Samanburður hefðbundinnar aðferðar og LiDAR fyrir umhirðu og viðarmagnsáætlun

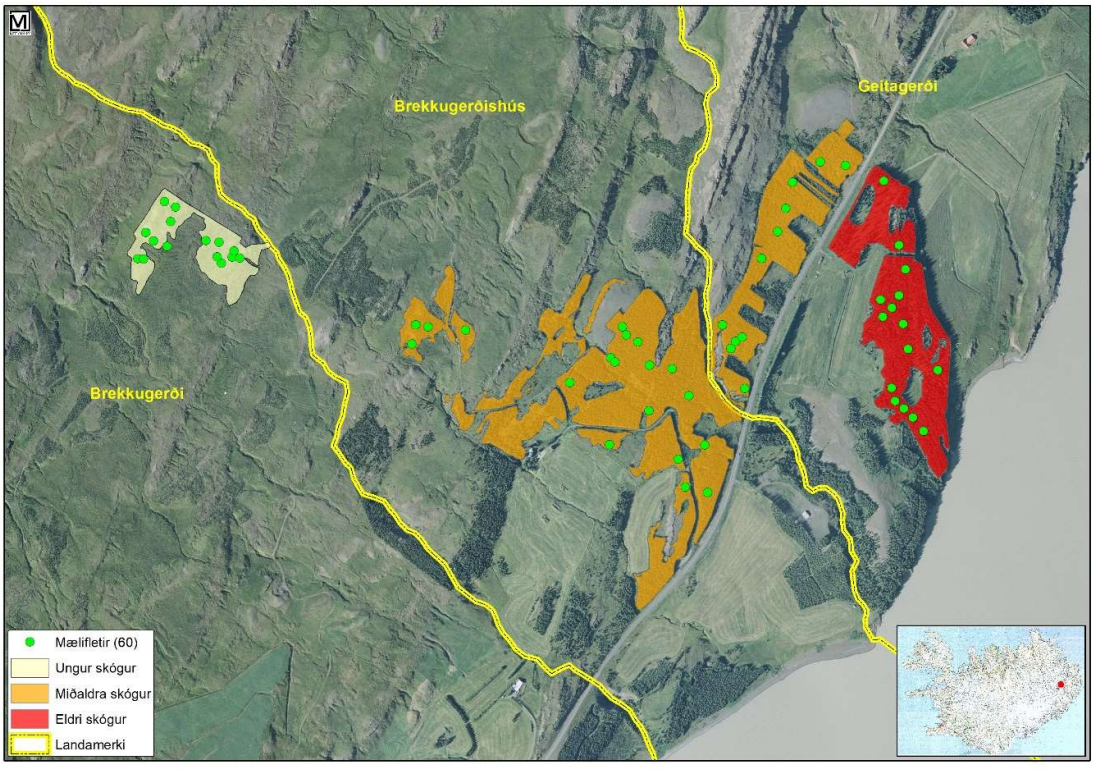
15. maí 2020

Verkefni unnið fyrir styrk frá Framleiðnisjóði landbúnaðarins.

Svarmi ehf., Skógræktin, Landssamtök skógareigenda

Inngangur

Þörf á umhirðu í skógum á Íslandi hefur aukist mikið frá síðustu aldarmótum og ljóst að þörfin mun vaxa mikið á næstu árum. Aukninguna má fyrst og fremst rekja til aukinnar gróðursetningar vegna tilkomu landshlutaverkefna í skógrækt. Fyrsta landshlutaverkefnið hófst með stofnun Héraðsskóga árið 1990 og meðal þeirra jarða sem tóku þátt í því verkefni voru Brekkugerði, Brekkugerðishús og Geitagerði í Fljótsdalshreppi (1. mynd), en rannsóknarverkefnið sem hér er kynnt fór fram á þessum jörðum. Í Geitagerði höfðu landeigendur einnig tekið þátt í verkefninu Nytjaskógrækt á bújörðum og byrjað gróðursetningu árið 1970. Landeigendur þessara jarða gerðu samning við Héraðsskóga á árunum 1994 til 1998 en gróðursetning hófst árið 1992. Ákveðið var að skoða einungis rússalerki í þessu verkefni, en það er sú tegund sem mest hefur verið gróðursett síðustu ár og áratugi á Fljótsdalshéraði og mikil umhirðuþörf í mörgum lerkiskógum á svæðinu.



1. mynd. Yfirlitsmynd yfir rannsóknarsvæðið á jörðunum þremur.

Á Austurlandi hefst umhirða í rússasalerkiskógum venjulega með snemmgrisjun u.þ.b. 15-20 árum eftir gróðursetningu. Tilgangur snemmgrisjunar (og grisjana) er að bæta vaxtarskilyrðin fyrir tré af bestum gæðum með mestan vaxtarþrótt og er það gert með því að fjarlægja tré sem keppa við þau um ljós, næringu og vaxtarrými. Eftir snemmgrisjun er skógurinn venjulega grisjaður einu til þrisvar

sinnum yfir vaxtarskeið trjánna. Fyrsta grisjun fram við u.þ.b. 30 ára aldur, önnur við u.þ.b. 40 ára aldur og þriðja við u.þ.b. 50 ára aldur. Við lok vaxtarskeiðs trjánna fer fram lokahögg þar sem öll tré eru felld og ný gróðursett í staðinn. Til að áætla umhirðuþörfina eru gerðar umhirðu- og viðarmagnsáætlanir. Í þeim kemur fram hver umhirðuþörfin er, hvenær og hversu mikið á að grisja, hvaða viðarmagn er til staðar í skóginum og áætlun um magn grisjunarviðar. Aðferðir við slíkar áætlanir hafa verið notaðar um langt skeið, en þær snúast um að mæla vissan fjölda trjáa í skóginum og getur það verið bæði tímafrekt og kostnaðarsamt. Við mat á umhirðuþörf og viðarmagni í skógum eru gerðar úrtaksmælingar í þeim skógum sem matið nær yfir. Það fer eftir tilgangi og umfangi verksins hvernig þýðið er skilgreint og hversu marga mælifleti þarf að velja svo vikmörk í tölfræðilegum niðurstöðum verði ásættanleg.

Drónatækni hefur þróast mjög hratt síðustu ár og er nú hægt að safna LiDAR (Light Detection And Ranging) gögnum með drónum, en slíkur dróni var nýlega keyptur til landsins. LiDAR snýst um að senda ljósgeisla sem endurvarpast jafnharðan af yfirborði og mælir þannig upp þrívíddaryfirborð þegar dróninn flýgur yfir. Þessi tækni hefur verið notuð í flugvélum í áratugi í skógrækt víða um heim, en er nú orðinn hluti af þeim valkostum sem drónar bjóða upp á. Þessi tækni hefur ekki verið notuð hérlendis áður og er þetta rannsóknarverkefni því mikilvægt framlag í notkun slíkra tækja. Með tilkomu þyrilda og flygilda (í daglegu tali drónar) hafa skapast ýmsir möguleikar og er mat á umhirðu og viðarmagni einn af þeim möguleikum. Með LiDAR tækninni er hægt að áætla fjölda trjáa, hæð trjáa, þéttleika skógarreita og reikna lífmassa trjánna svo eitthvað sé nefnt.

