



Vöktun mosapembugróðurs við Hellisheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun

**Ágústa Helgadóttir, Ásta Eypórsdóttir
og Sigurður H. Magnússon**

Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur



Vöktun mosapembugróðurs við Helligheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun

Ágústa Helgadóttir, Ásta Eypórsdóttir og Sigurður H. Magnússon

Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur

NÍ-13007 Garðabær, desember 2013



NÁTTÚRUFRAEÐISTOFNUN ÍSLANDS

Mynd á kápu: Hellisheiðarvirkjun. Ljósmynd. Ágústa Helgadóttir, 22. okt. 2013.

ISSN 1670-0120

	Urriðaholtsstræti 6-8 Sími 590 0500 http://www.ni.is	212 Garðabæ Fax 590 0595 ni@ni.is Borgum við Norðurslóð Sími 460 0500 http://www.ni.is 602 Akureyri Fax 460 0501 nia@ni.is
Skýrsla nr. NI-13007	Dags, Mán, Ár Desember 2013	Dreifing Opin
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Vöktun mosapembugróðurs við Hellisheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun Monitoring of vegetation in the vicinity of the geothermal power plants at Hellisheiði and Nesjavellir, Iceland		Upplag 15 Fjöldi síðna 78 Kort / Mælikvarði Yfirlitskort 1:95000 Verknúmer 3992 Málsnúmer 2001040007
Höfundar Ágústa Helgadóttir, Ásta Eypórsdóttir og Sigurður H. Magnússon		
Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur		
Samvinnuaðilar		
Útdráttur <p>Eftir að jarðvarmavirkjanir á Nesjavöllum og við Hellisheiði tóku til starfa varð vart við nokkrar gróðurskemmdir í nágrenni þeirra. Að ósk Orkuveitu Reykjavíkur hóf Náttúrufræðistofnun Íslands sumarið 2012 vöktun á gróðri í nágrenni beggja virkjananna og er ætlunin að endurtaka mælingar á fimm ára fresti. Tilgangur vöktunarinnar er að kanna áhrif virkjananna á gróður í mosapembum og rannsaka breytingar með tíma. Til þess að meta ástand og mismunandi skemmdir á mosa var sýnum safnað af mosanum hraungambra í nágrenni virkjananna og þau skoðuð á rannsóknarstofu. Í kjölfarið var útbúinn sérstakur lykkill til greiningar á öllum helstu útlitseinkennum mosans, bæði heilbrigðum og skemmdum, alls 10 flokkar.</p> <p>Til vöktunar á gróðri voru valin hringlaga svæði, um 9 km í þvermál, við hvora virkjun. Út frá stöðvarhúsum virkjananna voru síðan lögð sjö 4 km löng snið, þrjú frá Nesjavallavirkjun en fjögur frá Hellisheiðarvirkjun. Á hvert snið voru lagðir út fastir vöktunareitir í 250, 500, 1000, 2000 og 4000 m fjarlægð frá stöðvarhúsi. Í hverjum reit var tíðni mismunandi mosaflokka ákvörðuð í átta (50×50 cm) römmum með samtals 800 (5×5 cm) smáreitum samkvæmt mosalyklinum og auk þess sem tíðni háplöntutegunda var metin og nákvæmar ljósmyndir teknar.</p> <p>Skemmdir á mosapembum komu fyrir við báðar virkjanir í mismiklum mæli. Í hverjum smáreit greindust víðast mosaskemmdir af nokkrum gerðum. Reiknuð var tíðni þar sem einungis heilbrigður mosi kom fyrir í smáreit. Niðurstöður sýndu að heilbrigður mosi var mun algengari í reitum við Hellisheiðarvirkjun (24%) en Nesjavallavirkjun (13%). Við Hellisheiðarvirkjun var hlutfall heilbrigðrar þekju mjög lágt næst virkjuninni en jókst yfirleitt í 500-1000 m fjarlægð, lækkaði síðan aftur í 2000 og 4000 m. Við Nesjavallavirkjun mældist hlutfall heilbrigðrar þekju alls staðar lágt nema í 1000 og 2000 m fjarlægð vestan við virkjunina.</p> <p>Skemmdir á mosa voru mjög misjafnar eftir stöðum, þó mun m eiri við Nesjavallavirkjun en Hellisheiðarvirkjun. Þær eru að hluta raktar til mengunar frá virkjununum. Ekki kom fram neitt ákveðið mynstur eftir fjarlægð eða stefnu. Mestu skemmdirnar voru bundnar við einstaka reiti sem voru ýmist næst virkjununum eða í 4 km fjarlægð. Í skýrslunni eru settar fram tilgátur og spár um þróun skemmda í mosapembum við virkjanirnar.</p>		
Lykilorð Hellisheiðarvirkjun, Nesjavallavirkjun, jarðvarmavirkjanir, vöktun, gróðurskemmdir, hraungambri, mosar, mosaskemmdir	Yfirfarið MH	

EFNISYFIRLIT

1 INNGANGUR	7
2 BAKGRUNNUR	9
2.1 Mosar	9
2.2 Hraungambri, <i>Racomitrium lanuginosum</i> [Hedw.] Brid.	9
2.2.1 Formfræði og lífeðlisfræði hraungambra	10
2.2.2 Rannsóknir hraungambra á Íslandi	11
2.3 Fyri rannsóknir á Hengilssvæði	11
2.4 Jarðvarmavirkjanir við Nesjavelli og Hellsheiði	11
3 AÐFERÐIR	12
3.1 Ástand mosapembna og gróðurmælingar	12
3.1.1 Mosalykill	13
3.2 Rannsóknasvæði	17
3.2.1 Veðurfar	17
3.3 Vettvangsmælingar	17
3.3.1 Verklag við staðsetningu og útlagningu reita	17
3.3.2 Ljósmyndir af reitum	18
3.3.3 Mælingar á mosapykkt	22
3.3.4 Söfnun mosasýna til efnagreininga	22
3.4 Úrvinnsla	22
4 NIÐURSTÖÐUR	23
4.1 Mosi við Hellsheiðarvirkjun	23
4.1.1 Mosapykkt	23
4.1.2 Mosaflokkar	23
4.2 Mosi við Nesjavallavirkjun	26
4.2.1 Mosapykkt	26
4.2.2 Mosaflokkar	26
4.3 Samanburður á ástandi mosa við Hellsheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun	27
4.3.1 Fjarlægð frá virkjun	27
4.3.2 Stefna frá virkjun	27
4.3.3 Heilbrigður mosi	27
4.3.4 Staðsetning og tíðni helstu mosaskemmda	28
4.4 Annar gróður	36
5 UMRÆÐA	39
5.1 Skemmdir á mosapembum skilgreindar	39
5.1.1 Tíðni mosaskemmda umhverfis jarðvarmavirkjanir	40
5.2 Gróður í mosapembum	41
5.3 Framtíðarhorfur	41
5.3.1 Framvinda og þróun skemmda í mosapembum	41
5.3.2 Frekari rannsóknir á mosapembum	43
6 LOKAORÐ	44

7 ÞAKKIR	44
8 HEIMILDIR	45
9 ABSTRACT	50
10 VIÐAUKAR	52
1. viðauki. Ljósmyndir af gróðri við Hellsheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun.	52
2. viðauki. Heildartíðni tegunda í vöktunareitum.	75
3. viðauki. Landfræðilegar upplýsingar um reiti.	77
4. viðauki. Fjöldi háplöntutegunda, mosabykkt og tíðni ástandsflokka hraungambra í reitum.	78

1 INNGANGUR

Á undanförunum áratugum hefur jarðvarmavirkjunum fjölgað hér á landi og starfsemi þeirra aukist verulega. Alls eru nú starfræktar sjö jarðvarmavirkjanir, þrjár á Norðurlandi; Kröfluvirkjun (60 MW), Bjarnarflag (3,2 MW), Húsavík (2 MW) og fjórar á Suðurlandi; Hellisheiðarvirkjun (303 MW), Nesjavallavirkjun (120 MW), Reykjanesvirkjun (100 MW) og Svartsengi (74,6 MW) (Orkustofnun). Við virkjun jarðvarma geta ýmis mengunarefni borist út í umhverfið bæði frá borholum á tilraunátíma og sem loftborin efni frá orkuverunum sjálfum eftir að rekstur hefst. Í jarðhitavökva getur m.a. verið brennisteinsvetni (H_2S), arsen (As), kvikasilfur (Hg), blý (Pb), kadmín (Cd) og sink (Zn) en í gufufasa brennisteinsvetni (H_2S), kvikasilfur (Hg) og bór (B) (Kristmannsdóttir og Ármannsson 2003). Virkjun jarðhita getur því haft áhrif á lífríki (Loppi o.fl. 2002, Loppi o.fl. 2006).

Við starfsemi sem líkleg er til að hafa veruleg áhrif á umhverfi er almennt talið mikilvægt að koma upp vandaðri og traustri vöktun þar sem fylgst er með vistfræðilegum áhrifum (Treweek 1999). Þótt ýmsar rannsóknir hafi verið gerðar vegna virkjunar jarðvarma hér á landi hefur kerfisbundinni langtíma vöktun á gróðri ekki verið komið á fót við jarðvarmavirkjanir. Í nágrenni virkjananna á Nesjavöllum og á Hellisheiði eru mosapembur ríkjandi í gróðurfari (Guðmundur Guðjónsson o.fl. 2005). Því má búast við að gróður þar geti breyst vegna efna sem frá virkjunum koma en margar mosategundir eru viðkvæmar fyrir loftborinni mengun (Bargagli o.fl. 1997, Loppi o.fl. 1999, Gonzáles-Miqueo o.fl. 2010, Sigurður H. Magnússon 2013).

Skoðun á mosapembum við Hellisheiðarvirkjun og orkuverið í Svartsengi árið 2008 gaf vísendingar um að skemmdir hefðu orðið á mosa í næsta nágrenni virkjananna og að líkur væru á að mengun væri um að kenna (Náttúrufræðistofnun Íslands 2008a, 2008b). Í kjölfarið ákvað Orkuveita Reykjavíkur að rannsaka málið nánar og fól verkfræðistofunni Eflu að gera úttekt á hraungambra og stinnastör við Hellisheiðarvirkjun. Markmiðið var að rannsaka styrk snefilefna í mosa og leggja mat á hvort efnin yllu skemmdum á honum eða hvort um náttúrlegt rof væri að ræða (EFLA verkfræðistofa 2009).

Helstu niðurstöður voru þær að áhrif jarðvarmavirkjunar við Hellisheiði væru sýnileg og mælanleg í hraungambra og stinnastör (EFLA verkfræðistofa 2009). Miklar skemmdir voru á mosapembum í nánasta nágrenni Hellisheiðarvirkjunar og voru þær áberandi móti ríkjandi úrkomuátt (austanátt). Skýrsluhöfundar töldu að skemmdir við Hellisheiðarvirkjun (<700 m) væru að hluta til vegna náttúrlegs rofs og að hluta vegna áhrifa virkjunarinnar. Hinsvegar gátu þeir ekki greint hvort skemmdir frá virkjuninni væru vegna efnamengunar eða hitaálags þar sem þolmörk hraungambra og stinnastarar gagnvart brennisteini (S) og þungmálmu væru ekki þekkt. Efnagreiningar Eflu bentu m.a. til að brennisteinn hefði safnast upp í stinnastör og hraungambra í næsta nágrenni Hellisheiðarvirkjunar samanborið við viðmiðunarsýni frá Bláfjöllum (14 km fjarlægð frá stöðvarhúsi Hellisheiðarvirkjunar) en þar voru einnig skemmdir að sjá, helst móti ríkjandi vindátt.

Efla rannsakaði einnig styrk þungmálma í Svartsengi og við Nesjavelli í nokkrum sýnum. Meðalstyrkur þungmálma var álíka hár við stöðvarhús Hellisheiðarvirkjunar og í Svartsengi en að jafnaði var styrkur þungmálma lægri við stöðvarhús Nesjavallavirkjunar. Tveir þungmálmar, kvikasilfur (Hg) og arsen (As), sýndu annað mynstur. Styrkur þeirra var töluvert hærri við stöðvarhús Nesjavallavirkjunar. Einnig var styrkur brennisteins fimmfalt hærri við stöðvarhús Nesjavallavirkjunar miðað við Hellisheiðarvirkjun (EFLA verkfræðistofa 2009, viðauki 7.3.3).

Eftir að stærsta virkjunin, Hellisheiðarvirkjun, tók til starfa hefur umhverfismengun frá jarðvarmavirkjunum verið mikið til umræðu í samfélaginu (Ólafur G. Flóvenz 2006, Egill Ólafsson 2012, Carbon Recycling International 2013). Til að viðhalda gæðum andrúmslofts og til að halda loftmengun af völdum brennisteinsvetnis í lágmarki gaf umhverfisráðherra út reglugerð í júní 2010 (Reglugerð um styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti nr. 514/2010). Þar eru heilsuverndarmörk brennisteinsvetnis á Íslandi ákveðin 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ að meðaltali miðað við 24 klukkustunda tímabil. Frá og með 1. júlí 2014 verður ekki leyfilegt að fara yfir þessi mörk. Eftir að kæliturnar voru settir upp við Nesjavallavirkjun hefur dregið úr styrk H_2S á orkuvinnslusvæðinu (Íris Þórarinsdóttir og Hólmfríður Sigurðardóttir 2012).

Hellisheiðarvirkjun er nú mun stærri en Nesjavallavirkjun og losar meira af jarðhitaloftegundum. Árið 2012 losaði Hellisheiðarvirkjun t.d. 16.880 tonn af H_2S en Nesjavallavirkjun 11.350 tonn (Íris Þórarinsdóttir og Hólmfríður Sigurðardóttir 2012). Að því gefnu að mosaskemmdir séu af völdum loftmengunar frá virkjununum má reikna með að þær verði töluvert meiri í nágrenni Hellisheiðarvirkjunar þegar til lengri tíma litið. Eftir stækkun Hellisheiðarvirkjunar árið 2008 var dreifing brennisteinsvetnis endurreiknuð (Vatnaskil 2010) til samanburðar við reglugerðarmörk um styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti sem tóku gildi í júlí 2010 (Reglugerð um styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti nr. 514/2010). Umhverfisstofnun fékk í kjölfarið tilskipun, sbr. 6. gr. reglugerðarinnar, um að vakta styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti frá staðbundinni uppsprettu mengunar og hefur Orkuveita Reykjavíkur séð um rekstur sjálfvirkra mælistöðva á nokkrum stöðum á Suðvesturlandi og eru niðurstöður birtar jafnóðum á vef Heilbrigðiseftirlits Suðurlands (Heilbrigðiseftirlit Suðurlands).

Á vormánuðunum árið 2012 fól Orkuveita Reykjavíkur Náttúrufræðistofnun Íslands að hefja langtímavöktun á mosapembum við Nesjavallavirkjun og Hellisheiðarvirkjun. Markmið vöktunarinnar er að kanna áhrif virkjananna á gróður í mosapembum og að meta breytingar sem kunna að verða með tíma. Fyrstu mælingar fóru fram sumarið 2012 en fyrirhugað er að endurtaka þær að fimm árum liðnum, þ.e. árið 2017.

Í þessari skýrslu er greint frá aðferðum við vöktunina og niðurstöðum sem fengust við fyrstu mælingar á gróðri. Leitast er við að svara eftirfarandi rannsóknaspurningum:

1. Hvert er ástand hraungambra, *Racomitrium lanuginosum*, og annars gróðurs í mosapembum í nágrenni jarðvarmavirkjana á Hellisheiði og Nesjavöllum? Er ástandið mismunandi eftir stefnu og fjarlægð frá virkjunum?
2. Eru merkjanlegar skemmdir í mosapembum og hvernig líta þær út?

Tegundaheiti háplantna eru í samræmi við *Íslenskt plöntutal: blómplöntur og byrkningar* (Hörður Kristinsson 2008), tegundaheiti mosa í samræmi við *Íslenskir mosar: skrár og viðbætur* (Bergþór Jóhannsson 2003) og tegundaheiti fléttna í samræmi við *Skrá yfir fléttur á Íslandi* (Hörður Kristinsson og Starri Heiðmarsson 2009).

2 BAKGRUNNUR

2.1 Mosar

Mosapembur eru yfirleitt mjög viðkvæmar fyrir raski. Þær láta undan við átroðning og erfitt er að græða sár sem í þær myndast, einkum vegna þess hve mosar eru hægvaxta. Mosar eru rótalausir og taka næringu að miklu leyti úr andrúmslofti með úrkomu og ryki sem á þá fellur. Rannsóknir hafa sýnt að mosar henta vel til að vakta ýmis loftborin efni og eru því m.a. notaðir til að fylgjast með styrk þungmálma í andrúmslofti og finna uppsprettur mengunar (Bargagli o.fl. 1997, Loppi o.fl. 1999, Gonzáles-Miqueo o.fl. 2010, Sigurður H. Magnússon 2013). Aðferðin er einföld og fremur ódýr og hefur henni verið beitt hér á landi til að fylgjast með þungmálmamengun í andrúmslofti. Niðurstöður rannsókna hafa m.a. sýnt fram á aukinn styrk nokkurra þungmálma í nágrenni iðjuvera (Sigurður H. Magnússon 2002a, 2002b og Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007a, 2007b, 2007c), einnig á jarðhitasvæðum og þar sem eldsumbrot hafa átt sér stað (Sigurður H. Magnússon 2013). Á svæðum með háum styrk mengandi efna verða mosar og fléttur oft fyrir verulegum áhrifum. Skemmdir geta orðið á gróðri og tegundasamsetning breyst (Vacek o.fl. 1999, Salemaa o.fl. 2001, Hultengren o.fl. 2004). Rannsóknir á Ítalíu hafa m.a. sýnt fram á uppsöfnun snefilefna í mosanum holtafana, *Hypnum cupressiforme*, í grennd við jarðvarmavirkjanir (Bargagli o.fl. 1997, Loppi o.fl. 1999). Þó hefur skemmdum á mosategundunum ekki verið lýst nákvæmlega.

2.2 Hraungambri, *Racomitrium lanuginosum* [Hedw.] Brid.

Hraungambri tilheyrir skeggmosaætt (Grimmiaceae) og er einn af algengustu og mest áberandi mosum á Íslandi (1. mynd). Hann er með fyrstu landnemum á nýjum hraunum og verður þar oft einráður, einkum á snjóléttum og úrkomusömum svæðum (Flóra Íslands), en á snjóþungum svæðum hverfur hann fljótt (Svanhildur Jónsdóttir Svane 1963). Í hraunum nær hraungambri mestum vexti og það sérstaklega á úrkomumiklum svæðum á Suður- og Suðvesturlandi þar sem mosinn myndar þéttar breiður sem setja svip á landslagið (Svanhildur Jónsdóttir Svane 1963). Einnig vex hann á klettum, í urðum, á þúfum í mýrum, í móum, á melum, í skriðum, á



1. mynd. Hraungambri, *Racomitrium lanuginosum*. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 4. júlí 2012.

klöppum og í kjarrlendi (Bergþór Jóhannsson 1993 og Svanhildur Jónsdóttir Svane 1963). Þar sem hraungambri er ríkjandi í gróðri á stórum svæðum landsins er hann líklega lykiltegund í gróðursamfélögum Íslands.

2.2.1 Formfræði og lífeðlisfræði hraungambra

Stönglar hraungambra eru uppréttir eða jarðlægir og er greinavöxtur breytilegur eftir búsvæðum (Tallis 1959) (2. mynd). Oft eru stönglarnir lítið greindir eða kvíslgreindir en stundum flatir með hliðstæðum greinaknippum (Bergþór Jóhannsson 1993). Mosinn getur myndað víðáttumiklar, þykkar og þéttar breiður eða mosapembur en einnig vex hann oft í smáum brúskum.

Vöxtur hraungambra er afar hægur. Í 400 m hæð yfir sjó í Wales var vaxtarhraði síðla sumars að meðaltali 8,9 mm á 20 vikna tímabili (Tallis 1959). Í Skotlandi var meðalvöxtur mosasprotta 3,7 mm frá maí til september í 1000 m hæð yfir sjó (Pearce og van der Wal 2002). Mosasprottar vaxa þétt og samsíða og er vöxtur þeirra háður úrkomu. Kjörhiti fyrir lengdarvöxt mosasprotta er við 8-10°C (Tallis 1959). Landslag og undirlag hefur einnig áhrif á landnám og vöxt hraungambra og hafa rannsóknir t.d. sýnt að hraungambri þrífst betur á vikri en mold (Magnea Magnúsdóttir 2010).

Blöð hraungambra eru smágerð og erfitt að greina einkenni þeirra með berum augum því þau eru aðeins 3-6 mm á lengd (Atherton o.fl. 2010). Þau eru mjólenusulaga eða langydd, oft einhliðasveigð á stöngulenda. Þurr blöð eru oftast aðlæg og bugðótt eða sveigð framan til (9. ljósmynd í 1. viðauka), rök eru blöð yfirleitt útstæðari. Blöðin bregðast afar hratt við rakabreytingum. Neðri hluti blaða er grænn en framhluti þeirra er litlaus og tenntur og mynda tennurnar gráhvítan hárodd á enda blaðsins. Hároddur er myndaður af blöðkunni og teygist niður með blaðröndinni. Hann er mislangur og getur verið jafnlangur og græni hlutinn. Á úrkomulitlum svæðum er hároddurinn oft hlutfallslega lengri en þar sem úrkoma er ríkuleg og því eru mosapembur oft gráleitari að sjá (Bergþór Jóhannsson 1993, Tallis 1959). Talið er að lengd hároddsins stjórnist af hormónaviðbrögðum mosans við umhverfispáttum eins og ljósi og raka (Tallis 1959). Rannsóknir Tallis (1959) sýndu að vöxtur hárodda var yfirleitt lítill snemma vors þegar ljós var takmarkandi og raki mikill.

Þurrar mosapembur hraungambra eru gráar eða grágrænar, stundum gráhvítar. Í raka eru þær grænar eða gulgrænar, gulbrúnar og jafnvel svartleitar (Bergþór Jóhannsson 1993). Athyglisvert er að Bergþór (1993) minnst á að mosinn geti verið svartleitur en aðrir mosafræðingar hafa ekki lýst honum þannig. Atherton og félagar (2010) lýsa lit mosans sem grágrænum og Tallis (1959) segir hann dauf-gulgrænan. Eflaust átti Bergþór við stöngla mosans sem geta verið mjög dökkir. Neðsti hluti mosans er brúnn eða svartur og eru stönglar með stuttum hliðargreinum (Bergþór Jóhannsson 1993). Dökkbrúnir eða svartir baugar í grænum mosabreiðum eru algengir á miðhálandinu og eru ýmist kallaðir nornabaugar eða mosabaugar (Helgi Hallgrímsson 1987,



2. mynd. Hraungambri, *Racomitrium lanuginosum*. Ljósmynd. Ágústa Helgadóttir, 4. júlí 2012.

Ingólfur Davíðsson 1961). Það er líklega sveppurinn fjallpeðla, *Psilocybe montana*, sem myndar þessa sérkennilegu bauga (Helgi Hallgrímsson 2010).

2.2.2 Rannsóknir hraungambra á Íslandi

Hér á landi var mosapembum lengi vel lítill gaumur gefinn í umhverfisrannsóknum en þembur eru sums staðar verulegur hluti gróðurlendis á áhrifasvæðum virkjana og stóriðjuvera. Rannsóknir á hraungambra mosapembum hafa aukist hér á landi á undanförunum árum. Á árunum 1951 og 1952 var útbreiðsla og tegundasamsetning þeirra könnuð á Íslandi (Svanhildur Jónsdóttir Svane 1963) og hefur gróðurframvinda í þeim m.a. verið rannsökuð í Hekluhraunum (Bjarnason 1991), Eldhrauni (Jóna Björk Jónsdóttir 2009) og á Skeiðarársandi (Bechberger o.fl. 2012). Rannsóknir á áhrifum loftlagsbreytinga á túndruvistkerfi við Þingvallahraun og á Auðkúluheiði hafa staðið yfir frá árinu 1995 (Jónsdóttir o.fl. 2005). Þar hefur hlutverk hraungambra í starfsemi túndruvistkerfa og samspil við háplöntur einnig verið kannað (Jónsdóttir o.fl. 1995, Helgadóttir o.fl. 2012). Einnig ber að nefna rannsóknir þar sem rannsakaðar hafa verið mismunandi leiðir til að fjölga hraungambra með mosabrotum á röskuðum svæðum (Magnea Magnúsdóttir 2010, Magnea Magnúsdóttir 2013, Magnea Magnúsdóttir og Ása L. Aradóttir 2011).

2.3 Fyrri rannsóknir á Hengilssvæði

Miklar rannsóknir hafa farið fram á Hengilssvæðinu. Á árunum 1947-1965 var unnið að grunnrannsóknum á sviði jarðfræði, vegna nýtingar jarðvarma (Gunnar Böðvarsson 1951, VGK 2000). Eftir 1980 hófust þar aftur miklar umhverfisrannsóknir vegna undirbúnings jarðvarmavirkjana á Nesjavöllum og við Hellisheiði.

Mat á umhverfisáhrifum fór fram á Hengilssvæðinu á árunum 2002-2003 vegna fyrirhugaðra virkjunarframkvæmda á Hellisheiði. Við matið var rannsakað landslag (Þóra Ellen Þórhallsdóttir 2002), gróðurfar (Rannveig Thoroddsen 2002), fuglalíf (Arnþór Garðarsson 2002) og smádýralíf (Iris Hansen og Jón S. Ólafsson 2002, Jón S. Ólafsson og Gísli Már Gíslason 2002). Á árunum 2005 til 2009 fóru fram frekari rannsóknir á fuglalífi á svæðinu og gróðurkort af svæðinu einnig endurskoðað (Guðmundur Guðjónsson o.fl. 2005, Guðmundur Guðjónsson og Kristbjörn Egilsson 2006, Guðmundur Guðjónsson o.fl. 2009). Megináherslur rannsókna á umhverfi Hellisheiðarvirkjunar og Nesjavallavirkjunar hafa því verið á dýralíf og háplöntusamfélag. Stærsta og víðáttumesta gróðurlendi á svæðinu er mosapemba þar sem mosinn hraungambri er ríkjandi. Árið 2005 var mosagróður talinn vera 69% af grónu landi eða 62 km² af rannsóknarsvæðinu sem var gróðurkortlagt á Hengilssvæði og Hellisheiði (Guðmundur Guðjónsson o.fl. 2005). Við úttekt á gróðurfari við Nesjavallavirkjun var getið um skemmdir á mosapembum vegna breytinga á gufustreymi í kjölfar borana (Kristbjörn Egilsson o.fl. 2000).

2.4 Jarðvarmavirkjanir við Nesjavelli og Hellisheiði

Nesjavallavirkjun er jarðvarmavirkjun sem framleiðir um 120 MW af raforku og um 300 MW af varmaorku. Framkvæmdir við virkjunina hófust árið 1987 þar sem orkuverið var byggt upp í áföngum. Árið 1990 var orkuverið formlega tekið í notkun og var þá útblæstri virkjunarinnar sleppt út um útblástursháf á stöðvarhúsinu, en eftir síðustu stækkunina árið 2003 var kæliturn með fjórum viftum tekinn í notkun. Hellisheiðarvirkjun var tekin í notkun árið 2006. Hún framleiddi þá 90 MW af raforku (t.d. Árni Ragnarsson 2006, mbl.is 2008) en var stækkuð í 213 MW árið 2008. Framleiðslugeta virkjunarinnar er nú um 300 MW af rafmagni og 133 MW af heitu vatni (Orkuveita Reykjavíkur a). Útblástur frá Hellisheiðarvirkjun kom frá tveimur kæliturnum árið 2010 (nr. 4 og 6) (Vatnaskil 2010) en eftir stækkun virkjunar kemur hann frá sex turnum. Tveir eru við Sleggjubeinsdal og fjórir við Reykjafell (Samsýn, loftmynd á ja.is, skoðuð 20. júní 2013).

Land í nágrenni virkjananna er víða raskað. Á loftmyndum má t.d. sjá mjög greinileg merki um jarðvegsrof, bæði af völdum vatns og vinda. Virkjanaframkvæmdir hafa einnig haft verulegt rask í för með sér. Borholur og borteigar eru nú dreifðir um allstórt svæði umhverfis virkjanirnar en þeim fylgir rask, m.a. vegna vegagerðar og útblásturs úr holum á prófunartíma. Frá borholum liggja langar safnæðar að skiljustöð sem aðskilur jarðhitavökvann í gufu og skiljuvatn. Við Nesjavelli hafa t.d. verið boraðar 27 borholur en við Hellisheiðarvirkjun 47. Þá hafa verið lagðar þar háspennulínur með tilheyrandi vegagerð sem hefur raskað gróðri auk þess sem sinkmengun frá háspennumöstrum hefur valdið nokkrum gróðurbreytingum við möstrin (Landsnet 2007).

Af öðrum áhrifum jarðvarmavirkjana má nefna lækkaða grunnvatnsstöðu, landsig, aukna jarðskjálftavirkni og losun ýmissa efna (m.a. H₂S, As, B, Hg, Pb, Cd, Fe, Zn, Li, Mn, NH₃ og Al) auk þess sem hiti og gufa geta haft staðbundin áhrif. Allir þessir þættir geta verið skaðlegir lífhvelinu (Kristmannsdóttir og Ármannsson 2003).

