

Hæðarkerfi Orkustofnunar á
Austurlandi og við Blöndu borin
saman við landshæðarkerfi
ISH2004

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2019-005

Dags: Janúar 2019

Fjöldi síðna: 31

Upplag: 1

Dreifing:

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

Titill: Hæðarkerfi Orkustofnunar á Austurlandi og við Blöndu borin saman við landshæðarkerfi ISH2004

Höfundar/fyrirtæki: Guðmundur Valsson, Þórarinn Sigurðsson Landmælingar Íslands

Verkefnisstjóri: Theodór Theodórsson Landsvirkjun, Þórarinn Sigurðsson Landmælingar Íslands

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: _____

Útdráttur: Í kjölfar greiningar Landmælinga Íslands á mismun á hæðarkerfi Orkustofnunar á Suðurlandi og landshæðarkerfi ISH2004 óskaði Landsvirkjun eftir því að skoðuð yrðu fleiri svæði. Í þessari skýrslu eru tvö hæðarkerfi borin saman við ISH2004. Hæðarkerfi Orkustofnunar á Austurlandi sem notað var í framkvæmdum við Kárahnjúkavirkjun og hæðarkerfi Orkustofnunar við Blöndu sem notað var við Blönduvirkjun. Gerð voru líkön með því að finna fastmerki sem bæði höfðu hæðir kerfum Orkustofnunar og ISH2004. Á Kárahnjúkasvæðinu var einugis notast við ISH2004 hæðir sem fengnar voru með GPS mælingum og geóíðu. Á Blöndusvæðinu var mestu leiti notast við trígónómetrískar hæðarmælingar sem gerðar voru af Landmælingum Íslands sumarið 2018.

Lykilorð: Landmælingar, hæðarkerfi, fínhallamælingar, trígónómetrískar hæðarmælingar, GPS mælingar, landris

ISBN nr:

Hæðarkerfi Orkustofnunar á
Austurlandi og við Blöndu borin saman
við landshæðarkerfi ISH2004

Efnisyfirlit

Kortaskrá	2
Töfluskrá	2
Inngangur	3
Skilgreining á hæðarkerfum	4
Hæðarkerfi Orkustofnunnar á Austurlandi (OS_Austur)	4
Hæðarkerfi Orkustofnunnar við Blöndu (OS_Blanda)	5
Landshæðarkerfi ISH2004	7
Kárahnjúkasvæðið	8
Skilgreining á úrvinnslu	8
Heimilda- og gagnaöflun	8
Rýnt í gögnin	8
Úrvinnsla GPS mælinga	11
Varpanir á ISN93 hnitum	11
Gagnasettið fyrir líkanagerð	12
Líkanagerð í Surfer	14
Notkun líkansins	15
Svæðisgreining	16
Blöndusvæðið	19
Skilgreining á úrvinnslu	19
Heimilda- og gagnaöflun	19
Úrvinnsla á trígónómetrísku hæðarmælingum	19
Úrvinnsla GPS mælinga	21
Gagnasett fyrir líkanagerð	22
Líkanagerði í Surfer	25
Landris á svæðinu	26
Niðurstöður og umræðu	28
Heimildir	29

Kortaskrá

Kort 1. Fínhallamæld fastmerki í hæðarkerfi Orkustofunnar á Austurlandi.	4
Kort 2. Fastmerki með hæðir í hæðarkerfi Orustofunnar við Blöndu auk fastmerkja í ISH2004.	6
Kort 3. Geóíðan fyrir Kárahnjúkasvæðið.	9
Kort 4. Niðurstöður útjöfnunar fyrir mæliлотur 3,4,8,9,14 og 14A.	11
Kort 5. Fastmerki sem notuð voru við gerð líkansins á Kárahnjúkasvæðinu.	12
Kort 6. Hæðarmunur á fastmerkjum í líkaninu á Kárahnjúkasvæðinu.	14
Kort 7. Líkan mismun milli hæðarkerfi Orkustofunnar á Austurlandi og ISH2004.	15
Kort 8. Svæði til greiningar á Kárahnjúkasvæðinu.	16
Kort 9. Líkan af hæðarmismun milli ISN2004 og ISN2016.	17
Kort 10. Trígónómetríksar fínhallamælingar sumarið 2018.	20
Kort 11. Niðurstöður útjöfnunar úr GPS mælingum frá 1998.	21
Kort 12. Fastmerki sem notuð voru við gerð líkansins á Blöndusvæðinu.	23
Kort 13. Hæðarmunur á fastmerkjum í líkaninu á Blöndusvæðinu.	24
Kort 14. Líkanið á áhrifasvæði Blönduvirkjunar.	25
Kort 15. Landris á áhrifasvæði Blönduvirkjunar.	26

Töfluskrá

Tafla 1. Niðurstöður trígónómetrískra hæðarmælingamælinga sumarið 2018.	10
Tafla 2. Fastmerki notuð við líkanagerð á Kárahnjúkasvæðinu.	13
Tafla 3. Svæðisgreining á Kárahnjúkasvæðinu.	18
Tafla 4. Fastmerki notuð við líkanagerð á Blöndusvæðinu.	22
Tafla 5. Landris í LM0326 og LM0528.	27

Inngangur

Í kjölfar greiningar Landmælinga Íslands á mismun á hæðarkerfi Orkustofnunnar á Suðurlandi og landshæðarkerfi ISH2004 óskaði Landsvirkjun eftir því að skoðuð yrðu fleiri svæði.

Í fyrri hluta skýrslunnar verður skoðaður munurinn á hæðarkerfi Orkustofnunnar á Austurlandi sem notað var við framkvæmdir á Kárahnjúkavirkjun og ISH2004. Í seinni hlutanum verður hæðarkerfi Orkustofnunnar við Blöndu tekið til skoðunar.

Aðstæðum á Kárahnjúkasvæðinu svipar að mörgu leiti til Þjórsársvæðisins. Það er nokkuð umfangsmikið og sýna mælingar í grunnstöðvanetinu að hæðarbreyting innan svæðisins eru misjafnar. Þær eru þó ekki jafn miklar og á Þjórsársvæðinu. Breytingarnar á svæðinu voru frá 3 cm og upp í 12 cm fyrir tímabilið 1993-2004 en frá 6 cm og upp í 29 cm fyrir tímabilið 2004-2016. Mest er landrисиð næst Vatnajökli en minnar þegar fjær dregur.

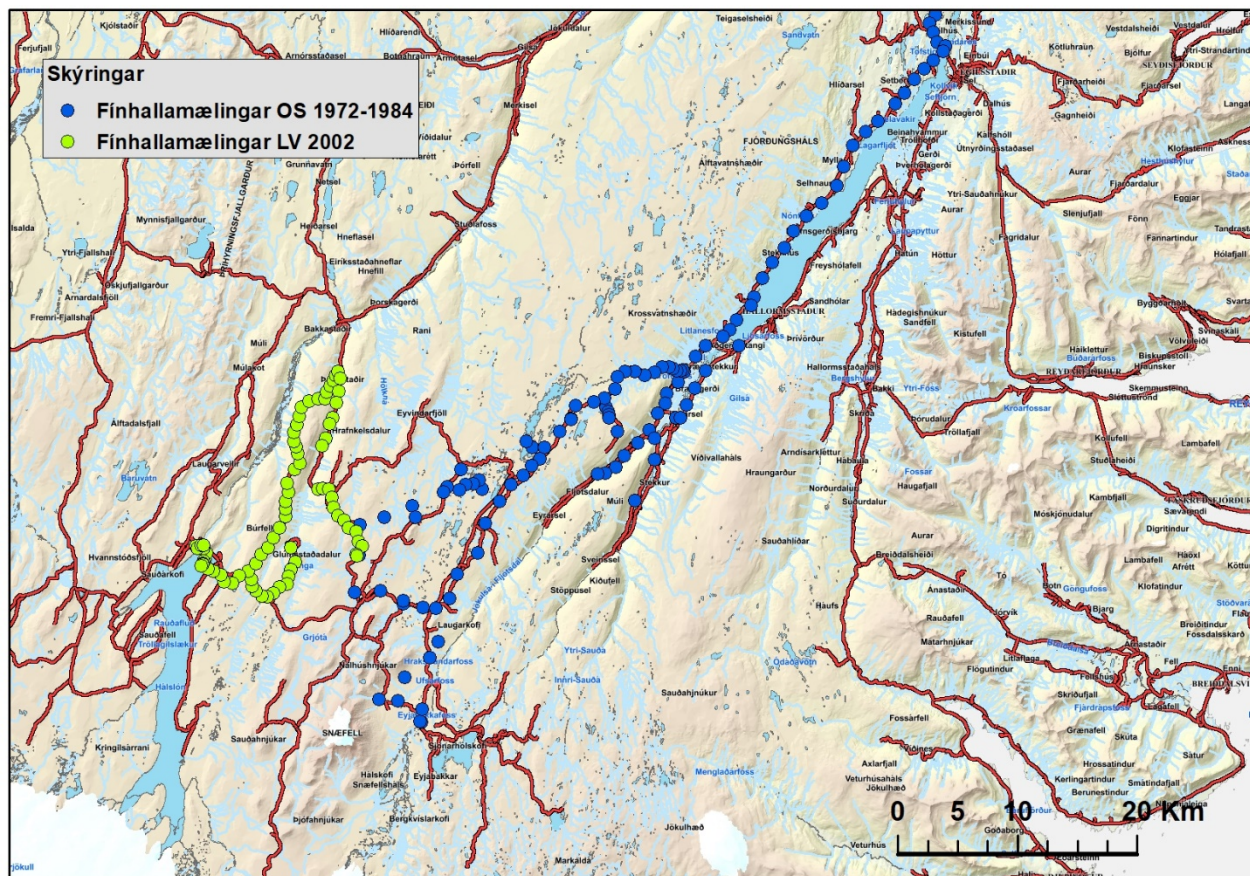
Á Blöndusvæðinu eru ekki jafn miklar hæðarbreytingar, en þær hafa aukist á síðustu 10-15 árum.

Þar sem framkvæmdir Landsvirkjunar á þessum svæðum eru í hæðarkerfum Orkustofnunnar er eftirsóknarvert að vita mismuninn á þeim og nýlegu Landshæðarkerfi ISH2004. Með notkun á ISH2004 opnast betur möguleiki á að notast við GNSS tækni við hæðarákvörðun, þar sem reiknuð hefur verið geóíða sem tengir ISN2004 og ISH2004 með nákvæmni upp á nokkra cm. Vissulega afmyndast landshæðarkerfið en það er vaktað með reglubundnum GPS mælingum og unnið er að líkani þar sem hægt verður að reikna sig fram og aftur í tíma.

Skilgreining á hæðarkerfum

Hæðarkerfi Orkustofnunnar á Austurlandi (OS_Austur)

Núllpunktur fyrir hæðarkerfið var skilgreindur þannig að fastmerki V007 nálægt sírita við Lagarfljótsbrú hefur hæðina 26.840 m og var sú hæð með mælingu sem gerð var frá bryggjunni á Seyðisfirði yfir Fjarðarheiði árið 1953 og síðan sjávarborðsmælingu austan við Unaós árið 1970 (Gunnar Þorbergsson, 1976). Mælingar á hæðarnetinu fóru fram á árunum 1972 til 1984 og ná frá Lagarfossi og inn að Eyjabökkum. Þyngdarmælingar í netinu voru gerðar árið 1989 og voru hæðir að hluta til leiðréttar með tilliti til þyngdar, svokallaðar Vignial hæðir sem er í raun fyrsta nálgun á normalhæðum (Gunnar Þorbergsson, 1990). Þá voru grunnstöðvarnar LM0341 og LM0342 tengdar við hæðarkerfið árið 1994 (Gunnar Þorbergsson, 1994). Reyndar er hæðin á LM0342 vitlaus í skýrslu Orkustofnunnar en hún var leiðrétt í skýrslu Landmælinga, Hæðarmælingar í grunnsstöðvaneti sumarið 1994 (Ingvar Þór Magnússon, 1997). Sumarið 2002 mældi Landsvirkjun frá Kárahnjúkum í fastmerkið OS7039 við Hólkná og þar með var búið að tengja svæðið við hæðarkerfi Orkustofnunnar (Jón Thuy Xuan Búi og Theodór Theodórsson, 2002). Yfirlitskort yfir fínhallamæld fastmerki í hæðarkerfinu er að finna á korti 1.



Kort 1. Fínhallamæld fastmerki í hæðarkerfi Orkustofnunnar á Austurlandi.

Einnig hefur verið þríhyrningamælt í sum fastmerki á svæðinu. Skekkja í þeim merkjum samkvæmt Gunnar Þorbergssyni getur verið allt að 10-20 cm og því ber að forðast að nota þau merki eins og hægt er.

Hæðarkerfi Orkustofunnar við Blöndu (OS_Blanda)

Núllpunktur fyrir hæðarkerfi Orkustofunnar við Blöndu var skilgreindur með sjávarborðsmælingum á Blönduósi (Gunnar Þorbergsson, 1983). Umfangsmiklar mælingar á svæðinu fóru fram árið 1958. Bæði þríhyrningamælingar og fínhallamælingar. Á þeim tíma var áhugi á að veita Blöndu niður í Vatnsdal en ekkert varð úr því. Á árunum 1966 og 1967 fóru fram þríhyrningamælingar á svæðinu. Á árunum 1978-1983 var síðan aftur fínhallamælt til að þétta mælinetið. Ekki var tekið tillit til þyngdar við útreikninga á hæðum í kerfinu. Grunnstöðvarnar LM0505, LM0326 og LM0528 voru tengdar við hæðarnetið á árunum 1993 og 1994 (Axel G. Einarsson, o.fl., 1993) og (Jón Erlingsson, 1994). Yfirlitskort yfir fastmerkin er að finna á korti 2. Það vantar nokkur fínhallamæld fastmerki á kortið, sérstaklega frá Svínavatni og inn í Blöndudal, þar sem ekki eru til upplýsingar um staðsetningu þeirra.