Mikill munur er á þessum tveimur nálgunum við gerð umhirðu- og viðarmagnsáætlana. Með hinni hefðbundnu aðferð eru reiknaðar tölfræðilegar upplýsingar um fjölda trjáa, bolrúmmál og lífmassa. Þetta er reiknað á grundvelli mældra trjáa í mæliflötum og svo uppreiknað fyrir allan skóginn með vissum vikmörkum. Með LiDAR aðferðinni er hins vegar safnað upplýsingum fyrir allan skóginn s.s. fjölda trjáa og lífmassa. Mikilvægt er að bera þessar tvær aðferðir saman, bæði til að athuga nákvæmni LiDAR gagnanna út frá mældum trjám í mæliflötum, en einnig til að bera saman heildarniðurstöður fyrir allan skóginn. Samanburðurinn í þessu rannsóknarverkefni er tvíþættur; annars vegar að bera saman niðurstöður á fjölda trjáa og lífmassa milli aðferðanna tveggja og hins vegar að bera saman kostnað milli þeirra.

Efni og aðferðir

Hefðbundin aðferð

Við hefðbundið mat á skógræktarsvæðinu var notuð matsaðferð sem byggir á mælingum á úrtaki úr viðkomandi skógarreit. Úrtaksaðferðin sem hér var valin er kölluð flokkað slembival (e: stratified random sampling) og hefur verið notuð við skógmælingar um langt skeið (Van Laar og Akça 2007). Aðferðin hentar vel fyrir einstök skógarsvæði og mismunandi skógareiningar (skógarreitir), en hún byggir á því að þessi svæði séu vel skilgreind og landfræðilega afmörkuð og var það reyndin í þessu tilviki. Með skiptingu úrtaksins í skógarflokka er hægt að gera sömu nákvæmniskröfu með færri mæliflötum en ef svæðið væri óflokkað.

Flokkun reita og staðaval úrtaks

Kortlagðir skógarreitir voru flokkaðir í sem keimlíkasta flokka (e: strata). Gróðursetningaraldur skógarreitanna voru þeir eiginleikar sem flokkað var eftir í þessari úttekt. Með flokkuninni er reynt að skipa saman skógareitum þannig að breytileiki innan flokka verði sem minnstur. Þó er reynt að hafa fjölda flokka í lágmarki til þess að takmarka fjölda úrtakseininga (mæliflata) eins og kostur er. Úrtakið samanstendur af hringlaga skógmæliflötum. Fjöldi í hverjum flokki var fyrirfram ákveðinn og skipti þar máli hvort skógarflokkurinn hafði að geyma miðaldra skóg í örum vexti eða ungar gróðursetningar og eldri skóg þar sem vöxtur er minni. Staðsetning mæliflata (1. mynd) var slembivalinn með aðstoð ArcGIS hugbúnaðar. Skógræktarsvæðinu var skipt upp í 3 skógarflokka (1.

tafla). Upphaflega voru valdir 87 mælireitir í 39 ha svæði, en aðeins 60 af þeim voru mældir á 27 ha svæði. Ástæða þess að 27 mælifletir voru felldir út var tímaskortur, því ekki var talið að tækist að klára mælingar í tíma með því að mæla alla 87 mælifletina.

1. tafla. Lýsing skógarflokka á rannsóknarsvæðinu.

Árgangar	Auðkenning	Flatarmál (ha)	Fjöldi mælireita
1971-1985	Eldri skógur	6,3	15
1990-2000	Miðaldra skógur	17,9	30
2001-2005	Yngri skógur	2,6	15
Samanlagt		26,8	60

Skógmælingar

Allar mælingar voru gerðar og skráðar inn í sérhannað skógmælitæki með hugbúnaði sem ætlað er til skóg- og gróðurmælinga (Field-Map 2020). Vettvangsvinna við skógmælingar fór fram dagana 6. – 10. maí 2019 áður en trjávöxtur sumarsins hófst. Notaðir voru 100, 200 eða 300 m^2 hringlaga mælifletir. Varðandi kostnaðarmat aðferðarinnar er mikilvægt að hafa í huga að trjámælingar vegna viðar- og umhirðuáætlana fara gjarnan fram án þess að notuð séu mælitæki. Í þeim tilfellum getur einn einstaklingur framkvæmt mælingarnar. Það hefur einnig áhrif á kostnaðarmat að lagðir voru út fleiri mælifletir en venjan er með hefðbundnum aðferðum miðað við stærð svæðisins.

Gagnaöflun í mæliflötum

Á hverjum mælifleti voru gerðar hæðar- og þvermálsmælingar á öllum trjám. Sömuleiðis var möguleg viðarnýting trjánna metin með stöðluðu gæðamati. Í því er tekið tillit til beinleika trjánna, hvort þau séu einstofna, bogin eða margstofna.

Úrvinnsla

Lífmassi trjánna ofanjarðar og bolrúmmál var ákvarðað með hliðsjón af þekktum lífmassaföllum og bolrúmmálsföllum fyrir íslenskar trjátegundir (Arnór Snorrason og Stefán Freyr Einarsson 2006, Brynhildur Bjarnadóttir o.fl. 2007, Jón Ágúst Jónsson 2007).
Fyrir hvern skógarflokk var reiknað meðaltalsgildi fyrir þrjár mikilvægar stærðir; lífmassa ofanjarðar, bolrúmmál og þéttleika skógarins, þ.e. fjölda trjáa á flatareiningu ásamt 95% tölfræðilegum öryggismörkum þessara stærða, bæði fyrir flatarmálseiningu (ha) og flokkinn í heild sinni. Að lokum var reiknuð út heildarsumma fyrir alla flokka innan heildarsvæðisins. Við mat á 95% tölfræðilegum öryggismörkum var beitt tölfræði flokkaðs slembivals (Van Laar og Akça 2007).

LiDAR skönnun með dróna

Flogið var með dróna af tegundinni DJI Matrice M600 Pro með LiDAR skanna af tegundinni Riegl miniVUX-1UAV. Drónanum var flogið yfir svæðið í fjórum tíu mínútna flugum í 65 m hæð á 6 m/s hraða og voru 120 m á milli fluglína. Einnig var dróninn með RGB myndavél af gerðinni Sony A6000. Þar sem eitt af markmiðum þessarar rannsóknar var að geta staðsett hvert og eitt tré í punktskýinu, var ákveðið að hafa þéttleika punktskýsins eins mikinn og talist gat raunhæft. Dróninn er útbúinn nákvæmu GNSS tæki ásamt IMU (Inertial Mesurement Unit) em notað er til að eftiráleiðrétta feril og þar með staðsetningu drónans og skannans hverju sinni. Sett var nákvæmt GPS tæki (Trimble R10 L1/L2) sem „base“ nálægt rannsóknarsvæðinu og var notast við gögn frá þessum „base“ til þess að leiðrétta staðsetningu og feril drónans og þar með skannans eftir að flugi lauk. Gera þurfti ráðstafanir vegna þess að rannsóknarsvæðið liggur í halla þar sem að tryggja þurfti að dróni fylgdi yfirborði landsins til að tryggja samfeldni í punkastkýinu. Notast var við landhæðarlíkan til að elta landsyfirborðið. Að flugi loknu voru nokkrir GPS punktar mældir á jörðu niðri með sama GNSS tæki og notað var sem „base“ hér áður. Þessi mælipunktar voru notaðir til þess að staðsetja mælifleti

nákvæmlega svo að hægt vera að tengja þá saman við LiDAR gögn. Notast var við RiProcess frá framleiðanda LiDAR skannans til þess að vinna úr LiDAR gögnum og útbúa eitt punktaský fyrir allt svæðið.