Á blásturstíma borhola getur mætt mjög á næsta umhverfi þeirra vegna hita, gufu og affallsvatns. Áhrif blásturs á gróður hafa verið meiri við Nesjavelli en á Hellisheiði en þar hafa borholur blásið mun lengur. Annars er blásturstími hola misjafn, allt frá 3-6 mánuðum upp í ár (VGK 2005). Þekkt er að staðbundin áhrif borteiga geta staðið yfir í lengri tíma, allt að þremur árum þar sem það er ekki hægt að prófa nema eina borholu í senn (VGK 2006). Þegar frá líður og holur hafa verið virkjaðar er það þó útblástur frá kæliturnum við stöðvarhúsin sem að jafnaði verður ríkjandi áhrifavaldur.

3 AÐFERÐIR

3.1 Ástand mosapembna og gróðurmælingar

Í júní 2012 var farinn forkönnunarleiðangur í Svínahraun og Svínahraunsbruna vestan við Hellisheiðarvirkjun. Þar var ástand mosapembu kannað og sýnum safnað af hraungambra mismunandi að útliti. Ástand sprota, blaða og hárodda mosans voru skoðuð í víðsjá og smásjá á rannsóknarstofu. Eftir ítarlega skoðun var útbúinn greiningarlykill með nokkrum flokkum sem voru taldir lýsandi fyrir ástand hraungambraþekju á svæðinu (kafli 3.1.1). Þegar rætt er um mosa, mosapembur eða mosaflokka í skýrslunni hér eftir er átt við mosategundina hraungambra, *Racomitrium lanuginosum*.

Mosalykillinn er þannig gerður að greiningareinkenni flokkanna sjást með berum augum ef rýnt er niður í svörð úr u.þ.b. 30-40 cm fjarlægð. Einkennin eru greinilegust þegar rakt er í veðri. Hinsvegar eru mosasprotar smágerðir og því er erfitt að greina hvort blöð og hároddar eru heilir eða ekki. Því er mikilvægt að hafa lúpu (stækkunargler) við greiningu.

Til þess að staðla ástandsflokkun hraungambra var ákveðið að vökva mosapækjuna með kranavatni úr úðabrusa fyrir greiningu og myndatöku. Eins og kemur fram í mosalykli eru sumir flokkarnir vart greinanlegir í þurrki og því er afar mikilvægt að væta mosann.

Ákveðið var að meta ástand mosapækju í 50×50 cm römmum samkvæmt mosalyklinum (kafli 3.3.1). Hverjum ramma var skipt niður í 100 smáreit (5×5 cm möskva) og var ástand mosapækju metið í hverjum smáreit með því að skrá tíðni mosaflokka. Útbúið var sérstakt númerakerfi fyrir smáreit rammans A1-10, B1-10 ... J1-10 (4. mynd). Í sumum tilvikum voru tveir eða fleiri mosaflokkar í hverjum smáreit. Því getur heildartíðni mosaflokka orðið yfir 100.

Tíðni háplantna, fléttna og annarra mosategunda en hraungambra var einnig skráð í hverjum smáreit, sem og yfirborðsgerð (áfoksjarðvegur, hraun, grjót, mól, sandur). Fléttur voru greindar til ættkvísla en háplöntur og mosar til tegunda að undantekinni mosættkvíslinni *Polytrichum*.

3.1.1 Mosalykill

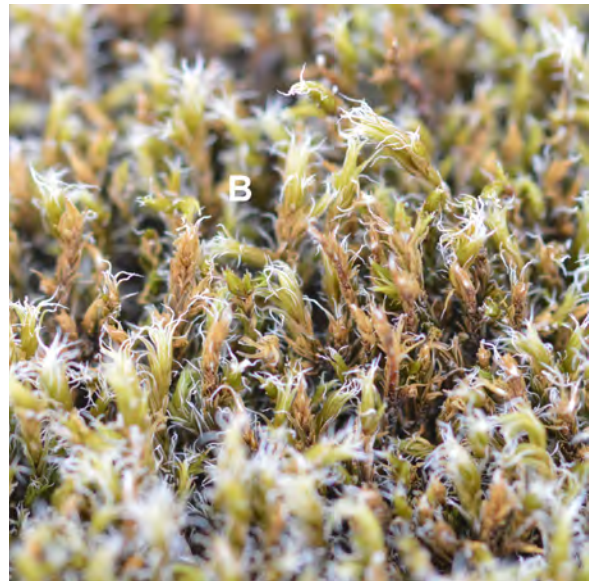
Eftir vandlega skoðun mosa á vettvangi og rannsóknastofu var gerður lykill til að greina mosaskemmdir.

1. Mosapækja er heil og samfelld

Heilbrigður mosi (A): Mosapækja er heilbrigð, samfelld og ber hvergi merki um röskun eða rof. Efsta lag hennar er samsett af ungum ljóstillífvandi mosasprotum. Blöð eru græn og jafnvel gulgræn þegar mosinn er rakur, en þurr er hann gráleitur. Hároddar blaða sjást vel, bæði við rakar og þurrar aðstæður. Blöð vaxa þétt og hvergi sést í eldri dökka stöngla í þekjunni (1.-3. ljósmynd í 1. viðauka).

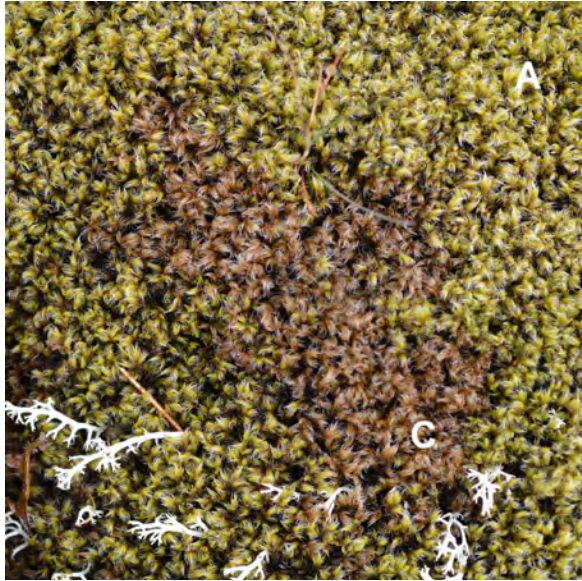


Grænn mosi (B): Mosapækja þessa flokks hefur tvenns konar útlit: 1) þekja sem lítur út fyrir að vera samfelld og heilbrigð (5-6. ljósmynd í 1. viðauka), 2) þekja sem sker sig úr að lit og myndar græna bletti (7-8. ljósmynd í 1. viðauka). Einkennandi fyrir síðari gerðina er að við nánari skoðun kemur í ljós að blöð yngstu stöngla eru skemmd. Þau eru yfirleitt án hárodda og jafnvel vantar meira en helming blaðenda (9. ljósmynd í 1. viðauka).



Bæði við þurrar og rakar aðstæður sést greinilega að sprotar eru frábrugðnir heilbrigðum mosa þar sem þeir eru fölblúngulir og blöð skemmd. Við rakar aðstæður er erfitt að greina á milli grænnar þekju og heilbrigðrar en í þurru veðri er greinilegur munur (7.-8. ljósmynd í 1. viðauka). Skemmdir koma fram sem hringlaga grænir blettir, ýmist flatir (8. ljósmynd í 1. viðauka) eða upphleyptir með nafla í miðju (7. ljósmynd í 1. viðauka). Í nafla er skemmd yfirleitt lengra gengin og flokkast sem D2.

Þessar skemmdir eru algengastar á örlitlum bungum í mosapembum innan um heilbrigðan mosa (4. ljósmynd í 1. viðauka).

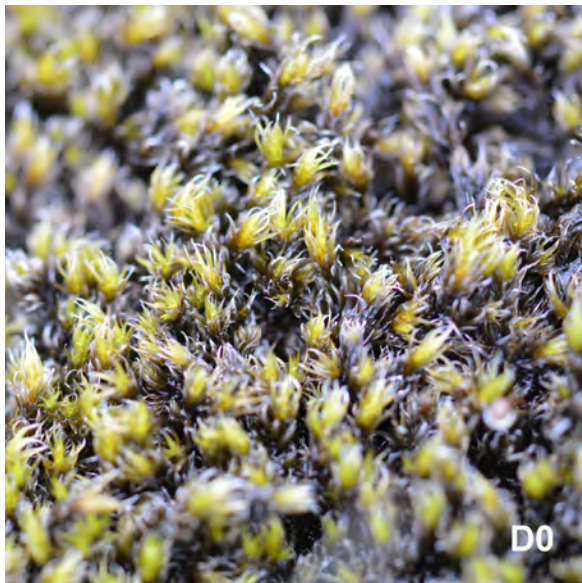


Gulur mosi (C): Blöð mosa eru fölblúngul að lit og virðast ekki mjög lífvænleg (10.-16. ljósmynd í 1. viðauka). Hároddar eru þó til staðar en eru styttri á yngstu sprotum. Við mikinn raka eru blöð dökkbrún og saman mynda þau dökkbrúnar skellur í heilbrigðri mosabembu (10. ljósmynd í 1. viðauka). Við þurrar aðstæður eru skellur ekki jafn áberandi (11. ljósmynd í 1. viðauka). Skemmdir eru aðallega í lægðum og í stærri dældum umhverfis mosabungur (16. ljósmynd í 1. viðauka).

2. Mosabekja er ósamfelld og/eða rofin

Svartur/svartgrænn mosi (D)

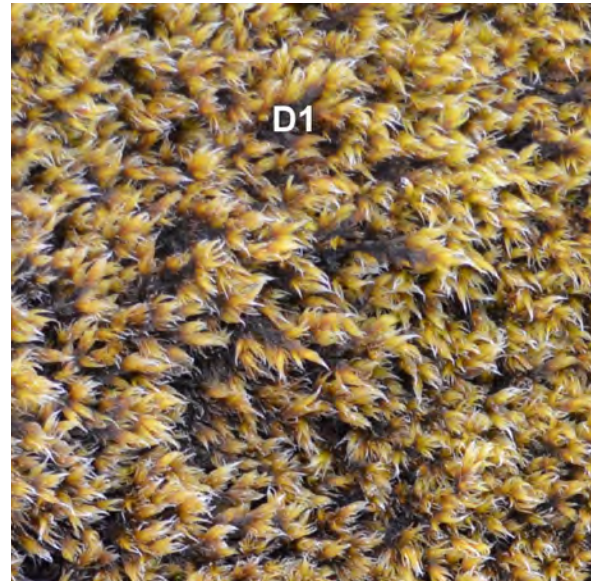
Úr augnhæð standandi manns er mosabekjan áberandi dekkri að lit (svört eða svartgræn) en eðlileg mosabekja við rakar aðstæður (t.d. 20. og 26. ljósmynd í 1. viðauka).



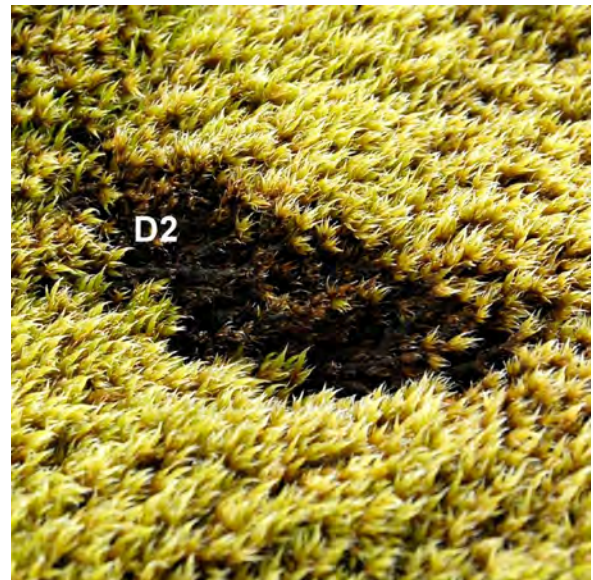
D0: Mosabekja sem er dökk yfir að líta, er samsett af grænum sprotum og dökkum eldri blaðhvirvingum. Þegar yngstu sprotar eru skoðaðir með stækkun sjást oft skemmdir á blöðum og sprotum (19. ljósmynd í 1. viðauka). Sums staðar hafa blöð eyðst alveg niður að blaðgrunni og hárodda vantar á einstaka blöð. Við rakar aðstæður eru skemmdir auðgreinanlegar en síður í þurrki. Þær eru einkum áberandi í lægðum og í stærri dældum umhverfis mosabungur (20. ljósmynd í 1. viðauka).

D1: Mosapækjan hefur gisnað og er örlítið yrfjótt. Mest ber á ungunum gulgrænum sprotum en á milli þeirra sést í eldri mosastöngla sem eru dökkbrúnir til svartir að lit. Blöð yngstu sprota eru yfirleitt dekkri að lit en á heilbrigðum mosa. Þetta sést varla við þurrar aðstæður (23. ljósmynd í 1. viðauka) en í röku veðri eru stönglarnir greinanlegir (22. og 24. ljósmynd í 1. viðauka). Finnst á mosabungum og í lægðum.

Flokkarnir D0 og D1 eru mjög líkir. Það sem skilur þá að er að D0 myndar nokkurn veginn samfellda þekju af dökkum til svartgráum sprotum (20. ljósmynd í 1. viðauka) en í D1 sést í einstaka dökka eldri mosastöngla í annars heilbrigðri mosapækju. Skemmdir á blöðum eru algengar í báðum flokkum.



D2: Heilbrigð mosapækja hefur skemmt og myndast hafa svartir blettir stærri en 2 cm að þvermáli (26.-31. ljósmynd í 1. viðauka). Í blettum ber mest á svörtum, blaðlitlum eða blaðlausum mosastönglum sem sumir eru mikið skemmdir (29. ljósmynd í 1. viðauka). Yfirleitt eru þeir grannir og kolsvartir, líkast því sem blöð hafi sviðnað við stöngul (30. ljósmynd í 1. viðauka). Umhverfis bletti eru D1-skemmdir en einnig heilbrigð blöð (A) (28. og 31.-32. ljósmynd í 1. viðauka). Skemmdir eru gráar við þurrar aðstæður og sjást illa (27. ljósmynd í 1. viðauka) en í raka eru þær dökkar eða svartar (26., 28. og 31. ljósmynd í 1. viðauka). Skemmdir í þessum flokki finnast bæði á bungum og í lægðum.



Brúnn mosi (E): Mosapækja er rofin þannig að stórir brúnir blettir hafa myndast (33.-39. ljósmynd í 1. viðauka). Í blettum ber mest á gömlum, yfirleitt dauðum, mosastönglum og hálfrotnuðum blöðum. Blettir eru brúnir í þurrki og breyta ekki um lit við vökvun (33. og 37. ljósmynd í 1. viðauka). Hvorki nýir sprotar né lífvænleg blöð eru sjáanleg í þekjunni. Sums staðar hefur þekjan rofnað niður í jarðveg.





Svartur mosi (F): Skemmdir finnast umhverfis díla af brúnum stönglum (E). Þetta eru yfirleitt eldri stönglar af lifandi mosastönglum umhverfis brúna díla (34. ljósmynd í 1. viðauka). Engir nýir sprotar eru sjáanlegir. Stönglarnir eru með eldri hærð blöð. Í heilbrigðri mosapembu sést ekki í þessar greinar fyrir ungum ljóstillífaði sprotum.

3. Mosapækjan er að mestu dauð, engir lifandi sprotar



Steingrár mosi (G): Mosinn er dauður og steingrár að lit. Engin merki eru um lifandi sprota. Yfirborð svipar helst til þess að mosinn hafi brunnið í eldi (42. ljósmynd í 1. viðauka). Svona skemmdir finnast einkum í grennd við borteiga, líklega af völdum heits vatns og/eða gufu (40.-50. ljósmynd í 1. viðauka).



Rauður mosi (H): Mosinn er að mestu dauður, ryðrauður að lit (52.-53. ljósmynd í 1. viðauka) með svörtum útfellingum eða kleprum á sprotum.

Við greiningu á ástandi hraungambra er mikilvægt að huga að þáttum eins og traðki eftir búfé og menn. Slíkt rask getur skilið eftir sig ummerki í mosapembunni og valdið rofi þar sem álag er mikið. Hengilsvæðið er mikið útivistarland og þar eru stikaðar margar gönguleiðir (Orkuveita Reykjavíkur b). Lausaganga sauðfjár er á svæði norðan Suðurlandsvegur en þar er beitarhólf (Norðurhólf) sem er afgirt frá Þjóðgarðinum á Þingvöllum og umhverfis Mosfellsheiði, suður með þjóðvegi 1. Sauðfjárnætur frá Mosfellsbæ, Reykjavík, Kópavogi, Þingvallasveit, Kjós, Grafningshreppi, Ölfusi og Hveragerði hafa aðgang að Norðurhólfi (Ólafur Dýrmundsson munnleg heimild 21. febrúar 2013). Þar ganga liðlega 5000 fjár að sumarlagi (Matvælastofnun 2013, Ólafur Dýrmundsson, munnleg heimild, 21. febrúar 2013).

Í mosalyklinum er ekki flokkur fyrir rask af völdum búfjár eða göngufólks. Ef slík ummerki sástu við reiti voru þau skráð í athugasemdir.

3.2 Rannsóknasvæði

Til þess að kanna ástand mosapembna við virkjanirnar tvær og fylgjast með breytingum sem kunna að verða með tíma voru valin tvö hringlaga svæði til rannsókna, eitt við hvora virkjun, með miðju í stöðvarhúsi virkjananna. Hvort svæði er um 9 km að þvermáli og eru svæðin því samtals tæplega 130 km² að flatarmáli. Rannsóknasvæðin eru á virku háhitasvæði við Hengilinn og ná yfir nokkur jarðhitakerfi frá Nesjavöllum til suðvesturs í Hveradali og Hverahlíð. Landslag einkennist af gosmyndunum eldstöðvarkerfisins með víðáttumiklum, mosavöxnum hraunbreiðum frá nútíma (<11.000 ára) og móbergshryggjum frá síðasta jökulskeiði (Kristján Sæmundsson 1995, 2003). Algengasta gróðurlendi á rannsóknarsvæðunum er mosapemba með hraungambra, *Racomitrium lanuginosum*. Á apalhraunum og bungum helluhrauna er hann yfirleitt einráður en í lægðum umhverfis bungur er gróður fjölbreyttari og háplöntur oft ríkjandi.

3.2.1 Veðurfar

Vindmælingar við Helligskarð á tólf ára tímabili (17. janúar 2001 til 31. desember 2012) sýna að algengast er að þar blási úr austri og austnorðaustri. Norðvestanáttir eru einnig algengar (Veðurstofa Íslands, gögn fengin 8. febrúar 2013). Nánari rannsóknir á veðurfari við Helligskarð sýna að ríkjandi vindáttir eru breytilegar eftir árstíma. Norðvestanáttir eru algengastar frá maí og fram í ágúst, vestsuðvestanáttir í nóvember og suðaustanáttir í desember. Alla aðra mánuði eru austan- og austnorðaustanáttir ríkjandi. Vindasamt er við Helligskarð, meðalársvindhraði er 7,5 m/sek, mesti vindhraði 28,2 m/sek og mestu vindhviður hafa mælst 39,4 m/sek (Þórður Arason og Torfi Karl Antonsson 2003). Mjög úrkomusamt er við Hengil. Við Nesjavelli var meðalársúrcoma 2836 mm á árabílinu 2001-2011 og 2293 mm við Helligskarð (Veðurstofa Íslands, gögn fengin 8. febrúar 2013). Ársmeðalhiti var 2,4°C (mældur frá apríl 2001 til mars 2002) og meðalhiti júlímánaðar 8,3°C (Þórður Arason og Torfi Karl Antonsson 2003). Hvorki voru fáanlegar lofthita- né vindmælingar fyrir Nesjavelli.

3.3 Vettvangsmælingar

3.3.1 Verklag við staðsetningu og útlagningu reita

Á rannsóknarsvæðunum voru lögð út snið með gróðurreitum í vaxandi fjarlægð frá hvorri virkjun. Við lagningu sniða var reynt að sneiða hjá mjög röskuðum svæðunum, svo sem helstu borsvæðum og vegum. Staðsetning sniða út frá kæliturnum virkjananna var einnig valin m.t.t. deiliskipulagsáætlana fyrir svæðin. Þetta var gert til að forðast svæði sem líklega verður raskað við frekari framkvæmdir og uppbyggingu á komandi árum, einkum við Helligheiðarvirkjun. Einnig var stuðst við loftmyndir og gróðurkort til að staðsetja útbreiðslu mosapembna sem koma þar nokkuð greinilega fram. Síðast en ekki síst var stuðst við dreifingarspá fyrir brennisteinsvetni á svæðinu (Hjalti Sigurjónsson 2007, Vatnaskil 2010).

Við staðsetningu reita töldum við mikilvægt að þeir yrðu lagðir út á einsleitum svæðum. Valdar voru mosavaxnar hraunbungur og gerðar eftirfarandi kröfur: 1) að hraungambri væri ríkjandi í gróðri og myndaði samfellda breiðu eða mosapembu, 2) að mosapykkt væri a.m.k. 10 cm og 3) að þekja háplantna væri lítil.

Við Hellisheiðarvirkjun voru lögð út fjögur snið út frá miðju stöðvarhúsi og var stefna þeirra S – SA – SV og NV. Við Nesjavallavirkjun voru þrjú snið lögð út og var stefna þeirra V – NA – og SA (3. mynd). Á hvert snið voru lagðir út fimm fastir reitir í um 250, 500, 1000, 2000 og 4000 m fjarlægð frá stöðvarhúsi. Undantekning var þó gerð við Hellisheiðarvirkjun þar sem reitir næst stöðvarhúsi voru sameinaðir fyrir snið. Þar hafa snið SA og S sameiginlega reiti við 250 og 500 m og snið NV og SV hafa sameiginlega reiti við 250, 500 og 1000 m. Við staðsetningu reita var leitað að einsleitum mosapembum á hverjum stað. Valin var af handahófi ein mosapemba ef margar komu til greina í hverri fjarlægð.

Hæð reita yfir sjávarmáli var mjög misjöfn, eða frá 250-395 m við Hellisheiðarvirkjun og 139-421 m við Nesjavallavirkjun (sjá nánar í viðauka 3). Stefna reita var einnig breytileg og bundin við landslag rannsóknarsvæðisins þar sem lögun hraunbungna markaði stefnu þeirra. Reitir voru því lagðir út fyrir miðju og langsum eftir hraunbungum.

Hver reitur var 20 m á lengd og var hann merktur með þremur tréhælum sem voru merktir virkjun, sniði, reit og staðsetningu í reit: 0 m, 10 m eða 20 m. GPS-hnit voru tekin við 0 m og 20 m hæl hvers reits. Milli upphafs- og endahæls var strengd nælonsnúra og málband lagt við hlið hennar. Út með snúrunni voru síðan lagðir átta 50×50 cm ramar með 2 m millibili. Hver rammi var merktur með rafmagnsrörum í hornum til að tryggja staðsetningu fyrir nákvæma endurmælingu. Allir ramar voru lagðir eins út, þ.e. vinstra megin við snúruna þegar horft var frá 0 m hæl að 20 m hæl (5. mynd).

3.3.2 Ljósmyndir af reitum

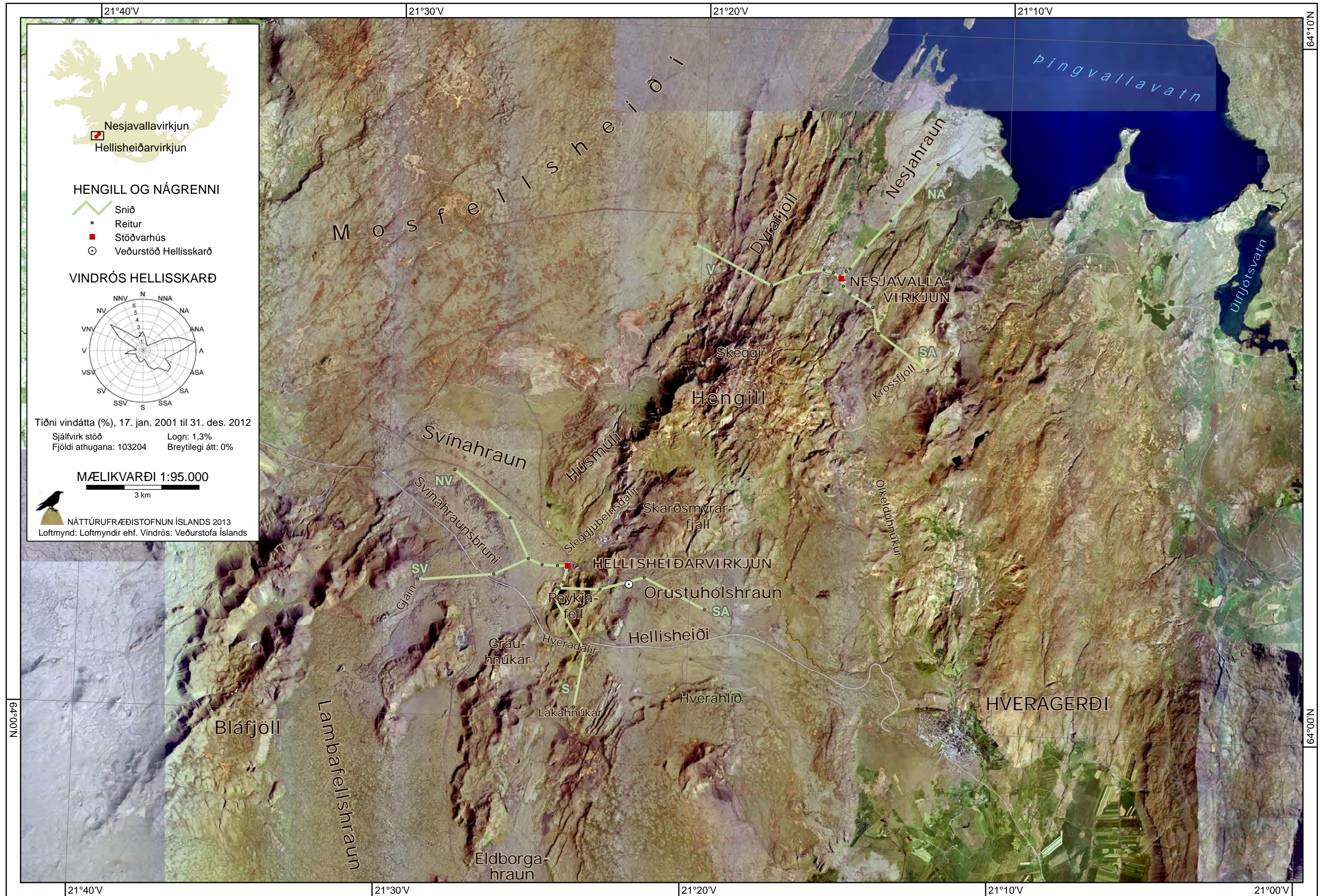
Mikil áhersla var lögð á að taka góðar ljósmyndir til að lýsa aðstæðum á hverjum stað. Við myndatökuna var notuð Nikon D3200 myndavél með AF-S Nikkor 18-55 mm linsu. Myndavélin var alltaf stillt á *Auto* og slökkt á hristuvörn (VR). Teknar voru yfirlitsmyndir af reitum og nærliggjandi umhverfi. Jafnframt voru allir átta ramar hvers reits myndaðir á staðlaðan hátt:

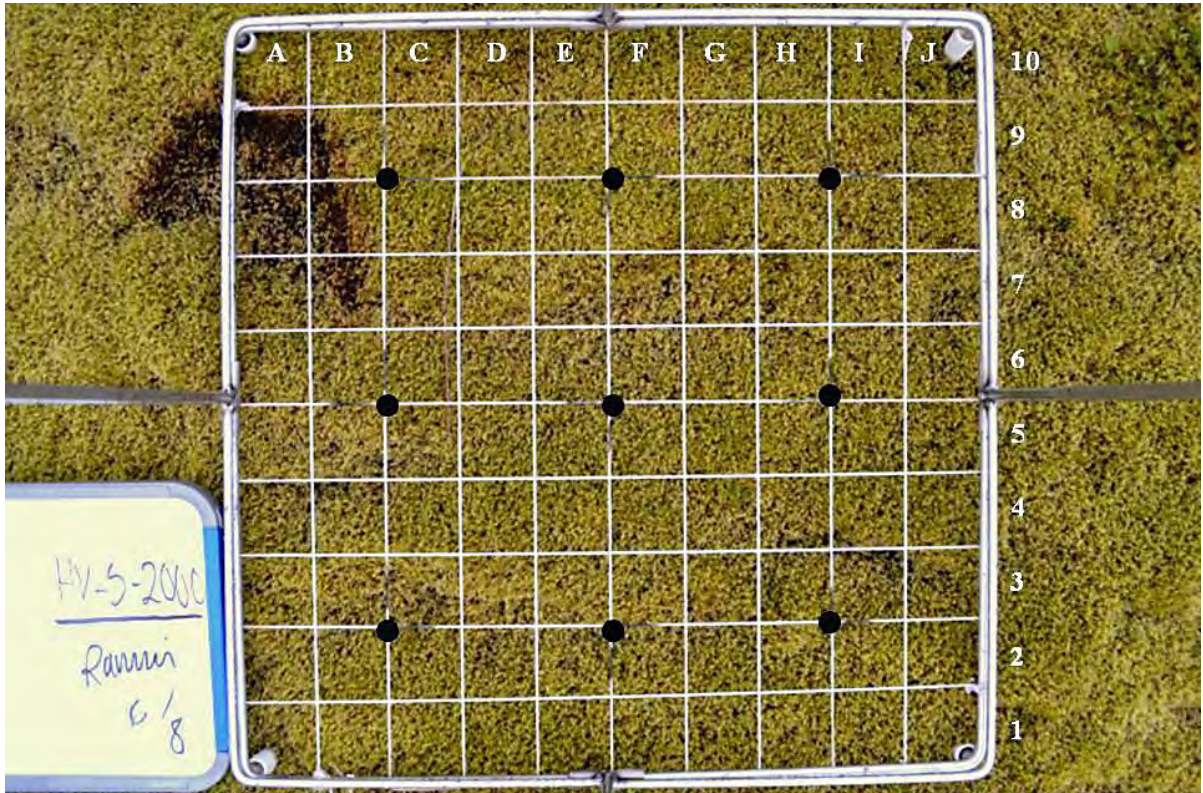
Yfirlitsmyndir: Eftir útlagningu reita voru yfirlitsmyndir teknar. Fyrsta yfirlitsmynd var tekin þremur skrefum frá 0 m hæl, með linsu stillta á 18 mm, yfir reitinn í átt að mælistiku sem var staðsett við 20 m hæl, síðan voru teknar myndir til beggja hliða út frá reitnum og frá sama stað með mælistiku í vinstra og hægra horni myndarinnar til að ná betri yfirsýn yfir svæðið. Sama aðferð var einnig notuð við yfirlitsmyndir frá 20 m hæl.

