

Endurmæling ISNET 2016 grunnstöðvanetsins og nýjar viðmiðanir fyrir landmælingar og kortagerð á Íslandi

Guðmundur Þór Valsson



Efnisyfirlit

Töfluskra	1
Kortaskra	1
Inngangur	2
Aðdragandi	3
Nýtt grunnstöðvanet og mæliátakið ISNET93	3
Vandamál við viðhald á nákvæmu landshnitakerfi á Íslandi	5
ISNET2004	6
Jarðskjálftinn á Suðurlandi	8
ISNET2016	9
Undirbúningur	9
Tæki frá Noregi og ný loftnet	10
Samstarfsaðilar	11
Mæliáætlun	11
Mælingaátakið ISNET2016	12
Úrvinnsla	14
Undirbúningur mæligagna	14
ITRF, ITRS og IGS	15
Úrvinnsla mæligagna	16
Tenging við ITRF/IGS	16
Úrvinnsla úr mæliblokkum	17
Lokaniðurstaða	17
Stuttar tengingar með WASOFT	17
Hnitalisti ISNET2016 mælinganna	18
Samanburður við eldri mælingar	24
Samanburður við ISN2004	24

Breytingar í hæð	26	
Samanburður við mælingar 2008 og 2010 á Suðvesturlandi	28	
Tímaraðir	39	
Dæmi um frumgreiningu á tímaröð í Tsviue: HOFN	30	
Ný viðmiðun fyrir Ísland	32	
DRF-Iceland verkefnið	33	
Nýjar viðmiðanir ISN2016 og ISN-DRF	36	
Innleiðing ISN2016 og ISN-DRF	37	
Varpanir úr eldri kerfum	37	
Tenging við landshæðarkerfið ISH2004	39	
Staðlar fyrir landupplýsingar	39	
Færslulíkan	41	
Mælingar í ISN2016 og ISN-DRF	43	
Lokaorð	44	
Heimildaskrá	45	
English summary		47
Viðauki 1: Breidd og lengd stöðva í ISNET2016 mælingunum í viðmiðun ISN2016		55
Viðauki 2: Keiluhnit Lamberts á stöðvum í grunnstöðvaneti í viðmiðun ISN2016		61

Töfluskra

Tafla 1. Niðurstöður loftnetsprófana	10
Tafla 2. Yfirlit yfir mælibúnað í ISNET2016	11
Tafla 3. Yfirlit yfir mælingaferðir	12
Tafla 4. Yfirlit yfir mæligögn í úrvinnslu á ISN2016	14
Tafla 5. Helstu stillingar fyrir úrvinnslu á ISNET2016 í Bernese 5.2	16
Tafla 6. Tölfræði fyrir loka útjöfnun	17
Tafla 7. Tengingar með Wasoft	17
Tafla 8. Samanburður á IGB00 og IGS14 fyrir ISNET2004 mælingarnar	24
Tafla 9. Vinnupakkar og verkþættir í DRF-Iceland verkefninu	36
Tafla 10. EPSG kóðar fyrir ISN2016	40

Kortaskra

Kort 1. Mælistöðvar í ISNET93	3
Kort 2. Mælistöðvar í ISNET2004	6
Kort 3. Láréttar færslur á mælistöðvum milli ISN93 og ISN2004 í IGB00	7
Kort 4. Lárétt bjögun milli ISN93 og ISN2004, 20 cm dregnir frá norðurfærslu	7
Kort 5. Lóðréttar færslur milli ISN93 og ISN2004 í IGB00	7
Kort 6. Lárétt bjögun á ISN2004 eftir jarðskjálftann 2008	8
Kort 7. Blokkskipting í ISNET2016	12
Kort 8. Færslur á mælistöðvum í grunnstöðvaneti milli 2004 og 2016 í IGS14	25
Kort 9. Bjögun á grunnstöðvanetinu á árunum 2004 til 2016	26
Kort 10. Hæðarbreytingar á grunnstöðvum fyrir tímabilið 2004-2016	27
Kort 11. Hæðarbreytingar á grunnstöðvum fyrir tímabilið 1992-2004	27
Kort 12. Bjögun á Suðvesturlandi fyrir tímabilið 2008-2016	28
Kort 13. Bjögun á ISN93 árið 2016	32
Kort 14. Færsluhraðar Austur-Vestur í IGS14	41
Kort 15. Færsluhraðar Norður í IGS14	42
Kort 16. Færsluhraðar hæð í IGS14	42

Inngangur

Fyrsta mæling grunnstöðvanetsins fór fram árið 1993 og í kjölfarið var gefin út viðmiðunin ISN93. Hún leysti af hólmi Hjörsey55 viðmiðunina sem þá var orðin úrelt.

Það er talsverð áskorun að reka nákvæmt hnitakerfi á Íslandi. Landið er á flekaskilum og jarðfræðileg virkni með mesta móti. Afstaða milli fastmerkja breytist því stöðugt vegna landreks auk þess sem hún getur breyst skyndilega vegna jarðskjálfta og eldsumbrota. Landris og landsig á sér einnig stað vegna bráðnunar jökla og virkjunar á jarðvarma.

Vegna þessa þarf að mæla grunnstöðvanetið reglulega og segir í reglugerð að það skuli gert eigi sjaldnar en á 10 ára fresti. Önnur mæling grunnstöðvanetsins fór fram árið 2004 og netið var mælt í þriðja sinn árið 2016.

Í þessari skýrslu verður fjallað um þriðju mælinguna á grunnstöðvaneti Íslands sem fram fór sumarið 2016 og fékk mæliátakið vinnuheitið ISNET2016. Fjallað verður um skipulagningu og framkvæmd mælinganna. Þá verður gerð grein fyrir úrvinnslu mælingaganga og niðurstöðum þeirra. Að því loknu verða niðurstöðurnar bornar saman við eldri mælingar. Að lokum verður fjallað um þá þætti sem nauðsynlegir eru til að innleiða nýja tegund viðmiðunar fyrir Ísland og hvernig má reka hana þannig að áhrifum landreks og annarrar bjögunar sé haldið í lágmarki.

Við viljum þakka systurstofnun okkar í Noregi, Kartverket, Vegagerðinni, Landsvirkjun, Landhelgisgæslunni, Veðurstofnunni og Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands fyrir veittan stuðning við verkefnið.

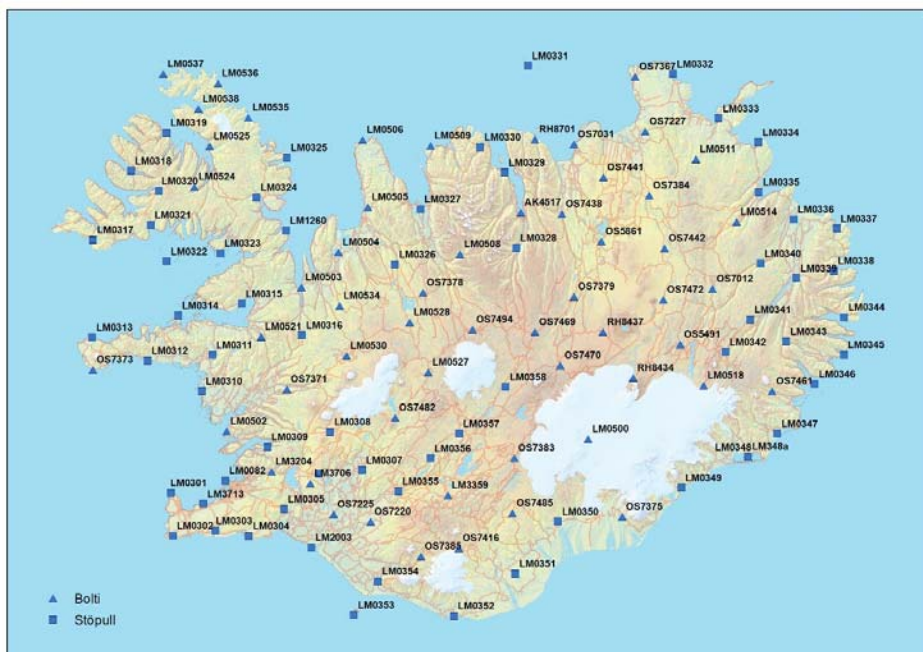
Aðdragandi

Nýtt grunnstöðvanet og mæliátakið ISNET93

Árið 1991 skipaði umhverfisráðherra starfshóp um landmælingar á Íslandi. Á fyrsta fundi hópsins þann 18. nóvember 1991 komu fram upplýsingar um bágborið ástand þríhyrningansins frá 1955 þannig að það þótti ekki burðugt fyrir kortagerð og framkvæmdamælingar (Bragi Guðmundsson o.fl., 1993).

Á þessum tíma var GPS tæknin að ryðja sér til rúms við landmælingar og á þriðja fundi hópsins voru lagðar fram tvær hugmyndir að GPS-grunnstöðvaneti. Annars vegar 50 mælistöðva net sem byggði á þeim GPS netum sem mæld höfðu verið á þeim árum auk nokkurra mælistöðva til viðbótar. Hins vegar algerlega nýtt 120 mælistöðva net. Seinni kosturinn hafði marga kosti umfram 50 mælistöðva netið en var eins og gefur að skilja talsvert dýrari. Þessar hugmyndir voru sendar á Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. a.D. Günter Seeber, forstöðumann við Institut für Erdmessung í Háskólanum í Hannover, IfE¹. Seeber var mjög áhugasamur um mælingarnar og hvatti til að mælt yrði 120 mælistöðva net. Auk þess bauðst hann til að leggja fram nokkur mælitæki.

Ákveðið var að byggt yrði upp 120 mælistöðva net og vorið 1992 hófst vinna við val á mælistöðum. Vandað var mjög til verka við val á staðsetningu mælistöðva. Landmælingastöplar voru reistir í samvinnu við sveitarfélög og eldri fastmerki notuð þar sem það hentaði. Stefnit var að því að mæla nýja netið sumarið 1993 en ekki var enn búið að tryggja tækjabúnað og mannskap til verksins. Nánast engin GPS landmælingatæki voru til í landinu og þekking á slíkum mælingum því ekki mikil.



Kort 1. Mælistöðvar í ISNET93.

¹Institut für Angewandte Geodäsie, seinna Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)

Haustið 1992 ræddi Ágúst Guðmundsson, þáverandi forstjóri Landmælinga Íslands, hugmyndir íslenskra landmælingamanna að grunnstöðvaneti við Prof. Dr.-Ing. Hermann Seeger, forstöðumann Landmælinga Þýskalands, IfAG². Dr. Seeger sýndi verkefninu mikinn áhuga og vorið 1993 buðu Þjóðverjar Íslendingum 20 Trimble 4000SSE tæki til verkefnisins, án endurgjalds, fyrstu tvær vikurnar í ágúst sama ár. Við rausnarlegt tilboð Þjóðverjanna bættust svo 4 GPS tæki til vara, 10 landmælingamenn og 3 bifreiðar ásamt bílstjórum. Íslendingar lögðu til bifreiðar og þann mannskap sem upp á vantaði. Eftir að verkefnið hafði verið kynnt forsvarsmönnum opinberra stofnana og stærri sveitarfélaga stóð ekki á liðsinni þeirra og gekk mönnun mæliflokka vonum framar. Alls tóku 23 stofnanir og sveitarfélög þátt í verkefninu með einum eða öðrum hætti. Auk þess lagði IfE í Þýskalandi 4 menn til verkefnisins.

Mælingar á grunnstöðvanetinu fóru fram dagana 3.-13. ágúst 1993. Landinu var skipt upp í 10 mæliblokkir sem mældar voru á jafn mörgum dögum. Mæliblokkir voru tengdar saman með því að mæla sameiginleg fastmerki á mörkum þeirra í hverri blokk fyrir sig. Fjórar mælistöðvar voru hafðar í gangi allan tímann sem mælingarnar fóru fram. Þetta voru mælistöðvarnar LM0082 (Valhúshæð), LM0340 (Hofteigur), LM0348 (Höfn í Hornafirði) og LM1260 (Ennishöfði). Mælt var á sömu stöðum í mælingaverkefninu EUREF NW árið 1990. Alls voru gerðir út 24 mæliflokkar. Fjórir flokkar voru staðsettir á EUREF stöðvunum. Þrír flokkar þjónuðu sem varaflokkar ef eitthvað kæmi upp á. Aðrir mæliflokkar sáu um að mæla blokkirnar. Mælt var í 8 klst. í hverjum punkti og skráði GPS-tækið gögn á 5 sekúndna fresti. Hæðarhornið var stillt á 15° ofan sjónbaugs. Mælingar stóðu yfir frá kl. 7:00 til 15:00. Í EUREF stöðvunum var einnig mælt frá 15:30-6:30 daginn eftir en þá voru gögnin skráð á 15 sekúndna fresti en hæðarhorninu haldið í 15° sem fyrr. Mælingarnar gengu almennt vel fyrir sig en endurmæla þurfti í einum punkti vegna þess að þrífótur hafði haggast á meðan mælingu stóð. Unnið var úr mælingunum hjá IfAG með Bernese 3.4/3.5 hugbúnaði og hjá IfE með Geonap hugbúnaði. Reiknaðar gervitunglabrautir voru fengnar hjá Scripps haffræðistofnunni, SIO. Til viðmiðunar voru valdar þrjár jarðstöðvar í Evrópu og ein í Norður-Ameríku. Þær voru: Tromsø í Noregi (TROM), Onsala í Svíþjóð (ONSA), Herstmonceux á Englandi (HERS) og Saint John's á Nýfundnalandi (STJO). Þessar stöðvar voru með þeim fyrstu svokölluðu IGS-stöðvum sem dreifðar eru víða um heim. Hnit IGS-stöðvanna voru gefin í viðmiðunarramma ITRF93. Færsluvígrar stöðvanna, vegna fleka og jarðskorpuhreyfinga eru gefnir í sama kerfi. Hjá IfAG voru þessar upplýsingar notaðar til þess að reikna hnit EUREF stöðvanna fjögurra hér á landi. Reiknuð var lausn fyrir hvern dag og meðaltal þeirra reiknað. Þessum hnitum var síðan haldið föstum á öðrum stigum úrvinnslunnar hjá IfAG og IfE. Að þessu loknu voru óþvingaðar lausnir hvers dags fyrir sig reiknaðar hjá IfAG og IfE. Eftir það voru sameiginlegar mælistöðvar á mörkum blokkanna ásamt EUREF stöðvunum notaðar til þess að fella netið saman. Endanleg niðurstaða fékkst með því að reikna vegið meðaltal lausna IfAG og IfE. Lokaniðurstaðan var gefin í jarðmiðjuhnitum í viðmiðunarrammann ITRF93 tími 1993.6 sem er sá tími sem mælingarnar fóru fram á. Útreikningum lauk veturinn 1995-1996. Hin nýja viðmiðun fékk nafnið ISN93. Auk jarðmiðjuhnita voru gefin upp baughnit á og yfir sporvölu GRS80 og hnit sem byggjast á hornsannri keiluvörpun Lamberts með skurðbauga 64°15'N og 65°45'N. Norðurásinn liggur í plani 19° hádegisbaugs en austurásinn hornrétt til austurs við 65°N. Skurðpunktur ásanna hefur hnitin Austur = 500000m og Norður = 500000m. Hæð var gefin yfir sporvölu GRS80 eins og í baughnitunum. Oft hefur verið talað um Lambert hnitin sem ISNET hnit þó í raun sé þetta aðeins ein möguleg framsetning á hnitum viðmiðunarinnar ISN93. Nánari lýsingu á ISNET93 er að finna í skýrslunni GPS-mælingar í grunnstöðvaneti og ný viðmiðun ISN93 við landmælingar á Íslandi (Ingvar Þór Magnússon, o.fl. 1997).

Eftir þetta framtak voru Íslendingar komnir með viðmiðun sem var sambærileg við það besta sem gerðist í heiminum og grundvöllur hafði skapast fyrir því að allir gætu á auðveldan hátt unnið í sama hnitakerfinu.

Segja má að uppbygging grunnstöðvanetsins sé mikið afrek. Hugmyndir voru settar fram í byrjun árs 1992, netið að mestu byggt upp um sumarið og síðan mælt sumarið 1993.

²Institut für Angewandte Geodäsie, seinna Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG)

Vandamál við viðhald á nákvæmu landshnitakerfi á Íslandi

Ísland er á mörkum Norður-Ameríku og Evrasíuflekans. Samspil flekaskilanna við möttulstrók eða heitan reit sem staðsettur er undir Vatnajökli er ástæða þess að Ísland rís upp af Mið-Atlantshafshryggnum. Landið er í raun lifandi rannsóknastofa í jarðvísindum með eldstöðvum, sprungusveimum, þverbrotabeltum og rekbeltum. Þá er einnig hægt að rannsaka áhrif breytinga á jökulfargi á jarðskorpuna þökk sé jöklunum okkar.

Þetta skapar áskoranir við rekstur á landmælingakerfum þar sem ákjósanlegast er að hnit og hæðir breytist ekki með tíma. Landið rekur í sundur með 1 cm hraða í sitthvora áttina á flekaskilunum og veldur því sífelldri bjögun á landshnitakerfinu. Þá valda staðbundnir atburðir eins og jarðskjálftar og eldsumbrot bjögun á stærri og minni svæðum eftir umfangi. Bráðnun jökla veldur landrиси og einnig getur lítilsháttar bjögun í legu og virkjun á jarðvarma valdið sigi á landi.

Með almennri notkun á GPS/GNSS³ tækni við landmælingar er hægt að ná fram allt að eins sentimetra nákvæmni á mæilínu sem jafnvel er meira en 100 km að lengd. Algengasta form GNSS landmælinga eru svokallaðar afstæðar mælingar. Einfaldasta útgáfan er að mælitæki er stillt upp yfir fastmerki með þekktri staðsetningu (t.d. grunnstöð) og öðru mælitæki (rover) er síðan stillt upp á stað með óþekktri staðsetningu. Gögn frá tækinu á grunnstöðinni eru síðan notuð til þess að leiðrétta og reikna út staðsetninguna á rovernum. Ef landrek á grunnstöð og rover er ekki það sama þá fáum við niðurstöður sem eru háðar tíma, þ.e. við fáum ekki sömu staðsetningu á roverinn ef við endurtökum mælinguna nokkrum árum síðar. Þá geta niðurstöður verið mismunandi eftir því hvaða grunnstöð er notuð.

Í desember árið 1999 tók í gildi Reglugerð um viðmiðun ÍSN93. Grunnstöðvanet og mælistöðvar til notkunar við landmælingar og kortagerð nr. 919/1999 og með henni varð ISN93 opinber viðmiðun á Íslandi. Í 7. gr. reglugerðarinnar kveður á um að mæla skuli grunnstöðvanetið í heild sinni eigi sjaldnar en á 10 ára fresti. Þessi grein er sett inn til þess að viðhalda áreiðanleika og nákvæmni grunnstöðvanetsins. Sams konar reglugerð var sett eftir ISNET2004 mælinguna sem fjallað verður um seinna í þessari skýrslu.

Á árunum 1995-2001 fóru fram GPS mælingar til þess að tengja eldri mælipunkta úr Hjörsey55 viðmiðuninni við ISN93. Þegar unnið var úr mælingum frá 2000 sem fram fóru í Þingeyjarsýslum (Gunnar Þorbergsson o.fl., 2000) og 2001 á Suðurlandi (Gunnar Þorbergsson o.fl., 2002) kom í ljós umtalsverð bjögun á grunnstöðvanetinu á þeim svæðum. Í raun var ekki hægt að jafna mælingarnar út þannig að kröfur um innmælingu á punktum skv. 11. gr. í reglugerð um viðmiðun ÍSN93 væru uppfylltar. Þessar niðurstöður staðfestu nauðsyn þess að endurmæla grunnstöðvanetið reglulega.

Með endurmælingu fást upplýsingar um færslu mælistöðva og þ.a.l. er hægt að gera sér grein fyrir stærðargráðu bjögunar á grunnstöðvanetinu. Seinna er hægt að nota þær upplýsingar til þess að leiðrétta mælingar m.t.t. bjögunar. Gæta verður þó að svæðum þar sem skyndilegar færslur hafa átt sér stað eins og í tilfelli jarðskjálftanna á Suðurlandi. Þess konar færslur segja ekki til um hina stöðugu hreyfingu sem á sér stað vegna flekareks heldur er þetta skyndileg staðbundin færsla sem ekki mun hafa neitt forspárgildi um væntanlega hreyfingu vegna flekareks. Því er mikilvægt að veita svæðum þar sem atburðir sem þessir geta átt sér stað sérstaka athygli. Hyggilegt er að mæla þéttara net á þessum svæðum til þess að gera sér betur grein fyrir hinni staðbundnu afmyndun eigi hún sér stað.

³Global Positioning System/Global Navigation Satellite System

ISNET2004

Samkvæmt reglugerð hefði átt að endurmæla grunnstöðvanetið árið 2003 en af margvíslegum ástæðum var ákveðið að fresta verkefninu til 2004.

Skipaður var undirbúningshópur fyrir mæliátakið en í honum voru Þórarinn Sigurðsson frá Landmælingum Íslands, Jón S. Erlingsson frá Vegagerðinni, Halldór Geirsson frá Veðurstofu Íslands og Theódór Theódórsson frá Landsvirkjun. Hlutverk hópsins var að afla þátttakenda og tækjabúnaðar fyrir verkefnið auk þess að setja upp mæliáætlun. Christof Völksen og Markus Rennen mælingaverkfræðingar voru hópnun innan handar þegar kom að fræðilegum álitæfnum (Guðmundur Valsson, o.fl., 2007).

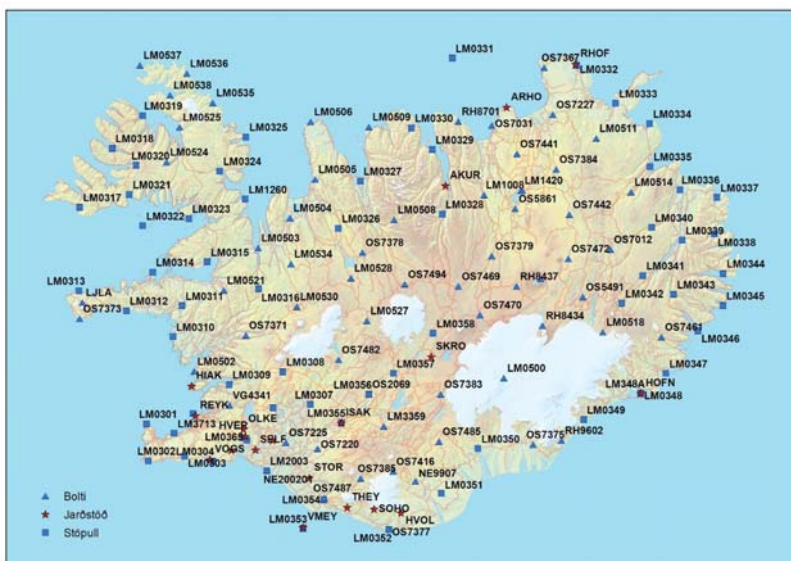
Snemma var tekin sú stefna að mælingin yrði gerð án beinnar þátttöku erlendra aðila þar sem margir opinberir aðilar á Íslandi höfðu yfir að ráða GPS-landmælingatækjum. Haft var samband við stofnanir og sveitarfélög til að kanna áhuga á aðild þeirra að verkefninu. Mæltist þetta vel fyrir og buðust 15 stofnanir, 20 sveitarfélög, tveir einkaaðilar og tvö félagsamtök til að koma að verkefninu. Þátttakan gat falist í að útvega mælitæki og mannskap og niður í aðstoð á minni svæðum og það að koma mæligögnum til stjórnstöðvar.

Samtals var 36 GPS mælitækjum safnað saman. Landinu var skipt upp í 5 mæliblokkir. Mælingar hófust þann 3. ágúst og lauk þann 14. ágúst. 17 mæliflokkar ferðuðust um landið og mældu vanalega í tveimur mælistöðvum í tvisvar sinnum 12 til 16 tíma. Auk þess gengu mælitæki í mælistöðvunum á Ennishöfða (LM1260) og Hofteigi (LM0340) allan tímann sem mælingar stóðu yfir. Alls voru mældar 135 mælistöðvar auk þess sem 19 jarðstöðvar voru í gangi á þessum tíma á landinu.

Unnið var úr mælingunum með þrenns konar hugbúnaði, Bernese 5.0, Geonap og Trimble Total Control (TTC). Bernese og Geonap má flokka sem vísindalegan hugbúnað sem krefst talsverðrar sérhæfingar, en TTC er notendavænni. Áhugi var á að sjá hversu mikill munur væri á lausnunum.

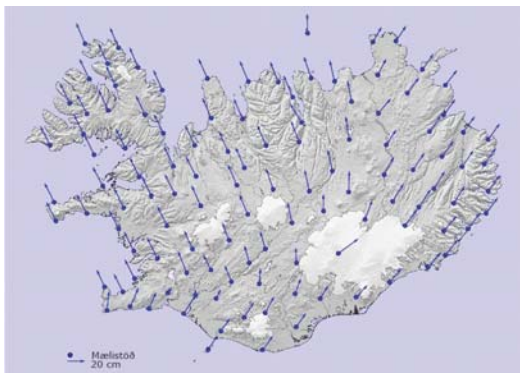
Þá var notast við algildar loftnetskvarðanir (Wübbena, G. o.fl., 2000) við úrvinnsluna en það var nokkuð nýmæli á þeim tíma. Í dag er viðtekin venja að notast við slíkar kvarðanir.

Tenging við alþjóðlega viðmiðun IGb00 var reiknuð í Bernese og voru þá reiknuð hnit fyrir jarðstöðvarnar á Íslandi auk LM1260 og LM0340. Þegar því var lokið voru lausnir reiknaðar fyrir hverja mæliblokk og þeim síðan skeytt saman á sameiginlegum mælistöðvum og mælingum fyrir hverja hugbúnaðarlausn fyrir sig jafnað út. Að lokum var lausnunum þremur blandað saman með Variance Component Estimation (Niemeier, W. 2002) aðferð og fékk Bernese lausnin þar mesta vægið þar sem hún hafði lægstu staðalfrávikin. Það kom skemmtilega á óvart hversu TTC lausnin var nálægt Bernese lausninni.

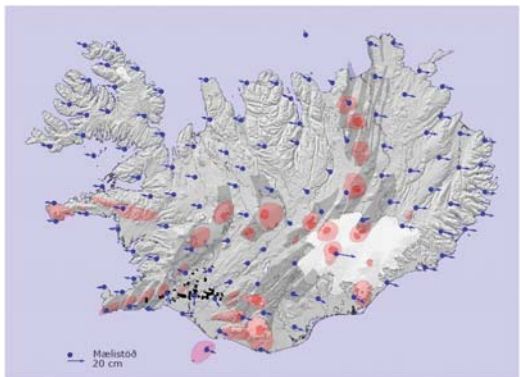


Kort 2. Mælistöðvar í ISNET2004.

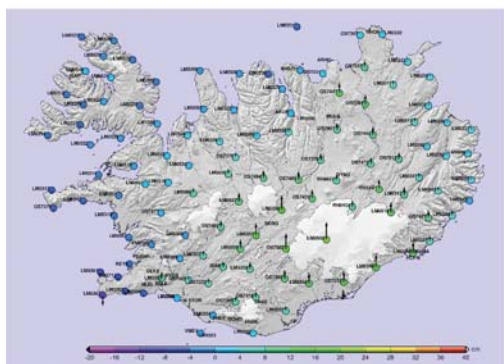
Pegar niðurstöðurnar lágu fyrir voru þær bornar saman við niðurstöðurnar frá 1993 til þess að meta færslur á árunum 1993-2004. Ekki var hægt að bera hnitlistana beint saman þar sem lausnirnar eru í mismunandi viðmiðunarrömmum. Færslan milli LM0082 og LM0348 var borin saman við færsluhraða jarðstöðvanna REYK og HOFN. Mjög gott samræmi var á milli afstæðrar færslu en nokkur munur var á algildri færslu séstaklega í hæðarpættinum, eða 6,7 cm. Helsta ástæðan fyrir þessum munur er mismunandi loftnetskvörðun við úrvinnslu á ISNET93 mælingunum og ISNET2004. Því var hnitum ISN93 varpað þannig að færslan á LM0082 samræmdist færsluhraða REYK. Samanburðurinn má sjá á kortum 3-5. Samanburðurinn á ISN93 og ISN2004 sýnir glögglega flekaskil Íslands og var þetta í fyrsta skiptið sem heildaryfirlit fékkst yfir færslur landsins. Þá leiddi samanburðurinn einnig í ljós talsverðar breytingar í hæð, þá sérstaklega landris á hálendi Íslands og sig á suðvestanverðu Reykjanesi. Þá má sjá ummerki jarðskjálftanna á Suðurlandi árið 2000 og eldgosa í Grímsvötnum 1996 og 1998.



Kort 3. Láréttar færslur á mælistöðvum milli ISN93 og ISN2004 í IGb00.



Kort 4. Lárétt bjögun milli ISN93 og ISN2004, 20 cm dregnir frá norðurfærslu.



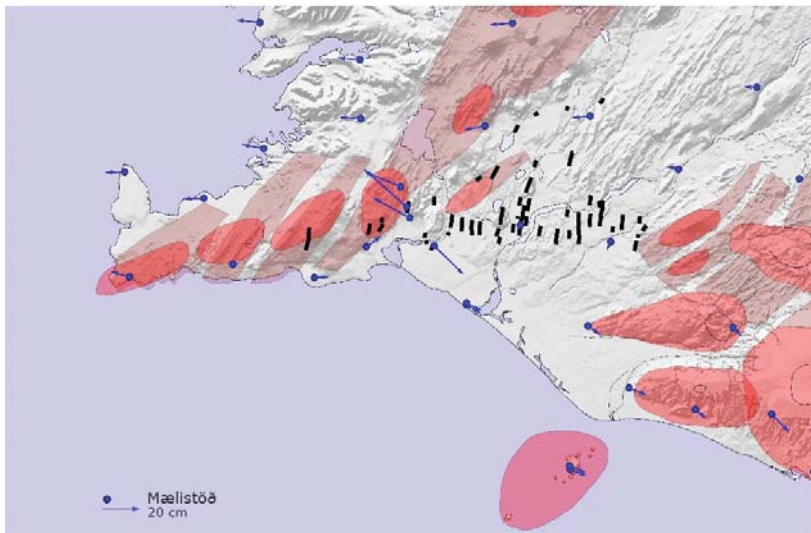
Kort 5. Lóðréttar færslur milli ISN93 og ISN2004 í IGb00.