Flokkun trjáa

Aldur og þéttleiki skógarins á rannsóknarsvæðinu er talsvert breytilegur. Það þýddi að erfitt var að staðgreina hvert og eitt tré í punktskýinu. Kjarr, stórir steinar, skurðir og önnur manngerð fyrirbæri komu fram í punktskýinu, því var ákveðið að öll fyrirbæri sem voru minni en 1,2 m voru ekki skilgreind sem tré. Þörf var á handvirkri flokkun á svæðum með sérstaklega bröttum árbökkum, sem oft voru flokkuð sem tré. Til að finna trén var framkvæmd eftirfarandi flokkun og var hún í þremur liðum:

1. Til að staðgreina meðalstór og minni tré var notuð eftirfarandi skilgreining:
    - *Að lágmarki 1,2m á hæð*
    - *Að lágmarki 0,9m á breidd*
    - *Að hámarki 4 m á breidd*
    - *Bil á milli punkta 0,3 og aðeins þar sem var gróður á milli punkta*

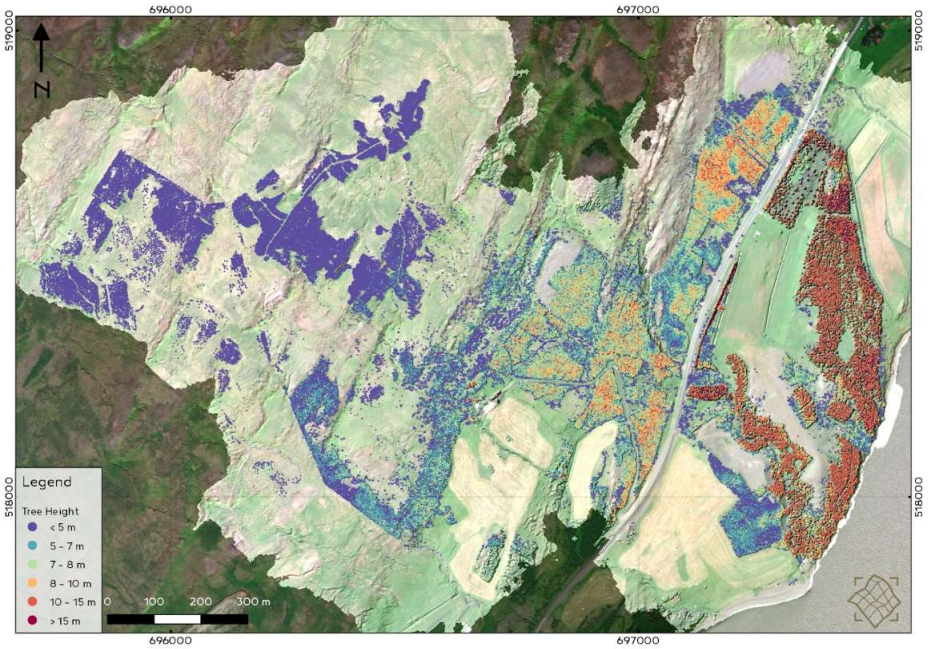
2. Reitir með stærri trjám voru afmarkaðir með flákum

3. Til að staðgreina stærri tré var notuð eftirfarandi skilgreining:
    - *Að lágmarki 1,2 m á hæð*
    - *Að lágmarki 4 m á breidd*
    - *Að hámarki 20 m m á breidd*
    - *Bil á milli punkta 0,3 og aðeins þar sem var gróður á milli punkta*

4. Erfitt reyndist að staðgreina minnstu trén og gátu steinar og aðrar ójöfnur haft áhrif á greiningu á fjölda þeirra. Til að staðgreina minnstu trén var notuð eftirfarandi skilgreining:

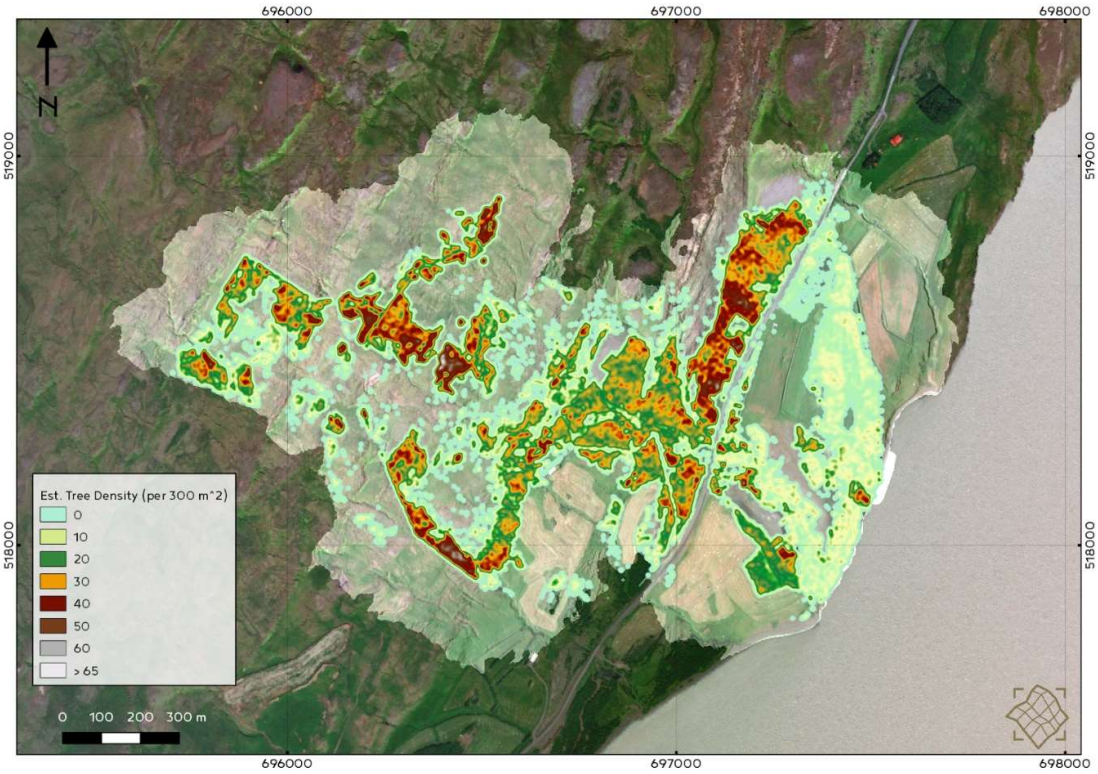
    - *Að lágmarki 0,44 m á hæð*
    - *Að lágmarki 0,5 m á breidd*
    - *Að hámarki 4 m m á breidd*
    - *Bil á milli punkta 0,3*

Hvert tré var skilgreint sem punktur út frá LiDAR gögnunum og búin til formskrá (shapefile) þar sem hvert og eitt tré í LiDAR skýinu var staðsett með einum punkti með upplýsingum um hæð (2. mynd).



