

Líffjölbreytni æðplantna í Tilraunaskóginum Gunnarsholti: Áhrif skógræktar, grisjunar og áburðargjafar



Bjarni Diðrik Sigurðsson, Eyrún Gyða Gunnlaugsdóttir, Jón Auðunn
Bogason, Páll Sigurðsson og Esther M. Kapinga

Landbúnaðarháskóli Íslands, 2022.

Rit Lbhí nr. 150

ISSN 1670-5785

ISBN 978-9935-512-24-6

Verkefnið var styrkt af: Orkurannsóknasjóður Landsvirkjunar

Höfundar: Bjarni Diðrik Sigurðsson, Eyrún Gyða Gunnlaugsdóttir, Jón Auðunn Bogason, Páll Sigurðsson og Esther M. Kapinga

Ljósmynd á forsíðu: Tilraunaskógurinn í Gunnarsholti. © Bjarni D. Sigurðsson.

Uppsetning: Bjarni D. Sigurðsson

Landbúnaðarháskóli Íslands starfar á sviði sjálfbærrar auðlindanýtingar, búvísinda, umhverfisvísinda, skipulagsfræði og matvælaframleiðslu á norðurlóðum. Fagfólk skólans nýtur akademísku frelsis og hefur sjálfðæmi við val á viðfangsefnum, túlkun niðurstaðna og birtingu þeirra, innan ramma starfsreglna skólans. Hlutverk Rits Lbhí er að miðla faglegri þekkingu en það er ekki ritrýnt. Efni hvers rits er á ábyrgð höfunda og ber ekki að túlka sem álit Landbúnaðarháskóla Íslands.

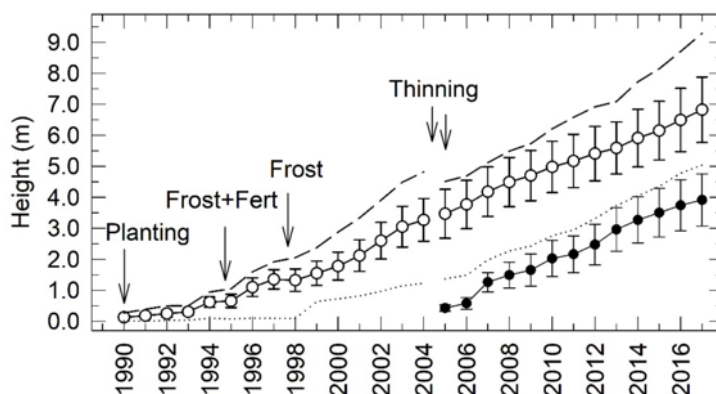
Efnisyfirlit

1	Inngangur.....	1
2	Aðferðir.....	5
3	Niðurstöður	12
3.1	Þéttleiki laufpaks skógarins	12
3.2	Áhrif nýskógræktarinnar á gróðurfar	12
3.3	Áhrif snemmgrisjunar	15
3.4	Áhrif áburðargjafar.....	17
4	Umræður.....	18
4.1	Áhrif skógræktarinnar á tegundauðgi og líffjölbreytni gróðurs	18
4.2	Áhrif skógræktarinnar á gróðurþekju og tegundasamsetningu.....	19
4.3	Áhrif snemmgrisjunar	19
4.4	Áhrif áburðargjafar.....	20
4.5	Lokaorð.....	21
5	Þakkir.....	21
6	Heimildaskrá.....	22

1 Inngangur

Tilraunaskógurinn í Gunnarsholti var gróðursettur árið 1990 með það að markmiði að rannsaka umhverfisáhrif skógræktar og áhrif umhverfisþátta á vöxt og viðgang skóga sem vaxa upp í skóglausu landi. Þessu verkefni var komið á í samstarfi Skógræktar ríkisins (nú Skógræktarinnar), Landgræðslu ríkisins (nú Landgræðslunnar), Rannsóknastofnunar landbúnaðarins (nú LbhÍ), Veðurstofunnar, Skógstjórnar Nýfundnalands og Queen's háskólans í Kanada (Guðríður Gyða Eyjólfsdóttir o.fl., 1994). Framan af gekk þetta rannsóknaverkefni undir nafninu „Kanadaverkefnið“ vegna aðkomu Kanada-
manna að því.

Valið var að gróðursetja einn klón af alaskaösp (*Populus trichocarpa*, 'Idunn') í beinum röðum til að draga úr breytileika trjálagsins og gera þannig alla svörun trjáanna við umhverfisþáttum skýrari. Jafnframt var skógurinn gróðursettur óvenju þétt (10.000 tré/ha) til að kalla fram umhverfisáhrif skógræktarinnar fyrir en annars hefðu orðið (Guðríður Gyða Eyjólfsdóttir o.fl., 1994; Bjarni Diðrik Sigurðsson, 2003). Skógurinn var svo árin 2004 og 2005, eða 14 árum eftir gróðursetningu, grisjaður niður í venjubundinn þéttleika alaskaaspar á þessum aldri í skógrækt á Íslandi, eða í um 2000 tré/ha (Jón Ágúst Jónsson, 2007). Grisjun á þessum aldri er ýmist kölluð héraendis „millibilsjöfnun“, „snemmgrisjun“, „bilun“ eða „gisjun“, en á ensku nefnist grisjun á svo ungum skógum „pre-commercial thinning“ og vísar til þess að trén eru ennþá það smá að enginn nytjaviður fellur þá til. Við snemmgrisjunina endurnýjuðu felldu trén sig almennt með stubbskotum þannig að í dag er laufkróna megin skógarins tvískipt. Annars vegar laufkróna trjáanna frá 1990, sem í dag spannar hæðarbilið 2-11 m, og undirkróna lágvaxnara runna- eða trjálags stubbskotanna, sem í dag spannar frá 1 til 4 m hæð (Gundelach, 2018). Það að neðri laufkrónan er nú farin að lyftast (nú almennt með neðri mörk í um 0,5 – 1,5 m hæð) þýðir að samtals eru þessar tvær laufkrónur orðnar eins þéttar og alaskaöspin getur borið miðað við þá frjósemi sem jarðvegur svæðisins gefur. Magn sólarljóss sem nær niður á skógarbotn er því væntanlega í lágmarki um þessar mundir. Allt þetta, þ.e. að skógurinn er óvenju þéttur, gróðursettur í beinum röðum og vaxinn einum klóni af hraðvaxta trjátegund, gerir það að verkum að hann er dæmi um mjög inngripsmikla (e. *intensive*) skógrækt miðað við það sem gengur og gerist á Íslandi. Slík skógrækt hefur stundum verið kölluð „plantekruskógrækt“, „hraðræktun“ eða „skammlotuskógrækt“. Þetta ber að hafa í huga þegar niðurstöður rannsókna á líffjölbreytni frá svæðinu eru yfirfærðar á skógrækt almennt.



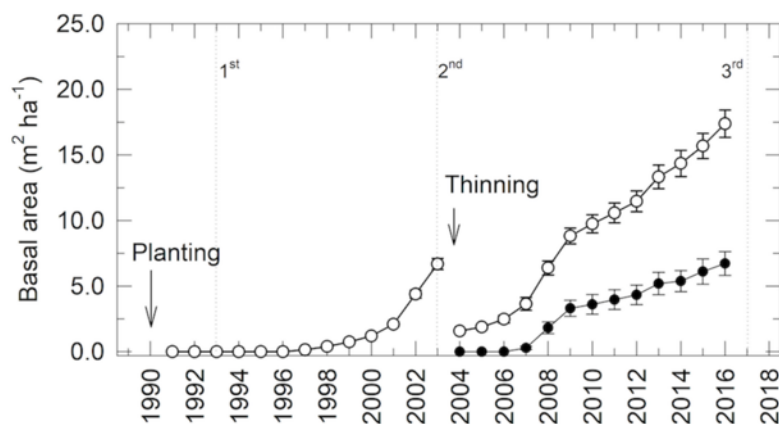
1. mynd. *Próun hæðarvaxtar trjáa í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti milli 1990 og 2017. Mynd fengin úr meistararitgerð Tallulah Gundelach (2018). Brotalína gefur yfirhæð í skóginum, opnir hringir meðalhæð og punktalína hæð lægstu trjáa sem gróðursett voru 1990. Fylltu hringirnir gefa hæð lægra krónulagsins sem óx upp af stubbskotum við grisjun 2004-2005.*

Skógurinn var grisjaður 2004-2005 eins og áður sagði. Þá var einnig lögð út ný rannsókn með tveimur grisjunarmeðferðum, 5000 tré/ha og 2000 tré/ha (eins og allur skógurinn var grisjaður í), auk ógrisjaðra reita með 10.000 trjám/ha. Þessar þrjár meðferðir voru síðan endurteknaðar þar sem árlega er borinn á lítil skammtur af áburðarblöndu, svokallaðri kjörblöndu (Jón Ágúst Jónsson & Bjarni Diðrik Sigurðsson,

2010; Jón Auðunn Bogason, 2015). Það er þessi skógarumhirðutilraun sem var vettvangur þeirra mælinga sem hér verður greint frá.

Líffjölbreytni (eða það sem á íslensku hefur einnig verið nefnt „líffræðilegur fjölbreytileiki“, „líffjölbreytileiki“, lífbreytileiki (e. *biodiversity*) er hugtak sem mörgum er hugleikið, t.a.m. var áratugurinn 2011-2020 tileinkaður líffjölbreytni hjá Sameinuðu þjóðunum (United Nations, 2011). Samkvæmt sáttmála Sameinuðu þjóðanna um líffjölbreytni (CBD, 2016) þá á líffjölbreytni í skógum við um öll form lífs sem fyrirfinnast í skógum og vistfræðilegu gildi þeirra. Hugtakið á ekki einungis við um trén innan skógarins, heldur einnig vistkerfið sem heild, landslagið, tegundirnar og stofnana sem þar dveljast ásamt erfðafjölbreytileika þeirra. Líffjölbreytni innan skóga á ekki síst við um gagnkvæm áhrif og samskipti lífveranna sem þar dvelja (CBD, 2016). Þar spilar líffjölbreytni plantna stórt hlutverk, þær plöntur sem er að finna innan skóga ákvarða búsvæði, skjól og afkomu annarra lífvera sem þar dvelja (Forest research, e.d.). Ýmsir umhverfisþættir hafa áhrif á líffjölbreytni plantna í skógum eins og þéttleiki skóga (Hedwall o.fl., 2019; Dormann o.fl., 2020) og áburðargjöf (Sullivan & Sullivan, 2017). Hér notum við hugtakið „líffjölbreytni“ um fjölbreytni og samsetningu tegunda. Líffjölbreytni má reikna út og gefa upp tölulega með því að skoða hlutfall hvernar tegundar innan plöntusamfélagsins, sem og fjölda þeirra, með s.k. Shannon-Wiener fjölbreytistuðli (e. *Shannon-Wiener diversity index*), en þar gefa fleiri tegundir og jafnari fjöldi einstaklinga milli tegunda hærri stuðul.