Kort 2. Fastmerki með hæðir í hæðarkerfi Orustofunnar við Blöndu auk fastmerkja í ISH2004.

Landshæðarkerfi ISH2004

Sameiginlegt landshæðarkerfi fyrir Ísland ISH2004 var gefið út árið 2011. Mælingar á því hófust árið 1994 og standa í raun enn yfir. Ákveðið var að hefja útreikninga á fyrirliggjandi mælinum árið 2008. Þá hafði verið lokið við að mæla þrjár mæliykkjur sem myndaðar eru af hringvegi, línu frá Skeiðavegamótum yfir Sprengisand og norður í Bárðardal og línu yfir Fjallabaksleið Nyrðri. Einnig höfðu verið mældar tengingar við sjávarhæðamæla í Reykjavík, Grindavík, Þorlákshöfn, Húsavík, Dalvík, Skagatrönd, Patreksfjörð og Ólafsvík. Útreikningum lauk árið 2011. Skýrslan Landshæðarkerfi Íslands ISH2004 var gefin út árið 2011 (Guðmundur Valsson o.fl., 2011). Skýrslan inniheldur hæðir á um 3000 fastmerkjum. Þá var tækniskýrsla sem lýsir uppbyggingu og úrvinnslu ISH2004 gefin út árið 2012 (Guðmundur Valsson, 2012). Hæðir í ISH2004 eru normalhæðir og er hæðarviðmiðunin meðalsjávarhæði Reykjavíkur á tímanum 2004.6.

Í lok árs 2011 var reiknuð ný geóíða fyrir Ísland í samstarfi við DTU-Space í Danmörku (DTU, Technical University of Denmark). Geóíðan byggir á gömlum þyngdargögnum Orkustofnunar og á nýrri mælingum frá Landmælingum Íslands og Jarðvísindastofnun. Þá var í fyrsta skipti leiðrétt fyrir ísþykkt jökla við útreikninga á geóíðu fyrir heilt land. Geóíðan var síðan löguð að ISH2004 með því að nota um 300 GPS mælda punkta í hæðarnetinu með hnit í viðmiðun ISN2004 (Guðmundur Valsson o.fl., 2007). Áætluð 95% nákvæmni geóíðunar er um 3-4 cm í nágrenni við hallamælinur ISH2004 en hún getur þó verið lakari á öðrum svæðum. Þá ber einnig að hafa í huga að geóíðan tekur ekkert tillit til hæðabreytinga á landi. Leiðréttta verður fyrir þeim ef grunur er á að breytingarnar á því svæði sem mælt er á séu ólíkar því þar sem grunnstöðin er staðsett.

Eftir fyrstu útgáfu á ISH2004 hefur verið lokið við mælingar á tengingu við Bolungarvík, Akranes og Keflavík. Þá hófst mæling á svokallaðri Kjalarlínu árið 2011 en henni er enn ólokið. Lítið var um mælingar á árunum 2013-2017. Í staðinn hafa farið fram GPS mælingar til að rannsaka hæðabreytingar í fyrirliggjandi mælinum. Sumarið 2018 hófust aftur mælingar á Kjalarlínu og er stefnt að því að ljúka þeim mælingum sumarið 2019.

Kárahnjúkasvæðið

Skilgreining á úrvinnslu

Hæðarkerfi Orkustofnunar og ISH2004 skerast aðeins í nokkrum fastmerkjum við brúnna yfir Lagarfljót. Við brúnna er hæð í OS Austur hæðarkerfinu 4.2-4.4 cm lægri en ISH2004 hæð í sameiginlegum fastmerkjum.

Þar sem helsta orsök mismunar milli kerfanna er hæðarbreyting á landi þá dugar ekki að nota frávikið við brúnna eitt og sér heldur þarf að gera líkan af mismuninum líkt og gert var Þjórsársvæðið.

Gerð líkansins byggist á mismuni OS Austur hæða og ISH2004 hæða sem ákvarðaðar eru með GPS mælingum og geóíðu. Leitað var að GPS mælingum sem gerðar voru á svæðinu og þær endurunnar. Koma þurfti niðurstöðunum yfir í ISN2004 sem er viðmiðunnarkerfi geóíðunnar. Ef mæligögn eru ekki aðgengileg en niðurstöður mælinga aðgengilegar þá er notast við þær. Ef hæðirnar eru sporvöluhæðir í viðmiðun ISN93 er þeim varpað yfir í ISH2004 með nýjustu útgáfu Landmælinga Íslands af Cocodati. En í því er leiðrétt fyrir hæðarmun á milli ISN93 og ISN2004.

Nákvæmni sporvöluhæða sem ákvarðaðar eru með GPS mælingum eru á bilinu 1-4 cm, en hún er nokkuð háð mælitíma. Eftir því sem mælingin er lengri er líklegar að við fáum nákvæmar hæðir. Þetta er talsvert lakari nákvæmni heldu er fínhallamælingar sérstaklega á styttri vegalengdum.

Heimilda- og gagnaöflun

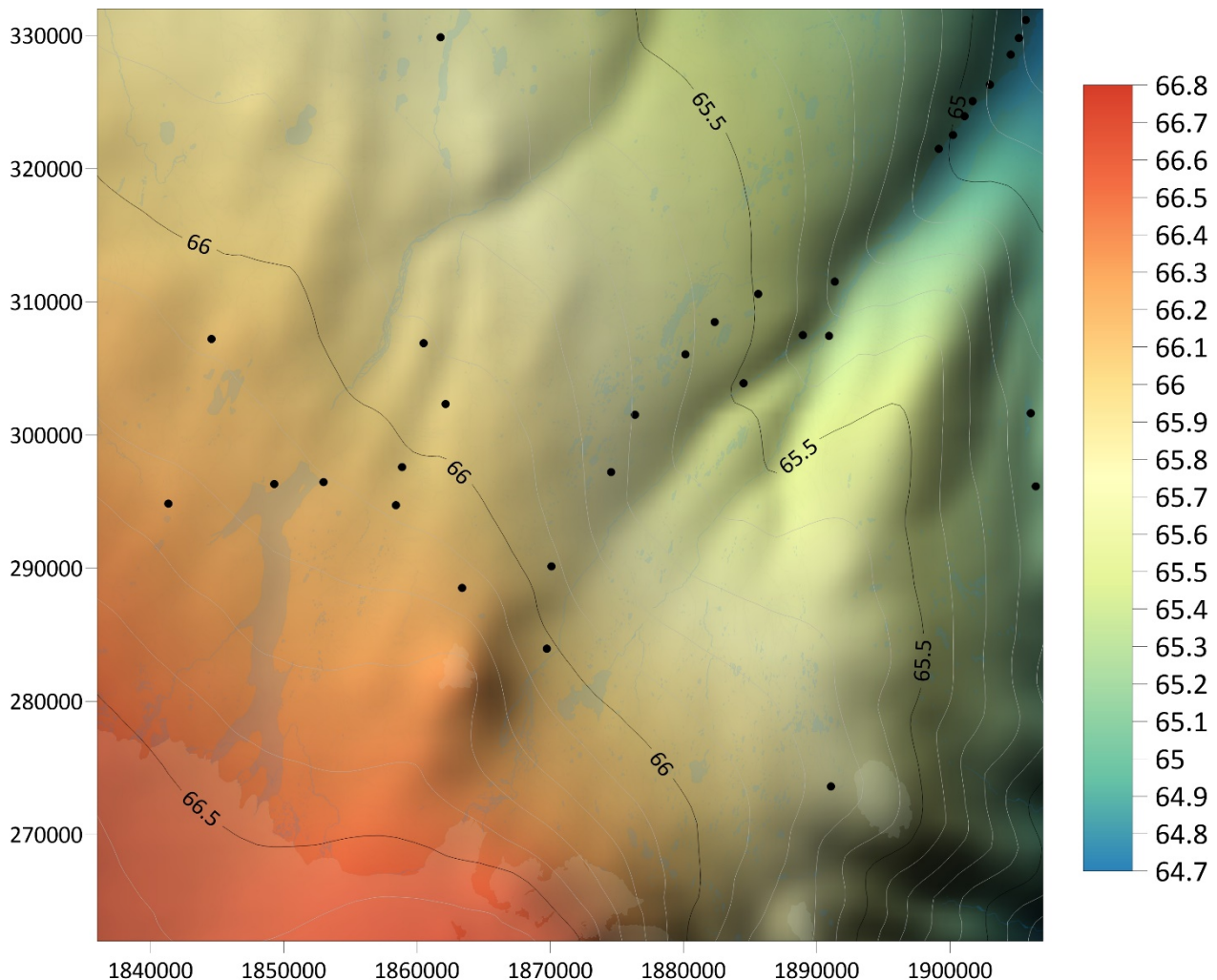
Megin heimildir um Hæðarkerfi Orkustofnunar á Austurlandi er að finna í skýrslum Gunnars Þorbergssonar, Landmælingar við Lagarfljót 1955-1975 og Hæðarnet og þríhyrninganet á Fljótsdalsheiði sem gefin var út árið 1990. Þá eru upplýsingar um fínhallamælingar Landsvirkjunar að finna í skýrslunni Hæðarmælingar frá Fljótsdalsheiði að Kárahnjúkum sumarið 2002 eftir Jón Búa og Theodór Theodórsson.

Þegar kom að því að finna GPS mælingar á svæðinu þá var megin uppsprettan þær mælingar sem gerðar voru árið 1997 af Orkustofnun, Landmælingum Íslands, Vegagerðinni, Landsvirkjun og Landssímanum. En þessar mælingar voru gerðar til þess að tengja eldri net Orkustofnunar við hið nýja ISN93 (Gunnar Þorbergsson, o.fl., 1998). Þá voru tvær skýrslur sem unnar voru af Verkfræðistofunni Hnit skoðaðar. Kárahnjúkavirkjun. Nákvæmnismat á fastmerkjanetum (Jón Þór Björnsson, 2002) sem unnin var fyrir Landsvirkjun og Check geodetic survey network and locating of bench mark (Jón Þór Björnsson, 2003) sem unnin var fyrir Impregillo. Einnig rýnt í skýrslur frá Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands sem fjalla um vöktun á jarðskorpuhreyfingum með GPS mælingum á árunum 2005-2009 (Benedikt Gunnar Ófeigsson, o.fl., 2006) og (Benedikt Gunnar Ófeigsson, o.fl., 2010). Þá hafa Landmælingar Íslands aðgang að fastmerkjagrunni Vegagerðarinnar og fundust þar nokkur fastmerki sem mæld höfðu verið með GPS fast-static mælingum og höfðu einnig hæðir í OS Austur.

Rýnt í gögnin

Þegar prufulíkan var gert kom í ljós mikið misræmi í gögnum frá Verkfræðistofunni Hnit og gögnum Orkustofnunar, bæði við stöðvarhúsið og við stífluna. Gerð voru tvö líkön. Annað byggði eingöngu á GPS mælingum sem gerðar voru árið 1997. Í hinu líkaninu er mælingum sem Verkfræðistofan Hnit gerði árið 2003 bætt við. Mismunurinn við stöðvarhúsið er ± 7 cm en allt að 20 cm við stífluna.

Við stöðvarhúsið eru tvær skýringar. Verkfræðistofan Hnit reiknaði hallandi flöt sem nálgun fyrir geóíðuna á þessu svæði. OS Austur hæðir á nokkrum fastmerkjum reiknaðar út frá því. Þetta er ekki góð nálgun þegar unnið er á svæði þar sem við höfum miklar og skyndilegar hæðarbreytingar. Eins og er tilfellið við stöðvarhúsið. Þetta á sérstaklega við fastmerkin AD1001, OS7015, OS9114 og OS5624. Fastmerkið AD1001 er einungis 1360 m frá fastmerkinu OS5624 en hæðarmunurinn er um 460 m, samkvæmt skýrslunni frá Hnit er munur á geóíðufrávikum í þessum fastmerkjum 0.1 cm en í raun er hann um 4.3 cm, þetta er vegna áhrifa landslagsins á geóíðuna. Yfirlitskort fyrir geóíðuna á Kárahnjúkasvæðinu er að finna á korti 3. Á kortinu sést vel hvernig dalir og fjöll hafa áhrif á lögun hennar.



Kort 3. Geóíðan fyrir Kárahnjúkasvæðið.

