



Landsvirkjun

LV-2019-060

Kortlagning snjódýptar við Setur, Tungnaá og Eyjabakka

með Digital Globe og ArcticDEM landlíkönum

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2019-060

Dags: 25.09.2019

Fjöldi síðna: 37

Upplag: 1

Dreifing:

- ☒ Birt á vef LV
- ☐ Opin
- ☐ Takmörkuð til

Titill: Kortlagning snjódýptar við Setur, Tungnaá og Eyjabakka með Digital-Globe og ArcticDEM landlíkönum

Höfundar/fyrirtæki: Tómas Jóhannesson, Ragnar H. Prastarson, Veðurstofa Íslands

Verkefnisstjóri: Andri Gunnarsson

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: _____

Útdráttur: Kortlagning snjódýptar á stórum svæðum með gervihnattalandlíkönum er öflug aðferð sökum þess að mælingarnar ná yfir miklu stærra svæði en unnt er að mæla með öðrum aðferðum frá jörðu niðri. Aðferðin hefur þó þann galla að aðstæður til ljósmyndunar með gervihnöttum geta verið óhagstæðar langtímum saman vegna skýja og þoku þannig að ekki er tryggt að unnt sé að útvega landlíkön frá þeim tíma síðla vetra þegar snjódýpt er nærri hámarki. Af þessum sökum eru landlíkönin þrjú frá vorinu 2017, sem hér hafa verið skoðuð, frá tímabilinu 26. mars (Eyjabakkar) til 4. maí (Tungnaá) sem er nokkuð langt ef ástæðan er einungis sú að ekki var unnt að ná myndum á skemmra tímabili vegna erfiðra aðstæðna. Einnig getur verið erfitt að tímasetja ferðir til þess að mæla eðlisþyngd og snjódýpt til kvörðunar á snjódýptarmælingunum þannig að þær falli saman við daginn þegar gervihnattamyndir nást af mælisvæðinu vegna þess að ekki liggja fyrir upplýsingar frá DigitalGlobe um dagsetningu vel heppnaðra mynda fyrr en eftir á.

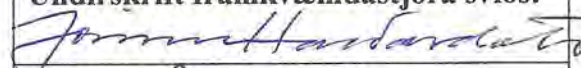
Lykilorð: Jöklar, afkoma, Langjökull

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

A handwritten signature in blue ink that reads "Andri Gunnarsson".

Kortlagning snjódýptar við Setur, Tungnaá og Eyjabakka með Digital-Globe og ArcticDEM landlíkönum

Greinargerð nr. ToJ/RHP/2018-01	Dags. Janúar 2018	Dreifing: Opin ☒ Lokuð ☐ Skilmálar:
Heiti greinargerðar: Kortlagning snjódýptar við Setur, Tungnaá og Eyjabakka með DigitalGlobe og ArcticDEM landlíkönum	Upplag: 5 Fjöldi síðna: 37	
	Framkvæmdastjóri sviðs: Jórunn Harðardóttir	
Höfundar: Tómas Jóhannesson og Ragnar H. Þrastarson	Verkefnisstjóri: Tómas Jóhannesson	
	Verknúmer: 4651-0-0001	
Gerð greinargerðar/verkstig:	Málsnúmer: 2018-53	
Unnið fyrir: Landsvirkjun		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Snjódýpt vorið 2017 var kortlögð á grundvelli DigitalGlobe gervihnattamynda á þremur tilraunasvæðum við Setur, Tungnaá og á Eyjabökkum. Niðurstöðurnar benda til þess að unnt sé að kortleggja snjódýpt á stórum svæðum með landlíkönum á grundvelli gervihnattamynda sem í þessu tilfelli eru frá fyrirtækinu DigitalGlobe. Nauðsynlegt er að tiltækt sé gott landlíkan af snjólausu landi og að landlíkönum af snævi huldu landi sé hliðrað lárétt og lóðrétt til þess að leiðrétta hliðrun af völdum skekkju í upplýsingum um brautir gervihnatta. Þróuð hefur verið aðferð til þess að leiðrétta landlíkónin þannig að sem minnst misræmi verði á saumum þar sem upplýsingar úr mismunandi ræmum mætast, sem nýtist vel við mælingar af þessum toga. Æskilegt er að tiltækar séu beinar mælingar á snjódýpt frá svipuðum tíma og gervihnattamyndirnar til þess að unnt sé að ákvarða lóðrétt hliðrun landlíkans af snævi huldu landi út frá mælingum. Mat á eðlisþyngd snjóþekjunnar er nauðsynlegt til þess að unnt sé að reikna vatnsgildi út frá mælingum á snjódýpt. Því þarf að mæla eðlisþyngd snævar á viðkomandi tilraunasvæðum ef þessi aðferð er notuð við mælingar á snjódýpt og vatnsgildi á vatnasviðum með það í huga að meta vatnsforða. Kortlagning snjódýptar á stórum svæðum með gervihnattalandslíkönum er öflug aðferð sökum þess að mælingarnar ná yfir miklu stærra svæði en unnt er að mæla með öðrum aðferðum frá jörðu niðri. Aðferðin hefur þó þann galla að aðstæður til ljósmyndunar með gervihnöttum geta verið óhagstæðar langtímum saman vegna skýja og þoku þannig að ekki er tryggt að unnt sé að útvega landlíkón frá þeim tíma síðla vetrar þegar snjódýpt er nærri hámarki.		
Lykilorð: Setur, Tungnaá og Eyjabakkar, snjódýpt, DigitalGlobe, ArcticDEM	Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs: 	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirfarið af: SG	

Efnisyfirlit

1	Inngangur	7
2	DigitalGlobe gervihnattamyndir og landlíkön	7
3	ArcticDEM landlíkanið	8
4	Setur, tilraun með ArcticDEM gögn, 2013–2015	9
5	Samsetning ArcticDEM ræma	10
6	Setur, vorið 2017	11
7	Tungnaársvæði, vorið 2017	11
8	Eyjabakkar, vorið 2017	12
9	Niðurstaða	13
10	Þakkir	14
	Viðaukar	
11	Heimildir	15
I	Myndir og kort	19

1 Inngangur

Verkefnið sem hér er gerð grein fyrir felst í könnun á því hvort landlíkön byggð á gervihnattamyndum henti til þess að kortleggja snjódypt að vori til á hálendinu. Verkefnið er þáttur í stærra rannsóknarverkefni á vegum Landsvirkjunar sem hefur tvíþætt meginmarkmið: a) að útbúa snjóþykktar- og vatnsgildiskort af völdum svæðum innan lykilvatnasviða Landsvirkjunar þar sem ómiðluð vatnsföll falla til miðlana og b) samanburður aðferða til mats á snjóþykkt/vatnsgildi á stórum svæðum, mun stærri svæðum en snjódypt hefur áður verið metin á með mælingum (GPR og stikumælingum), ásamt mati á gæðum viðeigandi aðferða. Rannsóknarverkefnið felst í mati og beinum mælingum á snjódypt með mismunandi aðferðum. M.a. er um að ræða WorldView3/ArcticDEM landlíkön (WW3) byggð á gögnum frá fyrirtækinu DigitalGlobe, flygildisljósmyndun (Trimble UX5 HP), TLS-mælingar og snjósjármælingar.

Snjódyptarkortin sem útbúin hafa verið út frá gervihnattamyndum DigitalGlobe eru mismunakort milli þess tíma þegar snjóstaða er nærri hámarki að vorlagi (mars/apríl) og þegar land er orðið snjólaust (seinni hluti sumars). Til þess að útbúa mismunakortin þarf því að vera til grunnkort af snjólausu landi en slík gögn eru tiltæk hjá Veðurstofu Íslands í gegnum ArcticDEM landlíkanverkefnið. Skilgreind hafa verið þrjú tilraunasvæði fyrir verkefnið, sjá mynd 1¹.

- a) Ofanvert vatnasvið Þjórsár við Setur (80–120 km²)
- b) Ofanvert vatnasvið Tungnaár milli Ljósufjalla og Tungnaárfjalla (100–150 km²)
- c) Vatnasvið Hraunaveitu ofan Ufsarlóns (80–120 km²)

Í vorferðum Landsvirkjunar til snjósmælinga verða svæðin eða hluta þeirra mæld með flygildi, TLS landmælingatæki og hefðbundnum GPR snjóþykktarmælingum. Niðurstaða verkefnisins mun leiða í ljós hvort hægt sé að leggja mat á heildarsnjómagn fyrir stór samfelld vatnasvið með beinum mælingum og/eða fjarkönnun. Snjódyptar- og vatnsgildiskort, sem verða til í verkefninu, nýtast til sannreyingar og kvörðunar á snjó- og vatnafarslíkönum og einnig í sambandi við reikning á snjóstöðu með Crocus/Surfex snjóþekjulíkani og með Harmonie/WRF veðurlíkönum.

2 DigitalGlobe gervihnattamyndir og landlíkön

Gervihnettir DigitalGlobe svífa í 500–800 km hæð yfir yfirborði jarðar og taka myndir á sýnilega sviðinu, og að einhverju marki á öðrum bylgjulengdum. Hnettirnir, sem hér eru til umfjöllunar, eru af nokkrum kynslóðum WorldView-1/2/3/4 og GeoEye-1 og taka myndir með mismunandi upplausn og úr mismunandi hæð yfir jörðu (DigitalGlobe, 2016).

Keypt voru hæðarlíkön byggð á WorldView-3 myndum teknum að vorlagi 2017 af samtals um 300 km² af tilraunasvæðunum þremur við Setur, Tungnaá og Eyjabakka. Líkönin spanna um 100 km² á hverju svæði. Líkönunum, sem eru með möskvistærðina 2x2 m, fylgja jafnframt upp-réttar ljósmyndir með um 0.31 m upplausn.

Þess ber að geta að DigitalGlobe (og einnig ArcticDEM) landlíkönin sem hér koma við sögu eru unnin algerlega sjálfvirk og án landmældra viðmiðunarpunkta til þess að stilla líkönin af í hæð og láréttri legu. Niðurstöðurnar eru ekki nema litlu leyti að yfirfarnar til þess að vinsa burt galla

¹Greinargerðinni fylgja allmargar myndir og kort. Til einföldunar er öllum myndum safnað saman í viðauka aftast í greinargerðinni fremur en að fella þær inn í textann þar sem þeirra er getið

í myndum eða úrvinnslu. Landlíkönin eru því ekki nákvæmlega staðsett í hæð eða lárétttri legu vegna óvissu um brautir gervihnattanna og munar oftast nokkrum metrum sem taka þarf með í reikninginn í verkefnum þar sem krafist er mikillar nákvæmni.

3 ArcticDEM landlíkanið

Bandaríkjamenn vinna að gerð landlíkans út frá gervitunglamyndum fyrirtækisins DigitalGlobe af öllu yfirborði lands fyrir norðan 60° N í upplausninni 2 sinnum 2 metrar (ræmur) og 5 sinnum 5 metrar (samfellt landlíkan). Verkefnið er unnið á meðan Bandaríkjamenn fara fyrir Norðurskautsráðinu og er áætlað að því ljúki á árinu 2018 og verði eitt helsta framlag Bandaríkjamanna til vísindarannsókna á norðurslóðum á þessu tímabili. Frá upphafi var gert ráð fyrir að líkanið yrði öllum aðgengilegt að kostnaðarlausu, almenningi jafnt sem vísindamönnum. Líkanið og verkefnið þar með fengu nafnið ArcticDEM þar sem DEM stendur fyrir *digital elevation model* sem á íslensku nefnist stafrænt landlíkan. Að gerð þess koma margir bandarískir aðilar bæði opinberar stofnanir og fyrirtæki úr einkageiranum. Má þar meðal annars nefna Bandaríska vísindasjóðinn NSF, National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), Bandarísku geimvísindastofnunina NASA, Bandarísku jarðfræðistofnunina USGS, landupplýsingafyrirtækið Esri og fjarkönnunarfyrirtækið Digital Globe auk Minnesota háskóla og Illinois háskóla. Ísland er á svæðinu sem landlíkanið nær til þar sem allt landið liggur fyrir norðan 60° norður (sjá mynd 2, sem sýnir stöðu kortlagningarinnar eftir afhendingu útgáfu 1.4 þann 13. febrúar 2017).

Veðurstofan og Landmælingar Íslands hafa átt gott samstarf við Polar Geospatial Center í Minnesota (PGC) sem hefur umsjón með smíði líkansins og hafa fengið aðgang að tilraunalandlíkönum af Íslandi á vinnslustigi síðan síðla árs 2015. Samvinnan við PGC hér á landi hefur aðallega falist í skoðun á tilraunaútgáfum líkansins og viðræðum við PGC um það sem betur má fara, auk þess að veita aðgang að nákvæmustu hæðargögnum sem stofnanirnar hafa yfir að ráða til viðmiðunar og leiðréttingar.

