

Nr 39/2020
ISSN 2298-9994

Rit Mógilsár

Rannsóknasviðs
Skógræktarinnar

Áhrif þéttleika við gróðursetningu
á vöxt og viðgang 15 ára rússalerkis
á Fljótsdalshéraði

Lárus Heiðarsson, Bjarki Þór Kjartansson,
Arnór Snorrason og Bjarni Diðrik Sigurðsson

Efnisyfirlit

ÚTDRÁTTUR	3
ABSTRACT	3
INNGANGUR	4
EFNI OG AÐFERÐIR	4
NIÐURSTÖÐUR	9
Hæðarvöxtur	9
Trjáfjöldi, áætluð afföll og aukastofnar	10
Þvermál	12
Bolrúmmál	13
Kolefnisbinding	15
Snemmgrisjun	16
Spá um framtíðar kolefnisbindingu	16
Tekjur af ræktuninni	18
UMRÆÐUR	21
Munur á milli staða	21
Áhrif upphafspéttleika á vöxt	21
Áhrif upphafspéttleika á framleiðni	22
Viðmiðunarpéttleiki	22
Afföll	22
Aukastofnar	22
Kolefnisbinding	23
Snemmgrisjun	23
Spá um framtíðar kolefnisbindingu	23
Tekjur af ræktuninni	23
LOKAORÐ	24
ÞAKKIR	24
HEIMILDIR	25

Rit Mógilsár 39 2020

Títill Áhrif þéttleika við gróðursetningu á vöxt og viðgang 15 ára rússalerkis á Fljótsdalshéraði

ISBN 2298-9994

Höfundar Lárus Heiðarsson, Bjarki Þór Kjartansson, Arnór Snorrason og Bjarni Diðrik Sigurðsson

Ábyrgðarmaður Edda S. Oddsdóttir

Ritnefnd Björn Traustason, Edda S. Oddsdóttir, Ólafur Eggertsson, Pétur Halldórsson

Textavinnsla og umbrot Pétur Halldórsson

Forsíðumynd Lerkiskógur í Fljótsdal, ljósmynd Pétur Halldórsson

Útgefandi Skógræktin

Öll réttindi áskilin

Áhrif þéttleika við gróðursetningu á vöxt og viðgang 15 ára rússalerkis á Fljótsdalshéraði

Lárus Heiðarsson, Bjarki Þór Kjartansson,
Arnór Snorrason og Bjarni Diðrik Sigurðsson

Útdráttur

Mældur var vöxtur og viðgangur rússalerkis í 15 ára gömlum tilraunareitum, staðsettum á fjórum stöðum á Fljótsdalshéraði, sem gróðursettir voru með mismunandi upphafspéttleika: 1.000, 2.000, 3.500 og 5.000 tré á hektara. Rússalerki er sú trjátegund sem mesternotudínytjaskógrækt á Norður-og Austurlandi og vex vel á rýru og rofnu landi. Niðurstöðurnar sýna að lítil samkeppni var enn um vaxtarrými 15 árum eftir gróðursetningu, óháð gróðursetningarpéttleika. Mikill munur var á vexti á milli staða sem skýrðist af ólíku skjólfari og jarðvegsskilyrðum á milli þeirra. Marktækur munur var á afföllum, meðalþvermáli og rúmmáli meðaltrés á milli staða en ekki á milli upphafspéttleika. Bæði afföll og fjöldi aukastofna minnkaði almennt með auknum upphafspéttleika. Einnig sýndu niðurstöður að marktækur munur var á yfirhæð á milli staða og upphafspéttleika. Framtíðar vaxtarspá sem var gerð sýndi að aukinn upphafspéttleiki (yfir 3.000 plöntur á hektara) skilar fyrst og fremst aukinni viðarframleiðslu í fáeina áratugi (undir 35 árum) í upphafi vaxtarlotunnar. Aukinn trjáfjöldi leiddi til hærri stofnkostnaðar og kostnaðar vegna snemmgrísjunar en ekki aukningar á nettótekjum. Niðurstöður okkar benda til þess að hagkvæmasti upphafspéttleiki í ræktun rússalerkis á Fljótsdalshéraði liggja á bilinu 2.500 til 3.000 plöntur á hektara. Til þess að fá nákvæmari niðurstöður væri nauðsynlegt að flétta saman ábata kolefnisbindingar og viðarnýtingar og meta þannig hámarksarðsemi ræktunarinnar. Einnig væri vert að rannsaka áhrif einingaverðs mismunandi afurða við val á ræktunarforskrift.

Abstract

[Effect of initial planting spacing on growth and viability of 15 years old Russian larch in Fljótsdalshérað region in Northeast Iceland.]

Growth measurements were done on 15 years old experimental plots of Russian larch (*Larix sukaczewii* Dyl.) planted at different initial stand densities: 1.000, 2.000, 3.500 and 5.000 seedlings per hectare at four locations in Fljótsdalshérað in eastern Iceland. Russian larch is the most used tree species in forestry in northern and eastern Iceland and grows well on eroded and infertile soils. The results showed that little competition had begun for growing space 15 years after planting, irrespective of planting density. There were large differences in growth between the locations, which was explained by differences in growing conditions. There was a statistical difference in mortality, mean diameter and average tree volume between locations but not between stand density treatments. Increased planting density resulted in lower mortality and fewer extra stems. The results also showed statistical difference in dominant height between both locations and treatments. Growth models that were used to calculate growth over one rotation, showed that increased planting density only increased volume production at early stages (<35 years). Increased planting density (>3.000 seedlings per hectare) increases the planting cost and precommercial thinning but not the profitability. Our results indicate that the optimal planting density for larch in Fljótsdalshérað is between 2.500-3.000 seedlings per hectare. In order to obtain more accurate results, it would be necessary to combine the benefits of carbon sequestration and wood utilization, thus assessing the maximum yield of the forest. It would also be worthwhile to investigate the effect of unit prices of different products on the selection of a management system.

Inngangur

Rússalerki (*Larix sukaczewii* Dyl.) er sú trjátegund sem mest hefur verið notuð í skógrækt á Fljótsdals- héraði. Á árabílinu 1991 til 2011 voru gróðursettar yfir 13 milljónir rússalerkiplantna á vegum Héraðs- og Austurlandsskóga (Héraðsskógar 2011). Upphaf ræktunar rússa- og síberíulerkis (*Larix sibirica* Ledeb.) á Fljótsdals- héraði má rekja aftur til ársins 1913 þegar fræ þessara tegunda var fyrst flutt inn og sáð á Hallormsstað, en fyrstu stóru gróðursetningarnar voru gerðar á árunum 1937 í svonefndan Atlavíkurlund og árin 1938 og 1939 innan við Atlavík í svonefndan Guttormslund (Þröstur Eysteinnsson 2008).

Árangurinn af þessum gróðursetningum var góður og segja má að Hallormsstaður sé vagma lerkiræktunar á Íslandi. Talsverðar rannsóknir hafa verið gerðar á vexti rússa- og síberíulerkis á Fljótsdals- héraði en þær hafa að mestu farið fram á Hallorms- stað og í næsta nágrenni (Sigurður Blöndal 1953, Sigurður Blöndal 1957, Þórarinn Benedíksz 1975, Arnór Snorrason 1986, Lindhagen 1990, Lárus Heiðarsson 1998, Lárus Heiðarsson og Loftur Jónsson 2004, Agnes Brá Birgisdóttir 2005, Valdimar Reynisson 2007, Brynhildur Bjarnadóttir 2007, Brynhildur Bjarnadóttir o.fl. 2009, Pesonen o.fl. 2009, Bjarni Diðrik Sigurðsson 2011, Lárus Heiðarsson og Pukkala 2011, Lárus Heiðarsson og Pukkala 2012, Þórveig Jóhannsdóttir 2012, Þórveig Jóhannsdóttir o.fl. 2013).

Þekking á vexti trjátegunda er grundvöllur fyrir því að réttar leiðbeiningar séu gefnar um upphafspét- tleika gróðursetninga og tímasetningu á grisjunum. Þær skipta miklu máli varðandi verðmætasköpun og hagkvæmni skógræktar til viðarnytja. Aukinn upphafspéttleiki getur tryggt skógareiganda fyrir mögulegum afföllum og leiðir til aukins vaxtar- hraða trjáanna í upphafi vaxtarlotu vegna betri skjól- myndunar (Þórveig Jóhannsdóttir o.fl. 2013). Aftur á móti hefur mikill fjöldi gróðursettra plantna í för með sér hærri gróðursetningarkostnað og hærri kostnað við snemmgrisjun ef hún er valin. Að sama skapi leiðir of lítill trjáfjöldi, til dæmis eftir mikil afföll, til minni framleiðni á hektara og e.t.v. minni verðmæta í viðarframleiðslu þó að kostnaður við millibilsjöfnun eða grisjun sé lægri en í þéttari skógi. Því skiptir miklu máli að leiðbeiningar um upphafs- þéttleika gróðursetningar séu byggðar á vísindalegri þekkingu en ekki tilfinningum eða hefðum.

Með réttri grisjun er átt við að tímasetning hennar, ásamt fjölda grisjana, leiði til þess að hlutfall afurða sem gefa mestar tekjur verði sem hæst. Það er því fjárhagslegur ávinningur að því að þekking á þessum þáttum sem hér er lýst sé góð héraðs- þekking á vexti skóga gefur einnig þeim sem áhuga hafa á að fjárfesta í skógrækt betri grundvöll til ákvarðanatöku. Auk beins fjárhagslegs ávinnings er þekking á vexti skóga mjög mikilvæg, sérstaklega nú, þar sem trjávöxtur stuðlar að mildun loftslags- breytinga með bindingu kolefnis í trjáviði og í jarð- vegi (Owona 2019). Upplýsingum um vöxt skóga er

oftast safnað með vöktun á föstum mæliflötum. Með föstum mæliflötum er átt við trjámælifleti sem eru endurmældir með ákveðnu árabíli alla vaxtarlotuna.

Árið 2002 var skipulögð ný tilraun á fjórum stöðum á Fljótsdals- héraði þar sem rússalerki var gróður- sett með mismunandi þéttleika: 1.000, 2.000, 3.500 og 5.000 tré á hektara. Þéttleikatilraunin er hluti af stærra verkefni sem kallað er Langtímatilraunin (LT- tilraunin). Hún er samstarfsverkefni Skógræktarinnar og Landbúnaðarháskóla Íslands og var komið á fót með stuðningi landbúnaðarráðuneytisins, Héraðs- skóga og Landgræðslu ríkisins. LT-tilraunin er lang- tíma rannsóknarverkefni í skógrækt og var sett upp bæði á Suður- og Austurlandi. Markmið hennar er að útbúa framtíðaraðstöðu til ýmissa skógræktar- rannsókna og meðal annars að rannsaka áhrif tegundablöndunar, áburðargjafar og upphafs- þéttleika á framleiðni skógarins, þ.m.t. lífmassavöxt, viðarvöxt og viðargæði, en einnig á lífríki skógarins (Bjarni Diðrik Sigurðsson o.fl. 2006).

Tilgangur þessarar rannsóknar var að kanna hvort kominn væri fram mælanlegur munur í viðarmagni, lífmassa og kolefnisforða í skóginum 15 árum eftir gróðursetningu, og ef svo, hvort hann væri breyti- legur eftir upphafspéttleika annars vegar og stað- setningu á Fljótsdals- héraði hins vegar. Auk þessa var aflað grunngagna um tilraunareiti þar sem lerkir var gróðursett með mismunandi upphafspéttleika áður en þeir væru grisjaðir. Þannig var mikilvægum gögnum safnað um ástand skógarreitanna fyrir snemmgrisjun, sem fram fór í kjölfarið (2018), og um áhrif mismikils þéttleika á upphafsvöxt og kolefnis- bindingu skóganna. Gert er ráð fyrir að reitirnir verði síðan endurmældir með allt að 5 ára millibili næstu 60-100 árin eða til loka vaxtarlotu þeirra.

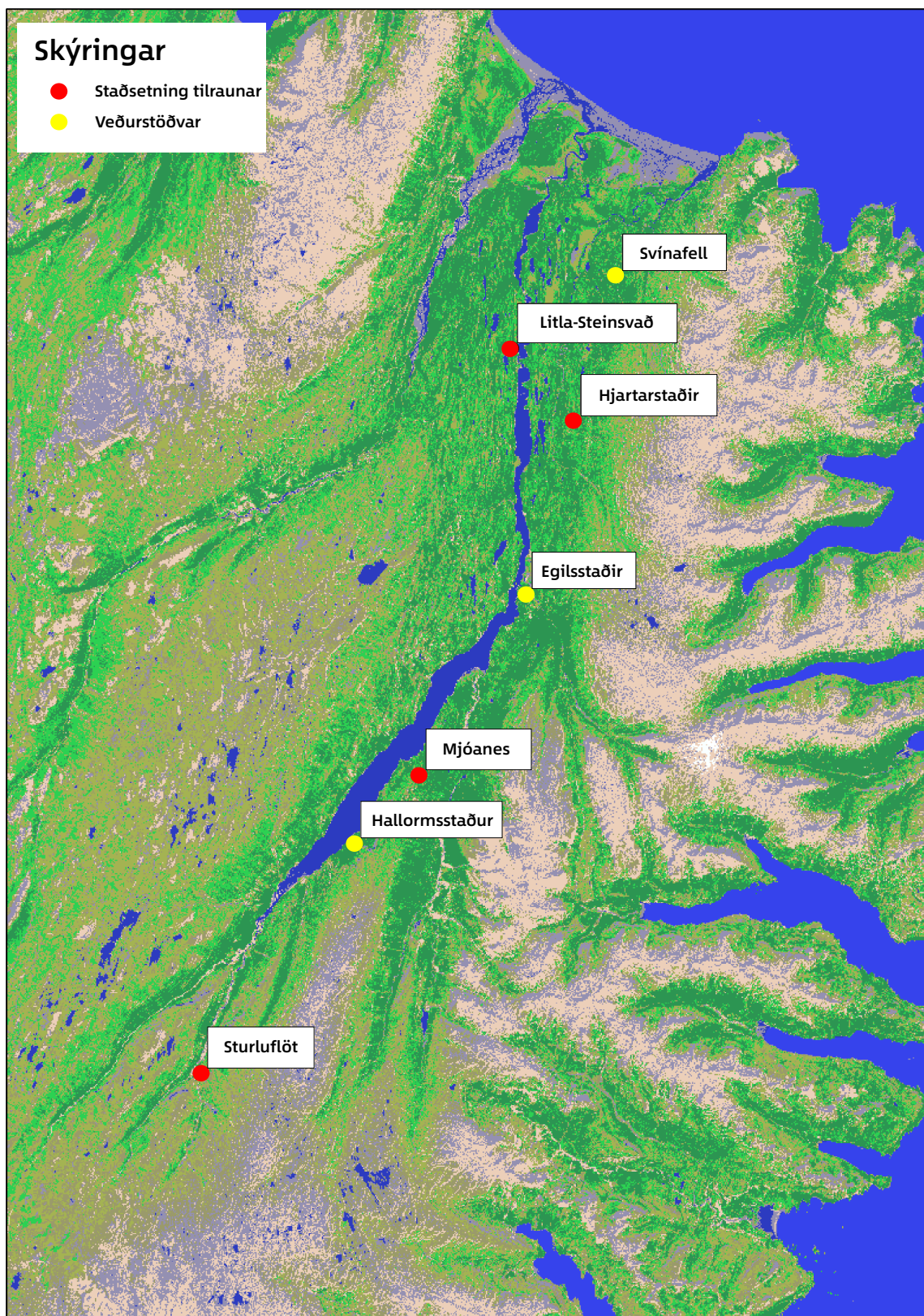
Efni og aðferðir

Tilraunin var sett út á þessum stöðum á Austurlandi: Sturluflöt í Fljótsdal, Mjóanesi á Völlum, Hjartarstöð- um í Eiðapinghá og Litla-Steinsvaði í Hróarstungu (1. mynd). Staðirnir eiga að endurspeglar langskurð af Fljótsdals- héraði varðandi skógræktarskilyrði og algengustu landgerðir í lerkirækt. Á Sturluflöt var gróðursett í jarðgrunna mel í miðri hlið á milli 150 og 190 m h.y.s. Í Mjóanesi var gróðursett í jarðdjúpan fjall- drapamóa ofarlega í brekku á milli 110 og 130 m h.y.s., á Hjartarstöðum í jarðdjúpan fjalldrapamóa neðarlega í brekku á milli 50 og 65 m h.y.s. og á Litla-Steinsvaði var gróðursett í jarðdjúpan fjalldrapamóa ofan á háum ás á milli 60 og 70 m h.y.s. Allir tilraunareitirnir voru jarðunnir með vélflekkingu nema á Sturluflöt þar sem jarðvinnsla var óþörf vegna lítillar gróðurþekju.