Þá virðist sporvöluhæðin á OS7015 vera mjög vitlaus. Mismunur á milli sporvöluhæðar frá Hnit og OS hæðar er 65.619 m, en ætti að vera um 65.400 m samkvæmt fletinum sem Hnit reiknaði. Þarna munar 21.9 cm. Reyndar eru áhrif geóíðunar um 10 cm, en það skilur samt eftir aðra 10 cm. Þetta hefði átt að sjást í útreikningum ef þetta hefði verið kannað fyrir fastmerkið. Það getur verið erfitt að fá nákvæmar sporvöluhæðir þegar reiknaðar eru stuttar línur með miklum hæðarmun. Einnig getur þetta stafað af vitlausri loftnetshæð. Þá er talsverður munur í sporvöluhæð (5-10 cm) í nokkrum fastmerkjum milli mælinga frá 1997 og 2003. Það er ekki talað um þetta í skýrslunni frá Hnit. Þá vekur það spurningar hvers

vegna fastmerkin OS5433 og OS5438 voru notuð til þess að reikna flötin þar sem hæðir þeirra eru ákvarðaðar með þríhyrninga mælingum og því er talsverð óvissa um nákvæmni þeirra. Þá kom einnig í ljós að OS Austur hæðir á grunnstöðvunum LM0341 og LM0342 eru ekki þær sömu í gögnunum frá Hnit og í skýrslu um hæðarákvörðun á grunnstöðvum frá Landmælingum Íslands. Það munar +4 cm í LM0341 og -4 cm í LM0342. Fínhallamælingarnar í stöðvarnar voru skoðaðar og er nokkuð ljóst að hæðirnar frá Hnit eru vitlausar. Þéttleiki fastmerkja í kringum stöðvarhúsið er nokkuð góður og því kemur ekki að sök að sleppa merkjunum frá Hnit á því svæði.

Á stíflusvæðinu er eitthvað skrítið við fastmerkin VA13, LV333, VA212 og KA2-EX. Ef bornar eru saman sporvöluhæðir og OS hæðir fáum við mismun uppá 66.27 m til 66.48 m. Samkvæmt geóíðunni ætti munurinn að vera um 4 cm, þannig að þarna er einhver villa. Fínhallamælt var í fastmerkið VA212 en ekki er gefið upp hvernig hæðir hinna fastmerkjanna eru fengnar. Mestar líkur eru á því að eitthvað sé að sporvöluhæðunum.

Á þessu svæði vantar fastmerki þar sem bæði hefur verið fínhallamælt og mæld með GPS. Reyndar mældi Hnit í LV026100 en það er erfitt að treysta því í ljósi alls þessa misræmis sem er í öðrum fastmerkjum.

Því var ákveðið að tengja nokkur fastmerki sem Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands hafði GPS mælt á svæðinu við fastmerki sem Landsvirkjun hafði fínhallamælt. Eftirfarandi fastmerki voru tengd saman sumarið 2018 af Jóni Búa með trígónómetrískum hæðarmælingum.

LV merki	JHI Merki	Vegalengd [m]	Hæðarmunur [m]	Hæð LV merki [m]	Hæð JHI Merki [m]
LM026158	HDAL	200	21.4490	682.9291	704.3781
LV026104	TUNG	250	3.2670	675.5111	678.7781
LV026119	DSTI	1000	-18.7410	645.1092	626.3684

Tafla 1. Niðurstöður trígónómetrískra hæðarmælinga sumarið 2018.

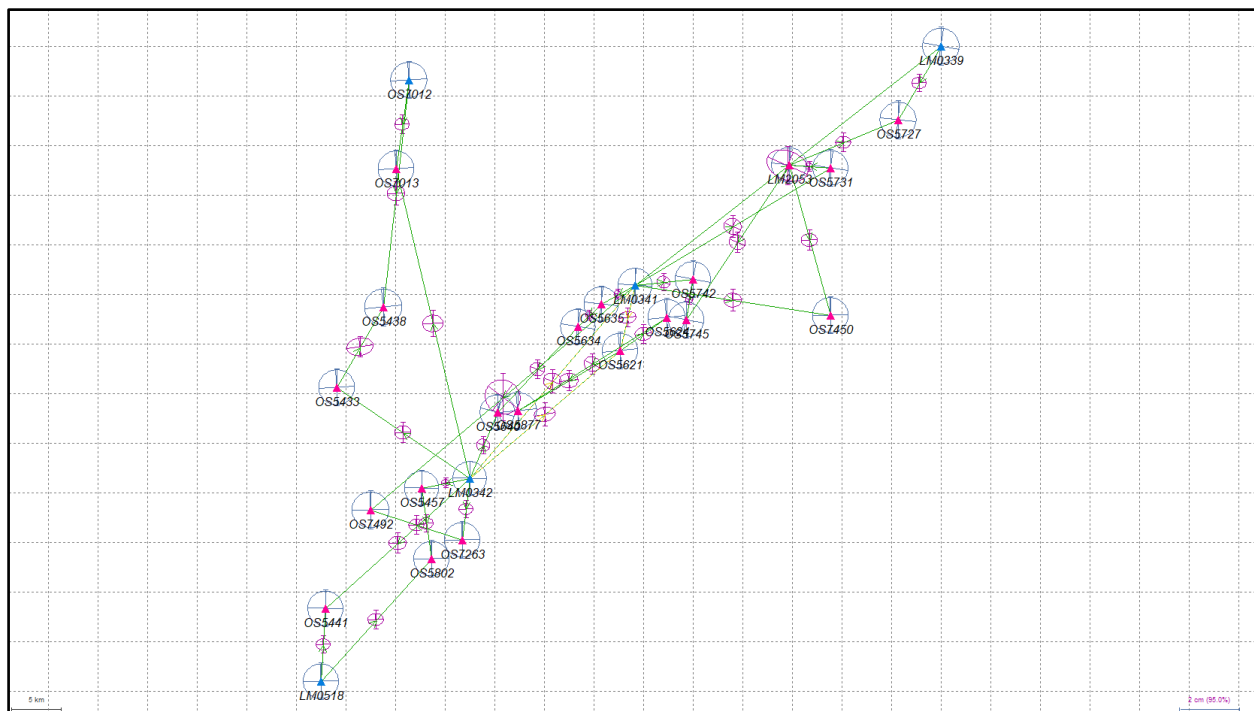
Hnit og sporvöluhæðir þessara fastmerkja voru upphaflega í ITRF2005, tími 2009.6. Þær voru síðan reiknaðar aftur til 2004.6 með upplýsingum um færslur á mælistöðvunum á árunum 2005-2009 samkvæmt skýrslu jarðvísindastofunnar (Benedikt Gunnar Ófeigsson, o.fl, 2010). Færsluhraðarnir pössuðu mjög vel á grunnstöðvunum LM0341 og LM0342 og því má ætla að þeir geri það einnig á hinum stöðvunum.

Þá fannst misræmi í sporvöluhæð á fastmerkinu OS5305 (ALFD) í skýrslu Gunnar Þorbergssonar um GPS mælingarnar 1997. Sporvöluhæð var ekki sú sama í töflu sem sýnir baughnit og þeirri sem sýnir keiluhnit Lamberts. Þetta er klárlega innsláttarvilla, en til þess að finna út hvor hæðin er rétt þurfti að endurvinnna GPS mælingarnar, sem stóð hvort sem er alltaf til. Merkið er þríhyrningamælt og hefur talsverð áhrif á líkanið þar sem það er í norðvestur horni líkansins og nokkuð langt er í næsta merki.

Vegna ákjósanlegra staðsetningu var eitt fastmerki í hæðarkerfi Djúpavogs (mælt 1997) notað í útreikningunum. Fastmerkið hafði hvorki hæð í hæðarkerfi Orkustofnunar á Austurlandi (OS Austur) né í ISH2004. Til þess að geta notað fastmerkið var fundinn hæðamunurinn á hæðarkerfi Djúpavogs og ISH2004 og sú niðurstaðan reiknuð yfir í hæðarkerfi Orkustofnunar á Austurlandi. Til eru nokkur ISH2004 fastmerki sem einnig hafa hæðir í hæðarkerfi Djúpavogs og reyndist munurinn vera 26.0 cm að meðaltali. Þar af leiðandi er hæðarkerfi Djúpavogs 30.3 cm yfir OS Austur.

Úrvinnsla GPS mælinga

Unnið var úr GPS mælingunum frá 1997 í forritinu GrafNet. Alls var unnið úr mælingum á 30 fastmerkjum. Þessi fastmerki voru mæld í 7 mæliлотum. Lotunúmer eru eftirfarandi 3, 4, 5, 8, 9, 14 og 14A. Upplýsingar um loturnar og loftnetshæðir er að finna á bls. 10 í skýrslunni GPS-mælingar á Austurlandi vegna tengingar þríhyrninganeta við landsnet með viðmiðun ÍSN93. Skipta þurfti úrvinnslunni í tvennt þar sem engin sameiginleg fastmerki voru í mæliлотu 5 þar sem staðsetning OS5305 er ákvörðuð í öðrum mæliлотum. Ákveðið var að jafna mælingunum út í ÍSN93 en staðalfrávik á kontról punktum var haft 5 mm í legu og 10 mm í hæð til þess að þvinga ekki lausnina of mikið. 95% nákvæmni í legu var metin 8 mm og 13 mm í hæð eftir útjöfnun. Þetta verður að teljast nokkuð gott miðað við að mælitíminn í fastmerkjunum var einungis 2.5 klst. Niðurstöðurnar voru mjög sambærilegar þeim í skýrslu Gunnars Þorbergssonar um mælingarnar, mest munaði um 10 mm í legu og 13 mm í hæð. Þá var staðfest að hæðin á OS5305 er vitlaus í baughnitatöflunni í skýrslu Gunnars.



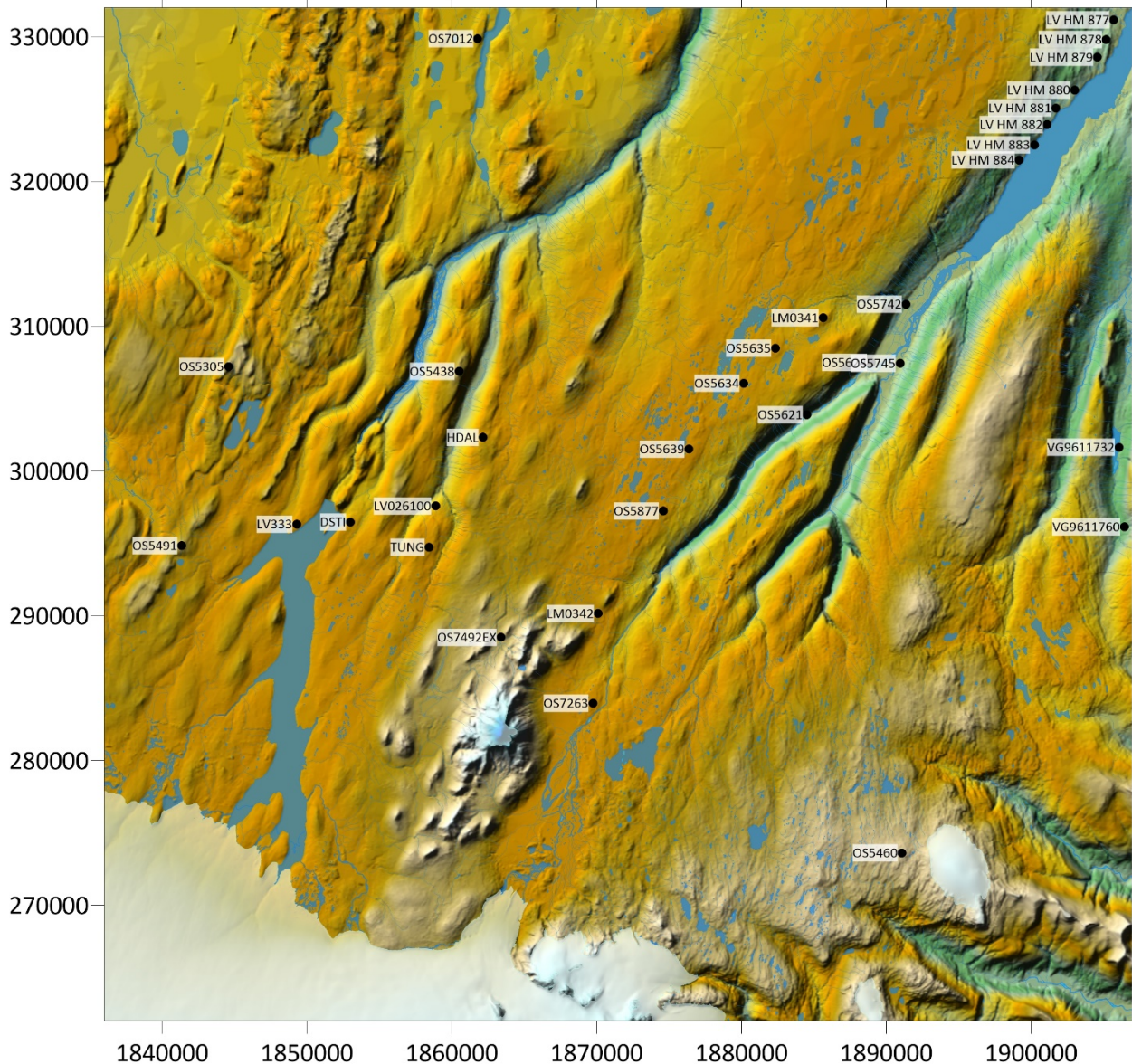
Kort 4. Niðurstöður útjöfnunar fyrir mæliлотur 3,4,8,9,14 og 14A.

Varpanir á ISN93 hnítum

Til þess að koma hnitum og sporvöluhæðum úr ISN93 yfir ISH2004 er ný útgáfa Landmælinga Íslands af Cocodati notuð. Þar er hægt í einu skrefi að varpa ISN93 sporvöluhæðum yfir í ISH2004. Fyrst er sporvöluhæðum komið yfir í ISN2004 með vörpunarneti. Eftir það eru geóíðufrávikin dregin frá sporvöluhæðum og þar með fáum við ISH2004 hæðir. Það sama á við um sporvöluhæðir í hinu nýja ISN2016.

