

BS – ritgerð

Desember 2015

Langtímaáhrif alaskalúpínu og áburðargjafar á
lifun og vöxt birkis í Þjórsárdal

Jóhanna Ólafsdóttir



Landbúnaðarháskóli Íslands
Agricultural University of Iceland

Umhverfisdeild

BS – ritgerð

Desember 2015

Langtímaáhrif alaskalúpínu og áburðargjafar á
lifun og vöxt birkis í Þjórsárdal

Jóhanna Ólafsdóttir

Leiðbeinandi: Úlfur Óskarsson

Landbúnaðarháskóli Íslands

Umhverfiseild

Skógfræði

Yfirlýsing

Hér með lýsi ég því yfir að verkefni þetta er byggt á mínum eigin athugunum, er samið af mér og að það hefur hvorki að hluta né í heild verið lagt fram áður til hærri prófgráðu.

Nafn nemanda

Ágrip

Alaskalúpína er harðgerð, niturbindandi jurt upprunin í N-Ameríku. Hún hefur lengi verið nýtt hérlendis til að græða upp auðnir og rofið land. Þegar lúpínan nær að þekja rofið land eykst nitur-og kolefnisforði jarðvegs. Í kjölfarið tekur að myndast nýtt vistkerfi sem einkennist af frjósemi og grósku, auðugt af margskonar lífverum. Þar sem alaskalúpínan er jarðvegsbætandi, er það fýsilegur kostur að nýta hana við skóggræðslu á svæðum þar sem næringarefni skortir.

Í Sandártungu í Þjórsárdal hófst uppgræðsla með alaskalúpínu á sjöunda áratug síðustu aldar og síðan þá hafa lúpínubreiður á söndunum smám saman farið stækkandi. Árið 2002 voru birkiplöntur gróðursettar í tilraunareiti á Vikrum, annars vegar í lúpínubreiður og hins vegar í sandsvæði, til að kanna áhrif uppgræðslunnar á lifun og vöxt birkisins. Í tilrauninni voru meðferðarliðir með engum áburði, 0,2 g og 10 g á plöntu til að kanna áhrif mismunandi áburðargjafar við gróðursetningu. Minni áburðarskammturinn var settur í plöntuhnausinn rétt fyrir gróðursetningu og hefur þessi aðferð ekki verið reynd fyrir í nýskógrækt. Mælingar á úrtakstrjám og skráning lifunar hafa verið gerð reglulega á hluta reitanna. Sumarið 2014 voru mælingar gerðar í öllum reitum og meðferðum og í fyrsta sinn voru allar plöntur hæðarmældar og skrásett hvort lúpína væri í næsta nágrenni við hverja plöntu. Mælingar áranna 2003, 2006 og 2014 eru megin uppistaða þess sem birt er hér.

Helstu niðurstöður voru þær að marktækur munur var á milli svæðanna bæði hvað varðaði lifun og hæðarvöxt trjáanna. Hæðarvöxtur var mun meiri í lúpínubreiðum en á sandsvæðum, en minni munur var á lifun á milli svæðanna. Samanburður á áburðarmeðferðum sýndi að plöntur sem fengu 0,2 g á plöntu í rótarhnaus við gróðursetningu reyndust með besta lifun á sandsvæði og sama meðferð gaf besta hæðarvöxtinn innan lúpínubreiða. Niðurstöðurnar gefa til kynna að hvort heldur sé gróðursett innan eða utan lúpínu, sé þetta nægilegur skammtur fyrir plönturnar til að halda velli.

Þakkir

Þakkir vil ég veita leiðbeinanda mínum Úlfi Óskarssyni, fyrir dýrmæta samvinnu. Fjölskyldu minni vil ég þakka veittann stuðning og þá sérstaklega dóttur minni fyrir umburðarlyndið. Sérstakar þakkir fær Þorbergur Hjalti Jónsson hjá Rannsóknarstöð Skógræktar ríkisins, fyrir veitta aðstoð og aðgang að eldri mæligögnum. Eins ber að þakka minningarsjóði Hjálmars R. Bárðarsonar og Else S. Bárðarson sem veitti styrk til verkefnisins.

Efnisyfirlit

1. Inngangur	1
Náttúrufar rannsóknarsvæðis	1
Uppruni og líffræði alaskalúpínu	3
Umhverfisáhrif alaskalúpínu	4
Saga alaskalúpínu á Íslandi	5
Staða þekkingar á alaskalúpínu á Íslandi	5
Alaskalúpína í skógrækt.....	7
Notkun áburðar í skógrækt.....	8
Markmið verkefnis	9
2. Efni og aðferðir.....	10
Uppsetning tilraunar	10
Mælingar	11
Úrvinnsla.....	12
3. Niðurstöður	12
4. Umræður	18
5. Ályktanir	19
6. Heimildaskrá	20

1. Inngangur

Tilurð þessa verkefnis tengist sumarvinnu höfundar hjá Rannsóknarmiðstöð skógræktar að Mógilsá sumarið 2014. Eitt af verkefnum sumarsins var að fara í Þjórsárdal og taka út hæð og lifun gróðursetts birkis (*Betula pubescens* Ehrh.) frá árinu 2002 í tilraunareitum innan og utan uppgræðslusvæðis með alaskalúpínu (*Lupinus nootkatensis* Donn ex. Sims). Á meðan á þeirri vinnu stóð kviknaði sú hugmynd að gögnin gætu verið heppilegur grunnur að lokaverkefni. Þetta var í fyrsta sinn frá gróðursetningu tilraunareitanna sem tilraunin var mæld í heild sinni, áður höfðu mælingar verið gerðar á hluta reitanna og voru þau gögn einnig nýtt.

Náttúrufar rannsóknarsvæðis

Við landnám er talið að útbreiðsla birkis á Íslandi hafi náð til um 18-35% lands (Friðþór Sigurmundsson og fleiri, 2014). Þetta hlutfall minnkaði ört eftir landnám þar sem skógar voru nytjaðir umfram það sem þeir endurnýjuðust (Friðþór Sigurmundsson og fleiri, 2014). Á sextánda öld er gert ráð fyrir að um helmingur Þjórsárdals hafi verið skógi vaxinn (Friðþór Sigurmundsson og fleiri, 2014). Á þeim tíma var blómleg byggð í dalnum. Skógarnir voru ofnýttir í gegnum árhundruðin, með þeim afleiðingum að árið 1938 var aðeins um 6% skógarþekja í dalnum. Þá hófst friðun skógarleifa og skógrækt í dalnum og útbreiðsla birkis hefur aukist mikið síðan (Friðþór Sigurmundsson og fleiri, 2014).

Láglandi Þjórsárdals er í um 120–160 m.h.y.s. og einkennist af gróðursnauðum hraunum og vikurflákum. Skógar teygja sig langt upp í hlíðar dalsins vestan Sandár og eru þær víðast hvar vel grónar. Skógurinn í Þjórsárdal byggist upp á náttúrulegu birkikjarri, auk blandskóga sem eru að mestu inni á löndum Skriðufells og Ásólfstaða. Skógrækt ríkisins keypti jörðina Skriðufell árið 1938 og hluta úr jörð Ásólfstaða árið 1962. Blandskógurinn samanstendur af greni, furu og lerki sem gróðursett var inn í birkikjarr frá 1939 fram undir 1990 (Skógrækt ríkisins, e.d.).

Svæðið einkennist af gróðurlitlum vikursöndum á hrauni með hraungrýti á yfirborði (Ása L. Aradóttir, 2000). Alaskalúpínu var fyrst sáð og hún gróðursett á svæðinu á sjöunda áratug síðustu aldar (Ása L. Aradóttir, 2000) og hefur náð að dreifa sér töluvert síðan. Lúpínan hefur smám saman náð að mynda nokkuð þetta þekju á

gróðursnauðum söndunum. Á elstu útbreiðslusvæðunum hefur lúpínan vikið fyrir öðrum gróðri. Þar tekur við graslendi með mosa og ýmsum blómjurtum. Þar sem lúpínan er ekki til staðar er einna helst að finna þunnt mosalag með blómjurtum. Lítt gróið yfirborð einkennist af foksandi sem oftast er finn en þó með grófum mislitum vikri inn á milli. Frá því tilraunin var lögð út árið 2002 hefur gróðurframvinda verið þónokkur á sandsvæðunum. Mosapekja hefur víða myndast með grösom og öðrum lágvöxnum plöntum og dregið úr jarðvegsrofi á svæðinu. Þessa þróun má meðal annars rekja til ýmissa uppgræðsluáðgerða eins og dreifingu áburðar úr landgræðsluflugvélum, auk þess sem gróðursetningar í næsta nágrenni mynda hagstæðari aðstæður.

