

Nr. 50 / 2023
ISSN 2298-9994

Rit Mógilsár

Rannsóknasviðs
Skógræktarinnar

**Ræktunaröryggi, vöxtur, fræmyndun
og heilbrigði kvæma íslensks birkis**

Brynjar Skúlason
Brynja Hrafnkelsdóttir
Aðalsteinn Sigurgeirsson

Efnisyfirlit

| | |
|---|-----------|
| SAMANTEKT/ABSTRACT | 3 |
| INNGANGUR | 4 |
| Útbreiðsla | 4 |
| Markmið tilraunarinnar | 5 |
| EFNI OG AÐFERÐIR | 5 |
| Kvæmi, tilraunastaðir og tilraunaskipulag | 5 |
| Mælingar | 7 |
| Úrvinnsla gagna | 7 |
| NIÐURSTÖÐUR | 8 |
| UMRÆÐUR | 13 |
| ÞAKKIR | 14 |
| HEIMILDIR | 15 |

Rit Mógilsár Nr 50-2023 — www.skogur.is/mogilsarrit

Títtill Ræktunaröryggi, vöxtur, fræmyndun og heilbrigði kvæma íslensks birkis

English title Cultivation dependability, growth, seed formation and health of Icelandic birch provenances

ISBN 2298-9994

Höfundar Brynjar Skúlason, Brynja Hrafnkelsdóttir og Aðalsteinn Sigurgeirsson

Ábyrgðarmaður Edda S. Oddsdóttir

Ritnefnd Björn Traustason, Ólafur Eggertsson, Pétur Halldórsson

Textavinnsla og umbrot Pétur Halldórsson

Forsíðumynd Birki í Steinadal í Suðursveit: Pétur Halldórsson

Útgefandi Skógræktin, júní 2023

Öll réttindi áskilin

Ræktunaröryggi, vöxtur, fræmyndun og heilbrigði kvæma íslensks birkis

Brynjar Skúlason^{1*}, Brynja Hrafnkelsdóttir¹
og Aðalsteinn Sigurgeirsson²

Samantekt

Abstract

Íslensku birkiskógarnir eru breytilegir að hæð og gerð. Erfitt getur reynst að greina hvað þar ræður mestu, arfbundnir eiginleikar eða staðbundnar umhverfisaðstæður. Vorið 1998 var sett út kvæmatilraun með 50 kvæmum, gróðursett á níu mismunandi tilraunastaði og voru fimm þeirra mældir árin 2020 og 2021. Hæð og þvermál plantanna var mælt auk þess að lifun, ryðmyndun og fræmagn var metið. Jákvæð fylgni var fyrir alla eiginleika í einkunnum kvæma milli tilraunastaða og oftar en ekki marktæk sem bendir til að eiginleikarnir stýrist af arfgerð fremur en umhverfi. Mjög góð fylgni fannst á milli sunnlensku tilraunastaðanna í lifun, þar sem kvæmið Steinadalur er afgerandi best og kvæmin frá Suðaustur- og Suðvesturlandi raðast nánast öll fyrir ofan kvæmin frá Norðaustur- og Norðvesturlandi. Röðun kvæma í lifun er breytilegri á tilraunastöðum á Norðurlandi og á Vestfjörðum. Bæjarstaðabirki og skyldir stofnar hafa almennt mestan lífmassa og kvæmin frá Suðaustur- og Norðausturlandi hafa fæsta aukastofna. Skýrustu niðurstöðurnar eru fyrir fræmyndun og ryðþol þar sem birkið frá Suðausturlandi hefur yfirburði í ríkulegri fræmyndun og besta þolið gagnvart birkirýði. Við notkun birkis fyrir láglandi Íslands má nýta þann kynbótaávinning sem yrkið Embla sýnir og auka erfðabreytileikann með því að bæta klónum inn í þýðið frá kvæmum sem koma vel út í tilrauninni s.s. Steinadal, Þingvöllum, Þórsmörk og Bæjarstað.

Title: Cultivation dependability, growth, seed formation and health of Icelandic birch provenances

The Icelandic downy birch woodlands show substantial variation in both height and growth habit (straightness, shrubbiness) at maturity. However, it can be difficult to distinguish which is more dominant, hereditary characteristics or local environmental conditions on the particular site. In the spring of 1998, a seed experiment was set up with 50 provenances of Icelandic downy birch (*Betula pubescens*), planted on 9 different test locations. Measurements were made in five of those locations in 2020 and 2021. The height and diameter of the plants were measured, as well as survival, rust formation and seed quantity. There was a positive correlation for all traits in the scores between experimental sites and differences were significant in the majority of cases, which indicates that the traits are determined by genotype rather than environment. A very good correlation was found between the southern test locations in terms of survival, where the Steinadalur provenance is decisively the best and the provenances from the Southeastern and Southwestern parts of the country are almost all ranked above those from the Northeast and Northwest. The ranking of provenances in terms of survival is more variable at experimental sites in North Iceland and in the Westfjords. The birch from Bæjarstaður Forest in Southeast Iceland and nearby populations generally show the highest biomass figures, and the birches from the Southeast and Northeast are least likely to develop multiple stems. The clearest results are for seed yield and rust resistance, where the birch from the Southeast has an advantage in abundant seed production and the highest resistance to birch rust. When using birch for woodland creation in the lowlands of Iceland, it seems viable to take advantage of the breeding benefits shown by the cultivar 'Embla', as well as promoting increased genetic variation by adding clones to the population from provenances that have shown positive results in the experiment such as birch from Steinadalur, Þingvellir, Þórsmörk and Bæjarstaður.

¹ Mógilsá, rannsóknasvið Skógræktarinnar

² Skógræktin

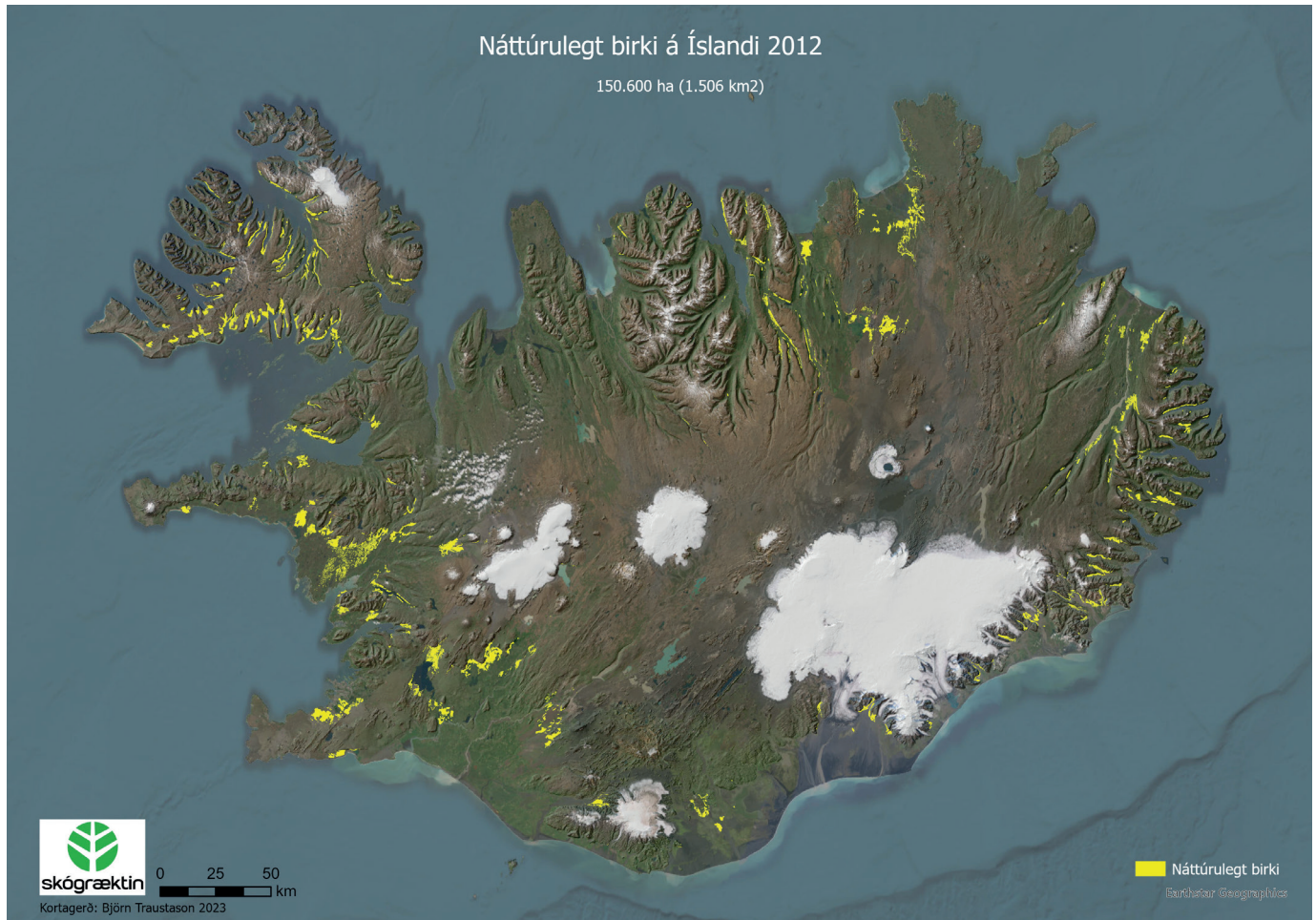
* Skógræktin, Gömlu-Gróðrarstöðinni, is-600 Akureyri, brynjar.skulason@skogur.is

Inngangur

Útbreiðsla

Flatarmál birkiskóga á Íslandi er um 1.500 km² (Arnór Snorrason o.fl., 2016) en er talið hafa verið allt að 40.000 km² við landnám (Snorri Sigurðsson, 1977). Útbreiðsla birkiskóga á Íslandi nú er því innan við 5% af áætluðu flatarmáli þeirra við landnám (Danfríður

Skarphéðinsdóttir o.fl., 2007). Eftir ríflega 1.000 ára búsetu er flatarmál upprunalegra skóga einungis um 1,5% af flatarmáli landsins og mynda þeir misstór skóglendi víða um land (1. mynd).



