

Jarðvegshitamælingar á Íslandi Staða núverandi kerfis og framtíðarsýn

Guðrún Nína Petersen
Derya Berber

Jarðvegshitamælingar á Íslandi Staða núverandi kerfis og framtíðarsýn

Guðrún Nína Petersen, Veðurstofu Íslands
Derya Berber, Veðurstofu Íslands

Lykilsíða

Skýrsla nr. VÍ 2018-009	Dags. Júní 2018	ISSN 1670-8261	Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/> Skilmálar:
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Jarðvegshitamælingar á Íslandi Staða núverandi kerfis og framtíðarsýn		Upplag: 10 Fjöldi síðna: 48 Framkvæmdastjóri sviðs: Jórunn Harðardóttir	
Höfundar: Guðrún Nína Petersen og Derya Berber		Verkefnisstjóri: Guðrún Nína Petersen Verknúmer: 3312	
Gerð skýrslu/verkstig:		Málsnúmer: 2018-163	
Unnið fyrir:			
Samvinnuaðilar:			
Útdráttur: Jarðvegshitamælingar hafa verið hluti af veðurmælineti Veðurstofu Íslands frá því snemma á síðustu öld. Í upphafi var um mannaðar mælingar að ræða en frá því um síðustu aldamót hafa mælingar verið nær eingöngu sjálfvirkar. Jarðvegshitamælingar eru mikilvægur þáttur í búveðurmælingum, þ.e. landbúnaðartengdum veðurmælingum, en þær eru einnig mikilvægur meðal annars fyrir veðurspár og skriðuvöktun. Hér eru allar jarðvegshitamælingar, mannaðar og sjálfvirkar, sem eru aðgengilegar á rafrænu formi skoðaðar og villur og ósamfellur skráðar. Fyrir Hveravelli og Korpu, þar sem mælingar spanna yfir 25 ár, er leitni reiknuð. Merki eru um að breytingar í hitastigli í jarðvegi séu ekki þær sömu í öllum landshlutum, t.d. snýst hitastigullinn um tveimur vikum seinna að vori á Hallormstað en á öðrum stöðvum á láglandi. Skýr merki hlýnnunar í jarðvegi má sjá á Hveravöllum og Korpu, en t.d. hefur sumarhluti ársins lengst um u.þ.b. mánuð á Korpu frá níunda áratug síðustu aldar. Þörf er á jarðvegs-hitamælingum í fleiri landshlutum til að hægt sé að nýta þær sem best til náttúruvöktunar.			
Lykilorð: Jarðvegshiti, jarðvegshitamælingar, mannaðar og sjálfvirkar mælingar, veður, veðurfar, veðurfarsbreytingar, veðurmælingar		Undirskrift framkvæmdastjóra sviðs:  Undirskrift verkefnisstjóra:  Yfirfarið af: ÞP, SG	

Efnisyfirlit

1	Ágrip/Abstract	7
2	Inngangur	9
3	Jarðvegshiti, varmaflæði og áhrifavaldar	9
4	Veðurstöðvar með jarðvegsmælum	11
4.1	Hveravellir	11
4.2	Korpa	13
4.3	Aðrar stöðvar	14
5	Veðurgögn	15
6	Niðurstöður	17
6.1	Hveravellir	17
6.2	Korpa	26
6.3	Aðrar stöðvar með aðgengilegum sjálfvirkum jarðvegshitamælingum	34
	Suðvesturland	34
	Suðurland	34
	Norður- og Austurland	36
	Hálendið	40
6.4	Samanburður þvert á landsvæði	40
7	Niðurlag	43
8	Heimildir	46
I	Daggildi jarðvegshita á Hveravöllum	48

Myndaskrá

1	Staðsetning jarðvegshitamæla	12
2	Hveravellir: ljósmynd	12
3	Korpa: ljósmynd	14
4	Aðrar stöðvar: ljósmyndir	16
5	Þykkvibær: jarðvegshitamælitæki	17
6	Hveravellir: mannaðar og sjálfvirkar athuganir árið 2000	18
7	Hveravellir: sjálfvirkar mælingar 2000–2009	19
8	Hveravellir: meðaltal mannaðra og sjálfvirkra mælinga	20
9	Hveravellir: jarðvegshiti 2008–2012.....	21
10	Hveravellir: jarðvegshiti meðaltöl	22
11	Hveravellir: jarðvegshiti á 100 cm dýpi: meðaltöl fyrir árið og ágúst	23
12	Hveravellir: punktarið lofthita og jarðvegshita á 100 cm dýpi	25
13	Korpa: jarðvegshiti á 50 cm dýpi árin 1999, 2000, 2005 og 2006	27
14	Korpa: jarðvegshiti á 20 cm dýpi árin 1999, 2000, 2005 og 2006	28
15	Korpa: meðaltal mannaðra athugana.....	29
16	Korpa: jarðvegshiti 2003–2007	30
17	Korpa: jarðvegshiti meðaltöl.....	31
18	Korpa: jarðvegshiti á 50 cm dýpi: meðaltöl fyrir árið og ágúst.....	32
19	Suðvesturland: jarðvegshiti	35
20	Reykjavík: jarðvegshiti.....	36
21	Suðurland: jarðvegshiti, tímaraðir	37
22	Sámsstaðir: jarðvegshiti.....	38
23	Surtsey: jarðvegshiti	38
24	Austurland: jarðvegshiti, tímaraðir	39
25	Hallormsstaður og Möðruvellir: jarðvegshiti, tímaraðir	40
26	Hálendið: jarðvegshiti, tímaraðir	41
27	Jarðvegshiti: samanburður milli stöðva	42
28	Íshraukur við Móafellshyrnu í Fljótum.....	43
29	Hveravellir: Dagildi jarðvegshita	48

Töfluskrá

1	Veðurstöðvar með jarðvegshitamælingum.....	13
2	Gagnatöflur	17
3	Hveravellir: Tölfræðilegar upplýsingar	24
4	Korpa: Tölfræðilegar upplýsingar	33

1 Ágrip/Abstract

Jarðvegshitamælingar hafa verið hluti af veðurmælineti Veðurstofu Ísland frá því snemma á síðustu öld. Í upphafi var um mannaðar mælingar að ræða en frá því í kringum aldarmótin hafa mælingar verið nær eingöngu sjálfvirkar. Jarðvegshitamælingar eru mikilvægur þáttur í búveðurmælingum, þ.e. landbúnaðartengdum veðurmælingum, en þær eru einnig mikilvægar fyrir veðurspár og skriðuvöktun. Með þróun veðurlíkana hafa tengd líkön, s.s. yfirborðslíkön einnig þróast. Yfirborðslíkön herma á yfirborðsferla og því er mikilvægt að geta lýst ástandi í og við yfirborð á fullnægjandi hátt. Það er því kallað eftir jarðvegshita- og rakamælingum til að geta lýst sem best flæði hita og raka í jarðveginum. Með hlýnandi veðurfari eykst hætta á skriðuföllum, sér í lagi þar sem sífreri í fjallendi bráðnar og hlíðar verða óstöðugar. Upplýsingar um hitafar í jarðvegi eru mikilvægar til að geta vaktað þessa náttúruvá. Ljóst er að þörf er á að bæta við mælum á nokkrum svæðum vegna þessa, en til að mynda eru engir slíkir mælar á Austfjörðum og Vestfjörðum.

Hér eru allar jarðvegshitamælingar, mannaðar og sjálfvirkar, sem eru aðgengilegar á rafrænu formi skoðaðar, villur og ósamfellur skráðar og fyrir Hveravelli og Korpu, þar sem mælingar spanna yfir 25 ár, leitni reiknuð.

Hægt er að skipta árinu í sumar- og vetrarhluta eftir því hvort að hlýjast er næst yfirborðinu eða neðar í jarðveginum. Þá má sjá að hitastigullinn snýr á svipuðum tíma í Reykjavík og á Sámsstöðum og Möðruvöllum með sumarhlutann að meðaltali 15. apríl – 15. september, meðan sumarhlutinn er af svipaðri lengd en hefst um tveimur vikum seinna á Hallormsstað. Einnig virðist haustkólnun vera nokkuð skarpari á Hallormsstað og Möðruvöllum en í Reykjavík og á Sámsstöðum. Ef lítið er til þessarar aldar er samsvarandi sumarhluti árs á Hveravöllum 15. maí – 15. september, eða mánuði styttri en á láglandi.

Á Korpu og Hveravöllum, þar sem aðgengilegar eru mælingar í 27 og 41 ár, eru skýr merki hlýnunar í jarðvegi. Á Hveravöllum hefur hlýnunin verið að meðaltali 0.3–0.4°C á áratug, en 0.5–0.6°C á áratug á Korpu. Á Hveravöllum er engin marktæk leitni á vorin, þar sem tímasetning vorhlýnunar ræðst af því hve mikinn snjó og ís þarf að bræða áður en jarðvegurinn getur hlýnað, en haustkólnun hefst nú um 2–3 vikum síðar en hún gerði á níunda áratug síðustu aldar. Sömuleiðis hefur sumarhiti farið hækkandi. Hljúu árin 2002–2004 eru vel merkjanleg í jarðveginum. Á Korpu er sjaldgæft að ís sé í jörðu fram eftir vori og þar hefur sumarhluti ársins lengst um u.þ.b. mánuð frá níunda áratug síðustu aldar, tvær vikur að vori og hausti, en einnig hefur hlýnað utan köldustu vetrarmánuðina þegar snjór og ís kann að stjórna hitastigi.

Soil temperature measurements have been conducted by the Icelandic Meteorological Office from early last century. In the beginning these were manned measurements but since around the start of this century they have been almost entirely automatic. Soil temperature measurements are an important part of agricultural meteorological measurements but they are also important for numerical weather prediction (NWP) and monitoring of landslides. As NWP models have increased in sophistication so have connected models such surface models. Surface models model the processes by and in the surface and thus need good description of the state of the soil. Thus, there is an increasing demand for good soil temperature and humidity measurements. Furthermore, in a warming climate the risk of landslides is increasing, especially where permafrost is decreasing on mountain sides and the sides therefore becoming unstable. Information on the temperature of the soil can improve monitoring of this natural hazard. It is clear that

measurements are needed in more regions than at present, e.g. there are not soil temperature measurements in the Eastfjords and Westfjords.

Here all electronically accessible soil temperature measurements are assessed and errors and discontinuities recorded. In the cases of Hveravellir and Korpa, where time series span over 25 years, the trend calculated.

The year can be divided into a summer and winter part, based on if the direction of the temperature gradient in the ground. If this is done it turns out that the summer part is of similar length for three of the low altitude stations, 15 April – 15 September, while the summer is of similar length at the station in North-Iceland, Möðruvellir, but starts about two weeks later. The autumn cooling seems to be sharper at the stations in North- and East-Iceland than in the southern part of the country. At the highland station Hveravellir the summer starts later and is about a month shorter than at the low altitude stations.

The time series at Korpa and Hveravellir are 27 years and 41 years, respectively. The trend in Hveravellir is 0.3–0.4°C per decade but 0.5–0.6°C per decade in Korpa. In Hveravellir there is not trend in spring, due to the melting of snow and ice determining the start of spring warming, while autumn cooling now starts about 2–3 weeks later than it did during the 1980s. The summer temperatures have also increased. The particularly warm years of 2002–2004 are clearly present in the soil temperature. In Korpa the summer part of the year has lengthened by about a month during the measurement period, two weeks in spring and autumn, and there is a general warming outside of the coldest months.

2 Inngangur

Jarðvegshitamælingar á nokkrum dýptum hafa verið hluti af veðurmælaneti Veðurstofu Íslands (VÍ) frá því um 1920 (Hreinn Hjartarson, 1973). Í upphafi var um mælingarnar mannaðar en nú orðið eru allar mælingarnar sjálfvirkar. Fram til 1965 voru mælingar sundurlausar en undir lok sjöunda áratugarins voru þær teknar fastari tókum og árið 1970 voru sjö búveðurstöðvar á landinu sem mældu jarðvegshita (Hilmar Garðarsson, 1999), þar sem jarðvegshiti, breytingar og sveiflur á honum hafa áhrif á gróður og þar af leiðandi landbúnað. Þessar mælingar voru því upphaflega eingöngu hugsaðar sem búveðurmælingar, m.a. til að kanna hvaða ræktunarsvæði væru hagkvæmust hér á landi með tilliti til veðurfars og flestar staðsettar á tilraunastöðvum ríkisins í landbúnaði og skógrækt, s.s. á Hvanneyri, Möðruvöllum í Hörgárdal, Skriðuklaustri og Sámsstöðum í Fljótshlíð. Eftir að sjálfvirkar mælingar tóku við af þeim mönnuðu hefur orðið eilítil breyting á mælinetinu, en að mestu er enn um búveðurstöðvar að ræða. Með þróun veðurfræði hefur þó komið í ljós að mælingarnar geta nýst á margvíslegan hátt, s.s. fyrir greiningu á upphafsástandi yfirborðs og við vöktun á náttúru Íslands.

Með þróun veðurlíkana og yfirborðslíkana orðin meiri þörf á góðum yfirborðsmælingum til gagnahermunar. Á síðastliðnum áratug hefur lárétt möskvanet veðurlíkana orðið sífellt þéttara og ferlum við yfirborðið er nú betur lýst en áður í líkönum og hlutverk þeirra betur þekkt. Til að geta lýst yfirborðsástandinu sem best er þörf á jarðvegshita- og rakamælingum.

Það er því þörf að meta þær mælingar sem hafa verið gerðar á Íslandi og kanna hvort núverandi net uppfylli kröfur til framtíðar um jarðvegshitamælikerfi á Íslandi.

Í þessari skýrslu er fjallað um þær jarðvegshitamælingar sem eru aðgengilegar á rafrænu formi á VÍ. Um er að ræða mannaðar mælingar frá tveimur veðurstöðvum og sjálfvirkar mælingar frá 12 stöðvum. Mælingar á hverri stöð eru skoðaðar, augljósar villur fjarlægðar og árstíðasveiflan teiknuð. Mannaðar mælingar voru gerðar kl. 09 UTC svo í þeim tilvikum þar sem mannaðar og sjálfvirkar mælingar eru bornar saman er notast við mælingar kl. 09. Í öðrum tilvikum eru reiknuð daggildi og þau nýtt. Ekki eru kannaðar jarðvegshitamælingar Vegagerðarinnar enda eru þær gerðar í vegefnum (Thordarson ofl. 2010) og henta því ekki fyrir náttúruvöktun. Fyrir tvær stöðvar, Hveravelli og Korpu, eru mæliraðir það langar að hægt er kanna hvort að breytingar hafi orðið í tíma, m.a. með því að bera saman ársgildi og fimm ára meðaltöl.

Þessi skýrsla byggist vinnu Derya Berber en hún var við starfsnám á Veðurstofu Íslands sumarið 2014.

3 Jarðvegshiti, varmaflæði og áhrifavaldar

Hiti í jarðvegi ákvarðast af mörgum breytum: breiddargráðu og hæð yfir sjávarmáli, árstíma, heildargeislun við yfirborð, jarðvegssamsetningu, rakainnihaldi jarðvegs, þekju yfirborðs og veðurs. Jarðvegshiti hefur mikil áhrif á eðlisfræðilega, líffræðilega og efnafræðilega ferla í jarðveginum, sem og plöntuvöxt. Reyndar er vaxtarhraði plantna nátengdari jarðvegshita en lofthita og fyrir margar plöntur er kjörvöxtur eingöngu við litla jarðvegshitaspönn (Bray & Weil, 2004).

Þegar staðbundnir og árstíðabundnir þættir eru undanskildir má segja að jarðvegshiti sé beint eða óbeint háður að minnsta kosti þremur þáttum: heildarvarmaorku sem jarðvegurinn gleypir,

þeirri varmaorku sem þarf til að framkalla hitabreytingu í jarðveginum og þeirri orku sem þörf er á fyrir ferla sem eiga sér sífellt stað við eða í yfirborðinu, svo sem uppgufun.

Heildargeislun er skilgreind sem summa allrar geislunar að yfirborðinu frá dregin allri geislun frá yfirborðinu, bæði stuttbylgju- (þ.e. sólgeislun) og langbylgjugeislun (geislun frá yfirborðinu, skýjum, ögnum ofl.). Stuttbylgjugeislunin er ríkjandi þáttur að degi til þegar sólar nýtur og þá er heildargeislunin jákvæð, þ.e. að yfirborðinu. Að nóttu til, þ.e. eftir sólarlag, er engin stuttbylgjugeislun og heildargeislunin mun minni og yfirleitt frá yfirborðinu. Þetta þýðir að heildargeislun hefur mikla dægursveiflu. Að auki er mikil árstíðasveifla á Íslandi, þar sem mismargra sólar-klukkustunda gætir vegna norðlægrar breiddargráðu. Skýjahula dempar þessar sveiflur með því að hindra hluta sólgeislunar að ná yfirborði en jafnframt að geisla út (langbylgju) í átt að yfirborðinu. Þannig dregur skýjahula úr stuttbylgju en eykur langbylgjugeislun að yfirborðinu.

Meginhluti orkunnar sem að hitar jarðveginn er frá sólgeislun. Ský og agnir í andrúmsloftinu gleypa, tvístra og endurkasta hluta af geisluninni en að meðaltali nær um 50% af geisluninni til jarðar, háð rakastigi loftins. Einungis lítill hluti þeirrar orku sem nær yfirborðinu nýttist þó til að hita jarðveg. Mestur hluti orkunnar er nýttur til uppgufunar frá jarðvegi eða plöntum, endurgeislað eða endurkastað. Eingöngu hluti, um 10% , er gleypst af jarðveginum og notað til að verma hann (Bray & Weil, 2004). Á Íslandi hefur sólgeislun varla nokkur áhrif á yfirborðs- og jarðvegshita yfir veturinn vegna lágs sólarhorn. Það er ekki fyrr en sólarhorn er orðið 15° (20. febrúar í Reykjavík) sem sólgeislun er hefur náð nógum styrk til að hafa áhrif.

Mesti hitastigullinn í jarðvegi er í grynsta laginu, niður á um 20 cm dýpt. Varmaflæði í jarðvegi fer einkum fram við leiðni (e. conduction) þó vatn og loft í smáholum í jarðveginum geti líka flutt varma við varmaburð (e. convection). Varmaflæði frá yfirborði niður í jarðveg er því hægt ferli. Skinvarmaflæði (e. sensible heat flux) verður vegna hitamunar á milli yfirborðsins og loftins yfir og flutningurinn fer fram við leiðni og varmaburði, meðan dulvarmaflæði (e. latent heat flux) verður við uppgufun og þéttingu.

Jarðvegsraki hefur mikil áhrif á jarðvegshita þar sem þurr jarðvegur hefur mun lægri eðlisvarma en rakur jarðvegur. Þetta þýðir að þörf er á meiri varma til að verma rakan jarðveg en þurran og rakur jarðvegur svarar því seinna breytingum í lofthita en þurr jarðvegur, t.d. á vorin. Þegar vatn frýs losnar orka, þ.e. dulvarmi, og því kólnar rakur jarðvegur hægar en þurr. Að auki þýðir aukinn raki í jarðveg aukinn varmaburð. Vatnsmagn í jörðu er mjög breytilegt á milli svæða og árstíða sem og veðurfars.