Tekin voru saman hitafarsgögn frá Hallormsstað, Egils- stöðum og Svínafelli fyrir árin 2005-2011, en ekki eru til lengri samanburðarhæfar mæliseriur fyrir þessa staði (1. tafla). Staðsetning veðurstöðva sést á 1. mynd (gulir hringir).

Á öllum tilraunastöðum var gróðursett í 0,5 hektara reiti (50x100 metra). Hverjum reit var síðan skipt upp í tvo 0,25 hektara reiti (50x50 metra) og hringlaga mæliflötur lagður út í alla skipta reiti. Á Sturluflöt, Hjartarstöðum og Litla-Steinsvaði voru lagðir út 200 m² mælifletir, nema í meðferðinni 5000 tré á hektara

þar sem lagðir voru út 100 m² mælifletir. Í Mjóanesi voru mælifletirnir stækkaðir í 800 m² og skipt upp á milli höfuðátta í fjórar jafnstórar sneiðar, 200 m² hverja (2. mynd). Á hverjum tilraunastað voru þannig lagðir út átta mælifletir, samtals 32 mælifletir í heildina.



1. mynd. Staðsetning tilraunasvæða (rauðir punktar) og veðurstöðva (gulir punktar). Tilraunastaðirnir mynda nokkurs konar langskurð af Héraði.

Tímabil 2005-2011	Meðalhiti C°	Meðalhámarkshiti C°	Meðalúrkoma mm
Hallormsstaður	10,3	15,3	49,6
Egilsstaðir	10,0	14,7	38,6
Svínafell	9,7	13,4	66,9

1. tafla. Samanburður á hitafarsgögnum fyrir júní, júlí og ágúst (trío-term) á Út- og Innhéraði. Meðalhiti, meðalhámarkshiti og meðalúrkoma í millímetrum (mm) sömu mánaða.

Þegar lerki vex upp á bersvæði verður það stundum fyrir skaraskemmdum eða öðrum áföllum á fyrstu árunum sem veldur því að það kelur niður í rót. Vex þá oft upp tré með fleiri en einum stofni. Ríkjandi og stærsti stofn er hér kallaður aðalstofn en aðrir víkjandi stofnar aukastofnar. Mælingar fóru fram í október 2017 og á öllum mæliflötum var hæð og þvermál allra aðalstofna á lifandi trjám mælt. Fjöldi aukastofna var síðan talinn og þvermál og hæð á meðalaukastofni mæld. Við mælingarnar voru notuð mælitæki og hugbúnaður sem staðsetur öll mæld tré í hnitakerfi á mælifletinum, þannig að afstaða þeirra hvers til annars er þekkt (sjá nánari lýsingar á mælitækjum á www.fieldmap.cz). Á 2. mynd má sjá skjámynd úr vettvangstölvu sem notuð var við mælingarnar. Út frá slíkum myndum voru afföll metin. Það var gert með því að bæta trjám inn í eyður þar sem greinilegt var að tré vantaði. Þær niðurstöður voru síðan notaðar sem mælikvarði á upphafspéttleika hvernar meðferðar.

Við meðaltalsútreikninga var notað grunnflatarveg-ið meðalþvermál (GVMB), reiknað með eftirfarandi jöfnu:

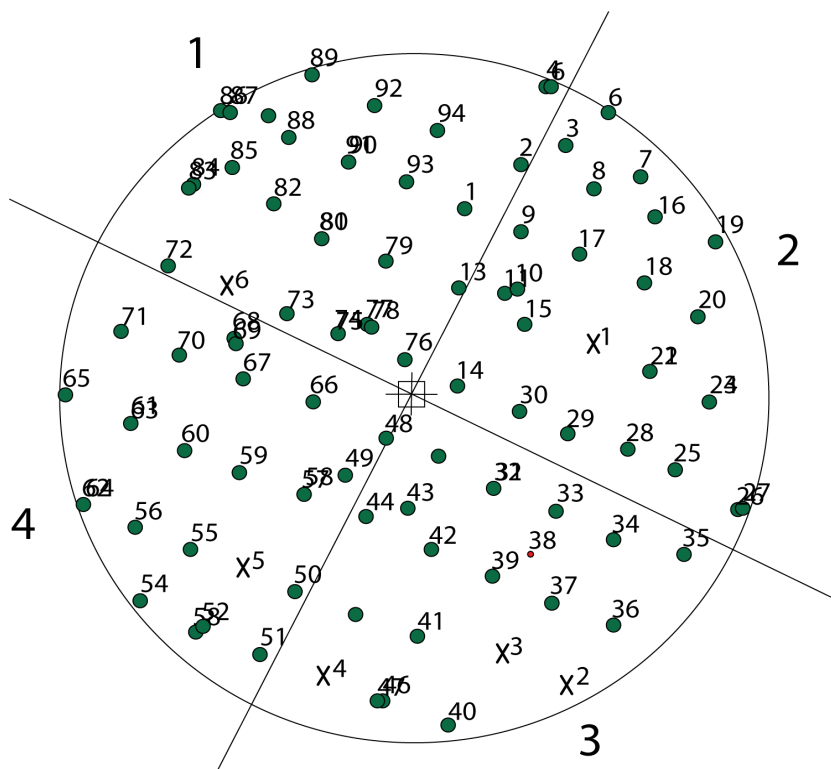
$$GVMB = \frac{\sum G}{N}$$

þar sem G er grunnflötur trjáa og N er fjöldi trjáa á mælifletinum.

Grunnflatarvegin meðalhæð (GVMH) er reiknuð með eftirfarandi jöfnu (Hage 1988):

$$GVMH = \frac{\sum g_i * h_i}{\sum g_i}$$

þar sem g_i er grunnflötur stakra trjáa á viðkomandi mælifleti og h_i hæð sömu trjáa.



2. mynd. Mynd úr mælitölvu sem sýnir staðsetningu trjáa á 800 m² mælifleti í Mjóanesi sem skipt hefur verið upp í fjórar jafnstórar sneiðar (200 m²) á milli höfuðátta. Bætt hefur verið inn „X“ þar sem vantaði tré (afföll).

Yfirhæð er skilgreind sem meðalhæð þeirra 100 trjáa sem hafa mest þvermál á hektara. Það þýðir að á 100 m² mælifleti er sverasta tréð mælt og notað sem yfirhæðartré.

Við rúmmálsútreikninga var notuð jafna Norrby (1990) fyrir bolviðarrúmmál rússa- og síberíulerkis:

$$V = e^{-2,5079} * d_{1,3}^{1,7574} * h^{0,9808}$$

Þar sem V er bolviðarrúmmál með berki í rúmdesímetrum (líturum), $d_{1,3}$ er þvermál í 1,3 metra hæð (brjóst-hæð) í sentímetrum og h er hæð viðkomandi trés í metrum.

Við lífmassaútreikninga var notuð jafna Arnórs Snorrasonar og Stefáns Freys Einarssonar (2006) fyrir lífmassa rússa- og síberíulerkis ofanjarðar:

$$W = 0,1081 * d_{1,3}^{1,53} * h^{0,9483}$$

Þar sem W er ofnþurr (þurrkað við 105°C) lífmassi ofanjarðar í kílógrömmum, $d_{1,3}$ er þvermál í brjóst-hæð og h er hæð.

Við rúmmáls- og lífmassaútreikninga var rúmmál og lífmassi allra mældra trjáa reiknað út og síðan margfaldað upp í rúmmetra (m³) eða tonn (t) á hektara. Með því að deila standandi rúmmáli á hektara með aldri skógarins fæst meðaltal árlegs vaxtar (m³ á hektara og ár). Núverandi eða hlaupandi vöxtur (m³ á hektara og ár) var hér skilgreindur sem meðaltal árlegs viðarvaxtar frá 9 ára aldri, við úttekt Þórveigar Jóhannsdóttur (2012), til 15 ára aldurs sem var aldur skógarins við þessa úttekt.

Við útreikninga á grósku var notuð jafna sem lýsir þróun yfirhæðarvaxtar með aldri fram til 80 ára aldurs (Lárus Heiðarsson og Pukkala 2012):

$$H80 = e^{\left[\ln(H) + 9,865 \left(\frac{1}{T_1^{0,604}} - \frac{1}{T_2^{0,604}} \right) \right]}$$

Þar sem $H80$ er yfirhæð skógarins við 80 ára aldur, H er núverandi yfirhæð, T_1 er 80 (ár) og T_2 er aldur skógarins í dag í árum.

Í niðurstöðum var meðaltal á báðum mæliflötum í hverri endurtekningu meðferða notað. Í meðferðum 1000, 2000 og 3500 á Sturluflöt, Hjartarstöðum og Litla-Steinsvaði var samanlagt flatarmál beggja mæliflatanna í hverri endurtekningu 400 m² en 200 m² fyrir meðferð 5000 á sömu stöðum. Í Mjóá-

nesi er samanlögð stærð mæliflatanna í hverri endurtekningu 1.600 m². Við gerð framtíðarspár voru notaðar mælingar úr þeim meðferðum sem voru snemmgrísjaðar, þ.e. meðferðir 3500 og 5000.

Eftir mælingarnar var helmingur flatarmáls (50x50 metrar) af öllum meðferðum sem höfðu upphafs-þéttleika 3.500 og 5.000 tré á hektara snemmgrísjaður í apríl og maí 2018, nema á Litla-Steinsvaði, þar sem einungis voru sagaðir af aukastofnar. Þar var skógurinn ekki búinn að loka sér og ekki enn komið að snemmgrísjun. Trjáfjöldi á hektara eftir snemmgrísjunina í meðferð 3500 varð 1.500 tré á hektara, en það er samkvæmt ráðleggingum sem Skógræktin gefur (Héraðs- og Austurlandsskógar og Skógrækt ríkisins 2011). Í meðferðinni 5000 tré á hektara var snemmgrísjað niður í 2.000 tré á hektara.

Til að skoða hvaða áhrif snemmgrísjun og grísjanir hafa á viðarvöxt og kolefnisbindingu voru vaxtarlíkön fyrir lerki (Lárus Heiðarsson og Pukkala 2011, 2012) látin framreikna vöxt að lokahöggi eða eina vaxtarlotu. Gerðar voru þrjár framtíðarspár fyrir allar meðferðir, sem í var engin, ein eða tvær grísjanir en einnig var skoðað hvaða áhrif það hefur á viðarvöxt að sleppa snemmgrísjun í meðferðunum 3500 og 5000 tré á hektara. Samtals voru gerðar 66 spár. Við útreikningana var notaður hermir (simulator) sem heitir Arborex og hannaður er af Timo Pukkala. Reikniritinn (algorithm) í herminum sem notaður var við bestunina (optimization) er kenndur við Hooke og Jeeves „direct search“ (Hooke og Jeeves 1961). Var hann látinn hámarka tekjur á núvirði (net present value, NPV) af ræktuninni miðað við gefnar forsendur (2. og 3. tafla) og 3% ávöxtunarkröfu á fjárfestinguna.

Kostnaður vegna jarðvinnslu, gróðursetningar og snemmgrísjunar var fenginn af vef Skógræktarinnar 2019 (Skógræktin 2019). Kostnaður vegna plöntukaupa var meðalverð hjá nokkrum framleiðendum árið 2019 miðað við verð á plöntum í 67 gata bökkum. Við kostnað af gróðursetningu var að auki bætt umsjónargjaldi og áburðargjöf. Í spánni var notaður raunkostnaður vegna snemmgrísjunar í tilraunareitunum á Hjartarstöðum, í Mjóanesi og á Sturluflöt. Trjáfjöldi á hektara fyrir mismunandi meðferðir má sjá á 6. mynd.

Upplýsingar um verð á flettiefni og iðnvíði voru fengnar frá skógarverðinum á Hallormsstað (munnleg heimild Þór Þorfinnsson 2019) en verð á eldivíði var áætlað að væri um helmingur af verði iðnvíðar. Skilgreiningar á lágmarksþvermáli í mjóenda og lengd bola eru fengnar frá Skógræktinni.

Í framtíðarspánni var áætlað að öll tré væru gæðatré (nýtanleg til flettingar) þó að það verði örugglega ekki raunin. Þetta var gert svo auðveldara væri að bera saman framtíðarviðarvöxt á milli staða og mismunandi gróskuflokka óháð fjölda gæðatrjáa. Einnig var gerð greining á því hvaða áhrif mismunandi fjöldi gæðatrjáa hefur á fjárhagslegan ávinning af ræktuninni.

Meðferð	Plöntur kr. á ha	Jarðvinnsla kr. á ha	Gróðursetning kr. á ha	Snemmgrisjun kr. á ha	Grisjun kr. á ha	Samtals kr. á ha
1000	48.000	38.000	30.950	0	23.369	140.319
2000	96.000	38.000	61.900	0	42.705	238.605
3500	168.000	38.000	108.325	202.500	38.084	554.909
5000	240.000	38.000	154.750	369.000	66.753	868.503
3500ES	168.000	38.000	108.325	0	131.029	445.354
5000ES	240.000	38.000	154.750	0	99.426	532.176

2. tafla. Samantekinn meðaltalskostnaður við skógrækt á einum hektara (ha) fyrir mismunandi meðferðir fram að loka-höggi. Grisjunarkostnaður er meðaltal af einni eða tveimur grisjunum.

Við tölfræðiúrvinnslu á gögnunum var notuð tví-þátta ferveikagreining (ANOVA) og LSD-próf (Fisher's Least Significant Difference test) í tölfræðiforritinu SAS (SAS System 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) til að athuga hvort marktækur munur væri á milli mismunandi upphafspétteleika eða staða. Einnig var notuð aðhvarfsgreining til að skoða samband á milli breytna. Byrjað var á að skoða hvort gögnin væru marktækt frábrugðin normaldreifingu með því að gera Shapiro-Wilk próf á þeim og reyndist svo

ekki vera. Þær breytur sem voru skoðaðar í ferveikagreiningunni voru gróska, yfirhæð, meðalhæð, aukastofnar, afföll, þvermál, rúmmál meðaltrés, meðaltal árlegs vaxtar og kolefnisbinding. Munur meðferða var metinn sem marktækur ef P-gildi var undir 0,05.