1. mynd. Útbreiðsla birkis á Íslandi 2012 samkvæmt úttekt 2010-2014 (Arnór Snorrason o.fl., 2016).

Endurheimt birkiskóga hefur ýmist verið stunduð með heilgróðursetningum, yfirleitt með einum erfðahópi (kvæmi, stofni) birkis, örvun á landnámi frá upprunalegum skógarleifum eða gróðursetningu í litla lundi ásamt örvun á landnámi út frá þeim. Þekkt er að á landinu er erfðabreytileiki fyrir hendi og nokkur landshlutamunur á dreifingu þess erfðabreytileika (Thórsson o.fl., 2007) sem kemur fram í ólíkri vaxtargetu, vaxtarformi og aðlögun að umhverfisáðstæðum. Þá hafa skordýrafaraldrar herjað á birkið um aldir og stundum valdið verulegum trjádauða (Halldórsson o.fl., 2013).

Svo unnt sé að meta og hámarka árangur átaks í endurheimt birkiskóga er nauðsynlegt að þekkja þríf erfðahópa birkis og getu til að binda og varðveita kolefni. Íslensku birkiskógarnir eru breytilegir,

meðal annars hvað varðar þéttleika, trjáhæð, trjáform, greinabyggingu og hvenær þeir sölna á haustin. Það sem mótar þennan breytileika skóga er náttúruúrval gegnum aldir, beitarálag, önnur nýting mannsins frá upphafi byggðar og upphaflegur erfðastofn, svo fátt eitt sé nefnt. Tökum sem dæmi einn þekktasta stofn birkis á Íslandi sem er Bæjarstaðaskógur með sínum stórvöxnu trjám á tiltölulega litlu flatarmáli. eru trén svona glæsileg vegna frábærra vaxtarskilyrða á svæðinu? Leiddi náttúruúrval eða nýting mannsins til þess að stór birkitré áttu meiri möguleika á að halda velli og tímgastré frekar en á öðrum stöðum á Íslandi? Hafa hin sérstöku veðurfarsskilyrði (löng sumur og mildir vetur) í Bæjarstaðaskógi skapað stofn með sérstaka vaxtareiginleika eða þol gagnvart sjúkdómum og meindýrum? Hefur staðsetning skógarins og umhverfi

áhrif á erfðablöndun með skyldu efni (fjalldrapi, innlendir birkiskógar, birkiskógar Evrópu)? Var það önnur erfðasamsetning birkis sem náði fótfestu við landnám birkis í Bæjarstað en annars staðar á Íslandi? Þessara spurninga o.fl. mætti spyrja fyrir hvern afmarkaðan birkiskóg á Íslandi og velta fyrir sér hvort fyrst og fremst staðbundnar aðstæður ráði getu skóganna til vaxtar og þar með kolefnisbindingar eða hvort arfbundnir eiginleikar skipti mestu máli. Síðan má ætla, að hlýnun loftslags af mannavöldum geti haft áhrif á getu einstakra erfðahópa birkis til þess að vaxa og dafna á landinu.

Markmið tilraunarinnar

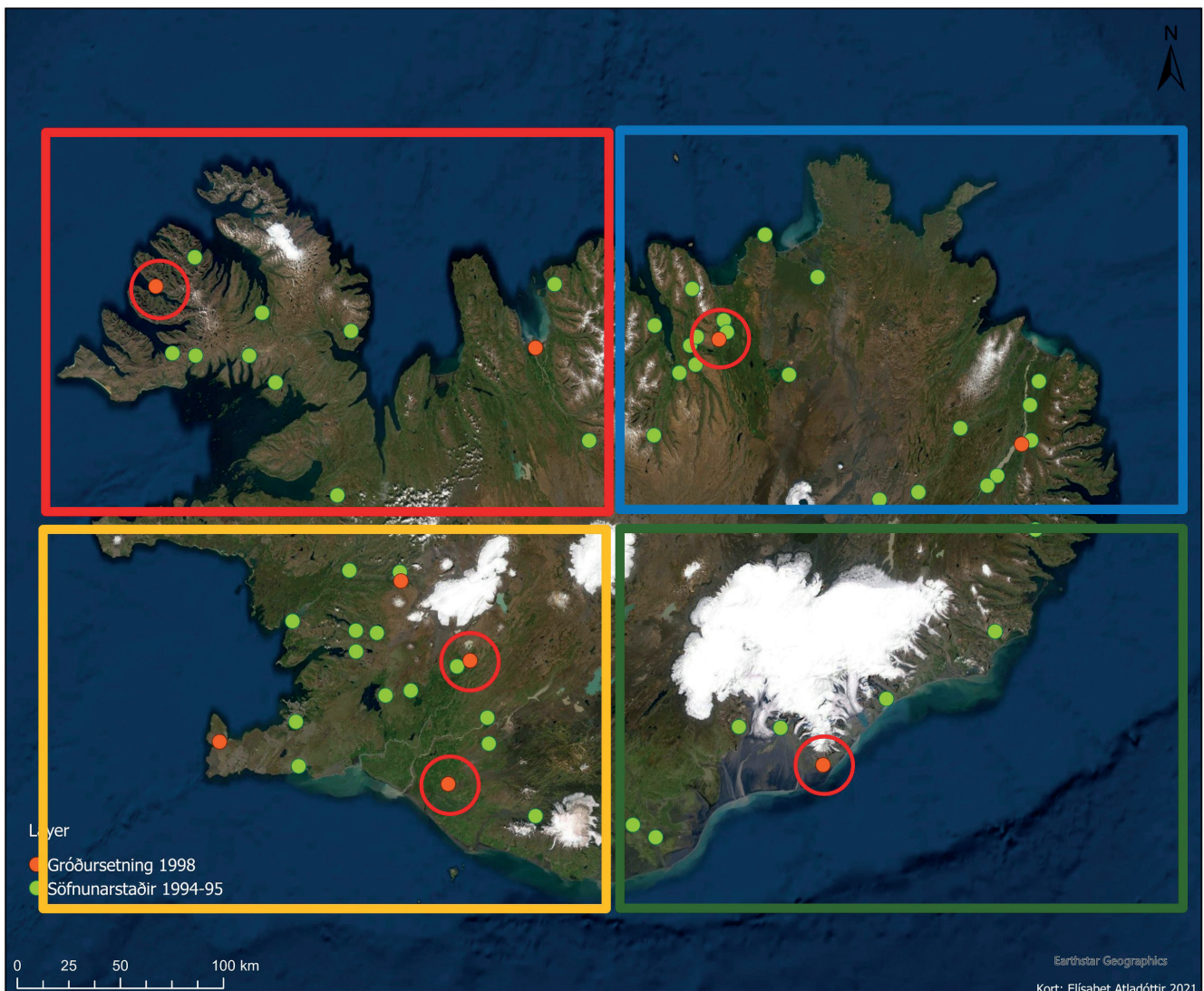
Meginmarkmið tilraunarinnar var að finna út hvaða íslensku kvæmi væru hæfust til að lifa og dafna við hin fjölbreyttustu skilyrði með því að mæla ríflega 20 ára gamla kvæmatilraun. Sundurliðuð markmið voru að finna hvort munur væri á kvæmum, tilraunastöðum og samspili milli kvæma og tilraunastaða m.t.t. a) lifunar, b) lífmassa, c) þoli gagnvart birkiryði (*Melampsorium betulinum*) og d) fræmyndunar.

Efni og aðferðir

Kvæmi, tilraunastaðir og tilraunaskipulag

Til að greina í sundur áhrif umhverfis og erfða á mælanlega eiginleika mismunandi kvæma birkis var sett á fót umfangsmikil kvæmatilraun þar sem prófuð voru 50 íslensk kvæmi á 9 stöðum á landinu

vorið 1998 (2. mynd; tafla 1). Tilraunirnar voru settar upp í 5 blokkir með 15 plöntum af hverju kvæmi í endurtekningu innan hversrar blokkar nema á Læk þar sem endurtekningin var 20 plöntur.



2. mynd. Rauðir punktar eru tilraunastaðirnir og þeir sem eru með hring voru mældir 2020/2021. Grænu punktarnir sýna kvæmin sem voru prófuð. Rammarnir afmarka landið í fjóra landshluta; NV (rauður), NA (blár), SA (grænn) og SV (gulur).