Þjórsárdalur hefur verið nefndur Pompeii Íslands af fræðimönnum, þar sem yfir svæðið hafa gengið hamfarir af völdum eldgosa með reglulegu millibili, og þá sérstaklega á fyrri öldum (Dugmore og fleiri, 2007).

Stærsta öskulag frá Heklugosi kallast H3 og kemur frá gosi fyrir 2900 árum. Sennilega varð mikið en staðbundið tjón á gróðri við gosið og talið er að uppblástur á svæðinu hafi verið lítill en nær stöðugur fram að landnámi (Haukur Jóhannsson og Sigmundur Einarsson, 1990). Svokallað Landnámslag liggur ofan H3, en það er rakið til ársins 900 og á upptök í gosi á Veiðivatna- og Torfajökulssvæðinu. Landnámslagið er ekki þykkt á þessu svæði, en talið er að það hafi þó haft einhver áhrif á uppblástur ásamt búsetu manna (Haukur Jóhannsson og Sigmundur Einarsson, 1990). Heklugos árin 1104 og 1399 eru talin hafa haft hvað mestu áhrif á byggð í Þjórsárdal. Gróður tók misvel við sér á milli þessara tveggja gosa og er landslag þar helsti áhrifaþátturinn (Dugmore og fleiri, 2007). Á sumum stöðum hefur myndast þykkt jarðvegslag, en á öðrum stöðum hefur gróðurpekja ekki myndast vegna veðurfarsaðstæðna, jarðvegsrofs og beitar eða annarar landnýtingar (Dugmore og fleiri, 2007). Heklugos seinni tíma hafa einnig haft töluverð áhrif á gróðurfar í Þjórsárdal. Frá árinu 1970 til ársins 2000 voru gos með 10 ára millibili og það mesta af þeim var árið 1970 (Þorvaldur Þórðarson og Guðrún Larsen, 2007). Frá þessum gosum er sá sandur kominn sem liggur yfir Þjórsárdal í dag (Þorvaldur Þórðarson og Guðrún Larsen, 2007).

Heklugos voru ekki þau einu sem höfðu áhrif í dalnum, Kötlugos árin 1721 og 1918 höfðu minniháttar áhrif innan dalsins og skildu eftir sig um 0,5-1 cm lag (Friðþór Sigurmundsson, og fleiri 2014). Eldgos úr Lakagígum stóð yfir í átta mánuði árið

1783-84 og hafði einnig einhver áhrif í dalnum (Friðþór Sigurmundsson og fleiri, 2014). Jarðvegur svæðisins er þannig mikið til myndaður af gjóskulögum.

Ofnýting manna á svæðinu ásamt húsdýrabeit, veldur því að gróðurinn nær síður að halda velli þegar öskulög leggjast yfir svæðið. Mikilvægi skóga er því mikið á svæðinu, þar sem hávaxnari gróður stendur betur að vígi og getur haldið aftur af jarðvegsrofi í kjölfar öskufalls (Ólafur Arnalds, 2013).

Uppruni og líffræði alaskalúpínu

Náttúrulegt útbreiðslusvæði alaskalúpínu er frá Kyrrahafsströnd, frá Bresku-Kólumbíu í Kanada og til suðurhluta Alaska. Í heimkynnum sínum takmarkast útbreiðsla hennar helst vegna samkeppni við hávaxnari plöntur eins og runna og tré (Borgþór Magnússon, 1995).

Alaskalúpína fjölgar sér fyrst og fremst með fræi, en hún getur einnig myndað rótarskot sem er þó mun sjaldgæfari dreifingarmáti. Hún er fær um sjálfsfrævon í allt að 70% tilfella. Hér á landi eru hunangsflugur líklega eina fluguættkvíslin sem getur hjálpað til við að bera frjó á milli plantna/blóma (Borgþór Magnússon, 1995). Fyrstu tvö æviár alaskalúpínunnar fara fyrst og fremst í að mynda góða forðarót til að tryggja vöxt og efla vetrarþol til komandi ára. Blómgun og fræmyndun hefst yfirleitt við þriggja ára aldur. Frá þriðja ári hefst fjölgun stöngla og hæðarvöxtur eykst einnig. Síðari hluta sumars myndast brum við stöngulenda niður við rótarhaus. Brumin leggjast í dvala með rötinni yfir veturinn og hefja svo vöxt að vori (Borgþór Magnússon, 1995).

Niturbindandi bakteríur í rótarhnyðum gera það að verkum að lúpínan er fær um að vaxa í annars næringarsnauðum/ófrjóum jarðvegi. Kjöraðstæður hennar eru raskað land þar sem hún græðir upp og eykur næringu í jarðvegi. Lúpínan vaknar snemma á vorin og hefur þannig forskot á margar aðrar plöntutegundir (Borgþór Magnússon, 1995).

Fræframléiðsla er mikil og eru fræin langlíf. Þannig getur fræ geymst í jarðvegi til lengri tíma, sem svo skýtur rötum þegar rask eða æskilegar aðstæður skapast á svæðinu. Til þess að þetta gerist þarf bakteríusmit einnig að vera á svæðinu, en rótarhnyðisbakteríurnar mynda ekki dvalargró sem þannig getur hamlað vöxt og dreifingu lúpínunnar (Borgþór Magnússon, 1995).

Á Íslandi er dreifing hennar og vöxtur misjafn eftir landshlutum. Á Suðurlandi verður hún hávaxnari og myndar oft samfelldar breiður, en á norðurlandi er hún lágvaxnari og nær minni þekju. Úrkoma er sá áhrifaþáttur á vöxt og þekju sem skilur svæðin einna helst að (Borgþór Magnússon og fleiri, 2001).

Umhverfisáhrif alaskalúpínu

Kjöraðstæður alaskalúpínu er raskað og næringarsnautt eða næringarlítið land, eins og fram hefur komið. Nóg er af þess konar svæðum hér á landi og á hún þar af leiðandi frekar greiðann aðgang að sínu kjörlendi og vaxtarmöguleikar hennar því nokkuð góðir hér á landi (Borgþór Magnússon og fleiri, 2001). Hér á landi hefur alaskalúpína verið nokkuð umdeild, helsta deilumálið hefur snúist um að hún getur dreift sér inn á nokkuð gróin svæði (Sigurður Arnarson, 2014). Með tímanum er alaskalúpínan þannig fær um að breyta gróðursamsetningu svæða, með því að breyta gróðursamsetningu (Borgþór Magnússon og fleiri, 2001). Plöntutegundum á svæðum sem lúpína fer yfir fækkar í mörgum tilfellum tímabundið, en með tíð og tíma fjölgar þeim að nýju ásamt því sem líffræðilegur fjölbreytileiki eykst með meiri frjósemi og aukinni frumframleiðslu innan svæðisins (Sigurður Arnarson, 2014).

Þegar kemur að fuglalífi, má sjá jákvæð áhrif lúpínu þegar borið er saman við graslendi og auðnir á suðurlandi (Tómas Grétar Gunnarsson og Guðný Halldóra Indriðadóttir, 2009). Í rannsókn frá árinu 2009, sýndu niðurstöður að þúfutittlingur, hrossagaukur og stelkur voru margfalt fleiri innan lúpínusvæða en utan þeirra. Þessa þrjú fugla var að finna í mestum fjölda í þéttri lúpínu, þúfutittling og hrossagauk var að finna þar sem lúpína var gísín. Í graslendi var aðeins að finna þúfutittling en enga þessara fugla var að finna í melgresi og á auðnum (Tómas Grétar Gunnarsson og Guðný Halldóra Indriðadóttir, 2009). Rannsókn frá árinu 2011, kemst að sambærilegri niðurstöðu (Brynja Davíðsdóttir, 2013). Auk þess sem tíðni ýmissa fuglategunda var mæld, var skordýralíf einnig skoðað. Finna mátti bein tengsl á milli skordýrategunda og fugla, þar sem aukið skordýraframboð eykur fjölda tiltekinna fuglategunda (Brynja Davíðsdóttir, 2013).