Fyrsta opinbera útgáfa ArcticDEM líkansins fyrir Ísland hefur verið sett á netið og er hún afhent í tvenns konar útgáfum. Annars vegar er um að ræða útgáfu þar sem margar svokallaðar ræmur (e. „strips“) dekkja landið margfalt. Hver ræma er landlíkan byggt á þörum gervitunglamynda sem teknar voru ákveðinn dag á árunum 2008 til 2015 (mynd 3). Í þessari útgáfu ArcticDEM er fjöldi ræma sem dekkja Ísland 572 og flatarmál þeirra frá 1 til 3200 km². Hins vegar er svokölluð mósaík útgáfa þar sem mörgum landlíkönum úr fyrri útgáfunni hefur verið raðað saman í eitt samfellt líkan og myndar það samfellt yfirborð sem hefur þó af hagkvæmnisástæðum verið klippt niður í reitakerfi til að auðvelda niðurhal. Gert er ráð fyrir að á árinu 2018 verði afhent ný útgáfa ArcticDEM fyrir Ísland sem innihalda mun líkön byggð á myndum fram á árið 2017.

Eins og fram kom í umfjöllum um DigitalGlobe landlíkön hér að framan eru ArcticDEM landlíkönin ekki yfirfarin til þess að vinsa burt galla í myndum eða úrvinnslu. Sumar ArcticDEM ræmur reynast ekki nothæfar við nánari skoðun og í flestum ræmum eru einhverjar feyrur, oft vegna skugga eða skýja, sem þarf að varast við notkun gagnanna. ArcticDEM ræmurnar eru jafnframt ekki nákvæmlega staðsettar í hæð eða lárétttri legu vegna óvissu um brautir gervihnattanna, eins og áður er á minnst. ArcticDEM ræmum fylgja leiðréttingar í staðsetningu frá PGC sem reiknaðar eru út frá landhæðarmælingum IceSAT gervitungla. Þessar leiðréttingar bæta staðsetninguna nokkuð en þrátt fyrir það vantar talsvert upp á að nákvæmnin sé viðunandi

til reikninga á snjódýpt eða samsetningar á samfelldum landlíkönum með gögnum úr nokkrum ræmum sem skarast.

4 Setur, tilraun með ArcticDEM gögn, 2013–2015

Tafla 1 sýnir tiltæk ArcticDEM landlíkөн fyrir svæðið við Setur sunnan Blautukvíslajökuls í Hofsjökli sem afmarkað var fyrir þessa athugun, sjá einnig kort á myndum 1 og 4. Um er að ræða fimm ræmur sem hver um sig nær til hluta athugunarsvæðisins, þrjár frá hausti þegar lítill sem enginn snjór er á athugunarsvæðinu og tvær frá vori þegar talsverður snjór var á hálendinu. Myndir 5 og 6 sýna hluta af tilsvareandi gervihnattamyndum sem landlíkөнin byggja á sunnan Hofsjökuls. Sjá má að myndin frá 10.10.2015 er tekin við mjög góðar aðstæður í heiðskíru veðri en talsvert er um ský á myndinni frá 24.04.2015 og leiða þau til gata í landlíkaninu fyrir þann dag. Landlíkan byggt á myndum frá 03.11.2013 reyndist gallað og var því ekki notað.

Tafla 1. ArcticDEM 2x2 m ræmur við Setur sunnan Blautukvíslajökuls í Hofsjökli. Svæðið sem könnunin nær til er sýnt á mynd 4.

Dagsetning	Auðkenni	Athugasemd
20130426	WV01 1020010021919C00 1020010022610300	Austurhluti svæðisins við Setur, snjór á hálendinu
20131103	WV02 10300100297FE700 10300100282FF100	Vesturhluti svæðisins við Setur, landlíkan gallað
20141103	WV01 1020010033B63D00 102001003578CE00	Allt svæðið við Setur, mikið um göt
20150424	WV03 104001000A0FB300 104001000A0CE300	Vesturhluti svæðisins við Setur, snjór á hálendinu
20151010	WV02 103001004BAB8000 103001004A88F900	Austurhluti svæðisins við Seturs, lítið um göt

Landlíkөн frá 10.10.2015 og 03.11.2014 voru felld inn í ISN93 landhnitakerfi með samanburði við landlíkan byggt á leysimælingu af Hofsjökli frá 13. og 14.10.2013 og sett saman í eitt landlíkan af athugunarsvæðinu við Setur með lágmörkun á summu tölugildis frávíka (sjá nánar í næsta kafla) og er skygging af niðurstöðunni sýnd á mynd 4. Mynd 7 sýnir hæðarmun milli ArcticDEM landlíkana frá 10.10.2015 og 03.11.2014 á skörunarsvæði sem fellur innan athugunarsvæðis Landsvirkjunar. RMS-gildi mismunarins er 0.52 m sem svarar til staðalfráviksins 0.37 m á hvoru líkani fyrir sig frá réttu lagi.

Snjódýpt á vesturhluta athugunarsvæðis við Setur sunnan Blautukvíslarjökuls var reiknuð með því að draga samsetta landlíkanið frá 10.10.2015/03.11.2014 frá líkaninu sem byggt er á vormyndum frá 24.04.2015, sjá mynd 8. Líkanið frá 26.04.2013 má einnig nota í svipaða tilraun en það hefur ekki verið gert enn sem komið er. Áður hafði líkaninu frá 24.04.2015 verið hliðrað niður á við um 1.08 m lóðrétt þannig að snjódýpt við mælistöðina við Setur passi við mælda snjódýpt þar sama dag sem var 2.17 m. Stöplari af snjódýptinni er sýnt á mynd 9. Dreifing snjódýptarinnar er eins og vænta mátti ósamhverf um miðgildi sem er rúmlega 2 m, með langan hala til hægri sem endurspeglar snjó sem safnast hefur í lægðir og skorninga á svæðinu. Landlíkanið frá 24.04.2015 nær til um 40% athugunarsvæðisins og reyndist meðalsnjódýptin á þessu svæði

um 2.63 m en 2.7 m á öllu svæðinu þar sem snjódýpt var reiknuð sem er nær nokkuð út fyrir athugunarsvæðið eins og sýnt er á mynd 4. Ekki er annað hægt að segja en að þessi tilraun hafi tekist vel og gefi góða von um að unnt sé að meta snjódýpt að vorlagi yfir stór svæði á hálendi Íslands með gervihnattamyndum af þessari gerð.

5 Samsetning ArcticDEM ræma

Eins og áður er getið eru DigitalGlobe og ArcticDEM landlíkön ekki nákvæmlega staðsett í hæð eða láréttri legu og þarf að leiðrétta staðsetningu þeirra þegar fleiri en eitt landlíkan eru sett saman til þess að útbúa samfellt landlíkan af stórum svæðum og fylla í göt vegna skýja og annarra galla í líkönunum. Þróuð var aðferð til þess að reiknuð afstæða hliðrun milli para af landlíkönum með lágmörkun á summu tölugildis frávika milli líkananna. Aðferðin er ekki viðkvæm fyrir grófum skekkjum og hentar því vel fyrir þessi gögn. Aðferðin telst til svokallaðra „robust statistics“ reikniaðferða sem svo eru kallaðar á ensku. Til þessara reikninga voru ritaðar stefjur í forritinu *R* og skipanaumhverfinu *gdal* fyrir landlíkanvinnslu sem gera kleift að meta innbyrðis lárétta og lóðrétta hliðrun milli ræma á skörunarsvæðum og og hliðra þeim síðan lárétt og lóðrétt inn í landskerfi þannig að þau passi sem best saman á skörunarsvæðum.

Hnit landlíkananna, sem táknuð eru með tilvísuninni i , voru leiðrétt með formúlunum

$$\begin{aligned}x_i &= x_i^o + \Delta x_i \\y_i &= y_i^o + \Delta y_i \\z_i &= z_i^o + \Delta z_i\end{aligned}$$

þar sem Δx_i , Δy_i og Δz_i , er eiginleg (absolute) hliðrun sem leiðréttir upprunaleg hnit x_0 , y_0 og z_0 yfir í leiðrétt hnit x , y og z . Þessar jöfnur má rita

$$\xi_i = \xi_i^o + \Delta \xi_i$$

þar sem ξ táknar x , y eða z .

Eiginleg hliðrun $\Delta \xi_i$ var reiknuð út frá afstæðum hliðrunum para $\Delta \xi_i - \Delta \xi_j$ með aðferð minnstu kvaðrata út frá jöfnunum

$$\begin{aligned}\Delta \xi_i - \Delta \xi_l &= \Delta \xi_{il} : \sigma_{\Delta WV} \\ \Delta \xi_i - \Delta \xi_j &= \Delta \xi_{ij} : \sqrt{2} \sigma_{\Delta WV} \\ \Delta \xi_i &= 0 : \sigma_{WV} \\ \Delta \xi_l &= 0 : \sigma_l\end{aligned}$$

þar sem i og j vísa til DigitalGlobe landlíkana, l vísar til nákvæmra leysilandlíkana (ALS) sem eru nánast óhliðruð. Skekkjurnar σ_{WV} , $\sigma_{\Delta WV}$ og σ_l eru RMS skekkjur í eiginlegri staðsetningu DigitalGlobe landlíkana, innbyrðis skekkja í DigitalGlobe landlíkönum (þ.e. milli staða í einu og saman landlíkani) og í eiginlegri staðsetningu leysilandlíkana. Notast var við gildin $\sigma_{WV} = 2.5$ m, $\sigma_{\Delta WV} = 0.25$ m og $\sigma_l = 0.75$ m.

Dæmi um niðurstöður þessara vinnslu fyrir samsetningu snjólauss ArcticDEM landlíkans af tilraunasvæðinu á Eyjabökkum má sjá á myndaröð aftast í skýrslunni þar sem mynd 10 sýnir

hvernig samfelld landlíkan var sett saman úr fjórum ræmum frá mismunandi tímum (sjá töflu 4 í kafla um Eyjabakka aftar í greinargerðinni), mynd 11 sýnir skyggingu samsetts landlíkans þar sem engri leiðréttingu var beitt, mynd 12 skyggingu eftir að leiðrétting PGC hefur verið notuð og mynd 13 skyggingu eftir að leiðrétt hefur verið með aðferðinni sem lýst er hér að ofan. Sjá má þrep á saumum ræmanna í landlíkaninu þar sem engri leiðréttingu er beitt, þrepin eru mun minna áberandi þegar hliðrun PGC er notuð og minnka enn mikið þegar tölfræðilega leiðrétting er notuð.

6 Setur, vorið 2017

Landlíkan af snævi huldu landi byggt á DigitalGlobe WV03 myndum frá 21. apríl 2017 var borið saman við ArcticDEM landlíkan af snjólausu landi á tilraunasvæðinu við Setur. Tafla 2 sýnir upplýsingar um loftmyndirnar sem koma við sögu. Landlíkaninu frá apríl 2017 var hliðrað lóðrétt og lárétt með handvirkum hætti þannig að því bæri sem best saman við snjólausa landlíkanið. Skyggingar landlíkananna eru sýndar á mynd 14, upprétt loftmynd og reiknuð snjódýpt á mynd 15 og stöplarit á mynd 16 sýnir tölfræðilega dreifingu snjódýptarinnar. Miðgildi snjódýptar á tilraunasvæðinu er 2.2 m og meðaltalið einnig. Tölfræðileg dreifing snjódýptarinnar er trúverðug og gefur halinn með neikvæðri snjódýpt hugmynd um skekkju í mælingunum og úrvinnslunni sem virðist um eða innan við 0.5 m sem er í samræmi við það sem áður var fram komið, sbr. mynd 7.

Tafla 2. DigitalGlobe og ArcticDEM 2x2 m ræmur fyrir tilraunasvæði við Setur sunnan Blautukvíslajökuls í Hofsjökli. Svæðið sem könnunin nær til er sýnt á mynd 1.

Dagsetning	Auðkenni	Athugasemd
20170421	WV03 A030010295DDF300 2120010295DDF400	Alhvítt
20151010	WV02 103001004BAB8000 103001004A88F900	Austurhluti svæðisins við Seturs, lítið um göt
20141103	WV01 1020010033B63D00 102001003578CE00	Allt svæðið við Setur, mikið um göt

Þegar borin er saman snjódýpt við Setur þ. 21. apríl 2017 (mynd 15) og þ. 24. apríl 2015 (mynd 8), sem áður var reiknuð, kemur í ljós að snjódýptardreifingin þessi tvö vor er mjög sambærileg. Greinilegt er að skafrenningur safnar snjó nokkurn vegin á sömu staði bæði þessi ár, eins og reyndar vænta má. Þetta bendir til að láréttur breytileiki snjódýptarinnar sem mælingarnar gefa til kynna séu raunverulegar en stafi ekki af villum í landlíkönum eða röngu mati á láréttri eða lóðréttri hliðrun sem vænta má að kæmi fram sem misræmi á milli þessara mynda.

Reiknuð snjódýpt með veðurlíkaninu Harmonie á svæðinu þennan sama dag reyndist $0.42 m_{\text{vatns}}$ sem er fremur lítið miðað við það sem landlíkónin gefa til kynna.