Líffjölbreytni plantna og smádyra á yfirborði hefur reglulega verið tekin út í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti á átta föstum 100 m² mæliflötum sem eru dreifðir um skóginn sem nú stendur í þéttleikanum 2000 tré/ha með tveggja laga laufkrónu (1. mynd). Fyrsta úttektin var gerð árið 1993 (Brynjólfur Sigurjónsson, 1998; Bjarni D. Sigurdsson o.fl., 1998; Bjarni D. Sigurdsson, 2001), svo aftur árið 2003 (Jón Ágúst Jónsson o.fl., 2006) áður en skógurinn var grisjaður og að lokum árið 2017 (Gundelach, 2018).

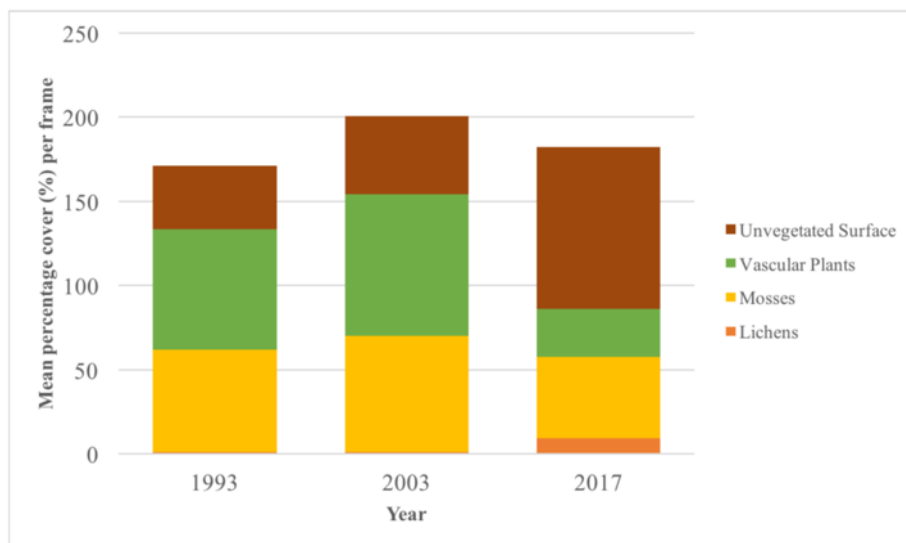


2. mynd. Þróun grunnflatar í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti milli 1990 og 2017. Mynd fengin úr meist-araritgerð Tallulah Gundelach (2018). Opnir hringir gefa grunnflöt trjáanna sem gróðursett voru 1990. Fylltu hringirnir grunnflöt stubbskotanna sem uxu upp eftir grisjun 2004-2005.

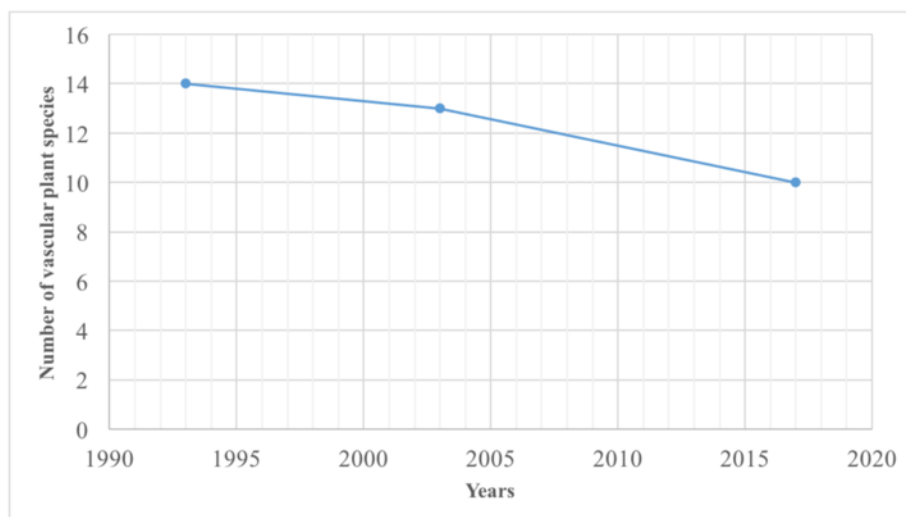
Í skógvistfræði er þéttleiki skóga gjarnan gefinn upp sem grunnflötur (e. *basal area*), þ.e. flatarmál þverskurðar allra trjábola í brjósthæð (1,3 m) á hektara, sem gefinn er upp í m²/ha (2. mynd). Misjafnt er milli trjátegunda hversu mikinn grunnflöt þær geta myndað áður en neðri mörk laufkrónu fara að lyftast. Hjá ljóselskum trjátegundum eins og birki (*Betula pubescens*) byrjar þetta t.d. við mjög lágan grunnflöt en hjá skuggþolnum trjátegundum eins og rauðgreni (*Picea abies*) við háan grunnflöt. Þegar þetta byrjar að gerast er það merki um að laufkrónan sé orðin eins þétt og hún getur orðið, og eftir það verður skuggun á skógarbotni nokkuð stöðug þar til sjálfgrisjun eða skógarhögg byrjar að opna trjálagið (Bjarni D. Sigurdsson o.fl., 2005). Þetta skeið í skógarframvindu er gjarnan kallað myrkvaskið (e. *stand exclusion phase*) (Ásrún Elmarsdóttir o.fl., 2011). Það er yfirleitt þéttleiki krónulagsins og sú skuggun

sem verður á skógarbotni sem hefur mest áhrif á plöntur sem þar vaxa, eins og staðfest hefur verið með rannsóknum hér innanlands (Bjarni D. Sigurdsson o.fl., 2005).

Við úttekt Tallulah Gundelach (2018) á Tilraunaskóginum í Gunnarsholti kom í ljós að samanlagður grunnflötur beggja krónulaga skógarins sumarið 2017 var orðinn þrefalt hærri en hann hafði verið þegar grisjunin fór fram 2004-2005 (2. mynd). Mælingar hennar laufflatarmálsstuðli (e. *leaf area index*; LAI) sýndu jafnframt að hann var nokkuð stöðugur við 3,5 (3,5 m² af samanlögðu laufþaki yfir hverjum m² yfirborðs skógarbotns) og að hæðin upp í neðri mörk laufkrónunnar í skóginum jókst línulega eftir að þessum mörkum var náð. Til samanburðar var LAI mælt 3,3 í skóginum fyrir grisjunina 2004, en þá náði laufkrónan enn alveg til jarðar og áhrif skuggunarinnar voru því ekki alveg komin fram. Við grisjunina lækkaði LAI í megin skóginum utan skógarumhirðutilraunarinnar niður í 0,5 (Jón Ágúst Jónsson, 2007).



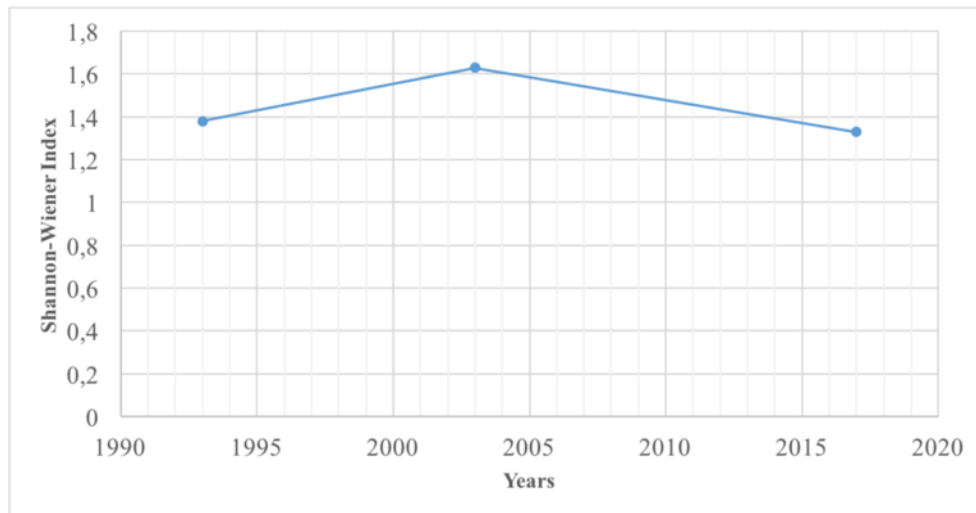
3. mynd. Þróun heildarþekju á skógarbotni í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti milli 1993 og 2017. Mynd fengin úr meistararitgerð Tallulah Gundelach (2018).



4. mynd. Þróun tegundarauðgi æðplantna á skógarbotni í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti milli 1993 og 2017. Mynd fengin úr meistararitgerð Tallulah Gundelach (2018).

Í úttektinni 2017 kom enn fremur í ljós að aukinn þéttleiki skógarins hafði leitt til lægri þekju botngróðurs og minnkandi hlutdeildar æðplantna í honum, miðað við hvernig staðan var í ungsjóginum

fyrir grisjunina 2004-2005 (3. mynd), og tegundaauðgi æðplantna hafði lækkað úr 14 tegundum í 10 tegundir að jafnaði á hverjum 25 m² mælireit (4. mynd). Það kom hinsvegar á óvart í úttekt Tallulah Gundelach (2018) að þrátt fyrir að tegundaauðgi hefði minnkað á tímabilinu 1993-2017, þá hélst líffjölbreytni æðplantna, reiknuð sem Shannon-Wiener fjölbreytnistuðull, nokkuð stöðug og var ekki marktækt frábrugðin milli 1993 og 2017 (5. mynd). Þetta var vegna þess að samsetning flórunnar breyttist einnig við skógarframvinduna og ákveðnar grastegundir voru ekki eins ríkjandi í gróðurfarinu árið 2017 og áður.



5. mynd. Þróun líffjölbreytni æðplantna á skógarbotni í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti frá 1993 til 2017. Mynd fengin úr meistaritgerð Tallulah Gundelach (2018).

