

Rit Lbhí nr. 27  
LV-2010/088

# Gróðurrannsóknir vegna hættu á áfoki frá Háslóni

Ólafur Arnalds,  
Ása L. Aradóttir  
Kristín Svavarsdóttir



2010



# Gróðurrannsóknir vegna hættu á áfoki frá Háslóni

Ólafur Arnalds  
Ása L. Aradóttir  
Kristín Svavarsdóttir



# Samandregið yfirlit

Mikil hætta er á áfoki yfir gróðurlendi frá jaðri Háslóns þegar lítið er í lóninu og sérstaklega er varað við myndun áfoksgeira. Í þessu riti er greint frá margvíslegum rannsóknum er lúta að styrkingu gróðurs í nágrenni lónsins ásamt tilraunum til að kanna áhrif áfoks á gróður við þessar aðstæður. Ritið skiptist í fimm kafla. Í þeim fyrsta greint frá tildrögum verkefnisins og forsendum. Í öðrum kafla er gerð grein fyrir niðurstöðum áburðartilrauna á gróðurlendi og mel við jaðar Háslóns. Þriðji kafli gerir grein fyrir tilraunum með sáningu á melgresi og rýgresi og sá fjórði skýrir frá tilraunum með víðigræðlinga. Í fimmta og síðasta kaflanum er gerð grein fyrir tilraunum til að ákvarða áhrif áfoks á hálendisgróður.

Gróðurlendin við Háslón teljast til háfjallagróðurs, enda stendur lónið hátt (>625 m.y.s.). Slíkur gróður er afar viðkvæmur fyrir hvers kyns raski. Tilraunir til að kanna áfoksþol við Háslón og Blöndulón (5. kafli) sýndu að gróður þessara svæða hafði afar takmarkað áfoksþol og urðu miklar skemmdir jafnvel við aðeins 1 cm áfok. Gróðurinn var lengi að ná sér en það fór m.a. eftir því hve áfokið var mikið.

Viðamiklar áburðartilraunir (2. kafli) voru lagðar út árið 2002 austan lónsins við Lindur og Kofaöldu, í mólendi, deiglendi og mel, til að kanna hvort styrkja mætti gróðurinn vegna hugsanlegs áfoks. Hluti tilraunanna var girtur af til að meta áhrif beitarfriðunar á árangur áburðargjafar. Áburðarmeðferðir voru 0, 100, 150 og 200 kg af áburði (0, 15, 22,5 og 30 kg N á ha) og var borið á þrjú fyrstu árin. Ítarlegar gróðurmælingar voru gerðar á tilraunareitunum áður en tilraunin hófst og voru þær endurtekna 2003 og 2008, auk mælinga á gróðurhæð árið 2005. Gróðurhæð, sem hefur mikil áhrif á þol gróðurs gegn áfoki, hækkaði úr 1,7 – 2,5 cm árið 2002 í um 5 cm (mólendi) og 7 cm (deiglendi) árið 2008. Hækkunin var þó ekki einvörðungu vegna áburðargjafar, því gróðurhæð jókst einnig á þeim svæðum sem engan áburð fengu, þó í minna mæli væri. Beitarfriðun (sauðfé og hreindýr) hafði ekki mælanleg áhrif á svörun gróðursins við áburðinum, mögulega vegna þess að beit á svæðinu hefur minnkað verulega á undanförunum árum.

Kveðið er á um í úrskurði umhverfisráðherra að mótvægisáðgerðir, t.d. áburðargjöf til að styrkja gróður, megi ekki verða til þess að breyta gróðurfari svæðisins. Niðurstöður áburðartilraunanna sýna að jafnvel litlir áburðarskammtar breyttu gróðurfari svæðisins og eru jákvæð áhrif á gróðurhæð ekki nægjanleg til að réttlæta áburðargjöf á gróðurlendi við lónið.

Víðitegundir þola áfok ágætlega. Mælingar á áhrifum áburðargjafar á víðitegundir og tilraunir með ræktun víðigræðlinga á láglandi (2. kafli) benda til þess að hæð og útbreiðsla víðisins takmarkist m.a. af lágu hitastigi og lítilli næringu. Áburðargjöf er þó ekki einhlít til að auka hæð víðisins í svo mikilli hæð eins og er við Háslón. Tilraunir með gróðursetningu víðigræðlinga (4. kafli) við mismunandi aðstæður sýndu að lifun og þróttur víðiplantanna réðust einkum af aðbúnaði fyrstu árin. Árangur var bestur í hálfgrónum uppgræðslum. Helst er talið gagn af plöntun víðistiklinga í uppgræðslum eða á öðrum hálfgrónum svæðum, m.a. til að flýta gróðurframvindu sem minnkar efnisrennsli vegna áfoks frá lóninu.

Áburðargjöf á melasvæði við Háslón sýndi afgerandi árangur (2. og 3. kafli), með aukningu á gróðurþekju og gróðurhæð. Melgresi náði lítilli þekju við sáningu en hafði þó jákvæð áhrif til að minnka fok og búa í haginn fyrir aðrar tegundir. Melgresi dugir þó vart eitt og sér sem bráðaaðgerð í kjölfar vindrofs út fyrir bakka Háslóns. Lítill árangur var af rýgresissáningum umfram áburðargjöf eina sér.

Talsverðar gróðurfarsbreytingar urðu á tilraunasvæðunum á rannsóknatímanum, sem ekki er hægt að skýra nema að hluta með tilraunameðferðunum. Margt bendir til þess að hlýnandi loftslag hafi haft áhrif á gróðurfari á svæðinu, en einnig minnkandi beit (2. kafli). Hálendisgróður á Íslandi virðist því vera afar næmur fyrir áhrifum beitar og loftslagsbreytinga.

Rannsóknirnar skila mikilvægri þekkingu er lýtur að gróðri á svæðinu, sem mikilvægt er að hafa til staðar, ekki síst þar sem er mikil hætta á raski frá miðlunarlóninu. Jafnframt því eru tilraunareitirnir afar mikilvægir til að fylgjast með langtímabreytingum á gróðurfari á svæðinu.



**Efnisyfirlit**

Samandregið yfirlit.....	1
Efnisyfirlit.....	3
1. kafli. Inngangur og forsendur verkefnis Ólafur Arnalds .....	5
2. kafli. Tilraunir til að styrkja hálendisgróður með áburðargjöf. Ása L. Aradóttir, Kristín Svavarsdóttir og Ólafur Arnalds .....	15
3. kafli. Sáning á melgresi og rýgresi Ása L. Aradóttir, Kristín Svavarsdóttir og Ólafur Arnalds .....	59
4. kafli. Víðigræðlingatilaunir Kristín Svavarsdóttir og Ása L. Aradóttir .....	71
5. kafli. Áfokstilaunir Ása L. Aradóttir, Ólafur Arnalds og Harpa K. Einarsdóttir.....	89
Viðauki. Tilraunaskipulag.....	111





# 1.

## k a f l i

# Inngangur og forsendur verkefnis

Ólafur Arnalds

## 1.1. Aðdragandi

Þegar unnið var að mati á umhverfisáhrifum Kárahnúkavirkjunar og myndunar Háslóns (Landsvirkjun 2001a) var m.a. metin hættu á áfoki frá lónborði Háslóns (Ólafur Arnalds & Fanney Gísladóttir 2001). Ólafur og Fanney komust að þeirri niðurstöðu að hættu væri á miklu áfoki sem gæti valdið tjóni á gróðri og var álitid nauðsynlegt að miða mótvægisáðgerðir við þá hættu. Úrskurður Skipulagsstofnunar (2001), þar sem ekki er fallist á virkjunina, tilgreinir m.a. sérstaklega þessa hættu á áfoki. Sá úrskurður var kærður með stjórnsýslukæru (Landsvirkjun 2001b,c). Í úrskurði umhverfisráðuneytis, er heimilar virkjunina (Umhverfisráðuneytið 2001; bls. 83), er kveðið á um leita leiða „til að styrkja gróðurinn þannig að hann geti tekið við auknu áfoki.“ Ennfremur segir: „Það ber að varast að áburðargjöf sé of mikil þannig að grös verði yfirgnæfandi og annar gróður veikist. Því er mjög mikilvægt að rannsóknir á svæðinu ákvarði hvaða gerð og hversu mikið magn áburðar sé notað.“ Í framhaldi af úrskurði umhverfisráðherra fól Landsvirkjun umhverfissviði Rannsóknastofnunar landbúnaðarins (Rala) í samvinnu við Landgræðslu ríkisins (Lr) að hefja rannsóknir á möguleikum þess að styrkja staðargróður á Háslónssvæðinu. Verkefnisstjóri var Ólafur Arnalds. Ása L. Aradóttir og Kristín Svavarsdóttir sáu frá upphafi um þá þætti rannsóknanna er lutu að gróðri en Ólafur sá um þætti er sneru að jarðvegi og rofi. Árið 2005 varð Rala hluti af Landbúnaðarháskóla Íslands (LbhÍ) og var rannsóknunum haldið áfram á þeim vettvangi í samstarfi við Lr. Verkefni þetta var alfarið kostað af Landsvirkjun.

Á verkefnistímanum voru gerðar umfangsmiklar tilraunir til að meta leiðir til eflingar staðargróðurs við Háslón með hóflegri áburðargjöf (2. kafli). Lagðir voru út reitir í gróðurlendi við Háslón árið 2002 og þeir mældir nákvæmlega áður en borið var á þá. Síðan hafa reitirnir verið mældir nokkrum sinnum, en lokaúttekt fór fram haustið 2008. Á verkefnatímanum var ennfremur lögð áhersla á að öðlast staðarreynslu af uppgræðslu á virkjanasvæðinu og því gerðar tilraunir með sáningar á melum og ræktun víðis með græðlingum. Þá var lögð út tilraun til að fá hugmynd um hve mikið áfok gróður á svæðinu þolir.

## 1.2. Áfok og áfoksgeirar

Áfok verður þegar laus efni fjúka frá upprunastað við *uppfok* og falla síðan til jarðar á öðrum stað (*áfok*). Áfok á Íslandi er meira en þekkt utan þurrka- og eyðimerkursvæða jarðar (Arnalds o.fl. 2001, Arnalds 2010). Áfokið getur talist eitt megineinkenna íslenskrar náttúru því það leggur eins konar teppi yfir landið sem síðan hefur afgerandi áhrif á myndun og gerð jarðvegsins (Ólafur Arnalds & Hlynur Óskarsson 2009). Uppruni áfoks getur verið margvíslegur, svo sem sandsvæði við jökuljaðra, gróðurvana auðnir, þurr vötn þar sem set hefur safnast fyrir, rofabarðasvæði, gjóskusvæði, sandur með ströndum og flóðasvæði jökulvatna, ekki síst þar sem verða hlaup eða mikil sumarflóð (sjá m.a. Arnalds o.fl., 2001, Ólaf Arnalds 2010). Þá er einnig mikilvægt að hafa í huga að gjóskufall veldur svipuðum áhrifum og áfok.

Áfoksefnin eru afar mismunandi að gerð og kornastærð eftir eðli svæðanna þar sem uppfok á sér stað. Gróf efni berast hlutfallslega stutt með skokkhreyfingu (saltation), en fínefni geta borist hundruð km (Ólafur Arnalds & Sigmar Metúsalemsson 2004). Fínefni í strókum frá svokölluðum strókasvæðum (Arnalds 2010) berast langar leiðir, en eiga sér oft upprunastað á jökulaurum, þar sem flóð er fylgja jökulhlaupum, hlýindum og/eða úrkomu skilja eftir laus fínefni. Slík strókasvæði er til dæmis að finna á Dyngjusandi á upptakasvæði Jökulsár á Fjöllum, við Kreppulón, í hlaupfarvegum Skaftár, og á flóðasvæðum Múlakvíslar, Leirár, Emstruánna og Brennivínskvíslar við Mýrdalsjökul (sjá Arnalds 2010). Sambærileg strókasvæði myndast einnig við jökullón með breytilega lónhæð, t.d. í lónum framan við Langjökul (meginstrókur yfir vestari hluta Suðurlands). Grófari efni, sem berast styttri leið, geta valdið miklu áfoki á gróðurlendi sé nægjanlegt efni til staðar. Við þær aðstæður er hætta á myndun áfoksgeira. Það eru tungulaga geirar sem geta lagt það mikið magn áfoksefna yfir gróður að hann drepst, og þá losnar um leið um moldarefni undan gróðrinum. Þannig geta áfoksgeirar stigmagnast og sandauðnir rásað stöðugt lengra inn yfir gróið land. Mörg dæmi eru um áfoksgeira sem geta borist yfir hundruð metra á ári og eytt gríðarlega miklu gróðurlendi á stuttum tíma (Ólafur Arnalds o.fl. 1997). Í úrskurði umhverfisráðuneytis (2001) er kveðið sérstaklega á um að koma skuli í veg fyrir myndun áfoksgeira við Háslón, en þar stendur m.a. í fjórðu grein úrskurðarorða: „*Aðgerðir framkvæmdaraðila til að minnka jarðvegsrof og áfok úr Háslóni skulu miðast við að hvergi myndist áfoksgeirar meðfram jöðrum Háslóns í hönnunarstormi með 50-100 ára endurkomutíma*“ Einnig eru tilgreindar aðgerðir á borð verkfræðilegar varnir og stjórnun vatnsborðsbreytinga með forgangsroðun við fyllingu lóna þar sem Háslón yrði í forgangi.

Rætt er um áhrif áfoks á gróður sérstaklega í 5. kafla um áfokstilraunir.

## 1.3. Hætta á áfoki við Háslón

Uppfok úr vötnum og lónum með breytilega vatnshæð hefur valdið miklu tjóni á gróðurlendi landsins öldum saman (Ólafur Arnalds o.fl. 1997, Arnalds o.fl. 2001). Áætlað er að vatnsborð Háslóns geti sveiflast allt að 75 m, sem er afar mikið. Undir

fjöruborði Háslóns er enn fremur þykkur jarðvegur sem losnar þegar vatnið leggst yfir hann (Ágúst Guðmundsson o.fl. 2000, Ólafur Arnalds & Fanney Ósk Gísladóttir 2001), þar til hann berst með öldu út í vatnið. Þessi jarðvegsefni valda umtalsverðri hættu á verulegu áfoki í þurrum vindum á meðan lágt er í lóninu. Þá sest til afar mikið af *aur (gormi)* sem berst með ánni út í lónið (VST 2001, Snorri Páll Kjaran & Hjalti Sigurjónsson 2005), enda Jökulsá á Dal ein gruggugasta á landsins. Jarðvegsefnin og gormur geta einnig blandast saman eins og reynslan frá Háslóni sýnir glögglega.

Skýrsla Ólafs Arnalds & Fanneyjar Gísladóttur (2001) gerði ráð fyrir að gríðarlegt magn áfoksefna gæti borist yfir gróðurlendið í verstu árum án mótvægisáðgerða eða mörg tonn yfir eins metra breitt snið ( $m^{-1}$ ) í verstu hönnunarstormum. Sú stærðargráða hefur verið staðfest með þremur sjálfstæðum rannsóknum: (i) mælingum á foki á moldarsvæði á Hólsfjöllum í nokkur ár (Ólafur Arnalds & Fanney Ósk Gísladóttir 2009a,b); (ii) mælingum á áfoksgeira við Blöndu (Björn Jóhann Björnsson/Stuðull 2004, Olga Kolbrún Valdimarsdóttir 2009, Borgþór Magnússon o.fl. 2009); og (iii) útreikningum úr roflíkönunum. Bæði hefur verið notað einfalt roflíkan (Björn Jóhann Björnsson/Stuðull 2004) og flóknari roflíkön sérstaklega aðlöguð að aðstæðum við Háslón (Hjalti Sigurjónsson 2003, Kjaran o.fl. 2006, Snorri Páll Kjaran & Hjalti Sigurjónsson 2007). Mælingar á sandfoki víðs vegar um landið á vegum LbhÍ staðfesta einnig þessa stærðargráðu (sjá Ólaf Arnalds & Fanney Gísladóttur 2009a,b). Hins vegar hefur Skúli Víkingsson (2007) dregið í efa að hættan sé svo mikil. Ég tel að reynsla af tveimur fyrstu sumrunum við Háslón sýni að sú hættu sem gert var ráð fyrir í upphafi sé fyrir hendi (sjá t.d. Ólaf Arnalds og Fanney Gísladóttir 2009b). Hafa verður í huga að veðurfar var fremur hagstætt með tilliti til hættu á rofi þessi tvö fyrstu ár, en aðgerðir til varnar áfoki miða við atburði sem verða á 10 – 50 ára fresti.

Fjallað er ítarlegar um áhrif áfoks á gróður í kaflanum um áfokstilraunirnar.

#### 1.4. Mótvægisáðgerðir

Grípa þurfti til viðamikilla mótvægisáðgerða til að minnka hættu á áfoki yfir vistkerfi á bökkum Háslóns og enn fremur að leita leiða til að styrkja gróður meðfram lóninu, væri þess nokkur kostur. Rannsóknir á mögulegum líffræðilegum mótvægisáðgerðum við Háslón eru liður í margháttuðum rannsóknum og áðgerðum vegna hættu vegna rofs frá ströndum Háslóns. Verkfræðilegar áðgerðir hafa samt ávallt vegið þyngst í mótvægisáðgerðum, sem er í samræmi við úrskurð umhverfisráðherra (Umhverfisráðuneytið 2001, sjá einnig Umhverfissvið Rala/Ólaf Arnalds 2001). Grafinn hefur verið skurður með bökkum Háslóns til að safna áfoki (mynd 1.1) og lagður hefur verið garður meðfram lónborðinu sem jafnframt er upphækkaður vegur er auðveldar aðkomu til mótvægisáðgerða og ef grípa þarf til sértækra áðgerða á borð við uppsetningu á sandfoksgirðingum. Enn fremur eru nú skoðaðar leiðir til að vökva uppokssvæði og rykbinda laus jarðefni í lónborðinu (sjá t.d. Björn Jóhann Björnsson/Stuðull 2004, Berney 2006, Sveinn Runólfsson & Björn Sigurbjörnsson 2006, Björnsson o.fl. 2007, Stuðull 2008). Í úrskurði umhverfisráðherra er enn fremur lögð áhersla á að nýta sveigjanleika í stjórnun vatnsforða Landsvirkjunar til að fylla lónið sem fyrst.



*Mynd 1.1. Nýgrafinn skurður í jaðri væntanlegs Háslóns árið 2006.*

## **1.5. Tilgangur og forsendur rannsókna um líffræðilegar mótvægisáðgerðir**

Gróðurhæð hefur áhrif á viðnám gróðurs gegn rofi (Maun 1998, Hotes o.fl. 2004, Zobel & Antos 1997). Gróður safnar einnig meiri snjó eftir því sem hann er hávaxnari, sem aftur minnkar hættu á rofi, verndar yfirborðið fyrir myndun holklaka og ísnála og eykur vatnsforða jarðvegsins á vaxtartíma. Áburðargjöf hefur jákvæð áhrif á hæðarvöxt margra tegunda m.a. loðvíðis og gulvíðis (Kristín Svavarsdóttir & Ása L. Aradóttir 2006a). Sumar víðitegundir þola áfok einkar vel og eru gæddar mörgum eiginleikum sem gerir þær vænlegan kost til landgræðslustarfs (Kristín Svavarsdóttir 2006, Kristín Svavarsdóttir & Ása L. Aradóttir 2005, 2006b). Töluvert er af víði í mörgum gróðurlendanna eða vistgerða við Háslón og gæti því verið talsverður ávinningur af því að styrkja hann. Hins vegar hefur ekki áður verið reynt að auka víðigróður með markvissum hætti í svo mikilli hæð sem við Háslón.

Rannsóknir á líffræðilegum aðgerðum hafa mikilvægu hlutverki að gegna við að bæta þekkingu á staðargróðri svæðisins og þáttum sem hafa áhrif á hann. Tilraunareitirnir geta einnig orðið mikilvægir við vöktun á gróðurfari og jarðvegi svæðisins.

## 1.6. Yfirlit um verkþætti

Verkefnið skiptist í nokkra afmarkað verkþætti og er fjallað sérstaklega um hvern þeirra í þessari skýrslu. Þessir verkþættir eru:

1. Gróðurstyrking – áburðartilraunir. Gerðar voru tilraunir í mólendi, deiglendi og mel austan við lónið til að kanna áhrif áburðargjafar á staðargróður. Tilraunirnar voru friðaðar fyrir búfjárbætt, nema hluti mólendistilraunar við Lindur, þar sem hægt var að meta áhrif beitar á svörun gróðursins (2. kafli).

2. Sáningartilraunir á illa grónu landi. Gerðar voru tilraunir til að sá melgresi og rýgresi með áburðargjöf á illa grónum svæðum við Kárahnúka til að kanna möguleika á uppgræðslu á berangri á svæðinu (3. kafli).

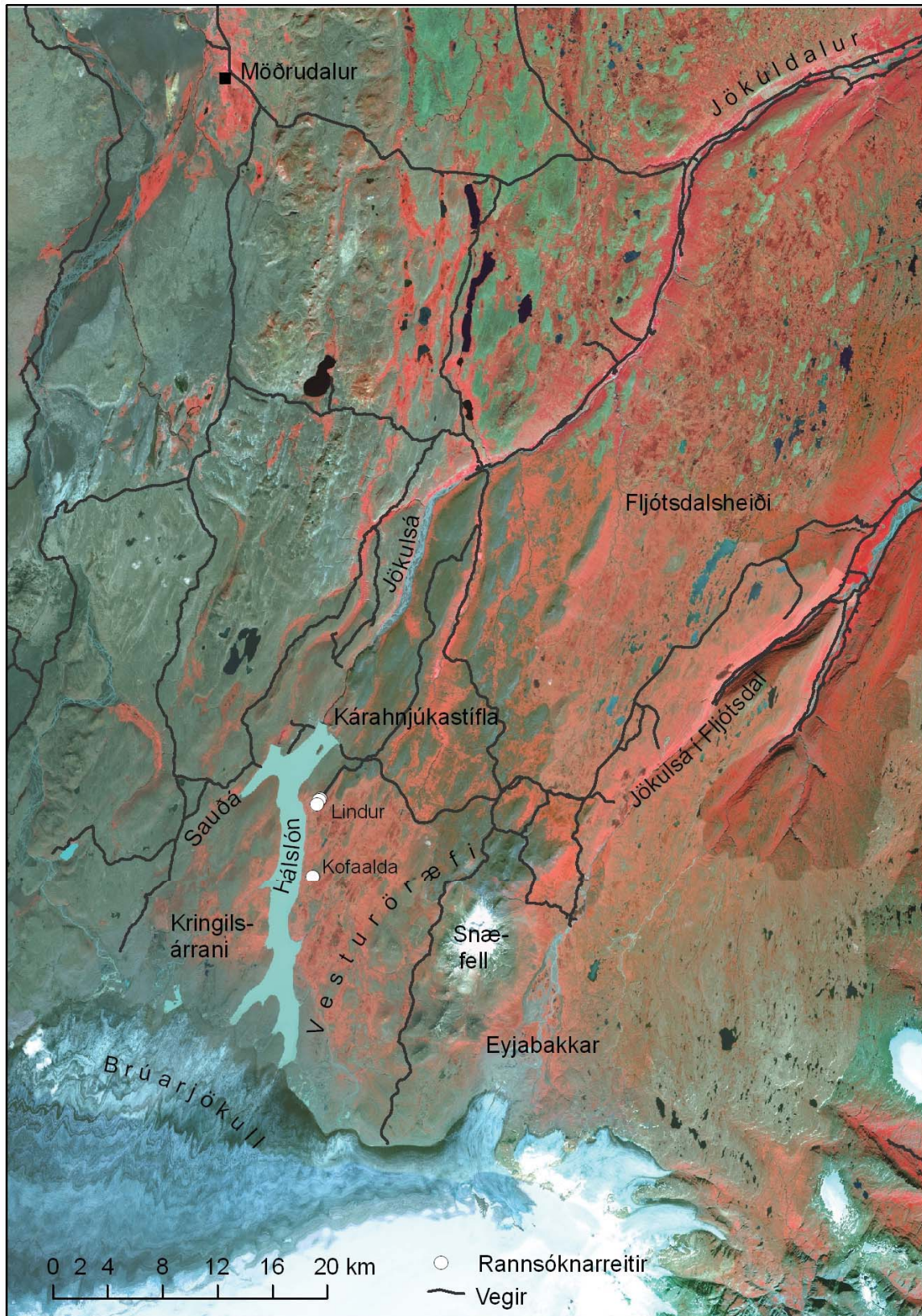
3. Tilraunir með víðistiklinga. Gerðar voru tilraunir með ræktun gulvíðis og loðvíðis af stiklingum sem safnað var í Hrafnkeldal og á Jökuldalsheiði og stungið í mel (uppgræddan og óuppgræddan) og lyngmóa nálægt lónstæðinu (4. kafli).

4. Rannsóknir á árifum áfoks á hálandisgróður. Lagðar voru út tilraunir við Háslón og Blöndulón þar sem misjafnlega þykkur sandur (1-8 cm) var lagður yfir reiti og áhrifin metin í nokkur ár í kjölfarið (5. kafli).

Töluverður fjöldi skýrslna og minnisblaða hefur verið gefinn út á undangengnum árum í tengslum við þessar rannsóknir og er vitnað til þeirra í heimildalistum sem fylgir hverjum kafla. Rannsóknir á árifum áfoks á gróður við Háslón var hluti af MSc verkefni Hörpu Kristínar Einarsdóttur (2007).

## 1.7. Aðstæður við Háslón

Á meðfylgjandi gervihnattamynd (mynd 1.2) sést vel hve gróður er samfelldur austan við lónið. Þarna skiptast á ýmsar gerðir þurrlendisvistgerða og síðan misblaut votlendi (sjá Sigurð Magnússon o.fl. 2001). Mest er hætta talin af áfoki austur frá lónborðinu í þurrum suðvestanáttum, en suðaustanátt getur einnig orsakað mikið rof (Ólafur Arnalds & Fanney Gísladóttir 2001). Landi hallar mismikið við lónborðið, allt frá svæðum með meira en sjö gráðu halla til svæða sem hafa afar lítinn halla í lónborðinu, en þar er víðast votlent. Reynsla af fyrstu árum við rekstur lónsins sýnir að votlendin halda velli fyrstu árin, en í þurrlendi hafa víða myndast myndarlegir rofbakkar (Stuðull 2010). Jarðvegsþykkt er að jafnaði um eða yfir 2 m og því eru víða nokkuð djúpar vatnsrásir í landslaginu. Tilraunasvæðin eru merkt sérstaklega inn á myndina. Gróður á svæðinu er alla jafna mjög lágvaxinn (sjá 2. og 5. kafla), enda stendur það hátt. Víða eru ummerki um að sífreri hafi verið í jörðu, en sá sífreri hefur hörfað vegna hlýnandi veðurfars. Gróðurfari tilraunasvæðanna er lýst í þeim köflum sem hér koma á eftir.



**Mynd 1.2.** Hálslón norðan Vatnajökuls. Myndin er innrauð SPOT gervihnattamynd þar sem gróður er rauður og því rauðari sem gróskan er meiri. Myndin sýnir glögglega að svæðið austan Hálslóns og Jökulsár á Brú er að mestu gróið á meðan auðnir taka við vestan svæðisins. Tilraunasvæðin við Lindur og Kofaöldu eru sýnd sem hvítir deplar á myndinni, sem tekin var 2002 og 2006 (samsett mynd).

### 1.7.1. Loftslag á tilraunatímanum

Lega Kárahnúkasvæðisins hátt yfir sjó veldur lágum meðalhita, sem var rétt yfir frostmarki á tilraunaárunum 2002-2008 samkvæmt gögnum frá veðurstöðinni á svæðinu (sjá töflu 1.1). Athygli vekur að meðalhiti í júní var 6,2 °C, sem bendir til að yfirleitt hafi vorað snemma á svæðinu á tilraunatímanum. Vitað er að rústir á svæðinu hafa verið að hörfa á undanförunum áratugum, sem bendir til þess að meðalhiti hafi áður verið töluvert lægri og þá víða undir frostmarki. Sumarhiti getur orðið umtalsverður, en mesti hiti í júlí varð að meðaltali 19°C. Svæðið er mjög þurr á íslenskan mælikvarða og var meðalársúrkoma á mælitímanum 423 mm, eða að meðaltali 35 mm á mánuði. Tímabilið janúar-júní var tiltölulega þurrara en seinni hluti ársins með mesta meðalúrkomu í júlí-október. Frost verða umtalsverð á svæðinu og var mesta frost að meðaltali um -18 til -20°C í desember, janúar og febrúar.

**Tafla 1.1.** Veðurfar við Kárahnúka á tilraunatímanum 2002-2008. Úrkomugögn eru frá 2004-2008 (byggt á upplýsingum frá Veðurstofu Íslands, desember 2009).

	meðalhiti	mesti hiti	minnsti hiti	úrkoma
	----- °C -----			mm
Janúar	-5,4	5,7	-19,6	21
Febrúar	-4,8	6,1	-18,9	25
Mars	-3,8	5,8	-17,4	16
Apríl	-1,2	9,1	-12,1	28
Maí	0,9	12,7	-6,6	14
Júní	6,2	15,8	-1,4	29
Júlí	8,6	18,8	1,3	53
Ágúst	7,5	17,4	-0,1	65
September	4,1	13,4	-4,6	53
Október	-0,8	10,3	-14,4	48
Nóvember	-3,2	7,0	-16,6	31
Desember	-4,0	6,7	-18,0	40
<b>Meðaltal</b>	<b>0,3</b>			<b>35,2</b>
<b>Ársúrkoma</b>				<b>423</b>

Veðurstöðin við Kárahnúka hefur verið stafrækt frá 1999 en úrkomumælingar hófust um mitt ár 2003. Meðaltöl fyrir allan mælitíma veðurstöðvarinnar við Kárahnúka (1999-2009) voru borin saman við gögn frá tilraunatímanum (2002-2008) og sýna þau afar lítil frávik frá þeim meðaltölum sem koma fram í töflunni.

## Heimildir

- Arnalds O. 2010. Dust sources and deposition of aeolian materials in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences* 23:3-21.
- Arnalds O., F.O. Gísladóttir & H. Sigurjónsson 2001. Sandy deserts of Iceland. An overview. *Journal of Arid Environments* 47:359-371.
- Ágúst Guðmundsson, Dagmar Bartlick & Haraldur Hallsteinsson 2000. Kárahnúkavirkjun. Háslón og yfirfallsleið um Desjarárdal. Lýsing á jarðvegi. Jarðfræðistofan Ehf. Reykjavík.
- Berney O. 2006. Viðhengi 2. Republic of Iceland – Kárahnjúkar Hydroelectric Project. Preventing Wind Erosion around Háslón Reservoir. Í: Sveinn Runólfsson & Björn Sigurbjörnsson 2006. Hefting áfoks úr Háslóni með vökvun lónsstæðis. Tillaga til Landsvirkjunar. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti.
- Björn Jóhann Björnsson/Stuðull 2004. Tæknilegar mótvægisáðgerðir við Háslón. Verkefnishandbók. 1. útgáfa. Stuðull/Landsvirkjun.
- Björnsson B.J., Ó. Metúsalemsson & O. Berney 2007. Kárahnúkar HEP, Mitigating Wind Erosion round Háslón Reservoir by Irrigation LV-2007/030.
- Borgþór Magnússon, Olga Kolbrún Vilmundardóttir & Victor Helgason 2009. Vöktun á grunnvatni, gróðri og strönd við Blöndulón. Lokaskýrsla 1993- 2009. Náttúrufræðistofnun NÍ-09017.
- Harpa K. Einarsdóttir 2007. Áhrif áfoks á gróður. Ritgerð til meistaraþrófs í umhverfisfræði., Háskóli Íslands. 43 bls.
- Hjalti Sigurjónsson 2003. Mat á vindrofi á bökkum Háslóns. Áfangaskýrsla LV 2003/132.
- Hotes, S., P. Poschlod, H. Takahashi, A. P. Grootjans & E. Adema 2004. Effects of tephra deposition on mire vegetation: a field experiment in Hokkaido, Japan. *Journal of Ecology* 92:624-634.
- Kjaran S.P., H. Sigurjónsson & B.J. Björnsson 2006. Háslón. Calculation of wind erosion on the banks of the Háslón. Landsvirkjun LV-2006/088.
- Kristín Svavarsdóttir (ritstj.) 2006. Innlendar víðitegundir. Líffræði og notkunarmöguleikar í landgræðslu Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti.
- Kristín Svavarsdóttir & Ása L. Aradóttir 2006a. Áhrif áburðar á stærð, blómgun og fræframleiðslu gulvíðis og loðvíðis. Í: Kristín Svavarsdóttir (ritstj.), Innlendar víðitegundir. Líffræði og notkunarmöguleikar í landgræðslu. Bls. 33-41. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti.
- Kristín Svavarsdóttir & Ása L. Aradóttir 2006b. Innlendar víðitegundir og notkun þeirra í landgræðslu. Í: Kristín Svavarsdóttir (ritstj.), Innlendar víðitegundir. Líffræði og notkunarmöguleikar í landgræðslu. Bls 9-20. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti.
- Kristín Svavarsdóttir & Ása L. Aradóttir 2005. Gulvíðir og loðvíðir: Rusl eða áhugaveður kostur í landgræðslu? *Fræðaðing landbúnaðarins* 2:165-171.
- Landsvirkjun 2001a. Kárahnúkavirkjun, allt að 750 MW. Fyrsti áfangi allt að 625 MW. Síðari áfangi allt að 125 MW. Mat á Umhverfisáhrifum. Landsvirkjun LV-2001/002.
- Landsvirkjun 2001b. Kárahnúkavirkjun, Stjórnslukæra. Landsvirkjun, 4. september 2004.
- Landsvirkjun 2001c. Kárahnúkavirkjun, Stjórnslukæra. Greinargerð um efnislega þætti. Landsvirkjun, 4. september 2004.
- Maun M.A. 1998. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes. *Canadian Journal of Botany* 76:713-738.



- Olga Kolbrún Vilmundardóttir 2009. Umhverfisbreytingar við Blöndulón. Strandrof og áhrif áfoks á gróður. MS-ritgerð í landfræði, Háskóli Íslands, Líf- og umhverfisvísindadeild, Reykjavík.
- Ólafur Arnalds 2010. Íslensk sandfokssvæði og áfok. Fræðaging landbúnaðarins 7:272-278.
- Ólafur Arnalds & Berglind Orradóttir 2010. Mælingar á foki á Landbótarsvæðinu á Geitasandi. Fræðaging landbúnaðarins 7:361-364.
- Ólafur Arnalds & Hlynur Óskarsson 2009. Íslenskt jarðvegskort. Náttúrufræðingurinn 78:107-121.
- Ólafur Arnalds & Fanney Gísladóttir 2009a. Mælingar á vindrofi á Hólsfjöllum. Fræðaging landbúnaðarins 6:448-452.
- Ólafur Arnalds & Fanney Gísladóttir 2009b. Mælingar á vindrofi á Hólsfjöllum. Rit LbhÍ nr. 25.
- Ólafur Arnalds & Sigmar Metúsalemsson 2004. Sandfok af Suðurlandi 5. október 2004. Náttúrufræðingurinn 72:90-92.
- Ólafur Arnalds & Fanney Gísladóttir 2001. Háslón – Jarðvegur og jarðvegsrof. Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Reykjavík 2001.
- Ólafur Arnalds, Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Sigmar Metúsalemsson, Ásgeir Jónsson, Einar Grétarsson & Arnór Árnason 1997. Jarðvegsrof á Íslandi. Landgræðsla ríkisins og Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Reykjavík.
- Sigurður H. Magnússon, Erling Ólafsson, Guðmundur A. Guðmundsson, Guðmundur Guðjónsson, Kristbjörn Egilsson, Hörður Kristinsson & Kristinn Haukur Skarphéðinsson 2001. Kárahnjúkavirkjun. Áhrif Háslóns á gróður, smádyr og fugla. Náttúrufræðistofnun Íslands NÍ-01/004.
- Skipulagsstofnun 2001. Kárahnjúkavirkjun allt að 750 MW. Fyrri áfangi allt að 625 MW og síðari áfangi allt að 125 MW. Úrskurður Skipulagsstofnunar um mát á umhverfisáhrifum. Dags. 1 ágúst 2001.
- Skúli Víkingsson 2007. Háslón. Rofnæmi jarðvegs. Er uppfokshætta úr Háslóni? Íslenskar orkurannsóknir ÍSOR-07006, Reykjavík.
- Snorri Páll Kjaran & Hjalti Sigurjónsson 2007. Háslón. Reikningar á vindrofi á bökkum Háslóns. Landsvirkjun LV-2007/017.
- Snorri Páll Kjaran & Hjalti Sigurjónsson 2005. Háslón. Aurburður og setmyndun. Verkfræðistofan Vatnaskil, Landsvirkjun LV-2005/038.
- Stuðull 2010. Háslón. Strandrof 2009. Draft útgáfa fyrir fund 25. maí 2010. Landsvirkjun.
- Stuðull 2008. Háslón. Rofvarnir. Aðgerðaáætlun 2008. Stuðull Verkfræði- og jarðfræðipjónusta, Landsvirkjun LV-2008/001.
- Sveinn Runólfsson & Björn Sigurbjörnsson 2006. Hefting áfoks úr Háslóni með vökvun lónsstæðis. Tillaga til Landsvirkjunar. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholti.
- Umhverfissvið Rala/ Ólafur Arnalds 2001. Minnisblað. Líffræðilegar aðgerðir og rannsókn- og þróunarverkefni vegna fyrirhugaðs Háslóns. Unnið af umhverfissviði Rannsóknastofnunar landbúnaðarins í samráði við rannsóknasvið Landgræðslu ríkisins fyrir Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen. Í: Landsvirkjun 2001b. Kárahnjúkavirkjun, Stjórnsýslukæra. Greinargerð um efnislega þætti. Landsvirkjun 4. september 2004.
- Umhverfisráðuneytið 2001. Úrskurður. Reykjavík, 20. desember 2001. Tilvísun: UMH01080004/10-02-0601.
- VST 2001. Kárahnjúkavirkjun. Aurburður og setmyndun í lóninu. VST 2000-0304/02. Reykjavík.
- Zobel D.B. & A. Antos 1997. A decade of recovery of understory vegetation buried by volcanic tephra from Mount St. Helens. Ecological Monographs 67:317-344.



# 2.

## k a f l i

# Tilraunir til að styrkja hálandisgróður með áburðargjöf

Ása L. Aradóttir  
Kristín Svavarsdóttir  
Ólafur Arnalds

## 2.1. Inngangur

Hugsanlegt áfok úr Háslóni getur haft mikil áhrif á tegundasamsetningu og þrótt gróðurs og jafnvel fært hann á kaf. Með eflingu gróðurs má hugsanlega draga úr áhættu á uppblæstri, því gróðurhæð, gróðurþekja og viðnám gróðurs við flæði vatns og vinda hafa áhrif á jarðvegsrof (sjá samantekt í Whisenant 1999, Okin 2008). Gróðurhæð, tegundasamsetning og aðrir eiginleikar gróðursins hafa áhrif á viðnám yfirborðsins gegn flæði vatns og vinda. Þannig hækkar rofþröskuldur (*threshold velocity*) með aukinni gróðurhæð. Þegar plöntur eru færðar á kaf með miklu áfoki eða þær leggjast niður undan flæði áfoksefna, minnkar mótstaðan sem þær veita samhliða því að sandflæði eykst. Stífleiki plantnanna skiptir því líka máli, þ.e. hversu vel þær standa af sér lárétt flæði áfoksefna (Whisenant 1999). Eftir því sem



**Mynd 2.1.** Markmið áburðartilrauna við Háslón var að kanna hvort hægt væri að auka grósku og hæð gróðurs með áburðargjöf og styrkja hana þannig gagnvart mögulegu áfoki frá lónborðinu án þess að breyta gróðurfari um of. Myndin sýnir mælingar á gróðurhæð í mólendi við Lindur 31. ágúst 2005.

gróður er hávaxnari má einnig búast við meiri snjósöfnun (sjá t.d. Berglindi Orradóttur & Ólaf Arnalds 2007) sem verndar yfirborðið gegn holklaka og frostþýðuferlum og stuðlar að meiri jarðvegsraka fram eftir sumri í þurrkatið.

Við þær aðstæður sem ríkja við Háslón má búast við því að allmargir þættir takmarki vöxt og þrótt gróðurs, svo sem skammur vaxtartími, vindálag, tímabundinn þurrkur, skortur á næringarefnum og beit. Einnig getur verið um að ræða erfðafræðilegar takmarkanir á vexti gróðurs sem vex á svæðinu. Af þessum þáttum er auðveldast að hafa áhrif á framboð næringarefna með áburðargjöf og hægt er að draga úr sauðfjárbreit með girðingum.

Markmið áburðartilraunanna við Háslón var að kanna hvaða þættir hafa áhrif á grósku og hæð gróðurs, með það í huga hvort hægt sé að styrkja gróðurinn gagnvart mögulegu áfoki frá lónborðinu án þess þó að breyta gróðurfari mikið (mynd 2.1). Prófaðar voru eftirfarandi tilgátur um þætti sem hafa áhrif á gróðurhæð og gróðurfari:

1. Sauðfjárbreit takmarkar hæð gróðurs við Háslón. Auka má gróðurhæð með beitarfriðun.
2. Næringarskortur takmarkar hæð gróðurs við Háslón.
  - a. Auka má gróðurhæð á grónu landi með áburðargjöf.
  - b. Áhrif áburðargjafar á gróðurfari vex með auknu áburðarmagni.
  - c. Áhrif áburðargjafar eru breytileg eftir gróðurlendi.
3. Hægt er að auka viðnám á lítt grónu landi með áburðargjöf sem eykur gróðurþekju og gróðurhæð.
4. Hæð og gróska víðis við Háslón takmarkast af erfðaþáttum.

Tilgátur 1-3 voru prófaðar með áburðar- og beitarartilraunum í mólendi og áburðartilraunum í mólendi, deiglendi og á mel, skammt frá yfirborði Háslóns. Tilgáta 4 var prófuð með því að gróðursetja loðvíði úr lónsstæði Háslóns á láglandi við Keldnaholt í Reykjavík.

## 2.2 Efni og aðferðir

### 2.2.1. Rannsóknarsvæði

Sumarið 2002 voru settar upp fjórar áburðartilraunir nálægt strandlínu Háslóns í um 630 m hæð yfir sjó. Tilraunasvæðin voru meðal annars valin með hliðsjón af því að gróðurfari þeirra væri einkennandi fyrir stór svæði meðfram Háslóni og að þau væru aðgengileg frá vegslóðum um svæðið. Þá var þess gætt að tilraunirnar væru í litlum halla til að draga úr hættu á að áburðargjöf í einstökum tilraunareitum hefði áhrif á aðra reiti.

Ein tilraunin var staðsett í mólendi nálægt Kofaöldu en þrjár tilraunir voru ofan við Lindur skammt frá hvor annarri, í mólendi, deiglendi og á mel (mynd 2.2). Miðað við flokkun vistgerða á miðhálandinu (Sigurður H. Magnússon o.fl. 2009) voru mólendistilraunirnar í lyngmóavist og/eða giljamóavist, deiglendið telst til rýrs votlendis, líklega móarekjuvistar, en melurinn til víðimelavistar. Til hægðarauka verður hér talað um mólendi, deiglendi og mel þegar rætt verður um tilraunirnar.



*Mynd 2.2. Innrauð mynd af Háslóni og nágrenni. Gróður er rauður á myndinni. SPOT gervihnattamynd C, tekin 2002 og 2006 (samsett mynd).*

Mólendistilraunirnar voru á vel grónu og þurru landi sem hallaði örlítið í vestur í átt að Jökulsá á Dal (mynd 2.3 og 2.4). Þekja háplantna var rúmlega 70% í Lindum en tæplega 60% við Kofaöldu. Krækilyng var ríkjandi tegund, en auk þess voru klóelfting og stinnastör algengar. Í Lindum höfðu lambagras, kornsúra og geldingahnappur einnig talsverða þekju en við Kofaöldu voru bláberjalyng og loðvíðir meira áberandi. Á báðum svæðum var umtalsverð þekja af mosum og lífrænni jarðvegsskán. Deiglendið var á flötu, hálfdeigu landi, sem var algróið (mynd 2.5). Þekja háplantna var rúmlega 60% og voru stinnastör og mýrastör ríkjandi en kornsúra, fjallavíðir og loðvíðir höfðu einnig allnokkra þekju. Einnig var í deiglendinu nokkuð samfelld þekja mosa. Melurinn var fremur þurr, nokkuð grýttur með > 15-20% gróðurþekju (mynd 2.6). Háplöntur voru strjalar og lágvaxnar og var heildarþekja þeirra innan við 10% en tegundaauði þó talsverð. Fjallavíðir hafði mesta þekju en á eftir honum komu lambagras og túnvingull. Mosar og lífræn jarðvegsskán höfðu einnig talsverða þekju.



**Mynd 2.3.** Tilraunasvæðið á mólendi við Lindur við upphaf tilraunanna.



**Mynd 2.4.** Tilraunasvæðið við Kofaöldu, rýrt mólendi.



**Mynd 2.5.** Deiglendi við Lindur við upphaf tilraunanna.



**Mynd 2.6.** Tilraunasvæðið á melnum nálægt Lindum, einu ári eftir upphaf tilraunanna.

### 2.2.2. Skipulag og framkvæmd tilraunanna

Umfang einstakra tilrauna var mismunandi þó að þær hefðu allar ákveðna sameiginlega tilraunaliði (sjá töflu 2.1). Mólendistilraunin í Lindum var umfangsmest, þar sem prófuð voru áhrif þriggja áburðarskammta og óáborinnar viðmiðunar á bæði ógirtu landi og innan fjárheldra girðinga. Aðrar tilraunir voru innan fjárheldra girðinga til að draga úr raski og koma í veg fyrir sauðfjárbreit. Á melnum voru prófaðir þrjú áburðarskammtar, auk óáborinnar viðmiðunar, en í hinum tilraununum tveimur var aðeins prófaður einn áburðarskammtur sem borinn var saman við óáborna viðmiðun (tafla 2.1). Áburðarskammtarnir samsvöruðu 100, 150 og 200 kg á ha af Græði 5 áburði (15% N, 15% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 15% K<sub>2</sub>O, 1% Ca og 2% S). Þetta jafngildir 1,5, 2,3 eða 3 g af N m<sup>-2</sup> í hverri áburðargjöf. Borið var á tilraunirnar í fyrsta skipti í byrjun september 2002 og var áburðargjöfin endurtekin í júní 2004 og snemma í júlí 2005. Girðingarnar voru settar upp í október 2002.

**Tafla 2.1.** Tilraunaliðir í einstökum tilraunum við Lindur og Kofaöldu.

Tilraun	Friðað				Beitt			
	kg ha <sup>-1</sup> af áburði				kg ha <sup>-1</sup> af áburði			
	0	100	150	200	0	100	150	200
1. Mólendi (Lindur)	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Mólendi (Kofaalda)	x	x						
3. Deiglendi (Lindur)	x	x						
4. Melur (Lindur)	x	x	x	x				

Allir tilraunaliðir voru endurteknir fjórum sinnum. Hver tilraunareitur var 20 x 5 m og voru tilraunareitir innan endurtekningar lagðir út hlið við hlið (sjá viðauka). Haft var 10 m bil á milli mismunandi endurtekninga, nema í deiglendinu þar sem bilið var 7 m til þess að koma tilrauninni fyrir á sem einsleitustu landi.

Mólendistilrauninni í Lindum var skipt upp í deilda reiti (*split plot*) með fjórum endurtekningum, þar sem beitarmeðferð (girt eða ógirt) var í stórreitum er skiptust hver um sig í fjóra tilraunareiti með mismunandi áburðarmeðferðum. Beitarmeðferðum og áburðarmeðferðum var dreift tilviljanakennt innan endurtekninganna. Í hinum þremur tilraununum var tilraunaliðum dreift tilviljanakennt innan hversrar endurtekningar (*randomized block*). Alls voru 32 tilraunareitir í móavistartilrauninni í Lindum, 16 reitir í melavistartilrauninni og átta reitir í hvorri af hinum tveimur tilraununum.