Afurð	Verð kr./m ³	Lágmarkspvermál mjóendi sm	Lengd metrar
Flettiefni	20.000	13	3
Iðnviður	7.500	6	3
Eldiviður	3.000	3	3

3. tafla. Einingaverð á afurðum og skilgreining á afurðaflokkum.

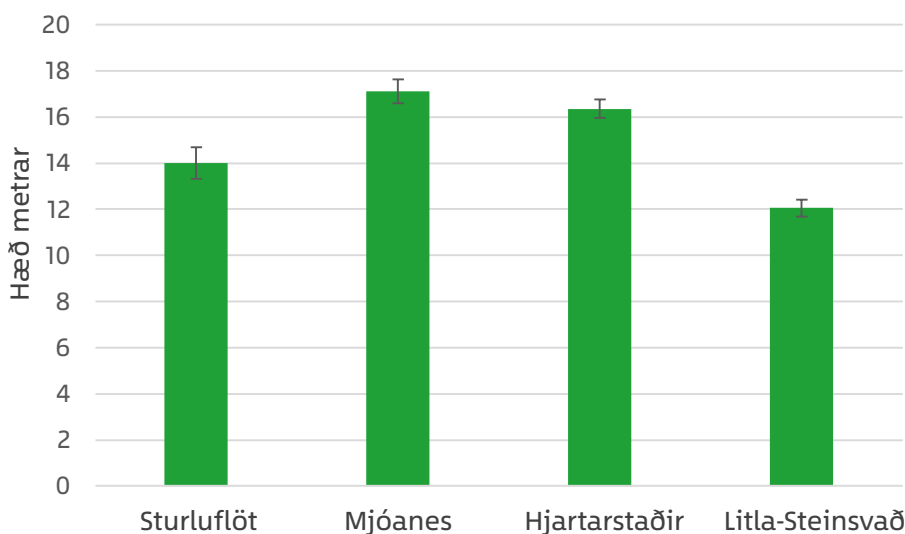
Niðurstöður

Hæðarvöxtur

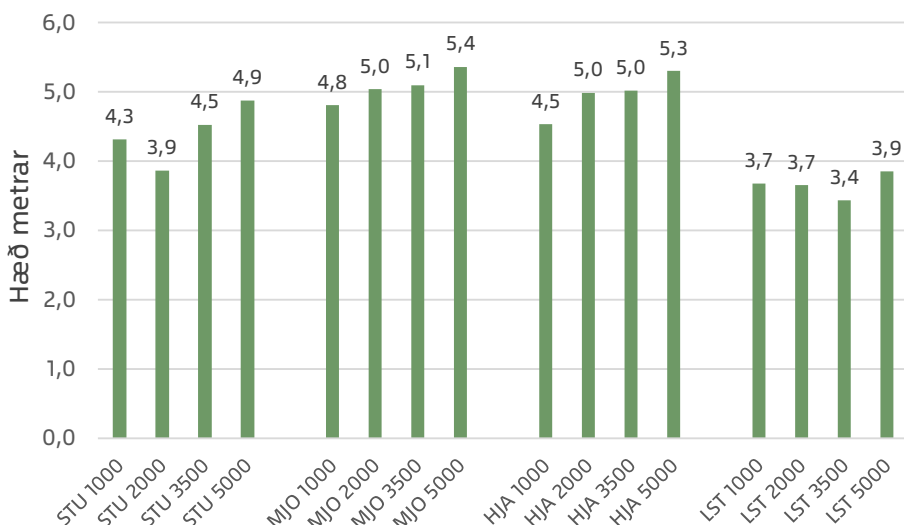
Við tölfræðigreiningu kom fram marktækur munur á grósku frá einum tilraunastað til annars. (ANOVA: F-gildi=24,38, df=3, p=0,0001), nema á milli Mjóaness og Hjartarstaða, en þar var hún jafnframt hæst (3. mynd).

Gróska mæliflatanna í Mjóanesi og á Hjartarstöðum spáði að þeir skógar myndu ná um 16-18 metra yfirhæð við 80 ára aldur. Á Sturluflöt var gróskan minni og þar má búast við yfirhæð á bilinu 13-16 metrar og á Litla-Steinsvaði á bilinu 11-13 metrar. Hæðarvöxturinn fyrstu 15 árin var lakastur á Litla-Steinsvaði og bestur í Mjóanesi þar sem yfirhæð var komin yfir 5 metra (4. mynd).

Að jafnaði var yfirhæð eftir 15 ár um 13% meiri í þéttustu meðferðunum (5000) miðað við þær gisnustu (1000) á öllum tilraunastöðum (4. mynd). Við tölfræðigreiningu kom einnig fram að hún var marktækt frábrugðin á milli meðferða (ANOVA: F-gildi=4,12, df=3, p=0,0242). Meðferðir 1000 og 2000 voru að jafnaði með marktækt minni yfirhæð en meðferðir 3500 og 5000. Yfirhæð var líka marktækt frábrugðin á milli staða (ANOVA: F-gildi=24,39, df=3, p=0,0001) og voru Mjóanes og Hjartarstaðir með marktækt meiri yfirhæð en Sturluflöt og Litla-Steinsvað. Þegar gerð var aðhvarfsgreining á raunverulegum trjáfjölda í meðferðunum (F) og yfirhæð aðalstofna (YH) óháð stað, kom í ljós marktækt jákvætt línulegt samband (ANOVA: P=0,0072, r²=0,22; YH = 1049 x F -2056,2 tré á hektara; gögn ekki sýnd). Það þýðir að yfirhæð við 15 ára aldur jókst að jafnaði um 1 metra við hverja 1.049 trjáa á hektara aukningu í upphafs fjölda aðalstofna við gróðursetningu.



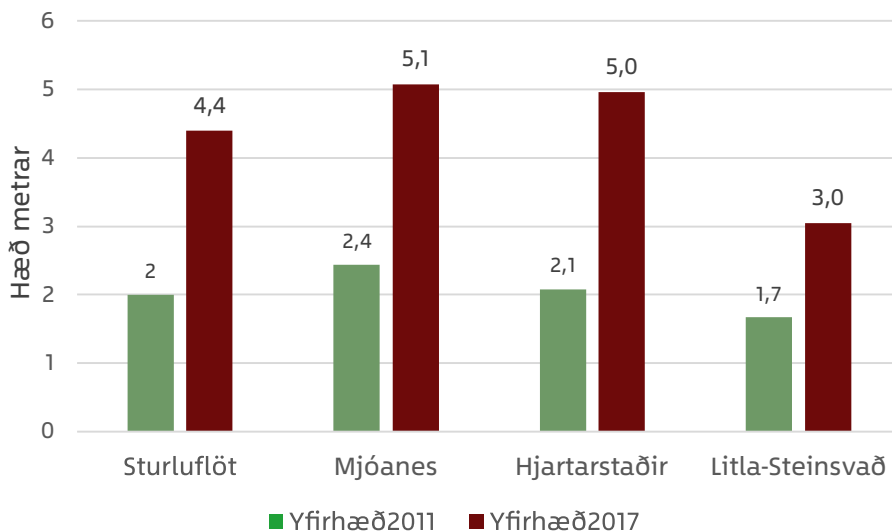
3. mynd. Meðaltal grósku fyrir allar meðferðirnar ásamt staðalskekkju meðaltalanna. H80 er yfirhæð við 80 ára aldur.



4. mynd. Yfirhæð mæliflatanna (metrar) við 15 ára aldur. STU er skammstöfun fyrir Sturluflöt, MJO fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvað. Tölurnar á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarþéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan súlurnar eru hæð fyrir viðkomandi meðferð.

Þegar borin er saman mæld yfirhæð í rannsókn Þórveigar Jóhannsdóttur (2012) og í þessari rannsókn má sjá að mjög góður hæðarvöxtur hefur verið í LT-tilrauninni á flestum stöðum undanfarin sex ár (5. mynd). Yfirhæðarvöxtur var minnstur á Litla-Steins-

vaði, að meðaltali 23 sm á ári, 40 sm á Sturluflöt og 46 og 48 sm í Mjóanesi og á Hjartarstöðum (5. mynd).

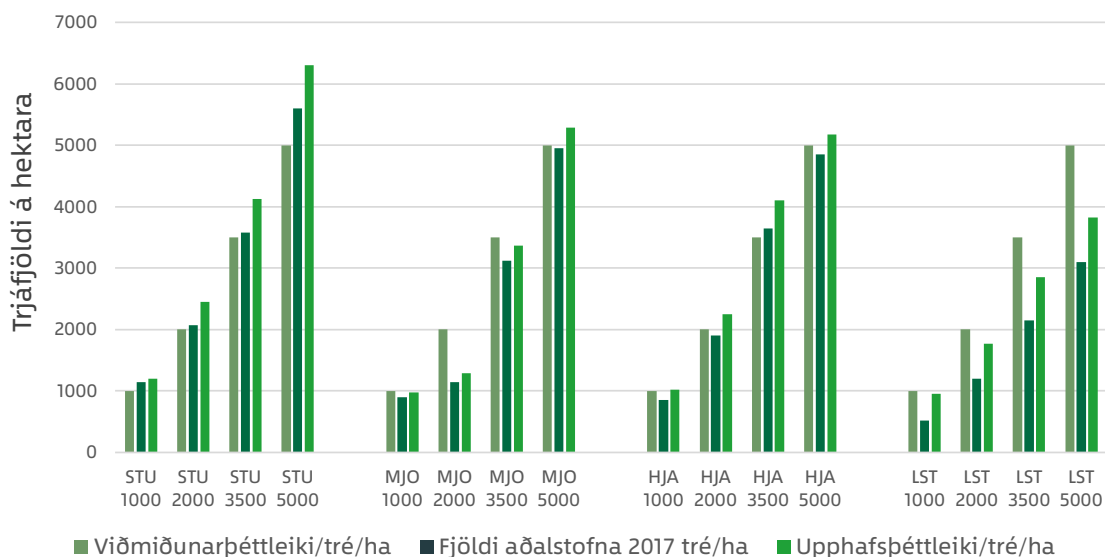


5. mynd. Breytingar á yfirhæð fyrir árabilið 2011-2017. Meðaltal allra meðferða á hverjum stað. Tölur fyrir ofan stöpla sýna hæð viðkomandi meðferðar.

Trjá fjöldi, áætluð afföll og aukastofnar

Óvæntar niðurstöður fengust á Sturluflöt. Þar var upphafstrjá fjöldi á öllum mæliflötum og í öllum meðferðum metinn hærri en viðmiðunarpéttleikinn (6. mynd). Í meðferð 1000 var hann 20% hærri, hann var 23% hærri í meðferð 2000, 18% hærri í meðferð 3500 og 26% hærri í meðferð 5000 (6. mynd). Afföll á Sturluflöt voru að meðaltali 4% til

15% milli þéttleikameðferða og minnkuðu almennt með auknum þéttleika nema hvað meðferð 1000 hafði minnstu afföllin (7. mynd). Þrátt fyrir afföllin á Sturluflöt stóðu þar við mælingu 2017 fleiri tré á hektara en til stóð í upphafi (6. mynd). Á Sturluflöt var fremur hátt hlutfall lerkitrjáa með aukastofna, eða að meðaltali 40% (8. mynd), en hlutfallið minnkaði almennt með auknum þéttleika (9. mynd).

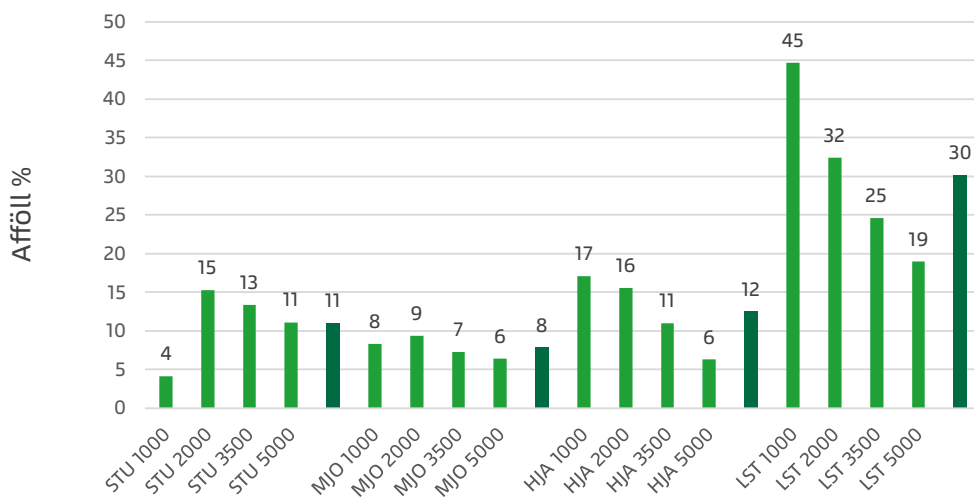


6. mynd. Samanburður á viðmiðunarpéttleika, upphafspéttleika við gróðursetningu og mældum trjá fjöldi árið 2017. STU er skammstöfun fyrir Sturluflöt, MJO fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvaði. Tölurnar á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarpéttleiki trjáa á hektara.

Upphafstrjáfföldi á mæliflötunum í Mjóanesi var heldur lægri en viðmiðunarpéttleikinn í öllum meðferðum nema meðferð 5000 þar sem hann var 6% umfram viðmiðunarpéttleikann (6. mynd). Í Mjóanesi voru að meðaltali 8% afföll og voru afföllin svipuð í öllum þéttleikameðferðum (7. mynd). Í Mjóanesi stóðu við mælingu heldur færri tré á hektara en lagt var upp með í öllum meðferðum samanborið við viðmiðunarpéttleikann, en þó sérstaklega í meðferðinni 2000 þar sem einungis stóðu eftir 1.150 tré á hektara (6. mynd). Í Mjóanesi var hlutfall lerkitrjáa með aukastofna að meðaltali 24% og einnig

þar virtist hlutfall aukastofna minnka með auknum upphafspéttleika (9. mynd).

Á Hjartarstöðum var upphafstrjáfföldi á mæliflötunum lítillega hærra en viðmiðunarpéttleikinn í öllum meðferðum, eða 9% að meðaltali (6. mynd). Að meðaltali voru afföll á Hjartarstöðum 12% og minnkuðu almennt með auknum þéttleika (7. mynd). Í dag standa færri tré á mæliflötunum í meðferðum 1000, 2000 og 5000 samanborið við viðmiðunarpéttleikann en aðeins rúmlega í meðferð 3500 (6. mynd).



7. mynd. Meðalafföll meðferða og tilraunastaða og meðaltal fyrir hvern stað (dökkgrænn stöpull). STU er skammstöfun á Sturluflöt, MJO fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvað. Tölurnar á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarþéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna afföll fyrir hverja meðferð.

Hlutfall aukastofna á Hjartarstöðum var svipað og á Sturluflöt, eða 12% að meðaltali, og hlutfallið minnkaði almennt með auknum upphafspéttleika eins og á hinum stöðunum (9. mynd).

Á Litla-Steinsvaði var upphafstrjáfföldi á mæliflötunum lægri í öllum meðferðum samanborið við viðmiðunarpéttleikann og jókst munurinn með auknum þéttleika (6. mynd). Munurinn var 5%, 11%, 19% og 24% fyrir meðferðir 1000-5000. Á Litla-Steinsvaði voru afföll hæst af öllum tilraunastöðunum, eða 30% að meðaltali (7. mynd). Líkt og annars staðar minnkuðu hins vegar afföllin hlutfallslega með auknum þéttleika.