Tafla 1. Yfirlit yfir tilraunastaði og birkikvæmi til prófunar á hverjum stað, gróðursett 1998. Grá svæði í töflu voru ekki með í mælingum eða úrvinnslu gagna af ólíkum ástæðum; x merkir hvort kvæmi var til staðar í viðkomandi tilraunarsvæði.

| Kvæmi/staðir | Haukadalsh. Biskupst. | Lækur Dýrafirði | Fagurhóismýri Öræfum | Varmadalur Rangárvallas. | Hjaltastaður Þingeyjars. | Helluland Skagafirði | Höfði Fljótsdalsh. | Húsafell Borgarfirði | Keflavíkur- flugvöllur |
|--|--------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1. Bæjarstaðaskógur, A-Skaftafellssýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 2. Embla (fv. Bæjarstaðaskógur) | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 3. Mógilsá (fv. Bæjarstaðaskógur) | x | x | | x | x | x | x | x | x |
| 4. Núpsstaðaskógur, V-Skaftafellssýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 5. Meðalland, V-Skaftafellssýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 6. Hrífunes, V-Skaftafellssýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 7. Þórsmörk, Rangárvallasýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 8. Galtalækur, Rangárvallasýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 9. Þjórsárdalur, Árnessýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 10a. Haukadalur, Árnessýslu (fv. Bæjarstaðaskógur) | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 10b. Haukadalur, Árnessýslu (kjarr) | | | | x | | | | | |
| 11. Laugarvatn, Árnessýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 12. Þingvellir, Árnessýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 13. Öndverðanes, Árnessýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 14. Herdísarvík, Árnessýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 15. Vífilstaðahlíð, Gullbringusýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 16. Stóri-Botn, Kjósarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 17. Hafnarskógur, Borgarfjarðarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 18. Vatnshornsskógur, Borgarfjarðarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 19. Húsafell, Borgarfjarðarsýslu | x | x | | x | x | x | x | x | |
| 20. Norðtungu, Mýrasýslu | x | x | | x | | x | x | x | |
| 21. Teigsskógur, Barðastrandarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 22. Kollafjörður, Barðastrandarsýslu | | x | | | x | x | | | |
| 23. Vatnsdalur, Barðastrandarsýslu | x | x | | | | x | | x | |
| 24. Laugaból, Ísafjarðarsýslu | x | x | | | | x | x | x | |
| 25. Norðdalur Trostansfirði, Ísafjarðarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 26. Hrollleifsdalur, Skagafjarðarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 27. Garðsárgil, Eyjafjarðarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 28. Fellsskógur, Þingeyjarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| 29. Leyningshólar, Eyjafjarðarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| 30. Skuggabjörg, Þingeyjarsýslu | x | x | | | | | | | |
| 31. Vaglaskógur, Þingeyjarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 32. Þórðarstaðaskógur, Þingeyjarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| 33. Sigríðarstaðaskógur, Þingeyjarsýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| 34. Fossselsskógur, Þingeyjarsýslu | x | x | | | x | x | | x | |
| 35. Strandarholtsskógur, Þingeyjarsýslu | x | | | | x | x | x | | |
| 36. Tjörnes, Þingeyjarsýslu | x | x | x | | x | x | x | | |
| 37. Ásbyrgi, Þingeyjarsýslu | | | | | x | x | x | | |
| 38. Hjaltastaður, N-Múlasýslu | | | x | | x | | x | | |
| 39. Eiðar, N-Múlasýslu | | | x | | x | x | x | | |
| 40. Egilsstaðaskógur, N-Múlasýslu | x | | x | x | x | x | x | x | |
| 41. Hallormsstaður, N-Múlasýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 42. Ranaskógur, N-Múlasýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| 43. Jórvík í Breiðdal, S-Múlasýslu | x | | x | | | | x | | |
| 44. Stafafell í Lóni, A-Skaftafellssýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 45. Steinadalur, A-Skaftafellssýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 46. Gauksstaðir Jökuldal, N-Múlasýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| 47. Aðalból Hrafnkeldsadal, N-Múlasýslu | x | x | x | x | x | x | x | x | |
| 48. Laugarvalladalur, N-Múlasýslu | x | | | | | x | x | x | |
| 49. Bæjarstaðaúrval (gróðursett '99) | x | | | | x | x | x | x | |

Mældir tilraunastaðir hafa sæmilega landfræðilega dreifingu og endurspeglu þannig nokkuð vel breyti-

leika sem finna má í hitafari og úrkomu á Íslandi (tafla 2).

Tafla 2. Úrkoma og hitafar tilraunastaðanna samkvæmt nærliggjandi veðurstöð (innan sviga) ásamt upplýsingum um gróðurfar og hæð yfir sjó (h.y.s.). Veðurgögn eru fengin frá Veðurstofu Íslands (2022) fyrir tímabilið 1998-2020.

| Tilraunastaður | H.y.s. í m | Árs-úrkoma mm | Árs-meðal-hiti °C | Tetra-term | Hita-munur júlí-feb. | Gróðurfar |
|--|------------|---------------|-------------------|------------|----------------------|---------------------|
| Haukadalsheiði (Hjarðarland og Gullfoss) | 260 | 1,329 | 3,7 | 9,8 | 13,1 | Rýrt mólendi |
| Varmidalur (Hella og Sámsstaðir) | 32 | 1.107 | 4,7 | 10,3 | 12,1 | Meðalfrjótt mólendi |
| Fagurhólmýri (Fagurhólmýri) | 43 | 1.819 | 5,5 | 10,0 | 9,5 | Rýrt mólendi |
| Lækur (Hólar í Dýrafirði) | 38 | 1.249 | 4,2 | 9,5 | 11,5 | Meðalfrjótt mólendi |
| Hjaltastaður (Staðarhóll og Kaldakinn) | 115 | 634 | 2,7 | 8,9 | 12,7 | Meðalfrjótt mólendi |

Gögnin fyrir Gullfoss, Hella og Köldukinn voru notuð óbreytt fyrir tilraunastaðina en þar sem eyður voru í gagnasafninu voru notuð leiðrétt gögn frá eldri veðurstöðvum sem spanna lengra tímabil s.s. Hjarðarlandi, Sámsstöðum og Staðarhóli. Líklegt er að hitafar á Haukadalsheiði liggja nokkru lægra en við Gullfoss enda um 60 m hæðarmunur á stöðunum.

- 0 = engar skemmdir
- 1 = mjög litlar skemmdir (1%-10%)
- 2 = litlar skemmdir (10%-25%)
- 3 = töluverðar skemmdir (25%-50%)
- 4 = mjög miklar skemmdir (50%-75%)
- 5 = nánast öll blöð skemmd (75%-100%)

Mælingar

Haukadalsheiði, Fagurhólmýri, Varmidalur, Hjaltastaður og Lækur að hluta (blokk 1, 2 og 3) voru mældir sumarið 2020. Lokið var við að mæla á Læk (blokk 4 og 5) haustið 2021. Lífur var metin í öllum tilraununum fimm. Lífmassi og fjöldi stofna var mældur og fræmyndun metin í fjórum tilraunum þar sem Haukadalsheiði var undanskilin. Þá var ryð einungis metið í Varmadal og á Fagurhólmýri.

Lífmassi var reiknaður með sömu aðferð og notuð er í Landskógarúttekt á Íslandi, þar sem þvermál aðalstofns og síðan þvermál meðal aukastofns eru mæld. Þvermálið var ýmist tekið í hnéhæð eða við rótarhálsl fyrir tré hærri en 1 m en alltaf við rótarhálsl fyrir tré lægri en 1 m. Til að umreikna þvermál yfir í kílógrömm (kg) þurrefnis voru notaðar lífmassaformúlur fyrir íslenskt birki (Jónsson og Snorrason, 2018; Snorrason & Einarsson, 2006). Lífmassi hvers trés samanstendur af summu allra stofna þess þar sem fjöldi stofna miðast við greiningu neðan við 50 cm hæð.

Við mat á fræmyndun var fjöldi frækla á hverju tré metinn í sex veldisvaxandi flokka:

- 0 = 0 reklar á tré
- 1 = 1-5 reklar á tré
- 2 = 6-20 reklar á tré
- 3 = 21-50 reklar á tré
- 4 = 51-200 reklar á tré
- 5 = fleiri en 200 reklar á tré

Ryðskemmdir voru metnar sjónrænt í sex flokka út frá umfangi laufskemmda:

Úrvinnsla gagna

Við úrvinnslu gagnanna var leitast við að greina hvort marktækur munur væri á tilraunastöðum, kvæmum, kvæmahópum innan landshluta og röðun kvæma eða kvæmahópa eftir tilraunastöðum (samspil) með tilliti til mældra eiginleika.

Við greininguna var notast við tölfræðiforritið *R 4.1.2* (R Core Team, 2020) og *RStudio* (Rstudio Team, 2022). Fyrir eiginleikana hlutfall lifandi plantna og margstofna, sem er einföld flokkabreyta, 0 eða 1, var notað módelið

$$\text{Logit}(P) = \text{Tilraunastaður} + \text{Blokk (Tilraunastaður)} + \text{Kvæmi} + \text{Tilraunastaður} * \text{Kvæmi}$$

þar sem P stendur fyrir hlutfall lifandi plantna eða hlutfall margstofna trjáa. Fyrir lífmassa, fræmyndun og ryð var gengið út frá módelinu

$$Y = \text{Tilraunastaður} + \text{Blokk (Tilraunastaður)} + \text{Kvæmi} + \text{Tilraunastaður} * \text{Kvæmi} + \text{skekkja}$$

þar sem Y stendur fyrir áður nefnda mældu eiginleika. Tilraunastaður féll að sjálfsögðu út úr báðum módelunum þegar um var að ræða greiningu á hverjum stað fyrir sig. Gerð var ferveikagreining á báðum módelunum með skipuninni *Anova* frá car-pakkanum (Fox & Weisberg, 2011). Marktækur munur ($p < 0,05$) á milli einstakra kvæma var skoðaður með hjálp skipananna *emmeans* frá *emmeans*-pakkanum (Lenth, 2022) og *cld* frá *multcomp*-pakkanum (Hothorn o.fl., 2008). Gögnin fyrir lífmassa (skew 2,6, kurtosis 10,85), fræmyndun (skew 0,06, kurtosis -1,56) og ryð (skew 5,48, kurtosis 132,04) stóðust ekki próf

um að vera normaldreifð. Óparametrískar aðferðir við greiningu gagna gáfu mjög svipaðar niðurstöður um marktækan mun milli kvæma svo ákveðið var að nota hefðbundna fervikagreiningu við úrvinnslu gagna þrátt fyrir að skilyrði um normaldreifingu væri ekki uppfyllt.