7 Tungnaársvæði, vorið 2017

Landlíkan af snævi huldu landi byggt á WV03 myndum frá 4. maí 2017 var borið saman við ArcticDEM landlíkan af snjólausu landi á tilraunasvæðinu við Við Tungnaá. Tafla 3 sýnir upp-

lýsingar um loftmyndirnar. Landlíkaninu frá maí 2017 var hliðrað lóðrétt og lárétt með handvirkum hætti til þess að það félli að landlíkani af snjólausu landi eins og fyrir Setur. Skyggingar landlíkananna eru sýndar á mynd 17, upprétt loftmynd og reiknuð snjódýpt á mynd 18 og stöplarit á mynd 19 sýnir tölfraðilega dreifingu snjódýptar. Miðgildi snjódýptar á tilraunasvæðinu er 1.6 m og meðaltalið einnig. Tölfraðileg dreifing snjódýptarinnar er ekki eins trúverðug eins og fyrir Setur og gefur halinn með neikvæðri snjódýpt hugmynd um skekkju í mælingunum og úrvinnslunni sem virðist rúmlega 1 m.

Reiknuð snjódýpt með veðurlíkaninu Harmonie á svæðinu þennan sama dag reyndist $0.21 m_{\text{vatns}}$ sem er fremur lítið miðað við það sem landlíkönin gefa til kynna eins og fyrir Setur.

Tafla 3. DigitalGlobe og ArcticDEM 2x2 m ræmur fyrir tilraunasvæði við Tungnaá, sjá mynd 1.

Dagsetning	Auðkenni	Athugasemd
20170504	WV03 A0300102A07CF300 21200102A07CF200	Snjólaust að hluta
20130418	WV02 10300100222CC800 10300100211BDE00	Austurhluti svæðis, snjór í lægðum og talsvert af götum
20130623	WV02 1030010023C96700 103001002311BE00	Vesturhluti svæðis, snjólaust en nokkuð af skýjum og götum
20141026	WV02 1030010037D17F00 10300100380B4000	Vesturhluti svæðis, samfeld en þunn snjóþekja
20151026	WV03 1040010013233800 1040010012C9AD00	Vesturhluti svæðis, snjór í lægðum

8 Eyjabakkar, vorið 2017

Landlíkan af snævi huldu landi byggt á WV03 myndum frá 26. mars 2017 var borið saman við ArcticDEM landlíkan af snjólausu landi á tilraunasvæðinu við Eyjabakka. Tafla 4 sýnir upplýsingar um loftmyndirnar. Landlíkaninu frá mars 2017 var hliðrað lóðrétt og lárétt með handvirkum hætti til þess að það félli að landlíkani af snjólausu landi eins og fyrir Seturs- og Tungnaáarsvæðin. Skyggingar landlíkananna eru sýndar á mynd 20, upprétt loftmynd og reiknuð snjódýpt á mynd 21 og stöplarit á mynd 22 sýnir tölfraðilega dreifingu snjódýptar. Miðgildi snjódýptar á tilraunasvæðinu er 2.0 m og meðaltalið einnig. Tölfraðileg dreifing snjódýptarinnar er trúverðug eins og fyrir Setur og gefur halinn með neikvæðri snjódýpt hugmynd um skekkju í mælingunum og úrvinnslunni sem virðist aftur um eða innan við 0.5 m.

Reiknuð snjódýpt með veðurlíkaninu Harmonie á svæðinu þennan sama dag reyndist $0.70 m_{\text{vatns}}$ sem er hlutfallslega meira í samanburði við það sem landlíkönin sýna en fyrir Setur og Tungnaá og getur farið saman við snjóþykktina ef meðaleðlisþyngdin var um 350 kg m^{-3} sem er ekki óeðlilegt gildi fyrir eðlisþyngd snjóalaga á hálendinu á þessum árstíma (sbr. Oddur Sigurðsson og Tómas Jóhannesson, 2014).

Tafla 4. DigitalGlobe og ArcticDEM 2x2 m ræmur fyrir tilraunasvæði við Eyjabakka, sjá mynd 1.

Dagsetning	Auðkenni	Athugasemd
20170326	WV03 A03001028405DD00 212001028405E000	Nánast alhvítt
20130807	WV02 103001002535B700 1030010025118900	Heiðskýrt á tilraunasvæðinu, lítill sem enginn snjór
20121025	WV01 102001001DA21D00 102001001DD0A000	Skýjatjástur yfir hluta svæðisins, þunn snjóhlula, sem næst enginn snjór samt
20150209	WV03 1040010007673800 1040010007B6F100	Blika yfir svæðinu, snjór á hálendinu, þó ekki þykkur
20120530	WV01 102001001B5CBB00 1020010019031F00	(seg2) Heiðskýrt, snjór á efri hluta jökuls og í lænum ofarlega á heiðum

9 Niðurstaða

Niðurstöður verkefnisins benda til þess að unnt sé að kortleggja snjódýpt á stórum svæðum með landlíkönum á grundvelli gervihnattamynda sem í þessu tilfelli eru frá fyrirtækinu DigitalGlobe. Nauðsynlegt er að tiltækt sé gott landlíkan af snjólausu landi og að landlíkönum af snævi huldu landi sé hliðrað lárétt og lóðrétt til þess að leiðrétta hliðrun af völdum skekkju í upplýsingum um brautir gervihnatta.

Gervihnattalandlíkön eru flest með einhverju götum vegna skýja og galla í úrvinnslu. Því hefur reynst nauðsynlegt í þeim þremur tilvikum sem hér koma við sögu að setja saman landlíkan af snjólausu landi á grundvelli nokkurra líkanræma (e. strips) frá mismunandi tímum. Þróuð hefur verið aðferð til þess að leiðrétta landlíkönin þannig að sem minnst misræmi verði á saumum þar sem upplýsingar úr mismunandi ræmum mætast.

Æskilegt er að tiltækar séu beinar mælingar á snjódýpt frá svipuðum tíma og gervihnattamyndirnar til þess að unnt sé að ákvarða lóðréttu hliðrun landlíkans af snævi huldu landi út frá mælingum. Þessu var ekki til að dreifa fyrir tilraunasvæðin þrjú vorið 2017 en vorið 2015 var snjódýpt við Setur notuð til þess að ákvarða lóðréttu hliðrun.

Mat á eðlisþyngd snjóþekjunnar er nauðsynlegt til þess að unnt sé að reikna vatnsgildi út frá mælingum á snjódýpt. Því þarf að mæla eðlisþyngd snævar á viðkomandi tilraunasvæðum ef þessi aðferð er notuð við mælingar á snjódýpt og vatnsgildi á vatnasviðum með það í huga að meta vatnsforða.

Niðurstöðum snjódýptarmælinganna ber ekki sérlega vel saman við reiknað vatnsgildi snjóþekjunnar á svæðunum með veðurlíkaninu Harmonie fyrir sömu daga en nákvæman samanburð er ekki unnt að gera vegna þess að ekki liggja fyrir mælingar á eðlisþyngd snjóþekjunnar á viðkomandi dögum. Reiknað vatnsgildi virðist of lágt fyrir tilraunasvæðin við Setur og Tungnaá en fyrir svæðið á Eyjabökkum er betra samræmi milli mælinga og líkanreikninga.

Kortlagning snjódýptar á stórum svæðum með gervihnattalandlíkönum er öflug aðferð sökum þess að mælingarnar ná yfir miklu stærra svæði en unnt er að mæla með öðrum aðferðum frá jörðu niðri. Aðferðin hefur þó þann galla að aðstæður til ljósmyndunar með gervihnöttum geta

verið óhagstæðar langtímum saman vegna skýja og þoku þannig að ekki er tryggt að unnt sé að útvega landlíkön frá þeim tíma síðla vetra þegar snjódýpt er nærri hámarki. Af þessum sökum eru landlíkönin þrjú frá vorinu 2017, sem hér hafa verið skoðuð, frá tímabilinu 26. mars (Eyjabakkar) til 4. maí (Tungnaá) sem er nokkuð langt ef ástæðan er einungis sú að ekki var unnt að ná myndum á skemmra tímabili vegna erfiðra aðstæðna. Einnig getur verið erfitt að tímasetja ferðir til þess að mæla eðlisþyngd og snjódýpt til kvörðunar á snjódýptarmælingunum þannig að þær falli saman við daginn þegar gervihnattamyndir nást af mælisvæðinu vegna þess að ekki liggja fyrir upplýsingar frá DigitalGlobe um dagsetningu vel heppnaðra mynda fyrr en eftir á.

10 Þakkir

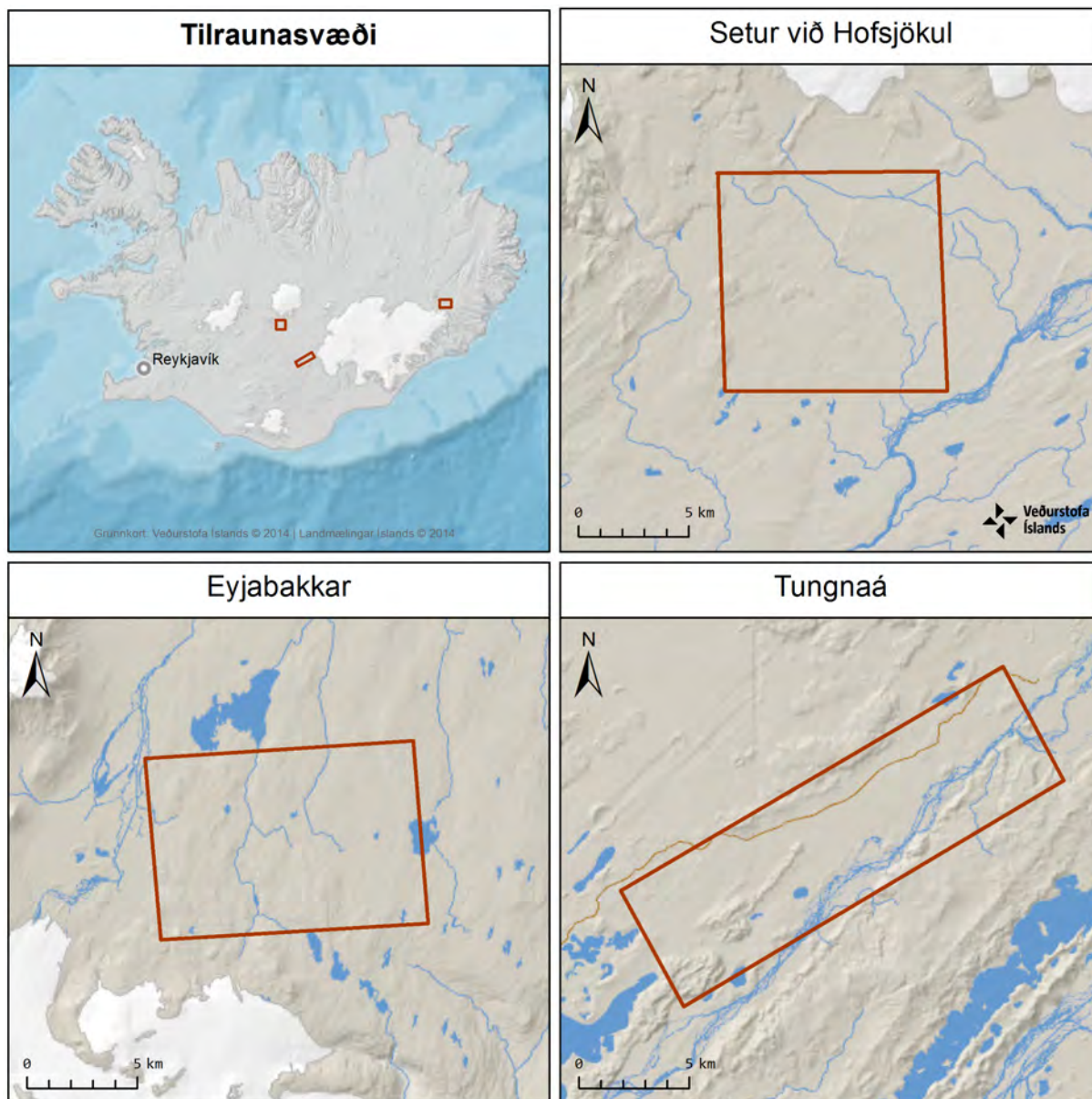
Þessi tilraun til kortlagningar á snjódýpt með landlíkönum byggðum á Digital Globe gervihnattamyndum var unnin fyrir Landsvirkjun. ArcticDEM landlíkön sem hér eru notuð eru fengin frá Polar Geospatial Center við Háskólann í Minnesota og voru unnin í verkefnum sem styrkt voru af bandaríska vísindasjóðnum NSF (styrkir með OPP auðkennin 1043681, 1559691 og 1542736).

11 Heimildir

- DigitalGlobe (2016). The DigitalGlobe Constellation. Aðgengilegt frá: www.digitalglobe.com/about/our-constellation.
- Noh, M. J., & I.M. Howat (2017). Surface Extraction from TIN based Search-space Minimization (SETSM) algorithm. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 129, 55–76.
- Oddur Sigurðsson og Tómas Jóhannesson (2014). *Samantekt um snjósmælingar á hálendi Íslands*. Veðurstofa Íslands, greinargerð OSig/ToJ/2014-01.
- PGC (2017). *ArcticDEM Documentation and User Guidance. Version 1.3 – February 13, 2017*. University of Minnesota, Polar Geospatial Center.
- Tómas Jóhannesson (2017). *Kortlagning snjóþýptar við Setur sunnan Blautukvíslarjökuls, tilraun með ArcticDEM landlíkön*. Veðurstofa Íslands, tækniskýrsla dags. 17.2.2017, málsnúmer 2017-53.