### 2.2.3. Mælingar á gróðurþekju

Í hverjum tilraunareit var þekja gróðurs metin í átta föstum 0,5 x 0,5 m römmum (mynd 2.7). Tilviljun var látin ráða staðsetningu rammanna með þeim takmörkunum að ekki voru lagðir út rammar nær jaðri reits en 1 m og rammar gátu ekki verið nær hver öðrum en 0,5 m. Hnit rammans voru skráð og tvö gagnstæð horn hvers ramma merkt með flaggi.

Þekja gróðurs var metin á tvönnan hátt. Annars vegar var metin þekja mismunandi yfirborðsgerða og hins vegar þekja einstakra háplöntutegunda, mosa, fléttna og skánar. Þekja yfirborðsgerða var metin að næstu 5% (samtals 100%) en þekja <2% var skráð sem 1%. Á melnum var yfirborði án gróðurs skipt í þrjú flokka eftir grófleika, þ.e. sand og mól (<2 cm), steinar (2-5 cm) og grjót (>5 cm). Aðrar yfirborðsgerðir voru háplöntur, mosar, lágplöntuskán, fléttur, dauður mosi, mold og skítur. Við mat á þekju einstakra háplöntutegunda, mosa, fléttna og skánar var notaður eftirfarandi kvarði: 1: <1% þekja, 2: 1-5%, 3: 6-10%; 4: 11-15%, 5: 16-25%, 6: 26-50%, 7: 51-75% og 8: 76-100% þekja. Mosar og fléttur voru ekki greind til tegunda en greint var á milli runnafléttna og blaðfléttna. Samanlögð þekja gat farið yfir 100% þar sem gróður var þéttur eða fleiri en eitt gróðurlag voru til staðar (t.d. svarðlag og runnalag).

Gróðurhæð var mæld á tíu jafndreifðum punktum innan rammans. Miðað var við yfirborð laufþekju eða samfellds gróðurs en sleppt stökum stráum eða blöðum er stóðu upp úr. Hæðin var mæld í heilum sentímetrum. Samanlögð þekja loðvíðis og fjallavíðis var metin með sjónmati að næstu 5% og hæð þessara tegunda, að efsta brumi, var mæld í fimm dreifðum punktum í hverjum ramma. Háplöntutegundir sem ekki komu fyrir í römmum en fundust innan meðferðarreita voru skráðar. Teknar voru yfirlitsmyndir af öllum meðferðarreitum og af völdum römmum í hverjum reit.

Þekja gróðurs var metin áður en áburðargjöf hófst, í ágúst 2002. Þekjumat var síðan endurtekið í ágúst 2003 og 2008. Gróðurhæð var mæld á sama tíma en að auki var gróðurhæð mæld í öllum reitunum í ágúst 2005 og í friðuðum reitum mólendis í Lindum í ágúst 2004.



*Mynd 2.7. Mælingarammi 0,5 x 0,5m af þeirri gerð sem notuð var við Hálslón. Böndin marka 10 x 10 reiti. Ramminn er í mólendi við Lindur, myndin er tekin 2003.*

#### 2.2.4. Jarðvegur

Jarðvegssýni voru tekin í öllum meðferðarreitum samhliða gróðurmælingum 2002 og 2008. Kjarnabor (1,9 cm í þvermál) var notaður til að taka jarðvegskjarna í



hverjum reit og var þeim skipt eftir dýpi í 0-5 cm og 5-15 cm. Árið 2002 voru tekin tvö sýni úr hverjum reit af hverju dýpi fyrir sig, þar sem hvort sýni samanstóð af fimm jarðvegskjörnum. Árið 2008 var tekið eitt sýni úr hverjum reit af hvoru dýptarbili og samanstóð hvert sýni af fimm jarðvegskjörnum. Sýnin voru sigtuð (< 2 mm, 2-3,75 mm og >3,75 mm). Kolefni (C) og nitur (N) voru mæld með þurrbrennslu og mælingu á CO<sub>2</sub> og NO<sub>2</sub> sem losnar með innrauðum geislum (Vario – tæki) (sjá t.d. Nelson & Sommers 1982).

### 2.2.5. Viðimælingar

Í ágúst 2004 var gert sérstakt átak til að mæla áhrif tilraunameðferða á þéttleika og hæð víðis í völdum tilraunaliðum. Þetta var gert vegna þess að víðitegundir, einkum loðvíðir, voru taldar líklegar til að geta veitt meira viðnám gegn áfoki en annar gróður sem er á svæðinu (mynd 2.8). Mælingarnar voru takmarkaðar við friðaða reiti í mólendi, deiglendi og á mel í Lindum og þrjár áburðarmeðferðir: 100 kg ha<sup>-1</sup>, 200 kg ha<sup>-1</sup> og óáborna viðmiðun. Lögð voru út 18 m löng snið eftir endilöngum reitunum en sleppt 1 m varðbelti við hvorn enda. Vegna þess hve þéttleiki víðisins var mismunandi voru lögð mismörg snið í hverjum reit til að tryggja nógu stórt úrtak víðiplantna: eitt snið á reit í deiglendinu, tvö snið í mólendinu og fjögur snið á melnum. Sniðin voru jafndreifð í melareitunum en tilviljanadreifð annars staðar. Sniðunum var skipt upp í 36 hálf metra löng lengdarbil. Á hverju bili voru skráðir jarðbundnir sprotar víðis á 0,1 m breiðu beltí svo og heildarfjöldi greina og hámarkshæð víðis (að næsta cm). Auk þess var mæld hámarkshæð víðis á 0,5 m



*Mynd 2.8. Viðir á rofsvæði á Hólsfjöllum. Viðir safnar snjó og þolir umtalsvert áfok.*

breiðu beltí þannig að víðihæð var mæld í tveimur misstórum beltasniðum, þ.e. 0,1x18 m og 0,5x18 m. Reklar á víði innan stærri reitsins voru taldir. Þar sem bæði loðvíðir og fjallavíðir fundust í reitunum var tegund tilgreind. Auk þéttleikamælinganna var vöxtur víðisins mældur í sex lengdarbilum sem voru jafndreifð eftir sniðinu. Vaxtarmælingarnar voru gerðar eftir að búið var að fara yfir allt sniðið og fór það eftir fjölda reita með víði hversu langt var á milli mælireita. Ársvöxtur síðastliðinna þriggja ára var mældur (árin 2002, 2003 og 2004) með 0,5 cm nákvæmni. Á hliðarsprotum var oft einungis um að ræða vöxt síðustu eins eða tveggja ára. Þar sem mjög margir sprotar voru í reit var tekið hlutsýni, t.d. 0,2 x 0,1 m reitur.

### 2.2.6. Ræktun víðis á láglandi

Til að kanna hvort hæð og gróska víðis í nágrenni Háslóns takmarkist af erfðafáttum (tilgáta 4) voru teknir stiklingar af loðvíði og fjallavíði á tveimur svæðum við Háslón og í væntanlegu lónstæði (í um 500 m og 650 m hæð yfir sjávarmáli) og ræktaðar upp af þeim plöntur í tilraunalandi á Keldnaholti (um 65 m h.y.s.). Tilraunalandið hafði áður verið plægt upp og þakið svörtu plasti til að bæta vaxtarskilyrði og draga úr samkeppni illgresis. Stiklingunum var stungið niður í gegnum plastið í júní 2003, í blokkartilraun með fjórum endurtekningum (mynd 2.9). Notaðir voru 20 stiklingar frá hvoru svæði í hverja endurtekningu, eða alls 160 stiklingar. Lifun plantnanna, hæð, mesta þvermál og þvermál hornrétt á það voru skráð í ágúst 2003, júní 2004, ágúst 2004 og júlí 2009.



**Mynd 2.9.** Græðlingatilraun á Keldnaholti (Reykjavík) með efnivið sem safnað var í nágrenni Háslóns. Myndin var tekin tveim árum eftir að græðlingar voru gróðursettir.

### 2.2.7. Úrvinnsla gagna

Við úrvinnslu á þekjumælingum fyrir einstakar tegundir var miðað við miðgildi þekjuflokka og það notað til að reikna meðalþekju tegundarinnar í hverjum tilraunareit. Fyrir aðrar mælingar var einnig notað meðaltal í hverjum tilraunareit, þannig að í öllum tilfellum voru tilraunareitirnir mælieiningin.

Sömu tölfræðigreiningar voru gerðar fyrir flestar gróður- og jarðvegsbreytur, svo sem gróðurhæð, þekju yfirborðsflokka, þekju einstakra tegunda og tegundahópa og jarðvegseiginleika.

1. Til að kanna áhrif beitar (tilgáta 1) og áburðarmeðferða (tilgáta 2 a, b) var ferveikagreiningu fyrir deilda reiti (*split-plot*) beitt á gögn úr öllum meðferðum stóru áburðartilraunarinnar í Lindum (1), þar sem beitar meðferð var í stórreitum og áburðarmeðferð í deilireitum. Í því tilviki voru ferveik fyrir samspil á milli beitar (B) og endurtekninga (E), (B x E), notuð til að prófa áhrif beitarinnar.
2. Til að kanna áhrif áburðargjafar á gróið land (tilgáta 2 a, c) var beitt ferveikagreiningu fyrir stigskipt gagnasafn (*nested ANOVA*) á gögn frá mólendi við Kofaöldu (2), deiglendi við Lindur (3) og gögn fyrir 0 og 100 kg ha<sup>-1</sup> meðferðir innan girðingar í Lindum. Í því tilviki voru ferveik fyrir endurtekningu innan svæðis (E(S)) notuð til að bera saman mismunandi svæði.
3. Til að kanna áhrif áburðargjafar á lítt grónu landi (tilgáta 3) var gerð ferveikagreining á gögnum úr melatilrauninni (*randomized block design*).

Þessar ferveikagreiningar voru gerðar innan hvers árs, auk þess sem gerðar voru ferveikagreiningar á endurteknum mælingum (*repeated measures*) fyrir 2002–2008 fyrir hverja af ofantöldum greiningum og ferveikagreiningar á aukningu frá upphafsmælingu á völdum breytum.

Við úrvinnslu á víðigögnum frá 2004 var byrjað á því að reikna út meðaltöl fyrir hvern tilraunareit fyrir hæð, þéttleika stofna og greina (fjöldi m<sup>-2</sup>), meðalársvöxt fyrir hvert ár 2002, 2003 og 2004, og ársvöxt (meðaltal og cm á m<sup>-2</sup>), annars vegar samanlagt fyrir loðvíði og fjallavíði og hins vegar fyrir þá tegund sem algengust var í hverri vist. Ferveikagreiningu fyrir stigskipt gagnasafn (*nested ANOVA*) var beitt á gögn um hæð og heildarþéttleika víðis í mólendi, deiglendi og mel við Lindur fyrir 0 og 100 kg ha<sup>-1</sup> meðferðirnar. Ferveik fyrir endurtekningu innan svæða voru notuð til að bera saman mismunandi svæði (sjá lið 2 hér að ofan). Sams konar samanburður var gerður fyrir mólendi og mel, þar sem voru þrjár áburðarmeðferðir, 0, 100 og 200 kg ha<sup>-1</sup>. Þar sem mismunandi víðitegundir voru ríkjandi í mismunandi gróðurlendum var einnig beitt ferveikagreiningu til að kanna áhrif áburðargjafar á hæð, þéttleika og ársvöxt ríkjandi víðitegundar innan hvers gróðurlendis.

Tegundasamsetning háplantna og þróun hennar á rannsóknatímabilinu var greind með hnitunargreiningu (*ordination*; Lepš & Šmilauer 2003). Mismunandi greiningar voru gerðar á gögnunum þannig að ýmist voru allar eða hluti tilraunanna með í greiningunni. Með þessu var unnt að fá bæði yfirlit yfir tegundasamsetningu svæðanna og greina nákvæmar áhrif meðferða á tegundasamsetningu eftir

gróðurlendum. Val á aðferð hnitunargreininga fór eftir svörun tegunda og var lengd 1. áss í DCA greiningu látin ráða hvort DCA (*detrended correspondence analysis*) eða PCA (*principal components analysis*) var valin. DCA gerir ráð fyrir einkryppusvörun (*unimodal response*) tegunda við umhverfisþáttum en PCA línulegri svörun. Í öllum tilfellum byggðu greiningarnar á þekju einstakra tegunda og var gögnunum log-umbreytt fyrir greiningu ( $\log(1+x)$ ). Tegundir sem komu sjaldnar en þrisvar sinnum fyrir voru alltaf teknar út áður en úrvinnsla fór fram. Blokkirnar (endurtekningar) voru notaðar sem hlutbreytur (*covariable*) í öllum greiningunum þannig að sá breytileiki gagnanna sem má skýra út með þeim var fjarlægður áður en greiningin fór fram en með því móti er lögð áhersla á annan breytileika en þann sem hugsanlega er að finna milli blokka.

Yfirlit yfir gróðurfar allra tilraunasvæðanna á tímabilinu var fengið með DCA greiningu á öllum 64 reitum tilraunanna fjögurra árin 2002, 2003 og 2008 ( $n=192$ ). Umhverfisbreytur eru ekki notaðar beint í DCA greiningu því þær hafa ekki áhrif á niðurstöðu hnitunargreiningarinnar en unnt er að reikna fylgni umhverfisbreyta við hnitunarásana og nota það við túlkun á niðurstöðunum. Auk tilrauna, meðferða og gróðurgreiningarára voru breytur gróið yfirborð, hæð gróðurs, hæð víðis, þekja mosa, flétta, lífrænnar jarðvegsskánar, víðis og háplantna skoðaðar.

Til að kanna nánar tegundasamsetningu í grónu landi og áhrif áburðar á hana var PCA greining gerð á öll gögn úr tilraunum í deiglendi við Lindur og í mólendi við Kofaöldu auk sambærilegra reita í tilrauninni í mólendi við Lindur, þ.e. viðmiðunarreitir og reitir sem fengu 100 kg áburðar  $ha^{-1}$  innan girðingar, alls 24 reitir mældir þrisvar sinnum á tímabilinu ( $n=72$ ). Til að ákvarða breytingar í tegundasamsetningu einstakra meðferða innan tilrauna á rannsóknartímabilinu var samspil tilraunar, áburðarmeðferðar og árs reiknað. Niðurstöðurnar voru settar fram í PCA grafi og með því að tengja einstakar meðferðir á milli ára fæst þróun tegundasamsetningar á tímabilinu eftir meðferðum. Punktur sem svarar til viðkomandi samspils (staður \* meðferð \* ár) má líta á sem meðaltalsstaðsetningu allra reita með þessari samsetningu og nálægir punktar í grafinu hafa líkari tegundasamsetningu en þeir sem fjær eru.

Tegundasamsetning og þróun hennar var sérstaklega skoðuð í tilrauninni í mólendi við Lindur en þar voru bæði prófuð áhrif mishárra áburðarskammta og friðunar fyrir sauðfjárbreit. Notuð var PCA greining á 32 reitum sem voru gróðurgreindir þrisvar sinnum ( $n=96$ ). Breytingar í tegundasamsetningu meðferða á rannsóknatímanum voru greindar með því að skilgreina samspil áburðameðferðar, beitar eða friðunar og árs. Átta brautir ( $4$  áburðameðferðir \*  $2$  beit/friðun) voru dregnar milli ára fyrir sérhverja meðferð og með samanburði á þeim er hægt að meta áhrif mismunandi meðferða á rannsóknatímanum. Til að prófa frekar áhrif meðferða á tegundasamsetningu var röð skilyrtra hnitunargreininga (*constrained ordination*) framkvæmd þar sem mismunandi samsetningar óháðra breyta (*explanatory variables*) og hlutbreyta voru notaðar. RDA (*redundancy analysis*) var valin vegna línulegrar svörunar tegunda. Vegna þess að gróðurgreiningar voru gerðar í sömu reitunum þrisvar sinnum og fyrsta mælingin var gerð áður en inngrip með meðferðum hófst er samspil meðferða og tíma áhugaverðast en það mælir áhrif inngrips. Þegar áhrif samspils er prófað í RDA eru reitirnir notaðir sem hlutbreytur þannig að búið er að

taka út breytileika sem útskýrður er með reitum yfir allan tímann og því er einungis prófað hvaða áhrif meðferð hefur á breytingar í tegundasamsetningu einstakra reita yfir rannsóknatímann (Lepš & Šmilauer 2003). Monte Carlo próf, sem er umröðunarpróf (*permutation*), var notað til að prófa marktækni hverrar RDA greiningar og voru notaðar 499 umraðanir. Í Monte Carlo prófinu voru deildir reitir (*split plot*) valdir (reitir voru stórreitir og endurtekningar mælinga deilireitir) og prófið gert á allt líkanið (*trace* próf).

PCA greining á þekju háplantna í tilrauninni á mel við Lindur var gerð til að ákvarða áhrif mismunandi áburðaskammta á tegundasamsetninguna og breytingar á henni á tímabilinu. Í tilrauninni voru 16 reitir sem höfðu verið gróðurgreindir þrisvar sinnum ( $n=48$ ). Samspil áburðar og árs var skilgreint til að meta breytingar í tegundasamsetningu einstakra meðferða. RDA var keyrt með Monte Carlo prófi til að kanna hvort áhrif áburðar á tegundasamsetningu háplantna á melnum væri tölfræðilega marktæk. Sömu aðferð var beitt og lýst hér að ofan.

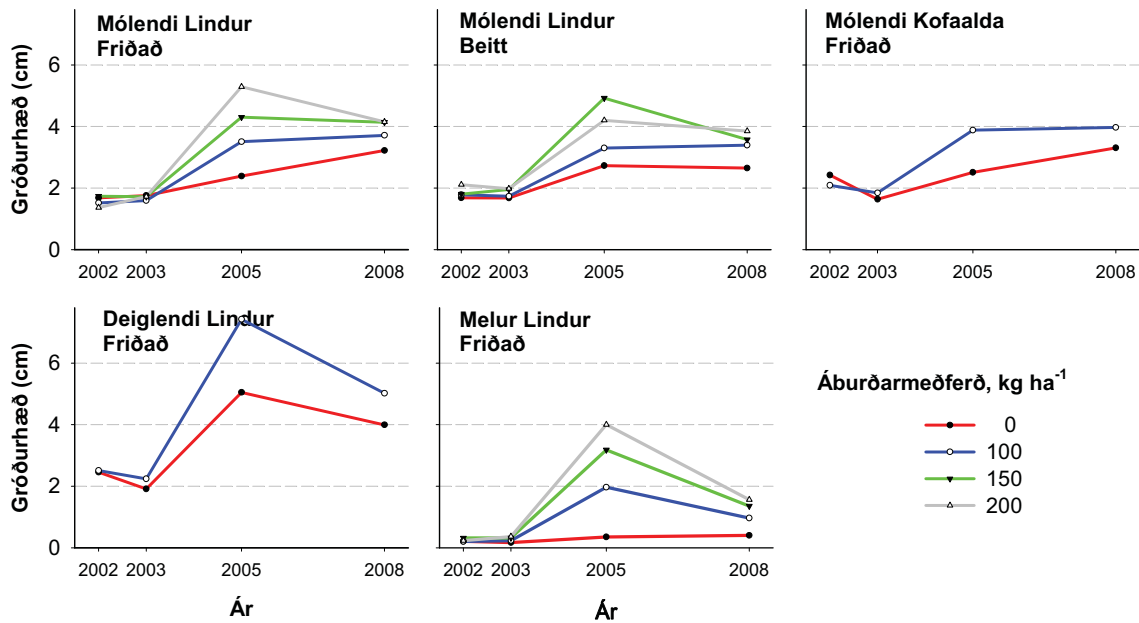
Í tilraun með gróðursetningu víðistiklinga af Kárahjúkasvæðinu á láglandi voru mælingar á mesta þvermáli víðiplantnanna og þvermáli hornrétt á það notaðar til að reikna út flatarmál víðiplantnanna miðað við sporöskjulögun (Aradóttir o.fl. 2007). Fyrir hverja endurtekningu voru reiknuð meðalhæð og meðalflatarmál hvorrar tegundar um sig innan svæðis og þau meðaltöl notuð við frekari úrvinnslu. Uppgjör á gögnum um hæð og flatarmál víðiplantnanna var gert fyrir mælingar 2004 og 2009 með fervikagreiningu á endurteknum mælingum. Þar sem mismunandi tegundir voru innan reita fyrir upprunasvæði er um deilda reiti að ræða og voru því fervik fyrir samspil milli upprunasvæðis og endurtekningar ( $S \times E$ ) notuð til að prófa áhrif svæðis. Gögn um flatarmál voru ln umreiknuð til að uppfylla skilyrði um jafna dreifingu.

SAS tölfræðiforritið, útgáfa 9.1 var notað við allar fervikagreiningar. Fjölbreytuggreiningar voru gerðar með forritinu Canoco for Windows, útgáfa 4.5 (ter Braak & Šmilauer 2002)

## 2.3. Niðurstöður

### 2.3.1. Gróðurhæð

Gróður tilraunasvæðanna var upphaflega lágvaxinn. Áður en áburðargjöf hófst í ágúst 2002 var gróðurhæð að meðaltali 1,7 cm í mólendi við Lindur, 2,3 cm í mólendi við Kofaöldu og 2,5 cm í deiglendi við Lindur. Áhrif beitar, áburðargjafar og mismunar milli tilraunasvæða á gróðurhæð og hlutfallslega breytingu hennar eru sýnd í töflu 2.2. Í ágúst 2003, ári eftir áburðargjöf, hafði gróðurhæð lítið breyst en jókst umtalsvert eftir það (mynd 2.10). Frá og með árinu 2005 voru áhrif áburðarmeðferða á gróðurhæð marktæk í öllum tilfellum. Það vekur eigi að síður athygli að í óabornum reitum jókst gróðurhæð einnig frá 2002 til 2008. Í mólendi við Lindur varð meira en tvöföldun á gróðurhæð í abornum og friðuðum reitum en heldur minni hækkun í beittum reitum. Lítil munur var á áhrifum 150 og 200 kg ha<sup>-1</sup> áburðarmeðferða en í báðum var gróður marktækt hærri en í óabornum viðmiðunarreitum árin 2005 og 2008. Fervikagreining á endurteknum mælingum



Mynd 2.10. Breytingar á gróðurhæð tilraunasvæðanna frá 2002 til 2008.

(tafla 2.3) og mælingum hvers árs (tafla 2.2) sýndi ekki marktæk áhrif af beit eða beitarfriðun á gróðurhæð mólendis við Lindur. Hins vegar kom fram marktækt samspil á milli áburðarmeðferða og beitarfriðunar þegar skoðuð var hlutfallsleg breyting á meðalhæð gróðurs í tilraunareitunum frá 2002 til 2005 (tafla 2.2). Þetta samspil lýsti sér í því að aukning á gróðurhæð í 200 kg ha<sup>-1</sup> meðferðinni var mun minni í beittum reitum en friðuðum á meðan aukningin var svipuð í öðrum reitum (mynd 2.10). Hlutfallsleg aukning á meðalhæð gróðurs frá 2002 til 2008 var minni í beittum reitum en friðuðum og voru þau áhrif ekki langt frá því að vera marktæk ( $P < 0,07$ , tafla 2.2).

Tafla 2.2. Áhrif beitar, áburðargjafar og tilraunasvæða á gróðurhæð og hlutfallslega breytingu á gróðurhæð í tilraunareitunum. Fritölur fyrir  $F$  próf eru gefnar innan sviga. \*\*\* $P < 0,001$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \* $P < 0,05$ ; nm, næstum marktækt ( $P = 0,05-0,07$ ); em, ekki marktækt.

	Mólendi við Lindur			Öll gróin svæði			Melur við Lindur
	Beit (B) $F(1,3)$	Áburður (Á) $F(3,18)$	B x Á $F(3,18)$	Svæði (S) $F(2,9)$	Áburður (Á) $F(1,9)$	S x Á $F(2,9)$	Áburður $F(3,9)$
Gróðurhæð							
2002	em	em	em	5,3*	em	em	em
2003	em	em	em	3,7 <sup>nm</sup>	em	em	em
2005	em	14,4 <sup>***</sup>	em	10,3 <sup>**</sup>	31,7 <sup>***</sup>	em	20,0 <sup>***</sup>
2008	em	7,7 <sup>**</sup>	em	em	9,8*	em	17,2 <sup>***</sup>
2002-2005 (%)	em	8,7 <sup>***</sup>	4,2*	4,2 <sup>nm</sup>	51,8 <sup>***</sup>	em	8,6 <sup>**</sup> †
2002-2008 (%)	7,9 <sup>nm</sup>	3,5*	em	em	9,5*	em	7,1 <sup>**</sup> †

† Um reiknað með kvaðratrót til að uppfylla skilyrði um jafna dreifni (variance).

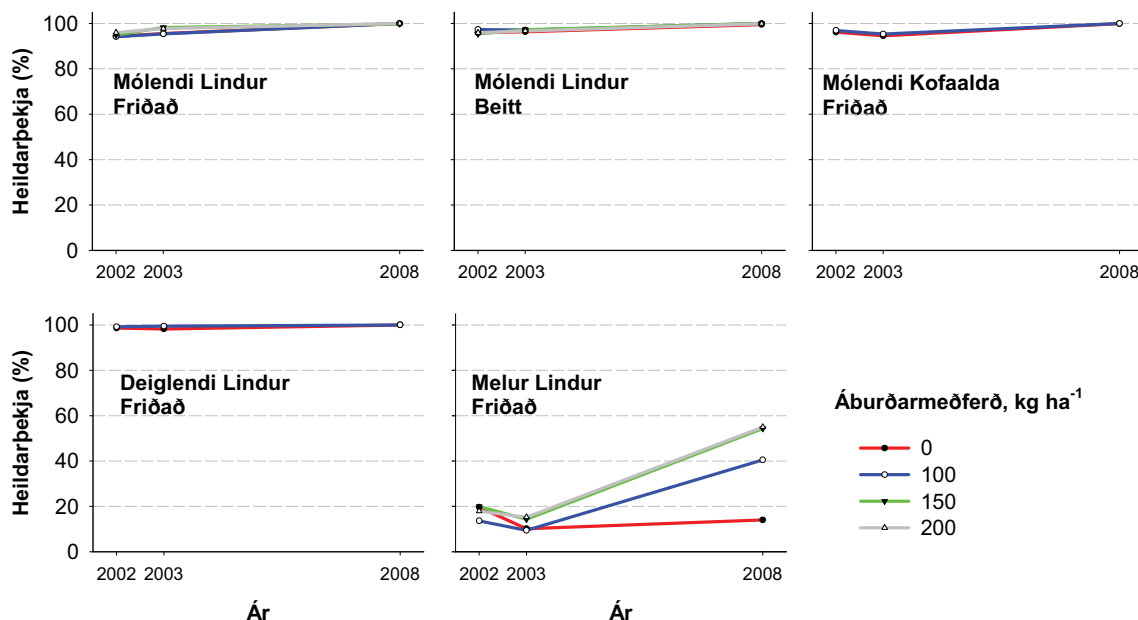
Þegar öll gróin svæði voru borin saman voru marktæk jákvæð áhrif af áburðargjöf (100 kg ha<sup>-1</sup>) á gróðurhæð miðað við óáborna reiti árin 2005 og 2008 (tafla 2.2) og var gróðurhæðin að jafnaði mest í deiglendinu (mynd 2.10).

Á melnum við Lindur var meðalhæð gróðurs í upphafi tilraunanna aðeins 0,24 cm. Þar var línuleg svörun við áburðargjöfinni (mynd 2.10) og í ágúst 2005 var gróðurhæð í áburðarmeðferðum á bilinu 2-4 cm, sem var marktækt hærra en gróðurhæð í óábornum viðmiðunarreitum (tafla 2.2). Heldur dró úr gróðurhæð fram til 2008 þó að áburðaráhrifin væru enn mjög skýr.

### 2.3.2. Gróðurþekja

Bæði mólendissvæðin og deiglendið voru nær algróin við upphaf tilraunanna 2002 og höfðu hvorki beitarfriðun né áburðargjöf áhrif á heildarþekju gróðurs í þeim við síðari mælingar (mynd 2.11 og tafla 2.4). Hins vegar jókst heildarþekja gróðurs örlítið með tíma í flestum meðferðum (tafla 2.3).

Í mólendinu við Lindur breyttist þekja allra hópa háplöntutegunda með tíma; þekja grasa, hálfgrasa (starir, sef og hærur) og mosa jókst en þekja smárunna, runna, breiðblaða blómjurta og byrkninga minnkaði. Áhrif beitar voru aldrei marktæk og áburðargjöfin hafði aðeins áhrif á þekju grasa og smárunna (tafla 2.3 og 2.5). Þekja grasa í ábornum reitum var strax farin að vaxa sumarið 2003 og jókst síðan mikið fram til 2008 (mynd 2.12). Reyndar jókst þekja grasa líka í óábornum reitum en mun minna en í ábornu reitunum. Aftur á móti hafði áburðargjöfin heldur neikvæð áhrif á þekju smárunna (tafla 2.5 og mynd 2.13), sem var árið 2008 orðin marktækt minni í 150 og 200 kg ha<sup>-1</sup> reitunum en í 100 kg ha<sup>-1</sup> og óábornum viðmiðunarreitum

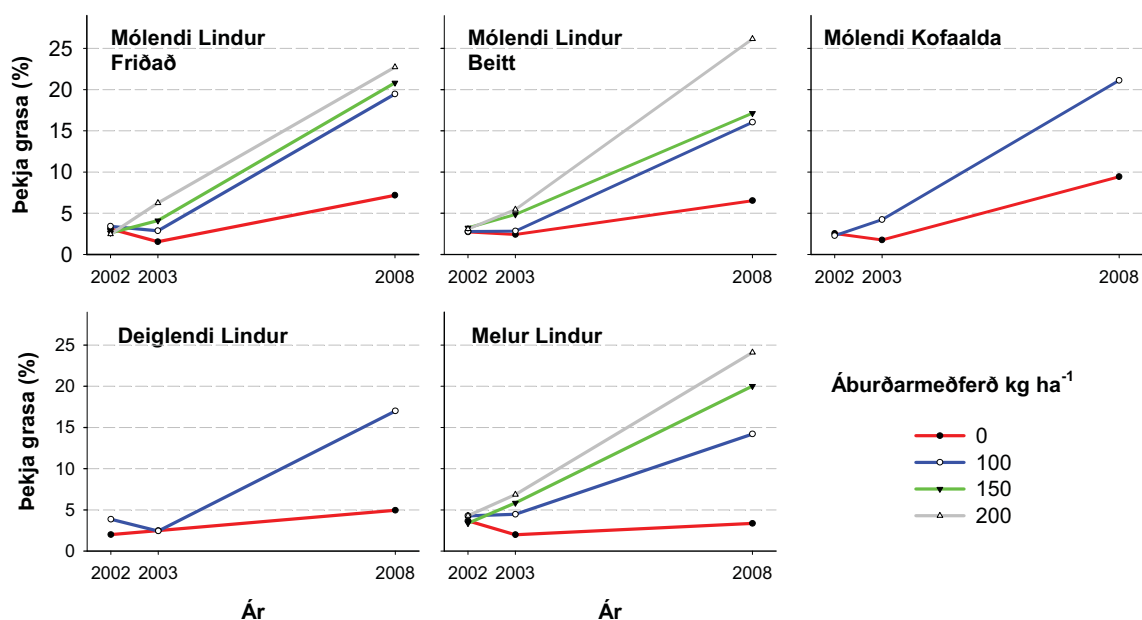


Mynd 2.11. Breytingar á heildarþekju tilraunareitanna við Háslón frá 2002 til 2008.

(Tukeys HSD,  $\alpha=0,05$ ). Árið 2008 kom fram veikt samspil milli áhrifa beitar og áburðargjafar á þekju mosa (tafla 2.5). Það lýsti sér í því að í þekju mosa óx með aukinni áburðargjöf, með þeirri undantekningu að þekju mosa í friðuðum 200 kg ha<sup>-1</sup> reitum var minni en í öðrum friðuðum reitum (mynd 2.14).

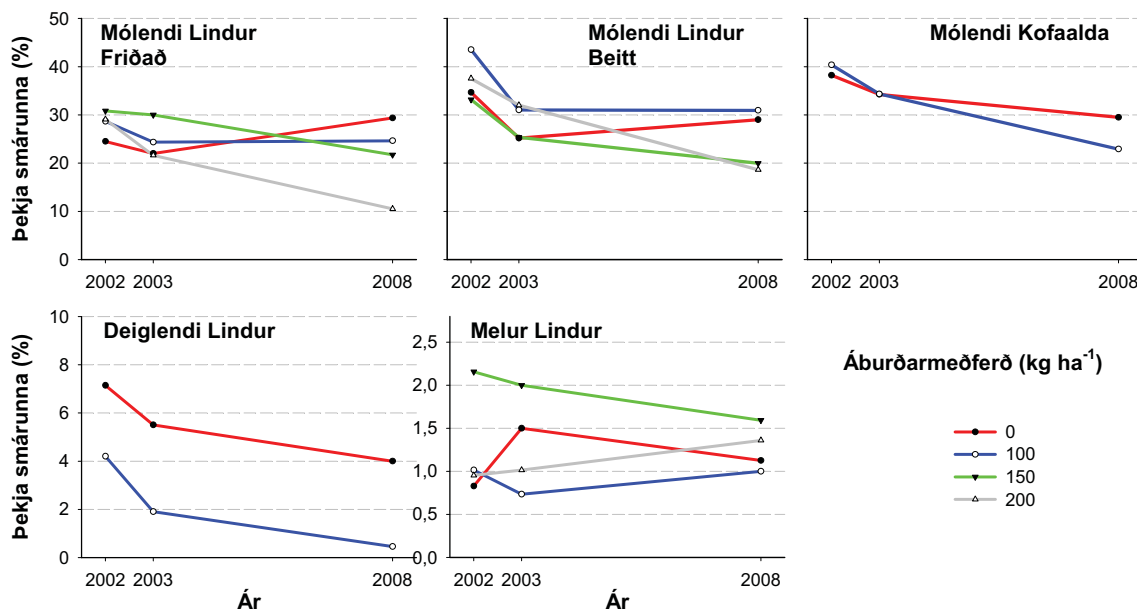
Í upphafi rannsókna var marktækur munur á þekju hálfgrasa, tvíkímblaða blómjurta, runna, smárunna mosa og lífrænnar jarðvegsskánar á milli gróinna svæða (tafla 2.5, mynd 2.12, 2.13 og 2.14). Þessi munur hélst fram til 2008 fyrir alla gróðurflokka nema runna. Þekju grasa og mosa jókst í ábörnum reitum en þekju skánar minnkaði heldur. Í flestum tilfellum voru marktækar breytingar með tíma (tafla 2.3).

Á melnum breyttist heildarþekja gróðurs lítið frá 2002 til 2003 en árið 2008 var komin fram mikil aukning í öllum áburðarmeðferðum (tafla 2.3 og 2.4). Af einstökum gróðurflokkum voru þó aðeins marktæk áhrif á þekju grasa og hálfgrasa (tafla 2.3 og 2.5).

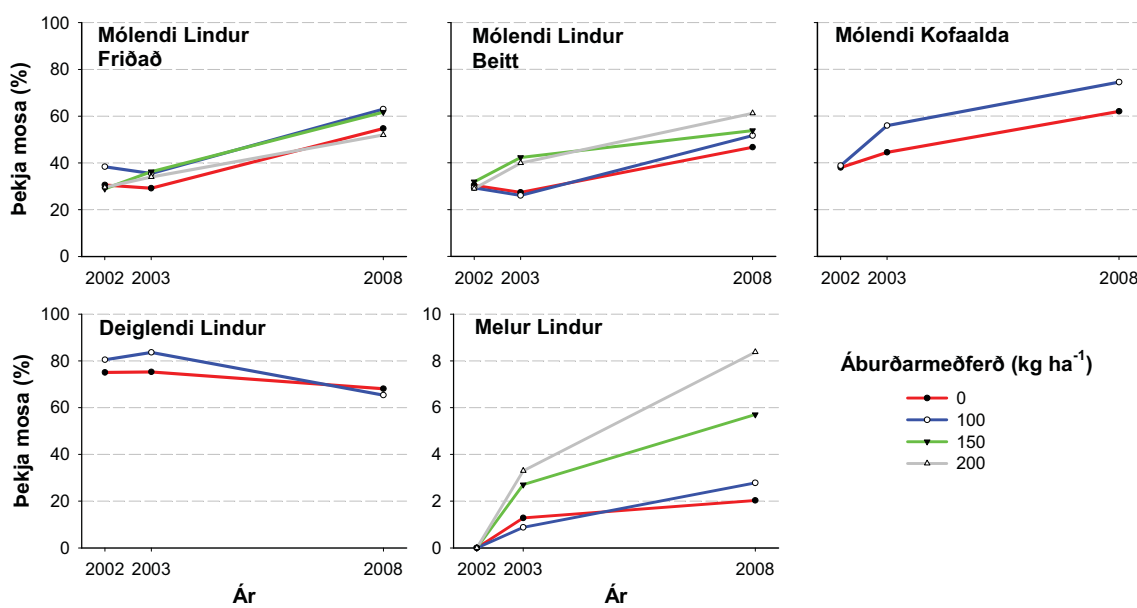


Mynd 2.12. Samanlögð þekja allra grastegunda í tilraunareitunum við Háslón, 2002 til 2008.





*Mynd 2.13. Samanlögð þekja allra smárunnategunda í tilraunareitunum við Háslón frá 2002 til 2008. Athugið að skalinn á y-ás er breytilegur eftir tilraunum.*



*Mynd 2.14. Þekja mosa í tilraunareitunum við Háslón, 2002 til 2008. Athugið að skalinn á y-ásnum fyrir melinn er annar en í hinum tilraunum.*

**Tafla 2.3.** Niðurstöður úr ferverkagreiningum á endurteknum mælingum (repeated measures analysis) fyrir A: mólendi í Lindum; B: öll gróin svæði; C: melur við Lindur. Fritölur fyrir F próferu gefnar innan sviga. \*\*\* $P < 0,001$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \* $P < 0,05$ ; nm, næstum marktækt ( $P = 0,05-0,07$ ); em, ekki marktækt.

<b>A. Mólendi við Lindur</b>							
	<b>Beit (B)</b> <i>F (1,3)</i>	<b>Áburður (Á)</b> <i>F (3,18)</i>	<b>Tími (T)</b> <i>F (3, 72)</i>	<b>B x Á</b> <i>F (3, 18)</i>	<b>B x T</b> <i>F (3,72)</i>	<b>Á x T</b> <i>F (9,72)</i>	<b>B x Á x T</b> <i>F (9,72)</i>
Gróðurhæð	em	17,1***	91,3***	em	em	3,9***	em
	<i>F (1,3)</i>	<i>F (3,18)</i>	<i>F (2,48)</i>	<i>F (3, 18)</i>	<i>F (2,48)</i>	<i>F (6,48)</i>	<i>F (6,48)</i>
Heildarþekja	em	em	56,8***	em	em	em	em
Háplöntur	em	em	38,7***	em	4,7*	em	em
Lífræn jarðvegsskán	em	3,6*	12,8**	em	3,8 <sup>nm</sup>	em	em
<i>Tegundahópar</i>							
Mosar	em	em	37,5***	em	em	em	em
Fléttur	em	em	6,1**	em	em	em	em
Grös	em	7,9**	88,8***	em	em	5,5***	em
Starir, sef og hærur	em	em	55,0***	em	em	em	em
Tvíkímblaða blómjurtir	em	em	61,5***	em	em	em	em
Runnar	em	em	13,3***	em	em	em	em
Smárunnar	em	em	18,5***	em	em	4,6***	em
Byrkningar	em	em	48,3***	em	em	em	em
<i>Fjölbreytni og jafnræði tegunda</i>							
Meðalfj. teg. í reit (2 m <sup>2</sup> )	em	em	273,5***	em	em	em	2,9*
Meðalfj. teg. í ramma (0,25 <sup>2</sup> )	em	em	119,7***	em	em	2,2 <sup>nm</sup>	em
Shannon H'	em	em	32,4***	em	em	em	em
H evenness	em	em	em	em	em	em	em
<i>Víðimælingar</i>							
% þekja	em	em	43,4***	em	em	em	em
hæð	em	em	16,0***	em	em	em	em
<i>Jarðvegur</i>							
%C 0-5 cm	em	em	64,4***	em	em	em	em
%C 5-15 cm	em	em	21,8***	em	em	em	em
%N 0-5 cm	em	em	63,4***	em	em	em	em
%N 5-15 cm	em	3,2*	em	em	em	em	em
C:N hlutfall 0-5 cm	em	em	9,4**	em	em	em	Em

<b>B. Öll gróin svæði, 0 og 100 kg ha<sup>-1</sup></b>							
	<b>Svæði (S)</b> <i>F (2,9)</i>	<b>Áburður (Á)</b> <i>F (1,9)</i>	<b>Tími (T)</b> <i>F (3, 54)</i>	<b>S x Á</b> <i>F (2, 9)</i>	<b>S x T</b> <i>F (6,54)</i>	<b>Á x T</b> <i>F (3,54)</i>	<b>S x Á x T</b> <i>F (6,54)</i>
Gróðurhæð	7,5*	17,9**	58,5***	em	8,1***	6,5***	em
	<i>F (2,9)</i>	<i>F (1,9)</i>	<i>F (2, 36)</i>	<i>F (2, 9)</i>	<i>F (4,36)</i>	<i>F (2,36)</i>	<i>F (4,36)</i>
Heildarþekja	em	em	31,8***	em	5,2**	em	em
Háplöntur	em	em	37,7***	em	em	em	em
Lífræn jarðvegsskán†	12,0**	em	em	6,5*	em	em	em
<i>Tegundahópar</i>							
Mosar	12,8**	8,4*	13,3***	em	12,9***	em	em
Fléttur	15,9***	em	em	3,7 <sup>nm</sup>	em	5,5**	em
Grös	em	89,7***	103,2***	em	em	28,8***	em
Starir, sef og hærur	57,8***	em	45,1***	em	3,71**	em	em
Tvíkímblaða blómjurtir	10,4**	em	20,9***	em	7,5***	em	em
Runnar	6,7*	em	43,3***	8,0**	6,9***	em	em
Smárunnar	41,6***	em	8,4***	em	5,4**	em	em
Byrkningar	em	em	9,6***	em	4,3**	em	em

B. Öll gróin svæði, 0 og 100 kg ha<sup>-1</sup> frh.

	Svæði (S) F (2,9)	Áburður (Á) F (1,9)	Tími (T) F (3, 54)	S x Á F (2, 9)	S x T F (6,54)	Á x T F (3,54)	S x Á x T F (6,54)
<i>Fjölbreytni og jafnræði tegunda</i>							
Meðalfj. teg. í reit (2 m <sup>2</sup> )	4,4 <sup>*</sup>	em	77,2 <sup>***</sup>	em	5,4 <sup>**</sup>	em	em
Meðalfj. teg. í ramma (0,25 <sup>2</sup> )	em						
Shannon H'	12,2 <sup>**</sup>	em	5,0	em	12,9 <sup>***</sup>	em	em
H' evenness	8,7 <sup>**</sup>	em	12,9 <sup>***</sup>	em	6,5 <sup>***</sup>	em	em
<i>Víðimælingar</i>							
% þekja	6,5 <sup>*</sup>	em	53,3 <sup>***</sup>	9,4 <sup>**</sup>	7,3 <sup>***</sup>	em	em
hæð	em	em	9,4 <sup>***</sup>	em	em	em	em
<i>Jarðvegur</i>							
%C 0-5 cm	em	em	20,7 <sup>***</sup>	em	6,2 <sup>**</sup>	em	em
%C 5-15 cm	3,8 <sup>nm</sup>	em	em	em	em	em	em
%N 0-5 cm	em	em	85,7 <sup>***</sup>	em	15,1 <sup>***</sup>	em	em
%N 5-15 cm	15,9 <sup>***</sup>	em	23,0 <sup>***</sup>	em	16,8 <sup>***</sup>	em	em
C:N hlutfall 0-5 cm	5,1 <sup>**</sup>	em	14,2 <sup>**</sup>	em	8,3 <sup>**</sup>	em	em

## C. Melur við Lindur

	Áburður (Á) F (3,9)	Tími (T) F (3,36)	Á x T F (3,36)
Gróðurhæð	24,4 <sup>***</sup>	60,9 <sup>***</sup>	8,0 <sup>***</sup>
<i>Heildarþekja</i>			
Háplöntur	8,1 <sup>**</sup>	191,2 <sup>***</sup>	23,7 <sup>***</sup>
Lífræn jarðvegsskán†	12,5 <sup>**</sup>	112,6 <sup>***</sup>	15,7 <sup>***</sup>
	em	16,6 <sup>**</sup>	3,6 <sup>*</sup>
<i>Tegundahópar</i>			
Mosar	em	13,2 <sup>***</sup>	em
Fléttur	em	65,0 <sup>***</sup>	em
Grös	35,9 <sup>***</sup>	78,3 <sup>***</sup>	10,4 <sup>***</sup>
Starir, sef og hærur	em	19,8 <sup>***</sup>	3,0 <sup>*</sup>
Tvíkímblaða	em	13,4 <sup>***</sup>	em
blómjurtir			
Runnar	em	3,7 <sup>*</sup>	em
Smárunnar	em	em	em
Byrkningar	-	-	-
<i>Fjölbreytni og jafnræði tegunda</i>			
Meðalfj. teg. í reit	em	43,1 <sup>***</sup>	em
Meðalfj. teg. í ramma (0,25 <sup>2</sup> )	em		
Shannon H'	29,6 <sup>***</sup>	71,2 <sup>***</sup>	5,2 <sup>**</sup>
H evenness	9,6 <sup>**</sup>	38,0 <sup>***</sup>	4,9 <sup>***</sup>
<i>Víðimælingar</i>			
% þekja	em	em	em
hæð	9,2 <sup>*</sup>	19,8 <sup>***</sup>	2,6 <sup>*</sup>
<i>Jarðvegur</i>			
%C 0-5 cm	em	43,3 <sup>***</sup>	em
%C 5-15 cm	em	em	em
%N 0-5 cm	em	em	em
%N 5-15 cm	em	10,7 <sup>**</sup>	em
C:N hlutfall 0-5 cm	em	em	Em

† Aðeins 2002 og 2008 tekin með í greiningu fyrir lífræna jarðvegsskán. Frítölur fyrir tíma breytast samsvarandi.

**Tafla 2.4.** Áhrif beitar, áburðargjafar og tilraunasvæða á heildarþekju gróðurs, fjölda háplöntutegunda, fjölbreytnistuðul fyrir háplöntur og jafnræði tegunda í tilraunareitunum. Fritölur fyrir  $F$  próf eru gefnar innan sviga. \*\*\* $P < 0,001$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \* $P < 0,05$ ; nm, næstum marktækt ( $P = 0,05-0,07$ ); em, ekki marktækt.

	Mólendi við Lindur			Öll gróin svæði			Melur við Lindur
	Beit (B) $F(1,3)$	Áburður (Á) $F(3,18)$	B x Á $F(3,18)$	Svæði (S) $F(2,9)$	Áburður (Á) $F(1,9)$	S x Á $F(2,9)$	Áburður $F(3,9)$
<i>Heildarþekja gróðurs</i>							
2002	em	em	em	4,7*	em	em	em
2003	em	em	em	em	em	em	em
2008	em	em	em	em	em	em	26,2***
Breyting 2002-8	em	em	em	em	em	em	50,7***
<i>Meðalfjöldi háplöntutegunda í reit (8 rammar; 2m<sup>2</sup>)</i>							
2002	em	3,1 <sup>nm</sup>	3,4*	em	em	em	em
2003	em	em	2,8 <sup>nm</sup>	4,4*	em	em	em
2008	em	em	em	em	em	em	em
<i>Meðalfjöldi háplöntutegunda í ramma (0,25m<sup>2</sup>)</i>							
2002	em	em	3,5*	em	em	em	em
2003	em	em	em	em	em	em	em
2008	em	3,4*	em	em	em	em	4,4*
<i>Fjölbreytnistuðull fyrir háplöntutegundir (Shannons H')</i>							
2002	em	em	em	11,8**	em	em	em
2003	em	em	em	29,4***	em	em	em
2008	em	em	em	em	em	em	15,2***
<i>Jafnræði háplöntutegunda (H Eveness)</i>							
2002	em	em	em	6,7*	em	em	em
2003	em	em	em	26,0***	em	em	em
2008	em	em	em	em	em	em	14,4***

† Um reiknað með kvaðratrót til að uppfylla skilyrði um jafna dreifni (variance).