Í okkar rannsókn, sem unnin var seinnipart sumars 2021, var líffjölbreytni plantna í skógarumhirðu-tilrauninni í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti skoðuð. Verkefnið bætir við rannsóknir Tallulah Gundelach (2018) sem fram fóru á megin skóginum utan skógarumhirðutilraunarinnar árið 2017. Í okkar rannsókn er ein meðferðin (2000 tré/ha án áburðargjafar) sú sama og niðurstöður Tallulah Gundelach (2018) giltu fyrir. Hinsvegar bættum við einnig við rannsóknareitum utan skógarins og er þetta í fyrsta skipti sem slíkur samanburður er gerður fyrir áhrif skógræktarinnar á gróðurfur Tilraunaskógarins í Gunnarsholti. Leitað var svara við tveimur megin rannsóknaspurningum:

- I. Hvernig er þekja, tegundaauðgi og líffjölbreytni gróðurs í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti miðað við á gamla túninu utan skógar sem ekki var þökuskorið og hefur staðið án neinna ræktunarinngripa síðan 1989? (2000 tré/ha óáborið vs. utan skógar)
- II. Hvaða áhrif hefur skógarumhirðan sem framkvæmd var 2004 haft á þekju botngróðurs, tegundaauðgi og líffjölbreytni æðplantna í skóginum? Þessum spurningum má skipta upp í nokkrar undirspurningar:
 - a. Hvað ef skógurinn hefði ekki verið grisjaður 2004-2005? (2000 vs. 10.000 tré/ha, óáborið).
 - b. Hvaða áhrif hefur mismikil grisjun? (meðferðir með 2000, 5000 og 10.000 trjám/ha)
 - c. Hvaða áhrif hefur áburðargjöf í skógrækt? (óábornar vs. ábornar meðferðir 2000/tré)

2 Aðferðir

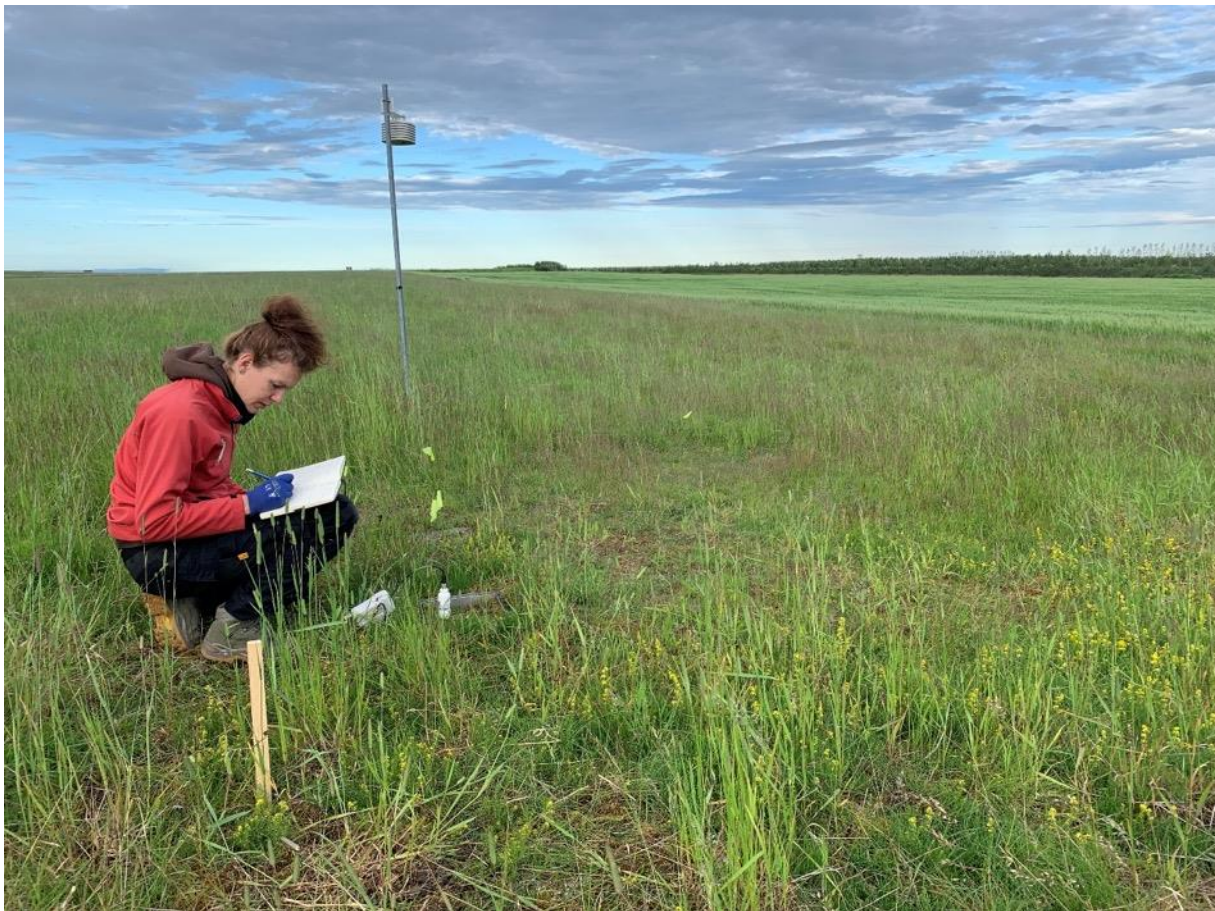
Tilraunaskógurinn í Gunnarsholti var gróðursettur vorið og sumarið 1990 í þökuskorið tún sem einnig var úðað með örgresisefni (Roundup) þá um vorið til að draga sem mest úr grassamkeppni (Guðríður Gyða Eyjólfsdóttir o.fl., 1994). Hluti túnsins var ekki þökuskorinn og hefur ekki fengið nein ræktunarinngrip frá því árið 1989. Þar hefur gróðurfarið fengið að breytast á náttúrulegan hátt. Túnið var upphaflega ræktað upp á náttúrulegu graslendi upp úr 1960, en ekki er vitað hvenær það var síðast endurræktað. Frá síðustu endurræktun túnsins hafði það verið vaxið sáðgresinu vallarfoxgrasi (*Phleum pratense*) en á þeim tíma sem það var aflagt 1989 var kominn tími á nýja endurræktun og vallarfoxgrasið farið að víkja fyrir öðrum grastegundum. Ekki eru til mælingar á gróðursamsetningu túnsins frá þeim tíma, en í gróðurgreiningu frá 1991 á þökuskorna hluta túnsins fundust t.d. hálíngresi (*Agrostis capillaris*), túnvingull (*Festuca richardsonii*), vallarsveifgras (*Poa pratense*), háliðagras (*Alopecurus geniculatus*) og snarrót (*Deschampsia caespitosa*), auk vallarfoxgrassins (Guðríður Gyða Eyjólfsdóttir o.fl., 1994). Í næstu úttekt, árið 1993 var hálíngresi orðið algjörlega ríkjandi í gróðurfarinu sem lifði af upphafsmeðferðirnar (þökuskurðinn og eitrunina) í Tilraunaskóginum (Bjarni D. Sigurdsson o.fl., 1998).



6. mynd. Tilraunaskógurinn í Gunnarsholti. Blokkir I-III í skógarumhirðutilrauninni frá 2004 eru sýndar með gulum kassa í skógi og rannsóknasvæðið utan skógar með gulum kassa þar.

Tilraunaskógurinn er 14,5 ha af stærð og var upphaflega gróðursettur með einum klóni af alaskaösp (*Populus trichocarpa* 'Íðunn'). Skógurinn var upphaflega gróðursettur mjög þétt, eða 10.000 tré/ha (Guðríður Gyða Eyjólfsdóttir o.fl., 1994). Vorið og sumarið 2004 var nyrðri helmingur skógarins grisjaður (millibilsjafnaður) niður í 2000 tré/ha og afgangurinn af skóginum grisjaður á sama hátt vorið 2005 (Jón Ágúst Jónsson, 2007).

Við grisjunina 2004 var lögð út ný tilraun um skógarumhirðu í norðurhluta skógarins með 24 reitum sem hver um sig er 25x25 m af stærð (6. mynd). Tilraunin er blokkartilraun með 4 blokkum, hver með 6 tilraunareitum (Jón Ágúst Jónsson, 2007). Helmingur tilraunareitanna fær árlega lítinn skammt af áburði (svokallaða kjörblöndu allra stein- og snefilefna sem trén þurfa), en á hinn helming reitanna er ekki borið. Áburðargjöfin er mjög hófleg, eða sem svarar til 33 kg N/ha á hverju vori (Jón Auðunn Bogason, 2015; Jón Auðunn Bogason o.fl., 2018). Hin tilraunabreytan í umhirðutilrauninni er „millibilsjöfnun“ eða „þéttleiki“. Árið 2004 var þriðjungur reitanna skilinn eftir án millibilsjöfnunar og hefur því um 10.000 tré/ha, en þriðjungur var millibilsjafnaður niður í 5.000 tré/ha og þriðjungur niður í 2.000 tré/ha, sem er einnig sú meðferð sem allur skógurinn fékk utan þessarar tilraunar (Jón Ágúst Jónsson, 2007). Engin úttekt hafði farið fram áður á gróðurfari í þessari tilraun. Ein ný tilraunameðferð var sett út í tilefni af þessum mælingum, en það voru fjórir reitir á gamla túninu á svæði sem ekki hafði verið þökuskorið árið 1989. Með því móti var hægt að meta áhrif skógræktarinnar (þ.m.t. undirbúning landsins fyrir gróðursetningu, þökuskurð og eitrun) með því að bera gróðurfur þeirra saman við gróðurfur í skógarreitunum.



7. mynd. Esther Kapinga við mælingar á rakastigi jarðvegs í mælireit fyrir flæði gróðurhúsalofttegunda (CO_2 , CH_4 og N_2O). Gróðurmælireitir voru utan þessa trampada svæðis. Ljósmynd. BDS, 28.07.2021.



8. mynd. Eyrún Gyða Gunnlaugsdóttir og Esther Kapinga við oddamælingar í óábornum mælireit þar sem þéttleiki skógarins er 2000 tré/ha. Ljós. BDS, 19.07.2021.

Í þessari skýrslu eru eftirfarandi meðferðir nefndar:

- **G** = óþökuskorið graslendi, friðað frá sumrinu 1989.
- **C2000** = óáborinn grisjaður skógur í þéttleikanum 2000 tré/ha, gróðursettur 1990.
- **C5000** = óáborinn grisjaður skógur í þéttleikanum 5000 tré/ha, gróðursettur 1990.
- **C10.000** = óáborinn, ógrisjaður skógur í þéttleikanum 10.000 tré/ha, gróðursettur 1990.
- **F2000** = áborinn grisjaður skógur í þéttleikanum 2000 tré/ha, gróðursettur 1990.
- **F5000** = áborinngrisjaður skógur í þéttleikanum 5000 tré/ha, gróðursettur 1990.
- **F10.000** = áborinn, ógrisjaður skógur í þéttleikanum 10.000 tré/ha, gróðursettur 1990.

Hver meðferð er endurtekin fjórum sinnum í tilraunaskipulagi umhirðutilraunarinnar frá 2004, en í þessari rannsókn voru þrjár endurtekningar mældar í skóginum (Blokkir I, II og III), og fjórar utan skógar (6. mynd). Úttekt þessi fór fram á tímabilinu 19. júlí – 3. ágúst 2021. Esther Kapinga og Eyrún Gyða Gunnlaugsdóttir greindu plöntutegundir innan tilraunareitanna í skóginum og í graslendinu utan skógar (7. og 8. mynd).