Ef fervikagreining leiddi í ljós samspilsáhrif milli tilraunastaðar og kvæma var skoðuð fylgni kvæma milli staða fyrir viðkomandi eiginleika. Tekið var mið

af marktækri fylgni við frekari greiningu gagnanna. Reiknuð voru meðaltöl kvæma ásamt staðalskekkju sameiginlega fyrir staði með marktæka fylgni en sér fyrir staði sem sýndu umtalsverð frávik frá öðrum tilraunastöðum. Við samanburð kvæma þar sem meðaltöl eru byggð á fleiri en einum tilraunastað, var einungis reiknað fyrir sameiginleg kvæmi. Þegar reiknað var fyrir einstaka staði var byggt á öllum kvæmum sem voru prófuð á viðkomandi tilraunastað.

Niðurstöður

Heildarlifun í tilraununum var nokkuð breytileg eða 25% á Fagurhólsmýri, 55% á Læk, 74% í Varmadal og á Hjaltastað en einungis 11% á Haukadalsheiði.

Reiknuð var fylgni í einkunnum kvæma milli staða til að meta hvort kvæmin röðuðust ólíkt eftir því hvar þau væru gróðursett (tafla 3).

Tafla 3. Fylgni (R^2) milli staða fyrir einkunnir kvæma fyrir mismunandi eiginleika. Rautt skáletur tákna að fylgni sé marktæk ($p < 0,05$).

| Lifun | Fagurhólsmýri | Hjaltastaður | Lækur | Varmadalur |
|----------------|---------------|--------------|-------|------------|
| Hjaltastaður | 0,323 | | | |
| Lækur | 0,354 | 0,553 | | |
| Varmidalur | 0,708 | 0,450 | 0,515 | |
| Haukadalsheiði | 0,732 | 0,377 | 0,397 | 0,749 |

| Fræ | Fagurhólsmýri | Hjaltastaður | Lækur |
|--------------|---------------|--------------|-------|
| Hjaltastaður | 0,725 | | |
| Lækur | 0,426 | 0,722 | |
| Varmidalur | 0,757 | 0,896 | 0,737 |

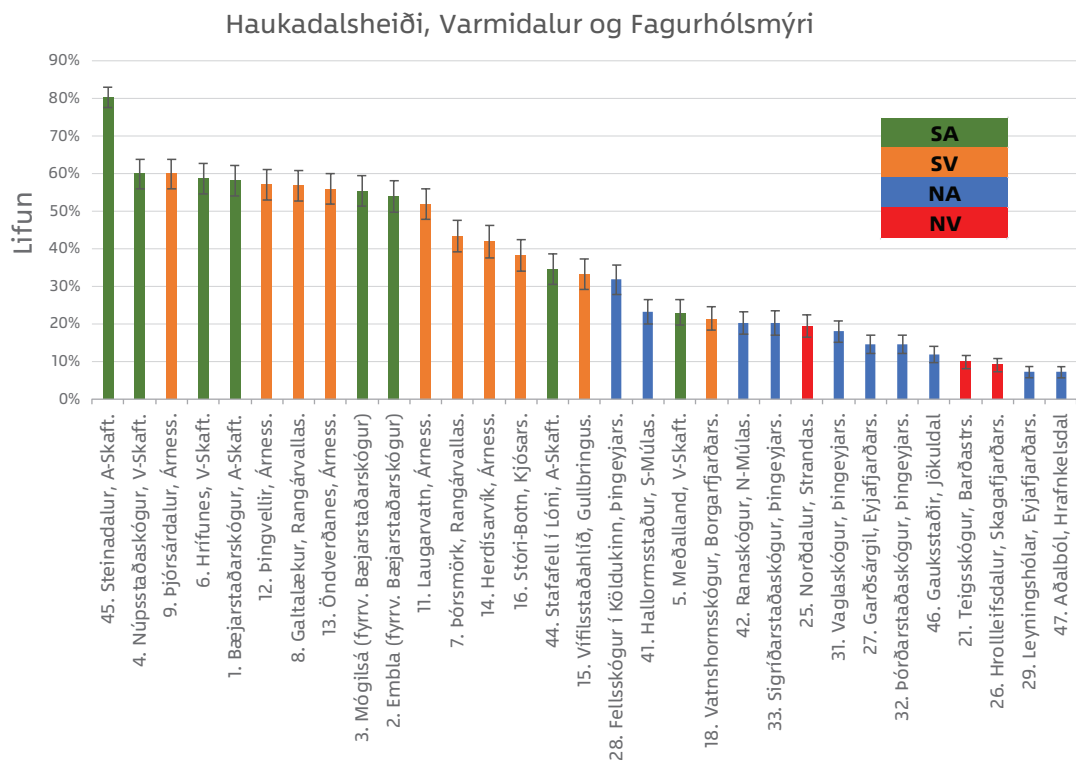
| Rúmmál | Fagurhólsmýri | Hjaltastaður | Lækur |
|--------------|---------------|--------------|-------|
| Hjaltastaður | 0,249 | | |
| Lækur | 0,203 | 0,641 | |
| Varmidalur | 0,662 | 0,576 | 0,422 |

| Fjöldi stofna | Fagurhólsmýri | Hjaltastaður | Lækur |
|---------------|---------------|--------------|-------|
| Hjaltastaður | 0,148 | | |
| Lækur | 0,216 | 0,384 | |
| Varmidalur | 0,350 | 0,567 | 0,545 |

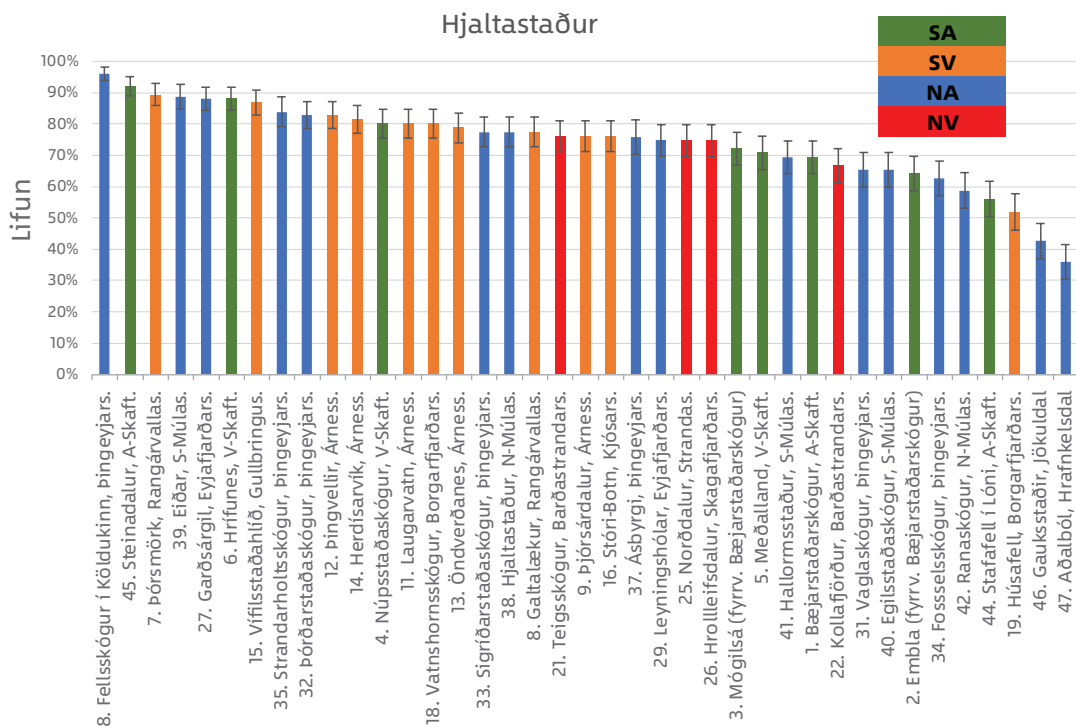
| Ryð | Fagurhólsmýri |
|------------|---------------|
| Varmidalur | 0,297 |

Fylgni milli staða er ávallt jákvæð og oftast marktæk; t.d. er marktæk fylgni milli allra staða fyrir fræmyndun. Fyrir aðra eiginleika er helst skortur á fylgni milli Fagurhólsmýrar annars vegar og Hjaltastaðar og Lækjar hins vegar.