**Tafla 2.5.** Áhrif beitar, áburðargjafar og tilraunasvæða á þekju tegundahópa í tilraunareitunum og breytingar á þekju 2002-2008. Frítölur fyrir *F* próf eru gefnar innan sviga. \*\*\**P* < 0,001; \*\**P* < 0,01; \**P* < 0,05; nm, næstum marktækt (*P* = 0,05–0,07); em, ekki marktækt.

	Mólandi við Lindur			Öll gróin svæði			Melur við Lindur
	Beit (B) <i>F</i> (1,3)	Áburður (Á) <i>F</i> (3,18)	B x Á <i>F</i> (3,18)	Svæði (S) <i>F</i> (2,9)	Áburður (Á) <i>F</i> (1,9)	S x Á <i>F</i> (2,9)	Áburður <i>F</i> (3,9)
<b>Grös</b>							
2002	em	em	em	em	em	em	em
2003	em	6,0**	em	em	8,7*	em	17,6***
2008	em	7,2**	em	em	97,4***	em	25,1***
Breyting 2002-8	em	8,6***	em	em	79,4***	em	23,7***
<b>Starir, sef og hærur</b>							
2002	em	em	em	61,0***	em	em	em
2003	em	em	em	31,5***	em	em	em
2008	em	em	em	44,8***	em	em	4,5* †
Breyting 2002-8	em	em	em	em	em	em	em
<b>Tvíkímblaða bló mjurtir</b>							
2002	em	em	2,8 <sup>nm</sup>	7,8**	em	em	em
2003	em	em	em	8,0**	em	em	em
2008	em	em	em	7,9**	em	em	em
Breyting 2002-8	em	em	em	3,6 <sup>nm</sup>	em	em	em
<b>Runnar</b>							
2002	em	em	em	6,7*	em	9,9**	em
2003	em	em	em	em	em	4,6*	em
2008	em	em	em	em	em	em	em
Breyting 2002-8	em	em	em	5,3*	em	9,8**	em
<b>Smárunnar</b>							
2002	em	em	em	26,3***	em	em	em
2003	em	em	em	49,2***	em	em	em
2008	em	13,2***	em	25,3***	em	em	em
Breyting 2002-8	em	5,7**	em	8,1**	7,4*	em	em
<b>Mosar</b>							
2002	em	em	em	35,6***	em	em	-
2003	em	em	em	17,6***	14,2**	em	em
2008	em	em	3,5*	em	5,6*	em	em
Breyting 2002-8	em	em	em	12,6**	em	em	em
<b>Lífræn jarðvegsskán</b>							
2002	em	em	em	5,6*	em	em	em
2008	em	7,6** †	em	4,2 <sup>nm</sup> †	6,2*	em	8,1** †
Breyting 2002-8	em	2,9 <sup>nm</sup>	em	em	4,8 <sup>nm</sup>	em	7,1**

† Umreiknað með kvaðratrót til að uppfylla skilyrði um jafna dreifni (*variance*).

### 2.3.3. Tegundafjöldi og fjölbreytnistuðull háplantna

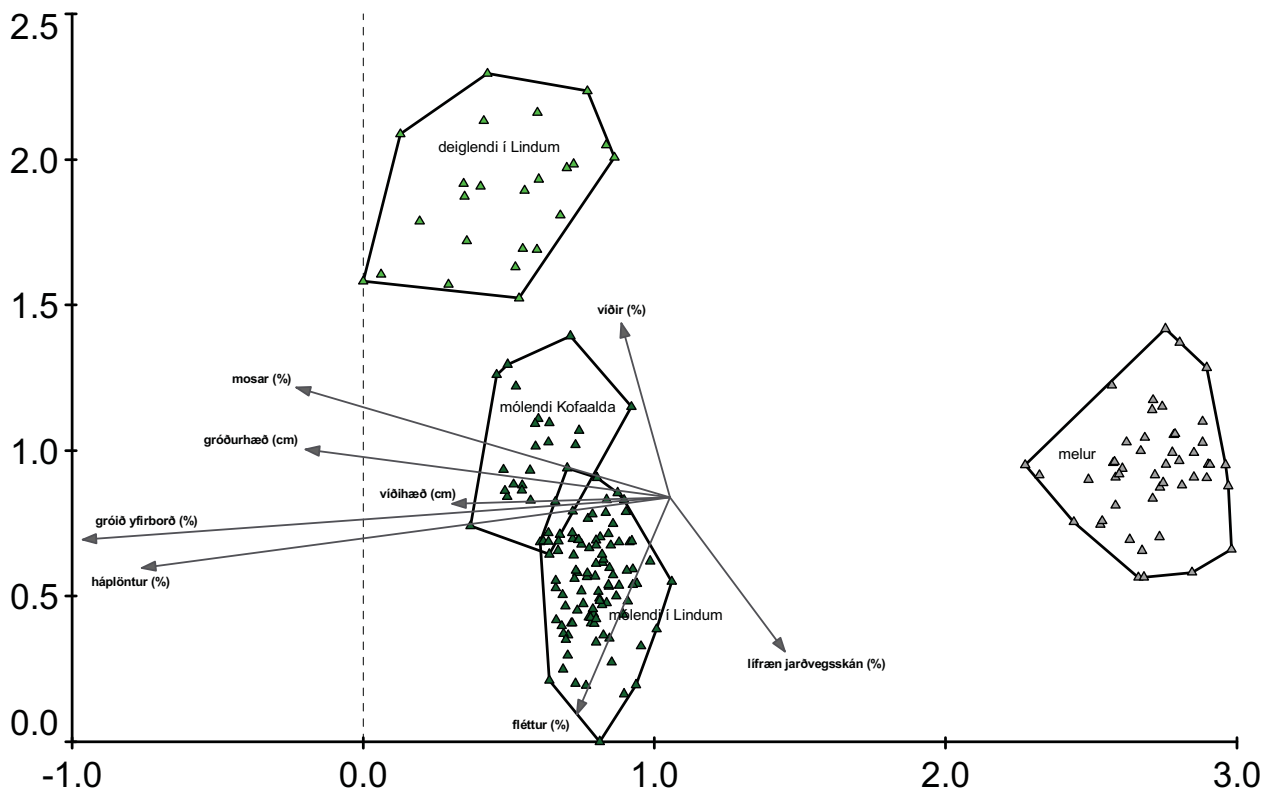
Að meðaltali voru um 11 tegundir í hverjum mæliramma í mólendi við Lindur árið 2002 en 19 tegundir í reit þegar allir átta mælireitirnir voru lagðir saman. Tegundum fækkaði með tímanum í öllum meðferðum (tafla 2.3) og voru samsvarandi tölur fyrir 2008 níu og 16 tegundir. Fjöldi tegunda í reit var ekki sá sami í öllum meðferðum til að byrja með en það jafnaðist út þegar á leið. Ekki komu fram marktæk áhrif af beit eða áburðargjöf á fjölbreytnistuðull fyrir háplöntutegundir (*Shannon H'*) né jafnræði tegunda (*H eveness*). Fjölbreytnistuðullinn lækkaði marktækt með tíma (tafla 2.3); var að meðaltali 2,1 árið 2002, 2,0 árið 2003 og 1,8 árið 2008. Jafnræði tegunda breyttist hins vegar lítið á milli ára, var 0,67 árið 2002 en 0,64 bæði 2003 og 2008.

Þegar borin voru saman öll gróin svæði var enginn munur á meðalfjölda tegunda í ramma. Árið 2003 var hins vegar smávegis munur á tegundafjölda í reit á milli svæða og voru að meðaltali færri tegundir í deiglendinu og í mólendi við Kofaöldu (17 og 18 tegundir) en í mólendi við Lindur (22 tegundir). Hins vegar voru engin marktæk áhrif af áburði á tegundafjölda. Marktækur munur var á Shannon *H'* fjölbreytnistuðlinum og jafnræði tegunda á milli svæða bæði árin 2002 og 2003 (tafla 2.4). Báðir stuðlarnir voru lægstir í deiglendinu en hæstir í mólendinu.

Árið 2002 var fjöldi tegunda á melnum nokkurn veginn sá sami og í mólendi við Lindur, að meðaltali 11 tegundir í ramma og tæplega 19 tegundir að meðaltali í öllum römmum í hverjum reit. Árið 2008 voru enn að meðaltali 11 tegundir í ramma en meðalfjöldi tegunda í reit var kominn í 21. Það ár komu fram marktæk áhrif af áburðargjöf á meðalfjölda tegunda í ramma, sem var minnstur í 200 kg ha<sup>-1</sup> meðferðinni (10,0 tegundir) en mestur í 150 kg ha<sup>-1</sup> meðferðinni (12,3 tegundir) en tegundafjöldi í öðrum meðferðum var þarna á milli. Á melnum var meðal fjölbreytnistuðull í reit um 2,5 við upphaf mælinga 2002, fór í 2,8 árið 2003 en var kominn í 2,3 árið 2008. Jafnræði tegunda sveiflaðist á sama hátt, úr 0,85 árið 2002 í 0,87 árið 2003 og 0,75 árið 2008. Árið 2008 voru marktæk áhrif af áburðargjöf á báða stuðlana (tafla 2.4.), sem lækkuðu með auknum áburðarskammti.

### 2.3.4. Tegundasamsetning háplantna

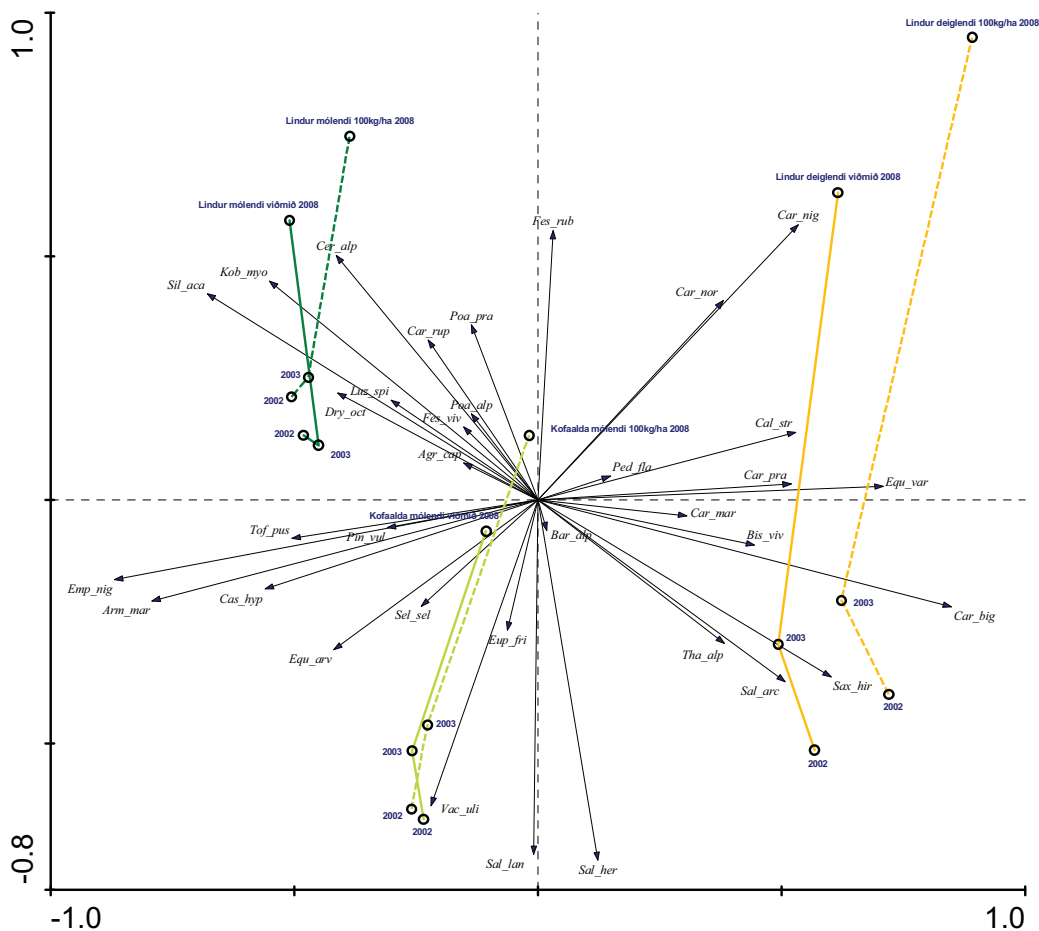
Greining á tegundasamsetningu háplantna frá öllum tilraunastöðunum og öllum þremur gróðurgreiningunum (árin 2002, 2003 og 2008) staðfesti mismun í samsetningu gróðurs milli allra tilraunasvæðanna en þó sérstaklega eftir gróðurlendum (mynd 2.15) því tilraunirnar í deiglendi og á mel skáru sig frá mólendistilraununum. Eigingildi DCA ásanna endurspeglar hversu mikinn breytileika einstakir ásar útskýra og því skýrir 1. ásinn með eigingildið 0,49 langmestan breytileika gagnanna og er jafnframt lengstur (3,0 SD), eigingildi 2. áss var 0,16 og aðrir ásar höfðu enn lægri gildi. Af þeim umhverfisþáttum sem skoðaðir voru höfðu gróið yfirborð og þekja háplantna mesta fylgni við 1. ásinn en einnig var góð fylgni við mosapekju og gróðurhæð (mynd 2.15). Þekja fléttna, víðis og lífrænnar jarðvegsskánar höfðu mesta fylgni við 2. ásinn. Á 1. ásnum sem endurspegladi mesta breytileika gagnanna skiluðu tilraunareitirnir á melnum sig frá grónu tilraununum og því var öll frekari greining á melnum og grónu reitunum



**Mynd 2.15.** Niðurstöður DCA greiningar á þekjugögnum háplantna í öllum tilraununum fjórum á tímabilinu 2002 til 2008. Lína hefur verið dregin utan um hverja tilraun. Gráir vektorar sýna mælda þekju yfirborðs, hæð gróðurs og jarðvegsþætti.

aðskilin. Munurinn á milli grónu tilraunanna var á 2. ásnunum sem útskýrði mun minna af heildarbreytileikanum.

Í grónu tilraununum þremur var mesta breytileika í tegundasamsetningu háplantna að finna í tveimur fyrstu ásnunum í PCA greiningunni með 0,36 og 0,16 í eiginildi fyrir 1. og 2. ás. Tilraunirnar þrjár röðuðu sér eftir 1. ásnunum (mynd 2.16) sem útskýrði mesta breytileikann; tilraunin í mólendi við Lindur með lægstu gildin, sú í mólendinu við Kofaöldu með nokkuð hærri gildi en hæstu gildin (lengst til hægri á grafinu) höfðu tilraunareitir í deiglendi við Lindur. Þær tegundir sem skildu þessar tilraunir helst að voru starir (*Carex nigra*, *C. norvegica*, *C. maritima*, *C. bigelowii*), beitieski (*Equisetum variegatum*) og gullbrá (*Saxifraga hirculus*) sem var frekar að finna í deiglendinu og krækilyng (*Empetrum nigrum*), geldingahnappur (*Armeria maritima*), lambagras (*Silene acaulis*) og þursaskegg (*Kobresia myosuroides*) sem meira var af í mólendi (tegundir á 1. ás, mynd 2.16). Á rannsóknartímanum höfðu orðið stefnubundnar breytingar í tegundasamsetningu háplantna í öllum tilraununum óháð meðferðum og má sjá þessar breytingar á PCA grafinu sem tilfærslu upp eftir grafinu, þ.e. hækkandi gildi meðferða á 2. ási með tíma. Breytingarnar voru meiri í deiglendi en mólendi en af mólendistilraununum urðu heldur meiri breytingar við Kofaöldu en við Lindur. Í öllum tilraununum var tilfærsla viðmiðunarreita í sömu átt og áborinna reita ( $100 \text{ kg áburður ha}^{-1}$ ) en tilfærslan var aðeins meiri hjá ábornu

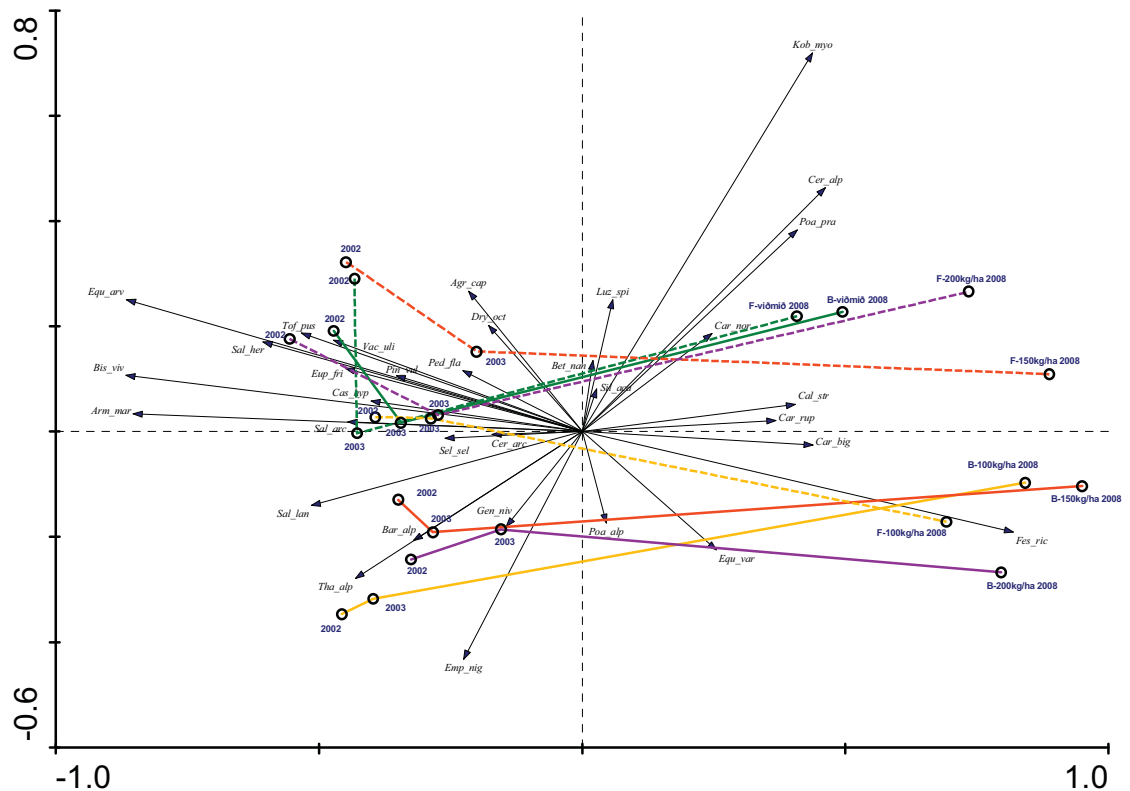


**Mynd 2.16.** Niðurstöður PCA greiningar á þekju háplantna í grónum tilraunum (viðmið og reitir sem fengu 100 kg áburðar  $ha^{-1}$ ) á tímabilinu 2002 til 2008. Vektorar sýna tegundir. Mislitar brautir sýna breytingar í tegundasamsetningu svæðanna þriggja; dökkgrænt = mólendi í Lindum, ljósgrænt = mólendi við Kofaöldu, gult = deiglendi í Lindum en heil lína sýnir viðmið og brotin lína áburðarmeðferð.

reitunum, sérstaklega við Kofaöldu og í deiglendinu. Grösin túnvingull (*Festuca rubra* subsp. *richardsonii*) og vallarsveifgras (*Poa pratensis*) auk músareyra (*Cerastium alpinum*) voru með hæstu gildin á 2. ási PCA grafsins og sýna niðurstöðurnar að hlutur þessara tegunda jókst eftir því sem leið á rannsóknatímann. Aftur á móti fengu loðvíðir (*Salix lanata*), grasvíðir (*Salix herbacea*) og bláberjalyng (*Vaccinium uliginosum*) lægstu gildin og minnkaði þeirra hlutur því með tímanum.

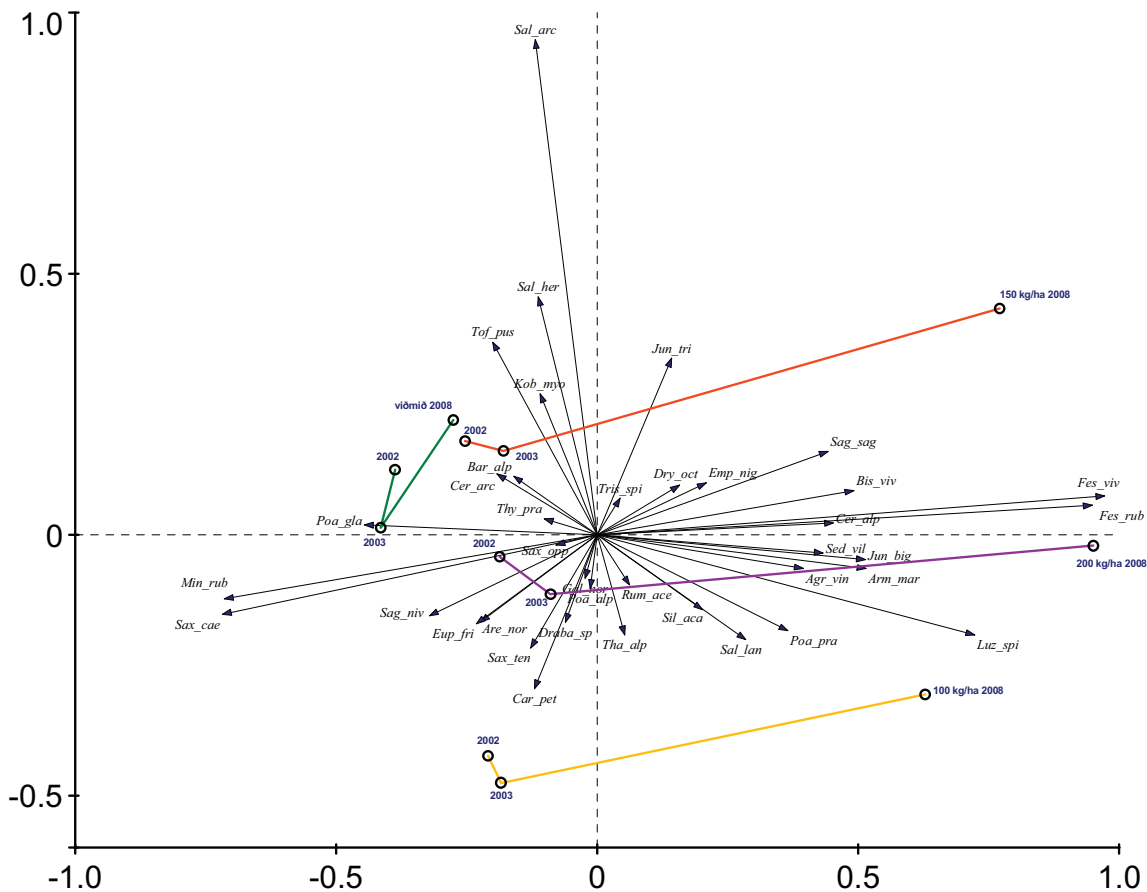
PCA greining á þekju háplantna í öllum tilraunareitunum í mólendi við Lindur sýndi einnig hliðrun reita á rannsóknatímanum (mynd 2.17). Sú hliðrun verður ekki skýrð nema að litlum hluta með tilraunarmeðferðum því viðmiðunarreitir fluttust í sömu átt þó hliðrun viðmiðunarreita væri heldur minni en meðferða. Eigingildi 1. áss var langhæst (0,31) og skýrði því mesta breytileikann í gögnunum. Gildi 2. áss var 0,10 og annarra ása enn lægra. Gróðurhæð, gróið yfirborð og þekja mosa höfðu jákvæða fylgni við 1. ásinn en þekja og hæð víðis höfðu neikvæða fylgni við hann. Í lok





**Mynd 2.17.** Breytingar í tegundasamsetningu háplantna í öllum tilraunarreitum mólendis í Lindum á tímabilinu 2002 til 2008 (PCA greining). Vektorar sýna tegundir. Mislitar brautir sýna breytingar í tegundasamsetningu meðferðareita, heil lína sýnir beitt land og brotin lína friðað land; dökkgrænt = viðmið, gult = 100 kg ha<sup>-1</sup>, appelsínugult = 150 kg ha<sup>-1</sup>, fjólublátt = 200 kg ha<sup>-1</sup>.

rannsóknatímans var gróður því almennt hávaxnari og yfirborðið grónara en í upphafi rannsóknarinnar. Breytingarnar hafa m.a. falið í sér aukningu grasa (*F. rubra*, *P. pratensis* og *Calamagrostis stricta*) en hlutur geldingahnapps, kornsúru (*Bistorta vivipara*), klóelftingar (*Equisetum arvense*), loðvíðis og fjallavíðis (*Salix arctica*) minnkaði (mynd 2.17). Tegundasamsetning háplantna var nokkuð breytileg eftir meðferðum í upphafi tilraunarinnar. Þessi breytileiki hélst allan tímann sem sést á dreifingu meðferða á 2. ás í PCA grafinu. Stefna mismunandi meðferða er aðeins breytileg þó í öllum tilfellum væri tilfærslan eftir 1. ásnum. Niðurstöðurnar gefa vísbendingu um að áburðargjöf hafi haft heldur meiri áhrif í friðuðu reitunum en þeim beittu því hliðrunin varð hlutfallslega meiri í ábornum friðuðum reitum samanborið við friðaða viðmiðunarreiti á tímabilinu 2002 til 2008 heldur en í sambærilegum beittum reitum. Niðurstöður RDA hnitunargreininga sýndu marktæk áhrif áburðargjafar á tegundasamsetninguna þegar búið var að taka tillit til breytileika vegna tíma (RDA3 í töflu 2.6) en friðun fyrir sauðfjárbreit breytti ekki tegundasamsetningunni marktækt (RDA4 í töflu 2.6). RDA1 greiningin sem innihélt ár auk samspils árs og annars vegar áburðargjafar og hins vegar friðunar útskýrði miklu meiri breytileika en samspil árs og meðferða sem er í samræmi við niðurstöður PCA greiningarinnar, þ.e. að stærsti hluti breytinga á rannsóknatímanum verður ekki útskýrður með tilraunarmedferðum (RDA1 í töflu 2.6).



**Mynd 2.18.** Breytingar í tegundasamsetningu háplantna í tilraun á mel á tímabilinu 2002 til 2008 (PCA greining). Vektorar sýna tegundir. Mislitar brautir sýna breytingar í tegundasamsetningu meðferðareita; dökkgrænt = viðmið, gult = 100 kg ha<sup>-1</sup>, appelsínugult = 150 kg ha<sup>-1</sup>, fjólublátt = 200 kg ha<sup>-1</sup>.

Á melnum við Lindur hafði áburðargjöf mikil áhrif á tegundasamsetningu háplantna. Viðmiðunarreitir breyttust hlutfallslega lítið á rannsóknatímanum en meðferðareitir fluttust eftir 1. PCA ásnum (mynd 2.18) sem endurspeglar mesta breytileikann með eigingildi 0,37; eigingildi fyrir 2. ás var 0,16 og enn lægra fyrir aðra. Þekja háplantna, gróðurhæð, gróið yfirborð og lífræn jarðvegsskán höfðu jákvæða fylgni við 1. ásinn þannig að þessar breytur hækkuðu með tíma í ábornum reitum og breyttist tegundasamsetningin hlutfallslega meira með aukinni áburðargjöf. Blávingull (*F. vivipara*), túnvingull (*F. rubra*) og axhæra (*Luzula spicata*) juku hlut sinn í ábornu reitunum með tímanum. Hlutar melanóru (*Minuartia rebella*), þúfusteinbrjóts (*Saxifraga caespitosa*) og blávinguls (*Poa glauca*) minnkaði í ábornu reitunum en þessar tegundir voru einkennandi fyrir viðmiðunarreitina. Strax í upphafi kom fram eilítil munur á milli meðferðareitanna, þ.e. meðferðirnar raða sér eftir 2. ásnum á PCA grafinu og virtist hann halda sér í áburðarreitunum yfir tímabilið (mynd 2.18). RDA greining þar sem samspil áburðar og tíma var prófað sýndi að áburður hafði marktæk áhrif á tegundasamsetningu háplantna ( $F = 9,14$ ;  $P < 0,01$ ) og 23,4% breytileikans var útskýrður af 1. ásnum.

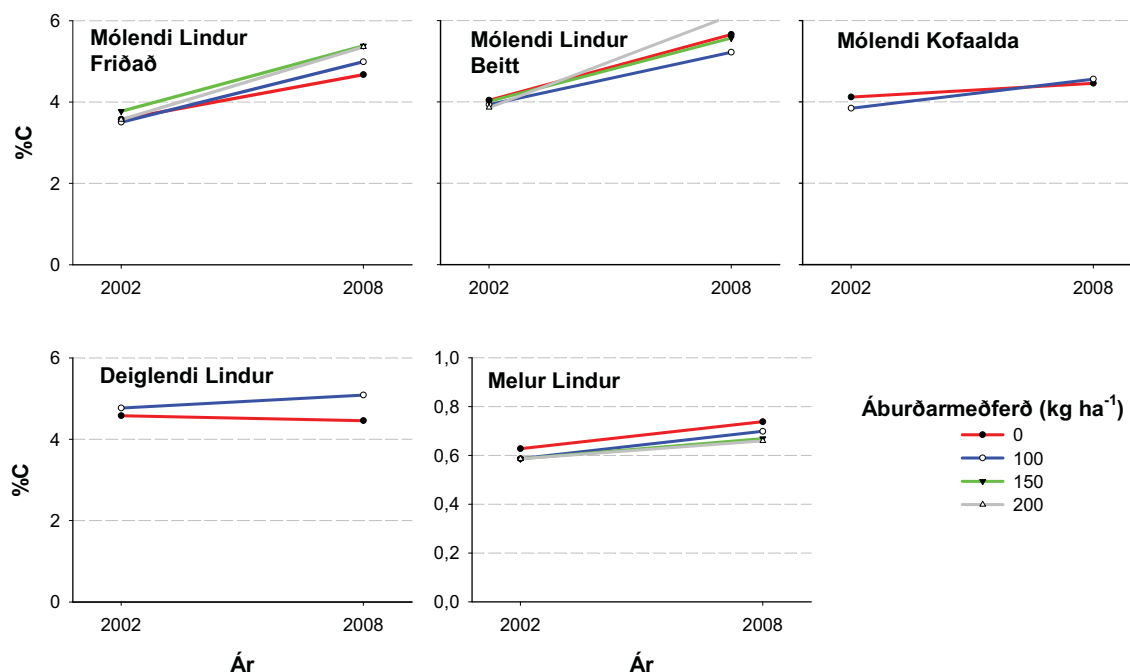
**Tafla 2.6.** Niðurstöður hnitunargreininga með mismunandi samsetningu óháðra breyta og hlutbreyta. Sjá skýringar í texta. B = beitt/friðað; áb = áburðarmeðferð.

Greining	Óháðar breytur (explanatory vars)	Hlutlausar breytur (covariables)	% útskýrt 1. ás	r 1. ás	% útskýrt	F	P
RDA1	ár, ár*B, ár*áb	reitur	61,5	0,977	64,1	36,38	0,016
RDA2	ár*B, ár*áb	ár, reitur	5,8	0,717	2,0	2,70	0,016
RDA3	ár*áb	ár, ár*B, reitur	5,9	0,702	5,8	3,83	0,008
RDA4	ár*B	ár, ár*áb, reitur	2,5	0,522	2,4	1,57	0,330

### 2.3.5. Jarðvegur

Þróun kolefnis í jarðveginum 2002 til 2008 er sýnd á mynd 2.19. Kolefnisinnihald í jarðvegi mólendis við Lindur var að meðaltali 3,8% í efstu 5 cm jarðvegsins árið 2002 en 1,6% fyrir 5-15 cm dýpi. Í mólendi við Kofaöldu var kolefnisinnihaldið að meðaltali 4,0% í efstu 5 cm og 1,7% í 5-15 cm en 4,6% og 2,0% í deiglendinu við Lindur. Kolefnisinnihald jarðvegs í melavist var aðeins 0,6% og var jafnt í sýnum af 0-5 cm og 5-15 cm dýpi. Kolefnisinnihald yfirborðslagsins (0-5 cm) jókst með tíma í öllum tilvikum og var árið 2008 komið í 5,4% í móavist við Lindur, 4,5% í móavist við Kofaöldu, 5,0% í mýravistinni og 0,7% í melavistinni. Ekki komu fram marktæk áhrif af áburðargjöf eða öðrum meðferðum á kolefnisinnihald jarðvegsins (tafla 2.3 og 2.7).

Niturinnihald í jarðvegi mólendis við Lindur var að meðaltali 0,19% fyrir efstu 5 cm jarðvegsins árið 2002 en 0,15% fyrir 5-15 cm dýpi. Í mólendi við Kofaöldu var niturstyrkurinn 0,24% og 0,12% í 0-5 og 5-15 cm jarðvegs en 0,15% og 0,30% í



**Mynd 2.19.** Kolefnishlutfall (%C) í efstu 5 cm jarðvegs í tilraunareitunum 2002 og 2008. Athugið að skali á y-ás fyrir melinn er annar en fyrir grónu svæðin.

**Tafla 2.7.** Áhrif beitar, áburðargjafar og tilraunasvæða á C og N innihald jarðvegs í tilraunareitunum. Fritölur fyrir F próferu gefnar innan sviga. \*\*\* $P < 0,001$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \* $P < 0,05$ ; nm, næstum marktækt ( $P = 0,05-0,07$ ); em, ekki marktækt.

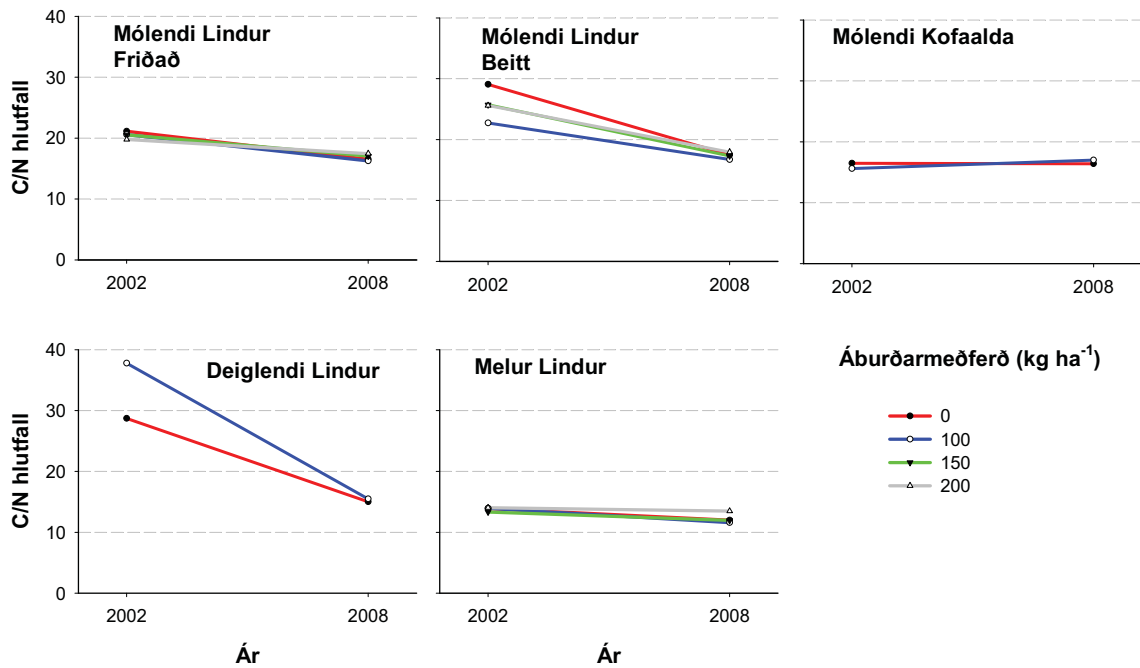
	Mólendi við Lindur			Öll gróin svæði			Melur við Lindur
	Beit (B)	Áburður (Á)	B x Á	Svæði (S)	Áburður (Á)	S x Á	Áburður
	F (1,3)	F (3,18)	F (3,18)	F (2,9)	F (1,9)	F (2,9)	F (3,9)
%C í 0-5 cm jarðvegs							
2002	em	em	em	em	em	em	em
2008	em	em	em	em	em	em	em
%C í 5-15 cm jarðvegs							
2002	em	em	em	em	em	em	em
2008	em	em	em	6,6*	em	em	em
%N í 0-5 cm jarðvegs							
2002	em	em	em	em	em	em	em
2008	em	em	em	em	em	em	em
%N í 5-15 cm jarðvegs							
2002	em	4,0*	em	12,2**	em	em	em
2008	em	em	em	6,0**	em	em	em
C:N hlutfall í 0-5 cm jarðvegs							
2002	em	em	em	5,7*	em	em	em
2008	em	em	em	5,7*	em	em	em

deiglendinu. Niturinnihald jarðvegs á melnum var aðeins 0,05% fyrir 0-5 cm jarðvegs en 0,04% fyrir 5-15 cm dýpi. Niturinnihald yfirborðslagsins hækkaði aðeins fram til 2008 á öllum svæðum nema á melnum og var að meðaltali 0,31% í Lindum, 0,27% í mólendi við Kofaöldu og 0,31% í deiglendinu. Það vekur athygli að niturinnihald yfirborðslagsins hækkaði bæði í ábornum og óábornum reitum og ekki komu fram nein marktæk áhrif af meðferðum á niturinnihaldið (tafla 2.3 og 2.7). Þetta veldur lækkuðu C/N hlutfalli (mynd 2.20).

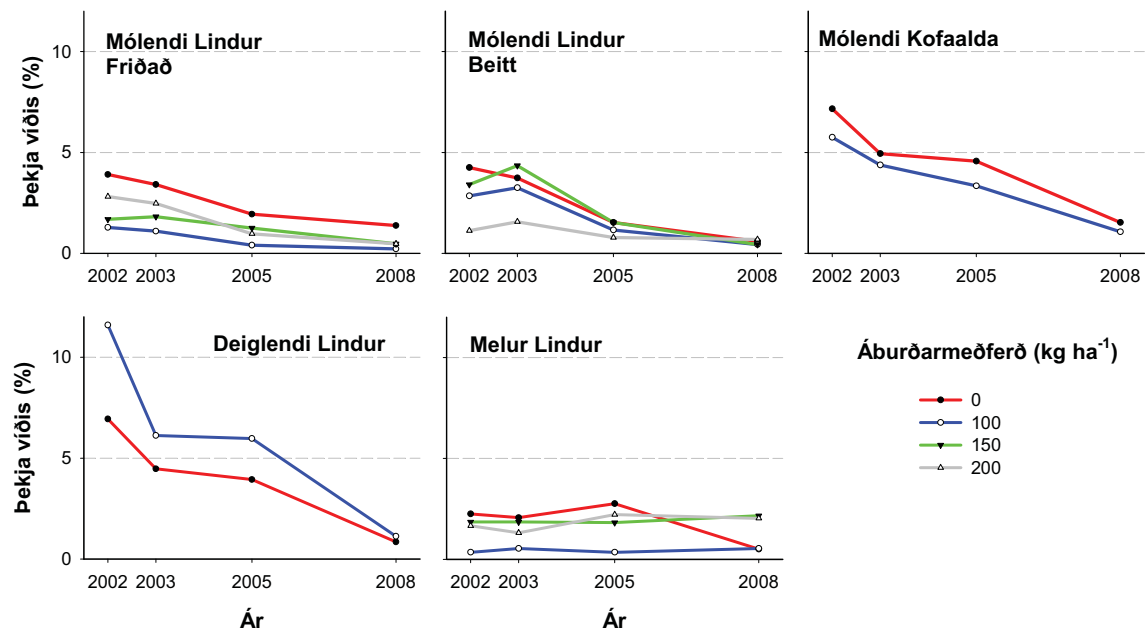
Uppsöfnun kolefnis á svæðinu var 0,025–0,136 kg C m<sup>-2</sup> á ári í efstu 15 cm jarðvegsins (tafla 2.8) þegar tekin eru meðaltöl af öllum meðferðum hvers svæðis og friðuðum og beittum meðferðum. Kolefni á melasvæðinu jókst óháð meðferðum um 0,008 kg C m<sup>-2</sup> á ári en ekki kom fram munur á kolefni í efstu 15 cm jarðvegs á milli 0 og 200 kg áburðarskammta árið 2008.

**Tafla 2.8.** Uppsöfnun kolefnis í efstu 15 cm jarðvegs undir gróðurlendi við Háslón 2002-2008.

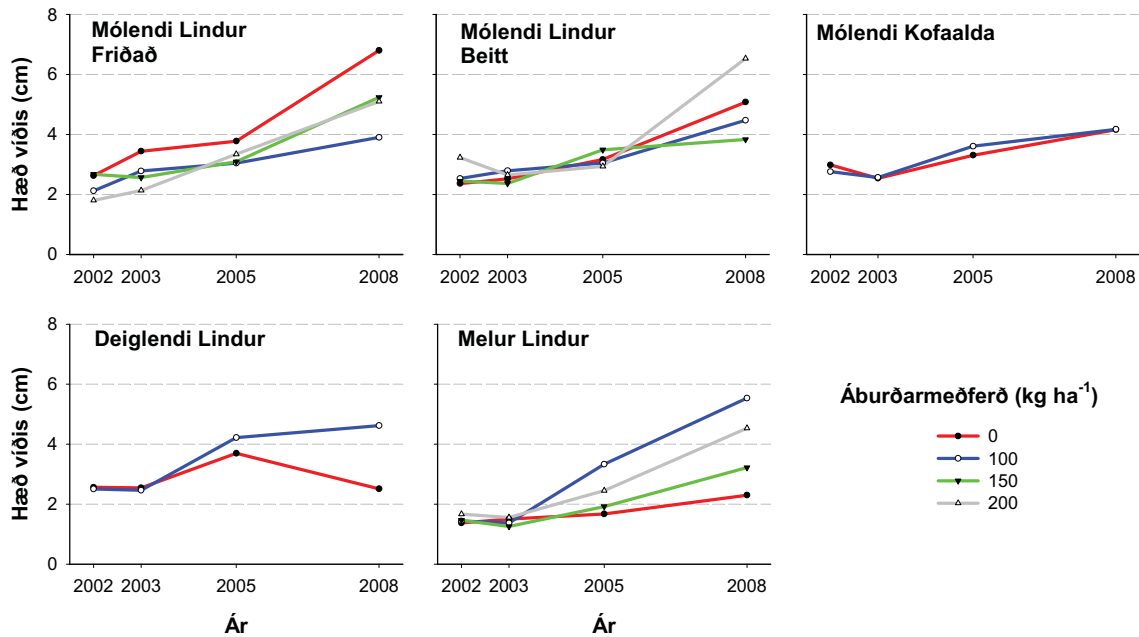
Svæði	2002	2008	Uppsöfnun
	kg C m <sup>-2</sup>		kg C m <sup>-2</sup> á <sup>-1</sup>
Lindur	2,82	3,64	0,136
Deiglendi	3,48	3,63	0,025
Kofaalda	2,97	3,14	0,027



Mynd 2.20. C/N hlutfall í efstu 5 cm jarðvegs í tilraunareitunum 2002 og 2008.



Mynd 2.21. Þekja loðviðis og fjallaviðis í tilraunareitunum við Háslón, 2002 til 2008.



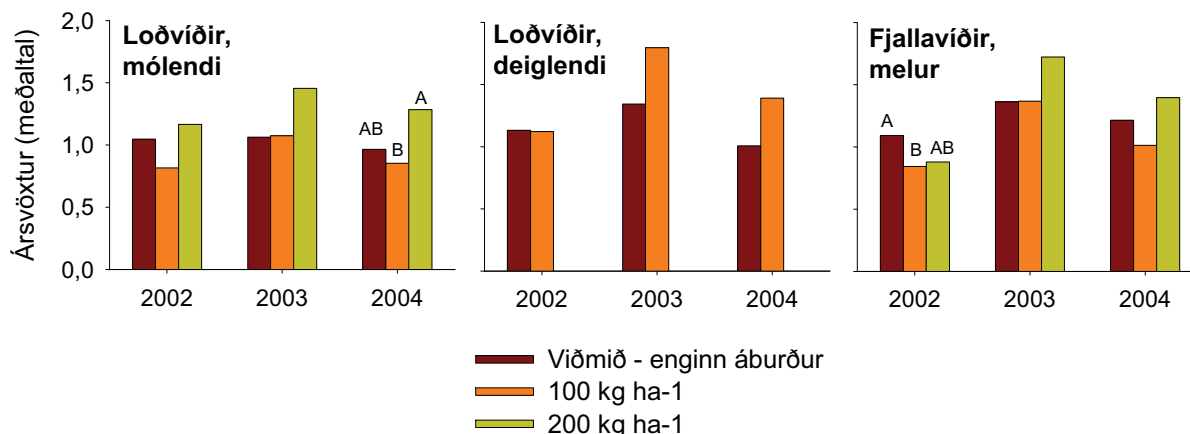
Mynd 2.22. Hæð loðviðis og fjallaviðis í tilraunareitunum við Háslón, 2002 til 2008.

### 2.3.6. Viðmælingar

Meðalþekja loðviðis og fjallaviðis í tilraunareitunum minnkaði með tíma alls staðar nema á melnum (mynd 2.21). Mest varð breytingin í deiglendinu þar sem þekja víðitegundanna fór úr 9,3% árið 2002 í 1,0% árið 2008. Meðalhæð viðisins var á bilinu 2,4 til 2,9 cm á grónum svæðum árið 2002, en aðeins 1,5 cm á melnum. Meðalhæð viðisins jókst með tíma í öllum meðferðum (mynd 2.22 og tafla 2.3) og var komin í 5,4 cm í mólendi við Lindur árið 2008, 4,2 cm í mólendi við Kofaöldu og 3,7 cm í deiglendinu. Á melnum var meðalhæð viðis komin í 3,5 cm árið 2008 og þar voru marktæk áhrif áburðargjafar á hæðina.

Tafla 2.9. Áhrif tilraunasvæða og áburðargjafar á þéttleika og hæð viðis í tilraunareitum við Lindur sumarið 2004 (allar tegundir viðis). Fritölur fyrir F próf eru gefnar innan sviga. \*\*\* $P < 0,001$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \* $P < 0,05$ ; nm, næstum marktækt ( $P = 0,05-0,07$ ); em, ekki marktækt.