Ástæðu mikilla affalla í meðferð 1000 má rekja til þess að annar mæliflöturinn í reitnum lenti í frostpolli þar sem næstum öll tré höfðu þurrkast út og eftir stóðu einungis 150 tré á hektara. Við mælingu 2017 stóðu færri tré í öllum meðferðum á Litla-Steinsvaði samanborið við viðmiðunarpéttleikann, eða á bilinu 34% til 22% færri (6. mynd). Hlutfall trjáa

með aukastofna var að jafnaði 30% og það minnkaði almennt með auknum þéttleika eins og á hinum stöðunum (9. mynd).

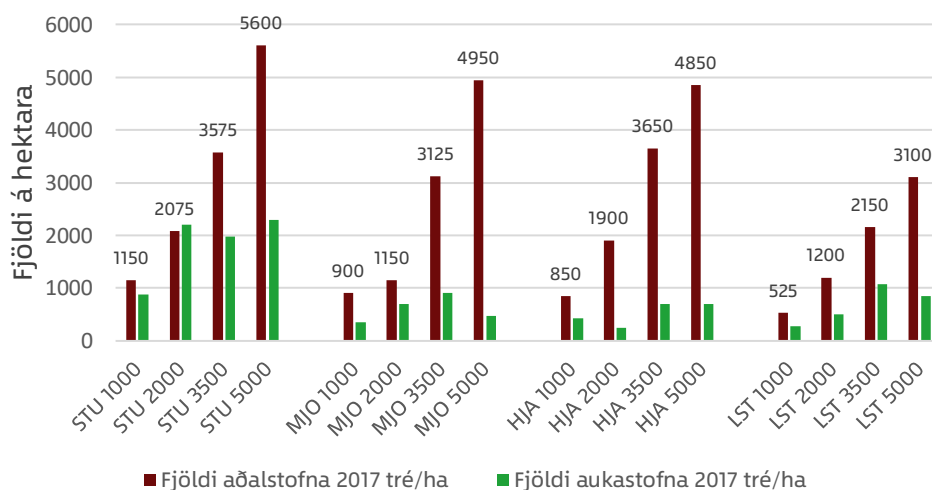
Að meðaltali voru afföllin 15% í tilrauninni allri (7. mynd) og marktækur munur var á milli staða (ANOVA: F-gildi=5,46, df=3, p=0,0089) en Litla-Steinsvað var marktækt frábrugðið hinum stöðunum. Ekki var marktækur munur á milli einstakra meðferða.

Eins og áður hefur verið sagt var tilhneiging til þess að hlutfall aukastofna (HAS) minnkaði með auknum trjáfföldum, þó ekki væri það alveg algilt milli einstakra meðferða (9. mynd). Við tölfræðigreiningu á gögnunum kom þó í ljós að það var marktækt samband á milli meðferðanna (ANOVA: P=0,0411, r²=0,13; HAS = 3899,6 - 38,6 x F). Marktækur munur var einnig á milli staða (ANOVA: F-gildi=4,47, df=3, p=0,0184) og var Sturluflöt með marktækt herra hlutfall aukastofna en hinir staðirnir þrír eða 40% á móti 24%.

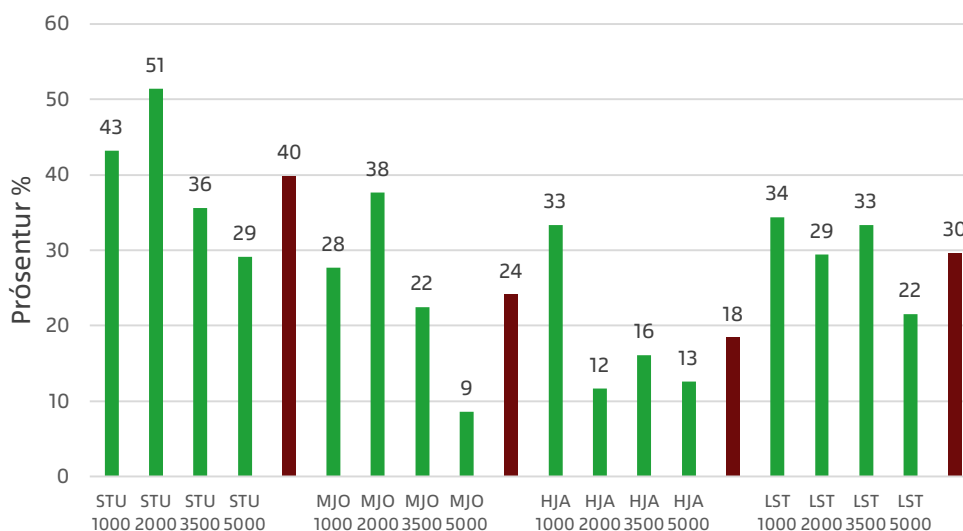
Þvermál

Mjög lítil breytileiki var á grunnflatarvegnum meðalþvermáli á milli meðferða innan staðanna, en meiri munur var milli staða (10. mynd). Nánast allir aðalstofnar á mæliflötunum höfðu náð brjóstþvermáli (1,3 m) en einhver hluti trjáa var enn undir 2 metra hæð. Af þeim sökum var mikill breytileiki á minnsta og mesta þvermáli innan staðanna. Við tölfræðigreiningu kom í ljós að ekki var marktækur munur á milli meðferða (ANOVA: F-gildi=0,02, df=3,

p=0,99). Aftur á móti var marktækur munur milli staða (ANOVA: F-gildi=27,27, df=3, p=0,0001) og voru Mjóanes og Hjartarstaðir frábrugðnir Sturluflöt og Litla-Steinsvaði með meiri þvermálsvöxt. Við aðhvarfsgreiningu milli meðalþvermáls og fjölda aðalstofna kom ekki heldur fram neinn marktækur munur (ANOVA P=0,65, r²=0,007), þannig að það breytti engu hvort viðmiðunarpétteleiki (ANOVA) eða raunverulegur fjöldi aðalstofna í hverjum mælifleti (aðhvarf) var notaður sem skýribreyta.



8. mynd. Fjöldi aðal- og aukastofna eftir tilraunastöðum og meðferðum. STU er skammstöfun fyrir Sturluflöt, MJO fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvað. Tölurnar á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarpétteleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna fjölda aðalstofna á hektara fyrir hverja meðferð.

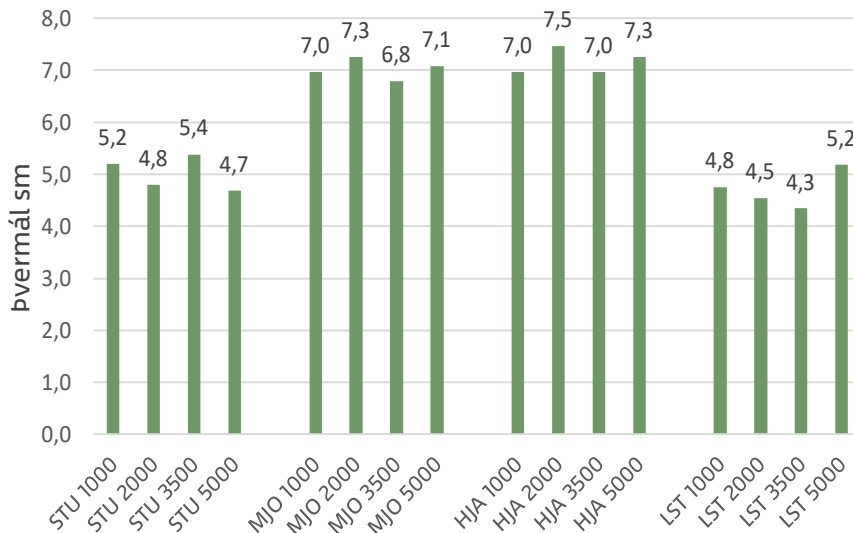


9. mynd. Hlutfall aukastofna í meðferðum og á stöðum ásamt meðaltali fyrir hvern stað (vínrauður stöpull). STU er skammstöfun fyrir Sturluflöt, MJO fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvað. Tölurnar á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarpétteleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna hlutfall aukastofna og meðaltal fyrir hverja meðferð.

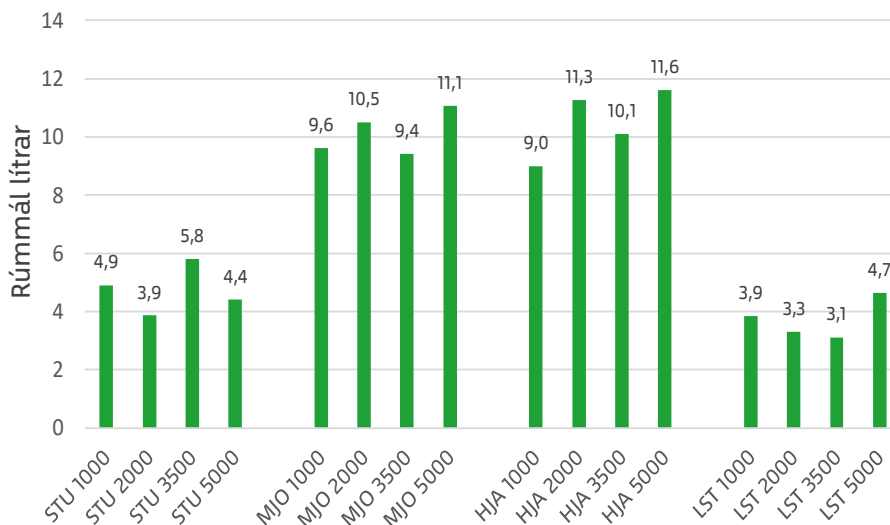
Bolrúmmál

Minnstu meðaltrén voru almennt á Litla-Steinsvaði nema í meðferð 5000 sem hafði stærri meðaltré en sama meðferð á Sturluflöt (11. mynd). Ekki var marktækur munur á rúmmáli meðaltrjáa á milli meðferða. Aftur á móti var marktækur munur á milli staða (ANOVA: F-gildi=28,64, df=3, p=0,0001) og skáru Mjóanes og Hjartarstaðir sig enn og aftur úr með marktækt hærra bolrúmmál meðaltrjáa (10,3 lítrar á tré) en Sturluflöt og Litla-Steinsvað (4,3 lítrar á tré; 11. mynd).

Standandi bolrúmmál á hektara (viðarmagn; V) í reitum er bæði háð trjávexti og lifun í hverjum reit í upphafi vaxtarlotu. Mjóanes og Hjartarstaðir voru með mesta standandi viðarmagnið en Litla-Steinsvað með það minnsta (12. mynd). Marktækur munur var á milli staða (ANOVA: F-gildi=40,41, df=3, p=0,0001) og höfðu Mjóanes og Hjartarstaðir marktækt meira viðarmagn að jafnaði (24,8 m³ á hektara) en Litla-Steinsvað og Sturluflöt (9,5 m³ á hektara). Munur á rúmmáli milli meðferða jókst almennt með auknum upphafspéttleika, sem skýrist af mismun-



10. mynd. Meðalþvermál á milli staða og meðferða. STU er skammstöfun fyrir Sturluflöt, MJO fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvað. Tölurnar sem standa á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarpéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna meðalþvermál fyrir hverja meðferð.



11. mynd. Bolrúmmál meðaltrjáa á milli staða og meðferða (lítrar). STU er skammstöfun fyrir Sturluflöt, MJO fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvað. Tölurnar á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarpéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna bolrúmmál meðaltrjáa fyrir hverja meðferð.

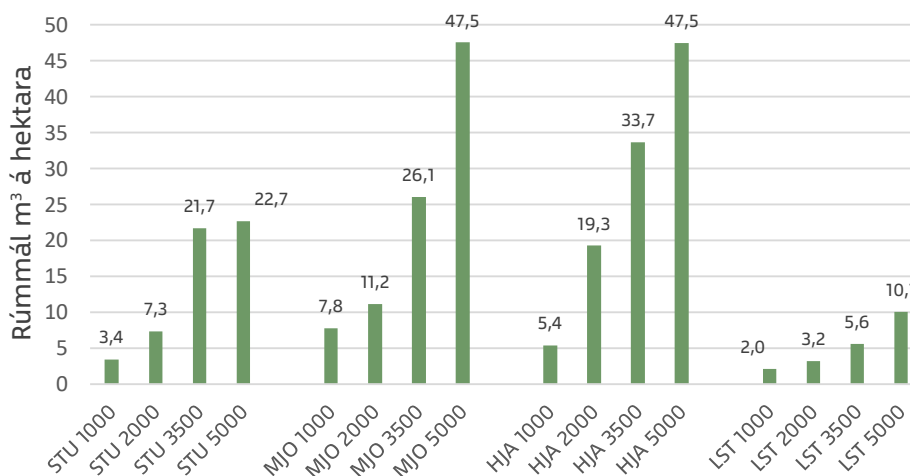
andi trjá fjölda (12. mynd). Á 13. mynd sést hlutfallslegur munur í viðarmagni á milli meðferða á hverjum stað. Meðferð 1000 framleiddi að meðaltali 19% af rúmmáli borið saman við meðferð 5000, meðferð 2000 framleiddi að meðaltali 32% og meðferð 3500 framleiddi 70% samanborett við meðferð 5000 (13. mynd).

Meðalársvöxtur breyttist á sama hátt og viðarmagn á milli staða og þéttleikameðferða eins og eðlilegt er þar sem allir reitirnir eru jafnaldrar (14. mynd). Við aðhvarfsgreiningu kom fram hámarktækur munur á milli meðferða ($P=0.0001$, $r^2=0.499$; $\text{Meðalársvöxtur}=1076,5 \times F + 1643,1$) eins og vænta mátti. Hæsta meðaltal árlegs vaxtarhraða mældist í 5000-meðferðunum í Mjóanesi og á Hjartarstöðum, eða $3,2 \text{ m}^3$ á hektara og ári. Í reitunum með

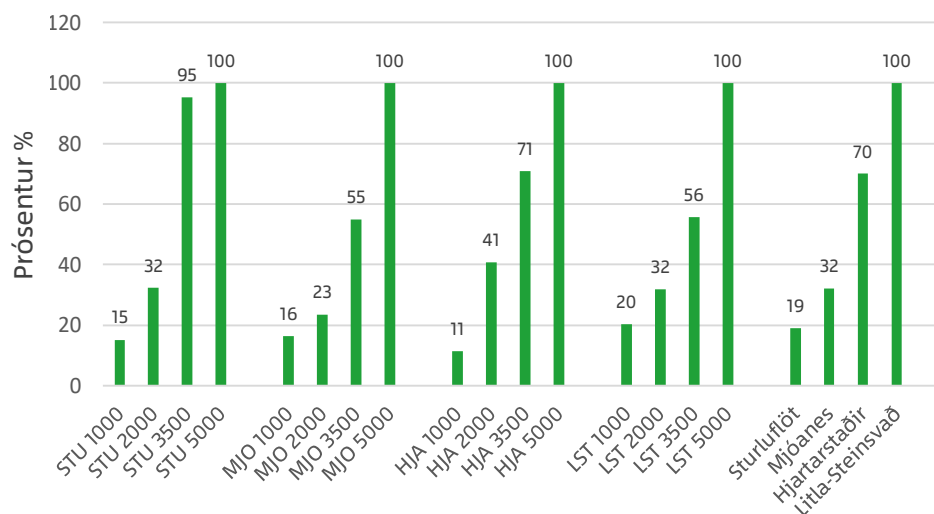
minnstum þéttleika á gróskuminni stöðunum var ársvöxtur rétt svo orðinn mælanlegur eftir 15 ár (14. mynd).