Samanburðurinn á ISN93 og ISN2004 sýnir glögglega flekaskil Íslands og var þetta í fyrsta skiptið sem heildaryfirlit fékkst yfir færslur landsins. Þá leiddi samanburðurinn einnig í ljós talsverðar breytingar í hæð, þá sérstaklega landris á hálendi Íslands og sig á suðvestanverðu Reykjanesi. Þá má sjá ummerki jarðskjálftanna á Suðurlandi árið 2000 og eldgosa í Grímsvötnum 1996 og 1998.

Jarðskjálftinn á Suðurlandi

Þann 29. maí 2008 reið yfir jarðskjálfti milli Hveragerðis og Selfoss upp á 6,3 á Richter skala. Fyrstu niðurstöður frá GPS jarðstöðvum Veðurstofunnar bentu til þess að umtalsverðar færslur hefðu átt sér stað í skjálftanum.

Í kjölfarið ákváðu Landmælingar Íslands og Vegagerðin að hrinda af stað mæliátaki (SUD2008) á Suðvesturlandi sem fram fór 6.-16. október sama ár. Ástæða þess að ekki var farið fyrr af stað er sú að jarðskorpan þarf tíma til að jafna út tímabundnar færslur í hæð og legu. Augljóst var að talsverðar breytingar höfðu orðið í legu og hæð mælipunkta á svæðinu og þeir því ónothæfir til veg- og framkvæmdamælinga. Mældar voru mælistöðvar í grunnstöðvaneti landsins auk valinna punkta í landshæðarneti og mælikerfum sveitarfélaga á svæðinu. Að mælingunum komu, auk Landmælinga Íslands, Vegagerðin, Verkfræðistofa Suðurlands fyrir hönd sveitarfélaganna og fyrirtækið Ísmar. Auk nýrra mælinga var notast við gögn frá GPS jarðstöðvum Veðurstofu Íslands á svæðinu. Séu niðurstöður mælinganna bornar saman við mælingar frá árunum 2001 og 2004 koma í ljós miklar færslur á landi í Ölfusinu eða allt að 45 cm. Meginorsök færslunnar má rekja til jarðskjálftans í maí en einhvern hluta má einnig rekja til landreks. Út frá þessum samanburði má sjá að áhrif skjálftans á hreyfingar lands eru mest á milli Hveragerðis og Selfoss en áhrifin fjara síðan nokkuð hratt út er fjær dregur því svæði. Aðrar færslur sem komu í ljós við mælingarnar í október eru vegna flekahreyfinga milli Norður-Ameríku og Evrasíu flekanna. Til að mynda er gliðnunin á milli Belgsholts í Melasveit og Seljalandsfoss undir Eyjafjöllum um 8 cm á þessum 4 árum.



Kort 6. Lárétt bjögun á ISN2004 eftir jarðskjálftann 2008.

ISNET2016

Undirbúningur

Árið 2013 var byrjað að huga að endurmælingu á grunnstöðvanetinu. Fljótlega var ljóst að ekki væri raunhæft að fara í mælinguna sumarið 2014 en ákveðið að setja upp drög að mæliáætlun og aðferðafræði, kostnaðarmeta og sækja um sérstakt framlag á fjárlögum fyrir árið 2015.

Það fyrsta sem þurfti að huga að var mannskapur, tækjabúnaður og mælitími í hverri mælistöð. Í mælingunum 1993 og 2004 var verið unnið á 10 dögum með nokkuð mörgum mælihópum, 16 árið 1993 og 19 árið 2004. Í flestum mælihópunum voru tveir menn þannig að heildarfjöldi mælingamanna var á bilinu 30-40 manns. Auk þess voru reknar sérstakar stjórnstöðvar til þess að halda utan um mælinguna. Árið 1993 sá hver hópur aðeins um eina mælistöð og var mælt í 8 klst. 2004 sáu flestir hóparnir um tvær mælistöðvar og mælt var tvisvar í hverjum punkti í 12-16 klst.

Önnur aðferðafræði við svona mælingu er að fækka mælihópunum verulega, niður í 3-5 hópa og mæla netið yfir lengra tímabil. Rannsóknir Kartverket í Noregi hafa sýnt að til þess að ná nákvæmni á hæðarpætti GNSS mælinga niður í 5mm RMS⁴ þarf að mæla samfleytt í hverjum punkti í 3-5 sólahringa (Olav Vestøl, munnlegar heimildir). Þessi nákvæmni er mjög eftirsóknarverð til þess að átta sig betur á þeim hæðarbreytingum sem eru í gangi hér á landi. Mælt var því með að hver blokk yrði mæld í 5 daga. Gert var ráð fyrir að hver mælingamaður myndi sjá um 4-5 tæki. Til þess að þetta sé mögulegt þurfa mælingamennirnir að vera mjög reyndir við uppsetningu á GNSS tækjum og nokkuð sjálfbjarga ef lítilsháttar bilanir í tækjabúnaði koma upp. Þá er óþarft að hafa sérstaka stjórnstöð á meðan mælingum stendur. Með þessari aðferðafræði þurfti ekki að leita til margra samstarfsaðila en hins vegar var gert ráð fyrir einhverri aðstoð frá nánustu samstarfsaðilum Landmælinga Íslands, þ.e. Vegagerðinni og Landsvirkjun.

Þegar blokkskipting var skoðuð fyrir mælingarnar þurfti að hafa í huga aukinn fjölda jarðstöðva á Íslandi. Ákjósanlegt er að nota þær sem sameiginlega punkta milli blokka sé því við komið þar sem það sparar tvöfalda mælingu í grunnstöðvanetspunkti. Þá eru margar jarðstöðvar staðsettar það nálægt grunnstöðvanetspunktum að vel mátti hugsa sér að mæla þá punkta sem tengingar og því mátti mælitíminn vera styttri í þessum punktum. Alls eru 25 punktar í grunnstöðvanetinu staðsettir í innan við 4 km fjarlægð frá næstu jarðstöð. Nægilegt er að mæla þessa punkta í um 1 sólahring til þess að ná fram góðri nákvæmni. Út frá þessum forsendum var metið að kostnaður við sjálfa mælinguna, fyrir utan kostnað við grunnlaun mælingamanna, væri um 14 milljónir króna. Til samanburðar má ætla að kostnaður við að mæla netið á sama hátt og gert var árin 1993 og 2004 væri á bilinu 22-25 milljónir króna.

Stærsta áskorunin við þessa aðferðafræði var að tryggja tækjabúnað til verksins. Gert var ráð fyrir að nota ekki eldri gerðir af tækjum en Trimble 5700 og Zephyr Geodetic loftnet (eða sambærilegt frá öðrum framleiðendum). Þegar drög að áætluninni voru gerð höfðu Landmælingar Íslands yfir að ráða 6 mælitækjum sem henta myndu fyrir mælingarnar, þá hafði Vegagerðin tvö tæki. Erfitt gat reynst að fá lánuð tæki sumarlangt frá öðrum aðilum sem stunda mælingar og því var rætt um að fá lánuð tæki frá UNAVCO eða leigja tæki til verksins. Þetta vandamál leystist þó farsælllega eins og síðar verður komið að.

Fjárframlag fékkst ekki árið 2015 en gefið var sterklega í skyn að það myndi fást árið 2016 þannig að gengið var út frá því að mælingar færu fram sumarið 2016. Það gekk eftir og fékkst 13 milljóna króna framlag til verkefnisins á fjárlögum fyrir árið 2016 og því var ljóst að mælingar myndu fara fram það árið.

⁴Root Mean Square (Ferningsmeðaltalsrót)

Tæki frá Noregi og ný loftnet

Sumarið 2015 var Guðmundur Valsson staddur á EUREF ráðstefnu í Leipzig í Þýskalandi. Þar hitti hann kollega sína frá Kartverket í Noregi, þá Per Christian Brattheim og Olav Vestøl. Tjáðu þeir honum að talsverður fjöldi Trimble NetR5 mælitækja væri að losna hjá þeim þar sem þeir væru að skipta þeim út fyrir tæki sem tækju á móti merki frá GALILEO gervitunglunum. Töldu þeir öruggt að ef formleg beiðni myndi berast frá Landmælingum Íslands þá myndi stofnunin fá þessi tæki fyrir endurmælinguna á grunnstöðvanetinu. Haft var samband við Anne Cathrine Frøstrup forstjóra Kartverket í Noregi og Per Erik Opseth yfirmann mælingadeildar sem tóku mjög vel í erindið og fengust 15 Trimble NetR5 tæki að gjöf. Þessi aðstoð frá Noregi er ávöxtur gríðarlega öflugss norræns samstarfs sem Landmælingar Íslands hafa verið aðili að á undanförunum árum.

Engin loftnet fylgdu með tækjunum og því þurfti að fjárfesta í nýjum loftnetum. Haustið 2014 keyptu Landmælingar Íslands tvö loftnet af gerðinni NAX 3G+C Reference frá NavXperience. Þessi loftnet hafa mjög stöðuga fasamiðju samkvæmt kvörðunarupplýsingum frá NOAA (<https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>) og virðast koma vel út í samanburði við loftnet frá öðrum framleiðendum (Kowalewski, 2013). Þá var verið á þeim einnig frekar hagstætt. Því var ákveðið að kaupa 10 ný NAX 3G+C Reference loftnet.

Áður en ákvörðun um kaup á NAX 3G+C Reference var tekin var ákveðið að gera samanburð á Zephyr Geodetic og NAX 3G+C Reference. Ástæðan fyrir þessu er sú að það getur verið ónákvæmni í kvörðun á loftnetum, sérstaklega í hæðarþættinum. Annar þáttur er mismunandi áhrif nærumhverfisins á loftnetsgerðir, near-field multipath. Það er nokkuð þekkt að stökk myndist í tímaröðum frá jarðstöðvum þegar skipt er um loftnet. Þetta hefur þó verið að lagast með uppfærðum kvörðunarametrum sem gefnir eru reglulega út af IGS. Þessi skekkja styttest út ef alltaf er notuð sama loftnetsgerð að því gefnu að fasamiðjan sé eins í öllum loftnetum sömu gerðar. Hins vegar er erfiðara að eiga við áhrif nærumhverfisins öðruvísi en að kanna með mælingu hvaða loftnet eru viðkvæm fyrir þessum áhrifum og hvaða loftnet eru það ekki (UNAVCO, e.d.). Mæld var um 2 km grunnlína milli tveggja mælistöpla sem eru í eigu Akraneskaupstaðar. Annar stöpullinn er við Æðarodda og hinn við Elínarhöfða. Fyrst voru gerðar tvær mælingar þar sem NAX 3G+C Reference loftnet voru á báðum stöplum. Þá var Zephyr Geodetic Model 2 (TRM57971.00) loftnet sett upp í Æðarodda og tvær mælingar framkvæmdar. Að lokum var einnig sett upp Zephyr loftnet á Elínarhöfða og tvær mælingar framkvæmdar. Hver mæling stóð í 10-14 klst. Úrvinnsla fór fram í Wasoft forritinu Wa2 (Wanninger, L., e.d.) sem er öflugur hugbúnaður til þess að reikna einfaldar grunnlínur. Við úrvinnsluna var notast við I08.ATX kvörðunarskrá frá IGS. Niðurstöðurnar er að finna í töflu 1.

Mæling nr.	Loftnetstegund AEDA	Loftnetstegund ELIN	Lengd grunnlínu [m]	Hæðarmunur [m]
M1	NAX 3G+C	NAX 3G+C	2232.5792	-1.4775
M2	NAX 3G+C	NAX 3G+C	2232.5800	-1.4747
M3	TRM57971.00	NAX 3G+C	2232.5777	-1.4755
M4	TRM57971.00	NAX 3G+C	2232.5772	-1.4750
M5	TRM57971.00	TRM57971.00	2232.5775	-1.4762
M6	TRM57971.00	TRM57971.00	2232.5799	-1.4757
Staðalfrávik			0.0013	0.0010

Tafla 1. Niðurstöður loftnetsprófana.

Lítill munur var á niðurstöðunum, mest 2,8 mm í grunnlínulengd og hæð. Því var ályktað að óhætt væri að fjárfesta í NAX 3G+C Reference loftnetum og nota þau ásamt Zephyr Geodetic Model 2. Sams konar prófun fór ekki fram fyrir ISN2004 mælingarnar en þar var notast við nokkrar gerðir af loftnetum.

Í töflu hér að neðan er yfirlit yfir þann mælingabúnað sem notaður var við ISNET2016 mælingarnar.

Tegund móttakara	Fjöldi	Tegund loftnets	Fjöldi
Trimble NetR5	15	NAX-3G+C	10
Trimble R7 GNSS	3	TRM57971-00	5
Trimble NetR8	1	TRM8_GNSS	1
		TRM55971-00	1

Tafla 2. Yfirlit yfir mælingabúnað í ISNET2016.

Samstarfsaðilar

Ákveðið var að óska eftir aðstoð frá Vegagerðinni og Landsvirkjun við mælingarnar. Vegagerðin lagði til 3,5 milljónir, bíl fyrir einn mælingamann og tvö Trimble NetR5 tæki. Landsvirkjun lagði til mælingamann og mælitæki í 10 daga og breyttan jeppa til að komast á erfiðustu mælistaðina.

Þá var óskað eftir aðstoð þyrilu Landhelgisgæslunnar við að koma mælitækjum upp í fastmerki á Hornströndum líkt og gert hafði verið í ISNET93 og ISNET2004 og var tekið vel í þá beiðni.

Nýleg mæligögn frá í fjórum grunnstöðvum (GJAL, GRIM, HAUM og KVER) fengust frá Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands. Um er að ræða grunnstöðvar þar sem jarðstöðvar hafa verið settar upp í næsta nágrenni og nákvæm tenging hafði því þegar verið mæld. Þetta var gert til að spara tíma við mælingar enda ekkert sérstaklega greiðfært í þessar stöðvar.

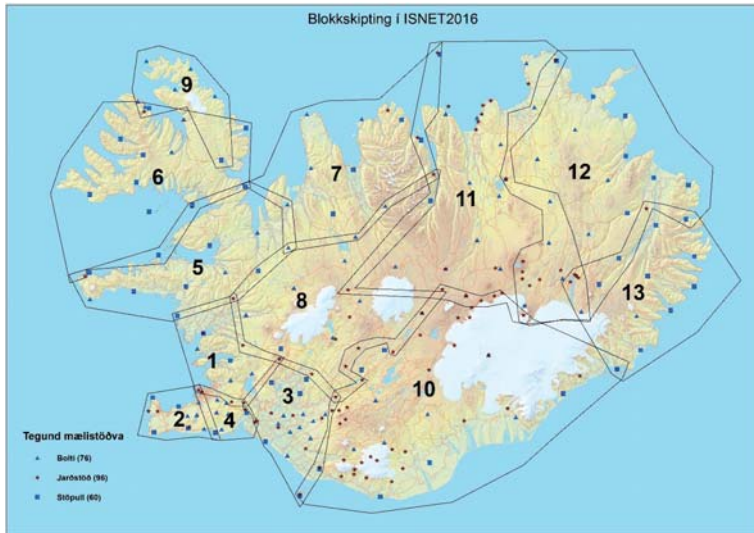
Þá veitti Veðurstofan aðgengi að gögnum frá öllum jarðstöðvum sem þeir halda utan um.

Jón S. Erlingsson fyrrverandi mælingamaður hjá Vegagerðinni var síðan ráðinn til Landmælinga Íslands til að taka þátt í endurmælingunni. Jón býr yfir gríðarlega mikilli reynslu þegar kemur að mælingum í grunnstöðvanetinu auk þess að hafa verið í náinni samvinnu við mælingamenn Landmælinga Íslands í áratugi.

Mæliáætlun

Þegar tækjabúnaður og samstarfsaðilar voru komnir á hreint var lokahönd lögð á mæliáætlunina. Með því að framkvæma mælingarnar með litlum mannskap yfir lengri tíma fáum við aukinn sveigjanleika ef breyta þarf mæliáætlun. Í upphafi var áætlað að mæla landið í 10 blokkum. Þegar dró nær mælingu var þeim fjölgað upp í 13, sjá kort 7. Suðvesturhorninu var skipt upp í fjóra hluta í stað tveggja og fastmerkjum sem mæld höfðu verið árið 2008 og 2010 bætt við. Þetta var gert til að meiri upplýsingar fengjust um hreyfingar svæðisins eftir jarðskjálftann árið 2008. Ákveðið var að mæliblokkir 1, 2 og 4 yrðu gerðar út frá Akranesi. Þá var einnig ákveðið að mæla Hornstrandir í sérstakri mæliblokk í júlí þegar annars væri hlé á mælingunum. Þetta var gert til þess að forðast óþarfa stress ef þyrila Landhelgisgæslunnar þyrfti skyndilega að fara í útkall. Blokkir 5, 6, 10 og 13 voru mældar í 5 daga mælingaferðum en blokkir 7, 8 og 11, 12 voru mældar í 9 daga mælingaferðum. Var það gert til þess að fækka uppstillingum á mælitækjum og minnka akstur þar sem þessar blokkir eru að miklu leyti tengdar saman á grunnstöðvum en ekki jarðstöðvum. A.m.k. vika var látin líða milli mælingaferða eftir mæliblokk 5 svo tími gæfist til að ganga frá gögnum og undirbúa næstu ferð.





Kort 7. Blokkskipting í ISNET2016.

Mælingaátakið ISNET2016

Mælingar hófust þann 25. apríl og var mælt nokkuð þétt til að byrja með. Mældar voru fimm mæliblokkir fyrsta mánuðinn en þrjár þeirra voru gerðar út frá Akranesi. Eftir það var haft viku hlé milli mælingaferða og einungis var mælt á Hornströndum í júlí. Yfirlit yfir mælingaferðir er að finna í töflu 3.

Mælingaferð nr.	Tímabil	Fjöldi fastmerkja	Mælingamenn	Aðstoð
1	25.4-1.5	6	Guðmundur Þór Valsson, Þórarinn Sigurðsson	
2	2.5-6.5	11	Þórarinn Sigurðsson, Ingvar Matthíasson, Guðmundur Þór Valsson	
3	9.5-13.5	14	Guðmundur Þór Valsson, Jón Erlingsson, Þórarinn Sigurðsson	
4	17.5-20.5	7	Guðmundur Þór Valsson, Jón Erlingsson	
5	23.5-27.5	12	Guðmundur Þór Valsson, Jón Erlingsson, Þórarinn Sigurðsson	
6	6.6-10.6	13	Guðmundur Þór Valsson, Jón Erlingsson, Þórarinn Sigurðsson	
7	20.6-24.6	11	Guðmundur Þór Valsson, Jón Erlingsson, Þórarinn Sigurðsson	
8	24.6-29.6	12	Guðmundur Þór Valsson, Jón Erlingsson, Þórarinn Sigurðsson	
9	13.7-20.7	7	Guðmundur Þór Valsson, Þórarinn Sigurðsson	Landhelgisgæslan
10	8.8-12.8	14	Guðmundur Þór Valsson, Jón Erlingsson, Þórarinn Sigurðsson	
11	22.8-26.8	18	Guðmundur Þór Valsson, Jón Erlingsson, Jón Bui Xuar, Þórarinn Sigurðsson	
12	26.8-30.8	13	Guðmundur Þór Valsson, Jón Erlingsson, Jón Bui Xuar, Þórarinn Sigurðsson	
13	12.9-16.9	11	Guðmundur Þór Valsson, Jón Erlingsson, Þórarinn Sigurðsson	Björgunarsveitin Bára á Djúpavogi

Tafla 3. Yfirlit yfir mælingaferðir.

Mælingarnar gengu almennt vel en upp komu nokkur vandamál og verða þau talin upp hér.

Í fyrstu mæliblokkinni stóð til að mæla sjö fastmerki en fastmerkið VR943260 sem er GNSS merki í landshæðarkerfinu var horfið undir spennuskúr frá Veitum. Það er bagalegt þegar fastmerki eru eyðilögð eða fjarlægð án þess að látið sé vita af því. Ef þörf er á að fjarlægja fastmerki vegna framkvæmda er oftast nýju merki fundinn staður í nágrenninu og það mælt inn með litlum tilkostnaði. Sé það ekki gert getur kostnaður verið talsvert meiri auk þess sem verðmætar upplýsingar glatast, sérstaklega hafi merkið verið mælt oftar en einu sinni eða verið mælt með fleiri en einni landmælingatækni.

Veður var almennt gott í mælingunum fyrir utan mæliblokk 5 en þá var rok og rigning alla vikuna. Til stóð að mæla í Flatey á Breiðafirði (LM0322) í blokk 5 og 6 en ákveðið var að fresta því í blokk 5 og mæla í staðinn stöpulinn í Stykkishólmi (LM0314) í báðum blokkunum. Þá var ekki orðið fært í LM0534 vegna aurbleytu og því var ákveðið að bæta við mælingu í stöplinum á Holtavörðuhæði (LM0316) í mæliblokk 7. Þá kom það upp að þrífóturinn í Borgarvirki (LM0504) hnikaðist til á meðan mælingu stóð en það merki var einnig mælt í mæliblokk 7 þannig að það kom ekki að sök.

Í mæliblokk 6 var ekki fært í stöpulinn fyrir ofan Mjólkárvirkjun (LM0329) og var því ákveðið að mæla hann í mæliblokk 9.

Í mæliblokk 9 tafðist um einn dag að setja tæki upp á Hornströndum vegna útkalls hjá þyrlu Landhelgisgæslunnar. Mælingarnar voru þess í stað einfaldlega lengdar um einn dag. Þá var fastmerkið á Straumnesi (LM0537) skaddað vegna ágangs sjávar.

Í mæliblokk 11 bilaði jeppi Landsvirkjunar lítilla fyrsta daginn sem tafði uppsetningu mælitækja. Upp kom alvarlegri bilun á heimleið eftir mæliblokk 12.

Í mæliblokk 13 var illfært í Háaás (OS7461). Var ákveðið að óska eftir aðstoð björgunarsveitarinnar á Djúpvavogi við að komast í punktinn. Það gekk eftir en mælitími í punktinum styttist um einn dag vegna þessa.

Mælingum lauk 16. september og má segja að aðferðafræðin við endurmælinguna hafi reynst vel. Vel gekk að koma upp mælitækjum á fyrsta degi en vinnudagurinn gat þó oft verið langur. Ef upp komu vandamál var oftast auðvelt að leysa þau.

Mælingamenn fundu vel fyrir þeirri aukningu sem orðið hefur á umferð á síðustu árum á þjóðvegum landsins. Í flestum tilfellum eru stöðvar grunnstöðvanetsins aðeins fyrir utan alfaraleið og oftast á stöðum þar sem auðvelt er að leggja bílum með öruggum hætti. Tvær grunnstöðvar, Svínafell S (OS7375) og Reykjaskóli NA (LM0508), eru staðsettar alveg við þjóðveg 1. Til þess að setja upp mælitæki á þessum stöðvum þarf annað hvort að leggja mælingabílnum í vegkantinum sem er frekar hættulegt og ekki vel séð af öðrum öikumönnum eða keyra út af veginum með lítilsháttar umhverfisraski. Gott væri að fá lítil útskot við þessar tvær stöðvar.



Úrvinnsla

Undirbúningur mæligagna

Undirbúningur gagna hófst á meðan mælingum stóð. Eftir hverja mæliferð voru mæligögn flokkuð og vistuð á svæði með öryggisafritun. Þá voru mæliblöð skönnuð og upplýsingar af þeim skráðar niður í Excel skjal og leiðrétt loftnetshæð reiknuð. Þá voru fundin fjögurra stafa stuttnefni fyrir allar mælistöðvarnar en það er viðtekin venja að nota þau í stað mælistöðvanúmera í flóknari GNSS úrvinnslu. Notast var við stuttnefni úr merkjaskrá á heimasíðu Jarðvísindastofnunar Háskóla Íslands á þeim merkjum sem þar var að finna (Jarðvísindastofnun, e.d.) en ný stuttnefni búin til fyrir önnur merki. Eftir það var frumgögnum mælinganna breytt yfir í RINEX v.2.11 form (Gurtner, W. og Estey, L., 2005) og upplýsingar úr Excel skjalinu settar þar inn. Að lokum voru upplýsingar úr RINEX skráum bornar saman við mæliblöðin og Excel skjalið til að tryggja að allar upplýsingar væru réttar.

Mikilvægt er að tryggja að þessar upplýsingar séu réttar þar sem röng loftnetshæð eða loftnetstegund getur haft veruleg áhrif á niðurstöður í hæð, án þess að það sjáist í niðurstöðum.

Mæliblokk	Fjöldi mælistöðva	Fjöldi skráa hrá gögn	Fjöldi jarðstöðva	Fjöldi RINEX skráa	Gagnamagn GB
1	6	34	10	108	0.89
2	11	56	15	114	0.97
3	14	67	13	117	0.95
4	7	28	10	71	0.47
5	12	60	3	79	0.72
6	13	67	3	96	0.95
7	11	56	4	81	0.68
8	12	60	14	160	1.14
9	7	37	4	58	0.59
10	14	59	38	252	1.75
11	18	69	29	218	1.62
12	13	56	18	170	1.33
13	11	52	5	50	0.48
Samtals	149	701		1574	12,54

Tafla 4. Yfirlit yfir mæligögn í úrvinnslu á ISN2016.

Þá var RINEX gögnum frá jarðstöðvum hlaðið niður úr IceCORS kerfinu og frá Veðurstofunni. Til að ganga úr skugga um að upplýsingar í þeim gögnum væru réttar var fengin stöðvaskrá sem Veðurstofan notar við sína úrvinnslu. Voru upplýsingar úr skránni bornar saman við RINEX gögnin. Misræmi fannst í örfáum tilfellum og voru gögnin þá leiðrétt.

ITRF, ITRS og IGS

Hugtakið ITRF hefur verið nefnt hér fyrir í skýrslunni og mun koma fyrir oftár hér í framhaldinu. Því er ekki úr vegi að útskýra stuttlega við hvað er átt.

Þegar unnið er með nákvæmar GNSS mælingar er unnið í hnitakerfi sem kallast ITRS (International Terrestrial Reference System). Kerfið er skilgreint á eftirfarandi hátt skv. (IERS, 2010).

1. It is geocentric, its origin being the center of mass for the whole Earth, including oceans and atmosphere;
2. The unit of length is the meter (SI). The scale is consistent with the TCG time coordinate for a geocentric local frame, in agreement with IAU and IUGG (1991) resolutions. This is wobtained by appropriate relativistic modeling;
3. Its orientation was initially given by the BIH orientation at 1984.0;
4. The time evolution of the orientation is ensured by using a no-net-rotation condition with regards to horizontal tectonic motions over the whole Earth.

Þar sem ekki er hægt að mæla út frá skilgreiningu ITRS með beinum hætti eru gefnir út svokallaðir alþjóðlegir viðmiðunarrámmar ITRF (International Terrestrial Reference Frame) sem veita okkur aðgang að kerfinu. Viðmiðunarrámmi er í sjálfu sér ekkert annað en hnit á mælistöðvum og færsluhraðar þeirra. ITRF rámmi er ákvarðaður með fjórum landmælingaaðferðum utan úr geimi, DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite), GNSS (Global Navigation Satellite Systems), SLR (Satellite Laser Ranging) og VLBI (Very Long Baseline Interferometry). Engin ein aðferð getur ákvarðað alla þætti fyrir ITRS en þessar fjórar aðferðir vega hvor aðra upp og skilgreina nákvæmasta viðmiðunarramma sem í boði er í dag (Altamimi o.fl., 2016). Frá árinu 1988 hafa verið gefnir út 13 ITRF viðmiðunarrámmar. Gefinn var út nýr rámmi nánast árlega til ársins 1997 að árinu 1995 undanskildu. Eftir 1997 hafa einungis fjórir rámmar verið gefnir út. Þetta helgast af því að ITRF lausnirnar hafa orðið nákvæmari og stöðugri með lengri mælisögu, bættri tækni og bættem úrvinnsluaðferðum. Nýjasti rámminn ITRF2014 var gefinn út árið 2016 (IERS. 2017). Helsta nýjungin í ITRF2014 er sú að tekið er á því vandamáli að færsluhraðar mælistöðva eru ekki alltaf línulegir og stökk og breytingar á færsluhröðum geta myndast í tímaröðum t.d. vegna jarðhræringa eða vegna þess að skipt er um mælibúnað.

Samhliða nýrri útgáfu á ITRF er gefinn út IGS (International GNSS Service) rámmi. Sá rámmi er að jafnaði notaður við úrvinnslu á GNSS gögnum. IGS er GNSS hluti ITRF og gefur út daglegar upplýsingar sem eru nauðsynlegar í nákvæmri úrvinnslu á GNSS gögnum s.s. nákvæmar gervitunglabrautir. IGS14 rámminn var gefinn út í byrjun árs 2017 og er tengdur ITRF2014 með 252 sérvöldum GNSS mælistöðvum (Reischung,P. Altamimi, Z., 2017) og er hannaður til að vera samkvæmur ITRF2014 „að jafnaði“. Smávægilegur munur getur þó verið á hnitum og færsluhröðum einstakra stöðva.



Úrvinnsla mæligagna

Landmælingar Íslands eru aðili að NKG GNSS Analysis Center sem er samstarfsverkefni sem miðar að samræmdri GNSS úrvinnslu í Bernese 5.2 (Dach, R. o.fl., 2015) fyrir Norðurlöndin og Eystrasaltlöndin. Í verkefninu er unnið úr gögnum frá völdum jarðstöðvum í hverju landi fyrir sig og niðurstöður síðan sameinaðar í lokalausn. Gefin hefur verið út grein í Journal of Geodetic Science sem lýsir verkefninu og fyrstu niðurstöðum þess (Lahtinen o.fl., 2018). Niðurstöðurnar byggja á greiningu á gögnum frá miðju ári 2014 til loka ársins 2016 og sýna samræmi milli lausna upp á 1-2 mm. Allt frá árinu 2001 hafa gögn verið endurunin og stefnt að því að endanlegar niðurstöður greininga á tímaröðum liggi fyrir í september 2018. Notast var við leiðbeiningar NKG_AC við úrvinnsluna á gögnum úr ISNET2016 mæliátakinu. Helstu stillingar er að finna í töflu 5.