	Öll svæði (0 og 100 kg ha <sup>-1</sup> )			Móavist og melavist (0, 100 og 200 kg ha <sup>-1</sup> )		
	Svæði (S) F (2,9)	Áburður (Á) F (1,9)	S x Á F (2,9)	Svæði (S) F (1,6)	Áburður (Á) F (2,12)	S x Á F (2,12)
Þéttleiki stofna (fjöldi m <sup>-2</sup> )	35,3 <sup>***</sup>	em	4,0 <sup>nm</sup>	28,2 <sup>**</sup>	em	em
Þéttleiki greina (fjöldi m <sup>-2</sup> )	25,8 <sup>***</sup>	em	em	em	em	em
Meðalhæð 10 cm snið	10,4 <sup>**</sup>	em	em	28,2 <sup>**</sup>	em	em
Meðalhæð 50 cm snið	15,7 <sup>***</sup>	em	em	33,1 <sup>***</sup>	em	em

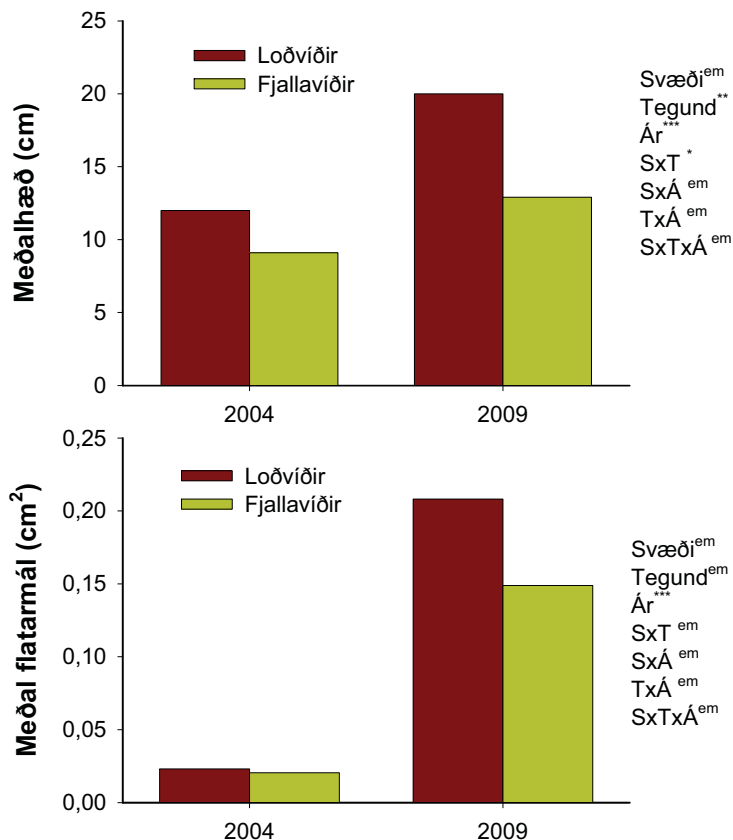


*Mynd 2.23. Ársvöxtur víðitegunda í tilraunareitum við Lindur, mældur haustið 2004. Áburðargjöf hófst ekki fyrr en haustið 2002 og ætti því ekki að hafa haft áhrif á ársvöxt það ár. Ekki var marktækur munur á milli meðaltala innan hvers ár sem merkt eru með sama bókstaf (Tukey's HSD,  $\alpha=0,05$ ).*

Víðimælingar á sniðum yfir friðaða reiti við Lindur (mólendi, deiglendi og melur) í ágúst 2004 sýndu talsverðan mun á hæð víðis og þéttleika stofna og greina á milli svæða þegar allur víðirinn var tekinn saman, en ekki marktæk áhrif af áburðargjöf (tafla 2.9). Hæð víðis var meiri í mólendinu og deiglendinu (um 5 cm) en á melnum (3,7 cm). Þéttleiki stofna var langmestur í deiglendinu, 63 stofnar  $m^{-2}$ , mun lægri í mólendinu, níu stofnar  $m^{-2}$  en aðeins um tveir stofnar  $m^{-2}$  á melnum. Loðvíðir var algengastur í mólendinu og deiglendinu en fjallavíðir var algengastur á melnum. Í mólendinu voru marktæk áhrif af áburðargjöf á ársvöxt loðvíðis 2004 (mynd 3.23). Jákvæð áhrif áburðargjafar á ársvöxt loðvíðis í mólendi 2003 og í deiglendi 2004 voru einnig nálægt því að vera marktæk ( $0,05 < P < 0,07$ ). Á melnum var hins vegar aðeins marktækur munur á milli áburðarmeðferða fyrir ársvöxt 2002; sumarið áður en áburðargjöfin hófst.

### 2.3.7. Ræktun víðis á láglendi

Um 70% víðigræðlinga sem gróðursettir voru á Keldnaholti í júní 2003 voru lifandi í ágúst það ár, 62% voru lifandi ári síðar og 54% voru ennþá lifandi í júlí 2009. Meirihluti græðlinganna var af loðvíði, um 70% en afgangurinn var fjallavíðir. Árið 2004 var meðalhæð plantnanna komin í rúmlega 10 cm en var orðin 17 cm árið 2009, sem er margföld meðalhæð víðis í tilraunareitunum við Háslón (mynd 2.22). Hækkun plantnanna á þessu fimm ára tímabili var marktæk (mynd 2.24) og var loðvíðir að jafnaði heldur hærrí en fjallavíðir. Ekki var marktækur munur á hæð plantna eftir upprunasvæði. Flatarmál einstakra plantna var að meðaltali um 0,005  $m^2$  árið 2004 en var komið í 0,15-0,2  $m^2$  árið 2009. Ekki var marktækur munur á flatarmáli milli tegunda eða upprunasvæða.



**Mynd 2.24.** Hæð og flatarmál viðplantna er ræktaðar voru á láglendi upp af græðlingum sem safnað var við Háslón 2003. Til hliðar við myndirnar eru sýndar niðurstöður ferskagreininga (\*\* $p < 0,001$ , \*\* $p < 0,01$ , \* $p < 0,05$ , <sup>em</sup> ekki marktækt).

## 2.4. Umræður

### 2.4.1. Áhrif áburðargjafar á gróðurhæð

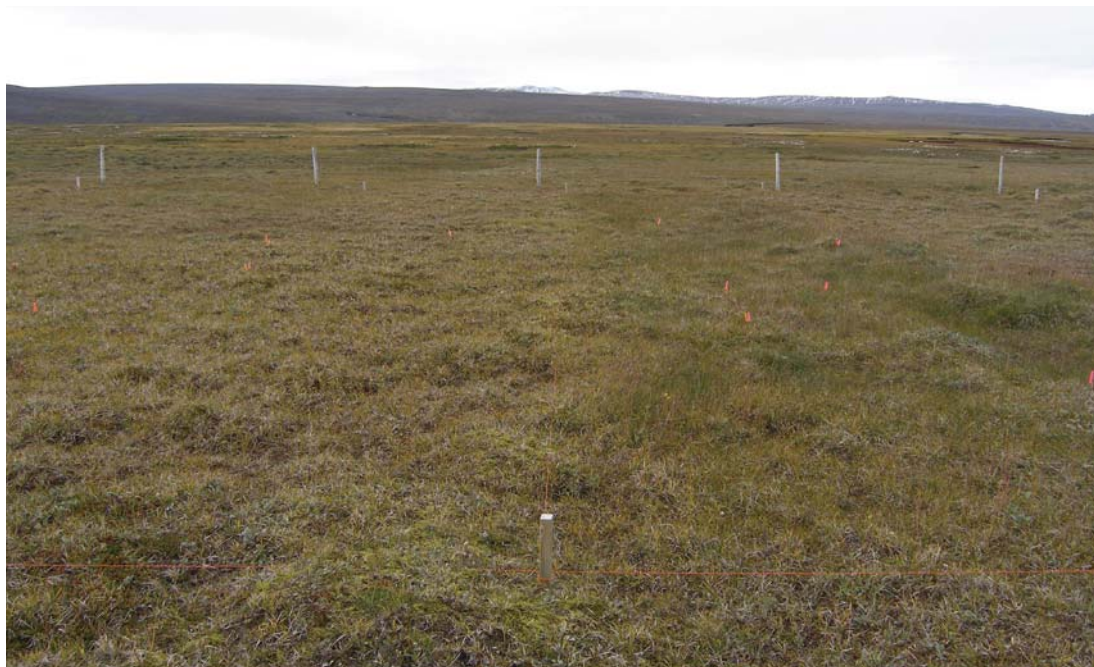
Gróður hefur áhrif á vindhraða og flutning efnis með vindi. Áhrifin eru því meiri eftir því sem gróðurinn er hærri og stífari, því þá eykst hrjúfleiki (roughness) yfirborðsins (sjá samantekt í Whisenant 1999). Eftir því sem hrjúfleikinn er meiri fellur vindhraði örur með minnkandi hæð; vindsniðið er brattara (Pye & Tsoar 1990, Skidmore o.fl. 1994, Okin 2008). Við slétt yfirborð (lítill hrjúfleiki) er vindur rétt ofan yfirborðs (t.d. 1 cm hæð) líkari því sem gerist í 2 m hæð en þar sem yfirborðið er gróft (mikill hrjúfleiki) og vindur fellur hraðar með hæð. Þar sem hrjúfleikinn er mikill falla vindborin jarðvegsefni á yfirborðið, sem aftur er háð því hve veðurhæð er mikil (t.d. mæld í 2 m eða 10 m hæð). Mest rof verður því á sléttu hindranalausum yfirborði—þar er hrjúfleikinn lítill—en vindrof minnkar ört með aukinni gróðurhæð (sjá t.d. Mertia o.fl. 2010). Þá er mikilvægt að hafa í huga að eftir því sem áfoksefni setjast til í gróðrinum, hækkar yfirborðið og sléttist út smám saman. Ef gróðurinn er lágvaxinn í byrjun getur rofhraði stigmagnast ört með minnkandi hrjúfleika yfirborðsins (sjá Pye & Tsoar 1990). Tilgangur áburðar-og friðunartilraunanna við Háslón var að kanna hvort hægt væri að auka hæð og grósku gróðurs og styrkja



hann þannig gagnvart mögulegu áfoki frá lóninu—án þess þó að breyta gróðurfari óhóflega.

Ein af tilgátunum sem tilraununum var ætlað að prófa gekk út á að sauðfjárbeit takmarki gróðurhæð við Háslón og að bæta megi gróðurhæð með beitarfriðun. Rannsóknir eru misvísandi varðandi áhrif beitar (eða friðunar) á gróðurhæð; bæði eru til dæmi um verulega aukningu á hæð gróðurs við friðun (sjá t.d. Plassmann o.fl. 2009) og að beit hafi ekki marktæk áhrif á gróðurhæð (sjá t.d. Eccard o.fl. 2000). Margir þættir geta haft áhrif á þessa svörun en þó einkum gróðurfur og beitarþungi. Niðurstöður úr mólendinu við Háslón (mynd 2.10 og tafla 2.2) bentu til þess að friðun fyrir beit—sauðfjár og sennilega hreindýra líka—hefði lítil áhrif á hæð gróðurs í tilraununum. Þessar niðurstöður styðja því ekki tilgátuna um áhrif beitar á gróðurhæð. Að vísu kom fram marktækt samspil beitar og áburðargjafar í Lindum, sem lýsti sér í því að á tímabilinu 2002-2005 jókst gróðurhæð meir í beittum reitum með 150 kg ha<sup>-1</sup> áburðargjöf en í reitum með 200 kg ha<sup>-1</sup> áburðargjöf (mynd 2.10). Skortur á línulegri svörun í beittum reitum getur hugsanlega stafað af auknu beitarálagi í reitum sem mest var borið á. Niðurstöður tilraunanna segja hins vegar ekkert til um áhrif afráns af völdum annarra tegunda, svo sem skordýra eða gæsa, á gróðurhæðina.

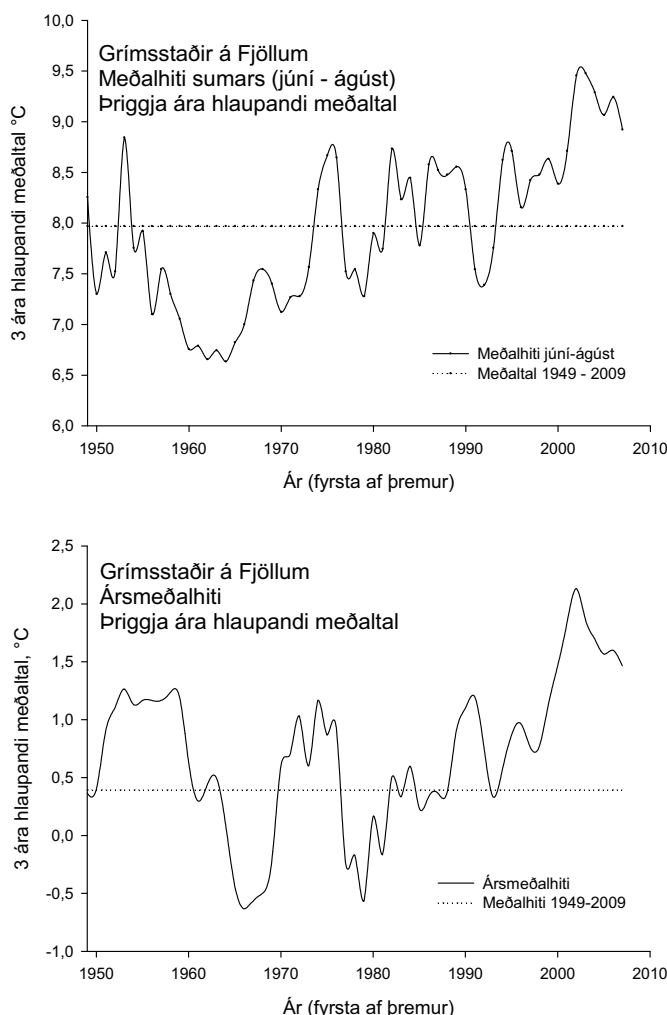
Rannsóknir hafa sýnt jákvæð áhrif áburðargjafar á gróðurhæð í margvíslegum gróðurlendum (sjá t.d. Press o.fl. 1998, Jones o.fl. 2004, Bret-Harte o.fl. 2004, Hejzman o.fl. 2007a,b) þó slík áhrif komi ekki alls staðar fram (sjá t.d. Plassmann o.fl. 2009). Áburðaráhrifin fara meðal annars eftir gerð og magni áburðarins (Hejzman o.fl. 2007a, Jones o.fl. 2004). Gróðurfur hefur eflaust einnig talsvert að segja um svörunina, enda svara mismunandi tegundir áburðargjöf á mismunandi hátt (Shaver o.fl. 2001, Hobbie o.fl. 2005, Bret-Harte o.fl. 2008). Í tilraununum við



*Mynd 2.25. Sýnileg áburðaráhrif árið 2005 í reitum við Lindur.*

Hálslón jók áburðargjöf hæð gróðurs, bæði á grónu deiglendi og í mólendi við Lindur og Kofaöldu og var aukningin yfirleitt í réttu hlutfalli við áburðarmagn (mynd 2.10 og tafla 2.2). Þessar niðurstöður styðja tilgátur um að næringarskortur takmarki hæð gróðurs við Háslón og að auka megi gróðurhæð á grónu landi með áburðargjöf. Áhrif áburðargjafarinnar, sem hófst haustið 2002, voru þó ekki komin fram haustið 2003 (mynd 2.10 og tafla 2.2) en voru orðin mjög áberandi árið 2005 (mynd 2.25), sem var jafnframt síðasta árið sem borið var á reitina. Árið 2008 hafði heldur dregið úr gróðurhæðinni aftur, þó gróður í ábornu reitunum væri enn marktækt hærri en í óábornu reitunum (tafla 2.2). Fróðlegt verður að sjá hversu lengi þessi áburðaráhrif vara en langtímarannsóknir á áhrifum áburðar í graslendi í Mið-Evrópu hafa sýnt marktæk áhrif áburðar á svarðhæð mörgum áratugum eftir að áburðargjöf lauk (Hejman o.fl. 2007b, Semelova o.fl. 2008).

Athygli vekur að gróðurhæð jókst einnig með tíma um 1-2 cm í óábornu reitum (mynd 2.10), sem bendir til undirliggjandi breytinga á svæðinu, óháð áburðargjöf.



**Mynd 2.26** Þriggja ára hlaupandi meðaltal sumarhita og árshita á Grímsstöðum á Fjöllum. Gögn frá Veðurstofu Íslands.

Þessar breytingar má hugsanlega rekja til hlýnandi loftslags þar sem hækkun sumarhita getur haft jákvæð áhrif á gróðurhæð (Press o.fl. 1998, Jónsdóttir o.fl. 2005). Veðurmælingar við Kárahnúka eru tiltölulega nýjar af nálinni en á Grímsstöðum á Fjöllum hafa mælingar staðið samfelld frá 1949. Grímsstaðir hafa að mörgu leyti svipað veðurfar og Kárahnúkar eru inn til landsins á Norðausturlandi en liggja talsvert neðar eða í 384 m yfir sjávarmáli. Á Grímsstöðum kom fram greinileg hækkun ársmeðalhita eftir aldamótin (mynd 2.26) og var meðalthiti aldrei hærri á þessu 60 ára tímabili en einmitt eftir 2000. Meðaltöl sumarmánaða sýnir sömu þróun og var sumarhiti einnig hæstur eftir árið 2000. Munar þar mestu um árin 2003 og 2004 fyrstu tvö árin eftir að tilraunirnar hófust er höfðu sumarhita 10,3 og 9,6°C.

Áburðargjöfin hafði umtalsverð áhrif á gróðurhæð á melnum og voru þau áhrif einkum sterk haustið 2005, meðan áburðargjöfina var enn í gangi (mynd 2.10). Áburðaráhrifin voru enn marktæk árið 2008 (tafla 2.2) þótt gróðurhæðin hefði þá minnkað umtalsvert frá 2005.

#### 2.4.2. Breytingar á gróðurfari gróinna svæða

Í úrskurði er heimilar Kárahnjúkavirkjun (Umhverfissráðuneytið 2001) kemur fram að styrkja eigi gróður þannig að hann geti tekið við auknu áfoki en varast beri að hafa áburðargjöf of mikla „þannig að grös verði yfirgnæfandi og annar gróður veikist.“ Rannsóknir á náttúrulegum gróðurlendum við mismunandi aðstæður hafa sýnt að áburðargjöf getur haft veruleg áhrif á gróðurfar þeirra (sjá t.d. Kelley & Epstein 2009, Shaver o.fl. 2001, Bobbink o.fl. 2010). Aukinn styrkur niturs í andrúmslofti vegna iðnaðar, brennslu jarðefnaeldsneytis og áburðarnotkunar hefur valdið vaxandi niturákomu á síðustu áratugum (Vitousek o.fl. 1997), sem virðist vera einn af drifkröftum víðtækra breytinga á náttúrulegum gróðurlendum. Þær lýsa sér meðal annars í minnkaðri tegundaaúðgi og breytingu á tegundasamsetningu (sjá t.d. Vitousek o.fl. 1997, Dupre o.fl. 2010). Tilraunir með að bera nitur og fosfór á heiðalönd, fjallendi og á arktísk svæði hafa meðal annars leitt til aukinnar þekju eða lífmassa grasa (Graglia o.fl. 2001, Gough o.fl. 2002, Bret-Harte o.fl. 2004, Kelley & Epstein 2009) og ýmissa runnategunda, svo sem fjalldrapa (*Betula nana*) (Shaver o.fl. 2001, Gough o.fl. 2002). Hins vegar hafa komið fram neikvæð áhrif á aðrar runnategundir, svo sem víðitegundir (Bret-Harte o.fl. 2001) og sígræna smárunna (Chapin o.fl. 1995, Graglia o.fl. 2001, Shaver o.fl. 2001, Gough o.fl. 2002, Kelley & Epstein 2009). Niðurstöður tilrauna með áhrif áburðargjafar á mosa eru misvísandi. Til eru dæmi um neikvæð áhrif áburðargjafar á mosa á túndru (Kelley & Epstein 2009) og á lyngheiðum (Press o.fl. 1998; Graglia o.fl. 2001, Pearce o.fl. 2003) en einnig eru til dæmi um jákvæð áhrif niturgjafar á mosa í sandhólagróðri (Plassman o.fl. 2009). Á Auðkúlu- og Eyvindarstaðaheiði jók áburðargjöf á uppgrætt land þekju grasa, dró úr þekju mosa en hafði lítil áhrif á aðra plöntuhópa (Þóra Ellen Þórhallsdóttir 1991).

Á öllum grónu tilraunasvæðunum við Háslón jók áburðargjöf þekju grasa (mynd 2.12) og dró úr þekju smárunna (mynd 2.13) en hafði ekki marktæk áhrif á þekju annarra tegundahópa, fyrir utan veik jákvæð áhrif á þekju mosa á mólendisvæðunum. Áhrif áburðargjafarinnar við Háslón eru því í samræmi við þá

megindrætti í áhrifum áburðargjafar á gróðurfar sem fjallað er um hér að ofan. Niðurstöður RDA hnitunargreininga fyrir mólendi í Lindum sýna einnig marktæk áhrif áburðargjafar á tegundasamsetninguna þegar búið er að taka tillit til breytileika vegna tíma (tafla 2.6). Áhrif á grös, smárunna og tegundasamsetningu voru greinileg í reitunum sem fengu minnstu áburðargjöfina  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  í hvert skipti, sem svarar til þess að samtals hafi verið borin  $45 \text{ kg af N}$ ,  $45 \text{ kg af P}_2\text{O}_5$  og  $45 \text{ kg af K}_2\text{O}$  á hvern hektara miðað við þrjár áburðargjafir haust 2002 og vor 2004 og 2005. Því má gera ráð fyrir að þröskuldsgildi fyrir áhrif áburðar á gróðurfar mólendis og deiglendis við Kárahjúka sé neðan þessara marka. Reyndar komu fram marktæk áburðaráhrif á þekju grasa strax árið 2003 (tafla 2.5), eftir aðeins eina áburðargjöf ( $15 \text{ kg ha}^{-1}$  af N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  og  $\text{K}_2\text{O}$ ), sem bendir til þess að þröskuldsgildið geti verið enn lægra. Áætlað þröskuldsgildi fyrir áhrif af niturákomu á heimskauta- og háfjallagróður er talið geta verið á bilinu frá 5 til  $15 \text{ kg N á ha}$  á ári (Bobbink o.fl. 2010), sem er af svipaðri stærðargráðu. Niðurstöður okkar benda því til þess að varlega þurfi að fara í notkun á áburðargjöf til gróðurstyrkinga, þar sem litlir áburðarskammtar geti valdið talsverðum breytingum á gróðurfari.

Áhrif áburðargjafar á gróðurfar geta verið langvarandi. Dæmi eru um að áhrif áburðargjafar á gróðurfar gæti enn meira en sextíu árum eftir að áburðargjöf lýkur (Spiegelberger o.fl. 2006, Hejzman o.fl. 2007b, Semelova o.fl. 2008), sem gefur enn meira tilefni til að fara varlega í notkun áburðar á náttúruleg gróðurlendi.

Í tilraunareitunum við Háslón urðu miklar breytingar á gróðurfari á grónu svæðunum frá 2002 til 2008 þó að heildarþekja þeirra héldist nær óbreytt (tafla 2.3 og 2.6, myndir 2.11-2.14, 2.15-2.17 og 2.21). Breytingarnar á gróna landinu voru stefnubundnar (mynd 2.16.) og lýstu sér sem tilfærslu í átt að hærra gildi á 2. ás PCA grafsins með tíma; þekja grasa, hálfgrasa og mosa jókst með tíma en þekja smárunna, runna, breiðblaða blómjurta og byrkninga minnkaði. Þessi tilfærsla átti sér stað hjá bæði viðmiðunarreitum og áburðarreitum en var heldur meiri í ábornu reitunum (mynd 2.16.). Tvær skýringar sýnast líklegastar á þeim hluta breytinganna sem ekki er hægt að rekja til áburðaráhrifanna: annars vegar minnkandi beitarálag sauðfjár á svæðinu en hins vegar hlýnandi loftslag (sjá mynd 2.26 og umfjöllun hér að ofan). Fé í Fljótsdalshreppi hefur fækkað úr um 8000 fjár árið 1977-1978 í um 5000 fjár árið 2009 (Ólafur Dýrmundsson, tölvupóstsamskipti). Má ætla að þessar tölur endurspegli stærðargráðu fyrir fækkun fjár á Háslónssvæðinu, auk þess sem beitartími er styttri nú en áður. Nærri 40% fækkun fjár síðustu þrjátíu árin kann að hafa leitt til breytinga á gróðurfari vegna minna beitarálags, sem enn voru að koma fram á rannsóknatímanum en talið er að gróðurbreytingar vegna minnkaðs beitarálags geti verið hægfara (Jónsdóttir o.fl. 2005). Fækkun fjár á Háslónssvæðinu undanfarna áratugi gæti einnig skýrt lítinn mun á gróðurfari friðaðra og beittra tilraunareita við Lindur.

Eins og áður er komið fram hefur bæði meðalárshiti og sumarhiti á Grímstöðum á Fjöllum verið hærri frá því að tilraunin hófst en næstu fimm áratugina þar á undan (mynd 2.26) og má ætla að svipaðar veðurfarsbreytingar hafi átt sér stað á tilraunasvæðunum við Háslón. Tilraunir hafa sýnt að hækkun hitastigs getur haft talsverð áhrif á gróðurfar arktískra svæða (t.d. Chapin o.fl. 1995, Press o.fl. 1998, Graglia o.fl. 2001). Á Auðkúluheiði ( $480 \text{ m h.y.s.}$ ) hafði hækkun sumarahita um

1-2°C þau áhrif að þekja mosa minnkaði en þekja smárunna, einkum fjalldrapa og krækilyngs, jókst (Jónsdóttir o.fl. 2005). Þessar niðurstöður eru ólíkar þeim breytingum sem urðu frá 2002 til 2008 á óábornum viðmiðunarreitum í mólendi við Háslón, þar sem þekja smárunna stóð nokkurn veginn í stað (mynd 2.13) en þekja mosa jókst (mynd 2.14). Breytingar á óábornum viðmiðunarreitum með tíma voru hins vegar í meginatriðum svipaðar breytingum sem urðu á áburðarreitum, þó að þær gengu skemmra (myndir 2.12, 2.14 og 2.16). Hækkað hitastig getur leitt til aukins framboðs á næringarefnum (Chapin o.fl. 1995), líklega vegna aukins niðurbrotshraða sem leiðir til losunar og framboðs á nitri og fleiri næringarefnum. Niðurstöður jarðvegsmælinga (sjá umfjöllun hér að neðan) bentu einnig til að frjósemi jarðvegs á rannsóknasvæðunum hafi aukist á tilraunatímanum. Því má ætla að hagstætt veðurfar, í samspili við minnkað beitarálag, geti að hluta skýrt breytingar á gróðurfari viðmiðunareita á tilraunatímanum. Vaxandi niturákoma er annar þáttur sem talinn er hafa víðtæk áhrif á tegundaaudgi og samsetningu náttúrulegra gróðurlenda víða í Evrópu og N-Ameríku (Dupre o.fl. 2010, Bobbink o.fl. 2010). Bæði mælingar (Jónsdóttir o.fl. 1995) og líkön (Bobbink o.fl. 2010) gera þó ráð fyrir að ákoman sé afar takmörkuð hér á landi ( $\leq 2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ári}^{-1}$ ) og því má telja ólíklegt að niturákoma sé mikilvægur orsakavaldur gróðurfarsbreytinga við Háslón.

#### 2.4.3. Breytingar á þekju og hæð víðis

Áhrif áburðargjafar á víðitegundir við Háslón var ein af meginspurningum þessa verkefnis (sjá inngang). Rannsóknir á láglandi á S- og SV-landi hafa sýnt jákvæð áhrif af áburðargjöf á hæð og flatarmál loðvíðis og gulvíðis (Kristín Svavarsdóttir & Ása L. Aradóttir 2006, Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006). Þar sem gera má ráð fyrir að þekja einstakra plantna aukist í réttu hlutfalli við flatarmál þeirra, má ætla að áburðargjöf geti aukið bæði hæð og þekju víðis. Slík áhrif voru ekki mælanleg hjá loðvíðinum á grónu svæðunum við Háslón (tafla 2.3. og tafla 2.9.), þar sem áburður hafði ekki marktæk áhrif á þekju víðis, hæð, eða þéttleika sprota og greina. Mælingar á árssprotum víðis í friðuðum reitum við Lindur í ágúst 2004 sýndu hins vegar í sumum tilfellum marktæk jákvæð áhrif af áburðargjöf á ársvöxt loðvíðis (mynd 2.23).

Beit stórra beitardýra getur haft neikvæð áhrif á vöxt og afkomu víðitegunda (Peinetti o.fl. 2001, den Herder o.fl. 2004). Enginn munur var þó á hæð eða þekju víðis í friðuðu og beittu mólendi við Háslón (tafla 2.3, mynd 2.21 og 2.22), sem bendir til þess að beit sauðfjár og hreindýra á svæðinu hafi verið fremur létt.

Þó áburður og beit hefðu lítil áhrif á víðinn í grónu tilraunasvæðunum við Háslón, urðu umtalsverðar breytingar á honum óháð tilraunamedferðum (tafla 2.3): hæð víðisins jókst (mynd 2.22) en þekja hans dróst mikið saman í öllum tilraununum (mynd 2.21). Engin augljós skýring er á þessum breytingum en út frá þeim niðurstöðum sem settar eru fram hér að ofan virðist ólíklegt að um langtímaáhrif af minnkuðu beitarálagi á afréttunum sé að ræða. Hlýnandi veðurfar, einkum sumarhiti, er talið hafa jákvæð áhrif á vöxt og útbreiðslu loðvíðis (Forbes o.fl. 2010) og fjallavíðis (Stankowski & Parker 2010) en afkoma víðitegunda er þó háð ýmsum



*Mynd 2.27. Margar víðiplöntur á tilraunasvæðinu voru illa farnar vegna skordýrafráns sumarið 2008. Hér má sjá liffur gæða sér á lodvíðisprotu. Myndin var tekin 11. júlí 2008.*

þáttum, svo sem vaxtarskilyrðum (Jones o.fl. 1999) og samkeppni frá öðrum tegundum (Bret-Harte o.fl. 2001). Mikil ummerki sáust um skordýrafrán er svæðið var skoðað í júlí 2008 (mynd 2.27) og var algengt að plöntur væru nær lauflausar af þessum sökum. Talið er að hlýnun loftslags geti aukið afrán af völdum skordýra (sjá t.d. Jepsen o.fl. 2008, Wolf o.fl. 2008, og heimildir í þeim greinum). Mögulegt er að vaxandi skordýrafrán í kjölfar hlýnunar geti verið einn orsakavaldur fyrir minnkun á þekju víðis í gróðurlendum við Háslón en það þyrfti að rannsaka nánar.

Talsverður munur getur verið á vaxtarhraða víðiklóna en ekki er einhlítt að víðir sem safnað er af hálendi vaxi hægar en víðir af láglendi (Aradóttir o.fl. 2007). Víðir sem safnað var á Háslónssvæðinu en gróðursettur á láglendi var að meðaltali meira en tvöfalt hærri en víðir í tilraunareitum á grónu landi við Háslón (mynd 2.24). Á sama tíma margfaldaðist flatarmál gróðursettu víðiplantnanna. Þessar niðurstöður styðja ekki tilgátu um að hæð og gróska víðis við Háslón takmarkist af erfðapáttum heldur benda þær til þess að umhverfisþættir takmarki vöxtinn.

#### 2.4.4. Áhrif áburðargjafar á gróðurfur mela

Áburðargjöf margfaldaði gróðurþekju á lítt grónum mel við Háslón (mynd 2.11 og 2.28) og hafði mikil og stefnubundin áhrif á tegundasamsetningu gróðurs (mynd

2.18), auk þess að auka meðalhæð gróðurs á melnum. Þessar niðurstöður styðja því tilgátu um að hægt sé að auka viðnám á lítt grónu landi með áburðargjöf sem eykur gróðurþekju og gróðurhæð. Uppgræðsla með áburðargjöf á lítt gróið land til að styrkja staðargróður—án sáninga—er aðferð sem mikið hefur verið notuð í landgræðslu á undanförunum áratugum. Hefur hún skilað góðum árangri, einkum þar sem einhver gróður er fyrir og ekki mikið rof (Þóra Ellen Þórhallsdóttir 1991, Elmarsdóttir o.fl. 2003, Ása L. Aradóttir & Guðmundur Halldórsson 2004, Daði Lange Friðriksson & Magnús H. Jóhannsson 2007, Ása L. Aradóttir & Kristín Svavarsdóttir 2009). Þekja grasa jókst línulega með aukinni áburðargjöf (mynd 2.12 og 2.28) og urðu þau ríkjandi í þekju ábornu reitanna, sem er í samræmi við fyrri rannsóknir (Þóra Ellen Þórhallsdóttir 1991, Daði Lange Friðriksson & Magnús Jóhannsson 2007). Hin mikla þekja grasa virtist hafa neikvæð áhrif á tegundafjölbreytni og jafnræði tegunda sem er í samræmi við niðurstöður Þóru Ellenar Þórhallsdóttur (1991) frá Auðkúluheiði. Áburðargjöfin hafði sterk áhrif á tegundasamsetningu melareitanna með tíma (mynd 2.18), og sýndu RDA greiningar að þau áhrif voru marktæk. Bæði tegundaauðgi og þéttleiki tegunda jókst með tíma í ábornu melareitunum, líklega vegna jákvæðra áhrifa áburðargjafarinnar á landnám staðargróðurs (sjá t.d. Elmarsdóttir o.fl. 2003, Aradóttir o.fl. 2008). Til samanburðar urðu litlar breytingar á þekju og tegundasamsetningu óáborinna viðmiðunarreitna á melnum frá 2002 til 2008 (mynd 2.18), sem bendir til þess að þar sé framvinda afar hæg. Áburðargjöfin virðist því hafa örvað gróðurframvindu á melnum og verður fróðlegt að fylgjast með því hvort hún stefnir í átt að gróðurfari staðargróðurs, líkt og getur gerst á láglandi (sjá t.d. Gunnlaugsdóttir 1985, Grétarsdóttir o.fl. 2004).



**Mynd 2.28** Áburðargjöf á mel leiddi til mikillar aukningar á gróðurþekju, einkum þekju grasa. Myndin er tekin 31. ágúst 2005 og sýnir reit er fékk 200 kg ha<sup>-1</sup> af áburði árin 2002, 2004 og 2005.

#### 2.4.5. Kolefni og C/N hlutfall

Kárahnjúkasvæðið er innan áhrifasvæðis gosbeltisins og þar gætir mikils áfoks frá auðnum norðan Vatnajökuls (Arnalds 2010). Jarðvegurinn þykkar nokkuð ört vegna áfoksins, gjarnan um 1 mm á ári ef miðað er við dýpt niður á gjóskulagið „a“ sem er frá því um 1480 en finnst á um 50 cm dýpi (Ólafur Arnalds & Fanney Ósk Gísladóttir 2001). Því er kolefnisinnihaldið fremur lágt miðað við svæði fjarri gosbeltinu (sjá Ólaf Arnalds & Hlyn Óskarsson 2009), eða 2-3 %C (vegið meðaltal) fyrir efstu 15 cm jarðvegsins.

Breytingar á kolefnisinnihaldi í efstu 5 cm jarðvegs frá 2002 til 2008 eru sýndar á mynd 2.19. Kolefni var að safnast fyrir í ábörnum reitunum, óháð meðferð, en einnig sést að lítil aukning var á C í yfirborðslagi melsins óháð meðferð. Þessi aukning kolefnis óháð meðferðum á svæðunum er allrar athygli verð. Uppsöfnunin svarar til 0,025–0,136 kg C m<sup>-2</sup> á ári í efstu 15 cm jarðvegsins á grónu landi (tafla 2.8), sem er umtalsverð hækkun. Ástæður þessarar uppsöfnunar eru ekki ljósar en má hugsanlega rekja til þess að svæðið leiti nýs jafnvægis með minnkandi beit í kjölfar ofbeitar þegar fé var mjög margt á svæðinu (var flest um 1980). Kolefni á melasvæðinu hefur aukist óháð meðferðum um 0,008 kg C m<sup>-2</sup> á ári en ekki voru sjáanleg áburðaráhrif á kolefni í jarðvegi enn sem komið er (mynd 2.19). Að auki má geta þess að þykkun jarðvegsins vegna áfoks hefur einnig áhrif á bindingu kolefnis.

Segja má að virkni jarðvegslífvera takmarkist fyrst og fremst við framboð lífrænna efna og niturs (Brady & Weil 2008). Vitaskuld hafa aðrir þættir áhrif, t.d. hitastig, rakastig, sýrustig og súrefnisframboð. Jarðvegslífverur sem brjóta niður lífræn efni þurfa nitur til starfsemi sinnar og því er nitur nauðsynlegt við niðurbrot lífrænna efna. Eftir því sem minna er af nitri samanborið við framboð lífræns kolefnis, þeim mun óhægara eiga lífverur jarðvegsins um vik. Hlutfall kolefnis og niturs (C/N hlutfall) er notað til að lýsa þessu samhengi. Frjósöm jörð hefur yfirleitt C/N hlutfall á bilinu 8-12 en hún er orðin verulega ófrjó við C/N hlutfall >20 (sjá t.d. Brady & Weil 2008). C/N hlutfallið var nokkuð hátt í efstu 5 cm jarðvegs í Lindum (20-29) og í deiglendinu við Lindur (28-38) árið 2002 en var verulega lægra í Kofaöldu (um 16) og á melnum (13-14). C/N hlutfall var síðan lægra í 5-15 cm dýptarbilinu á öllum svæðunum, eða 12-17 árið 2002. Hlutfall C/N hafði lækkað umtalsvert samkvæmt mælingunni 2008 nema á melasvæðinu og var orðið einkar lágt á mýrasvæðinu í efstu 5 cm (mynd 2.20). Hið lækkandi C/N hlutfall sem fer saman við hækkandi kolefnisinnihald ætti að skila frjósamara vistkerfi en áður með tilliti til niturs og fleiri næringarefna. Slík frjósemisaukning gæti að hluta til verið drifkraftur gróðurfarsbreytinga á grónu tilraunasvæðunum—óháð meðferðum (sjá mynd 2.16).

Erfitt er að skýra þær breytingar sem urðu á C/N hlutfalli jarðvegs frá 2002 til 2008. Hugsanlegt er að verulega hafi bæst í C forða jarðvegsins fyrir 2002 með minnkandi beit á svæðinu, sem hækkar C/N hlutfallið, en það hafi síðan verið komið í betra jafnvægi árið 2008 miðað við umhverfisaðstæður, auk þess sem hlýtt loftslag hafi örvað örveruflóru svæðisins og þar með niðurbrot á C. Uppsöfnun kolefnis á svæðinu, örar breytingar á C/N hlutfalli í mýrinni og mjög lágt C/N hlutfall árið 2008 bendir til einhvers konar ójafnvægis eða umhverfisbreytinga sem hugsanlega



má rekja til breytinga á beit (ört minnkandi fyrir 2002) og hlýnandi loftslags, en einnig er líklegt að afrán á víði valdi einhverju um óreglu í C/N hlutfalli. Þessar niðurstöður styðja því við túlkun niðurstaðna fyrir breytingar á tegundasamsetningu og hæð gróðurs.

## 2.5. Ályktanir

Gróður við Háslón, í >625 m hæð, telst til háfjallagróðurs á Íslandi. Slíkur gróður er afar viðkvæmur fyrir hvers kyns raski enda nálægt þeim mörkum þar sem finna má samfelld gróðurlendi hér á landi. Áður en þessar tilraunir fóru fram var lítið vitað um áhrif áburðargjafar á gróður sem stendur svo hátt.

Tilraunirnar sýna að það má hafa nokkur áhrif á hæð gróðurs við Háslón með áburðargjöf, sem hækkaði í réttu hlutfalli við áburðargjöfina, úr u.þ.b. 1,7-2,5 cm í >5 cm í mólendinu og í um 7 cm í deiglendinu. Þessi hækkun var þó ekki einvörðungu vegna áburðargjafar, því gróður sem ekki fékk áburðargjöf hækkaði einnig talsvert á tilraunatímanum. Sá hæðarmunur sem fæst með áburðargjöfinni eykur vitaskuld hæfni gróðursins til að taka við áfoki, eins og skýrt er í kaflanum um áfok. Á hitt ber að líta að úrskurður umhverfisráðherra (sjá 1. kafla) gerir ráð fyrir að mótvægisáðgerðir breyti ekki gróðurfari. Ljóst er að áburðargjöfin breytir gróðurfari svæðisins, jafnvel litlir áburðarskammtar. Árangurinn af áburðargjöf við Háslón er tæplega nægjanlegur til að réttlæta samfellda áburðargjöf við lónið með hliðsjón af gróðurhæð einni saman. Rannsóknirnar á áfoki sýna að gróðurinn við Háslón þolir afar lítið áfok. Þar sem áburðartilraunirnar sýna takmarkaða möguleika til að auka gróðurhæðina má draga þá ályktun að það sé nauðsynlegt að koma í veg fyrir áfok inn á hin grónu svæði við lónið.

Niðurstöður tilraunanna við Háslón benda til þess að beit sauðfjár og hreindýra á grónu landi á svæðinu hafi ekki takmarkað gróðurhæð og þær styðja því ekki við þá tilgátu að hægt sé að auka gróðurhæð og þar með viðnám gróðurs gegn áfoki með beitarfriðun á svæðinu. Sauðfjárbreit á Vesturöræfum hefur minnkað umtalsvert á síðustu árum Rétt er að hafa í huga að gæsabeit hefur aukist verulega frá tilkomu lónsins, en gæsirnar sækja gróður sem hefur sýnileg áburðaráhrif, og þá einkum grös, sem auka hlutdeild sína við áburðargjöfina.

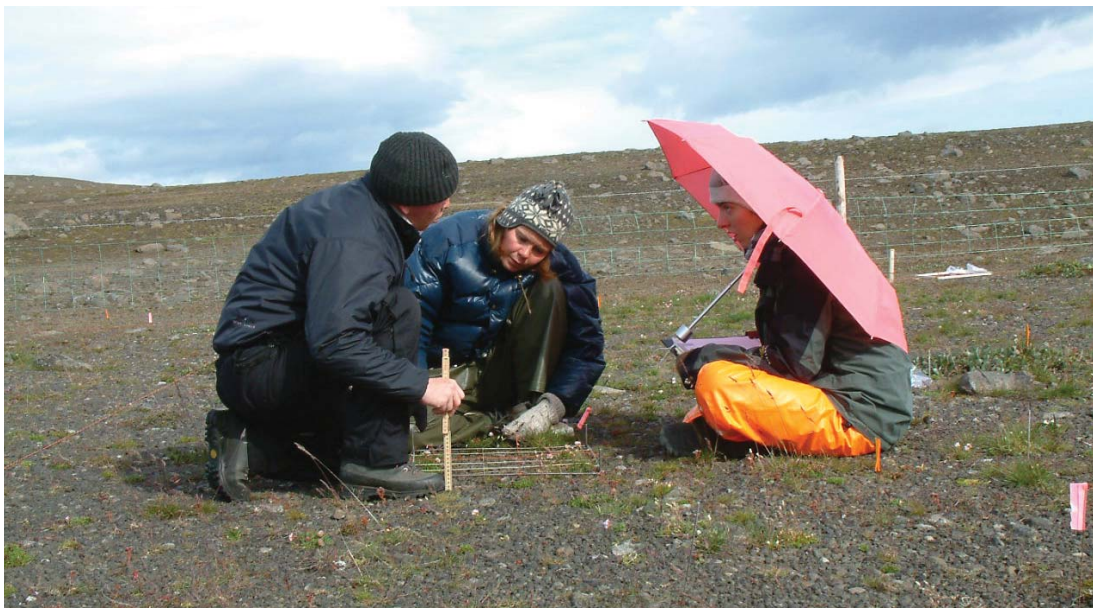
Áburðargjöf á melasvæðið sýndi afgerandi árangur, með aukningu bæði gróðurþekju og gróðurhæðar. Áburðargjöfin örvaði gróðurframvindu og benda niðurstöðurnar eindregið til þess að unnt sé að koma mun meiri gróðurþekju á lítt gróin svæði við Háslón, þrátt fyrir hina miklu hæð yfir sjávarmáli.

Breytingar á tegundasamsetningu óáborinna tilraunareita á rannsóknatímanum eru allar athygli verðar. Þær benda til þess að hlýnandi loftslag hafi haft áhrif á gróðurfara á svæðinu, en einnig minnkandi beit. Hafa ber í huga að sauðfjárfjöldi var mjög mikill um kringum 1980, og líklegt er að minnkandi beitarálag sé lengi að koma fram í gróðurfari. Hlýnandi loftslag eykur hugsanlega á þessi áhrif, m.a. með áhrifum á umsetningu næringarefna í jarðveginum og samanlagt yfirgnæfa þessir þættir hugsanleg áhrif beitarfriðunar nú. Þessar niðurstöður benda eindregið til þess að hálendisgróður á Íslandi sé afar næmur fyrir áhrifum beitar og loftslagsbreytinga,

sem þarf að hafa í huga við mat á ástandi gróðurs á svæðinu og hugsanlegum áhrifum áfoks á svæðinu.

### **Þakkarorð**

Harpa Kristín Einarsdóttir var starfsmaður verkefnisins fyrstu árin, og hafði umsjón með ýmsum þáttum þess. Járngerður Grétarsdóttir vann einnig við verkefnið á síðari hluta þess. Elín Ásgeirsdóttir, Margrét Jónsdóttir, Fanney Ósk Gísladóttir, Bergrún Óladóttir, Brita Berglund, Hafdís Hanna Ægisdóttir, Gústav Ásbjörnsson og nokkrir sumarstarfsmenn Rala (LbhÍ) og L.r. aðstoðuðu við vinnu á vettvangi, úrvinnslu sýna og frágang gagna. Öllum þessum aðilum er færðar bestu þakkir fyrir samstarfið.



## Heimildir

Aradóttir A.L., B. Orradóttir, O. Arnalds & K. Svavarsdóttir 2008. Ecological succession after reclamation treatments on an eroded area in Iceland. Í: Towards a sustainable future for European ecosystems – Providing restoration guidelines for Natura 2000 habitats and species. Proceedings, 6th European Conference on Ecological Restoration. Ghent, Belgium, 8-12/09/2008 (CD Publication).

Aradóttir Á.L., K. Svavarsdóttir & A. Bau 2007. Clonal variability of native willows (*Salix pylicifolia* and *Salix lanata*) in Iceland and implications for use in restoration. Icelandic Agricultural Sciences 20:61-72.

Arnalds Ó. 2010. Dust sources and deposition of aeolian materials in Iceland. Icelandic Agricultural Sciences 23:3-21.

Ása L. Aradóttir & Guðmundur Halldórsson 2004. Uppbygging vistkerfa á röskuðum svæðum. Fræðaging landbúnaðarins 1:86-93.

Ása. L. Aradóttir & Kristín Svavarsdóttir 2009. Áhrif uppgræðsluáðgerða á gróðurframvindu. Fræðaging landbúnaðarins 6:279-285.

Berglind Orradóttir & Ólafur Arnalds 2007. Ísig – áhrif landgræðslu og árstíma Fræðaging landbúnaðarins 4:513-515.

Bobbink R., K. Hicks, J. Galloway, T. Spranger, R. Alkemade, M. Ashmore, M. Bustamante, S. Cinderby, E. Davidson, F. Dentener, B. Emmett, J.W. Erisman, M. Fenn, F. Gilliam, A. Nordin, L. Pardo & W. De Vries 2010. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. Ecological Applications 20:30-59.

Brady N.C. & R.R. Weil 2008. The Nature and Properties of Soils. Pearson-Prentice Hall, New Jersey, 965 bls.

Bret-Harte M.S., E.A. Garcia, V.M. Sacre, J.R. Whorley, J.L. Wagner, S.C. Lippert & F.S. Chapin 2004. Plant and soil responses to neighbour removal and fertilization in Alaskan tussock tundra. Journal of Ecology 92:635-647.

Bret-Harte M.S., G.R. Shaver, J.P. Zoerner, J.F. Johnstone, J.L. Wagner, A.S. Chavez, R.F. Gunkelman, S.C. Lippert & J.A. Laundre 2001. Developmental plasticity allows *Betula nana* to dominate tundra subjected to an altered environment. Ecology 82:18-32.

Bret-Harte M.S., M.C. Mack, G.R. Goldsmith, D.B. Sloan, J. DeMarco, G.R. Shaver, P.M. Ray, Z. Biesinger & F.S. Chapin 2008. Plant functional types do not predict biomass responses to removal and fertilization in Alaskan tussock tundra. Journal of Ecology 96:713-726.

Chapin, F.S., G.R. Shaver, A.E. Giblin, K.J. Nadelhoffer & J.A. Laundre 1995. Responses of arctic tundra to experimental and observed changes in climate. Ecology 76:694-711.

Daði Lange Friðriksson & Magnús H. Jóhannsson 2007. Tilbúinn áburður til uppgræðslu – hversu lítið er nóg? Fræðaging landbúnaðarins 4:583-586.

den Herder M., R. Virtanen & H. Roininen 2004. Effects of reindeer browsing on tundra willow and its associated insect herbivores. Journal of Applied Ecology 41:870-879.

Dupre C., C.J. Stevens, T. Ranke, A. Bleeker, C. Peppler-Lisbach, D.J.G. Gowing, N.B. Dise, E. Dorland, R. Bobbink & M. Diekmann 2010. Changes in species richness and composition in European acidic grasslands over the past 70 years: the contribution of cumulative atmospheric nitrogen deposition. Global Change Biology 16:344-357.