Viðaukar

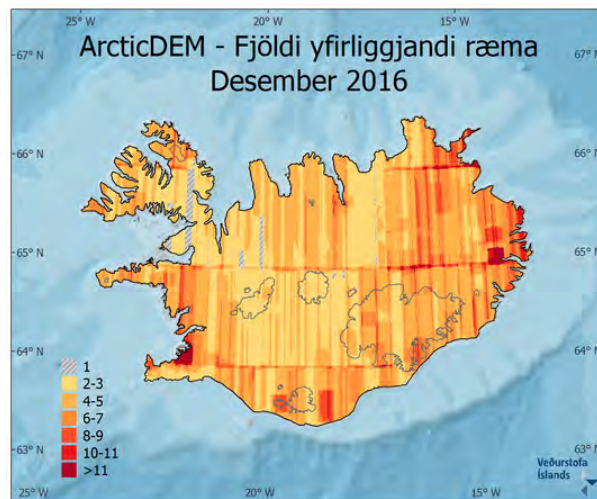
I Myndir og kort



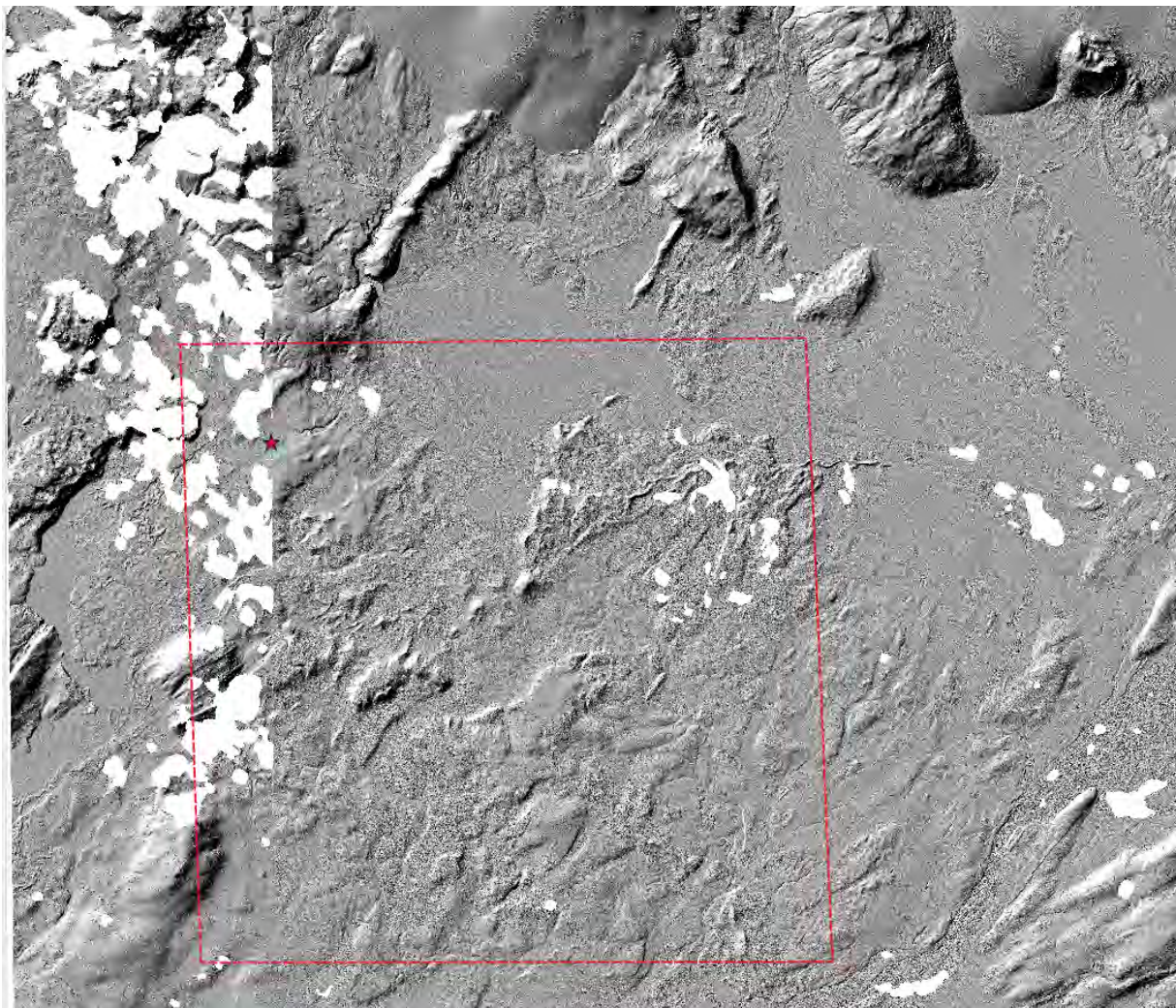
Mynd 1. Yfirlitskort af tilraunasvæðunum þremur við Setur, Tungnaá og Eyjabakka.



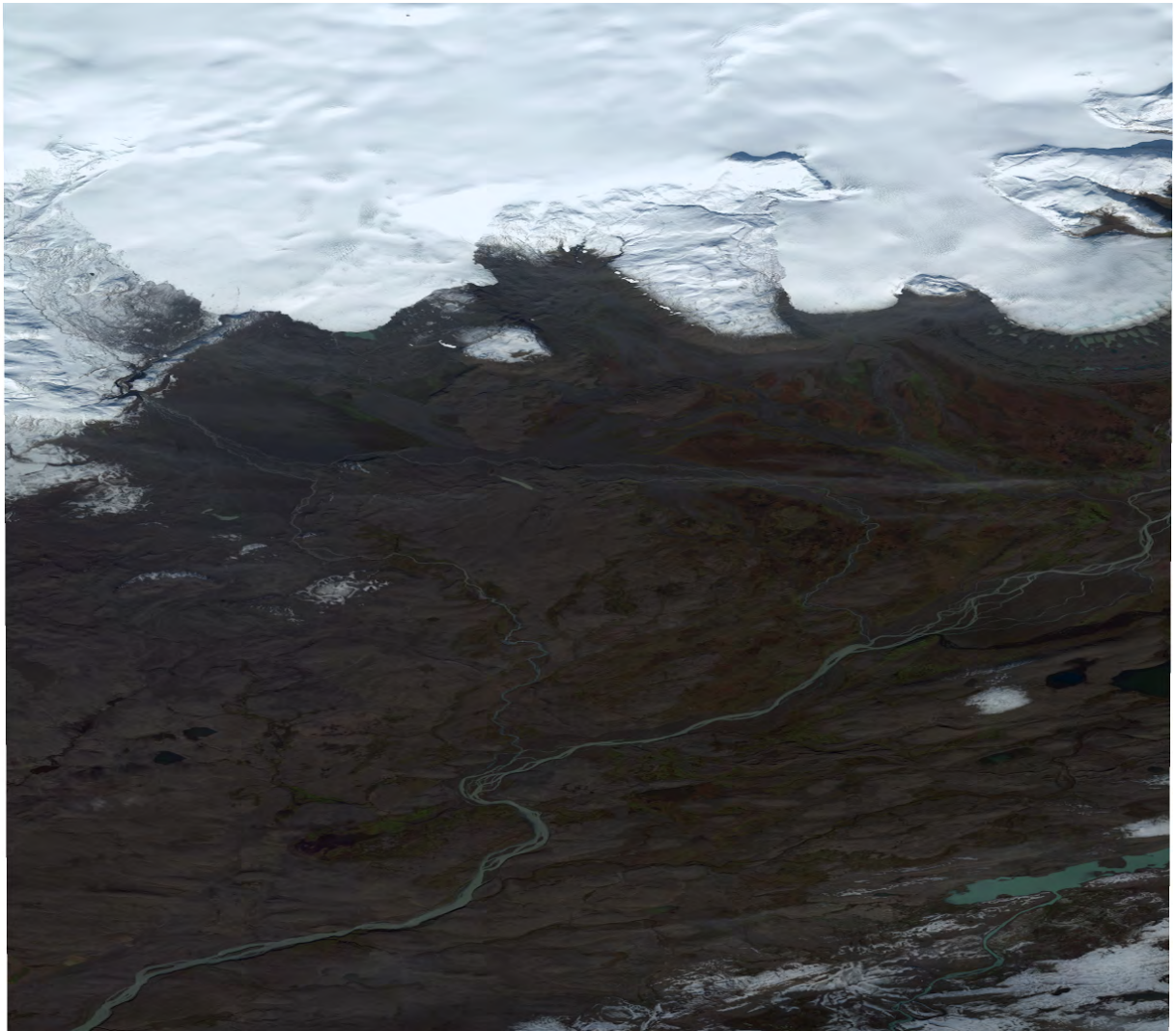
Mynd 2. Staða ArcticDEM kortlagningarinnar eftir afhendingu útgáfu 1.4 þann 13. febrúar 2017). Fjólublá svæði voru afhent haustið 2016, rauð svæði í febrúar 2017.



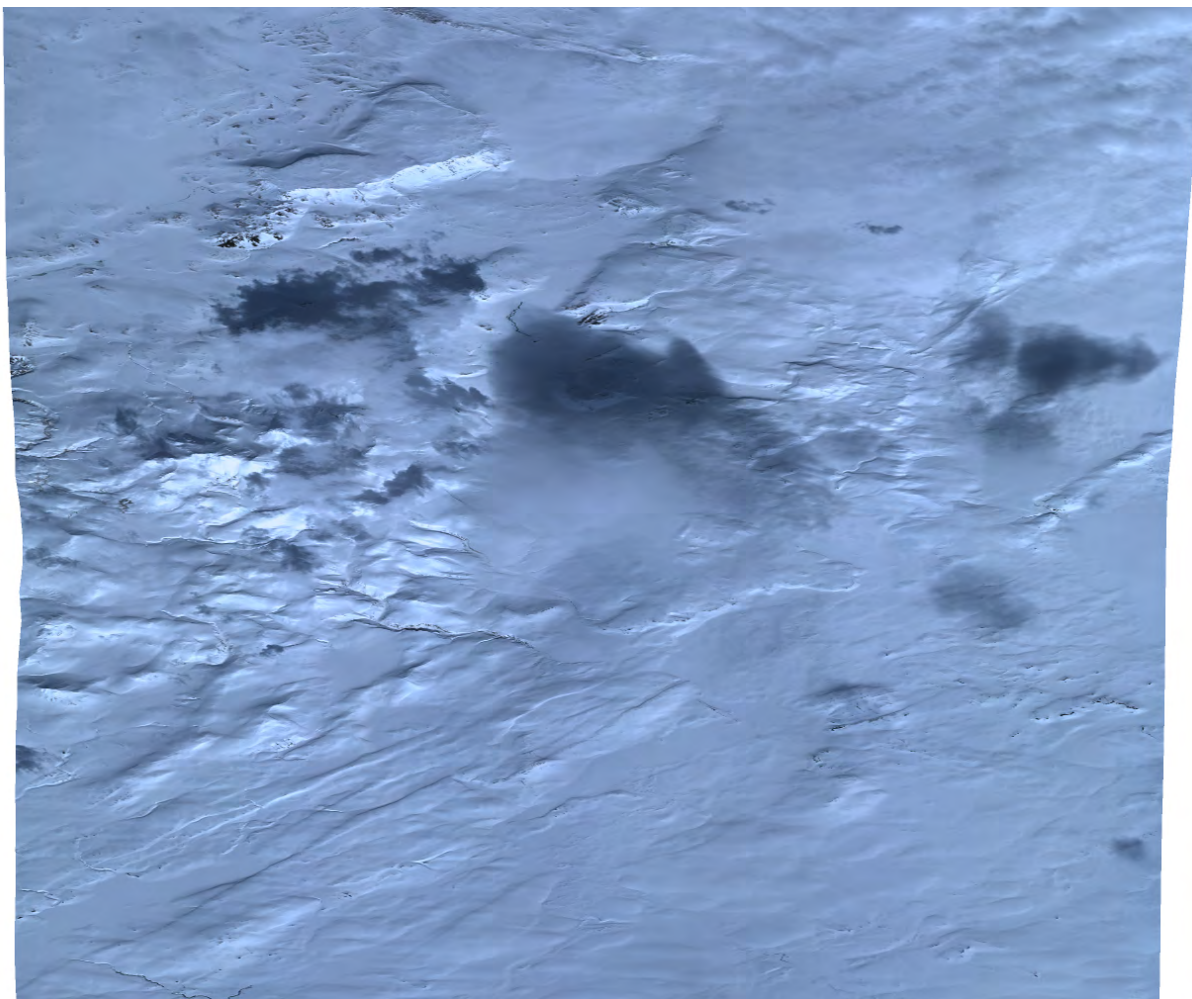
Mynd 3. Fjöldi ArcticDEM ræma á Íslandi í útgáfu landlíkananna frá 12. desember 2016. Ræma er landlíkan byggt á þörum gervitunglamynda sem teknar voru ákveðinn dag á árunum 2008 til 2015.