Ef meðalviðarmagn allra meðferða á hverjum stað er reiknað út og það borið saman við niðurstöður Þórveigar Jóhannsdóttur (2012) frá árinu 2011 sést að mikil aukning hefur orðið eða rúmlega níuföldun á standandi viðarforða, að jafnaði $15,4 \text{ m}^3$ á hektara (15. mynd).

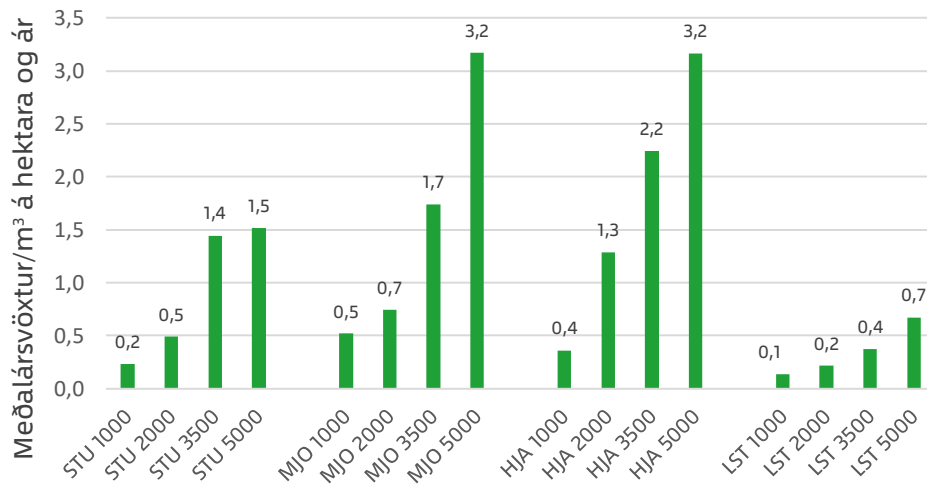
Meðaltal árlegs vaxtar í Mjóanesi var $1,5 \text{ m}^3$ á hektara og á Hjartarstöðum $1,8 \text{ m}^3$ á hektara fyrstu 15 árin (15. mynd). Síðustu 6 árin hefur vaxtarhraðinn þar aukist að jafnaði um 127% og var hlaupandi vöxtur í Mjóanesi $3,4 \text{ m}^3$ á hektara og ári og á Hjartarstöðum $4,1 \text{ m}^3$ á hektara og ári (15. mynd).



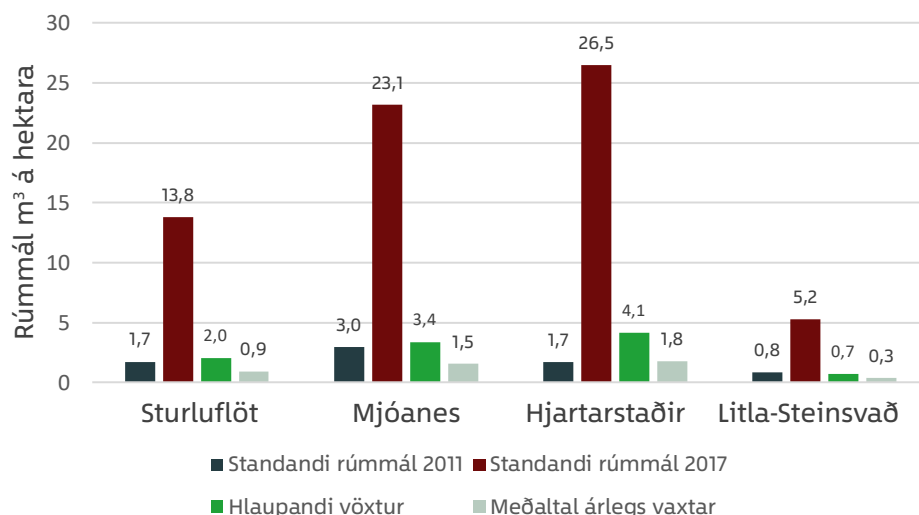
12 mynd. Standandi bolrúmmál (viðarmagn) á hektara á milli staða og meðferða. STU er skammstöfun fyrir Sturluflöt, MJO fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvað. Tölurnar á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarþéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna standandi rúmmál á hektara fyrir hverja meðferð.



13. mynd. Hlutfall viðarmagns á milli meðferða á hverjum stað miðað við meðferð 5000 sem 100%. STU er skammstöfun fyrir Sturluflöt, MJO fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvað. Tölurnar á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarþéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna hlutfall viðarmagns fyrir hverja meðferð.



14. mynd. Meðaltal árlegs vaxtar (m^3 bolviðar á hektara á ári) á milli staða og meðferða. STU er skammstöfun fyrir Sturluflöt, MJO fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvað. Tölurnar á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarþéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna meðaltal árlegs vaxtar á hektara og ár fyrir hverja meðferð.



15. mynd. Breytingar á standandi rúmmáli og viðarvexti fyrir árabilið 2011-2017. Meðaltal allra meðferða á hverjum stað. Hlaupandi vöxtur var meðaltal árlegs vaxtar árunum 2011-2017 (6 ár). Tölur fyrir 2011 voru fengnar frá þórveigu Jóhannsdóttur (2012). Tölur fyrir ofan stöplana sýna magn viðkomandi breyту.

Kolefnisbinding

Á 16. mynd er sýndur kolefnisforði standandi trjálífmassa ofanjarðar eftir stöðum, gróðursetningarþéttleika og 15 ára vöxt. Að meðaltali fyrir allar meðferðir og staði var hann 8,6 t C á hektara (1,1-23,3 t C á hektara), en eins og sést jókst hann með auknum trjáfjölda á svipaðan hátt og viðarforði. Eins og vænta mátti var hámarktækt jákvætt samband milli fjölda aðalstofna (F) og kolefnisforða ($P=0,0001$, $r^2=0,469$; $V=140,9 \times F + 1680,2$) á milli meðferða þegar

gerð var aðhvarfsgreining á gögnunum. Einnig kom fram marktækur munur á milli staða (ANOVA: F-gildi=43,45, $df=3$, $p=0,0001$) og höfðu Mjóanes og Hjartarstaðir marktækt meiri kolefnisforða að jafnaði (12,2 t C á hektara) en Litla-Steinsvað og Sturluflöt (5,1 t C á hektara). Þegar þessum tölum er snúið yfir í CO_2 og árlega bindingu í viðarkenndum lífmassa ofanjarðar, fæst meðaltal árlegrar kolefnisbindingar sem spannar 0,27 til 5,70 t CO_2 á hektara og ár.

Snemmgrísjun

Að loknum trjásmælingum var helmingurinn af meðferðum 3500 og 5000 snemmgrísjáður á öllum stöðum nema á Litla-Steinsvaði, en þar voru þó allir aukastofnar sagaðir af. Eins og sést á 17. mynd var um helmingur af standandi rúmmáli felldur, nema á Litla-Steinsvaði. Mest af felldu efni var mjög smátt og ekki nýtanlegt og því látið liggja eftir í skóginum eins og venja er í snemmgrísjun. Miðað við þær forsendur sem hér voru notaðar þá er kostnaður á hvern felldan rúmmetra í meðferð 3500 rúmmega 14.000 kr. og fyrir meðferð 5000 um 24.000 kr.

Spá um framtíðar kolefnisbindingu

Eftir snemmgrísjun var gerð framtíðar viðarvaxtar-spá fyrir umhírdumeðferðirnar. Í 4. töflu er sýndur meðaltrjá fjöldi á hektara í hverri meðferð, óháð staðsetningu, sem notaður var í framtíðarspánum. Í spánni var hámarkaður fjárhagslegur ávinningur (NPV) af ræktuninni yfir eina vaxtarlotu. Gerðar voru

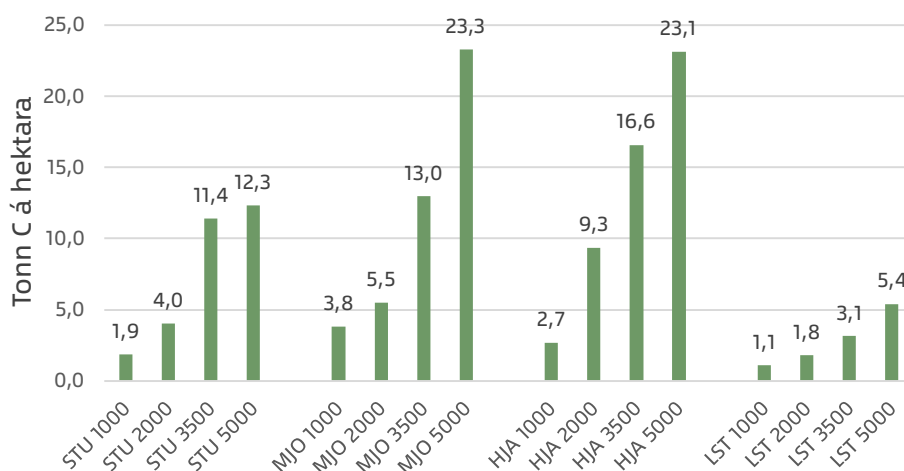
þrjár spár (engin, ein eða tvær grísjanir) fyrir hverja meðferð og einnig var skoðað hvaða áhrif það hefði að sleppa snemmgrísjun í meðferðum 3500 (3500ES) og 5000 (5000ES). Að öðru leyti var gert ráð fyrir sama fjölda grísjana og hjá öðrum meðferðum.

Í flestum tilfellum minnkaði kolefnisbinding við grísjanir að undanskilinni meðferð 5000ES þar sem kolefnisbindingin jókst við eina grísjun. Mest binding átti sér stað í meðferð 3500ES þar sem að meðaltali stóðu 3.383 tré á hektara við 15 ára aldur og hún hvorki snemmgrísjúð né grísjúð (18. mynd). Vaxtarlotan fyrir þessa meðferð var 47 ár og trjá fjöldi í enda lotunnar 2.339 tré á hektara. Þar var því gert ráð fyrir að 1.044 tré á hektara dræpast vegna sjálfgrísjunar (4. tafla).

Miðað við þær forsendur sem notaðar voru kom í ljós að meðallotulengdin fyrir mismunandi meðferðir var á bilinu 47-53 ár og trjá fjöldi í enda lotunnar á bilinu 866-2.015 tré á hektara (ha), óháð meðferð og fjölda grísjana (4. tafla).

Meðferð	Trjá fjöldi á hektara í byrjun lotu	Trjá fjöldi á hektara í enda lotu	Lotulengd	Meðaltal árlegs vaxtar, m ³ á hektara
1000	937	866	51	3,7
2000	1.637	1.423	47	4,1
3500	1.684	1.501	49	4,1
5000	2.428	1.867	51	5,0
3500ES	3.383	2.015	47	5,5
5000ES	5.225	1.987	53	5,2

4. tafla. Meðaltrjá fjöldi á hektara (ha) í byrjun og enda framtíðarspárinnar ásamt meðallotulengd og meðaltali árlegs vaxtar fyrir mismunandi meðferðir.

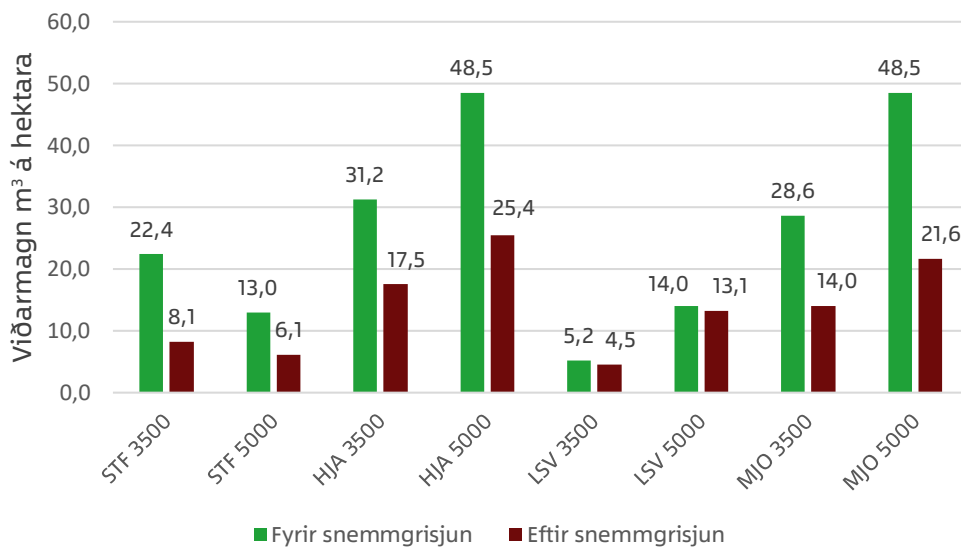


16. mynd. Kolefnisforði í lífmassa ofanjarðar, tonn C á hektara eftir 15 ára vöxt eftir stöðum og meðferðum. STU er skammstöfun fyrir Sturluflöt, MJO fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvað. Tölur á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarþéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna standandi kolefnisforða á hektara fyrir hverja meðferð.

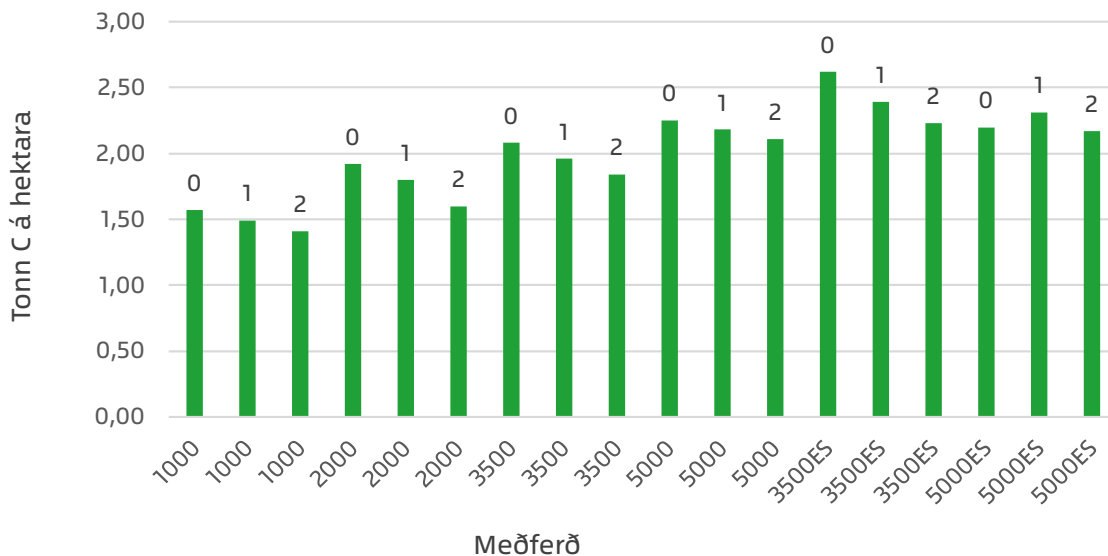
Ef kolefnisforði standandi trjálífmassa ofanjarðar í lok vaxtarlotunnar er síðan skoðaður sést að munurinn á milli þéttleikameðferðanna hefur minnkað (19. mynd) samanborið við kolefnisforða við 15 ára aldur (16. mynd). Þéttustu meðferðirnar hafa enn mestan kolefnisforða en munurinn á milli þéttustu (5000ES) og gisnustu meðferðarinnar (1000) hefur minnkað úr því að vera 14,8% af kolefnisforða þéttustu meðferðarinnar eftir 15 ára viðurvöxt (16. mynd) í að vera 66,5% af kolefnisforða hennar í lok vaxtarlotu (19. mynd). Meðferð 5000 sem í stóðu að meðaltali 2.428 tré á hektara eftir millibilsjöfnun við 15 ára aldur, er að skila álíka mikilli kolefnisbindingu í lok lotu og meðferðir 3500ES og 5000ES sem í stóðu 3.383 og 5.225 tré á hektara við sama aldur (19. mynd).