Eccard J.A., R.B. Walther & S.J. Milton 2000. How livestock grazing affects vegetation structures and small mammal distribution in the semi-arid Karoo. Journal of Arid Environments 46:103-106.

- Elmarsdóttir A., A.L. Aradóttir & M.J. Trlica 2003. Microsite availability and establishment of native species on degraded and reclaimed sites. *Journal of Applied Ecology* 40:815-823.
- Forbes B.C., M.M. Fauria & P. Zetterberg 2010. Russian Arctic warming and 'greening' are closely tracked by tundra shrub willows. *Global Change Biology* 16:1542-1554.
- Gough L., P.A. Wookey & G.R. Shaver 2002. Dry heath arctic tundra responses to long-term nutrient and light manipulation. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 34:211-218.
- Graglia E., S. Jonasson, A. Michelsen, I.K. Schmidt, M. Havstrom & L. Gustavsson 2001. Effects of environmental perturbations on abundance of subarctic plants after three, seven and ten years of treatments. *Ecography* 24:5-12.
- Grétarsdóttir J., Á.L. Aradóttir, V. Vandvik, E. Heegaard & H.J.B. Birks 2004. Long-term effects of reclamation treatments on plant succession in Iceland. *Restoration Ecology* 12:268-278.
- Gunnlaugsdóttir E. 1985. Composition and dynamical status of heathland communities in Iceland in relation to recovery measures. *Acta Phytogeographica Suecica* 75:1-84.
- Hejzman M., M. Klauisova, J. Schellberg & D. Honsova 2007a. The Rengen Grassland Experiment: Plant species composition after 64 years of fertilizer application. *Agriculture Ecosystems & Environment* 122:259-266.
- Hejzman M., M. Klauisova, J. Stursa, V. Pavlu, J. Schellberg, P. Hejzmanova, J. Hakl, O. Rauch & S. Vacek 2007b. Revisiting a 37 years abandoned fertilizer experiment on *Nardus* grassland in the Czech Republic. *Agriculture Ecosystems & Environment* 118:231-236.
- Hobbie S.E., L. Gough & G.R. Shaver 2005. Species compositional differences on different-aged glacial landscapes drive contrasting responses of tundra to nutrient addition. *Journal of Ecology* 93:770-782.
- Jepsen J.U., S.B. Hagen, R.A. Ims & N.G. Yoccoz 2008. Climate change and outbreaks of the geometrids *Operophtera brumata* and *Epirrita autumnata* in subarctic birch forest: evidence of a recent outbreak range expansion. *Journal of Animal Ecology* 77:257-264.
- Jones M.H., S.E. Macdonald & G.H.R. Henry 1999. Sex- and habitat-specific responses of a high arctic willow, *Salix arctica*, to experimental climate change. *Oikos* 87:129-138.
- Jones M.L.M., H.L. Wallace, D. Norris, S.A. Brittain, S. Haria, R.E. Jones, P.M. Rhind, B.R. Reynolds & B.A. Emmett 2004. Changes in vegetation and soil characteristics in coastal sand dunes along a gradient of atmospheric nitrogen deposition. *Plant Biology* 6:598-605.
- Jónsdóttir I.S., B. Magnússon, J. Gudmundsson, A. Elmarsdóttir & H. Hjartarson 2005. Variable sensitivity of plant communities in Iceland to experimental warming. *Global Change Biology* 11:553-563.
- Jónsdóttir, I.S., T.V. Callaghan & J.A. Lee 1995. Fate of added nitrogen in a moss sedge arctic community and effects of increased nitrogen deposition. *Science of the Total Environment* 160-61: 677-685.
- Kelley A.M. & H.E. Epstein 2009. Effects of nitrogen fertilization on plant communities of nonsorted circles in moist nonacidic tundra, northern Alaska. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 41:119-127.
- Kristín Svavarsdóttir & Ása L. Aradóttir 2006. Áhrif áburðar á stærð, blómgun og fræframleiðslu gulvíðis og loðvíðis. Í: (Kristín Svavarsdóttir ritstj.) *Innlendar vísitæðingur: líffræði og notkunarmöguleikar í landgræðslu*. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholt, bls. 33-41.
- Kristín Svavarsdóttir, Ása L. Aradóttir & Úlfur Óskarsson 2006. Þróun aðferða við ræktun gulvíðis og loðvíðis. Í: (Kristín Svavarsdóttir ritstj.) *Innlendar vísitæðingur: líffræði og notkunarmöguleikar í landgræðslu*. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholt, bls. 73-89.

- Lepš J. & P. Šmilauer 2003. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge University Press, 269 bls.
- Mertia R.S., P. Santra, B.K. Kandpal & R. Prasad 2010. Mass-height profile and total mass transport of wind eroded sediments from rangelands of the Indian Thar Desert. *Aeolian Research*, in press. Doi:10.1016/j.aeolia.2010.04.002.
- Nelson D.W. & L.E. Sommers 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Í: (A.L. Page, R.H. Miller & D.R. Keeney ritstj.) *Methods of Soil Analysis*. Agronomy No 9, Part 2, 2<sup>nd</sup> Edition, ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, bls 539-579.
- Okin G.S. 2008. A new model of wind erosion in the presence of vegetation. *Journal of Geophysical Research* 113, F02S10, DOI: 10.1029/2007JF000758.
- Ólafur Arnalds & Fanney Ósk Gísladóttir 2001. Háslón - Jarðvegur og jarðvegsrof. Skýrsla Rannsóknastofnunar landbúnaðarins til Landsvirkjunar, mars 2001.
- Ólafur Arnalds & Hlynur Óskarsson 2009. Íslenskt jarðvegskort. *Náttúrufræðingurinn* 78:107-121.
- Pearce I.S.K., S.J. Woodin & R. van der Wal 2003. Physiological and growth responses of the montane bryophyte *Racomitrium lanuginosum* to atmospheric nitrogen deposition. *New Phytologist* 160, 145-155.
- Peinetti, H.R., R.S.C. Menezes & M.B. Coughenour 2001. Changes induced by elk browsing in the aboveground biomass production and distribution of willow (*Salix monticola* Bebb): their relationships with plant water, carbon, and nitrogen dynamics. *Oecologia* 127:334-342.
- Plassmann K., G. Edwards-Jones & M.L.M. Jones 2009. The effects of low levels of nitrogen deposition and grazing on dune grassland. *Science of the Total Environment* 407:1391-1404.
- Press M.C., J.A. Potter, M.J.W. Burke, T.V. Callaghan & J.A. Lee 1998. Responses of a subarctic dwarf shrub heath community to simulated environmental change. *Journal of Ecology* 86:315-327.
- Pye K. & H. Tsoar 1990. *Aeolian Sand and Sand Dunes*. Unwin Hyman, London.
- Semelova V., M. Hejcman, V. Pavlu, S. Vacek & V. Podrazsky 2008. The Grass Garden in the Giant Mts. (Czech Republic): Residual effect of long-term fertilization after 62 years. *Agriculture Ecosystems & Environment* 123:337-342.
- Shaver G.R., S.M. Bret-Harte, M.H. Jones, J. Johnstone, L. Gough, J. Laundre & F.S. Chapin 2001. Species composition interacts with fertilizer to control long-term change in tundra productivity. *Ecology* 82:3163-3181.
- Sigurður H. Magnússon, Borgþór Magnússon, Erling Ólafsson, Guðmundur Guðjónsson, Guðmundur A. Guðmundsson, Hörður Kristinsson, Kristbjörn Egilsson, Kristinn Haukur Skarphéðinsson, Starri Heiðmarsson & Jón Gunnar Ottósson 2009. Vistgerðir á miðhálandi Íslands. Flokkun, lýsing og verndargildi. Náttúrufræðistofnun Íslands, NÍ-09008, júní 2009, 174 bls.
- Skidmore E.L., L.J. Hagen, D.V. Armbrust, A.A. Durar, D.W. Fryrear, K.N. Potter, L.E. Wagner & T.M. Zobeck 1994. Methods for investigating basic processes and condition affecting wind erosion. Í: Lal, R.L. (ritstj.) *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, bls. 295-330.
- Spiegelberger T., C. Deleglise, S. DeDanieli & C. Bernard-Brunet 2006. Resilience of acid subalpine grassland to short-term liming and fertilisation. *Agriculture Ecosystems & Environment* 137:158-162.
- Stankowski P.A. & W.H. Parker 2010. Species distribution modelling: Does one size fit all? A phytogeographic analysis of *Salix* in Ontario. *Ecological Modelling* 221:1655-1664.

ter Braak C.J.F. & P. Smilauer 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA 500 bls.

Umhverfísráðuneytið 2001. Úrskurður. Reykjavík, 20. desember 2001. Tilvísun: UMH01080004/10-02-0601.

Vitousek P.M., J.D. Aber, R.W. Howarth, G.E. Likens, P.A. Matson, D.W. Schindler, W.H. Schlesinger & D.G. Tilman 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications* 7:737-750.

Whisenant S.G. 1999. *Repairing Damaged Wildlands*. Cambridge University Press, Cambridge, 312 bls.

Wolf A., M.V. Kozlov & T.V. Callaghan 2008. Impact of non-outbreak insect damage on vegetation in northern Europe will be greater than expected during a changing climate. *Climatic Change* 87:91-106.

Þóra Ellen Þórhallsdóttir 1991. Áhrif áburðar og sáningar á gróður í tilraunareitum á Auðkúlu- og Eyvindarstaðaheiði og eftirverkun áburðar. Í: (Ingvi Þorsteinsson ritstj.) Uppgræðsla á Auðkúluheiði og Eyvindarstaðaheiði 1981-1989. Fjölrit Rala 151. Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Reykjavík, bls. 89-103.

# 3.

## kafla

# Sáning á melgresi og rýgresi

Ása L. Aradóttir  
Kristín Svavarsdóttir  
Ólafur Arnalds

## 3.1. Inngangur

Úrskurður umhverfissráðherra varðandi Kárahnúkvirkjun kveður skýrt á um að koma skuli í veg fyrir eyðingu gróðurs (sjá 1. kafla). Það er þó eigi að síður mikilvægt að afla reynslu af notkun algengra landgræðslutegunda á svæðinu, komi til þess að áfok gangi yfir gróð land og það taki að myndast ógróin svæði. Einnig er rétt að hafa í huga að við Háslón eru allstór svæði sem eru illa gróin og að austanverðu eru þau svæði einkum nálægt Kárahnjúkum. Sandur og leir sem fjúka frá lóninu út yfir á þessi svæði geta gert yfirboð þessara svæða ennþá óstöðugra en nú er og valdið áfoki á nærliggjandi gróðurlendi og mistri. Því var talið skynsamlegt að kanna möguleika á að græða þessi svæði upp. Þær framkvæmdir eru þegar hafnar (Pétur Ingólfsson & Sveinn Runólfsson 2010).

Ekki er mikil reynsla af uppgræðsluáðgerðum svo hátt yfir sjávarmáli eins og reyndin er við Háslón (>625 m ys). Nefna má gamlar rannsóknir á vegum Rala (Sturla Friðriksson 1969, Sturla Friðriksson & Jóhann Pálsson 1970), þar sem reyndar voru sáningar og áburðargjöf á nokkrum stöðum á Sprengisandi. Þær tilraunir sýna að hægt er að mynda gróðursvörð með áburði og grassáningum en þróun þessara svæða er afar hæg. Þá var farið í umfangsmiklar sáningartilraunir og framkvæmdir á Blöndusvæðinu, m.a. í um 600 m hæð við Seyðisá. Síðast þegar þær uppgræðslur voru teknar út árið 1987 var gróðurþekja í uppgræðslunni við Seyðisá metin 70-80% (Ingvi Þorsteinsson 1991).

Heimamenn og Landsvirkjun hafa á undanförunum árum unnið að gróðurstyrkingu á heiðum vestan Jökulsár allt norður í Jökuldalsheiði með vægum áburðarskömmtum og hafa þær gengið allvel (Landbótasjóður Norður Héraðs 2010).

Melgresi (*Leymus arenarius* (L.) Hochst.) er innlend grastegund sem hefur verið notuð til að stöðva sandfok frá upphafi landgræðslutilrauna hérlendis (Magnússon 1997). Einært rýgresi (*Lolium multiflorum* Lam.) hefur hins vegar einkum verið notað í landgræðslu til mynda fljótt gróðurþekju er geti dregið úr rofi og frostlyftingu og búið þannig í haginn fyrir landnám staðargróðurs (Aradóttir o.fl. 2000). Markmið tilraunnanna sem hér er lýst var að afla reynslu af sáningu melgresis

og rýgresis við þær aðstæður sem ríkja við Háslón og hvort mögulegt væri að beita slíkum sáningum til að mynda gróðurþekju á skömmum tíma, t.d. þar sem loka þarf landi vegna gróðurskemmda.

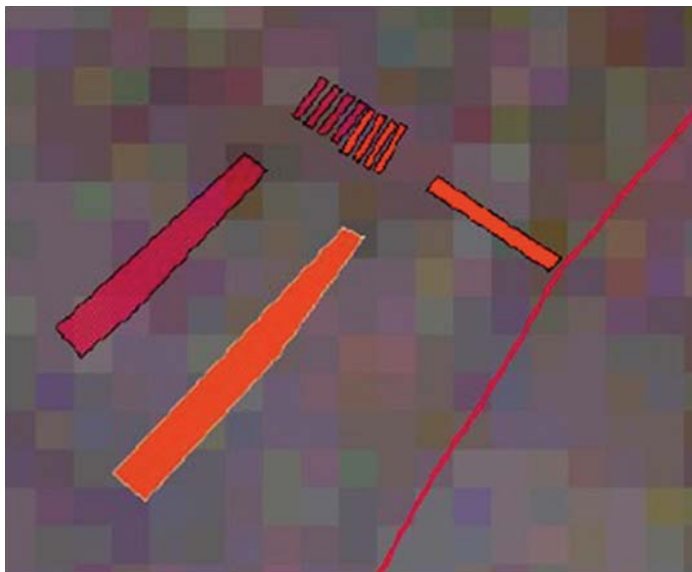


**Mynd 3.1.** Séð yfir tilraunasvæðið áður en sáningar hófust. Myndin er tekin 2. september 2003.

### 3.2. Aðferðir

Tilraunasáningarnar voru gerðar á sandmel, 3-4 km norð-norð-austan við Lindur (N64°54'58", V15°46'22"). Í byrjun september 2003 var þar mælt út fyrir fjórum tilraunareitum—4,6 x 40 m—er lagðir voru út hlið við hlið og voru rúmlega 5 m á milli þeirra (sjá myndir 3.1 og 3.2). Á sama tíma voru gerðar upphafsmælingar á gróðurfari í 20 mælirömmum sem var dreift tilviljanakennt um tilraunasvæðið. Melgresi var sáð í reitina með raðsáningarvél þann 17. september 2003. Á sama tíma var lögð út sambærileg tilraun með sáningu rýgresis vestan við melgresistilraunina (mynd 3.2). Ekki voru gerðar upphafsmælingar á því tilraunasvæði en gróðurfur þess virtist svipað og á melgresissvæðinu. Sáðmagn í melgresistilrauninni samsvaraði 83 kg ha<sup>-1</sup> af húðuðu melgresisfræi (lota nr. MEL-2001-1016-01H, sem er stofn úr Þorlákshöfn [Magnús H. Jóhannsson, munnlegar upplýsingar]) og með því var dreift 220 kg ha<sup>-1</sup> af áburði. Í rýgresistilraunina var notað sem svarar til 36,6 kg ha<sup>-1</sup> af fræi rýgresis (*Lolium multiflorum* Lam. var. *italicum*, E.F. 486 Dasas DP) og dreift með því 230 kg ha<sup>-1</sup> af áburði. Áburðurinn var Fjölmóði 1, sem er 26% N og 6,1% P. Að





*Mynd 3.2. Afstöðumynd af sáningunum. Tilraunareitirnir átta eru ofarlega fyrir miðju en stóru fletirnir eru svæði sem sáð var í til að hreinsa frá og áburð úr sáningavélinni. Melgresissáningar eru sýndar með appelsínugulum lit en rýgresissáningar með rauðum. Gamall slóði inn í Lindur er sýndur hægra megin á myndinni. (Úr gagnagrunni Landgræðslu ríkisins, unnið eftir teikningu Þorláks P. Jónssonar sáningarmanns).*

jafnaði var því dreift  $5,7 \text{ g m}^{-2}$  af N á á melgresisreitina og  $6,0 \text{ g m}^{-2}$  á rýgresisreitina. Til að hreinsa sáðvélinu var hvorri tegund um sig sáð í allstóra bletti til hliðar við tilraunareitina (mynd 3.2). Aðeins var borið á tilraunareitina við sáningu og sáningunum var ekki fylgt eftir á annan hátt.

Gróðurþekja, þéttleiki sáðtegunda og hæð gróðurs í sáningartilraununum voru mæld 17-18. ágúst 2004. Mælingar á hæð og þekju gróðurs voru endurteknar 15. ágúst 2008. Við gróðurmælingarnar var notaður  $0,5 \times 0,5 \text{ m}$  rammi, sem lagður var út eftir tilviljanatölum á 10 staði innan hvers tilraunareits. Sams konar rammi var notaður við upphafsmælingar á rannsóknasvæðinu haustið 2003. Við gróðurmælingarnar var metin þekja mismunandi yfirborðsgerða, einstakra háplöntutegunda, mosa, fléttna og skánar að næstu 5% (samtals 100%) en þekja  $<2\%$  var skráð sem 1%. Á melnum var ógrónu yfirborði skipt í þrjú flokka eftir grófleika: sand og mól ( $<2 \text{ cm}$ ), steina (2-5 cm) og grjót ( $>5 \text{ cm}$ ). Þekja einstakra háplöntutegunda, mosa, fléttna og skánar var metin með eftirfarandi kvarða: 1:  $<1\%$  þekja, 2: 1-5%, 3: 6-10%; 4: 11-15%, 5: 16-25%, 6: 26-50%, 7: 51-75% og 8: 76-100% þekja. Mosar og fléttur voru ekki greind til tegunda en greint var á milli runnafléttna og blaðfléttna. Þéttleiki sáðtegunda var skilgreindur sem fjöldi einstaklinga af viðkomandi tegund innan hvers ramma og þær tölur umreiknaðar yfir í þéttleika á  $\text{m}^{-2}$ . Gróðurhæð var mæld á tíu punktum innan rammans. Miðað var við yfirborð laufþekju eða samfellds gróðurs en sleppt stökum stráum eða blöðum er stóðu upp úr. Hæðin var mæld í heilum sentímetrum.

Við úrvinnslu á þekjumælingum fyrir einstakar tegundir var miðað við miðgildi þekjuflokka og það notað til að reikna meðalþekju tegundarinnar í hverjum tilraunareit. Fyrir aðrar mælingar var einnig notað meðaltal í hverjum tilraunareit,

þannig að í öllum tilfellum voru tilraunareitirnir mælieiningin.

Til að bera saman þekju mismunandi gróðurflokka, gróðurhæð og fleiri breytur í melgresis- og rýgresissáningum og breytingar á þeim yfir tíma var notuð fervikagreining á endurteknum mælingum (repeated measures) fyrir árin 2004 og 2008.

Tegundasamsetning háplantna og breytingar á henni á milli mælinganna 2004 og 2008 var greind með hnitunargreiningu á þekju háplöntutegunda en sáðtegundum var sleppt. Byrjað var á DCA-hnitun (detrended correspondence analysis) en þar sem lengd fyrsta ássins var í öllum tilfellum undir 3 einingum var notuð PCA-hnitunargreining (principal components analysis).

Fervikagreiningar voru gerðar með SAS útg. 9.1 en hnitunargreiningar með CANOCO 4.5 (ter Braak & Smilauer 2002).

### 3.3. Niðurstöður

Heildarþekja gróðurs á tilraunasvæðinu áður en sáningar hófust 2003 var rúm 5%. Þekja háplantna var um 4% og höfðu grastegundirnar túnvingull (*Festuca rubra* L. ssp. *richardsonii*) og blásveifgras (*Poa glauca*) mesta þekju en einnig voru melategundir eins og lambagras (*Silene acaulis*), blóðberg (*Thymus praecox*), vetrarblóm (*Saxifraga oppositifolia*), axhæra (*Luzula spicata*), týtulíngresi (*Agrostis vinealis*), melanóra (*Minuartia rubella*) og melablóm (*Cardaminopsis petraea*) algengar þó þær hefðu litla þekju. Sandur og fin möl (<2 cm) voru ríkjandi yfirborðsgerðir og þöktu nær 90% yfirborðsins en steinar > 5 cm í þvermál þöktu rúmlega 1% yfirborðsins.

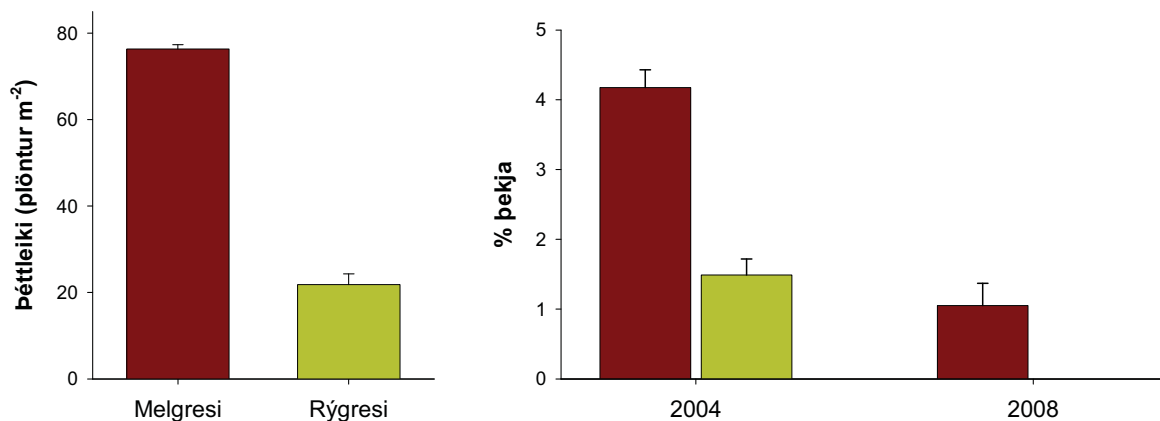
Mikill munur var á þéttleika sáðtegundanna tveggja í ágúst 2004 (mynd 3.3). Að meðaltali voru 76 melgresisplöntur á m<sup>2</sup> og var þéttleiki melgresis rúmlega þrefalt meiri en þéttleiki rýgresis. Þessi munur endurspegladist líka í þekju sáðtegundanna (mynd 3.4). Árið 2008 var hlutdeild sáðtegunda í þekju tilraunareitanna orðin mjög lítil; þekja melgresis var komin niður í 1% og rýgresið var horfið.

Heildarþekja gróðurs nærri þrefaldaðist á fyrsta árinu eftir sáningu og árið 2008 hafði heildarþekjan nærri tífaldast frá upphafsmælingunni 2003 (mynd 3.5A). Sáðtegundir höfðu ekki marktæk áhrif á heildarþekju gróðurs né á þekju einstakra gróðurgerða (1. tafla), þó háplöntuþekja væri ívið meiri í rýgresis- en melgresisreitum (mynd 3.6). Þekja háplantna óx mest til að byrja en lífræn jarðvegsskán lagði mest til þekjuaukningarinnar frá 2004 til 2008 (mynd 3.6).

Meðalfjöldi tegunda í 0,25 m<sup>2</sup> mælirömmum jókst ekki að ráði eftir sáninguna (mynd 3.5B) og sáðtegund hafði ekki marktæk áhrif á meðalfjölda tegunda (1. tafla).

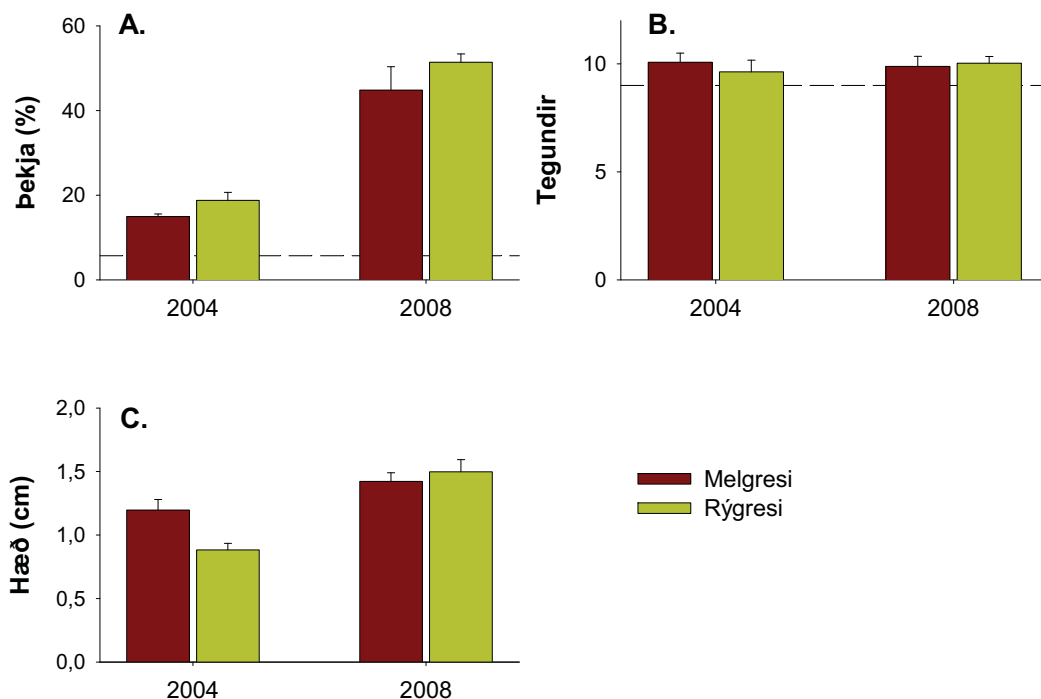
Að meðaltali voru 18-19 háplöntutegundir í hverjum tilraunareit (ca. 180 m<sup>2</sup>) og var tegundafjöldinn svipaður 2004 og 2008. Sé miðað við upphafsmælingarnar 2003 jókst þekja grastegunda mest, einkum túnvinguls, en einnig blásveifgrass, týtulíngresis og fjallasveifgrass (*Poa alpina*). Aðrar tegundir sem höfðu meiri þekju 2008 en í upphafsmælingum 2003 voru axhæra, blóðberg, lambagras, músareyra

*Cerastium alpinum*) og melanóra. Einnig varð smávegis aukning í þekju grasvíðis (*Salix herbacea*) og fjallavíðis (*S. arctica*). Eina háplöntutegundin sem hafði mælanlega meiri þekju 2003 en 2008 var þúfusteinbrjótur (*Saxifraga cespitosa*).

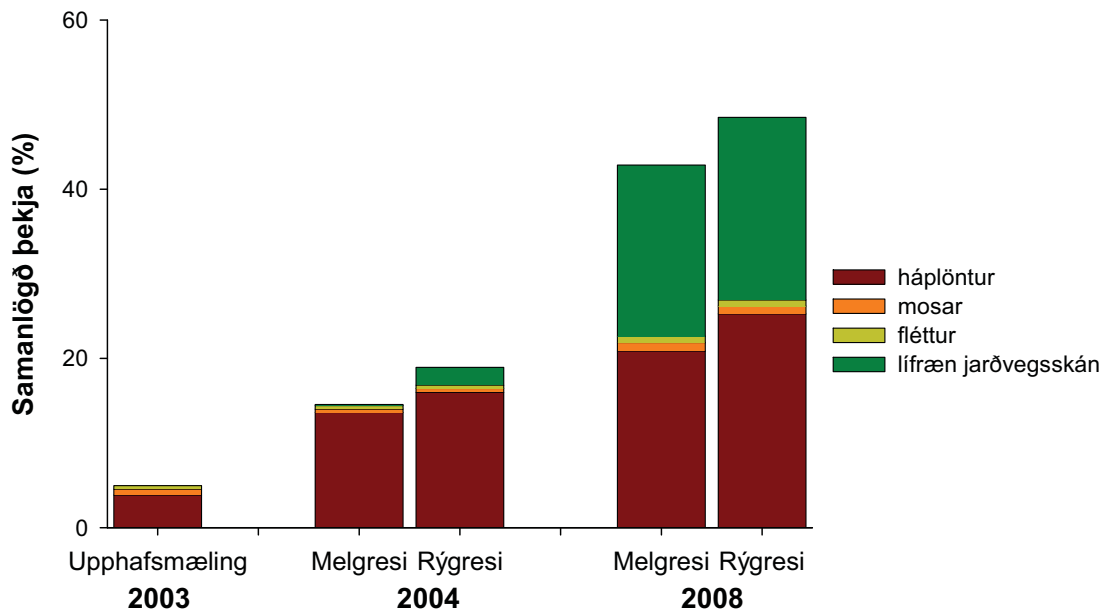


**Mynd 3.3.** Þéttleiki sáðtegunda í reitum með melgresissáningum og rýgresissáningum í ágúst 2004 (meðaltöl og staðalskekkja).

**Mynd 3.4.** Þekja sáðtegunda í reitum með melgresissáningum og rýgresissáningum í ágúst 2004 og 2008 (meðaltöl og staðalskekkja).



**Mynd 3.5.** Þekja gróðurs (A), fjöldi tegunda í reit (B) og gróðurhæð (C) í sáningareitunum (meðaltal og staðalskekkja). Brotnu línurnar sýna gróðurþekju og tegundafjölda við upphafsmælingar á tilraunasvæðinu áður en sáning hófst haustið 2003.



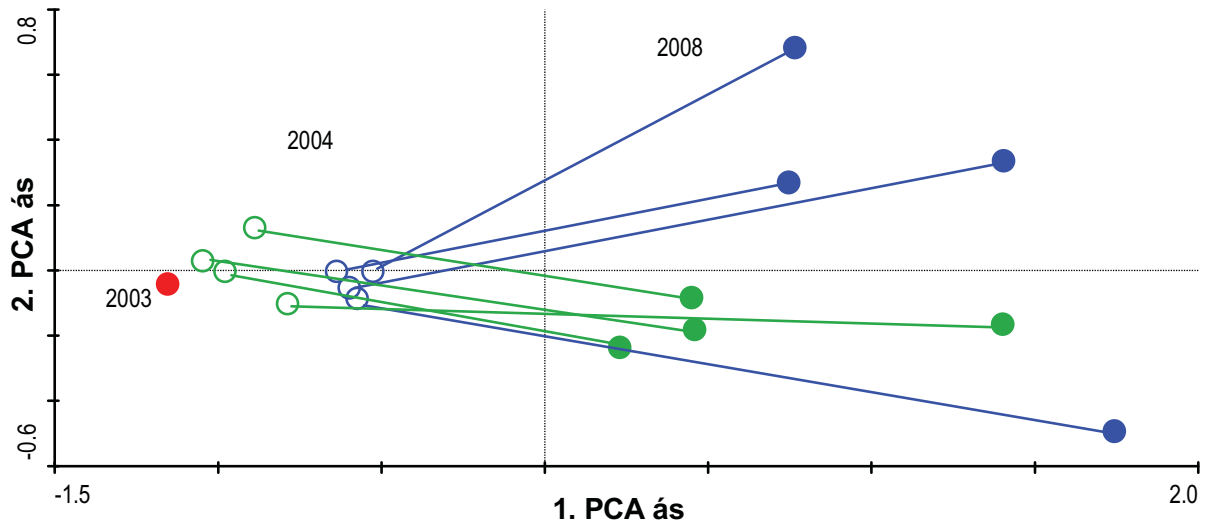
**Mynd 3.6.** Meðalþekja háplantna, mosa, fléttna og lífrænnar jarðvegsskánar á tilraunarsvæðinu árið 2003 og í sáningarreitunum árin 2004 og 2008.

Gróðurhæð var ekki mæld 2003. Meðalhæð gróðurs var meiri í melgresisreitum en rýgresisreitum árið 2004 en eftir það jókst gróðurhæð mun meira í rýgresisreitum og var orðin svipuð í báðum meðferðum 2008 (mynd 3.5C; tafla 3.1).

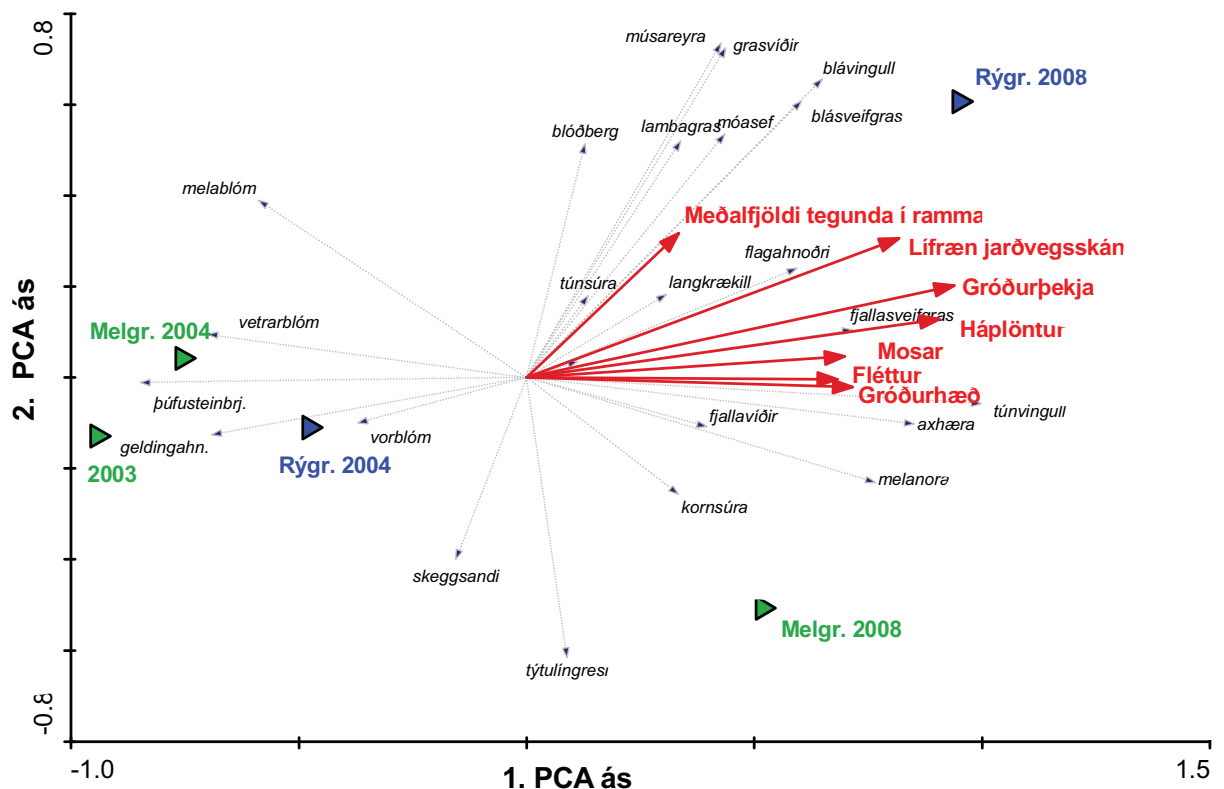
Niðurstöður hnitunargreiningar á þekju einstakra tegunda í tilraunareitunum – án sáðtegundanna – eru sýndar á mynd 3.7 og 3.8 Fyrsti PCA-hnitunarásinn hafði eigingildi 0,87 og útskýrði langmest af breytileikanum í tegundasamsetningu (87%), eigingildi fyrir annan ásinn var aðeins 0,06 og eigingildi annarra ása voru mun lægri.

**Tafla 3.1.** Niðurstöður úr ferveikagreiningum á mælingum 2004 og 2008 á þekju, gróðurhæð og fjölda tegunda í sáningartilraunum (repeated measures analysis). \*\*\* $P < 0,001$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \* $P < 0,05$ ; nm, næstum marktækt ( $P = 0,05-0,07$ ); em, ekki marktækt. Fritölur fyrir  $F$ -próf voru 1 og 3 fyrir Tegund en 1 og 6 fyrir Ár og Tegund\*Ár.

	Tegund	Ár	Tegund * Ár
Heildarþekja	em	117 <sup>***</sup>	em
Háplöntur	em	32,2 <sup>***</sup>	em
Mosar	em	41,3 <sup>***</sup>	em
Fléttur	em	21,2 <sup>***</sup>	em
Lífræn jarðvegsskán	em	77,2 <sup>***</sup>	em
Gróðurhæð	em	131 <sup>***</sup>	28,4 <sup>***</sup>
Fjöldi tegunda í reit	em	em	em
Fjöldi tegunda í ramma	em	4,9 <sup>nm</sup>	em



**Mynd 3.7.** Niðurstöður hnitunargreiningar á þekju háplöntutegunda annarra en sáðtegunda á tilraunasvæðinu 2003 (aðeins melgresissvæði) og í tilraunareitunum 2004 og 2008. PCA-hnit einstakra tilraunareita 2004 eru sýnd með opnum hringjum og 2008 með fylltum. Melgresisreitir eru sýndir með grænum hringjum en rýgresisreitir með bláum hringjum. Línur tengja saman hnit fyrir einstaka reiti 2004 og 2008.



**Mynd 3.8.** Niðurstöður hnitunargreiningar á þekju einstakra tegunda í tilraunareitunum 2004 og 2008. Gráu örvarnar sýna hnit einstakra plöntutegunda; rauðu vektorarnir sýna fylgni gróðurþekju, tegundafjölda og gróðurhæðar við hnitunarársana. Þríhyrningarnir sýna meðalhnit meðferða 2004 og 2008.

Tegundasamsetning allra melgresisreitanna var svipuð árið 2004 og hafði breyst tiltölulega lítið frá mælingum á svæðinu 2003 (mynd 3.7). Hins vegar varð umtalsverð tilfærsla á öllum reitunum til hægri í hnitunarrýminu frá 2004 til 2008 og jafnframt jókst munur á milli reita. Hið sama gilti um rýgresisreitina. Þeir voru þó ólíkari innbyrðis árið 2008 en melgresisreitirnir, sem má marka af því að þeir dreifðust meira um hnitunarrýmið.

Fyrsti PCA-hnitunarássinn hafði háa fylgni við gróðurþekju ( $r=0.94$ ) og gróðurhæð ( $r=0.72$ ) en lægri fylgni við tegundafjölda ( $r=0.33$ ) (mynd 3.8). Fyrsti hnitunarássinn hafði einnig háa fylgni við háplöntur, mosa, fléttur og lífræna jarðvegsskán (0,68-0,90).

### 3.4. Umræða

Sáning melgresis í september 2003 skilaði góðum þéttleika fræplantna í ágúst 2004, 76 plöntum  $m^{-2}$  (mynd 3.3). Þetta var talsvert meiri þéttleiki en var í tilraunasáningum Landgræðslu ríkisins við Háslón 2008-2009, þar sem þéttleiki úr haustsáningum var á bilinu 30-56 plöntur  $m^{-2}$  (Magnús H. Jóhannsson 2010). Til samanburðar var þéttleiki tilraunasáninga á Mýrdalssandi í kring um 50 plöntur  $m^{-2}$  á fyrsta ári en náði yfir 70 plöntum  $m^{-2}$  á þriðja ári (Úlfur Óskarsson 2006).

Rannsóknir hafa sýnt að afkoma melgresissáninga er mjög háð áburðargjöf (Greipsson & Davy 1997). Er mælt með því að sáningum sé fylgt eftir með áburðargjöf í 2-3 ár (Landgræðsla ríkisins). Tilraunir Úlfs Óskarssonar (2006) á Mýrdalssandi sýndu að uppskera melgresis jókst mikið á milli fyrsta og annars árs eftir sáningu þó óveruleg aukning yrði á þéttleika þess. Þetta bendir til þess að þekja melgresisins geti einnig aukist mikið á milli fyrsta og annars árs ef borið er á sáningarnar á 2. og 3. ári eins og gert var í tilrauninni á Mýrdalssandi. Hins vegar getur melgresið verið í sjö ár eða meira að ná fullri hæð (Úlfur Óskarsson 2006). Þekja melgresisins í tilraun okkar við Háslón var aðeins rúm 4% ári eftir sáningu og var komin niður í 1% fjórum árum síðar (mynd 3.4). Þar var áburði aðeins dreift við sáningu og er næringarskortur líklegasta skýringin á lélegri afkomu melgresisins.

Lítill þéttleiki og þekja rýgresis ári eftir sáningu (myndir 3.3 og 3.4) gefa ekki góðar vonir um notkun rýgresissáninga á hálendi við Háslón. Þó er varlegt að dæma þessa uppgræðsluáðferð úr leik eftir eina prófun, þar sem margir þættir geta haft áhrif á árangurinn. Því verður fróðlegt að sjá til samanburðar árangur af sáningu rýgresis og túnvinguls í 0,1 ha svæði við Háslón 2009 (Magnús H. Jóhannsson 2010).

Uppgræðsluáðgerðirnar margfölduðu gróðurþekju á fyrsta ári miðað við upphafsmælingar 2003 (myndir 3.5, 3.9 og 3.10). Þó var meðalþekja tilraunareitanna ekki komin í 20% ári eftir að sáning hófst. Slík þekjuaukning dugar vart til að loka landi vegna gróðurskemmda á skömmum tíma, sem var upphaflegt markmið tilraunanna. Hins vegar hélt þekja tilraunasvæðanna áfram að aukast og var komin nálægt 50% árið 2008. Ef við berum þekju sáningareitanna saman við áburðarreitina við Lindur sem fengu áburð þrisvar sinnum, 100-200 kg í hvert sinn (sjá 2. kafla), er meðalþekja sáningarreitanna á svipuðu róli. Í melgresisreitunum var þekja sáðtegundarinnar tæplega þriðjungur af gróðurþekjunni fyrsta árið en lagði mjög



**Mynd 3.9.** Horft yfir sáningarreiti með melgresi, 18. ágúst 2004 (vinstri) og 15. ágúst 2008 (hægri).



**Mynd 3.10.** Horft yfir sáningarreiti með rýgresi, 18. ágúst 2004 (vinstri) og 15. ágúst 2008 (hægri).

lítið til heildarþekjunnar eftir fimm ár. Í rýgresisreitunum lagði sáðtegundin lítið til heildarþekjunnar í upphafi og var algerlega horfin eftir fimm ár. Áburðargjöfin ein og sér gæti því átt mikinn hlut í myndun gróðurþekju í sáningarreitunum, eins og komið hefur fram í fleiri rannsóknum (t.d. Elmarsdóttir o.fl. 2003, Daði Lange Friðriksson & Magnús H. Jóhannsson 2007, Ása L. Aradóttir & Kristín Svavarsdóttir 2009).

Lífræn jarðvegsskán átti stóran þátt í þekjuaukningunni frá 2004 til 2008 en einnig jókst þekja háplantna (mynd 3.6). Á hinn bóginn var þekja mosa og fléttna enn lág 2008. Grastegundir voru mest áberandi meðal háplantna 2008, sem bendir til þess að áburðaráhrifa hafi þá enn gætt, en tegundum fjölgaði lítið. Þá jókst þekja víðitegunda smávegis, sem má bæði rekja til aukins vaxtar gamalla plantna og landnáms nýrra (mynd 3.11 og 3.12). Rannsóknir á láglandi hafa sýnt að uppgræðsluáðgerðir sem stuðla að myndun lífrænnar jarðvegsskánar hafa líka í för með sér aukið landnám háplöntutegunda og virðast hraða gróðurframvindu (t.d. Elmarsdóttir o.fl. 2003, Gretarsdóttir o.fl. 2004, Ása L. Aradóttir & Kristín Svavarsdóttir 2009). Framvinda eftir uppgræðslu á hálendi gæti þó verið hægari á hálendi en láglandi vegna styttri vaxtartíma og minni fræframleiðslu (t.d. Urbanska



*Mynd 3.11. Gömul planta fjallavíðis í rýgresisreit, 15. ágúst 2008.*

*Mynd 3.12. Fræplanta fjallavíðis í rýgresisreit, 15. ágúst 2008.*

& Chambers 2002). Gera má að uppgræðslan bæti vaxtarskilyrði þar sem áhrifa hennar gætir, m.a. vegna þess að gróðurþekjan eykur stöðugleika jarðvegs-yfirborðsins (Berglind Orradóttir & Ólafur Arnalds 2006) og bætir vatnsbúskap (t.d. Berglind Orradóttir & Ólafur Arnalds 2007) (mynd 3.13).



*Mynd 3.13. Gróðurþekja í sáningunum hafði merkjanleg áhrif á snjósöfnun haustið 2005. Í förgrunni er melgresissáning er gerð var í þeim tilgangi að hreinsa fræ úr raðsáningarvélinni (sjá mynd 3.2) en tilraunareitirnir sjást í bakgrunni myndarinnar. Myndin er tekin 30. ágúst 2005.*



### 3.5. Ályktanir

Niðurstöður sáningartilraunanna við Háslón 2003 benda til þess að þar sé hægt að ná ágætum árangri með sáningu melgresis í sendna mela. Melgresið náði þó aðeins 4% þekju á fyrsta ári eftir sáningu og minnkaði eftir það, enda var áburðargjöf ekki endurtekin. Uppgræðsluaðgerðirnar urðu til þess að þekja annarra tegunda jókst, einkum þekja ýmissa grasa og lífrænnar jarðvegsskánar. Þekjumyndun var samt hæg og var heildarþekja að ekki búin að ná 20% eftir eitt ár. Af þessu má draga þá ályktun að vart dugi að sá melgresi einu og sér sem bráðaaðgerð til að stöðva gróðurskemmdir og rof. Í því tilviki væri líklega nauðsynlegt að nota einhvers konar þakningar- eða bindiefni til að auka stöðugleika jarðvegsyfirborðsins þar til gróðurþekja hefur aukist. Nýrri sáningartilraunir við Háslón þar sem m.a. er verið að prófa mismunandi áburðargjöf (Magnús H. Jóhannsson 2010), munu leiða í ljós þróun melgresissáninga sem ekki búa við áburðarskort.

Lítill árangur var af rýgresissáningum við Háslón, annar en sá að áburðargjöfin virtist örva myndun gróðurþekju líkt og gerðist í melgresissáningunum. Slíkar sáningar gætu því orðið til þess að örva gróðurframvindu á sandmelum við Háslón. Áburðargjöf ein og sér getur þó haft svipuð áhrif (sjá 2. kafla) og því óþarfi að leggja í þann viðbótarkostnað er fylgir sáningunum.

### Þakkir

Þorlákur P. Jónsson sáði í tilraunareitina af einstakri vandvirkni og nákvæmni og skráði sáningarnar. Magnús H. Jóhannsson aðstoðaði við undirbúning sáninga og ýmsa upplýsingaöflun.

### Heimildir

Aradóttir Á.L., K. Svavarsdóttir, Þ.H. Jónsson & G. Guðbergsson 2000. Carbon accumulation in vegetation and soils by reclamation of degraded areas. *Icelandic Agricultural Sciences* 13:99-113.

Ása. L. Aradóttir & Kristín Svavarsdóttir 2009. Áhrif uppgræðsluaðgerða á gróðurframvindu. *Fræðaging landbúnaðarins* 6:279-285.

Berglind Orradóttir & Ólafur Arnalds 2006. Áhrif gróðurs á yfirborðsstöðugleika. *Fræðaging landbúnaðarins* 3:264-267.

Berglind Orradóttir & Ólafur Arnalds 2007. Ísig – áhrif landgræðslu og árstíma. *Fræðaging landbúnaðarins* 4:513-515.

Daði Lange Friðriksson & Magnús H. Jóhannsson 2007. Tilbúinn áburður til uppgræðslu – hversu lítið er nóg? *Fræðaging landbúnaðarins* 4:583-586.

Elmarsdóttir A., A.L. Aradóttir & M. J. Trlica 2003. Microsite availability and establishment of native species on degraded and reclaimed sites. *Journal of Applied Ecology* 40:815-823.

Greipsson S. & A. J. Davy 1997. Responses of *Leymus arenarius* to nutrients: improvement of seed production and seedling establishment for land reclamation. *Journal of Applied Ecology* 34:1165-1176.