Lagt var mat á gróðursvörð, þ.e. þekju og samsetningu tegunda æðplantna, og heildarþekju mosa og fléttna, með svokallaðri oddamælingu (e. *point quadrant frame method*) eins og Greig-Smith (1983) lýsir henni (8. mynd). Á graslendinu voru lagðir út fjórir mælireitir, hver um sig 5x5 metra stórir. Staðsetning þeirra var valin þannig að fyrsti reiturinn var fast við reit sem settur hafði verið upp til mælinga á flæði gróðurhúsalofttegunda (7. mynd), en hinir voru staðsettir með hendingu innan svæðisins

sem afmarkað er á 6. mynd utan skógarins. Í skógarumhirðutilrauninni voru einnig lagðir út 18 5x5 m stórir reitir til gróðurmælinga, hér eftir kallaðir mælireitir. Staðsetning mælireita var miðuð við miðjustiku hvers tilraunareitar (sem markar einnig miðpunkt skógvaxtarmælingaflatar) og þaðan í norður, eða í átt að aðalveginum frá miðju. Alls voru því mælireitirnir 22 talsins. Svípmýnd af skógarbotninum má sjá á 8. mynd fyrir óáborna skóginn með 2000 trjám/ha (C2000), 9. mynd fyrir áborinn skóg með 2000 trjám/ha (F2000) og á 10. og 11. mynd fyrir áborinn skóg með 5000 og 10.000 trjám/ha (F5000 og F10.000).



9. mynd. Slímsveppur á grasi á skógarbotni ábornu meðferðarinnar með 2000 tré/ha. Ljós. BDS, 29.08.2021.

Hverjum mælireit var skipt upp í 25 1x1 m skákir sem voru númeraðar frá NV-horni og hverri skák var skipt upp réttisælis í fjóra 50x50 cm mælifleti. Það voru valin þrjú skákarnúmer+mæliflötur með hendingu, 1.1., 8.1. og 23.1 til oddamælinga í hverjum mælireit. Ef ofangreindir mælireitir voru of raskaðir eða ekki hægt að komast að þeim af öðrum ástæðum voru auka-smáreitir 10.1., 14.3. eða 6.2. notaðir. Þetta var einungis gert í örfáum tilfellum.

Oddamælingarnar innihéldu 100 odda á hvern smáramma. Eftirfarandi breytur (gróðurgerðir) voru skráðar í oddamælingunum (allar snertingar við odd) í hverjum smáreit:

- Tegund æðplantna
- Mosar
- Fléttur
- Feyra (e. litter)
- Dauður viður

Mesta hæð gróðurs í cm var einnig skráð fyrir hvern smáreit.



10. mynd. Reyniviður (*Sorbus aucuparia*) á skógarbotni ábornu meðferðarinnar með 5000 tré/ha. Ljós. BDS, 29.08.2021.



11. mynd. PRS-mælinemar til að mæla aðgengileika næringarefna á skógarbotni ábornu meðferðarinnar með 10.000 trjám/ha. Ljós. BDS, 29.08.2021.

Með slíkri aðferð er hægt að meta og greina uppbyggingu og lagskiptingu gróðursins. Í hverjum smáreit var skráð hvaða tegundir snertu hvern odd fyrst. Hér er tvennskonar þekja reiknuð, yfirborðsþekja (e. *surface cover*), sem er fyrsta snerting við hvern odda og verður því samtals 100% fyrir alla flokka, og heildarþekja (e. *total cover*), sem leggur saman allar snertingar við hvern odd.

Að auki voru allar æðplöntutegundir skráðar sem sáust á 5x5 m mælireit sem ekki komu fram í oddamælingum. Jafnframt voru aðrar sjaldgæfari plöntutegundir sem uxu utan mælireita skráðar, en ekki er fjallað um þær í þessari skýrslu. Hins vegar hefur frá uppgafi verið haldið saman plöntulista fyrir skóginn í heild (Bjarni D. Sigurdsson o.fl., 1998).

Þann 20. ágúst 2020 var hámarks laufflatarmálsstuðull (e. *Leaf Area Index*; LAI) mældur í öllum meðferðareitum með Plant Canopy Analyzer (LAI-2200C, LI-COR Biosciences, USA). Teknar voru 10 mælingar með um 2 m millibili á ská yfir hvern 25 x 25 m meðferðarreit, fyrst ofan við skógarbotn og síðan aftur í um 3 m hæð til að geta metið laufþekju undirkrónu stubbskotanna. Til að leiðrétta fyrir skuggavarpri trjástofna og greina var tekin önnur mæling þann 20. maí 2021, rétt fyrir laufgun (12. mynd) og 50% þess skuggavarpis notað sem leiðrétting á LAI að sumri.



12. mynd. Páll Sigurdsson við mælingar á laufflatarmálsstuðli (LAI) í C2000 meðferðarreit í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti. Ljós. BDS, 20.05.2021.

Við útreikning á líffjölbreytni var að mestu notast við Shannon-Wiener fjölbreytileikastuðul (e. *Shannon-Wiener diversity index*), eins og útskýrt er í Fowler o.fl. (1998):

$$H = - \sum p_i \ln p_i$$

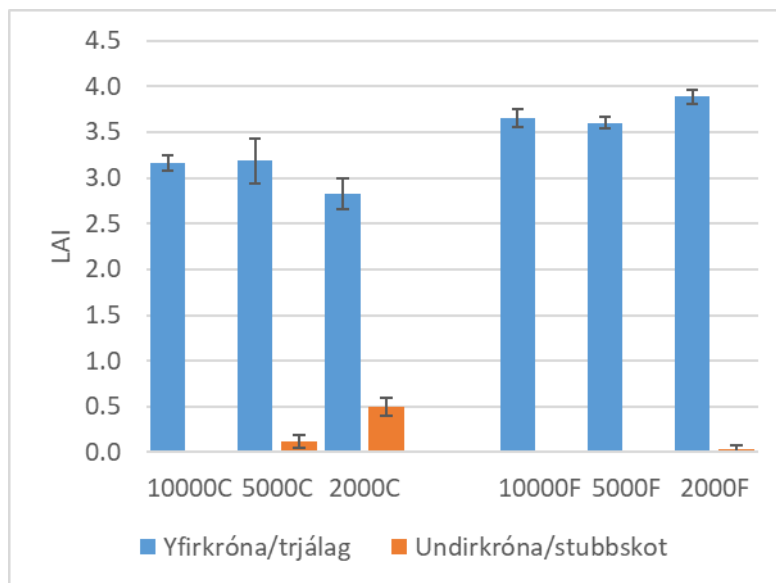
Þar sem p_i er hlutfall einstakrar æðplöntutegundar í úrtaki margfaldað með náttúrulega lógaritmanum af hlutfalli hennar. Fjölbreytileikastuðull var fundinn fyrir alla mælireiti. Einnig var tegundaauðgi æðplantna (e. *species richness*) fundin, reiknuð sem fjöldi tegunda í hverri 1 m² skák. Þá voru mosar, fléttur, feyra og dauður viður útilokuð við útreikninga. Tegundir sem fundust á mæliflötum utan smáreita voru ekki teknar með í útreikning á líffjölbreytni í þessari útgáfu úrvinnslunnar. Ekki tókst að greina *Agrostis* sp. og *Poa* sp. til tegundar í graslendi í 49 og 73 skipti, og *Festuca* sp. 69 skipti á öllum svæðunum, en í úrvinnslunni voru þær flokkaðar með *Agrostis capillaris*, *Poa pratensis* og *Festuca richardsonii* til að skekkja ekki niðurstöður prófana á tegundafjölbreytni.

Fervikagreiningar voru notaðar við úrvinnslu mælinganna, eftir að forsendur um normaldreifingu niðurstaðna og um jafnan breytileika höfðu verið athugaðar sjónrænt. Þegar G og C2000 meðferðirnar voru bornar saman var einþátta fervikagreining (e. *One-Way ANOVA*) notuð. Þegar skógarumhirdumeðferðir voru skoðaðar var gerð tvíþátta fervikagreining (e. *Two-Way ANOVA*), þar sem þéttleiki og áburðargjöf voru meginbreytur.

3 Niðurstöður

3.1 Þéttleiki laufpaks skógarins

Eins og sjá má á 13. mynd þá var þéttleiki laufkrónu (LAI) kominn í jafnvægi í tilrauninni óháð fjölda stofna á ha í tilrauninni. Það er, að hann var stöðugur milli grisjunarliða og trén hafa því að fullu fyllt upp í aukið vaxtarrými sem var skapað með grisjuninni 2004. Eins og við var að búast var LAI lægri á óábornu reitunum, óháð þéttleika trjánna, eða 3,8 að meðaltali þegar yfir og undirkrónan var lögð saman, en hann var 16% hærri, eða 4,4 þar sem frjósemin hafði verið bætt með áburðargjöf. Á 13. mynd má einnig sjá hvernig stubbskotin mynduðu einungis undirkrónu í þyngstu grisjuninni (C2000), á meðan mildari grisjun eða áburðargjöf og grisjun leiddi ekki til myndunar stubbskota að ráði.



13. mynd. Hlutfallslegur laufflatarmálsstuðull (LAI) í þéttleika- og áburðartilrauninni í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti þann 20. ágúst 2020.

Með því að beita lögmáli Lamberts-Beers getum við reiknað út hversu mikið af sólarljósi nær niður til skógarbotns miðað við LAI laufkrónunnar (Bjarni D. Sigurdsson o.fl., 2005). Samkvæmt því þá náði einungis 15% sólarljóss að jafnaði niður á skógarbotn í óábornu meðferðunum og 11% í áburðarmeðferðunum. Skuggunin var því að jafnaði meiri á skógarbotni í áburðarmeðferðunum.

3.2 Áhrif nýskógræktarinnar á gróðurfar

Svæðið sem tekið var til skógræktar var tún sem upphaflega var vaxið sáðgresinu vallarfoxgrasi, en hálíngresi, túnvingull, vallarsveifgras o.fl. grastegundir voru örugglega komnar inn í gróðurfarið árið 1989 (sjá staðarlýsingu í aðferðakafla).

Gróðurfar þessa gamla túns einkenndist árið 2021 enn af sáðgresinu vallarfoxgrasi og svo innlendu grastegundinni túnvingli sem voru hvor um sig með 34% heildarþekju, en vallarsveifgras (*Poa pratense*) var þriðja algengasta æðplöntutegundin með 8% þekju (Tafla 1). Hálíngresi var horfið úr gróðurfarinu, en mikil hlutdeild mosa (100% þekja; 14. mynd), gulmöðru (*Galium verum*; 8% þekja) og klóelftingar (*Equisetum arvense*; 28% þekja) bendir til að síðframvindan (e. *secondary succession*) á gamla túninu hafi færst í átt að rýru náttúrulegu graslendi.

Þegar mælibreytur voru bornar saman í graslendinu og í C2000 meðferðinni í skóginum, sem er sú umhirðumeðferð sem allur Tilraunaskógurinn fékk árið 2004/2005, þá kom í ljós að hæð gróðurs,

yfirborðþekja æðplantna og heildarþekja gróðurs var marktækt lægri í skóginum (C2000 meðferðinni) en á graslendinu utan skógar (Tafla 2; 14. mynd). Samdrátturinn nam hlutfallslega 65%, 89% og 73% fyrir gróðurhæð, yfirborðþekju æðplantna og heildarþekju gróðurs. Hvorki tegundaauðgi æðplantna né fjölbreytileikastuðull höfðu hins vegar breyst marktækt á milli þessara tveggja gróðurlenda 31 ári eftir að skógurinn var gróðursettur og 19 sumrum eftir að snemmgrisjunin fór fram í þéttleikatilrauninni (Tafla 2). Heildarfjöldi tegunda æðplantna sem fannst á öllum 25 m² mæltreitunum var 12 í C2000 meðferðinni í skóginum samanborið við 11 í graslendinu (Tafla 2).