Myndir af römmum: Sérsmíðaður járnfótur fyrir myndavélina var notaður við nærmyndatöku rammanna. Var hann settur ofan á 50×50 cm rammann, linsan stillt á 18 mm og tímastillir með tíu sekúnda bið. Lítil tússtafla var notuð til að merkja reit og númer rammans fyrir hverja myndatöku. Var hún staðsett eins og ramminn var greindur við málbandið/snúruna (annaðhvort vinstra megin við A1 eða hægra megin við J1). Fyrir myndatöku var mosapækjan vökvuð með 250-300 ml af kranavatni úr úðabrusa.

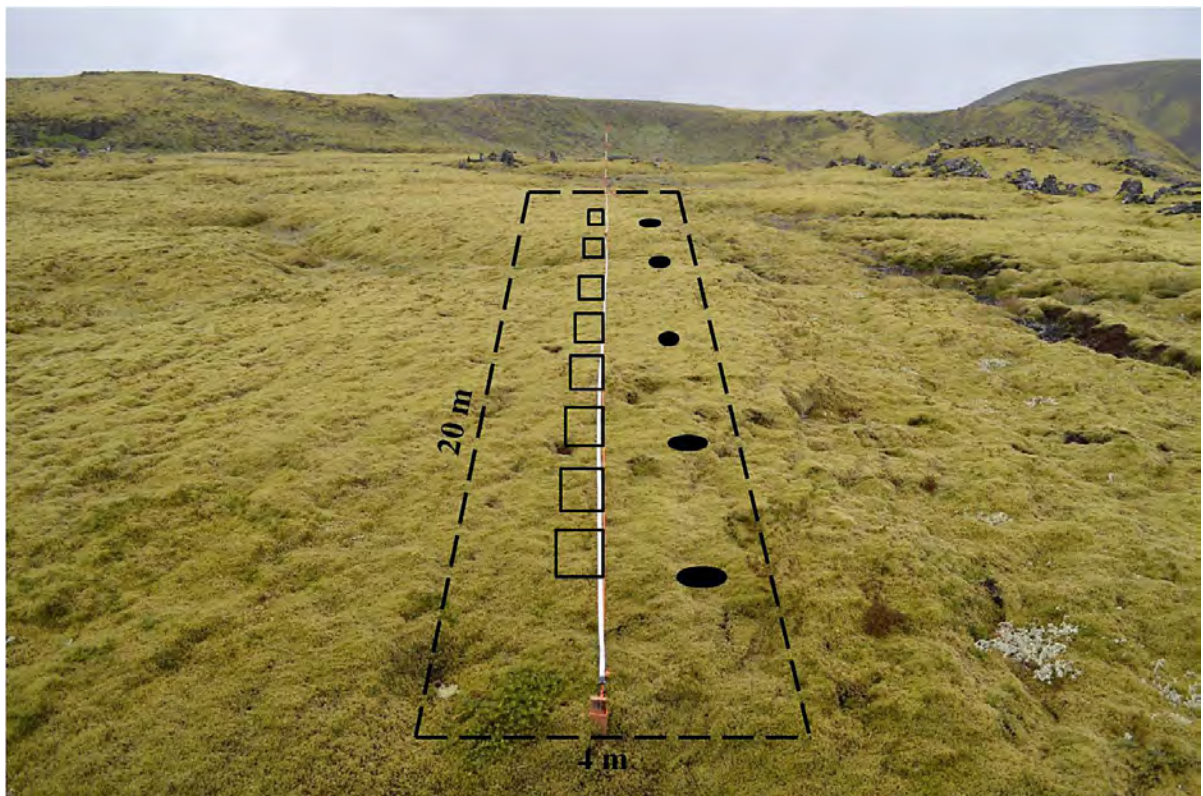
Til þess að afla upplýsinga um ástand háplantna voru teknar ljósmyndir af öllum algengustu tegundum, svo sem stinnastör, kornsúru, bláberjalyngi og krækilyngi (58.-69. ljósmynd í 1. viðauka). Leitað var að einkennandi sýni af öllum helstu mosaflokkum (B, C, D0, D1 og D2) sem var að finna í grennd við hvern reit. Þar var mosapækjan ljósmynduð og síðan var sérstöku mosasýni safnað úr þekjunni (sjá kafla 3.3.4).

Til hægri: 3. mynd. Yfirlit yfir rannsóknarsvæðin umhverfis Hellisheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun.





4. mynd. Skýringarmynd af uppsetningu ramma í reit. Ljósmyndin er af sjötta ramma í reit HV-S-2000 þar sem ástand mosabekju var metið. Níu svartir punktar sýna staðsetningu mosabykktarmælinga og hvítir stafir sýna númerakerfi smáreita. Mosaskemmd kemur fram í efra horni til vinstri. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 30. júlí 2012.



5. mynd. Yfirlit yfir reit HV-S-2000. Rammur er gróflega teiknaður inn á myndina. Svartir sporöskjulaga punktar sýna hvar mosasýni voru tekin. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 30. júlí 2012.

3.3.3 Mælingar á mosabykkt

Þykkt mosabembu var mæld í níu punktum í hverjum ramma (4. mynd). Til þess var notaður 30 cm langur pinni úr bambus, um 3 mm í þvermál. Var flata enda hans stungið lóðrétt í gegnum mosabembuna niður á jarðveg eða hraun. Pinninn reyndist hinsvegar of stuttur þegar komið var í reiti HV-SA-250 og 4000, HV-SV-2000 og 4000, HV-NV-500, 1000, 2000, NV-NA-250, 500, 1000, 4000, NV-V-500, 1000, 2000. Í þeim tilvikum sem pinninn var of stuttur var þykkt mosabembu skráð 30 cm+. Þegar leið á rannsóknatímann var notaður 60 cm langur pinni sem náði alls staðar í gegnum mosann.

3.3.4 Söfnun mosasýna til efnagreininga

Kerfisbundin söfnun á mosasýnum fór fram við hvern reit sem efnagreina má síðar ef þörf þykir. Fimm sýnum var safnað úr mosabreiðunni í hverjum reit í tveggja metra fjarlægð frá römmum (hægra megin séð frá 0 m hæl). Hvert sýni var handfylli eða mosaknippi úr efsta lagi þembunnar. Magn og stærð mosasýna var því breytilegt eftir þykkt og þéttleika mosabreiðunnar. Safnað var með 4 m millibili, við 2, 6, 10, 14 og 18 metra (5. mynd). Sýnum var safnað saman í bréfpoka og þau þurrkuð við herbergishita. Sýnin voru merkt reit og númerum 1 til 5. Þannig var nr. 1 safnað á 2 m, og nr. 2 á 6 m o.s.frv.

Einnig voru tekin aukasýni í grennd við reiti. Þá var leitað sérstaklega að mismunandi mosaflokkum og sýnin merkt A, B, C og D ásamt gerð mosaflokks. Teknar voru ljósmyndir af sýnunum áður en þeim var safnað (sjá kafla 3.3.2).

Mosasýnum var komið fyrir í þurri geymslu og þau gerð tiltæk til efnagreininga. Við vettvangsmælingar var reynt að valda sem minnstu raski á mosabembu við reiti. Þess var gætt að traðka ekki í reitum. Þegar þeir voru mældir var því lögð út hlíf sem kropið var á til að dreifa álagi.

Mælingar í reitum hófust 2. júlí og lauk 3. ágúst 2012 og tók vinnan alls 19 daga. Allar mælingar voru unnar af Ágústu Helgadóttur og Ástu Eyþórsdóttur.

3.4 Úrvinnsla

Miðgildi og meðaltal mosabykktar var reiknað fyrir hvern reit ($n=72$). Tíðni einstakra mosaflokka var reiknuð fyrir hvern ramma og meðaltíðni í reit síðan fundin sem meðaltal rammanna átta. Munur á tíðni algengustu mosaflokka (D1 og D2) milli reita var kannaður með einsþátta fervikagreiningu (ANOVA) og sömuleiðis munur reita við Hellisheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun. Til að kanna skilyrði greiningarinnar voru útlagar fundnir með kassariti (e. *boxplot*) og normaldreifing könnuð með Sharpio-Wilk prófi. Reyndist prófið marktækt var Welch's fervikagreining notuð. Eftir einsþátta fervikagreiningu var beitt Tukey prófi til að kanna marktækan mun á einstökum hópum. Að lokum var áhrifastærð (e. *effect size* ω^2) reiknuð fyrir einsþátta fervikagreiningu. Allur þessi samanburður var gerður með forritinu IBM SPSS Statistics 19 (IBM Corp. 2010).

Gróður í reitum var borinn saman með flokkun (e. *classification*) og hnitunargreiningu (e. *ordination*). Við flokkunina var notað forritið TWINSpan fyrir Windows, útgáfa 2.3 (Hill og Šmilauer 2005) og byggt á meðaltíðni tegunda (háplöntur, mosar, fléttur) í reitum. Notuð voru skurðgildin 0, 1, 2, 5, 10 og 20 en að öðru leyti voru notaðar sjálfgefna stillingar forritsins. Við hnitunargreininguna var notað forritið CANOCO, 5. útgáfa (ter Braak og Šmilauer 2012). Valin var DCA-aðferð (e. *Detrended Correspondence Analysis*) sem gefur möguleika á að finna gróðurfarslegan skyldleika reita og kanna jafnframt samband umhverfisþátta og gróðurs. Byggt var á tíðni háplöntutegunda í reitum og þeirra tegunda mosa og fléttna sem greindar voru en gildum \log_{10} -umbreytt fyrir greiningu. Valin var aðferð sem dregur úr vægi sjaldgæfra tegunda

en að öðru leyti voru notaðar sjálfgefna stillingar forritsins. Í greiningunni var kannað samband við 12 þætti. Þeir voru: fjarlægð frá virkjun, hæð yfir sjó, mosabykkt, fjöldi háplöntutegunda í reit og tíðni mismunandi mosaflokka (A, B, C, D0, D1, D2, E, F).

4 NIÐURSTÖÐUR

4.1 Mosi við Hellisheiðarvirkjun

4.1.1 Mosabykkt

Allir reitir við Hellisheiðarvirkjun uppfylltu sett skilyrði um mosabykkt (>10 cm). Lægsta miðgildi í reit var 16 cm (reitir NV-4000) en það hæsta 38 cm (reitir S-2000) (6. mynd). Flestir reitir voru á hraunbungum en tveir þeirra voru á úfnu apalhrauni (SV-2000 í Svínahraunsbruna og SV-250 í Hellisheiðarhrauni).

4.1.2 Mosaflokkar

Tíðni mosaflokka var afar breytileg á sniðum (7. mynd). Heilbrigðir mosasprotar (A) greindust í öllum reitum. Mosaflokkur B var algengur á sniði SA og S og með hæstu tíðni í 500 m fjarlægð frá virkjun. Mosa í flokki C var ekki að finna á sniðunum við Hellisheiðarvirkjun og aðeins lítilsháttar af flokki D0. Algengustu skemmdir á mosa tilheyrðu flokkum D1 og í minni mæli í D2. Flokkurinn E fannst eingöngu á einu sniði og lítilsháttar kom fram af mosa í flokknum F á þremur sniðum. Skemmdir G og H komu ekki fyrir á sniðum við Hellisheiðarvirkjun.

Hér á eftir er greint nánar frá niðurstöðum og hver mosaflokkur skoðaður sérstaklega út frá fjarlægð og stefnu frá Hellisheiðarvirkjun. Hafa ber í huga að 250 m og 500 m reitirnir á sniði SA eru sameiginlegir með sniði S og reitir 250 m, 500 m og 1000 m á sniði NV eru sameiginlegir með sniði SV (7. mynd).

Heilbrigður mosi (A)

Heilbrigðir mosasprotar voru til staðar í öllum reitum og í nánast öllum smáreitum. Meðaltíðni heilbrigðra mosasprota í reitum við Hellisheiðarvirkjun var álíka á öllum sniðum með meðaltíðni á bilinu 98-100. Enginn munur var á tíðni þessa flokks eftir stefnu. Reitir HV-SA-4000 sker sig frá öðrum þar sem meðaltíðni þar mældist örlítið lægri ($94,8 \pm 4,02$) en annars staðar (7. mynd - A).

Grænn mosi (B)

Skemmdir í flokki B voru til staðar í fjórum af fimmtán reitum við Hellisheiðarvirkjun (HV-SA/S-250 og SA/S-500, HV-S-1000 og HV-NV-4000). Hæsta tíðni græns mosa mældist í sameiginlegum reit SA og S sniða í 500 m fjarlægð frá virkjun og var meðaltíðnin á bilinu 0,4 til 31,5 (7. mynd - B). Tíðni B var ekki skráð við reit HV-SA-1000, því eftir mælingar á þeim reit var ákveðið að bæta mosaflokki B við mosalykilinn þar sem þessi skemmd hafði ekki fundist áður. Við endurmælingu á reit HV-SA-1000 þarf að taka tillit til þess að ekki náðist að mæla tíðni B. Skemmdin er þar til staðar í nokkrum mæli (6. ljósmynd í 1. viðauka).

Gulur mosi (C)

Gulur mosi var ekki til staðar í reitum við Hellisheiðarvirkjun sumarið 2012 (7. mynd - C). Hann fannst þó í grennd við nokkra reiti og voru þeir ljósmyndaðir og sýnum safnað af mosanum (10.-12. ljósmynd í 1. viðauka). Mosaflokkurinn var til staðar á stóru svæði í Orustuhólshrauni suðaustur af Hveradölum og Reykjafelli (13., 14. og 16. ljósmynd í 1. viðauka).

Svartur/svartgrænn mosi (D)

D0 var ekki algengur í reitum við Hellisheiðarvirkjun. Hann kom fyrir í þremur af fimmtán reitum og var meðaltíðnin lág (0,1-0,8) (7. mynd - D0).

D1 var algengasta mosaskemmdin. Hún fannst í öllum reitum við Hellisheiðarvirkjun og mældist með hæstu meðaltíðni mosaflokkanna (34,6-99,8). Tíðni D1 mældist hæst næst virkjun (250 m) og í 2000 og 4000 m fjarlægð, en lægst í 500 og 1000 m fjarlægð (7. mynd – D1). Einsþátta fervikagreining sýndi hins vegar ekki marktækan mun á meðaltíðni D1 eftir fjarlægð frá virkjun $F(4,10) = 2,648, p=0,096$.

D2 fannst í öllum reitum við Hellisheiðarvirkjun fyrir utan einn (HV-SA-1000). Meðaltíðnin mældist 0,5-15,3, hæst í 4000 m fjarlægð á sniðum SA og S (7. mynd – D2). Einsþátta fervikagreining sýndi ekki marktækan mun á meðaltíðni D2 eftir fjarlægð frá virkjun Welch's $F(4, 3,190) = 1,150, p=0,468$.

Brúnn mosi (E)

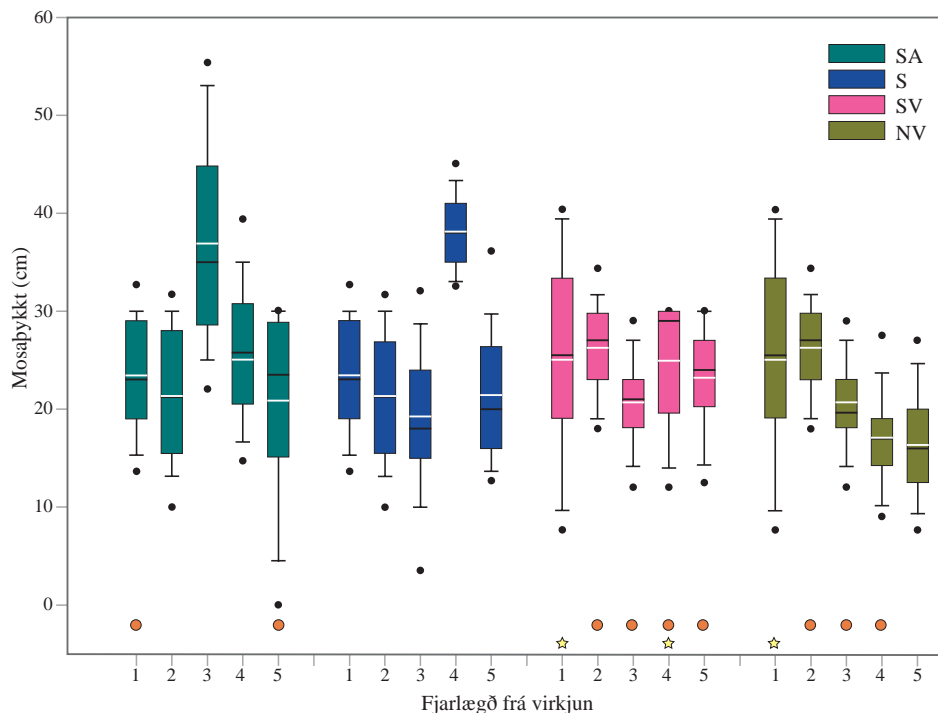
Brúnn mosi var einungis til staðar í einum reit (HV-S-4000) og mældist meðaltíðni $0,5 \pm 1,41$ ($n=8$) (7. mynd – E).

Svartur mosi (F)

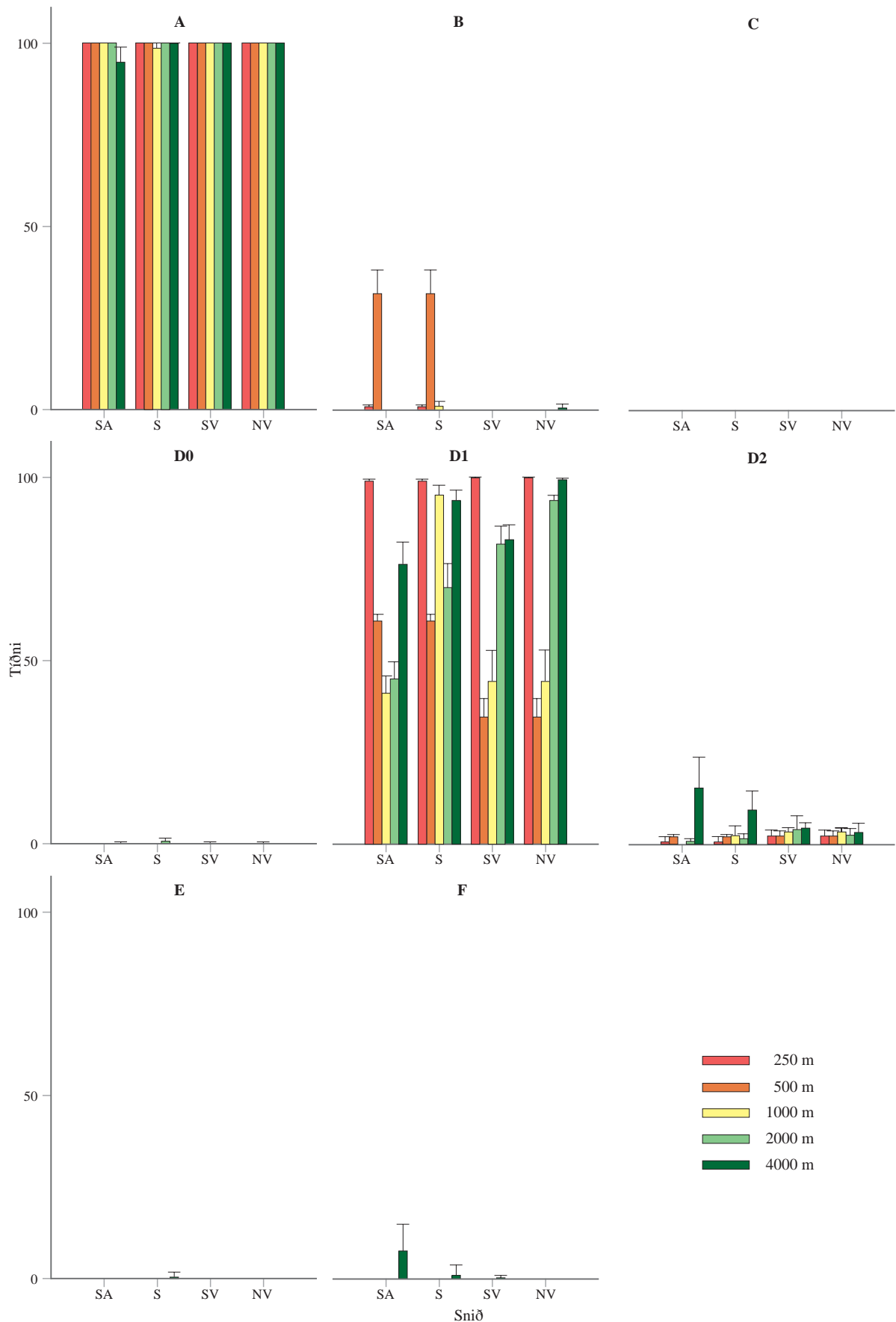
Svartur mosi kom fyrir í þremur reitum af fimmtán við Hellisheiðarvirkjun og mældist meðaltíðni hans 0,3-7,6, einungis í reitum í 2000 og 4000 m fjarlægð frá virkjun (7. mynd – F).

Steingrár mosi (G) og rauður mosi (H)

Skemmdir í mosaflokkum G og H voru ekki til staðar í reitum við Hellisheiðarvirkjun sumarið 2012. Steingrár mosi fannst þó á tiltölulega stóru svæði við öryggislosun við Húsmúla (40.-42. ljósmynd í 1. viðauka) og umhverfis borteiga við rætur Skarðsmýrarfjalls. Einnig á stóru svæði í Orustuhólshrauni suðaustur af Hveradölum og Reykjafelli (43.-50. ljósmynd í 1. viðauka). Þá fannst rauður mosi við reit HV-SA-1000 og var hann ljósmyndaður og sýni tekið af honum (52.-53. ljósmynd í 1. viðauka).



6. mynd. Mosapykkt í reitum á sniðunum fjórum við Hellisheiðarvirkjun sýnd með kassariti ásamt 95% öryggismörkum ($n=72$). Láréttar línur tákna miðgildi (hvít) og meðaltal (svört) mosapykktar. Fjarlægð frá virkjun er númeruð 1-5 og er 250, 500, 1000, 2000 og 4000 m. Í hringmerktum (●) reitum mældist mosapykkt >30 cm (kafla 3.3.3). Stjörnumerktir reitir (☆) eru á apalhrauni. Athuga ber að reitir í 250 og 500 m fjarlægð eru sameiginlegir sniðum SA og S og reitir í 250, 500 og 1000 m eru sameiginlegir sniðum SV og NV.



7. mynd. Meðaltíðni mosaflokka A, B, C, D0, D1, D2, E og F ásamt staðalskekkju (n=8) í reitum við Hellsheiðarvirkjun 2012. Bókstafir á x-ás gefa til kynna stefnu sniða en litur súlna fjarlægð frá virkjun. Athuga ber að reitir í 250 og 500 m fjarlægð eru sameiginlegir sniðum SA og S og reitir í 250, 500 og 1000 m eru sameiginlegir sniðum SV og NV.

4.2 Mosi við Nesjavallavirkjun

4.2.1 Mosabykkt

Allir reitir við Nesjavallavirkjun uppfylltu skilyrðin hvað varðar mosabykkt (>10 cm). Lægsta miðgildi var 10 cm (reitir NA-1000) en hæsta 30 cm (reitir V-2000) (8. mynd). Undirlag í reitunum var þó breytilegt. Níu reitir voru á apalhrauni og sex á helluhrauni (8. mynd).

4.2.2 Mosaflokkar

Tíðni mosaflokka í reitum umhverfis Nesjavallavirkjun var afar breytileg (9. mynd). Heilbrigðir mosasprotar (A) voru til staðar í öllum reitum. Lítilsháttar kom fram af flokkum B, C og D0. Algengustu mosaskemmdir tilheyrðu flokkum D1 og D2 en sá síðarnefndi mældist með hæstu tíðni næst virkjuninni. Lítilsháttar kom fram af mosa í flokki E suðaustur og vestur af virkjuninni en mosi í flokkum F, G og H mældist ekki í reitum. Hinsvegar fannst mosi í flokkum F og G innan rannsóknarsvæðisins. Hér á eftir er farið nánar í niðurstöður tíðnimælinga við Nesjavallavirkjun og hver flokkur skoðaður fyrir sig eftir fjarlægð og stefnu frá virkjun.

Heilbrigður mosi (A)

Heilbrigðir mosasprotar voru til staðar í öllum reitum og nánast öllum smáreitum. Meðaltíðni heilbrigðra mosasprota í reitum við Nesjavallavirkjun mældist 97,4-100,0 (9. mynd - A).

Grænn mosi (B)

Grænn mosi greindist í þremur reitum við Nesjavallavirkjun og mældist meðaltíðni mosaflokksins 0,4-10,4. Tíðni græns mosa mældist hæst á sniði SA, afar lág í V en hún fannst ekki á NA sniði (9. mynd - B).

Gulur mosi (C)

Gulur mosi mældist í fjórum reitum af fimmtán við Nesjavallavirkjun. Meðaltíðni mosaskemmdanna var mjög lág (0,1-2,6) (9. mynd - C). Gulur mosi var til staðar á öllum sniðum við Nesjavallavirkjun en kom oftast fyrir á sniði SA þar sem hann mældist með hæstu tíðni í 250 m fjarlægð frá virkjuninni ($2,6 \pm 7,42$, $n=8$).

Svartur/svartgrænn mosi (D)

D0 mældist í þremur reitum af fimmtán við Nesjavallavirkjun, á tveimur sniðum, SA og V. Meðaltíðni skemmdanna var 0,1-4,3 (9. mynd – D0).

D1 mældist í öllum fimmtán reitum umhverfis Nesjavallavirkjun. Meðaltíðnin mældist hæst á sniðum NA og SA (á bilinu 80,3 til 100,0) (9. mynd – D1). Lág tíðni D1 mældist við 1000 og 2000 m fjarlægð á sniðum NA og V. Welch's ferveikagreining sýndi hinsvegar ekki marktækan mun á meðaltíðni eftir fjarlægð frá virkjun Welch's $F(4, 4,715)=0,579$; $p=0,693$.

D2 var til staðar í öllum fimmtán reitunum við Nesjavallavirkjun. Meðaltíðni var 1,3-21,5 (9. mynd – D2) og mældist tíðnin hæst NA og SA af virkjuninni. Eftirtektarvert er að tíðni D2 mældist hæst næst virkjun við 250 m, eftir það fór hún lækkandi að 1000 m en jókst svo aftur við 2000 og 4000 m fjarlægð frá virkjuninni. Einsþátta ferveikagreining sýndi marktækan mun á meðaltíðni D2 eftir fjarlægð frá virkjun $F(4,10) = 9,269$, $p<0,05$, $\omega^2=0,69$. Meðaltíðni skemmda var hæst næst virkjun við 250 m ($18,7 \pm 2,07$) og fór minnkandi við 500 m ($9,2 \pm 0,41$) og 1000 m ($4,3 \pm 1,54$) en jókst við 2000 m ($9,5 \pm 2,27$) og 4000 m ($11,0 \pm 1,61$). Tukeys post-hoc greining leiddi í ljós að miðað við 250 m var meðaltíðni mosans marktækt lægri í 500, 1000, 2000 m fjarlægð frá virkjuninni (250 m og 500 m ($-9,46$, 95% CI (-17,41 til -1,51)) $p=0,019$, 250 m og 1000 m ($-14,38$, 95% CI (-22,33 til -6,43)) $p=0,001$, 250 m og 2000 m ($-9,17$, 95% CI (-17,12 til -1,22)) $p=0,023$).

Brúnn mosi (E)

Brúnn mosi mældist í fimm reitum við Nesjavallavirkjun með meðaltíðni á bilinu 0,4-5,8 á sniði SA og V. Hann mældist ekki á sniði NA (9. mynd - E). Tíðni mosans mældist hæst SA af virkjuninni.