2. mynd. Hæðarflokkun trjáa á rannsóknarsvæðinu.

Á punktinum kom fram landfræðileg staðsetning og hæð trésins. Á grundvelli þessara punktgagna var hægt að meta þéttleika trjáreitanna. Til að meta þéttleikann var keyrður 9,77 m radíus (300m^2) á allt gagnasettið og var þannig reiknaður út þéttleiki trjáreitanna (3. mynd).



3. mynd. Reiknaður þéttleiki trjáa á grundvelli LiDAR skönnunarinnar.

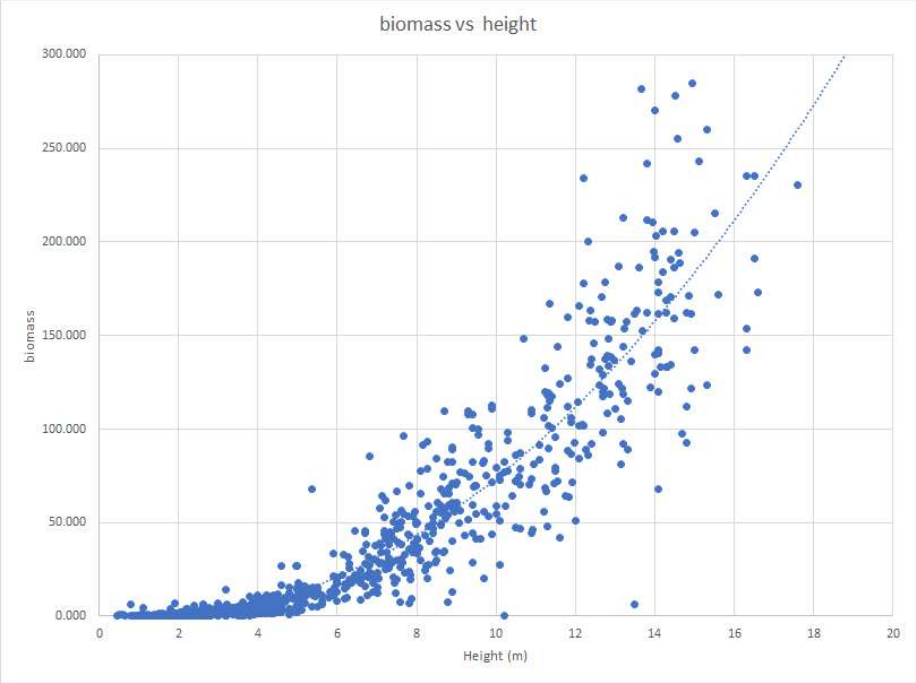
Útreikningur á lífmassa

Fyrri rannsóknir hafa sýnt að hægt er að meta lífmassa stakra tjáa með því að nota stuðul (e.regression) milli hæðar og lífmassa með ásættanlegri nákvæmni (Machado et al, 2019; Heo et al,2019; Ibanez et at, 2016). Rannsóknir sem hafa einblínt sérstaklega á hefðbundnar mælingar (hæð, ÞBH (*þvermál í brjósthæð*) og lífmassa) á Síberíu Lerki skógum á Íslandi sýna að ásættanlegri nákvæmni má ná með staðbundnum leiðréttingum (e. calibration) með því að nota hæð til að áætla ÞBH og þar með lífmassa (e.g. Snorrason & Einarsson, 2006; Bjarnadóttir, 2007).

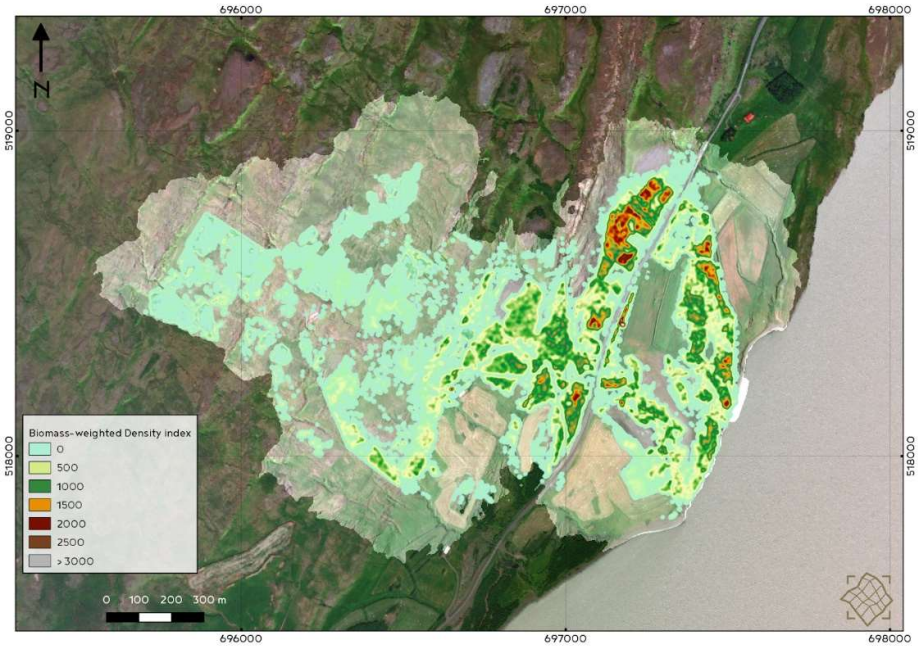
Gert var mat á lífmassa fyrir þann hluta skógarins sem LiDAR var flogið yfir. Þannig var heildarlífmassi reiknaður út fyrir allt rannsóknasvæðið og einnig fyrir hvert og eitt tré. Til þess var reiknað út samband milli lífmassa og hæðar (regression) byggt á vettvangsmælingum trjánna. Notuð var eftirfarandi jafna:

0.0978 x (hæð^{2,7854}), R^2 = 0,885) (4. mynd).

Jafnan var notuð á hæð trjánna sem metin var með LiDAR gögnunum og var þannig hægt að meta lífmassa fyrir hvert og eitt tré. Með því að nota þéttleika reitanna og mat á lífmassa, var hægt að búa til lífmassa – þéttleika index kort (5. mynd), þar sem þéttleiki var veginn á móti lífmassa og finna þannig út þau svæði þar sem mestur lífmassi var á hverja flatareiningu.



4. mynd. Reiknað samband hæðar og lífmassa á grundvelli mælinga hefðbundnu aðferðarinnar.



5. mynd. Samband þéttleika og lífmassa, byggt á ofangreindri jöfnu.