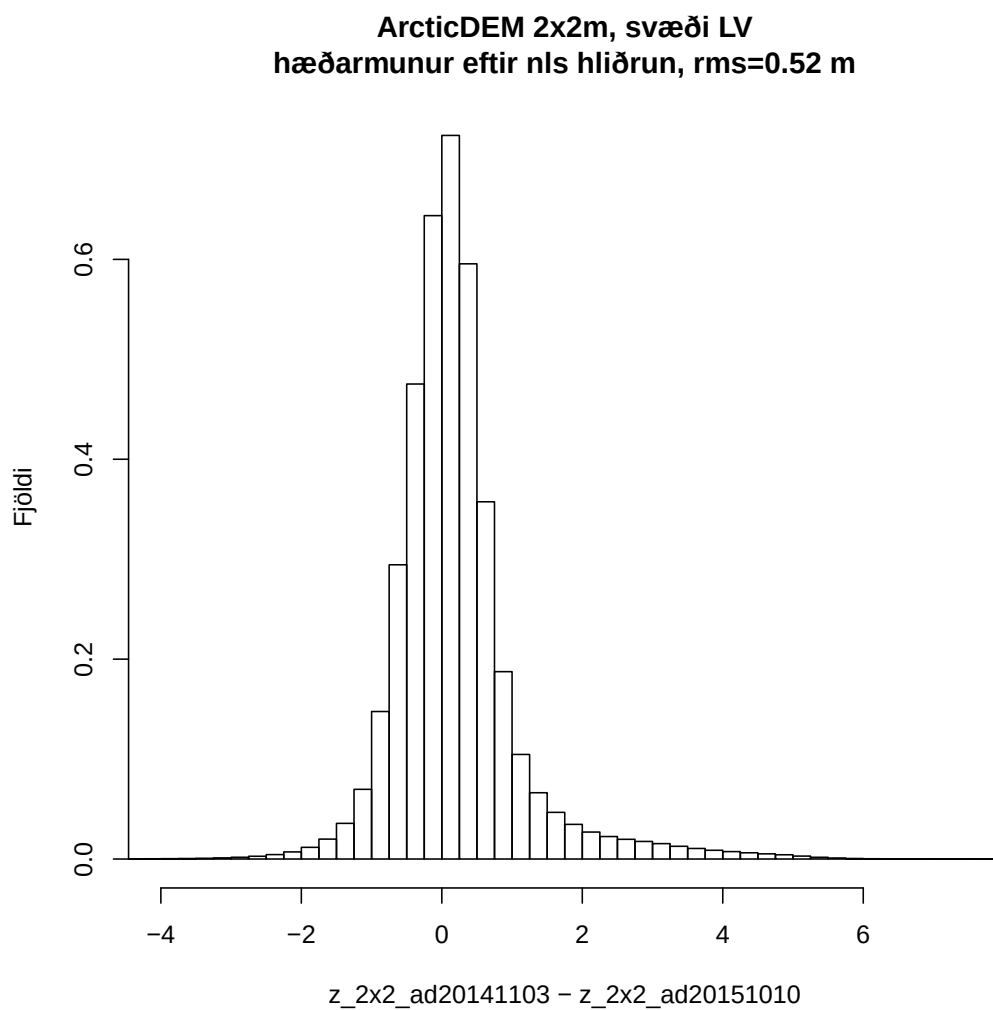
Mynd 4. Skygging af athugunarsvæði við Setur sunnan Blautukvíslarjökuls, landlíkön byggð á gervihnattamyndum frá 10.10.2015 (austurhluti) og 03.11.2014 (vesturhluti). Staðsetning mælistöðvar Landsvirkjunar við Setur er sýnd með rauðri stjörnu. Athugunarsvæði við Setur er ferhyrningur sem sýndur er með rauðum slitnum línum.



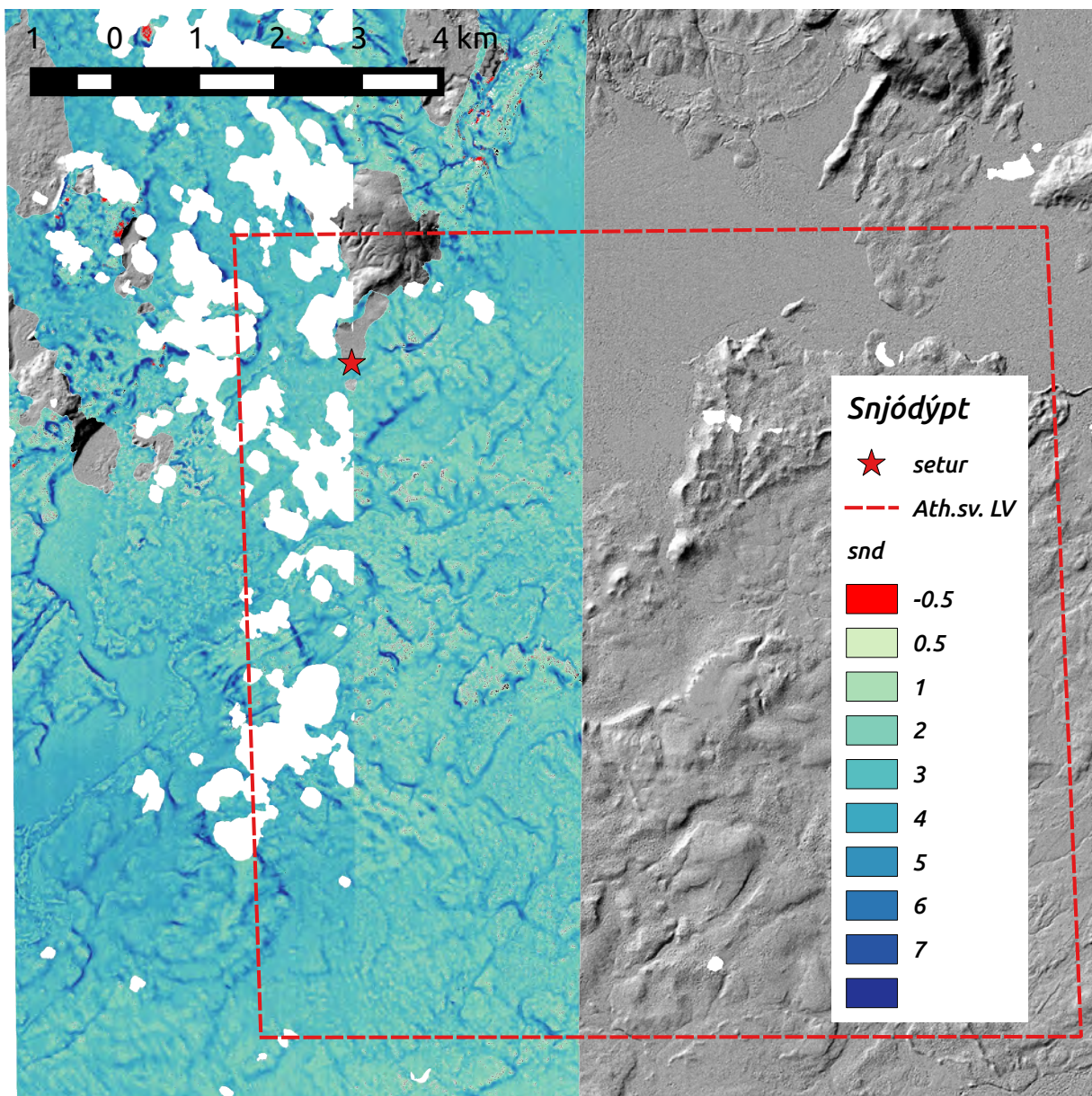
Mynd 5. WV-gervihnattamynd frá 10.10.2015 af svæði sunnan Hofsjökuls sem notuð er til þess að gera landlíkan af hluta athugunarsvæðis við Setur.



Mynd 6. WV-gervihnattamynd frá 24.04.2015 af svæði sunnan Hofsjökuls sem notuð er til þess að gera kort af snjóðýpt á hluta athugunarsvæðis við Setur.

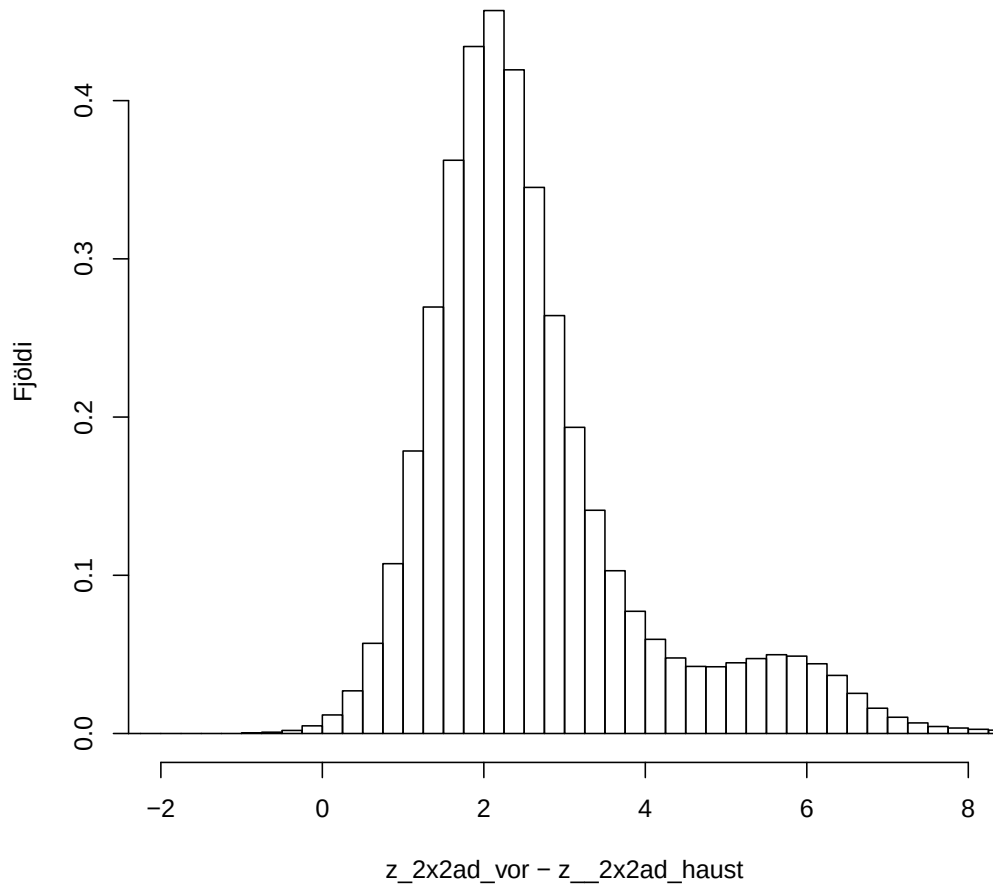


Mynd 7. Stöplarit af hæðarmun milli ArcticDEM landlíkana frá 10.10.2015 og 03.11.2014 á skörunarsvæði sem fellur innan athugunarsvæðis Landsvirkjunar við Setur sunnan Blautukvíslarjökuls (eining á láréttum ás er m). Nákvæmni landlíkananna má meta sem RMS gildi af mismun þeirra deilt með $\sqrt{2}$.

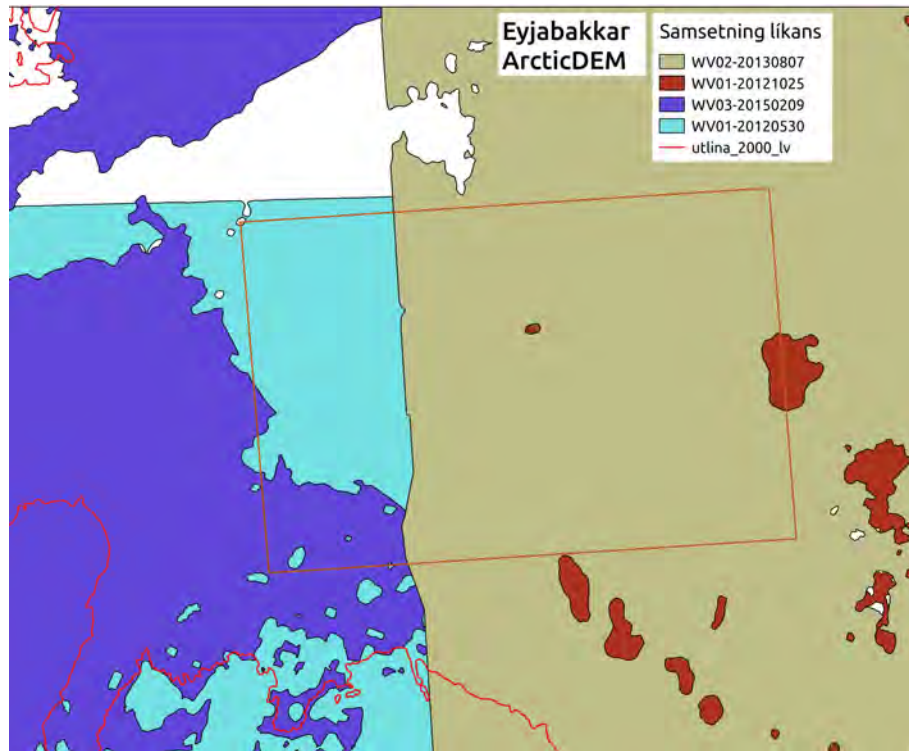


Mynd 8. Reiknuð snjódýpt á vesturhluta athugunarsvæðis við Setur sunnan Blautukvíslarjökuls þ. 24. apríl 2005. Blár litakvarði spannar snjódýpt á bilinu 0.5 til 7 m. Rauður litur sýnir svæði þar sem snjódýpt reiknast minni en -0.5 m og er til marks um skekkju í snjódýptarreikningunum.