- Gretarsdóttir J., A.L. Aradóttir, V. Vandvik, E. Heegaard & H.J.B. Birks 2004. Long-term effects of reclamation treatments on plant succession in Iceland. *Restoration Ecology* 12:268-278.
- Ingvi Þorsteinsson (ritstj.) 1991. Uppgræðsla á Auðkúluheiði og Eyvindarstaðaheiði 1981-1989. Fjölrit Rala nr. 151. Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Reykjavík.
- Landbótasjóður Norður Héraðs 2010. Ársskýrsla 2009. [http://www.land.is/images/stories/PDF\\_skjol/PDF\\_2010/Landbotasjodur\\_Nordur\\_herads.pdf](http://www.land.is/images/stories/PDF_skjol/PDF_2010/Landbotasjodur_Nordur_herads.pdf), sótt 27. maí 2010.
- Landgræðsla ríkisins. Landbætur í úthaga – uppgræðsla. [http://www.land.is/index.php?option=com\\_content&view=article&id=283&Itemid=71](http://www.land.is/index.php?option=com_content&view=article&id=283&Itemid=71), sótt 21. apríl 2010.
- Magnús H. Jóhannsson 2010. Rannsóknir á melgresi við Háslón. Áfangaskýrsla 2008-2009. Landgræðsla ríkisins, Lr 2010/02, 19 bls.
- Magnússon S.H. 1997. Restoration of eroded areas in Iceland. Í: *Restoration Ecology and Sustainable Development* (ritstj. K.M. Urbanska, N.R. Webb & P.J. Edwards). Cambridge University Press, Cambridge. Bls. 188-211.
- Pétur Ingólfsson & Sveinn Runólfsson 2010. Staða rofvarna við Háslón. LV-2010/049.
- Sturla Friðriksson 1969. Uppgræðslutilraun á Tungnáröræfum. Íslenskar landbúnaðarrannsóknir 1:38-44.
- Sturla Friðriksson & Jóhann Pálsson 1970. Landgræðslutilraun á Sprengisandi. Íslenskar landbúnaðarrannsóknir 2:34-48.
- ter Braak, C.J.F. & P. Smilauer 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). útgáfa. Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA.
- Úlfur Óskarsson 2006. Melgresi og svepprætur - samlífi og sundurlyndi. Fræðaging landbúnaðarins 3:421-424.
- Urbanska, K.M. & J.C. Chambers 2002. High-elevation ecosystems. Í: *Handbook of Ecological Restoration. Volume 2. Restoration in Practice* (ritstj. M.R. Perrow & A.J. Davy). Cambridge University Press, Cambridge. Bls. 376-400.

# 4.

## k a f l i

# Víðigræðlinga- tilraunir

Kristín Svavarsdóttir  
Ása L. Aradóttir

## 4.1. Inngangur

Víðir er algengur á svæðinu í kringum Háslón og þekja vistgerðir með víði tæplega þriðjung þess svæðis sem Náttúrufræðistofnun Íslands rannsakaði áður en framkvæmdir vegna virkjunarinnar hófust (Sigurður H. Magnússon o.fl. 2009). Af víðitegundunum fjórum sem vaxa villtar á Íslandi eru þrjár mjög algengar í nágrenni lónsins og voru áður í lónstæðinu; loðvíðir (*Salix lanata*), fjallavíðir (*S. arctica*) og grasvíðir (*S. herbacea*), sem er smávaxnasta víðitegundin á Íslandi og vex í sverðinum. Gulvíðir (*S. phylicifolia*) er hins vegar frekar sjaldgæfur á svæðinu en hann getur myndað háar og þéttar víðiflesjur við hálendisbrúnina í nágrenninu, svo sem í Hrafnkelsdal. Víðitegundirnar eru einkennistegundir í mörgum gróðurlendum bæði á láglandi og hálendi (Steindór Steindórsson 1980). Í landgræðslu hefur mest áhersla verið lögð á loðvíði og gulvíði (Kristín Svavarsdóttir 2006) en þessar tegundir eru almennt hávaxnari en fjallavíðir.

Komi til gróðurskemmda vegna foks í nágrenni Háslóns gætu víðitegundir orðið mikilvægar við uppgæðslu. Einnig mætti nota víði til að efla mótstöðu gróðurs við áfoki, sérstaklega loðvíðir sem virðist þola áfok vel (Kristín Svavarsdóttir & Ása L. Aradóttir 2006, Harpa Kristín Einarsdóttir 2007). Hagkvæm leið til að koma víði á legg er að klippa græðlinga og stinga þeim í jörðu samdægurs, ýmist seint að hausti eða snemma vors (Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006). Þessi aðferð hefur verið prófuð fyrir loðvíði og gulvíði, bæði á láglandi og við hálendisbrúnina, en ekki var reynsla af henni í eins mikilli hæð og er við Háslón.

Vorið 2005 voru hafnar tilraunir með ræktun víðis við Háslón. Markmið þeirra var prófa hvort hægt væri að koma til víði við mismunandi aðstæður með gróðursetningu græðlinga. Prófaðar voru eftirfarandi rannsóknspurningar:

1. Er unnt að fjölga gulvíði og loðvíði á Háslónssvæðinu með gróðursetningu græðlinga?
2. Hvaða áhrif hafa vetrarafföll á lifun og vöxt víðigræðlinga við Háslón?
3. Takmarkar næringarskortur lifun og vöxt víðigræðlinga á Háslónssvæðinu?
4. Hafa mismunandi aðstæður á Háslónssvæðinu áhrif á lifun og vöxt víðigræðlinga?

## 4.2. Efni og aðferðir

### 4.2.1. Rannsóknarsvæði

Vorið 2005 voru sex tilraunir settar út nálægt fyrirhugaðri strandlínu Háslóns, eða í um 630 m hæð yfir sjó. Allar tilraunirnar voru lagðar út í nágrenni eldri tilrauna á svæðinu, þ.e. áburðartilraunir frá árinu 2002 og sáningartilraun frá haustinu 2003. Rannsóknarsvæðin voru þrjú og voru þau öll innan 4 km hvort frá öðru. Tilraunirnar voru lagðar út við mismunandi aðstæður, frá lítt grónum svæðum á mel eða í sáningum á mel til vel gróins mólendis.

Á vestasta svæðinu voru lagðar út þrjár tilraunir; 1) í melgresissáningu frá haustinu 2003; 2) í rýgresissáningu frá haustinu 2003, 3) á óuppgræddum mel á milli þessara tveggja tilrauna. Tvær tilraunir voru lagðar út í mólendinu á austasta svæðinu: 4) innan girðingar í mólendi við Lindur; 5) utan girðingar í mólendi við Lindur; og ein á miðsvæðinu: 6) innan girðingar á mel við Lindur. Tilraunir 1, 2, 3 og 5 voru á landi sem var opið fyrir sauðfjárbætt en tilraunir 4 og 6 á friðuðu landi. Í tilraunum 3 og 4 voru prófaðir tveir áburðarskammtar auk óáborinnar viðmiðunar en í öðrum tilraunum var einn áburðarskammtur og óáborin viðmiðun.

Haustið 2003 voru lagðar út sáningartilraunir með melgresi og rýgresi (sjá 3. kafla) en til að hreinsa fræ og áburð úr sáningavélinni var þessum tegundum einnig sáð á svæði skammt frá. Tilraunum með stungu víðigræðlinga var komið fyrir í þessum viðbótarsáningum (tilraunir 1 og 2). Í september 2003, skömmu fyrir sáningu, var gróðurþekja metin í 20 mælirömmum (0,5 x 0,5 m) sem var dreift um svæðið þar sem melgresistilraunin var lögð út til að fá upphafsmælingu á gróðurfari svæðisins. Heildargróðurþekja var rúmlega 5% og voru grastegundirnar túnvingull (*Festuca richardsonii*), og blásveifgras (*Poa glauca*) með mesta þekju en einnig voru ýmsar smáplöntur algengar en með litla þekju (sjá 3. kafla). Árið 2008 voru sáðtegundirnar að mestu horfnar en heildargróðurþekjan var nær tíföld og hafði þekja grasa aukist mest. Aðrar tegundir sem svöruðu inngripinu með aukinni þekju voru t.d. axhæra (*Luzula spicata*), blóðberg (*Thymus praecox* Opiz subsp. *arcticus*), lambagras (*Silene acaulis*), músareyra (*Cerastium alpinum*) og melanóra (*Minuartia rubella*). Á friðaða melnum var græðlingatilraunin (tilraun 6) lögð út í óuppgræddum mel við hliðina á áburðartilraun og sýndi gróðurgreining í viðmiðunarreitum tilraunarinnar að heildarþekja gróðurs var um 10%, þekja grasa var innan við 5% og mosaþekja var innan við 2% en virtist heldur aukast á tilraunatímanum (sjá 2. kafla). Loðvíði og fjallavíði var að finna í viðmiðanareitunum og voru þeir jarðlægir, meðalhæð þeirra var um 2 cm en meðalhæð gróðursins í reitunum náði ekki 1 cm. Víðigræðlingatilraunirnar í mólendi (tilraunir 4 og 5) voru lagðar út við eldri áburðartilraunir og var meðalþekja gróðurs í viðmiðunarreitum um 100% og meðalgróðurhæðin um 2 cm (sjá 2. kafla). Í mólendinu var meðalþekja smárunna um 30% og mosa um 50% í síðustu gróðurúttektinni haustið 2008.



*Mynd 4.1. Girðing, skammt fyrir innan Aðalból í Hrafnkelsdal þar sem safnað var gulvíði-græðlingum vorið 2005 til að nota í tilraunirnar. Einnig var safnað af gulvíði utan girðingar nokkru neðar í dalnum. Ljós. Kristín Svavarsdóttir.*

#### 4.2.2. Efniviður

Efni í græðlinga var safnað þann 1. júní 2005 í Hrafnkelsdal og við Sænautasel. Gulvíðirinn var tekinn í Hrafnkelsdal þar sem hann myndaði stóra brúska og sums staðar þéttar breiður (mynd 4.1). Valdir voru sjö víðirunnar sem hver var talinn vera einn klónn og greinar klipptir af þeim. Greinarnar voru síðan klipptar niður í 15-25 cm græðlinga en efsta hluta greinanna með blómbrumunum var hent (mynd 4.2). Teknir voru að lágmarki 200-250 stiklingar af hverjum brúski.



*Mynd 4.2. Klipping græðlinga af gulvíði vorið 2005. Ljós. Kristín Svavarsdóttir.*



**Mynd 4.3.** Loðvíðigræðlingum safnað vorið 2005 nálægt Sænautaseli á Jökuldalsheiði. Ljós. Kristín Svavarsdóttir.

Mjög lítið var af loðvíði í Hrafnkelsdal og var brugðið á það ráð að safna loðvíðigræðlingum við Sænautasel á Jökuldalsheiði. Loðvíðirinn myndar þar lágur flesjur (mynd 4.3) og var erfitt að greina á milli einstaklinga (klóna). Því var reynt að klippa stiklinga á afmörkuðum blettum þar sem líkur væru á um sama klón væri að ræða. Safnað var af fjórtán blettum, að lágmarki 100 græðlingum af hverjum bletti. Sama aðferð var höfð og við gulvíðinn nema að yfirleitt fengust aðeins 1-2 græðlingar úr hverri grein. Loðvíðigræðlingarnir voru yfirleitt mun grennri og ræfilslegri en hjá gulvíði.

#### 4.2.3. Skipulag og framkvæmd tilraunanna

Allar tilraunirnar höfðu tilraunareiti til samanburðar á loðvíði og gulvíði með og án áburðar. Í tveimur tilraunum voru notaðir tveir mismunandi áburðarskammtar, annars bara einn. Hver tilraunaliður var endurtekinn fimm sinnum og er skipulag tilraunareitanna sýnt á mynd 4.4, minna tilraunaskipulagið á við fjórar tilraunir og það stærra við tvær. Í sumum tilfellum þurfti að hliðra endurtekningunum til að koma tilraununum fyrir.

Borið var á græðlinga eftir tilraunaskipulagi einu sinni á rannsóknartímanum, 17. ágúst 2005, þ.e. undir lok fyrsta sumarsins. Notaður var tilbúinn áburður, Gróska II (18,6% P og 16% N; helmingur nitursins seinleystur), ýmist 14 eða 28 g á plöntu eftir því hvort um var að ræða lægri eða hærri áburðarskammt. Áburðinum var dreift jafnt hringinn í kringum þær plöntur sem áttu að fá áburð samkvæmt tilraunaskipulagi og passað að áburður snerti ekki græðlingana.

Innan hvers reits voru gróðursettir 14 græðlingar, tveir græðlingar af hverjum gulvíðiklóni eða einn af hverjum loðvíðiklóni. Fjórar raðir af þremur græðlingum með um 50 cm millibili voru gróðursettir og fimmta röðin hafði tvo græðlinga (mynd 4.5). Græðlingarnir voru gróðursettir 2. og 3. júní 2005 (mynd 4.6).

Minni tilraun:

		Reitur			
		1	2	3	4
Endurteknin	1	G0	L0	L1	G1
	2	G1	L1	G0	L0
	3	L1	L0	G1	G0
	4	G1	L1	G0	L0
	5	G0	G1	L1	L0

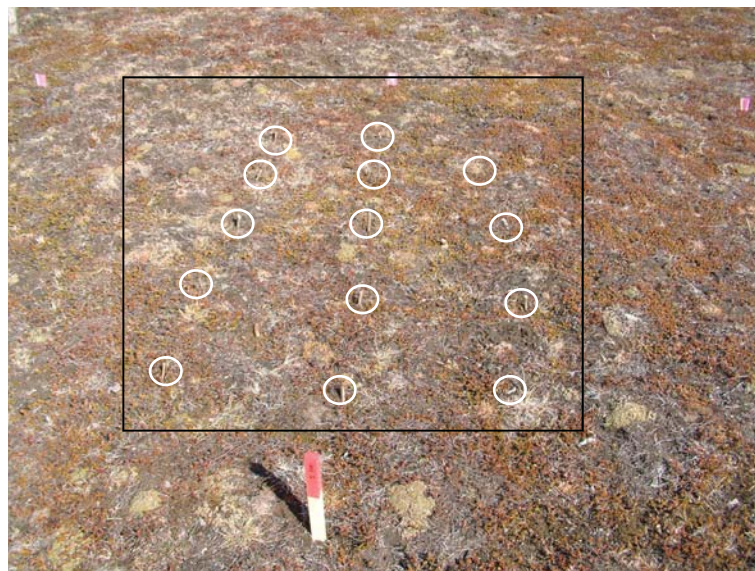
Stærri tilraun:

		Reitur					
		1	2	3	4	5	6
Endurteknin	1	G0	G1	L1	L0	G2	L2
	2	G2	L2	L1	L0	G1	G0
	3	G1	L2	L1	G0	L0	G2
	4	L1	G1	L2	G2	L0	G0
	5	L0	L1	G1	L2	G0	G2

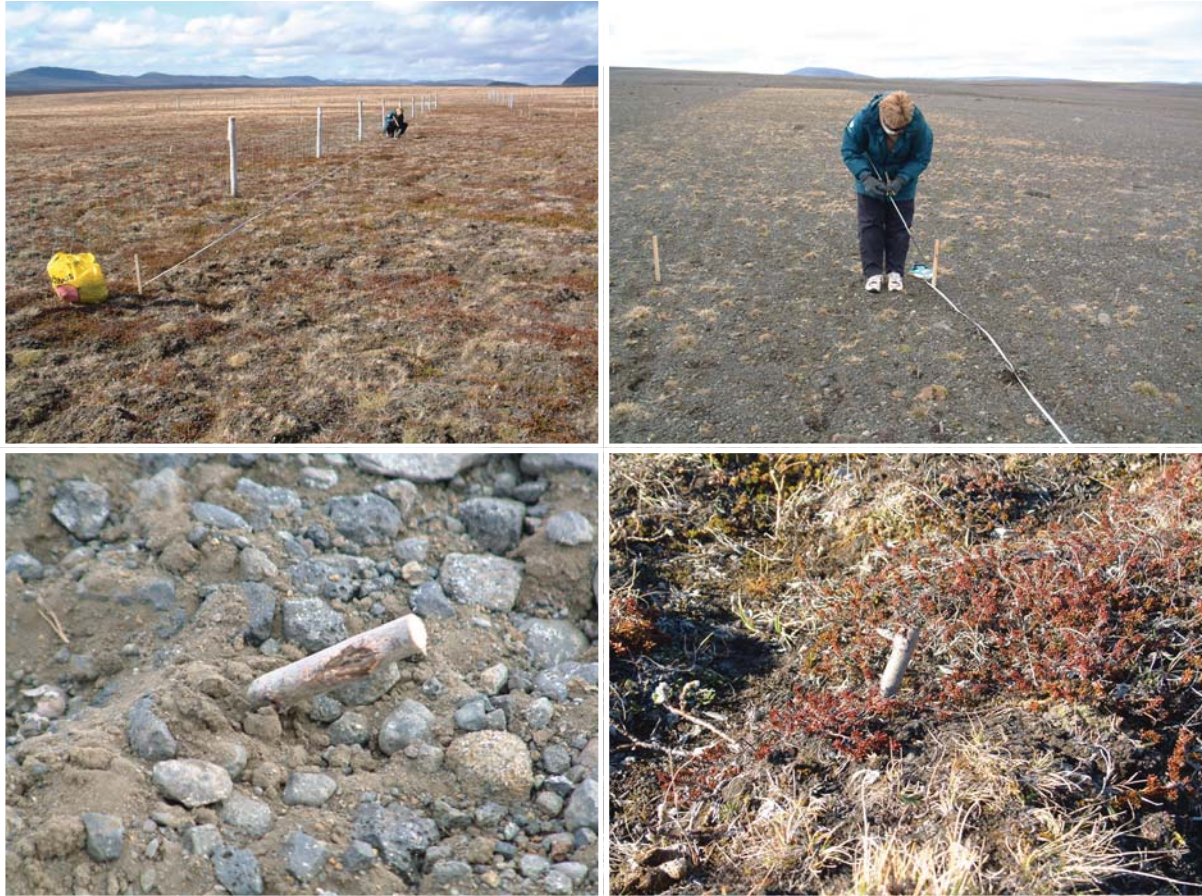
**Mynd 4.4.** Uppröðun tilraunareita í græðlingatilaunum við Háslón. L0: loðvíðir, óáborið; L1: loðvíðir, áborið (lægri skammtur), L2: loðvíðir, áborið (hærrí skammtur); G0: gulvíðir, óáborið; G1: gulvíðir, áborið (lægri skammtur), G2: gulvíðir, áborið (hærrí skammtur).

#### 4.2.4. Úttektir

Víðiplönturnar voru teknar út fjórum sinnum á rannsóknartímanum; í ágúst 2005, júní og ágúst 2006 og í ágúst 2008. Í öllum úttektunum var þróttur allra plantna metin með einkunnarkvarða sem notaður hefur verið í rannsóknum hérlendis (Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006). Einkunnarkvarðinn var frá 0 til 3 auk þess sem dauðar plöntur fengu einkunnina -1. Plöntur sem höfðu engin útsprungin lauf en voru þó lifandi fengu 0, plöntur með fáum litlum laufum fengu 1, plöntur með mörgum brumum og heilbrigðum blöðum fengu 2 og kröftugar plöntur með mörgum



**Mynd 4.5.** Tilraunareitur í beittu mólendi í Lindum. Í hvern reit voru gróðursettir 14 víði-græðlingar með 50 cm millibili, þrjár græðlingar í fyrstu fjórum röðunum og tveir í þeirri síðustu. Hringir eru dregnir utan um græðlingana. Ljósmynd. Kristín Svavarsdóttir.



*Mynd 4.6. Uppsetning tilrauna og gróðursetning víðigræðlinga við mismunandi aðstæður meðfram fyrirhuguðu Háslóni vorið 2005.*

brumum og stórum heilbrigðum blöðum fengu einkunnina 3. Í ágúst 2006 var stærð þriggja plantna í hverjum reit mæld og var fyrsta planta í hverri röð valin en ef einhver þeirra var ekki lifandi var sú næsta tekin. Mesta þvermál plöntu og hæð að efsta brumi voru mæld að næsta sentímetra.

#### 4.2.5. Úrvinnsla gagna

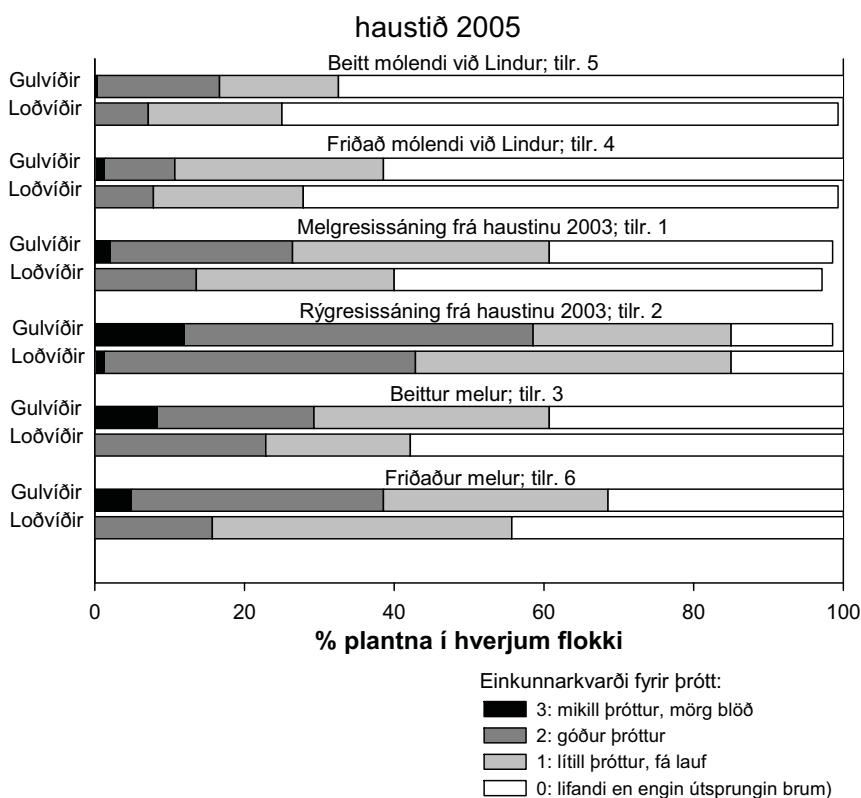
Afföll og þróttur plantna voru reiknuð fyrir hvern reit, sem prósentu af græðlingunum 14. Meðaltal hæðar og þvermáls plantna haustið 2006 var reiknað fyrir einstaka reiti. Öll úrvinnsla gagna var gerð fyrir hverja tilraun og er sett þannig fram hér. Fyrir yfirsýnina voru afföll græðlinga beggja tegunda sett fram fyrir hverja tilraun og skipting græðlinga eftir einkunnum haustin 2005, 2006 og 2008. Til að kanna áhrif tegunda og áburðargjafar á afföll, hæð og þvermál plantna var ferveikagreining notuð fyrir hvert ár. Áður en ferveikagreining var notuð á gögnin var kannað hvort þau uppfylltu skilyrði um normaldreifingu. Öll úrvinnsla var gerð í tölfræðiforritinu SPSS útg. 17,0.



### 4.3. Niðurstöður

#### 4.3.1. Lifun og þróttur víðigræðlinga á fyrsta sumri

Lifun víðigræðlinga var góð fyrsta sumarið og nær allir græðlingar beggja tegunda voru á lífi í fyrstu úttektinni í ágúst 2005 (mynd 4.7). Margar plöntur höfðu ekki myndað laufblöð þó þær væru lifandi (þróttur 0) og var þetta sérstaklega áberandi í tveimur tilraunanna, utan og innan girðingar í mólendinu við Lindur en í þessum tilraunum var minna en 40% plantna með 1 eða hærra í þrótt hjá báðum tegundunum. Almennt fengu gulvíðiplöntur hærri einkunn í þrótt en loðvíðiplöntur (mynd 4.7) og í öllum tilraununum voru einhverjar plöntur gulvíðis sem fengu einkunnina 3 (mynd 4.8) en loðvíðir fékk þá einkunn aðeins í tveimur tilraunanna, í rýgresissáningu (tilraun 2) og á melnum næst henni (tilraun 3). Aðeins ein tilraun, sú í rýgresissáningunni, hafði yfir 80% plantna með 1 eða hærra í einkunn fyrir þrótt hjá báðum tegundum.



**Mynd 4.7.** Lifun og þróttur víðigræðlinga í ágúst 2005, tæpum þremur mánuðum eftir að þeir voru gróðursettir í sex tilraunir á Háslónssvæðinu.

#### 4.3.2. Afföll víðigræðlinga á rannsóknartímanum

Mikil afföll urðu af víðigræðlingum strax fyrsta veturinn í öllum tilraunum (mynd 4.9). Tilraunin í rýgresissáningunni skar sig þó úr með minni afföll eða um 40% fyrsta veturinn en í öðrum tilraunum voru um eða yfir 60% gróðursettra græðlinga dauðir eftir fyrsta veturinn og allt upp í 90% í beittu mólendi við Lindur (mynd 4.9).



*Mynd 4.8. Gulvíðiplanta sem fékk einkunnina 3 fyrir þrótt haustið 2005, þremur mánuðum eftir að græðlingur var gróðursettur í friðaðan mel. Ljós. Kristín Svavarsdóttir.*

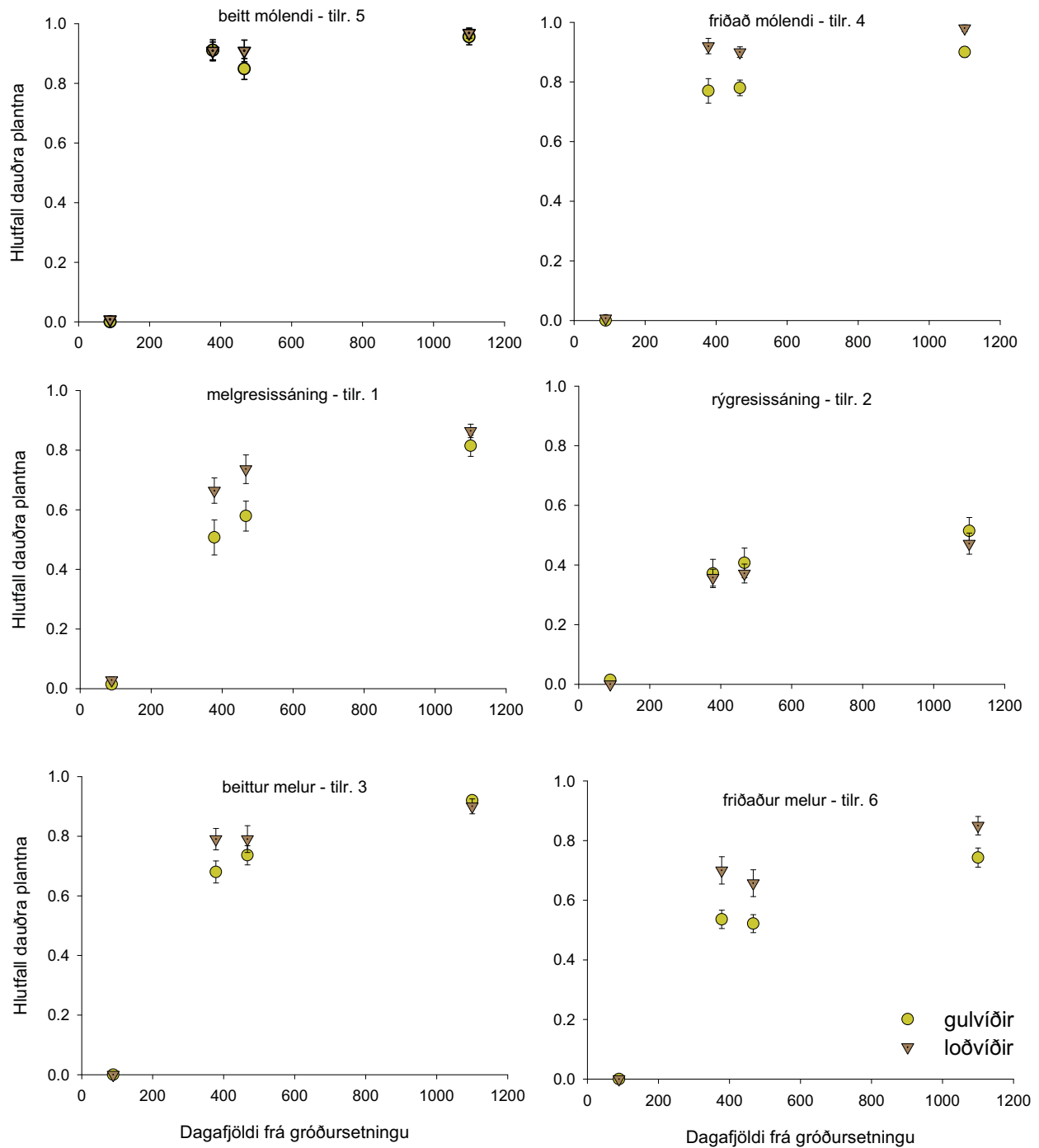
Mun minni afföll urðu frá öðru hausti og til þess fjórða í öllum tilraununum en haustið 2008 voru yfir 80% gróðursettra græðlinga dauðir í öllum tilraununum nema þeirri sem var í rýgresissáningunni. Þar voru 49% plantna dauðar haustið 2008; 51,4% ( $\pm 0,05$ ) gulvíðiplantna og 47,1% ( $\pm 0,04$ ) loðvíðiplantna. Við síðustu úttekt tilraunanna, haustið 2008, voru mest afföll í beittu mólendi (96%) eða næstum tvisvar sinnum meiri afföll en í rýgresissáningu. Tilraunirnar sex röðuðust frá minntu afföllum til mestu (í sviga er heildarafföll víðis í tilraununum í ágúst 2008): rýgresistilraun (49%) « friðaður melur (80%) < melgresissáning (84%) < beittur melur (91%) < friðað mólendi (94%) < beitt mólendi (96%).

Það var mismunandi eftir tilraunum hvort munur á afföllum var á milli tegunda (mynd 4.9) en þar sem sýnilegur munur var í gögnunum voru meiri afföll hjá loðvíði. Tvíþátta fervikagreining á lifun víðigræðlinga haustið 2008 sýndi aðeins marktækan mun á milli tegunda í einni tilraun, tilrauninni á friðuðum mel (tilraun 6) en þar var lifun gulvíðis marktækt meiri en loðvíðis ( $p < 0,05$ ;  $F = 5,29$ ; frítala=1). Einnig var vísbending um meiri lifun gulvíðis haustið 2008 í friðaða mólendinu (tilraun 4, mynd 4.9) en gögnin uppfylltu ekki skilyrði fervikagreiningar um normaldreifingu, jafnvel eftir að búið var að varpa gögnunum.

Haustið 2008 var hvorki áburðargjöf né samspilið milli tilraunapátta (tegundar og áburðar) marktækt frábrugðið í neinni af tilraununum ( $p > 0,2$ ).

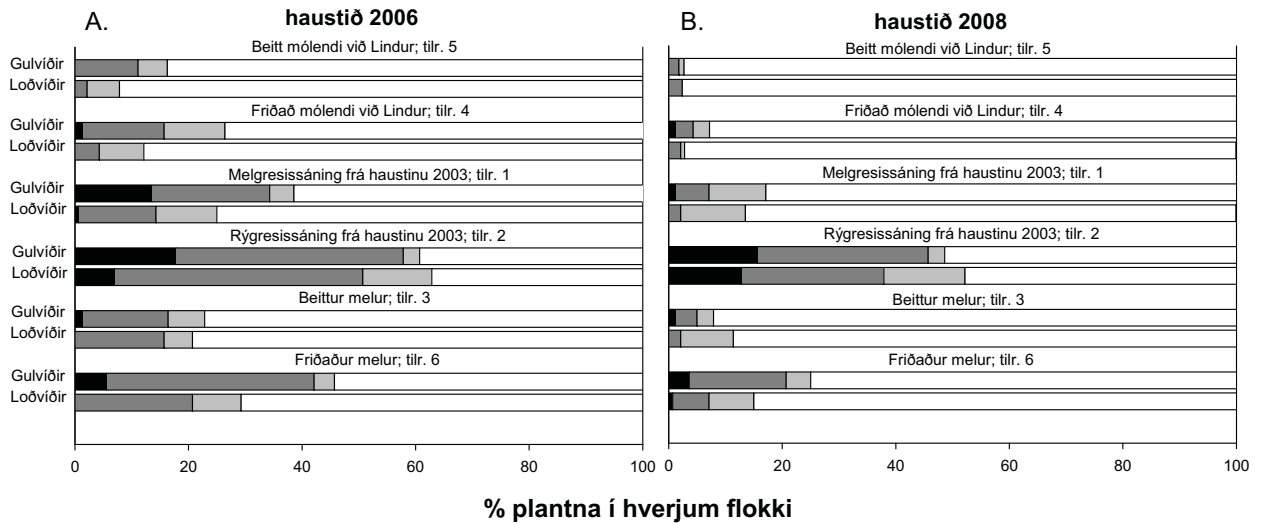
#### 4.3.3. Breytingar á þrótti víðigræðlinga

Haustin 2006 og 2008 var þróttur víðiplantna breytilegur eftir tilraunum (mynd 4.10) en skipting í einkunnir fyrir þrótt sýnir þó ákveðið mynstur bæði árin og er það í samræmi við fyrsta sumarið (mynd 4.7). Hlutfall plantna með þrótt 3 jókst frá 2005



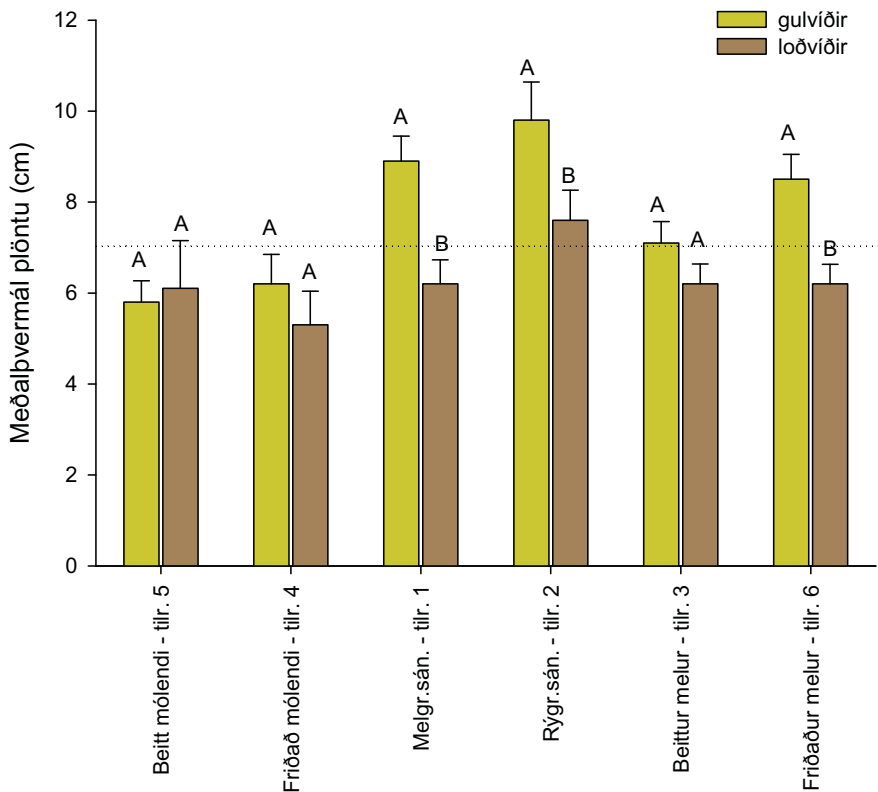
**Mynd 4.9.** Afföll víðigræðlinga á tilraunatímabilinu í sex tilraunum við mismunandi aðstæður ofan við Háslón austan megin. Græðlingarnir voru gróðursettir 2.-3. júní 2005 og var síðasta úttekt gerð í ágúst 2008.

til 2006 en hélt ekki áfram að aukast eftir það nema hjá loðvíðiplöntum sem voru gróðursettar í rýgresissáningu og á friðuðum mel (mynd 4.10B). Bæði árin var mest af þróttmiklum plöntum (einkunnir 2 og 3) í tilrauninni sem staðsett var í rýgresissáningu frá haustinu 2003 en þar var lifun einnig mest öll árin.



**Mynd 4.10.** Þróttur víðigræðlinga í sex tilraunum við mismunandi aðstæður ofan við austanvert Háslón haustin 2006 (A) og 2008 (B). Græðlingarnir voru gróðursettir 2.-3. júní 2005. Gröfin sýna prósentuhlut hvernar einkunnar gulvíðis og loðvíðis eftir tilraunum.

3: mikill þróttur, mörg blöð  
2: góður þróttur  
1: lítill þróttur, fá lauf  
dautt + 0 (lifandi en engin útsprungin brum)



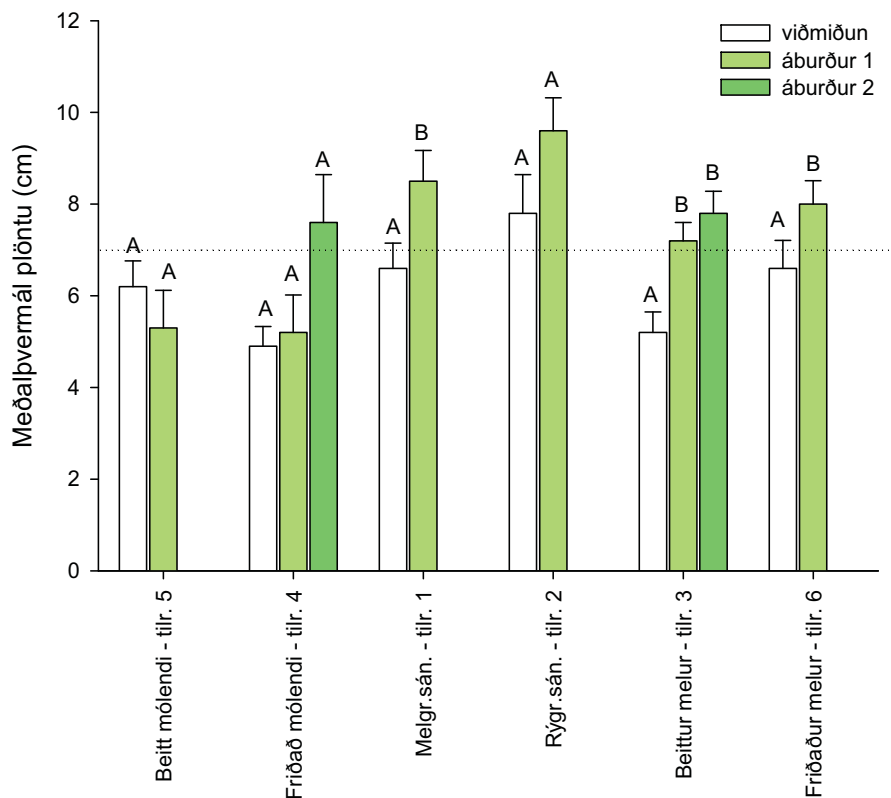
**Mynd 4.11.** Meðalþvermál gulvíðis og loðvíðis haustið 2006 í sex tilraunum með ræktun víðigræðlinga á Háslónssvæðinu. Ekki var marktækur munur á milli meðferða innan hvernar tilraunar sem merktar eru með sama bókstaf ( $p < 0,05$ ). Punktalínan sýnir meðalþvermál allra mældra víðiplantna í tilraunum.

#### 4.3.4. Stærð viðigræðlinga

Árið 2006 var mesta þvermál víðiplantna í tilraununum sex breytilegt eftir tilraunum og tegundum (mynd 4.11). Í þremur tilraunanna, í tilraunum 1, 2 og 6, var þvermál gulvíðis marktækt meira en loðvíðis (mynd 4.11 og tafla 1) en þetta eru tilraunirnar í sáningunum tveimur og á friðaða melnum. Plönturnar í þessum tilraunum voru einnig að jafnaði stærri en í hinum tilraununum (mynd 4.11). Einkum var þvermál plantnanna í mólendistilraununum tveimur minna en á melnum og þar var enginn munur á tegundunum. Þvermál víðiplantna sem fengu áburð á fyrsta sumri var meira en hjá viðmiðunarplöntum í öllum tilraunum nema í beitta mólendinu (mynd 4.12) en áhrifin voru þó aðeins marktæk í melgresissáningartilrauninni og í tilraununum tveimur á mel, bæði beittum og friðuðum en samspil þessara þátta (tegundar og áburðargjafar) var hvergi marktækt ( $p > 0,2$ ; tafla 4.1). Tilraunin á beitta melnum prófaði áhrif tveggja misstórra áburðarskammta en ekki var marktækur munur á þvermáli víðiplantna eftir magni áburðar (Tukey próf;  $p = 0,571$ ) en viðmiðunarplöntur voru marktækt minni en plöntur sem fengu áburð á fyrsta sumri óháð magni ( $p < 0,01$ ). Í hinni tilrauninni sem prófaði tvo áburðarskammta (í friðaða mólendinu) voru plönturnar sem fengu stærri áburðarskammtinn meiri um sig en óábornar eða plöntur sem fengu minni skammtinn (mynd 4.12) en sá munur var þó ekki marktækur vegna mikils breytileika í gögnunum ( $p = 0,061$ ).

**Tafla 4.1.** Niðurstöður tvíþátta ferveikagreiningar á þvermál tveggja víðitegunda (gulvíðis og loðvíðis) og áburðarmedferðar auk samspil tilraunaliðanna haustið 2006. Aðeins eru sýndar niðurstöður fyrir tilraunir þar sem marktækni fannst í a.m.k. einum tilraunaliði. Tilraunaskipulag Í tilraunum 1, 2 og 6 var þannig að plöntur í helmingi reita fengu áburð og hinn helmingurinn ekki ( $n = 20$ ) en ein tilraun, tilraun 3, hafði tvær áburðarmedferðir auk viðmiðunar.

Tilraun	Þáttur	Tegund (T)	Áburður (Á)	Samspil þátta (T*Á)
1 Melgresis- sáning	MS	35,11	19,01	0,61
	frítala	1	1	1
	F	17,14	9,281	0,30
	P	0,001	0,008	0,592
2 Rýgresis- sáning	MS	24,20	16,20	7,2
	frítala	1	1	1
	F	4,91	3,29	1,46
	P	0,042	0,089	0,244
3 Beittur melur	MS	4,22	33,81	0,30
	frítala	1	2	2
	F	2,21	8,84	0,08
	P	0,152	0,02	0,925
6 Friðaður melur	MS	26,45	10,27	2,94
	frítala	1	1	1
	F	15,74	6,11	1,75
	P	0,001	0,025	0,205

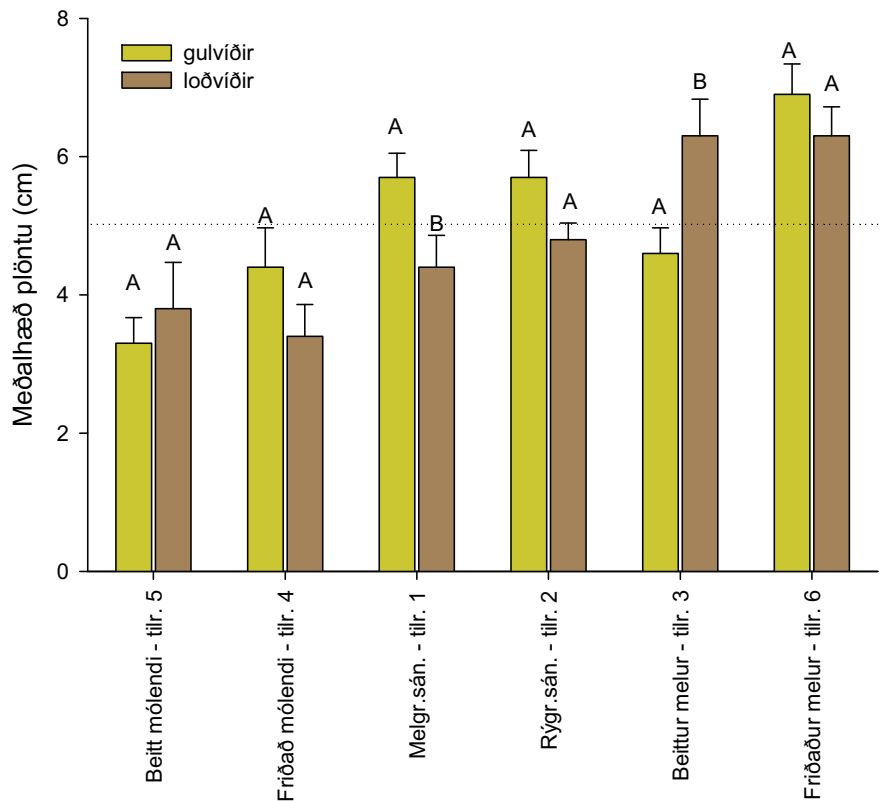


**Mynd 4.12.** Meðalþvermál víðis eftir áburðarmedferðum haustið 2006 í sex víðigræðlinga-tilraunum á Hálslónssvæðinu. Bókstafir ofan við súlur hversrar tilraunar gefa til kynna hvort marktækur munur hafi verið á þvermáli víðis eftir áburðarmedferðum í viðkomandi tilraun, ólíkir bókstafir sýna marktækni ( $p < 0,05$ ). Punktalinan sýnir meðalþvermál allra mældra víðiplantna í tilrauninum.

**Tafla 4.2.** Niðurstöður tvíþátta ferveikagreiningar á hæð að hæsta brumi tveggja víðitegunda (gulvíðis og loðvíðis) og áburðarmedferðar auk samspils tilraunaliðanna haustið 2006. Aðeins eru sýndar niðurstöður fyrir tilraunir þar sem marktækni fannst í a.m.k. einum tilraunalið. Tilraunaskipulag Í tilraun 1 var þannig að plöntur í helmingi reita fengu áburð og hinn helmingurinn ekki ( $n=20$ ) en í tilraun 3 voru tvær áburðarmedferðir auk við-

Tilraun	Þáttur	Tegund (T)	Áburður (Á)	Samspil þátta (T*Á)
1 Melgresis- sáning	MS	8,67	3,90	0,74
	frítala	1	1	1
	F	5,48	2,46	0,46
	P	0,033	0,136	0,505
3 Beittur melur	MS	19,75	9,61	8,49
	frítala	1	2	2
	F	7,76	1,89	1,67
	P	0,011	0,175	0,211

Hæð víðigræðlinga var mismikil eftir tilraunum og tegundum (mynd 4.13). Einungis í tveimur tilraunum var marktækur munur á hæð milli tegunda og hvergi var marktækur munur eftir því hvort plöntur fengu áburð á fyrsta sumri né á samspili milli tilraunaliðanna (tafla 4.2). Í melgresissáningunni voru gulvíðiplöntur marktækt hærri en plöntur loðvíðis en í tilrauninni á beitta melnum við hliðina á sáningunni voru loðvíðiplönturnar marktækt hærri (mynd 4.13).



**Mynd 4.13.** Meðalhæð gulvíðis og loðvíðis haustið 2006 í sex víðigræðlingatilaunum á Hálslónssvæðinu. Bókstafir ofan við súlur hverrar tilraunar gefa til kynna hvort marktækur munur hafi verið á þvermáli tegundanna í viðkomandi tilraun, ólíkir bókstafir sýna marktækni ( $p < 0,05$ ). Punktalinan sýnir meðalhæð allra víðiplantna í tilrauninum.

#### 4.4. Umræður

Rannsóknin sýndi að unnt var að koma víðigræðlingum til við mismunandi aðstæður við Hálslón í rúmlega 600 m h.y.s. en áður höfðu græðlingar sömu tegunda verið ræktaðir hæst hér á landi í kringum 500 m hæð (Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006) eftir því sem við best vitum. Gróðursetning gulvíðigræðlinga í um 1000 m h.y.s. er talin vera árangursrík leið í vistheimt í mið Noregi (Hagen 2003). Gróðursetning víðigræðlinganna við Hálslón tókst vel og við úttekt á plöntunum eftir fyrsta sumarið höfðu aðeins fáar plöntur misfarist þó þróttur plantnanna væri nokkuð breytilegur eftir tilraunum (mynd 4.7). Ári síðar var lifun víðis allt frá því að vera innan við 20% og upp í um 60% eftir aðstæðum á tilraunastöðunum (mynd 4.10). Þetta er ekki síðri árangur en í sambærilegum tilraunum við hálendisbrúnina sem

lagðar voru út árið 2000 víðs vegar um landið (Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006). Vetrarafföll á Háslónssvæðinu voru þó mikil og þótt þau væru mest fyrsta veturinn héldu þau áfram allt rannsóknartímabilið (mynd 4.9).