Eins og sjá má á 14. mynd þá voru það mosa- og fléttuþekjan sem viðhéldu sér í óáborna skóginum og smávegis var eftir af einkímblöðungum í skógarbotni C2000 meðferðarinnar, á meðan byrkningar og tvíkímblöðungar nánast hurfu samanborið við graslendið. Tegundasamsetning einkímblöðunganna í C2000 var aðallega blanda túnvinguls og vallarsveifgrass (Tafla 1).

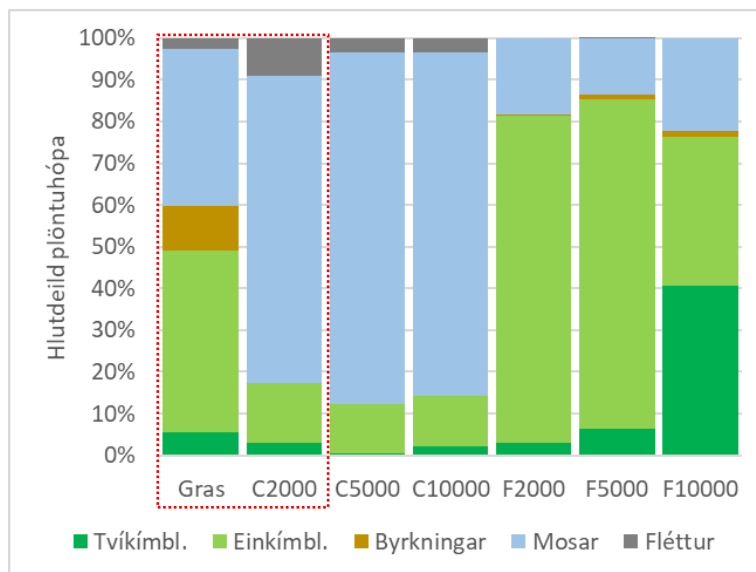
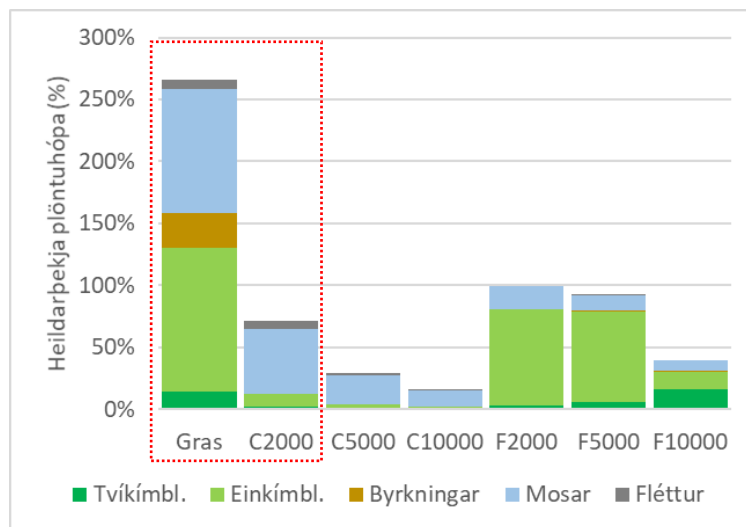
Tafla 1. Heildarþekja einstakra tegunda æðplantna. Niðurstöður oddamælinga sem gerðar voru 19. júlí – 3. ágúst 2021 í grisjunar og áburðartilrauninni í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti og graslendi utan skógar. Tölurnar standa fyrir snertingar við odda sem mældust að meðaltali í níu smáreitum í hverri meðferð. + stendur fyrir tegundir sem ekki komu fyrir á smáreitum, en fundust í 25 m² mæltreitum.

Tegundir Latn.	Ísl.	Gras- lendi	Skógur					
			Óáborið			Áborið		
Þéttleiki skógar			2000	5000	10000	2000	5000	10000
Byrkningar								
<i>Equisetum arvense</i>	klóelfting	28%	.	.	+	0,3%	1,0%	0,7%
Einkímblöðungar								
<i>Corallorhiza trifida</i>	kræklurót	.	+	0,1%	+	+	0,1%	+
<i>Dactylorhiza maculata</i>	brönugrös	.	.	0,1%	+	.	.	.
<i>Platanthera hyperborea</i>	frýggjargras	.	.	+	.	.	.	.
<i>Luzula multiflora</i>	vallhæra	4,3%	+	+	+	.	.	.
<i>Deschampsia caespitosa</i>	snarrót	.	.	.	.	24%	+	1,7%
<i>Festuca richardsonii</i>	túnvingull	34%	1,7%	1,3%	+	2,7%	+	.
<i>Festuca vivipara</i>	blávingull	0,1%	0,3%	.	.	.	.	.
<i>Phleum pratense</i>	vallarfoxg.	34%	.	.	.	.	.	.
<i>Phleum alpinum</i>	fjallafoxg.	+	.	.	.	.	.	.
<i>Poa pratensis</i>	vallarsveifg.	8,3%	1,0%	+	0,3%	8,0%	2,3%	.
Jurtkenndir tvíkímbl.								
<i>Cerastium fontanum</i>	vegarfi	+	.	.	.	.	.	.
<i>Galium verum</i>	gulmaðra	14%	.	.	.	.	.	.
<i>Leontodon autumnale</i>	skarífifill	.	1,3%	+	+	+	+	.
<i>Lupinus nootkatensis</i>	lúpína	.	+	.	.	.	.	.
<i>Ranunculus acris</i>	brennisóley	.	.	+	+	+	+	+
<i>Rumex acetosa</i>	túnsúra	.	.	.	.	+	.	.
<i>Rumex longifolius</i>	njóli	.	.	.	.	.	.	2,3%
<i>Stellaria media</i>	haugarfi	.	.	.	.	+	+	10,0%
<i>Taraxacum spp.</i>	túnfifill	0,2%	0,7%	+	0,3%	3,0%	6,0%	3,7%
<i>Viola palustris</i>	mýrfjóra	.	.	+	.	.	+	.
Runnar								
<i>Ribes rubrum</i>	rifsber	.	.	.	.	.	+	+
<i>Salix phylicifolia</i>	gulvíðir	.	+	.	+	.	.	.
<i>Sorbus aucuparia</i>	reyniviður	.	+	+	.	+	+	.

Tafla 2. Hæð, yfirborðsþekja og heildarþekja alls gróðurs, tegundaauðgi og fjölbreytileikastuðull æðplantna innan (C2000) og utan Tilraunaskógarins í Gunnarsholti í ágúst 2021. Sýnd eru meðaltöl og staðalskekkja meðaltala innan sviga. Fjöldi endurtekninga var 3 í skógi og 4 í graslendi. p-gildi eru fundin með einþátta ferverikagreiningu og marktækur munur ($p < 0,05$) er auðkenndur með feitletrun. e.m. þýðir „ekki metið“.

Mælibreyta	Graslendi	Skógur (C2000)	p-gildi
Hæð gróðurs (cm)	38,3 (4,2)	13,3 (3,5)	0,007
Yfirborðsþekja æðplantna (%)	66% (9%)	7% (2%)	<0,001
Heildarþekja gróðurs (%)	260% (39%)	71% (21%)	0,012
Tegundaauðgi æðplantna ^a	6,0 (0,6)	4,7 (0,3)	0,130
Tegundaauðgi alls á öllum reitum	11	12	e.m.
Fjölbreytileikastuðull	1,50 (0,10)	0,99 (0,17)	0,050

a) Meðaltal á 50x50 cm smáreit



14. mynd. Heildarþekja plöntuhópa (efri mynd) og hlutdeild þeirra (neðri mynd) í graslendi utan skógar (Gras) og í óábornum (C2000 – C10000 tré/ha) og ábornum (F2000 – F10000 tré/ha) grísjunarmedferðum í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti í byrjun ágúst 2021. Innan rauða kassans eru annarsvegar graslendi og hinsvegar sú umhirðumeðferð sem megin skógurinn fékk árin 2004 og 2005.

3.3 Áhrif snemmgrisjunar

Vorið 2004 voru 50% (C5000) eða 80% (C2000) allra standandi trjáa felld í snemmgrisjun. Haustið 2021, eða 19 sumrum síðar, voru jákvæð áhrif millibilsjöfnunarinnar enn mjög greinileg á yfirborðsþekju botngróðursins (Töflur 3 og 4, 14. mynd).

Yfirborðsþekja ógróins yfirborðs á skógarbotni jókst marktækt með auknum þéttleika trjáa í tilrauninni (Tafla 4) og var að jafnaði 64%, 73% og 86% í reitum með 2000, 5000 og 10.000 tré/ha þegar horft var yfir báðar áburðarmeðferðirnar (Tafla 3). Yfirborðsþekja botngróðurs var því 36%, 27% og 14% í 2000, 5000 og 10.000 tré/ha meðferðunum og minnkaði því einnig marktækt með minni millibilsjöfnun ($p=0,03$).

Tafla 3. Niðurstöður oddamælinga í óábornum (C2000 – C10000 tré/ha) og ábornum (F2000 – F10000 tré/ha) grisjunarmeðferðum Tilraunaskógarins í Gunnarsholti í ágúst 2021. Sýnd eru meðaltöl og staðalskekkja meðaltala innan sviga ($n=3$).