Á 20. mynd sést meðaltal árlegrar kolefnisbindingar eftir mismunandi upphafstrjáffjölda sem meðaltal allra sviðsmynda (núll, ein og tvær grisjanir). Hámarks meðalbinding kolefnis næst í meðferð 3500ES þar sem að meðaltali stóðu 3.383 tré á hektara við 15 ára aldur.

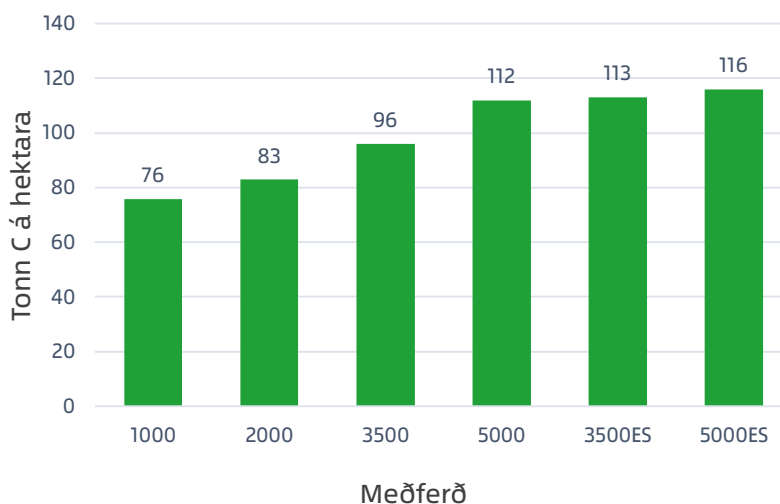
Athyglisvert er að sjá að meðferð 5000, sem að meðaltali hafði 2.428 tré á hektara eftir snemmgrisjun við 15 ára aldur, nær sömu meðalbindingu og meðferð 5000ES þar sem stóðu 5.225 tré á hektara við sama aldur. Lotulengdin fyrir meðferð 5000 var 51 ár og fyrir meðferð 5000ES var hún 53 ár (4. tafla).



17. mynd. Standandi viðarmagn fyrir og eftir snemmgrisjun í mismunandi meðferðum og stöðum. STF er skammstöfun fyrir Sturluflöt, MJO er fyrir Mjóanes, HJA fyrir Hjartarstaði og LST fyrir Litla-Steinsvað. Tölur á eftir skammstöfun á x-ás eru meðferðarþéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna standandi viðarmagn á hektara fyrir hverja meðferð.



18. mynd. Áhrif grisjunar á meðaltal árlegrar kolefnisbindingar í standandi lífmassa ofanjarðar (tonn C á hektara), í enda vaxtarlotunnar miðað við enga, eina eða tvær grisjanir fyrir mismunandi meðferðir. Tölur á x-ás eru meðferðarpéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan súlurnar sýna fjölda grisjana.



19. mynd. Meðalkolefnisforði í standandi lífmassa ofanjarðar (tonn C á hektara), eftir eina vaxtarlotu óháð fjölda grisjana. Lotulengdin var á bilinu 44-55 ár og trjáfjöldi á hektara í enda lotunnar á bilinu 795-2.204 tré. Tölur á x-ás eru meðferðarpéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna meðalkolefnisforða á hektara fyrir mismunandi meðferðir.

Tekinn var saman meðaltalskostnaður vegna gróðursetningar, snemmgrisjunar og grisjana fyrir meðferðirnar yfir eina vaxtarlotu (2. tafla) og honum deilt í standandi kolefnisforða í lok hennar. Eins og gefur að skilja jókst kostnaður við bindingu kolefnis eftir því sem fleiri tré eru gróðursett og sérstaklega ef skógurinn er snemmgrisjaður (21. mynd). Kostnaður í meðferð 1000 var einungis 16% af kostnaði við meðferð 5000 (21. mynd) sem var dýrust og framleiddi um 68% af kolefnisforða meðferðar 5000 (19. mynd). Á 21. mynd sést einnig að ef tilgangur ræktunarinnar er binding kolefnis eykur snemmgrisjun kostnaðinn mikið.

Tekjur af ræktuninni

Trjáfjöldi á hektara við 15 ára aldur og fjöldi grisjana hafði ekki afgerandi áhrif á áætlaðar árlegar nettótekjur af viðarframleiðslunni (22. mynd). Ástæða þess er sú að í gisnum skógum varð heildar viðarframleiðsla minni en í þéttari skógunum, en þvermál trjáa meira sem skilaði stærstum hluta framleiðslunnar í verðmætustu afurðaflokkana. Með auknum þéttleika minnkaði vaxtarrýmið sem dró mjög úr þvermálsvexti minni trjáa og af þeim sökum varð rúmmál meðaltrésins minna. Þetta leiðir til þess að magn flettiefnis verður minna og magn

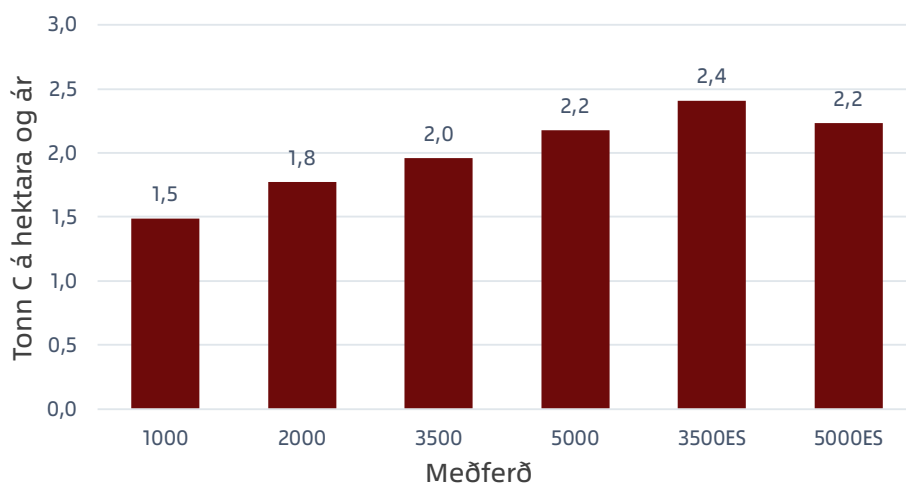
iðn- og eldiviðar meira, en talsvert lægra verð fæst fyrir þá afurðaflokka (3. tafla). Að auki eru grisjanir kostnaðarsamari ef tré eru rúmmálslítill (Lárus Heiðarsson og Loftur Jónsson 2004).

Eins og áður sagði voru öll tré skilgreind sem gæðatré í framtíðarspánum svo auðveldara væri að bera saman mismunandi meðferðir og staði. Þetta var þó ekki raunveruleikinn því fjöldi gæðatrjáa var mjög misjafn eftir stöðum og mörg tré það lítill að ekki var með góðu móti hægt að meta gæði þeirra (gögn ekki sýnd). Til að skoða hvaða áhrif fjöldi gæðatrjáa hefði á fjárhagslega afkomu ræktunarinnar var meðferð 2000 á Hjartarstöðum, sem í standa 1.900 tré á hektara, tekin sem dæmi. Hún var ekki snemmgrisjuð, en grisjuð á sama hátt og aðrar framtíðarspár (engin, ein eða tvær grisjanir). Þar sést að fjöldi gæðatrjáa hafði afgerandi áhrif

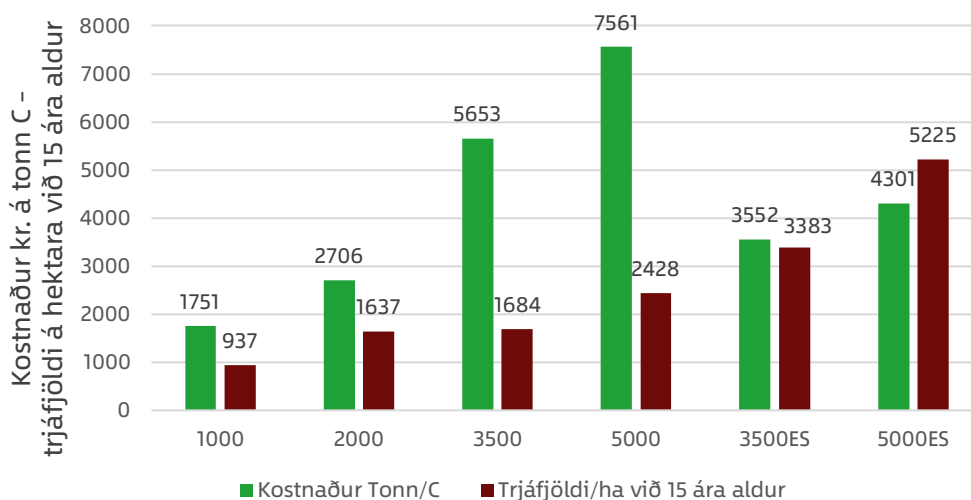
á arðsemina (23. mynd). Lotulengdin fyrir 0 og 100 gæðatré á hektara var lengri, 75 og 72 ár, samanborið við aðrar meðferðir þar sem hún var á bilinu 44-56 ár. Þó sést einnig að ávinningurinn minnkaði þegar fjöldi gæðatrjáa var kominn yfir 500 tré á hektara (23. mynd). Ástæðan fyrir því er, eins og áður er getið, skortur á vaxtarrými.

Það kom einnig í ljós að ef gæðatré voru engin var hagkvæmast að sleppa öllum grisjunum en ef 100-300 gæðatré stóðu á hektara var hagkvæmast að grisja einu sinni. Fleiri grisjanir minnkuðu ávinninginn við þennan fjölda gæðatrjáa.

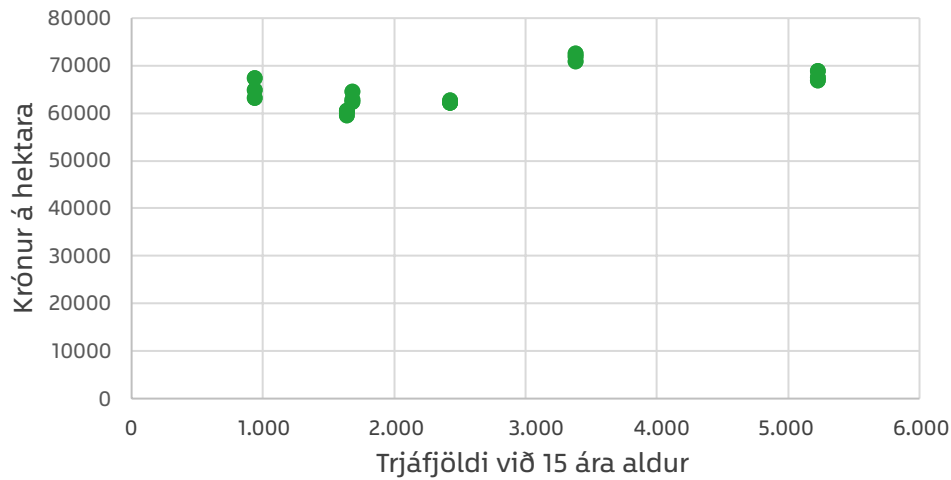
Ef fleiri en 300 gæðatré voru á hektara komu tvær grisjanir hagkvæmast út en munurinn var lítill á milli fjölda grisjana (gögn ekki sýnd). Það voru sömu niðurstöður og ef öll trén voru gæðatré (18. mynd).



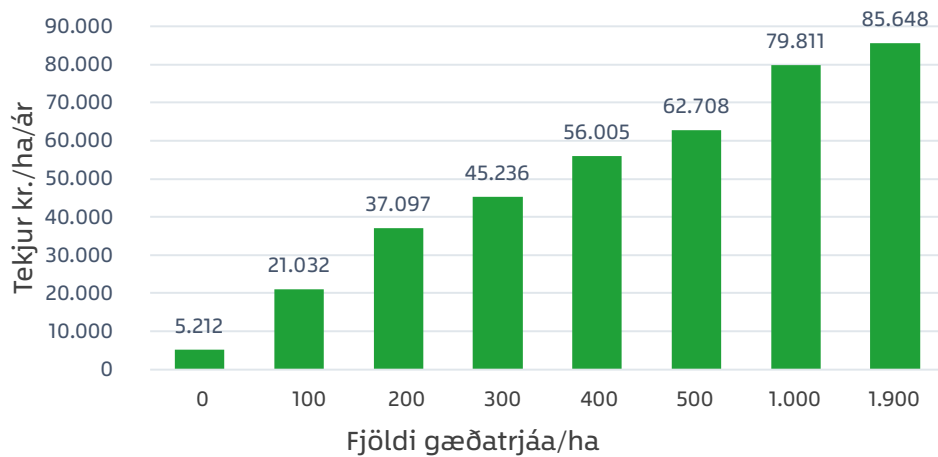
20. mynd. Meðaltal árlegrar kolefnisbindingar í standandi lífmassa ofanjarðar (tonn C á hektara og ár), við lokahögg, óháð fjölda grisjana. Lotulengdin var á bilinu 44-55 ár og trjáfjöldi á hektara í enda lotunnar á bilinu 795-2.204 tré (4. tafla). Tölur á x-ás eru meðferðarþéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan stöplana sýna meðaltal árlegrar kolefnisbindingar á hektara fyrir hverja meðferð.



21. mynd. Heildarkostnaður yfir eina vaxtarlotu við að binda eitt tonn af kolefni (C) fyrir mismunandi meðferðir. Kostnaði var deilt í standandi kolefnisforða í enda lotunnar. Tölur á x-ás eru meðferðarþéttleiki trjáa á hektara og tölur fyrir ofan grænu stöplana sýna kostnað við bindingu á einu tonni af kolefni og tölur fyrir ofan rauðu stöplana sýna trjáfjölda á hektara fyrir viðkomandi meðferð.



22. mynd. Áætlaðar árlegar tekjur frá gróðursetningu miðað við trjá fjölda á hektara við 15 ára aldur fyrir meðferðirnar 6 (1000, 2000, 3500, 5000, 3500ES og 5000ES). Meðferð 1000 er lengst til vinstri og meðferð 5000ES lengst til hægri. Þrír punktar eru við hverja meðferð og hver punktur er fjárhagsleg niðurstaða fyrir mismunandi grísjanir (engin, ein eða tvær).



23. mynd. Árlegar tekjur frá gróðursetningu af meðferð 2000 á Hjartarstöðum miðað við mismunandi fjölda gæðatrjáa. Upphafstrjá fjöldi var 1.900 tré á hektara.

Umræður

Munur á milli staða

Þeir staðir þar sem tilraunin var sett út eru eins konar langskurður af Fljótsdalshéraði og endurspeglar einnig tvær algengar landgerðir á svæðinu sem nýttar eru til lerkiræktar. Niðurstöðurnar sýna að skilyrði til ræktunar lerkis eru misjöfn innan Héraðs. Bestur var vöxturinn í Mjóanesi og á Hjartarstöðum og var hann mjög svipaður samkvæmt þessum mælingum. Vænta má að yfirhæð flestra mæliflatanna þar verði á bilinu 16-18 metrar við 80 ára aldur. Grunnflatarvegið meðalþvermál og aðrar stærðir voru einnig mjög svipaðar í Mjóanesi og á Hjartarstöðum.