Eftir því sem lengra leið á rannsóknina minnkaði munur á lifun tegundanna (mynd 4.9) og í síðustu úttektinni var aðeins marktækur munur á milli tegunda í einni tilraun á friðaða melnum þar sem lifun gulvíðis var meiri en loðvíðis. Í fyrri tilraunum (Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006) var lifun gulvíðis meiri en loðvíðis en þá var aðeins gerð úttekt á tilraununum ári eftir gróðursetningu þannig að mögulega hefði munurinn einnig minnkað í þeim með tíma. Í tilraununum við Háslón var gulvíðirinn yfirleitt stærri en loðvíðirinn (myndir 4.11 og 4.13) þó munurinn væri ekki alltaf marktækur. Vegna þess að gulvíðigræðlingarnir voru stærri og öflugri í upphafi var þetta ekki óvænt og jafnvel hefði mátt búast við enn meiri mun á tegundunum.

Áburður hafði ekki áhrif á lifun víðigræðlinganna en fyrri rannsóknir hafa sýnt mismunandi áhrif eftir svæðum (Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006). Áburðargjöf hafði frekar áhrif á stærð plantnanna (mynd 4.12) þó áhrifin væru aðeins marktæk í tveimur tilraunum. Aukinn styrkur áburðar hafði ekki marktæk áhrif á stærð víðiplantna en jákvætt samband á milli áburðarstyrks og stærðar víðis hefur fundist í eldri tilraunum (Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006). Við ákvörðun á áburðarskömmum í tilraununum við Háslón var tekið tillit til niðurstaðna eldri tilrauna og áburðarskammturinn hafður tvöfaldur miðað við víðigræðlingatilaunir sem lagðar voru út vítt um landið í kringum síðustu aldamót (Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006). Vegna takmarkaðra áhrifa hefði þó verið áhugavert að sjá viðbrögð við enn stærri áburðarskömmtum í þessari tilraun. Bent skal á að á tveimur tilraunasvæðanna, þ.e. þar sem melgresi og rýgresi hafði verið sáð haustið 2003, var borið á svæðin á sama tíma. Á þessum svæðum voru plönturnar að jafnaði stærstar (myndir 4.11 og 4.13) og lifunin var einnig mest í rýgresissáningunum (mynd 4.10).



**Mynd 4.14.** Dæmi um skordýraafrán á loðvíði í græðlingatilaun staðsettri í mólendi í Lindum. Ljós. Ása L. Aradóttir.



Mikill breytileiki var á árangri af gróðursetningu víðigræðlinga eftir aðstæðum og kom ákveðið mynstur fram eftir tilraunum strax fyrsta sumarið sem hélst áfram til loka rannsóknarinnar. Efniviðurinn var sá sami í öllum tilraununum því sömu klónar voru notaðir og uppsetning allra tilrauna sú sama og því ætti munurinn að vera til kominn vegna mismunandi aðstæðna. Tilraunirnar sem lagðar voru út í mólendinu við Lindur (tilraunir 4 og 5) skáru sig úr vegna lélegrar lifunar plantna og þar voru plönturnar einnig minnstar. Önnur tilraunin var á beittu landi og hin innan girðingar sem reist var árið 2002 og var friðuð fyrir sauðfjárbreit. Þessar tilraunir voru frábrugðnar hinum að því leyti að í upphafi var 100% gróðurþekja á svæðinu og mikill mosi í sverðinum. Fyrsta sumarið náðu um 70% plantna ekki einkunn 1 í þrótt og á öðru sumri voru afföllin þegar orðin 80-90% (myndir 4.7 og 4.9). Við úttektir varð vart við mikið skordýraafrán á víðigræðlingunum (mynd 4.14) í þessum tilraunum sem gæti útskýrt að hluta sérstöðu þeirra og þessi miklu afföll. Einnig er líklegt að samkeppni við annan gróður hafi haft áhrif en svipaðar niðurstöður fengust í eldri víðigræðingartilraunum þar sem minnsta lifun og langminnstu plönturnar voru í vel grónu landi á Suðurlandi (Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006).

Besti árangurinn var í tilrauninni sem lögð var út í rýgresissáningu en þar var lifun 51% haustið 2008 og plönturnar stærstar (mynd 4.11). Næstbesti árangurinn var á friðaða melnum þar sem var 20% lifun og síðan kom melgresissáningin með 16% lifun. Í eldri rannsókn var besti árangurinn af notkun víðigræðlinga á hálendinu á Grjóthálsi í Vatnajökulsþjóðgarði (Jökulsárgljúfur). Það svæði hafði verið friðað fyrir sauðfjárbreit í allnokkur ár en nokkrum árum áður en tilraunin hófst var borið á svæðið (Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006). Í tilrauninni við Háslón var borið á svæðið þegar rýgresinu var sáð, tveimur árum áður en víðigræðingartilraunin var lögð út. Nokkur munur var á lifun og þrótti víðis í tilraununum sem lagðar voru út annars vegar í rýgresissáningu og hins vegar í melgresissáningu en ekki er ljóst hvað



**Mynd 4.15.** Loðvíðigræðlingur í tilraun á friðuðum mel í júní 2006. Rætur plöntunnar sýna hversu mikið hún hefur lyfst vegna frostshreyfinga. Ljós. Ása L. Aradóttir.

ollu þessu. Gróðurgreiningar í sáningartilraun í nágrenni víðigræðlingatilraunanna (sjá 4. kafla) sýna að gróðurþekja var heldur meiri þar sem rýgresi hafði verið sáð en melgresi og einnig kom lífræn jarðvegsskán fyrr inn í reiti með rýgresi. Tvær tilraunir voru lagðar út á melum sem ekki hafði verið sáð í og voru lifun og þróttur þar mun lægri en í rýgresissáningunum (myndir 4.9 og 4.10), m.a. vegna frostlyftingar (mynd 4.15) sem getur hamlað verulega lifun og vexti gróðursettra plantna á lítt grónu landi (Ása L. Aradóttir & Járngerður Grétarsdóttir 1995, Kristín Svavarsdóttir o.fl. 2006, Óskarsson o.fl. 2006). Ræktun víðigræðlinga kom þó betur út á friðaða melnum (tilraun 6) en þekkt er að sauðfjárbætur hefur neikvæð áhrif á víði. Aðrir þættir geta þó skýrt þennan mun. Meiri sandur var í yfirborði beitta melsins sem bendir til þess að þar hafi verið meiri hreyfing á yfirborðinu, sem líklegt er til að hafa neikvæð áhrif á lifun. Einnig var gróðurþekja meiri á friðaða melnum í upphafi (hugsanlega afleiðing af minni sandi) sem getur haft jákvæð áhrif á lifun víðisins þar.

Beitti melurinn var á milli svæðisins með rýgresinu og melgresinu og voru þessar þrjár tilraunir við mjög líkar aðstæður að öðru leyti en hvað varðar uppgræðsluna. Uppgræðslan breytti umhverfi víðigræðlingana og mátti t.d. sjá í úttekt haustið 2005 hvernig snjór sem féll um nóttina hélst lengur í uppgræðslurákunum en á melnum milli þeirra (mynd 4.16). Samanburður á tilraununum bendir til þess að uppgræðsla með grasfræi og áburði tveimur árum fyrir gróðursetningu víðigræðlinga geti verið góð leið til að auka árangur af stungu græðlinganna. Tilraunirnar sýna einnig að gróðursetning víðigræðlinga í óuppgrætt land skilar takmörkuðum árangri en hins vegar má nota samþættingu uppgræðslu og gróðursetningu víðigræðlinga til að styrkja lítt gróin svæði.



**Mynd 4.16.** Græðlingatilraunir á beittum mel og í melgresissáningu (fjær) haustið 2005. Snjór sem féll nóttina áður var horfinn af melnum en var ennþá í uppgræðslunni. Ljósmynd Kristín Svavarsdóttir.

## 4.5. Ályktanir

Niðurstöður rannsókna á gróðursetningu víðigræðlinga sýna að lifun og þróttur víðiplantna á fyrsta sumri gefa til kynna hvernig plöntunum reiðir af til lengri tíma. Það er því mikilvægt að vel takist til í upphafi og æskilegt er að plönturnar séu sem þróttmestar á fyrsta sumri. Vegna þess hve plönturnar vaxa hægt (myndir 4.11 og 4.13) er ekki unnt að mæla með þessari aðferðafræði til að bregðast í skyndi við alvarlegu foki í nágrenni Háslóns en hins vegar getur hún nýst á hálfgrónum svæðum þar sem áætlanir gera ráð fyrir að styrkja gróður til lengri tíma þannig að svæði geti orðið betur í stakk búið til að taka við auknu áfoki.

## Heimildir

Ása L. Aradóttir & Járngerður Grétarsdóttir 1995. Úttektir á gróðursetningum til landgræðsluskóga 1991 og 1992. Fjölrit Rannsóknastöðvar Skógræktar ríkisins 9:1-36.

Hagen D. 2003. Assisted recovery of disturbed arctic and alpine vegetation – an integrated approach. Dr. Scient. Thesis. Department of Biology, Norwegian University of Science and Technology.

Harpa Kristín Einarsdóttir 2007. Áhrif áfoks á gróður. Ritgerð til meistaraþrúfs í umhverfisfræði. Háskóli Íslands, Reykjavík 43 bls.

Kristín Svavarsdóttir (ritstjóri) 2006. Innlendar víðitegundir: Líffræði og notkunarmöguleikar í landgræðslu. Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholt.

Kristín Svavarsdóttir & Ása L. Aradóttir 2006. Innlendar víðitegundir og notkun þeirra í landgræðslu. Í: Innlendar víðitegundir: Líffræði og notkunarmöguleikar í landgræðslu (ritstjóri Kristín Svavarsdóttir). Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholt, bls. 9-20.

Kristín Svavarsdóttir, Ása L. Aradóttir & Úlfur Óskarsson 2006. Þróun aðferða við ræktun gulvíðis og loðvíðis. Í: Innlendar víðitegundir: Líffræði og notkunarmöguleikar í landgræðslu (ritstjóri Kristín Svavarsdóttir). Landgræðsla ríkisins, Gunnarsholt, bls. 73-89.

Óskarsson H., A. Sigurgeirsson & K. Raulund-Rasmussen 2006. Survival, growth, and nutrition of tree seedlings fertilized at planting on Andisol soils in Iceland: Six-year results. *Forest Ecology and Management* 229:88-97.

Sigurður H. Magnússon, Borgþór Magnússon, Erling Ólafsson, Guðmundur Guðjónsson, Guðmundur A. Guðmundsson, Hörður Kristinsson, Kristbjörn Egilsson, Kristinn H. Skarphéðinsson, Starri Heiðmarsson & Jón Gunnar Ottósson 2009. Vistgerðir á miðhálandi Íslands. Flokkun, lýsing og verndargildi. Náttúrufræðistofnun Íslands 172 bls.

Steindór Steindórsson 1980. Flokkun gróðurs í gróðurfélög. Íslenskar landbúnaðarrannsóknir 12:11-52.



# 5.

## k a f l i

# Áfokstilraunir

Ása L. Aradóttir  
Ólafur Arnalds  
Harpa K. Einarsdóttir

## 5.1. Inngangur

Áfok og rykmyndun er alþjóðlegt vandamál sem hefur áhrif á þau vistkerfi sem fyrir áfokinu verða, auk þess sem rykmengun hefur áhrif á loftslag jarðar og heilsufar á stórum svæðum (sjá t.d. Lawrence & Neff 2009). Mörg kerfi sem einkennast af sandfoki eru náttúruleg, m.a. strandsvæði og mjög þurrar eyðimerkur en annars staðar er sandfok fylgifiskur jarðvegseyðingar, m.a. vegna ósjálfbærar landnýtingar. Rannsóknir á vindrofi og vistfræði eyðimarka má heita sérsök grein vísinda, en meðal tímarita helguð vindrofsfræðum og eyðimörkum eru m.a. „Journal of Arid Environments“ og „Aeolian Research“. Víða er lagt mikið kapp á að minnka rykmengun og framrás sanda, m.a. með því að bæta landnýtingu og friða svæði fyrir akuryrkju (sjá t.d. Warren 2010). Íslenskur sandur og áfok eru að mestu gjóska og gler, sem er mjög frábrugðið því sem þekktist erlendis, þar sem kvars, leirefni og kalk er algengengustu erlendu áfoksefnin.



*Mynd 5.1. Setgildirur og vegur meðfram Háslóni eru hluti mótvægisadgerða til að minnka hættu á áfoki frá strandsvæðum lónsins. Ljós m. Kristín Svavarsdóttir.*

Í inngagnskafla þessa rits er rætt um aðstæður við Háslón og hættuna á áfoki frá strandsvæðum lónsins á meðan lónið er að fyllast. Þessi hættu er mikil, bæði hvað varðar fok á jarðvegsefnum og aur (gorm) sem sest til í lóninu. Því hefur nú verið gripið til viðamikla mótvægisáðgerða til að minnka þessa hættu, m.a. með setgildrum og vegi meðfram lónborðinu (mynd 5.1), vökvun og rykbindingu (mynd 5.2). Þær gróðurtilraunir sem gerð er grein fyrir í öðrum hlutum þessa rits miða einkum að því að kanna hvort hægt sé að styrkja gróður við lónborðið. Einnig er mikilvægt er að komast að því hve mikið áfok gróður á svæðinu þolir. Rannsóknir á strandrofi við Blöndulón (Vilmundardóttir o.fl. 2010, Borgþór Magnússon o.fl. 2009) hafa sýnt að árið 2008 voru um 21 ha mólendis við Blöndu undir áhrifum áfoks og höfðu um 11 000 m<sup>3</sup> efnis safnast þar upp.



*Mynd 5.2. Vökvun á strandsvæði Háslóns í júlí 2008. Ljós. Ólafur Arnalds.*

Gróður þolir áfok upp að vissu marki. Áhrif áfoks á gróður ráðast meðal annars af magni áfoksefna, tíðni áfoksatburða og á hvaða árstíma þeir verða (Maun 1998, Kent o.fl. 2001). Aðrir þættir sem máli skipta eru tegundasamsetning og hæð gróðursins þar sem skógur og kjarr þola yfirleitt hlutfallslega betur áfok en lágvaxnar jurtir og mosar (Maun 1998, Hotes o.fl. 2004, Zobel & Antos 1997). Almennt gildir að eftir því sem stærri hluti einstakra plantna fer undir áfok eiga þær erfiðara uppdráttar og meira að segja tegundir sem eru aðlagðar að óstöðugu umhverfi sandhóla virðast þola illa að fara alveg á kaf (Perumal & Maun 2006). Maun (1998) og Armbrust & Retta (2000) hafa tekið saman þau áhrif sem áfok hefur á gróður og nefna minnkun á lífmassa og flatarmáli laufs (leaf area), plöntuhæð, afkomu (survival), ljóstillifun og uppskeru. Rannsóknir sýna ennfremur að endurtekið áfok hefur meiri áhrif en einstakir atburðir (Owen o.fl. 2004). Erlendar rannsóknir á þessu sviði hafa einkum beinst að sandöldum og sandfoki á strandsvæðum (t.d. Martínez & Maun 1999, Ketner-Oostra & Sykora 2008, Kim & Yu 2009) og svæðum sem verða fyrir gjóskufalli (del Moral & Grishin 1999), t.d. á Hokkaido, Japan (Hotes o.fl. 2004) og St. Helens í Washington (t.d. Zobel & Antos

1997). Þó má einnig finna erlendar rannsóknir á áhrifum áfoks á gróður fjarri strandsvæðum, t.d. áhrif foks á jarðvegsskán í Kína (Jia o.fl. 2008) og vindrofs almennt á vistkerfi eyðimarka (Okin o.fl. 2006). Rannsóknir við Blöndulón sýndu að áfok þar hafði umtalsverð áhrif á gróður (Olga Kolbrún Vilmundardóttir o.fl. 2009) —gróðurþekja minnkaði og tegundum fækkaði eftir því sem áfokið var þykkara. Auk þess hurfu mosar og fléttur úr þekju við 2,5–5,0 cm þykkann foksand en flestar blómjurtir, smárunnar og hálfgrös hurfu úr þekju við 5–10 cm áfok (Olga Kolbrún Vilmundardóttir o.fl. 2009).

Mest hættu er af áfokinu þar sem það nær að kaffæra og drepa gróður og áfoksgeirar myndast í kjölfarið (sjá t.d. Ólaf Arnalds & Fanney Gísladóttir, 2001). Áfoksgeirar þróast með þeim hætti að áfoksefni kæfa gróður þegar þau ganga inn yfir gróið land; þegar gróðurinn drepst losnar um moldarefni undir honum og þau bætast við sandefnin sem berast áfram undan þurru vindáttinni. Því getur virkni áfoksgeirans stigmagnast eftir því sem hann berst lengra, sérstaklega þar sem jarðvegur er þykkur og grófur eins er við Háslón.

Þekking á áhrifum áfoks á gróður hefur mikið gildi fyrir þróun á mótvægisáðgerðum gegn hugsanlegu áfoki. Þrátt fyrir almenna þekkingu á tjóni af völdum áfoks og athugunum á áhrifum áfoks hérlendis og rannsóknir á áhrifum áfoks á allra síðustu árum (Olga Kolbrún Vilmundardóttir o.fl. 2009, Borgþór Magnússon o.fl. 2009) hafa ekki verið gerðar beinar tilraunir til að kanna áfokspól við mismunandi aðstæður. Hér er gert grein fyrir tilraun til að kanna áfokspól mólendisgróðurs við Háslón sem lögð var út sumarið 2002. Til samanburðar voru lagðar út sambærilegar tilraunir í mólendi og mosapembu við Blöndulón ári síðar. Rannsóknirnar voru hluti af MS verkefni Hörpu K. Einarsdóttur og var gerð grein fyrir niðurstöðum þeirra þeim í MS ritgerð hennar (Harpa K. Einarsdóttir 2007) og á Fræðaðingi landbúnaðarins (Harpa K. Einarsdóttir o.fl. 2009). Viðbótarúttektir á tilraunareitunum voru gerðar 2008 (Háslón) og 2009 (Blanda) til að fá fram lengri tímaröð á áhrifum áfoks á gróður.

Ýmis hugtök eru notuð við umfjöllun á vindrofi sem rétt er að skilgreina hér: *uppfok* tekur til losunar vindrofsefna af upprunastað, en *áfok* á sér stað þar sem efnin falla aftur á yfirborðið. Vitaskuld er afar misjafnt hve langt efnin berast, ef fínefni geta borist mörg hundruð km frá upprunastað, m.a. frá Íslandi og langt á haf út (Ólafur Arnalds & Sigmar Metúsalemsson 2004). Viðnámsþol gróðurs gegn áfoki er hér nefnt *áfokspól*.

## 5.2. Efni og aðferðir

### 5.2.1. Rannsóknasvæðin

Tilraunareitirnir við Háslón voru staðsettir á gróðurrannsóknasvæðinu við Lindur, suðaustan við Kárahnúka (sjá 2. kafla og kort í 1. kafla). Helmingur reitanna var innan fjárheldra girðinga. Tilraunin var lögð út á nokkuð flötu, fremur þurru og vel grónu mólendi í um 630 m hæð (mynd 5.3), þ.e. um 5 m ofar í landslagi en efsta vatnsborð Háslóns. Gróðurfar og aðrar aðstæður eru dæmigerð fyrir stór mólendissvæði austan Háslóns, er liggja á móti hinni þurru suðvestan átt sem getur valdið mestu uppfoki.

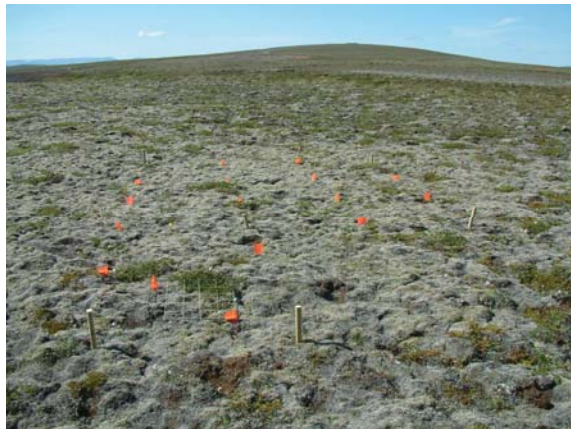
Blanda skilur á milli Auðkúluheiðar og Eyvindarstaðaheiðar og er lónið í um 500 m hæð á þessum áfréttum, þ.e. töluvert neðar en efsta borð Háslóns. Tilraunirnar við Blöndulón eru á þurrlendi nálægt lónborðinu beggja megin árinna. Önnur tilraunin er á Eyvindarstaðaheiði austan Blöndu, skammt frá stíflunni og um 100 m sunnan vegar. Þar var valinn þurr mosapembu á sémilega sléttum stað (mynd 5.4) en á Auðkúluheiði var valin staður í mólendi skammt vestan stíflunnar (mynd 5.5).

### 5.2.2. Tilraunaskipulag

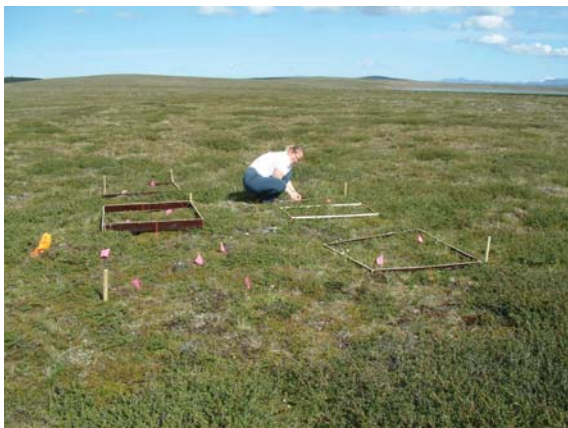
Fimm tilraunameðferðir voru prófaðar: 1, 2, 4 eða 8 cm þykkur sandur og viðmiðun án sands. Meðferðirnar voru prófaðar í 1x1 m reitum og voru því fimm reitir í hverri endurtekningu. Smíðaðir voru 1x1 m<sup>2</sup> rammar úr panel-krossviði —1, 2, 4 og 8 cm



**Mynd 5.3.** Hluti tilraunasvæðisins við Háslón. Upphafsmælingar á gróðurfari tilraunareitanna í ágúst 2002. Ljós. Harpa K. Einarsdóttir.



**Mynd 5.4.** Tilraunareitir í mosapembu við Blöndulón. Upphafsmælingar á gróðurfari tilraunareitanna í júlí 2003. Ljós. Harpa K. Einarsdóttir.



**Mynd 5.5.** Tilraunareitir í mólendi við Blöndu, júlí 2003. Rammar úr panel-krossviði, 1-8 cm þykkir lagðir yfir reitina; viðmiðunareitir merktir með hælum. Ljós. Elín Ásgeirsdóttir



**Mynd 5.6.** Rammar í mólendi við Blöndulón fylldir af sandi í júní 2004. Ljós. Harpa K. Einarsdóttir.



djúpir— sem lagðir voru á yfirborð viðkomandi reita en horn viðmiðunarreita voru merkt með hælum (mynd 5.5). Í mólendi við Kárahnjúka voru fjórar endurtekningar innan sauðfjánhaldra girðinga og fjórar utan þeirra (sjá tilraun sem lýst er í 2. kafla). Við Blöndulón voru fjórar endurtekningar lagðar út í mólendi og fjórar í mosapembu og voru allir reitirnir þar á beittu afréttasvæði.

Sandurinn sem notaður var við Kárahnjúka var fengin frá steypustöð á svæðinu og var fremur þungur og grófur. Á Blöndusvæðinu var notaður heldur finni sandur, sem tekinn var úr vík við lónið þar sem sandur hafði safnast fyrir (Harpa K. Einarsdóttir 2007).

Rammarnir voru lagðir út og gróðurþekja metin í öllum tilraunareitunum síðla sumars en rammarnir fylltir af sandi í upphafi næsta sumars (mynd 5.6). Við Háslón voru rammarnir lagðir út haustið 2002 og þeir fylltir af sandi vorið 2003 en við Blöndulón voru rammarnir lagðir út 2003 og sandur borinn í þá vorið 2004.

### 5.2.3. Gróðurmælingar

Metin var þekja gróðurs í 0,5 x 0,5 m ramma sem lagður var í miðju hvers tilraunareits. Yfirborðsþekja (lóðrétt ofanvarp) háplantna, mosa, fléttna og lífrænnar jarðvegsskánar var metin að næstu 5% (samtals 100%). Við mat á þekju einstakra háplöntutegunda, mosa, fléttna og skánar var notaður eftirfarandi kvarði: 1: <1% þekja, 2: 1-5%, 3: 6-10%; 4: 11-15%, 5: 16-25%, 6: 26-50%, 7: 51-75% og 8: 76-100% þekja. Mosar og fléttur voru ekki greind til tegunda en greint var á milli runnafléttna og blaðfléttna. Samanlögð þekja gat farið yfir 100% þar sem gróður var þéttur eða fleiri en eitt gróðurlag voru til staðar (t.d. svarðlag og runnalag). Hæð gróðurþekju var mæld á tíu punktum í hverjum ramma að næsta sentímetra. Þekja og hæð loðvíðis og fjallavíðis var mæld sérstaklega og við Blöndulón var þekja og hæð fjalldrapa einnig mæld. Ennfremur var mæld tíðni einstakra háplöntutegunda í 25 10x10 cm hlutreitum innan hvers mæliramma með því að talið var í hve mörgum hlutreitum viðkomandi tegund kom fyrir (allt að 25 skipti).

Þekja tilraunareitanna við Háslón var metin áður en tilraunin var lögð út, haustið 2002, og síðan aftur 2003, 2004, 2005 og 2008; þ.e. á 1., 2., 3. og 6. hausti eftir áfoksmeðferð. Tíðni háplantna var mæld á 1., 2. og 3. hausti. Við Blöndu var þekja tilraunareitanna fyrst metin haustið 2003 og síðan aftur 2004, 2005 og 2009, þ.e. á 1., 2. og 6 hausti eftir áfoksmeðferð. Tíðni háplantna var mæld 2004, 2005 og 2009, en síðasta árið náðist aðeins að mæla tíðni í þremur endurtekningum mólendis við Blöndu.

### 5.2.4. Úrvinnsla gagna

Við úrvinnslu gagna fyrir þekju einstakra tegunda var tölugildi þekjuskalans skipt út með miðgildi viðkomandi bils. Einnig var lögð saman þekja allra tegunda í einstökum tegundahópum.

Við Háslón var tilraunin sett upp með deildum reitum (*split plot design*) þar sem beit eða friðun voru í stórreitum en þykkt áfoks í smáreitum. Til að kanna áhrif beitar og þykktar áfoks á heildarþekju gróðurs og þekju einstakra tegundahópa innan hvers árs var fervikagreiningu fyrir deilda reiti beitt á gögnin frá Lindum þar sem beitar meðferð var í stórreitum og áfoksþykkt í deilireitum. Í því tilviki voru fervik fyrir samspil á milli beitar og endurtekninga (E x B) notuð til að prófa áhrif beitarinnar. Að auki voru gerðar fervikagreiningar á endurteknum mælingum (*repeated measures*) fyrir 2002–2008. Þar sem gögn uppfylltu ekki skilyrði um normaldreifingu samkvæmt Kolmogorov-Smirnov prófi voru þau umreiknuð með kvaðratrót eða ln.

Við Blöndu voru sambærilegar tilraunir í tveimur gróðurlendum. Til að kanna áhrif gróðurlendis og áfoks á þekju einstakra tegundahópa innan hvers árs var beitt fervikagreiningu fyrir stigskipt gagnasafn (*nested ANOVA*) og voru fervik fyrir endurtekningu innan gróðurlendis (E(G)) notuð til að bera gróðurlendin saman. Einnig voru gerðar fervikagreiningar á endurteknum mælingum (*repeated measures*) fyrir 2003–2009. Þar sem gögn uppfylltu ekki skilyrði um normaldreifingu samkvæmt Kolmogorov-Smirnov prófi voru þau umreiknuð með kvaðratrót.

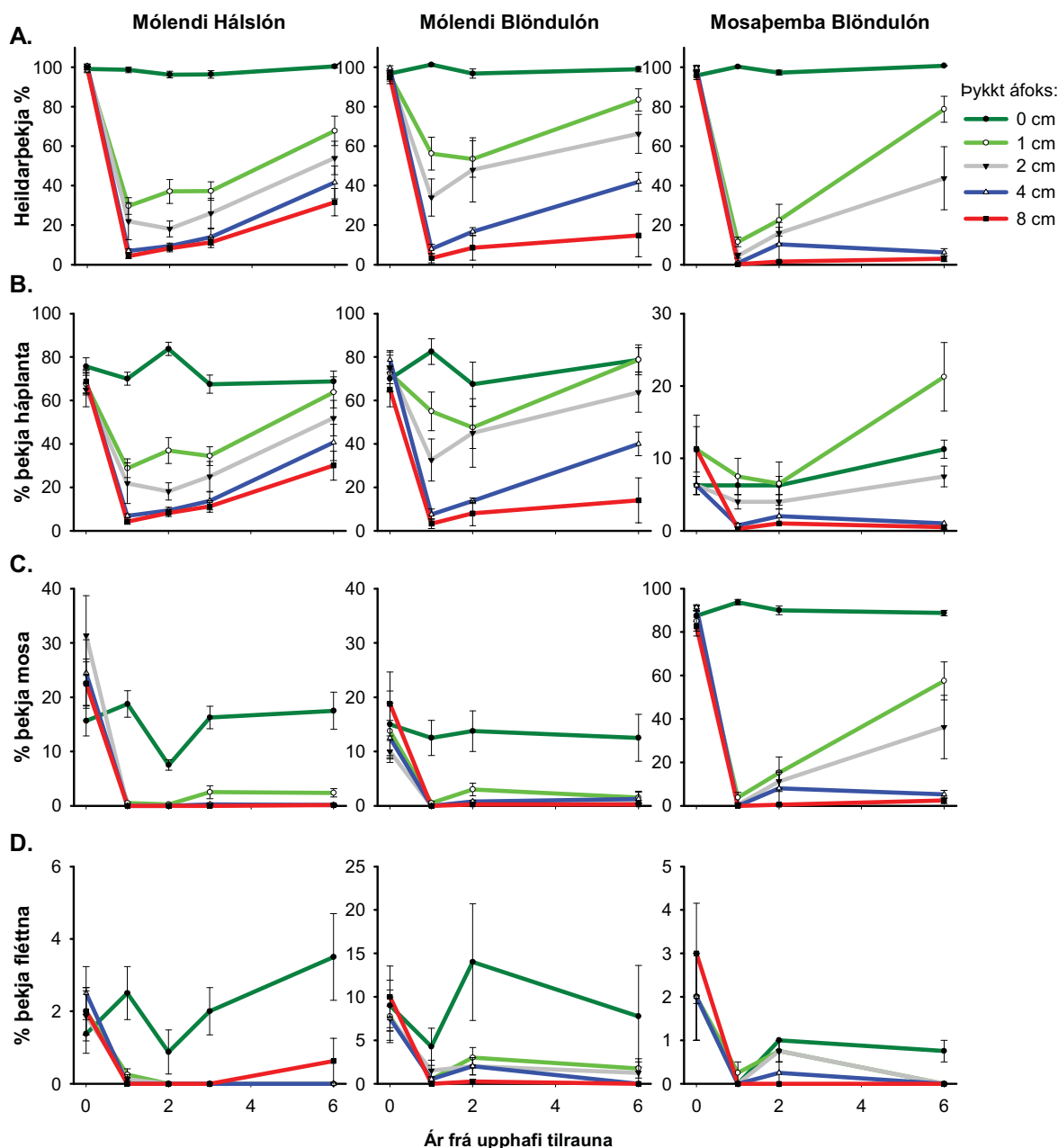
Til að kanna áhrif sandþykktar á tegundasamsetningu tilraunareitanna var gerð hnitunargreining á þekju háplöntutegunda á hverju svæði fyrir sig. Gögn frá mólendi og mosapembu við Blöndulón voru greind sitt í hvoru lagi. Byrjað var á DCA–hnitun (detrended correspondence analysis) en þar sem lengd fyrsta ássins var í öllum tilfellum undir 3 einingum var notuð PCA-hnitunargreining (principal component analysis).

Skilyrtar hnitunargreiningar (Constrained Ordinations) voru gerðar til að prófa frekar áhrif meðferða á gróðurfari tilraunareitanna. Notuð var RDA (Redundancy Analysis) og voru prófaðar mismunandi samsetningar skýribreyta (explanatory variables) og hlutbreyta (covariables). Þar sem reitirnir voru mældir áður en tilraunin hófst og eftir 1, 2, 3 og 6 ár (eftir 1, 2 og 6 ár við Blöndulón) var samspilið á milli áfoksþykktar og tíma eða beitar og tíma notað til að prófa áhrif áfoksþykktar á breytingar á gróðurfari tilraunareitanna með tíma. Prófin voru gerð samkvæmt leiðbeiningum Leps & Smilauer (2003), þar sem endurtekningar og þær breytur sem ekki voru prófaðar í hverju tilfalli voru notaðar sem hlutbreytur. Monte Carlo umröðunarpróf (permutation) með 999 umröðunum var notað til að prófa marktækni fyrsta hnitunarássins í hverri RDA-greiningu. Þar sem um endurtekna mælingar á sömu reitum var að ræða var gert ráð fyrir líkani með deildum reitum (*split plot*) þar sem endurtekningarnar voru deilireitir (Leps & Smilauer 2003).

Fervikagreiningarnar voru gerðar með SAS útg. 9.1 en hnitunargreiningarnar með CANOCO 4.5 (ter Braak & Smilauer 2002).

### 5.3. Niðurstöður

Tilraunareitirnir við Háslón og Blöndulón voru nær algrónir áður en rannsóknirnar hófust (mynd 5.7). Meðalhæð gróðurs við Háslón var 1,7 cm (tafla 5.1). Meðalhæð runnategunda, loðvíðis (*Salix lanata*) og fjallavíðis (*S. arctica*), var aðeins meiri eða



**Mynd 5.7.** Áhrif áfoks á heildarþekju og þekju háplanta, mosa og fléttna í tilraunareitum við Háslón og í mólendi og mosapembu við Blöndulón. Sýnd eru meðaltöl og staðalskekkingja meðaltalanna. Tekin eru saman gögn fyrir friðaða og beitta reiti við Háslón, þar sem ekki voru marktæk áhrif af beit á þessa þætti. Athugið að þekjuskali á y-ás getur verið breytilegur milli svæða.

2,4 cm en þekja þeirra var aðeins rúm 3%. Krækilyng (*Empetrum nigrum*) og mosar voru ríkjandi í mólendinu við Háslón en einnig voru klóelfting (*Equisetum arvense*), lambgras (*Silene acaulis*) og túnvingull (*Festuca rubra* ssp. *richardsonii*) algeng (tafla 5.2). Í mólendinu við Blöndulón var fjalldrapi (*Betula nana*) mest áberandi en mosar og krækilyng höfðu einnig talsverða þekju (tafla 5.3). Gróðurhæð þar var meiri en í mólendinu við Háslón—3,1 cm—en meðalhæð fjalldrapans var



**Mynd 5.8.** Áfoksreitir í mosapembu við Blöndulón 11. júlí 2009. Á myndinni sést hve yfirborð mosans var óslétt og hvernig hæstu mosatopparnir stóðu upp úr sandinum. Ljósmynd Ása L. Aradóttir.

4,2 cm (tafla 5.1). Hraungambri (*Racomitrium lanuginosum*) var ríkjandi í mosapembunni en af háplöntum voru fjalldrapi, krækilyng og geldingahnappur (*Armeria maritima*) mest áberandi (tafla 5.3). Meðalhæð gróðurs í mosapembunni var aðeins 0,6 cm (tafla 5.1).

### 5.3.1. Gróðurþekja

Heildarþekja gróðurs á Kárahnúkum og Blöndu minnkaði mikið og marktækt á öllum svæðunum fyrsta árið eftir að sandur var settur á reitina (mynd 5.7A) og var minni eftir því sem áfokið var þykkara. Heildarþekja gróðurs jókst hægt og sígandi í flestum meðferðunum frá og með öðru árinu ef frá eru taldar 4 og 8 cm meðferðirnar í mosapembu við Blöndu sem höfðu áfram mjög lága þekju (mynd 5.7). Eftir sex ár vantaði samt enn 20-30% upp á að 1 cm áfoksreitirnir væru búnir að ná þekju viðmiðunarreita og þekja 8 cm áfoksreitanna var enn mjög lág; sérstaklega í mosapembunni við Blöndu. Mest munaði um háplöntur við endurheimt þekju í áfoksreitunum (mynd 5.7B). Mosar og fléttur þurrkuðust nær út nema í mosapembunni við Blöndu þar sem hæstu mosatopparnir náðu að standa upp úr sandinum (mynd 5.8). Það vekur athygli að 1 cm áfoksreitir í mosapembu við Blöndu höfðu meiri þekju háplantna en viðmiðunarreitirnir (mynd 5.7B). Þetta má skýra með aukinni þekju fjalldrapa í þessum reitum (mynd 5.9D og tafla 5.3). Áfok hafði marktæk áhrif á heildarþekju gróðurs, þekju háplantna og mosa (tafla 5.4). Ekki var marktækur munur á milli beittra né friðaðra reita við Háslón. Hins vegar

**Tafla 5.1.** Gróðurhæð, auk hæðar og þekju runna í tilraunareitunum við upphaf tilraunanna.

	Hálslón		Blöndulón			
	N=40		Mólendi		Mosabemba	
	Meðalt.	SE	Meðalt.	SE	Meðalt.	SE
Gróðurhæð (cm)	1,7	0,1	3,1	0,38	0,6	5
Hæð víðis (cm)	2,4	0,2	3,8	1,57	-	-
Hæð fjalldrapa (cm)	-	-	4,2	0,43	1,2	0,27
Þekja víðis (%)	3,1	0,88	0,8	0,54	-	-
Þekja fjalldrapa (%)	-	-	26,3	4,1	3,0	1,15

**Tafla 5.2.** Meðaltekja mosa, fléttna og einstakra háplöntutegunda í tilraunareitunum við Hálslón áður en tilraunin hófst árið 2002 og við lokaúttekt sumarið 2008. Tegundum er raðað eftir þekju árið 2002.

Ár	Friðað						Beitt					
	2002	2008					2002	2008				
		0	1	2	4	8		0	1	2	4	8
Áfok (cm)												
Mosar	51,4	17,5	0,1	0,1	0,1	0,1	59,5	18,8	2,1	0,1		
Runnafléttur	1,6	0,9	0,1				2,2	1,9				
Blaðfléttur	0,3							0,1				
<i>Empetrum nigrum</i>	38,8	33,1	11,3	5,6	0,3		25,9	16,9	5,8	1,9	2,0	
<i>Equisetum arvense</i>	11,8	0,9	1,9	3,3	5,0	1	12,5	0,9	1,0	1,0	4,4	6,3
<i>Silene acaulis</i>	6,3	5,0	5,0	0,1	0,3		6,9	7,0	7,0	2,0	0,1	
<i>Bistorta vivipara</i>	6,0	0,5	0,3	0,3			6,9	0,4	0,3	0,1	0,1	
<i>Festuca rubra</i> subsp. <i>richardsonii</i>	4,7	1,9	16,9	31,3	28,8	21,3	4,9	5,1	15,0	22,5	15,8	14,5
<i>Armeria maritima</i>	3,6	0,3	0,3				4,3	0,4	0,3	0,1		
<i>Kobresia myosuroides</i>	0,9	6,3	8,8				5,0	8,8	5,0	0,6		
<i>Dryas octopetala</i>	2,4	0,6	0,3				2,8		1,9	0,1		
<i>Carex bigelowii</i>	2,8	1,9	0,6	3,8	0,6		1,4	0,1		1,9	5,0	
<i>Harrimanella</i> <i>hypnoides</i>	1,0	0,4					2,7	1,0	0,6			
<i>Salix lanata</i>	1,4	0,1		0,6			1,8			0,8		
<i>Vaccinium uliginosum</i>	1,7		0,1				1,5		0,1	0,1		
<i>Carex norvegica</i>	3,1								0,1			
<i>Salix arctica</i>	1,7		0,6			0,6	1,0					
<i>Salix herbacea</i>	0,5	0,1					1,2	0,4				
<i>Cerastium alpinum</i>	1,0	2,6	2,0	1,3	2,5	0,1	0,5	0,5	1,3	1,0		
<i>Thalictrum alpinum</i>	0,9	0,1			0,3	0,1						0,1
<i>Tofieldia pusilla</i>	0,3						0,6					
<i>Pinguicula vulgaris</i>							0,3					
<i>Bartsia alpina</i>	0,1	0,6					0,2					
<i>Poa pratensis</i>			0,1	0,1		0,9	0,3			0,8	0,3	2,0
<i>Selaginella selaginoides</i>	0,1						0,1					
<i>Equisetum variegatum</i>	0,2	0,3						0,1				0,1
<i>Euphrasia frigida</i>	0,1						0,1					
<i>Carex rupestris</i>		0,3	0,1							0,1		
<i>Luzula spicata</i>								0,1				
<i>Agrostis capillaris</i>												0,1
<i>Calamagrostis neglecta</i>									0,1	0,1		
<i>Poa annua</i>					0,1							
<i>Poa alpina</i>									0,3		0,1	0,3

**Tafla 5.3.** Meðaltekja mosa, fléttna og einstakra háplöntutegunda í tilraunareitunum við Blöndu áður en tilraunin hófst árið 2003 og við lokaúttekt sumarið 2009. Tegundum er raðað eftir þekju árið 2003.

Gróðurlendi Ár Áfok (cm)	Lyngmói						Mosa þemba					
	2003	2009					2003	2009				
		0	1	2	4	8		0	1	2	4	8
Mosar	17,8	16,9	1,3	1,3		0,6	87,5	87,5	46,9	22,5	5,6	2,6
Runnafléttur	9,5	11,9	1,4	1,9			2,0	2,0	0,3		0,1	
Blaðfléttur	0,1											
<i>Betula nana</i>	26,3	35,0	45,6	33,1	18,1	9,4	3,1	1,9	14,4	0,6		
<i>Empetrum nigrum</i>	14,3	24,4	13,8	10,3	0,1		1,9	5,0	0,8	0,8		
<i>Carex bigelowii</i>	2,8	3,3	6,3	3,9	2,6	0,6	0,7					
<i>Bistorta vivipara</i>	2,8	2,5	3,8	3,1	0,3	0,3	0,6	0,9	1,5	0,4	0,1	
<i>Kobresia myosuroides</i>	2,2	6,3	1,3	0,6	0,1		1,0		2,0	1,3		
<i>Armeria maritima</i>	1,5	2,0	1,5	0,9			1,6	6,9	0,9	1,4		
<i>Silene acaulis</i>	2,2	3,3	0,1				0,8	0,6	0,6			
<i>Vaccinium uliginosum</i>	2,3	3,3	2,8	2,8	0,9	0,6	0,2			0,6		
<i>Thalictrum alpinum</i>	2,2	2,5	3,8	2,0	3,8	0,5	0,2		0,3	0,4		0,8
<i>Festuca rubra</i> subsp. <i>richardsonii</i>	1,9	5,0	6,3	11,9	8,1	3,3		1,0	0,1			0,1
<i>Salix herbacea</i>	0,3	0,5	0,1		0,1		1,4	0,8	1,5	1,3	0,1	0,1
<i>Luzula spicata</i>	0,6	0,5		0,1			0,4	0,1	0,1	0,1		
<i>Festuca vivipara</i>	0,7	0,3	1,3	0,1			0,2			0,1		
<i>Dryas octopetala</i>							0,7			0,1		
<i>Juncus trifidus</i>	0,7	0,1	1,9									
<i>Salix lanata</i>	0,5		1,9	5,0								
<i>Equisetum variegatum</i>	0,4	0,4	0,4	0,3	0,5	0,4						0,1
<i>Cerastium alpinum</i>	0,1	0,1		0,6			0,3	0,1	0,6	0,6		
<i>Saxifraga hirculus</i>							0,4	0,8		0,5		
<i>Poa alpina</i>	0,2		0,1				0,1	0,6	0,1	0,1		
<i>Agrostis vinealis</i>	0,2		0,6	0,6	5,1							
<i>Galium normanii</i>	0,2											
<i>Trisetum spicatum</i>	0,1	0,1	0,6									
<i>Poa pratensis</i>		0,1	0,1		0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3	0,8
<i>Sagina saginoides</i>							0,1					
<i>Pinguicula vulgaris</i>							0,1					
<i>Saxifraga cespitosa</i>							0,1					
<i>Carex rupestris</i>		0,8		0,6				1,4	3,3	0,8		
<i>Carex maritima</i>		0,3										
<i>Equisetum arvense</i>			0,1		0,8			0,3				
<i>Selaginella selaginoides</i>		0,3										
<i>Draba</i> sp.								0,3				
<i>Arabidopsis petraea</i>									0,1	0,1		
<i>Comastoma tenellum</i>		0,1	0,1									
<i>Poa glauca</i>						0,1						
<i>Calamagrostis neglecta</i>									0,1			
<i>Arenaria norvegica</i>											0,1	
<i>Botrychium lunaria</i>					0,1							

**Tafla 5.4.** Niðurstöður úr ferveikagreiningum á endurteknum mælingum á þekju og fjölda tegunda í áfokstilrauninum (repeated measures analysis). Fritölur fyrir F próf eru gefnar innan sviga. \*\*\* $P < 0,001$ ; \*\* $P < 0,01$ ; \* $P < 0,05$ ; nm: nærri marktækt ( $P = 0,05-0,07$ ); em: ekki marktækt.