Saga alaskalúpínu á Íslandi

Alaskalúpína kemur fyrst til landsins árið 1885 með Schierbeck landlækni sem gerði tilraunir til jurtaræktunar. Talið er að fræið hafi komið frá Noregi. Þessi ræktun fór fram í Reykjavík og hafði hann fleiri tegundir lúpínu sem voru ýmist af amerískum eða evrópsum uppruna (Borgþór Magnússon, 1995). Hún var ræktuð í Reykjavík árið 1910 (Einar Helgason, 1911), og hana er mögulega enn að finna í gördum í Reykjavík (Borgþór Magnússon, 1995).

Árið 1945 flutti Hákon Bjarnason, þáverandi skógræktarstjóri, frá og nokkrar rætur alaskalúpínu með sér til landsins frá Alaska, nánar tiltekið frá College-firði, þar sem hann sá möguleika plöntunnar til þess að græða upp raskað eða illa farið land. Af þessari sendingu er sú lúpína upp komin sem finna má í dag í öllum landshlutum (Borgþór Magnússon, 1995).

Frá þeim tíma (1945) hefur lúpína mest verið notuð til landgræðslu. Hún hefur einnig verið reynd til fæðis og beitar en ekki gengið vel, þar sem alaskalúpínan hefur hátt beiskjuinnihald og tréni sem gengur ekki vel í sauðfé í miklum mæli (Borgþór Magnússon, 1995).

Árið 1986 var alaskalúpínu sáð í 12 ha frækur á Stórólfsstöðum í Rangárvallasýslu. Er það fyrsta dæmið um ræktun alaskalúpínu til nytja og hefur frá meðal annars verið selt til Alaska þar sem það er notað til uppgræðslu (Borgþór Magnússon og fleiri, 2001). Frækrar voru einnig á Geitasandi, Skógasandi og við Hvolsvöll og var Landgræðslan þar með orðin nær sjálfbær í öflun lúpínufræs til noktunar í verkefnum sínum. Eftir 1990 var alaskalúpínan mikið notuð af þeirra hálfu við uppgræðslu rofinna svæða og mela á Geitasandi, Þorlákshöfn, Hólasandi og Mýrdalssandi svo eitthvað sé nefnt (Friðrik G. Olgeirsson, 2007).

Staða þekkingar á alaskalúpínu á Íslandi

Alaskalúpína hefur lítið verið rannsökuð á sínum heimaslóðum (Alaska og Kanada) og því eru rannsóknir á henni mikilvægar hér á landi til að kynnast líffræði, hegðun, dreifingu og fleiri þáttum. Þessa þætti er mikilvægt að þekkja svo hægt sé að nota hana á uppbyggilegan hátt í íslenskri náttúru og kynnast kostum hennar og göllum til að átta sig á hegðum tegundarinnar til lengri tíma lítið.

Landgræðsla ríkisins í samstarfi við Skógrækt ríkisins og Rannsóknarstofnun landbúnaðarins fengu sameiginlega úthlutað fjárveitingu frá Alþingi árin 1987-1991 meðal annars til rannsókna á lúpínu. Landgræðslan hefur einnig stundað ýmsar rannsóknir á alaskalúpínu og meðal þess sem þar hefur verið skoðað eru heppilegar sáningaraðferðir og sáningartími (Sigurður Greipsson og H. El-Mayas, 2003).

Á árunum 1987-1993 voru rannsóknir gerðar á vexti alaskalúpínu í Keldnaholti, Korpu og í Þjórsárdal (Borgþór Magnússon, 1995). Í grófum dráttum voru niðurstöðurnar þær að vaxtartími hennar er frá því snemma í maí og til loka september eða þar til frystir. Blómgun hefst í kringum mánaðarmót maí/júní og getur staðið fram í júlí mánuð. Aldinþroskun er í júlí og ágúst en getur hafist í júní og staðið yfir fram í september. Frædreifing hefst í ágúst og stendur fram í október (Borgþór Magnússon, 1995).

Á árunum 1987-1989 var gerð rannsókn á nýtingu alaskalúpínu til fódurs og beitar. Slegið var á þremur mismunandi tímum yfir sumartímann til að skoða endurvöxt. Niðurstöðurnar sýndu að sláttur um mánaðarmótin júní/júlí hefur neikvæð áhrif á stöngulfjölda næstu ára, en meiri aukning stöngla var hjá plöntum sem voru slegnar í ágústbyrjun. Ef nýta á lúpínu til fódurs er þannig mikilvægt að slá snemma vors eða í ágúst en ekki um mánaðarmót júní/júlí. Ef stefnt er á að hamla vexti og dreifingu er best að slá um mánaðarmót júní/júlí. Hins vegar hefur beit allt önnur áhrif á endurvöxt en sláttur, þar sem við slátt eru allir tillífandi vefir fjarlægðir en við beit er plantan aðeins „löskuð“ að hluta til og heldur ljóstillífunargetu að einhverju marki (Borgþór Magnússon, 1995).

Árin 1988-1993 fóru fram rannsóknir á 15 stöðum víðsvegar um landið á gróðurframvindu í lúpínubreiðum (Borgþór Magnússon og fleiri, 2001). Rannsakaðir voru alls 93 reitir, þar sem tegundafjöldi var skráður. Reitirnir voru ýmist í þéttri lúpínu, að hluta til innan lúpínu eða allur utan við lúpínu en í næsta nágrenni við lúpínubreiðu. Alls fundust 269 plöntutegundir í reitunum. Algengustu tegundirnar voru alaskalúpína, túnvingull (*Festuca richardsonii*), blásveifgras (*Poa glauca*), blávingull (*Festuca vivipara*) og mosategundin móasigð (*Sanionia uncinata*). Birki fannst í 17 reitum, algengast var að þeir reitir væru í rýru mólendi eða í lyngmóa, dæmi voru þó um ungplöntur birkis innan lúpínubreiða og þá helst norðanlands. Reitir á Ytrafjalli skáru sig frá öðrum með háu hlutfalli birkis. Í Vaðlareit var talið líklegt að birkið hafi verið komið inn áður en lúpínan kom inn á svæðið og hafi náð að halda

velli (Borgþór Magnússon og fleiri, 2001). Í stuttu máli var niðurstaðan sú að tegundafjöldi varð minni þar sem lúpínan myndaði þéttar breiður. Tegundafjölbreytni innan lúpínureita var minni en í mólendi og oftast einnig minni en í melareitum. Töluverður munur var á milli landshluta og varð gróður oftast einsleitari í reitum sunnanlands en á norðurlandi.

Alaskalúpína í skógrækt

Tilraunir hafa verið gerðar með að nýta alaskalúpínu til skógræktar hérlendis. Í tilraun á Markarfljótsaurum var 12 ára gamall lúpínuakur sleginn og gróðursett í hann árið 1997. Birki, stafafuru (*Pinus contorta*) og sitkagreni (*Picea sitchensis*) var plantað og vour mismunandi áburðarmeðferðir prófaðar. Svæðið var gróflega jarðunnið og gróðursett var í rákir með mismikilum þéttleika lúpínu. Lifun allra tegunda var mjög góð og hafði þéttleiki lúpínunnar meðal annars jákvæð áhrif á þvermálsvöxt birkis og furu (Hreinn Óskarsson og Aðalsteinn Sigurgeirsson, 2004).

Rannsóknir Ásu L. Aradóttur (2000) sýndu fram á að birki átti litla möguleika á að vaxa upp af fræi í þéttum lúpínubreiðum. Tilraunareitir voru ýmist í þéttri lúpínu, í jaðri hennar, í sleginni eða utan við lúpínu. Bæði sáning og gróðusetning birkis fór fram í öllum gerðum reita á fjórum stöðum um landið. Besta útkoman var þar sem lúpína hafði verið slegin, bæði hvað varðar sáningu og gróðusetningu. Lakari lifun gróðursettra plantna kom fram í þéttri lúpínu og einnig á bersvæði. Hegðun lúpínu eftir landshlutum (úrkoma) var þar með staðfest þar sem lúpínubreiður ná ekki sama þéttleika norðanlands og var lifun betri innan lúpínubreiða á norðurlandi. Draga má þá ályktu að áhrif lúpínu á trjáplöntur séu háð aldri lúpínunnar og vaxtarskilyrðum (Ása L. Aradóttir, 2000).

Tilraun með gróðusetningu birkis í mismunandi landgerðir á Hekluskógasvæðinu var gerð árið 2006. Meðal landgerða voru lúpínusáningar, melgresissáningar og misgamlar grassáningar. Þar varð niðurstaðan sú að bæði lifun og hæðarvöxtur birkisins voru lökust í lúpínureitunum (Páll Sigurðsson og Hreinn Óskarsson, 2011). Mikil var af ertuyglu (*Melanchra pisi*) árin 2007-2009, sem getur útskýrt þessa slöku frammistöðu í lúpínureitunum (Páll Sigurðsson og Hreinn Óskarsson, 2011).