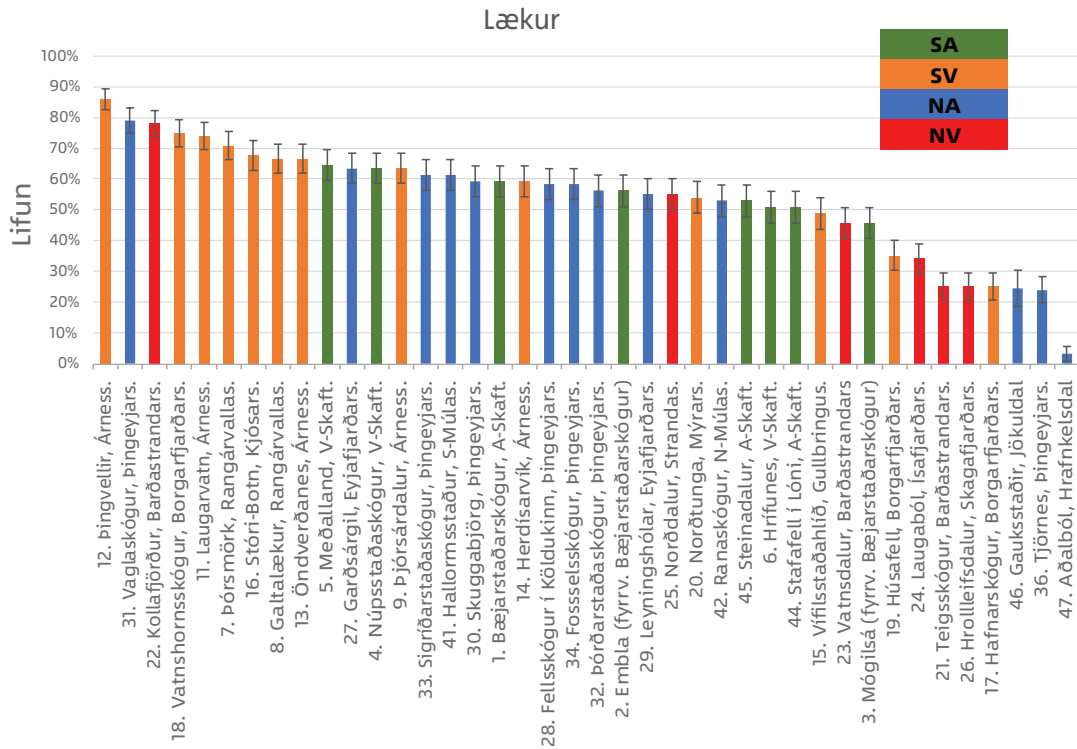
Fagurhólsmýri, Haukadalsheiði og Varmadal var slegið saman í greiningu fyrir lifun (3. mynd) en Hjaltastaður og Lækur greindir sérstaklega (4. og 5. mynd).



3. mynd. Meðallifun sameiginlegra birkikvæma á Haukadalsheiði, á Fagurhólmsmýri og í Varmadal. Mismunandi litir tákna landshlutana fjóra. Lóðréttar línur sýna staðalskekkju.

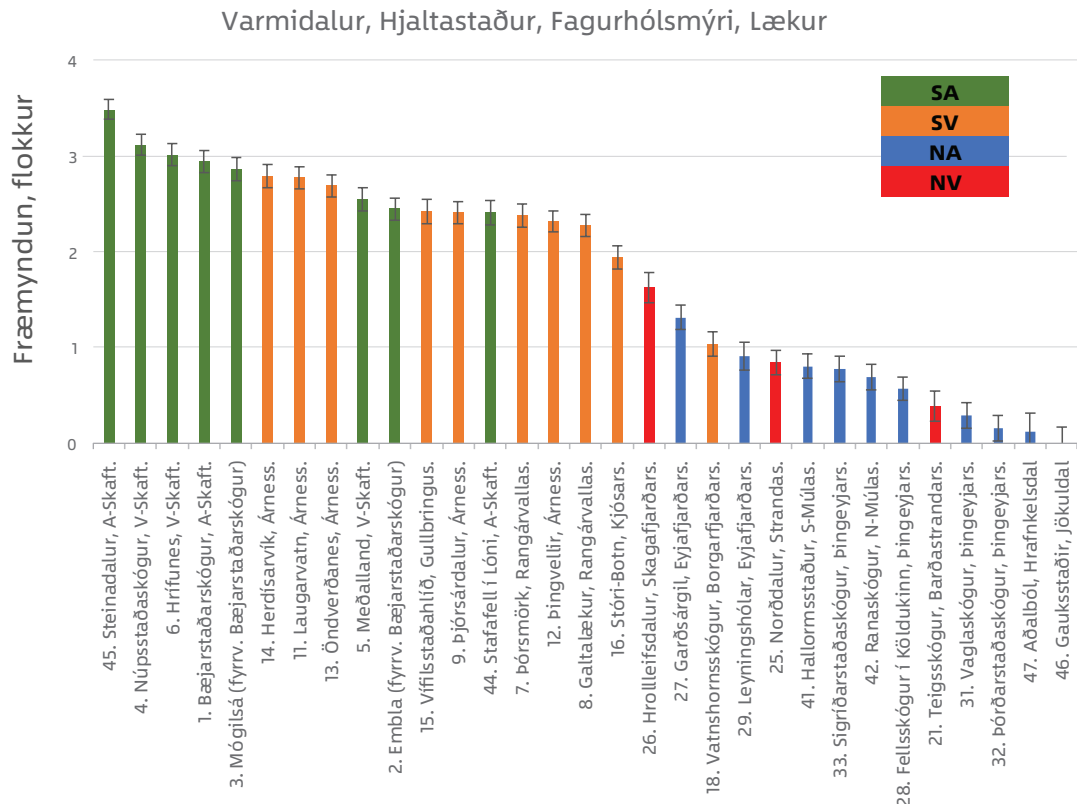


4. mynd. Meðallifun birkikvæma á Hjaltastað. Mismunandi litir tákna landshlutana fjóra. Lóðréttar línur sýna staðalskekkju.



5. mynd. Meðallifun birkikvæma á Læk. Mismunandi litir tákna landshlutana fjóra. Lóðréttar línur sýna staðalskekku.

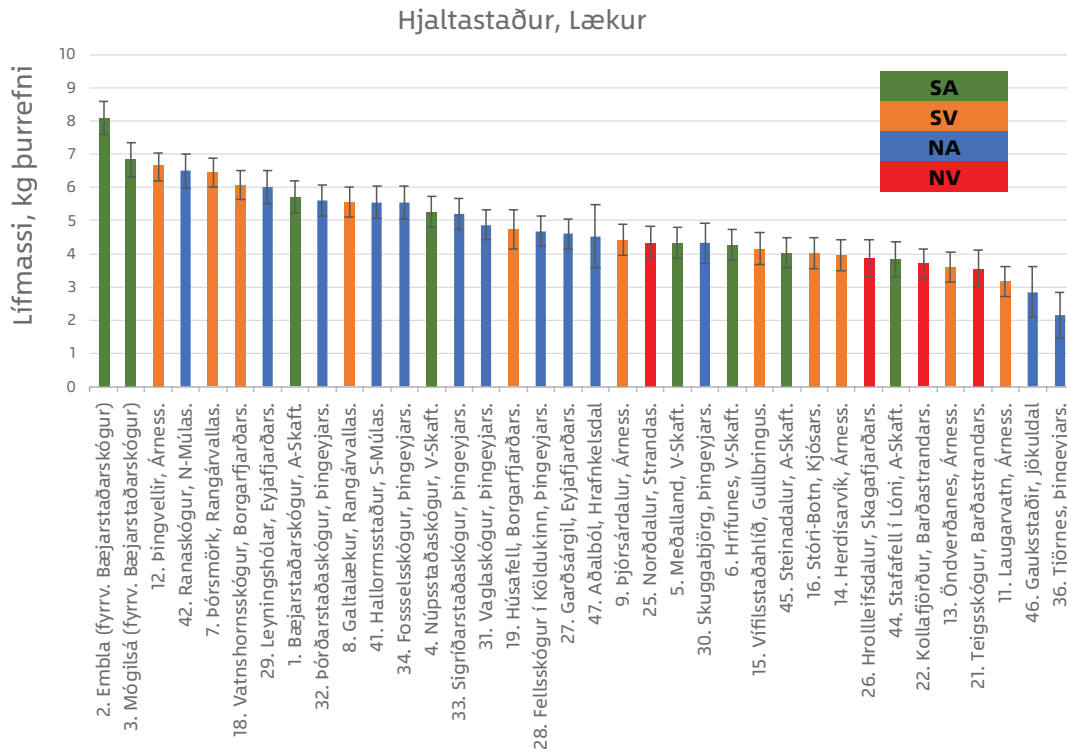
Gögn frá öllum tilraunastöðunum voru notuð til að skoða fræmyndun hjá mismunandi kvæmum (6. mynd).