Dægursveiflan stigminnkast með dýpt og útslagið hennar er nær horfið í um 40 cm dýpt. Þar sem varmaflæðið er hægt ferill er tímatöf með dýpt og útgildi koma fram seinna djúpt í jarðvegi en við yfirborð. Á sama hátt dofna árstíðasveiflan í útslagi og kemur fram seinna með dýpi. Á miðjum vetri er hitinn hærri dýpra í jarðveginum en nær yfirborði og bregst hægt við hitabreytingum í efri lögum. Að vori, þegar lofthiti eykst, hlýnar jarðvegurinn að ofan og efri lög verða heitari en neðri. Hámarkshiti í grynri lögum, að um 20 cm dýpt, er nálægt miðju sumri en seinna, og með lægra útgildi, dýpra í jarðveginum. Á haustin þegar lofthiti fellur aftur lækkar jarðvegshitinn fyrst í efri lögum og þegar líður á einnig dýpra í jarðveginum. Efri lög kólna hratt og frjóska jafnvel en dýpra í jarðveginum, t.d. við 100 cm dýpt, hefst kólnunin seinna og er hægari. Hitaspönn árstíða- og dægursveiflu minnkast því með aukinni dýpt.

Þegar snjór eða ís þekur yfirborðið hefur það áhrif á varmaflæði milli andrúmsloftsins og jarð-

vegsins. Ís hefur mun lægri varmarýmd en jarðvegur en hærri varmaleiðni en rakur jarðvegur. Snjór aftur á móti hefur mun lægri varmaleiðni. Stuttbylgja nær að hámarki um 100 cm niður í snjó og 10 m niður í ís. Mestur hluti geislunarinnar endurkastast þó frá ís og snjó og hefur engin áhrif á yfirborðið, en ís og snjór hafa að jafnaði mjög háan endurkaststuðul. Á Íslandi er styrkur sólgeislunar of lítill fram að lokum febrúar til að hafa nokkur áhrif á snjó- eða íspekju. Þetta þýðir að þykk snjóþekja virkar eins og einangrun milli andrúmsloftsins og jarðvegsins og kemur í veg fyrir að breytingar í lofthita hafi áhrif á hita í efri lögum jarðvegsins. Þar af leiðandi verður hitastig í efri jarðvegslögum mun stöðugra og hærra með snjóþekju en án hennar.

Að meðaltali veldur þykk snjóþekja að vetri því að meðalhiti við jörðu er hærri en ella, einkum á háum breiddargráðum þar sem snjór þekur yfirborðið í vikur til mánuði (Zhang, 2004). Á Íslandi er hafrænt veðurfar, veður oft síbreytilegt og mjög misjafnt er hve mikil snjóþekja er hérlendis, sem og hve lengi hún til staðar. Meðan gera má ráð fyrir að snjór þeki jörðu í vikur til mánuði á norðlægari breiddum og í meginlandsloftslagi og að bráðnun eigi sér stað á einni til tveimur vikum, þá getur bráðnun vegna hlýrra loftmassa og rigningar átt sér stað hvenær sem er veturs. Það er helst á hálendinu og til fjalla sem snjóþekja er stöðug.

Það er töluverður munur á þeim varma sem þörf er á til að hita snjólag eða bræða snjó. Til að hita 1 g af ís um 1°C er þörf á 2.1 J en til að bræða 1 g af ís þarf 334 J, svokallaðan bræðsluvarma (e. latent heat of fusion). Snjóbræðsla er því orkusvelgur. Meðan á bráðnun á snjó og ís stendur yfir helst hiti við frostmark þar sem öll orka fer í þann feril. Þegar allur snjór og ís er bræddur getur yfirborðið og jarðvegurinn farið að hlýna (Zhang, 2004). Það skiptir því miklu máli hve mikinn snjó og ís þarf að bræða hve snemma jarðvegurinn hlýnar að vori.

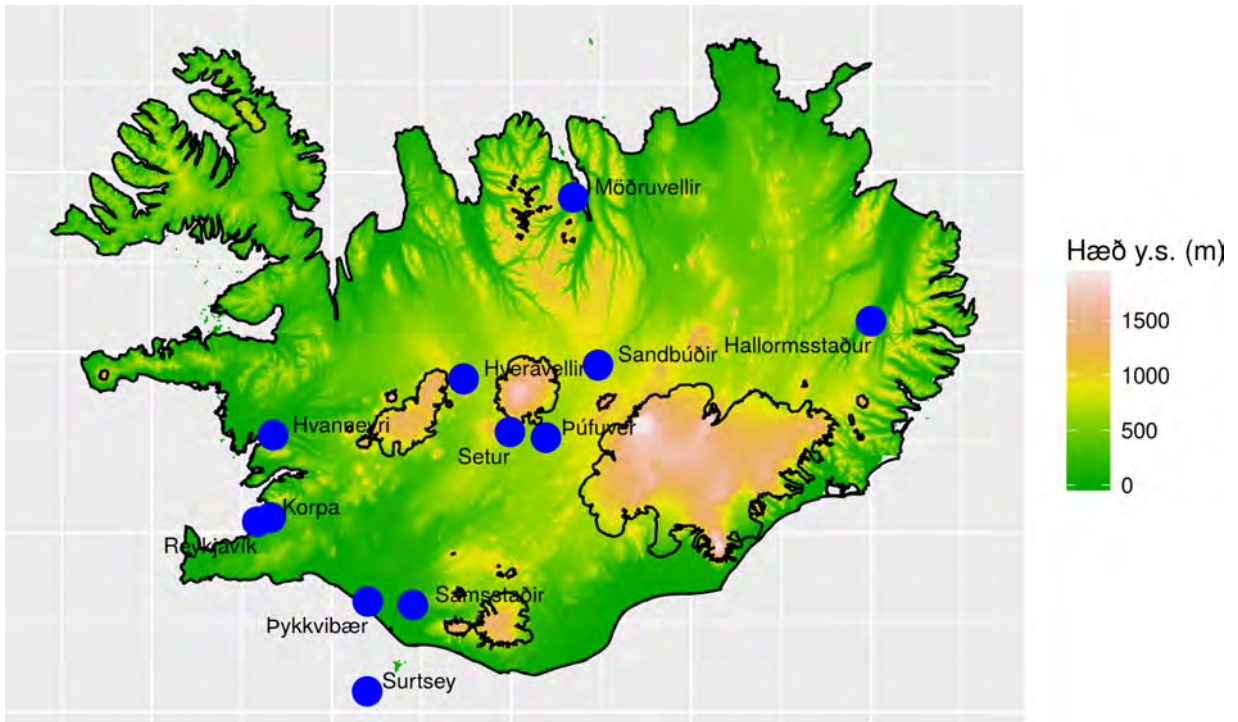
4 Veðurstöðvar með jarðvegsmælum

Árið 2017 voru jarðvegshitagögn aðgengileg á rafrænu formi frá 12 sjálfvirkum veðurstöðvum, sjá mynd 1 og töflu 1, þar af þrjár hálendisstöðvar í eigu Landsvirkjunar. Að auki hafa athugunum frá tveimur mönnum stöðvum sem voru í rekstri verið komið að hluta á rafrænt form. Eitt-hvað meira er til af mönnum athugunum frá því á síðustu öld. a.m.k. frá Reykjavík, Sóllandi í Reykjavík, Mógilsá í Kollafirði, Hvanneyri í Borgarfirði, Reykhólum í Reykhólasveit, Gróðrastöðinni á Akureyri, Skriðuklaustri í Fljótsdal, Sámsstöðum í Fljótshlíð og Reykjum í Ölfusi (Hilmar Garðarsson, 1999), en eingöngu á pappír. Sömuleiðis eru til eldri sjálfvirkar mælingar aftur til 1991, en þær eru að svo stöddu ekki aðgengilegar. Því er ekki fjallað um þau gögn hér.

4.1 Hveravellir

Lengstu tímaraðir jarðvegshita á rafrænu formi eru frá hálendisveðurstöðinni á Hveravöllum, mynd 2. Veðurstöðin Hveravellir (mönnum stöð 892 og síðar sjálfvirk stöð 6935) stendur á Breiðmel á Hveravöllum á Kili, í 641 m yfir sjó og í hnattstöðinni 64.867°N og 19.562°V . Breiðmelur er ísaldarmelur, myndaður úr vatnaseti, vatnsnúna basalti, og í honum má sjá talsverð áhrif jarðhita. Veðurmæliröðin er löng fyrir hálendisveðurstöð en rekstur hófst árið 1965. Meginhlutverk mælinga á Hveravöllum er að safna gögnum um veðurfar á hálendi Íslands og því hafa mælingar þar ávallt verið víðtækari en á hefðbundnum veðurstöðvum á Íslandi. Skýrsla Flosa Hrafns Sigurðssonar ofl. (2003) inniheldur yfirgripsmikla lýsingu á sögu veðurstöðvarinnar.

Frá upphafi mælinga hafa farið fram mælingar á jarðvegshita í efstu lögum jarðvegs, þ.e. að 100 cm dýpt. Fram að árinu 2004 voru gerðar hefðbundnar mannaðar veðurathuganir á þriggja tíma



Mynd 1. Kortið sýnir staðsetningu þeirra veðurstöðva sem mæla, eða hafa mælt, jarðvegs-
hita og eru nefndar í þessari skýrslu.



Mynd 2. Hveravellir 1. ágúst 1990: Nýtt veðurathugunarfólk tók við á Hveravöllum á Kili
1. ágúst 1990. Steinunn Heiðbjört Hannesdóttir og Arnar Jónsson hættu en við tóku Harpa
Lind Guðbrandsdóttir og Grímur Sigurjónsson. Hér er Steinunn að kenna Hörpu Lind að
lesa af jarðvegshitamælunum. Ljósmynd: Grímur Sigurjónsson.

Tafla 1. Veðurstöðvar á Íslandi sem mæla, eða hafa mælt, jarðvegshita og eru aðgengilegar á rafrænu formi. Mælingarnar eru sjálfvirkar ef annað er ekki tekið fram.

Stöð	Númer	Tímabil	Fjöldi mæla	Athugasemdir
Hveravellir ^a	892	1977–2000	5	Mannaðar
Hveravellir	6935	2000–	4	
Korpa	46	1987–2013	4	Mannaðar
Korpa	1479	1998–2014	4	Rek í mælingum
Hvanneyri ^b	1779	1998–2009	4	
Möðruvellir ^b	3463	1996–	4	Skipt um mæla 2005
Hallormsstaður ^b	4060	1996–	4	Skipt um mæla 1999
Surtsey	6012	2009–	4	Mælar á svipuðu dýpi
Pykkvibær	6208	1996–	4	Óáreiðanlegar fyrir 2005
Sámsstaðir	6222	2000–	4	
Setur	6748	2014–	2	Dýpi líklega rangskráð
Reykjavík ^a	7475	2006–	4	
Sandbúðir	6975	2004–2014	1	Dýpi líklega rangskráð
Jökulheimar	6760	2004–2008	1	Óáreiðanleg gögn

^a Eldri mannaðar athuganir ekki aðgengilegar á rafrænu formi.

^b Eldri sjálfvirkar mælingar ekki aðgengilegar.

fresti og voru jarðvegshitamælingar hluti af veðurathugun kl. 09. Í upphafi voru jarðvegshitamælingar gerðar við hitamælaskýli, en voru fluttar árið 1969 þar sem grunur var um að jarðhiti frá jarðvegssprungu hefði áhrif á mælingarnar.

Jarðvegshitinn var mældur með glerhitamæli á 5, 10, 20, 50 og 100 cm dýpi á sumrin. Á veturna var ekki hægt að nota glerhitamæli nema á 50 og 100 cm dýpi, að jafnaði frá október og fram í miðjan maí. Til viðbótar var hiti mældur allt árið á 10, 20, 50 og 100 cm dýpi með sírita. Síritamælingarnar þarf að leiðrétta með samanburði við glerhitamælingar. Hér er ekki fjallað um síritamælingar. Jarðvegshitamælingar frá árinu 1977 til 2000, þegar mannaðar mælingar voru lagðar af, eru aðgengilegar á rafrænu formi.

Sjálfvirkar jarðvegsmælingar hófust árið 2000 og veðurstöðin var að fullu gerð sjálfvirk árið 2004, með gagnaskráningu á 10 mínútna fresti. Sjálfvirkur mælingar voru upprunalega skráðar í 10, 20, 50 og 100 cm dýpt en seinna í óskilgreindum dýptum TUG, TUG2, TUG3 og TUG4. Við skoðun á gögnunum kom í ljós að á tímabilinu 25. júní 2002 til 22. ágúst 2005 voru mælingar skráðar í ranga dálka, þ.e. frá 5 cm til 50 cm dýpi. Samanburður við mælingar fyrir og eftir sýnir að rétt skráning er frá 10 cm til 100 cm dýpi og er þetta leiðrétt í úrvinnslu skýrslunnar.

4.2 Korpa

Veðurstöðin Korpa (mönnuð stöð 46 og síðar sjálfvirk stöð 1479) er í Reykjavík, við Korpúlfsstaði, í 35 m yfir sjó, 64.15°N og 21.75°V. Á mynd 3 sjást jarðvegshitamælar á grind, frá tímum mannaðra jarðvegshitamælinga. Tímaröð þeirra er löng og á rafrænu formi frá 1987 til 2013 á 5,

10, 20 og 50 cm dýpi. Sjálfvirkar mælingar hafa verið gerðar frá 1998, fyrst skráðar á 5, 10, 20 og 50 cm dýpi og seinna á óskilgreindum dýpum TUG, TUG2, TUG3 og TUG. Samanburður við mannaðar mælingar gefur til kynna að mælingarnar hafi ekki verið á sama dýpi, en einnig er rek í sjálfvirku mæliröðunum sem gerir röðina óáreiðanlega.



Mynd 3. Korpa 27. júní 2006 mönnuð veðurstöð. Mælaskýlið í forgrunni en fyrir aftan jarðvegshitamælur á grind, hitamælir við jörð og svo úrkomumælir. Úlfarsfell í bakgrunni. Ljósmynd: Elvar Ástráðsson

4.3 Aðrar stöðvar

Í kringum aldarmótin hófust sjálfvirkar jarðvegshitamælingar á nokkrum stöðum á landinu. Á sumum þessara stöðva voru áður mannaðar jarðvegshitamælingar, en þær eru ekki enn sem komið er aðgengilegar á rafrænu formi. Einnig er vitað að sjálfvirkar mælingar fóru fram á nokkrum stöðum frá 1991 en eru ekki aðgengilegar þegar þessi úrvinnsla fór fram. Tafla 1 inniheldur yfirlit yfir veðurstöðvar þar sem jarðvegshiti er aðgengilegar á rafrænu formi, tímabil mælinga og fjölda mæla á hverjum stað, þ.e. í hve mörgum flötum hefur verið mælt. Á mynd 4 má finna ljósmyndir frá flestum stöðvanna. Á veðurstöðvunum Möðruvöllum, Hallormsstað og Þykkvabæ eru mælingar aðgengilegar frá 1996 en í Surtsey hófust mælingar ekki fyrr en árið 2009. Mælingar í Jökulheimum eru mjög óáreiðanlegar og ekki skoðaðar frekar í þessari skýrslu. Fyrir aðrar stöðvar er augljósum villum eytt og gögnin könnuð. Á þremur stöðvum bendir allt til þess að ekki sé hægt að treysta á skráningu mælinga í TUG–TUG4 sem dýpi frá því grynna til þess dýpsta: Mælingar í Surtsey virðast allar vera á sömu eða mjög svipuðu dýpi, á Setri virðast mælingar vera skráðar í öfugri röð eftir dýpi og í Sandbúðum er breytileiki í mælingum meiri en búast mætti við miðað við skráð dýpi. Komið er inn á þessa hluti í kafla 6.3.

Hvanneyri (sjálfvirk stöð 1779) er í Borgarfirði er við Landbúnaðarháskóla Íslands í 12 m yfir sjó, 64.562°N og 21.765°V.

Möðruvellir (sjálfvirk stöð 3463) er í Hörgárdal í 15 m yfir sjó, 65.771°N og 18.251°V. Þar var um tíma starfrækt tilraunastöð í landbúnaði.

Hallormstaður (sjálfvirk stöð 4060) er í Fljótsdal á Austurlandi, í 60 m yfir sjó, 65.094°N og 14.745°V. Mannaðar búveðurmælingar voru áður fyrir á Skriðuklaustri í Fljótsdal.

Surtsey (sjálfvirk stöð 6012) er í 36 m yfir sjó, 63.299°N og 20.599°V, í Surtsey. Þar sem ekki er mikill jarðvegur í Surtsey er líklegast að jarðvegsmælar séu í sandi.

Þykkvibær (sjálfvirk stöð 6208) er í Rangárþingi ytra í 10 m yfir sjó, 63.748°N og 20.618°V. Þykkvibær er þekktur fyrir kartöfluakra sína og því mikið landbúnaðarsvæði.

Sámsstaðir (sjálfvirk stöð 6222) eru í Fljótshlíð í Rangárþingi eystra í 90 m yfir sjó, 63.735°N og 20.109°V. Þar var um tíma starfrækt tilraunastöð í landbúnaði.

Setur (sjálfvirk stöð 6748) er hálendisstöð í eigu Landsvirkjunar skammt sunnan Hofsjökuls í 693 m yfir sjó, 64.604°N og 19.019°V. Stöðin er skammt suður af Hofsjökli.

Reykjavík búveðurstöð (sjálfvirk stöð 7475) er við Veðurstofu Íslands í 52 m yfir sjó, 64.127°N og 21.902°V. Búveðurstöðin er staðsett í veðurreitnum að Bústaðavegi.

Sandbúðir (sjálfvirk stöð 6975) er hálendisstöð í eigu Landsvirkjunar skammt norðan Fjórðungsöldu á Sprengisandi í 820 m yfir sjó, 64.933°N og 17.983°V.