Gagnasettið fyrir líkanagerð

Alls fundust 53 fastmerki. 30 merki voru fínhallamæld, 17 voru þríhyrningamæld, 3 voru ákvörðuð með flataraðferð Hnit og 3 hæðir voru af óþekktum uppruna. Eins og áður hefur komið fram þá er nákvæmnin í þríhyrningamældu merkjunum $\pm 10\text{--}20\text{ cm}$ og því eru þau ekki notuð nema á svæðum þar sem ekkert annað er til staðar. Þá var ákveðið að nota einungis þrjú fastmerki frá Verkfræðistofunni Hnit vegna þess misræmis sem greint hefur verið frá. Í endanlegu gagnasetti var notast við 25 fínhallamæld fastmerki, 5 þríhyrningamæld og 1 ákvarðað með fleti. Þríhyrningamældu fastmerkin eru einungis á norðvestur- og suðausturjaðri svæðisins. Fastmerkin má sjá á korti 5 og nánar upplýsingar um þau er að finna í töflu 2.

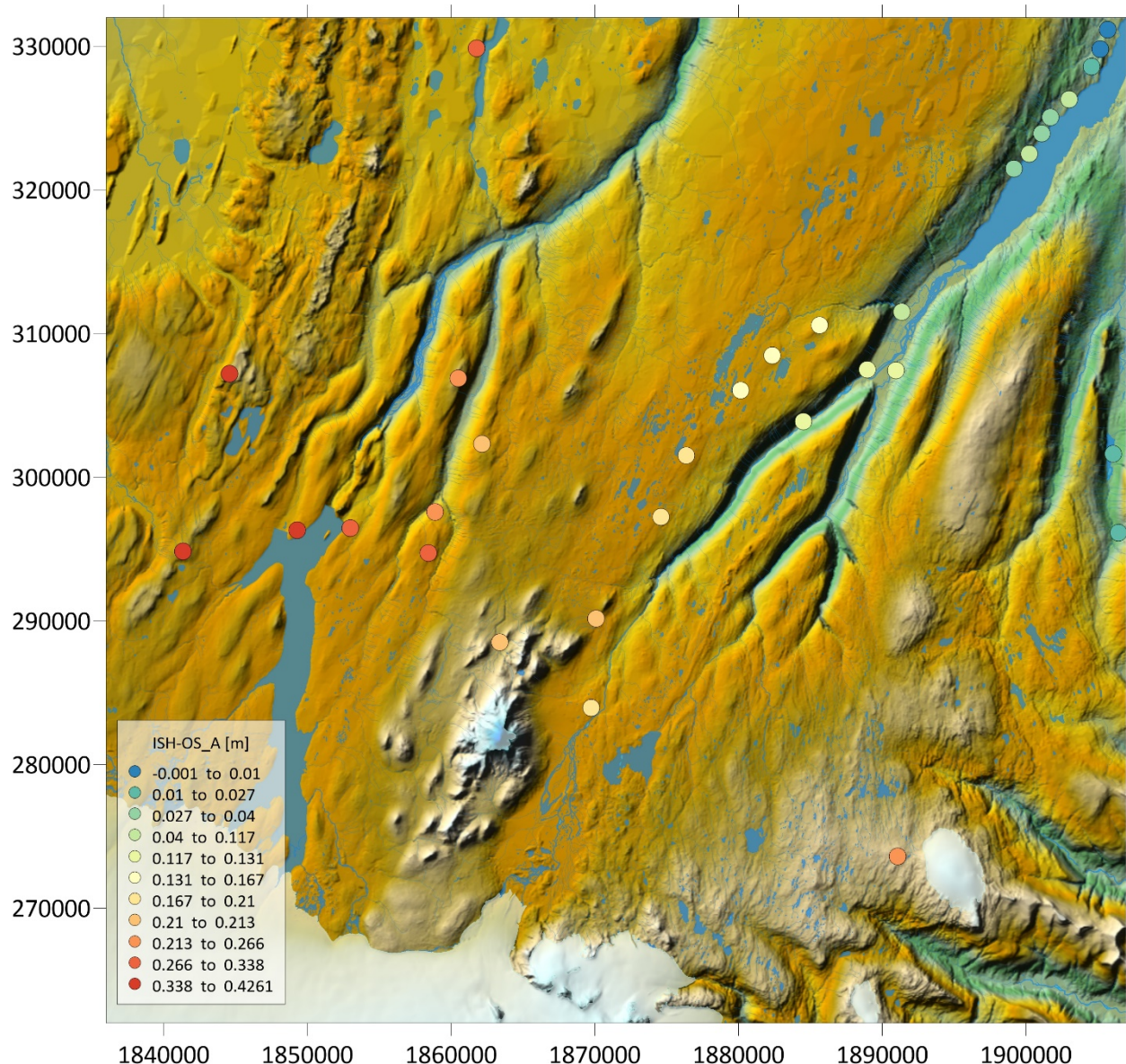


Kort 5. Fastmerki sem notuð voru við gerð líkansins á Kárahnjúkasvæðinu.

Punktur	Austur (m)	Norður (m)	h_ISN2004 [m]	H_ISH2004 [m]	H_OS_A [m]	dH [m]	Uppruni ISH2004	Uppruni OS_A	Tegund OS_A
LM0341	1885624	310577	709.876	644.385	644.254	0.131	ISN2004	OS-94045	FM
LM0342	1870098	290145	753.497	687.572	687.362	0.210	ISN2004	LMI-97	FM
OS5491	1841340	294840	894.592	828.346	827.920	0.426	ISN2004	OS-2000-24	T
OS5305	1844571	307212	979.421	913.333	912.910	0.423	ISNET97_repro	OS-90025	T
OS5438	1860489	306879	900.789	834.872	834.610	0.262	ISNET97_repro	OS-90025	T
OS5460	1891079	273613	1040.099	974.343	974.130	0.213	ISNET97_repro	OS-90025 +30.3cm	T
OS5621	1884523	303882	135.322	69.844	69.718	0.126	ISNET97_repro	OS-90025	FM
OS5624	1888954	307490	113.292	47.930	47.813	0.117	ISNET97_repro	OS-90025	FM
OS5634	1880147	306052	706.721	641.107	640.953	0.154	ISNET97_repro	OS-90025	FM
OS5635	1882333	308472	704.664	639.096	638.951	0.145	ISNET97_repro	OS-90025	FM
OS5742	1891363	311517	108.150	42.871	42.760	0.111	ISNET97_repro	OS-90025	FM
OS5745	1890940	307429	105.089	39.765	39.640	0.125	ISNET97_repro	OS-90025	FM
OS5877	1874585	297223	713.180	647.440	647.256	0.184	ISNET97_repro	OS-90025	FM
OS7263	1869731	283949	725.982	659.958	659.771	0.187	ISNET97_repro	OS-90025	FM
LV026100	1858866	297575	646.324	580.300	580.041	0.259	KAR 2003-171	KAR-LV2002	FM
LV333	1849283	296314	722.672	656.528	656.190	0.338	KAR 2003-171	KAR 2003-171	FM
OS5639	1876360	301507	731.919	666.230	666.063	0.167	ISNET97_repro	OS-90025	FM
OS7492EX	1863390	288501	902.162	836.012	835.800	0.212	KAR 2003-171	KAR 2003-171	Flötur
DSTI	1852987	296467	692.813	626.704	626.368	0.335	LV-2010/083	KAR-LV2002/2018	FM
HDAL	1862141	302312	770.535	704.588	704.378	0.210	LV-2010/083	KAR-LV2002/2018	FM
TUNG	1858415	294730	745.124	679.044	678.778	0.266	LV-2010/083	KAR-LV2002/2018	FM
VG9611732	1906069	301633	223.104	157.950	157.929	0.021	VG-Grunnur	VG-Grunnur	FM
VG9611760	1906431	296133	371.830	306.688	306.677	0.010	VG-Grunnur	VG-Grunnur	FM
LV HM 877	1905704	331156	124.966	60.180	60.177	0.003	VG-Grunnur	OS-90025	FM
LV HM 878	1905184	329805	179.405	114.592	114.593	-0.001	VG-Grunnur	OS-90025	FM
LV HM 879	1904576	328574	159.331	94.495	94.476	0.019	VG-Grunnur	OS-90025	FM
LV HM 880	1903002	326313	127.869	62.975	62.935	0.040	VG-Grunnur	OS-90025	FM
LV HM 881	1901703	325063	131.731	66.788	66.754	0.034	VG-Grunnur	OS-90025	FM
LV HM 882	1901109	323925	111.125	46.161	46.128	0.033	VG-Grunnur	OS-90025	FM
LV HM 883	1900224	322525	87.045	22.053	22.013	0.040	VG-Grunnur	OS-90025	FM
LV HM 884	1899159	321478	119.504	54.474	54.447	0.027	VG-Grunnur	OS-90025	FM
OS7012	1861779	329862	671.428	605.699	605.430	0.269	ISNET97_repro	OS-2000-24	T

Tafla 2. Fastmerki notuð við líkanagerð á Kárahnjúkasvæðinu.

Áhugavert er að skoða dreifinguna á hæðarmismun milli kerfanna sem sett er fram á korti 6. Mestur er munurinn á vesturhluta svæðisins en minnar svo til norðausturs þegar fjær dregur Vatnajökli. Þessi dreifing passar að sumu leiti við þær hæðarbreytingar á landi sem mældar hafa verið í grunnstöðvanetinu. Þó virðist sem hæðarmunur sé aðeins of mikill á vesturhluta svæðisins. OS_Austur hæðir þriggja fastmerkjanna (OS5491, OS5305 og OS7012) eru ákvörðuð með príhyrningamælingum og því ekki nákvæmar. Uppruninn á OS_Austur hæðinni á LV333 er nokkuð óljós, en sporvöluhæð þess fastmerkis var staðfest með mælingum Landsvirkjunar árið 2017 (Jón Búi og Theodór Theodórsson, 2017). Þá eru mælingarnar á DSTI nokkuð áreiðanlegar. Orsökina getur verið einhver skekkja í hæðarnetinu. Netið er mælt á 30 ára tímabili og engar lykkjur í því til að útiloka skekkjur t.d. vegna staðbundinna breytinga í fastmerkjum sem tengt er við í seinni mælingum.



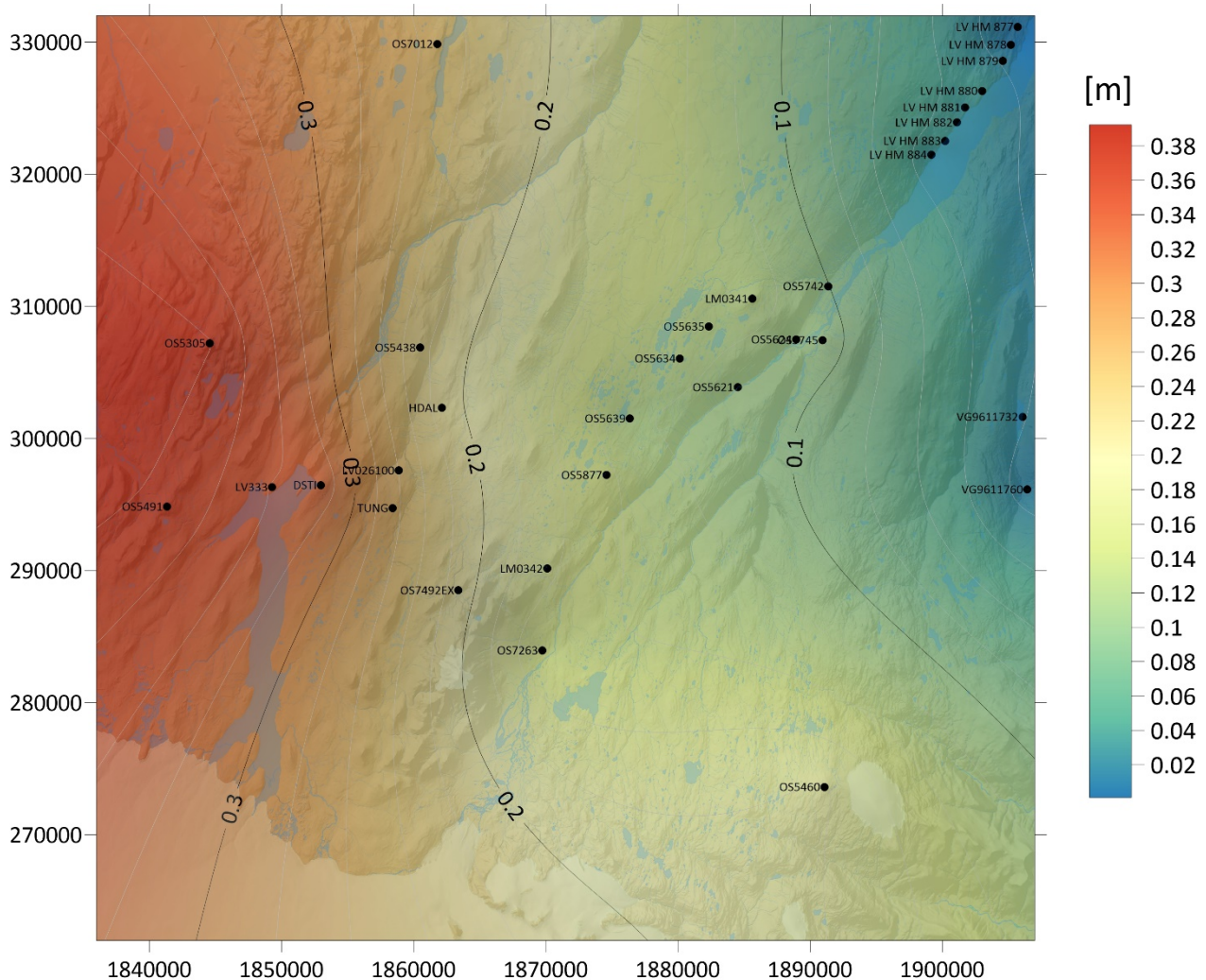
Kort 6. Hæðarmunur á fastmerkjum í líkaninu á Kárahnjúkasvæðinu.