Það kemur trúlega einhverjum á óvart hversu góður vöxtur er á Hjartarstöðum, en lengi vel voru uppi efasemdir um að skógrækt væri möguleg utan við Eiða (Haukur Ragnarsson 1977). Hér er þó verið að bera saman sama efnivið sem allur var gróðursettur á sama tíma og á nokkuð sambærilegri landgerð (jarðdjúpum fjalldrapamóa), þannig að samanburðurinn ætti að vera nokkuð óbjagaður.

Erfiðustu skilyrðin til skógræktar í þessari rannsókn voru á Litla-Steinsvaði en þar stendur tilraunin á hæð og hefur því ekkert landslagsskjól sem hefur áhrif á vöxt lerkisins eins og sést á rúmmálsvexti (12. mynd). Þar má búast við að yfirhæðin verði á bilinu 11-13 metrar við 80 ára aldur miðað við vöxtinn fyrstu 15 árin.

Á Sturluflöt verður áætluð yfirhæð lerkisins litlu hærrí, eða á bilinu 13-16 metrar við 80 ára aldur. Landið sem tilraunin var sett í á Sturluflöt var mjög illa farin fjallshlíð með lítilli gróðurþekju og þunnum jarðvegi og var talið ónothæft sem beitiland. Mikið er af slíku landi á innanverðu Héraði og hefur landgræðsla með því að gróðursetja lerkis í það gefið góða raun (Sigurður Blöndal og Skúli Björn Gunnarsson 1999). Þar sem vaxtargeta skóga ræðst ekki síst af frjósemi jarðvegs (Smith o.fl. 1997), þarf ekki að koma á óvart að vaxtargeta lerkisins hafi verið heldur minni þar en í Mjóanesi og á Hjartarstöðum. Það verður fróðlegt að fylgjast með framvindunni á Sturluflöt vegna þess hversu rýrt landið er þar og frekar takmarkaðar upplýsingar eru til um vöxt lerkis yfir lengri tíma á svo rýru landi á Fljótsdalshéraði.

Það sem vekur einna mesta athygli í niðurstöðunum er sá mikli munur sem er á vexti lerkis á Hjartarstöðum og Litla-Steinsvaði, en einungis 8 kílómetrar skilja þessa staði að í beinni loftlínu. Hins vegar er staðsetning tilraunarinnar í svipuðu landslagi á Hjartarstöðum og Mjóanesi, í neðanverðum hlíðum stórra hálsa, en svæðið á Litla-Steinsvaði aftur á móti uppi á opinni hæð í annars flötu landi. Af þessu má álykta að skjól af landslagi hafi meiri áhrif á útkomu skógræktar en landfræðileg staðsetning, svo sem fjarlægð frá sjó. Það er m.a. af þessum ástæðum sem ekki er hægt að meta skógræktarskilyrði með einföldum þumal fingursreglum eða hitatölum frá

veðurathugunarstöðvum heldur þarf að skoða aðstæður á hverjum stað fyrir sig. Þetta er í samræmi við niðurstöður Arnórs Snorrasonar (1986) í úttekt á vexti lerkis um allt land. Hann komst að því að álíka mikill munur er á vexti lerkis innan landsvæða og á milli þeirra.

Í stuttu máli teljum við líklegt að landslagsstaða tilraunarinnar á Litla-Steinsvaði og rýr jarðvegur á Sturluflöt skýri að mestu vaxtarmun lerkisins á þessum stöðum og hinum tveimur. Landfræðilega dreifingin (langskurðurinn af Héraði) skýrir ekki muninn á vexti lerkisins og því er ekki hægt að álykta um skógræktarskilyrði miðað við t.d. fjarlægð frá sjó út frá þessum niðurstöðum.

Áhrif upphafspéttleika á vöxt

Ef yfirhæð er skoðuð, virðist við fyrstu sýn sem gróska (vaxtargeta) aukist með trjáfjölda þéttleikameðferðanna í tilrauninni (3. og 4. mynd), en hún er að jafnaði metin út frá yfirhæðarvexti (Smith o.fl. 1997). Þetta kom einnig fram í fyrri úttekt og var túlkað þannig þá (Þórveig Jóhannsdóttir o.fl. 2013). Þetta var þó ekki raunin í rannsókn okkar þar sem þetta kom ekki fram í samsvarandi aukningu á þvermálsvexti trjáanna (10. mynd). Það er þekkt að í þéttum skógi verður baráttan um sólarljós og stöðu í skóginum mikil sem veldur því að tré setja aukinn kraft í hæðarvöxt, oft á kostnað þvermálsvaxtar (Vuokila 1993). Af þessum sökum verður fróðlegt að fylgjast með hvort þessi þróun viðhelst í þeim reitum sem voru snemmgrisjaðir árið 2018.

Ekki var marktækur munur á grunnflatarvegnum meðalþvermáli trjáa á milli meðferða og út frá þeim niðurstöðum má ætla að þéttleiki sé ekki farinn að hafa áhrif á þvermálsvöxt. Einhver hluti trjáa var þó enn undir tveggja metra hæð og því mun laufkrónan lagskiptast þegar vaxtarrýmið minnkar (Smith o.fl. 1997). Í ógrísjuðu reitunum mun þéttleikinn því fljótlega valda því að draga tekur úr þvermálsvexti undirmálstrjáanna (Vuokila 1993). Það verður því fróðlegt að taka út áhrif snemmgrisjunarinnar eftir 5 ár. Mjög góður þvermálsvöxtur er í tilrauninni og í Mjóanesi og á Hjartarstöðum hafa sverustu tré náð um 12 sm þvermáli í brjósthæð á 15 árum.

Í fyrri rannsókn Þórveigar Jóhannsdóttur o.fl. (2013) kom fram að marktækur munur var árið 2011 á milli yfirhæðar í Mjóanesi og hinna staðanna. Þórveig gerði einnig aðhvarfsgreiningu á línulegu sambandi milli yfirhæðar og raunverulegs þéttleika í öllum meðferðunum, fékk marktækt jákvætt samband og útskýrði þéttleikinn 16% af breytileikanum í yfirhæð (Þórveig Jóhannsdóttir o.fl. 2013). Þetta var einnig gert í þessari rannsókn. Hefur sambandið aukist og útskýrir þéttleikinn nú 22% af breytileika í yfirhæð.

Stærð trjáa skiptir miklu máli um hagkvæmni umhirðuadgerða eins og grisjunar. Það er því mikilvægt að hvert tré sé sem rúmmáls mest til að ná kostnaði við grisjun niður, þar sem kostnaður á hvern felldan rúmmetra lækkar eftir því sem rúm-

mál trjáa eykst (Lárus Heiðarsson og Loftur Jónsson 2004). Ekki kom fram marktækur munur á bolrúmmáli meðaltrjáa milli þéttleikameðferða (11. mynd). Í rannsókn Þórveigar Jóhannsdóttur (2012) kom heldur ekki fram marktækur munur á rúmmáli meðaltrjáa á milli meðferða, en þá var marktækur munur á milli staða líkt og í rannsókn okkar. Þá hafði Mjóanes rúmmáls mestu trén og ekki var marktækur munur á milli Sturluflatar og Hjartarstaða né á milli Sturluflatar og Litla-Steinsvaðs. Þetta hefur breyst og við 15 ára aldur var marktækur munur á milli allra staða nema Mjóaness og Hjartarstaða.

Ahrif upphafspéttleika á framleiðni

Að jafnaði jókst standandi viðarmagn eftir því sem þéttar var gróðursett, eins og búast má við í ungskógi, en meðaltrjástærð og trjáfjöldi hafði töluverð áhrif á niðurstöðurnar (13. mynd). Spálíkan af vaxtarferli rússalerkis spáir að vöxtur muni viðhaldast fram yfir 30 ára aldur en þá muni hann byrja að dala (Lárus Heiðarsson og Pukkala 2012). Af þessum sökum er betra að skógurinn sé snemmgrisjaður svo að vaxtar- og gæðamestu einstaklingarnir hafi gott pláss til þvermálsvaxtar ef tilgangur ræktunarinnar er framleiðsla á efni til flettingar.

Áhugavert er að á Sturluflöt og á Litla-Steinsvaði var hlutfallslega aukningin í vaxtarhraða eftir 2011 svipuð og á hinum stöðunum, 133% og 122%, en vegna hægari vaxtar þar í upphafi dregur stöðugt í sundur með stöðunum í standandi viðarmagni. Meðalvöxturinn frá 2002 var ekki nema 0,9 m³ á hektara og ári á Sturluflöt og 0,3 m³ á hektara og ári á Litla-Steinsvaði (14. mynd). Þar sem vaxtarhraði skóga er almennt veldisvöxtur í upphafi vaxtarlotu (Smith o.fl. 1997, Lárus Heiðarsson og Pukkala 2012) kom þetta ekki á óvart.

Ef 12. mynd er skoðuð sést að viðurframleiðslan á Sturluflöt í meðferð 3500 var 95% af framleiðslu meðferðar 5000. Þetta háa hlutfall kemur á óvart. Líklegustu skýringarnar á þessum mun eru að í meðferð 5000 var meðaltréð talsvert minna en í meðferð 3500 og þrátt fyrir talsvert meiri fjölda trjáa í meðferð 5000 (6. mynd) eykst rúmmálið ekki sem neinu nemur vegna smæðar trjáanna. Munur á rúmmáli á milli meðferða 2000, 3500 og 5000 var um 30% að jafnaði fyrstu 15 árin, en aðeins um 10% á milli meðferða 1000 og 2000 (13. mynd).

Viðmiðunarpéttleiki

Misjafnt var á milli staða hversu nærri viðmiðunarpéttleikanum gróðursett var í upphafi í mælifletina. Á Litla-Steinsvaði og í Mjóanesi var þéttleikinn undir viðmiðunarpéttleika í öllum meðferðum. Á Hjartarstöðum náði meðferð 3500 viðmiðunarpéttleika en aðrar meðferðir voru undir honum. Á Sturluflöt voru hins vegar gróðursettar fleiri plöntur en viðmiðunarpéttleikinn í öllum mæliflötum. Við teljum að þessi munur stafi fremur af því að gróðursetningarnar voru ekki alveg jafnar innan með-

ferðarreita, og mælifletirnir því breytilegir, frekar en að rangur fjöldi plantna hafi verið gróðursettur í reitina í heild í upphafi. Það styður þessa skoðun að Bjarni Diðrik (2011) og Þórveig (2012), sem notuðu aðra 100-200 m² mælifleti innan sömu meðferða, skuli hafa fengið aðrar þéttleikaniðurstöður.

Afföll

Mismikil afföll voru á milli tilraunastaðanna, frá 8% upp í 30% að meðaltali milli svæða, en 15% að meðaltali í allri tilrauninni. Bjarni Diðrik Sigurðsson (2011) fylgdist með afföllum á föstum reitum frá upphafi til ársins 2010 í 3500-meðferðinni á öllum tilraunastöðunum nema í Mjóanesi. Athuganir Bjarna eru í takt við niðurstöður þessarar rannsóknar. Afföllin á Litla-Steinsvaði voru hins vegar metin heldur minni 2010, um 18% í stað 25% árið 2017. Það er í samræmi við niðurstöður Bjarna Diðriks að þar voru afföll ekki búin árið 2010. Ef þessar niðurstöður eru bornar saman við úttektir á lífun sem Sigrún Sigurjónsdóttir (1993) og Valdimar Reynisson (2008) gerðu á Fljótsdalshéraði, voru þau ekki óeðlilega mikil og jafnvel heldur minni en niðurstöður þeirra gáfu til kynna. Afföllin voru að meðaltali um 20% í úttekt Sigrúnar og um 30% í úttekt Valdimars.

Aukastofnar

Mjög algengt er að lerki myndi aukastofna og ástæður þess geta verið margvíslegar. Plöntur geta verið bitnar af fé, hreindýr skemma 1-3 metra há tré sem þau nota til að klóra sér á hornunum, í hvössum vindi getur skafrenningur eða sandfok skemmt börk trjáa eða þá að plöntur kelur niður í rót af völdum frosts.

Þessi áföll valda því að tréð setur ný brum sem byrja þá að mynda toppa eða að hliðargreinar byrja að gera það sama. Aukastofnar eru til trafala við millibilsjöfnun og grisjun, hvort sem það er gert af manni með keðjusög eða skógarhöggsvél. Að auki leiðir hátt hlutfall aukastofna til minni arðsemi ræktunarinnar vegna þess að bolirnir verða rúmmálsminni og oft það litlir hver um sig að trén skila engum afurðum. Þetta geta verið þyrpingar af smástofnum, tveir eða fleiri saman og allir stofnar að svipaðri stærð eða þyrping af stofnum sem hefur aðalstofn með einum eða fleiri aukastofnum af mismunandi stærðum. Það er mikilvægt að við millibilsjöfnun séu þessir stofnar fjarlægðir þannig að upp af hverri rót vaxi aðeins einn stofn.

Þessi rannsókn sýndi að með auknum þéttleika minnkar hlutfall aukastofna (8. mynd). Allavega tvær ástæður geta valdið því. Sú fyrri er að með auknum þéttleika eykst sjálfskjólið, þ.e. með auknum þéttleika eykst skjólið af hverri plöntu sem minnkar skemmdir á berki af völdum skafrennings sem leiðir til myndunar aukastofna. Seinni ástæðan er að með auknum þéttleika skógarins minnkar það ljósmagn sem nær niður í skóginn, hægir á vexti aukastofna og drepur eitthvað af þeim að lokum.

Kolefnisbinding

Kolefnisforði í standandi trjálfífmassa ofanjarðarjókst með auknum trjáfjölda á svipaðan hátt og viðarforði en frjósemi lands og landslag hefur líka mikil áhrif eins og munur á milli staða sýndi (16. mynd).

Rannsóknir Brynhildar Bjarnadóttur (2007) á kolefnisbindingu rússalerkis á líkum aldri sem gerðar voru í Vallanesi á Fljótsdalshéraði sýna svipaðar niðurstöður og þessar mælingar. Að auki binst kolefni í neðanjarðarluta trjána og jarðvegi (Owona 2019), sem ekki var metið í rannsókn okkar.

Snemmgrisjun

Um 50% af standandi rúmmáli voru felld í snemmgrisjun (17. mynd) og þannig fjarlægð um 60% af gróðursettum plöntum í meðferðum 3500 og 5000. Velta má fyrir sér hversu skynsamlegt það er að gróðursetja svo þétt því mikill kostnaður liggur að baki gróðursetningu og snemmgrisjun (2. tafla). Ef reiknaður er kostnaður á hvern felldan rúmmetra viðar í snemmgrisjun kemur í ljós að hann er um 14.000 kr. á m³ fyrir meðferð 3500 og um 24.000 kr. á m³ fyrir meðferð 5000. Þessi kostnaður er langt umfram það afurðaverð sem notað var í framtíðarspánni (3. tafla).