5 Veðurgögn

Veðurgögnin sem eru skoðuð hér má finna í nokkrum gagnatöflum Veðurstofu Íslands, sjá töflu 2. Í fyrsta lagi eru mannaðar athuganir á Hveravöllum og Korpu í sértöflum, athr.jord_hveravellir og athr.jord_korpa. Í þessum töflum eru jarðvegshitastikar skilgreindir eftir dýpt með stikunum: M5U, M10U, M20U, M50U og M100U, þ.e. á 5, 10, 20, 50 og 100 cm dýpi. Í öðru lagi finnast sjálfvirkar jarðvegshitamælingar í þremur töflum, tveimur hrágagnatöflum¹ með mælingum á 10 mínútna fresti og einni úrvinnslutöflu þar sem klukkustundargildi hafa verið reiknuð. Í fyrri hrágagnatöflunni, ath.sj_jord, eru fimm dýptir skilgreindar, 5, 10, 20, 50 og 100 cm, með stikunum: T5U, T10U, T20U, T50U og T100U. Þetta er í samsvari við töflur mönnuðu athugananna. Í seinni töflunni er dýpt stikanna ekki skilgreind heldur er þeim gefin númer: TUG, TUG2, TUG3 og TUG4. Þetta hefur eflaust verið gert til að auka sveigjanleika töflunnar, þ.e. mælingar geta verið á mismiklu dýpi eftir stöðvum. Á móti kemur að erfitt hefur reynst að finna upplýsingar um á hvaða dýpt mælarnir eru. Vísbendingar eru á ljósmynd frá árinu 2004 um að mælingar í Þykkvabæ hafi verið á 10, 30, 50 og 100 cm dýpi, sjá mynd 5. Engar aðrar upplýsingar finnast um dýpt mæla annars staðar en á Hveravöllum og Korpu. Hér er sem fyrsta ágiskun að vörpunin sé (TUG, TUG2, TUG3, TUG4) -> (10, 20, 50, 100 cm), en með fyrirvara, og eru mælingar bornar saman við mannaðar þar sem þær eru aðgengilegar. Unnið með heilstæðar gagnaraðir úr sjálfvirkum mælum, þ.e. samsettar raðir úr áðurnefndum töflum: frá upphafi mælinga til ágústs 2005 úr ath.sj_jord, ágúst til desember 2005 úr ath.sj_hragogn og frá janúar 2006 úr ath.sj_klst_auka. Samsettu raðirnar hafa 1 klst tímaupplausn.

¹Hrágagnatöflur innihalda allar skráðar mælingar. Ekki eru gerðar breytingar eða lagfæringar á þeim.

Hvanneyri



Möðruvellir



Surtsey



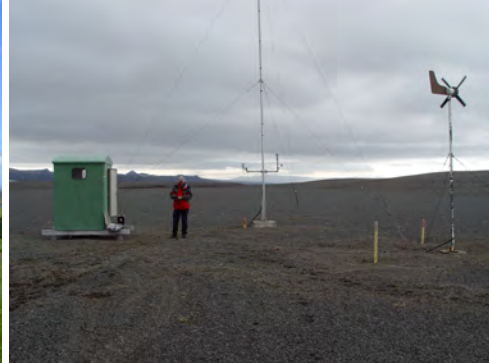
Þykkvibær



Sámsstaðir



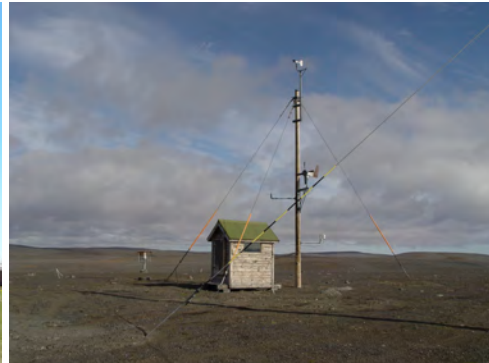
Setur



Reykjavík



Sandbúðir



Mynd 4. Ljósmyndir af veðurstöðvunum Hvanneyri, Möðruvöllum, Þykkvabæ, Setri og Sandbúðum (ljósmyndir Sigvaldi Árnason) og Surtsey (ljósmynd Vilhjálmur Smári Þorvaldsson) og Reykjavík (ljósmynd Guðrún Nína Petersen).

Tafla 2. Gagnatöflur með jarðvegshitagögnum.

Tafla	Tímabil	Tíðni	Jarðvegshitastikar	
athr.jord_hveravellir	1977–2000	kl. 09	M5U, M10U, M20U, M50U, M100U	Mannaðar
athr.jord_korpa	1987–2013	kl. 09	M5U, M10U, M20U, M50U	Mannaðar
ath.sj_jord	1996–2005	10 mín	T5U, T10U, T20U, T50U, T100	Sjálfvirkar
ath.sj_hragogn	2005–	10 mín	TUG, TUG2, TUG3, TUG4	Sjálfvirkar
ath.sj_klst_auka	2005–	1 klst	TUG, TUG2, TUG3, TUG4	Sjálfvirkar



Mynd 5. Þykkvibær 7. október 2004. Nærmynd af hluta jarðvegshitamælitaekja. Á kassann er ritað 10, 30, 50 og 100, sem ætla má að séu dýpi mæla í cm. Ljósmynd: Sigvaldi Árnason

6 Niðurstöður

6.1 Hveravellir

Veðurstöðin Hveravellir er sú veðurstöð á Íslandi sem hefur hvað lengst mælt jarðvegshita. Mannaðar athuganir voru á tímabilinu 1965–2000, með gögnum frá 1977 á rafrænu formi, og sjálfvirkar mælingar hafa átt er stað frá árinu 2000, stöðugar frá 2002.

Eins og nefnt var áður voru mannaðar jarðvegshitamælingar gerðar daglega kl. 09. Það voru nokkrar augljósar villur í gögnunum sem hafa orðið þegar þeim var komið á rafrænt form, þ.e. einkum innsláttarvillur svo sem gleymd mínus merki eða tölustafurinn tveir skráður sem sjö og öfugt. Allar fundnar augljósar villur hafa nú verið leiðréttar í gagnagrunni.

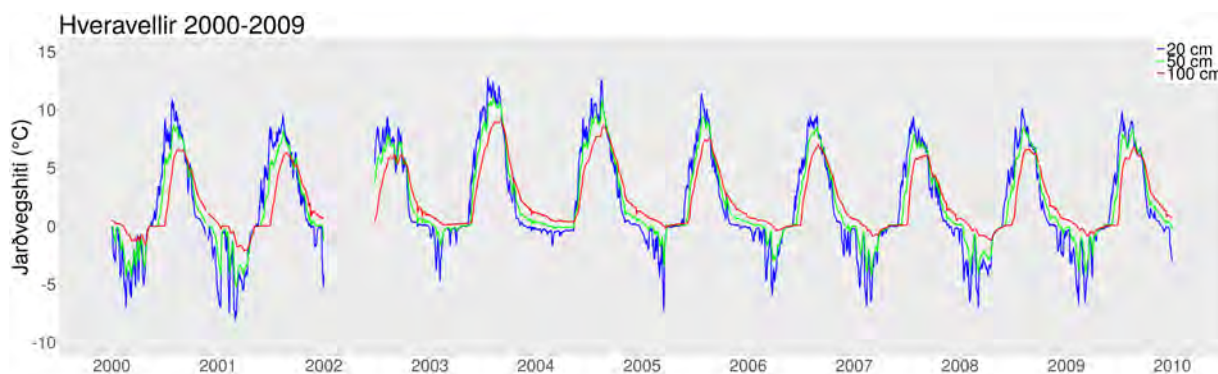
Því miður skarast mannaðar og sjálfvirkar mælingar einungis eitt ár, árið 2000. Samanburður á mælingum kl. 09 það árið eru sýndur á mynd 6. Mannaðar athuganir á hita á 10 og 20 cm dýpi voru einungis gerðar að sumarlagi en dýpra allt árið. Myndin sýnir að á öllum dýpum er samanburðurinn mjög góður hvað varðar gildi og breytileika. Líklegt þykir þó að staðbundið hámark í mönnum mælingum í 100 cm dýpt í lok júlí sé ekki áreiðanlegt.

Myndin 7 sýnir tímaraðir sjálfvirkra jarðhitamælinga í þremur dýptum fyrir 10 ára tímabilið



Mynd 6. Hveravellir: Jarðvegshiti (°C) á 10, 20, 50 og 100 cm dýpi árið 2000, dagleg gildi kl. 09. Mannaðar (blá lína) og sjálfvirkar (græn lína) mælingar.

2000–2009. Eins og áður var nefnd er gert ráð fyrir að TUG, TUG2, TUG3 og TUG4 í seinni gagnatöflun, frá 2005, séu á 10, 20, 50 og 100 cm dýpt. Myndin sýnir engar áberandi breytingar í ferlunum milli fyrri hluta tímabils og seinni hluti. Það er ekki að sjá annað en að mælingar á fyrri og seinni hluta tímabilsins séu á sama dýpi. Sumrin 2003 og 2004 eru áberandi hlýrri í jarðveginum en önnur sumur. Þetta er í samræmi við lofthita en þessi tvö sumur voru óvenju hlý. Mestur mældist lofthiti á Hveravöllum 21.3°C í júlí 2003 og 25.6°C í ágúst 2004.

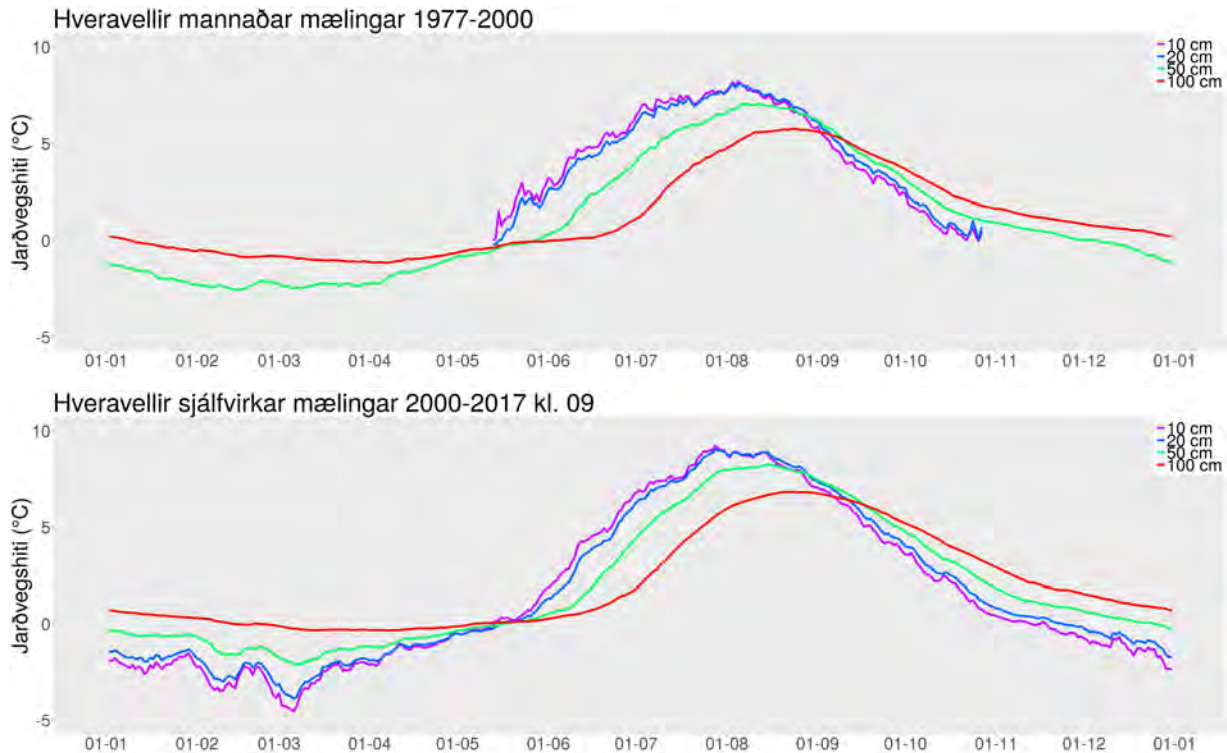


Mynd 7. Hveravellir: Jarðvegshiti (°C) á 20, 50 og 100 cm dýpi 2000–2009. Daggildi sjálfvirkra mælinga.

Mynd 8 sýnir meðaltöl yfir allt tímabil mannaðra og sjálfvirkra mælinga hvers almanaksdags á 10, 20, 50 og 100 cm dýpi, í bæði gagnaröð mannaðra og sjálfvirkra athugana. Myndin sýnir hvernig hitinn breytist með dýpt og tíma. Í fyrsta lagi er hitaflökt á 10 og 20 cm dýpt mun meira en neðar í jarðveginum. Hér sést vel hvernig hiti í efstu lögum jarðvegs svarar breytingum á lofthita en vegna hægs varmaflæðis niður í jarðveginn dregur fljótt úr slíku flökti og mælingar á 50 cm og sér í lagi á 100 cm dýpt eru mun stöðugri. Í öðru lagi má sjá að það er tímatöf á útgildum með dýpi. Efri lög jarðvegsins eru hlýjust í upphafi ágúst en á 100 cm dýpi næst hámarkshiti ekki fyrr en í enda ágúst, eða tveimur til þremur vikum síðar. Í þriðja lagi má sjá að yfir sumartímanna eru efri lög jarðvegsins hlýjust en yfir veturinn köldust. Varmaflæði er því að meðaltali niður í jarðveginn að sumarlagi en upp að vetrarlagi. Í fjórða lagi má sjá við samanburð á mönnum (1977–2000) og sjálfvirkum mælingum (2000–2017) að á seinna tímabilinu er hámarkshiti hærrí í öllum lögum og hiti fellur hægar á haustmánuðum. Jarðvegurinn virðist því vera að hlýna.

Jarðvegshiti, einkum í efri lögum, er háður lofthita og því sveiflast hiti á milli ára. Mynd 9 sýnir daggildi jarðvegshita á fimm ára skeiði, 2008–2012, á fjórum dýpum. Mesti breytileiki er að sjálfsögðu í efstu lögunum, á 10 og 20 cm dýpi, en þó má vel merkja breytileika á milli ára á 100 cm dýpi. Árið 2012 er nokkuð sérstætt með hita nær stöðugan við frostmark í öllum lögum frá janúar til júní. Í öðrum árum er frost í jörðu á þessu tímabili og í efri lögum sveiflast hitastigið með lofthita. Þetta bendir til þess að frá janúar til apríl 2012 hafi snjóþekjan verið nógu þykk til að einangra jarðveginn frá andrúmsloftinu. Um vorið þegar hlýnar helst jarðvegshitinn við frostmark meðan snjór og ís bráðnar og þar er ekki fyrr en því ferli er lokið sem að jarðvegurinn getur hlýnað. Bráðnunartímabilið, einkum í maí, er vel merkjanlegt í öðrum árum og á öllum dýpum.

Í heild hafa jarðvegshitamælingar átt sér stað í yfir 50 ár á Hveravöllum: þar af eru 24 ár af mönnum mælingum aðgengileg á rafrænu formi og 17 ár af sjálfvirkum mælingum. Það gefur

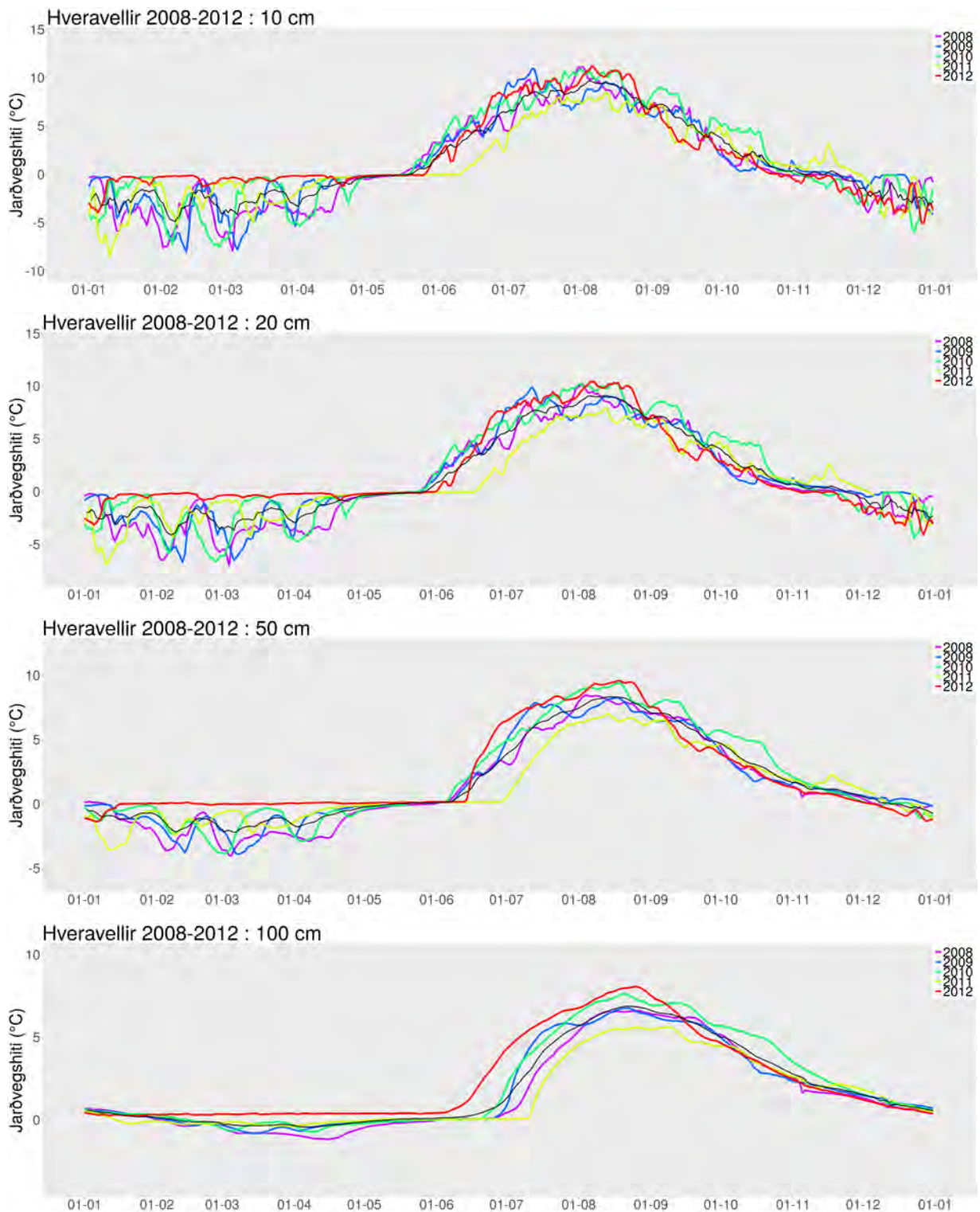


Mynd 8. Hveravellir: Meðaljarðvegshiti ($^{\circ}\text{C}$) fyrir hvern almanaksdag og á fjórum dýpum. Mannaðar athuganir (1977–2000) og sjálfvirkar (2000–2017) kl. 09.