Líkanagerð í Surfer

Líkan af hæðarmun milli ISH2004 og hæðarkerfi Orkustofnunar á Austurlandi var reiknað í forritinu Surfer með brúunaraðferð sem kallast Kriging eða hæðarbrúun á íslensku. Hæðarbrúun er sú aðferð sem lágmarkar vænta ferskekkju og er línuleg samantekt. Upplýsingar um hæðarbrúun er að finna víða en í Surfer er vísað í bókina An Introduction to Applied Geostatistics eftir E.H. Isaaks og R.M. Srivastava. Svokallað dreifnirit (variogram) er fyrst reiknað til þess að meta m.a. svokallað nugget effect, sem segir til um hugsanlegar skekkjur í gagnasettinu auk þess að segja til um fjarlægðar áhrif í gagnasettinu. Fastmerki sem eru nær þeim punkti sem reiknaður er hverju sinni hafa meiri áhrif en þau sem eru fjær.

Upplýsingarnar úr dreifniritinu eru síðan notaðar til að stilla af parametra fyrir hæðarbrúunina. Í raun væri hægt að láta sem það væri engin skekkja og láta líkanið falla algerlega að mælipunktunum. Það er hins vegar sjaldnast gert þar sem líkanið yrði þá allt í allt í hólum og holum í kringum gagnapunktana ef hegðun þeirra er ekki alveg í takt við hegðun nærliggjandi fastmerkja.

Líkanið féll mjög vel að gagnapunktunum og voru frávik þess á bilinu -6 mm til +5 mm. Líkanið endurspeglar vel muninn á hæðarkerfunum á þeim svæðum sem við höfum góð gögn en óvissan er meiri á þeim svæðum þar sem þau vantar. Óvissan er mest í norðvestur-, vestur- og suðurhluta líkansins vegna skorts á gögnum.



Kort 7. Líkan mismun milli hæðarkerfi Orkustofunnar á Austurlandi og ISH2004.

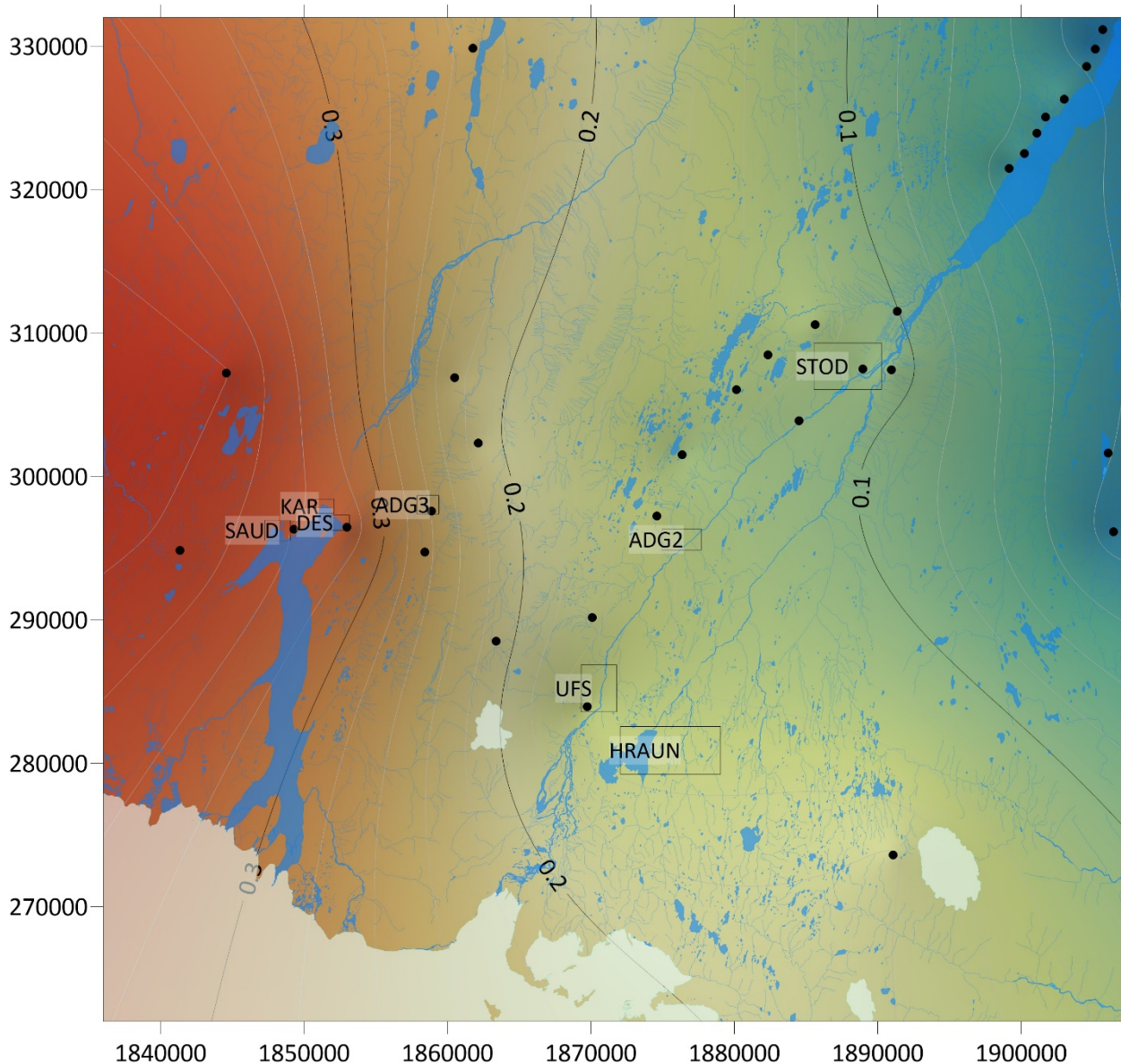
Notkun líkansins

Líkanið er upprunalega á Golden Software Binary Grid formi. ArcGIS og QGIS lesa þetta form og auðvelt er að breyta því í önnur form t.d. geotiff eða gtx. Til að nota líkanið er hægt að lesa frávik beint úr því fyrir vissa staðsetningu eða nota skipun eins og Extract Value to Points ef við höfum fastmerki í *.shp skrá. Þá myndast ný *.shp skrá með dálki sem inniheldur frávikin. Ef við ætlum að breyta úr kerfi

Orkustofnunnar yfir í ISN2004 bætum við gildinu (frávíkinu) við hæð fastmerkisins og drögum það frá ef við erum að fara úr ISH2004 yfir í OS kerfið.

Svæðisgreining

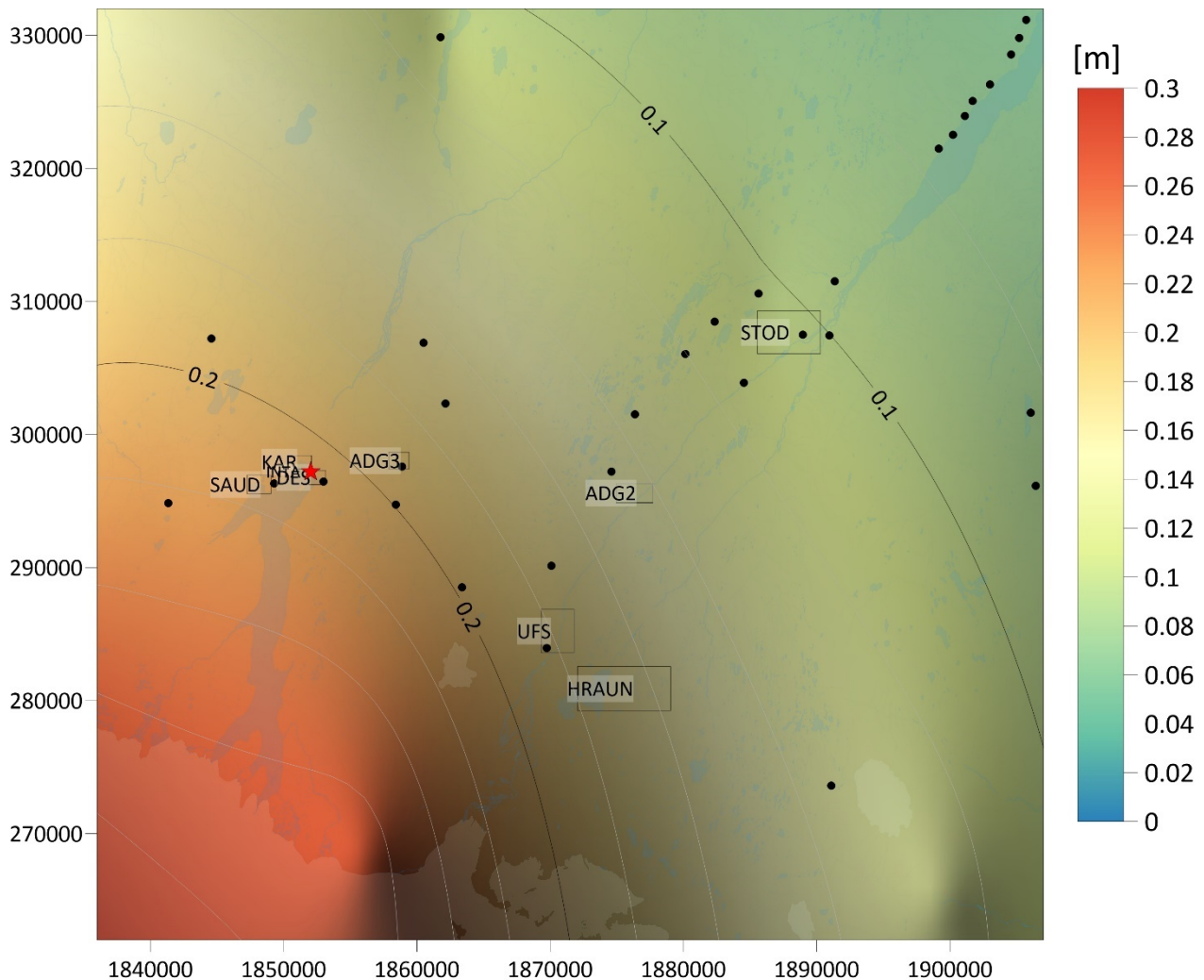
Eftir að skýrslan um hæðarmuninn á Þjórsársvæðinu kom út var óskað eftir því fá greiningu á hæðarmismun eftir svæðum þar sem mannvirki Landsvirkjunar eru staðsett. Markmiðið var að fá einn fasta fyrir hvert svæði. Óskað var eftir átta svæðum til greiningar og má sjá þau á korti 7. Fínhallamæld fastmerki eru innan eða í nágrenni flestra svæðanna og því ættu gildin að vera nokkuð nákvæm fyrir svæðin.



Kort 8. Svæði til greiningar á Kárahnjúkasvæðinu.

Þar sem talsverðar hæðarbreytingar eiga sér stað á Íslandi er einnig mikilvægt að skoða breytingarnar á svæðinu síðan 2004 sem er viðmiðunnartími ISH2004. Þegar líkan af hæðarmuninum milli ISN2004 og ISN2016 er skoðað sjáum við að landrисиð við stöðvarhúsið er um 10 cm á tímabilinu, en rúmlega 20 cm við Kárahnjúkastífluna. Reiknaður hefur verið hæðarmunur fyrir svæðin þannig að hægt er að sjá hvaða hæðarmismun má búast við ef mælt er í ISN2016. Reyndar er hægt í nýrri útgáfu í Cocodati að slá inn hnit og sporvöluhæðir í ISN2016 og fá beint út hæðir í ISH2004 þar sem leiðrétt hefur verið fyrir landrisinu.

Jarðstöðin INTA sem er á Inntakshúsinu við Kárahnjúkastíflu er hluti af IceCORS neti Landmælinga Íslands. Gerð hefur verið greining á tímaröð stöðvarinnar frá ársbyrjun 2008 til loka árs 2016. Á þessu tímabili er rishraði stöðvarinnar 15.4 mm/ári ± 0.4 mm. Árið 2014 færðist stöðinn um 32 mm til austur vegna eldgossins í Holuhrauni, en ekki urðu markverðar breytingar á hæð stöðvarinnar.



Kort 9. Líkan af hæðarmismun milli ISN2004 og ISN2016.

Svæðisgreininguna er að finna í töflu 3. Munur innan svæðanna er öllum tilfellum innan við 2 cm. Mestur er hann við Sauðárdalsstíflu 1.9 cm, en þar er líkanið líklega veikast vegna áhrifa frá þríhyrningamældum fastmerkjum. Því er nokkuð öruggt að nota þessa fasta þegar unnið er innan svæðanna.