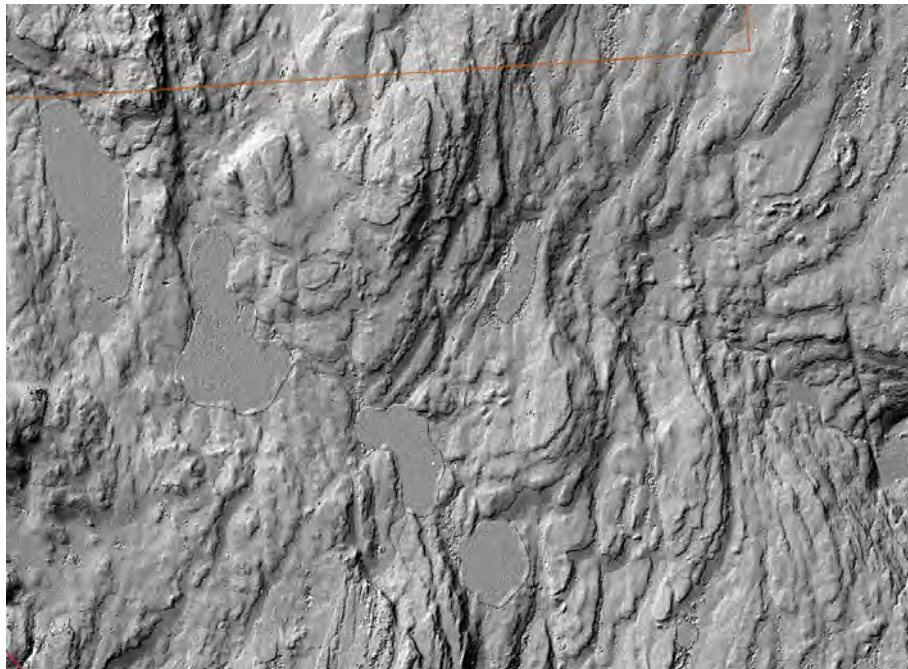
**ArcticDEM sunnan Hofsjökuls 2x2m
hæðarmunur/snjódýpt 24.4.2015 (eftir hliðrun um 1.08cm)**



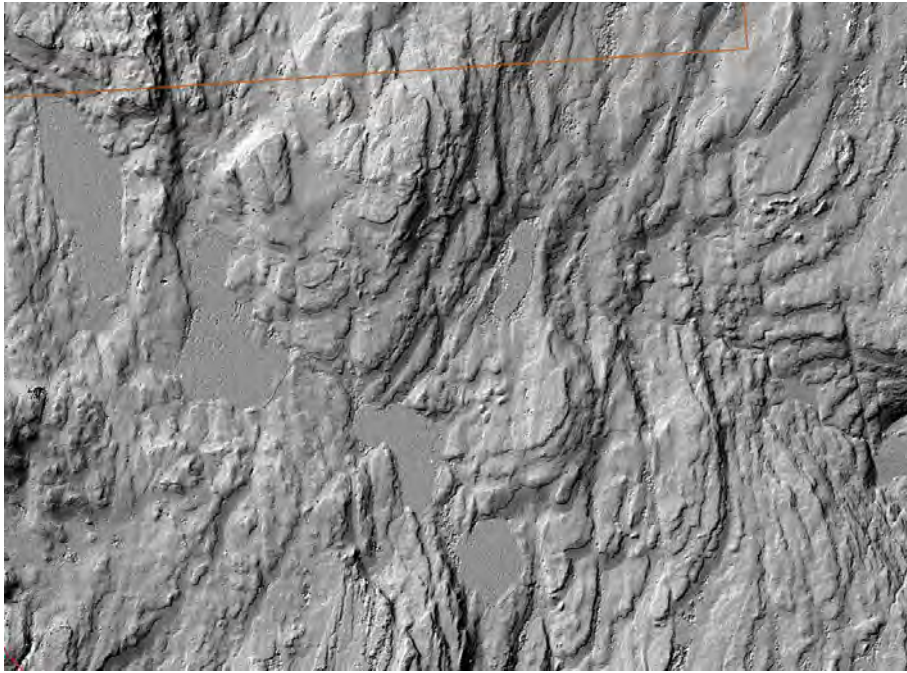
Mynd 9. Stöplarit af snjódýpt á vestanverðu athugunarsvæði Landsvirkjunar við Setur sunnan Blautukvíslarjökuls þann 24.04.2015 (eining á láréttum ás er m). Snjódýptin er reiknuð sem hæðarmunur milli ArcticDEM landlíkans frá 24.04.2015 og samsetts líkans sem byggt er á myndum frá 10.10.2015 og 03.11.2014 eftir að líkaninu frá 24.04.2014 hefur verið hliðrað niður á við um 1.08 m þannig að snjódýpt við mælistöðina við Setur passi við melda snjódýpt þar sama dag.



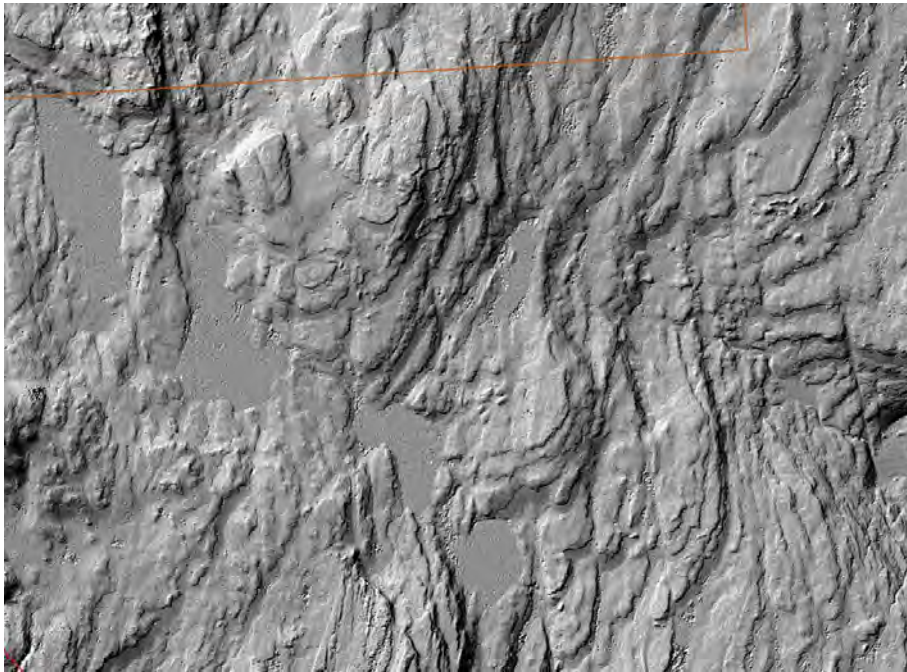
Mynd 10. Samsetning samfellds ArcticDEM landlíkans af tilraunasvæði við Eyjabakka. Tilraunasvæðið er afmarkað með ferhyrningi á miðri myndinni. Jaðar norðaustanverðs Vatnajökuls frá árinu 2000 er sýndur með rauðum ferli suðvestarlega á myndinni.



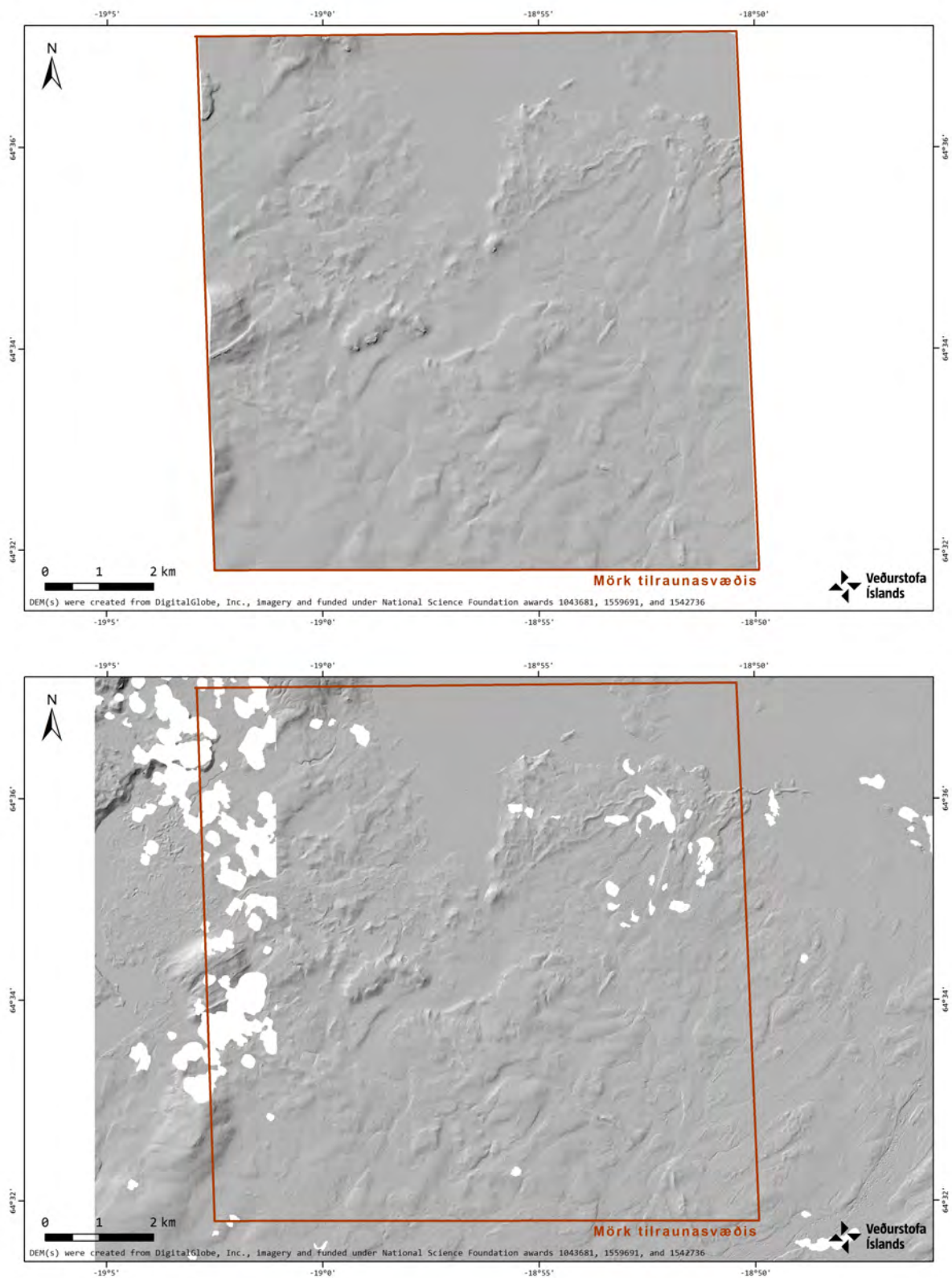
Mynd 11. Skygging samfellds ArcticDEM landlíkans af tilraunasvæði við Eyjabakka, þysjað inn að SA horni svæðisins, engin leiðrétting fyrir hliðrun.