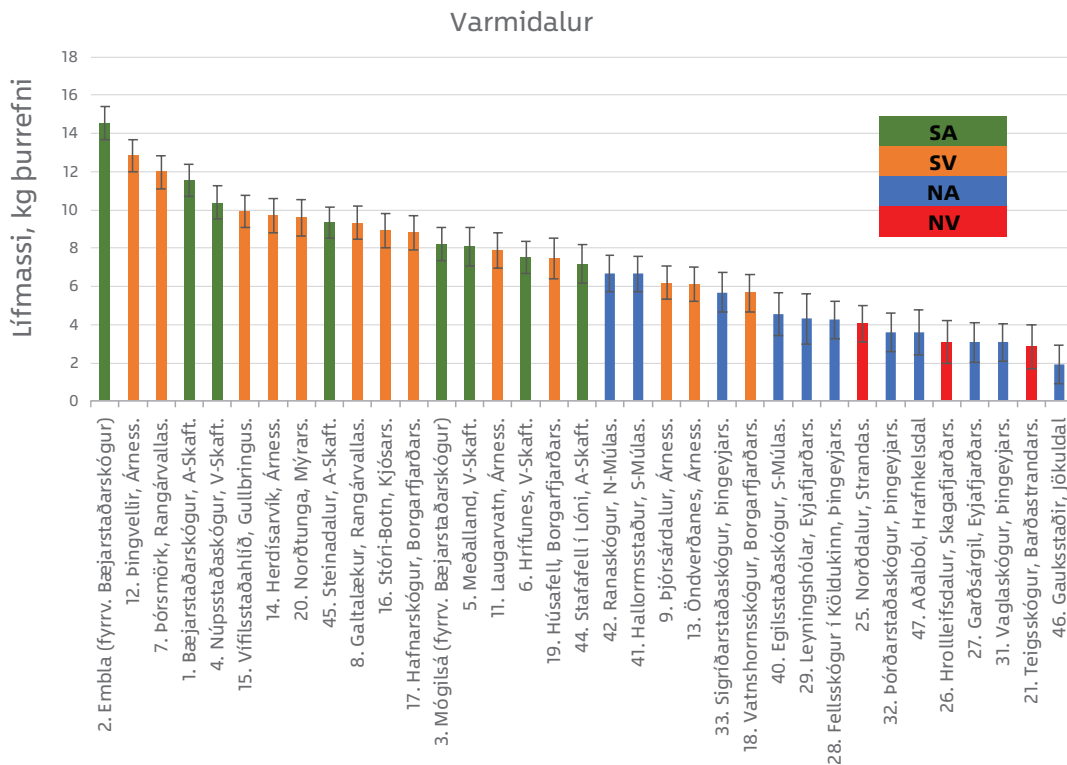
6. mynd. Fræmyndun í Varmadal, á Hjaltastað, Fagurhólmsmýri og Læk, samkvæmt skalanum 0=0 reklar, 1=1-5, 2=6-20, 3=21-50, 4=51-200, og 5=fleiri en 200 reklar á tré. Mismunandi litir tákna landshlutana fjóra. Lóðréttar línur sýna staðalskekku.

Marktæk fylgni var í röðun kvæma út frá rúmmáli milli Varmadals og hinna staðanna en fylgni Fagurhólm-mýrar við Hjaltastaði og Læk reyndist ómarktæk. Hér er því valið að birta meðaltöl fyrir Hjaltastaði og Læk

saman (7. mynd) og sér fyrir Varmadal (8. mynd) en sleppa frekari greiningum á Fagurhólm-mýri vegna mikilla affalla í einstökum kvæmum.



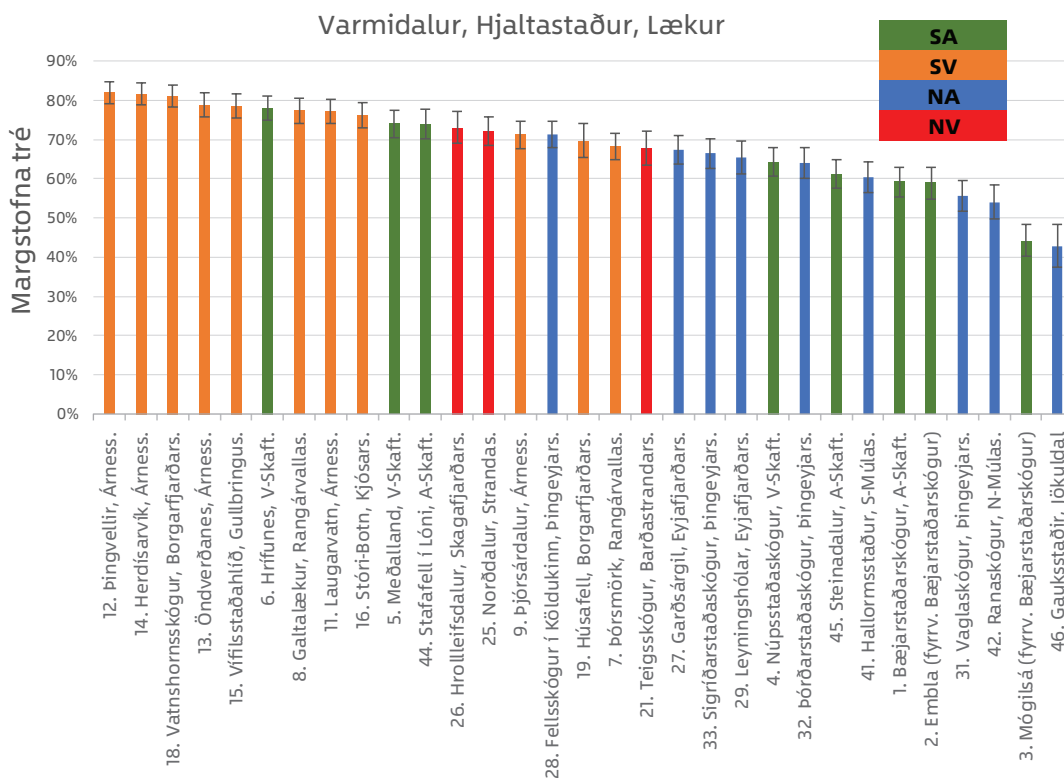
7. mynd. Meðalrúmmál kvæma á Hjaltastað og á Læk. Mismunandi litir tákna landshlutana fjóra. Lóðréttar línur tákna staðalskekkju.



8. mynd. Meðalrúmmál kvæma í Varmadal. Mismunandi litir tákna landshlutana fjóra. Lóðréttar línur tákna staðalskekkju.

Marktæk fylgni reyndist milli Varmadals, Hjaltastaða og Lækjar fyrir meðalfjölda stofna innan kvæma. Meðalhutfall margstofna trjáa var því reiknað fyrir

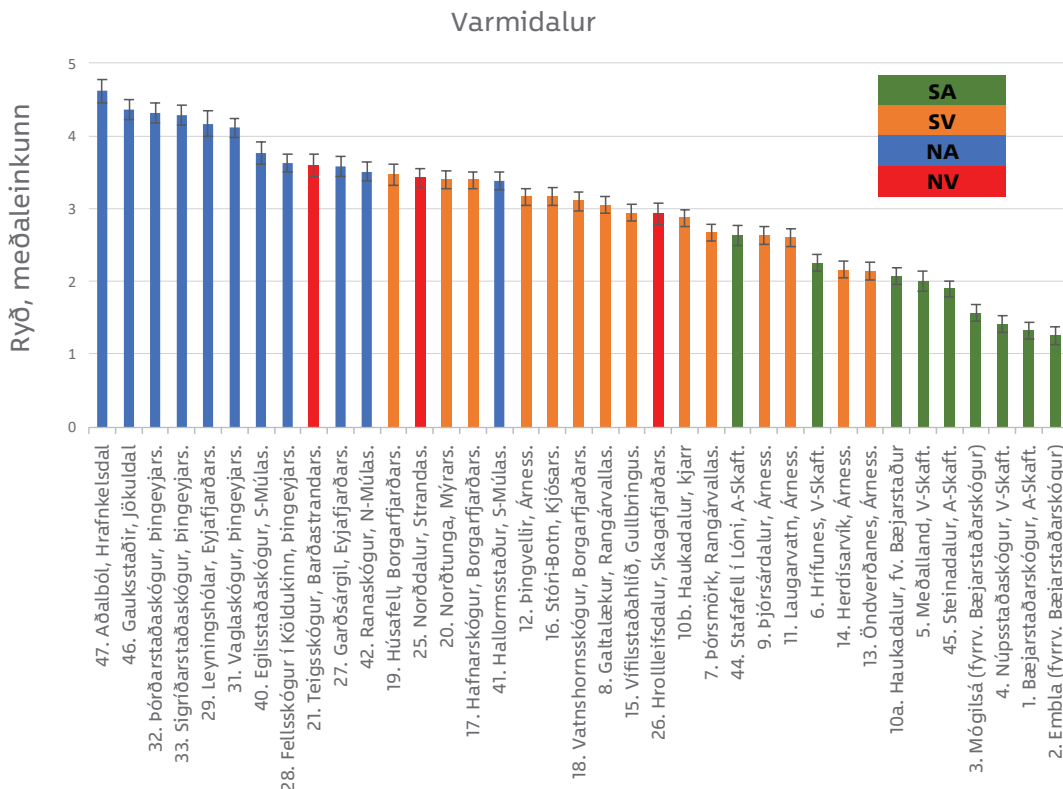
þessa þrjá staði saman (mynd 9). Ekki eru birt meðaltöl fyrir Fagurhólsmýri þar sem fáar endurtekningar voru fyrir mörg kvæmi vegna mikilla affalla.



9. mynd. Meðalhutfall margstofna trjáa innan kvæma í Varmadal, á Hjaltastað og á Læk. Mismunandi litir tákna landslutana fjóra. Lóðréttar línur tákna staðslekkju.

Ryð var metið bæði á Fagurhólsmýri og í Varmadal. Fylgnin milli staða reyndist ekki marktæk. Þar sem niðurstöðurnar á Fagurhólsmýri voru byggðar á

fáum einstaklingum hjá mörgum kvæmanna var ákveðið að birta hér meðaleinkunn fyrir ryð einungis fyrir Varmadal (10. mynd).