Þegar úrvinnsla hófst í október 2016 voru skrár fyrir IGS14 ekki aðgengilegar en búist var við að þær yrðu það í byrjun árs 2017. Þar sem stærstur hluti við úrvinnslu af þessu tagi fer í að setja upp mælingarnar var ákveðið að gera fyrst úrvinnslu í IGB08 og keyra þær síðan aftur í gegn með IGS14.

Tegund	Stilling
Gervitunglakerfi	GPS/GLONASS
Tegund lausnar	Advanced ambiguity resolution scheme
Val á grunnlínunum	OBS_MAX
Hæðarhorn	3°/10°/25°
Nákvæmar gervitunglabrautir, klukkur og ERP	CODE
Loftnetskvörðun	epnc_14.atx + igs14.atx
Troposphere líkan	VMF1
Ocean loading tide model	FES2004
Viðmiðunarramma	IGS14

Tafla 5. Helstu stillingar fyrir úrvinnslu á ISNET2016 í Bernese 5.2.

Tenging við ITRF/IGS

Fyrsta skrefið í úrvinnslunni var að reikna staðbundinn viðmiðunarramma í IGB08 og síðar í IGS14 fyrir það tímabil sem mælingarnar stóðu yfir. Þetta var gert með því að tengja 26 valdar mælistöðvar á Íslandi við 7 ITRF/IGS. Af þessum stöðvum eru 24 jarðstöðvar en tvær stöðvar ENNI og ADAL voru úr ISNET mælingunum. Ástæðan fyrir þessu er skortur á jarðstöðvum á Norðvesturlandi. Staðbundinn viðmiðunarramma er reiknaður til þess að losna við mjög langar grunnlínur þegar unnið er úr sjálfri netmælingunni. Mjög langar grunnlínur eru ónákvæmari og geta haft áhrif á innri nákvæmni grunnstöðvanetsins sérstaklega þegar mælt er í styttri tíma. Því er betra reikna tengingu við ITRF/IGS með færri stöðvum yfir lengra tímabil.

Unnið var úr öllum tiltækum gögnum fyrir tímabilið 28.2-1.10. Reiknuð var lausn fyrir hvern dag á þessu tímabili. Alls var um að ræða 6351 RINEX skrár. Lokaniðurstaða var síðan reiknuð með ADDNEQ2 í Bernese, með Minimal Constraints skilyrði. Ákveðið var að viðmiðunartími mælinganna yrði 1. júlí 2016.

Þar sem gögnin ná yfir 7 mánaða tímabil má glögglega sjá landrek og hæðarbreytingar í gögnunum en auk þess er hægt að greina árstíðabundnar sveiflur sérstaklega í jarðstöðvum í nágrenni Vatnajökuls.

Úrvinnsla úr mæliblokkum

Hver mæliblokk fyrir sig var reiknuð út. Fyrst voru reiknuð nálgðu hnit fyrir grunnstöðvar og jarðstöðvar sem ekki eru hluti af staðbundna rammanum með PPP rútinu í Bernese. Þá var reiknuð dagleg netlausn með NKG AC stillingum. Vali á grunnlínum var lítillega breytt þannig að fjarlægð milli mælistöðva fékk jafn mikið vægi og sameiginlegur fjöldi mælinga (OBS_MAX). Þegar niðurstöðurnar fyrir alla daga mælingarinnar lágu fyrir var rýnt í niðurstöðurnar og sérstaklega skoðað hvort mikið frávik væri milli dagslausna. Talsvert var um frávik í mæliblokk 5. Þetta á sérstaklega við í hæð en dæmi voru um að það munaði 25 mm milli dagslausna. Eins og áður kom fram var veður mjög rýsjótt þá vikuna. Mælibúnaður virðist ekki hafa hnikast til nema í Borgarvirki og skekkjurnar koma einnig fram á mælistöplum. Ekki eru merki um ókyrrð í jónahvolfinu þessa vikuna en mögulega má rekja þessi frávik til veðrahvolfsins.

Þá komu nokkuð oft upp stór frávik á fyrsta degi mælinga m.v. við restina af vikunni. Í flestum tilfellum var um að ræða gögn frá stöðvum sem höfðu verið settar upp seint að kvöldi og því var mælitíminn stuttur þann daginn. Þessar mælingar voru fjarlægðar og útreikningur á dagslausn endurtekinn.

Lokaniðurstaða

Að lokum voru allar dagslausnir sameinaðar í lokalausn í ADDNEQ2. Viðmiðunarhnit voru fengin úr staðbundna rammanum og voru nokkrir möguleikar prófaðir við þvingun á netinu. Minimal constraint (MC) lausn og þvingun sem leyfir frávik upp á 1 mm (C1) gáfu nánast sömu niðurstöðu. Mesti munur er innan við 1 mm og oftast innan við 0,1 mm. C1 lausnin gaf aðeins betra RMS gildi og var hún því valin sem formleg lokalausn fyrir ISNET2016 mælinguna. RMS gildi fyrir MC og C1 lausnirnar er að finna í töflu 6. RMS gildið byggir á 1448 hnitum frá 222 mælistöðvum.

Lausn	RMS_A [mm]	RMS_N [mm]	RMS_h [mm]	95%_lega [mm]	95%_hæð [mm]
C1	0.73	0.97	2.86	3.0	5.6
MC	0.74	0.98	3.04	3.0	6.0

Tafla 6. Tölfræði fyrir loka útjöfnun.

Við sjáum að RMS gildið er innan við 1 mm í austur- og norðurþætti og um 3 mm í hæð. Þetta teljast nokkuð góðar niðurstöður.

Það kemur ekki á óvart að nákvæmni í hæðinni sé talsvert verri en í legu. Fyrir þessu liggja nokkrar ástæður. Þær helstu eru verri rúmfræði gervitunglanna til þess að ákvarða hæðarþáttinn þar sem einungis er hægt að mæla í tungl sem eru yfir sjóndeildarhring, seinkun á merki frá gervitunglunum í gegnum veðrahvolfið og ónákvæmni í ákvörðun á fasamiðju GNSS loftneta (Rothacher, M., 2002).

Stuttar tengingar með WASOFT

Eins og áður hefur komið fram hafa jarðstöðvar verið settar niður nálægt grunnstöðvum á nokkrum stöðum. Í nokkrum tilfellum var ekki mælt í þessum stöðvum þar sem tenging við jarðstöðina hafði verið mæld áður. Hnit þessara stöðva voru reiknuð í WASOFT þar sem hnitum jarðstöðvanna úr Bernese úrvinnslunni var haldið föstum, sjá töflu 6. Þá voru einnig reiknaðar nokkrar stuttar tengingar úr ISNET2016 mælingunum sem áður voru reiknaðar í Bernese til þess að fá samanburð. Í legu var munurinn alltaf undir 1 mm en í hæð munaði mest 3 mm.

Mælistöð (Stuttnefni)	Jarðstöð	Lengd línu [m]	Ártal mælinga	Fjöldi daga
LM0355 (BJAR)	ISAK	103.130	2003	1
OS7470 (GJAL)	GJAC	16.766	2014	1
LM0500 (GRIM)	GFUM	206.038	2015	7
LM0358 (HAUM)	HAUC	7.648	2009	3
RH8434 (KVER)	KVEC	2.012	2015	5

Tafla 7. Tengingar með Wasoft.

Hnitalisti ISNET2016 mælinganna

Á næstu síðum er að finna jarðmiðjuhnit 233 mælistöðva í grunnstöðvanetinu í viðmiðun ISN2016. Viðmiðunarramma IGS2014, tími 2016.5.

Stuttnefni	NR	X	Y	Z	Heiti
5000	5000	2590174.5368	-999807.6777	5723089.5531	Almannagjá
ADAL	OS7378	2525419.4807	-891722.0299	5769912.9486	Aðalsmannsvatn N
AKAR	LM0310	2532303.2311	-1041447.9093	5741281.3643	Akrar
AKUR	10206M001	2502918.2772	-819167.0026	5789715.0651	Akureyri
ALFD	ALFD	2599642.3676	-747114.3024	5757626.1807	Álfadalur
ARHO	ARHO	2467610.2094	-759562.3679	5812784.5760	Árholt
ARNE	LM0319	2384767.8604	-1014205.6036	5808538.3890	Arnarnes
ASFJ	LM0072	2595780.3602	-1045763.3705	5712396.4929	Ásfjall
ASVO	OS7494	2555845.6776	-869149.5424	5760214.9002	Ásbjarnarvötn
AUST	AUST	2680947.0708	-927342.9850	5694998.4299	Austmannsbunga
BADA	LM1008	2517919.2090	-794366.5683	5786780.0362	Bárðardalur
BAFJ	LM0334	2511292.7006	-663041.2804	5805888.6423	Bakkafjörður
BAGE	LM0337	2573610.2554	-632242.8687	5782134.3907	Bakkagerði
BAKH	OS7031	2475668.1137	-773840.6134	5807473.9708	Bakkahöfði
BALD	BALD	2609137.6548	-735815.0616	5754775.2189	Búrfellsalda
BELG	LM0502	2559354.7004	-1034401.5539	5730633.2755	Belgsholt
BESS	LM0341	2606272.6872	-701080.5562	5760374.3929	Bessastaða S
BJAL	LM3359	2640062.8561	-914420.6426	5715079.8604	Bjallavað S
BJAR	LM0355	2627494.5337	-943235.0862	5715870.7558	Bjarnalón
BLAF	VR6713	2607086.0087	-1034890.7594	5709606.3557	Bláfjöll
BLON	LM0326	2504354.2226	-903051.0147	5777074.4271	Blönduvirkjun V
BOGO	4011	2377006.3893	-1020842.5826	5810489.2536	Bolungarvík, golfvöllur
BORG	LM0359	2550747.2931	-1026289.5304	5735901.7923	Borgarnes
BORI	BORI	2550669.4698	-1026493.4776	5735894.7681	Borganes Ísmar
BOTA	LM0351	2695326.0052	-888599.7015	5692907.0659	Botnar
BOVI	LM0504	2486082.1178	-934404.5639	5779633.9479	Borgarvirki S
BREH	LM0343	2625126.9868	-683682.0422	5753744.4305	Breiðdalsheiði
BRVA	OS7371	2549358.1716	-990669.1203	5742824.4427	Breiðavatn NA
BUDH	BUDH	2623146.0658	-919878.4269	5722008.2183	Búðarháls
DJUV	LM0346	2653554.8118	-674423.6853	5741361.5713	Djúpivogur A
DYNC	DYNC	2600414.3654	-813239.0682	5748899.0330	Dyngjuháls
DYNG	DYNG	2584564.5065	-773035.7511	5761279.6302	Askja, Dyngja
DYNY	DYNY	2582052.2941	-795118.1289	5759252.3981	Dyngjufjöll
EGIL	LM0339	2592757.4016	-665860.0681	5769949.5020	Egilsstaðir
EINH	OS7385	2667086.7183	-941871.7073	5698184.8980	Einhyrningur
ENNI	LM1260	2463206.7170	-961488.3414	5785116.5544	Ennishöfði
ENTC	ENTC	2676769.5546	-931216.9352	5696305.1800	Enta
EYRA	LM0524	2420320.0294	-1007851.5761	5795317.9796	Eyrafjall
EYVI	EYVI	2675117.9355	-757178.1966	5721471.6160	Eyvindstungur
FEDG	FEDG	2637488.6107	-943810.2976	5711401.5829	Feðgar

Stuttnefni	Númer	X	Y	Z	Heiti
FELL	LM0349	2682826.5071	-773586.0447	5715376.2296	Fellsá SV
FIM2	FIM2	2681037.9438	-945920.0385	5691388.2924	Fimmvörðuháls- Baldvinskáli
FITC	FITC	2609815.5882	-928883.4539	5726872.2558	Fitjuás
FITJ	LM0534	2515338.3120	-943810.8012	5765771.7596	Fitjá austan
FJAL	RH8437	2583683.3350	-791534.8125	5759073.8989	Fjallsendi
FJOC	10212M001	2583008.5686	-839571.9790	5752740.2054	Fjórðungsalda
FLAD	RH8701	2465226.0938	-796166.5184	5808883.9383	Flateyjardalur
FLAG	OS7226	2630615.6358	-971249.6496	5709657.6350	Flagbjarnarholt
FLEY	LM0322	2454713.7477	-1038231.5618	5775229.7793	Flatey
FLOK	LM0321	2431597.4190	-1040832.0166	5784470.5807	Flókalundur
FLUD	LM0366	2616189.0549	-968697.3308	5716637.6664	Flúðir
FOSA	LM0309	2576133.0716	-1012786.2526	5727002.4668	Fossá V
FTEY	FTEY	2460771.3041	-792338.0405	5811264.0169	Flatey á Skjálfanda
GALT	OS7485	2662698.2181	-879191.2019	5710220.1521	Galti
GASK	LM0301	2580413.6049	-1078663.8429	5713110.3260	Garðskagaviti
GEIK	LM0336	2560268.9431	-656422.7682	5785368.3908	Geirastaðaklettur
GFUM	GFUM	2638987.9964	-820265.5854	5731063.5232	Grímsfjall
GIGO	GIGO	2600389.7320	-795952.7359	5750954.3768	Gígöldur
GJAC	GJAC	2593089.0743	-823270.4790	5750446.6263	Gjallandi
GJAL	OS7470	2593102.0074	-823277.3627	5750438.4749	Gjallandi A
GJOG	LM0325	2423698.8729	-947339.3786	5803721.7454	Gjögur
GLER	GLER	2635819.2425	-949080.0021	5711234.4885	Glerhaus
GMEY	GMEY	2421612.3634	-787717.9965	5828200.7570	Grimsey
GOLA	GOLA	2678321.9290	-939094.0399	5694113.2761	Goðaland
GORA	NE200201	2638866.6223	-1005159.2586	5699879.0935	Gömlu Ragnheiðarstaðir
GRAE	OS5861	2534173.8893	-775587.6951	5782405.4349	Grænavatn
GRIM	LM0500	2638936.4887	-820464.4758	5731047.9875	Grímsfjall
GRUN	OS7012	2582199.5495	-718008.6567	5769023.3192	Grunnavatnsalda
GRVA	GRVA	2601055.3143	-915163.6670	5732892.3448	Grænavatn, Skeiða- og Gnúpverjahreppur
GSEY	LM0331	2423251.2435	-786502.5510	5827690.7459	Grimsey
GSIG	GSIG	2621134.9330	-785257.2404	5744119.0352	Gengissigið
GUBO	LM0311	2514902.8680	-1028494.1625	5751248.7351	Gullborgarhraun
GUSK	10207M001	2480818.2499	-1100545.4924	5752697.6351	Gufuskálar
HAAS	OS7461	2649096.2383	-701306.4421	5740408.0806	Háiás
HAFS	HAFS	2623802.1636	-843522.4032	5734443.9878	Hamarinn
HAHN	OS7367	2451088.5674	-724496.7848	5824135.5934	Hálshnúkur S
HAHV	HAHV	2606003.2601	-737864.3498	5755967.4826	Hafrahvammagljúfur
HAMR	HAMR	2670304.6346	-971155.3485	5691284.2510	Hamragarðar
HANE	LM0329	2476764.2971	-820464.6717	5800671.0628	Hauganes

Stuttnefni	Númer	X	Y	Z	Heiti
HATT	OS5491	2605875.9745	-747769.0915	5754921.7145	Hattur SV
HATU	LM0518	2632703.4417	-741354.3283	5743624.9335	Hátunga A
HAUC	HAUC	2593526.5740	-859978.0892	5744699.1610	Háumýrar
HAUD	HAUD	2638131.6261	-958343.5694	5708326.8360	Haukadalur
HAUK	LM0307	2608333.2861	-960821.0758	5721615.6106	Haukholt A
HAUM	LM0358	2593530.1370	-859971.3222	5744699.2188	Háumýrar NA
HEBL	OS7472	2578250.6711	-749528.8929	5766668.0699	Herðubreiðarlindir
HEEY	LM0353	2684206.9939	-992350.7869	5681115.7591	Heimaey
HEFE	LM0528	2538862.9969	-905160.3270	5761914.1730	Helgufell
HEGR	LM0327	2479598.9516	-877493.4265	5791253.1106	Hegranes
HEID	10208M001	2579186.0469	-668989.6468	5775789.0711	Heiðarsel
HELC	HELC	2474137.5617	-822430.7213	5801497.4139	Hekaluríki
HERD	RH9208	2614573.4681	-1047825.1692	5703374.9260	Herdísarvík
HERI	LM0313	2479896.3290	-1096560.1620	5753827.2045	Hellissandur-Rif
HESA	HESA	2637576.9266	-937154.6301	5712477.8285	Hestalda
HLFJ	HLFJ	2606265.6147	-955625.8435	5723507.5379	Hlíðarfjall
HLHE	LM0316	2523282.1485	-971626.4405	5757785.1633	Holtavörðuheiði
HLID	HLID	2617878.7755	-1025392.3321	5705953.8493	Hlíðardalsskóli
HNDA	HN1	2382655.9637	-1016809.2766	5808892.7825	Hnífsdalur
HODI	LM0538	2378636.3295	-990818.6371	5815031.2872	Höfði
HOFN	10204M002	2679689.9453	-727951.0365	5722789.5057	Höfn_IGS
HOSA	VR923616	2598908.4232	-1031406.4286	5713586.7015	Hólmsá
HOSK	OSTD14	2601625.0651	-1057110.5856	5707661.8011	Höskuldsvellir
HOST	LM0348	2679718.0690	-727977.8993	5722771.7279	Höfn
HOTE	LM0340	2577683.9068	-684377.5486	5774580.4458	Hofteigur
HOTJ	HOTJ	2468876.4600	-766335.2623	5811382.6237	Hóll á Tjörnesi
HRAU	LM0347	2672929.5653	-706039.6417	5728645.2121	Hraunkot NA
HROF	LM0324	2438984.8222	-972980.3849	5793107.5016	Hrófberg
HROV	LM0536	2368934.6375	-974443.7722	5821689.4142	Hrolleifsvík
HUND	LM0521	2515478.6411	-996242.4600	5756613.4318	Hundadalur
HUSM	HUSM	2603892.3228	-1021358.9024	5713249.8927	Húsmúli
HVEL	10218M001	2559321.6841	-909383.2660	5752357.4407	Hveravellir
HVER	HVER	2612573.6545	-1012553.8431	5710687.8230	Hveragerði
HVIV	OS7482	2587294.4636	-931532.5906	5736156.6593	Hvítárvatn S
HVOL	HVOL	2698197.2156	-921039.8855	5686606.7811	Láguhvolar
INSK	INSK	2577865.1992	-914584.1159	5743378.8351	Innri Skúti
INTA	10213M001	2607173.9263	-736910.6678	5755515.1644	Inntak Kárahnjúkar
ISAF	10209M001	2385703.6628	-1018546.9638	5807349.9785	Ísafjörður
ISAK	10214M001	2627583.3716	-943252.7472	5715821.4422	Ísakot

Stuttnefni	Númer	X	Y	Z	Heiti
ISHO	OS7379	2558527.7054	-802265.4561	5768493.4937	Íshólsvatn
JOKU	OS7383	2633520.6615	-867895.7953	5725426.4910	Jökulheimar
KALF	10215M001	2676116.8282	-853485.0739	5707267.1688	Kálfafell
KALT	KALT	2633014.1828	-992627.5644	5704777.8912	Kálfholt í Holtum
KANE	LM0345	2643404.8731	-651525.3500	5748653.0946	Kambanes
KEFI	KEFI	2590632.5669	-1078131.8747	5708665.0757	Keflavík Ísmar
KEIL	LM3713	2593136.6723	-1061430.0633	5710621.5309	Keilisnes
KHRA	LM0527	2569675.8058	-903256.5903	5748734.4972	Kjalhraun
KIDA	OS7469	2570034.8578	-832199.7487	5759460.3556	Kiðagilsdrög
KIDC	KIDC	2570032.4516	-832200.4535	5759462.8002	Kiðagilsdrög Jarðstöð
KIDJ	KIDJ	2621667.9518	-994561.3399	5709658.4542	Kiðjabergr
KIRK	LM0312	2504336.9631	-1068051.4358	5748624.1789	Kirkjuból
KISA	KISA	2608985.9120	-825720.2294	5743739.7176	Kista
KJAV	LM0357	2609078.4294	-896345.8424	5732061.6482	Kjalvötn NV
KLOF	OSTD76	2603498.1251	-1050090.8511	5708148.8937	Sandfellsklofi
KNAR	LM0315	2493495.6637	-1001446.5741	5765201.2709	Knararhöfn
KOSK	KOSK	2465462.7632	-727656.1047	5817687.9221	Kópasker
KRHR	OS7220	2637798.2243	-965304.7439	5707314.5878	Krókahraun
KRIV	KRIV	2609407.8718	-1058364.6152	5703943.0179	Krísuvík
KRME	OS7442	2550578.3655	-739068.8685	5780142.8838	Króksmelshellur
KVEC	KVEC	2614592.2129	-782023.4669	5746448.1173	Kverkfjöll Jarðstöð
KVER	RH8434	2614590.2525	-782023.0540	5746447.9309	Kverkfjöll
KVIK	LM0303	2610172.9749	-1059327.3118	5703398.2608	Krísuvík
KVIS	KVIS	2474438.6596	-769361.7144	5808631.0784	Kvísarhöll
LAFE	LM0342	2618922.0850	-721853.2417	5752169.5798	Laugarfell SV
LAHL	LM0356	2616372.2491	-917935.2770	5725401.8829	Langahlíð
LAMY	OS7225	2626301.3693	-986086.6639	5709000.3107	Langamýri
LANH	LANH	2602223.8140	-773797.3592	5752987.2905	Langahlíð Jarðstöð
LAUV	LM0306	2601585.9044	-987329.9841	5720196.0190	Laugarvatn V
LAXA	LM0505	2467495.3782	-908519.4526	5791568.0751	Laxárbrú V
LFEL	LFEL	2589087.5175	-930032.2477	5735712.5001	Lambafell
LIKA	VR922424	2603242.6054	-1025440.2445	5712802.6410	Litla Kaffistofan
MAEL	OS7416	2670431.1194	-917713.3410	5700568.5349	Mælifell V
MESE	LM0535	2393882.0980	-962799.5982	5813445.3232	Meyjarsel
MIME	VR921112	2611113.4760	-1026495.3542	5709062.6401	Milli Meitla
MJOL	LM0320	2414993.7084	-1029615.4103	5793912.0818	Mjólká
MJOS	LM0317	2427300.6214	-1077887.9816	5779512.4246	Mjósund

Stuttnefni	Númer	X	Y	Z	Heiti
MOFC	MOFC	2591272.7814	-775814.2835	5757665.4263	Móflöt
MULA	NE200204	2524416.0045	-766736.3193	5787827.9803	Múlavegur
MYVA	10205M001	2524224.5364	-766501.9500	5787949.7252	Mývatn
NAEF	717	2636433.9086	-954765.2112	5709725.7155	Næfurholt
NOME	OS7384	2518718.2499	-738513.5058	5794009.5912	Norðurmelur
NONH	NONH	2638371.7119	-976839.0248	5705104.2097	Nónhóll
NUPA	LM0530	2543899.9633	-949128.2415	5752610.6345	Núpatjörn V
NYLA	NYLA	2588165.4251	-1084675.7905	5708486.2430	Nýlenda
OFEL	OFEL	2677121.2352	-913499.1486	5698000.6811	Öldufell
OFJO	LM0330	2458070.6890	-830270.4325	5807132.8268	Ólafsfjörður
OLFSS	LM0365	2615257.1027	-1012581.1048	5709413.4416	Ölfusborgir
OLKE	OLKE	2607820.9302	-1012548.9335	5713291.4816	Ölkelduháls
RAUF	LM0332	2456990.9855	-701486.2642	5824452.8363	Raufarhöfn
RENE	LM0302	2603902.0056	-1085476.2349	5701229.5048	Reykjanes
RESK	LM0503	2497191.5351	-963093.4112	5770101.9681	Reykjaskóli NA
REYF	LM0352	2705448.9685	-932957.4434	5681294.2432	Reynisfjall
REYH	LM0323	2461535.3203	-1004794.9256	5778216.8189	Reykhólar
REYK	10202M001	2587384.0649	-1043033.5489	5716564.1199	Reykjavík_IGS
RFEL	RFEL	2692383.3863	-909825.9478	5691103.0852	Rjúpnafell
RHOF	10216M001	2456169.7450	-701823.6145	5824743.2557	Raufarhöfn
RHOL	10210M001	2462450.2515	-1005614.1245	5777687.8878	Reykhólar
RIFC	RIFC	2600750.4000	-764847.1224	5754803.1582	Rifnihnjúkur
RJUC	RJUC	2602624.0708	-821970.9002	5746499.0688	Rjúpnabrekkukvísl
RLAE	VR275S	2639011.5159	-984934.7754	5703374.2147	Rauðilækur
RVKI	RVKI	2589377.2950	-1041132.1443	5716055.4099	Reykjavík Ísmar
SAFE	LM0318	2398155.0394	-1042519.9668	5798328.1585	Sandfell
SAMK	LM0328	2520172.5123	-827572.7645	5781070.9385	Samkomugerði
SARP	SARP	2569034.7216	-999891.3911	5732529.5070	Sarpur
SAUD	SAUD	2609938.8279	-742658.2383	5753603.5779	Sauðárháls
SAUR	SAUR	2628837.7273	-978984.5127	5709063.8258	Saurbær
SAVI	SAVI	2483494.7599	-777142.7704	5803762.1752	Saltvík
SEHE	VR4602	2619524.9868	-1035030.5541	5703580.7880	Selvogsheiði
SEJA	LM0354	2671260.3766	-971798.6561	5690706.4388	Seljaland
SELF	SELF	2623476.5426	-1008751.5060	5706311.7806	Selfoss
SELI	SELI	2623174.7093	-1006989.2188	5706770.3547	Selfoss Ísmar
SELV	LM0506	2430012.9165	-898999.0061	5808749.4621	Selvíkurtangi SA
SEVE	LM0525	2401248.8477	-991282.1893	5805676.4680	Selá
SIFJ	SIFJ	2447970.2468	-838096.5661	5810265.9233	Siglufjörður
SJUK	SJUK	2478550.0535	-773872.4086	5806251.4755	Sjúkrahúsið Húsavík

Stuttnefni	Númer	X	Y	Z	Heiti
SKDA	SKDA	2588035.0055	-976157.3098	5728578.9469	Skriða
SKFC	SKFC	2678879.6371	-818431.0927	5711277.0948	Skaftafell
SKFE	VG20044341	2589263.1326	-1017082.0672	5720692.5860	Skálafell
SKHA	10211M001	2535300.9704	-996315.9240	5748071.6771	Skarðshamrar
SKOG	SKOG	2683886.4464	-947541.7867	5689460.2731	Skógaheiði
SKRO	SKRO	2607916.3553	-866436.5789	5737542.9142	Skrokkalda
SKUM	LM3073	2654060.2186	-992439.5482	5695091.6984	Skúmsstaðir
SNAE	SNAE	2681785.6205	-904212.0764	5697066.8904	Snæbýli
SNES	LM0537	2351946.1197	-1004979.3747	5823342.5731	Straumnes
SODU	SODU	2645227.6733	-941182.5672	5708592.7950	Söðulfell
SOHO	SOHO	2689497.2670	-939037.6982	5688438.7203	Sólheimaheiði
SORL	LM0338	2596123.9007	-641863.6254	5771113.4130	Sörlastaðaá
STAL	LM3055	2648486.3154	-971322.7702	5701402.9266	Stóralda
STE2	STE2	2671556.8728	-951747.8080	5694101.6893	Steinsholt
STKA	STKA	2612214.9520	-890399.3868	5731641.4677	Stóra Kjalalda
STOR	STOR	2654220.1833	-977198.5033	5697687.0851	Stórólshvoll
STRH	LM0304	2620121.4709	-1040401.7868	5702216.6320	Strandhæð
STRV	LM0509	2447342.6009	-859627.1435	5807408.0199	Straumnesviti S
STRY	LM2003	2639295.3400	-1005292.5317	5699663.5747	Strýta
STYK	LM0314	2486468.2951	-1041516.3643	5761149.4680	Stykkishólmur
SVIF	OS7375	2686770.0735	-814258.9321	5707990.3089	Svínafell S
TBRU	NE200501	2630491.2011	-991844.3092	5706105.7755	Austan Þjórsárbrúar
TEIA	LM0344	2623159.9273	-644377.7023	5758771.6414	Teigará
THER	OS7441	2499694.0888	-762498.8161	5799073.1704	Þeistareykir
THEY	THEY	2681806.7408	-957239.0435	5688292.2163	Þorvaldseyri
THOC	THOC	2596004.3163	-777633.0169	5755262.1245	Þorvaldshraun
THOH	LM0333	2490465.1717	-682485.4654	5812549.5563	Þórshöfn
THUR	LM0514	2550610.9156	-691130.5129	5786045.2483	Þuríðarvatn
TJAF	LM0308	2581420.9680	-972840.7648	5732052.5127	Tjaldfell S
URHC	URHC	2600585.1227	-802387.9766	5750194.2943	Urðarháls
VAGI	LM0508	2512365.4676	-862333.2089	5779654.9154	Valagilsá
VEGA	LM0511	2508318.3515	-703819.8772	5802909.3409	Vegahnúkur
VLBI	LM0348A	2679650.1342	-727916.1835	5722807.5116	Höfn VLBI
VMEY	10217M001	2683329.5880	-992250.8382	5681548.3428	Vestmannaeyjar
VONC	VONC	2606031.3012	-834418.6352	5743215.4533	Vonarskarð
VOPN	LM0335	2538749.1551	-672174.3138	5792995.4310	Vopnafjörður
VORD	OS7227	2588035.0055	-976157.3098	5728578.9469	Vörðuhóll

Samanburður við eldri mælingar

Samanburður við ISN2004

Þegar bera á saman hnit frá ISN2004 og ISN2016 þarf að koma hnitunum frá 2004 yfir í IGS14 viðmiðunarrammann. Best væri að reikna ISNET2004 upp á nýtt í IGS14 en ekki hefur gefist tími til þess. Í staðinn voru reiknaðar 9 stöðvar úr ISN2004 mælingunni í IGS14 og þau borin saman við IGB00 hnitin, sjá töflu 8. Allar stöðvar nema ADAL voru í gangi allan tímann sem ISNET2004 mælingin stóð yfir.