Bjarni D. Sigurðsson lagði út tilraun árið 2002 í Öræfasveit með gróðusetningu alaskaaspar (*Populus trichocarpa*), alaskavíðis (*Salix alaxensis*) og gulvíðis (*Salix*

phyllicifolia). Stiklingar af þessum tegundum voru mis langir og var stungið í lúpínubreiður og hálfgróna mela. Hæðarvöxtur var betri hjá öllum gerðum innan lúpínu heldur en utan hennar. Toppkal var yfirleitt meira utan lúpínureita, en stuttir stiklingar virtust kala frekar innan lúpínu en utan. Lifun var aftur á móti betri á melum en innan lúpínunnar. Niðurstaða tilraunarinnar var sú að besta lifun var með löngum stiklingum sem gróðursettir voru djúpt innan lúpínunnar. Lifun stjórnað þannig ekki aðeins af samkeppni um ljós, heldur ekki síður um mikilvægi öflugss rötarkerfis sem liggur djúpt í jarðveginum (Bjarni Diðrik Sigurðsson, 2005).

Þessi samantekt tilraunaniðurstaðna gefur nokkra yfirsýn yfir stöðu þekkingar héraendis. Áhrif lúpínu eru annars vegar þau að hún auðgar jarðveg með nitri sem hefur jákvæð áhrif á vöxt trjáplantna. Hins vegar dregur hún úr möguleikum smærri plantna, þar sem mikil samkeppni verður um ljós og rými. Margt í þessum niðurstöðum sýnir að með réttri ræktunartækni er mögulegt að bæta árangur í skógrækt með nýtingu lúpínu.

Notkun áburðar í skógrækt

Jarðvegur á sunnanverðu landinu er að miklu leiti ungur eldfjallajarðvegur sem oft reynist erfitt að græða upp, meðal annars vegna veðurfarsaðstæðna og er vindrof ein algengasta orsök erfiðleikanna (Elín Fjöla Þórarinsdóttir og Ólafur Arnalds, 2012).

Takmarkað magn niturs (N) og takmarkað aðgengi plantna að fosfór (P) í íslenskum jarðvegi er talin vera ein helsta hindrun í vexti trjáplantna héraendis (Hreinn Óskarsson og Aðalsteinn Sigurgeirsson, 2001). Það gerir notkun áburðar mikilvægann þátt í nýskógrækt. Frostlyfting er annar stór áhrifaþáttur í uppgræðslu og ekki síður í nýskógrækt (Hreinn Óskarsson og fleiri, 2006). Áburðagjöf á rýrum jarðvegi hefur jákvæð áhrif á myndun jarðvegsskánar (Ása L. Aradóttir, 1995). Jarðvegsskánin minnkar líkur á frostlyftingu sem hefur þannig jákvæð áhrif á lifun og vöxt trjáa (Hreinn Óskarsson og fleiri, 2006).

Hreinn Óskarsson og fleiri lögðu út tilraun árið 1995 á tveimur stöðum á Suðurlandi, í Haukadal og við Mosfell. Gróðursett var birki, síberíulerki (*Larix sibirica*) og sitkagreni í jarðunnið land og fengu plönturnar mismunandi áburð tveimur vikum eftir gróðursetningu. Mælingar fóru fram árlega í sex ár, þar sem skráð var lifun, frostlyfting og hæðarvöxtur. Niðurstöður tilraunarinnar gáfu skýrt til kynna mikilvægi

áburðar til að bæta lifun og hæðarvöxt trjáa eftir gróðursetningu í eldfjallajarðvegi. Vöxtur trjáa var allt að 7-15 sinnum betri með áburði borið saman við viðmiðunarreiti sem voru án áburðar (kontrol). Of stór skammtur af nitri jók afföll. Sú áburðarmeðferð sem kom best út var hægleysanlegur áburður sem leysist upp á 8-9 mánuðum (Osmocote) og inniheldur 18% N, 5% P og 8% K. Blákorn kom einnig mjög vel út í mörgum tilfellum en hann inniheldur 12% N, 5% P og 14% K auk þess að hafa Ca, S, Mg og B (Hreinn Óskarsson og fleiri, 2006).

Magn N og P í áburði skipta máli í áburðagjöf og henta mismunandi hlutföll, mismunandi jarðvegsgerðum. Rannsóknir Hreins Óskarssonar og Guðmundar Halldórssonar (2008) leiddu í ljós að í frjósömu landi höfðu stórir skammtar af N og P lítil áhrif á hæðarvöxt birkis í samanburði við minni skammta. Á rýru landi var hins vegar betri vöxtur eftir því sem skammtarnir voru stærri (Hreinn Óskarsson og Guðmundur Halldórsson, 2008). Á rýru landi var vöxtur á fyrsta ári eftir gróðursetningu bestur hjá þeim plöntum sem fengu 2-8 g N. Á öðru og þriðja vaxtarári var hann bestur hjá þeim sem fengu hámarksskammt sem innihélt 8 g N og 10,6 g P (Hreinn Óskarsson og Guðmundur Halldórsson, 2008). Í þessari tilraun kom í ljós að allar áburðarmeðferðir skiludu betri árangri en í viðmiðunarreitum (enginn áburður), bæði á rýru og frjósömu landi.

Markmið verkefnis

Markmið þessa verkefnis er tvíþætt. Annars vegar að svara spurningu um hver langtímaáhrif alaskalúpínu eru á vöxt og lifun birkis á sendnu uppgræðslusvæði og hins vegar að skoða langtímaáhrif mismunandi áburðarmeðferða við gróðursetningu með tilliti til lifunar og vaxtar birkiplantna. Rýnt er í áhrif sem alaskalúpína hefur á vöxt birkis á þeim svæðum þar sem hún er nýlega komin inn í tilraunareiti. Eins er gerður samanburður á milli ára hvað varðar lifun og vöxt. Rannsóknarspurningarnar eru tvær:

1. Hver eru langtímaáhrif alaskalúpínu á lifun og vöxt birkis?
2. Hver eru langtímaáhrif áburðarmeðferða á lifun og vöxt birkis í lúpínubreiðu og í illa grónu landi utan hennar?

Til þess að svara þessum spurningum er unnið með mæligögn frá árunum 2003, 2006 og 2014 úr tilraunareitum í Þjórsárdal.

2. Efni og aðferðir

Uppsetning tilraunar

Tilraunareitir voru lagðir út í Þjórsárdal árið 2002 af starfsmönnum Skógræktar ríkisins (1. mynd). Birki úr 40 gata bökkum (93 ml rótarrými), var plantað annars vegar í lúpínubreiður og hins vegar á sandsvæði þar sem lúpína var ekki til staðar.