10. mynd. Meðalryðeinkunn kvæma í Varmadal. Hærrí ryðeinkunn tákna meira ryð á blöðum. Mismunandi litir tákna landslutana fjóra. Lóðréttar línur tákna staðslekkju.

Umræður

Jákvæð fylgni er fyrir alla eiginleika í einkunnum kvæma milli tilraunastaða og oftar en ekki marktæk. Það bendir til þess að eiginleikarnir stýrist af erfðum fremur en umhverfi. Mjög góð fylgni er milli sunnlensku tilraunastaðanna í lifun þar sem kvæmið Steinadalur er afgerandi best og kvæmin frá Suðaustur- og Suðvesturlandi raðast nánast öll fyrir ofan kvæmin frá Norðaustur- og Norðvesturlandi.

Á Hjaltastað var lifunin góð hjá flestum kvæmum og ekki að sjá neinn afgerandi mun eftir uppruna kvæma í mismunandi landshlutum. Þar var staðarkvæmið úr Fellsskógi best og úr Steinadal næstbest.

Á Læk virðast kvæmin frá Suðvesturlandi vera með almenna yfirburði og af kvæmum af Norðvesturlandi er það einungis Kollafjörður sem stendur sig vel.

Þessar niðurstöður styðja við þá almennu reynslu að sunnlensk kvæmi lifi almennt vel um land allt en norðlensk henti síður til notkunar utan síns heimasvæðis og samræmist það niðurstöðum sem komu fram þegar tilraunin var gerð upp við tíu ára aldur (Aðalsteinn Sigurgeirsson og Sabrina Fischer, 2009). Þetta er ekki ósvipuð niðurstaða og fékkst við samanburð kvæma hengibirkis (*Betula pendula*) í Noregi þar sem kvæmi ættuð frá meginlandinu, og úr talsverðri hæð yfir sjó, þrífust síður við flutning suður á bóginn og til strandsvæða, en sunnlensku kvæmin þoldu vel flutning norður um allt að 4-6 breiddargráður (Skrøppa & Kohmann, 2018).

Við DNA-raðgreiningu á íslenska birkinu hefur verið staðfest að skyldleiki milli kvæma er meiri eftir því sem styttra er á milli þeirra (Pálsson o.fl., 2022). Þessi munur er gleggri eftir því sem kvæmin eru landfræðilega einangraðri frá öðru birki. Samkvæmt þessu má draga þá ályktun að líkindi í eiginleikum kvæma innan landshluta, sem kemur fram í niðurstöðunum, skýrist af skyldleika samhliða náttúrulegri aðlögun.

Þótt lifun sé mikilvægur eiginleiki, þá eru fleiri atriði sem skipta máli í ræktun skóga eins og t.d. vöxtur. Ör vöxtur er um leið grundvöllurinn að góðum afköstum í kolefnisbindingu. Yrkið Embla er byggt á úrvali móðurtrjáa á höfuðborgarsvæðinu sem mestmegnis er talið vera Bæjarstaðabirki. Valið var fyrir góðum vexti og hvítum, beinum stofni (Þorsteinn Tómasson, 1995). Svo virðist sem kynbæturnar hafi borið árangur því yrkið Embla sýnir mestan lífmassa af öllum kvæmum og er jafnframt meðal þeirra kvæma sem hafa fæsta aukastofna. Bæjarstaðabirki og nálæg kvæmi ásamt Þórsmörk og Þingvöllum sýna almennt góðan vöxt. Kvæmið Steinadalur, sem annars kemur vel út fyrir flesta þætti, virðist vaxa ívið minna en bestu kvæmin. Erfðablöndun milli fjalldrapa og ilmbjarkar hefur átt sér stað á Íslandi í árpúsundir og mismikil innblöndun gena frá

fjalldrapa er talin hafa haft mikil áhrif á breytileika birkisins í útliti og eiginleikum (Lilja Karlsdóttir o.fl., 2016). Bæjarstaðabirki og skyldir stofnar hafa lengi þótt bera af íslensku birki í beinleika og vaxtarþrótti eins og staðfestist að hluta í þessari tilraun. Rannsóknir hafa sýnt að erfðamengi þess er talsvert ólíkt öðru birki þar sem innblöndun fjalldrapa virðist lítil og einnig fundust vísbendingar um skyldleika við skandinavíska stofna (Kesara Anamthawat-Jónsson & Ægir Þ. Þórsson, 2012).

Fræmyndun er eiginleiki sem endurspeglar getu birkisins til að fjölga sér og dreifast, bæði frá náttúrulegum birkiskógaleifum en einnig frá gróðursettu birki. Hekluskógar eru stærsta einstaka skógræktarverkefni landsins. Þar er að hluta unnið eftir þeirri hugmynd að gróðursetja birki í gróðureyjar sem muni í framtíðinni dreifa sér áfram í ógróðursett svæði með sjálfsáningu (Hreinn Óskarsson, 2022). Hér er því um mikilvægan hagnýtan eiginleika að ræða. Það er sláandi hversu afgerandi miklu duglegri sunnlensku stofnarnir eru að mynda fræ samanborið við stofna frá Norðvestur- og Norðausturlandi en fylgnin milli tilraunastaða var bæði há og marktæk. Samkvæmt þessu skiptir miklu máli að velja rétta stofna til gróðursetningar þar sem ætlunin er að nýta sjálfsáningu sem skógræktaraðferð.

Marktækur munur var á ryðpoli kvæma. Þessar niðurstöður eru í samræmi við fyrri rannsóknir sem hafa sýnt að það er fjölbreytileiki innan ilmbirkis (Helander o.fl., 1998) og hengibirkis (Skrøppa og Solvin, 2019) hvað varðar næmni fyrir birkiryði. Landshlutamunur kvæma á ryðpoli var afgerandi eins og fyrir aðra mælda eiginleika. Kvæmi af Suðausturlandi hafa mesta ryðpolið en þau frá Norðausturlandi hafa afgerandi minnst ryðpol. Rannsóknir á hengibirki í Noregi hafa sýnt jákvætt samband á milli vaxtartíma og ryðpols (Skrøppa og Solvin, 2019). Vera má að sunnlensku kvæmin, með sinn langa vaxtartíma og reglubundna úrkomu, hafi með náttúruúrvali þróað með sér eiginleika til mikillar fræmyndunar og þols gagnvart ryðsjúkdómum umfram aðra stofna sem síður hafi átt möguleika á að þroska fræ reglulega og loftslag ekki verið hagfellt ryðsjúkdómum. Þetta eru þó einungis getgátur.

Niðurstöður staðfesta að Bæjarstaðabirkið og skyldir stofnar hafa víðtækt notagildi þar sem rækta skal hávaxna birkiskóga með mikinn vaxtarþrótt. Steinadalabirkið (úr Suðursveit) virðist þrífast vel víða um land og hentar vel þar sem áhersla er á góða lifun og mikla fræmyndun. Kvæmin Þingvellir og Þórsmörk virðast lífseig og þróttmikil og henta e.t.v. betur en annað birki inn til landsins á Norðausturlandi og Vestfjörðum en ekki eru mörg dæmi um að það hafi verið reynt. Norðlenskt birki ætti fyrst og fremst að nota á Norðurlandi en ekki í öðrum landshlutum.

Þó svo að mestur hluti birkiskóganna á Íslandi hafi eyðst frá landnámi má finna birkiskógaleifar á stangli í öllum landshlutum. Því má álykta að erfðabreytileiki hafi viðhaldist betur en samdrátturinn í útbreiðslu birkis frá landnámi gefur til kynna.

Áhrif loftslagsbreytinga á birkið í nánustu framtíð er erfitt að sjá fyrir en líklegt er að þessar breytingar muni frekar henta stofnum sem eru aðlagðir mildum vetrum og úrkomu en hálandisstofnar inn til landsins muni síður halda velli. Einnig þarf að huga að mótvægisaðgerðum gagnvart nýjum meindýrum á borð við birkikembu (*Eriocrania unimaculella*) og birkiþélu (*Scolioneura betuleti*) og samspili þeirra við loftslagsbreytingar (Hrafnkelsdóttir & Halldórsson, 2020). Vísbendingar eru um að t.d. birkikemba leggist misþungt á einstök kvæmi (Brynja Hrafnkelsdóttir o.fl., 2017).

Góð leið til að halda í erfðabreytileikann, og efla með því möguleika birkisins til aðlögunar, er að tryggja að birki um land allt fái tækifæri til að vaxa í friði og við hagfelldar aðstæður til að sá sér út með fræi. Þannig verða til nýjar arfgerðir og einhverjar þeirra munu e.t.v. skara fram úr.

Einangraðir stofnar með litla erfðafjölbreytni gætu átt undir högg að sækja í breyttu loftslagi og mögulega er markviss erfðablöndun með stofnum sem hafa meiri erfðabreytileika (assisted migration), leið til að varðveita gen slíkra stofna í skógi framtíðarinnar (Ste-Marie o.fl., 2011). Sem dæmi má nefna stórt rannsóknaverkefni í Kanada sem miðar að réttu vali erfðaefnis ýmissa trjátegunda til gróðursetningar

fyrir framtíðarloftslag hvers svæðis eftir 60-80 ár (Assisted Migration Adaptation Trial). Finnar, Svíar og Norðmenn hafa sameiginlega þróað leiðbeiningar um flutning kvæma rauðgrenis til norðurs til að mæta loftslagsbreytingum með betur aðlöguðum efnivið (Liziniewicz o.fl., 2023).