Mælibreyta	80% grisjun	50% grisjun	Ógrisjaður
Óábornir reitir	C2000	C5000	C10.000
Hæð gróðurs (cm)	13,3 (3,5)	10,0 (6,0)	14,8 (9,2)
Yfirborðsþekja ógróið (%)	65% (11%)	87% (6%)	92% (2%)
Þar af dauður viður (%)	2% (2%)	4% (0%)	4% (2%)
Heildarþekja gróðurs (%)	71% (21%)	28% (12%)	16% (5%)
Þar af tvíkímbl. (%)	1,4% (0,8%)	0,1% (0,1%)	0,1% (0,1%)
Þar af einkímbl. (%)	10,3% (2,2%)	3,1% (2,6%)	2,0% (1,0%)
Þar af byrkningar (%)	0% (0%)	0% (0%)	0% (0%)
Þar af mosar (%)	52% (16%)	24% (8%)	13% (6%)
Þar af fléttur (%)	6% (4%)	1% (1%)	1% (1%)
Heildarþekja æðplantna (%)	35% (11%)	13% (6%)	8% (2%)
Yfirborðsþekja æðplantna (%)	7% (2%)	2% (2%)	2% (1%)
Hlutf. heildar/yfirborðsþ.	5,0	6,5	4,0
Tegundaauðgi æðplantna ^a	4,7 (0,3)	2,0 (1,0)	2,0 (0,0)
Tegundaauðgi æðpl. alls	12	12	11
Fjölbreytileikastuðull	0,99 (0,17)	0,30 (0,30)	0,59 (0,02)
Ábornir reitir	F2000	F5000	F10.000
Hæð gróðurs (cm)	26,8 (4,0)	23,4 (8,0)	12,9 (4,5)
Yfirborðsþekja ógróið (%)	63% (6%)	59% (10%)	79% (11%)
Þar af dauður viður (%)	3% (2%)	6% (1%)	10% (2%)
Heildarþekja gróðurs (%)	89% (10%)	90% (32%)	37% (18%)
Þar af tvíkímbl. (%)	1,0% (1,0%)	3,9% (2,9%)	14,9% (12,6%)
Þar af einkímbl. (%)	69,6% (15,8%)	72,8% (28,5%)	13,1% (7,3%)
Þar af byrkningar (%)	0,1% (0,1%)	0,6% (0,4%)	0,3% (0,3%)
Þar af mosar (%)	18% (6%)	12% (6%)	9% (6%)
Þar af fléttur (%)	0% (0%)	0,1% (0,1%)	0% (0%)
Heildarþekja æðplantna (%)	71% (17%)	77% (28%)	28% (19%)
Yfirborðsþekja æðplantna (%)	33% (7%)	38% (10%)	17% (13%)
Hlutf. heildar/yfirborðsþ.	2,2	2,0	1,6
Tegundaauðgi æðplantna ^a	3,7 (0,9)	3,0 (0,0)	2,7 (0,7)
Tegundaauðgi æðpl. alls	12	14	10
Fjölbreytileikastuðull	0,74 (0,34)	0,37 (0,23)	0,65 (0,23)

a) Meðaltal á 50x50 cm smáreit

Tafla 4. P-gildi fyrir tvíþátta ANOVA greiningu á áhrifum grisjunar og áburðargjafar á niðurstöður oddamælinga (sjá Töflu 2) í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti í byrjun ágúst 2021. Marktæk áhrif ($p < 0,05$) eru feitletruð. Ef ANOVA módel var ekki marktækt voru önnur áhrif ekki greind frekar (ó.m.)

Mælibreyta	ANOVA P	Grisjunaráhrif	Áburðaráhrif	Samspil (GxÁ)
Hæð gróðurs	0,394	ó.m.	ó.m.	ó.m.
Yfirborðspekja ógróið	0,040	0,032	0,030	0,511
Dauður viður	0,056	ó.m.	ó.m.	ó.m.
Heildarþekja botngróðurs	0,055	ó.m.	ó.m.	ó.m.
Tvíkímblöðungar	0,385	ó.m.	ó.m.	ó.m.
Einkímblöðungar	0,006	0,063	0,001	0,117
Byrkningar	0,043	0,053	0,040	0,222
Mosar	0,046	0,049	0,042	0,257
Fléttur	0,114	ó.m.	ó.m.	ó.m.
Heildarþekja æðplantna	0,012	0,203	0,001	0,319
Yfirborðspekja æðplantna	0,006	0,169	0,001	0,306
Tegundaauðgi æðplantna	0,071	ó.m.	ó.m.	ó.m.
Fjölbreytileikastuðull	0,427	ó.m.	ó.m.	ó.m.

Heildarþekja botngróðurs (allar snertingar við odda) í skóginum var hins vegar ekki marktækt frábrugðin á milli tilraunameðferða þegar horft var til allra gróðurgerða samtímis (14. mynd; Töflur 3 og 4), sem þýðir að hlutfallslega minni breytingar urðu í lagskiptingu botngróðursins en á yfirborðspekju hans. Ástæðuna má sjá þegar hlutfall heildar/yfirborðspekju (fjöldi snertinga per odd) er skoðað í Töflu 3, en það hlutfall breyttist ekki reglulega með þéttleika skógarins í óábornu meðferðunum og olli því þessum óvænta muni sem fannst á yfirborðs- og heildarþekju botngróðurs þvert á áburðarmeðferðir.

Þegar horft var til einstakra gróðurgerða þá var það bara heildarþekja mosa sem minnkaði marktækt með auknum þéttleika trjáa í tilrauninni (Tafla 4) og var að jafnaði 35%, 18% og 11% í reitum með 2000, 5000 og 10.000 tré/ha þegar horft var til beggja áburðarmeðferðanna (Tafla 3). Tvíkímblöðungar, einkímblöðungar, byrkningar og fléttur voru ekki með marktækt ólíka heildarþekju eftir grisjunarstigi, sama gildi um heildarþekju allra æðplantna, þegar horft var samtímis yfir báðar áburðarmeðferðirnar (14. mynd; Tafla 4).

Það kom á óvart að þéttleiki skógarins hafði ekki nein marktæk áhrif á gróðurhæð á skógarbotni, né á tegundaauðgi eða Shannon-Wiener fjölbreytileikastuðul (Töflur 3 og 4). Heildar tegundaauðgi æðplantna hélst jafnframt stöðug með 12,0, 13,0 og 10,5 tegundir í reitum með 2000, 5000 og 10.000 tré/ha þegar horft var yfir báðar áburðarmeðferðirnar (Tafla 3).

Ekki var gerð nein tölfræðileg greining á grisjunaráhrifum í óábornum skógi eingöngu, en þegar rýnt er í óábornu meðferðirnar á 14. mynd þá sést að heildarþekja botngróðurs var einungis um 1/3 í þéttari meðferðunum tveimur (5000 og 10.000 tré/ha) miðað við skóginn sem hafði fengið eðlilega skógarumhirðu og hafði 2000 tré/ha. Þrátt fyrir þetta hélst hlutfall gróðurgerða nokkuð stöðug sem þýðir að allir plöntuhópar minnkuðu hlutfallslega svipað með auknum þéttleika í skóginum. Það voru helst flétturarnar sem minnkuðu hlutfall sín í þéttari meðferðunum (14. mynd, neðri mynd).

3.4 Áhrif áburðargjafar

Áhrif árlegra smáskammta áburðargjafarinnar á gróðurfarið í skógarbotninum komu um margt á óvart. Þrátt fyrir þéttari laufkrónu trjána og þar með meiri skuggun á skógarbotni (13. mynd), þá var yfirborðspekja botngróðursins marktækt meiri í ábornu reitunum, eða 33%, miðað við 19% í öllum óábornu reitunum ($p=0,03$; gögn ekki sýnd). Yfirborðspekja æðplantna jókst einnig marktækt úr 4% í 29% ($p=0,006$).

Hlutdeild gróðurgerða breyttist einnig talsvert á milli óábornu og ábornu reitanna (14. mynd). Þannig minnkaði heildarþekja mosa marktækt (úr 30% í 13%) með áburðargjöf, á meðan að heildarþekja jókst marktækt hjá öllum æðplöntum (úr 6% í 59%), einkímblöðungum (úr 5% í 52%) og byrkningum (úr 0% í 0,3%), en breyttust ekki marktækt fyrir fléttur og tvíkímblöðunga (Töflur 2 og 3).

Þó að yfirborðs- og heildargróðurþekja ykjust marktækt í áborna skóginum, þá gisnaði samt gróðurinn lóðrétt. Þetta má sjá á því að fjöldi snertinga per odd fór úr 5,2 í 1,9 snertingar (63% minnkun) að jafnaði á milli óábornu og ábornu reitanna (Tafla 2).

Það kom einnig nokkuð á óvart að áburðargjöfin hafði ekki nein marktæk áhrif á gróðurhæð á skógarbotni, né á tegundaauðgi eða Shannon-Wiener fjölbreytileikastuðul (Töflur 2 og 3). Heildar tegundaauðgi æðplantna hélst jafnframt óbreytt, eða 11,7 og 12,0 tegundir á óábornu og ábornu reitunum (Tafla 2)

Ekki var gerð nein tölfræðileg greining á áhrifum grisjunar á skógarbotnsgróður í ábornum skógi eingöngu, en þegar rýnt er í ábornu meðferðirnar á 14. mynd þá sést að mun meiri breytingar urðu á hlutdeild mismunandi gróðurgerða en í óábornu reitunum. Sérstaklega eru breytingarnar innan æðplantnanna áberandi, þar sem hlutur tvíkímblöðunga jókst í þéttustu ábornu reitunum (F10000) á kostnað einkímblöðunga (14. mynd). Þetta voru einkum túnfífill, njóli og haugarfi sem þarna juku hlutdeild sína (Tafla 1). Það skal þó tekið fram að þessar breytingar voru ekki nógu miklar til að samspil grisjunar og áburðar ($G \times A$) yrði marktækt í ANOVA módelinu (Tafla 3).

4 Umræður

4.1 Áhrif skógræktarinnar á tegundaauðgi og líffjölbreytni gróðurs

Það var ekki marktækur munur á Shannon-Wiener fjölbreytnistuðli, tegundaauðgi í hverjum smáreit né heildar tegundaauðgi á stærri tilraunareitum á milli skóglausa graslendisins og skógarins (C2000 meðferðinni) í þessari rannsókn. Aðrar rannsóknir hérlendis hafa sýnt að fyrir æðplöntur minnkar tegundaauðgi þeirra yfirleitt í miðaldra skógum þar sem trjálaufpakið hefur lokast, a.m.k. þegar borið er saman við rýrt mólendi, sem er algengasta landgerðin sem tekin er til skógræktar hérlendis (Ásrún Elmarsdóttir o.fl., 2011), en fjölbreytnistuðlar breytast þó ekki alltaf samsvarandi (Bos, 2021). Þegar þessar niðurstöður eru túlkaðar hér, er hins vegar mikilvægt að hafa það í huga að upphafsástandið var ekki sambærilegt við flestar aðrar rannsóknir hérlendis; þ.e. þar sem útjörð hefur verið tekin til nýskógræktar. Hér var upphafsástandið gamalt tún sem féll úr nýtingu á sama tíma og skógurinn var gróðursettur. Út frá þessum niðurstöðum getum við því dregið þá ályktun að um 30 árum eftir að skógræktin hófst á gömlu túni þá sé ekki marktækur munur á líffjölbreytni gróðurs, miðað við þar sem túnið var friðað og síðframvinda þess var látin hafa sinn gang.