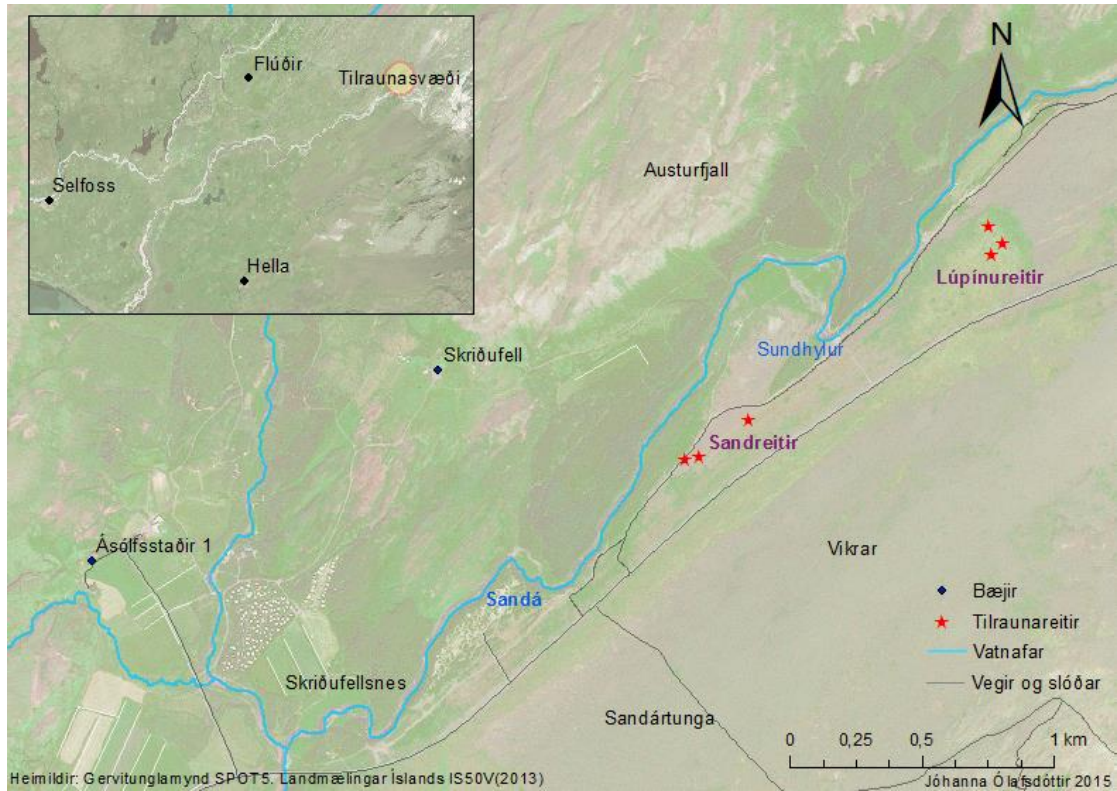
Tilraunin telur sex blokkir, þrjár innan lúpínusvæðis (blokkir 1-3) og aðrar þrjár á sandsvæði (blokkir 4-6). Staðsetningu blokkanna má sjá á 2. mynd. Innan hvorrar blokkar eru 16 smáblokkir með mismunandi meðferðum og gróðursett voru 50 tré í hverja smáblokk. Hver smáblokk er 5 x 10 m að stærð og er einn metri á milli



1. mynd. Frá gróðursetningu tilraunareita í grasgefinn lúpínufláka 2002. Ljósmynd Hreinn Óskarsson

plantna. Trén innan hvorrar smáblokkar voru gróðursett í fimm röðum með tíu trjám í hverri röð og hvert þeirra með sitt númer frá 1-50. Í hverja blokk var plantað 800 plöntum eða samtals 4800 trjám í alla tilraunina.

Í hverja smáblokk var sett ein eftirfarandi meðferða eða mismunandi samsetning þeirra: a) áburðadreifing, þar sem 10 g af Blákorni var dreift í 15 cm hringferil umhverfis hverja plöntu; b) áburð í plöntuhnaus, 5 korn af Blákorni (0,17 g) voru sett í hnausinn á undan gróðursetningu; c) svepprótasmit og d) Glycine beatine, efni sem ýmsar plöntur framleiða til að auka stressþol gegn salti, þurrki, hita og frosti. Hvorug síðustu tveggja meðferðanna (c og d) eru notaðar í þessari úrvinnslu á tilrauninni. Fimmtán mismunandi meðferðarliðir urðu til úr samsetningum þessara meðferða og sextánda smáblokkinn var viðmiðunarreitur (kontrol) þar sem engin af ofangreindum meðferðum var til staðar. Meðferðarliðum var raðað tilviljunarkennt innan hvorrar blokkar og allir koma einu sinni fyrir innan hvorrar blokkar.



2. mynd. Staðsetning tilraunareitanna í Þjórsárdal

Mælingar

Mælingar sumarið 2014 fóru fram á 13 dögum á tímabilinu frá 2. júní til 9. ágúst (3. mynd). Farið var inn í hverja blokk og hvert gróðursett tré skráð. Skráningin fólst í því að meta hvort tré væru lifandi eða ekki, og hvert tré var hæðarmælt. Í sandreitum eru lúpínur nýlega farnar að nema land, en þar var skráð hvort lúpína væri innan 30 cm fjarlægð frá stofni plöntu eða ekki, til að reyna að meta áhrif lúpínanna á vöxt birkisins.



3. mynd. Einn af birkireitum tilraunarinnar í lúpínu í júní 2014. Ljósmynd Úlfur Óskarsson

Innan hvernar smáblokkar voru fimm úrtakstré, sem valin voru af handahófi við gróðursetningu. Í tilrauninni allri voru því 480 úrtakstré samtals. Úttekt á lifun og hæð þessara trjáa var framkvæmd árin 2003, 2005, 2006 og 2009. Í fyrri úttektum voru aðeins valdar smáblokkir mældar, en mælingin 2014 tók til allra smáblokka. Úrtakstré voru skráð með sama hætti og önnur tré, en til viðbótar voru þau þvermálsmæld við rótarhál, lengd árssprota 2014 mældur og lengd kals 2013 skráð ef það var til staðar.

Úrvinnsla

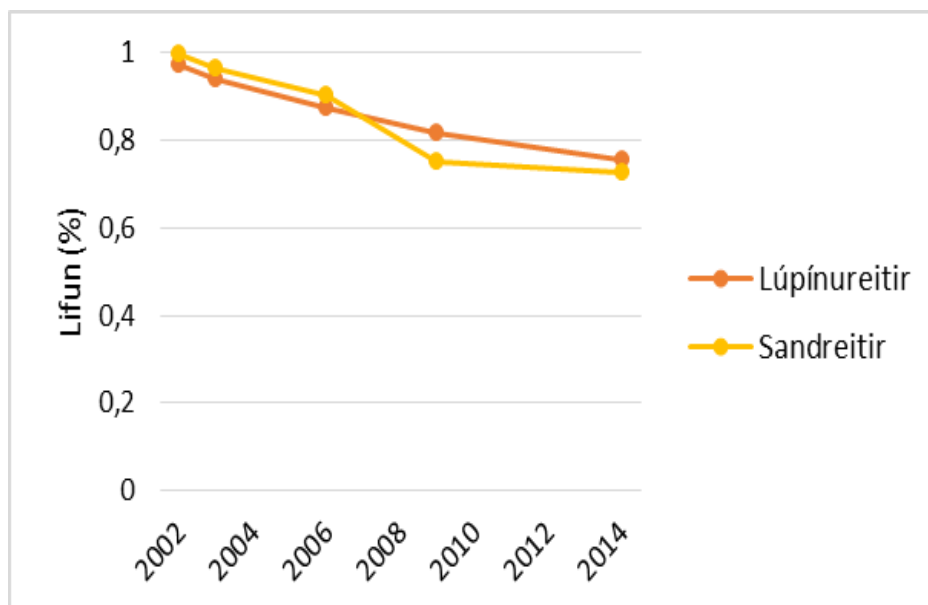
Unnið var úr mæligögnum í Excel og SAS-tölfræðiforritinu (Enterprise Guide 6.1.; SAS 2013). Þar sem gögn fyrri ára höfðu ekki að geyma mælingar allra meðferðaliða, var gagnasafnið skorið niður og fjórum meðferðarliðum haldið eftir sem allir höfðu verið mældir á fyrri árum. Mælingar úr fjórum meðferðarliðum voru þannig teknar sérstaklega út og miðast niðurstöðurnar við þá liði. Meðferðaliðirnir sem teknir eru fyrir eru (1) áburður í rótarhnaus, (2) áburðardreifing, (3) áburður í rótarhnaus og áburðardreifing og (4) viðmiðunarreitir (kontrol) þar sem engin áburðarmeðferð var til staðar.

Samanburður á lifun og hæð á milli lúpínu- og sandreita var gerður í SAS með nested ANOVA. Factorial ANOVA var svo notuð við samanburð á áburðarliðum annars vegar innan lúpínureita og hins vegar innan sandreita. Meðalhæð þeirra trjáa í sandreitum sem höfðu lúpínu í næsta nágrenni var borin saman við meðalhæð annara trjáa í Excel. Töflur, línurit og súlurit voru unnin í Excel.

3. Niðurstöður

Lifun birkiplantna árið 2014 reyndist vera 74 % í heildarúrtakinu. Marktækur munur var á lifun innan reita með lúpínu og í sandreitum ($p < 0,001$, $F_{1, 119} = 1468,32$). Innan lúpínureita var 75,5 % lifun en 72,6 % lifun í sandreitum. Þegar lifun milli blokka var skoðuð, kom í ljós mikill marktækur breytileiki ($p < 0,0001$, $F_{5, 4794} = 117,42$). Sem dæmi um lifun í lúpínureitum var blokk 1 með 79,6 % lifun og í sandreitum var blokk 4 með 47,2 % lifun.