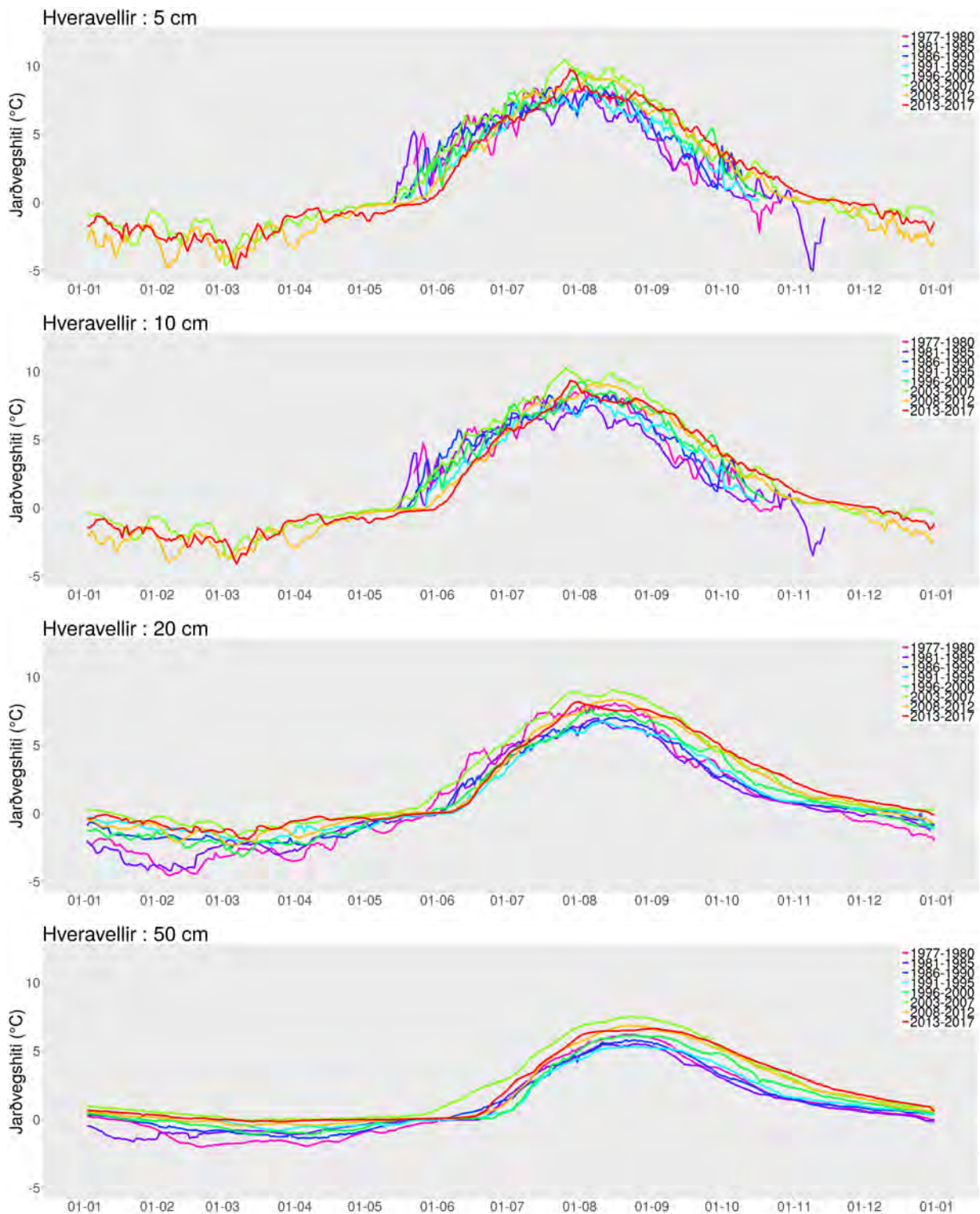
augaleið að freistandi er að kanna hvort einhver leitni hefur átt sér stað í jarðvegshita á þessu tímabili. Til að draga úr skammtímabreytingum og draga fram langtímabreytingar voru reiknuð fimm ára meðaltöl fyrir tímabilið frá 1977 til 2017, að undanskildu fyrsta tímabilinu sem er fjögur ár. Mynd 10 sýnir samanburð á slíkum meðaltölum fyrir mælingar á fjórum dýpum. Elstu tímabilin eru í köldum litum (fjólublár, blár) og þau yngstu í hlýjum litum (gulur, rauður). Athugið að fyrir mannaðar mælingar eru meðaltölin í efri lögum eingöngu að sumarlagi og fram eftir hausti. Mynd 29 í viðauka I sýnir daggildi hvers dags á tímabilinu.

Að vetri til má merkja mikil áhrif snjóþekju og íss í jörðu. Til dæmis má sjá að hiti á 50 cm og 100 cm dýpi er mun lægri á fyrstu tveimur tímabilum en seinna sem gefur til kynna að minni snjóþekja hafi verið á þessum tíma, *eða kaldara að jafnaði*, og vetrarkuldi hafi náð að smjúga niður í jarðveginn. Upphaf vorhlýnunar jarðvegsins er einnig mjög háð magni snjó og íss sem þarf að bræða áður en hlýnun getur hafist. Það ber því varla á því að hægt sé að nema breytingar á tímasetningu upphafs vorhlýnunar. Aftur á móti þegar litið er til sumar- og hausthita er áberandi leitni að sjá. Merki eru um að ársmeðalhiti og hámarkshiti að sumri hafi farið vaxandi. Tímabilið 2003–2007 er þó áberandi hlýrra en öll önnur tímabil. Á þessu tímabili eru tvö mjög hlý sumur, sumrin 2003 og 2004, en þessi ár eru hlýjasta og fjórða hlýjasta ár á Hveravöllum frá upphafi mælinga. Að auki kólnar seinna á árinu með tímanum og því má segja að síðsumarið hafi lengst um 2–3 vikur í öllum dýptum frá upphafi mælinga.

Mynd 11 sýnir þróun ársmeðalhita og meðalhita í ágústmánuði á 100 cm dýpi á tímabilinu og tafla 3 inniheldur tölfræðilegar upplýsingar um bestu beinu línu fyrir mælingar á öllum dýpum. Líkt og fyrir aðra veðurtengda stika er mikill breytileiki í jarðvegshita milli ára. Athugið að á

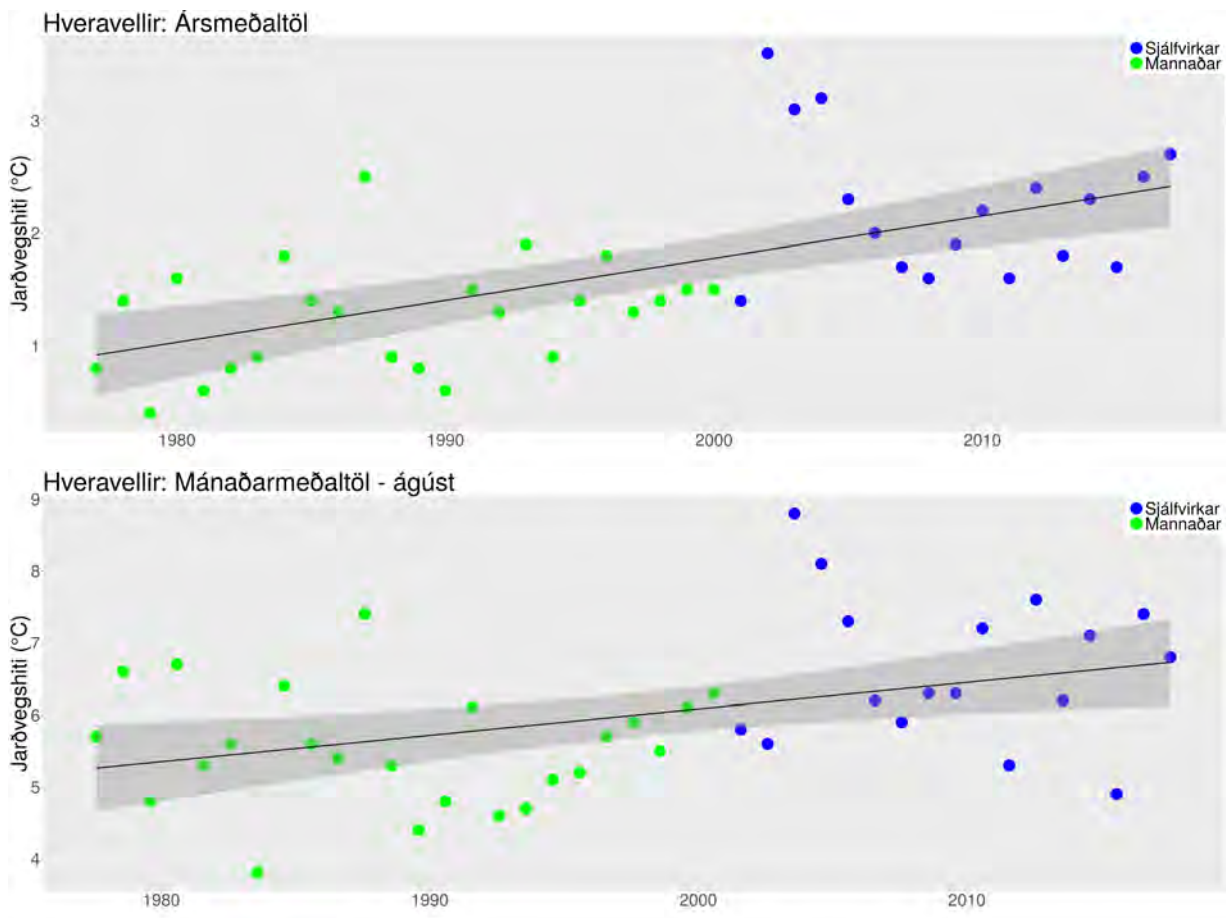


Mynd 9. Hveravellir: Daggildi jarðvegshita (°C) á 10, 20, 50 og 100 cm dýpi fyrir tímabilið 2008–2012. Svarta línan er meðaltal tímabilsins fyrir hvern almanaksdag.



Mynd 10. Hveravellir: Jarðvegshiti ($^{\circ}\text{C}$) á 10, 20, 50 og 100 cm dýpi, fimm ára meðaltöl fyrir hvern almanaksdag. Athugið að mannaðar athuganir voru eingöngu gerðar að sumri og fram eftir hausti á 10 og 20 cm dýpi. Þá vantar töluvert af gögnum árið 2002 og því eru meðaltöl fyrir sjálfvirkar mælingar reiknuð frá árinu 2003.

10 og 20 cm dýpi er eingöngu um sjálfvirkar mælingar að ræða, frá 2001, þar sem mannaðar mælingar voru ekki gerðar allt árið. Á árs- og ágústmánaðargrundvelli er hallartala bestu beinu línu neikvæð á þeim dýpum, þ.e. það virðist hafa kólnað með árunum. Ástæða þess er að í upphafi tímabilsins voru þrjú mjög hlý ár, árin 2002–2004, en einnig er staðalfrávik á stærð við hallartöluna, fylgni mjög lítil og p-gildi hátt, þ.e. niðurstöður eru ekki marktækar. Á 100 cm og 50 cm dýpi eru niðurstöður aftur á móti vel marktækar. Á 100 cm dýpi er leitnin á ársgrundvelli tæpar 0.4°C á áratug með fylgnina 0.38. Leitnin er tilsvarendi í febrúar en heldur meiri í ágúst. Í ágúst er þó fylgnin mun minni, eða 0.17, enda er veðurfar á hálendinu oft mjög sveiflukennt þann mánuð árs. Svipaðar niðurstöður fást fyrir meðalhita á 50 cm dýpi, en fylgni er heldur minni á því dýpi enda meiri breytileiki á milli ára ofar í jarðveginum. Í öllum tilvikum er p-gildi undir 0.01 nema á 50 cm dýpi í ágúst.



Mynd 11. Hveravellir: Ársmeðaltöl og meðaltöl fyrir ágústmánuð af jarðvegshita ($^{\circ}\text{C}$) á 100 cm dýpi. Mannaðar (grænir punktar) og sjálfvirkar (bláir punktar) mælingar. Svarta línan sýnir bestu beinu línu.

Mynd 12 sýnir punktarit ársmeðallofthita og ársmeðaljarðvegshita á 100 cm dýpi. Augljóst er að það er jákvætt samband, þ.e. því hærra lofthiti því hærra er jarðvegshitinn. Hallartala bestu beinu línunnar er 0.66, þ.e. við hverja 1°C hækkun í meðallofthita hækkar jarðvegshiti á 100 cm dýpi um 0.66°C . Mjög góð fylgni er á milli stikana, eða 0.66. Svipuð niðurstaða fæst fyrir sambandið

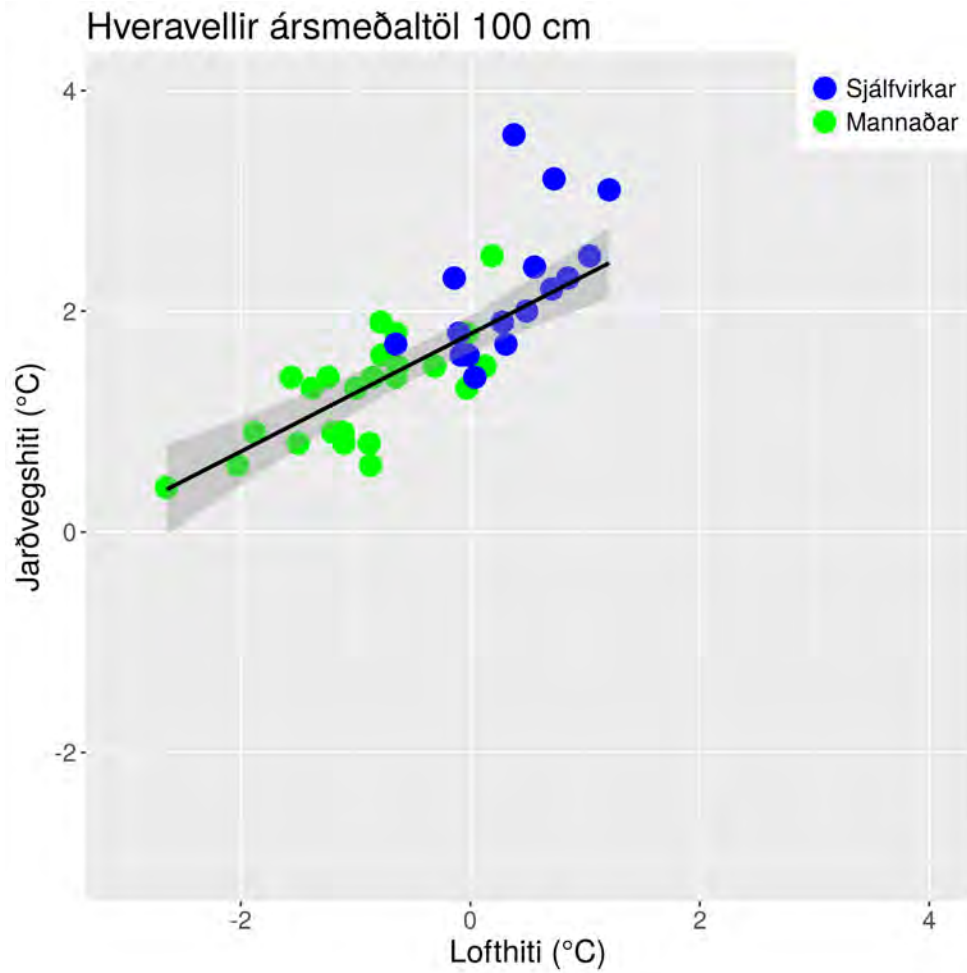
Tafla 3. Hveravellir: Jarðvegshiti 1977–2017, hallartala bestu beinnar línu, staðafylgni og p-gildi.

	Hallartala bestu beinu línu (°C/áratug)	Staðal- frávik (°C/áratug)	Fylgni	p-gildi
Dýpi: 10 cm ^a				
Ársmeðaltöl	-0.52	0.42	0.09	0.23
Mánaðarmeðaltöl febrúar	0.29	0.89	0.01	0.75
Mánaðarmeðaltöl ágúst	-0.54	0.55	0.06	0.34
Dýpi 20 cm ^a				
Ársmeðaltöl	-0.60	0.42	0.12	0.18
Mánaðarmeðaltöl febrúar	0.16	0.78	0.01	0.84
Mánaðarmeðaltöl ágúst	-0.66	0.56	0.08	0.26
Dýpi 50 cm				
Ársmeðaltöl	0.27	0.09	0.17	0.007
Mánaðarmeðaltöl febrúar	0.63	0.16	0.29	0.0004
Mánaðarmeðaltöl ágúst	0.36	0.14	0.14	0.015
Dýpi: 100 cm				
Ársmeðaltöl	0.37	0.08	0.38	< 0.0001
Mánaðarmeðaltöl febrúar	0.43	0.08	0.42	< 0.0001
Mánaðarmeðaltöl ágúst	0.37	0.13	0.17	0.007

^a Eingöngu sjálfvirkar mælingar þar sem mannaðar voru ekki framkvæmdar að vetri.

milli lofthita og hita á 50 cm dýpi: Ársmeðaljarðvegshitinn hækkar um 0.59°C fyrir hverja 1°C hækkun í lofthita, fylgnin er 0.47.

Jarðvegshitamælingar frá veðurstöðinni Hveravöllum eru nokkuð áreiðanleg og spanna langt tímabil. Á rafrænu formi má finna gögn frá 1977 til dagsins í dag, mannaðar mælingar til ársins 2000 og frá því ári sjálfvirkar mælingar. Það er skýrt merki um hlýnun jarðvegs á þessu tímabili og hefur haustkólnun seinkað um 2–3 vikum síðan en á áttunda áratug síðustu aldar.



Mynd 12. Hveravellir: punktarit ársmeðallofthita (°C) og ársmeðaljarðvegshita (°C) á 100 cm dýpi. Mannaðar (bláir punktar) og sjálfvirkar (grænir punktar) mælingar. Svarta línán sýnir bestu beinu línu.