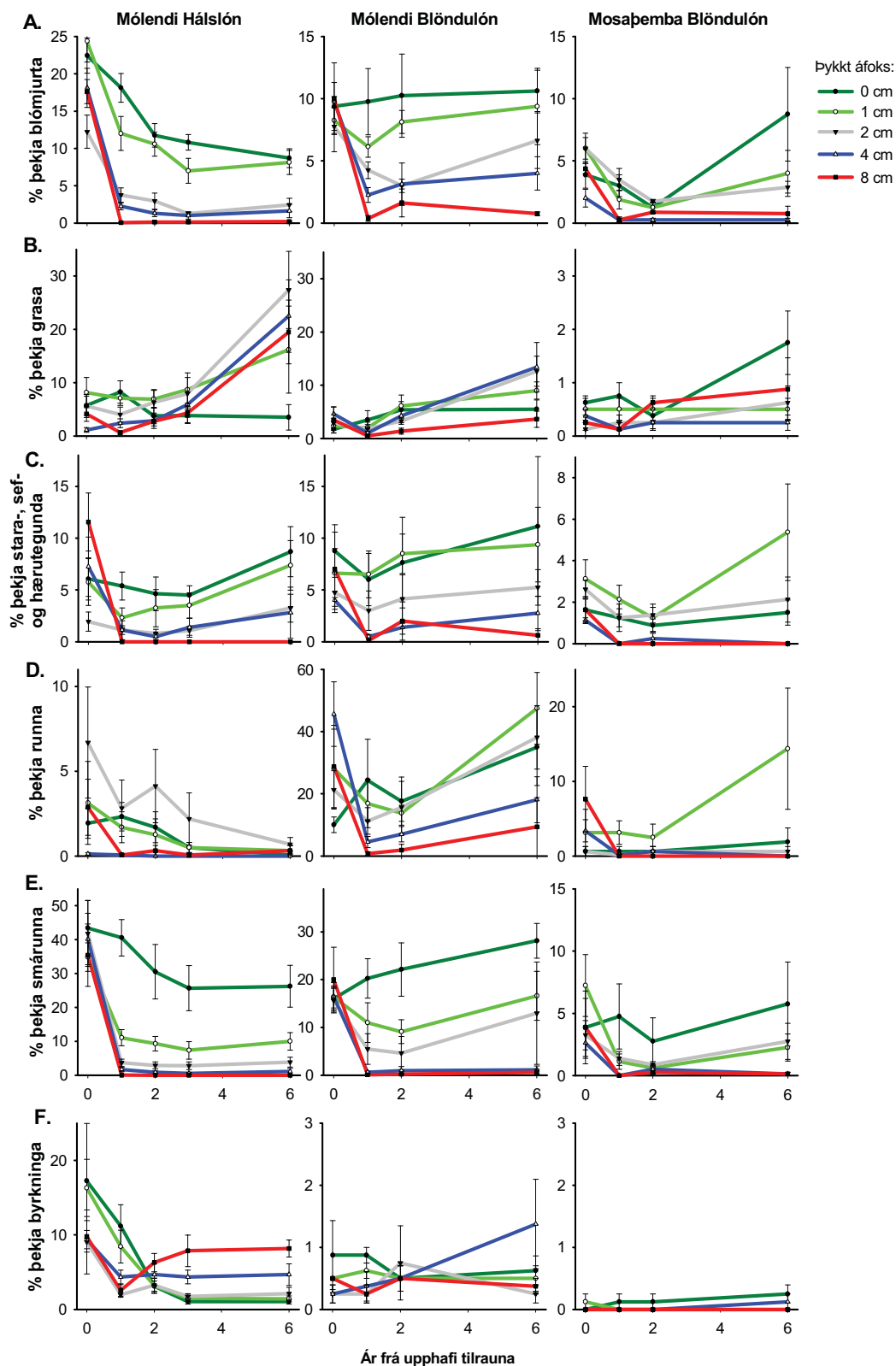
**A. Tilraun við Háslón** (mælingar 2002, 2003, 2004, 2005 og 2008)

	Beit (B) $F_{(1,3)}$	Áfok (Á) $F_{(4,24)}$	Tími (T) $F_{(4,120)}$	B x A $F_{(4,24)}$	B x T $F_{(4,120)}$	Á x T $F_{(16,120)}$	B x Á x T $F_{(16,120)}$
Heildarþekja gróðurs	em	73,7 <sup>***</sup>	296 <sup>***</sup>	em	em	19,7 <sup>***</sup>	em
Háplöntur	8,2 <sup>nm</sup>	27,0 <sup>***</sup>	82,5 <sup>***</sup>	em	em	7,3 <sup>***</sup>	em
Mosar	em	14,7 <sup>***</sup>	69,6 <sup>***</sup>	em	3,2 <sup>*</sup>	5,22 <sup>***</sup>	em
Fléttur	em	6,3 <sup>**</sup>	13,8 <sup>***</sup>	em	em	3,0 <sup>***</sup>	em
Hópar háplöntutegunda							
Blómjurtir	em	19,2 <sup>***</sup>	151 <sup>***</sup>	em	em	3,8 <sup>***</sup>	em
Grös	em	em	21,6 <sup>***</sup>	em	em	2,7 <sup>**</sup>	em
Starir, sef og hærur	em	em	17,9 <sup>***</sup>	em	em	4,5 <sup>***</sup>	em
Runnar	em	em	8,9 <sup>***</sup>	em	em	em	em
Smárunnar	em	13,5 <sup>***</sup>	73,3 <sup>***</sup>	em	em	2,5 <sup>**</sup>	2,4 <sup>**</sup>
Byrkningar	em	em	15,7 <sup>***</sup>	em	em	2,3 <sup>**</sup>	em
Fjöldi háplöntutegunda	em	46,2 <sup>***</sup>	51,2 <sup>***</sup>	3,4 <sup>*</sup>	em	15,0 <sup>***</sup>	em

**B. Tilraunir við Blöndulón** (mælingar 2003, 2004, 2005 og 2009)

	Gróður- lendi (G) $F_{(1,6)}$	Áfok (Á) $F_{(4,24)}$	Tími (T) $F_{(3,90)}$	G x Á $F_{(4,24)}$	G x T $F_{(3,90)}$	Á x T $F_{(12,90)}$	G x Á x T $F_{(12,90)}$
Heildarþekja gróðurs	12,2 <sup>*</sup>	95,9 <sup>***</sup>	414 <sup>***</sup>	em	8,7 <sup>***</sup>	41,0 <sup>***</sup>	4,0 <sup>***</sup>
Háplöntur	79,8 <sup>***</sup>	22,1 <sup>***</sup>	68,6 <sup>***</sup>	13,0 <sup>***</sup>	4 <sup>***</sup>	11,9 <sup>***</sup>	6,8 <sup>***</sup>
Mosar <sup>†</sup>	188 <sup>***</sup>	68,1 <sup>***</sup>	216 <sup>***</sup>	15,2 <sup>*</sup>	42,9 <sup>***</sup>	18,0 <sup>***</sup>	5,7 <sup>***</sup>
Fléttur	8,6 <sup>*</sup>	em	26,7 <sup>***</sup>	em	7,3 <sup>***</sup>	2,2 <sup>*</sup>	em
Hópar háplöntutegunda							
Blómjurtir	41,8 <sup>***</sup>	11,9 <sup>***</sup>	14,8 <sup>***</sup>	em	em	2,4 <sup>**</sup>	em
Grös <sup>†</sup>	227 <sup>***</sup>	em	26,7 <sup>***</sup>	em	13,1 <sup>***</sup>	em	2,3 <sup>*</sup>
Starir, sef og hærur	8,0 <sup>*</sup>	3,9 <sup>**</sup>	4,5 <sup>**</sup>	em	em	em	em
Runnar	20,8 <sup>**</sup>	em	13,1 <sup>***</sup>	em	7,4 <sup>***</sup>	4,0 <sup>***</sup>	2,0 <sup>*</sup>
Smárunnar <sup>†</sup>	28,2 <sup>**</sup>	10,5 <sup>***</sup>	41,3 <sup>***</sup>	em	4,9 <sup>**</sup>	6,6 <sup>***</sup>	3,1 <sup>***</sup>
Byrkningar	24,1 <sup>**</sup>	3,7 <sup>**</sup>	em	em	em	em	em
Fjöldi háplöntutegunda	102 <sup>***</sup>	17,8 <sup>***</sup>	38,7 <sup>***</sup>	em	3,5 <sup>*</sup>	7,6 <sup>***</sup>	Em

<sup>†</sup> Umreiknað með kvaðratrót



*Mynd 5.9. Áhrif áfoks á þekju mismunandi hópa háplantna í tilraunareitum við Háslón og í mólendi og mosapemba við Blöndulón. Sýnd eru meðaltöl og staðalskekkja meðaltalanna. Tekin eru saman gögn fyrir friðaða og beitta reiti við Háslón, þar sem ekki komu fram marktæk áhrif af beit á þekju þessara hópa (tafla 5.4A). Athugið að þekjuskali á y-ás getur verið breytilegur milli svæða.*

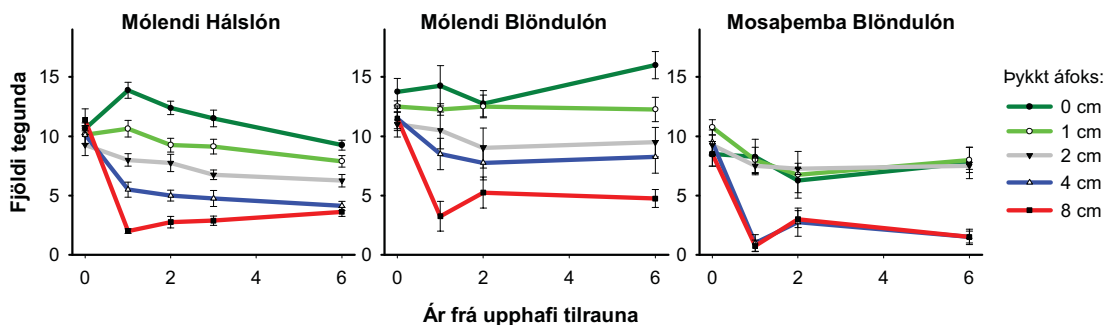


var marktækur munur á heildarþekju gróðurs, háplantna, mosa og fléttna milli mólendis og mosapembu við Blöndu, auk þess sem fervikagreining á þekju háplantna og mosa sýndi marktækt samspil á milli gróðurlendis og áfoks (tafla 5.4).

Áfok dró marktækt úr þekju blómjurta og smárunna í öllum tilraununum (mynd 5.9 og tafla 5.4). Við Háslón var að auki marktækt samspil á milli áfoks og tíma fyrir alla hópa háplantna nema runna en áhrif beitar voru aldrei marktæk (tafla 5.4). Þekja grasa jókst marktækt með tíma í öllum áfoksmeðferðum við Háslón (mynd 5.9 og tafla 5.4) en áhrifin voru ekki eins skýr við Blöndulón. Í mólendinu við Blöndulón jókst þekja runna hins vegar talsvert með tíma í vægustu áfoksmeðferðunum (mynd 5.9 og tafla 5.4) og var þar um fjalldrapa að ræða eins og komið hefur fram hér að ofan. Í mólendisreitum á báðum svæðunum náðu byrkningar sér þökkalega á strik í þykkustu áfoksmeðferðunum og var þar einkum um klóelftingu að ræða (töflur 5.2 og 5.3).

### 5.3.2. Tegundafjöldi

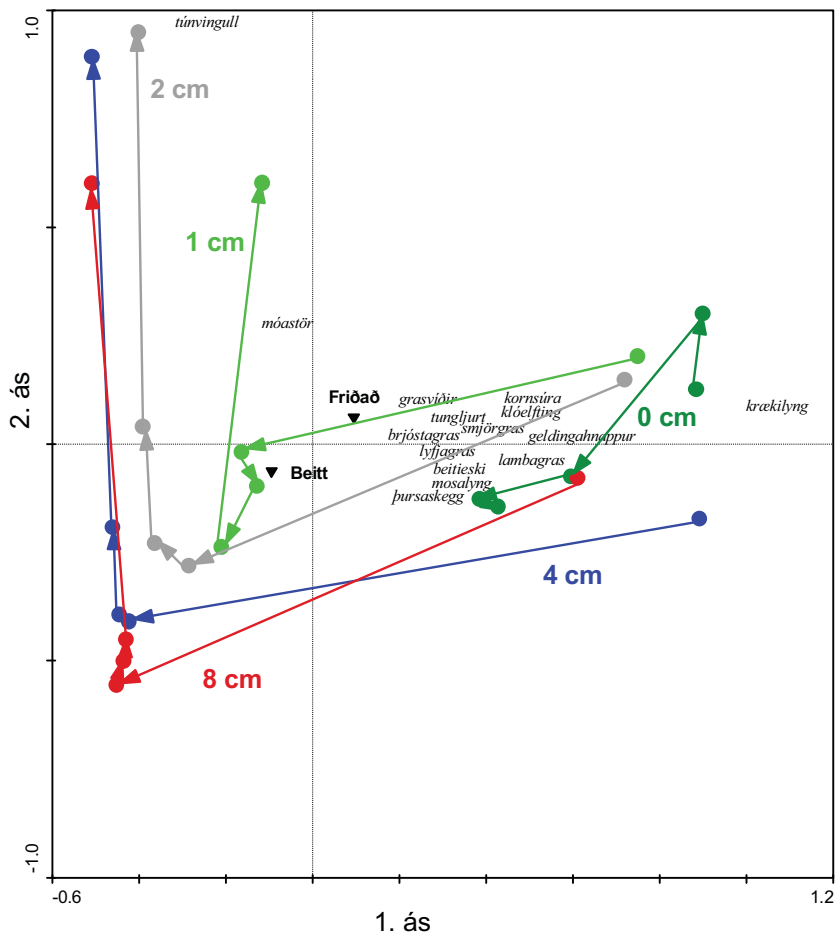
Áfok hafði strax marktæk áhrif á meðalfjölda háplöntutegunda í mælirömmunum (mynd 5.10 og tafla 5.4). Áhrif áfoksins voru í beinu sambandi við þykkt þess í mólendinu en í mosapembu við Blöndu skiptist svörunin í tvö horn: meðalfjöldi tegunda var svipaður í viðunarreitum og reitum með 1 og 2 cm áfoki en mun færri tegundir voru í reitum með 4 og 8 cm áfoki. Lítil merki voru um að tegundum fjölgaði aftur í áfoksreitunum í þau sex ár sem fylgst var með tilraununum og við Háslón fækkaði tegundum með tíma í flestum meðferðum og í viðmiðunarreitum.



**Mynd 5.10.** Áhrif áfoks á meðalfjölda háplöntutegunda í mælirömmum ( $0,25 \text{ m}^2$ ) í tilraunareitum við Háslón og í mólendi og mosapembu við Blöndulón. Sýnd eru meðaltöl og staðalskekkja meðaltalanna. Tekin eru saman gögn fyrir friðaða og beitta reiti við Háslón.

### 5.3.3. Tegundasamsetning

Eigingildi fyrstu tveggja ásanna í PCA greiningu fyrir þekju háplantna í tilrauninni við Háslón voru 0,60 og 0,18. Upphafsmælingarnar frá 2002 röðuðust hægra megin á 1. ásnum, sem útskýrði mestan breytileika (mynd 5.11). Í öllum reitunum varð tilfærsla í átt að lægri gildum á 1. ásnum með tíma, minnst í viðmiðunarreitunum en mest í reitum með 4 og 8 cm áfoki. Þær tegundir sem einkum skildu reitina að voru



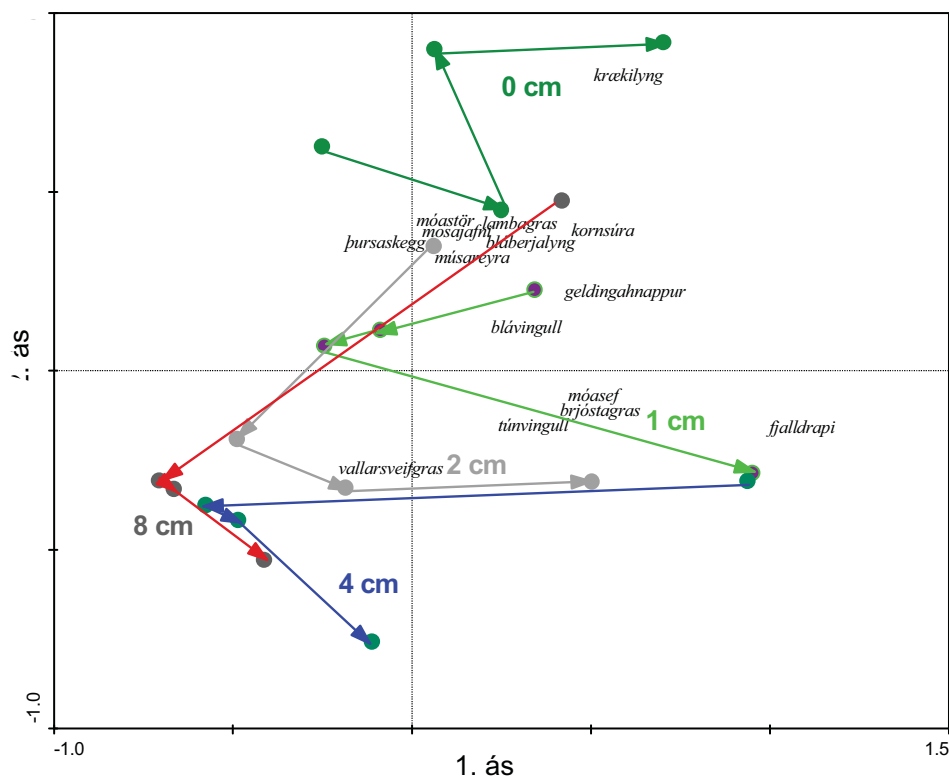
**Mynd 5.11.** Niðurstöður PCA greiningar á þekju háplantna í áfokstilraunum við Háslón. Mislitar örvar sýna breytingar frá upphafsmælingum áður en tilraunin hófst, fram til 1., 2., 3. og 6. árs eftir að sandur var settur í reitina. Dökkgrænt= enginn sandur; ljósgrænt= 1 cm sandur; grátt= 2 cm sandur; blátt= 4 cm sandur og rautt= 8 cm sandur. Einnig eru sýnd hnit einstakra háplöntutegunda.

krækilyng í viðmiðunarreitunum og túnvingull í áfoksreitunum, sem færðust ofar eftir 2. ársnum með tíma eftir því sem þekja túnvinguls jókst. Fylgni áfoks við fyrsta PCA ásinn var -0,32 en -0,14 við annan ásinn. Allir tegundahópar nema grös höfðu jákvæða fylgni við 1. ásinn; fylgni smárunna var langmest eða 0,97 en síðan komu blómjurtir með 0,54. Grös höfðu hins vegar mesta fylgni við 2. ásinn ( $r=0,95$ ). Monte Carlo próf á hnitunargreiningu með samspili milli áfoks og tíma var marktækt og útskýrði fyrsti ásinn tæp 18% af breytileika í tegundasamsetningu tilraunareitanna við Háslón (tafla 5.5). Hins vegar var samspil beitar og tíma ekki marktækt, sem bendir til þess að beit hafi lítil áhrif haft á gróðurfar reitanna.

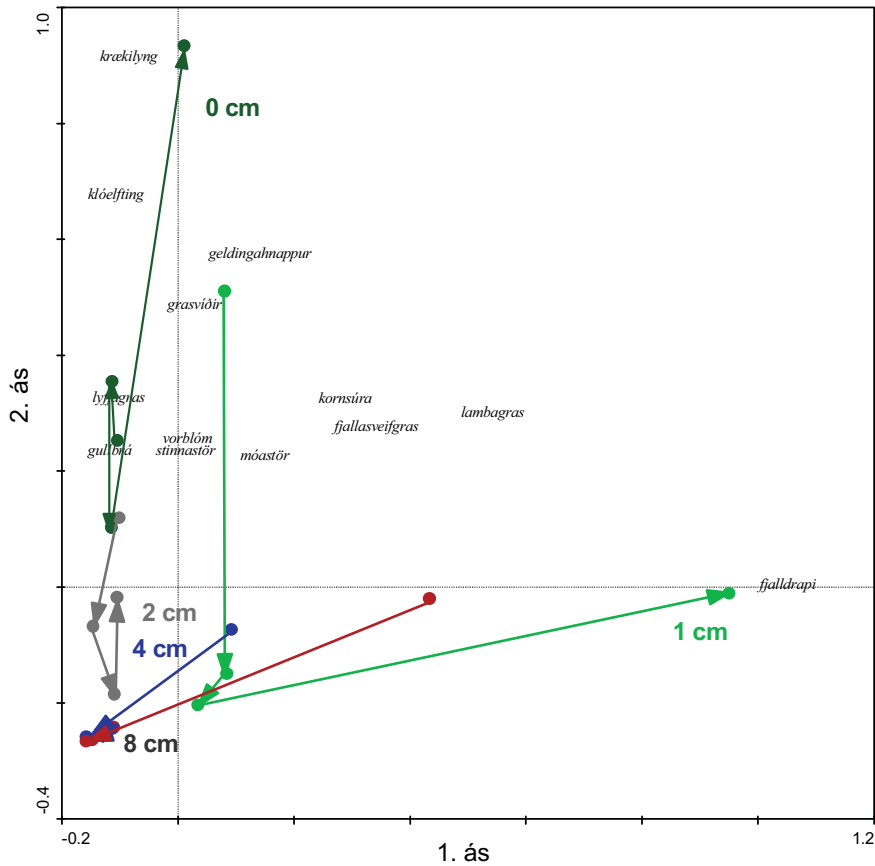
Eigingildi tveggja fyrstu PCA ásanna fyrir þekju háplantna í mólendi við Blöndu voru 0,74 og 0,12. Talsverður munur var á reitum sem tilheyrðu mismunandi meðferðum áður en tilraunin hófst (mynd 5.12) sem flækir aðeins samanburð á þeim. Viðmiðunarreitirnir færðust frá lægri til hærri gilda á 1. ársnum með tíma en

**5.5. tafla.** Niðurstöður RDA-prófa á áhrifum tilraunameðferða á þekju háplöntutegunda (sjá skýringar í texta).

breytur	hlutbreytur (covariables)	% útskýrt 1. ás	r 1. ás	F-hlutfall	P
<b>Háslón</b>					
ár, ár*B, ár*áfok	reitur	37,2	0,802	101,16	0,001
ár*B, ár*áfok	ár, reitur	29,9	0,775	86,69	0,001
ár*áfok	ár, ár*B, reitur	17,8	0,690	54,15	0,001
ár*B	ár, ár*áfok, reitur	2,1	0,305	6,96	0,115
<b>Blanda - mólendi</b>					
ár, ár*áfok	endurt	38,0	0,726	37,26	0,046
ár*áfok	endurt, ár	36,3	0,720	36,59	0,042
<b>Blanda – mosapemba</b>					
ár, ár*áfok	endurt	26,1	0,685	21,79	0,011
ár*áfok	endurt, ár	25,5	0,681	21,53	0,011



**Mynd 5.12.** Niðurstöður PCA greiningar á þekju háplantna í áfokstilraunum í mólendi við Blöndulón. Mislitar örvar sýna breytingar frá upphafsmælingum áður en tilraunin hófst, fram til 1., 2. og 6. árs eftir að sandur var settur í reitina. Dökkgrænt: enginn sandur; ljósgrænt: 1 cm sandur; grátt: 2 cm sandur; blátt: 4 cm sandur og rautt: 8 cm sandur. Einnig eru sýnd hnit háplöntutegunda.



**Mynd 5.13.** Niðurstöður PCA greiningar á þekju háplantna í áfokstilraunum í mosapembu við Blöndulón (sjá skýringar við mynd 5.12).

áfoksreitirnir hliðruðust allir niður til vinstri til að byrja með, þ.e. í átt að lægri gildum á bæði 1. og 2. ás. Eftir það hækkuðu gildi áfoksreitanna smám saman á 1. ásnunum og því meira sem sandurinn var þynnri. Krækilyng var sú tegund sem einkum greindi viðmiðunarreiti frá áfoksreitum (há gildi á bæði 1. og 2. ás) en fjalldrapi var með hæstu gildin á 1. ás. Fylgni áfoksþykktar við 1. ásin var  $-0,28$  en  $-0,34$  við 2. ásin. Runnar höfðu mjög háa fylgni við 1. ásin,  $r = 0,97$ . Fylgni smárunna við fyrsta ásin var  $0,60$  en  $0,79$  við annan ásin. Grös sýndu hins vegar veika fylgni við fyrstu tvo PCA ásana. Monte Carlo umröðunarpróf á hnitunargreiningu fyrir samspil áfoks og tíma var marktækt og útskýrði fyrsti hnitunarásin  $36\%$  af breytileika í tegundasamsetningu reitanna (tafla 5.5).

Tveir fyrstu PCA ásarnir fyrir þekju háplantna í mosapembu við Blöndu höfðu eigingildin  $0,61$  og  $0,16$ . Fyrsti hnitunarásin hafði mjög háa fylgni við þekju runna,  $0,999$  og endurspeglar því þekju fjalldrapa í reitunum. Ekki voru stefnubundnar breytingar á viðmiðunarreitunum til að byrja með en síðan færðust þeir í átt að hærri gildum á báðum ásunum, þó aðallega á 2. ásnunum (mynd 5.13). Krækilyng var sú tegund sem einkum greindi viðmiðunarreiti frá öðrum reitum og var fylgni smárunna við 2. hnitunarásin  $0,83$ . Fylgni áfoksþykktar við fyrsta hnitunarásin var aðeins  $0,06$  en fylgnin við annan ásin var  $0,44$ . Áfoksreitir færðust til að byrja með allir í átt að lægri gildum á 2. ás. Eftir fyrsta árið héldust reitir með 2, 4 og 8 cm

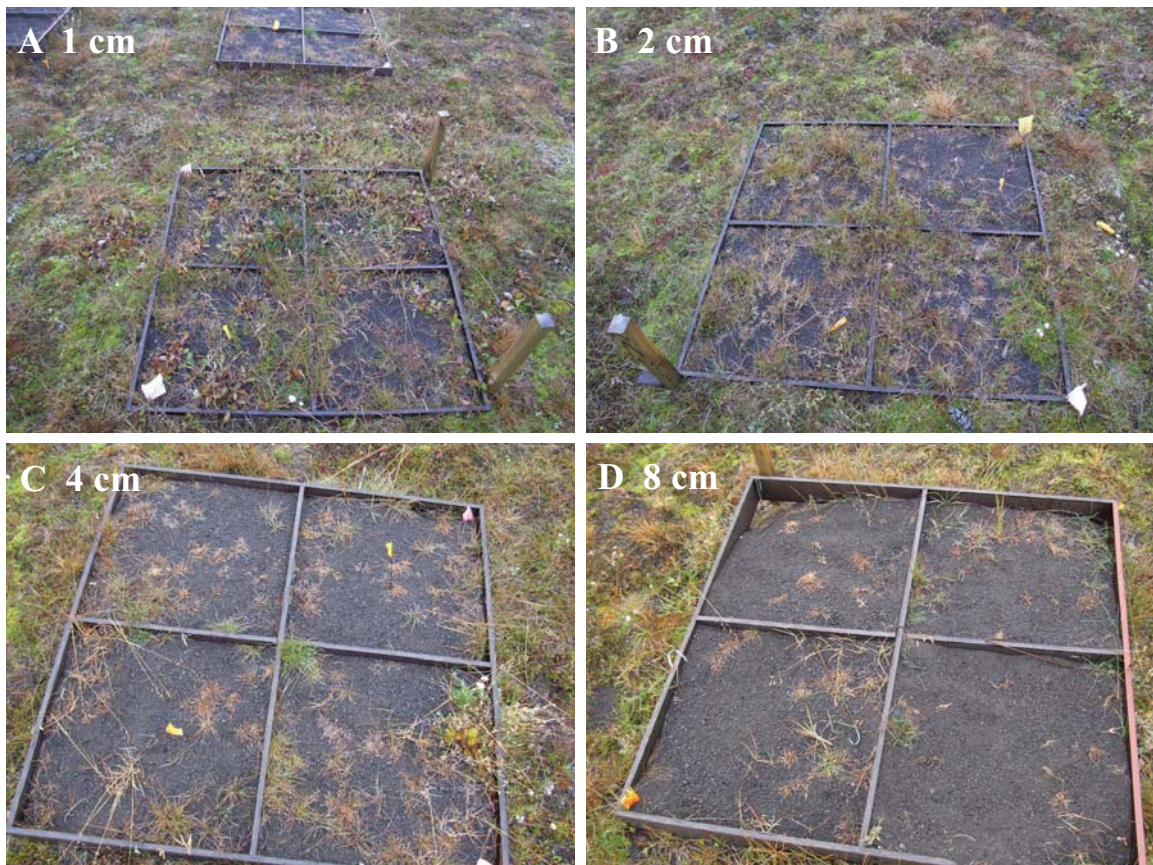
áfoki lítið breyttir með lágum gildum á báðum ásunum. Við lokaúttekt höfðu reitir með 1 cm áfoki færst til hægri í hnitunarrýminu er þekja fjalldrapa jókst í þeim (tafla 5.3). Monte Carlo próf á samspili áfoks og tíma var marktækt og útskýrði fyrsti hnitunarásinn um fjórðung af breytileika í tegundasamsetningu reitanna (tafla 5.5).

## 5.4. Umræða

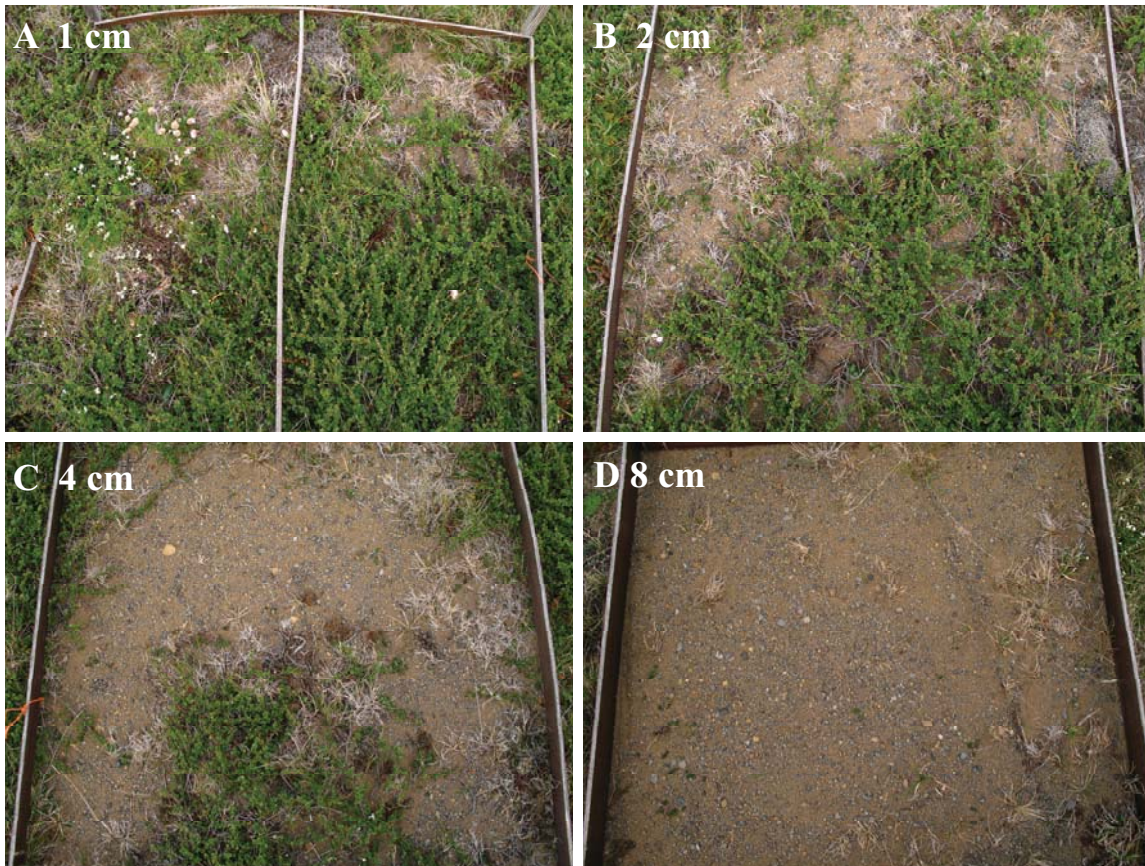
### 5.4.1. Svörun einstakra tegunda og tegundahópa við áfoki

Maun (1998) setti fram líkan um mismunandi svörun plöntutegunda við áfoki: í I. flokki eru tegundir sem sýna minni lifun með vaxandi áfoki og deyja út ef áfok verður of mikið; tegundir í II. flokki sýna enga svörun við litlu áfoki en síðan dregur úr algengi þeirra með vaxandi áfoki líkt og í I. flokki; í III. flokki eru síðan tegundir sem sýna jákvæða svörun við áfoki upp að vissu marki en neikvæða svörun ef áfokið vex fram yfir það.

Ef við lítum á tegundahópana í tilraununum við Háslón og Blöndulón (mynd 5.9) má sjá að svörun smárunna var samkvæmt I. flokki á öllum svæðunum. Mest munaði um krækilyng, sem hafði háa þekju í viðmiðunarreitum en þekja þess minnkaði hratt með auknu áfoki (töflur 5.2 og 5.3 og mynd 5.14) og hið sama gildi um tíðni þess (Harpa K. Einarsdóttir 2007). Rúmu ári eftir að sandur var settur í



**Mynd 5.14.** Áfoksreitir í mólendi við Háslón í september 2006. Reitir sem 1 cm (A), 2 cm (B), 4 cm (C) og 8 cm (D) sandlagi var dreift yfir í júní 2003. Ljós. Ólafur Arnalds.

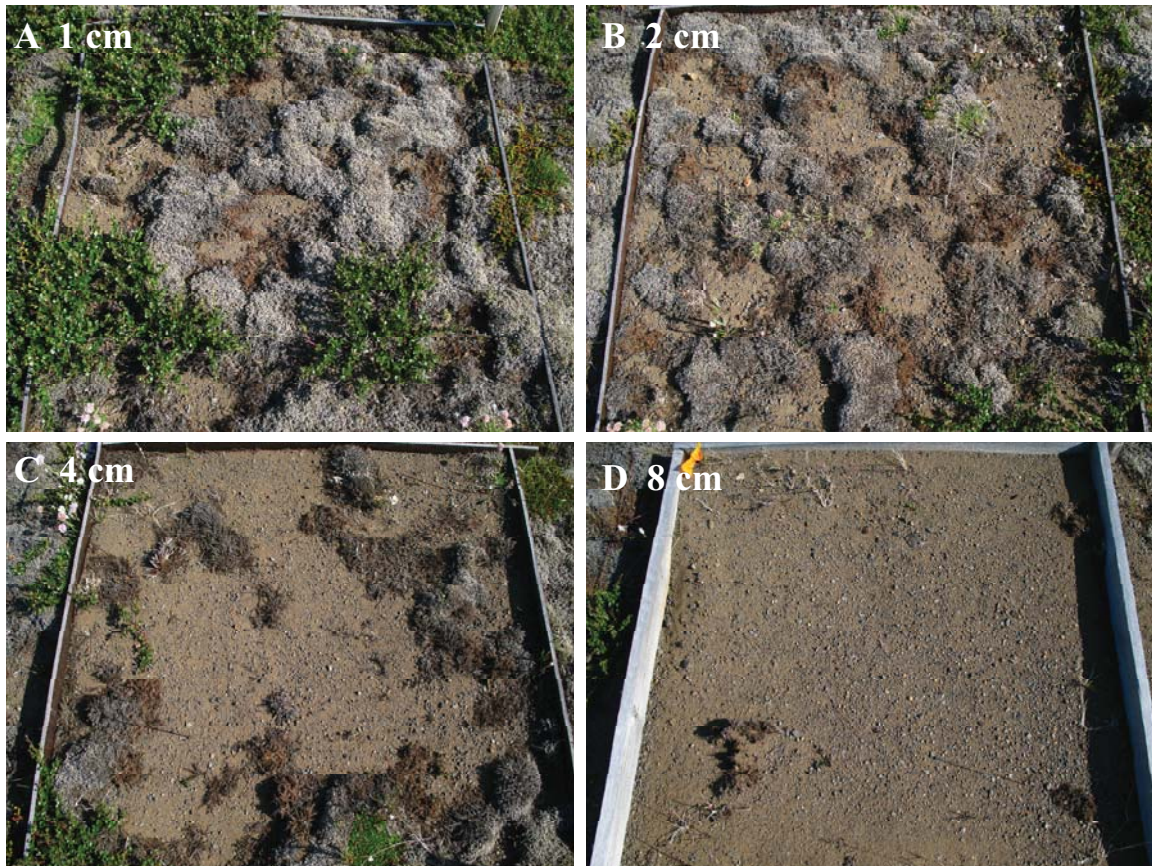


**Mynd 5.15.** Áfoksreitir í mólendi við Blöndulón í júlí 2009. Reitir sem 1 cm (A), 2 cm (B), 4 cm (C) og 8 cm (D) sandlagi var dreift yfir í júní 2004. Ljósmynd. Ása L. Aradóttir.

reitina var krækilyngið horfið með öllu í reitum með 8 cm áfoki. Af öðrum smárunnategundum þoldi mosalyng (*Harrimanella hypnoides*) við Háslón áfokið einnig illa en bláberjalyng (*Vaccinium uliginosum*) og grasvíðir (*Salix herbacea*) virtust síður viðkvæm fyrir áfoki.

Blómjurtir við Háslón voru í II. flokki miðað við líkan Maun (1998) en í I. flokki á báðum svæðunum við Blöndulón (mynd 5.9A). Þessi mismunandi viðbrögð endurspeglu að hluta mismunandi tegundasamsetningu svæðanna. Kornsúra (*Bistorta vivipara*), brjóstagras (*Thalictrum alpinum*) og músareyra (*Cerastium alpinum*) eru dæmi um tegundir blómjurtar sem héldu velli eða sýndu jafnvel smá aukningu í þekju við lítið áfok, þó þær hyrfu þar sem áfokið var mest (tölur 5.2 og 5.3). Hins vegar þoldu lambagras (*Silene acaulis*) og geldingahnappur lítið áfok (I. flokkur).

Runnar, grös og byrkningar svöruðu áfoki samkvæmt III. flokki líkansins (mynd 5.9); þekja þessara hópa jókst við lítið áfok en þær gáfu þó eftir við meira áfok. Mælingar á tíðni þessara tegunda sýndu svipaða svörun (Harpa K. Einarsdóttir 2007). Túnvingull var sú tegund sem jókst mest við áfokið í mólendinu við Háslón en í báðum gróðurlendunum við Blöndulón var það fjalldrapi sem þoldi áfokið best og naut jafnvel góðs af því (tölur 5.2 og 5.3 og myndir 5.15 og 5.16). Aðrar tegundir sem sýndu þessa svörun voru m.a. loðvíðir, grastegundirnar vallarsveifgras (*Poa pratensis*) og blávingull (*Festuca vivipara*), byrkningarnir klóelfting



**Mynd 5.16.** Áfoksreitir í mosapembu við Blöndulón í júlí 2009. Reitir sem 1 cm (A), 2 cm (B), 4 cm (C) og 8 cm (D) sandlagi var dreift yfir í júní 2004. Sjá má hvernig sandurinn seig frá þúfnakollum og mosatoppum með tímanum. Ljós. Ása L. Aradóttir.

(*Equisetum arvensis*) og beitieski (*E. variegatum*), auk stinnustarar (*Carex bigelowii*) og í sumum tilfellum þursaskegg (*Kobresia myosuroides*). Svörun einstakra háplöntutegunda í okkar rannsókn var sambærileg við niðurstöður Olgu K. Vilmundardóttur o.fl. (2009) á áhrifum áfoks frá Blöndulóni. Undantekningar eru stinnastör og þursaskegg, sem höfðu minnkandi þekju með aukinni sandþykkt í þeirra rannsókn en aðeins aukna þekju við lítið áfok í okkar rannsókn.

Mosar og fléttur þoldu ekkert áfok og höfðu lítið náð sér á strik sex árum eftir að sandurinn var settur á reitina (mynd 5.7). Undantekning frá þessu var hraungambriinn í mosapembunni við Blöndulón, sem jók þekju sína með tíma, líklega við það að sandurinn seig frá þúfnakollum og mosatoppum sem stóðu þá æ betur upp úr sandinum (mynd 5.16). Olga K. Vilmundardóttir o.fl. (2009) fengu svipaða niðurstöðu við Blöndulón, þar sem hraungambri óx gjarnan á þúfnakollum er stóðu upp úr sandinum. Aðrar rannsóknir hafa sýnt að mosar þoli almennt illa áfok (Sigurður H. Magnússon 1994, Martinez & Maun 1999), þó einstaka sandhóla-tegundir geti vaxið upp úr áfoki sem er margföld hæð þeirra (Martinez & Maun 1999).

#### 5.4.2. Þol gróðurs gagnvart áfoki

Maun (1998) líkti virkni áfoks við eins konar síu á gróðursamfélög, er dregur úr algengi tegunda sem eru viðkvæmar fyrir áfoki en vegur þeirra tegunda sem þola áfokið eykst að sama skapi. Þær plöntur sem einkum þola áfokið eru hávaxnar með vaxtarsprotu upp úr sandlaginu. Jafnframt bregðast margir plöntuhópar við áfoki með því að færa orkuforða frá svæðum neðan yfirborðs til ofanjarðarluta (Maun 1998). Sandburður getur að auki haft áhrif á framboð næringarefna úr jarðvegi, vegna þess að jafnvægi milli gróðurs og örvera í jarðvegi er raskað, sem getur leitt til tímabundinnar losunar á nitri (sjá t.d. Brady & Weil 2008). Þetta getur gefið áburðarkærum plöntutegundum, svo sem grösum, tímabundið forskot og átt þátt í þeim gróðurfarsbreytingum er urðu við áfokið. Í okkar tilraunum komu fram skýr merki um áhrif áfoks á tegundasamsetningu gróðursamfélaganna og voru þau sterkari eftir því sem áfokið var meira (myndir 5.11-5.13 og tafla 5.5). Þessar gróðurfarsbreytingar höfðu aðeins að takmörkuðu leyti gengið til baka eftir sex ár, og þá einungis í tilraunareitunum með þynnsta sandinum.

Tilraunir Perumal & Maun (2006) á sandhólasvæðum sýndu að sandhólategundir þoldu almennt ekki að vera grafnar undir sandi sem var þykkari en eigin hæð þeirra. Meðalhæð gróðurs á tilraunasvæðunum var afar lág (< 2 cm við Kárahnúka; 3,1 cm í mólendi og 0,6 cm í mosapembu við Blöndu), sem að hluta útskýrir hið takmarkaða áfoksþol þessara gróðurlenda. Hins vegar þurrkaðist ekki allur gróður út til langframa, jafnvel ekki í þeim reitum sem fengu þykkasta áfokslagið (mynd 5.7). Eftir sex ár hafði heildarþekja gróðurs í mólendistilrauninum náð um 20% í reitunum með þykkasta áfokinu og voru það einkum grös sem höfðu vaxið aftur. Í mosapembu við Blöndu var heildarþekja gróðurs þó enn afar takmörkuð eftir sex ár í reitum með 4 og 8 cm áfoki. Olga Kolbrún Vilmundardóttir o.fl. (2009) dró þolmörk mólendis við Blöndulón við u.þ.b. 10 cm með hliðsjón af því að gróður náði upp í gegn á ný eftir slíkt áfok—sem er líklega sambærilegt við „þröskuldsgildi“ sem Maun & Perumal (1999) lýstu fyrir sandhólagróður. Áfoksþol einstakra tegunda er misjafnt og jafnframt frábrugðið þoli með tilliti til heildarþekju. Ef tekið er tillit til tegundasamsetningar, vistfræðilegrar virkni svæðanna og skilyrða umhverfisráðherra við samþykkt á framkvæmdum Kárahnúkavirkjunar má líta svo á að 1 cm sé nálægt áfoksþoli svæðisins. Hafa verður í huga að vistkerfin við Háslón og Blöndulón eru kerfi sem ekki eru aðlöguð að sandfoki. Segja má að það sé glögg sambhengi á milli meðalhæðar gróðursins og áfoksþolsins, sem er í samræmi við erlendar rannsóknir (Perumal & Maun 2006). Einstakar tegundir sem eru aðlagðar að sandfoki kunna þó að þola mun meira áfok (sbr. Martínez & Maun 1999), en þær eru ekki lykiltegundir í þeim vistkerfum sem hér um ræðir.

### 5.5. Ályktanir

Tilraunir á áfoksþoli gróðurs við Háslón og Blöndulón sýna að gróður þessara svæða hefur afar takmarkað áfoksþol. Í reitunum sem fengu minnsta áfokið – 1 cm – var gróðurþekja farin að nálgast upprunalegt horf sex árum eftir að sandur var lagður á reitina en gróðurfur hafði breyst. Aðrir tilraunareitir með áfoki voru langt frá því að hafa náð sambærilegri þekju og viðmiðunarreitirnir, enda þótt sumar tegundir



hefðu hagnast á áfokinu. Þessar niðurstöður sýna vel nauðsyn þess að koma í veg fyrir allt áfok yfir varnarlínur. Komi til atburða sem leggja áfok yfir varnalínur er brýnt að fjarlægja áfoksefni af hinum viðkvæmu gróðurlendum til að koma í veg fyrir frekara tjón.

## Heimildir

Armbrust D.V. & A. Retta 2000. Wind and sandblast damage to growing vegetation. *Annals of Arid Zone* 39:273-284.

Borgþór Magnússon, Olga Kolbrún Vilmundardóttir & Victor Helgason 2009. Vöktun á grunnvatni, gróðri og strönd við Blöndulón. Lokaskýrsla 1993- 2009. Náttúrufræðistofnun NÍ-09017.

Brady N.C. & R.R. Weil 2008. *The Nature and Properties of Soils*. 13. útgáfa. Pearson Education Inc., New Jersey, 965 bls.

del Moral, R. & S. Y. Grishin 1999. Volcanic disturbances and ecosystem recovery. Í: *Ecosystems of disturbed ground*. *Ecosystems of the World* 16. (ritstj. L. R. Walker). Elsevier Publ., Amsterdam. Bls. 137-160.

Harpa K. Einarsdóttir 2007. Áhrif áfoks á gróður. Ritgerð til meistaraþrófs í umhverfisfræði., Háskóli Íslands. 43 bls.

Harpa K. Einarsdóttir, Ólafur Arnalds & Ása. L. Aradóttir 2009. Áhrif áfoks á gróður við Háslón og Blöndulón. *Fræðaðing landbúnaðarins* 6:359-361.

Hotes, S., P. Poschlod, H. Takahashi, A. P. Grootjans & E. Adema 2004. Effects of tephra deposition on mire vegetation: a field experiment in Hokkaido, Japan. *Journal of Ecology* 92:624-634.

Jia R.L., X.R. Li, L.C. Liu, Y.H. Gao & X.J. Li 2008. Responses of biological soil crusts to sand burial in a revegetated area of the Tengger Desert, Northern China. *Soil Biology & Biochemistry* 40:2827-2834.

Kent M., N.W. Owen, P. Dale, R.M. Newnham & T.M. Giles 2001. Studies of vegetation burial: a focus for biogeography and biogeomorphology? *Progress in Physical Geography* 25:455-482.

Ketner-Oostra R. & K.V. Sykora 2008. Vegetation change in a lichen-rich inland drift sand area in the Netherlands. *Phytocoenologia* 38:267-286.

Kim, D. & K.B. Yu 2009. A conceptual model of coastal dune ecology synthesizing spatial gradients of vegetation, soil, and geomorphology. *Plant Ecology* 202: 135-148.

Leps J. & P. Smilauer 2003. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge University Press.

Lawrence C.R. & A.J. Neff 2009. The contemporary physical and chemical flux of aeolian dust. A synthesis of direct measurements of dust deposition. *Chemical Geology* 267:46-63.

Martinez, M.L. & M.A. Maun 1999. Responses of dune mosses to experimental burial by sand under natural and greenhouse conditions. *Plant Ecology* 145:209-219.

Maun, M.A. 1998. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes. *Canadian Journal of Botany* 76:713-738.

Maun M.A. & J. Perumal 1999. Zonation of vegetation on lacustrine coastal dunes: effects of burial by sand. *Ecology Letters* 2:14-18.

Okin G.S., D.A. Gillette & J.E. Herrick 2006. Multi-scale controls on and consequences of aeolian processes in landscape change in arid and semi-arid environments. *Journal of Arid Environments* 65:253-275.

Olga Kolbrún Vilmundardóttir, Borgþór Magnússon, Guðrún Gísladóttir & Sigurður H. Magnússon 2009. Áhrif sandfoks á mólendisgróður við Blöndulón. *Náttúrufræðingurinn* 78:125-137.

Owen N. W., M. Kent & D. M. Dale 2004. Plant species and community responses to sand burial on the machair of the Outer Hebrides, Scotland. *Journal of Vegetation Science* 15:669-678.

Ólafur Arnalds & Fanney Gísladóttir 2001. Háslón – Jarðvegur og jarðvegsrof. *Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Reykjavík*.

Ólafur Arnalds & Sigmar Metúsalemsson 2004. Sandfok á Suðurlandi 5. október 2004 *Náttúrufræðingurinn* 72:90-92.

Perumal V. J. & M. A. Maun 2006. Ecophysiological response of dune species to experimental burial under field and controlled conditions. *Plant Ecology* 184:89-104.

Sigurður H. Magnússon 1994. Plant colonization of eroded areas in Iceland. Dissertation, Department of Ecology, Plant Ecology, Lund University, Sweden.

ter Braak C. J. F. & P. Smilauer 2002. *CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. útgáfa. Microcomputer Power, Ithaca, NY, USA.

Vilmundardóttir O.K., B. Magnússon, G. Gísladóttir & Th. Thorsteinsson 2010. Shoreline erosion and aeolian deposition along a recently formed hydro-electric reservoir, Blöndulón, Iceland. *Geomorphology* 114:542-555.

Warren A. 2010. Sustainability of aeolian systems. *Aeolian Research* 1:95-99.

Zobel D.B. & A. Antos 1997. A decade of recovery of understory vegetation buried by volcanic tephra from Mount St. Helens. *Ecological Monographs* 67:317-344.

**Viðauki**  
**Tilraunaskipulag**