Svartur mosi (F), steingrár mosi (G) og rauður mosi (H)

Þessir mosaflokkar komu ekki fram í reitum við Nesjavallavirkjun sumarið 2012. Hinsvegar fannst grár mosi í grennd við reit NV-NA-250.

4.3 Samanburður á ástandi mosa við Hellisheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun

Til að bera saman tíðni mosaflokka umhverfis báðar virkjanirnar var meðaltíðni fyrir hvora virkjun reiknuð annarsvegar fyrir hverja fjarlægð (10. mynd) og hinsvegar fyrir hvert snið (11. mynd) fyrir alla mosaflokka sem greindust í reitum sumarið 2012. Á báðum myndum sést greinilega að flestir flokkar sem gefa til kynna skemmdir á mosa (B-F) mældust með hærri tíðni við Nesjavallavirkjun en Hellisheiðarvirkjun. Mestu skemmdirnar sem tilheyra flokkum C, D0, D2, og E mældust allar með hærri tíðni við Nesjavallavirkjun. Mosaflokkur B var þó með hærri tíðni við Hellisheiðarvirkjun.

4.3.1 Fjarlægð frá virkjun

Þegar meðaltíðni mosaflokka er skoðuð einungis m.t.t. fjarlægðar frá virkjun (10. mynd) kemur fram athyglisvert mynstur í flokki D1 við Hellisheiðarvirkjun og D1 og D2 við Nesjavallavirkjun. Í þessum flokkum mælist tíðnin hæst næst báðum virkjunum, fer síðan lækkandi en hækkar aftur er fjær dregur.

4.3.2 Stefna frá virkjun

Yfirleitt var frekar lítil munur á tíðni mosaflokka eftir sniðum enda var að jafnaði mikill munur á reitum innan sniðs (11. mynd). Það var helst flokkur D1 sem var ólíkur milli sniða. Við Hellisheiðarvirkjun var tíðni hans einna hæst suður (snið S) og norðvestur (snið NV) af virkjuninni en lægst suðaustan hennar (snið SA). Við Nesjavallavirkjun var tíðni D1 hæst norðaustur (snið NA) og suðaustur (snið SA) af virkjuninni en einna lægst á vestursniði (V).

4.3.3 Heilbrigður mosi

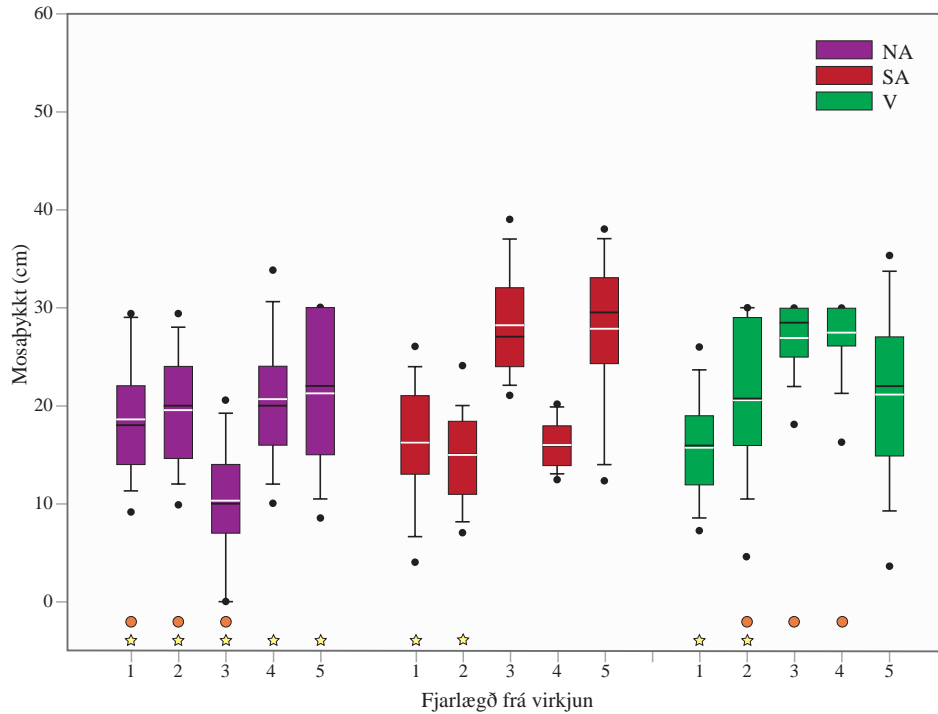
Til að fá upplýsingar um magn heilbrigðrar mosapækju (flokkur A) var tíðni hennar skoðuð nánar, þ.e. þar sem eingöngu fannst heilbrigður mosi í smáreit (12. mynd). Eins og áður hefur komið fram þá geta nokkrir flokkar verið til staðar í hverjum smáreit. Með þessu teljum við að unnt sé að áætla heilbrigða og óskemmda mosapækju hraungambra í reitunum.

Niðurstöður sýna að meðalhlutfall heilbrigðs mosa var þegar á heildina er litið mun herra við Hellisheiðarvirkjun (24,2%) en við Nesjavallavirkjun (12,7%). Við Hellisheiðarvirkjun mældist hlutfall heilbrigðrar þekju alls staðar mjög lágt næst virkjuninni en jókst yfirleitt í um 60% í 500-1000 m fjarlægð en lækkaði síðan aftur í 2000 og 4000 m. Einna minnst var um heilbrigðan mosa í suðurátt frá virkjuninni. Við Nesjavallavirkjun mældist hlutfall heilbrigðrar þekju alls staðar mjög lágt nema í 1000 og 2000 m fjarlægð frá virkjuninni á vestursniði (12. mynd).

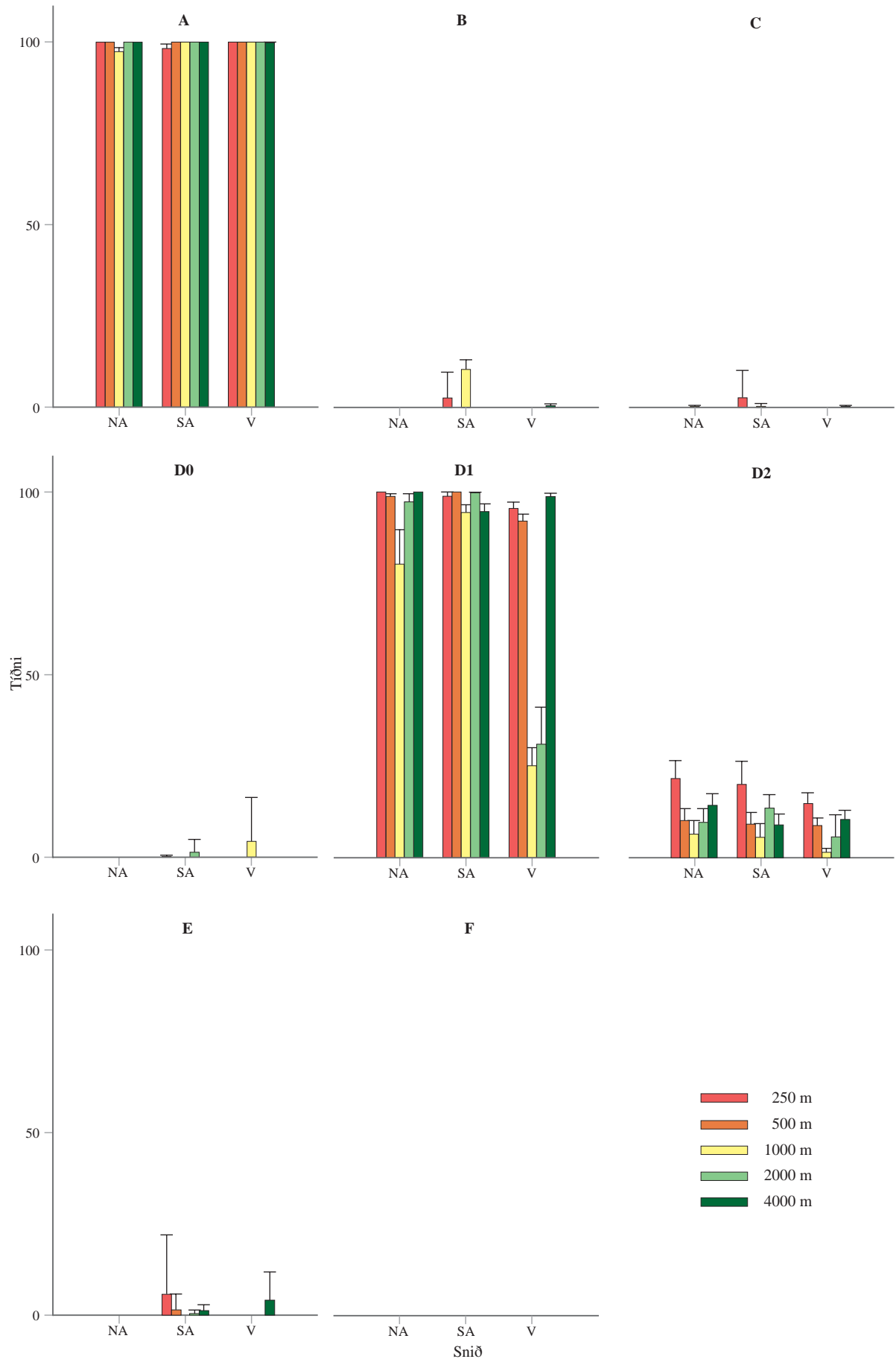
Þegar meðaltal er tekið af reitum í sömu fjarlægð og sniðum slegið saman komu megindrættir betur fram (13. mynd). Mjög lítið var af heilbrigðum mosasprotum (flokkur A) næst virkjununum. Tíðnin eykst í 500 m fjarlægð en fer síðan lækkandi með aukinni fjarlægð (13. mynd).

4.3.4 Staðsetning og tíðni helstu mosaskemmda

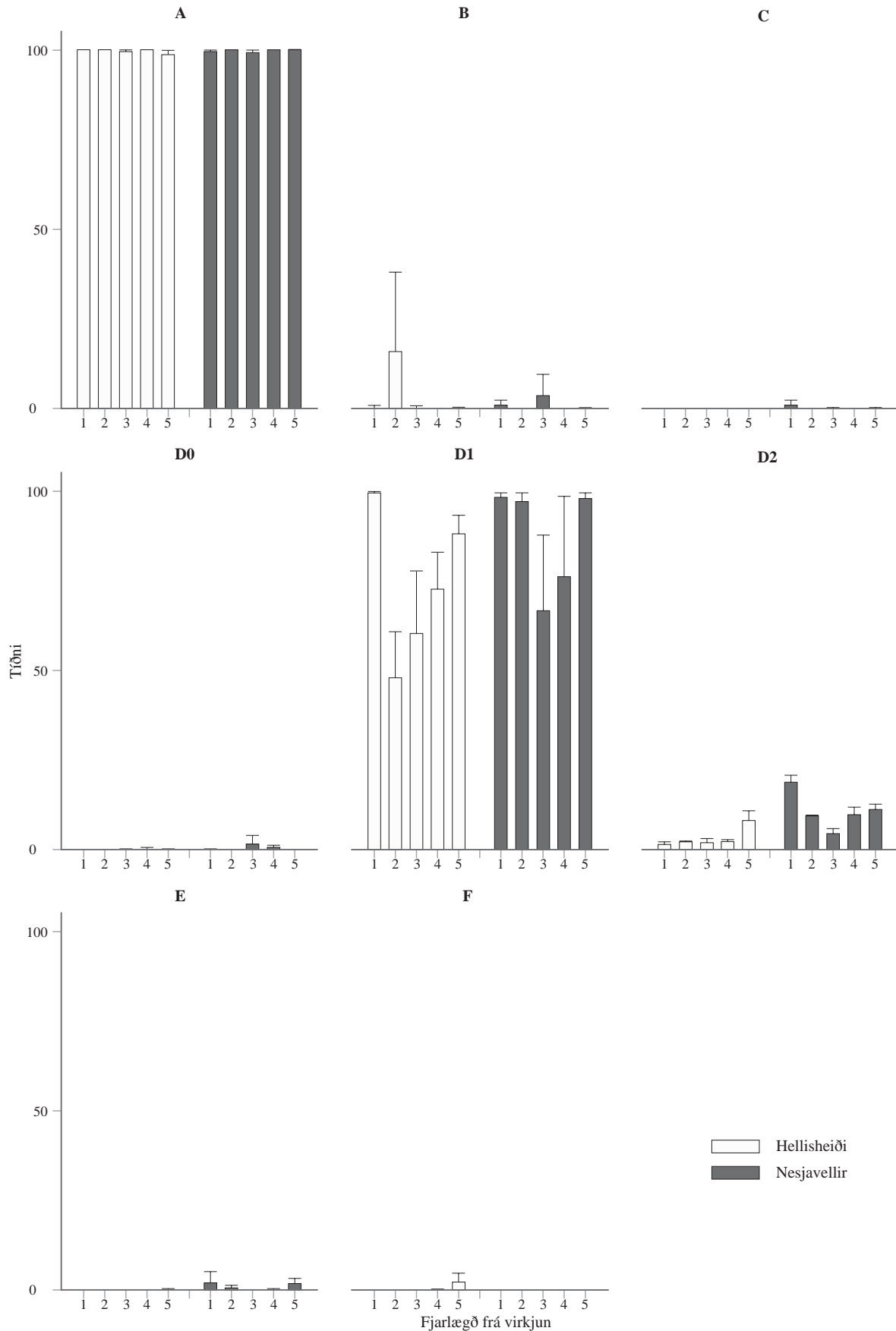
Líklegt er að mosaflokkar B, C, D0, D1 og D2 megi rekja til mengunar af völdum efna eða varma. Til að fá betra yfirlit yfir tíðni og dreifingu þeirra voru útbúnar myndir þar sem tíðni þeirra var teiknuð inn á kort af rannsóknsvæðinu (14.-15. mynd). Þar sést að tíðni mosaskemmda er hærrí við Nesjavallavirkjun en við Hellsheiðarvirkjun. Ekkert greinilegt mynstur kom fram milli tíðni skemmda og fjarlægðar frá virkjun.



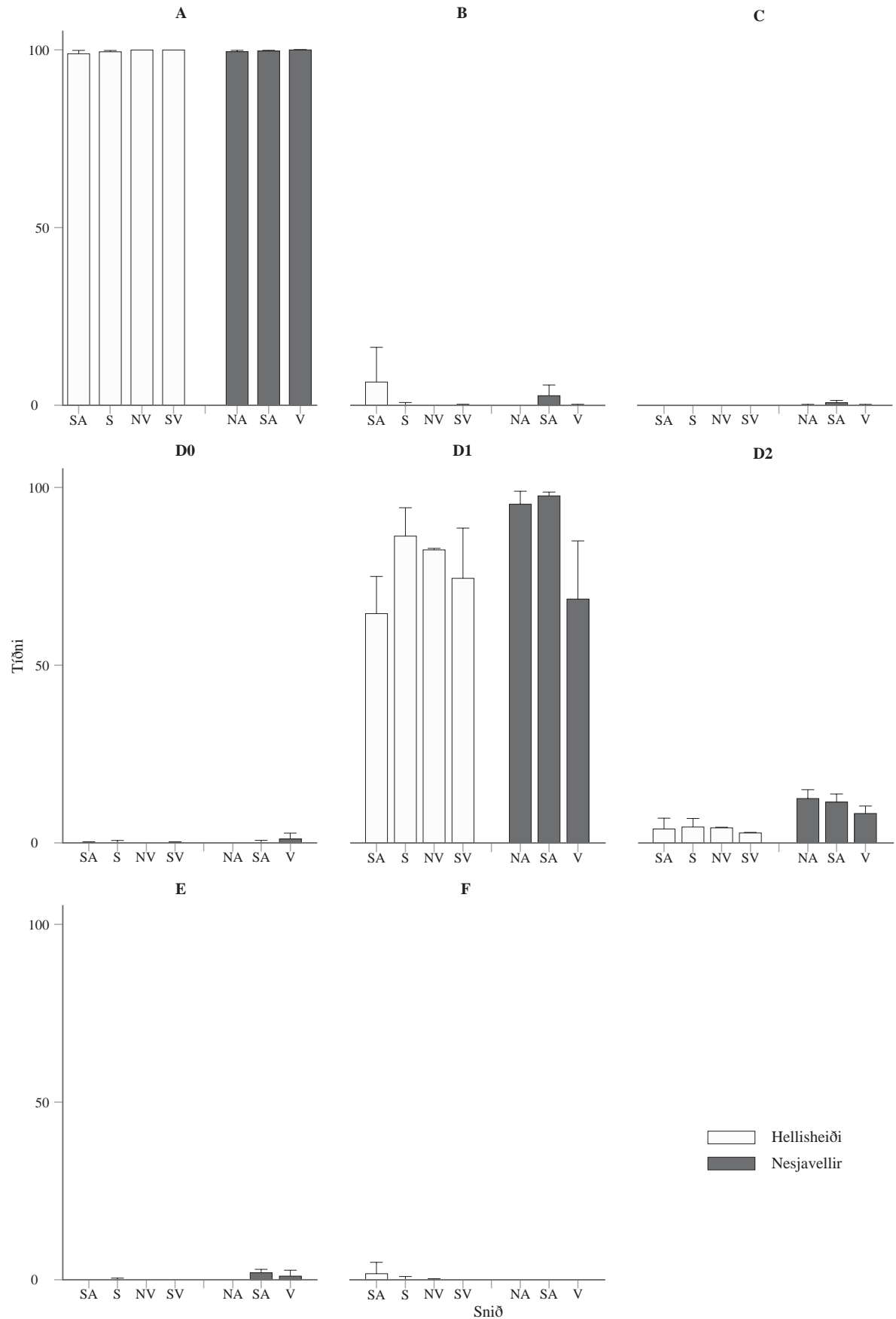
8. mynd. Mosabykkt í reitum á sniðunum þremur við Nesjavallavirkjun sýnd með kassariti ásamt 95% öryggismörkum ($n=72$). Láréttar línur tákna miðgildi (hvít) og meðaltal (svört) mosabykktar. Fjarlægð frá virkjun er númeruð 1-5 og er 250, 500, 1000, 2000 og 4000 m. Í hringmerktum (●) reitum mældist mosabykkt >30 cm (kaflí 3.3.3). Stjörnumerktir reitir (☆) eru á apalhrauni.



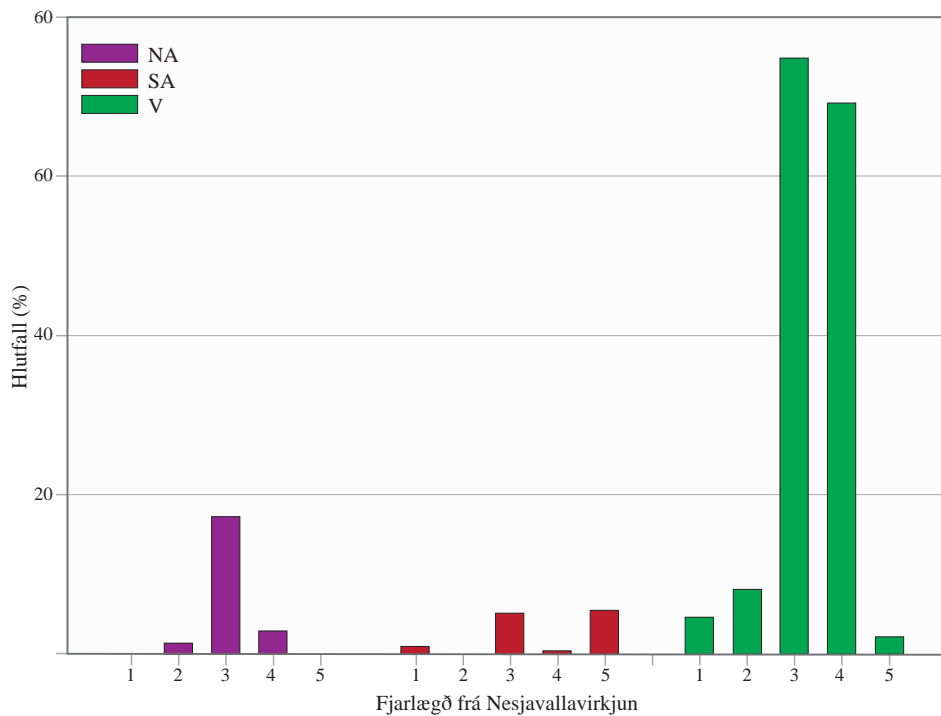
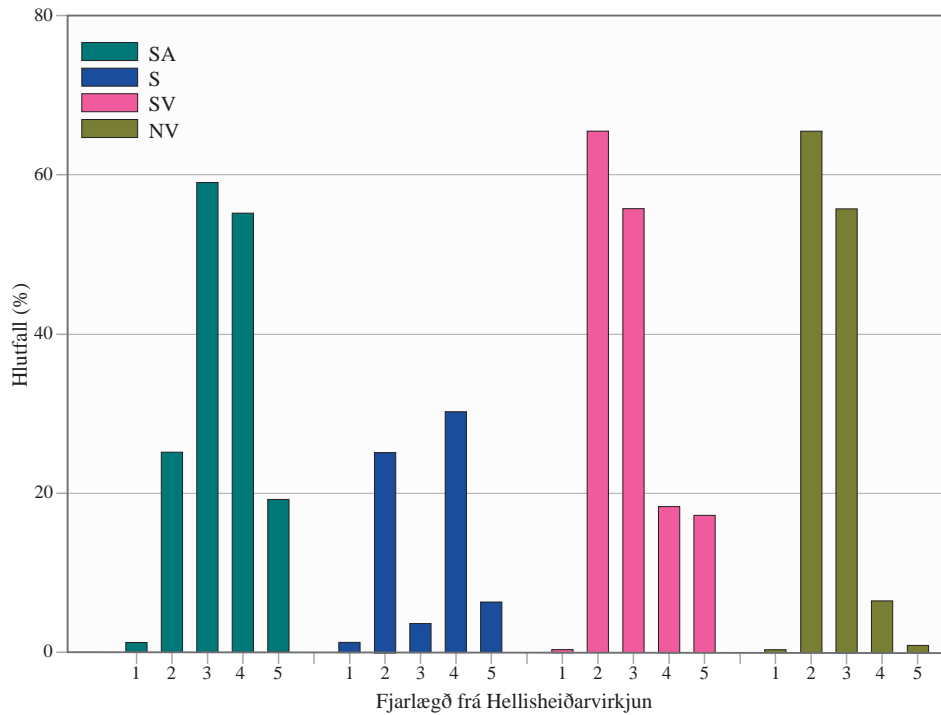
9. mynd. Meðaltíðni mosaflokka A, B, C, D0, D1, D2, E og F ásamt staðalskekkju (n=8) í reitum við Nesjavallavirkjun 2012. Bókstafir á x-ás gefa til kynna stefnu sniða en litur súlna fjarlægð frá virkjun.



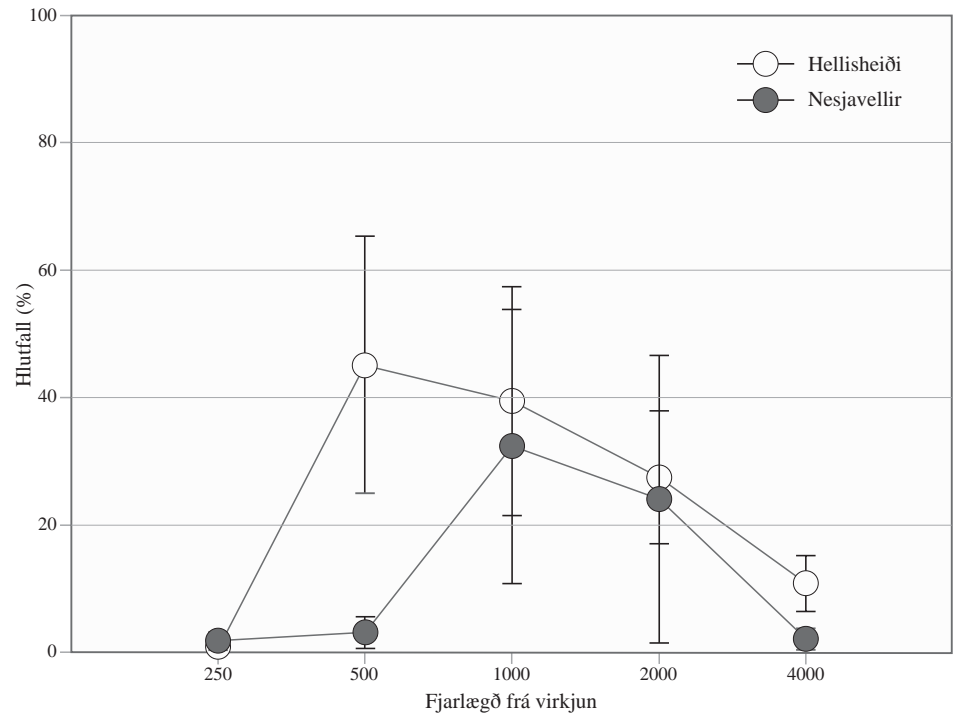
10. mynd. Meðaltíðni einstakra mosaflokka reiknuð fyrir hverja fjarlægð frá virkjun. Fjarlægð frá virkjun er númeruð 1-5 og er 250, 500, 1000, 2000 og 4000 m. Vegna sameiningar stöðva við Hellisheiðarvirkjun var $n=2$ í 250 m og 500 m, $n=3$ í 1000 m og $n=4$ í 2000 m og 4000 m fjarlægð frá virkjun. Nesjavellir $n=3$. Lóðrétt strik tákna staðalskekkju.



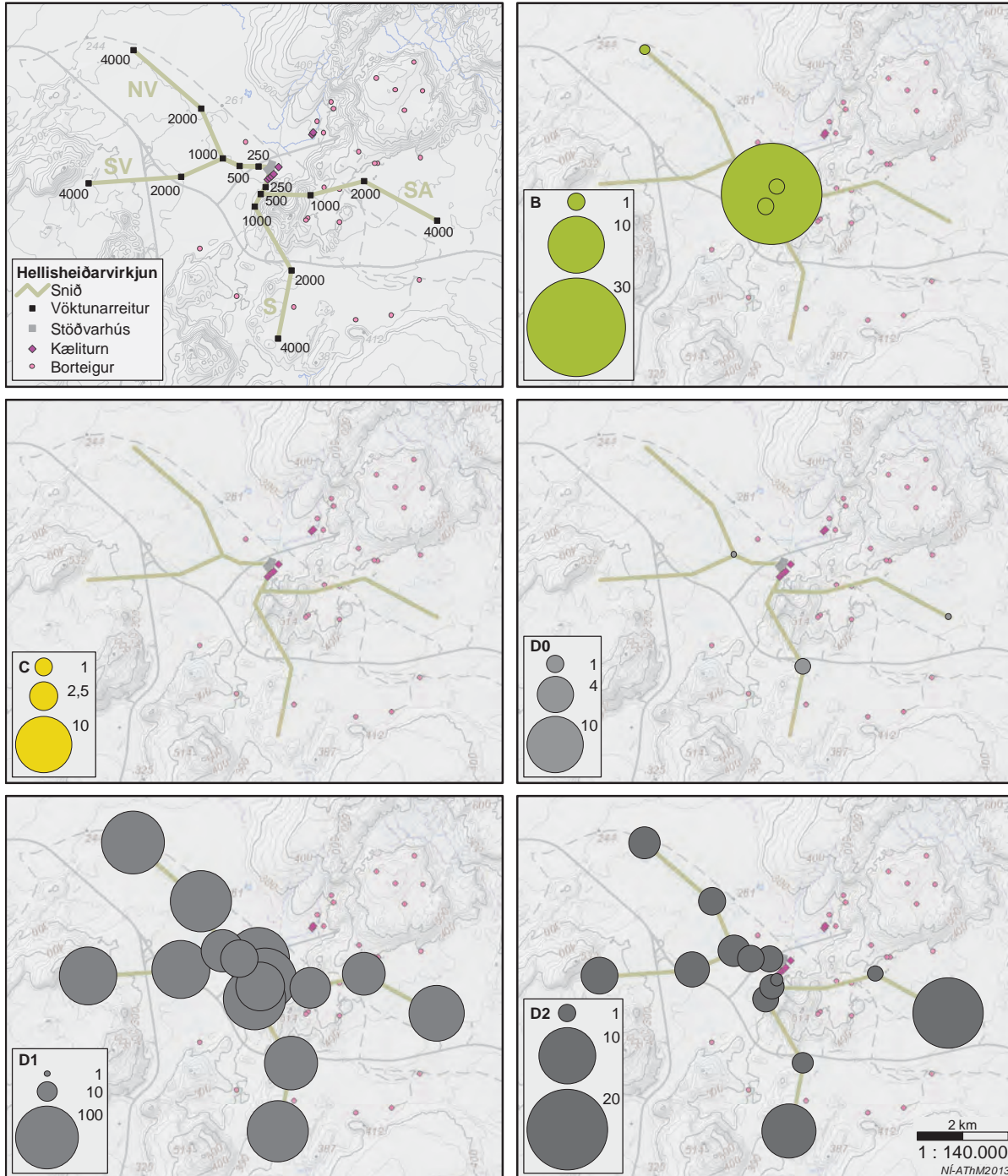
11. mynd. Meðaltíðni mosaflokka eftir stefnu frá virkjun. Meðaltíðni mosaflokka var hér reiknuð fyrir öll snið við Helligheiðarvirkjun (SA, S, SV og NV) og við Nesjavallavirkjun (NA, SA, V). Lóðrétt strik tákna staðalskekkju. Vegna sameiningar reita við Helligheiðarvirkjun var meðaltíðnin ekki tvíreiknuð hér fyrir reiti S-250, 500 og SV-250, 500 og 1000.