Það er áhugavert að reyna að gera sér grein fyrir hversu stöðug líffjölbreytni botngróðurs skógarins er þegar hann fer í gegnum framvindustig sín. Í upphafi hafði nánast öllum gróðri verið eytt af yfirborði gamla túnsins með þökuskurði og notkun örgresisefnis (Roundup), en þremur árum síðar var fjölbreytnistuðullinn strax orðinn talsvert hár, eða 1,4, og hélt síðan áfram að hækka og var orðinn um 1,6 árið 2003, eða 13 árum eftir að skógræktin hófst og áður en snemmgrisjunin fór fram (5. mynd; Gundelach, 2018). Þetta framvindustig í skógarframvindu er kallað upphafs skeið (e. *stand initiation phase*) og einkennist einmitt af miklum og fjölbreyttum botngróðri (Smith o.fl., 1997). Á þessu skeiði hefur skógurinn ekki enn lokað sér, en uppvaxandi trén byrja að gefa skjól og skuggi þeirra byrjar jafnframt að auka breytileikann í skilyrðum á svæðinu. Á 2. mynd sést að grunnflötur skógarins var innan við 10 m²/ha þegar millibilsjöfnunin fór fram 2004/2005, sem þýðir að skógurinn var enn opinn og gróðurskilyrði því enn á upphafs skeiðinu. Almenn sést aukin tegundaauðgi hjá æðplöntum á þessu framvindustigi skóga hérlendis (Ásrún Elmarsdóttir o.fl., 2011). Þar sem Shannon-Wiener fjölbreytnistuðullinn byggir bæði á tegundaauðgi og hversu ríkjandi mismunandi tegundir eru innan hvers búsvæðis (Greig-Smith, 1983), þá getur aukning í honum á þessu framvindustigi bæði stafað af auknum fjölda tegunda eða að hlutdeild mismunandi tegunda í gróðurfarinu verður jafnari. Í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti var það fremur hið síðara sem jók líffjölbreytni botngróðursins milli 1993 og 2003, enda minnkaði heildar tegundaauðgin um eina tegund á sama tímabili (Gundelach, 2018).

Árið 2016, 12 árum eftir að snemmgrisjunin fór fram, hafði fjölbreytnistuðullinn lækkað niður í um 1,3 (5. mynd; Gundelach, 2018) og tegundaauðgi hafði minnkað um 3 tegundir (2. mynd; Gundelach, 2018). Þá var grunnflötur skógarins (= C2000) orðinn mun meiri en fyrir snemmgrisjunina, eða um 17,5 m²/ha fyrir eldri trén (yfirkrónuna) og 7,5 m²/ha fyrir neðra krónulagið sem vaxið var upp af stubbskotum. Grunnflötur alls upp á 25 m²/ha þýðir að skógarframvindan er komin upp á næsta framvindustig sem nefnist myrkvaskeið (e. *stand exclusion phase*) sem einkennist einmitt af því að mikið dregur úr þekju og fjölbreytni botngróðurs og sjálfgrisjun minni trjánna fer að hefjast (Kimmins, 2004). Þetta þýðir að skuggun á skógarbotni var orðin veruleg. Okkar rannsókn fór fram fimm árum síðar (2021) og á okkar C2000 reitum var grunnflötur eldri trjánna orðinn 18,4 m²/ha (gögn ekki sýnd) og líffjölbreytnistuðullinn kominn niður í 1,0, sem er það lægsta sem mælst hefur frá því að skógræktin hófst. Heildar tegundaauðgi í C2000 meðferðinni var þó örlítið hærri en Gundelach (2018) fann árið 2017 í öllum skóginum, eða 12 tegundir á 75 m² í C2000 í stað 10 tegunda á 100 m² í hennar rannsókn (Tafla 2; 4. mynd). Árið 2020 var hlutfallslegur laufflatarmálsstuðull (e. LAI) beggja krónulaganna kominn í 3,4 sem þýðir að einungis um 15% af sólarljósinu nær til jarðar (13. mynd) og skógurinn því a.ö.l. að færast enn lengra inn í myrkvaskeiðið.

Í ræktuðum skógum er myrkvaskeiðið stytta með því að grisja skóginn (Smith o.fl., 1997; Kimmins, 2004) og við það breytist framvinda skógarins og hann færast fyrr yfir á gisnunar skeið (e. *vegetation re-*

initiation phase). Það er ljóst að nú, þegar grunnflötur yfirkrónunnar er að nálgast 30 m²/ha, að þá er kominn tími á næstu grisjun í C2000 meðferðinni og í Tilraunaskóginum í heild, a.m.k. ef markmiðið með skógræktinni felur í sér hefðbundna, langa vaxtarlotu til timburnytja. Slík skógarumhirða myndi væntanlega auka líffjölbreytni og grósku æðplantna á skógarbotni frá því sem hún er nú.

4.2 Áhrif skógræktarinnar á gróðurþekju og tegundasamsetningu

Áhrif skógræktarinnar voru mun meiri á grósku en á tegundaauðgi eða líffjölbreytni gróðurs. Þetta sást á marktækt lágvaxnari gróðri á skógarbotni í C2000 meðferðinni en í graslendinu og marktækt minni yfirborðs- og heildarþekju gróðurs (14. mynd; Tafla 1). Slík rýrnun í magni botngróðurs verður almennt á myrkvaskeiði í skógarframvindu (Kimmins, 2004) og hefur t.d. verið skráð í lerkiskógum á Austurlandi, en í þeim hefur rýrnunin svo gengið að hluta til eða alveg til baka þegar skógarnir hafa komist yfir á gisnunarskeiðið (Bjarni D. Sigurdsson o.fl., 2005; Bos, 2021). Sambærilegur viðsnúningur hefur ekki fundist í grisjuðum sitkagreni- og stafafurulundum hérlandis (óbirt gögn), enda eru þær trjátegundir mun skuggþolnari en lerkíð og standa því þéttar og valda meiri skuggun á skógarbotni á seinni hluta skógarframvindunnar. Ösp er skuggþolnari en lerki (Rantala, 2007), en þó minna skuggþolin en stafafura og sitkagreni miðað við skoskar heimildir (Rollinson, 1988). Það verður því áhugavert að fylgjast með hvernig gróskan á skógarbotni mun breytast til framtíðar, hvort sem skógurinn verður grisjaður eða ekki.

Lífmassahlutföll botngróðurs gamalla hávaxinna náttúrulegra birkiskóga eru þannig að viðarkenndir tvíkímblöðungar hafa um þriðjung lífmassans, mosar tæpan helming og afgangurinn eru einkímblöðungar, jurtkenndir tvíkímblöðungar og byrkningar, í þeirri röð (Bjarni D. Sigurdsson o.fl., 2005; Bos, 2021). Í þessari rannsókn erum við ekki með gögn um uppskeru mismunandi gróðurgerða, heldur einungis yfirborðs- og heildarþekju. Heildarþekja er þó sæmilegt mat á magni gróðurs (Bjarni D. Sigurdsson o.fl., 1998). Þegar við skoðum hlutföllin í heildarþekju C2000 meðferðarinnar (14. mynd, neðri) þá sjáum við að viðarkenndu tvíkímblöðungana vantar enn alveg í skógarbotninn í Tilraunaskóginum, en mosar hafa um 70% hlutdeild, svo koma einkímblöðungar, fléttur og jurtkenndir tvíkímblöðungar, í þeirri röð. Þegar horft er til tegunda æðplantna sem finnast í botngróðri C2000 meðferðarinnar (Tafla 1) þá vantar þar enn flestar skógarbotnstegundir birkiskóga og tvær af þremur grastegundum graslendisins eru enn ríkjandi meðal æðplantna í skógarbotninum, túnvingull og vallarsveifgras. Skarífífill var þriðja mest ríkjandi æðplöntutegundin í skógarbotninum, en vallarfoxgrasið sem fannst í graslendinu fannst ekki lengur. Þess er því að vænta að tegundasamsetning skógarbotnsgróðursins í asparskóginum muni halda áfram að breytast á komandi árum og áratugum í átt að náttúrulegum skógarbotnsgróðri og ástandið núna er því væntanlega ekki endanlegt.

4.3 Áhrif snemmgrisjunar

Það var mjög áhugavert að sjá hversu mikil áhrif voru af snemmgrisjuninni árið 2004 á grósku botngróðursins 19 sumrum síðar í Tilraunaskóginum (14. mynd). Það er jafnframt vert að minna á það að skuggun laufkrónunnar (mælt sem hlutfallslegur laufflatarmálsstuðul, LAI) var nánast sú sama í öllum þéttleikameðferðum sumarið 2020, 18 sumrum eftir að snemmgrisjunin fór fram (13. mynd). Það er því ekki bara þéttleikinn á hverjum tíma í skóginum sem skiptir máli fyrir grósku botngróðursins, heldur ekki síður hvernig síðasti/síðustu áratugir hafa verið. Áhrifin sem við sjáum á milli þéttleikameðferða á grósku (heildarþekju) botngróðurs eru því uppsöfnuð áhrif frá fyrri árum á meðan meiri munur var á LAI milli grisjunarmedferðanna. Í þessu felst að draga má mikið úr minnkun grósku botngróðurs með rétt tímasettum grisjunum.

Tilraunaskógurinn er klárlega kominn inn í myrkvaskeiðið í skógarframvindunni og því kom nokkuð á óvart að ekki fyndist marktæk minnkun á tegundaauðgi eftir því hvort snemmgrisjun hefði farið fram eða ekki. Þær niðurstöður eru t.d. ekki í samræmi við það sem Ásrún Elmarsdóttir o.fl. (2011) fundu, að

tegundaauðgi í ræktuðum og náttúrulegum skógum hérlendis sé aðallega fall af framvindustigi skóganna og þá hversu þéttir þeir eru, og minnki gjarnan tímabundið á myrkvaskeiði þeirra, óháð trjategund. Það að við sjáum ekki þessa minnkun á milli 10.000, 5000 og 2000 tré/ha meðferðanna í þessari rannsókn sem hafa verið mis lengi á myrkvaskeiðinu stafar e.t.v. af því að upphafsástandið var gamalt tún, eins og áður hefur verið fjallað um.

4.4 Áhrif áburðargjafar

Óvæntustu niðurstöðurnar í þessari rannsókn voru áhrif áburðargjafarinnar á grósku, tegundaauðgi og líffjölbreytni á skógarbotni Tilraunaskógarins. Jákvað áhrif áburðargjafarinnar á heildarþekju botngróðurs komu mest á óvart. Þrátt fyrir umtalsvert meiri grunnflöt í ábornu reitunum við sama þéttleika trjáa (Jón Ágúst Jónsson, 2007; Jón Auðunn Bogason, 2015) og marktækt hærri LAI (13. mynd) og þar með skuggun, þá var gróðurþekjan umtalsvert meiri í áburðarreitunum (72% vs. 38% heildargróðurþekja, þvert á allar þéttleikameðferðir). Þessi aukning var aðallega í gróðurflokknum grösom. Það virðist því vera að skuggþol þessa flokks hafi aukist með aukinni frjósemi jarðvegsins. Lítið hefur verið ritað um slíka „áburðarsvörun“ botngróðurs að höfundar vita best, en slík svörun í auknu skuggþoli með aukinni frjósemi er reyndar vel þekkt hjá trjám (Smith o.fl., 2011). Þessi svörun grasanna kallar á meiri greiningu; t.d. hvort hún stafi af breytingum á tegundasamsetningu grasa yfir í skuggþolnari tegundir, eða hvort þessi breyting virðist gerast óháð grastegundum.