Af praktískum ástæðum þarf viður sem fluttur er lengri vegalengdir til úrvinnslu að vera í stöðluðum lengdum og hafa lágmarksþvermál til að nýtast. Venjulega eru lengdirnar þrjár eða fjórir metrar og minnsta þvermál í grenni enda trjábols sex sentimetrar. Ef notað er fall sem reiknar upp- mjókkun lerkitrjáa (Lárus Heiðarsson og Pukkala 2011) kemur í ljós að lerkitré þarf að lágmarki að hafa tíu sentimetra þvermál í brjósthæð og hæð ekki undir fimm metrum til að teljast nýtanlegt. Það var því einungis á Hjartarstöðum og í Mjóanesi sem örlítið af nýtanlegu efni var fellt í snemmgrisjuninni 2018, því oftast eru stærstu trén ekki felld í snemmgrisjun nema þau séu gæðalítill og voru einhver slík felld á fyrrnefndum stöðum. Á Litla-Steinsvaði og Sturluflöt hafa tré ekki náð þessu þvermáli. Það efni sem ekki fellur undir skilgreininguna „nýtanlegt efni“ út frá timburnytjum nýtist þó vissulega að einhverju leyti í nærumhverfinu sem kurl, eldiviður og girðingastaurar.

Ef tilgangur ræktunarinnar er framleiðsla á efni til flettingar, þarf að snemmgrisja lerki þegar gróðursetningarpéttleiki er á milli 3.000 og 5.000 tré á hektara (Héraðs- og Austurlandsskógar og Skógrækt ríkisins 2011). Þetta þarf að fara fram á meðan lerkid er enn mjög ungt af því að það er ljóselskara en önnur barrtré (Rantala 2007) og meðal- og undirmálstré draga því hratt úr vexti þegar grunnflötur fer yfir 15 m² á hektara í yngri lerkiskógum (Parviainen 2007).

Of mikill þéttleiki dregur því úr þvermálsvexti í skóginum, sem seinkar myndun á nýtanlegu efni.

Spá um framtíðar kolefnisbindingu

Grisjanir hafa áhrif á kolefnisbindingu en áhrifin eru ekki afgerandi (18. mynd). Lotulengdin fyrir meðferðirnar óháð fjölda grisjana var á bilinu 47-53 ár þegar hámarksarðsemi (NPV) af ræktuninni var valin við gerð framtíðarspárinnar. Það sem stjórnar að stórum hluta lengd vaxtarlotunnar er ávöxtunarkrafan. Við lægri ávöxtunarkröfu hefði vaxtarlotan orðið lengri í flestum tilvikum, sérstaklega fyrir skóga þar sem fjöldi gæðatrjáa er lítill.

Aukinn upphafspéttleiki skilar fyrst og fremst aukinni bindingu í fáeina áratugi í upphafi vaxtarlotunnar (fyrir 35 ára aldur) sem er eðlilegt fyrir ljóselska frumherjategund eins og lerki. Þegar niðurstöður framtíðarspárinnar voru skoðaðar fyrir meðferðir 3500ES og 5000ES sást að mikil sjálfgrisjun hófst við 30 ára aldur og var viðvarandi fram að lokahöggi (4. tafla). Kostnaður vegna bindingar á kolefni eykst með auknum trjáfjölda og niðurstöður þessarar rannsóknar sýna að sleppa eigi snemmgrisjun ef megintilgangur ræktunarinnar er kolefnisbinding (21. mynd).

Ef ákveðið er að horfa til áhrifanna yfir lengri vaxtarlotu væri hugsanlega hagkvæmara að gróðursetja færri plöntur í upphafi, sleppa snemmgrisjun og koma þá seinna inn með fyrstu grisjun, þegar skógurinn er á hæðarbilinu 7-10 metrar, og fengist þá út úr fyrstu grisjun nýtanlegt efni sem myndi greiða kostnaðinn við hana eitthvað niður og jafnframt auka kolefnisbindingu til lengri tíma lítið.

Tekjur af ræktuninni

Aukinn upphafstrjáfjöldi hafði lítil áhrif á arðsemi ræktunarinnar yfir eina vaxtarlotu þegar tekjur af ræktuninni á núvirði (NPV) voru hámarkaðar og tilgangur ræktunarinnar var framleiðsla á efni til flettingar (22. mynd).

Með auknum upphafstrjáfjölda eykst líka þörfin á grisjunum og kostnaður við grisjanir er hár hér á landi samanborið við nágrannalöndin (Fredrik Karlson 2020, Videskog Finnlandi, munnleg heimild). Það efni sem tekið er út í grisjunum er einnig að stærstum hluta iðnviður sem ekki er mikill markaður fyrir á Austurlandi eins og sakir standa, en það gæti breyst fljótt.

Það sem hins vegar hafði afgerandi áhrif á arðsemi- na var fjöldi gæðatrjáa (21. mynd). Það er því mikilvægt að skógareigendur haldi trjám einstofna með því að saga eða klippa af aukastofna og aukatoppa af þeim. Að auki skilar greinahreinsun (uppkvistun) kvistlausum viði sem eykur einnig viðargæði og ætti að skila sér í herra afurðarverði.

Lokaorð

Niðurstöður þessarar rannsóknar sýna að lítil samkeppni var hafin um vaxtarrými 15 árum eftir gróðursetningu, óháð upphafspéttleika. Afföll í tilrauninni voru lítil og lægri en í fyrri úttektum á Héraði á öllum stöðum nema Litla-Steinsvaði, en þar voru afföll þau sömu og meðalafföll í úttekt Valdimars Reynissonar (2008) eða um 30%.

Mikill munur var á vexti á milli staða, en sambærilegur vöxtur var í Mjóanesi og á Hjartarstöðum. Þar á eftir kom Sturluflöt og minnstur var vöxturinn á Litla-Steinsvaði. Það sem veldur þessum mikla vaxtar mun er væntanlega mismunandi vaxtarskilyrði á stöðunum, en jarðvegsgerð og skjól af landslagi eru líklegustu skýringarnar.

Jákvæð áhrif af auknum upphafspéttleika voru minni afföll, færri aukastofnar (minna kal) og meiri hæðarvöxtur. Þessi áhrif benda til þess að með auknum upphafspéttleika myndist fyrir sjálfskýlingaráhrif sem hafi sannanleg jákvæð áhrif í upphafi ræktunarinnar. Aukinn upphafspéttleiki skilar fyrst og fremst auknum vexti í fáeina áratugi (undir 35 ára aldri) í upphafi vaxtarlotunnar fyrir ljóselska frumherjategund eins og rússalerki (19. mynd).

Aukinn upphafspéttleiki hafði lítil áhrif á arðsemi ræktunarinnar yfir eina vaxtarlotu þegar tekjur af ræktuninni á núvirði (NPV) eru hámarkaðar og gert ráð fyrir að öll tré sem náð hafa tilskilinni stærð séu gæðatré og hægt sé að nýta þau til flettingar. Það sem hefur afgerandi áhrif á arðsemina í raun er fjöldi gæðatrjáa. Hafa verður í huga að aukinn upphafspéttleiki eykur mjög kostnað við viðarframleiðslu og kolefnisbindingu (21. mynd), sérstaklega ef skógurinn er snemmgrísjaður.

Niðurstöður okkar benda til þess að nægjanlegt sé að gróðursetja á bilinu 2.500–3.000 plöntur á hektara í lerkirækt á Héraði, eftir því hversu mikil hætta er á afföllum í upphafi. Þó ber að hafa í huga að afföll eru sjaldnast jöfn yfir ræktunina og því betra að bregðast við þeim með íbótum frekar en auknum upphafspéttleika.

Einnig kom fram að snemmgrísjun hækkaði kostnaðinn við ræktunina umtalsvert og var tilgangslaus ef markmiðið er kolefnisbinding. Til þess að fá nákvæmari niðurstöður væri nauðsynlegt að flétta saman ábata kolefnisbindingar og viðarnýtingar og meta þannig hámarksarðsemi ræktunarinnar. Einnig væri vert að rannsaka betur áhrif einingaverðs mismunandi afurða á val á ræktunarforskrift.

Þakkir

Höfundar vilja þakka Framleiðnisjóði landbúnaðarins sem styrkti verkefnið fjárhagslega árið 2017 (mál númer 17-010). Einnig viljum við þakka þresti Eysteinsyni fyrir yfirlestur og góðar ábendingar.

Heimildir

- Agnes Brá Birgisdóttir.** (2005). *Bestandstettheter og stammeform í 10-15 ár gamle plantefelt av russisk lerk (Larix sukaczewii) på Öst-Island* [Stand densities and stem form in 10-15-year-old plantations of *Larix sukaczewii* in East Iceland]. (M.Sc.-ritgerð), Norwegian University of Life Sciences, Ås, Noregi. 40 bls.
- Arnór Snorrason** (1986). *Larix í Island: sammenligning av arter, provenienser og voksesteder*. Institutt for skogskjøtsel. (Kandidatsritgerð), Norges landbrukshøgskole (á norsku). 124 bls.
- Arnór Snorrason og Stefán Freyr Einarsson** (2006). Single-tree biomass and stem volume functions for eleven tree species used in Icelandic forestry. *Icelandic Agricultural Sciences*, 19, 15-24.
- Bjarni Diðrik Sigurðsson, Björgvin Ö. Eggertsson, Hreinn Óskarsson og Þór Þorfinnsson** (2006). Langtímarannsóknir á áhrifum tegundablöndu, áburðargjafar og upphafspéttleika í skógrækt (LT-verkefnið). *Rit Fræðapings landbúnaðarins*, 2006, 285-288.
- Bjarni Diðrik Sigurðsson** (2011). LT-verkefnið: Lifun og vöxtur íslensks birkis og þriggja tegunda barrtrjáa á Fljótsdalshéraði 8 árum eftir gróðursetningu. *Rit Fræðapings landbúnaðarins*, 2011, 390-395.
- Brynhildur Bjarnadóttir** (2007). Estimate of annual carbon balance of a young Siberian larch (*Larix sibirica*) plantation in Iceland. *Tellus B*, 59, 891-899.
- Brynhildur Bjarnadóttir, Inghammar, A.C., Brinker, M.M., og Bjarni Diðrik Sigurðsson** (2009). Single tree biomass and volume functions for young Siberian larch trees (*Larix sibirica*) in eastern Iceland. *Icel. Agric. Sci.* 20, 125-135.
- Hage, J.** (1988). *Bestandsvis uppskattning, kompendium í skogsuppskattning*. Skogsmästarskolan SLU. 62 bls.
- Haukur Ragnarsson** (1977). Um skógræktarskilyrði á Íslandi. Í: *Skógarmál: þættir um gróður og skóga á Íslandi tileinkaðir Hákonni Bjarnasyni sjötugum*, 224-247.
- Héraðsskógar** (2011). Gróðursetningar og tegundir 1991-2011. *Ársskýrsla Héraðsskóga 2011*, 40 bls.
- Héraðs- og Austurlandsskógar og Skógrækt ríkisins** (2011). *Umhirða í ungskógi. Leiðarvísir fyrir bilun, tvitoppklippingu og uppkvistun*. 66 bls.
- Hooke, R. og Jeeves, T.A.** (1961). 'Direct search' solution of numerical and statistical problems. *J. Assoc. Comput. Mach.* 8, 212-229.
- Fredrik Karlson.** Vide skog, Finnlandi (1.2.2020). Munnleg heimild.
- Lárus Heiðarsson** (1998). *Boniteringskurvor för Lärk (Larix sukaczewii) på Hallormsstaður Island*. Naturbruksinstitutet Ekenäsenheten. Examensarbete i ämnet skogsmätning (á sænsku). 44 bls.
- Lárus Heiðarsson og Loftur Jónsson** (2004). Ákvæðisvinna við grisjun í lerkiskógum. *Rit Mógilsár*, Rannsóknastöðvar Skógræktar nr. 18/2004. 14 bls.
- Lárus Heiðarsson og Pukkala, T.** (2011). Taper functions for lodgepole pine (*Pinus contorta*) and Siberian larch (*Larix sibirica*) in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences*, 24, 3-11.
- Lárus Heiðarsson og Pukkala, T.** (2012). Models for simulating the temporal development of Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) plantations in Hallormsstaður Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences*, 25, 13-23.
- Lindhagen, A.** (1990). *Klimatets och årsmånens inverkan på tillväxten hos Larix sukaczewii och L. sibirica på Island*. Institutionen för skogsskötsel SLU. 34 bls.
- Norrby, M.** (1990). *Volym- och formtalsfunktioner för Larix sukaczewii och Larix sibirica på Island*. Institutionen för skogsskötsel SLU. 35 bls.
- Owona, J. C.** (2019). *Changes in carbon-stock and soil properties following afforestation in SW Iceland*. (M.S.-ritgerð), Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri. 97 bls.
- Parviainen, H.** (2007). *Forest planning in Iceland: Forest management system and forest plan for larch plantations in Hallormsstaður, East Iceland*. (M.Sc.-ritgerð), University of Joensuu, Joensuu, Finland. 120 bls.
- Pesonen, A., Eerikäinen, K., Maltamo, M. og Tahvanainen, T.** (2009). Models for predicting tree and stand development on larch plantations in Hallormsstaður, Iceland. *New Forests*, 37(1), 63-68.
- Rantala, S.** (ritstj.) (2007). *Skogsbrukets handbok*. Föreningen för skogskultur - Metsä. 287 bls.
- SAS System 9.4**, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Sigrún Sigurjónsdóttir** (1993). *Lerkigróðursetningar 1991 og 1992 - Úttektir og niðurstöður*. Héraðsskógar. 11 bls.
- Sigurður Blöndal** (1953). Mælingar á lerkri í Hallormsstaðaskógi 1952. *Skógræktarritið 1953*, 23-29.
- Sigurður Blöndal** (1957). Mælingar á lerkri í Hallormsstaðaskógi 1956. *Skógræktarritið 1957*, 98-101.
- Sigurður Blöndal og Skúli Björn Gunnarsson** (1999). *Íslandsskógar. Hundrað ára saga*. Mál og mynd. 267 bls.
- Skógræktin** (2019). <https://www.skogur.is/static/files/Taxtar/taxtar-2019-vefur.pdf>. Tekið af vef Skógræktarinnar 22.2.2020.
- Smith, D.M., Larson, B.C., Kelty, M.J., og Ashton, P.M.S.** (1997). *The Practice of Silviculture. Applied Forest Ecology* (9. útg.), New York: John Wiley & Sons, Inc. 560 bls.
- Valdimar Reynisson** (2007). *Áhrif umhverfisþátta á vöxt lerkis á Fljótsdalshéraði*. (B.S.-ritgerð), Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri. 38 bls.
- Valdimar Reynisson** (2008). *Úttekt á lifun skógarplantna á starfssvæði Héraðs- og Austurlandsskóga*. Héraðs- og Austurlandsskógar. 31 bls.
- Vuokila, Y.** (1993). *Skogsbrukets grunder och metoder*. Utbildningsstyrelsen, Helsingfors. 230 bls.
- Þórarinn Benedikz** (1975). Vaxtarmælingar á lerkri í Hallormsstaðaskógi vorið 1974. *Skógræktarritið 1975*, 56-59.
- Þórveig Jóhannsdóttir** (2012). *Áhrif upphafspéttleika lerkis á viðurvöxt og trjággæði*. (B.S.-ritgerð) Landbúnaðarháskóli Íslands, Hvanneyri. 55 bls.
- Þórveig Jóhannsdóttir, Lárus Heiðarsson og Bjarni Diðrik Sigurðsson** (2013). Hvaða áhrif hefur það á vöxt og byggingarlag lerkis hversu þétt er gróðursett? Fyrstu niðurstöður frá LT-verkefninu. *Skógræktarritið 2013* (1), 10-17.
- Þröstur Eysteinnsson** (2008). Innfluttu skógartrén V. Rússalerkri (*Larix sukaczewii*) Dylis. *Skógræktarritið 2008* (1), 20-39.
- Þór Þorfinnsson** 11.11.2019. Munnleg heimild.