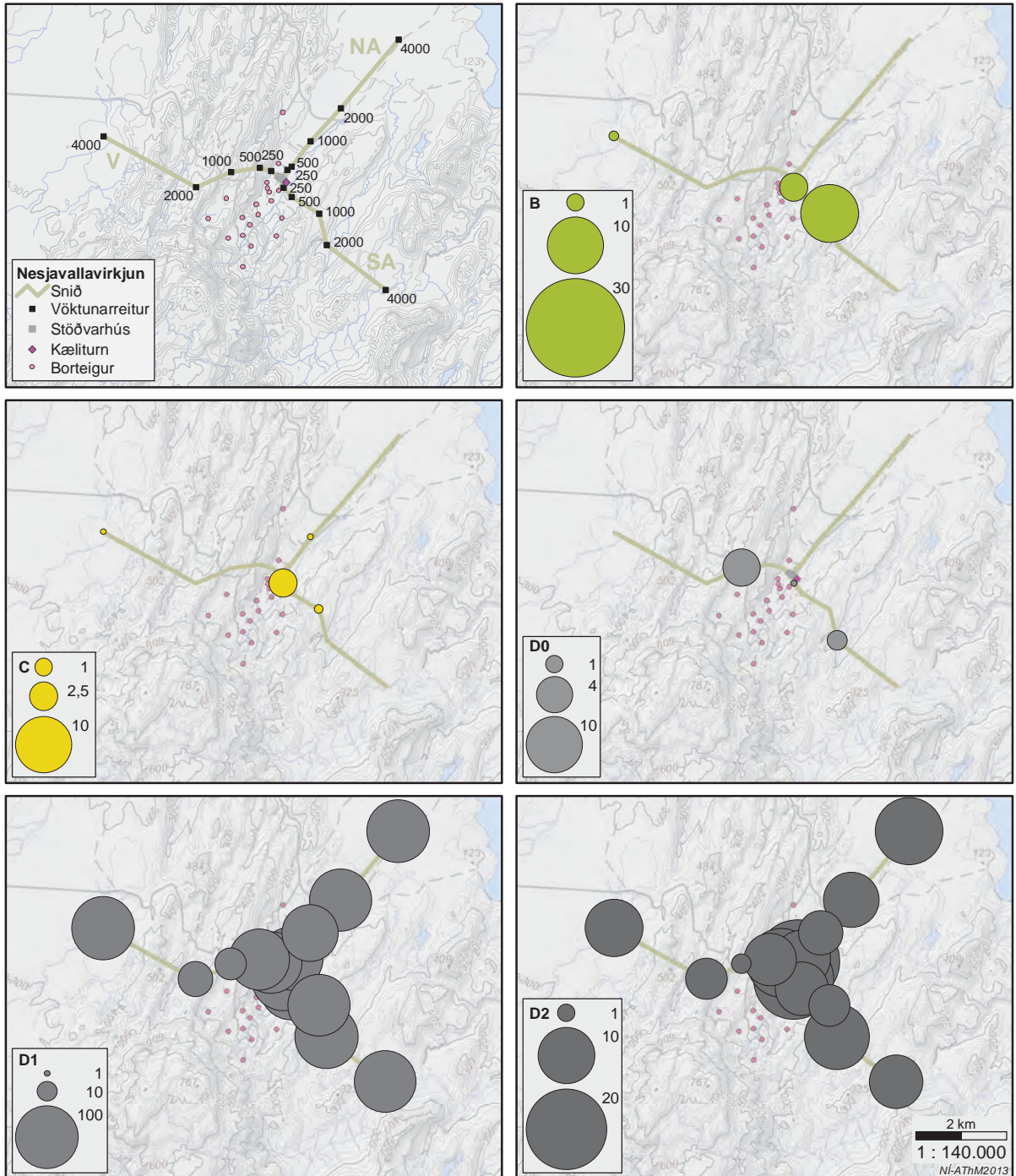
12. mynd. Hlutfall heilbrigðra mosasprota við Hellisheiðarvirkjun (efri mynd) og við Nesjavallavirkjun (neðri mynd). Myndin sýnir hlutfallslegan fjölda tilfella þar sem einungis heilbrigðir mosasprotar (A) komu fyrir í smáreitum í reitum. Fjarlægð frá virkjun er númeruð 1-5 og er 250, 500, 1000, 2000 og 4000 m. Við Hellisheiðarvirkjun eru reitir í 250 og 500 m fjarlægð sameiginlegir sniðum SA og S og reitir í 250, 500 og 1000 m eru sameiginlegir sniðum SV og NV.



13. mynd. Hlutfall heilbrigðrar mosapækju (eingöngu flokkur A) í smáreitum reita sumarið 2012. Lóðrétt strík tákna staðalskekkju.



14. mynd. Yfirlitsmynd af staðsetningu sniða og reita ásamt meðaltíðni mosaflokka B, C, D0, D1 og D2 í reitum við Hellisheiðarvirkjun ($n=8$). Athugið að kvarði fyrir D1 er ólíkur hinum flokkunum. Stærð hringja endurspeglar tíðni skemmda.



15. mynd. Yfirlitsmynd af staðsetningu sniða og reita ásamt meðaltíðni mosaflokka B, C, D0, D1 og D2 í reitum við Nesjavallavirkjun (n=8). Athugið að kvarði fyrir D1 er ólíkur hinum flokkunum. Stærð hringja endurspeglar tíðni skemmda.

4.4 Annar gróður

Í reitunum 30 voru alls skráðar 25 tegundir háplantna, tvær tegundir byrkninga og þrjár tegundir mosa. Auk þess voru tegundir fjögurra ættkvísla fléttna algengar (2. viðauki). Algengustu tegundirnar voru grasvíðir og stinnastör sem fundust í 27 og 23 reitum (16. mynd).

Þótt reitirnir hafi allir verið lagðir út í hraungambraþembur var nokkur munur á gróðri þeirra. Samkvæmt TWINSpan-flokkun er gróður í reitunum í meginráttum tvenns konar (1. tafla). Annarsvegar eru mosaðembur með breyskjuflettum og lyngtegundum (4 reitir, TWINSpan-flokkur I) við Nesjavelli, þ.e. á norðaustursniði (NA-250, NA-1000 og NA-4000) og næst virkjuninni á vestursniði (V-250). Hinsvegar eru mosaðembur (26 reitir) þar sem kræðuflettur, ormagrös og hreindýrakraókar eru algengar og einnig háplöntutegundin kornsúra. Við frekari flokkun skiptist gróður þessara reita í tvennt. Annarsvegar voru tiltölulega tegundaríkir reitir (flokkur II) þar sem hvítmaðra, móasef og blávingull voru algengar. Hinsvegar voru mun tegundasnaudari reitir (flokkur III) sem þó eiga margt sameiginlegt með gróðri í fyrri floknum (1. tafla).

Gróðurfarslegur skyldleiki reita var einnig kannaður með hnitunargreiningu (DCA) á tíðni plöntutegunda og tegundahópa. Ennfremur var kannað samband nokkurra umhverfisbreyta og mosaflokka (skemmda) við niðurstöður hnitunargreiningarinnar.

Við greininguna kom langstærsti hluti breytileikans fram á fyrsta ási en eigingildi (e. *eigenvalue*) hans var 0,40. Eigingildi hinna ásanna þriggja sem greiningin gefur var 0,21, 0,07 og 0,04. Fyrstu tveir ásarnir skýrðu 42% af breytileikanum sem finnst í gagnasafninu. Bent skal á að eigingildi er ætíð tala á milli 0 og 1. Því hærri sem það er þeim mun mikilvægari er viðkomandi ás í hnituninni.

Hnitunargreiningin, líkt og TWINSpan-flokkunin, sýnir að allnokkur munur er á gróðri í mosaðembum við virkjanirnar því fyrsti ás hnitunarinnar greinir að reiti við Nesjavallavirkjun og Hellisheiðavirkjun (17. mynd). Það sem aðallega ræður þessu er að í reitum á Nesjavöllum eru lyngtegundirnar krækilyng, bláberjalyng og beitleyng algengari en annars staðar. Þær finnast aðallega í reitum til hægri á hnitunargrafi (NA-4000, V-250, NA-1000). Staðsetning á öðrum ási ræðst hins vegar talsvert af algengi fléttna, þ.e. ormagrasa, kræða (*Cetraria*) og hreindýrakraóka, og af stinnastör en þessar tegundir eru allar algengar í reitum ofarlega á 2. ási.

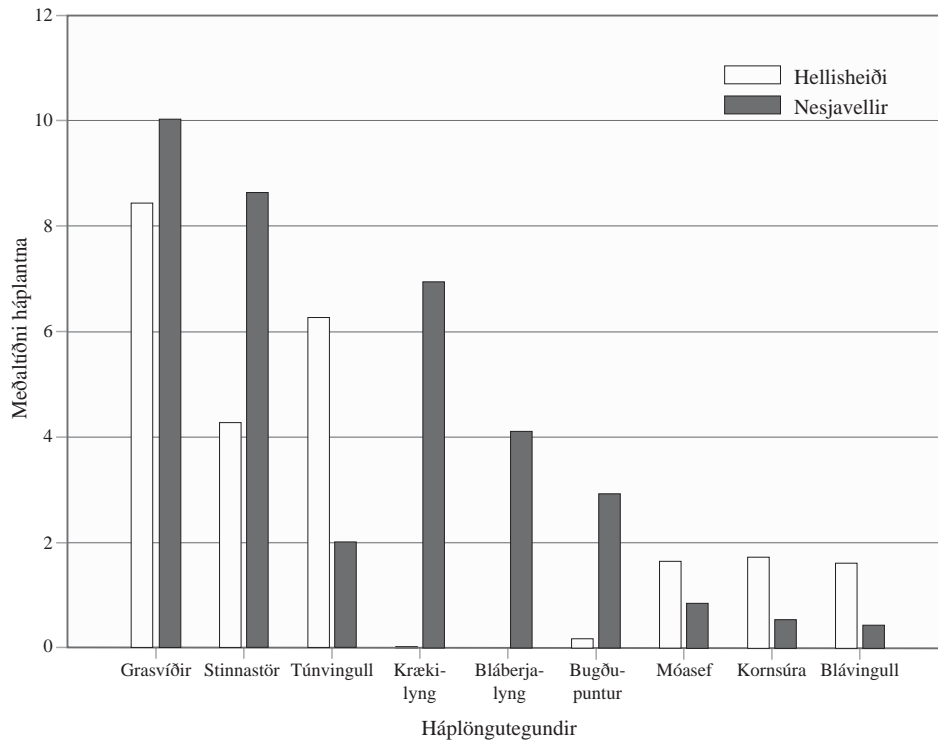
Hnitunargreiningin sýnir einnig að gróður í reitum við Hellisheiðavirkjun er einsleitari en við Nesjavallavirkjun því reitir þaðan dreifast heldur minna á fyrstu tvo ása hnitunarinnar (17. mynd).

Niðurstöðurnar gefa til kynna að veikt samband sé milli tegundasamsetningar gróðurs í reitunum og mosaflokkana E, A, C og F. Það er sterkara við flokkana D1 og B en sterkast við D2 (18. mynd). Þykkt mosapekju og hæð yfir sjó sýnir einnig nokkra samsvörum við tegundasamsetningu í reitum en hæst er sambandið milli tegundasamsetningar og fjölda háplöntutegunda í reit. Að jafnaði fjölgar háplöntutegundum eftir því sem reitir eru neðar á 2. ási (18. mynd).

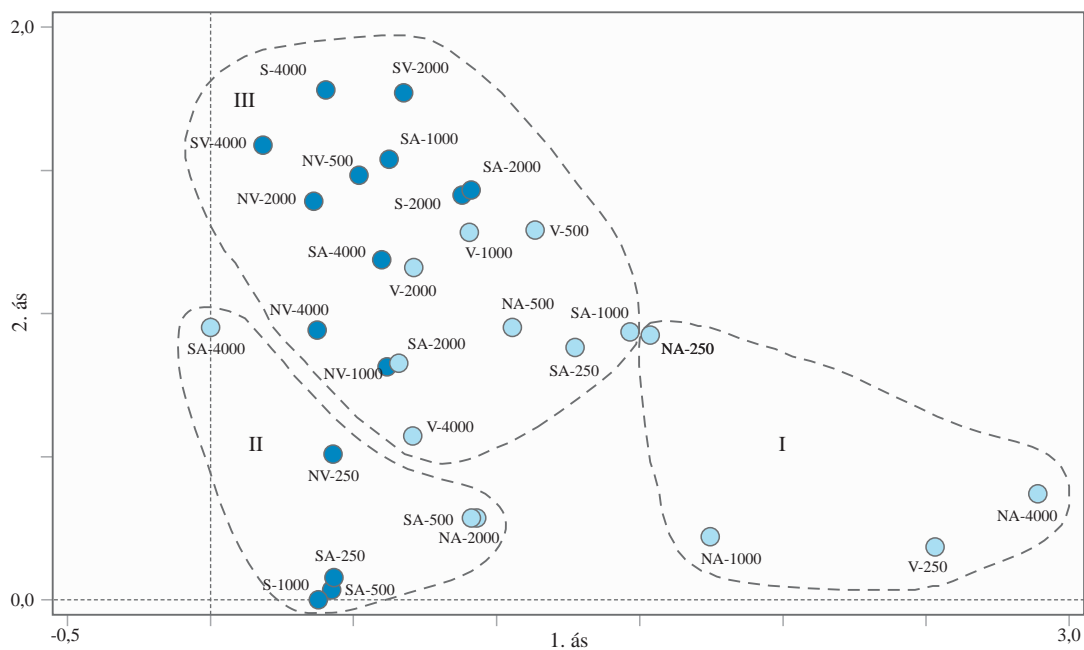
1. tafla. TWINSPAN-flokkun reita við Hellsisheiðarvirkjun (H) og Nesjavallavirkjun (N) byggð á meðaltíðni (%) tegunda og tegundahópa í reitum. Sýnd eru fyrstu tvö skiptiprepin ásamt einkennistegundum fyrir skiptingarnar. Tíðniflokkar eru:

1 = >0-≥1%; 2 = >1-≥2%; 3 = >2-≥5%; 4 = >5-≥10%; 5 = >5-≥20%; 6 = >20%.

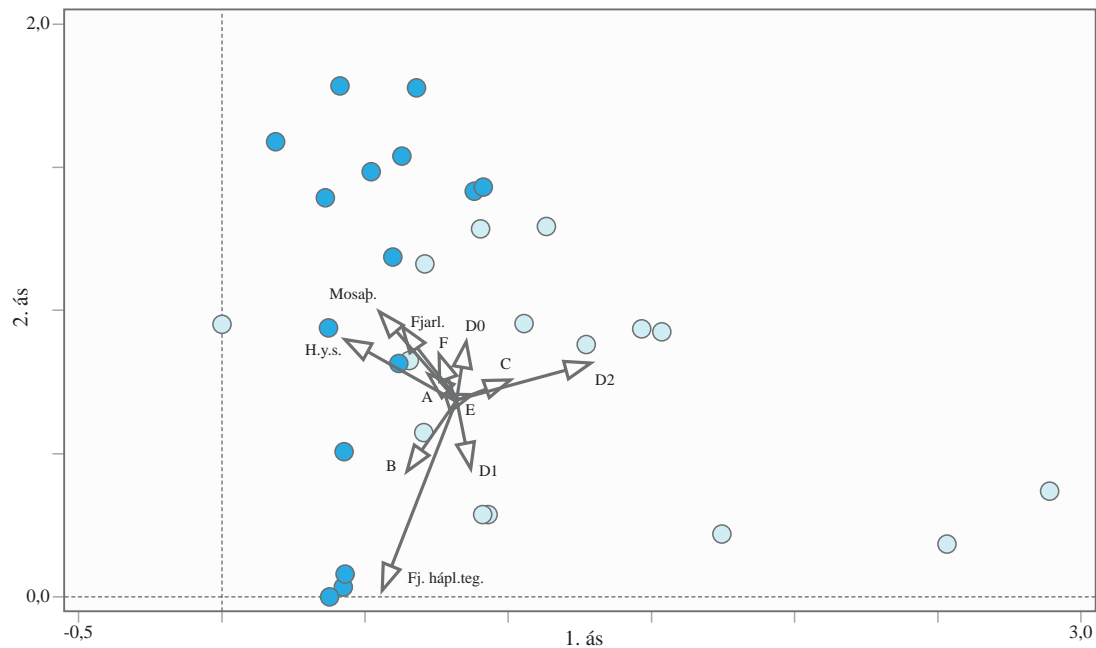
	II												III												I						
	6						Hvítmaðra						26						Kræðufléttur						4						
	H-SA-500	H-S-1000	H-SA-250	H-NV-250	N-NA-2000	N-SA-500	N-SA-4000	N-V-4000	H-NV-1000	H-NV-4000	N-NA-500	N-SA-2000	H-NV-2000	H-SA-4000	N-SA-250	N-V-1000	N-V-500	H-S-2000	H-S-4000	H-NV-500	H-SA-1000	N-V-2000	H-SA-2000	H-SV-2000	H-SV-4000	N-SA-1000	N-NA-1000	N-NA-250	N-NA-4000	N-V-250	
Bugðupuntur	-	2	1	-	4	4	-	3	2	-	4	1	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	3
Melagambri	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
Móasef	4	5	2	-	4	2	-	-	-	-	-	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	1	-	1	
Hvítmaðra	3	3	2	3	3	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	
Tildurmosi	4	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
Týtulíngresi	1	4	3	2	3	3	-	-	2	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2	-	-	-	
Blávingu	2	5	3	3	3	-	1	2	-	1	-	1	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	
Túnvingull	6	6	5	5	-	3	2	5	3	3	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	
Axhæra	1	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Blásveifgras	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Brjóstagras	3	4	2	2	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Hundasúra	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Krossmaðra	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Músareyra	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vallhæra	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Vetrarblóm	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Klóelfting	-	5	-	-	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Haddmosar (<i>Polytr.</i>)	1	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	2	1	-	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	
Kræðufléttur	4	2	4	3	5	3	4	4	4	4	3	6	4	3	4	4	4	3	5	3	4	4	3	3	3	3	-	1	-	-	
Ormagrös	2	2	1	-	-	-	-	1	-	1	-	1	1	-	-	1	1	-	3	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	
Geldingahnappur	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Kornsúra	4	4	1	2	-	2	1	3	1	3	-	-	3	-	2	-	-	2	2	-	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	
Hreindýramosi	1	-	-	1	-	1	-	3	2	1	1	3	1	1	2	2	1	-	2	1	-	2	1	-	-	1	-	-	-	-	
Mosa- og fléttuskán	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Beitieski	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ljónslappi	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Naflagras	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Engjaskófir (<i>Peltig.</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	
Grasvíðir	5	6	3	5	4	4	-	6	2	2	4	3	2	5	5	6	4	4	5	3	2	3	5	3	-	3	5	5	-	3	
Stinnastör	1	3	1	3	4	4	5	6	4	5	6	5	5	2	4	6	-	3	3	4	2	1	-	-	-	3	4	-	-	-	
Krækilyng	-	-	-	-	-	-	-	4	-	1	-	1	-	1	3	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	4	4	6	
Breyskjúfl. (<i>Stereoc.</i>)	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	1	
Beitilyng	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bláberjalyng	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	5	-	2	6	
Lambgras	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	
Fjöldi háplöntuteg.	15	14	10	8	8	10	6	12	6	7	4	7	5	6	6	4	2	2	3	3	2	5	2	1	1	4	11	4	2	7	



16. mynd. Meðaltíðni háplantna (%) í mosafembum við Hellisheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun.



17. mynd. Niðurstöður DCA-hnitunargreiningar gróðurs í reitum. Línur afmarka TWINSPAN-flokkana þrjá (1. tafla). Dökkbláir punktar tákna reiti við Hellisheiðarvirkjun en ljósbláir reiti við Nesjavallavirkjun.



18. mynd. Niðurstöður DCA-hnitunargreiningar gróðurs í reitum. Samband hæðar yfir sjó, fjarlægðar frá virkjun, mosapykktar, fjölda háplöntutegunda og mismunandi mosaflokka (A, B, C, D0, D1, D2, E og F) við niðurstöður DCA-hnitunar er sýnt með örvaum. Lengd örva og stefna gefur til kynna fylgni milli viðkomandi breytu og hnitunarása. Dökkbláir punktar tákna reiti við Hellsheiðarvirkjun en ljósbláir reiti við Nesjavallavirkjun.

5 UMRÆÐA

Með þessu verkefni er lagður grunnur að vöktun við Nesjavallavirkjun og Hellsheiðarvirkjun til lengri tíma. Niðurstöður skýrslunnar lýsa ástandinu eins og það var sumarið 2012 á mismunandi stöðum við virkjanirnar. Gert er ráð fyrir að mælingar í reitum fari fram á 5 ára fresti. Endurmælingar munu gefa upplýsingar um breytingar sem kunna að verða með tíma. Til þess að hægt væri að mæla og vakta skemmdir á mosa við virkjanirnar í þessum fyrstu mælingum var nauðsynlegt að meta hvers konar skemmdir væri þar að finna, lýsa þeim og skilgreina. Í því skyni var ástand hraungambra skoðað og búinn til sérstakur greiningarlykill sem síðan var notaður við mælingar á mosaskemmdum á vettvangi (kafli 3.1.1).

5.1 Skemmdir á mosapembum skilgreindar

Búast mátti við að finna skemmdir á mosa við virkjanirnar því þeirra hafði orðið vart áður á þessum svæðum (Kristbjörn Egilsson o.fl. 2000, Náttúrufræðistofnun Íslands 2008b, EFLA verkfræðistofa 2009, Smith 2011). Ástand mosans var flokkað í tíu mismunandi flokka eftir útliti (kafli 3.1.1). Í níu flokkum er um skemmdir að ræða en einn þeirra samanstendur af heilbrigðum mosa (flokkur A). Skýrsluhöfundar telja að mismunandi útlit hraungambra eigi að mestu leyti rætur sínar að rekja til rofs og mengunar frá starfsemi virkjananna. Rofskemmdir á hraungambra eru tvennskonar; grunnt rof á mosapembunni sem tilheyrir flokki F en þegar rofnað hefur lengra niður í hálfrotnaða brúna mosastöngla þá er að finna mosaflokk E. Á stöku stað hefur mosapemban rofnað alveg niður í jarðveg. Orsök rofsins getur m.a. verið vindur og vatn þar sem skaraveður og skafrenningur geta væntanlega haft mikil áhrif en einnig traðk dýra og manna. Við traðk rofnar mosapemban og þjappast þannig að sést í svarta eldri stöngla (F). Á jöðrum rofdíla og hraunbungna er mosinn berskjaldaður gagnvart rofi, sérstaklega á móti ríkjandi vindátt. Tíð frostlyfting og tilfærsla á efni úr rofdílum geta skemmt mosapembuna enn fremur.

Hinir mosaflokkarnir sjö (B, C, D0, D1, D2, G og H) eru líklega tilkomnir vegna mengunar af völdum efna og eða hita. Í öllum þessum flokkum koma fram skemmdir á tiltölulega ungam blöðum eða sprotum, blaðgræna er verulega skert, blöð og blaðoddar í sumum tilvikum tærðir eða eyddir og litur ungra blaða og stöngla óeðlilegur; brúnn, steingrár, svartur og jafnvel rauður. Af þessum flokkum má ætla að steingrár mosi (G) sé tilkominn vegna efnamengunar og hitaálags frá jarðhitavatni og gufu.

Innan rannsóknasvæðisins við Hellisheiðarvirkjun varð vart við svæði með hringlaga skemmdum sem líkjast svokölluðum mosabaugum (Ingólfur Davíðsson 1961, Helgi Hallgrímsson 1987, 2010). Við nánari athugun sést að þær líkjast skemmdum í mosaflokki C (56.-57. ljósmynd í 1. viðauka).

5.1.1 Tíðni mosaskemmda umhverfis jarðvarmavirkjanir

Mælingar á magni þungmálma í hraungambra sýna að styrkur lækkar að jafnaði með aukinni fjarlægð frá virkjun (EFLA verkfræðistofa 2009, viðauki 7.3.5). Dreifingarspá á meðalstyrk brennisteinsvetnis (H_2S) gerir ráð fyrir að styrkur efnisins sé hæstur næst virkjununum og að það dreifist lengst undan ríkjandi vindátt (Hjalti Sigurjónsson 2007). Í ljósi þessa gerðu skýrsluhöfundar ráð fyrir að tíðni mosaskemmda myndi lækka með aukinni fjarlægð frá virkjun og vera hæst undan ríkjandi vindátt. Svo reyndist þó ekki vera því tíðni skemmda var breytileg milli staða og sýndi ekkert augljóst mynstur, hvorki tengt fjarlægð né vindstefnu (14.-15. mynd). Mestu skemmdirnar voru bundnar við einstaka reiti sem voru ýmist næst virkjununum eða fjarri þeim (3. og 14.-15. mynd).

Niðurstöðurnar sýna að skemmdir voru mun útbreiddari við Nesjavallavirkjun en Hellisheiðarvirkjun (10.-11. og 14.-15. mynd). Að sama skapi var meira um heilbrigða mosabekju við Hellisheiðarvirkjun en við Nesjavallavirkjun (12. mynd). Ólíkur aldur virkjananna er líklega orsök fyrir þessum mikla svæðismun á tíðni mosaskemmda; Nesjavallavirkjun hafði verið starfrækt í 22 ár þegar mælingar fóru fram sumarið 2012 en Hellisheiðarvirkjun í 6 ár.

Niðurstöðurnar sýna einnig að skemmdur mosi í flokkum B og C, sem að öllum líkindum má rekja til efnamengunar, fannst í allt að 4 km fjarlægð frá virkjununum (snið V við Nesjavallavirkjun og snið NV við Hellisheiðarvirkjun) (14. og 15. mynd). Það bendir til þess að reitir nái ekki út fyrir áhrifasvæði virkjananna þar sem loftmengunar frá þeim gætir.

Mikill munur á skemmdum í einstökum reitum gefur einnig vísbendingu um að þær stjórnist af staðháttum. Þetta kemur ekki á óvart því land umhverfis virkjanirnar er hæðótt en þekkt er að staðhættir og landslag geta ráðið miklu um dreifingu mengunarefna (Pfeiffer o.fl. 2009, Olafsdóttir o.fl. 2014).

Það vekur einnig athygli að heilbrigður mosi finnst helst í 500-2000 m fjarlægð frá Hellisheiðarvirkjun og tilhneiging er til svipaðs mynstur við Nesjavallavirkjun (13. mynd). Ef þetta endurspeglar áhrif frá virkjununum bendir það til þess að styrkur mengunarefna sé einna lægstur í þessari fjarlægð en að hann sé hærri næst virkjununum og einnig allfjarri þeim, eða í um 4000 m fjarlægð.

Nýlegar rannsóknir Snjólaugar Ólafsdóttur í nágrenni virkjananna á Nesjavöllum varpa nokkru ljósi á útbreiðslu mosaskemmda því rannsóknir hennar sýna m.a. að fjöll geta stýrt dreifingu brennisteinsvetnis og hækkað styrk þess staðbundið (Olafsdóttir o.fl. 2014). Einnig kom fram að veðráttá getur haft mikil áhrif á dreifingu efnisins en styrkur brennisteinsvetnis í Reykjavík reyndist t.d. vera einna hæstur í stilltu veðri þegar hiti var undir $3^{\circ}C$ og hitahvörf í lofti (Olafsdóttir og Gardarsson 2013). Í fjalllendinu við Hellisheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun má því

reikna með að styrkur mengunarefna geti verið mjög misjafn eftir staðháttum en mosaskemmdir koma væntanlega fram þar sem styrkur efnanna nær ákveðnum mörkum í vissan tíma.

5.2 Gróður í mosapembum

Þótt hraungambraþemba sé megingróður í öllum reitum er gróður misjafn eftir stöðum (1. tafla). Einnig kemur fram nokkur fylgni á milli gróðurs og mosaskemmda af gerð D2 (18. mynd). Mosaskemmdir eru einna mestar þar sem tíðni lyngtegunda, einkum krækilyngs, er hlutfallslega há (1. tafla, 18. mynd). Þar er tíðni kræðufléttna og hreindýramosa hinsvegar frekar lág. Rannsóknir hafa sýnt að krækilyng þolir talsvert mikla mengun (Hörður Kristinsson 1998, Monni o.fl. 2000) og því hugsanlegt að krækilyng hafi aukist á virkjunarsvæðinu þar sem mosinn á í vök að verjast vegna mengunar. Við álverið í Straumsvík jókst krækilyng talsvert þar sem hraungambri hafði látið undan síga, sennilega vegna flúormengunar (Hörður Kristinsson 1998). Eins er mögulegt að kræðufléttur og hreindýramosi hafi látið undan vegna mengunar við Nesjavelli en þekkt er að margar fléttur eru viðkvæmar fyrir loftborinni mengun (Conti og Cecchetti 2001).

5.3 Framtíðarhorfur

Hér hefur verið lagður grunnur að vöktun gróðurs með kerfisbundnum hætti umhverfis tvær stærstu jarðvarmavirkjanir landsins. Útbúinn hefur verið greiningarlykill með ástandsflokkum á mosapembum hraungambra og mun hann nýtast við mælingar á breytingum og þróun mosaskemmda.