Skekkjumat LiDAR drónaaðferðarinnar

Til að meta skekkju (error) milli hefðbundnu mælinganna og LiDAR mælinganna, var lífmassi LiDAR greindra trjáa borinn saman við lífmassa mældra trjáa eftir mæliflötum. Þannig var heildarlífmassi mældu trjánna í hverjum mælifleti borinn saman við heildarlífmassa mældum með LiDAR aðferðinni fyrir sömu mælifleti. Gerður var samanburður á 26 mæliflötum þar sem borinn var saman lífmassi reiknaður út frá hefðbundnum mælingum og metinn lífmassi úr LiDAR skönnuninni innan sömu mæliflata. Af þessum 26 mæliflötum voru 8 í yngsta skóginum, 12 í miðaldra skóginum og 5 í elsta

skóginum. Staðsetning mæliflata var ákvörðuð með nákvæmu GPS tæki fyrir 20 mælifleti og þurfti að hliðra til 6 þeirra vegna þess þeir voru mældir með GPS handtæki með minni nákvæmni.

Samanburður á hæðarmati hefðbundinnar aðferðar og með LiDAR

Gerður var samanburður á annars vegar trjám staðsettum og mældum með hefðbundinni aðferð og hins vegar með LiDAR skönnun. Þessar aðferðir eru mjög ólíkar, bæði varðandi staðgreiningu trjánna og einnig mælingu á hæð og lífmassa þeirra. Mikilvægt var að bera saman samsvarandi tré úr báðum aðferðum til að geta borið saman hæðarmat beggja aðferða. Það reyndist talverð vinna þar sem mæliflatarmiðjur hefðbundnu aðferðarinnar voru staðsettar með tiltölulega ónákvæmum GPS tæki. Það þýddi að erfitt gat verið að para saman samsvarandi tré. Það var þó gerð tilraun til þess með handvirkri aðferð og tókst að para saman 145 tré með þokkalegum árangri sem notuð voru til samanburðargreininga.

Samanburður á lífmassa milli hefðbundinnar aðferðar og með LiDAR

Borinn var saman lífmassi milli aðferðanna tveggja fyrir sömu afmörkuðu skógarsvæðin. Þessi afmörkuðu skógarsvæði voru 27 ha að stærð og voru þýðið fyrir úrtaksmælingar hefðbundnu aðferðarinnar. Með því að nota nákvæmlega sömu afmörkun fyrir mat á lífmassa LiDAR aðferðarinnar var hægt að fá samanburðarhæfar niðurstöður.

Kostnaðargreining

Metið var umfang vinnu við hefðbundnu mælingarnar og við notkun LiDAR skönnunar og þessar tvær aðferðir bornar saman. Tímafjöldi við hvora aðferð var skráður að frádregnum fjölda tíma við þróun aðferða. Kostnaði var skipt í eftirfarandi flokka:

- Undirbúningur vegna vettvangsvinnu
- Vettvangsvinna
- Úrvinnsla

Kostnaður var metinn fyrir 50 ha, 100 ha og 1000 ha svæði til að meta stærðarhagkvæmni aðferðanna.

Einingaverð var sama fyrir báðar aðferðir, 12.700 kr á tímann

Verðgildi afurða var metið fyrir báðar aðferðir.

Vettvangsmælingar fyrir hefðbundna aðferð eru yfirleitt framkvæmdar af einum manni og er um leið fljótvirkari aðferð en sú aðferð sem hér var notuð. Gert var ráð fyrir þessu í kostnaðargreiningunni var reiknað með að kostnaðurinn væri 50% meiri en gerist og gengur við slíkar mælingar. Voru kostnaðartölur því margfaldaðar með stuðlinum 0,5 til að meta kostnaðinn við vettvangsvinnu. Sömuleiðis var stuðst við þekkta stuðla varðandi tímafjölda í vinnu við umhirðu- og viðarmagnsáætlanir.

Niðurstöður

Hefðbundin aðferð

Heildarlífmassi skógarins á rannsóknarsvæðinu var áætlaður 1.840 tonn (2. tafla). Bolrúmmál með berki var áætlað 3.253 m^3 (3. tafla) og heildartrjáfjöldi 62.690 (4. tafla).

2. tafla: Niðurstöður fyrir lífmassa trjánna ofanjarðar gefin upp í tonnum þurrvigtar fyrir hefðbundna aðferð.

	Lífmassi ofanjarðar á ha			Heildarlífmassi ofanjarðar		
		95% vikmörk			95% vikmörk	
Skógarflokkur	Meðaltal	Neðri	Efri	Heild	Neðri	Efri
Flokkur 1971-1985	47	36	58	294	225	363
Flokkur 1990-2000	73	60	86	1.302	1.035	1.569
Flokkur 2001-2005	5	4	6	13	10	16
Meðaltal - samtala	60	51	69	1.609	1.377	1.840

3. tafla: Niðurstöður fyrir bolrúmmál trjánna með berki gefinn upp í rúmmetrum.

	Bolrúmmál á ha			Heildarbolrúmmál		
		95% vikmörk			95% vikmörk	
Skógarflokkur	Meðaltal	Neðri	Efri	Heild	Neðri	Efri
Flokkur 1971-1985	151	114	187	949	718	1.181
Flokkur 1990-2000	106	86	125	1.889	1.478	2.300
Flokkur 2001-2005	5	4	6	12	9	16
Meðaltal - samtala	106	91	121	2.851	2.448	3.253

4. tafla: Niðurstöður fyrir trjáfjölda á flatareiningu og metin heildartrjáfjölda.

	Fjöldi trjáa á ha			Metinn heildarfjöldi trjáa		
		95% vikmörk			95% vikmörk	
Skógarflokkur	Meðaltal	Neðri	Efri	Heild	Neðri	Efri
Flokkur 1971-1985	858	645	1.070	5.404	4.064	6.744
Flokkur 1990-2000	2.751	2.314	3.188	49.242	40.191	58.293
Flokkur 2001-2005	3.067	2.774	3.360	7.973	7.102	8.845
Meðaltal - samtala	2.337	2.050	2.623	62.620	54.949	70.290