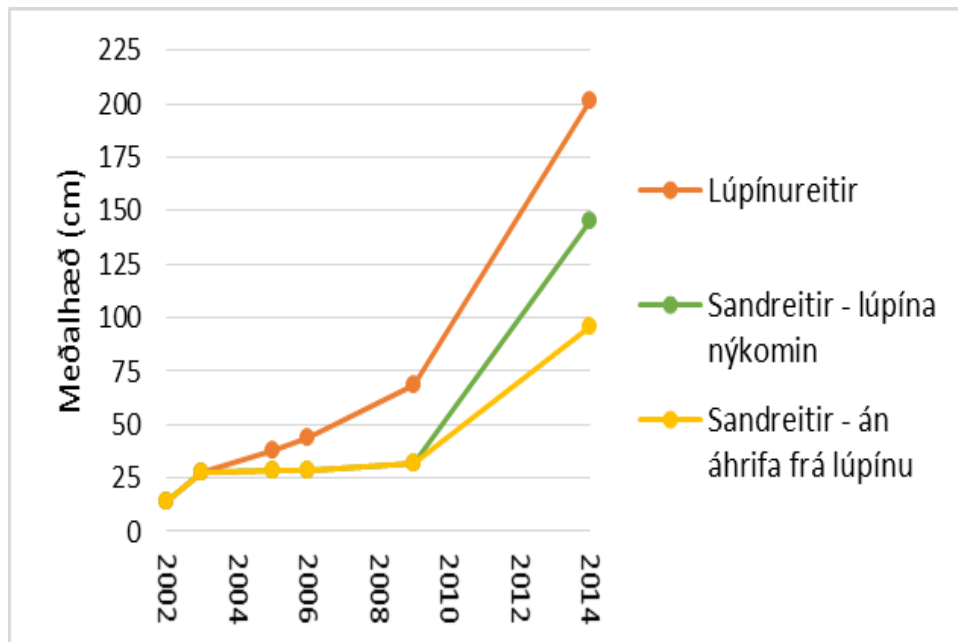
Á 4. mynd má sjá þróun lifunnar frá gróðursetningu, annars vegar í lúpínureitum og hins vegar í sandreitum. Lifunin var svipuð framan af ævi en á milli árunna 2006 og 2009 jókst munurinn milli lúpínu- og sandreita, sandreitunum í óhag.



4. mynd. Lifun birkiplantna milli ára í lúpínureitum og sandreitum.

Meðalhæð allra trjáa (2014) innan lúpínureita var 205,4 cm, en 117,1 cm í sandreitum. Marktækur munur var á hæð trjáa 2014 á milli lúpínureita og sandreita ($p < 0,0001$, $F_{1, 3554} = 16271,1$). Hæðarvöxtur fór frekar hægt af stað eftir gróðursetningu, þróun hæðar var næstum línuleg í lúpínureitum fram til 2009 en nánast engin hæðaraukning í sandreitum á sama tíma. Frá 2009 og fram til 2014, jókst vaxtarhraði innan beggja svæðanna umtalsvert (5. mynd).

Árið 2014 var í fyrsta sinn skrásett hvar lúpína var komin inn í sandreiti. Með þeim gögnum má sjá hve lúpínan hefur jákvæð áhrif á hæðarvöxt þeirra plantna sem eru komin með lúpínu í næsta nágrenni innan sandreita og var hæðaraukning þeirra sambærileg þeirri sem gerist innan lúpínureitanna. Þar sem lúpínan var komin inn í sandreiti var meðalársvöxtur 21 cm árið 2014, en þar sem lúpína var ekki til staðar var meðalársvöxtur 11 cm. Meðalhæð úrtakstrjáa má sjá á 5. mynd, þar sem meðalhæð innan sandreita er tvískipt út frá því hvort lúpína sé til staðar eða ekki. Úrtakstré árið 2014 innan sandreita voru 233 talsins og þar af voru 39 með lúpínu í næsta nágrenni við sig.



5. mynd. Þróun meðalhæðar úrtakstrjáa birkis á milli ára í lúpínureitum og sandreitum. Sandreitir þar sem lúpínur hafa sáð sér nýlega inn eru sýndir sérstaklega.

Samanburður á áburðarmeðferðum leiddi í ljós að marktækt betri lifun var til staðar innan sandreita árin 2006 og 2014 þar sem plöntur fengu aðeins áburð í plöntuhnaus (Tafla 1 og 6. mynd). Þessi sami meðferðarliður var hins vegar marktækt betri þegar kom að hæðarvexti í lúpínureitum árin 2006 og 2014 (Tafla 1 og 7. mynd). Þar sem plöntur fengu áburðardreifingu á yfirborði reyndist marktækt betri lifun í sandreitum árin 2003 og 2006 (Tafla 1 og 6. mynd) og marktækur munur var á hæðarvexti þessara trjáa árin 2006 og 2014 (Tafla 1 og 7. mynd).

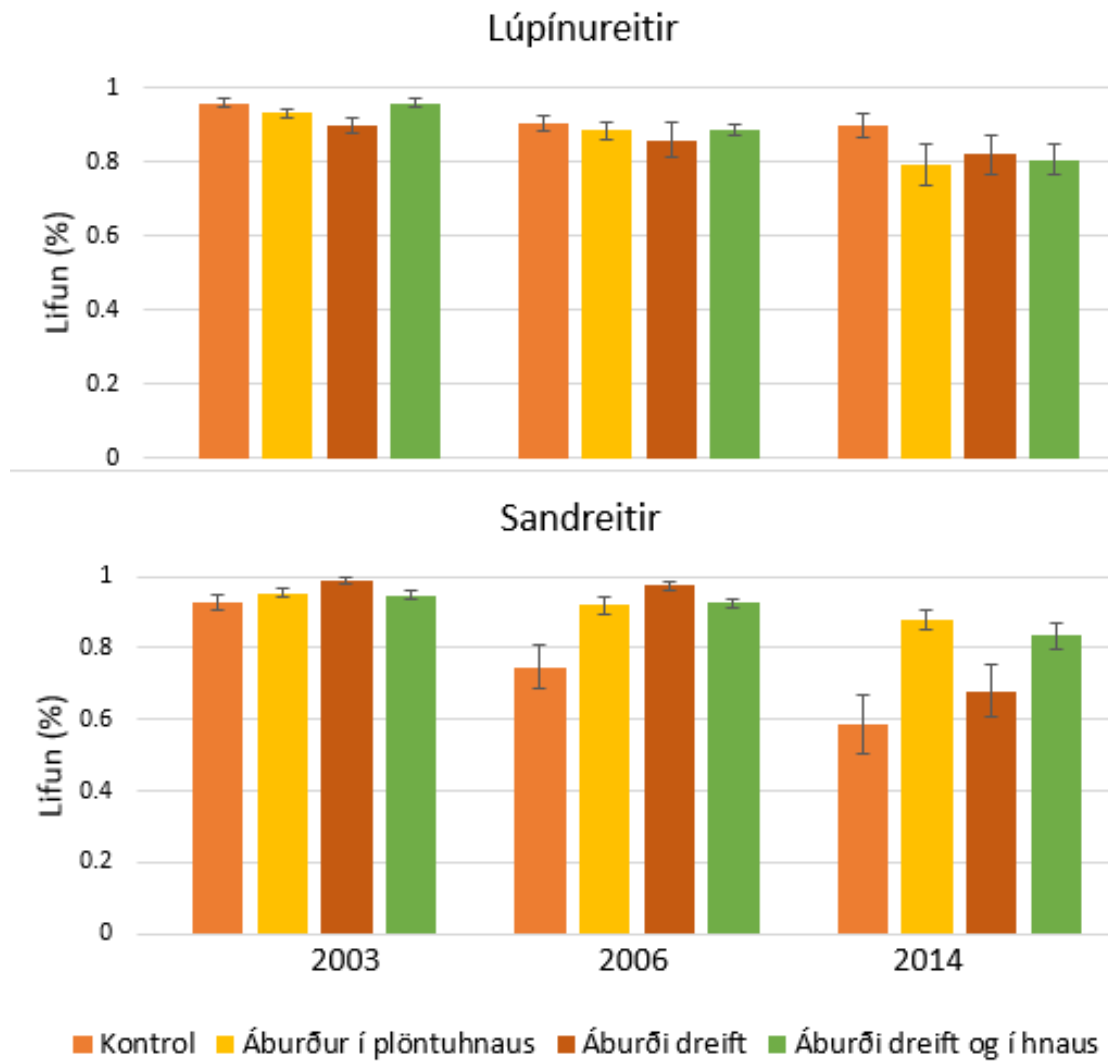
Í sandreitum var marktækur blokkamunur þegar horft er á lifun árin 2003, 2006 og 2014, árin 2006 og 2014 var einnig marktækur blokkamunur í lúpínureitum (sjá töflu 1). Þær plöntur sem fengu bæði áburðadreifingu og áburð í plöntuhnaus voru með marktækt betri lifun í sandreitum árin 2003 og 2006, í lúpínureitum var einnig marktækt betri lifun árið 2003 (Tafla 1 og 6. mynd). Hæðarvöxtur var einnig marktækur hjá þessari meðferð í lúpínureitum árið 2003 og í sandreitum árið 2014 (Tafla 1 og 7. mynd).