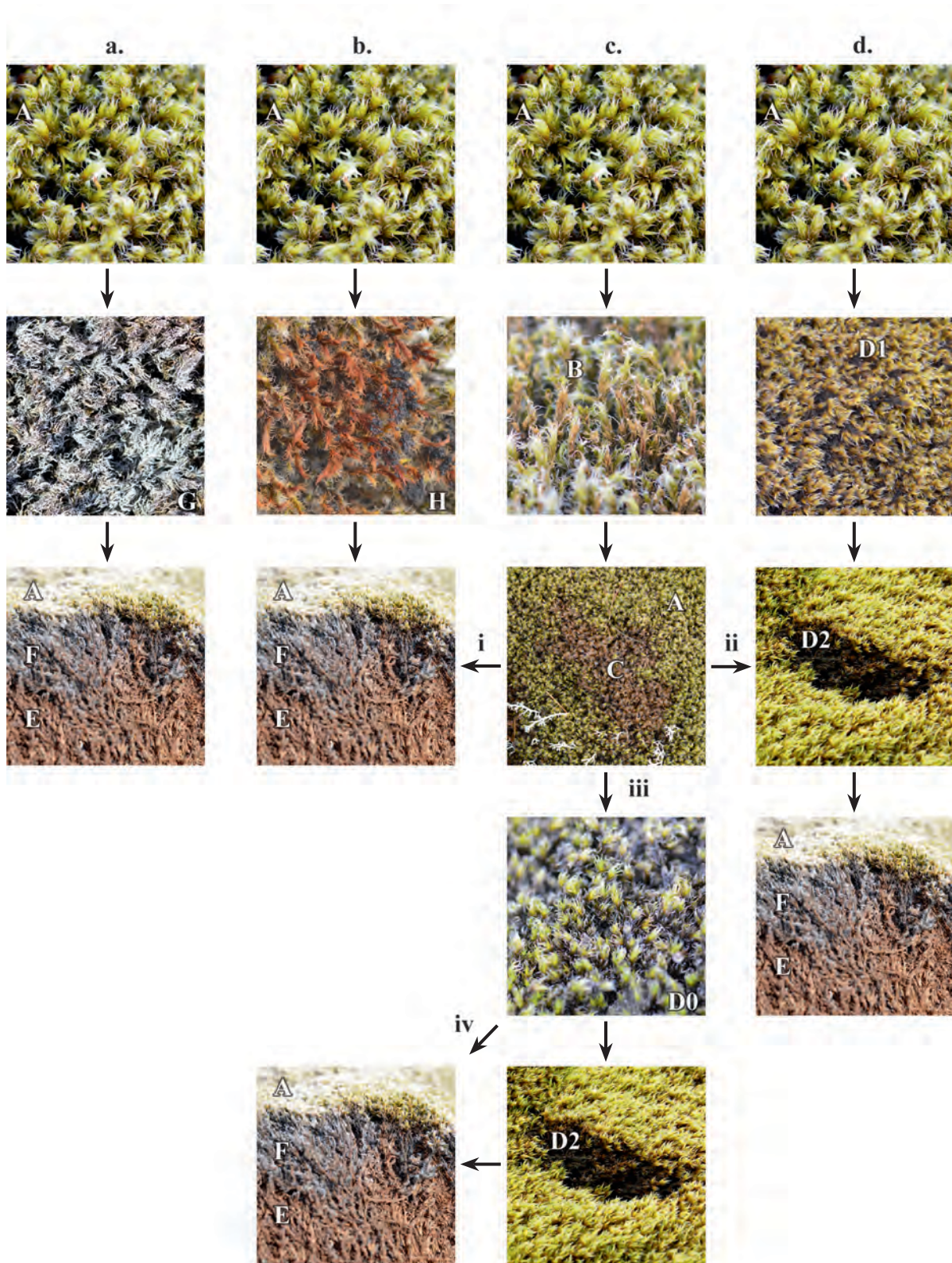
5.3.1 Framvinda og þróun skemmda í mosapembum

Hraungambri er fjölær planta og því mögulegt að hann nái sér með endurvexti. Efstu sprotar mosans eru virkastir og hafa rannsóknir sýnt að skemmdur mosi getur náð sér ef skemmdirnar ná ekki dýpra niður í mosapækjuna en 3 cm (Magnea Magnúsdóttir 2013). Þar sem hraungambri er smágerð planta sem vex hægt gæti tekið hann langan tíma að jafna sig að fullu eftir rask af völdum jarðvarmavirkjana en það er eflaust háð gerð skemmda og umfangi þeirra. Líklegt er að þróun mosaskemmda geti orðið þrennskonar:

1. Umfang mosaskemmda minnkar vegna endurvaxtar mosa.
2. Mosaskemmdir viðhaldast og umfang þeirra getur aukist á svæðum með viðvarandi efnamengun og/eða hitaálagi.
3. Mosaskemmdir breytast ef endurvöxtur sprota næst ekki og mosapemban rofnar.

Hér eru settar fram fjórar spár byggðar á 3. tilgátunni um hvernig heilbrigð hraungambraþemba (A) getur skemmt og hvernig mismunandi skemmdir þróast með tíma (19. mynd).

- a. Heilbrigður mosi verður fyrir miklu efna- og/eða hitaálagi og þróast yfir í steingráan dauðan mosa (G). Náttúrlegt rof tekur við, G rofnar í F og E.
- b. Heilbrigður mosi verður fyrir miklu efnaálagi og verður að rauðum mosa (H). Náttúrlegt rof tekur við, H rofnar í F og E.



19. mynd. Fjórar spár um framvindu og þróun mosaskemmda byggðar á 3. tilgátunni að ef endurvöxtur sprota næst ekki þá munu mosaskemmdir breytast og mosapemban rofna með tíma (kaflí 5.3.1).

- c. Heilbrigður mosi verður fyrir efnamengun og mosaskemmdir B myndast. Þeim fjölgar, þær stækka og þróast yfir í C.
 - i. Náttúrulegt rof tekur við og mosaskemmdir C þróast yfir í F og E.
 - ii. Skemmdir C ganga dýpra niður í mosapembuna, flokkur D2 myndast og getur við rof þróast yfir í skemmdir af gerð F og E.
 - iii. Við niðurbrot mosans í flokki C verða sprotar svartir. Með endurvexti myndast nýir sprotar og mosaflokkur D0 verður til. Við mikið efnaálag og niðurbrot gæti D0 þróast í D2 sem síðan gæti endað í flokkum F og E við rof.
 - iv. Við náttúrulegt rof breytast D0 skemmdir í F og E.
- d. Heilbrigðir mosastönglar breytast í D1 skemmdir vegna efnamengunar eða álags. Skemmdum fjölgar, þær þéttast með því að fleiri sprotar drepast og D2 blettir myndast. Náttúrulegt rof gæti síðar skemmt mosapembuna enn frekar og skemmdirnar þróast yfir í flokka F og E.

5.3.2 Frekari rannsóknir á mosapembum

Í tengslum við verkefnið sem hér er fjallað um er hafin rannsókn á áhrifum efnamengunar frá jarðvarmavirkjunum á vistkerfi. Rannsóknin er doktorsverkefni Thecla Munanie Mutia í líffræði við Háskóla Íslands og Jarðhitaskóla Sameinuðu þjóðanna. Vorið 2013 óskaði hún eftir að fá að efnagreina hluta sýnanna. Mældur var styrkur As, B, Hg, S og Sb og stóð Orkuveita Reykjavíkur straum af kostnaði við efnagreiningar.

Í júní 2013 voru settir upp viðmiðunarreitir í hraungambraþembur á tveimur stöðum fjarri jarðvarmavirkjununum, þ.e. við Hólahnúka í Hrunamannahreppi og í Rauðhálsahrauni í Kolbeinsstaðahreppi. Þar var ástand hraungambra metið samkvæmt mosalyklinum til samanburðar við reiti við Helligheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun. Tekin hafa verið viðmiðunarsýni af hraungambra til efnagreininga á báðum stöðum.

Með aukinni orkuvinnslu úr jarðvarma má reikna með auknu álagi á lífríki í nágrenni vinnslusvæða. Mosar og þó einkum hraungambraþembur eru einkennandi gróður við jarðhitasvæði hér á landi. Mosar eru yfirleitt viðkvæmir gagnvart loftmengun en lífeðlisfræði þeirra gerir þá einstaklega hæfa til að nema umhverfismengun (kafli 2.1.). Vöktun með mælingum á mosa er því bæði mikilvæg vegna umhverfis- og gróðurverndar og til að fylgjast með loftmengun umhverfis jarðvarmavirkjanir.

Við virkjunina í Svartsengi hafa nokkrar skemmdir orðið á gróðri (Náttúrufræðistofnun Íslands 2008a) en þar hefur styrkur þungmálma í hraungambra mælst álíka hár og við Helligheiðarvirkjun (EFLA verkfræðistofa 2009). Þá má nefna að við Reykjanesvirkjun hafa einnig orðið nokkrar gróðurskemmdir svo sem við Gunnhver og nágrenni (Kristbjörn Egilsson o.fl. 2008, Sigurður H. Magnússon, minnisblað, 26. september 2008). Frekari virkjun jarðhita er nú í undirbúningi, þar má nefna í Bjarnarflagi (Hönnun 2003), á Þeistareykjum (Mannvit 2010) og í Eldvörpum á Reykjaneskaga (VSÓ ráðgjöf 2013). Gróðurvöktun er hafin í fjalldrapamóum við Þeistareyki, Bjarnarflag og Kröflu (Sigbrúður Stella Jóhannsdóttir o.fl 2013). Ætla má að allar virkjanir geti haft áhrif á gróður. Að mati skýrsluhöfunda er mjög mikilvægt að hefja skipulega gróðurvöktun við allar virkjanir og fyrirhuguð virkjanasvæði jarðvarma.

Þrátt fyrir að rannsóknir á hraungambra hafi aukist á síðustu árum er enn mörgu ósvarað um líffræði hraungambraþembna. Mosabaugar, öðru nafni nornabaugar, hafa til að mynda nánast

ekkert verið rannsakaðir hér á landi. Fróðlegt væri að rannsaka þá á Hellisheiði og Nesjavöllum með það að markmiði að kanna þolmörk mosans undir efnaálagi gagnvart plöntusjúkdómum og sveppasýkingum. Þekkt er að sveppabaugar í graslendi leysa út ammoníak í jarðvegi (Ingólfur Davíðsson 1961). Það gæti mögulega skýrt hvers vegna mosinn drepst umhverfis sveppinn en fyrri rannsóknir hafa sýnt fram á hnignun hraungambraþembna við aukið magn niturs (Jones o.fl. 2002, Pearce og van der Wal 2002, Armitage o.fl. 2012).

6 LOKAORÐ

Hér hefur verið lagður grunnur að langtímavöktun á gróðri í mosabembum við tvær stærstu jarðvarmavirkjanir landsins, Nesjavallavirkjun og Hellisheiðarvirkjun. Þróður hefur verið sérstakur lykill til að greina mismunandi útlitseinkenni og skemmdir á hraungambra og þær greindar í föstum rannsóknarreitum í mismunandi fjarlægð frá virkjununum.

Höfundar skýrslunnar hafa farið um rannsóknasvæðið og skoðað gróður bæði í rannsóknarreitum og utan þeirra. Eftir skoðun og mælingar er ljóst að töluverðar mosaskemmdir er að finna á svæðinu. Þær eru í meginatriðum tvennskonar; annarsvegar eru dökkar skemmdir umhverfis borholur og háspennumöstur sem tilheyra mosaflokkum G, D2 og C (48.-49. ljósmynd í 1. viðauka) og hinsvegar stór svæði þar sem dílarof og skemmdir í flokkum C, D2 og E eru algengar (33. ljósmynd í 1. viðauka).

Niðurstöður rannsóknarinnar sýna að virkjun jarðvarma á Hellisheiði og Nesjavöllum hafa haft talsverð áhrif á gróður í nágrenni virkjananna, en skemmda varð vart í a.m.k. 4 km fjarlægð. Niðurstöðurnar sýna einnig að mosaskemmdir eru útbreiddari við Nesjavallavirkjun en Hellisheiðarvirkjun sem að öllum líkindum tengist aldri starfseminnar. Settar eru fram spár um þróun mosaskemmda sem skýrt geta mismunandi útlit hraungambra á rannsóknasvæðunum. Endurmæling í rannsóknarreitum mun væntanlega leiða í ljós hverjar þeirra eiga við rök að styðjast og hverjar verða helstu breytingar á gróðri í mosabembum við virkjanirnar.

7 ÞAKKIR

Að gerð þessarar skýrslu hafa auk höfunda unnið Anette Meyer sem teiknaði kort og nokkrar myndanna. Einar Gunnlaugsson og Magnea Magnúsdóttir, starfsmenn Orkuveitu Reykjavíkur, hafa veitt margs konar gagnlegar upplýsingar um virkjunarsvæðin. Borgþór Magnússon hefur komið að verkefninu á ýmsum stigum svo sem við undirbúning og skipulag rannsóknar, yfirlestur handrits o.fl. Niall McGinty las yfir enskan texta. Öllum sem lagt hafa verkefninu lið eru færðar bestu þakkir.

8 HEIMILDIR

- Armitage, H.F., A.J. Britton, R. Van Der Wal, I.S.K. Pearce, D.B.A. Thompson og S.J. Woodin 2012. Nitrogen deposition enhances moss growth, but leads to overall decline in habitat condition of mountain moss sedge heath. *Global Change Biology* 18: 290-300.
- Arnþór Garðason 2002. *Könnun á fuglalífi á Hengli og Hellisheiði vorið 2001*. Líffræðistofnun Háskólans, fjölrit nr. 58. Reykjavík: Háskóli Íslands.
- Atherton, I., S. Bosanquet og M. Lawely, ritstj. 2010. *Mosses and Liverworts of Britain and Ireland: a Field Guide*. Northampton: British Bryological Society.
- Árni Ragnarsson 2006. Orkunotkun á Íslandi. Í *Orkuþing 2006: orkan og samfélagið – vistvæn lífsgæði. Erindi og kynningar á Orkuþingi 12.-13. október 2006*, bls. 45-57. Reykjavík: Samorka.
- Bargagli, R., D. Cateni, L. Nelli, S. Olmastroni og B. Zagarese 1997. Environmental Impact of Trace Element Emissions from Geothermal Power Plants. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 33: 172-181.
- Bechberger, O., Th.E. Thórhallsdóttir og K. Svavarsdóttir 2012. The role of mosses for ecosystem development in a proglacial area of SE-Iceland. Í Alexandra Bernardová, Jan Kavan og Otakar Strunecký, ritstj. *Polar Ecology Conference 2012. 30th september - 4th October 2012, České Budějovice, Czech Republic: Abstracts & Contact list*, bls. 8-9. České Budějovice: Faculty of Science, University of South Bohemia.
- Bergþór Jóhannsson 1993. *Íslenskir mosar: skeggmosaætt*. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar Íslands nr. 24. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Bergþór Jóhannsson 2003. *Íslenskir mosar: skrár og viðbætur*. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar Íslands nr. 44. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Bjarnason, Á.H. 1991. Vegetation on lava fields in the Hekla area, Iceland. *Acta Phytogeographica Suecica* 77. Uppsala: Uppsala universitet.
- ter Braak, C.J.F. og P. Šmilauer 2012. *CANOCO Reference Manual and User's Guide: Software for Ordination (Version 5.0)*. Ithaca, NY: Microcomputer Power.
- Carbon Recycling International 2013. *Sæki milljarða í mengunina*. http://www.carbonrecycling.is/index.php?option=com_content&view=article&id=55:morgunbladid-friday-may-3-2013-page-12-extracting-billions-from-pollution&catid=2&Itemid=6&lang=is [skoðað 7.11.2013]
- Conti, M.E. og G. Cecchetti 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment: a review. *Environmental Pollution* 114: 471-492.
- EFLA verkfræðistofa 2009. *Rannsóknir á mosa við jarðvarmavirkjun Orkuveitu Reykjavíkur á Hellisheiði*. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Reykjavík: EFLA verkfræðistofa.
- Egill Ólafsson 2012. Meiri mengun ern talið var. *mbl.is*. http://www.mbl.is/frettir/inn-lent/2012/06/14/meiri_mengun_en_talid_var [skoðað 7.11.2013]
- Flóra Íslands. <http://floraislands.is/MOSAR/racomlan.html> [skoðað 16.4.2013]
- González-Miguel, L., D. Elustondo, E. Lasheras, J.M. Santamaría 2010. Use of native mosses as biomonitors of heavy metals and nitrogen deposition in surroundings of two steel works. *Chemosphere* 78: 965-971.

- Guðmundur Guðjónsson, Kristbjörn Egilsson og Kristinn Haukur Skarphéðinsson 2005. *Gróður og fuglar á Hengilssvæði og Hellisheiði*. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-05008. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Guðmundur Guðjónsson og Kristbjörn Egilsson 2006. *Gróðurkort affjórum svæðum á Hellisheiði og nágrenni*. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-06017. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Guðmundur Guðjónsson, Kristinn Haukur Skarphéðinsson og Svenja N.V. Auhage 2009. *Gróðurfar og fuglalíf við Gráhnúka og Meitla*. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-09007. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Gunnar Böðvarsson 1951. *Skýrsla um rannsóknir á jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni árin 1947-1949: seinni hluti*. Reykjavík: Raforkumálastjóri.
- Heilbrigðiseftirlit Suðurlands. *Loftgæðamælingar*. <http://gogn.vista.is/vdv.php?p=1> [skoðað 16.4.2013]
- Helgadóttir, Á., K. Svavarsdóttir, R. Guicharnaud og I.S. Jónsdóttir 2012. The role of mosses in Icelandic subarctic tundra. Í Alexandra Bernardová, Jan Kavan og Otakar Strunecký, ritstj. *Polar Ecology Conference 2012. 30th september - 4th October 2012, České Budějovice, Czech Republic: Abstracts & Contact list*, bls. 8-9. České Budějovice: Faculty of Science, University of South Bohemia.
- Helgi Hallgrímsson 1987. Sveppabaugar og huldurendur. Í Bjarni E. Guðleifsson, ritstj. *Ársrit Ræktunarfélags Norðurlands*, 84. árg., bls. 68-80. Akureyri: Ræktunarfélag Norðurlands.
- Helgi Hallgrímsson 2010. *Sveppabókin: íslenskir sveppir og sveppafræði*. Reykjavík: Skrudda.
- Hill, M.O. og P. Šmilauer 2005. *TWINSPAN for Windows, version 2.3*. Huntingdon & Ceske Budejovice: Centre for Ecology and Hydrology og University of South Bohemia.
- Hjalti Sigurjónsson 2007. *Dreifingarspá fyrir brennisteinsvetni frá virkjunum á Nesjavöllum og Hellisheiði*. Verkfræðistofan Vatnaskil, 07.04. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur.
- Hultengren, S., H. Gralen og H. Pleijel 2004. Recovery of the epiphytic lichen flora following air quality improvement in south-west Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution* 154: 203-211.
- Hönnun 2003. *Bjarnarflagsvirkjun 90 MW_e og 132 kV Bjarnarflagslína 1 í Skútustaðahreppi. Mat á umhverfisáhrifum: matsskýrsla*. Reykjavík: Landsvirkjun.
- Hörður Kristinsson 1998. Gróðurbreytingar við álverið í Straumsvík. *Náttúrufræðingurinn* 67: 241-254.
- Hörður Kristinsson 2008. *Íslenskt plöntutal: blómplöntur og byrkningar*. Fjölrit Náttúrufræðistofnunar Íslands nr. 51. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Hörður Kristinsson og Starri Heiðmarsson 2009. Skrá yfir fléttur á Íslandi. *Flóra Íslands*. <http://floraislands.is/PDF-skjol/Flettulisti-2009.pdf> [skoðað 20.12.1013]
- IBM Corp. 2010. *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 19.0*. Armonk, NY: IBM Corp.
- Ingólfur Davíðsson 1961. Nornabaugar. *Náttúrufræðingurinn* 30: 187-190.
- Iris Hansen og Jón S. Ólafsson 2002. *Smádýralíf á Hellisheiði, við Stóra-Reykjafell, Skarðsmýraffall, í Hellisskarði og Sleggjubeinsskarði: könnun sumarið 2001*. Líffræðistofnun Háskólans, fjölrit nr. 60. Reykjavík: Háskóli Íslands.
- Íris Þórarinsdóttir og Hólmfríður Sigurðardóttir, ritstj. 2012. *Umhverfisskýrsla Orkuveitu Reykjavíkur 2012*. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur.

- Jones, M.L.M., E.R.B. Oxley og T.W. Ashenden 2002. The influence of nitrogen deposition, competition and desiccation on growth and regeneration of *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.) Brid. *Environmental Pollution* 120: 371-378.
- Jón S. Ólafsson og Gísli Már Gíslason 2002. *Smádyralíf í vötnum á Helligheiði: könnun í júlí 2001*. Líffræðistofnun Háskólans, fjölrit nr. 59. Reykjavík: Háskóli Íslands.
- Jóna Björk Jónsdóttir 2009. *Gróðurframvinda í Skaftáreldahrauni og áhrif hraungambra (Racomitrium lanuginosum) á landnám háplantna*. Meistaraprófsritgerð við Háskóla Íslands, Reykjavík.
- Jónsdóttir, I.S., T.V. Callaghan og J.A. Lee 1995. Fate of added nitrogen in a mossesedged arctic community and effects of increased nitrogen deposition. *The Science of the Total Environment* 160/161: 677-685.
- Jónsdóttir, I.S., B. Magnússon, J. Guðmundsson, Á. Elmarsdóttir og H. Hjartarson 2005. Variable sensitivity of plant communities in Iceland to experimental warming. *Global Change Biology* 11: 553-563.
- Kristbjörn Egilsson, María Harðardóttir og Guðmundur Guðjónsson 2000. *Gróðurfar og fuglalíf á landi Nesjavallavirkjunar*. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-00014. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Kristbjörn Egilsson, Guðmundur Guðjónsson, Ásrún Elmarsdóttir, Svenja N.J. Auhage og Rannveig Thoroddsen 2008. *Virkjunarsvæði á Reykjanesi: gróðurfar og kríuvarp*. Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-08012. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Kristmannsdóttir, H. og H. Ármannsson 2003. Environmental aspects of geothermal energy utilization. *Geothermics* 32: 451-461.
- Kristján Sæmundsson 1995. *Hengill: jarðfræðikort (berggrunnur). 1:50.000*. Reykjavík: Orkustofnun, Hitaveita Reykjavíkur og Landmælingar Íslands.
- Kristján Sæmundsson 2003. *Helligheiðarvirkjun jarðfræðilegar aðstæður á virkjanasvæði*. Greinagerð KS-03/02. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Reykjavík: Íslenskar Orkurannsóknir.
- Landsnet 2007. *Frumrannsóknir á gróðurskemmdum við háspennumöstur á Suðvesturlandi*. Unnið af Rannsóknarstofu UmhverfisTækni hjá Línuhönnun. Reykjavík: Landsnet.
- Loppi S., B. Giomarelli og R. Bargagli 1999. Lichen and mosses as biomonitors of trace elements in a geothermal area (Mt. Amiata, central Italy). *Cryptogamie Mycologie* 20(2): 119-126.
- Loppi, S., L. Frati, G. Benedettini, S. Pirintsos og C. Leonzio 2002. Biodiversity of epiphytic lichens as indicator of air pollution in the geothermal area of Lardello (Tuscany, Central Italy). *Israel Journal of Plant Sciences* 50: 119-126.
- Loppi, S., L. Paoli, og C. Gaggi 2006. Diversity of epiphytic lichens and Hg contents of *Xanthoria parietina* Thalli as monitors of geothermal air pollution in the Mt. Amiata area (Central Italy). *Journal of Atmospheric Chemistry* 53: 93-105.
- Magnea Magnúsdóttir 2010. *Leiðir til að fjölga mosum, einkum hraungambra (Racomitrium lanuginosum)*. BS-ritgerð við Landbúnaðarháskóla Íslands, Hvanneyri.
- Magnea Magnúsdóttir og Ása L. Aradóttir 2011. Leiðir til að fjölga hraungambra og öðrum mosategundum. *Náttúrufræðingurinn* 81(3-4): 115-122.
- Magnea Magnúsdóttir 2013. *Mosapembur: áhrifrask og leiðir til endurheimtar*. Meistaraprófsritgerð við Landbúnaðarháskóla Íslands, Hvanneyri.

- Mannvit 2010. *Þeistareykjavirkjun. Allt að 200 MW jarðhitavirkjun í Þingeyjarsveit og Norðurþingi. Mat á umhverfisáhrifum: frummatsskýrsla.* Húsavík: Þeistareykir ehf.
- Matvælastofnun 2013. *Mælaborð MAST.* <http://mast.is/default.aspx?pageid=647aa097-b558-452c-99de-8994d03bf7c7> [Sauðfjártölur árin 1981-2011, skoðaðar í DataMarket 15.3.2013]
- mbl.is 2008. *Þriðji áfangi Hellisheiðarvirkjunar tekinn í notkun.* http://www.mbl.is/frettir/innlent/2008/11/15/thridji_afangi_hellisheidarvirkjunar_tekinn_i_notku/ [skoðað 17.6.2013]
- Monni, S., M. Salemaa og N. Millar 2000. The tolerance of *Empetrum nigrum* to copper and nickel. *Environmental Pollution* 109: 221-229.
- Náttúrufræðistofnun Íslands 2008a. *Gróðurskemmdir við orkuverið í Svartsengi.* <http://www.ni.is/frettir/nr/820> [18.9.2008]
- Náttúrufræðistofnun Íslands 2008b. *Mosi drepst við Hellisheiðarvirkjun.* <http://www.ni.is/frettir/nr/817> [skoðað 8.9.2008]
- Orkustofnun. *Jarðvarmavirkjanir.* <http://www.os.is/jardhiti/jardhitanotkun/jardvarmavirkjanir> [skoðað 27.5.2013]
- Orkuveita Reykjavíkur a. *Virkjanir.* <http://www.or.is/um-or/virkjanir> [skoðað 15.12.2013]
- Orkuveita Reykjavíkur b. *Gönguleiðir.* <http://www.or.is/umhverfi-fraedsla/gonguleidir> [skoðað 15.12.2013]
- Olafsdóttir, S. og S.M. Gardarsson 2013. Impacts of Meteorological Factors on Hydrogen Sulfide Concentration downwind of Geothermal Power Plants. *Atmospheric Environment* 77: 185-192.
- Olafsdóttir, S., S.M. Gardarsson og H.O. Andradóttir 2014. *Atmospheric Environment.* *Atmospheric Environment* 82: 60-70.
- Ólafur G. Flóvenz 2006. Blekkingar um Hellisheiðarvirkjun. *mbl.is.* <http://www.mbl.is/greinasafn/grein/1110146> [skoðað 7.11.2013]
- Pearce, I.S.K. og R. van der Wal 2002. Effect of nitrogen deposition on growth and survival of montane *Racomitrium lanuginosum* heath. *Biological Conservation* 104: 83-89.
- Pfeiffer, H., G. Baumbach, L. Sarachaga-Ruiz, S. Kleanthous, O. Poulida og E. Beyaz 2009. Neural modelling of the spatial distribution of air pollutants. *Atmospheric Environment* 43: 3289-3297.
- Rannveig Thoroddsen 2002. *Flóra og gróður á völdum stöðum á Hellisheiði og Hengilssvæði.* Líffræðistofnun Háskólans, fjölrit nr.62. Reykjavík: Háskóli Íslands.
- Reglugerð um styrk brennisteinsvetnis í andrúmslofti nr. 514/2010.* <http://www.reglugerd.is/interpro/dkm/WebGuard.nsf/key2/514-2010>
- Salemaa, M., I. Vanha-Majamaa og J. Derome 2001. Understorey vegetation along a heavy-metal pollution gradient in SW Finland. *Environmental Pollution* 112: 339-350.
- Sigurður H. Magnússon 2002a. *Þungmálmur í mosa í nágrenni álversins í Straumsvík árið 2000.* Unnið fyrir Íslenska álfélagið hf. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-02010. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Sigurður H. Magnússon 2002b. *Þungmálmur í mosa í nágrenni fyrirhugaðs álvers í Reyðarfirði árið 2000.* Unnið fyrir Reyðarálf hf. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-02011. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.

- Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007a. *Heavy metals and sulphur in mosses at Grundartangi in 2005*. Unnið fyrir Norðurál ehf og Íslenska járnblendifélagið. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ 07004. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007b. *Heavy metals and sulphur in mosses around the aluminium smelter in Straumsvík in 2005*. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-07003. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Sigurður H. Magnússon og Björn Thomas 2007c. *Heavy metals and sulphur in mosses around the aluminium smelter in Reyðarfjörður in 2005*. Unnið fyrir Alcoa Fjarðarál. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-07005. Reykjavík: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Sigurður H. Magnússon 2013. *Pungmálmar og brennisteinn í mosa á Íslandi 1990-2010: áhrif iðjuvera*. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-13003. Garðabær: Náttúrufræðistofnun Íslands.
- Sigprúður Stella Jóhannsdóttir, Aðalsteinn Örn Snæþórsson og Þorkell Lindberg Þórarinsson 2013. *Gróður- og fuglavöktun á háhitasvæðum í Þingeyjarsýslum*. Náttúrustofa Norðausturlands, unnið fyrir Landsvirkun og Þeistareyki ehf., LV-2013-049. Húsavík: Náttúrustofa Austurlands.
- Smith, Y.Z. 2011. *The sustainability of current geothermal energy harnessing practices: focus on the possible effects in the moss *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.) Brid at Hellsheiði power plant, S.W. Iceland*. BS-ritgerð við School of Civil Engineering and the Environment, University of Southampton, Englandi.
- Svanhildur Jónsdóttir Svane 1963. Um mosapembugróður. *Náttúrufræðingurinn* 33: 233-263.
- Tallis, J.H. 1959. Studies in the biology and ecology of *Racomitrium lanuginosum* brid. II. Growth, reproduction and physiology. *Journal of Ecology* 47(2): 325-350.
- Treweek 1999. *Ecological Impact Assessment*. Malden: Blackwell Science.
- Vacek, S., M. Bastl, og J. Lepš 1999. Vegetation changes in forests of the Krkonoše Mts. over a period of air pollution stress (1980-1995). *Plant Ecology* 143: 1-11.
- Vatnaskil 2010. *Styrkur brennisteinsvetnis frá Hellsheiðarvirkjun og Nesjavallavirkjun, samamburður við reglugerðarmörk*. Minnisblað til Einars Gunnlaugssonar, Orkuveitu Reykjavíkur frá Hjálta Sigurjónssyni og Snorra Páli Kjaran, Vatnaskilum. http://utbod.or.is/media/PDF/vidauki_6h2s_dreifingarspa.pdf [skoðað 15.12.2013]
- VGK 2000. *Nesjavallavirkjun áfangi 4B stækkun rafstöðvar úr 76 í 90MW. Mat á umhverfisáhrifum*. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur.
- VGK 2005. *Stækkun Hellsheiðarvirkjunar. Tillaga að matsáætlun*. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur.
- VGK 2006. *Umhverfisáhrif borana og prófana á háhitaholum á Hellsheiði*. Reykjavík: Orkuveita Reykjavíkur.
- VSÓ ráðgjöf 2013. *Rannsóknaboranir í Eldvörpum, Grindavíkurbæ. Aðkomuvegir, borplön og borun rannsóknarholna. Mat á umhverfisáhrifum: tillaga að matsáætlun*. Reykjanesbær: HS Orka hf.
- Þóra Ellen Þórhallsdóttir 2002. *Gildi landslags á Hengilssvæðinu*. Líffræðistofnun Háskólans, fjölrit nr.61. Reykjavík: Háskóli Íslands.
- Þórður Arason og Torfi Karl Antonsson 2003. *Veðurmælingar á Hellsheiði 2001-2002: greinargerð 03018*. Veðurstofa Íslands, VÍ-TA01. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

9 ABSTRACT

The geothermal power plants at Nesjavellir and Hellisheiði, Iceland, started operation in 1990 and 2006, respectively. In recent years, damages to moss heaths (dominated by *Racomitrium lanuginosum*) were subsequently detected in their surrounding areas. In 2012 the Reykjavík Energy Company contracted the Icelandic Institute of Natural History (IINH) to establish a detailed observation and monitoring scheme of the vegetation around the Nesjavellir and Hellisheiði power plants. The aim of the monitoring was to evaluate vegetation conditions in 2012 and to follow future changes that may occur.

In the first step of the study, samples of Woolly Fringe moss, *Racomitrium lanuginosum*, were collected around the geothermal power plants and examined in the laboratory to estimate the varying levels of damage found in the moss. Following the inspection a classification key was established, consisting of ten different categories which were based on the appearance of the moss, describing the severity of damages.

Circular monitoring areas with a 4.5 km radius surrounding the two power plants were defined. Within the areas, seven 4 km long transects were located in different directions from the power plants: three transects were established at Nesjavellir (NE, SE, W direction) and four at Hellisheiði (NW, SE, S, SW direction). At each transect, five monitoring plots (4×20 m) were established at a distance of 250, 500, 1000, 2000 and 4000 m from the power plants. All monitoring plots were situated within homogenized *Racomitrium* heaths, restricted to concave topography and with a moss carpet greater than 10 cm in depth. Within each monitoring plot, eight quadrates (0.5×0.5 m) were laid out and the frequency of the different moss categories and vascular plants was determined using 100 subunits (0.05×0.05 m). Photos were taken of all monitoring plots and quadrates. In addition, moss samples were collected from all plots for chemical- and trace elements analysis (not included in this report). Sampling was carried out during July and August 2012.

Dense moss carpets were encountered within both monitoring areas with variable levels of damage on moss shoots. We frequently observed that more than one moss category appeared in each sampling subunit. Calculations of the mean frequency of only healthy, undamaged moss within the subunits, gave a good overview of the moss carpets conditions for the whole research area. The results show that the mean frequency of healthy moss was higher at Hellisheiði (24%) than at Nesjavellir (13%). In the monitoring plots closest to the Hellisheiði power plant, healthy moss was very low (0.7%), but this increased up to 60% at distance of 500-1000 m before decreasing again at 2000 and 4000 m. In general, the presence of only healthy moss was low in most plots at Nesjavellir (13%).

Damages found on moss were patchily distributed within the research areas, with no clear pattern with distance or directions from the power plants. Most of the damages were either within plots close to the power plants or furthest from them. The results show clearly a higher frequency of damaged moss at Nesjavellir than Hellisheiði. The difference can partly be explained by the volume of emissions from each power plant and longer operation period of the Nesjavellir plant.

The *Racomitrium* heaths were in general rather species poor and uniform in species composition. At the Nesjavellir site frequency of dwarf shrubs (e.g. *Empetrum nigrum*) was higher and lichen frequency lower than at the Hellisheiði site. This may reflect long-term effects of emissions from the power plants on the vegetation.

In the report we put forward a hypothesis and predictions about the development of damage sustained by the *Racomitrium* heaths in the affected areas. The predictions are supported and explained with the classification key set up in the study.

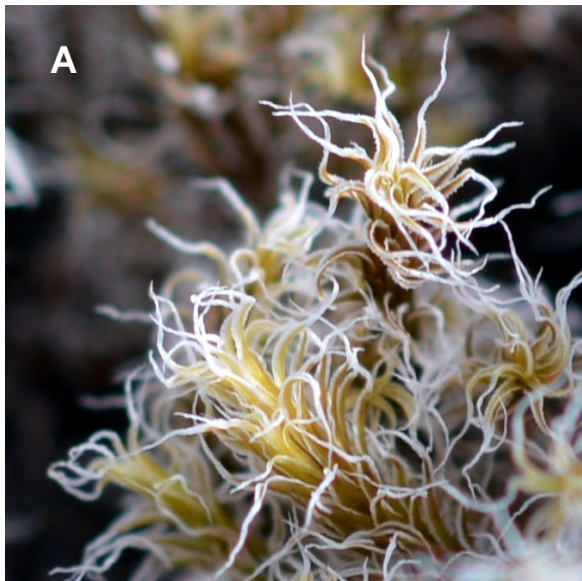
This is the first vegetation monitoring scheme that has been set up in an area around geothermal power plants in Iceland. The initial results indicate that moss heaths and associated vegetation is impacted by emissions from the plants. A second sampling within the monitoring areas at the Nesjavellir and Hellsheiði power plants is intended to take place in 2017. With increasing development of geothermal power in Iceland it is desirable to increase environmental monitoring around other power plants, old and new.

10 VIÐAUKAR

1. viðauki. Ljósmyndir af gróðri við Helliðarvirkjun og Nesjavallavirkjun.



1. ljósmynd. Heilbrigður mosi (A). Þurr og þétt, heilbrigð mosapembra hraungambra við Helliðarvirkjun. Mosapækjan er grá/gul að lit. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 28. júní 2012.



2. ljósmynd. Heilbrigður mosi (A). Nærmynd af þurrum, heilbrigðum mosasprotum við Rauðhálsahraun í Kolbeinsstaðahreppi. Blöð mosans eru gul að lit og efnær er gáð með hvítum hároddum sem sjást greinilega. Blöðin lúta þétt að stöngli, viðhalda raka og vernda blöð hans gagnvart UV geislum sólar. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 1. ágúst 2013.



3. ljósmynd. Heilbrigður mosi (A). Nærmynd af mosasprotum í rakri og heilbrigðri mosapækju við reit HV-S-4000. Í raka verða blöðin gulgræn og breiðast út frá stöngli og auka þannig getu sýna til að ljóstillífa. Sömuleiðis verða hároddar blaða ekki jafn áberandi hvítir og í þurrki. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 30. júlí 2012.

4. ljósmynd. Mosaöldur við reit NV-V-2000. Yfirborð mosapembna hraungambra eru ekki ætíð sléttar heldur oft með misháum „mosaöldum“. Líklegast er það vindur og úrkoma sem mótar þetta sérkennilega yfirborð. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 7. ágúst 2013.



5. ljósmynd. Grænn mosi (B). Nærmynd af skemmdum í flokki B. Mosapækjan er þurr og blöð sprotanna liggja þétt að stönglinum. Blöðin í mosapækjunni eru græn en einstaka sprotar skemmdir. Hér hafa hároddar og blöð eyðst og leifar mosasprotanna eru visnuð og brúngul að lit. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 26. júlí 2012.



6. ljósmynd. Grænn mosi (B). Skemmdir í flokki B við reit HV-SA-1000. Þær finnast einkum á örlitlum hæðum eða í „mosaöldum“ mosabungna við rakar aðstæður. Hér sjást dekkri mosasprotar innan um þekju grænna sprota. Þeir dökku eru skemmdir á stönglum og blöðum. Hér sést einnig að það á ekki alltaf við að hároddinn vanti á skemmda sprota en hann er þó tiltölulega styttri en heilbrigður hároddur. Við rakar aðstæður eru skemmdu sprotarnir dökkbrúnir við stöngul en blöðin visnuð og brúngul að lit. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 26. júlí 2012.

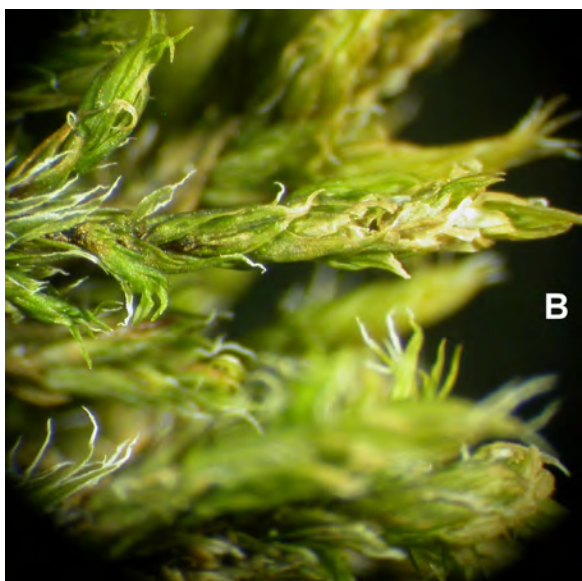




7. ljósmynd. Grænn mosi (B) við Hellisheiðarvirkjun. Í þurrki koma þessar skemmdir fram sem grænir hringlaga upphleyptir blettir með nafla í miðju. Við rakar aðstæður er ekki áberandi munur á grænu blettunum og heilbrigðri mosapekju. Stönglar mosapekjunnar eru dökkgrænir og oft með styttri hárodda og blöðin lúta þétt að stönglinum (sjá 9. ljósmynd). Í naflanum eru skemmdir lengra gengnar (D2) sem á myndinni sjást sem dökkur skuggi. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 26. júní 2012.



8. ljósmynd. Grænn mosi (B) við reit NV-SA-4000. Skemmdir koma fram sem grænir blettir eða skellur (B) í annars heilbrigðri mosapekju (A) við þurrar aðstæður. Þó eru ekki allir sprotar innan skellunnar skemmdir. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 2. ágúst 2012.



9. ljósmynd. Grænn mosi (B) við Hellisheiðarvirkjun. Nærmynd af grænum mosasprotum með skemmd blöð. Hároddar hafa eyðst og blöð lagst að stönglum. Hároddar eru styttri en á heilbrigðum mosa. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 27. júní 2012.

10. ljósmynd. Gulur mosi (C). Skemmd við reit HV-S-4000 kemur hér fram sem brúnleitur blettur í heilbrigðum mosa. Sést best við rakar aðstæður eins og hér á myndinni. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 30. júlí 2012.

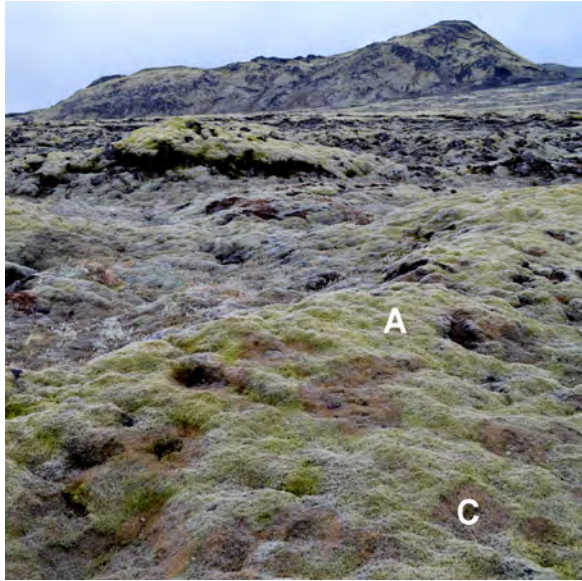


11. ljósmynd. Gulur mosi (C). Nærmynd af skemmdum við reit HV-SA-1000. Blöð eru fölbrúngul að lit og virðast ekki mjög lífvænleg. Hároddar eru til staðar. Myndin sýnir þurrk mosasýni. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 26. júlí 2012.



12. ljósmynd. Gulur mosi (C). Nærmynd af skemmdum við reit HV-S-4000. Blöð eru brúnleit og hároddar virðast styttri en hjá heilbrigðri mosapækju. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 30. júlí 2012.





13. ljósmynd. Gulur mosi (C). Gular skemmdir innan um heilbrigða mosapembu. Mynd tekin við þurrar aðstæður á Helligheiði austan við Eldborg í Orustuhólshrauni. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 6. júní 2013.



14. ljósmynd. Gulur mosi (C). Nærmynd af mosa-skemmd á 13. ljósmynd, við Helligheiðarvirkjun. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 6. júní 2013.



15. ljósmynd. Gulur mosi (C). Nærmynd aftveimur mosavöndum við reit NV-V-4000, til vinstri er skemmdur mosi með visna gula eldri sprota (C) en til hægri eru mosasprotar eðlilegir, ljóstíllífangi efst (A) og F neðst. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 7. ágúst 2013.

16. ljósmynd. Gulur mosi (C). Nærmynd af mosa-skemmd á 13. ljósmynd. Ljósmynd. Ljósmynd. Ágústa Helgadóttir, 6. júní 2013.

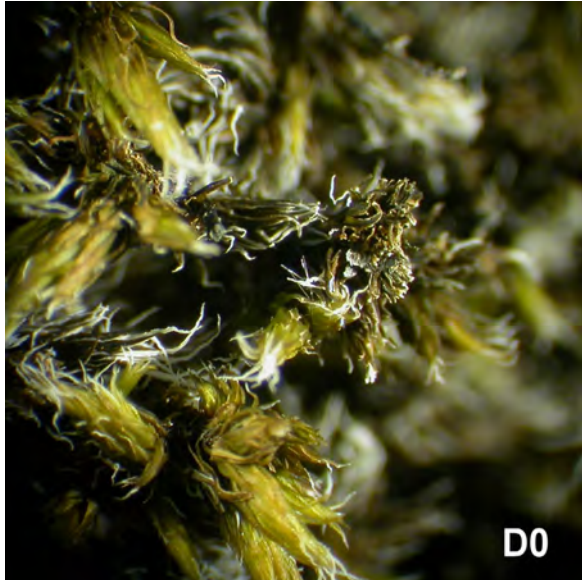


17. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D0). D0 skemmd við reit NV-NA-250. Við þurrar aðstæður er mosinn dökkur og gulbrúnn að lit. Nánast engir ljóstillifandi mosasprotar finnast í skemmdinni. Ljósmynd. Ágústa Helgadóttir, 25. júlí 2012.



18. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D0). Nærmynd af mosasprotum í skemmd við reit NV-NA-250 sem sýnd er á 17. mynd. Gamlir sprotar með ýmist dökk eða fölgul laufblöð. Hároddar eru tilstaðar á mosasprotum. Ljósmynd. Ágústa Helgadóttir, 25. júlí 2012.





19. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D0). Nærmynd af skemmdum laufblöðum í flokki D0 við Helligheiðarvirkjun. Hér hafa hároddar og laufblöð eyðst að stöngli. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 27. júní 2012.



20. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D0). D0 skemmd í mosa við reit HV-S-4000. Við rakar aðstæður sést skemmdin mun betur en í þurru veðri. Þessar skemmdir finnast einkum í lægðum og dældum þar sem mosapækja samanstendur af ýmist svörtum, grænum og gulbrúnum sprotum. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 30. júlí 2012.

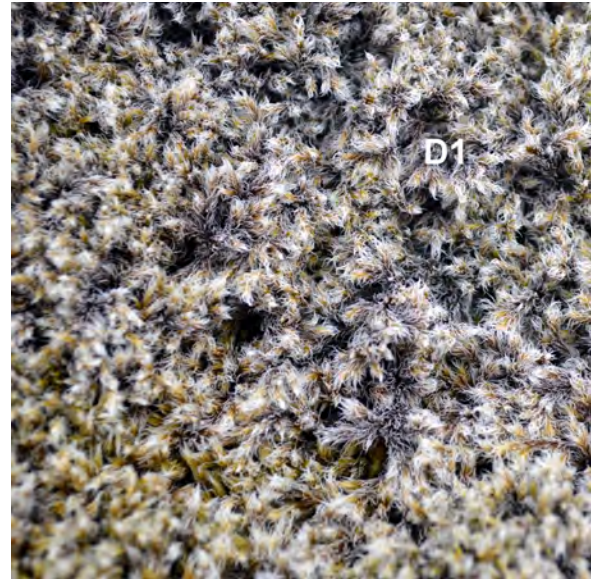


21. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D0). Nærmynd af mosasprotum af gerð D0 við reit HV-S-4000. Yngstu grænu sprotarnir eru með styttri hárodda en heilbrigð mosapækja og þeir eldri eru nánast án hárodda. Hér sjást grænir sprotar vaxa upp af eldri dekkri sprotum. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 30. júlí 2012.

22. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D1). Myndin sýnir D1-skemmdir við reit HV-NV-4000. Þær sjást einna best í raka en þá eru eldri stönglar svartir á lit og er sums staðar eins og sprotar mosans séu að teygja sig upp úr mosapembunni. Eldri stönglar eru oft með skemmda hárodda og blöð líkt og sjá má á 19. mynd. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 3. júlí 2012.

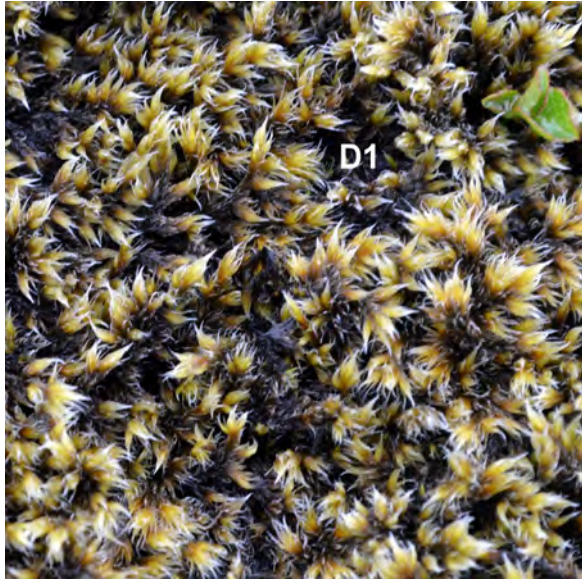


23. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D1). Þurr mosapemba við reit NV-V-500. Á milli heilbrigðra (A) sprota sést í eldri stöngla mosapembunnar (D1). Þekja ljóstillíffandi mosasprota er minni en í heilbrigðri mosapemba. Hároddar eru til staðar á yngri og eldri laufblöðum. Þegar D1 mosasprotar eru grandskoðaðir sjást oft ummerki um skemmd laufblöð. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 20. júlí 2012.

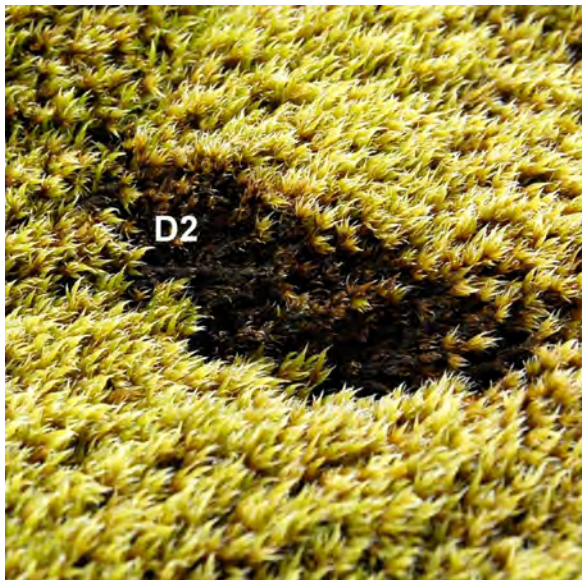


24. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D1). Nærmynd af lítið rakri D1 mosapækju við reit NV-NA-4000. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 4. júlí 2012.

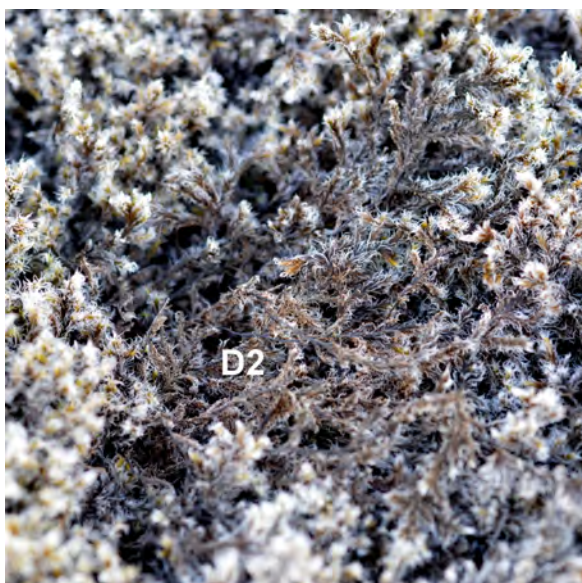




25. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D1). Rök mosapemba við reit HV-SV-2000. Hér sést í dekkri eldri mosastöngla þembunnar. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 8. ágúst 2013.



26. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D2). Skemmd í flokknum D2 um 800 m norðvestan við Helliðsvirkjun. Blettir eru stærri en 2 cm í þvermál með dökkum skemmdum mosa (líkt og D1). Stönglar eru sviðnir og svartir. Skemmdin sést afar vel í röku veðri, úr augnhæð standandi manns. Ljós. Sigurður H. Magnússon, 18. september 2009.



27. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D2). Nærmynd af skemmdum í flokki D2 við þurrar aðstæður við reit NV-SA-2000. Dökkir sprotar án ljóstillífanði laufblaða eru áberandi. Hároddar eru til staðar á eldri laufblöðum. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 2. ágúst 2012.

28. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D2). Nærmynd af skemmdum í flokki D2 í röku veðri við reit NV-NA-4000 en þá verða þær mun greinilegri en í þurrki sbr. 27. ljósmynd. Hároddar eru til staðar á yngstu sprotunum. Athugið að á neðri hluta myndarinnar eru einnig D1 skemmdir. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 4. júlí 2012.

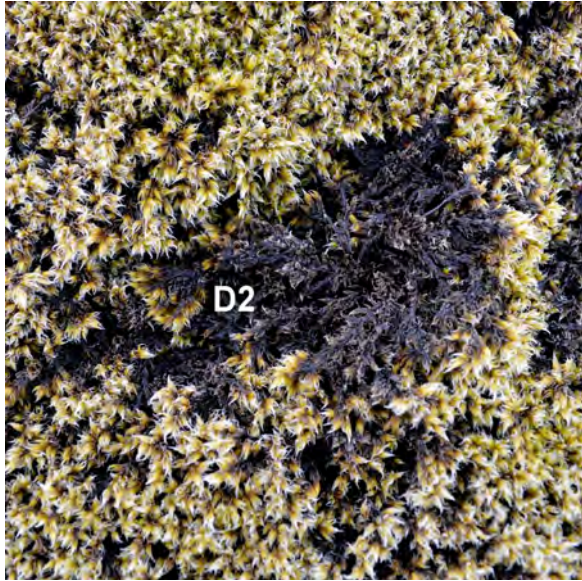


29. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D2). Nærmynd af þurrum sprota í flokki D2 við reit NV-V-4000. Hér sést að hároddar og blaðendar hafa skemmst. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 1. ágúst 2012.

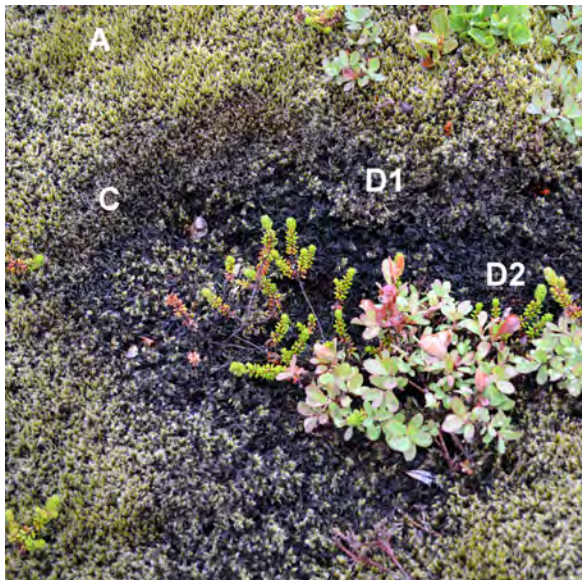


30. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D2). Nærmynd af mikið skemmdum mosa í flokki D2 við reit NV-SA-500. Stönglar eru nánast blaðlausir. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 1. ágúst 2012.

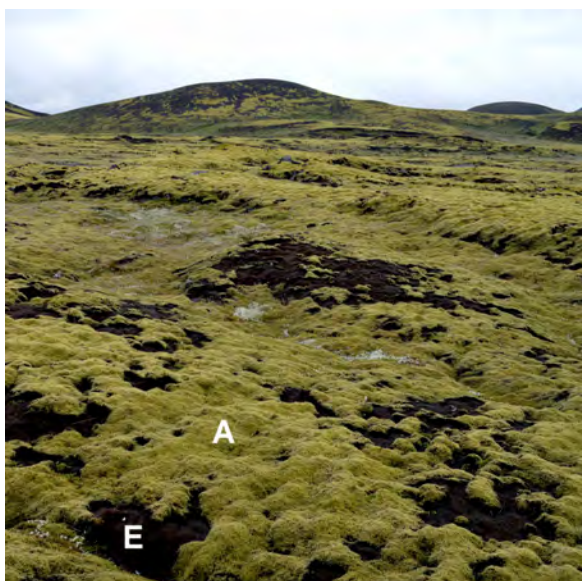




31. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D2). Nærmynd af rakri skemmdri mosabekju við reit NV-V-250. Í hægra horni skemmdarinnar sést í blaðlausan sprota líkt og á 30.ljósmynd. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 20. júlí 2012.



32. ljósmynd. Svartur–svartgrænn mosi (D2). D2 skemmd við reit NV-V-250. Innst í henni er mosaflokkur D2 með svarta þekju en umhverfis hana eru flokkar C og D1. Krækilyng og bláberjalýng vaxa í skemmdinni. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 8. ágúst 2013.



33. ljósmynd. Brúnn mosi (E). Áberandi brúnar skemmdir (E) á mosavaxinni hraunbungu við reit HV-S-4000. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 30. júlí 2012.

34. ljósmynd. Brúnn mosi (E). Rof vestan við Hellisheiðarvirkjun. Þar sem mosapækja hefur rofnað sést yfirleitt í þrjá mosaflokka; heilbrigða mosapækju (A), eldri gráa stöngla (F) (sem enn eru með hárodda á blöðum) og brúna mosa (E). Ljós. Ágústa Helgadóttir, 28. júní 2012.



35. ljósmynd. Brúnn mosi (E). Nærmynd af brúnum mosa (E) vestan við Hellisheiðarvirkjun. Þessar skemmdir má oftast rekja til vindrofs. Þar er yfirleitt mjög grunnt á jarðveg eða hraun. Í röku veðri er þekja E dökkbrún og líkist því D2 þekju. Það sem greinir þær að er litamunur og hæring því D2 er svört við rakar aðstæður. Á einstaka stað hefur brúna þekjan rofnað alveg niður í jarðveg. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 28. júní 2012.