6.2 Korpa

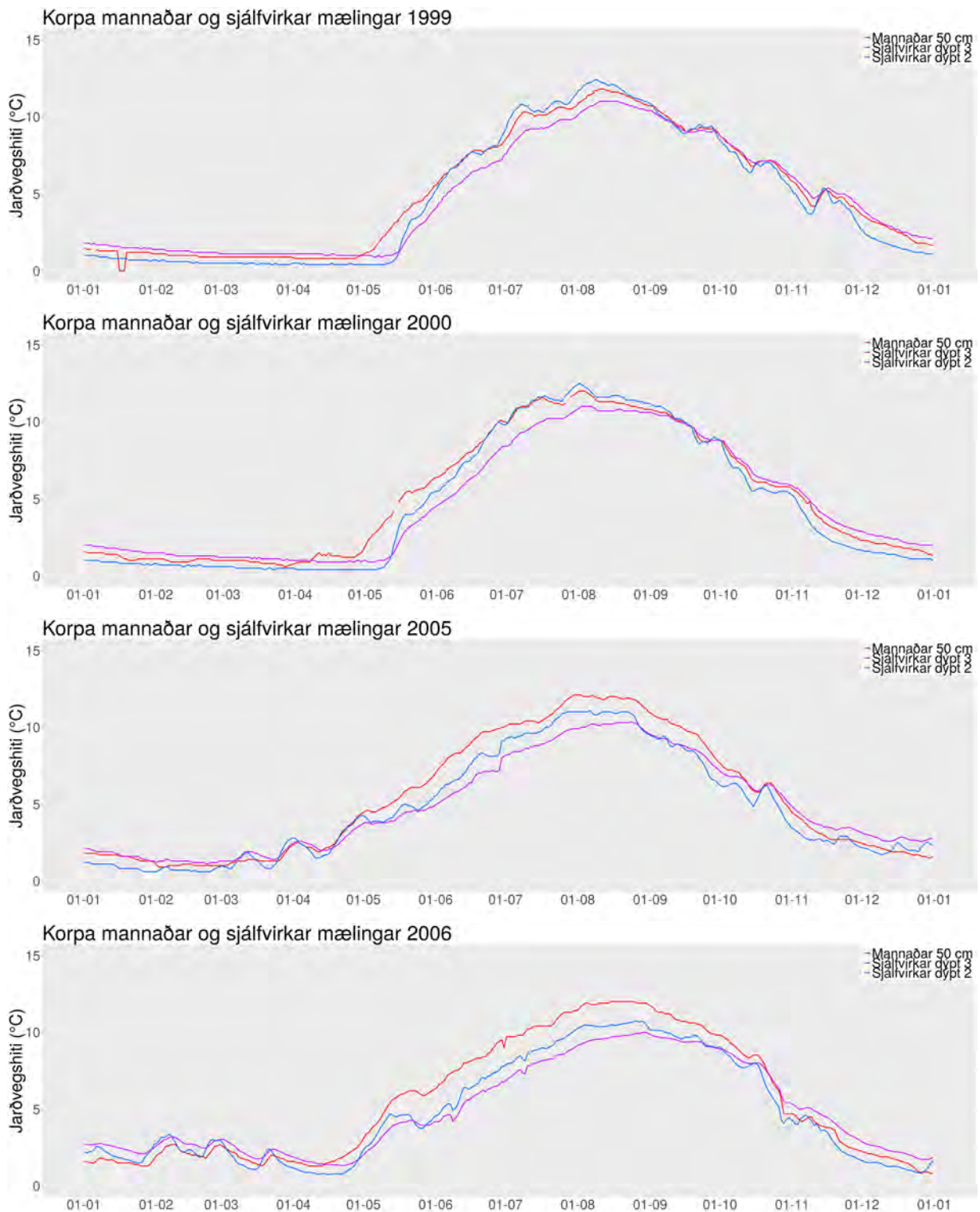
Veðurstöðin Korpa hefur aðra lengstu röð jarðvegshitamælinga á Íslandi. Mannaðar athuganir eru skráðar á rafrænu formi fyrir tímabilið 1987–2013 og sjálfvirkar 1998–2014.

Mannaðar athuganir eru upp til hópa mjög góðar og fáar villur vegna innsláttar á rafrænt form. Aðra sögu er að segja af sjálfvirkum mælingum. Því miður eru mælingarnar óáreiðanlegar frá árinu 2007, breytileiki er utan eðlilegra marka á öllum dýptum og gögnin því ónothæf til nánari greiningar. Sjálfvirkar mælingar eru skráðar í fjórum dýptum. Samanburður við mannaðar mælingar í upphafi mælinga gefur til kynna að sjálfvirkar mælingar séu ekki á sömu dýptum og þær mönnuðu.

Myndir 13 og 14 sýna samanburð á mönnuðum og sjálfvirkum mælingum fyrir árin 1999, 2000, 2005 og 2006, fyrstu og síðustu ár marktækra sjálfvirkra mælinga. Í framhaldi biluðu mælar og mælingar urðu ónothæfar. Fyrri myndin sýnir samanburð sjálfvirkra mælinga á tveimur dýptum, TUG3 og TUG4, við mannaðar á 50 cm dýpi en sú seinni á sjálfvirkum mælingum skráðum á dýpt 1, TUG, við mannaðar á 20 cm dýpi. Í fyrsta lagi eru vísbendingar um að sjálfvirku mælingarnar hafi ekki verið á sama dýpi og mannaðar. Fyrir árið 1999 og 2000 er hitinn á dýpi 3 ögn hærrí en mannaðar mælingar á 50 cm dýpi sýna yfir vetrartímann, þ.e. jákvæð bjögun (e. bias), en lægri yfir sumarið, þ.e. neikvæð bjögun. Mælingar virðast því vera gerðar ögn dýpra en 50 cm. Mælingar á dýpi 2 sýna aftur á móti neikvæða bjögun yfir veturinn en ögn jákvæða yfir sumartímann, sem bendir til þess að mælingar séu gerðar ögn grynnra í jarðveginum en þær mönnuðu. Sjálfvirkar mælingar á dýpi 1, TUG, eru nokkuð svipaðar og mannaðar mælingar á 20 cm dýpi að hausti og vetri fyrir árin 1999 og 2000 en þó var neikvæð bjögun og minna útslag að vori og sumri. Af samanburði við mannaðar mælingar virðist í upphafi dýpi 4, TUG4, á mun meira dýpi en 50 cm, líklega nær 100 cm, dýpi 3 og 2 sitt hvoru megin við 50 cm og dýpi 1 nálægt 20 cm dýpi. Rétt er þó að taka fram að ef það var einhver munur á jarðveginum milli staðsetningu mæla, þéttleika jarðvegs og samsetningu, getur það haft áhrif á flutning varma. Í öðru lagi þá er rek í sjálfvirku mælingunum, samanborið við þær mönnuðu. Á síðustu árum marktækra mælinga, árunum 2005 og 2006, má sjá að yfir sumarið og haustið voru sjálfvirkar mælingar á bæði dýpi 2 og 3 töluvert kaldari en mannaðar mælingar á 50 cm dýpi og sömu sögu er að segja um sambandið á milli mannaðra mælinga á 20 cm dýpi og sjálfvirkar á dýpi 1. Það eru því annmarkar á sjálfvirku mælaröðinni og hún óáreiðanleg til úrvinnslu og greiningar. Hér er því einungis stuðst við mannaðar athuganir. Sjálfvirka röðin er seinna plottuð með öðrum sjálfvirkum mælingum til samanburðar, en þar verður að hafa þessa annmarka í huga.

Mynd 15 sýnir meðaljarðvegshita á fjórum dýpum mannaðra athugana fyrir hvern almanaksdag. Korpa er láglandisstöð og fremur snjólétt er á svæðinu. Myndir sýnir að grynnri jarðvegslög eru kaldari en neðri lög að vetri til, en frá um miðjum maí eru þau hlýrri. Í grynnstu jarðvegslögunum er lágmarkshita náð í byrjun mars og hámarkshita í lok júlí. Það er töf á útgildum með dýpt og á 50 cm dýpi er lágmarks- og hámarkshita að finna um 3 vikum síðar.

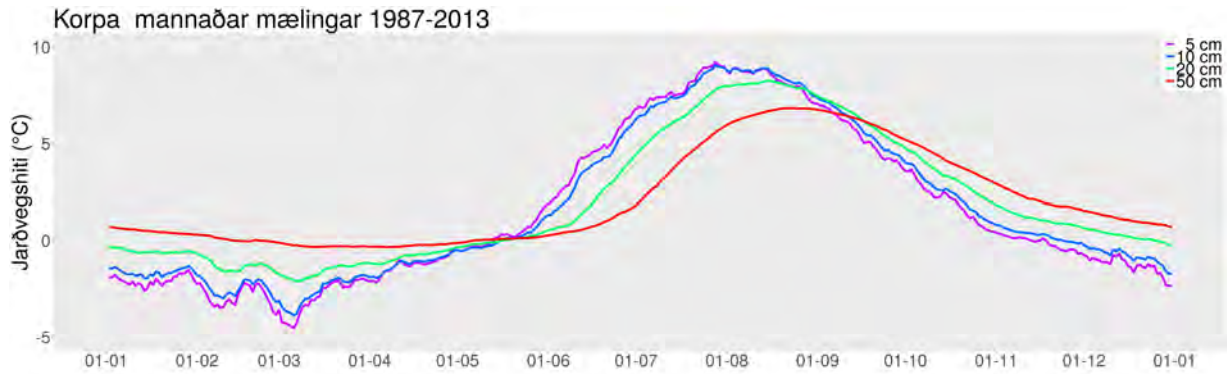
Mynd 16 sýnir daggildi jarðvegshita á fimm ára skeiði, 2003–2007, á fjórum dýpum. Mjög mikil breytileiki er á 5 og 10 cm dýpi, bæði í tíma og milli ára. Sjá má að í upphafi ársins 2006 voru þrjár fremur langir og hlýir kaflar þar sem varmaflæði niður í jörðina er vel merkjanlegt niður að 50 cm dýpi. Lengri hlýindakafar voru líka árið 2003. Sumrin 2003, 2004 og 2007 voru hlý, reyndar í tilfalli ársins 2007 var júní og júlí hlýir mánuðir en ágúst svalur. Breytileiki í hitastigi yfir vetrarmánuðina gefur til kynna að litla einangrun er að fá frá snjóþekju. Veturinn 2005 og að



Mynd 13. Korpa: Jarðvegshiti (°C), mannaðar mælingar á 50 cm dýpi og sjálfrvirkar mælingar á tveimur dýpum, dýpi 2 og 3 fyrir árin 1999, 2000, 2005 og 2006.



Mynd 14. Korpa: Jarðvegshiti (°C), mannaðar mælingar á 20 cm dýpi og sjálfvirkar mælingar í dýpi 1, fyrir árin 1999, 2000, 2005 og 2006.



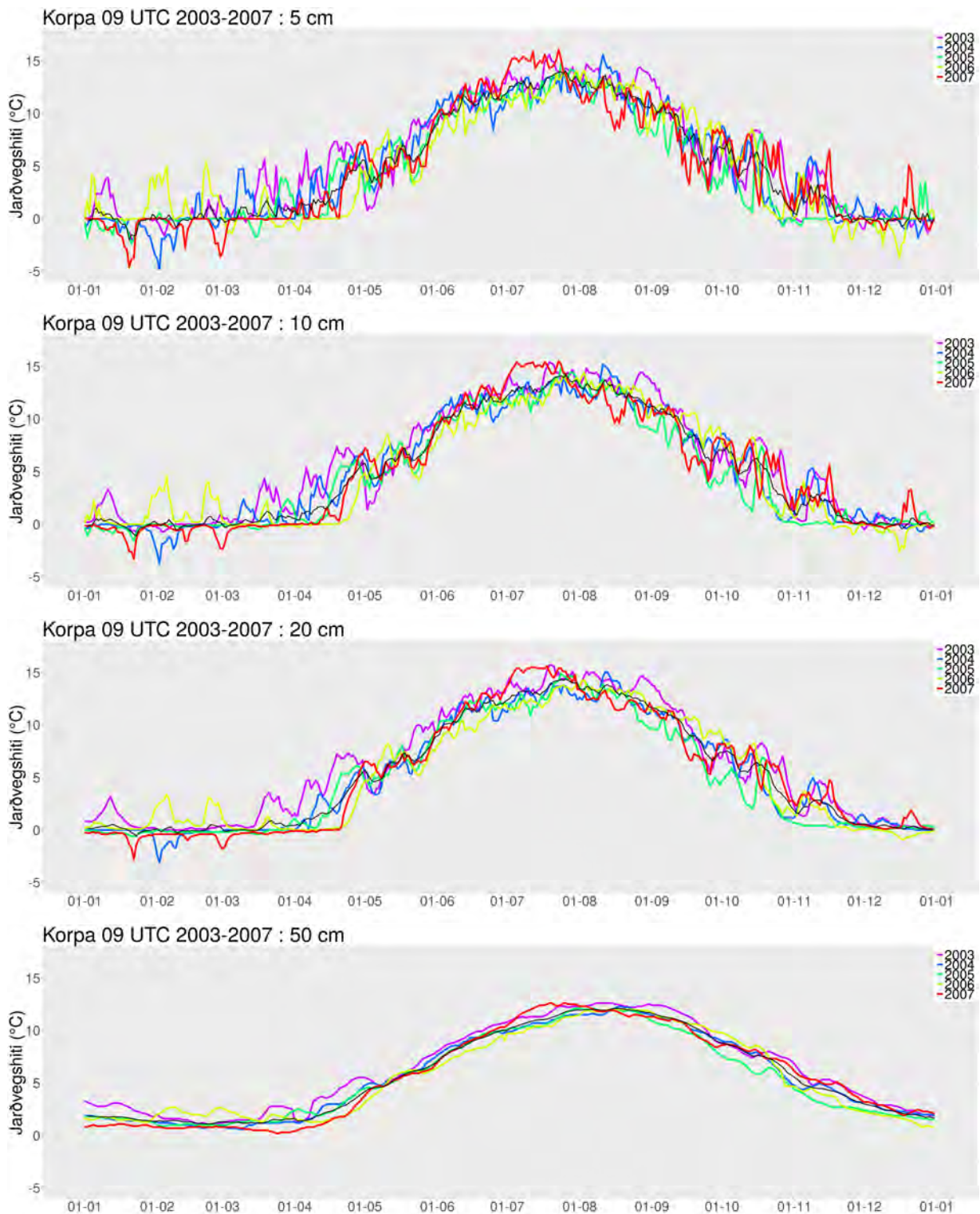
Mynd 15. Korpa: Meðaljarðvegshiti ($^{\circ}\text{C}$) fyrir hvern almanaksdag og á fjórum dýpum, á 5, 10, 20 og 50 cm dýpi. Mannaðar athuganir (1987–2013) kl. 09.

hluta til veturinn 2007 var hitastig við frostmark og því nokkur snjór. Vorhlýnunin átti sér stað í flestum tilvikum frá upphafi aprílmánaðar. Í efri lögum er hámarkshiti að jafnaði í júlímánuði en á 50 cm dýpi er hámarkshita náð um miðjan ágúst.

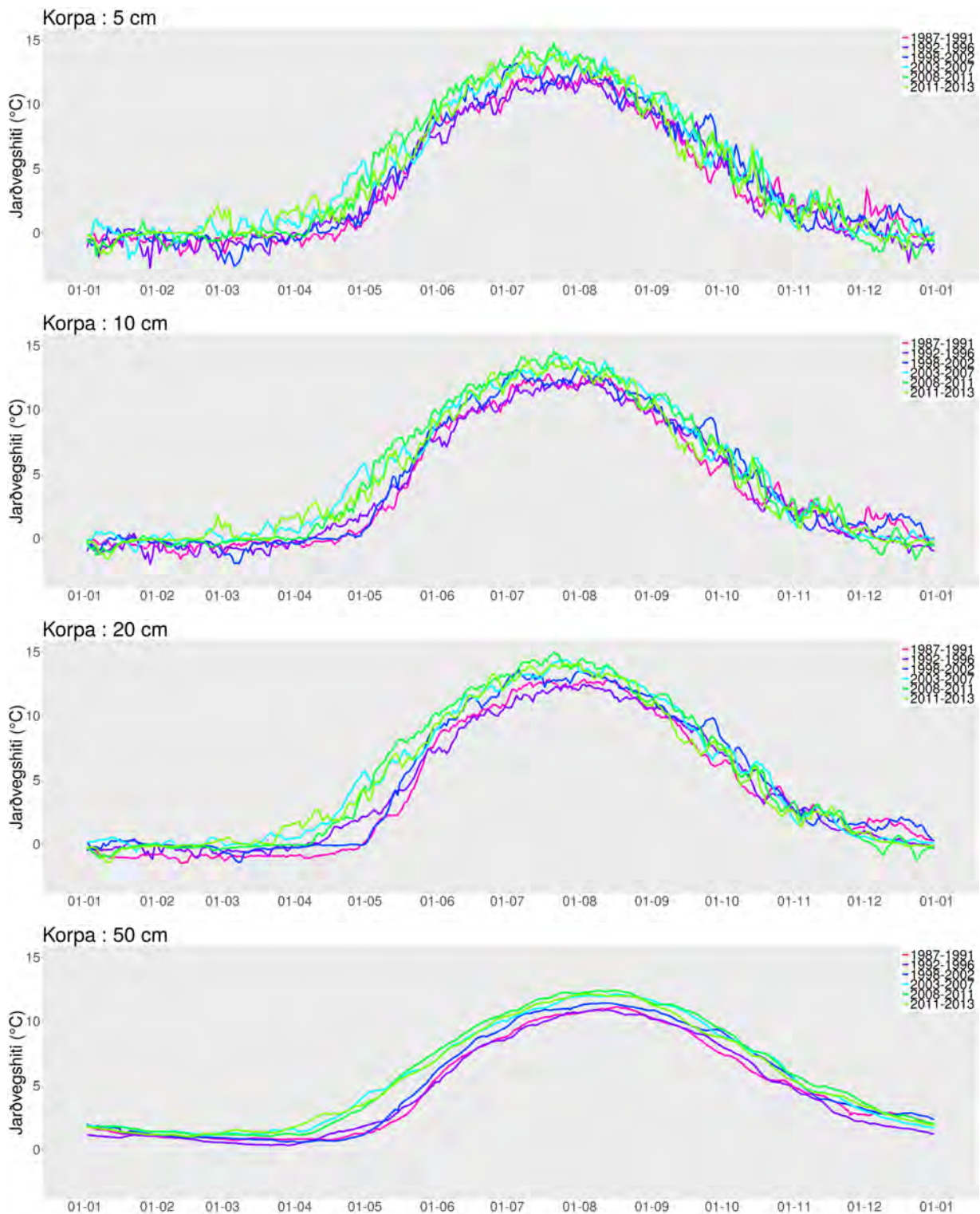
Mynd 17 sýnir samanburð á meðaltölum mismunandi tímabila á fjórum dýpum. Elstu tímabilin eru í köldum litum (fjólublár, blár) og nýjustu í hlýrri litum (grænn). Myndin sýnir að á öllum dýpum hefur hlýnað: vorhlýnun hefst fyrr á árinu og hauskólnun seinna, einnig er sumarhiti er hærra. Segja má að sumarhluti ársins hafi lengst um tvær vikur bæði að vori og hausti.

Mynd 18 sýnir ársmeðaltöl og meðaltöl ágústmánuðar jarðvegshita á 50 cm dýpi. Líkt og á Hveravöllum er nokkur breytileiki á milli ára en þó greinileg hlýnun. Tafla 4 inniheldur tölfræðilegar upplýsingar um bestu beinu línu fyrir mælingar á öllum dýptum, ársmeðaltöl og mánaðarmeðaltöl í febrúar og ágúst. Hallartala bestu beinu línu fyrir ársmeðaltölin á 50 cm dýpi er 0.6°C á áratug, með fylgnina 0.53. Þetta er tvöföld árshlýnunin á Hveravöllum. Á öllum dýpum er árshlýnunin um eða yfir 0.5°C á áratug, fylgnin afgerandi jákvæð og p-gildi lágt. Í febrúar er hlýnunin $0.5\text{--}0.7^{\circ}\text{C}$ á áratug og fylgni > 0.2 og p-gildi fremur lágt. Verður þetta að teljast nokkuð afgerandi hlýnun á tímabilinu. Í ágúst er hlýnunin minni, staðalfrávikid hærra, fylgnin lægri og p-gildi hærra. Þetta má skýra með að hitafar er mjög sveiflukennt á suðvesturlandi í febrúar sem og snjóþekja og úrkoma. Niðurstöður eru því varla marktækar fyrir febrúarmánuð en gefa þó vísendingar um að í þeim mánuði hafi jarðvegur einnig hlýnað eitthvað.