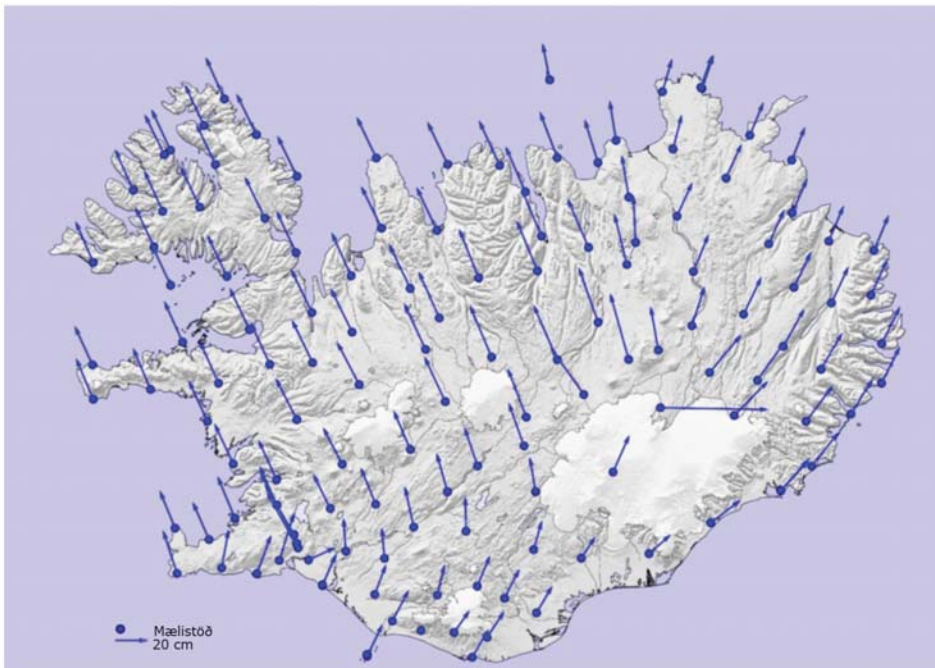
Mælistöð	dX	dY	dZ	dA	dN	Dh
ADAL	-5.0	-0.4	6.8	-2.0	7.0	4.2
AKUR	-6.8	-1.3	-0.6	-3.4	5.3	-3.0
ENNI	-5.0	-1.6	4.0	-3.2	5.3	1.9
HOFN	-4.8	-6.7	7.6	-7.8	5.9	5.6
ISAK	-6.0	-1.0	3.8	-3.0	6.5	1.1
REYK	-6.1	0.1	4.2	-2.2	7.0	1.3
RHOF	-6.6	-3.0	5.5	-4.7	7.2	2.9
SELF	-6.4	0.1	3.8	-2.2	7.0	0.7
VMEY	-8.4	-0.3	1.9	-3.2	7.8	-1.8
Meðaltal	-6.1	-1.6	4.1	-3.5	6.6	1.4
Staðalfrávik	1.1	2.2	2.5	1.8	0.9	2.7

Tafla 8. Samanburður á IGB00 og IGS14 fyrir ISNET2004 mælingarnar.

Munurinn á lausnunum er frekar lítill, öll frávik eru undir 10 mm. Þetta styður þá fullyrðingu að viðmiðunarrammarnir séu að verða stöðugri. Við sjáum þó marktækan mun milli lausnanna. Ef við reiknum muninn úr jarðmiðjukerfi (X, Y, Z) yfir í legu og hæð fáum við meðal mismun uppá -3,5 mm í austur og 6,5 mm til norðurs. Í hæð er munurinn ekki marktækur en meðaltalið var 1,44 mm en staðalfrávik 2,7 mm. Hægt er að nota þessa hliðrun til að reikna á milli kerfa. Einnig er hægt að reikna 7 parametra vörpun þar sem auk hliðrunar er snúningur um alla ása og munur á kvarða er metinn. Þetta var prófað en gaf ekki betri niðurstöðu og því verður hliðrun notuð þegar niðurstöður ISN2016 og ISN2004 eru bornar saman.



Skoðum fyrst færslurnar í IGS14.

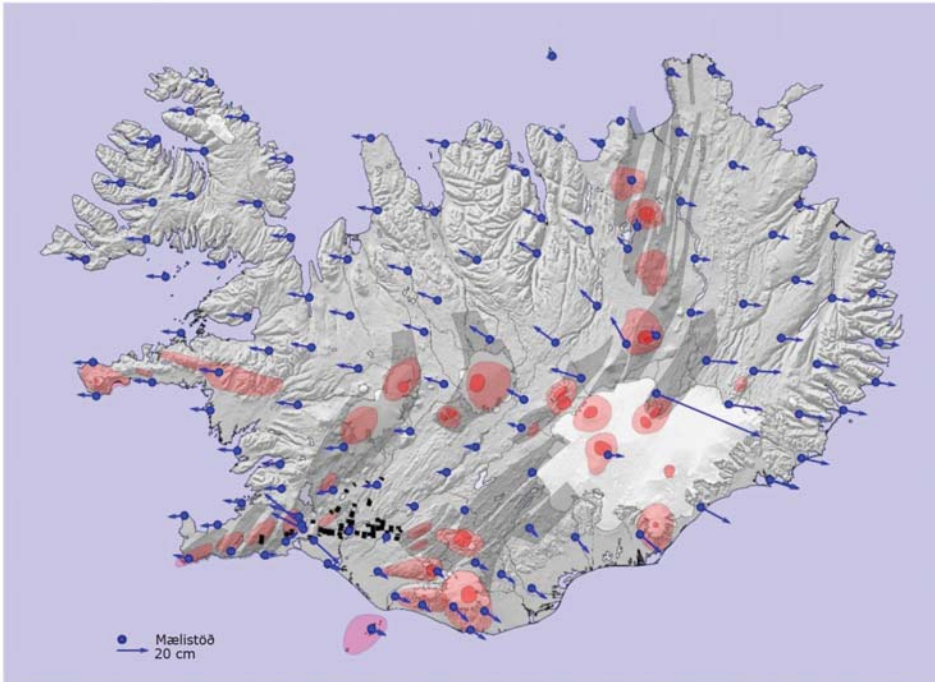


Kort 8. Færslur á mælistöðvum í grunnstöðvaneti milli 2004 og 2016 í IGS14.

Við sjáum hnitabreytingar til norðurs, austurs, vesturs og til suðurs í einu fastmerki. Færslur í kringum Vatnajökul og í kringum Selfoss og Hveragerði skera sig nokkuð úr en það kemur ekki á óvart í ljósi þeirra jarðhræringa sem urðu á tímabilinu 2004-2016. Hnit stöðvarinnar í Kverkfjöllum (RH8434) breytast um 65,7 cm til austurs og 4,8 cm til suðurs. Hnitin á jarðstöðinni í Hveragerði (HVER) breytast um 23,8 cm til vesturs og 42,3 cm til norðurs á meðan hnitin á jarðstöðinni á Selfossi (SELF) breytast um 16,4 cm til austurs og 7,5 cm til norðurs. Hnitabreytingarnar eru að jafnaði um 12-13 cm til vesturs og um 24 cm til norðurs á Norður-Ameríkuflekanum og 11-12 cm til austurs og 20 cm til norðurs á Evrasíuflekanum.



Til þess að átta sig betur á afmyndun á ISN2004 þá drögum við frá meðal norðurfærsluna sem er 22 cm. Þá er einnig fróðlegt að setja á kort jarðfræðilegar upplýsingar um sprungusveima, þverbotabelti, eldstöðvakerfi og megineldstöðvar (Páll Einarsson og Kristján Sæmundsson, 1987).



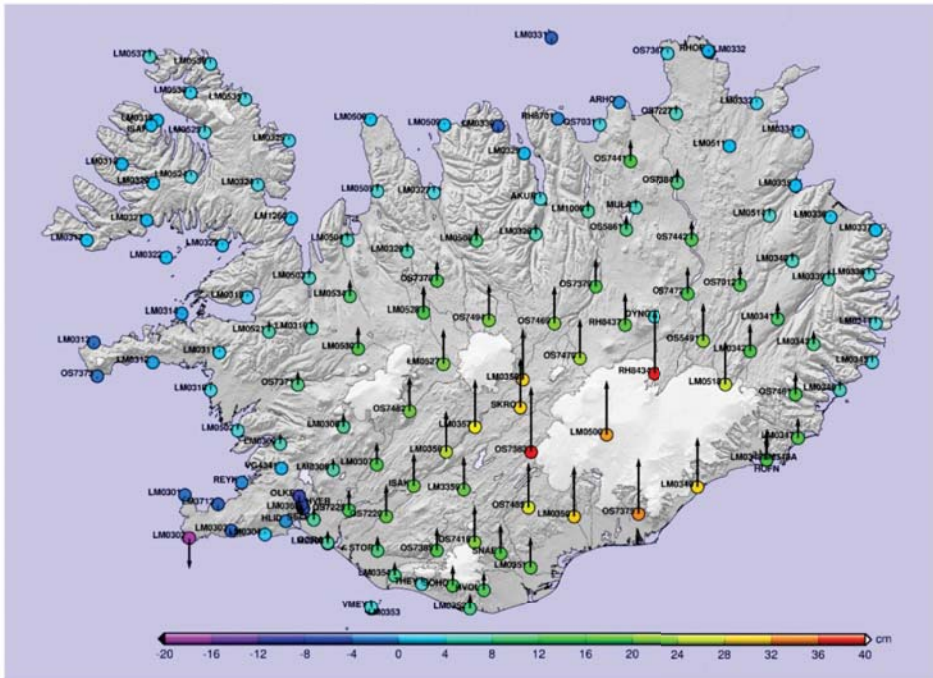
Kort 9. Bjögun á grunnstöðvanetinu á árunum 2004 til 2016.

Við sjáum greinilega afmyndun vegna eldgossins í Holuhrauni og að áhrifanna gætir ekki einungis í Kverkfjöllum heldur í flestum nærliggjandi stöðvum. Við greiningu á tímaröðum frá jarðstöðvum sést að áhrifanna gætir jafnvel á Akureyri og á Hveravöllum en fjallað verður um það síðar í þessari skýrslu. Við sjáum hins vegar að áhrif jarðskjálftans á Suðurlandi virðast ekki ná yfir mjög stórt svæði en þó má greina færslu í tímaröð frá jarðstöðinni í Reykjavík.

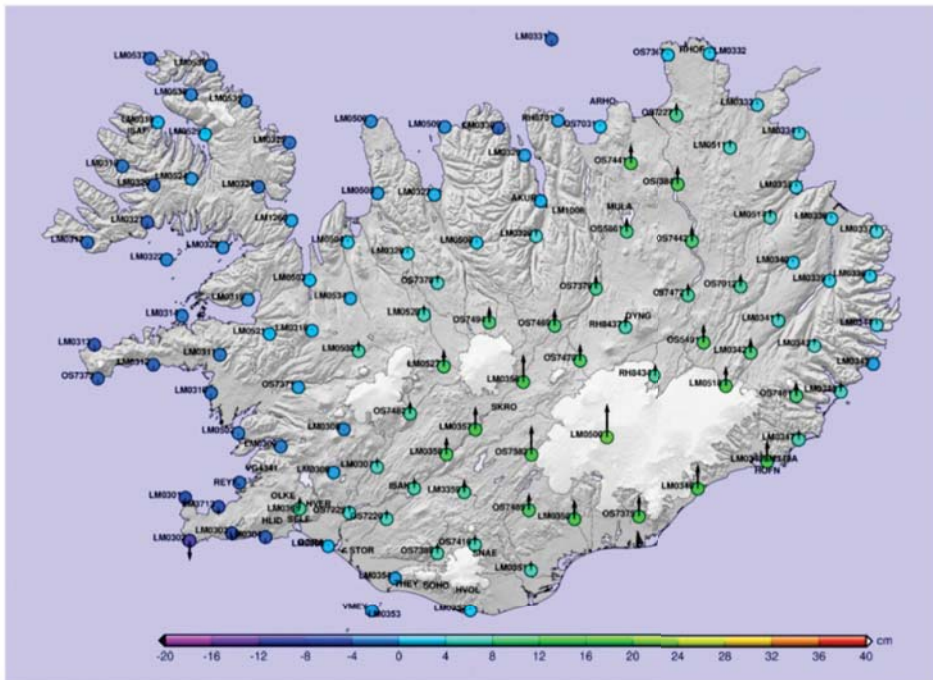
Annars eru niðurstöðurnar nokkuð líkar því þegar niðurstöður ISNET93 og ISNET2004 mælinganna voru bornar saman. Almennt virðist draga úr austur-vestur færslum þegar nær dregur flekaskilum. Þá má sjá að vesturfærslan er minni á Hreppaflekanum en á Norður-Ameríkuflekanum. Einnig er norðurfærslan í stöðvum sunnan Vatnajökuls minni en norðan hans en það stafar af áhrifum landriss á legu grunnstöðvanna.

Breytingar í hæð

Þegar breytingar í hæð eru skoðaðar kemur í ljós umtalsvert landriss, þá sérstaklega í kringum Vatnajökul. Mest var risið í Kverkfjöllum og í Jökulheimum eða 38,9 cm. Til samanburðar var risið í Kverkfjöllum 7,6 cm á tímabilinu 1993-2004 en 17,7 cm í Jökulheimum. Þessi aukning passar vel við greiningu á tímaröðum jarðstöðva fyrir tímabilið 1997,5-2014,7. Niðurstöður greiningarinnar benda til aukningar á landrissi í kringum jökla landsins samfara bráðnun þeirra og að landriss árið 2014 væri komið yfir 30 mm/ári á miðhálandinu með aukningu upp á 1-2 mm/ári (Comton, o.fl., 2015). Við sjáum einnig þessa aukningu í ISNET gögnum sunnan Vatnajökuls en þar hefur vantað jarðstöðvar. Risið við Fellsá (LM0349), Svínafell (OS7375) og Kálfafell (LM0350) var á bilinu 29-33 cm á tímabilinu 2004-2016 samanborið við 12-15 cm fyrir tímabilið 1993-2004. Landrissið nær yfir stærra svæði samanborið við



Kort 10. Hæðarbreytingar á mælistöðvum í grunnstöðvaneti á árunum 2004-2016.

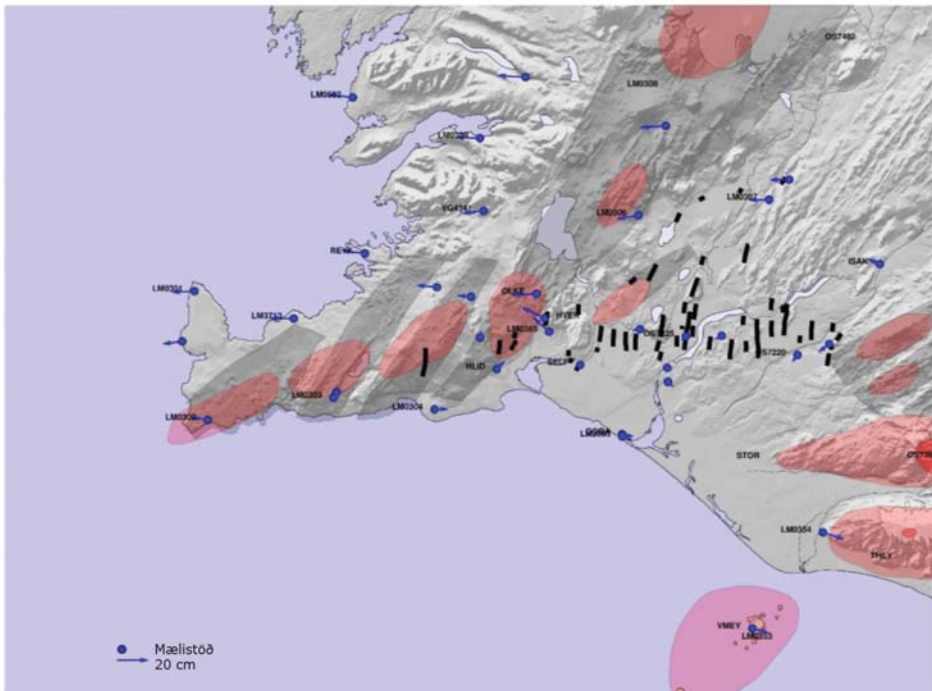


Kort 11. Hæðarbreytingar á mælistöðvum í grunnstöðvaneti á árunum 1993-2004.

Þá sjáum við nokkra aukningu í jarðsigi á Reykjanesi (LM0302) og sig á Hellisheiði. Þetta má rekja til virkunar jarðvarma en Reykjanesvirkjun og Hellisheiðarvirkjun hófu starfsemi árið 2006.

Samanburður við mælingar 2008 og 2010 á Suðvesturlandi

Mælingarnar á suðvesturhorninu frá 2008 og 2010 voru endurunnar með sömu stillingum og ISNET2016 mælingarnar. Alls voru hnit 56 stöðva reiknuð fyrir 2008 og 59 fyrir mælingarnar 2010. Sameiginleg fastmerki 2008 og ISNET2016 mælinganna voru 36 en 35 fyrir 2010 mælingarnar. Þegar þessar niðurstöður eru bornar saman sést að austur-vestur færslurnar við þverbrotabeltið á Suðurlandi eru litlar m.v. færslur fastmerkja sem eru lengra inn á meginlandsflekunum. Þessar upplýsingar eru mikilvægar þegar meta á stöðuga hreyfingu landsins.



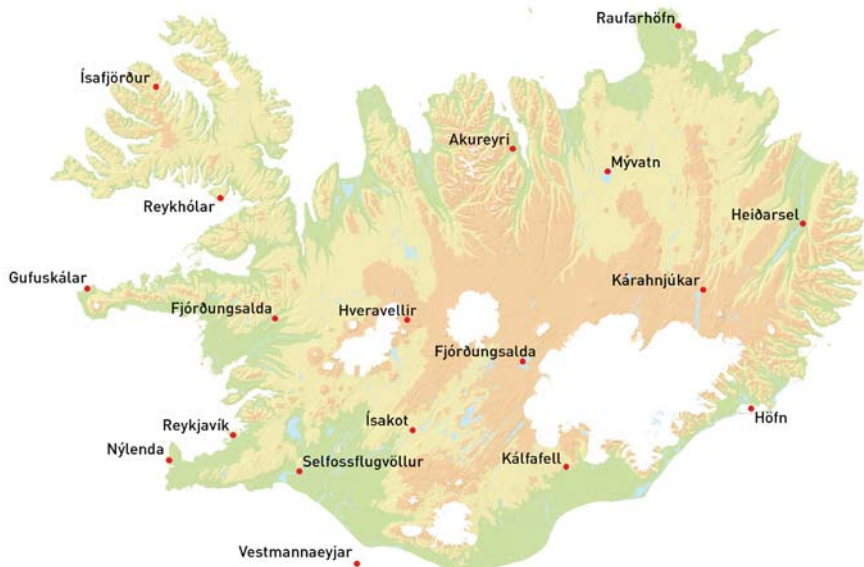
Kort 12. Bjögun á Suðvesturlandi fyrir tímabilið 2008-2016.



Tímaraðir

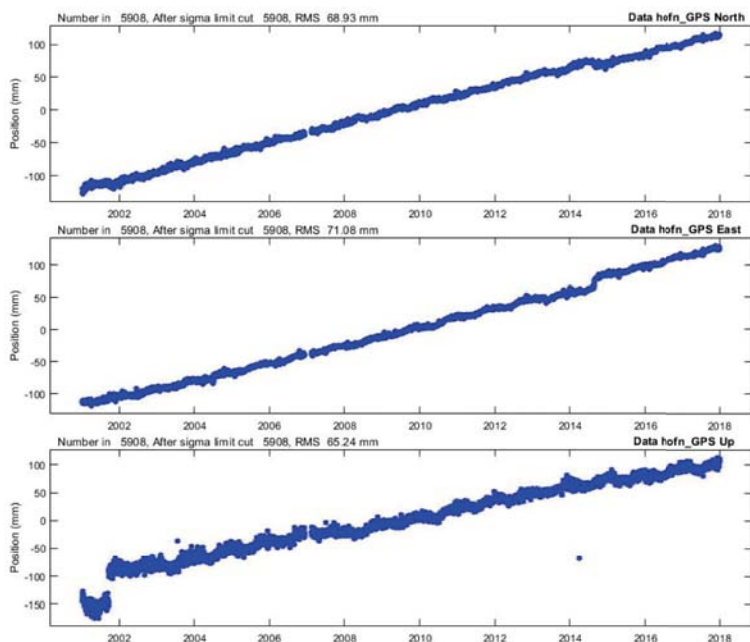
Þegar niðurstöður ISNET mælinganna eru bornar saman gefur það okkur mynd af því hvernig grunnstöðvanetið hefur afmyndast yfir lengri tíma. Þær gefa takmarkaðar upplýsingar um hvernig afmyndunin á sér stað. Er hún algerlega línuleg? Hversu mikil áhrif hafa jarðfræðilegir atburðir? Hvaða áhrif hefur það að mæla með mismunandi tegundum af mælitækjum? Greining á tímaröðum gefur okkur nákvæmari upplýsingar um þessa þætti. Í dag eru um 100 GNSS jarðstöðvar á Íslandi. Flestar þeirra eru reknar af jarðvísindamönnum og eru staðsettar á virkum svæðum en einnig eru stöðvar utan þessara svæða og eru þær flestar reknar af Landmælingum Íslands. Stöðvarnar skrá gögn frá GNSS tunglum á 1-15 sek fresti sem oftast eru vistuð daglega hjá Veðurstofunni eða hjá Landmælingum Íslands. Fyrstu jarðstöðvarnar voru settar upp í Reykjavík árið 1995 og 1997 á Höfn í Hornafirði. Stöðvarnar eru reknar af BKG í Þýskalandi og Landmælingum Íslands og hafa verið hluti af ITRF netinu. Á árunum 1999 til 2001 setti Veðurstofan upp 10 stöðvar á Suðurlandi og var það net kallað IGPS. Síðan hefur stöðvum fjölgað jafnt og þétt mest á virkum svæðum vegna vöktunar á jarðskorpuhreyfingum en einnig á stöðugri svæðum vegna uppbyggingar á IceCORS neti Landmælinga Íslands.

Eins og áður hefur komið fram þá eru Landmælingar Íslands hluti af NKG AC verkefninu og einn þáttur verkefnisins er greining á tímaröðum. Unnið var úr gögnum frá öllum jarðstöðvum IceCORS netsins fyrir tímabilið 2001 til ársloka 2017 í Bernese með NKG AC stillingum í IGb08 rammanum. Vorið 2017 var haldin vinnustofa í greiningu á tímaröðum á vegum NKG. Eftir það var sett upp samræmt vinnulag við greininguna. Forritið Tsview (Herring, T.A., 2003) er notað við frumgreiningu en síðan er notast við Hector (Bos, M.S. o.fl., 2013) og CATREF (Altamimi, Z. o.fl., 2003). Í fumgreiningunni er hver tímaröð skoðuð fyrir sig. Stökk í tímaröðum vegna loftnetsskipta og jarðhræringa eru tímasett. Þá eru óæskileg gögn s.s. vegna þess að snjór hefur sest á loftnet fjarlægð. Eftir það er hægt að meta stökkinn og þá koma jafnvel minni stökk í ljós. Þegar búið er að staðsetja öll stökk og fjarlægja óæskileg gögn er færsluhraði reiknaður. Tekið er tillit til árstíðabundinna sveiflna og Hector og CATREF eru síðan notuð til frekari greininga. Hector er hentugra til þess að meta óvissuna í tímaröðunum þar sem það býður upp á fullkomnari tíðnirófsgreiningu sem gefur möguleika á raunhæfara mati. CATREF er síðan notað til þess að tengja niðurstöðurnar við ITRF2014 og meta hnit fyrir jarðstöðvarnar. Áætlað er að þessari vinnu ljúki síðla árs 2018.



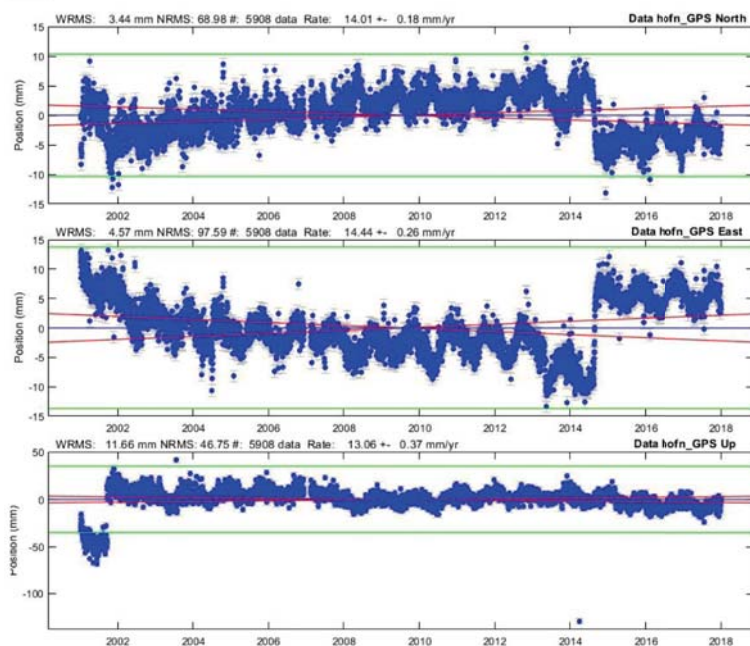
Dæmi um frumgreiningu á tímaröð í Tsviur: HOFN

Hér að neðan er að finna frumgreiningu á tímaröð jarðstöðvarinnar HOFN með skýringum.



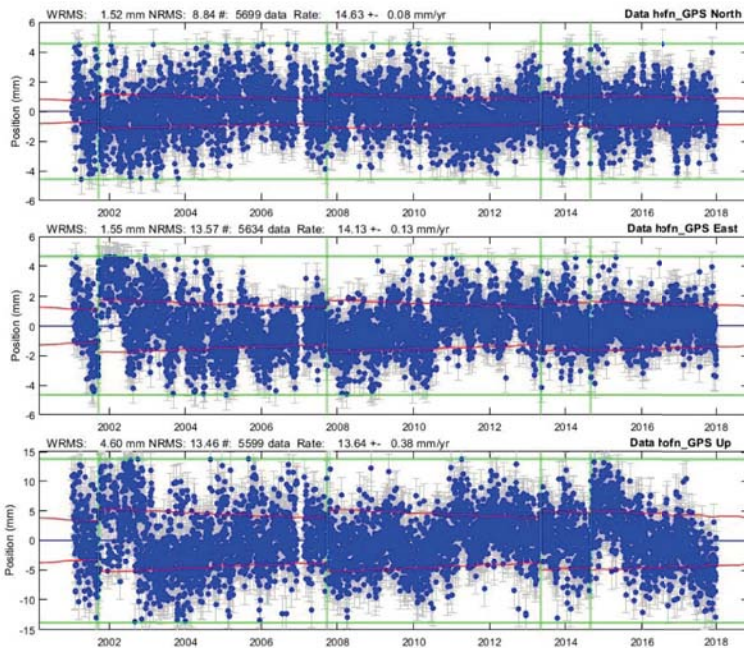
Tímaröð 1. HOFN óunnin tímaröð.

Pegar gögnum frá jarðstöð er hlaðið inn í Tsviur, tímaröð 1, sjáum við hvernig staðsetning stöðvarinnar hefur breyst sem fall af tíma. Við sjáum strax stökk í hæðarpættinum árið 2001 og lítilsháttar stökk í norður og austurpætti árið 2014. Einnig má greina tvö frávik í hæðarpættinum, árin 2003 og 2014.



Tímaröð 2. HOFN, línuleg hneigð hefur verið fjarlægð.

Til þess að fá nánari mynd af tímaröðinni reiknum við línulega hneigð hennar. Þá sjáum við enn betur stökkin og frávikin. Auk þess sjáum við vel árstíðabundnar sveiflur. Stökkið árið 2001 kemur til vegna loftnetsskipta. Einnig var skipt um loftnet árin 2007 og 2013. Stökkið 2014 er síðan tilkomið vegna eldgossins í Holuhrauni.

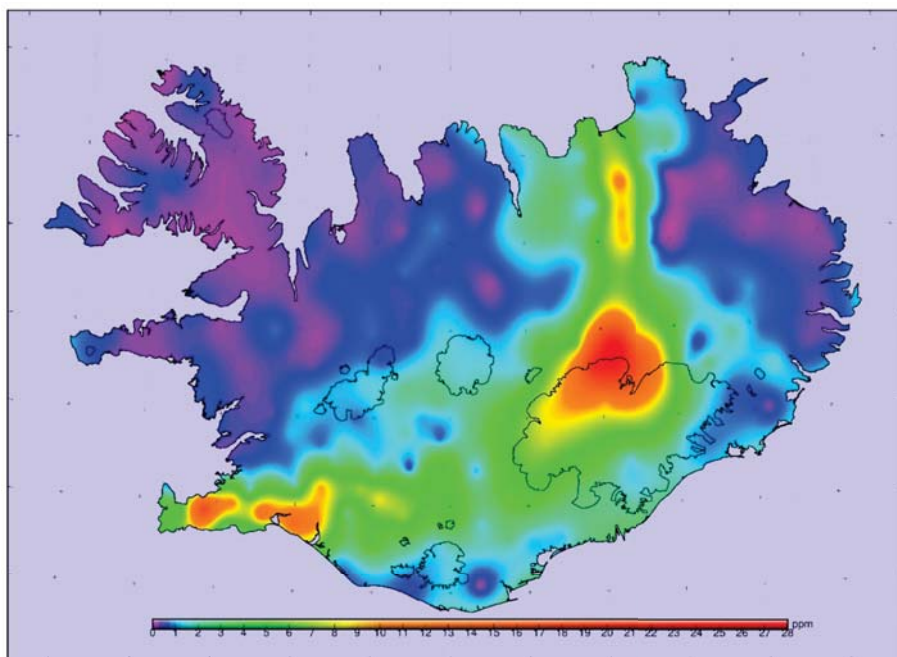


Tímaröð 3. HOFN leiðrétt tímaröð.