LiDAR skönnun

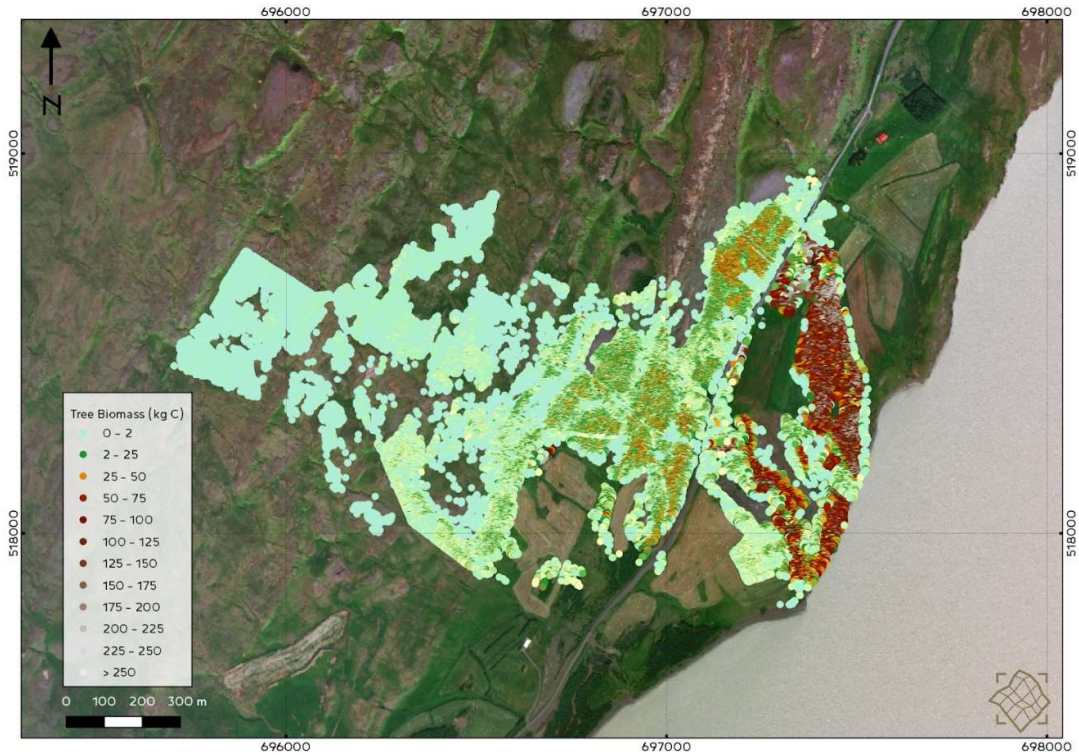
Heildarlífmassi skógarins á rannsóknasvæðinu var metinn 1.635 tonn (5. tafla) og fjöldi trjáa alls 58.268 (6. tafla). Á 6. mynd má sjá lífmassakort yfir svæðið út frá LiDAR skönnuninni.

5. tafla: Niðurstöður fyrir lífmassa trjánna ofanjarðar gefin upp í tonnum þurrvigtar fyrir LiDAR aðferð.

	Lífmassi ofanjarðar á ha	Heildarlífmassi ofanjarðar
Skógarflokkur	Meðaltal	Heild
Flokkur 1971-1985	69	438
Flokkur 1990-2000	66	1.184
Flokkur 2001-2005	5	13
Meðaltal - samtala	61	1.635

6. tafla: Niðurstöður fyrir trjáfjölda á flatareiningu og metin heildartrjáfjölda með LiDAR drónaaðferð.

	Fjöldi trjáa á ha	Heildarfjöldi trjáa
Skógarflokkur	Meðaltal	Heild
Flokkur 1971-1985	521	3.284
Flokkur 1990-2000	2.711	48.529
Flokkur 2001-2005	2.483	6.455
Meðaltal - samtala	2.174	58.268



6. mynd. Lífmassalíkan fyrir rannsóknarsvæðið byggt á LiDAR skönnun.

Samanburður milli hefðbundinnar aðferðar og LiDAR aðferðar

Samanburður á lífmassa milli aðferðanna tveggja sýndi mjög lítinn mun fyrir svæðið allt (7. tafla, 7. mynd) og fyrir lífmassa á ha (8. mynd). Hins vegar var töluvert ofmat fyrir gamla skóginn, en munur á lífmassa fyrir hina tvo skógarflokkana var mjög lítill.

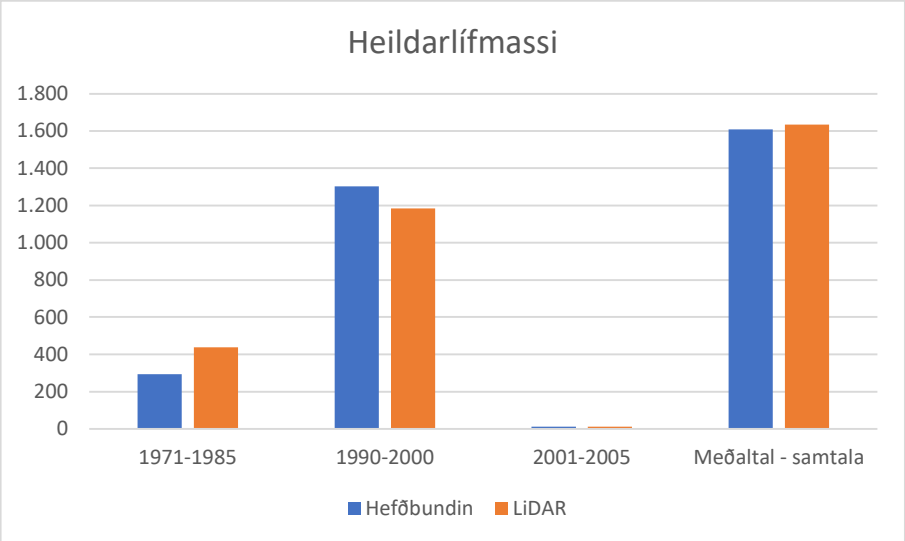
7. tafla: Samanburður á lífmassa eftir skógarflokkum og aðferðum. LiDAR aðferðin vanmat lífmassann í miðaldra skóginum en um ofmat var að ræða í elsta skóginum.

	Lífmassi á ha		Heildarlífmassi		
Skógarflokkur	Hefðbundin	LiDAR	Hefðbundin	LiDAR	Mism (%)
Flokkur 1971-1985	47	69	294	438	48
Flokkur 1990-2000	73	66	1.302	1.184	-10
Flokkur 2001-2005	5	5	13	13	0
Meðaltal - samtala	60	61	1.609	1.635	2

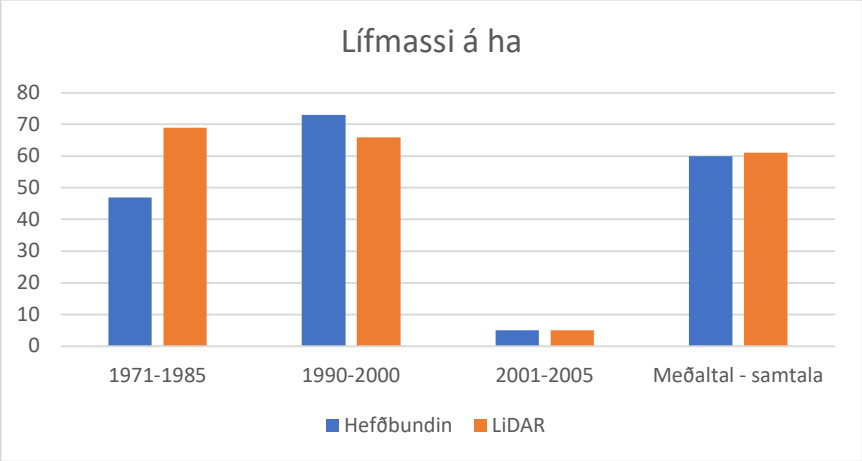
Þegar borinn var saman munur á trjáfjölda (8. tafla, 9. mynd) og trjáfjölda á ha (10. mynd) var vanmat í öllum flokkum sem er ólíkt matinu fyrir lífmassann þar sem um var að ræða ofmat í elsta flokknum. Óvíst er hver ástæðan fyrir þessu er og þarf að skoða niðurstöðurnar nánar til að komast að því.