Árið 2014 var marktækur munur á milli blokka, bæði í sand- og lúpínureitum, hvað varðaði hæð og lifun (Tafla 1, 6. og 7. mynd).

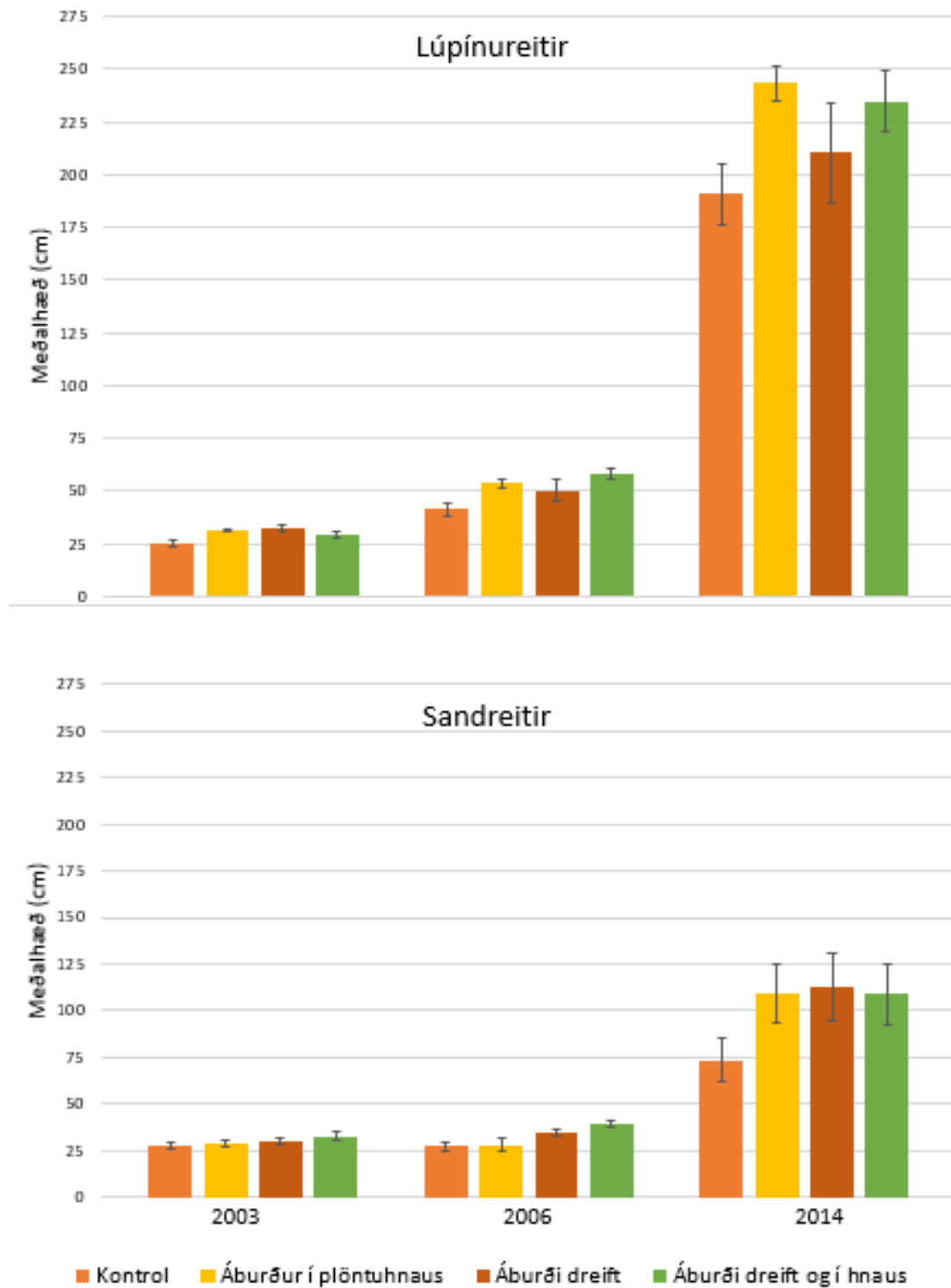
Tafla 1. F-gildi úr fervikagreiningu (ANOVA) af áhrifum meðferðaliða á hæð og lifun birkis í tilrauninni eftir árum. Áburðardreifing, 10 g af Blákorni, dreift í 15 cm radíus um plöntu. Áburður í plöntuhnaus, hver planta fékk 5 korn af Blákorni í plöntuhnaus. Áburði dreift og í hnaus, 5 korn af Blákorni í plöntuhnaus ásamt 10 g dreift í kringum plöntu.

	Þættir	Sandreitir		Lúpínureitir	
		Lifun	Hæð	Lifun	Hæð
2003	Áburðardreifing	3,81*	3,42 ^{óm}	1,28 ^{óm}	2,23 ^{óm}
	Áburður í plöntuhnaus	0,24 ^{óm}	1,18 ^{óm}	1,28 ^{óm}	0,79 ^{óm}
	Áburði dreift og í hnaus	5,06**	0,26 ^{óm}	8,64**	9,83**
	Blokk	5,42**	0,22 ^{óm}	1,43 ^{óm}	2,32 ^{óm}
2006	Áburðardreifing	17,68****	12,85****	0,8 ^{óm}	3,46 ^{óm}
	Áburður í plöntuhnaus	5,21*	1,28 ^{óm}	0,02 ^{óm}	8,17**
	Áburði dreift og í hnaus	15,72****	0,9 ^{óm}	0,8 ^{óm}	0,34 ^{óm}
	Blokk	16,29****	0,06 ^{óm}	8,41****	0,69 ^{óm}
2014	Áburðardreifing	0,23 ^{óm}	4,17*	0,69 ^{óm}	0,1 ^{óm}
	Áburður í plöntuhnaus	20,72****	2,74 ^{óm}	2,25 ^{óm}	6,69**
	Áburði dreift og í hnaus	2,04 ^{óm}	4,33*	1,36 ^{óm}	0,78 ^{óm}
	Blokk	14,8****	47,89****	11,82****	3,42*

^{óm}: Ómarktækt; *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ****: $p < 0,001$



6. mynd. Samanburður lifunnar birkis á milli ára og meðferða. Á bak við hverja súlu eru upplýsingar sem miðast við 150 gróðursett tré. Línur í súlum sýna staðalskekkju.



7. mynd. Samanburður meðalhæðar úrtakstrjáa birkis á milli ára og meðferða. Á bak við hverja súlu eru hæðarmælingar 15 trjáa. Línur í súlum sýna staðalskekkju.

4. Umræður

Niðurstöður þessarar tilraunar sýna marktækan mun á lifun birkitrjáa innan lúpínu og utan hennar. Fyrri rannsóknir hafa á tíðum gefið sömu niðurstöðu (Ása L. Aradóttir, 2000), en þó með áberandi meiri mun á milli svæða.

Ferill hæðarvaxtar frá gróðursetningu, gefur vísbendingar um langtímaáhrif lúpínunnar á hæðarvöxt. Þar sem lúpína hefur sáð sér inn í sandreiti er hæðarvöxtur að þróast á sama hátt og í lúpínureitum, sem staðfestir áhrif lúpínunnar á hæðarvöxt trjáanna. Niðurstöður Ásu L. Aradóttur (2000) sýna einmitt fram á besta hæðarvöxt innan lúpínubreiðu í Þjórsárdal í samanburði við slegna lúpínu, jaðarsvæði og svæði utan lúpínu. Niðurstaðan er því í góðu samræmi við rannsóknir Ásu L. Aradóttur.