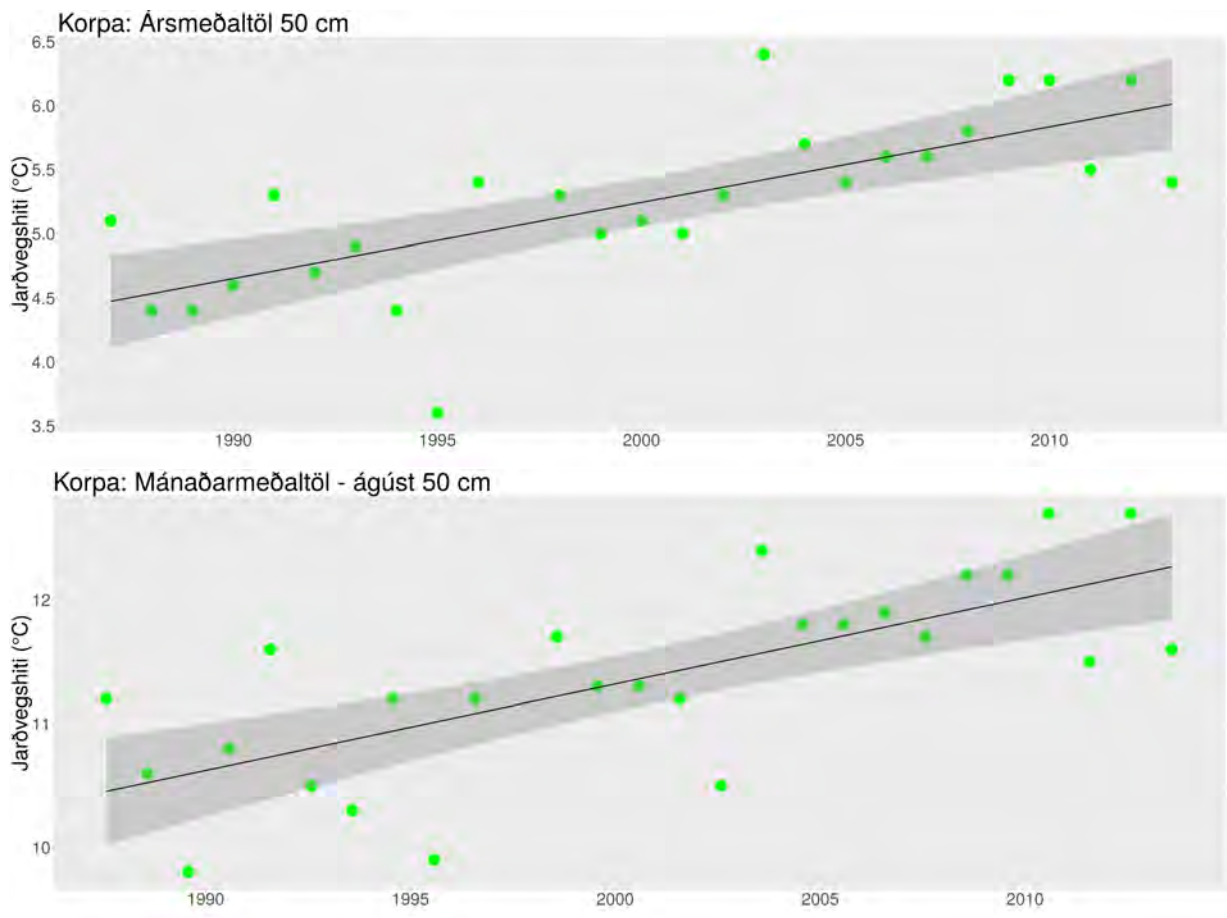
Mannaðar jarðvegshitamælingar á veðurstöðinni Korpu eru ágætar en sjálfvirkar mælingar varla nýtanlegar vegna óvissu um mældýpi og reks í mæliröðum. Mannaðar mælingar sýna að jarðvegur hefur hlýnað og sumarhluti árs lengst um u.þ.b. mánuð. Á 50 cm dýpi er hlýnunin 0.6°C á áratug að meðaltali.



Mynd 16. Korpa: Jarðvegshiti (°C) á 5, 10, 20 og 50 cm dýpi fyrir tímabilið 2003–2007, mannaðar athuganir kl. 09. Svarta línan er meðaltal tímabilsins fyrir hvern almanaksdag.



Mynd 17. Korpa: Jarðvegshiti (°C) á 5, 10, 20 og 50, meðaltöl mismunandi tímabila fyrir hvern almanaksdag. Mannaðar mælingar kl. 09 daglega.



Mynd 18. Korpa: Ársmeðaltöl og meðaltöl fyrir ágústmánuð af jarðvegshita (°C) á 50 cm dýpi, 1987–2013. Mánaðar mælingar kl. 09. Svarta línan sýnir bestu beinu línu.

Tafla 4. Korpa: Jarðvegshiti 1987–2013, hallartala bestu beinnar línu, staðalfrávik, fylgni og p-gildi.

	Hallartala bestu beinu línu (°C/áratug)	Staðal- frávik (°C/áratug)	Fylgni	p-gildi
Dýpi: 5 cm				
Ársmeðaltöl	0.51	0.11	0.45	0.0002
Mánaðarmeðaltöl febrúar	0.45	0.27	0.10	0.11
Mánaðarmeðaltöl ágúst	0.60	0.19	0.29	0.005
Dýpi: 10 cm				
Ársmeðaltöl	0.49	0.12	0.43	0.0003
Mánaðarmeðaltöl febrúar	0.41	0.24	0.11	0.10
Mánaðarmeðaltöl ágúst	0.51	0.18	0.24	0.01
Dýpi 20 cm				
Ársmeðaltöl	0.53	0.14	0.37	0.001
Mánaðarmeðaltöl febrúar	0.42	0.27	0.09	0.13
Mánaðarmeðaltöl ágúst	0.54	0.18	0.27	0.007
Dýpi 50 cm				
Ársmeðaltöl	0.59	0.11	0.53	<0.0001
Mánaðarmeðaltöl febrúar	0.20	0.11	0.13	0.08
Mánaðarmeðaltöl ágúst	0.70	0.14	0.52	<0.0001

6.3 Aðrar stöðvar með aðgengilegum sjálfvirkum jarðvegshitamælingum

Mönnuðum jarðvegshitamælingum frá öðrum veðurstöðvum hefur ekki verið komið á rafrænt form. Því er ekki hægt að bera saman mannaðar og sjálfvirkar mælingar á þeim stöðvum þar sem báðar aðferðir hafa verið notaðar. Í staðinn er stöðvunum skipt í fjóra hópa eftir staðsetningu á landinu og kannað hvort mælingar frá einhverri stöð skeri sig úr.

- Suðvesturland: Korpa (1479), Hvanneyri (1779) og Reykjavík búveðurstöð (7475)
- Suðurland: Þykkvibær (6208), Surtsey (6012) og Sámsstaðir (6222)
- Norður- og Austurland: Möðruvellir (3463) og Hallormsstaður (4060)
- Hálandi: Setur (6748), Hveravellir (6935) og Sandbúðir (6975)

Suðvesturland

Mynd 19 sýnir tímaraðir frá veðurstöðvunum Korpu, Hvanneyri og Reykjavík búveðurstöð á fjórum dýpum. Reykjavík og Hvanneyri skarast ekkert en Korpa og Hvanneyri fyrir 1999–2005. Það er mikil fylgni á milli Korpu og Hvanneyri og rek í mælingum á Korpu, í öllum dýptum, mjög greinilegt og líklega hefst það árið 2004. Í upphafi tímaraða er hiti að jafnaði hærri á Korpu en á Hvanneyri og hitaspönn meiri en í lok tímabils er hitinn lægri, mestur er munurinn að sumarlagi. Einnig er áberandi munur á hitaspönninni á Korpu og í Reykjavík árið 2006.

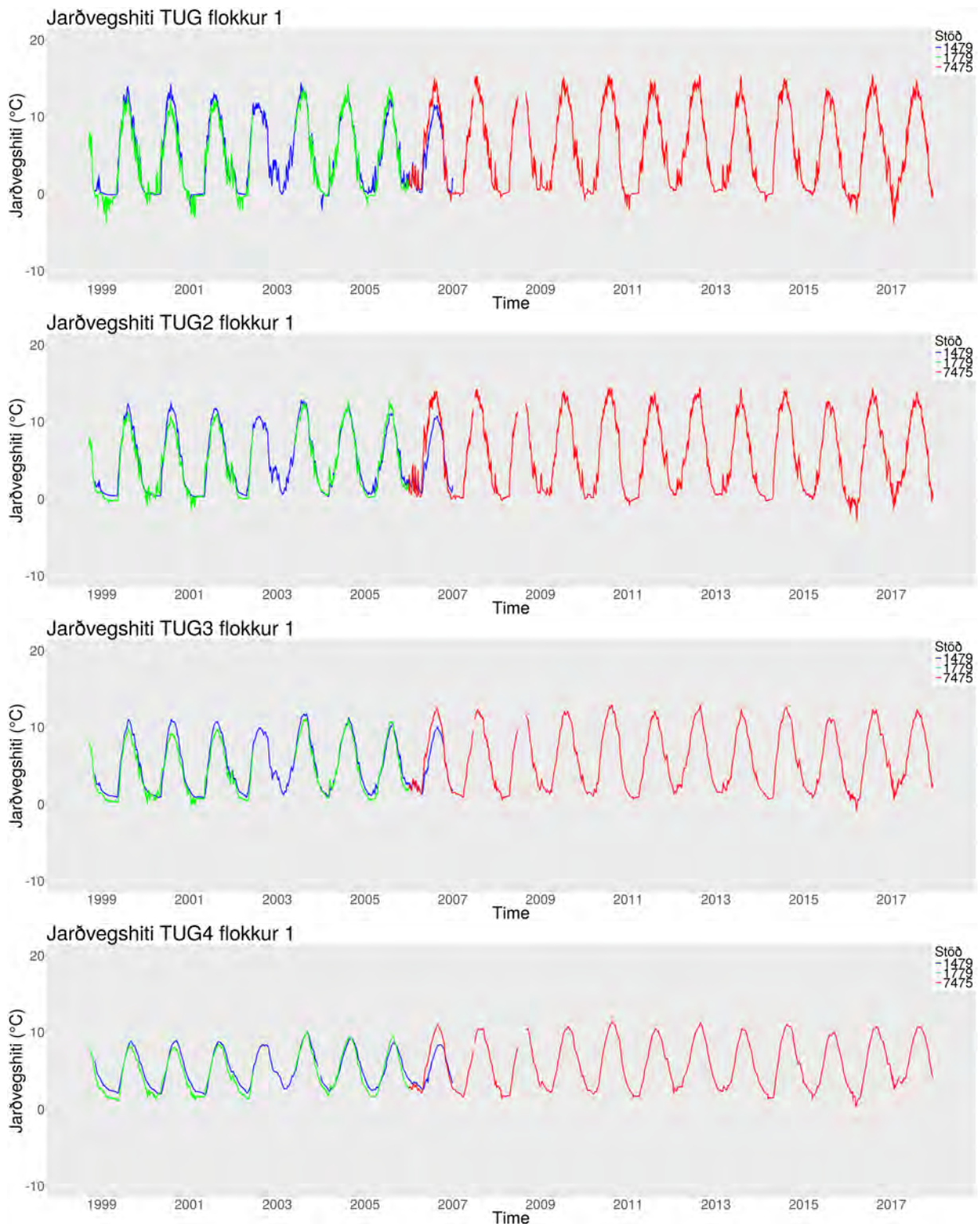
Það eru efasemdir um að sjálfvirkar mælingar á Korpu hafi verið gerðar á nákvæmlega 10, 20, 50 og 100 cm dýpi en samanburður á mælingum á Hveravöllum sýndi aftur á móti fram á að svo var þar. Hér eru sjálfvirkar mælingar sýndar eins og þær séu á þessum skilgreindu dýpum.

Mælingar hafa staðið yfir frá árinu 2007 í Reykjavík og ekki að sjá neina vankanta á tímaröðinni á mynd 19. Mynd 20 sýnir meðaltöl allra mælinga á tímabilinu 2007–2017 fyrir hvern almanaksdag og á öllum dýptum. Það sést skýrt að að í um 7 mánuðir á ári, frá um 15. september til 15. apríl er hlýrra því neðar er komið í jarðveginn, en annars er hlýjast við yfirborð. Að meðaltali kólnar að frostmarki í efstu 20 cm, en tímaröðin, á mynd 19 sýnir að suma vetur hefur verið talsvert frost í efstu jarðlögum og snemma árs 2016 náði frost niður á 50 cm dýpt. Aldrei hefur frosið á neðsta dýpi mælinga.

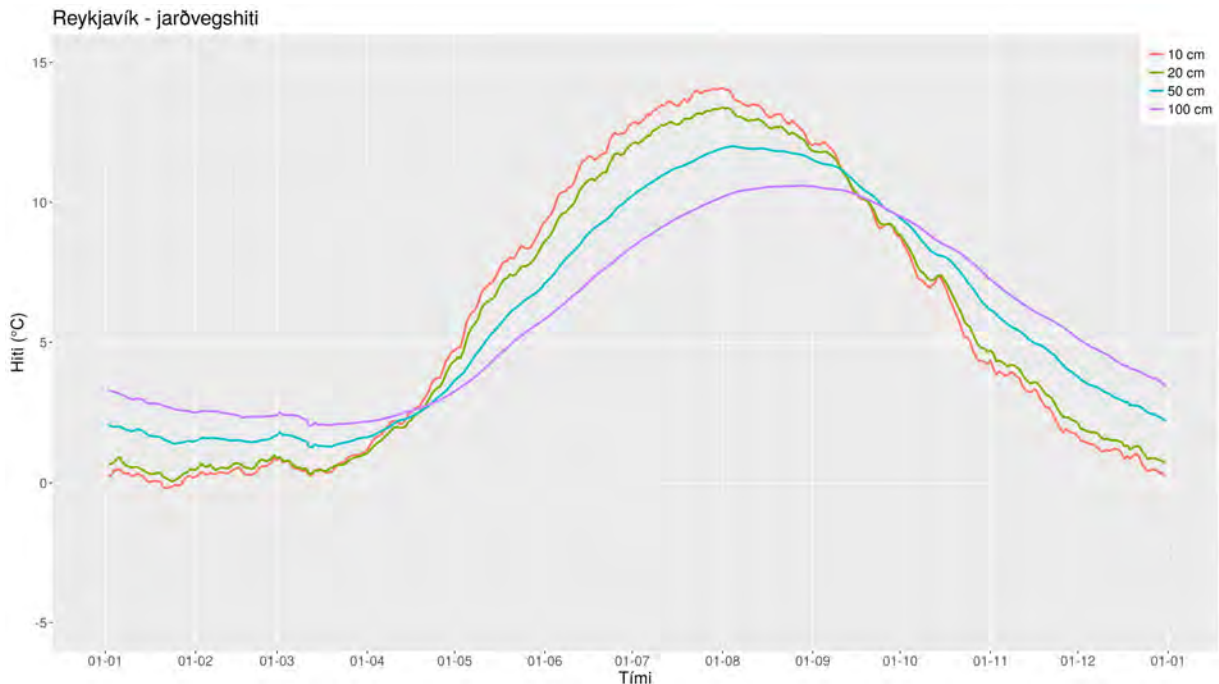
Suðurland

Mynd 21 sýnir tímaraðir frá veðurstöðvunum Þykkvabæ og Sámsstöðum á fjórum dýpum. Veðurstöðin Þykkvibær hefur mælt frá árinu 1996 en við skoðun kom í ljós að allar mælingum fyrir 1. janúar 2005 eru ónothæfar og eru því ekki sýndar hér. Mælingar frá Surtsey eru ekki sýndar á myndinni þar sem þær eru úr fasa við hinar tvær stöðvarnar. Það er ágætis samræmi á milli þessara tveggja stöðva. Hlýnun að vori og kólnun að hausti á sér stað á sama tíma. Útgildi eru hærri í Þykkvabæ en á Sámsstöðum, kaldara að vetri og hlýrra að sumri. Á þeim tímabilum sem hiti mælist mjög lágur í Þykkvabæ er samsvörun á milli mælinga á mismunandi dýpi, þ.e. um raunverulegt lágmark er að ræða. Veturinn 2016–2017 var vetrarhiti óvenjulega hár á báðum stöðvum.

Mynd 22 sýnir meðaltöl allra mælinga á Sámsstöðum á tímabilinu 2000–2017 fyrir hvern almanaksdag og á öllum dýptum. Skýrt er að það tekur langan tíma að flytja varma niður í neðsta lagið,



Mynd 19. Suðvesturland: Jarðvegshiti (°C) á Korpa (1479), Hvanneyri (1779) og Reykjavík búveðurstöð (7475).



Mynd 20. Reykjavík: Meðaljarðvegshiti ($^{\circ}\text{C}$) fyrir hvern almanaksdag og á fjórum dýpum. Sjálfvirkar athuganir 2007–2017.