Svæði	Meðaltal [m]	Hámark [m]	Lágmark [m]	Mismunur [m]	Staðalfrávik [m]	ISN93/OS_A	ISN2004 [m]	ISN2016 [m]
ADG2	0.177	0.183	0.171	0.012	0.004	0	0.177	0.321
ADG3	0.265	0.272	0.258	0.014	0.006	0	0.265	0.457
DES	0.334	0.335	0.331	0.004	0.002	0	0.334	0.542
HRAUN	0.192	0.196	0.187	0.009	0.002	0	0.192	0.357
KAR	0.337	0.339	0.336	0.003	0.002	0	0.337	0.543
SAUD	0.354	0.364	0.345	0.019	0.007	0	0.354	0.569
STOD	0.122	0.128	0.118	0.010	0.003	0	0.122	0.225
UFS	0.193	0.197	0.191	0.006	0.002	0	0.193	0.371

Tafla 3. Svæðisgreining á Kárahnjúkasvæðinu.

Blöndusvæðið

Skilgreining á úrvinnslu

Einungis fannst eitt sameiginlegt fastmerki í hæðarkerfunum fyrir sumarið 2018, OS5202 sem er rétt sunnan við byggðina á Blönduósi. Munurinn á OS hæð og ISH2004 hæðinni er -5.4 cm. Það er OS hæðinn er 5.4 cm hærri en ISH2004 hæðin. Sumarið 2018 ákváðu Landmælingar Íslands að mæla frá þjóðvegi 1 og inn Blöndudalinn eins langt suður hægt væri á tveim vikum með trígónómetrískum hæðarmælingum. Tæplega 50 km voru mældir og náðist að mæla 14 fastmerki sem höfðu hæðir í hæðarkerfi Orkustofunnar. Þar af höfðu 12 verið mæld með fínhallamælingum. Nánari grein verður gerð fyrir úrvinnslu á hæðarmælingunum síðar í skýrslunni. Til þess að styrkja líkanið þarf einnig að skoða GPS mælingar sem eru á svæðum utan línunnar sem mæld var sumarið 2018. Þá gefst einnig tækifæri á að meta gæði geóíðunar á svæðinu þar sem nokkur fastmerki hafa verið fínhallamæld í báðum kerfum og auk þess mæld með GPS.

Heimilda- og gagnaöflun

Megin heimildin um hæðarkerfi Orkustofunnar við Blöndu er skýrslan Þríhyrninganet og hæðanet við Blöndu 1982 eftir Gunnar Þorbergsson. Í henni er yfirlit yfir þær mælingar sem gerðar voru á árunum 1958-1983. Þá er nýlegri skýrslan eftir Jón Búa og Theodór Theodórsson sem heitir GNSS(GPS) mælingar fastmerkjanets vegna virkjana á veituleið Blönduvirkjunar. Þar er að finna upplýsingar um nýlegar GNSS mælingar á svæðinu en einnig hæðir á nokkrum fastmerkjum í hæðarkerfi Orkustofunnar.

Þegar kom að því að finna GPS mælingar á svæðinu þá var megin uppsprettan þær mælingar sem gerðar voru árið 1998 af Orkustofnun, Landmælingum Íslands, Vegagerðinni, Landsvirkjun og Landssímanum. En þessar mælingar voru gerðar til þess að tengja eldri net Orkustofunnar við hið nýja ISN93 (Gunnar Þorbergsson, o.fl., 1998). Þá voru þrjú önnur fastmerki mæld í ISNET95 mælingunum (Ingvar Þór Magnússon, 2003).

Úrvinnsla á trígónómetrískum hæðarmælingum

Hæðarmælingar í Landshæðarneti höfðu legið niðri síðan 2013. Ákveðið hafði verið að halda þeim áfram þar sem frá var horfið á Kili og mæla frá Innri Skúta og norður eftir. Þegar þetta verkefni kom upp var hins vegar ákveðið að byrja við þjóðveg 1 í Langadal og mæla suður eftir, með það að markmiði að mæla sem flest fastmerki sem höfðu hæðir í hæðarkerfi Orkustofunnar. Mælt var með trígónómetrískum hæðarmælingum í tvær vikur. Ein í júlí og önnur í ágúst. Mælingarnar gengu vel og náðist að mæla um 47 km, eða inn að Áfangafellshala. Reynt var að notast eingöngu við fastmerki sem voru á svæðinu. Auk þeirra fastmerkja sem mælingamenn höfðu upplýsingar um fundust gömul merki frá Vegagerðinni. Bæði rör og boltar í klöppum. Unnar hafa verið bráðabirgðahæðir úr þessum mælingum. Leiðrétt var fyrir þyngd og hæðarbreytingum og normalhæðir reiknaðar eins og lýst er í tækniskýrslu um ISH2004. Þyngdarleiðréttingin á svæðinu var allt að 24 mm en leiðrétting fyrir hæðarbreytinu á landi síðan 2004 fór niður í -63 mm. Þegar hæðirnar voru bornar saman við OS hæðirnar munar á bilinu 2 mm upp í 27 mm fyrir fastmerki sem hafa verið hallamæld í báðum kerfum. Fastmerkið FM-216 er þó undantekning en þar munar 195 mm. Merkið er staðsett í steini við Þrístiklu og er líklegasta skýringin á þessu er frostlyftingar. Hæðir tveggja fastmerkja höfðu verið þríhyrningamældar í OS kerfinu og þar munaði 38 mm annarsvegar og 79 mm hinsvegar.

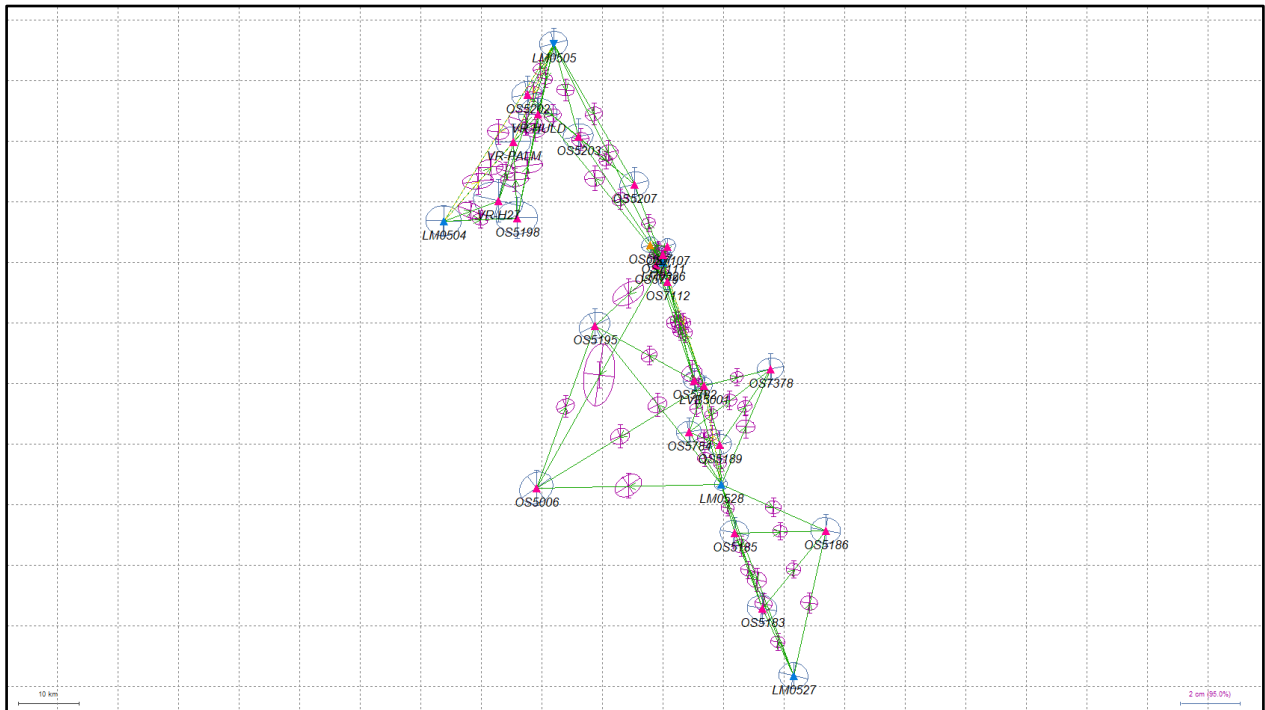


Kort 10. Trigonómetriskar finhallamælingar sumarið 2018.

Úrvinnsla GPS mælinga

Unnið var úr GPS mælingunum frá 1998 í forritinu GrafNet. Alls var unnið úr mælingum 27 fastmerkjum. Þessi fastmerki voru mæld í 7 mælilotum. Lotunúmer voru eftirfarandi 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11 og 18.

Upplýsingar um loturnar og loftnetshæðir er að finna á bls. 11 í skýrslunni GPS-mælingar á Norðurlandi vegna tengingar þríhyrninganeta við landsnet með viðmiðun ÍSN93. Ákveðið var að jafna mælingunum út í ISN93 en staðalfrávik á kontról punktum var haft 5 mm í legu og 10 mm í hæð til þess að þvinga ekki lausnina of mikið. 95% nákvæmni í legu var metin 5 mm og 17 mm í hæð eftir útjöfnun. Þetta verður að teljast nokkuð gott miðað við að mælitíminn í fastmerkjunum var einungis 3 klst. Niðurstöðurnar voru mjög sambærilegar þeim í skýrslu Gunnars Þorbergssonar um mælingarnar, mest munaði um 10 mm í legu og 50 mm í hæð, en það frávik skar sig nokkuð úr því í öðrum fastmerkjum munar sjaldnast meira en 10 mm. Niðurstöðunum var síðan varpað yfir í ISN2004 með Cocodati.



Gagnasett fyrir líkanagerð

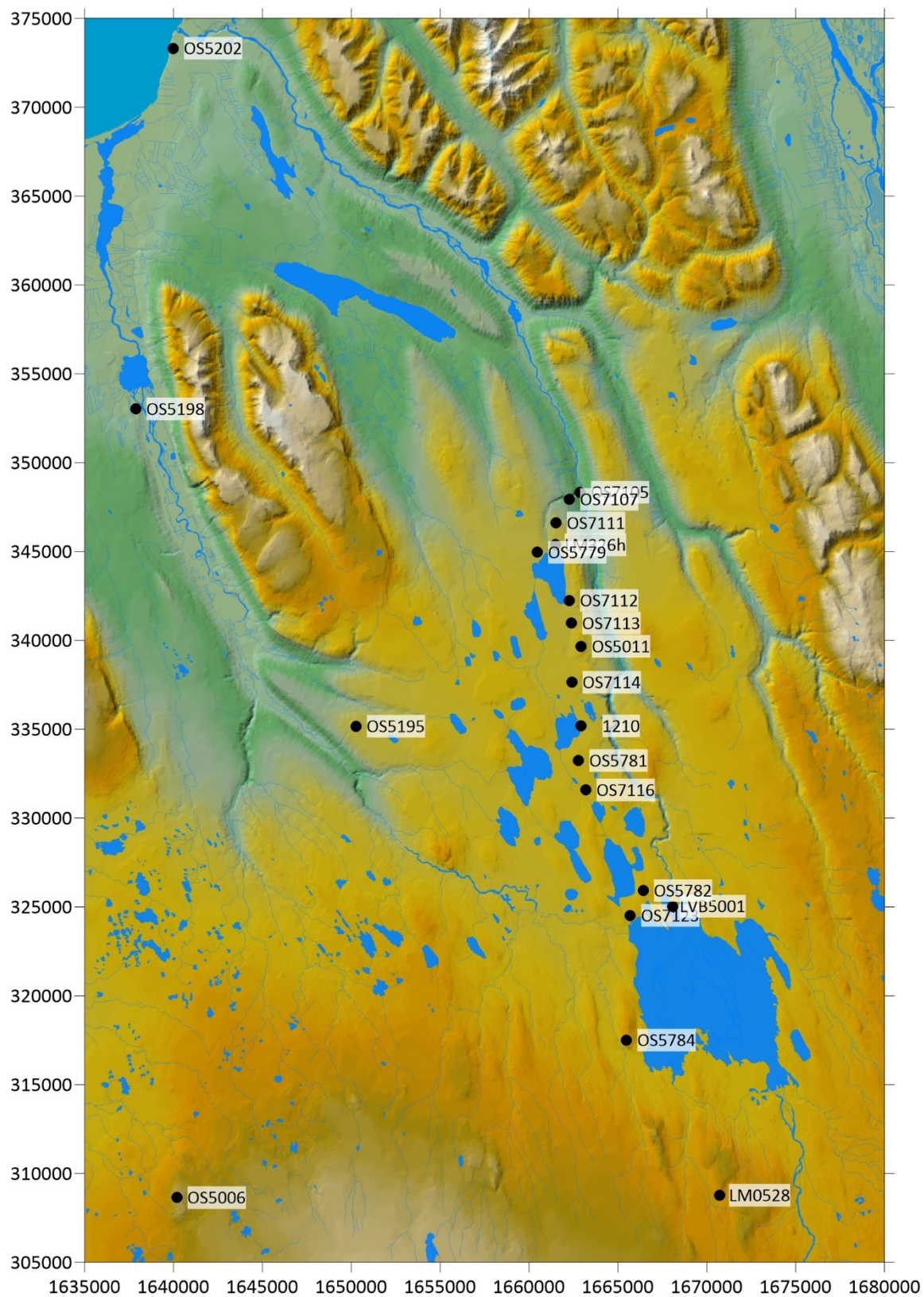
Alls fundust 34 fastmerki með hæðum í báðum kerfum. 13 merki voru fínhallamæld í báðum kerfum, 5 voru fínhallamæld í kerfi OS en ISH2004 hæðir fengnar með geóíðu. Hæð á grunnstöðinni LM0528 í kerfi OS var ákvörðuð með fínhallamælingum og hæðarflutningi með vatnsborðsmæli yfir Blöndulón en með geóíðu í ISH2004. 3 fastmerki voru fínhallamæld í ISH2004 en þríhyrningamæld í kerfi OS. Að lokum voru 12 merki sem höfðu geóíðuhæðir í ISH2004 og þríhyrningamældar hæðir í kerfi OS. Eins og áður hefur komið fram þá er nákvæmnin í þríhyrningamældu merkjunum lakari og því eru þau ekki notuð nema á svæðum þar sem ekkert annað er til staðar. Stærstu fávikin sem koma fram í þessum merkjum er allt að 40 cm, en þar hafa hæðir verið fluttar með þríhyrningamælingum um nokkuð langan veg. Þar sem styttra er á milli fastmerkja er minna misræmi í þessum mælingum en samt nokkuð ljóst að þær eru ekki jafn nákvæmar.