Ef við merkjum inn tímasetninguna á loftnetsskiptunum og á eldgosinu fáum við mat á stökkunum í tímaröðinni. Við fjarlægjum frávik sem víkja meira en 3σ frá meðaltali og reiknum út stærðargráðuna á árstíðabundnu sveiflunum. Eftir stendur tímaröð sem gefur okkur gott mat á stöðugum færslum jarðstöðvarinnar. Við sjáum að stærstu frávik frá meðaltali eru um 5 mm í legu en 15 mm í hæð. Þetta gefur ágætis vísbendingu um raunverulega nákvæmni GNSS tækninnar. Þess ber þó að geta að grunnlínur í þessari úrvinnslu voru nokkuð langar. Við sjáum lítilsháttar stökk í hæðarþættinum. Það sem vekur sérstaka athygli er tímabilið frá um miðju ári 2014 til loka árs 2017. Ef við skoðum einungis það tímabil kemur í ljós að landrисиð er 10,3 mm/ári í stað 13,64 fyrir allt tímabilið. Svipaða sögu er að segja fyrir tímabilið 2001 fram á mitt ár 2004. Þá var landrисиð 9,4 mm/ári. Þessar breytingar eru að öllum líkindum tengdar afkomu Vatnajökuls en árið 2015 var fyrsta árið sem afkoma jökulsins var jákvæð síðan 1995 (Veðurstofa Íslands, o.fl., 2018). Það er því ljóst að jarðstöðvar og greining á gögnum þeirra gefa okkur mun betri vísbendingu um þær breytingar sem eiga sér stað heldur en stakar mælingar sem gerðar eru á 10 ára fresti.

Ný viðmiðun fyrir Ísland

ISN93 og ISN2004 eru fastar viðmiðanir þar sem ekki er tekið tillit til landreks og annarra breytinga. Þetta er ekkert sérstaklega heppilegt á Íslandi þegar unnið er á virkum svæðum þar sem sentimetra nákvæmni er krafist. Þar sem ISN93 er enn víða í notkun var gerð greining á bjögun viðmiðunarinnar í legu þar sem hún var reiknuð með einingunni ppm. Í hefðbundnum RTK⁶ mælingum er oft talað um að skekkjan í legu sé um það bil $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}^5$. Það þýðir að skekkja vex um 1 mm fyrir hvern kílómetra sem mælingamaður fjarlægist viðmiðunarstöð. Á kortinu sést að bjögunin er talsvert meiri á stórum hluta landsins. Niðurstöður mælinga í ISN93 eru því algjörlega háðar því hvaða viðmiðunarstöð er notuð á þessum svæðum. Almenn er talað um að nákvæmni í grunnneti fyrir mælingar skuli vera einni gráðu æðri en mælingarnar sem framkvæmdar eru í því. Jafnvel þótt sé mælt með mikilli nákvæmni þá er bjögun í nágrenni við flekaskilin 4-7x meiri á einu ári. Því er ljóst að taka verður tillit til bjögunar ef við ætlum að halda úti nákvæmri viðmiðun fyrir Ísland.



Kort 13. Bjögun á ISN93 árið 2016.

Þá ýtir tæknipróunin og aukið aðgengi almennra notenda að nákvæmri staðsetningu undir það að tekið sé á landreki. Samkvæmt markaðsskýrslu GSA⁷ (GSA, 2017) mun fjöldi nákvæmra GNSS tækja í notkun við landmælingar nánast fjórfaldast til ársins 2025.

Með tilkomu fleiri gervitunglakerfa eins og Galileo og Beidou auk nýrra tungla og merkja frá GPS kerfinu mun nákvæmni og áreiðanleiki í gervitunglaleiðsögn aukast.

Kringum árið 2020 stefnir Galileo á að veita svokallaða Galileo High Accuracy Service sem býður upp á um 20 cm nákvæmni. Þá eru í rekstri nokkur önnur kerfi, t.d. Navcom, Trimble Positioning Service og Veripos, sem senda PPP leiðréttingar í gegnum gervitungl eða internetið. Nákvæmni þessara kerfa er gefin upp 4-10 cm. Í flestum þessara tilfella er staðsetningin í ITRF/IGS þess tíma sem mælingin fer fram. Flest landshnitakerfi í Vestur Evrópu voru endurnýjuð með GPS mælingum í kringum 1990. Munurinn á þessum kerfum og ITRF í dag er um 50-60 cm. Í Ástralíu er munurinn um 1,5 m.

⁵Parts per million

⁶Real Time Kinematic

⁷European Global Navigation Satellite Systems Agency

Árið 2017 buðu 5,4 milljarða snjallsíma upp á gervitunglaleiðsögn. Þarna á sér stað talsverð þróun sem mikilvægt er að fylgjast með. Móttaka frá fleiri en einu gervitunglakerfi er í flestum nýjum sínum (GSA, 2018). Þá er hægt er að skrá hrá burðarbylgju gögn í sumum af nýjustu tegundum af Android sínum (Wübena, T. o.fl., 2018). Þetta opnar einnig fyrir möguleikann á að taka á móti rauntímaleiðréttingum, bæði RTK og PPP. Þá kom nýlega út farsími frá Xiaomi með tveimur rásum sem opnar möguleika á enn meiri nákvæmni. Haldi þessi þróun áfram má gera ráð fyrir að almennur farsímanotandi geti staðsett sig jafnvel með 10-30 cm nákvæmni innan nokkurra ára í stað 6-10 m. Svipuð þróun á sér stað í bílaiðnaðinum þar sem nákvæm staðsetning með GNSS í bland við aðrar þekktar landmælingaaðferðir eins og LIDAR, RADAR, myndavélar, INS o.fl. mun öllum líkindum verða notuð í sjálfkeyrandi bílum framtíðarinnar. Talið er að nákvæmnisþörfin sé um 10 cm.

Þegar nákvæmni í gervitunglaleiðsögn er orðin þetta mikil þá fer viðmiðunin að skipta máli. Þegar hinn almenni notandi er farinn að krefjast/óska eftir svo mikilli nákvæmni þá þarf að skoða ýmsa aðra þætti sem ekki þurfti áður. Mun tæknin notast við RTK leiðréttingar í landshnitakerfi eða við PPP (SSR) rauntímaleiðréttingu? Hversu nákvæm þurfa undirliggjandi kortagögn að vera og í hvaða viðmiðun verða þau?

Erfitt getur reynt að útskýra fyrir almennum notendum af hverju það munar hálfum metra á staðsetningu milli tveggja tækja sem eiga að mæla með innan við 10 cm nákvæmni. T.d. ef annað tækið fær leiðréttingu frá stöð í ISN93 en hitt fær PPP leiðréttingu í ITRF14 árið 2016.

Norðurlandþjóðirnar hafa verið að skoða þessi mál hjá sér og sumarið 2016 var lagt til á fundi forstjóra Norrænu Kortastofnanna að NKG myndi setja á laggirnar verkefni um hreyfanlegan viðmiðunarramma (dynamic reference frame) þar sem Ísland yrði notað sem tilraunasvæði. Ástæða þess að Ísland var valið var sú að á þeim tíma stóð endurmælingin á grunnstöðvanetinu yfir auk þess sem það hefur verið yfirlýst markmið Landmælinga Íslands að næsta viðmiðun taki mið af landreki og öðrum breytingum.

DRF-Iceland verkefnið

Stjórn NKG gerði frumgreiningu á því hvað átt sé við með hreyfanlegri viðmiðun og hvað þurfi að vera til staðar til taka hana upp. Þessi vinna var lögð fyrir forstjóra norrænu kortastofnananna í ágúst 2017 og í framhaldi af þeirri vinnu var lagt til verkefni með skilgreindum verkþáttum um upptöku hreyfanlegrar viðmiðunar á Íslandi.

Það var skýrt tekið fram að Landmælingar Íslands yrðu ekki bundnar niðurstöðum verkefnisins við innleiðingu á nýrri viðmiðun fyrir Ísland. Skipaður var vinnuhópur með helstu sérfræðinga Norðurlandanna á þessu sviði og var verkefnið kallað Dynamic Reference Frame – Iceland. Hér eftir skammstafað DRF. Við frumgreininguna voru haldnir tveir fundir, á Íslandi í febrúar 2017 og í Noregi í júní 2017, auk nokkurra símafunda.

Eitt það fyrsta sem hópurinn gerði var að koma sér saman um hugtökin static, dynamic og semi-dynamic reference frame. En hvert þessara hugtaka hefur verið skilgreint á mismunandi hátt í gegnum tíðina og því mikilvægt að koma sér saman um skilgreiningarnar.

Static Reference frame (Föst viðmiðun).

Viðmiðun sem skilgreind er út frá föstum hnitum viðmiðunarstöðva eða fastmerkja.

Dynamic Reference Frame (Hreyfanleg viðmiðun)

Viðmiðun sem er aðlöguð að nýjustu útgáfu af ITRF. Hnitin eru í eðli sínu í fjórum víddum. Þrjár fyrir staðsetningu (X, Y, Z) og síðan tími. Til þess að bera saman hnit frá mismunandi tímum þarf líkan af jarðskorpuhreyfingum í ITRF.

Semi-dynamic reference frame (Hálfhreyfanleg viðmiðun)

Er í raun stáísk útgáfa af hreyfanlegri viðmiðun. Líkan af jarðskorpuhreyfingum er notað til þess að flytja mælingar frá þeim tíma sem þær voru framkvæmdar á yfir á ákveðinn viðmiðunartíma. Líkanið sem notað er þarf ekki að vera hluti af skilgreiningunni og getur tekið breytingum með tímanum.

Hópurinn fór yfir kosti og galla hvefarr aðferðar og skoðaði þá vinnu sem farið hefur fram á Nýja Sjálandi og í Ástralíu. Nýsjálendingar hafa notast við hálfhreyfanlega viðmiðun frá 1997 (Grant, D.B., o.fl., 1999) og Ástralir eru að vinna að innleiðingu á hreyfanlegri viðmiðun sem taka á upp á árunum 2020-2023 (Geoscience Australia, e.d.).

Í rauninni er ekki ýkja mikill munur á hreyfanlegri og hálfhreyfanlegri viðmiðun heldur spurning um á hvaða tímapunkti færslulíkan er notað og hvernig hnitaupplýsingar eru vistaðar.

Helstu kostir hreyfanlegrar viðmiðunar eru að hvert hnit er einstakt og nákvæmnin er einungis háð þeim mæliaðferðum sem beitt er. Hins vegar breytist staðsetning þess fyrirbæris sem mælt er með tímanum. Kostirnir við hálfhreyfanlega viðmiðun eru að hnit á fyrirbærum breytast ekki með tímanum. En nákvæmnin er bæði háð nákvæmni þeirrar mæliaðferðar sem notuð er og nákvæmni færslulíkans. Þá gæti þurft að breyta hnitum á afmörkuðum svæðum ef innbyrðis afstaða milli punkta breytist mikið. Þetta á helst við eftir stóra jarðskjálfta eða eldsumbrot. Einnig getur skapast mismunandi milli gagnasetta þegar færslulíkan er uppfært. Því er gott að vista alltaf upplýsingar um tímasetningu mælinganna og hvaða færslulíkan var notað.

Það getur verið misjafnt eftir verkefnum hvor aðferðin henti betur og því var rædd svokölluð tveggja kerfa lausn. Hún felur í sér að notendur geta ráðið hvora tegund viðmiðunar þeir nota. Það verður þó að vera alveg skýrt hvort kerfið er notað. Hægt er að aðgreina viðmiðanirnar með mismunandi kortavörpunum auk þess sem hnit í hreyfanlegri viðmiðun eru aldrei gild nema að tímasetning fylgi með. Fara verður varlega þegar notast er við baughnit eða jarðmiðjuhnit þar sem munurinn á þeim er frekar lítill.



Frá sjónarhóli landmælingafræðanna er að mörgu leyti einfaldara að reka hreyfanlega viðmiðun heldur en fasta. Öll nákvæmari úrvinnsla á GNSS gögnum er vanalega gerð í ITRF/IGS. Reglubundin úrvinnsla á gögnum frá jarðstöðvum eins og í NKG AC verkefninu gefur okkur reglulega uppfærð hnit og færsluhraða þeirra stöðva sem unnið er úr gögnum frá. Á Íslandi er einungis hægt að reikna út landsdekkjandi rauntímaleiðréttingu í 3-4 ár með fasta viðmiðun en með hreyfanlegri viðmiðun er líftími kerfisins mun lengri. Helsta spurningin er hvernig hnit fastmerkja eru meðhöndluð. Með góðu færslulíkani er hægt að reikna hnit þeirra fram og aftur í tíma og þar með tryggja að þau séu í samræmi við hnit jarðstöðva.

Rannsaka þarf hvaða aðferðafræði hentar best við gerð færslulíkana og hvernig bregðast skuli við atburðum eins og jarðskjálftum og eldgosum sem valda skyndilegum en staðbundnum hreyfingum.

Helstu áskoranirnar tengjast innleiðingunni við að koma hreyfanlegri viðmiðun inn í landmælinga- og landupplýsingahugbúnað og að þjálfna notendur til að vinna í nýju umhverfi.

Hingað til hafa verið takmarkaðir möguleikar á mjög nákvæmum vörpunum í landupplýsingahugbúnaði en á síðustu árum hefur farið fram mikil vinna við að koma þeim inn í PROJ.4 forritið (<https://proj4.org/>). PROJ.4 var upprunalega gert til þess að reikna baughnit yfir í hinar ýmsu kortavarpanir. Hægt er að nota forritið beint með einföldum skipunum eða sem API þar sem það er bakgrunnsforrit inni í öðrum hugbúnaði. Verkefnið er undir hatti OSGeo (<https://www.osgeo.org/>). PROJ er notað sem bakgrunnsforrit í flestum landupplýsingahugbúnaði. Með aukinni nákvæmni landupplýsingagagna hefur þörfin aukist á nákvæmum vörpunum milli hnitakerfa. Takmarkaðir möguleikar hafa verið fyrir hendi en með útgáfu af PROJ.4 (v.5.0.0) (PROJ contributors, 2018) sem kom út á fyrri hluta ársins 2018 varð í raun bylting á þessu. Nú er hægt að notast við flestar vörpunaraðferðir í landmælingafræðunum, bæði í rúmi og tíma. Systurstofnun Landmælinga Íslands í Danmörku SDFE⁹ hefur verið í fararbroddi í þessari vinnu og þar hefur stór hluti af þessum endurbótum verið forritaður. Þetta á sérstaklega við um pipeline hugtakið (Evers, K. og Knudsen, T., 2017) sem gerir notendum kleift að raða saman vörpunarskipunum á einfaldan hátt. Ætla má að það taki einhvern tíma að koma nýjustu útgáfunni inn í landupplýsingaforritin en þegar það gerist verður mun einfaldara að vinna með hreyfanlegar viðmiðanir.

DRF hópurinn setti fram 10 frumskilyrði fyrir upptöku á hreyfanlegum viðmiðunum:

- 1) Fullnægjandi fjöldi og dreifing GNSS jarðstöðva með hnit og færsluhraða í alþjóðlegum viðmiðunarramma (ITRF/IGS);
- 2) Leiðir til að miðla viðmiðunarrammaum til notenda. T.d. staðsetningarþjónusta, úrvinnsluþjónusta og fastmerki;
- 3) Varpanir úr eldri hnitakerfum;
- 4) Færslu og þjögunarlíkön með nægilegri nákvæmni til að bera saman og samræma hnit frá mismunandi tímupunktum;
- 5) Gagnagrunnur fyrir landmælingagögn sem getur vistað og ráðið við breytileg hnit;
- 6) Að landupplýsingakerfi geti almennt ráðið við breytileg hnit. Sérstaklega sem fall af tíma auk annarra flóknari varpana;
- 7) Lagaleg skilyrði fyrir hreyfanlega viðmiðun (t.d. vegna eignamarka, INSPIRE);
- 8) Þjálfun og endurmenntun mælingamanna;
- 9) Þjálfun og endurmenntun notenda landupplýsingakerfa;
- 10) Vilji notenda til þess að taka nýtt kerfi í notkun.

⁹Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering

Þessi skilyrði auk ítarlegrar greinagerðar voru lögð fyrir forstjóra norrænu kortastofnananna. Í framhaldinu var ákveðið að halda áfram með verkefnið með það að leiðarljósi að innleiða hreyfanlega viðmiðun á Norðurlöndunum. Ákveðið var að skipta því verkefni upp þannig að einblínt yrði á Ísland fyrst um sinn og niðurstöður kynntar á allsherjarþingi NKG í september 2018. Í framhaldinu yrði sett upp áætlun um áframhaldandi vinnu fyrir árið 2018-2022. Settir voru upp fjórir vinnupakkar sem hver um sig hafði eina eða fleiri útkomur. Hópurinn afmarkaði sig við verkefni sem ekki eru háð utanaðkomandi þáttum. Vinnupakkana og verkþættina (á ensku) er að finna í töflu 9.

	Skjal	Niðurstöður	Prufubjónusta
DRF-Iceland-S1			
WP1: Realization of DRF-Iceland	D1.1: Specification of the GNSS analysis strategy and reference frame realization for the DRF-Iceland		
	D1.2: Set up an operational GNSS analysis of Icelandic CORS		
	D1.3: Determine a preliminary secular velocity field for the Icelandic GNSS stations		
	D1.4: Time-series analysis for determination of velocities and deformations of Icelandic GNSS stations		
WP2: Access to DRF (user perspective)	D2.1: Review of the RTK software options with respect to the requirements of dynamic coordinates in a DRF		
	D2.2: Implementing a test-RTK service delivering DRF coordinates		
	D2.3: Review of the quality of global PPP for positioning		
WP3: Deformation model	D3.1: Description of concept for deformation model		
	D3.2: Description of concepts for handling secular motions and deformation events		
	D3.3: Determination of a preliminary deformation model		
	D3.4: Description of how to implement deformation model in GIS systems		
WP4: Plan for a long term NKG-activity	D4: Document describing the plan for the NKG-activity 2018-2022		

Tafla 9. Vinnupakkar og verkþættir í DRF-Iceland verkefninu.

Haldnir voru tveir vinnufundir, í Danmörku í nóvember 2017 og á Íslandi í apríl 2018. Þá voru haldnir sjö Skype fundir.

Lokið var við þessa vinnu í ágúst 2018 og niðurstöður kynntar með fimm erindum á sérstakri málstofu um DRF á allsherjarþingi NKG sem haldið var í Helsinki 2.-6. september 2018. Samþykkt var á þinginu að halda áfram með verkefnið á tímabilinu 2018-2022. Gera má ráð fyrir að öll skjöl er varða NKG DRF verkefnið verði aðgengileg á heimasíðu NKG (<http://www.nordicgeodeticcommission.com/>) í nágrenni framtíð. Þá verða fyrirlestrarnir eða údrættir úr þeim gefnir út í ráðstefnuriti auk þess sem samantekt á verkefninu verður gefin út í ritrýnda tímaritinu Geophysica.

Nýjar viðmiðanir ISN2016 og ISN-DRF

Farið verður í tveggja kerfa lausn á Íslandi. Hálfhreyfanlega viðmiðun ISN2016 og hreyfanlega viðmiðun ISN-DRF.

ISN2016 byggir á niðurstöðum ISNET2016 mælinganna þar sem viðmiðunarramminn er IGS14 og viðmiðunartíminn 2016.5. Færslulíkan verður notað til að leiðrétta fyrir bjögun.

ISN-DRF mun byggja á þeim hnattræna viðmiðunarramma sem er í notkun hverju sinni. Í dag er það ITRF2014/IGS14. Hnit jarðstöðva á Íslandi sem Landmælingar Íslands hafa aðgang að og færsluhraðar þeirra verða reglulega uppfærð með tengingu í ITRF/IGS stöðvar utan Íslands í samræmi við verklagsreglur NKG AC.

Ný Lambert kortavörpun fyrir ISN2016 verður með sama hætti og fyrir ISN93 og ISN2004.

Skurðbaugar keilu og Sporvölu (GRS80) eru $65^{\circ}45'$ og $64^{\circ}15'$ N. Annar hnitaásinn (Norðurás) liggur í plani 19° hádegisbaugs til norðurs en hinn (Austurás) hornrétt til austurs við 65° N. Skurðpunktar ásanna (Fölsk miðja) hafa hnitin $A=2700000$ og $N=300000$.

Í Lambert vörpun fyrir ISN_DRF verður fölsk miðja $A=4700000$ og $N=300000$ en einnig verður að skrá tímasetningu mælingar, annars eru hnitin ekki gild.

Innleiðing ISN2016 og ISN-DRF

Varpanir úr eldri kerfum

Í skýrslunni um ISNET2004 voru sett fram sjö skilyrði fyrir vörpunaraðferðir milli ISN93 og ISN2004.

- Einfaldleiki - Auðvelt í notkun fyrir almennan notanda.
- Skilvirkni - Lágmarka reiknitíma.
- Einstæði - Sjá til þess að aðeins ein lausn sé til fyrir hvern punkt.
- Nákvæmni - Sjá til þess að niðurstöður vörpunarinnar séu sem bestar.
- Tvígengi - Að sama niðurstaða fáiast við að varpa hnitum fram og til baka.
- Samræmi - Að þeir punktar sem notaðir eru til að skilgreina vörpunina fái sem réttust hnit.
- Samfelldni - Forðast stökk í vörpuninni svo náðin sé varðveitt.

Þessi skilyrði eiga ennþá við. Hefðbundnar varpanir henta ekki fyrir mælinet sem hefur þjagast. Lausnin fyrir vörpun milli ISN93 og ISN2004 var að reikna líkan af muninum með least squares collocation (Moritz, H., 1978) á svipaðan hátt og gert var í Ástralíu (Collier, P., 2002). Myndpunktar vörpunarinnar hafa mismunandi vægi eftir fjarlægð í þann punkt sem verið er að reikna. Þessi aðferð er nokkuð flókin og þung í reikningum en með því að reikna passlega þétt net þarf notandinn aðeins að finna út í hvaða möskva hann er í netinu og nota svo gildin á hnútpunktunum til að reikna færslugildi fyrir þann punkt sem hann ætlar að reikna á milli kerfa með línulegri brúun.

Farin er svipuð leið fyrir varpanir yfir í ISN2016 en aðrar brúunaraðferðir voru skoðaðar, þá sérstaklega Kriging (Blais, J.A.R., 1982) sem svipar raun mjög til collocation. Þessi aðferð gaf svipaðar og jafnvel betri niðurstöður en collocation í rannsókn sem gerð var á mismunandi vörpunaraðferðum í Króatíu (Grgic, o.fl., 2016). Einnig voru aðferðir eins og Minimum Curvature, Inverse to Power og Triangulation with Linear Interpolation skoðaðar. Forritið Surfer býður upp á þessar aðferðir. Hægt er að greina gögnin og stilla hverja reikniaðferð á marga vegu. Fljótlegt er að meta niðurstöðurnar og skoða líkönin sjónrænt. Einnig er hægt að setja inn brotalínur til þess að minnka áhrif punkta handan flekaskila.

Nákvæmni vörpunar veltur að öllu leyti á þeim gögnum sem hún byggir á. Þar skiptir helst máli staðsetningarnákvæmni, upplausn og dreifing punkta. Tveir síðustu þættirnir skipta sérstaklega miklu máli nálægt flekaskilum. Þó að líkanið passi við myndpunkta þess er erfitt að segja til um hvort líkanið sé rétt á milli þeirra. Jafnvel þótt vægi punkta sé metið eftir fjarlægð.

Utan flekaskila ætti nákvæmni að vera í nokkru samræmi við nákvæmni myndpunktanna eða um 1-3 cm. Við flekaskil þar sem engar jarðhræringar hafa orðið má búast við nákvæmni upp á 5 cm en á svæðum þar sem jarðhræringar hafa átt sér stað getur skekkjan verið talsvert meiri.

Við gerð varpana milli ISN kerfanna er einungis notast við sameiginlega punkta úr ISNET mælingunum. Mögulegt er að bæta nákvæmnina á flekaskilum með öðrum mælingum en þær þurfa þá að hafa verið gerðar sem næst árinu 1993 eða 2004.

Gerð hafa verið líkön fyrir muninn á ISN93 og ISN2016 annars vegar og ISN2004 og ISN2016 hins vegar. Gert er sérstakt líkan fyrir hvern þátt, þ.e. austur, norður og hæð. Notast var við Kriging þar sem fjarlægð er vegin sem línuleg. Einnig er gert ráð fyrir að myndpunktarnir hafi 1 cm skekkju. Möskvastærð líkananna er $0,0125^{\circ}$ í austur og $0,000625^{\circ}$ í norður.

Gögnunum var síðar komið á NTv2 og cTable2 form fyrir legu og gtx form fyrir hæðarpáttinn. Þessi skráarform er meðal annars hægt að nota við varpanir í PROJ.4.

Þá er stefnt að því að meta gæði líkananna með mælingum á fastmerkjum sem hafa góð hnit í ISN93 eða ISN2004. Í framhaldinu er hægt að bæta líkönin ef þurfa þykir.

Þróuð hefur verið ný útgáfa á vörpunarforritinu Cocodati þar sem hægt er að varpa á milli allra ISN kerfanna. Um er að ræða algera endurnýjun á forritinu og er það byggt á nýjustu útgáfunni af PROJ.4 sem nefnt var hér fyrir í skýrslunni. Líkt og í fyrri útgáfu verður hægt að varpa stökum hnitum eða hnitaskrá. Þá er beðið eftir því að nýjasta útgáfan af PROJ verði virk í GDAL <https://www.gdal.org/> svo hægt verði með auðveldum hætti að varpa vektor- og rastagögnum á hinum ýmsu formum yfir í ISN2016. Gögnum hefur þegar verið varpað úr ISN93 yfir í ISN2016 í ArcGIS en það forrit býður ekki upp á jafn mörg skráarform auk þess sem það er leyfisskipt.

Þó þarf að hafa í huga að fyrir gögn þar sem nákvæmni er um 2-3 metrar eða verri þá má í raun líta á ISN93, ISN2004 og ISN2016 sem sömu viðmiðunina. Fyrir þess háttar gögn er einfaldlega hægt að breyta um kortavörpun.



Tenging við landshæðarkerfið ISH2004

Landshæðarkerfið ISH2004 (Guðmundur Valsson, 2012) er tengt við ISN2004 með nýjustu geóíðu Landmælinga Íslands sem gerð var árið 2011. Fyrst var reiknuð gravimetrísk geóíða sem síðar var löguð af ISH2004 með 316 GPS mældum fastmerkjum í hæðarkerfinu. Eins og komið hefur fram í þessari skýrslu þá hefur hæð á landi breyst síðan 2004. Til þess að varpa sporvöluhæðum úr ISN2016 yfir í ISN2004 þarf því að leiðrétta einnig fyrir hæðarbreytingum á landi. Þetta er gert með sama líkani og notað er til að varpa hæðum á milli ISN2004 og ISN2016.

Staðlar fyrir landupplýsingar

Hnitakerfi og þær kortavarpanir sem þeim fylgja þurfa að hafa ákveðnar skilgreiningar eða merkingar til þess að hægt sé að þekkja þær í landmælinga- og landupplýsingahugbúnaði.

Það eru þrjár staðlar sem almennt eru í notkun í landupplýsingakerfum; Simple Feature Model, Well-Known Text (OGC, 2015) og EPSG (IOGP, 2012). Af þessum er EPSG gagnagrunnurinn mest notaður og er í raun staðallinn til þess að lýsa hnitakerfum og vörpunum á milli þeirra. Enginn þessara staðla gerir ráð fyrir hreyfanlegri viðmiðun og krefjast jafnvel ekki upplýsinga um viðmiðunarramma og tíma. Þetta er vandamál við innleiðingu á hreyfanlegum viðmiðunum. Önnur útgáfa af Well-Known Text gerir ráð fyrir þessu en hún er ekki í mikilli notkun enn sem komið er.

Þörf er á því að samræma þessa staðla en það getur tekið talsverðan tíma og þarfnast alþjóðlegrar samvinnu.



Sótt var um EPSG kóða fyrir ISN2016 og eru þeir eftirfarandi.

Nafn	EPSG númer	Tegund
Islands Net 2016 / ISN2016	EPSG::1187	Viðmiðun (Geodetic Datum)
ISN2016 / Lambert 2016	EPSG::8088	Hnitakerfi í kortavörpun Lambert (ProjectedCRS)
ISN2016	EPSG::8084	Jarðmiðjuhnit (GeodeticCRS (geocentric))
ISN2016	EPSG::8085	Baughnit með sporvöluhæð (GeodeticCRS (geographic 3D))
ISN2016	EPSG::8086	Baughnit (GeodeticCRS (geographic 2D))

Tafla 10. EPSG kóðar fyrir ISN2016.

Hægt er að nálgast nánari úttlistun á kóðum á heimasíðu EPSG <https://www.epsg-registry.org/>. Þar er einnig hægt að hlaða niður WKT skilgreiningum. Sótt verður um EPSG kóða fyrir ISN_DRF um leið og það er mögulegt.