8. tafla: Samanburður á fjölda trjáa eftir skógarflokkum og aðferðum. Í öllum tilfellum vanmat LiDAR aðferðin fjölda trjáa miðað við hefðbundnu aðferðina, mest í elsta skóginum.

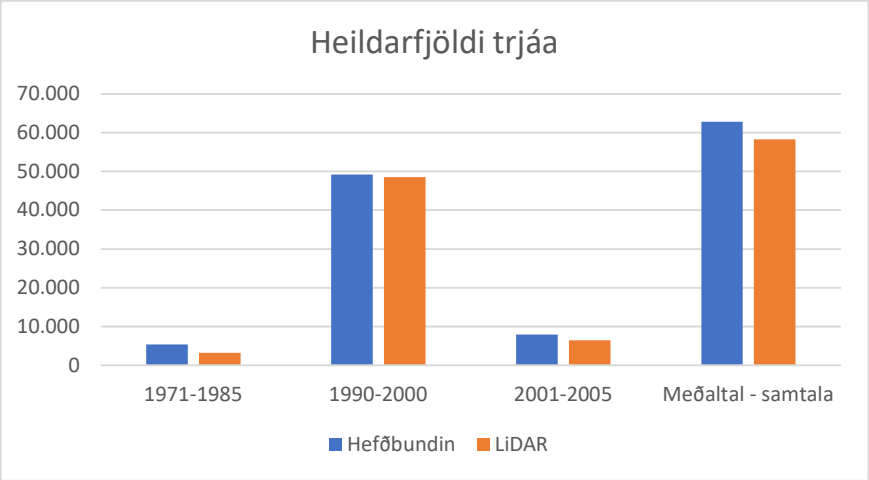
	Lífmassi á ha		Heildarlífmassi		
Skógarflokkur	Hefðbundin	LiDAR	Hefðbundin	LiDAR	Mism (%)
Flokkur 1971-1985	858	521	5.404	3.284	-39
Flokkur 1990-2000	2.751	2.711	49.242	48.529	-1
Flokkur 2001-2005	3.067	2.483	7.973	6.455	-19
Meðaltal - samtala	2.337	2.174	62.820	58.268	-7



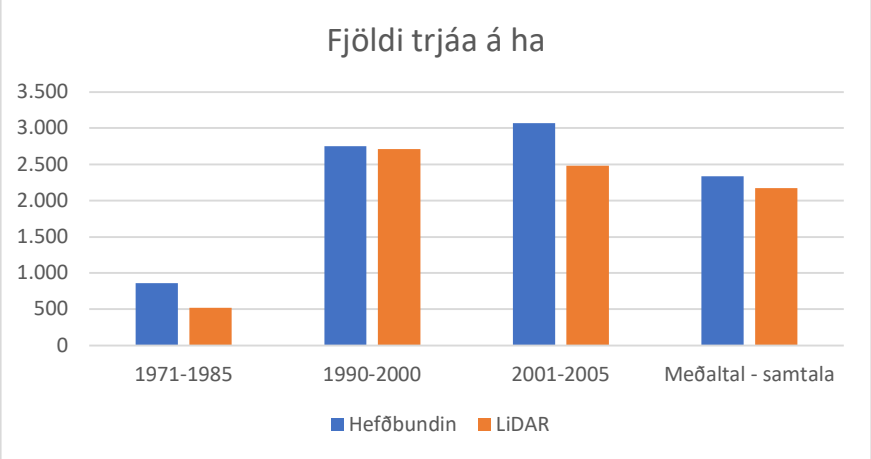
7. mynd. Heildarlífmassi milli aðferða og skógarflokka



8. mynd. Lífmassi á ha milli aðferða og skógarflokka



9. mynd. Heildartrjáfjöldi milli aðferða og skógarflokka



10. mynd. Trjáfjöldi á ha milli aðferða og skógarflokka

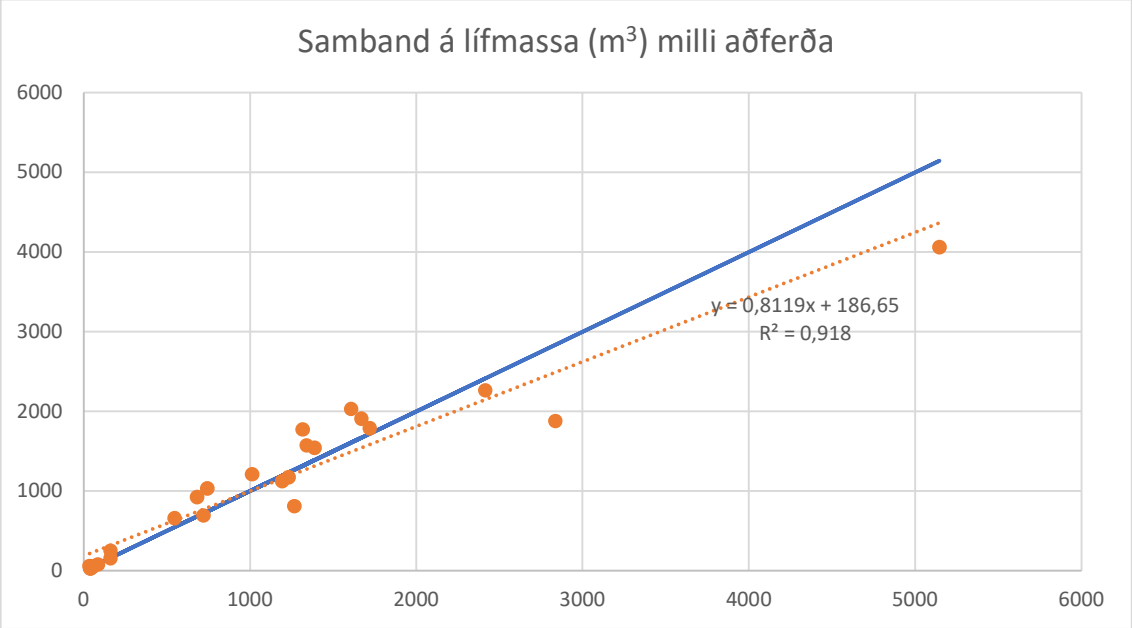
Samanburður á skekkju milli LiDAR skönnunarinnar og hefðbundnu aðferðarinnar

Í samanburði sem gerður var milli aðferðanna tveggja á 26 mæliflötum kom í ljós að talsvert mikill munur var í lífmassamati fyrir talsvert marga mælifleti (9. tafla). Talsvert var um ofmat í miðaldra skóginum, vanmat í elsta hluta skógarins, en lítill munur var á milli niðurstaðna í yngsta hluta skógarins.

9. tafla. Samanburður á lífmassamati milli aðferða. Staðsetning mæliflata sem merktir eru með GPS voru mældir með nákvæmu GPS tæki, en þeir sem eru merktir með Hliðrun voru mældir með GPS handtæki.