6 fastmerki sem mæld voru sumarið 2018 höfðu einnig verið mæld með GPS árið 1998. Þetta gefur okkur vísbendingu um nákvæmni geóíðunnar á svæðinu, en nákvæmni GPS mælinganna hafa vissulega einnig áhrif á þennan samanburð. Munurinn var á bilinu -12 mm og upp í 26 mm sem er það sem búast mátti við og í raun erfitt að segja hvort munurinn stafi af ónákvæmni í geóíðunni eða GPS mælingunum.

Í endanlegu gagnasetti fyrir líkanagerð var ákveðið að nota 12 fastmerki með fínhallamælingu í báðum kerfum, 6 merki með GPS og fínhallamælingu, eitt með fínhallamælingu í ISH2004 og þríhyrningamælingu í kerfi OS og 3 merki með GPS og þríhyrningamælingu. Í gagnasettinu eru stærstu fávikin í grunnstöðvanets punktunum -7.8 cm í LM0505 sem er nyrst í gagnasettinu og 4.9 cm í LM0528 sem er syðst í gagnasettinu. Munurinn skýrist helst af hæðarbreytingum á landi og að ekki var leiðrétt fyrir þyngd í hæðarkerfi Orkustofunnar. Afstæður hæðarmunur milli grunnstöðvanna var 6.3 cm á árunum 1993 og 2004. Ef tekið hefði verið tillit til þyngdar í OS kerfinu má ætla að hæðin á LM0528 væri um 3 cm hærri. Eftir standa 3.4 cm sem skrifa má á skekkjum í mælingum og hæðarbreytingar fyrir 1993. Það er ekkert sérlega mikið á 70 km. Helstu upplýsingar um gagnasettið er að finna í töflu 4 og yfirlitskort er að finna á korti 12.

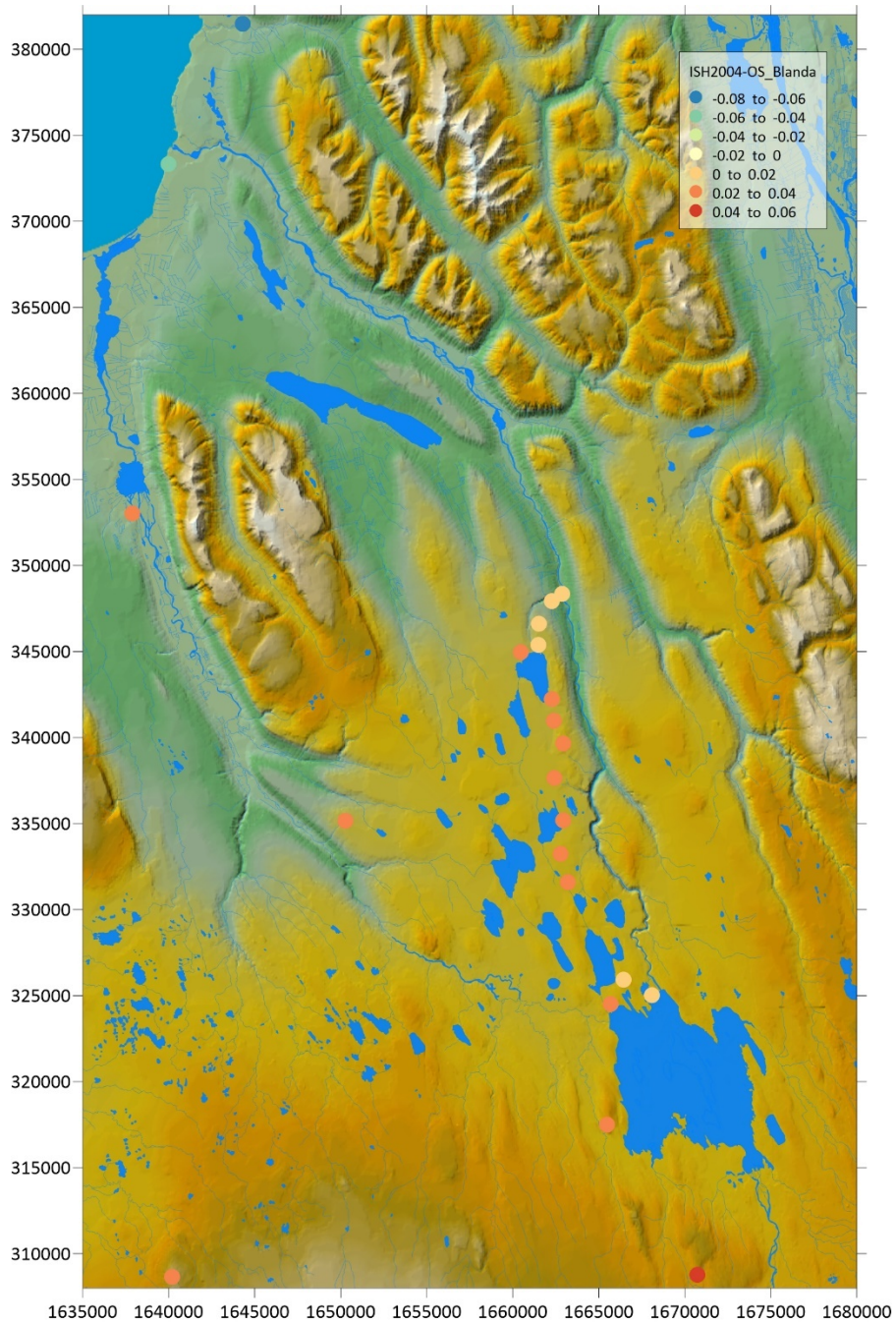
Fastmerki	Austur [m]	Norður [m]	ISH2004 [m]	OS-Blanda [m]	ISH-OS [m]	Tegund ISH/OS	Uppruni ISH	Uppruni OS
OS7105	1662874	348337	155.153	155.140	0.013	F/F	TM-2018	OS-83
OS7107	1662269	347932	281.519	281.517	0.002	F/F	TM-2018	OS-83
OS7111	1661527	346601	402.414	402.412	0.002	F/F	TM-2018	OS-83
LM326h	1661492	345373	415.424	415.407	0.017	F/F	TM-2018	LV-93
OS7112	1662266	342244	423.847	423.822	0.025	F/F	TM-2018	OS-83
OS7113	1662391	340964	426.645	426.618	0.027	F/F	TM-2018	OS-83
OS7114	1662411	337641	439.179	439.154	0.025	F/F	TM-2018	OS-83
1210	1662939	335182	443.781	443.756	0.025	F/F	TM-2018	OS-83
OS5781	1662790	333235	470.141	470.115	0.026	F/F	TM-2018	OS-83
OS7116	1663200	331576	465.415	465.394	0.021	F/F	TM-2018	OS-83
OS7123	1665700	324518	489.239	489.217	0.022	F/F	TM-2018	OS-83
LM0505	1644317	381472	61.812	61.890	-0.078	F/T	ISH2004	VG-94
LM0528	1670732	308776	551.874	551.824	0.049	GPS/F og Vatnsborð	ISN2004	LV-93
LVB5001	1668090	325037	482.909	482.900	0.009	GPS/F	ISNET98 repro	LV-2017
OS5006	1640187	308642	711.637	711.610	0.026	GPS/T	ISNET98 repro	OS-83
OS5195	1650268	335164	440.310	440.280	0.030	GPS/F	ISNET98 repro	OS-83
OS5198	1637873	353020	114.833	114.810	0.023	GPS/T	ISNET98 repro	OS-83
OS5779	1660470	344950	424.804	424.783	0.021	GPS/F	ISNET98 repro	OS-83
OS5782	1666423	325917	505.375	505.366	0.009	GPS/F	ISNET98 repro	OS-83
OS5784	1665490	317504	566.197	566.160	0.037	GPS/T	ISNET98 repro	OS-83
OS5011	1662933	339659	491.233	491.200	0.033	GPS/F	ISNET95	OS-83
OS5202	1639980	373314	43.716	43.770	-0.054	F/F	ISH2004	OS-83

Tafla 4. Fastmerki notuð við líkanagerð á Blöndusvæðinu.



Kort 12. Fastmerki sem notuð voru við gerð líkansins á Blöndusvæðinu.

Þó að hæðarmunur á milli kerfa virðist ekki jafn mikill og á öðrum svæðum þá er áhugavert að skoða hvernig hann dreifist og er hann settur fram á korti 13. Eining hæðarmun á korti er í metrum.

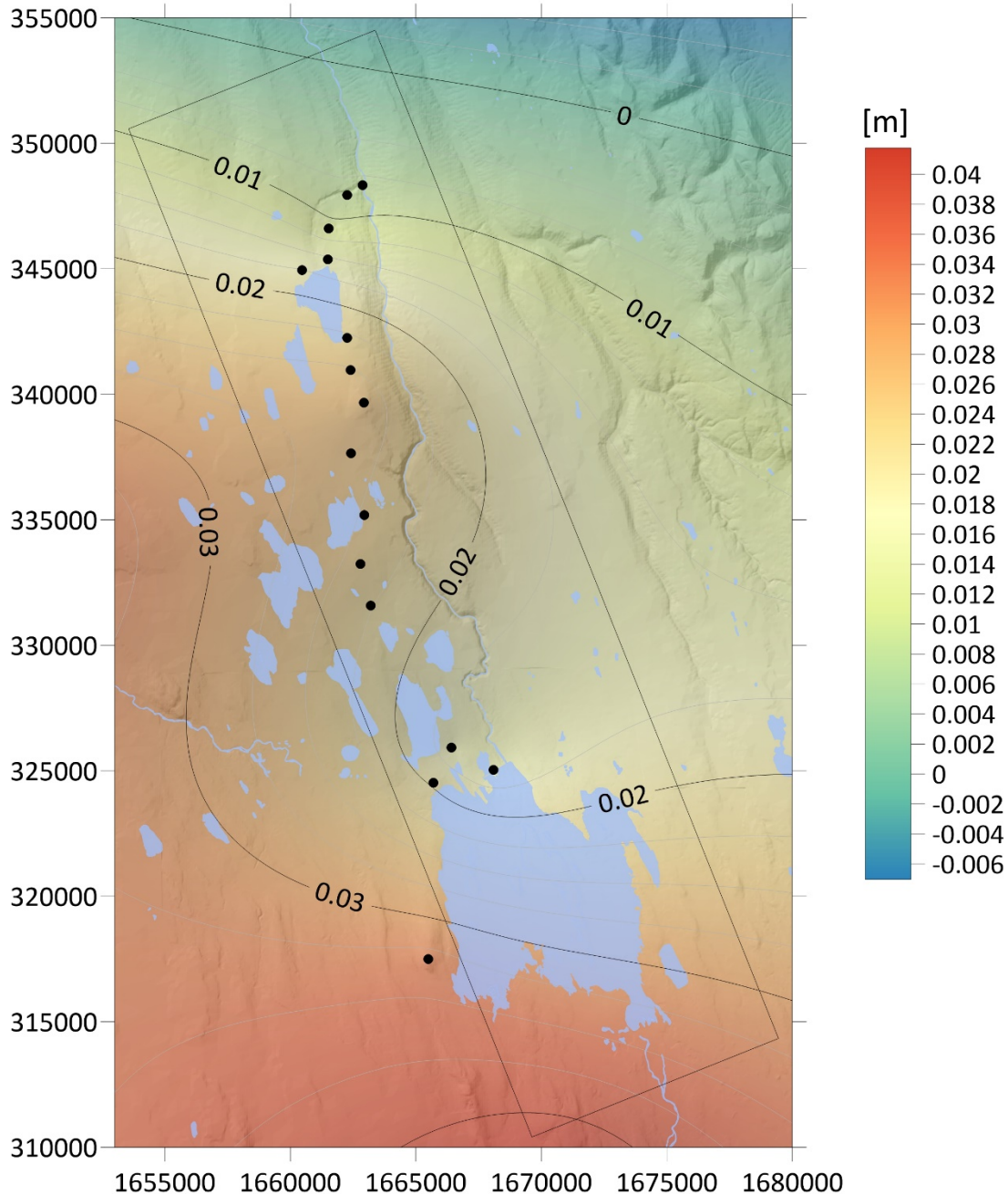


Kort 13. Hæðarmunur á fastmerkjum í líkaninu á Blöndusvæðinu.