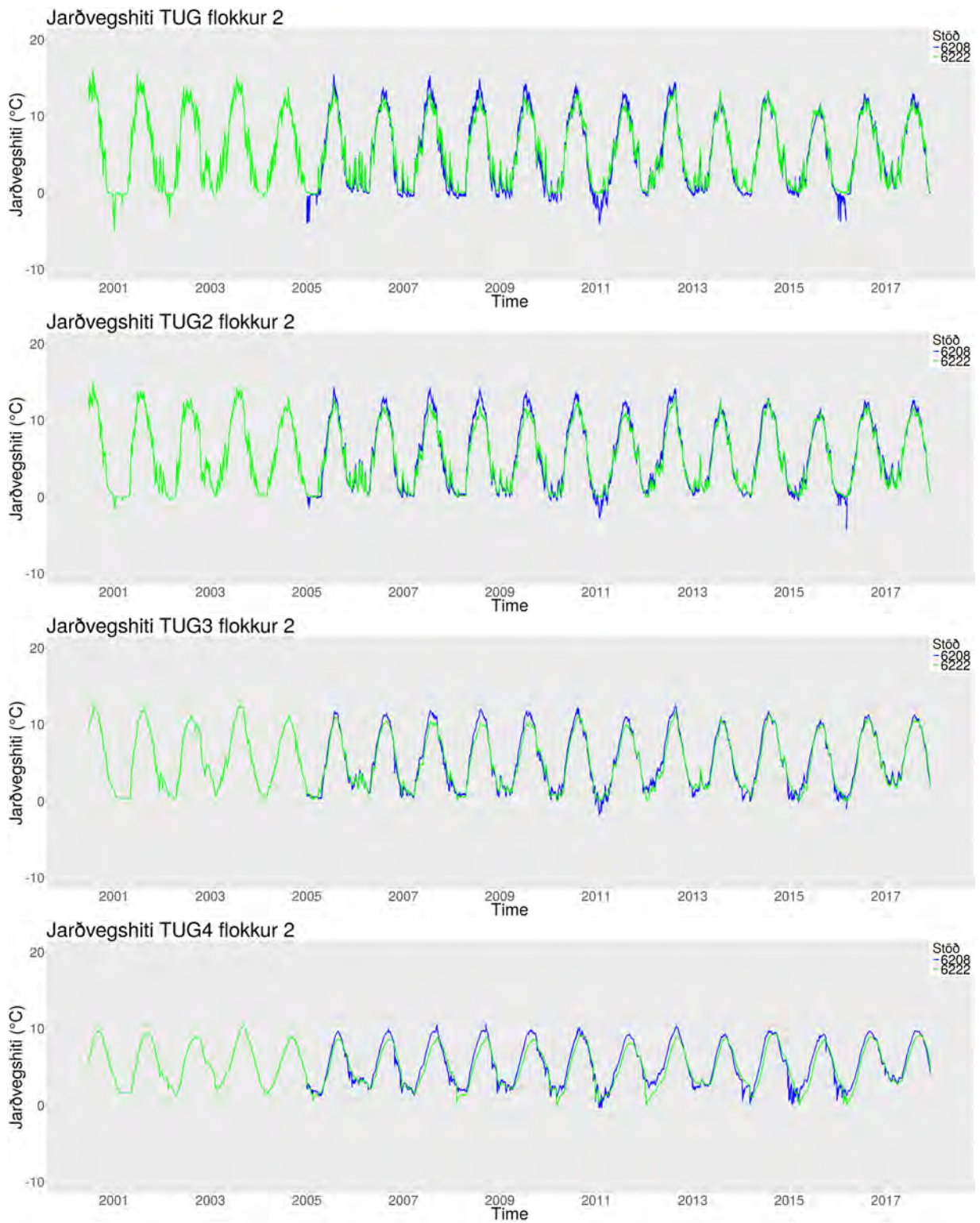
meðan hámarkshita er náð í lok júlí mánaðar í efstu lögum er hámarkið í neðsta laginu í október. Tímaröðin á mynd 21 sýnir að frost er sjaldgæft, jafnvel í efstu lögum.

Mælingar frá Surtsey ekki sýndar á myndinni þar sem þær eru úr fasa við hinar tvær stöðvarnar. Mynd 23 sýnir tímaraðir mælinga í Surtsey. Augljóst er að þær eru allar gerðar á svipuðu dýpi og nálægt yfirborði. Meðaltal mælinga frá skynjurunum er $7.2\text{--}7.8^{\circ}\text{C}$ og hámarkshiti yfir 20°C . Augljóst er því að um fjóra mæla í grunnum jarðvegi er að ræða, enda Surtsey nýtt land.

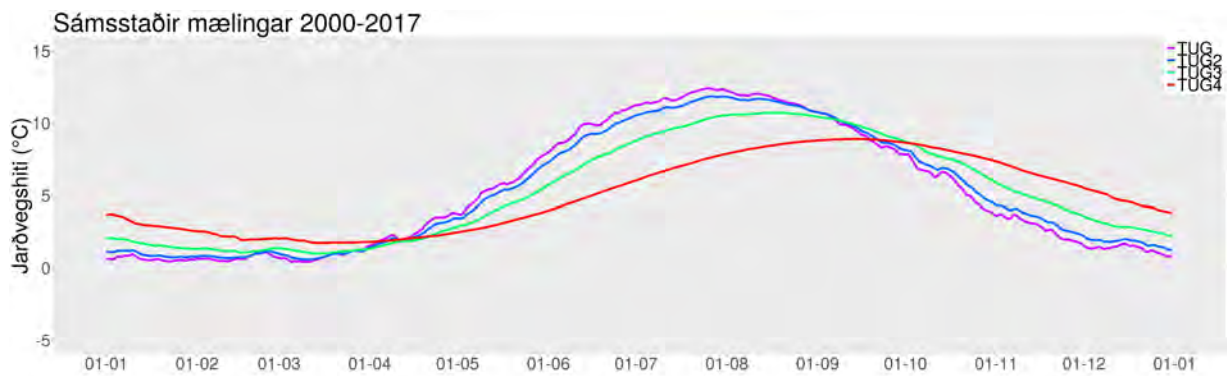
Norður- og Austurland

Mynd 24 sýnir tímaraðir frá veðurstöðvunum Möðruvöllum og Hallormsstað á fjórum dýpum. Greinilegt er að breytileiki í mælingum fyrstu árin á Hallormsstað, 1996–1999, er meiri en seinna á mælitíma. Líklega hefur verið skipt um mæla árið 1999 og/eða dýpi lagfært. Dýpsti mælirinn sýnir óraunhæfar mælingar að vetri til á fyrra mælitímabilinu. Á Möðruvöllum var skipt um nema 18. október 2005 og er ekkert samræmi á milli mælinga fyrir og eftir þá breytingu. Mögulega var ekki mælt á sama dýpi fyrir 2005. Einnig er óeðlilega mikill breytileiki, einkum í dýpstu mælingum, veturinn 2016–2017.

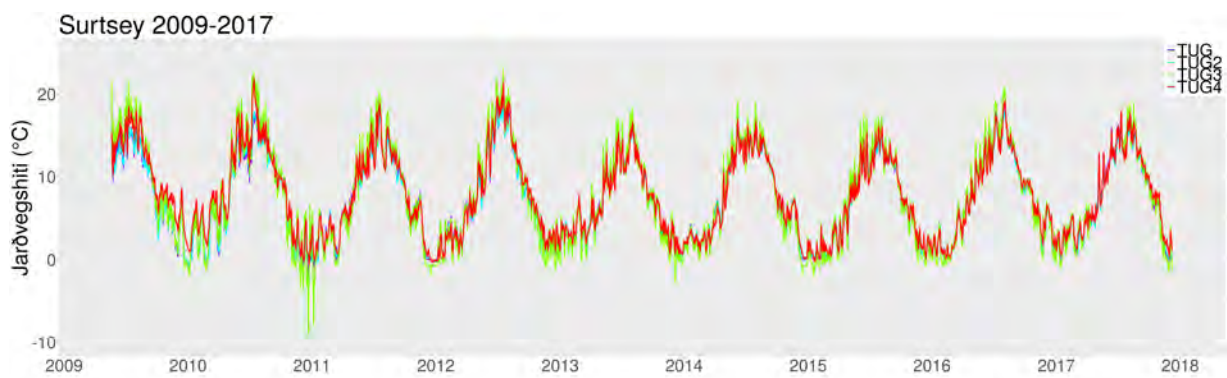
Mynd 25 sýnir meðaltöl allra mælinga á Hallormsstað á tímabilinu 2000–2017 og á Möðruvöllum 2007–2017, fyrir hvern almanaksdag og á öllum dýpum. Hitastigullinn í jarðveginum á Hallormsstað breytist síðar, en frá um 1. október til 1. maí er hlýrra því neðar er komið í jarðvegin, en annars hlýjast við yfirborð. Það má því segja að sumarið komi u.þ.b. tveimur vikum seinna á Hallormsstað. Það er meiri munur að sumri til milli efstu tveggja mældýpanna á Möðruvöllum en á Hallormsstað en einnig hlýnar meira yfir sumarið á öllum dýpum á Möðruvöllum. Að meðaltali er hiti í efstu lögum við frostmark í janúar til mars.



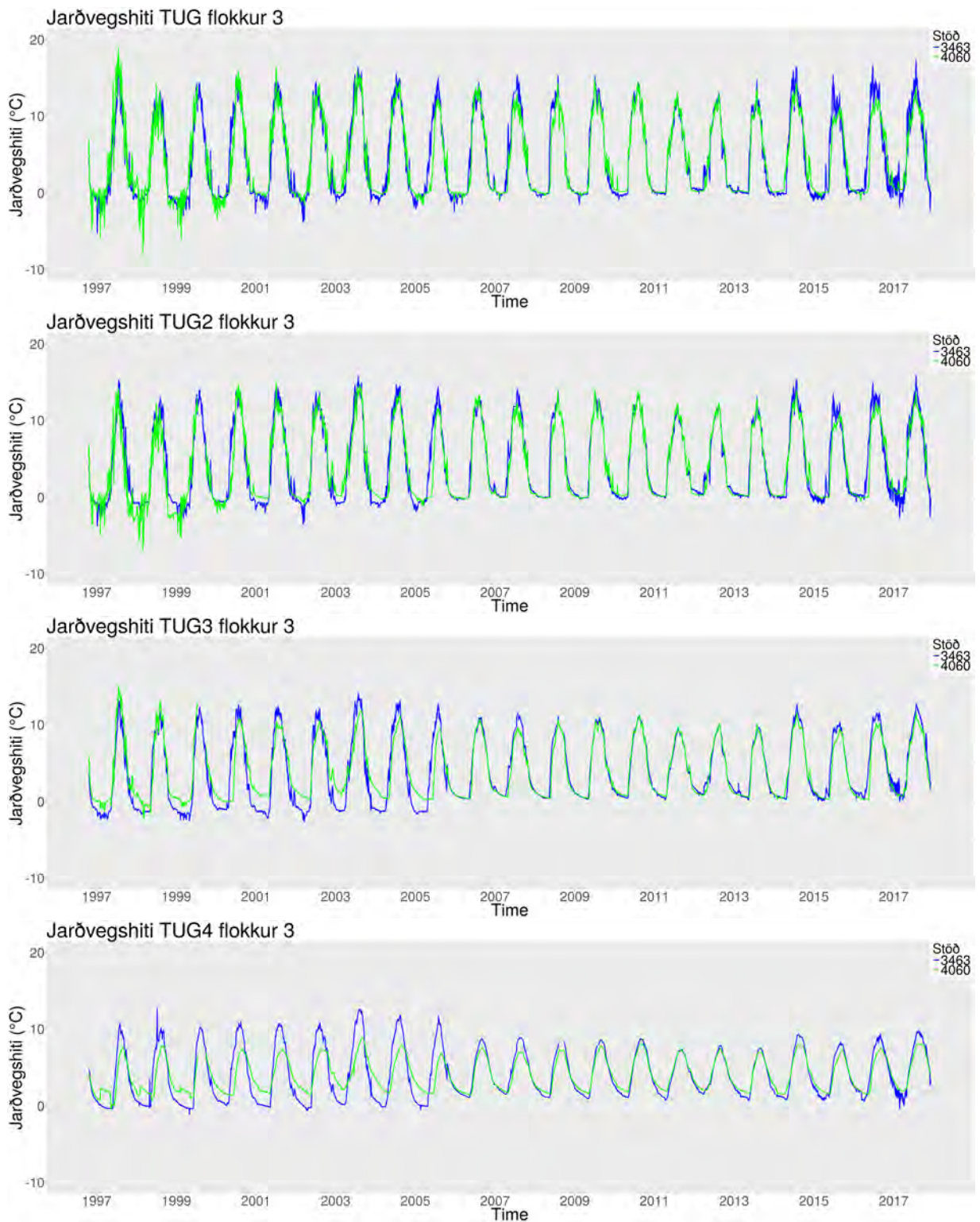
Mynd 21. Suðurland: Jarðvegshiti ($^{\circ}\text{C}$). Þykkvibær (6208) og Sámsstaðir (6222).



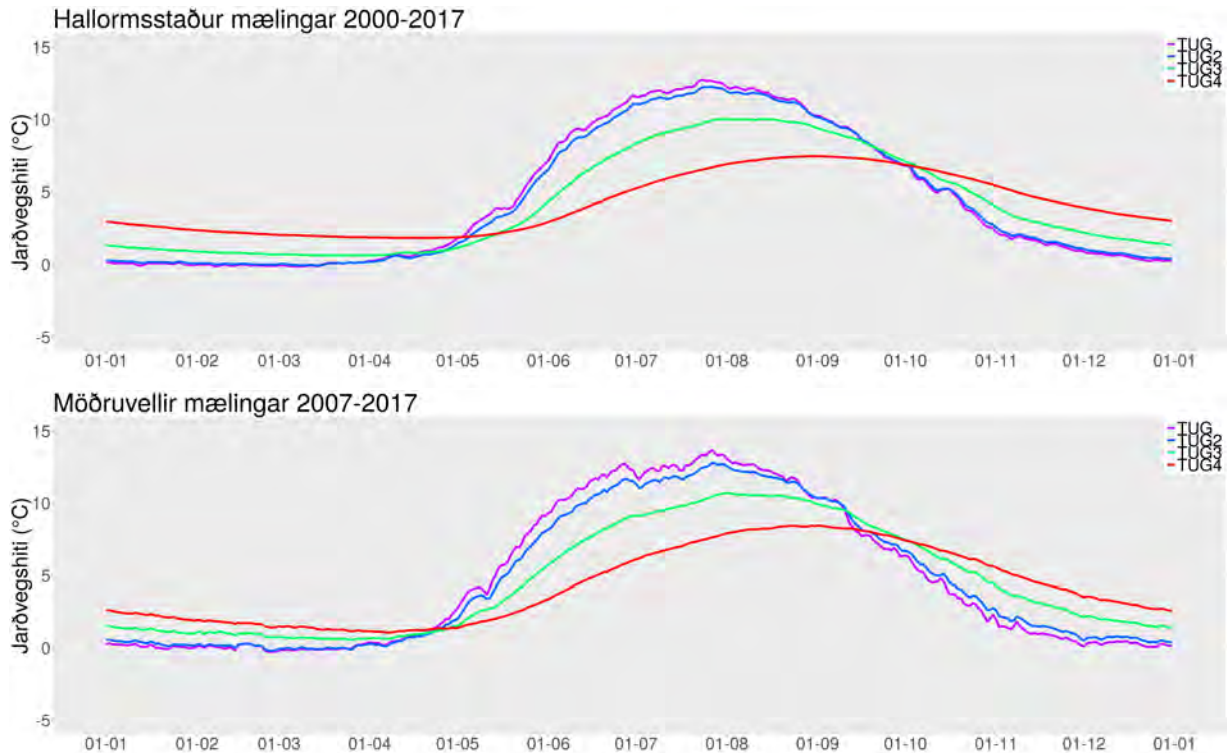
Mynd 22. Sámsstaðir: Meðaljarðvegshiti (°C) fyrir hvern almanaksdag og á fjórum dýpum. Sjálfvirkar athuganir 2000–2017.



Mynd 23. Surtsey: Jarðvegshiti (°C).



Mynd 24. Austurland: Jarðvegshiti (°C). Möðruvellir (3463) og Hallormsstaður (4060).



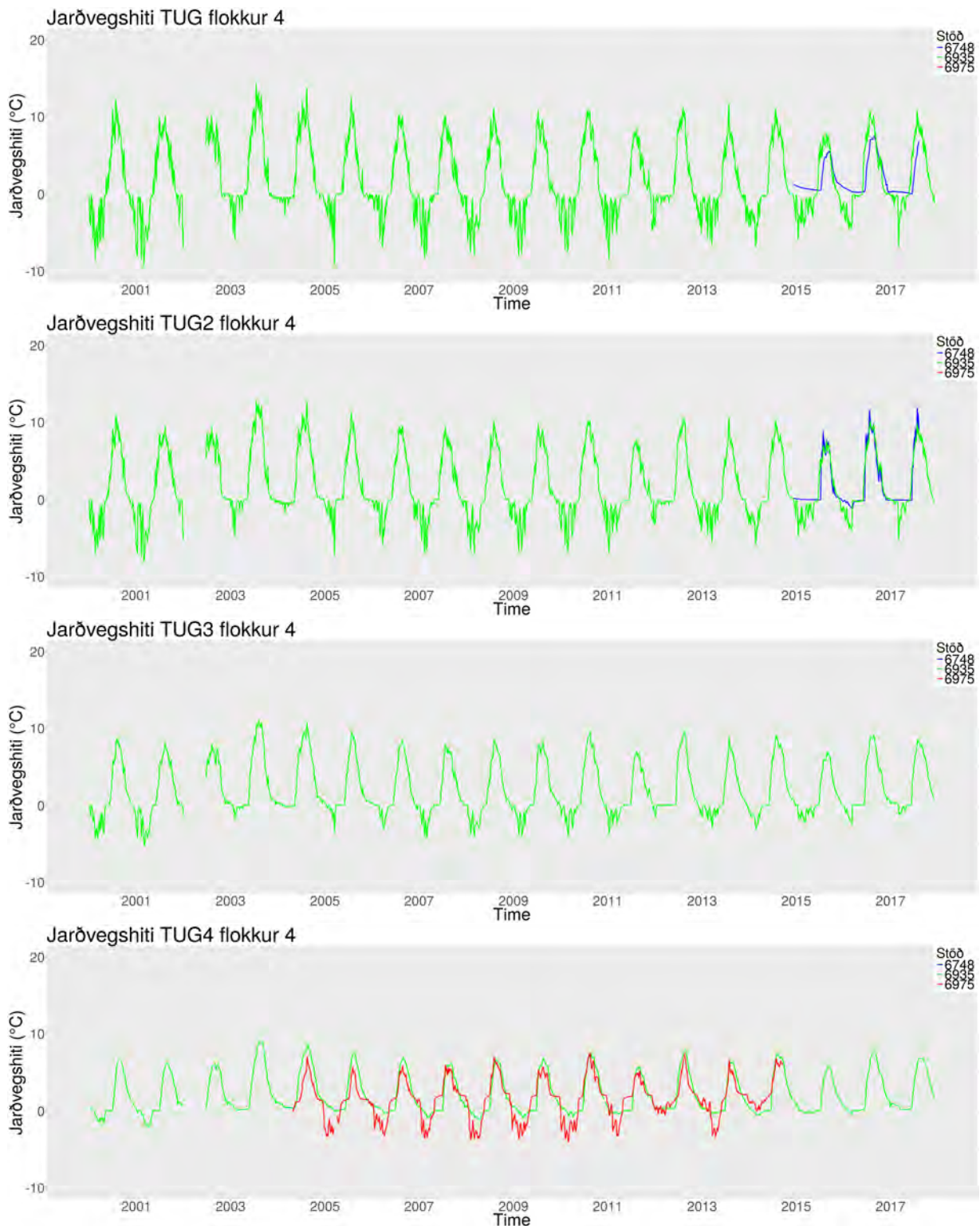
Mynd 25. Meðaljarðvegshiti ($^{\circ}\text{C}$) fyrir hvern almanaksdag og á fjórum dýpum á Hallormsstað og Möðruvöllum. Sjálfvirkar athuganir 2000–2017.