Hér fyrir neðan er WKT skilgreiningin fyrir EPSG::8088

```
PROJCRS["ISN2016 / Lambert 2016",
  BASEGEODCRS["ISN2016",
    DATUM["Islands Net 2016",
      ELLIPSOID["GRS 1980",6378137,298.257222101,LENGTHUNIT["metre",1.0]]],
    CONVERSION["Iceland Lambert 2016",
      METHOD["Lambert Conic Conformal (2SP)",ID["EPSG",9802]],
      PARAMETER["Latitude of false origin",65,ANGLEUNIT["degree",0.01745329252]],
      PARAMETER["Longitude of false origin",-19,ANGLEUNIT["degree",0.01745329252]],
      PARAMETER["Latitude of 1st standard parallel",64.25,ANGLEUNIT["degree",0.01745329252]],
      PARAMETER["Latitude of 2nd standard parallel",65.75,ANGLEUNIT["degree",0.01745329252]],
      PARAMETER["Easting at false origin",2700000,LENGTHUNIT["metre",1.0]],
      PARAMETER["Northing at false origin",300000,LENGTHUNIT["metre",1.0]]],
    CS[cartesian,2],
    AXIS["easting (X)",east,ORDER[1]],
    AXIS["northing (Y)",north,ORDER[2]],
    LENGTHUNIT["metre",1.0],
    ID["EPSG",8088]]
```

Að lokum má nefna að auðvelt er að skilgreina hnitakerfi/kortavörpun sem PROJ.4 strengi. T.d. er skilgreiningin fyrir Lambert hnit í ISN2016 sett fram með:

```
+proj=lcc +lat_1=64.25 +lat_2=65.75 +lat_0=65 +lon_0=-19 +x_0=2700000 +y_0=300000 +ellps=GRS80 +units=m +no_defs
```

Færslulíkan

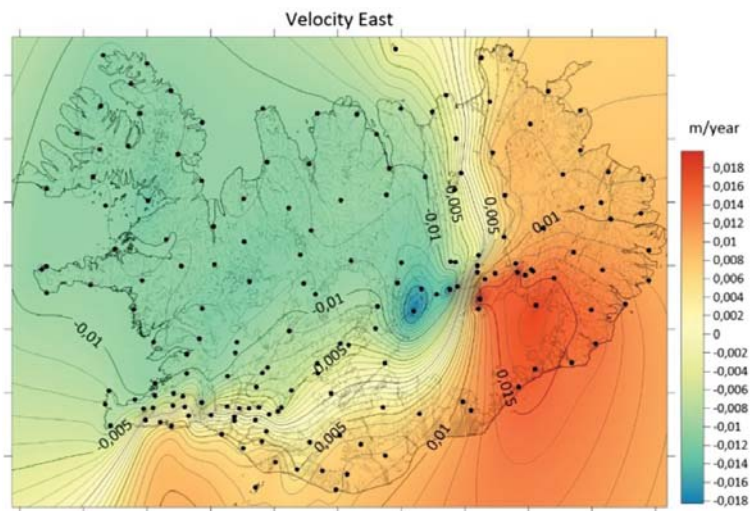
Til þess að geta reiknað hnit fram og til baka í tíma þurfum við líkan af færslum landsins. Færslurnar þurfa að vera í sama viðmiðunarramma og hnitakerfið, þ.e. IGS14 í þessu tilfalli. Færslunum má skipta niður í stöðugar færslur og óreglulegar færslur. Stöðugar færslur koma til vegna landreks og stöðugra hæðarbreytinga á landi. Óreglulegar færslur koma til vegna jarðskjálfta og eldsumbrota. Á Nýja Sjálandi hefur verið farin sú leið að gera líkan af stöðugum færslum landsins og þegar jarðskjálfti ríður yfir ákveðin svæði er reynt að gera nákvæmt líkan af þeirri afmyndun sem hann veldur (Crook, C., o.fl., 2016). Séu innbyrðis breytingar á svæðinu minniháttar þá er líkaninu bætt við færslulíkanið (Forward patch) en séu miklar innbyrðis breytingar þá er hnitum á svæðinu breytt (Reverse patch). Reverse patch er talsvert meira mál þar sem uppfæra þarf alla gagnagrunna en hún getur verið nauðsynleg eftir stóra jarðskjálfta á byggðum svæðum.

Á Íslandi verður gert líkan af stöðugum færslum landsins og þegar óreglulegar færslur verða þá verður gert líkan af þeim. Færslulíkanið verður byggt á færsluhröðum mælistöðva, bæði jarðstöðva og fastmerkja sem hafa verið mæld oftari en einu sinni.

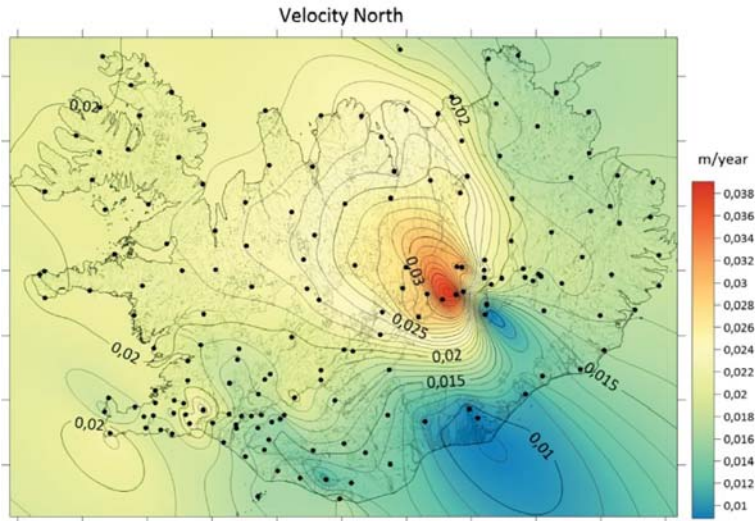
Gerð hefur verið fyrsta útgáfa af færslulíkani fyrir Ísland. Byggir hún á færsluhröðum á 173 mælistöðvum. Færsluhraðarnir koma frá jarðstöðvum, ISN2004, ISN2016, SUD2008 og SUD2010. Þá var farið í sérstaka úrvinnslu á öllum jarðstöðvum í kringum Vatnajökul til þess að meta stöðugar færslur á því svæði eftir eldgosið í Holuhrauni. Þeir færsluhraðar gefa þó til kynna að svæðið er ekki búið að jafna sig eftir umbrotin. Líkanið var gert í Surfer með Kriging á svipaðan hátt og vörpunarnetin.

Í allra nýjustu útgáfunni af PROJ (v5.2.0) sem kom út 15. september 2018 er hægt að varpa á milli tímapunkta og hægt að bæta inn forward og reverse patch þegar þess gerist þörf. Þessi viðbót var sett inn með Ísland og þá vinnu sem fer fram í NKG-DRF hópnum í huga.

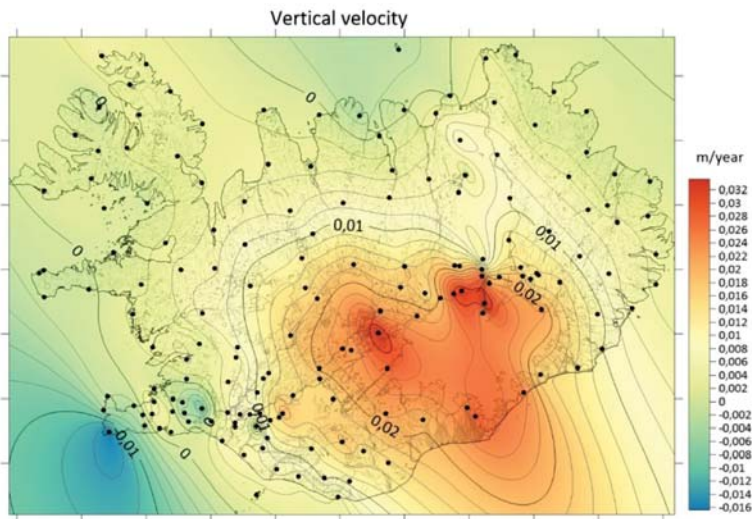
Þróuð verður veflausn þar sem notendur geta varpað gögnum úr ISN-DRF (ITFR/IGS) yfir í ISN2016 og öfugt, eða varpað hnitum í ISN-DRF milli tveggja tímapunkta.



Kort 14. Færsluhraðar Austur-Vestur í IGS14.



Kort 15. Færsluhraðar Norður í IGS14.



Kort 16. Færsluhraðar hæð í IGS14.z

Færslulíkanið verður endurskoðað reglulega og bætt með auknum þéttleika á gögnum, endurreiknuðum færsluhröðum á jarðstöðvum og bættri aðferðafræði við líkanagerð. Þessi vinna mun bæði fara fram hjá Landmælingum Íslands og í NKG-DRF vinnuhópnum.

Mælingar í ISN2016 og ISN-DRF

Tveggja kerfa lausn gefur notendum landshnitakerfisins meiri sveigjanleika, áreiðanleika og nákvæmni við mælingar. Um leið þurfa notendur að vera meðvitaðir um eðli kerfanna og hvernig best sé að standa að mælingum í þeim. Það getur verið misjafnt eftir aðstæðum og verkefnum hvaða aðferð hentar best.

Í jarðstöðvakerfi Landmælinga Íslands, IceCORS, verður hægt að nálgast leiðréttingu bæði í ISN-DRF og ISN2016. Kerfið verður rekið í ISN-DRF en leiðrétting fyrir muninum á því og ISN2016 er send út. Hnit á jarðstöðvunum bæði í ISN2016 og ISN-DRF og færsluhraðar þeirra verða ávallt aðgengilegir á heimasíðu Landmælinga Íslands. Fastmerki í grunnstöðvanetinu sem og fastmerki sem hafa hnit í ISN2016 eða ISN-DRF er hægt að reikna til baka á þann tíma sem mælingar voru framkvæmdar með færslulíkani. Landmælingar Íslands eru að vinna að nýjum gagnagrunni fyrir fastmerki með það að leiðarljósi að auðvelda aðgengi að upplýsingum um þau. Þá er stefnan að bjóða upp á úrvinnsluþjónustu þar sem notendur geta hlaðið inn RINEX mæliskrá og fengið niðurstöður bæði í ISN2016 og ISN-DRF. Fyrirmyndin er eftirávinnsluþjónusta SWEPOS (Lantmäteriet, e.d.). Einnig eru til PPP úrvinnsluþjónustur á netinu t.d. AUSPOS (Geoscience Australia, e.d.) og GAPS (University of New Brunswick, e.d.) sem gefa okkur staðsetningu í ITRF á þeim tíma sem mælingin er framkvæmd sem er í raun jafngild ISN-DRF staðsetningu. Nákvæmni niðurstaðna er nánast í beinu samræmi við mælitímann. Lengri mælitími þýðir nákvæmari niðurstöður.

Við innmælingu er alltaf hægt að framkvæma mælingar í ISN-DRF og varpa síðan niðurstöðunum í ISN2016 ef þess þarf. Þegar innmæling er framkvæmd beint í ISN2016 þurfa notendur að huga að innbyrðis bjögun á mælisvæðinu. Bjögunin er háð staðsetningu svæðis og stærð þess. Sé bjögunin minniháttar er hægt að vinna úr mælingum á hefðbundinn hátt. Ef það er ekki tilfellið þá þarf að leiðrétta fyrir afstæðri bjögun milli fastra punkta og þeirra sem mældir eru.

Útsetning verður líklega oftast framkvæmd í ISN2016 eða ISN-DRF á einhverjum föstum tímapunkti. Ef sett er út með hefðbundnum RTK-mælingum (Base-Rover) eða alstöð þarf að huga að innbyrðis bjögun á mælisvæði. Ef bjögun er mikil er ráðlegt að hafa styttra á milli fastmerkja með þekkt hnit. Einnig er hægt að reikna hnitin í ISN-DRF og setja þau út í því kerfi.



Lokaorð

Þriðja mæling grunnstöðvanetsins heppnaðist vel. Segja má að sú aðferðafræði sem beitt var við mælingarnar hafi gengið fullkomlega upp bæði varðandi nákvæmni og kostnað. Við viljum enn og aftur þakka samstarfsaðilum okkar fyrir veitta aðstoð.

Með nýju viðmiðunum ISN2016 og ISN-DRF er tekið á þeim vandamálum sem bjögum á föstum viðmiðunum eins og ISN93 og ISN2004 hafa í för með sér. Þetta mun að sumu leyti gera auknar kröfur á þá sem vinna í kerfinu til að byrja með en þegar fram líða stundir mun þetta auðvelda vinnuna og auka áreiðanleika landshnitakerfisins til lengri tíma.

ISN-DRF og tenging hennar við ISN2016 styður betur við GNSS mæliaðferðir, eins og PPP og RTK-PPP. En gera má ráð fyrir að þessum aðferðum verði beitt í auknum mæli við nákvæmar landmælingar á næstu árum. ISN-DRF mun gera okkur kleift að takast á við þá væntanlegu aukningu sem verður í notkun á nákvæmu GNSS í nánustu framtíð þar sem stór hluti gagnaöflunar mun fara fram í ITRF/IGS.

Ísland verður með fyrstu löndum í heiminum til að innleiða ITRF/IGS sem landshnitakerfi. Norðurlöndin og Ástralía eru að huga að þessum breytingum og gera má ráð fyrir að fleiri lönd fylgi í kjölfarið.

Ekki verður þörf á fara aftur í heildar endurmælingu á grunnstöðvanetinu. Hins vegar er mikilvægt að mæla reglulega fastmerki grunnstöðvanetsins til þess að vakta þær færslur sem eru á landinu og uppfæra færslulíkanið af landinu.

Landmælingar Íslands munu kappkosta að styðja notendur við innleiðingu á nýjum viðmiðunum. Þá munum við leitast við að auka þjónustu og aðgengi að landshnitakerfinu með IceCORS leiðréttingarþjónustunni, nýrri úrvinnsluþjónustu og vörpunarþjónustu.

Heimildaskrá

- Altamimi, Zuheir & Sillard, Patrick & Boucher, G. (2018). CATREF Software: Combination and Analysis of Terrestrial Reference Frames.
- Altamimi, Z., Sillard, P. og Boucher, G., (2006). CATREF Software: Combination and Analysis of Terrestrial Reference Frames, Institut Géographique National, Paris, France
- Blais, J. A. R. (1982). „Synthesis of Kriging estimation methods.“ *Manuscripta Geod.*, 7(4), 325–352.
- Bos, M.S., Fernandes, R.M.S., Williams, S.D.P. og Bastos, L. (2013). Fast Error Analysis of Continuous GNSS Observations with Missing Data. *J. Geod.*, Vol 87(4), 351-360, doi:10.1007/s00190-012-0605-0.
- Collier, P. (2002): Development of Australian's National GDA94 Transformation Grids. Melbourne. The University of Melbourne.
- Compton, K., Bennett, R., Hreinsdóttir, S. (2015) Climate driven vertical acceleration of Icelandic crust measured by CGPS geodesy. *Geophys. Res. Lett.*, 42 (3), pp. 743-750
- Crook, C., Donnelly, N., Beavan, J. og Pearson, C. (2016) From geophysics to geodetic datum: updating the NZGD2000 deformation model, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 59:1, 22-32, DOI: 10.1080/00288306.2015.1100641
- Dach, R., Lutz, S., Walser, P. og Fridetz, P. (Eds); (2015). Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual, Astronomical Institute, University of Bern, Bern Open Publishing. DOI: 10.7892/boris.72297; ISBN: 978-3-906813-05-9.
- Evers, K. og Knudsen, T. Transformation pipelines for PROJ.4. In FIG Working Week 2017 Proceedings. (2017). Sótt af http://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2017/papers/iss6b/ISS6B_evers_knudsen_9156.pdf
- Geoscience Australia. [e.d.]. AUSPOS-Online GPS Processing Service. Sótt af <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>
- Geoscience Australia. [e.d.]. Datum Modernisation in Australia. Sótt af <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/datum-modernisation>
- Grant, D.B., Blink, G.H., Pearse, M.B., Beavan, R.J. og Morgan, P.J. (1999): The development and implementation of New Zealand Geodetic Datum 2000. Kynnt á IUGG99 General Assembly, Birmingham.
- Grgić, M., Varga, M. og Bašić, T. (2016). Empirical Research of Interpolation Methods in Distortion Modeling for the Coordinate Transformation between Local and Global Geodetic Datums. *Journal of Surveying Engineering.*, Vol. 142(2), DOI:10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000154
- GSA (2017). GNSS Market Report. Issue 5. European GNSS Agency. https://www.gsa.europa.eu/system/files/reports/gnss_mr_2017.pdf
- GSA (2018). GNSS User Technology Report. Issue 2. European GNSS Agency. https://www.gsa.europa.eu/system/files/reports/gnss_user_tech_report_2018.pdf
- Guðmundur Valsson, Þórarinn Sigurðsson, Christof Völksen og Markus Rennen (2007). ISNET2004. Niðurstöður úr endurmælingum Grunnstöðvanet Íslands. Akranes: Landmælingar Íslands.
- Guðmundur Valsson (2012). Landshæðarkerfi Íslands ISH2004, tækniskýrsla. Akranes: Landmælingar Íslands
- Gunnar Þorbergsson, Jón S. Erlingsson, Markus Rennen, Theódór Theodórsson, Þórarinn Sigurðsson og Örn Jónsson. (2002): GPS-mælingar á Suðurlandi vegna tengingar þríhyrninganeta við landsnet með viðmiðun ÍSN93. Reykjavík: Orkustofnun.
- Gunnar Þorbergsson, Jón S. Erlingsson, Theódór Theodórsson, Örn Jónsson og Christof Völksen (2000): GPS mælingar í Þingeyjarsýslum vegna tengingar þríhyrninganeta við landsnet með viðmiðun ÍSN93. Reykjavík: Orkustofnun.
- Gurtner, W. og L. Estey (2005): „RINEX: The Receiver Independent Exchange Format Version 2.11.“ Sótt af <ftp://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/data/format/rinex211.txt>
- Herring T.A. 2003. MATLAB Tools for viewing GPS velocities and time series, *GPS Solut.*, 7(3), 194–199.
- IERS, 2010. IERS Conventions (2010). Gérard Petit and Brian Luzum (eds.). (IERS Technical Note ; 36) Frankfurt am

Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2010. 179 pp., ISBN 3-89888-989-6.

Ingvar Þór Magnússon, Gunnar Þorbergsson og Jón Þór Björnsson. (1997): GPS-Mælingar í grunnstöðvaneti 1993 og ný viðmiðun ISN93 fyrir landmælingar á Íslandi. Reykjavík: Landmælingar Íslands.

IOGP, 2012, OGP Publication 373-7-1 – Geomatics Guidance Note number 7, part 1 – version 8, August 2012. Sótt af <http://www.epsg.org/Portals/0/373-07-1.pdf>.

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands. (e.d.): sótt af http://jarðvis.hi.is/gps_landmælingar_0

Kowalewski, D. (2013): 3G+C antenna in the Galileo Monitoring network. Kynnt á FIG Working Week 2013 í Abuja, Nígíeríu.

Lahtinen, S., Pasi, H., Jivall, L., Kempe, C., Kollo, K., Kosenko, K., Pihlak, P., Prizginiene, D., Tangen, O., Weber, M., Paršeliunas, E., Baniulis, R. og Galinauskas, K., 2018, First results of the Nordic and Baltic GNSS Analysis Centre, J. Geod. Sci. 2018; 8:34–42, DOI: 10.1515/jogs-2018-0005.

Lantmäteriet (e.d.). SWEPOS Beräkningstjänst. Sótt af <https://swepos.lantmateriet.se/tjanster/efterberakning/berakningstjanst/berakningstjanst.aspx>

Moritz, H. (1978). „Least-squares collocation.” Rev. Geophys., 16(3), 421–430

Niemeier W. (2002). Ausgleichsrechnung. Berlín: de Gruyter Lehrbuch.

OGC, 2015, Geographic information - Well-known text representation of coordinate reference system, <http://docs.opengeospatial.org/is/12-063r5/12-063r5.html>.

Páll Einarsson og Kristján Sæmundsson. (1987). Upptök jarðskjálfta 1982-1985 og eldstöðvakerfi á Íslandi. Kort með bókinni „Í hlutarins eðli“ (afmælisrit Þorbjarnar Sigurgeirssonar), ritstj. Þorsteinn I. Sigfússon, Menningarsjóður, Reykjavík.

PROJ contributors (2018). PROJ coordinate transformation software library. Open Source Geospatial Foundation. URL <https://proj4.org/>.

Rebischung, P. og Altamimi, Z. (2017): Evaluation of the IGS terrestrial frame solutions since the switch to IGS14/igs14.atx. Kynnt á IGS Workshop í París 3.-7. júlí 2017. <http://www.igs.org/v/5603>

Reglugerð um viðmiðun ÍSN93. Grunnstöðvanet og mælistöðvar til notkunar við landmælingar og kortagerð nr. 919/1999.

Rothacher, M. (2002): Estimation of Station Heights with GPS. Í Drewes, H., Dodson, A., Fortes, L.P.S., Sánchez, L., Sandoval, P. (Ritstj.) Vertical Reference System: IAG Symposium Cartagena, Colombia February 20-23, 2001 (bls.81-90). New York: Springer Verlag.

UNAVCO (e.d.). GNSS Antenna Sensitivity to Site Dependent Error Sources. Sótt af <http://kb.unavco.org/kb/article/gnss-antenna-sensitivity-to-site-dependent-error-sources-757.html>

University of New Brunswick (e.d.). GAPS – GNSS ANALYSIS AND POSITIONING SOFTWARE. Sótt af <http://gaps.gge.unb.ca/>

Wanninger, L. (e.d.). GNSS Baseline Processing Engine Wa2. Sótt af <http://www.wasoft.de/e/wa2/index.html>

Wübbena, G., Schmitz, M., Menge, F., Böder, V. og Seeber, G. (2000): Automated absolute field calibration of GPS antennas in real-time. Kynnt á ION fundi 2000, Salt Lake City.

Wübbena, T., Darugna, F., Ito, A. og Wübbena, J. (2018). Geo++'s Experiments on Android GNSS Raw Data. GNSS Raw Measurements Taskforce Workshop, GSA Headquarters, 30th May 2018, Prague.

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

English summary

Results from the ISNET2016 campaign and a new Dynamic Referenceframe for Iceland

The National Geodetic Network of Iceland (ISNET) was measured for the third time in 2016. The network was measured for the first time in 1993 and then again in 2004. The datums ISN93 (ITRF epoch 1993.6) (Magnússon, I. et.al., 1997) and ISN2004 (IGb00 epoch 2004.6, with absolute PCV antenna models) (Valsson, G. et.al., 2007) were static, meaning that the coordinates of the network benchmarks are kept frozen at their epoch. Having a static datum in Iceland is problematic when it comes to precise surveying. Iceland is situated on the boundaries of the Eurasian and North-American tectonic plates. The plates are drifting apart with a rate of approx. 1cm/year from each other. The plate boundaries interact with a deep-seated mantle plume currently situated under Vatnajökull. This leads to complicated pattern of rift and transform fault zones. This means that the network is constantly deforming due to plate tectonics. Earthquakes and volcanic eruptions, melting of the Icelandic glaciers and geothermal power plants do also have a serious impact on the network. Sometimes very locally, but also over larger areas.

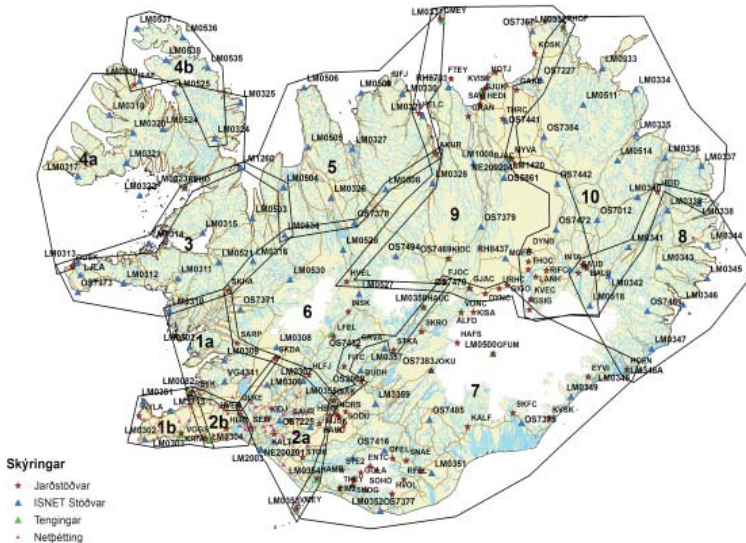


Figure 1. The ISNET2016 survey plan. ISNET2016 survey plan.

The data processing can be divided into two parts. Defining a local reference frame and processing the campaign data. For the local reference frame, we processed 6 months of data from 24 CORS + 2 campaign stations in Northwest Iceland. To connect to a global reference, we used 7 IGS stations. The processing was done in Bernese 5.2 (Dach, R. et.al., 2015) using the NKG AC settings (Lahtinen et.al., 2018). The processing was first done in IGb08 and then later in ISG14 when it became available. Final adjustment was done with ADNEQ2 with minimal constrains, reference epoch 2016.5.

Each campaign was then processed with the NKG AC setting with the new local reference frame. Bad data was thrown out. And final adjustment performed with ADNEQ2 with all campaigns combined. Constrained solution with 1mm a priori sigma gave the best RMS, but numerically it was the same result as for minimal constrained solution, down to fraction of mm.

Deformation from 1993 to 2016

It's interesting to compare the three campaigns to see deformation of the geodetic network. This isn't trivial though since the campaigns are not all processed in the same reference frame. We have processed 8 core stations of the ISNET2004 campaign and there seems to be a systematic difference of 4mm for the north component. We also did some analysis of the ISN93 when we did comparison with ISN2004 and found out that main difference between ITRF93 and IGB00 with is a scale factor of about 11 ppb causing about 7 cm systematic vertical difference between ISN93 and ISN2004. The main reason for this is a difference in use of PCV models. When we have corrected for this we can start to compare the campaigns and estimate the deformation of the geodetic network.

First we look at the total horizontal coordinate change between 1993 and 2016

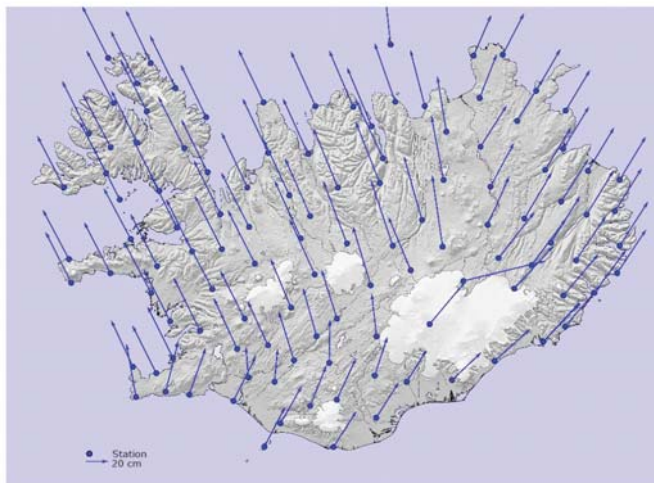


Figure 2. Horizontal movement between 1993 and 2016.

We can see the common northward movement. The average northward movement is 0.433m, ranging from 0.180 to 0.642m over a period of 23 years. We can also see how the country is drifting apart. The maximum value is in Kverkfjöll, north of Vatnajökull, 0.733m and the minimum is -0,249. So, there we almost 1m relative difference in the network. The common northward component is very dominant so we usually remove the average northward movement to analyze the deformation. Let's now look at the difference between ISN93 and ISN2004 after we removed the north component.

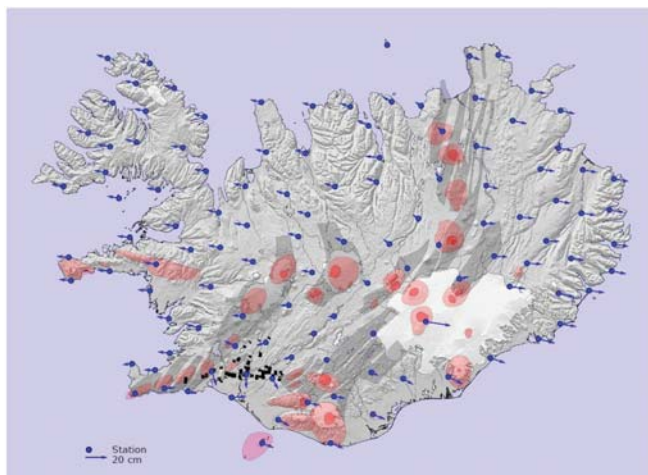


Figure 3. Horizontal deformation between 1993 and 2004.

We can see clearly how Iceland is drifting apart and how the vectors gets smaller when we get closer to the plate boundaries. We can also see that the northward movement is slightly higher on the North-America plate compared to the Eurasian plate. We also see the effect of the earthquakes in June 2000 in southwestern part of Iceland and some effect from volcanic eruption in Grímsvötn.

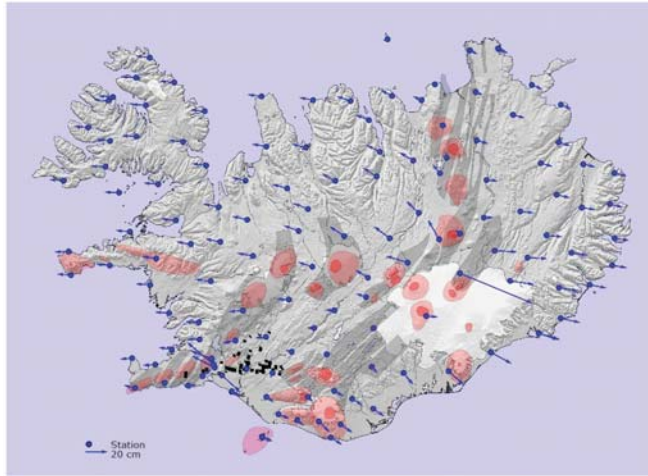


Figure 4. Horizontal deformation between 2004 and 2016

If we look at the changes from 2004 to 2016 it looks similar in many ways but there are clearer signals from geophysical events in this period. The deformation in southwestern Iceland is from the earthquake in May 2008 causing more the 0.45cm deformation between the town of Hveragerði and Selfoss. The distance between the towns is 15km. The effect of the eruption in Holuhraun, north of Vatnajökull, is also very clear. Not only in Kverkfjöll where the eastward movement was 0.654m compared to 0.079 between 1993 and 2004. But in all the surrounding points. Jumps are visible in time series up to more than 150 km from the eruption. We can also see that the northward component south and southwest of Vatnajökull is smaller compared to other areas on the Eurasian plate. This is an effect from a land uplift. So, the next step is to look at vertical changes. Let's first observe changes between 1993 to 2004. We observed land uplift up to 20.1 cm and land subsidence of -12.2 cm. This comparison revealed for the first time the land uplift over such a large area in the center of Iceland. Before that time observed land uplift in certain benchmarks was believed to be something more local. The cause for the land uplift considered to be the current melting of the glaciers in Iceland. The land subsidence in the southwestern tip of the Reykjnes peninsula is caused by a geothermal power plant located nearby.

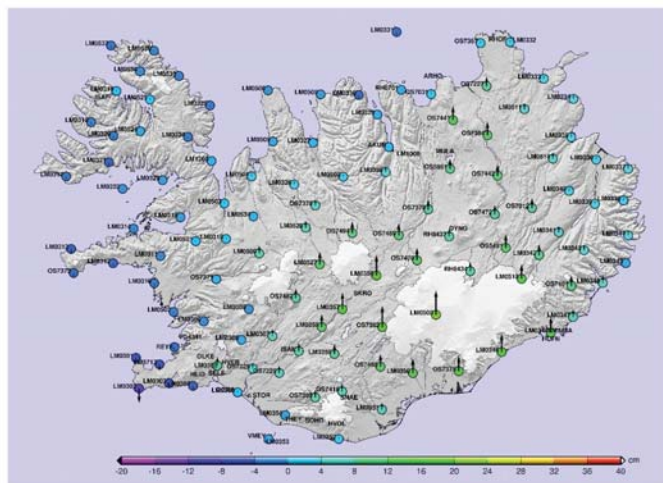


Figure 5. Land uplift between 1993 and 2004

There has been some indication from time series from CORS stations in central Iceland that we have some acceleration in the land uplift after 2004 (Compton, et.al. ,2015). Therefore, it's very interesting to look at the vertical changes between 2004 and 2016. It's clear that we have a significant increase in the land uplift in central Iceland and along the southeastern coast. The maximum uplift now is 39.1 cm and the maximum subsidence -19.5 cm. It's very interesting to look at the area south of Vatnajökull where the observed land uplift was around 10 cm between 1993 and 2004, but around 30 cm between 2004-2016. There seems to be a slight increase in the land subsidence at the Reykjanes peninsula and we can also see an effect from a new geothermal power plant in Hellisheiði, east of Reykjavík.