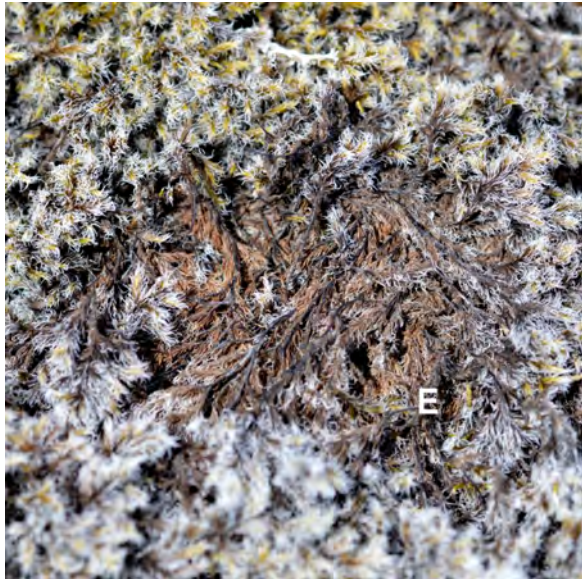


36. ljósmynd. Brúnn mosi (E). Dæmi um skemmd í flokki E vestan við Hellisheiðarvirkjun. Hér sést í eldri brúna stöngla (E). Þetta gæti t.d. verið eftir traðk dýra eða rask vegna vindrofs. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 28. júní 2012.





37. ljósmynd. Brúnn mosi (E). Dæmi um skemmd í flokki E við reit NV-V-2000. Fyrir miðju er brún mosabekja (E) en við jaðarinn er þekja í flokki D2. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 18. júlí 2012.

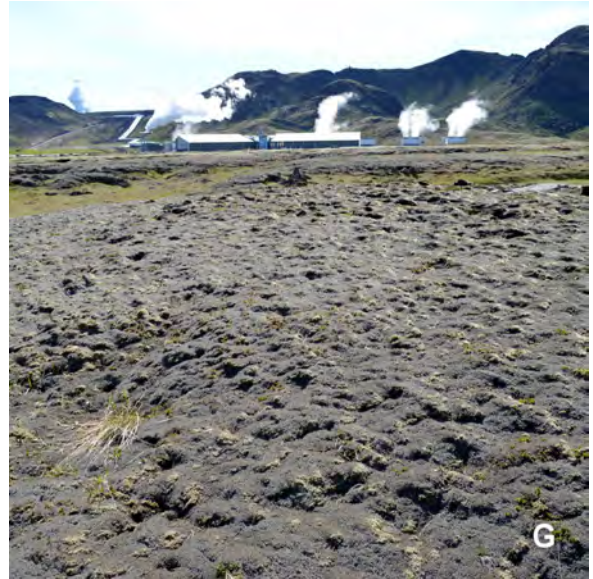


38. ljósmynd. Brúnn mosi (E). Dæmi um skemmd af flokki E vestan við Hellisheiðarvirkjun. Þarna er einnig að sjá dökka og sviðna stöngla í flokki D2. Myndin var tekin í þurru veðri. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 28. júní 2012.



39. ljósmynd. Brúnn mosi (E). Mynd tekin við reit HV-SA-1000. Svipaðar skemmdir og á 38. ljósmynd nema að skemmdin er töluvert stærri. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 26. júlí 2012.

40. ljósmynd. Steingrár mosi (G). Við öryggislosun Hellsheiðarvirkjunar við Húsmúlarétt var mosinn mjög skemmdur. Mosinn að mestu dauður. Brúskar af heilbrigðum mosa sjást á víð og dreif. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 28. júní 2012.



41. ljósmynd. Steingrár mosi (G). Dauður mosi í flokki G við öryggislosun Hellsheiðarvirkjunar við Húsmúlarétt. Lifandi mosi finnst í bríkum er snúa mót suðvestri. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 28. júní 2012.

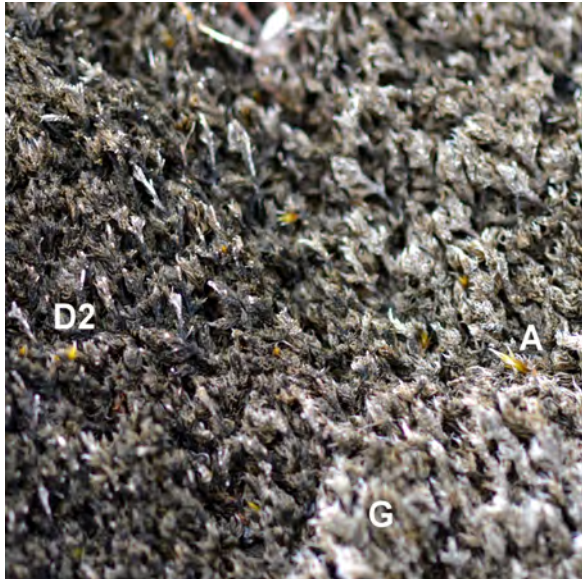


42. ljósmynd. Steingrár mosi (G). Nærmynd af skemmdum mosasprotum í grárri þekju (G) við öryggislosun Hellsheiðarvirkjunar við Húsmúlarétt. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 28. júní 2012.

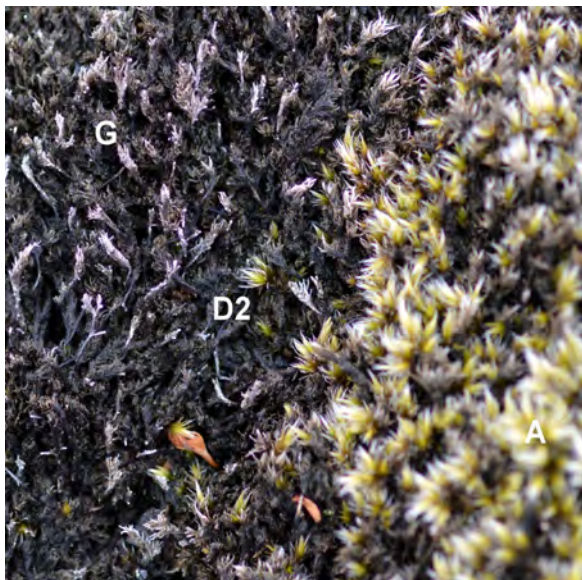




43. Ljósmynd. Steingrár mosi (G). Mosaskemmdir í flokki G á Hellisheiði norðvestan við borteig HE-9. Engir grænir lifandi mosasprotar sjáanlegir, einungis líflausir steingráir og sviðnir mosasprotar í rakri mosabembu. Ljósm. Ágústa Helgadóttir, 6. júní 2013.

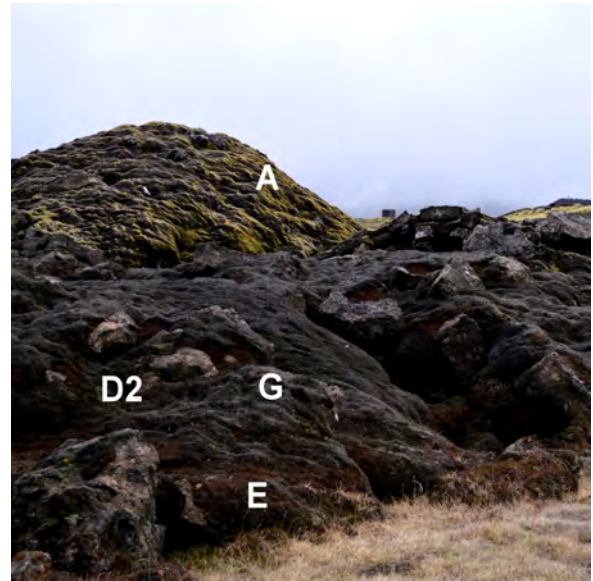


44. Ljósmynd. Steingrár mosi (G). Mosaskemmdir í flokki G á Hellisheiði norðvestan við borteig HE-9. Sjá má einstaka nýja gulgræna sprota (A) innan um mosaskemmdir í flokki G og D2. Ljósm. Ágústa Helgadóttir, 6. júní 2013.

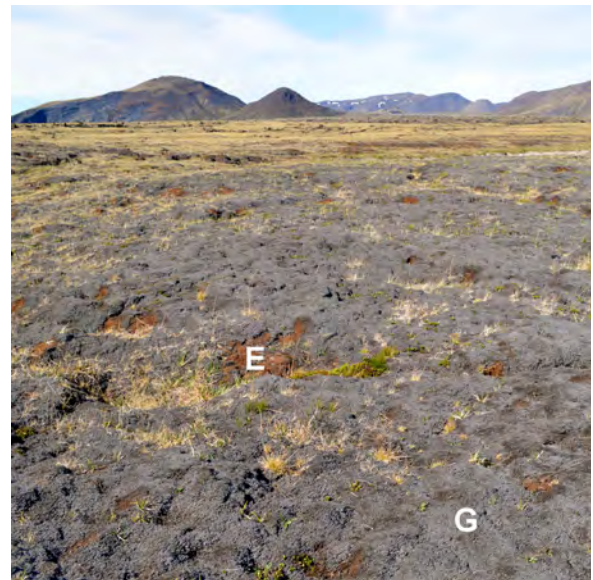


45. Ljósmynd. Steingrár mosi (G). Mosaskemmdir í flokki G á Hellisheiði NV við borteig HE-9. Nýir sprotar (A) hafa vaxið upp og mynda samfellda þekju innan um D2 og G skemmdir. Ljósm. Ágústa Helgadóttir, 6. júní 2013.

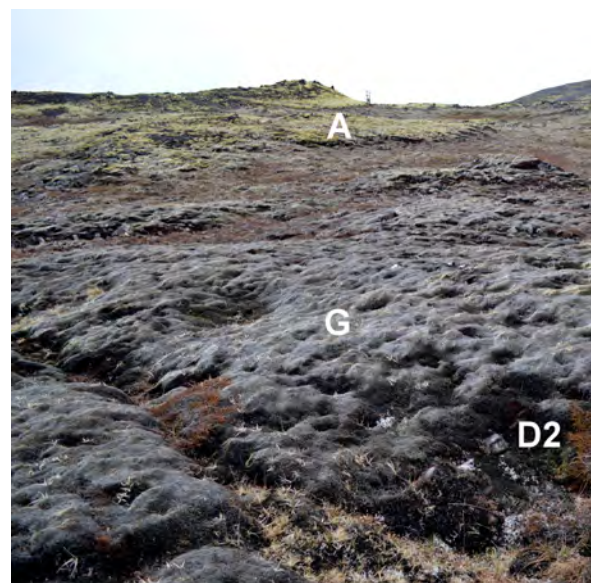
46. ljósmynd. Stórskemmd mosapemba á Helliðarheiði, vestan við borteig HE-3. Hér hefur líklega slýs orðið við hitavatnsrör. Efst á hrauninu eru leifar af heilbrigðum mosa (A) en neðar eru steingrár (G) og svartar (D2) skemmdir og neðst sést í brúnar rofskemmdir (E). Ljós. Ágústa Helgadóttir, 6. júní 2013.

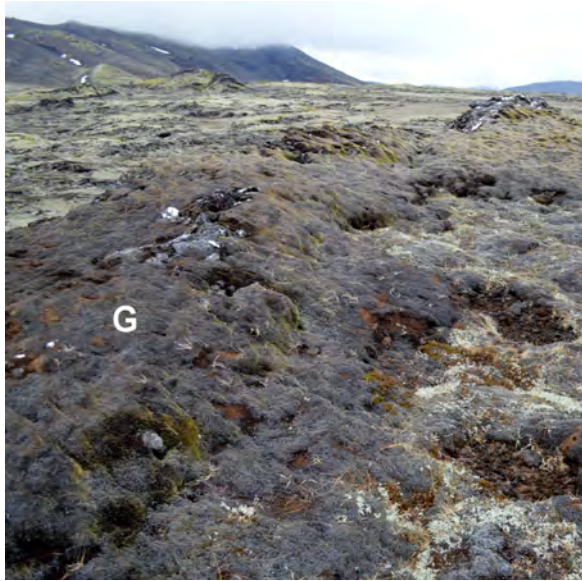


47. ljósmynd. Stórskemmd mosapemba við Helliðarvirkjun. Steingrár (G) mosi ríkjandi en einnig talsvert afbrúnum mosa (E). Ljós. Ágústa Helgadóttir, 28. júní 2012.



48. ljósmynd. Stórskemmd mosapemba á Helliðarheiði NV við borteig HE-9. Myndin var tekin í röku veðri. Mosapemban er steingrá (G) yfir að líta með svörtum D2 skemmdum á jöðrum og í smáum dældum á hraunbungunum. Fjær sést í heilbrigða mosapemba (A). Ljós. Ágústa Helgadóttir, 6. júní 2013.





49. ljósmynd. Steingrár mosi (G). Skemmdir á hraungambra við háspennumastur ~2 km austsuð-austur af kæliturnum Hellsheiðarvirkjunar. Dökkgráu skemmdirnar eru líklega af völdum sinkmengunar. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 6. júní 2013.

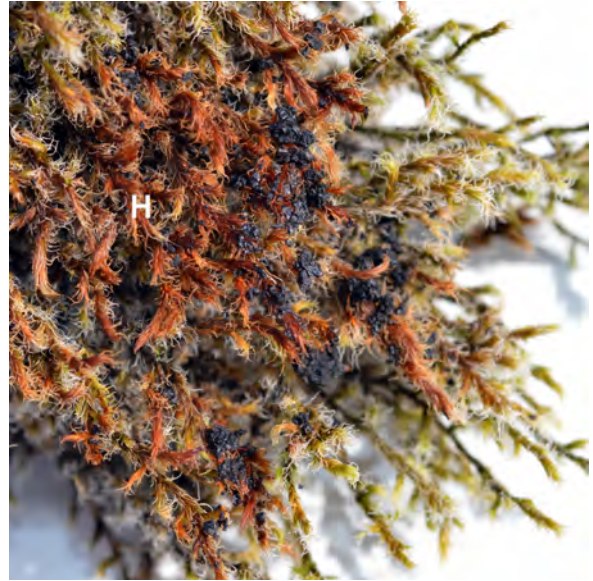


50. ljósmynd. Steingrár mosi (G). Nærmynd af mosaskemmd sem sýnd er á 49. ljósmynd. Mosinn er steingrár (G) og gulur (C). Engir ljóstillífandi sprotar. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 6. júní 2013.



51. ljósmynd. Steingrár (G) og svartur (D2) skemmdur mosi undir girðingu við Svínahraunsbruna. Möguleg sinkmengun hér á ferð. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 6. júní 2013.

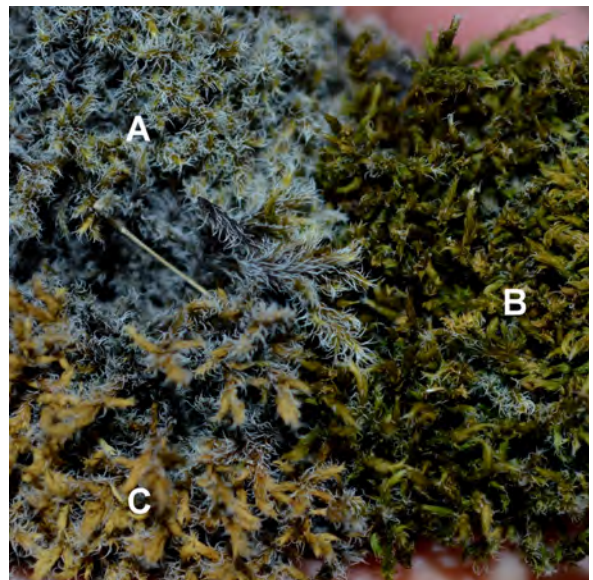
52. ljósmynd. Rauður mosi (H). Skemmdir í flokki H við reit HV-SA-1000 í Reykjafelli. Yngstu mosasprotar eru rauðir (H). Þessi skemmd fannst ekki í öðrum reitum sem kannaðir voru sumarið 2012. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 26. júlí 2012.



53. ljósmynd. Rauður mosi (H). Nærmynd af skemmdum í flokki H við reit HV-SA-1000 í Reykjafelli. Blöð og hároddar eru rauðbrúnir. Svartir kleprar sjást á mosanum. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 26. júlí 2012.



54. ljósmynd. Þurr mosasýni borin saman; heilbrigður mosi (A), grænn mosi (B) og gulur mosi (C) vestan við Hellsheiðarvirkjun. Athugið muninn á hæringu sem er mjög lítil á þeim græna. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 26. júní 2012.





55. ljósmynd. Nornabaugar eða mosabaugar. Nornabaugar við Rauðhálsahraun í Kolbeinsstaðahreppi. Hér hefur líklegast sveppur verið að verki og valdið hringlaga skemmdum. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 1. ágúst 2013.



56. ljósmynd. Nornabaugar eða mosabaugar. Stórskemmt svæði suðaustan við Helliðsvirkjun. Áberandi eru hringlaga skemmdir sem líkjast nornabaugum eða mosabaugum. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 15. ágúst 2013.



57. ljósmynd. Nornabaugar eða mosabaugar. Nærmynd af sömu skemmdum og á 56. ljósmynd. Hringlaga skemmd í heilbrigðri mosapembu. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 15. ágúst 2013.

58. Ljósmynd. Gulkrókar, *Cladonia uncialis*. Skemmdir svartir og brúnir krókar við reit NV-V-4000. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 7. ágúst 2013.



59. Ljósmynd. Gulkrókar, *Cladonia uncialis*. Nærmynd af skemmdum á 58. Ljósmynd. Greina má svartar og brúnar skemmdir. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 7. ágúst 2013.



60. Ljósmynd. Stinnastör, *Carex bigelowii*, og grasvíðir, *Salix herbacea*, við reit NV-NA-250. Blaðendar og miðrák stararinnar eru gul en blöð grasvíðis brún og visin og bera ummerki um skordýrabeit. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 25. júlí 2012.





61. ljósmynd. Stinnastör, *Carex bigelowii*, við reit HV-S-4000. Blöð stinnastarar eru með gula miðrák og visnaða gula og brúna blaðenda. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 30. júlí 2012.



62. ljósmynd. Kornsúra, *Bistorta vivipara*, við reit NV-V-4000. Blöð kornsúrunnar eru brún með dökkum flekkjum og dökkum æðum. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 7. ágúst 2013.



63. ljósmynd. Grasvíðir, *Salix herbacea*, við reit NV-NA-250. Blöð víðisins eru brún og visin og bera ummerki um skordýrabeit. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 25. júlí 2012.

64. ljósmynd. Grasvíðir, *Salix herbacea*, við reit HV-S-4000. Blöð víðisins eru brún og visin og bera ummerki um skordýrabeit. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 30. júlí 2012.



65. ljósmynd. Ljónslappi, *Alchemilla alpina*, við reit NV-V-4000. Blöð eru greinilega óeðlileg, gul og visin. Einnig má greina á þeim brúna og svartar skemmdir. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 7. ágúst 2013.



66. ljósmynd. Ljónslappi, *Alchemilla alpina*, við reit NV-V-4000. Blöð eru gul og visin, sum dökk með greinilegum skemmdum. Blómstönglar hafa einnig skemmst og visnað. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 7. ágúst 2013.





67. ljósmynd. Bláberjalyng, *Vaccinium uliginosum*, við reit NV-NA-250. Blöðin eru brún og visin og bera ummerki um skordýrabeit. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 25. júlí 2012.



68. ljósmynd. Krækilyng, *Empetrum nigrum*, við reit NV-V-4000. Ber eru skemmd og hafa ekki náð að þroskast - græn, appelsínugul eða ljósbrún á lit. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 7. ágúst 2013.



69. ljósmynd. Sortulyng, *Arctostaphylos uva-ursi*, við reit NV-V-250. Sjá má dauða stöngla og ljósbrún visnuð blöð. Aðrir stönglar plöntunnar eru á lífi með græn og rauð-gul blöð. Ljós. Ágústa Helgadóttir, 20. júlí 2012.

2. viðauki. Heildartíðni tegunda í vöktunarreitum.

a) Nesjavallarvirkjun

Tegundir	Latneskt heiti	Íslenskt heiti	Snið NA						Snið SA						Snið V					
			250	500	1000	2000	4000	8000	250	500	1000	2000	4000	8000	250	500	1000	2000	4000	8000
Blómplöntur	<i>Agrostis vinealis</i>	týtulíngresi		14	18				18	31						10				
	<i>Alchemilla alpina</i>	ljónslappi																		2
	<i>Avenella flexuosa</i>	bugðupuntur	69	31	68			63	51	7			34							27
	<i>Bistorta vivipara</i>	kornsúra						8	5	6						1				29
	<i>Calluna vulgaris</i>	beitilyng								26										
	<i>Carex bigelowii</i>	stinnastör	40	180	16	48		76	48	136	129					6				186
	<i>Empetrum nigrum</i>	krækilyng	42		231		66	34		6			366	20	12					56
	<i>Festuca rubra</i>	túnvingull		4	36				36	57	8									100
	<i>Festuca vivipara</i>	blávingull		3	29			2		6	2									10
	<i>Galium normanii</i>	hvítmaðra		5	28				27				6							7
	<i>Juncus trifidus</i>	móasef	5	18	45			9	14	5			5							
	<i>Luzula multiflora</i>	vallhæra							4											
	<i>Luzula spicata</i>	axhæra			3				1											
	<i>Salix herbacea</i>	grasvöðir	84	67	138	53		125	59	28	16		32	53	314	25				209
	<i>Silene acaulis</i>	lambgras			2															
<i>Thalictrum alpinum</i>	Brjóstagras																		25	
<i>Vaccinium uliginosum</i>	bláberjalyng		95	13				46				338							1	
Byrkningar	<i>Equisetum arvense</i>	klöelfting								38					2				22	
	<i>Equisetum variegatum</i>	beitieski								16										
Fléttur	<i>Cetraria sp.</i>	kræðufléttur	5	38	100		74	37	34	163	66		64	54	55	52				
	<i>Cladonia arbuscula</i>	hreindýrakrókar	1				13	2	5	32		4	8	14	33					
	<i>Peltigera sp.</i>	skóf		7						3					1					
	<i>Stereocaulon sp.</i>	breykskjur	3	36				2				1								
	<i>Thamnia vermicularis</i>	ormagrös								3			5	1					6	
Mosar	<i>Hylacomium splendens</i>	tildurnosi										6								
	<i>Polytrichum sp.</i>	haddmosi		2			1												1	
	<i>Racomitrium ericoides</i>	melagambri		3																
	<i>Racomitrium lanuginosum</i>	hraungambri	800	800	779	800	800	799	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	

3. viðauki. Landfræðilegar upplýsingar um reiti.

Virkjun	Snið	Reitur	N - hnit	V - hnit	Fjarlægð frá virkjun (m)	Hæð yfir sjávarmáli (m)	Örnefni og heiti hrauna	Svæðislýsing; yfirborð landslags
Helliðsvirkjun	SA	250	N64° 1,993	V21° 24,142	455	284	Reykjafell	Ávöl hraunbunga
		500	N64° 1,908	V21° 24,265	635	309	Reykjafell	Ávöl hraunbunga
		1000	N64° 1,913	V21° 22,928	1069	392	Reykjafell	Ávöl hraunbunga
		2000	N64° 2,105	V21° 21,494	2071	395	Orustuhólskraun (Helliðsvirkjun)	Ávöl hraunbunga
		4000	N64° 1,673	V21° 19,492	3832	367	Orustuhólskraun (Helliðsvirkjun)	Ávöl hraunbunga
		1000	N64° 1,755	V21° 24,412	943	300	Reykjafell	Ávöl hraunbunga
		2000	N64° 1,023	V21° 23,352	2312	362	Helliðsvirkjun við Lakahmúka	Ávöl hraunbunga
		4000	N64° 0,213	V21° 23,651	3764	352	Helliðsvirkjun við Lakahmúka	Ávöl hraunbunga
		2000	N64° 2,072	V21° 26,422	1979	285	Svinahraunbrúni	Apalhraun
		4000	N64° 1,957	V21° 28,901	4009	334	Gjáin (Svinahraunbrúni)	Ávöl hraunbunga
		250	N64° 2,229	V21° 24,347	266	251	Við Litla Reykjafell (Helliðsvirkjun)	Apalhraun
		500	N64° 2,230	V21° 24,853	678	265	Við Litla Reykjafell (Helliðsvirkjun)	Ávöl hraunbunga
		1000	N64° 2,312	V21° 25,311	1062	270	Við Litla Reykjafell (Helliðsvirkjun)	Ávöl hraunbunga
Nesjavallavirkjun	NA	2000	N64° 2,885	V21° 25,950	1986	267	Svinahraun (Leitahraun)	Ávöl hraunbunga
		4000	N64° 3,544	V21° 27,823	3941	257	Svinahraun (Leitahraun)	Ávöl hraunbunga
		250	N64° 6,593	V21° 15,243	230	174	Nesjvellir (Nesjahraun)	Apalhraun
		500	N64° 6,633	V21° 15,127	347	170	Nesjvellir (Nesjahraun)	Apalhraun
		1000	N64° 6,943	V21° 14,642	1043	159	Nesjvellir (Nesjahraun)	Apalhraun
		2000	N64° 7,343	V21° 13,850	2025	150	Nesjahraun	Apalhraun
		4000	N64° 8,173	V21° 12,358	3985	139	Nesjahraun	Apalhraun
		250	N64° 6,383	V21° 15,325	215	178	Nesjvellir (Nesjahraun)	Apalhraun
		500	N64° 6,275	V21° 15,102	475	190	Nesjvellir (Stangarhálskraun)	Apalhraun
		1000	N64° 6,092	V21° 14,335	1147	239	Stangarháls (Hvithlíðarmyndun)	Ávöl hraunbunga
		2000	N64° 5,724	V21° 14,107	1778	168	Hvangil	Ávöl hraunbunga
		4000	N64° 5,222	V21° 12,474	3357	227	við Þverá (Tjarnahúskraun)	Ávöl hraunbunga
		250	N64° 6,572	V21° 15,670	258	201	Nesjvellir (Nesjahraun)	Apalhraun
500	N64° 6,607	V21° 15,981	511	295	Nesjvellir (Nesjahraun)	Apalhraun		
1000	N64° 6,547	V21° 16,752	1101	402	Dyrafjöll (Háhyggjarmyndun)	Ávöl hraunbunga		
2000	N64° 6,354	V21° 17,684	1866	421	Skeggjadalur við Dyrafjöll (Háhyggjarmyndun)	Ávöl hraunbunga		
4000	N64° 6,913	V21° 20,230	3993	341	Brekka við Dyrafjöll (Dyngja)	Ávöl hraunbunga		

4. viðauki. Fjöldi háplöntutegunda, mosabykkt og tíðni ástandsflökka hraungambra í reitum.

Virkjún	Snið	Reitur	Fjöldi háplöntutegunda	Mosabykkt (miðgildi)	Tíðni mosaflokka							
					A	B	C	D0	D1	D2	E	F
Helliðarvirkjún	SA	250	10	23,0	100,0	0,8	0,0	0,0	98,9	0,5	0,0	0,0
		500	15	21,3	100,0	31,5	0,0	0,0	60,8	1,9	0,0	0,0
		1000	2	35,0	100,0	0,0	0,0	0,0	41,0	0,0	0,0	0,0
		2000	2	25,8	100,0	0,0	0,0	0,0	44,9	0,8	0,0	0,0
		4000	6	23,5	94,8	0,0	0,0	0,1	76,3	15,3	0,0	7,6
		1000	14	18,0	98,5	0,9	0,0	0,0	95,1	2,3	0,0	0,0
		2000	2	38,0	100,0	0,0	0,0	0,8	69,9	1,4	0,0	0,0
		4000	3	20,0	99,9	0,0	0,0	0,0	93,6	9,3	0,5	1,0
		2000	1	29,0	100,0	0,0	0,0	0,0	81,8	3,9	0,0	0,3
		4000	1	24,0	100,0	0,0	0,0	0,0	82,9	4,3	0,0	0,0
		250	8	25,5	100,0	0,0	0,0	0,0	99,8	2,1	0,0	0,0
		500	3	27,0	100,0	0,0	0,0	0,0	34,6	2,1	0,0	0,0
Nesjavallavirkjún	NA	1000	6	21,0	100,0	0,0	0,0	0,1	44,4	3,3	0,0	0,0
		2000	5	17,0	100,0	0,0	0,0	0,0	93,6	2,4	0,0	0,0
		4000	7	16,0	100,0	0,4	0,0	0,0	99,3	3,1	0,0	0,0
		250	4	18,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	21,5	0,0	0,0
		500	4	20,0	100,0	0,0	0,0	0,0	98,8	10,0	0,0	0,0
		1000	11	10,0	97,4	0,0	0,1	0,0	80,3	6,3	0,0	0,0
		2000	8	20,0	100,0	0,0	0,0	0,0	97,3	9,6	0,0	0,0
		4000	2	22,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	14,1	0,0	0,0
		250	6	16,3	98,3	2,5	2,6	0,1	98,9	19,9	5,8	0,0
		500	10	15,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0	9,0	1,5	0,0
		1000	4	27,0	100,0	10,4	0,3	0,0	94,4	5,4	0,0	0,0
		2000	7	16,0	100,0	0,0	0,0	1,3	99,8	13,4	0,4	0,0
V	V	4000	6	29,5	100,0	0,0	0,0	0,0	94,6	8,8	1,3	0,0
		250	7	16,0	100,0	0,0	0,0	0,0	95,5	14,6	0,0	0,0
		500	2	20,8	100,0	0,0	0,0	0,0	92,0	8,6	0,0	0,0
		1000	4	28,5	100,0	0,0	0,0	4,3	25,0	1,3	0,0	0,0
		2000	5	30,0	100,0	0,0	0,0	0,0	30,9	5,5	0,0	0,0
		4000	12	22,0	99,8	0,4	0,1	0,0	98,8	10,3	4,1	0,0