Lúpínan sér plöntunum fyrir skjóli, auk þess sem hún er fær um að auka næringargildi jarðvegs með samlífi sínu við niturbindandi bakteríur. Betri hæðarvöxt innan lúpínureita má skýra með þessum bættu skilyrðum. Með því að bæta jarðvegsgæði, minnkar lúpínan einnig líkur á frostlyftingu sem er algengt vandamál í nýgróðursetningum í íslenskum jarðvegi.

Notkun áburðar í skógrækt hér á landi er töluverð og hafa rannsóknir sýnt fram á mikilvægi þess (t.d. Hreinn Óskarsson og Guðmundur Halldórsson, 2008). Tilbúin áburður sem inniheldur nitur, getur aukið líkur á kalskemmdum (Ása L. Aradóttir og Sigurður H. Magnússon, 1992). Nituráburður getur haft þau áhrif að brum springa fyrir út að vori og plantan vex lengra fram á haust og nær þá ekki að hausta sig tímanlega fyrir fyrstu frost (Ása L. Aradóttir og Sigurður H. Magnússon, 1992). Af þessu má draga þá ályktun að rétt magn áburðar sé mikilvægur þáttur. Í þessari tilraun kemur það skýrt í ljós að sá meðferðarliður sem kemur best út hvað varðar langtímaáhrif, er að gefa plöntunum áburð í plöntuhnaus. Innan lúpínu uxu trén best sem fengu áburð í hnaus fyrir gróðursetningu og í sandreitum lifðu þessar plöntur einnig betur í samanburði við aðrar meðferðir. Þannig má líta á að hvort heldur sé gróðursett innan eða utan lúpínu, sé þetta nægilegur skammtur fyrir plönturnar til að halda velli.

5. Ályktanir

Niðurstöðurnar sýna að hægt er að nýta lúpínubreiður til að koma upp birkiskógi með mjög góðum árangri. Afföll birkis voru minni innan lúpínu en utan hennar, auk þess sem hæðarvöxtur var meiri.

Hér á landi er nær undantekningarlaust stuðst við áburðargjöf í nýgróðursetningum með tilheyrandi kostnaði og er tilbúinn áburður algengastur.

Niðurstöður þessarar rannsóknar sýna að tilbúinn áburður í plöntuhnaus fyrir gróðursetningu getur verið heppileg leið til að koma birkiskógi á legg, án mikils tilkostnaðar. Aðferðin getur aukið lifun í næringarrýrum jarðvegi og innan lúpínu hefur hann jákvæð áhrif á hæðarvöxt plantnanna.

Þar sem áburði var dreift á yfirborð voru 10 g áætluð fyrir hverja plöntu. Nota má sama áburðarmagn til þess að tryggja afkomu hátt í 60 plantna með því að setja áburðinn í plöntuhnaus í stað þess að dreifa honum á yfirborð.

6. Heimildaskrá

- Ása L. Aradóttir. (1995). *Population biology and stand development of birch (Betula pubescens Ehrh.) on disturbed sites in Iceland (doktorsritgerð)*. Montana State University, Ann Arbor, MI: University Microfilms.
- Ása L. Aradóttir. (2000). Birki og lúpína: samkeppni eða samvinna? *Skógræktarritið* (1), bls. 49-57.
- Ása L. Aradóttir og Sigurður H. Magnússon. (1992). Gróðursetning til landgræðsluskóga 1990, úttekt á árangri. *Rit Mógilsár Rannsóknarstöðvar Skógræktar*, 3.
- Bjarni Diðrik Sigurðsson. (2005). Einföld aðferð til að koma aspar- eða víðiskógi í lúpínubreiður. *Skógræktarritið* 2005(1), bls. 33-41.
- Borgþór Magnússon. (1995). *Líffræði Alaskalúpínu (Lupinus nootkatensis): vöxtur, fræmyndun, efnainnihald og áhrif sláttar = Biological studies of Nootka lupine (Lupinus nootkatensis) in Iceland: growth, seed set, chemical content and effect of cutting*. Reykjavík: Rannsóknastofnun landbúnaðarins. Fjölrit RALA nr. 178.
- Borgþór Magnússon, Sigurður H. Magnússon og Bjarni Diðrik Sigurðsson. (2001). *Gróðurframvinda í lúpínubreiðum = Vegetation succession in areas colonized by the introduced Nootka lupin (Lupinus nootkatensis) in Iceland*. Reykjavík: Rannsóknastofnun landbúnaðarins. Fjölrit RALA nr. 207.
- Brynja Davíðsdóttir. (2013). *The effect of vegetation reclamation on birds and invertebrates in Iceland (meistararritgerð)*. Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri.
- Dugmore, A., Church, M. J., Mairs, K.-A., McGovern, T. H., Perdikaris, S. og Orri Vésteinsson. (2007). Abandoned Farms, Volcanic Impacts, and Woodland Management: Revisiting Þjórsárdalur, the "Pompeii Of Iceland". *Arctic Anthropology*, 44(1), bls. 1-11.

- Einar Helgason. (1911). Gróðrarstöðin í Reykjavík. *Búnaðarritið*, 31, bls. 189-201
- Elín Fjóla Þórarinsdóttir og Ólafur Arnalds. (2012). Wind erosion of volcanic materials in the Hekla area, South Iceland. *Aeolian Research*, 4, bls. 39-50.
- Friðrik G. Olgeirsson. (2007). *Sáðmenn sandanna - Saga landgræðslu á Íslandi 1907-2007*: Landgræðsla ríkisins.
- Friðþór Sigurmundsson, Guðrún Gísladóttir og Hreinn Óskarsson. (2014). Decline of Birch Woodland Cover in Þjórsárdalur Iceland from 1587 to 1938. *Human Ecology*, 42(4), bls. 577-590.
- Haukur Jóhannsson og Sigmundur Einarsson. (1990). Glefsur úr sögu hrauna og jarðvegs sunnan Heklu. Í Andrés Arnalds (ritstj.), *Græðum Ísland, Landgræðslan 1989-1990* (bls. 123-136): Landgræðsla ríkisins.
- Hreinn Óskarsson og Aðalsteinn Sigurgeirsson. (2001). Fertilization in Icelandic afforestation: Evaluation of results. *Scand. J. Forest Res.*, 16(6), bls. 536-540.
- Hreinn Óskarsson og Aðalsteinn Sigurgeirsson. (2004). Effects of fertilization on tree seedling establishment and growth in a lupin field in southern Iceland. Í E. van Santen og G. D. Hill (ritstj.), *Wild and cultivated lupins from the tropics to the poles: proceedings of the 10th International Lupin Conference, Laugarvatn, Iceland, 19-24 june 2002*. Canterbury: International Lupin Association.
- Hreinn Óskarsson, Aðalsteinn Sigurgeirsson og Karsten 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(1-3), bls. 88-97.
- Hreinn Óskarsson og Guðmundur Halldórsson. (2008). Initial fertilization of *Betula pubescens* in Iceland did not affect ectomycorrhizal colonization but improved growth. *Icelandic Agricultural Sciences* (21), bls. 15-29.
- Ólafur Arnalds. (2013). The influence of volcanic tephra (ash) on ecosystems. Í Donald L. Sparks (ritstj.), *Advances in Agronomy* (121, bls. 331-380): Elsevier.

- Páll Sigurðsson og Hreinn Óskarsson. (2011). Áhrif uppgræðslu á lifun og vöxt birkis. *Ársrit skógræktar ríkisins 2010*, bls. 52-55.
- SAS. (2013). SAS 6.1 for Windows. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Sigurður Arnarson. (2014). *Belgjurtabókin: tré, runnar og blómjurtir af ertublómaætt*. Selfoss: Sumarhúsið og garðurinn.
- Sigurður Greipsson og El-Mayas, H. (2003). Seed Set, Germination and Seedling Establishment in *Lupinus nootkatensis*. *Journal of New Seeds*, 5(4), bls. 1-15.
- Skógrækt ríkisins. (e.d.). Þjóðskógarnir. Skoðað 7. september 2015 á <http://www.skogur.is/thjodskogarnir/sudurland/nr/8>
- Tómas Grétar Gunnarsson og Guðný Halldóra Indriðadóttir. (2009). Effects of sandplain revegetation on avian abundance and diversity at Skogasandur and Myrdalssandur, South-Iceland. *Conservation Evidence*, bls. 98-104.
- Þorvaldur Þórðarson og Guðrún Larsen. (2007). Volcanism in Iceland in historical time: Volcano types, eruption styles and eruptive history. *Journal of Geodynamics*, 43(1), bls. 118-152.