Það kom einnig talsvert á óvart að hvorki líffjölbreytni eða tegundaauðgi breyttust marktækt með áburðargjöf í asparskóginum, þrátt fyrir að áburðarmeðferðin hafi aukið mjög mikið vöxt trjána og grunnflöt strax frá upphafi meðferðanna (Jón Auðunn Bogason, 2015). Þetta er önnur svörun en fundist hefur í öðrum rannsóknum erlendis á áhrifum áburðargjafar í eldri skógum (Sullivan & Sullivan, 2017). Hugsast getur að það stafi af því að í þessari rannsókn er verið að skoða áhrif smáskammta-áburðargjafar sem fram hefur farið yfir mörg ár, á meðan nær allar aðrar rannsóknir í skógrækt eru að skoða áhrif eins eða fárra stórra áburðarskammta. Slíkir stórir áburðarskammtar geta haft mikil áhrif á t.d. sýrustig jarðvegs (Kimmins, 2004), sem gæti aukið neikvað áhrif þeirra.

Áburðarmeðferðin í þéttasta skóginum, F10000, sýndi aðeins aðra svörun í samsetningu botngróðurs en áburðarmeðferðirnar þar sem snemmgrisjun hafði verið framkvæmd (14. mynd, neðri). Þetta er jafnframt sú meðferð sem lengst hefur verið í myrkvaskeiðinu og þar sem sjálfgrísjun minni trjáa er orðin umtalsverð (Jón Ágúst Jónsson, 2007; Jón Auðunn Bogason, 2015; óbirt gögn frá 2020). Þarna höfðu jurtkenndir tvíkímblöðungar (haugarfi, njóli og túnfífill) náð hlutfallslega mestri þekju á kostnað einkímblöðunga. Þetta eru allt áburðarkærar tegundir sem nema gjarnan land eftir rask þar sem frjósemi er mikil. Hugsanlegt er að aukin sjálfgrísjun trjálagsins í þessari meðferð, ásamt dauða og rotnun rótarkerfa sjálfgrísjaðra trjáa, sé að valda meiri losun næringarefna í jarðvegi og þar með að valda þessari svörun. Það verður því mjög áhugavert að skoða hvort niðurstöður mælinga á framboði næringarefna í jarðvegi með svokölluðum PRS-mælum (11. mynd) muni styðja þá tilgátu. Efnagreiningar sem munu fara fram á laufblöðum aspanna sem safnað var í ágúst 2019 og 2021 munu einnig væntanlega leiða þetta í ljós.

4.5 Lokaorð

Það er vissulega ástæða til að skoða líffjölbreytni í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti frekar. Í því sambandi má geta þess að sumarið og haustið 2021 fór fram sýnataka til að meta tegundasamsetningu og magn smádýra á skógarbotni og jarðvegsdýra (þráðorma, stökkmors og mítla) í skógarumhirðutilrauninni. Væntanlega verður unnið úr þeim niðurstöðum síðar á þessu ári og þá er á áætlun að skrifa handrit að alþjóðlega birtri vísindagrein um áhrif skógræktarinnar á tegundaauðgi og líffjölbreytni í skóginum þar sem horft er á allt vistkerfið en ekki bara gróðurinn.

Eins og sagði í inngangi þá er skógræktin í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti mun inngripsmeiri (þ.e. með meiri byrjunarþéttleika og eitrun) en almennt á við um nýskógrækt hérlendis. Þess vegna var þess að vænta að áhrifin á líffjölbreytni og tegundaauðgi yrðu með því mesta sem fundist hefði við íslenskar aðstæður. Það að ekki voru nein marktæk áhrif á þessa þætti, miðað við graslendið utan skógar sem hafði verið friðað í um 30 ár, kom því talsvert á óvart.

Umhverfisvöktunin í Tilraunaskóginum í Gunnarsholti er lengsta samfellda vöktunin í ræktuðum skógi hérlendis og hefur því sem slík mikið gildi. Það að hafa bætt við skógarumhirðutilrauninni árið 2004 gefur einnig mikið dýpri innsýn inn í þær breytingar sem verða í lífríki skógarins alls (sjá: Gundelach, 2018). Mikilvægt er að halda áfram vöktun á framvindu Tilraunaskógarins á komandi árum og áratugum. Þegar kemur að næstu grísjun í skóginum er einnig mikilvægt að leggja út nýja reiti í skógarumhirðutilrauninni sem fá slíka viðbótarmeðferð við „C2000“. Slíkir reitir hafa þegar verið afmarkaðir og bíða síns tíma.

5 Þakkir

Þær rannsóknir sem hér var fjallað um eru lítill hluti af miklu umfangsmeira rannsóknaverkefni sem fram fer á skógarumhirðutilrauninni á árunum 2020-2022 og nefnist: „*Mótvægisáðgerðir gegn loftslagsbreytingum: Er áburðargjöf í skógrækt umhverfislega sjálfbær?*“ Orkurannsóknasjóður Landsvirkjunar styrkir þetta verkefni. Við viljum einnig þakka Landgræðslunni fyrir að veita meðhöfundum aðstöðu til rannsókna og alla aðra hjálp við verkefnið sem og samstarf. Skógræktin, ásamt Landbúnaðarháskólanum og Landgræðslunni standa saman að Tilraunaskóginum í Gunnarsholti.

6 Heimildaskrá

Ásrún Elmarsdóttir, Bjarni D. Sigurðsson, Edda S. Oddsdóttir, Arne Fjellberg, Bjarni E. Guðleifsson, Borgþór Magnússon, . . . Ólafur K. Nielsen. (2011). Áhrif skógræktar á tegundaauðgi. *Náttúrufræðingurinn*, 81(2), 69-81.

Bjarni D. Sigurðsson. (2001). Environmental control of carbon uptake and growth in a *Populus trichocarpa* plantation in Iceland. Doktorsritgerð við Skógfræðideild landbúnaðarháskólans í Uppsöllum. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria*, 174, 64 bls.

Bjarni D. Sigurðsson. (2003). Tilraunaskógurinn í Gunnarsholti I. Einn mest rannsakaði skógur landsins. *Skógræktarritið* 2003(1), 67-73.

Bjarni D. Sigurdsson, Ása L. Aradóttir & I. B. Strachan, (1998). Cover and canopy development of a newly established poplar plantation in south Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences*, 12, 15-26.

Bjarni D. Sigurdsson, Borgþór Magnusson, Ásrún Elmarsdóttir, & Brynhildur Bjarnadóttir. (2005). Biomass and composition of understory vegetation and the forest floor carbon stock across Siberian larch and mountain birch chronosequences in Iceland. *Annals of Forest Science*, 62, 881–888.

Bos, Julia C. (2021). *Effects of afforestation on soil properties, ecosystem carbon stocks and biodiversity in East Iceland*. (MS ritgerð), Landbúnaðarháskóli Íslands.

Brynjólfur Sigurjónsson. (1998). *Áhrif skógræktar á tegundafjölbreytni áttfætlna og bjallna*. Ritgerð 3ja eininga rannsóknaverkefnis við Líffræðiskor Háskóla Íslands, 25 bls.

CBD. (2016). *What is Forest Biological Diversity?* Convention of Biological Diversity. Aðgengilegt á: <https://www.cbd.int/forest/what.shtml>

Dormann, C. F., Bagnara, M., Boch, S., Hinderling, J., Janeiro-Otero, A., Schäfer, D., . . . Hartig, F. (2020). Plant species richness increases with light availability, but not variability, in temperate forests understorey. *BMC Ecology*, 20, no 43. Aðgengilegt á: <https://bmcecol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12898-020-00311-9>

Forest research. (e.d.). *Plant biodiversity*. Aðgengilegt á: Forest research: <https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/fthr/urban-regeneration-and-greenspace-partnership/greenspace-in-practice/benefits-of-greenspace/plant-biodiversity/>

Fowler, J., Cohen, L., & Jarvis, P. (1998). *Practical statistics for field biology*. New York: John Wiley & Sons.

Greig-Smith, P. (1983). *Quantitative Plant Ecology*. University of California Press, 359 bls.

Guðríður Gyða Eyjólfsdóttir, Ása L. Aradóttir, Halldór Þorgeirsson, Ólafur Arnalds, & Jón Guðmundsson. (1994). Rannsóknir á umhverfisbreytingum og orkuflæði við framvindu asparskógar á berangri. *Fjölrit Rannsóknastöðvar Skógræktar ríkisins*, 8, 1-32.

Gundelach, T. (2018). *Afforestation and biodiversity: Changes in biodiversity of birds, beetles and ground vegetation along a successional gradient in a black cottonwood (Populus trichocarpa) plantation in South Iceland*. (MS ritgerð), Háskóli Íslands, 94 bls.

Hedwall, P.-O., Holmström, E., Lindbladh, M., & Felton, A. (2019). Concealed by darkness: How stand density can override the biodiversity benefits of mixed forests. *Ecosphere*, 10(8). Aðgengilegt á: doi:<https://doi.org/10.1002/ecs2.2835>

- Jón Ágúst Jónsson. (2007). *Áhrif skógræktaraðgerða á viðarvöxt og flæði kolefnis í asparskógi*. (M.S. ritgerð), Háskóli Íslands, 94 bls.
- Jón Ágúst Jónsson, Sigurðsson, B. D., & Halldórsson, G. (2006). Changes in bird life, surface fauna and ground vegetation following afforestation by black cottonwood (*Populus trichocarpa* Torr. & Gray). *Icelandic Agricultural Sciences*, 19, 33-41.
- Jon Agust Jonsson & Bjarni D. Sigurdsson, (2010). Effects of early thinning and fertilization on soil temperature and soil respiration in a poplar plantation. *Icelandic Agricultural Sciences*, 23, 97-109.
- Jón Auðunn Bogason. (2015). *Skammlotuskógrækt með alaskaösp og áhrif áburðargjafar á hana*. (BS ritgerð), Landbúnaðarháskóli Íslands.
- Jón Auðunn Bogason, Jón Ágúst Jónsson & Bjarni Diðrik Sigurðsson, (2018). Er framleiðsla iðnviðar með skammlotuskógrækt raunhæf hérlendis? Raunverulegt dæmi. *Skógræktarritið* 2018(2), 34-46.
- Kimmins, J.P. (2004). *Forest Ecology. A Foundation for Sustainable Forest Management and Environmental Ethics in Forestry*: Prentice Hall.
- Rantala, S. (Ed.) (2007). *Skogsbrukets handbok: Föreningen för skogskultur - Metsä*. 287 bls.
- Rollinson, T.J.D. (1988). *Thinning control*: UK Forestry Commission. Field Book 2. 30 bls.
- Smith, D.M., Larson, B.C., Kelty, M.J., & Ashton, P.M.S. (1997). *The Practice of Silviculture. Applied Forest Ecology* (9th edition ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Sullivan, T. P., & Sullivan, D. S. (2017). Influence of nitrogen fertilization on abundance and diversity of plants and animals in temperate and boreal forests. *Environmental Reviews*, 26, no 1. Aðgengilegt á: <https://doi.org/10.1139/er-2017-0026>
- United Nations. (2011). United Nations Decade on Biodiversity, the conference of parties. United Nations. Aðgengilegt á: <https://www.cbd.int/undb/home/undb-strategy-en.pdf>