Við sjáum að nær öll fastmerki milli Gilsárlóns og Blöndulóns hafa frávik á bilinu 2-4 cm, og í raun eru þau á bilinu 2-3 cm. Norðan við Gilsárlón er munurinn á bilinu 0-2 cm og það sama á við tvö merki við Blöndulón. Mismuninn við Blöndulón má skýra með ónákvæmni í GPS mælingum en erfiðara er að skýra muninn norðan Gilsárlóns.

Líkanagerð í Surfer

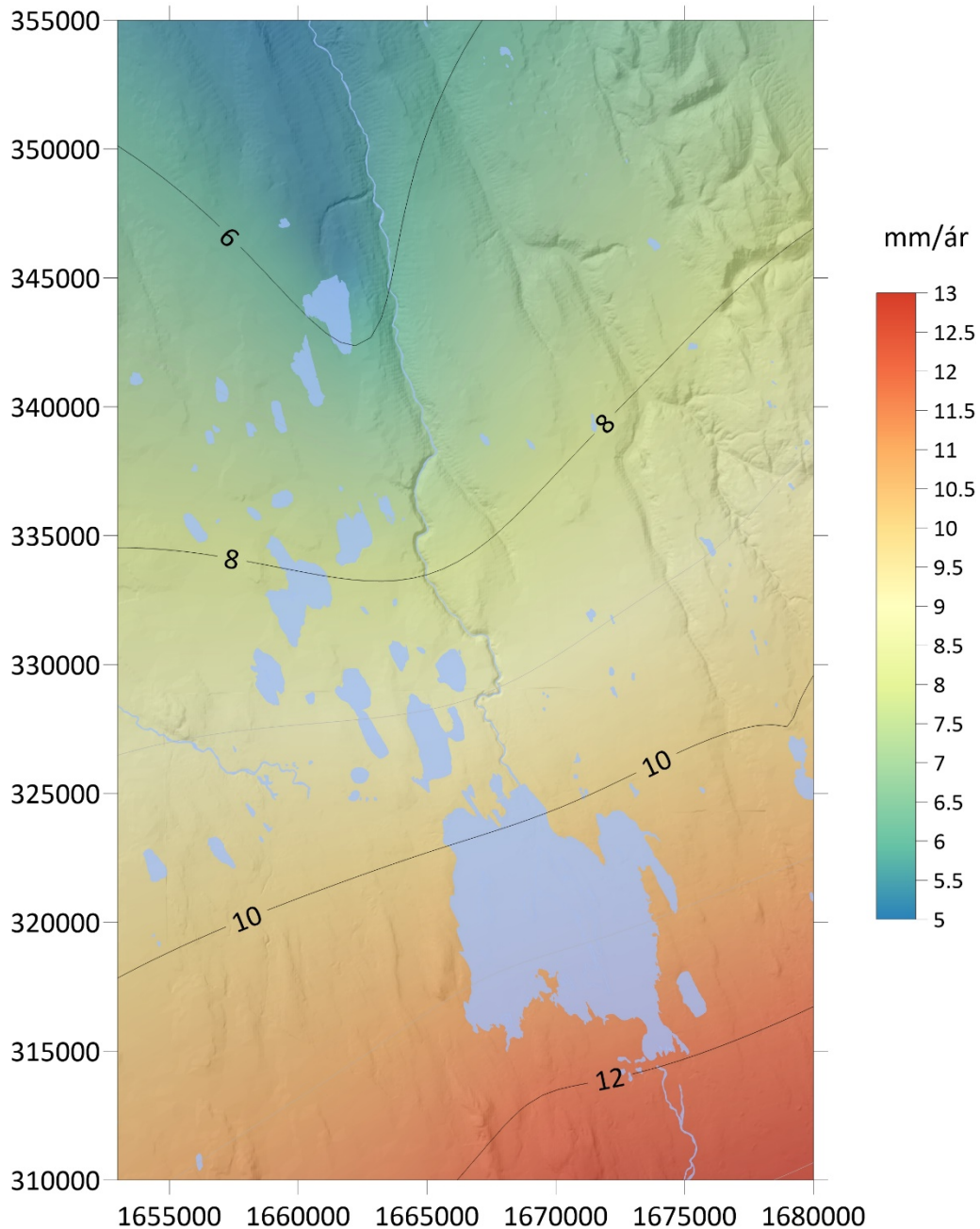
Ákveðið var að gera líkan sem einungis næði yfir áhrifasvæði Blönduvirkjunar en ekki allt svæðið sem hæðarkerfi Orkustofunnar nær yfir. Líkanið var gert í Surfer á sama hátt og lýst er fyrir Kárahnjúkasvæðið. Líkanið fellur vel að gagnapunktunum og eru stærstu frávikin um ± 5 mm. Varla er þörf á svæðisgreiningu fyrir svæðið þar sem munurinn svo lítill. Helsti veikleiki líkansins er norðvestur hluti þess, en þar hafa ekki fundist nein gögn sem eru í hæðarkerfi Orkustofnunar.



Kort 14. Líkanið á áhrifasvæði Blönduvirkjunar.

Landris á svæðinu

Eins og áður hefur komið fram í þessari skýrslu þá hefur landris aukist á Íslandi síðustu áratugi vegna bráðnunar jökla. Því er ekki úr vegi að skoða hvernig það lítur út fyrir áhrifasvæði Blönduvirkjunar. Landmælingar Íslands hafa gert líkan af landrisinu sem byggt er á gögnum úr ISNET2004 og ISNET2016 mælingunum auk færsluhröðum frá GNSS jarðstöðvum. Þetta líkan var notað til þess að leiðrétta hallamælingarnar sem gerðar voru sumarið 2018. Það sýnir að landrisið við Gilsárlón er um 6 mm á ári en riðsið sunnan við Blöndulón er um 12 mm á ári.



Kort 15. Landris á áhrifasvæði Blönduvirkjunar.

Áhugavert er að bera saman hæðarbreytingar í grunnstöðvunum LM0326 og LM0528 fyrir tímabilið 1993 til 2004 og síðan 2004 til 2016.

Grunnstöð	Ris 1993-2004 [mm]	Ris 2004-2016 [mm]	Aukning [mm]
LM0326	29	59	30
LM0528	60	156	96

Tafla 5. Landris í LM0326 og LM0528

Þarna sjáum við umtalsverðar aukningu á landrisi í báðum stöðvum. Þá sérstaklega í LM0528. Afstæð hæðarbreyting fyrir fyrra tímabilið var 30 mm en 96 mm fyrir seinna tímabilið. Þetta er aukning sem vert er að fylgjast með í framtíðinni. Það kemur í þó sjálfu sér ekki á óvart að landrisið sé meira í LM0528 þar sem grunnstöðin er mun nærri Langjökli og Hofsjökli.

Niðurstöður og umræður

Hæðarbreytingar á landi eru megin skýringin á breytilegum mismun á milli Hæðarkerfi Orkustofnunnar á Austurlandi og ISH2004. Þó hafa skekkjur og minni nákvæmni í hæðarmælingum samanborið við greininguna sem gerð var á Suðurlandi einhver áhrif. Einnig eru merki um að landris sé ein af skýringunum fyrir muninum á Blöndusvæðinu en þar er landrisið talsvert minni.

Megin orsök hæðarbreytinganna er bráðnun jökla og virðist landið bregðast nokkuð hratt við breytingum á jökulfargi. Greining á tímaröðum frá jarðstöðvum fyrir tímabilið 1997 til 2014 sýnir aukningu í landrisi á miðhálandinu upp á 1-2 mm/ári² (Comton, o.fl., 2015). Frá árinu 2015 hefur afkoma Vatnajökuls verið í meira jafnvægi (Veðurstofa Íslands, o.fl., 2018) og samhliða því virðist draga úr landrisi í a.m.k. sumum jarðstöðvum t.d. JOKU (Jökulheimar) og HOFN (Höfn í Hornafirði). Ekki er að merkja miklar breytingar í INTA (inntak Kárahnjúkavirkjun) enn sem komið er.

Það getur verið flókið að viðhalda nákvæmu hæðarkerfi í þessu breytilega umhverfi. Mikilvægt er að vakta breytingarnar með endurteknum mælingum. Besta leiðin til þess er að framkvæma reglulega GNSS mælingar í völdum fastmerkjum á því svæði sem vakta á, auk þess að nota upplýsingar frá jarðstöðvum séu þær til staðar. Samhliða GNSS mælingunum er hægt að nota bylgjuvíxl-mælingar (INSAR) frá gervitunglum eins og Sentinel-1 til þess að fá meiri upplausn og greina staðbundna afmyndun. Sé þessum aðferðum blandað saman og INSAR gögnin leiðrétt með GNSS mælingunum er hægt að fá ansi nákvæmt mat á því sem er að gerast.

Heimildir

- Axel G. Einarsson, Jón Búi, Per Henje, Theodór Theodórsson (1993). Hæðarmæling vegna ÍSNET93. Landsvirkjun, Reykjavík.
- Benedikt Gunnar Ófeigsson, Erik Sturkel, Halldór Ólafsson, Páll Einarsson og Jón Thuy Xuan Búi (2006). GPS network measurements in the Kárhnjúkar Area 2005. Landsvirkjun, Reykjavík.
- Benedikt Gunnar Ófeigsson, Erik Sturkel, Halldór Ólafsson, Páll Einarsson og Jón Thuy Xuan Búi (2010). GPS network measurements in the Kárhnjúkar Area 2009. Landsvirkjun, Reykjavík.
- K. Compton, R. Bennett, Hreinsdóttir S. (2015) Climate driven vertical acceleration of Icelandic crust measured by CGPS geodesy. *Geophys. Res. Lett.*, 42 (3), pp. 743-750
- Guðmundur Valsson, Þórarinn Sigurðsson, Christof Völksen, Markus Rennen (2007). ISNET2004. Niðurstöður úr endurmælingum Grunnstöðvanet Íslands. Landmælingar Íslands, Akranesi.
- Guðmundur Valsson, Þórarinn Sigurðsson, Jaakko Mäkinen, Veikko Saarinen, Jón S. Erlingsson, Theodór Theodórsson (2011). Landshæðarkerfi Íslands ISH2004. Landmælingar Íslands, Akranesi
- Guðmundur Valsson (2012). Landshæðarkerfi ISH2004 - Tækniskýrsla. Landmælingar Íslands, Akranesi.
- Gunnar Þorbergsson (1983). Þríhyrninga og hæðanet við Blöndu 1982. Orkustofnun, Reykjavík.
- Gunnar Þorbergsson (1976). Landmælingar við Lagarfljót 1955-1976. Orkustofnun, Reykjavík.
- Gunnar Þorbergsson (1990). Hæðarnet og þríhyrninganet á Fljótsdalsheiði. Orkustofnun, Reykjavík.
- Gunnar Þorbergsson (1994). Hæðar- og sjávarborðsmælingar til hæðarákvörðunar 30 stöðva í grunnstöðvaneti sumarið 1994. Orkustofnun, Reykjavík.
- Gunnar Þorbergsson, Ingvar Þór Magnússon, Jón S. Erlingsson, Theodór Theodórsson og Örn Jónsson (1998). GPS-mælingar á Austurlandi vegna tengingar þríhyrninganeta við landsnet með viðmiðun ÍSN93. Orkustofnun, Reykjavík.
- Gunnar Þorbergsson, Ingvar Þór Magnússon, Jón S. Erlingsson, Theodór Theodórsson og Örn Jónsson (1998). GPS-mælingar á Norðurlandi vegna tengingar þríhyrninganeta við landsnet með viðmiðun ÍSN93. Orkustofnun, Reykjavík.
- Gunnar Þorbergsson (2000). Þríhyrninganet Orkustofnunar á Austurlandi endurreiknað með viðmiðun ÍSN93. Orkustofnun, Reykjavík
- Ingvar Þór Magnússon (1997). Hæðarmælingar til stöðva í grunnstöðvaneti sumarið 1994. Landmælingar Íslands. Reykjavík.
- Ingvar Þór Magnússon, 2003: GPS-mælingar 1995. Orkustofnun. Óútgefin.
- Isaaks, E. H., and Srivastava, R. M. (1989), *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press, New York.

Jón Thuy Xuan Búi og Theodór Theodórsson (2002). Hæðarmælingar frá Fljótsdalsheiði að Kárahnúkum. Landsvirkjun, Reykjavík.

Jón Thuy Xuan Búi og Theodór Theodórsson (2017). Minnisblað um landmælingar á Kárahnjúkasvæðinu sumarið 2017. Landsvirkjun, Reykjavík.

Jón Thuy Xuan Búi og Theodór Theodórsson (2017). GNSS (GPS= mælingar fastmerkjanets vegna virkjana á veituleið Blönduvirkjunar. Landsvirkjun, Reykjavík.

Jón Þór Björnsson (2002), Kárahnjúkavirkjun, Nákvæmnismat á fastmerkjanetum. Landsvirkjun, Reykjavík.

Jón Þór Björnsson (2003), Check geodetic survey network and locating of bench mark. Hnit h/f, Reykjavík.

Jón Erlingsson (1994). Hæðarákvörðun 20 stöðva í grunnstöðvaneti. Vegagerðin, Reykjavík.

Yfirlit um íslenska jökla í árslok 2017. Fréttabréf. Veðurstofa Íslands, Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands og Náttúrustofa Suðausturlands (2018).



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