Við notkun birkis til skógræktar þarf í senn að nota efnivið sem hæfir markmiðum ræktunarinnar og hefur umtalsverðan erfðabreytileika til að takast á við ófyrirséðar loftslagsbreytingar. Embla virðist vera að skila kynbótaávinningi og við frekari kynbætur ætti tvímælalaust að byggja áfram á þeim ávinningi og bæta inn erfðaefni frá öflugum stofnum eins og Steinadal, Þingvöllum og Þórsmörk til að þróa birki sem hentar almennt á láglandi Íslands. Slík innblöndun myndi auka erfðabreytileika í gróðursettu birki og auka líkur á aðlögun tegundarinnar gagnvart breytilegu umhverfi, t.d. vegna loftslagsbreytinga. Innblöndun erfðaefnis frá suðlægari löndum gæti líka verið valkostur til að auka lífslíkur birkisins ef loftslagsbreytingar verða verulegar.

Ljóst er að mikill breytileiki er á íslensku birki innan kvæma, milli kvæma og milli landshluta. Því ætti að vera auðvelt að kynbæta það fyrir eiginleikum sem sóst er eftir án þess að fórna erfðabreytileika.

Ekki er víst að sami efniviður henti fyrir hálandisbrúnina þar sem vaxtartíminn er styttri samanborið við láglandi. Æskilegt er að fram fari kvæmatilraunir með birki í meiri hæð yfir sjó til að meta hvaða efniviður hentar best við slíkar aðstæður.

Þakkir

Í tilefni af fimmtíu ára afmæli sínu veitti Rarik styrk til rannsóknarverkefnisins árið 1998 þegar gróðursett voru fimmtíu birkikvæmi í því sem síðan hefur gengið undir heitinu Rarik-tilraunin. Fyrirtækinu eru færðar sérstakar þakkir fyrir stuðninginn. Sömmuleiðis er vert að þakka Karli S. Gunnarssyni og Þórði Þórðarsyni fyrir vandaða vinnu við að setja út tilraunirnar á sínum tíma ásamt Hrefnu Jóhannesdóttur, Þáverandi skógfræðinema, og sumarstarfsfólki. Sigvaldi Ásgeirsson og Snorri Baldursson, sem nú eru báðir látnir, sáu um fræsöfnun ásamt Aðalsteini Sigurgeirssyni. Þuríður Yngvadóttir og Þórarinn Benedíksz sáu

svo um að skrásetja og spírunarprófa öll fræsýnin. Það var ærið verkefni, því á hverjum söfnunarstað var safnað af tíu fræmæðrum og gæta þurfti þess að hafa hlutföllin jöfn í hverju kvæmi, þótt spírunarprósantan væri æði misjöfn — jafnvel innan kvæma. Þeim ber að þakka en ekki síður þeim sem tóku þátt í mælingum tilraunanna með höfundum þessarar greinar, sérstaklega þeim Rakel J. Jónsdóttur og Jóhönnu Bergrúnar Ólafsdóttur. Síðast en ekki síst er Sæmundi Þorvaldssyni og Kristjáni Jónssyni þakkað fyrir mælingar á tilrauninni á Læk, sem þeir sáu einir um.

Heimildir

- Aðalsteinn Sigurgeirsson og Sabrina Fischer. 2009. *Niðurstöður 10 ára kvæmatilrauna með íslenskt birki*. Fyrirlestur á Fagráðstefnu skógræktar 2009. Sótt á vef Skógræktarinnar 16/1 2020: https://www.skogur.is/static/files/fagradstefna/Adalsteinn_og_Sabrina.pdf
- Arnór Snorrason, Björn Traustason, Bjarki Þ. Kjartansson, Lárus Heiðarsson og Rúnar Ísleifsson. 2016. Náttúrulegt birki á Íslandi. *Náttúrufræðingurinn*, 86 (3-4), 97-111.
- Assisted Migration Adaptation Trial*. [Vefur stjórnar Bresku-Kólumbíu]. (Ótímasett). Sótt 26. janúar 2023 af <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/forestry/managing-our-forest-resources/tree-seed/forest-genetics/seed-transfer-climate-change/assisted-migration-adaptation-trial>
- Brynja Hrafnkelsdóttir, Edda S. Oddsdóttir, Guðmundur Halldórsson & Halldór Sverrisson. 2017. *Trjáskemmdir af völdum birkikembu og munur á milli birkikvæma*. Skýrsla 2017 til Framleiðnisjóðs landbúnaðarins.
- Danfríður Skarphéðinsdóttir, Ása L. Aradóttir, Bjarni D. Sigurðsson, Þröstur Eysteinnsson, Skúli Björnsson, Jón G. Pétursson, Borgþór Magnússon & Trausti Baldursson. 2007. *Vernd og endurheimt íslenskra birkiskóga - skýrsla og tillögur nefndar*. Umhverfisráðuneytið. 22 bls.
- Fox J & Weisberg S. 2011. *An {R} Companion to applied regression*. 2nd ed. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Halldórsson G, Sigurdsson BD, Hrafnkelsdóttir B, Oddsdóttir ES, Eggertsson O & Olafsson E. 2013. New arthropod herbivores on trees and shrubs in Iceland and changes in pest dynamics: A review. *Icelandic Agricultural Sciences*, 26, 69-84.
- Helander M, Vuorinen P, Saikkonen K & Lappalainen J. 1998. Evidence for resistance of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*) to birch rust (*Melampsorium betulinum*). *Mycological Research*, 102(1). Bls. 63-66.
- Hothorn T, Bretz F & Westfall P. 2008. Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal*, 50, 346-363. <http://dx.doi.org/10.1002/bimj.200810425>
- Hrafnkelsdóttir B & Halldórsson G. 2019. Invasive pests and diseases on birch in Iceland. *Rit Mógilsár*, 38, bls. 13-15.
- Hreinn Óskarsson. 2022. Skýrsla um starf Hekluskóga árin 2017-2021, [óbirt skýrsla].
- Jónsson TH & Snorrason A. 2018. Single tree aboveground biomass models for native birch (*Betula pubescens*) in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences*, 31. Bls. 65-80. <https://doi.org/10.16886/IAS.2018.05>
- Kesara Anamthawat-Jónsson og Ægir Þ. Þórsson. 2012. Bæjarstaðarbirki. *Skógræktarritið 2012*, 1. tbl. bls. 16-21.
- Lenth RV. 2022. *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means*. R package version 1.7.2. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Lilja Karlsdóttir, Margrét Hallsdóttir, Ægir Þ. Þórsson & Kesara Anamthawat-Jónsson. 2016. Kynblöndun ilmbjarkar og fjalldrapa á nútíma. *Náttúrufræðingurinn* 86(1-2). Bls. 19-27.
- Liziniwicz M, Berlin M, Solvin T, Hallingbäck HR, Haapanen M, Ruotsalainen S & Steffenrem A. 2023. Development of a universal height response model for transfer of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) in Fennoscandia. *Forest Ecology and Management, Volume 528*, 2023. ISSN 0378-1127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120628>.
- Pálsson S, Wasowicz P, Heiðmarsson S & Magnússon KP. 2022. Population structure and genetic variation of fragmented mountain birch forests in Iceland. *Journal of Heredity*. 2022. DOI: 10.1093/jhered/esac062
- R Core Team. 2020. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Rstudio Team. 2022. *Rstudio: Integrated Development for R*. Rstudio, Inc., Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>.
- Skrøppa T & Kohmann K. 2018. *Genetisk variasjon mellom og innen norske populasjoner av hengebjörk (Betula pendula)*. NIBIO Rapport, vol. 4, nr. 3. Norsk institutt for bioøkonomi. 24 bls. <http://hdl.handle.net/11250/2483314>
- Skrøppa T & Solvin TM. 2019. Genetic variation and inheritance in a 9 × 9 diallel in silver birch (*Betula pendula*). *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34(3), bls. 178-188. DOI:10.1080/02827581.2019.1576921
- Snorrason A & Einarsson SF. 2006. Single-tree biomass and stem volume functions for eleven tree species used in Icelandic forestry. *Icelandic Agricultural Sciences*, 19, bls. 15-24.
- Snorri Sigurðsson. 1977. Birki á Íslandi - útbreiðsla og ástand. Bls. 146-172 í: *Skógarmál: þættir um gróður og skóga tileinkaðir Hákonni Bjarnasyni sjötugum*. Sex vinir Hákonar Bjarnasonar, Reykjavík.
- Ste-Marie C, Nelson EA, Dabros A & Bonneau M-E. 2011. Assisted migration: Introduction to a multifaceted concept. *The Forestry Chronicle*, 87(06), bls. 724-730. <https://doi.org/10.5558/tfc2011-089>
- Thórsson Æ.Th, Pálsson S, Sigurgeirsson A & Anamthawat-Jónsson K. (2007). Morphological Variation among *Betula nana* (diploid), *B. pubescens* (tetraploid) and their Triploid Hybrids in Iceland. *Annals of Botany* 99, bls. 1183-1193. DOI: 10.1093/aob/mcm060
- Veðurstofa Íslands. 2022. Veðurgögn fyrir tilraunastaði. Tölvupóstur dags. 29/4 2022.
- Þorsteinn Tómasson. 1995. Embla - kynbætt birki fyrir íslenska trjárækt. *Skógræktarritið 1985* bls. 77-94.