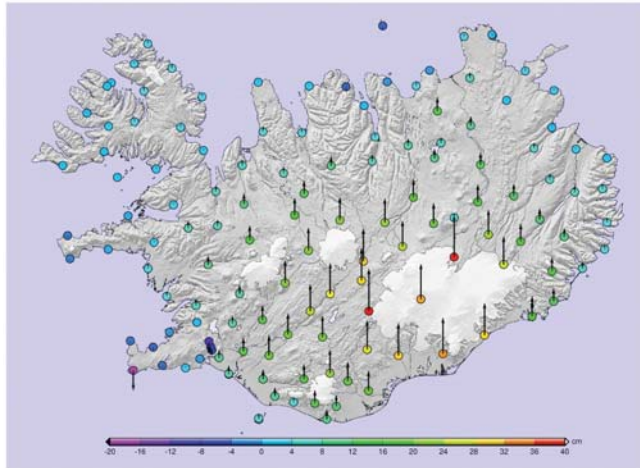


Figure 6. Land uplift between 2004 and 2016

From this overview, we can clearly see the challenge in having a precise geodetic datum in Iceland. The ISN93 datum is still widely used in Iceland. Some user's claim that they are working in rather small areas, so they should not be affected by the deformation of the network. This means that those users believe that the relative accuracy is still acceptable, and it will not affect their results. We have been analyzing relative accuracy of ISN93 plotted a map showing the effect of the horizontal deformation in terms of ppm. The magenta and purple areas have relative deformation less than 0.5ppm. The dark blue to light blue areas are between 0.5 and 2ppm. Other color represents more deformation as we can see in figure 8. Modern RTK survey equipment has an accuracy of 5-10mm+0.5-1 ppm. The deformation will affect results of a RTK survey for more than half of Iceland, and therefore making it dependent on which base station was used for the survey.

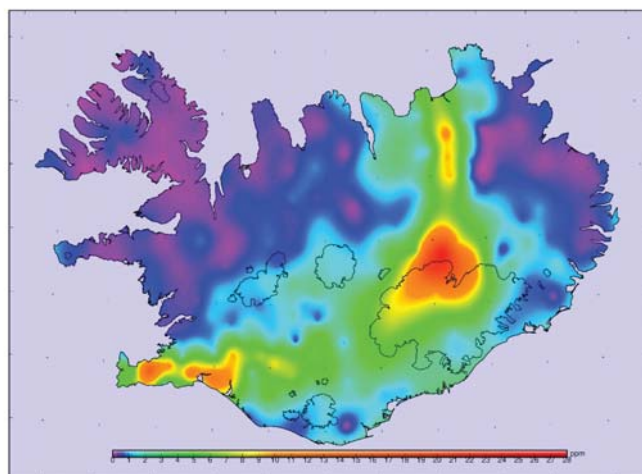


Figure 7. Relative deformation of ISN93 in 2016 in terms of ppm

It is also not possible to operate a network RTK system for Iceland if we keep the station coordinates fixed since we don't get fixed solution for the network after few years because of the deformation.

Therefore, it's impossible to maintain a modern precise geodetic datum in Iceland without taking the deformation into account.

Realization of the dynamic reference frame

Shortly after ISN2004 was published it was decided that the next geodetic datum/ reference frame would take into account crustal movements and deformations in Iceland. But should it be a fully dynamic frame like ITRF or should it be a semi-dynamic frame like NZGD in New Zealand (Grant, D.B., et.al., 1999).

But the development in the global GNSS systems also pushes for a dynamic frame in countries that are not suffering crustal deformation. New systems like Galileo and Beidou-2, more frequencies and hardware development might give a commercial user a few decimeter accuracy in near future, e.g. Galileo High Accuracy Service. Also, there are global PPP services like Navcom, Trimble Position Service and Veripos stating accuracies of few cm. The position from those services is in the current ITRF/IGS at the epoch of the observation. Most systems in are in Europe are in EUREF89. The coordinate difference between EUREF89 and PPP is currently about 60 cm.

In the autumn of 2016 the general directors of the Nordic mapping agencies asked NKG to look in to this matter.

The NGK Presidium started a pilot project called DRF Iceland. The first task of the project group was to come up with pre-conditions for DRF in Iceland and then to set up a project plan for implementing a Dynamic Reference Frame in Iceland to be presented for the General Directors in August 2017.

The project group came up with 10 preconditions for a DRF

- 1) A sufficiently dense active geodetic infrastructure, like Continuous Operating Reference Stations (CORS) with known coordinates in a global reference frame (e.g. ITRF).
- 2) A way to distribute the reference frame to the users, e.g. positioning services.
- 3) Transformations to other reference frames.
- 4) Deformation models with sufficient accuracy to meet the future demands for comparison and compiling coordinates from different epochs.
- 5) Geodetic data archives able to store and handle dynamic coordinates.
- 6) GIS systems that are able to handle dynamic coordinates in general and in particular the time dimension of a dynamic reference frame and the various transformations needed.
- 7) Legal foundation of dynamic reference frames (e.g. for cadastre).
- 8) Training and education of surveyors.
- 9) Training and education of GIS users.
- 10) Willingness of the users to take such a system into use.

Some of the preconditions or outside of the scope of geodesy and rely on the international development. Therefor it was decided to recommend a short-term project focusing of the geodetic perspectives, with the aim to present its results on the NKG General Assembly in 2018. The project was divided into four working packages see in table 1.

	Document	Results	Service
DRF-Iceland-S1			
WP1: Realization of DRF-Iceland	D1.1: Specification of the GNSS analysis strategy and reference frame realization for the DRF-Iceland		
	D1.2: Set up an operational GNSS analysis of Icelandic CORS		
	D1.3: Determine a preliminary secular velocity field for the Icelandic GNSS stations		
	D1.4: Time-series analysis for determination of velocities and deformations of Icelandic GNSS stations		
WP2: Access to DRF (user perspective)	D2.1: Review of the RTK software options with respect to the requirements of dynamic coordinates in a DRF		
	D2.2: Implementing a test-RTK service delivering DRF coordinates		
	D2.3: Review of the quality of global PPP for positioning		
WP3: Deformation model	D3.1: Description of concept for deformation model		
	D3.2: Description of concepts for handling secular motions and deformation events		
	D3.3: Determination of a preliminary deformation model		
	D3.4: Description of how to implement deformation model in GIS systems		
WP4: Plan for a long term NKG-activity	D4: Document describing the plan for the NKG-activity 2018-2022		

Table 1. Working packages in the DRF-Iceland project

Modeling the deformation

We can divide the geophysical processes causing the deformation of the geodetic network in Iceland into two categories. Long term processes like plate tectonics, land uplift and land subsidence and periodic processes like earthquakes and volcanic eruptions. To model the long term processes a velocity model based on data from continuous GNSS stations (CORS) is a very suitable method. There are over 100 CORS stations in Iceland, most of the owned by the geophysical community. But they are not evenly distributed. Most of them are in active areas. To get more density for our velocity model we must also use data from repeated GNSS campaigns, like the ISNET campaigns. When using GNSS data for velocity modeling it's vital that all the data is in the same reference frame. It might be wise to establish a local realization of a global reference frame. NLSI is a part of the NKG analysis center and data from 16 CORS has been reprocessed for the period 2001-2016. After time series analysis, we can choose the most stable ones as reference sites for the local realization. Then we can process data from other CORS and campaign stations to get more velocities for the long-term velocity model.

In the event of an earthquake or eruption we must investigate how much influence it has on the reference system. CORS stations and INSAR are a very good indicator for the magnitude and the area affected.

After an event, we should measure the network in effected area and model the deformation caused by the event. This is then applied as patch to the long-term model.

Some fusion CORS, GNSS campaigns and INSAR might be the best way to model periodic events. For this purpose, we might have to set up system of reflectors in the active areas of Iceland and investigate how we get the INSAR data into a correct reference.

The work in finding the best way to model the deformation in Iceland will be a part of the continuing NKG-DRF project. But the first version of a secular models has been created. These models are based on velocities of 173 stations both campaign stations and CORS stations. In areas where some activities have occurred only observation after it is concerned. The models were computed using Kriging.

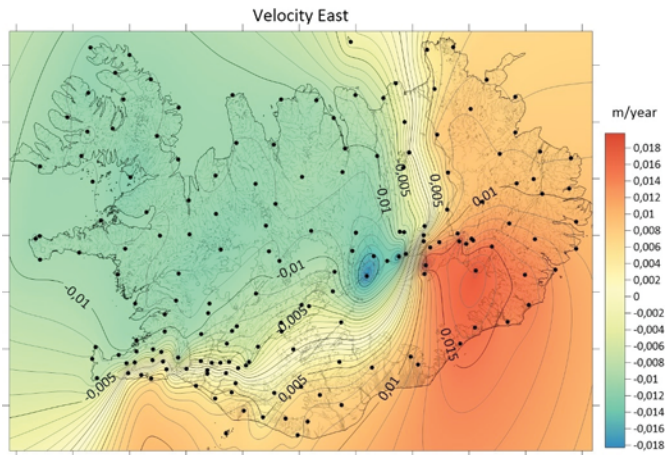


Figure 8. Secular deformation model East-West

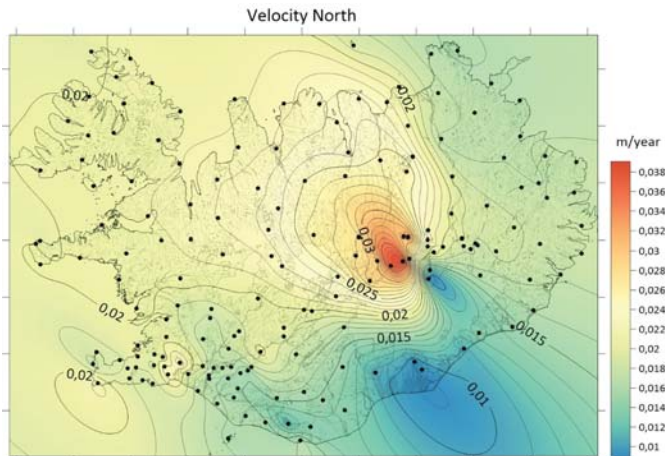


Figure 9. Secular deformation model North-South

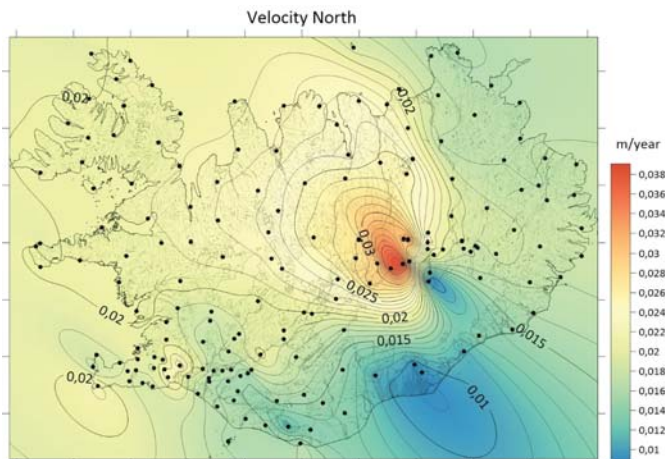


Figure 10. Secular deformation model vertical

Introducing ISN2016 and ISN_DRF

In order to use the new reference systems our user must have a way to transform their data and access reference data in the new frames.

An updated version of our transformation service cocodati (<https://sandmerki.lmi.is/cocodati/>) has been developed. It uses PROJ (v5.2.0) (PROJ contributors, 2018) in the background. PROJ has undergone a major update recently, making complex geodetic transformations possible. Our colleagues at the SDFE in Denmark have played a vital role in this especially by introducing the pipeline concept (Evers, K. og Knudsen, T., 2017).

We've created transformations to ISN2016 from ISN2004 and ISN93. The transformations are grid based in NTV2 or CTable2 format for East and North and in GTX format for the change in height. The grids are mainly based on the coordinate difference of the ISNET campaigns and are computed using Kriging. The secular deformation models have also been implemented in the new transformation service making it possible to do time base transformations between ISN2016 and ISN__DRF

One of the main benefits of using PROJ is that is widely used in Geospatial world (e.g. QGIS, GDAL, PostGIS) so the same transformation commands and models can be used in many programs. With the latest version of GDAL (v.3.0.0) it's possible to use the full benefits of the new PROJ making it possible to transform almost all formats of geospatial data.

EPSG codes are available for ISN2016 but not for ISN_DRF because EPSG is not yet ready for DRF. The codes for ISN2016 are following.

Islands Net 2016 / ISN2016	EPSG::1187	Geodetic Datum
ISN2016 / Lambert 2016	EPSG::8088	Projected CRS
ISN2016	EPSG::8084	Geodetic CRS (geocentric)
ISN2016	EPSG::8085	GeodeticCRS (geographic 3D)
ISN2016	EPSG::8086	GeodeticCRS (geographic 2D)

Table 2. EPSG codes for ISN2016.

The surveyors can access ISN2016 and ISN_DRF through IceCORS, the RTK service of NLSI or through coordinates of benchmarks and cocodati if they need a different epoch.

The National Land Survey is also developing a new geodetic database and is also aiming for a GNSS post-processing online service.

Viðauki 1: Breidd og lengd stöðva í ISNET2016 mælingunum í viðmiðun ISN2016

Alþjóðleg samtök landmælingamanna og jarðeðlisfræðinga (IUGG, International Union of Geodesy and Geophysics) samþykktu árið 1979 að GRS80 sporvalan lýsi best stærð, löggun og þyngdarsviði jarðar (Moritz, H. 1980). Hnit mælistöðva í ISNET2016 mælingunum í viðmiðun ISN2016, breidd, lengd og hæð reiknuð á og yfir sporvölu GRS80 eru gefin hér á næstu síðum. Hnitakerfi IGS2014, tími 2016.5.

Viðmiðunin hefur fengið EPSG númerið 1187 og er EPSG númer hnitformsins sem lýst er hér að ofan 8085.

Stuttnefni	NR	Breidd	Lengd	Sporvölurhæð	Heiti
5000	5000	N 64°16'17.10380"	V 21°06'23.73908"	194.335	Almannagjá
ADAL	OS7378	N 65°14'50.10290"	V 19°26'52.99425"	668.073	Aðalsmannsvatn N
AKAR	LM0310	N 64°39'07.52520"	V 22°21'20.35669"	78.405	Akrar
AKUR	10206M001	N 65°41'07.53722"	V 18°07'20.93832"	134.205	Akureyri
ALFD	ALFD	N 64°59'02.94454"	V 16°02'03.06429"	732.002	Álfadalur
ARHO	ARHO	N 66°11'35.06408"	V 17°06'32.55486"	123.928	Árholt
ARNE	LM0319	N 66°05'55.99825"	V 23°02'21.52895"	125.237	Arnarnes
ASFJ	LM0072	N 64°03'04.98040"	V 21°56'34.98753"	192.205	Ásfjall
ASVO	OS7494	N 65°02'12.84920"	V 18°46'52.63942"	846.534	Ásbjarnarvötn
AUST	AUST	N 63°40'27.70264"	V 19°04'50.04371"	1438.372	Austmannsbunga
BADA	LM1008	N 65°37'11.58476"	V 17°30'34.99545"	219.771	Bárðardalur
BAFJ	LM0334	N 66°02'27.93644"	V 14°47'23.84696"	86.254	Bakkafjörður
BAGE	LM0337	N 65°31'19.14689"	V 13°48'07.82758"	75.785	Bakkagerði
BAKH	OS7031	N 66°04'33.59187"	V 17°21'29.23868"	92.680	Bakkahöfði
BALD	BALD	N 64°55'27.35407"	V 15°44'57.22742"	705.448	Búrfellsalda
BELG	LM0502	N 64°25'46.95923"	V 22°00'24.60353"	88.759	Belgsholt
BESS	LM0341	N 65°02'34.52320"	V 15°03'21.67070"	709.979	Bessastaða S
BJAL	LM3359	N 64°05'55.80231"	V 19°06'15.13211"	604.272	Bjallavað S
BLAF	VR6713	N 63°59'17.98252"	V 21°39'02.71484"	513.971	Bláfjöll
BLON	LM0326	N 65°24'16.96997"	V 19°49'44.10042"	482.832	Blönduvirkjun V
BOGO	4011	N 66°08'35.18431"	V 23°14'30.69996"	75.841	Bolungarvík, golfvöllur
BORG	LM0359	N 64°32'21.28318"	V 21°55'02.34575"	97.958	Borgarnes
BORI	BORI	N 64°32'21.07089"	V 21°55'18.71922"	93.309	Borganes Ísmar
BOTA	LM0351	N 63°39'22.30389"	V 18°14'47.19459"	107.312	Botnar
BOVI	LM0504	N 65°27'56.70582"	V 20°35'56.20008"	186.090	Borgarvirki S
BREH	LM0343	N 64°54'21.00268"	V 14°35'51.73533"	529.326	Breiðdalsheiði
BRVA	OS7371	N 64°40'56.94022"	V 21°14'09.24910"	181.543	Breiðavatn NA
BUDH	BUDH	N 64°14'25.34604"	V 19°19'28.64256"	662.810	Búðarháls
DJUV	LM0346	N 64°39'13.81883"	V 14°15'36.99217"	74.828	Djúpivogur A
DYNC	DYNC	N 64°47'26.23065"	V 17°21'58.53578"	1208.547	Dyngjuháls
DYNG	DYNG	N 65°03'22.72231"	V 16°39'06.37782"	1013.797	Askja, Dyngja
DYNY	DYNY	N 65°00'57.74996"	V 17°06'56.56162"	868.156	Dyngjufjöll
EGIL	LM0339	N 65°15'29.75174"	V 14°24'11.42738"	142.256	Egilsstaðir
EINH	OS7385	N 63°45'13.28386"	V 19°27'01.73929"	623.876	Einhyrningur
ENNI	LM1260	N 65°34'53.05034"	V 21°19'21.70232"	339.561	Ennishöfði
ENTC	ENTC	N 63°42'03.88838"	V 19°10'55.88471"	1423.044	Enta
EYRA	LM0524	N 65°48'08.65807"	V 22°36'26.84391"	402.078	Eyrarfjall
EYVI	EYVI	N 64°14'04.72264"	V 15°48'14.00066"	375.226	Eyvindstungur
FEDG	FEDG	N 64°01'30.93057"	V 19°41'22.05643"	503.745	Feðgar
FELL	LM0349	N 64°06'52.52373"	V 16°05'05.20372"	81.033	Fellsá SV
FIM2	FIM2	N 63°36'36.20171"	V 19°26'01.64085"	961.830	Fimmvörðuháls- Baldvinskáli
FITC	FITC	N 64°20'11.86929"	V 19°35'29.83267"	893.671	Fitjuás
FITJ	LM0534	N 65°09'49.31256"	V 20°34'01.94324"	410.156	Fitjá austan
FJAL	RH8437	N 65°00'40.47801"	V 17°01'58.51319"	920.541	Fjallsendi
FJOC	10212M001	N 64°52'29.76449"	V 18°00'21.78495"	1034.961	Fjórðungsalda
FLAD	RH8701	N 66°06'26.20527"	V 17°53'53.95276"	88.614	Flateyjardalur

Stuttnefni	Númer	Breidd	Lengd	Sporvöluhæð	Heiti
FLAG	OS7226	N 63°59'41.63875"	V 20°15'52.74438"	213.594	Flagbjarnarholt
FLEY	LM0322	N 65°22'22.61606"	V 22°55'34.09541"	76.306	Flatey
FLOK	LM0321	N 65°34'21.36134"	V 23°10'23.09497"	75.817	Flókalundur
FLUD	LM0366	N 64°08'18.87273"	V 20°19'05.15644"	186.120	Flúðir
FOSA	LM0309	N 64°21'15.51703"	V 21°27'42.75610"	91.393	Fossá V
FTEY	FTEY	N 66°09'37.15708"	V 17°50'52.50811"	74.341	Flatey á Skjálfanda
GALT	OS7485	N 63°59'52.32214"	V 18°16'21.38559"	678.081	Galti
GASK	LM0301	N 64°04'05.12913"	V 22°41'09.20649"	79.958	Garðskagaviti
GEIK	LM0336	N 65°35'29.65710"	V 14°22'48.75339"	101.469	Geirastaðaklettar
GFUM	GFUM	N 64°24'24.33634"	V 17°15'59.73571"	1790.843	Grímsfjall
GIGO	GIGO	N 64°50'24.43515"	V 17°01'07.73213"	884.186	Gígöldur
GJAC	GJAC	N 64°49'43.52957"	V 17°36'50.16495"	918.463	Gjallandi
GJAL	OS7470	N 64°49'42.99660"	V 17°36'50.36566"	917.215	Gjallandi A
GJOG	LM0325	N 65°59'34.53884"	V 21°20'55.66340"	103.998	Gjögur
GLER	GLER	N 64°01'22.49557"	V 19°48'08.77589"	445.142	Glerhaus
GMEY	GMEY	N 66°32'20.29702"	V 18°01'08.44093"	72.329	Grímsey
GOLA	GOLA	N 63°39'34.92623"	V 19°19'19.49921"	1259.742	Goðaland
GORA	NE200201	N 63°47'53.33559"	V 20°51'07.63502"	71.085	Gömlu Ragnheiðarstaðir
GRAE	OS5861	N 65°31'20.70610"	V 17°01'00.50969"	351.610	Grænavatn
GRIM	LM0500	N 64°24'23.83274"	V 17°16'15.05257"	1781.089	Grímsfjall
GRUN	OS7012	N 65°13'41.28723"	V 15°32'21.00504"	671.564	Grunnavatnsalda
GRVA	GRVA	N 64°27'49.59790"	V 19°23'02.67141"	776.816	Grænavatn, Skeiða- og Gnúpverjahreppur
GSEY	LM0331	N 66°31'38.70748"	V 17°58'53.81890"	75.618	Grímsey
GSIG	GSIG	N 64°40'41.07843"	V 16°40'39.06549"	1846.159	Gengissigið
GUBO	LM0311	N 64°51'38.52673"	V 22°14'33.31710"	132.002	Gullborgarhraun
GUSK	10207M001	N 64°53'29.23584"	V 23°55'23.25356"	124.441	Gufuskálar
HAAS	OS7461	N 64°37'49.57460"	V 14°49'40.79132"	256.167	Háiás
HAFS	HAFS	N 64°28'48.94399"	V 17°49'19.21645"	1618.462	Hamarinn
HAHN	OS7367	N 66°26'49.32370"	V 16°28'00.16342"	98.656	Hálshnúkur S
HAHV	HAHV	N 64°56'55.57640"	V 15°48'32.22488"	743.751	Hafravammagljúfur
HAMR	HAMR	N 63°37'20.81426"	V 19°59'08.42624"	160.389	Hamragarðar
HANE	LM0329	N 65°55'32.12466"	V 18°19'41.56686"	113.037	Hauganes
HATT	OS5491	N 64°55'25.44788"	V 16°00'39.94536"	894.815	Hattur SV
HATU	LM0518	N 64°41'07.55870"	V 15°43'36.90479"	911.509	Hátunga A
HAUC	HAUC	N 64°42'41.34726"	V 18°20'41.34457"	726.484	Háumýrar
HAUD	HAUD	N 63°58'06.77807"	V 19°57'51.70746"	166.602	Haukadalur
HAUK	LM0307	N 64°14'22.40971"	V 20°13'19.47990"	270.762	Haukholt A
HAUM	LM0358	N 64°42'41.31150"	V 18°20'40.77504"	727.071	Háumýrar NA
HEBL	OS7472	N 65°10'48.02501"	V 16°12'35.25004"	556.392	Herðubreiðarlindir
HEEY	LM0353	N 63°25'06.14440"	V 20°17'21.63540"	132.105	Heimaey
HEFE	LM0528	N 65°04'38.76508"	V 19°37'20.15640"	618.570	Helgufell
HEGR	LM0327	N 65°43'04.28054"	V 19°29'17.22814"	189.183	Hegranes
HEID	10208M001	N 65°22'51.04701"	V 14°32'27.40135"	287.951	Heiðarsel
HELC	HELC	N 65°56'38.24165"	V 18°23'14.56153"	103.452	Hekluvíki

Stuttnefni	Númer	Breidd	Lengd	Sporvöluhæð	Heiti
HERD	RH9208	N 63°52'08.81765"	V 21°50'20.76952"	79.086	Herdísarvík
HERI	LM0313	N 64°54'56.54533"	V 23°51'14.57324"	105.322	Hellisandur-Rif
HESA	HESA	N 64°02'48.62771"	V 19°33'38.08816"	529.116	Hestalda
HLFJ	HLFJ	N 64°16'37.51872"	V 20°08'10.35177"	353.691	Hlíðarfjall
HLHE	LM0316	N 64°59'33.83617"	V 21°03'35.73091"	461.035	Holtavörðuheidi
HLID	HLID	N 63°55'15.98317"	V 21°23'22.90028"	111.046	Hlíðardalsskóli
HNDA	HN1	N 66°06'27.86068"	V 23°06'38.11192"	75.573	Hnífsdalur
HODI	LM0538	N 66°14'35.51461"	V 22°36'50.83666"	115.925	Höfði
HOFN	10204M002	N 64°16'02.25628"	V 15°11'52.50142"	82.848	Höfn_IGS
HOSA	VR923616	N 64°04'32.24107"	V 21°38'46.38184"	201.466	Hólmsá
HOSK	OSTD14	N 63°57'17.17445"	V 22°06'47.65146"	176.898	Höskuldsvellir
HOST	LM0348	N 64°16'01.01268"	V 15°11'53.87936"	81.675	Höfn
HOTE	LM0340	N 65°21'22.78662"	V 14°52'08.55537"	211.732	Hofteigur
HOTJ	HOTJ	N 66°09'41.98455"	V 17°14'39.32991"	137.937	Hóll á Tjörnesi
HRAU	LM0347	N 64°23'19.25113"	V 14°47'47.10159"	75.162	Hraunkot NA
HROF	LM0324	N 65°45'38.05771"	V 21°44'54.46303"	76.522	Hrófberg
HROV	LM0536	N 66°23'32.02570"	V 22°21'34.03439"	97.207	Hrolleifsvík
HUND	LM0521	N 64°58'28.50340"	V 21°36'20.84045"	112.255	Hundadalur
HUSM	HUSM	N 64°03'59.93998"	V 21°25'02.11372"	313.293	Húsmúli
HVEL	10218M001	N 64°52'22.95124"	V 19°33'40.47982"	711.164	Hveravellir
HVER	HVER	N 64°01'01.75704"	V 21°11'05.32028"	149.978	Hveragerði
HVIV	OS7482	N 64°32'12.82098"	V 19°48'03.47699"	505.031	Hvítárvatn S
HVOL	HVOL	N 63°31'34.60877"	V 18°50'51.12305"	264.738	Láguhvolur
INSK	INSK	N 64°40'58.18867"	V 19°32'01.84883"	776.549	Innri Skúti
INTA	10213M001	N 64°56'24.03846"	V 15°46'58.08540"	701.109	Inntak Kárahnjúkar
ISAF	10209M001	N 66°04'24.81268"	V 23°07'10.07637"	77.681	Ísafjörður
ISAK	10214M001	N 64°07'09.58708"	V 19°44'49.84197"	319.498	Ísakot
ISHO	OS7379	N 65°12'59.11220"	V 17°24'34.60878"	691.018	Íshólsvatn
JOKU	OS7383	N 64°18'34.40662"	V 18°14'24.03545"	740.725	Jökulheimar
KALF	10215M001	N 63°56'50.38968"	V 17°41'19.93284"	143.064	Kálfafell
KALT	KALT	N 63°53'50.43106"	V 20°39'21.90628"	98.965	Kálfholt í Holtum
KANE	LM0345	N 64°48'24.19320"	V 13°50'45.01849"	91.909	Kambanes
KEFI	KEFI	N 63°58'34.39849"	V 22°35'43.41542"	125.345	Keflavík Ísmar
KEIL	LM3713	N 64°00'59.85983"	V 22°15'37.46239"	104.864	Keilisnes
KHRA	LM0527	N 64°47'47.59288"	V 19°22'00.78016"	715.245	Kjalhraun
KIDA	OS7469	N 65°01'09.09579"	V 17°56'32.66317"	933.834	Kiðagilsdrög
KIDC	KIDC	N 65°01'09.18975"	V 17°56'32.77096"	935.175	Kiðagilsdrög
KIDJ	KIDJ	N 63°59'47.70223"	V 20°46'29.44099"	122.908	Kiðjberg
KIRK	LM0312	N 64°48'21.84851"	V 23°05'50.32745"	94.113	Kirkjuból
KISA	KISA	N 64°40'27.07473"	V 17°33'43.57461"	1631.792	Kista
KJAV	LM0357	N 64°26'57.29899"	V 18°57'36.35655"	630.228	Kjalvötn NV
KLOF	OSTD76	N 63°57'50.13373"	V 21°57'58.01149"	220.330	Sandfellsklöfi
KNAR	LM0315	N 65°09'26.79738"	V 21°52'53.60270"	104.310	Knararhöfn
KOSK	KOSK	N 66°18'11.70446"	V 16°26'36.33316"	74.482	Kópasker