Mæliflötur	Hefðb (m^3)	LiDAR (m^3)	Mism. (m^3)	Skekkja (%)	Staðsetning
10005	85,1	79,8	-5,3	-6,18	GPS
10008	41,7	31,3	-10,4	-24,93	GPS
10011	39,2	27,9	-11,3	-28,82	GPS
10013	44,4	32,1	-12,4	-27,8	Hliðrun
10014	55,4	49,1	-6,3	-11,4	GPS
10018	35,6	58,2	22,6	63,59	GPS
10025	160,7	159,3	-1,3	-0,83	Hliðrun
10050	48,8	56,3	7,4	15,24	Hliðrun
20006	1.316,4	1.773,5	457,1	34,72	GPS
20012	743,1	1.034,2	291,1	39,18	GPS
20014	161,9	251,4	89,4	55,23	GPS
20023	682,9	923,1	240,3	35,18	Hliðrun
20027	1.670,6	1.908,2	237,6	14,22	GPS
20032	719,4	694,4	-25,0	-3,48	GPS
20034	1.607,7	2.028,2	420,5	26,15	GPS
20039	546,3	658,2	111,9	20,48	GPS
20203	1.193,7	1.125,3	-68,4	-5,73	GPS
20222	1.339,8	1.574,7	235,0	17,54	GPS
20224	1.388,6	1.541,7	153,1	11,03	GPS
20238	1.014,0	1.211,6	197,6	19,48	Hliðrun
20240	1.231,4	1.171,5	-59,9	-4,86	Hliðrun
30016	5.146,4	4.058,5	-1.087,9	-21,14	GPS
30303	2.837,2	1.880,5	-956,8	-33,72	GPS
30313	1.720,3	1.789,2	68,9	4,01	GPS
30315	1.267,4	810,1	-457,3	-36,08	GPS
30318	2.414,4	2.262,2	-152,2	-6,3	GPS

Reiknað var samband á milli reiknaðs lífmassa milli aðferðanna tveggja og reyndist það vera R^2 = 0,918 (11. mynd)



11. mynd. Samband útreiknaðs lífmassa milli aðferðanna tveggja.

Kostnaðargreining

Í kostnaðargreiningu var áætlaður sá fjöldi stunda (10. tafla) sem yrði unninn við dæmigerða umhirðu- og viðarmagnsáætlun. Ekki gafst tími til að greina nægilega þann tíma sem færi í slíka vinnu þar sem stærð svæðisins var ekki dæmigerð fyrir slíkar áætlanir. Sú kostnaðargreining verður unnin þegar grein verður birt um verkefnið. Hér á eftir fer þó áætlun fyrir aðferðirnar tvær, en það ber að taka þeim með fyrirvara um frekari úrvinnslu. Kostnaðargreiningin (11. tafla) byggir á föstu einingaverði upp á 12.700 kr á tímann, óháð hvort um væri að ræða skrifstofuvinnu eða vettvangsvinnu.

Kostnaðargreiningin gefur til kynna að mun hagkvæmara sé að nota LiDAR aðferð en hefðbundna aðferð.

10. tafla. Greining á fjölda unnra stunda við dæmigerða umhirðu- og viðarmagnsáætlun.

	Fjöldi tíma	Fjöldi tíma	Fjöldi tíma
Undirbúningur fyrir vettvangsvinnu	50 ha	100 ha	1000 ha
Hefðbundnar mælingar	2	2,5	4
LiDAR dróna aðferð	2	2,5	4
Vettvangsvinna			
Hefðbundnar mælingar	33	56	439
LiDAR dróna aðferð	10	14	90
Úrvinnsla			
Hefðbundnar mælingar	8	14	32
LiDAR dróna aðferð	11	17	36
Alls hefðbundnar mælingar	**43**	**72,5**	**475**
Alls LiDAR	**23**	**33,5**	**130**

11. tafla. Greining á kostnaði við dæmigerða umhirðu- og viðarmagnsáætlun.

	Kostn. ISK	Kostn. ISK	Kostn. ISK
Undirbúningur fyrir vettvangsvinnu	50 ha	100 ha	1000 ha
Hefðbundnar mælingar	25.400	31.750	50.800
LiDAR dróna aðferð	25.400	31.750	50.800
Vettvangsvinna			
Hefðbundnar mælingar	419.000	711.200	5.575.300
LiDAR dróna aðferð	127.000	177.800	1.143.000
Úrvinnsla			
Hefðbundnar mælingar	254.000	304.800	406.400
LiDAR dróna aðferð	139.700	215.900	457.200
Alls hefðbundnar mælingar	**546.100**	**920.750**	**6.032.500**
Alls LiDAR	**292.100**	**425.450**	**1.651.000**
Kostnaður á ha			
Hefðbundnar mælingar	10.922	9.208	6.033
LiDAR dróna aðferð	5.842	4.255	1.651

Lokaorð

Útreikningur á lífmassa og fjölda trjáa er með ólíkum hætti milli aðferðanna tveggja. Með hefðbundnum mælingum er verið að uppreikna lífmassa og fjölda tráa út frá völdum mæliflötum á meðan með LiDAR skönnun er verið að framkvæma beinar mælingar á öllu svæðinu. Niðurstöðurnar gefa til kynna að LiDAR skönnun geti verið skilvirk og hagkvæm aðferð til að meta lífmassa og fjölda trjáa í skógarreitum. Auk þess eru framleidd ýmis gögn við LiDAR skönnun sem hægt er að nota í ýmsa aðra vinnu tengdri skógrækt s.s. loftmyndir í hárri upplausn og nákvæm hæðarlíkön af yfirborði undir gróðri svo eitthvað sé nefnt.

Þetta verkefni er hið fyrsta sinnar tegundar hérlendis. Um leið og það hefur svarað okkar helstu rannsóknarspurningum, þá er mikilvægt að kafa dýpra í gögnin og greina ýmislegt frekar sem ekki hefur gefist tími til. Skoða þarf kostnaðargreininguna mun betur því verkefnið var ekki dæmigert fyrir umhirðu- og viðarmagnsáætlun og því reyndist erfitt að nota beint þann kostnað sem til féll vegna verkefnisins. Einnig munu fleiri þættir verða skoðaðir varðandi samanburð á gögnunum til þess að skilja betur muninn á lífmassamati sem er á milli aðferða. Til stendur að fá mun nákvæmari staðsetningar á mæliflötunum á rannsóknarsvæðinu og það mun gefa möguleika á að para saman fleiri stök tré og mælifleti og greina með nákvæmari hætti mun á trjáhæðarmælingum með LiDAR og hefðbundnum mælingum. Slík greining er lykillinn að því að skilja og greina nákvæmni LiDAR skönnunar við hæðarmælingar, en LiDAR skönnunin byggir lífmassamat á hæðarmælingum.

Heimildir:

Van Laar og Akça 2007
Field-Map 2020
Arnór Snorrason og Stefán Freyr Einarsson 2006
Brynhildur Bjarnadóttir o.fl. 2007
Jón Ágúst Jónsson 2007