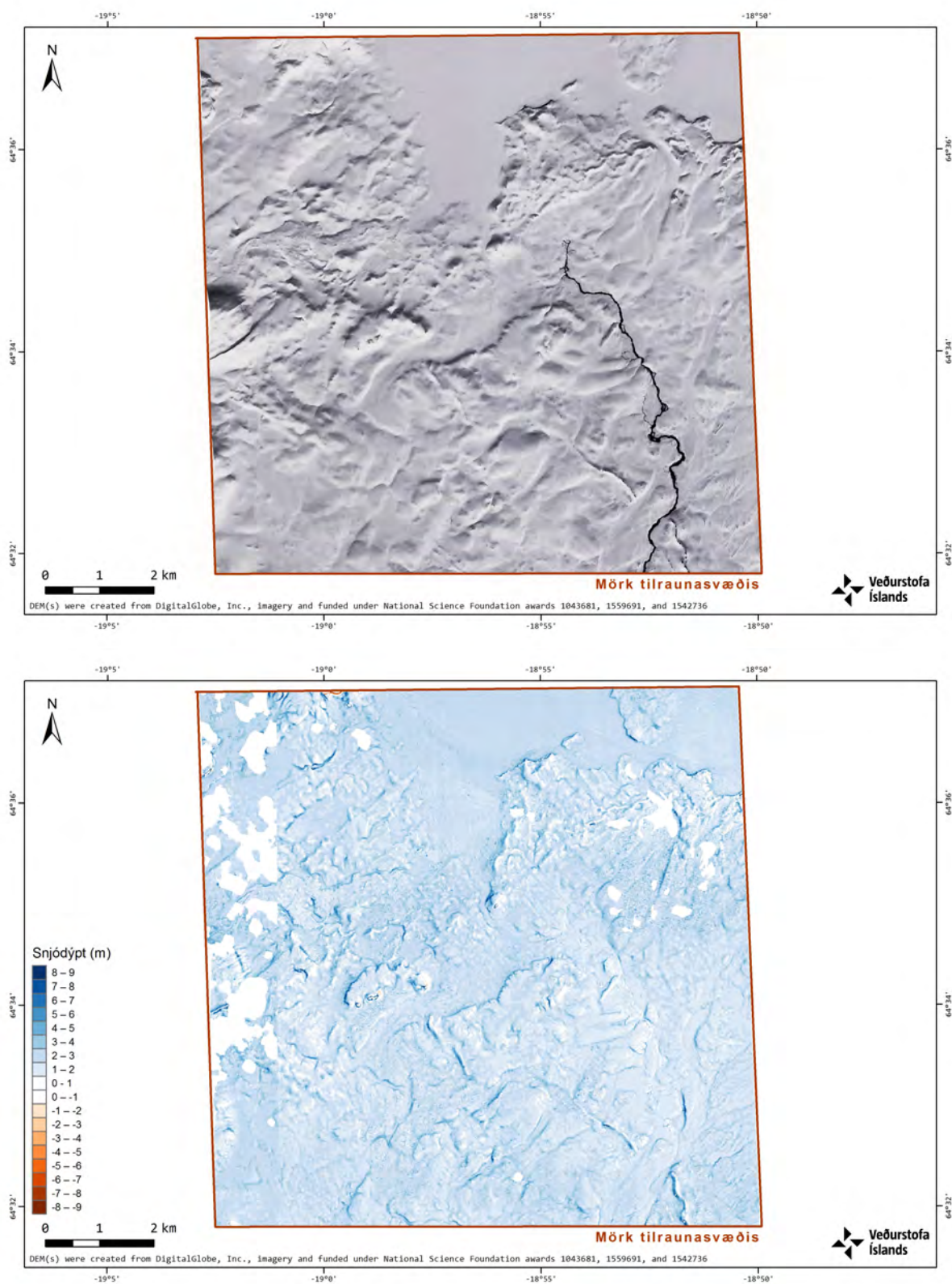
Mynd 12. Skygging samfellds ArcticDEM landlíkans af tilraunasvæði við Eyjabakka, þysjað inn að SA horni svæðisins, leiðrétting á hliðrun frá PGC.



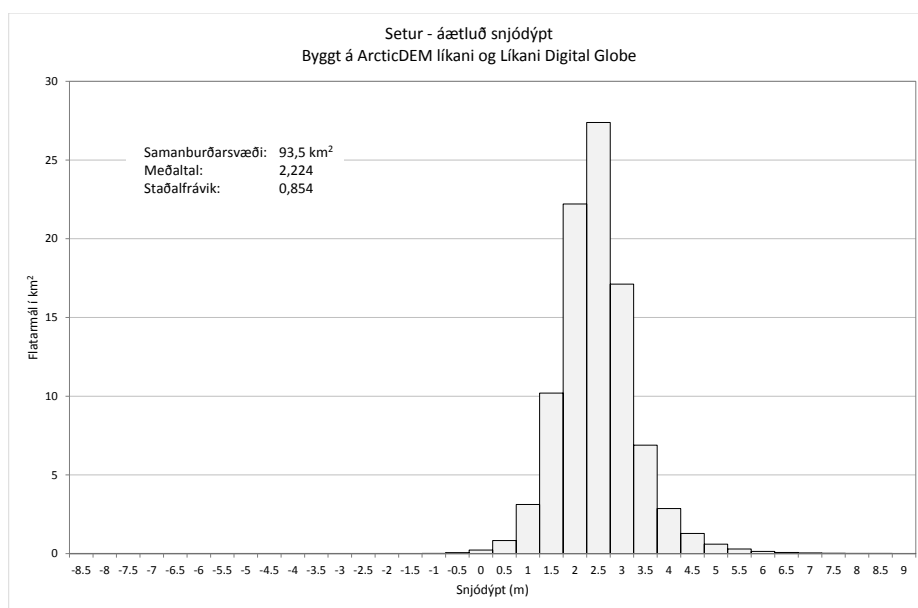
Mynd 13. Skygging samfellds ArcticDEM landlíkans af tilraunasvæði við Eyjabakka, þysjað inn að SA horni svæðisins, leiðrétting á hliðrun með tölfræðilegri aðferð sem lýst er í kafla 5.



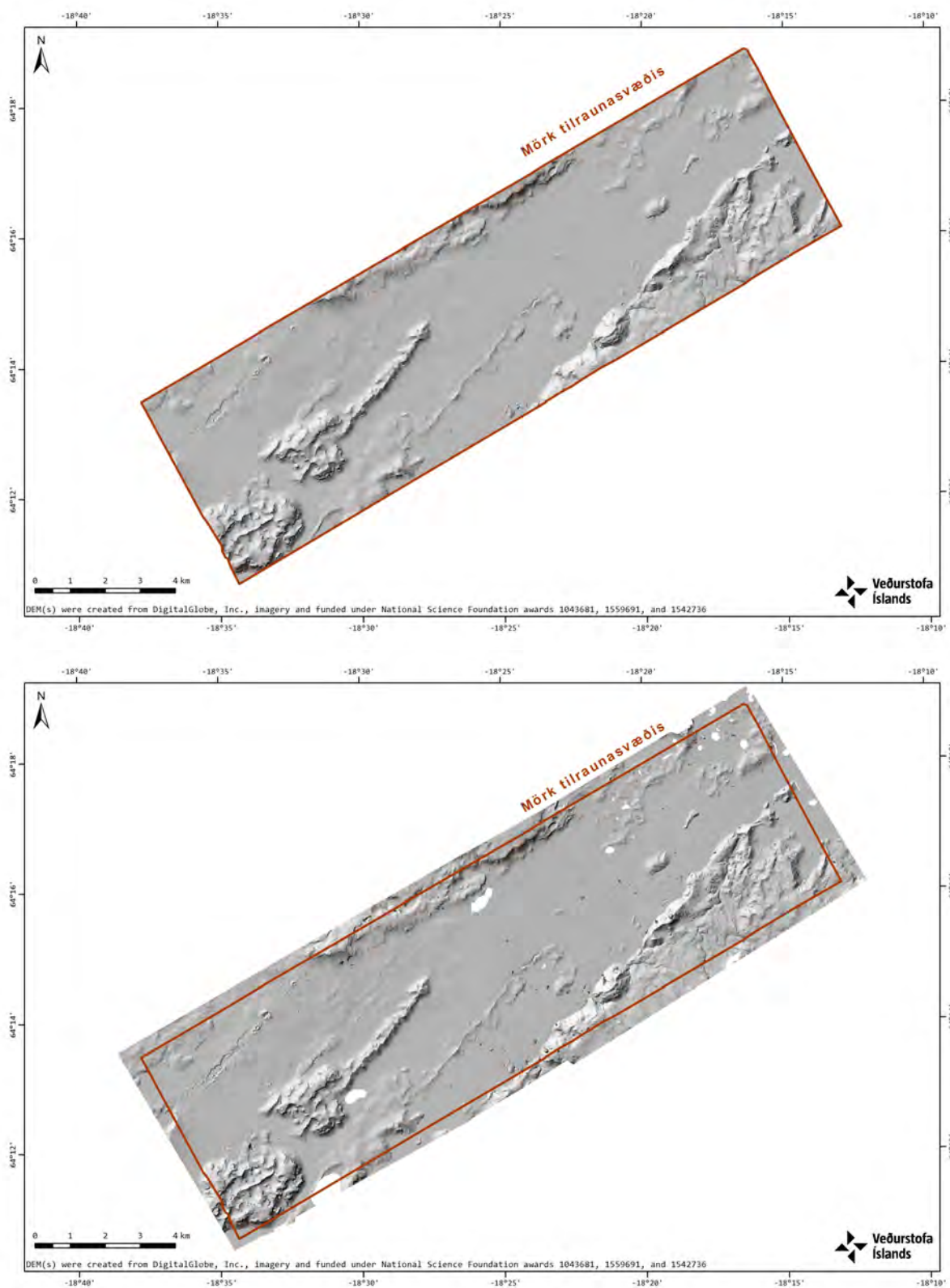
Mynd 14. Skygging landlíkana frá 21. apríl 2017 (efra kort) og af snjólausu landi í október 2015 / nóvember 2014 (neðra kort) fyrir tilraunasvæði við Setur.



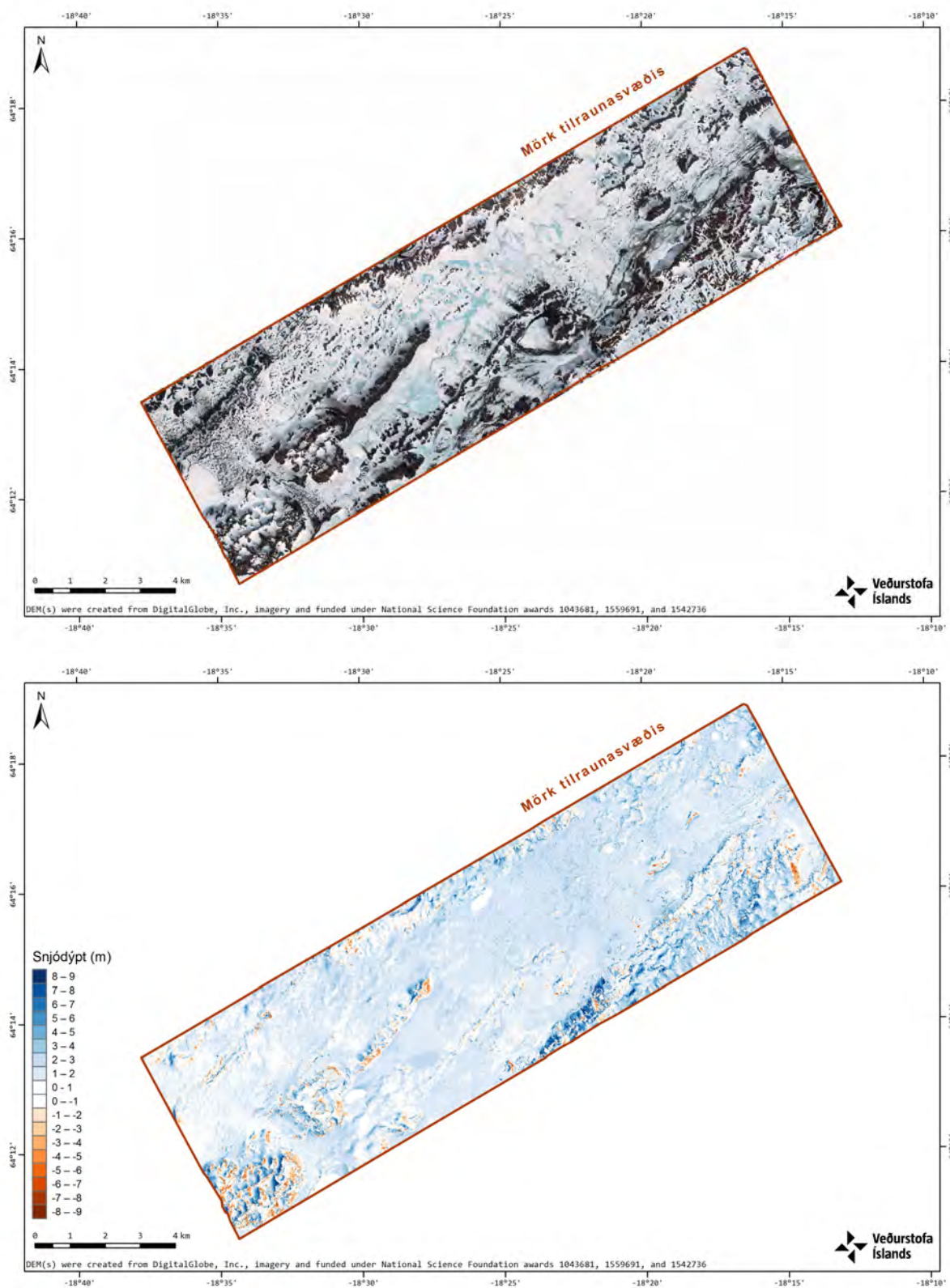
Mynd 15. Upprætt loftmynd (efra kort) og reiknuð snjódýpt (neðra kort) þann 21. apríl 2017 fyrir tilraunasvæði við Setur.



