir	<i>Salix arctica</i>
28	Vallhæra	<i>Luzula multiflora</i>	70	Tungljurt	<i>Botrychium lunaria</i>
v	Túnffill	<i>Taraxacum</i> sp.	71	Skriðsóley	<i>Ranunculus repens</i>
30	Túnsúra	<i>Rumex acetosa</i>	72	Heiðadúnurt	<i>Epilobium hornemannii</i>
31	Blíðarfi	<i>Polygonum aviculare</i>	2015–2021		
32	Hálingresi	<i>Agrostis capillaris</i>	73	Ljónslappi	<i>Alchemilla alpina</i>
33	Hnjáliðagras	<i>Alopecurus geniculatus</i>	74	Stinnastör	<i>Carex bigelowii</i> subsp. <i>rigida</i>
34	Brennisóley	<i>Ranunculus subborealis</i>	75	Hóffífill	<i>Tussilago farfara</i>
35	Beringspundur	<i>Deschampsia cespitosa</i> subsp. <i>beringensis</i>	76	Mýrastör	<i>Carex nigra</i>
36	Krækilyng	<i>Empetrum nigrum</i>	77	Vætuðúnurt	<i>Epilobium ciliatum</i> subsp. <i>ciliatum</i>
37	Týtulíngresi	<i>Agrostis vinealis</i>	78	Grástör	<i>Carex flacca</i>
38	Fitjaskúfur	<i>Eleocharis quinqueflora</i>			
39	Vallarfoxgras	<i>Phleum pratense</i>			
40	Lækjargrýta	<i>Montia fontana</i>			
41	Blásveifgras	<i>Poa glauca</i>			