Stuttnefni	Númer	Breidd	Lengd	Sporvöluhæð	Heiti
KRHR	OS7220	N 63°56'52.32916"	V 20°06'00.52904"	166.486	Krókakraun
KRIV	KRIV	N 63°52'41.53678"	V 22°04'38.14700"	214.897	Krísuvík
KRME	OS7442	N 65°28'14.82763"	V 16°09'35.09712"	489.350	Króksmelshellur
KVEC	KVEC	N 64°44'43.22640"	V 16°39'06.84965"	878.418	Kverkfjöll
KVER	RH8434	N 64°44'43.28213"	V 16°39'06.86221"	877.398	Kverkfjöll
KVIK	LM0303	N 63°52'02.74082"	V 22°05'22.41321"	197.393	Krísuvík
KVIS	KVIS	N 66°06'02.71547"	V 17°16'18.15422"	134.416	Kvísarhóll
LAFE	LM0342	N 64°52'05.74297"	V 15°24'35.27707"	753.669	Laugarfell SV
LAHL	LM0356	N 64°18'37.55276"	V 19°19'58.98802"	666.545	Langahlíð
LAMY	OS7225	N 63°58'59.41858"	V 20°34'46.00476"	120.166	Langamýri
LANH	LANH	N 64°53'08.04702"	V 16°33'37.34607"	751.905	Langahlíð
LAUV	LM0306	N 64°12'36.27049"	V 20°46'56.26322"	281.541	Laugavatn V
LAXA	LM0505	N 65°43'33.44272"	V 20°12'48.43610"	127.280	Laxárbrú V
LFEL	LFEL	N 64°31'32.26991"	V 19°45'32.09656"	611.257	Lambafell
LIKA	VR922424	N 64°03'27.82492"	V 21°29'59.70586"	299.671	Litla Kaffistofan
MAEL	OS7416	N 63°48'06.04884"	V 18°57'56.38081"	645.752	Mælifell V
MESE	LM0535	N 66°12'31.62667"	V 21°54'34.50189"	73.366	Meyjarsel
MIME	VR921112	N 63°58'51.09271"	V 21°27'39.80263"	315.375	Milli Meitla
MJOL	LM0320	N 65°46'05.73639"	V 23°05'26.27256"	572.922	Mjólká
MJOS	LM0317	N 65°27'55.54870"	V 23°56'40.21467"	68.864	Mjósund
MJSK	MJSK	N 63°55'58.60012"	V 19°40'20.53031"	770.573	Mjóaskarð
MLRI	OS7373	N 64°43'51.68320"	V 23°48'40.46423"	74.996	Malarrif
MOFC	MOFC	N 64°59'02.06229"	V 16°40'02.78611"	788.062	Móflöt
MULA	NE200204	N 65°38'23.34539"	V 16°53'42.05392"	363.343	Múlavegur
MYVA	10205M001	N 65°38'32.35770"	V 16°53'28.87056"	370.597	Mývatn
NAEF	717	N 63°59'48.31679"	V 19°54'26.93841"	188.462	Næfurholt
NOME	OS7384	N 65°46'23.61890"	V 16°20'30.00259"	430.567	Norðurmelur
NONH	NONH	N 63°54'09.77207"	V 20°19'00.21396"	168.932	Nónhóll
NUPA	LM0530	N 64°52'52.43921"	V 20°27'37.90263"	562.536	Núpatjörn V
NYLA	NYLA	N 63°58'24.74781"	V 22°44'17.15797"	72.252	Nýlenda
OFEL	OFEL	N 63°45'05.61070"	V 18°50'27.22029"	535.549	Öldufell
OFJO	LM0330	N 66°04'08.08839"	V 18°39'48.92672"	69.982	Ólafsfjörður
OLFS	LM0365	N 63°59'30.80351"	V 21°09'55.86630"	105.586	Ölfusborgir
OLKE	OLKE	N 64°03'47.25956"	V 21°13'11.61936"	550.517	Ölkelduháls
RAUF	LM0332	N 66°27'15.66743"	V 15°56'03.74972"	89.052	Raufarhöfn
RENE	LM0302	N 63°49'31.62902"	V 22°37'46.41109"	79.055	Reykjanes
RESK	LM0503	N 65°15'44.11524"	V 21°05'24.58210"	105.141	Reykjaskóli NA
REYF	LM0352	N 63°25'08.03518"	V 19°01'35.18022"	302.391	Reynisfjall
REYH	LM0323	N 65°26'14.51586"	V 22°12'18.74528"	73.789	Reykhólar
REYK	10202M001	N 64°08'19.63046"	V 21°57'19.75734"	93.014	Reykjavík_IGS
RFEL	RFEL	N 63°37'02.72931"	V 18°40'17.18528"	235.911	Rjúpnafell
RHOF	10216M001	N 66°27'40.04063"	V 15°56'48.14809"	76.904	Raufarhöfn
RHOL	10210M001	N 65°25'33.45012"	V 22°12'50.74645"	73.676	Reykhólar
RIFC	RIFC	N 64°55'28.43399"	V 16°23'16.54453"	720.543	Rífihnjúkur

Stuttnefni	Númer	Breidd	Lengd	Sporvöluhæð	Heiti
RJUC	RJUC	N 64°44'35.18153"	V 17°31'38.50425"	1052.307	Rjúpnabrekkukvísl
RLAE	VR2755	N 63°52'05.99608"	V 20°27'59.88723"	121.156	Rauðilækur
RVKI	RVKI	N 64°07'39.37074"	V 21°54'14.34199"	132.147	Reykjavík Ísmar
SAFE	LM0318	N 65°52'09.34222"	V 23°29'43.54186"	356.409	Sandfell
SAMK	LM0328	N 65°29'53.18481"	V 18°10'44.81521"	120.000	Samkomugerði
SARP	SARP	N 64°28'01.93712"	V 21°15'59.16435"	192.144	Sarpur
SAUD	SAUD	N 64°53'54.23865"	V 15°53'01.34106"	762.064	Sauðárháls
SAUR	SAUR	N 63°59'03.56308"	V 20°25'31.55880"	128.201	Saurbær
SAVI	SAVI	N 65°59'35.47230"	V 17°22'33.97724"	135.379	Saltvík
SEHE	VR4602	N 63°52'15.51595"	V 21°33'36.14357"	206.534	Selvogsheiði
SEJA	LM0354	N 63°36'40.17548"	V 19°59'28.59224"	139.501	Seljaland
SELF	SELF	N 63°55'44.33168"	V 21°01'56.00310"	79.951	Selfoss Ísmar
SELI	SELI	N 63°56'17.34641"	V 21°00'03.20667"	90.335	Selfoss Ísmar
SELV	LM0506	N 66°06'13.38888"	V 20°18'08.20812"	117.408	Selvíkurtangi SA
SEVE	LM0525	N 66°02'11.40269"	V 22°25'54.43152"	81.670	Selá
SIFJ	SIFJ	N 66°08'16.94614"	V 18°53'57.66336"	81.506	Siglufjörður
SJUK	SJUK	N 66°02'56.12915"	V 17°20'23.34809"	95.304	Sjúkrahúsið Húsavík
SKDA	SKDA	N 64°22'37.45303"	V 20°39'55.85819"	622.348	Skriða
SKFC	SKFC	N 64°01'33.82562"	V 16°59'18.83264"	321.591	Skaftafell
SKFE	VG20044341	N 64°13'05.87189"	V 21°26'42.98626"	390.146	Skálafell
SKHA	10211M001	N 64°47'31.56027"	V 21°27'13.33407"	216.394	Skarðshamar
SKOG	SKOG	N 63°34'35.21480"	V 19°26'43.78936"	669.551	Skógaheiði
SKRO	SKRO	N 64°33'24.58208"	V 18°22'41.53452"	982.421	Skrokkalda
SKUM	LM3073	N 63°42'03.32322"	V 20°30'08.66579"	78.108	Skúmsstaðir
SNAE	SNAE	N 63°44'10.74079"	V 18°37'56.84103"	332.584	Snæbýli
SNES	LM0537	N 66°25'47.56848"	V 23°08'12.73293"	67.732	Straumnes
SODU	SODU	N 63°57'45.26030"	V 19°35'08.74205"	788.099	Söðulfell
SOHO	SOHO	N 63°33'08.91114"	V 19°14'47.91477"	857.579	Sólheimahéið
SORL	LM0338	N 65°17'01.71704"	V 13°53'14.17301"	111.842	Sörlastaðaá
STAL	LM3055	N 63°49'37.26682"	V 20°08'25.18556"	186.497	Stóralda
STE2	STE2	N 63°40'37.32135"	V 19°36'30.77719"	290.500	Steinsholt
STKA	STKA	N 64°26'21.08533"	V 18°49'19.87021"	700.786	Stóra Kjalalda
STOR	STOR	N 63°45'09.61609"	V 20°12'43.50273"	124.840	Stórólshvoll
STRH	LM0304	N 63°50'42.68636"	V 21°39'25.60244"	97.875	Strandhæð
STRV	LM0509	N 66°04'28.84474"	V 19°21'13.62442"	85.766	Straumnesviti S
STRY	LM2003	N 63°47'37.27916"	V 20°51'05.58563"	75.573	Strýta
STYK	LM0314	N 65°04'16.73518"	V 22°43'39.11414"	92.412	Stykkishólmur
SVIF	OS7375	N 63°57'43.45316"	V 16°51'36.29533"	144.898	Svínafell S
TBRU	NE200501	N 63°55'25.77267"	V 20°39'33.43267"	131.830	Austan Þjórsárbrúar
TEIA	LM0344	N 65°01'07.53253"	V 13°48'05.02986"	196.598	Teigará
THER	OS7441	N 65°53'04.93461"	V 16°57'49.09548"	401.586	Þeistareykir
THEY	THEY	N 63°33'41.28775"	V 19°38'36.31040"	195.326	Þorvaldseyri
THOC	THOC	N 64°56'01.37492"	V 16°40'32.10796"	750.041	Þorvaldshraun
THOH	LM0333	N 66°11'19.60117"	V 15°19'30.24306"	78.389	Þórshöfn
THUR	LM0514	N 65°35'53.09512"	V 15°09'40.26479"	515.345	Þuríðarvatn
TJAF	LM0308	N 64°27'00.19580"	V 20°38'58.36175"	577.213	Tjaldfell S
URHC	URHC	N 64°49'13.30483"	V 17°08'49.76255"	1079.693	Urðarháls

Stuttnefni	Númer	Breidd	Lengd	Sporvöluhæð	Heiti
VAGI	LM0508	N 65°27'46.57801"	V 18°56'38.55869"	352.332	Valagilsá
VEGA	LM0511	N 65°57'57.47899"	V 15°40'25.74448"	554.444	Vegahnúkur
VLBI	LM0348A	N 64°16'03.89210"	V 15°11'50.77826"	78.421	Höfn VLBI
VMEY	10217M001	N 63°25'37.16530"	V 20°17'36.81216"	135.277	Vestmannaeyjar
VONC	VONC	N 64°40'24.99476"	V 17°45'15.89731"	1082.272	Vonarskarð
VOPN	LM0335	N 65°45'26.88772"	V 14°49'46.90489"	109.400	Vopnafjörður
VORD	OS7227	N 66°08'6.937070"	V 16°21'26.25240"	292.314	Vörðuhóll

Viðauki 2: Keiluhnitt Lamberts á stöðvum í grunnstöðvaneti í viðmiðun ISN2016

Á næstu síðum er að finna hnit mælistöðva í grunnstöðvanetinu gefin í hornsannri keiluvörpun Lamberts í viðmiðun ISN2016. Hnitakerfi IGS2014, tími 2015.5. Skurðbaugar keilu og sporvölu (GRS80) eru 65°45'N og 64°15'N. Norðurás liggur í plani 19° hádegisbaugs til norðurs en austurásinn hornrétt til austurs við 65°N. Skurðpunktar ásanna hafa hnitin: austur = 2700000 og norður = 300000. Ásar hnitakerfisins eru nefndir austurás og norðurás. Sem fyrr verður áttarhorn mælt og reiknað frá norðri til austurs.

Viðmiðunin hefur fengið EPSG númerið 1187 og er EPSG númer hnitaformsins sem lýst er hér að ofan 8088.

Stuttnefni	NR	Austur	Norður	Sporvöluhæð	Heiti
5000	5000	2597941.095	220477.851	194.335	Almannagjá
ADAL	OS7378	2679060.168	327639.026	668.073	Aðalsmannsvatn N
AKAR	LM0310	2539725.265	265469.439	78.405	Akrar
AKUR	10206M001	2740331.728	376698.750	134.205	Akureyri
ALFD	ALFD	2839933.494	301516.213	732.002	Álfadalur
ARHO	ARHO	2785207.418	434302.155	123.928	Árholt
ARNE	LM0319	2517412.624	428359.230	125.237	Arnarnes
ASFJ	LM0072	2556300.472	197592.859	192.205	Ásfjall
ASVO	OS7494	2710302.684	304131.843	846.534	Ásbjarnarvötn
AUST	AUST	2696011.155	152216.609	1438.372	Austmannsbunga
BADA	LM1008	2768663.110	369920.219	219.771	Bárðardalur
BAFJ	LM0334	2890722.494	422431.829	86.254	Bakkafjörður
BAGE	LM0337	2940133.492	368073.025	75.785	Bakkagerði
BAKH	OS7031	2774325.589	420936.447	92.680	Bakkahöfði
BALD	BALD	2853710.088	295509.809	705.448	Búrfellsalda
BELG	LM0502	2555193.833	239868.222	88.759	Belgsholt
BESS	LM0341	2885624.436	310577.452	709.979	Bessastaða S
BJAL	LM3359	2694918.977	199541.446	604.272	Bjallavað S
BLAF	VR6713	2570268.918	189937.944	513.971	Bláfjöll
BLON	LM0326	2661491.489	345372.810	482.832	Blönduvirkjun V
BOGO	4011	2508601.011	433879.071	75.841	Bolungarvík, golfvöllur
BORG	LM0359	2560065.032	251864.103	97.958	Borgarnes
BORI	BORI	2559846.721	251867.611	93.309	Borganes Ísmar
BOTA	LM0351	2737331.302	150411.159	107.312	Botnar
BOVI	LM0504	2625896.652	352862.800	186.090	Borgarvirki S
BREH	LM0343	2908225.523	296755.266	529.326	Breiðdalsheiði
BRVA	OS7371	2593299.437	266489.972	181.543	Breiðavatn NA
BUDH	BUDH	2684252.266	215356.863	662.810	Búðarháls
DJUV	LM0346	2926261.097	269895.505	74.828	Djúpivogur A
DYNC	DYNC	2777660.552	277661.469	1208.547	Dyngjuháls
DYNG	DYNG	2810510.830	308330.556	1013.797	Askja, Dyngja
DYNY	DYNY	2788818.243	303112.160	868.156	Dyngjufjöll
EGIL	LM0339	2914556.285	336596.861	142.256	Egilsstaðir
EINH	OS7385	2677760.132	161137.689	623.876	Einhyrningur
ENNI	LM1260	2592840.712	366789.025	339.561	Ennishöfði
ENTC	ENTC	2690988.498	155205.921	1423.044	Enta
EYRA	LM0524	2535025.579	394170.663	402.078	Eyrarfjall
EYVI	EYVI	2855012.966	218597.169	375.226	Eyvindstungur
FEDG	FEDG	2666292.677	191518.608	503.745	Feðgar

Stuttnefni	Númer	Austur	Norður	Sporvöluhæð	Heiti
FELL	LM0349	2842016.776	204568.871	81.033	Fellsá SV
FIM2	FIM2	2678474.398	145118.262	961.830	Fimmvörðuháls- Baldvinsskáli
FITC	FITC	2671400.718	226181.007	893.671	Fitjuás
FITJ	LM0534	2626532.484	319160.481	410.156	Fitjá austan
FJAL	RH8437	2792736.116	302696.422	920.541	Fjallsendi
FJOC	10212M001	2747103.317	286427.734	1034.961	Fjórdungsalda
FLAD	RH8701	2749813.836	423893.761	88.614	Flateyardalur
FLAG	OS7226	2638107.098	188569.358	213.594	Flagbjarnarholt
FLEY	LM0322	2517497.877	347247.846	76.306	Flatey
FLOK	LM0321	2507503.484	370194.590	75.817	Flókalundur
FLUD	LM0366	2635825.644	204636.836	186.120	Flúðir
FOSA	LM0309	2581096.453	230333.684	91.393	Fossá V
FTEY	FTEY	2751984.751	429848.763	74.341	Flatey á Skjálfanda
GALT	OS7485	2735596.892	188485.895	678.081	Galti
GASK	LM0301	2520175.617	201353.820	79.958	Garðskagaviti
GEIK	LM0336	2912913.007	373737.085	101.469	Geirastaðaklettur
GFUM	GFUM	2783570.322	235011.080	1790.843	Grímsfjall
GIGO	GIGO	2793998.675	283649.404	884.186	Gígöldur
GJAC	GJAC	2765796.064	281630.965	918.463	Gjallandi
GJAL	OS7470	2765793.780	281614.407	917.215	Gjallandi A
GJOG	LM0325	2593341.630	412689.120	103.998	Gjögur
GLER	GLER	2660766.223	191322.590	445.142	Glerhaus
GMEY	GMEY	2743609.981	471945.957	72.329	Grimsey
GOLA	GOLA	2684045.649	150620.218	1259.742	Goðaland
GORA	NE200201	2608720.292	167352.382	71.085	Gömlu Ragnheiðarstaðir
GRAE	OS5861	2791707.905	359682.248	351.610	Grænavatn
GRIM	LM0500	2783365.674	234989.874	1781.089	Grímsfjall
GRUN	OS7012	2861779.403	329863.112	671.564	Grunnavatnsalda
GRVA	GRVA	2681519.520	240277.665	776.816	Grænavatn, Skeiða- og Gnúpverjahreppur
GSEY	LM0331	2745292.998	470683.759	75.618	Grimsey
GSIG	GSIG	2810848.470	266148.077	1846.159	Gengissigið
GUBO	LM0311	2546313.147	288413.134	132.002	Gullborgarhraun
GUSK	10207M001	2467062.033	296973.869	124.441	Gufuskálar
HAAS	OS7461	2899373.728	265381.974	256.167	Háiás
HAFS	HAFS	2756644.201	242587.047	1618.462	Hamarinn
HAHN	OS7367	2813002.870	463617.088	98.656	Hálshnúkur S
HAHV	HAHV	2850750.778	298094.457	743.751	Hafrahvammagljúfur
HAMR	HAMR	2651111.760	146807.221	160.389	Hamragarðar
HANE	LM0329	2730591.964	403361.042	113.037	Hauganes

Stuttnefni	Númer	Austur	Norður	Sporvöluhæð	Heiti
HATT	OS5491	2841340.380	294839.752	894.815	Hattur SV
HATU	LM0518	2856142.058	268974.720	911.509	Hátunga A
HAUC	HAUC	2731238.706	267997.869	726.484	Háumýrar
HAUD	HAUD	2652757.272	185372.951	166.602	Haukadalur
HAUK	LM0307	2640717.645	215798.525	270.762	Haukholt A
HAUM	LM0358	2731246.260	267996.840	727.071	Háumýrar NA
HEBL	OS7472	2830690.113	322952.601	556.392	Herðubreiðarlindir
HEEY	LM0353	2635587.934	124329.212	132.105	Heimaey
HEFE	LM0528	2670732.246	308776.757	618.570	Helgufell
HEGR	LM0327	2677592.896	380121.190	189.183	Hegranes
HEID	10208M001	2907173.511	349768.902	287.951	Heiðarsel
HELC	HELC	2727877.930	405381.583	103.452	Hekluvíki
HERD	RH9208	2560460.226	177061.061	79.086	Herðisárvík
HERI	LM0313	2470531.383	299416.879	105.322	Hellisandur-Rif
HESA	HESA	2672614.704	193862.326	529.116	Hestalda
HLFJ	HLFJ	2644957.831	219904.071	353.691	Hlíðarfjall
HLHE	LM0316	2602821.046	300773.197	461.035	Holtavörðuheidi
HLID	HLID	2582755.842	181939.646	111.046	Hlíðardalsskóli
HNDA	HN1	2514259.535	429551.842	75.573	Hnífsdalur
HODI	LM0538	2537529.827	443263.451	115.925	Höfði
HOFN	10204M002	2884151.523	223856.857	82.848	Höfn_IGS
HOSA	VR923616	2570898.082	199652.017	201.466	Hólmásá
HOSK	OSTD14	2547467.248	187233.104	176.898	Höskuldsvellir
HOST	LM0348	2884135.321	223817.301	81.675	Höfn
HOTE	LM0340	2892130.690	346005.601	211.732	Hofteigur
HOTJ	HOTJ	2779213.459	430624.685	137.937	Hóll á Tjörnesi
HRAU	LM0347	2902671.464	238590.533	75.162	Hraunkot NA
HROF	LM0324	2574077.333	387535.421	76.522	Hrófberg
HROV	LM0536	2549849.911	459230.281	97.207	Hrolleifsvík
HUND	LM0521	2576999.085	299701.971	112.255	Hundadalur
HUSM	HUSM	2582024.656	198205.089	313.293	Húsmúli
HVEL	10218M001	2673399.957	285964.522	711.164	Hveravellir
HVER	HVER	2593173.719	192277.521	149.978	Hveragerði
HVIV	OS7482	2661564.151	248616.147	505.031	Hvítárvatn S
HVOL	HVOL	2707588.280	135712.939	264.738	Láguhvolar
INSK	INSK	2674519.357	264749.098	776.549	Innri Skúti
INTA	10213M001	2852034.763	297181.690	701.109	Inntak Kárahnjúkar
ISAF	10209M001	2513610.685	425774.310	77.681	Ísafjörður
ISAK	10214M001	2663594.942	202037.329	319.498	Ísakot

Stuttnefni	Númer	Austur	Norður	Sporvöluhæð	Heiti
ISHO	OS7379	2774406.065	325063.565	691.018	Íshólsvatn
JOKU	OS7383	2736774.323	223250.124	740.725	Jökulheimar
KALF	10215M001	2764277.257	183313.579	143.064	Kálfafell
KALT	KALT	2618669.028	178139.335	98.965	Kálfholt í Holtum
KANE	LM0345	2944615.049	288430.229	91.909	Kambanes
KEFI	KEFI	2524003.730	190874.092	125.345	Keflavík Ísmar
KEIL	LM3713	2540618.440	194483.546	104.864	Keilises
KHRA	LM0527	2682562.033	277370.032	715.245	Kjalhraun
KIDA	OS7469	2749850.146	302556.723	933.834	Kiðagilsdrög
KIDC	KIDC	2749848.687	302559.609	935.175	Kiðagilsdrög
KIDJ	KIDJ	2613148.765	189357.302	122.908	Kiðjaberg
KIRK	LM0312	2505458.636	284686.871	94.113	Kirkjuból
KISA	KISA	2768647.937	264458.759	1631.792	Kista
KJAV	LM0357	2701920.940	238602.611	630.228	Kjalvötn NV
KLOF	OSTD76	2554717.940	187906.068	220.330	Sandfellsklofi
KNAR	LM0315	2564919.549	320631.662	104.310	Knararhöfn
KOSK	KOSK	2814689.415	447635.042	74.482	Kópasker
KRHR	OS7220	2646065.935	183176.369	166.486	Krókahraun
KRIV	KRIV	2548813.013	178620.856	214.897	Krísuvík
KRME	OS7442	2831576.440	355443.112	489.350	Króksmellshellur
KVEC	KVEC	2811792.043	273686.595	878.418	Kverkfjöll
KVER	RH8434	2811791.813	273688.313	877.398	Kverkfjöll
KVIK	LM0303	2548150.683	177450.297	197.393	Krísuvík
KVIS	KVIS	2778160.939	423800.522	134.416	Kvísarhöll
LAFE	LM0342	2870097.733	290144.915	753.669	Laugarfell SV
LAHL	LM0356	2683884.504	223168.950	666.545	Langahlíð
LAMY	OS7225	2622671.058	187608.843	120.166	Langamýri
LANH	LANH	2815544.434	289472.706	751.905	Langahlíð
LAUV	LM0306	2613455.197	213158.750	281.541	Laugavatn V
LAXA	LM0505	2644316.566	381472.361	127.280	Laxárbrú V
LFEL	LFEL	2663566.830	247335.613	611.257	Lambafell
LIKA	VR922424	2577952.922	197368.242	299.671	Litla Kaffistofan
MAEL	OS7416	2701692.371	166409.318	645.752	Mælifell V
MESE	LM0535	2569000.129	437795.148	73.366	Meyjarsel
MIME	VR921112	2579515.676	188730.484	315.375	Milli Meitla
MJOL	LM0320	2512712.108	391716.549	572.922	Mjólká
MJOS	LM0317	2471052.497	360847.864	68.864	Mjósund
MJSK	MJSK	2667018.736	181218.556	770.573	Mjóaskarð
MLRI	OS7373	2470985.722	278733.026	74.996	Malarrif

Stuttnefni	Númer	Austur	Norður	Sporvöluhæð	Heiti
MOFC	MOFC	2810071.534	300236.734	788.062	Móflöt
MULA	NE200204	2796902.139	372946.879	363.343	Múlavegur
MYVA	10205M001	2797061.349	373231.472	370.597	Mývatn
NAEF	717	2655588.693	188475.830	188.462	Næfurholt
NOME	OS7384	2821736.481	388768.773	430.567	Norðurmélur
NONH	NONH	2635344.831	178346.295	168.932	Nónhóll
NUPA	LM0530	2630804.946	287558.954	562.536	Núpatjörn V
NYLA	NYLA	2517008.514	190980.921	72.252	Nýlenda
OFEL	OFEL	2707855.522	160830.700	535.649	Öldufell
OFJO	LM0330	2715234.633	419221.703	69.982	Ólafsfjörður
OLFS	LM0365	2594020.202	189430.072	105.586	Ölfusborgir
OLKE	OLKE	2591638.970	197459.366	550.517	Ölkelduháls
RAUF	LM0332	2836692.372	465483.837	89.062	Raufarhöfn
RENE	LM0302	2521368.612	174188.593	79.065	Reykjanes
RESK	LM0503	2602388.424	330851.346	105.141	Reykjaskóli NA
REYF	LM0352	2698679.115	123731.169	302.391	Reynisfjall
REYH	LM0323	2551341.555	352530.165	73.789	Reykhólar
REYK	10202M001	2556149.079	207354.477	93.014	Reykjavík_IGS
RFEL	RFEL	2716299.660	145908.341	235.911	Rjúpnafell
RHOF	10216M001	2836106.433	466211.514	76.904	Raufarhöfn
RHOL	10210M001	2550864.991	351280.928	73.676	Reykhólar
RIFC	RIFC	2823527.614	294142.701	720.643	Rifnihnjúkur
RJUC	RJUC	2770127.320	272177.907	1052.307	Rjúpnabrekkukvísl
RLAE	VR275S	2627896.173	174676.204	121.156	Rauðilækur
RVKI	RVKI	2558596.889	205992.876	132.147	Reykjavík Ísmar
SAFE	LM0318	2495008.682	404208.941	356.409	Sandfell
SAMK	LM0328	2738000.182	355779.753	120.000	Samkomugerði
SARP	SARP	2590982.798	242558.061	192.144	Sarpur
SAUD	SAUD	2847498.845	292309.573	762.064	Sauðárháls
SAUR	SAUR	2630213.000	187557.948	128.201	Saurbær
SAVI	SAVI	2773748.900	411683.659	135.379	Saltvík
SEHE	VR4602	2574176.443	176682.605	206.634	Selvogsheiði
SEJA	LM0354	2650814.212	145553.115	139.601	Seljaland
SELF	SELF	2600315.893	182203.690	79.961	Selfoss Ísmar
SELI	SELI	2601884.637	183176.563	90.365	Selfoss Ísmar
SELV	LM0506	2641108.778	423669.279	117.408	Selvíkurtangi SA
SEVE	LM0525	2544467.537	419789.217	81.670	Selá
SIFJ	SIFJ	2704545.741	426893.862	81.506	Siglufjörður
SJUK	SJUK	2775233.227	417940.000	95.304	Sjúkrahúsið Húsavík

Stuttnefni	Númer	Austur	Norður	Sporvöluhæð	Heiti
SKDA	SKDA	2619614.829	231614.413	622.348	Skriða
SKFC	SKFC	2798320.467	192988.758	321.591	Skaftafell
SKFE	VG20044341	2581311.570	215151.104	390.146	Skálafell
SKHA	10211M001	2583384.814	279086.382	216.394	Skarðshamrar
SKOG	SKOG	2677867.029	141375.343	669.651	Skógaheiði
SKRO	SKRO	2729816.507	250741.484	982.421	Skrokkalda
SKUM	LM3073	2625694.327	156058.442	78.108	Skúmsstaðir
SNAE	SNAE	2718156.572	159174.300	332.584	Snæbýli
SNES	LM0537	2515423.013	465480.667	67.732	Straumnes
SODU	SODU	2671297.524	184479.218	788.099	Söðulfell
SOHO	SOHO	2687735.902	138648.371	857.579	Sólheimaheið
SORL	LM0338	2938356.086	341284.644	111.842	Sörlastaðaá
STAL	LM3055	2643853.206	169740.202	186.497	Stóralda
STE2	STE2	2669874.519	152656.959	290.500	Steinsholt
STKA	STKA	2708563.584	237492.633	700.786	Stóra Kjalalda
STOR	STOR	2640161.694	161518.528	124.840	Stórolfshvoll
STRH	LM0304	2569287.411	174007.194	97.875	Strandhæð
STRV	LM0509	2683982.114	419868.966	85.766	Straumnesviti S
STRY	LM2003	2608733.779	166854.519	75.573	Strýta
STYK	LM0314	2524737.152	313119.088	92.412	Stykkishólmur
SVIF	OS7375	2804839.913	186064.877	144.898	Svínafell S
TBRU	NE200501	2618589.312	181095.023	131.830	Austan Þjórsárbrúar
TEIA	LM0344	2944777.783	312161.539	196.598	Teigará
THER	OS7441	2792864.804	400135.084	401.586	Þeistareykir
THEY	THEY	2668017.226	139789.945	195.326	Þorvaldseyri
THOC	THOC	2809893.044	294630.948	750.041	Þorvaldshraun
THOH	LM0333	2865553.463	437361.994	78.389	Þórshöfn
THUR	LM0514	2876924.783	372053.357	515.345	Þuríðarvatn
TJAF	LM0308	2620597.774	239727.703	577.213	Tjaldfell S
URHC	URHC	2787975.767	281263.007	1079.693	Urðarháls
VAGI	LM0508	2702593.840	351613.091	352.332	Valagilsá
VEGA	LM0511	2851164.499	411678.636	554.444	Vegahnúkur
VLBI	LM0348A	2884171.634	223908.816	78.421	Höfn VLBI
VMEY	10217M001	2635397.013	125294.103	135.277	Vestmannaeyjar
VONC	VONC	2759469.146	264199.492	1082.272	Vonarskarð
VOPN	LM0335	2891009.763	390754.226	109.400	Vopnafjörður
VORD	OS7227	2819334.186	429074.847	292.314	Vörðuhóll