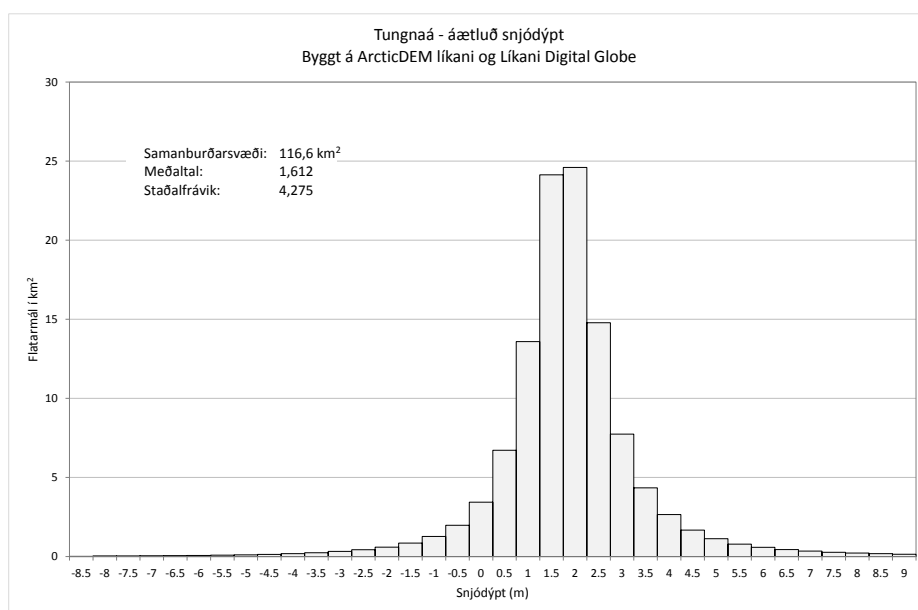
Mynd 16. Stöplarit af snjódýpt á tilraunasvæði við Setur þann 21. apríl 2017 (eining á láréttum ás er m). Snjódýptin er reiknuð sem hæðarmunur milli DigitalGlobe landlíkans og ArcticDEM líkans sem byggt er á myndum frá október 2015 / nóvember 2014.



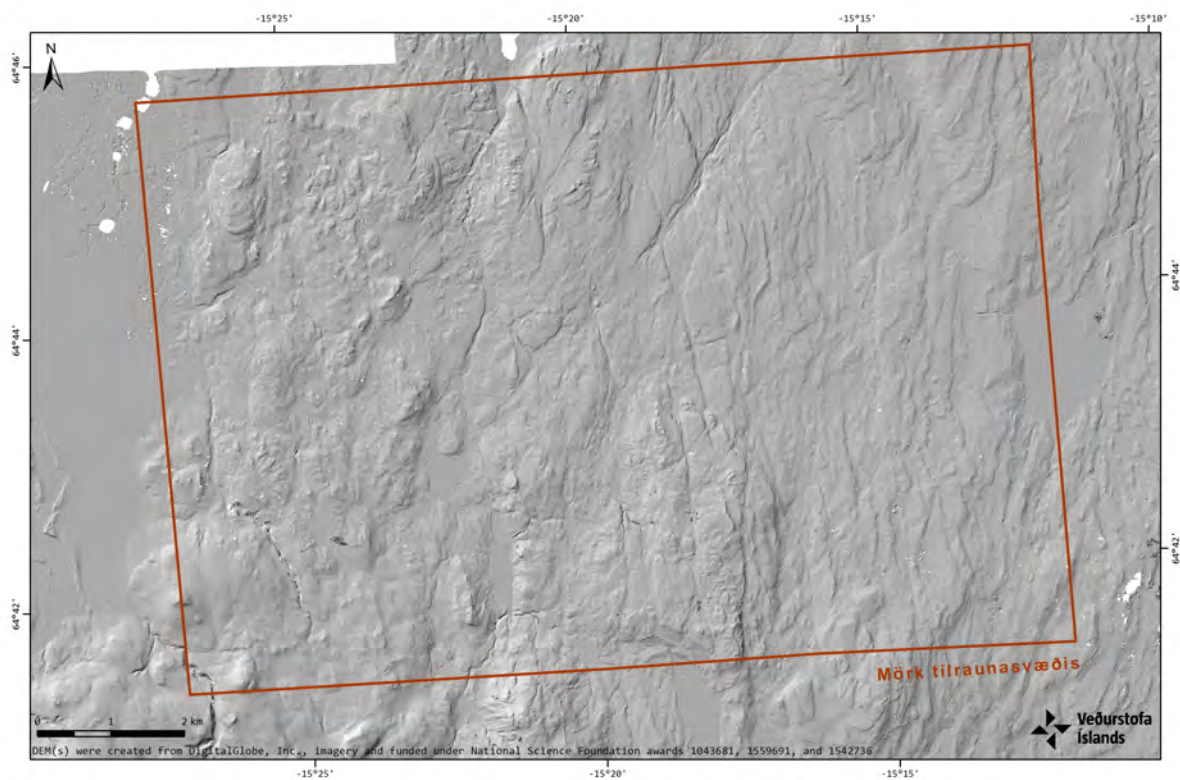
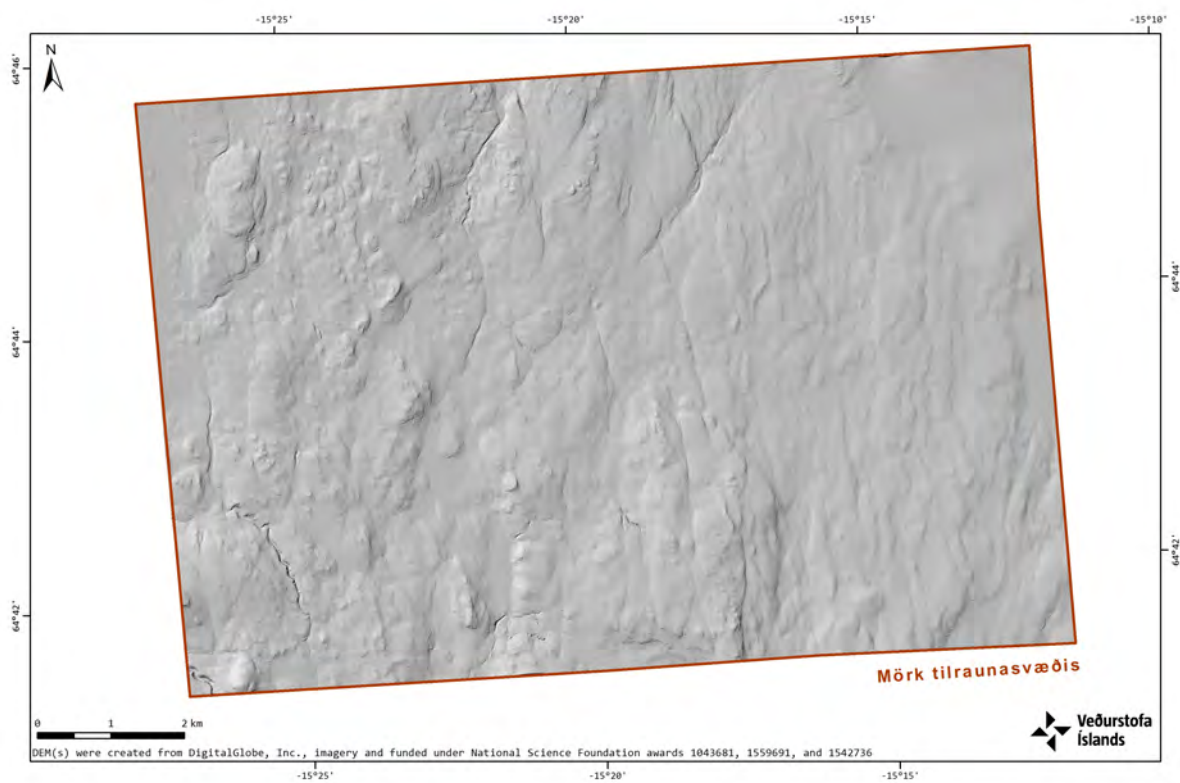
Mynd 17. Skygging landlíkana frá 4. maí 2017 (efra kort) og af snjólausu landi að vorlagi 2013 / október 2014 / október 2015 (neðra kort) fyrir tilraunasvæði við Tungnaá.



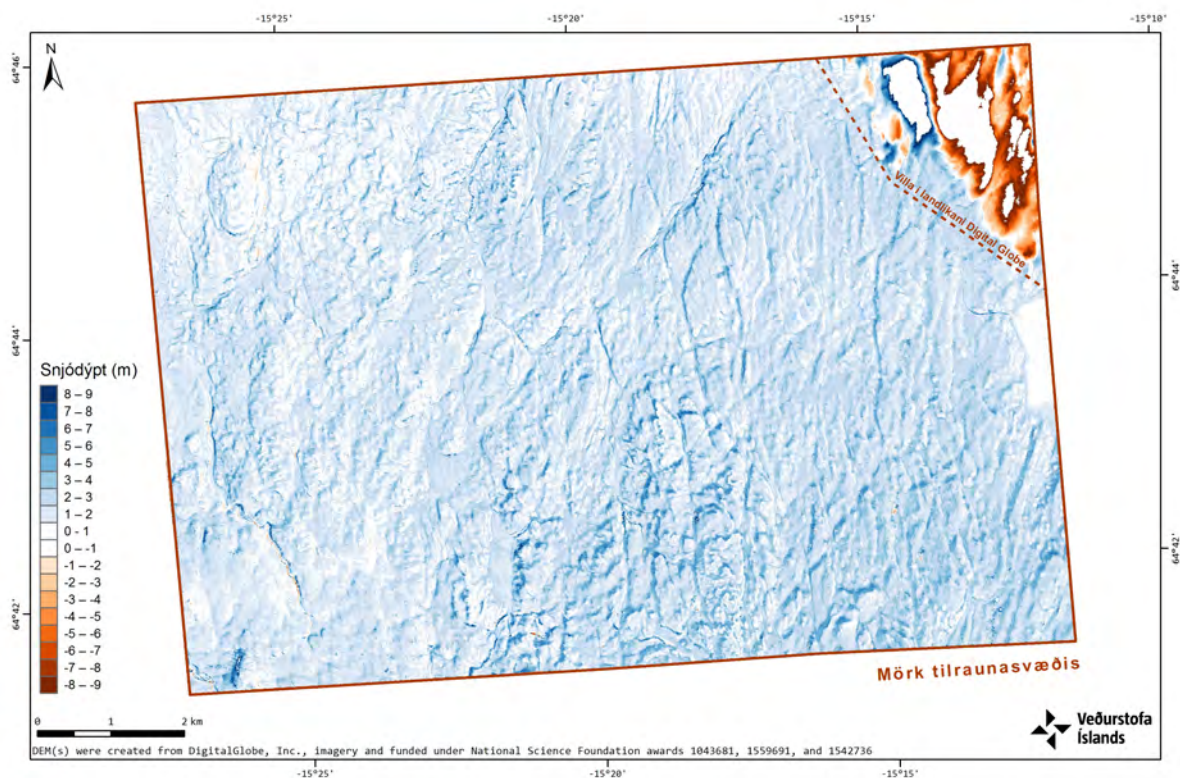
Mynd 18. Upprétt loftmynd (efra kort) og reiknuð snjódýpt (neðra kort) þann 4. maí fyrir tilraunasvæði við Tungnaá.



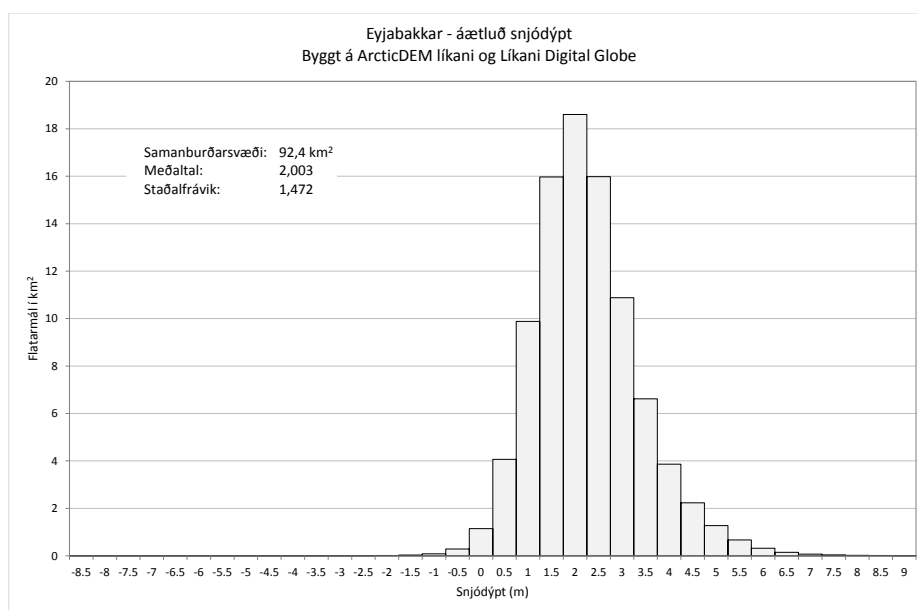
Mynd 19. Stöplarit af snjódýpt á tilraunasvæði við Tungnaá þann 4. maí 2017 (eining á láréttum ás er m). Snjódýptin er reiknuð sem hæðarmunur milli DigitalGlobe landlíkans og ArcticDEM líkans sem byggt er á myndum frá vorlagi 2013 / október 2014 / október 2015.



Mynd 20. Skygging landlíkana frá 26. mars 2017 (efra kort) og af snjólausu landi í ágúst 2013 og maí 2015 (neðra kort) fyrir tilraunasvæði við Eyjabakka.



Mynd 21. Upprætt loftmynd (efra kort) og reiknuð snjódýpt (neðra kort) þann 26. mars 2017 fyrir tilraunasvæði við Eyjabakka.



Mynd 22. Stöplarit af snjódýpt á tilraunasvæði við Eyjabakka þann 26. mars 2017 (eining á láréttum ás er m). Snjódýptin er reiknuð sem hæðarmunur milli DigitalGlobe landlíkans og ArcticDEM líkans sem byggt er á myndum frá 7. ágúst 2013 og 30. maí 2015.