Hálendið

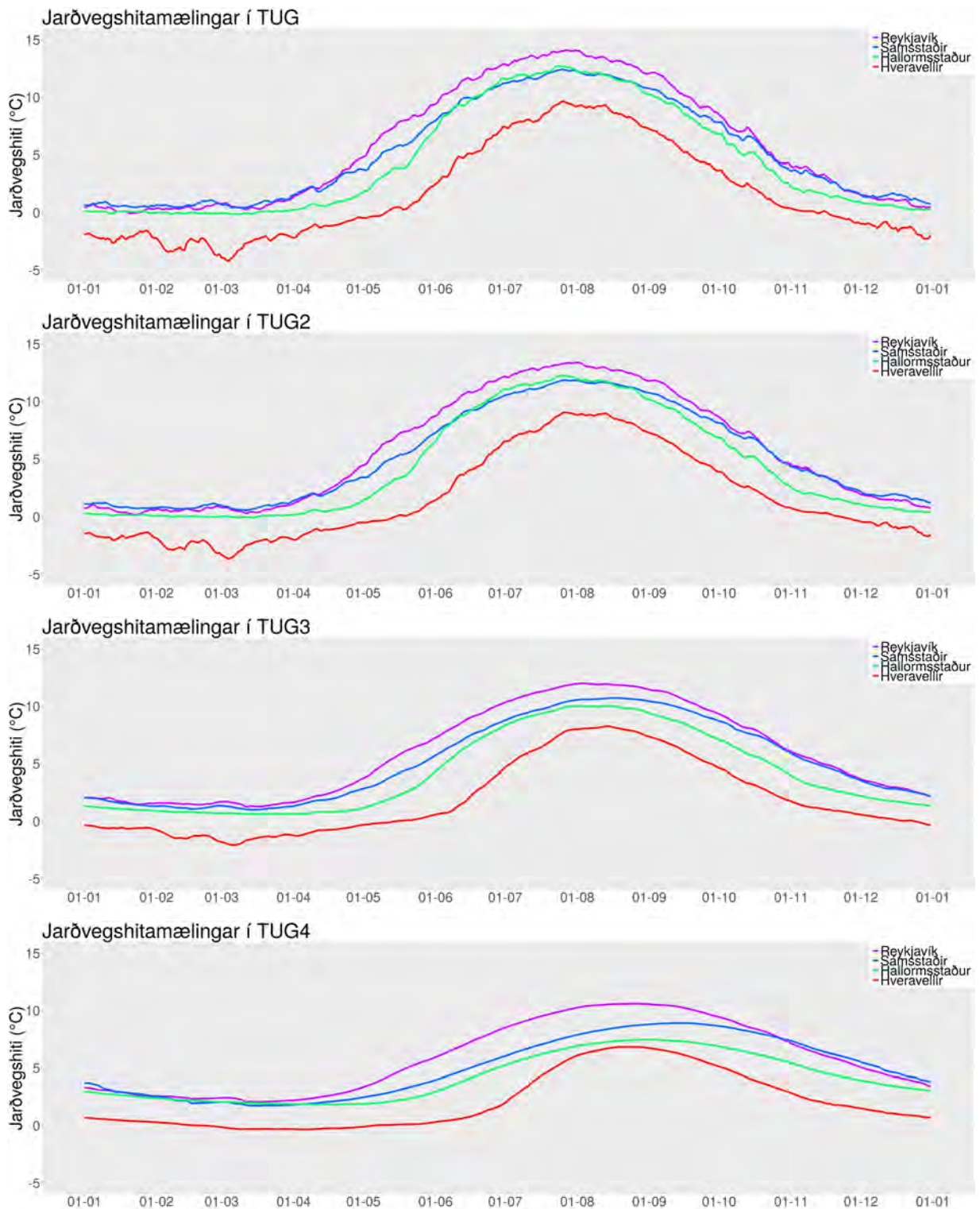
Mynd 26 sýnir tímaraðir frá veðurstöðvunum Setri, Hveravöllum og Sandbúðum í fjórum dýpum. Einungis á Hveravöllum hefur verið mælt í öllum dýptum og yfir lengra tímabil. Á Setri hefur verið mælt á tveimur dýpum síðan 12. desember 2014. Grynri mæliröðin er þó mjög grunsamleg vegna þess hve mjúk hún er, miðað við Hveravelli og miðað við dýpri mæliröðina. Greinilegt er að hér eru skráningar dýpis rangar. Neðri mæliröðin er sæmilega sambærileg mæliröðinni á Hveravöllum á 20 cm dýpi að sumri til en ef marka má mælingarnar hafa þessar vetur verið snjóþungir á Setri þar sem hitastig er að mestu við frostmark. Á veðurstöðinni Sandbúðum er jarðvegshiti skráður á dýpsta dýpi. Það er þó alltof mikill breytileiki í gögnunum til þess að mælingarnar geti verið á miklu dýpi. Einnig eru sérkennilegir kaflar flest ár þar sem hiti helst um tíma í kringum 2°C . Þessi gögn verður að meta sem óáreiðanleg.

6.4 Samanburður þvert á landsvæði

Það er áhugavert að bera saman mælingar á svipuðu dýpi á mismunandi stöðum á landinu. Mynd 27 sýnir samanburð á mælingum í Reykjavík og á Sámsstöðum, Hallormsstað og Hveravöllum. Hveravellir skera sig út með mun lægri hita en á öðrum stöðvum, enda stöðin staðsett á hálendinu. Þetta er eina stöðin sem er að meðaltali með hita undir frostmarki í efstu lögum yfir vetrartímann, en einnig sú stöð sem sýnir mestu hlýnun neðar í jarðveginum á sumrin. Áberandi er einnig að hlýnun á vorin hefst nokkuð seinna á Hallormsstað en í Reykjavík og á Sámsstöðum, þ.e. það er lengur snjór og ís í jarðvegi á Hallormsstað. Þar er kólnun að hausti einnig skarpari en á hinum tveimur láglandisstöðvunum.



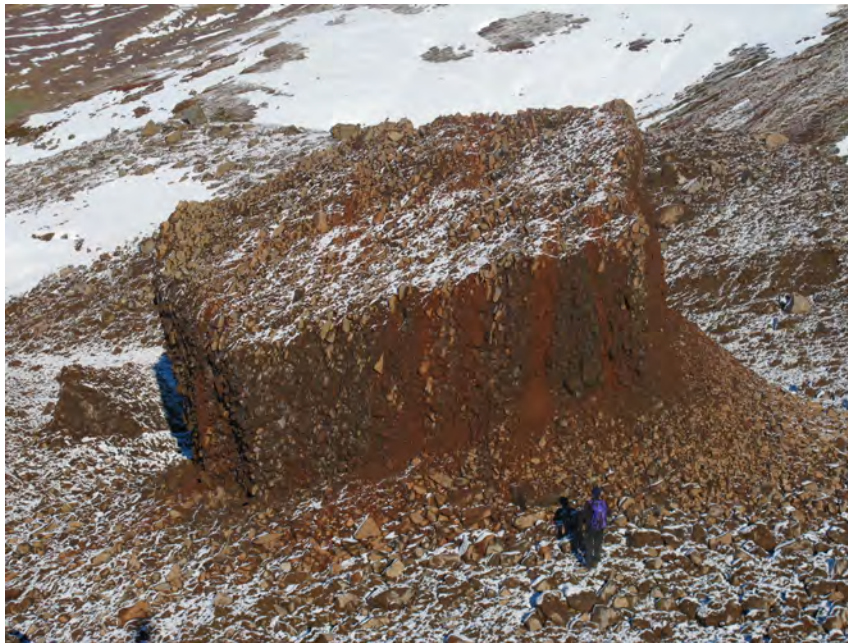
Mynd 26. Hálandið: Jarðvegshiti (°C). Setur (6748), Hveravellir (6935) og Sandbúðir (6975).



Mynd 27. Samanburður á meðaljarðvegshita (°C) á fjórum stöðum fyrir hvern almanaksdag. Meðaltölin eru yfir mislöng tímabil.

7 Niðurlag

Jarðvegshitamælingar eru hluti af veðurmælaneti Veðurstofu Íslands. Upphaflega voru mælingarnar búveðurmælingar en komið hefur í ljós að jarðvegshita er einnig þörf til að lýsa yfirborðsástandinu sem best og þar með ferlum við yfirborð sem hafa áhrif á veður. Á síðustu árum hefur því verið kallað eftir slíkum mælingum til gagnahermunar í yfirborðslíkönun, en þróun veðurlíkana kallast á við þróun slíkra líkana. Í viðbót eru jarðvegshitamælingar mikilvægar til að meta ástand í fjallshlíðum, þ.e. hættu á skriðum. Með hlýnun eykst hættu á skriðuföllum, einkum þar sem sífreri í fjalllendi bráðnar og við það dregur úr styrk lausra jarðalaga. Nokkur skriðuföll hafa orðið á síðustu árum úr þelaurðum í fjallshlíðum, sem einnig kallast sífreri eða grjótjökull, mynd 28.



Mynd 28. Íshraukur, þ.e. mikið magn lausefna sem er límt saman með ís (~ 20-30% hlutfall af ís) sem kom niður með skriðu sem að féll 20. September 2012 úr norðanverðri Móafellshyrnu í Fljótum, sjá grein Þorsteins Sæmundssonar ofl. (2018). Íshraukurinn er 4 m á hæð og 12 m á breidd. Ljósmynd Jón Kristinn Helgason.

Í þessari skýrslu er lagt mat á núverandi net jarðvegshitamæla á Íslandi og allar mælingar sem aðgengilegar eru á rafrænu formi á Veðurstofu Íslands skoðaðar. Nokkur atriði koma skýrt fram í skýrslunni varðandi núverandi mælinet:

- Skráning á mælum við upphaf mælinga er ábótavant í nær öllum tilvikum. Einu aðgengilegu upplýsingarnar um staðsetningu mæla og aðstæður, t.d. jarðvegsgerð eru fyrir mæla á Hveravöllum og að hluta til á Korpu.
- Í flestum tilvikum hefur lítið sem ekkert eftirlit verið með mælunum á mælitíma. Á Möðruvöllum var skipt um mæli hausti 2005 en hvergi er að finna skráningu á ástæðu þess. Ljóst er að mælingar fyrir og eftir skipti eru ekki sambærilegar. Einhverjar breytingar hafa líka orðið á mælingum á Hallormsstað við aldamótin.

- Í þeim tilvikum þar sem jarðvegshitamælingar eru óáreiðanlegar og ekki nothæfar til neinnar úrvinnslu, s.s. í Jökulheimum, þyrfti að fjarlægja gögn úr úrvinnslugagnatöflum sem og hætta að safna gögnum nema von sé um að mælingum verði komið á ásætlanlegt form.
- Á nokkrum stöðum eru nú þegar komnar langar tímaraðir jarðvegshitamælinga og því mikill fengur í að þeim sé viðhaldið.
- Taka þarf ákvörðun um hvort að eigi að gera átak í að koma eldri mönnum mælingum á rafrænt form, sem og að gera eldri sjálfvirkar mælingar aðgengilegar.

Af þeim 12 veðurstöðvum sem mæla, eða hafa mælt, jarðvegshita er frá fjórum stöðvum aðgengilegar og áreiðanlegar tímaraðir jarðvegshita sem spanna um eða yfir 20 ár: Hallormsstöðum, Hveravöllum, Korpu og Sámsstöðum. Aðgengileg tímaröð frá Hveravöllum, mannaðar og sjálfvirkar mælingar, spannar 41 ár frá 1977 og mannaðar mælingar á Korpu 27 ár, 1987–2013. Í báðum þessum tímaröðum má skýrt sjá merki hlýnunar í jarðvegi, að meðaltali 0.3–0.4°C á áratug á Hveravöllum, en 0.5–0.6°C á Korpu. Á Hveravöllum hefst haustkólnun um 2–3 vikum síðar en á níunda áratug síðustu aldar og sumarhiti hefur farið hækkandi. Hljú árin 2002–2004 eru vel merkjanleg í jarðvegshita. Á Korpu hefur sumarhluti ársins lengst um u.þ.b. mánuð og einnig hlýnað utan köldustu vetrarmánaða, en þá kann snjór og ís að stjórna hitastigi. Líklega er að hlýnunin á Korpu sé lýsandi fyrir breytingar á jarðvegshita á láglandi, a.m.k. á sunnanverðu landinu.

Eins og nefnt var í upphafi þá voru jarðvegshitamælingar einkum hugsaðar sem hluti af búðveðurmælingum í upphafi. Með þróun veðurlíkana og þeim tengdum líkönum hefur orðið meiri þörf fyrir slíkar mælingar til að gefa sem besta mynd af ástandi í yfirborðinu. Einnig er þörf fyrir að bæta við jarðvegsrakamælum en engir slíkir eru í jarðvegsmælinetinu. Jarðvegsraki hefur mikið að segja fyrir uppgufun sem og hvort að jarðvegurinn geti tekið við meira vatni. Tengja má mörg vatnsflóð að vetri við mikla úrkomu þar sem áhrif vatnsins magnast við það að ís er í efri jarðlögum og jarðvegurinn því ómóttækilegur fyrir vatni sem í staðinn streymir á yfirborðinu. Sem dæmi má nefna að ís í jörðu hefur líklega magnað vatnsflóð sem menguðu vatnból Reykvíkinga í apríl 1962, febrúar 1968 og janúar 2018, sjá greinagerð Guðrúnar Nínu Petersen (2018). Jarðvegshiti og -raki eru einnig mikilvægir þættir fyrir skriðuvöktun, ekki síst í hlýnandi loftslagi þar sem sífreri í fjalllendi bráðnar og fjallshlíðar verða óstöðugri (Jón Kristinn Helgason & Sveinn Brynjólfsson, tölvupóstur 22. og 23. febrúar 2018). Til að vakta náttúruvá og bæta veðurspár er því ljóst að þörf er að bæta við jarðvegsrakamælum auk þess sem að báðum gerðum mæla þyrfti að koma fyrir á fleiri stöðum á landinu. Til dæmis eru engar jarðvegshitamælingar á Austfjörðum og Vestfjörðum, sjá mynd 1. Nauðsynlegt að gera átak og grafa niður á þá mæla sem eru í rekstri til að kanna á hvaða dýpi þeir eru og hvort þörf sé á því að færa þá til, ef dýptarbreyting hefur orðið á rekstartíma.

Til að mælingar í jarðvegi nýtist sem best þyrfti að uppfylla eftirfarandi þætti:

- Góð lýsing á staðarháttum, s.s. jarðvegsgerð, þarf að skrá.
- Almennt eftirlit, allar breytingar og ástæður breytinga þarf að skrá vel, s.s. þegar skipt er um nema.

- Bæta þarf við fleiri stöðvum sem nýtast við skriðuvöktun og veðurspágerð.
- Bæta þarf við jarðvegsrakamælum.

Jarðvegshita- og rakamælingar eru gott dæmi um veðurmælingar sem hafa lítið gildi nema mæliraðir séu langar og áreiðanlegar. Í fyrsta lagi er mikilvægt að vita hvenær dægur- og árs-tíðasveiflur eiga sér stað, hvort breytingar gerist yfirleitt á tiltölulega svipuðum tíma og hve stór dægur- og ársspönnin er. Í öðru lagi skiptir miklu að geta metið við atburði, s.s. frost í jörðu, skriðuföll og vatnsflóð, hvort að ástandið í jarðveginum sé eins og við er að búast eða hvort um óvenjulegar aðstæður sé að ræða. Í þriðja lagi er mikilvægt að skilja hvort breytinga er vart í jarðveginum. Þetta er mikilvægt fyrir vöktun á skriðuföllum, en getur einnig skipt máli við skipulagningu umhverfis. Í fjórða lagi er mikilvægt fyrir nýtingu rauntímagagna, t.a.m. við veðurspágerð og skriðuvöktun, að geta auðveldlega metið hvenær gögnin eru óáreiðanleg og því ónothæf. Það er því mikill fengur í að viðhalda mæliröðum og bæta við mælum á stöðvum sem styrkja beint vöktun Veðurstofu Íslands á náttúru Íslands.

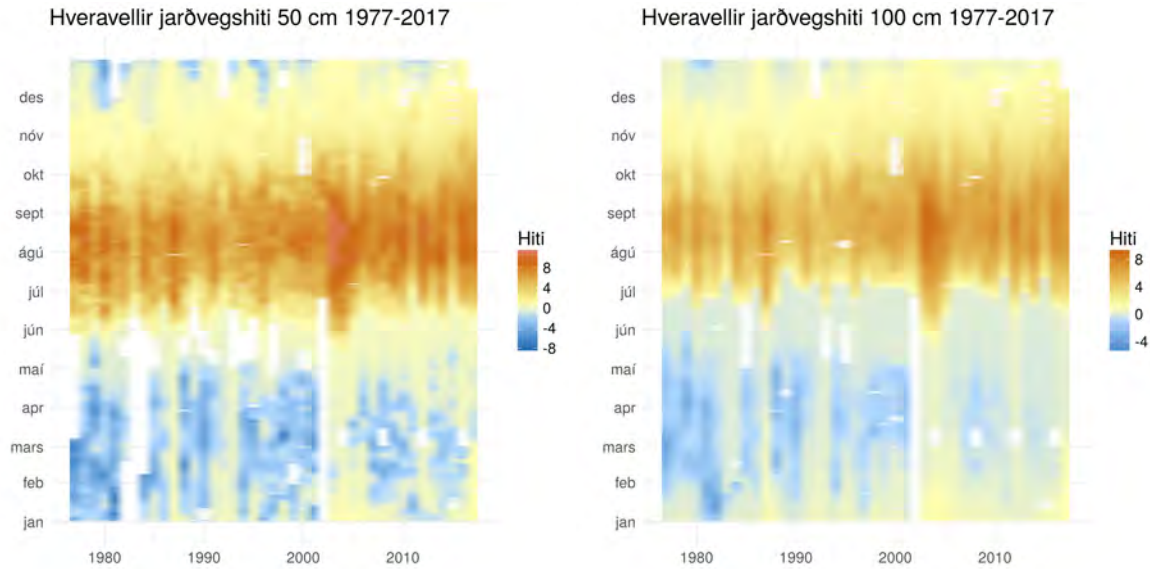
8 Heimildir

- Bray N. C. & R. R. Weil (2004). *Elements of the Nature and Properties of Soils, Second edition*. Essex: Pearson Education Limited.
- Flosi Hrafn Sigurðsson, Þórunn Pálsdóttir & Torfi Karl Antonsson (2003). *Veðurstöð og veðurfar á Hveravöllum á Kili*. Rit Veðurstofu Íslands 20.
- Guðrún Nína Petersen (2018). *Veður í Reykjavík og á Hólmsheiði desember 2017 – janúar 2018*. Greinagerð Veðurstofu Íslands.
- Hilmar Garðarsson (1999). *Saga Veðurstofu Íslands*. Reykjavík: Mál og Mynd.
- Hreinn Hjartarson (1973). Jarðvegshiti og jarðvegshitamælingar. *Veðrið, 18. árgangur, 1. hefti*, 7–10.
- Thordarson, S., Jonasson, N., Sveinbjornsson, E., Thorolfsson, A.H. & Bjornsson, G.O. (2010). Real-time frost depth forecast model for thaw-induced axle load limitation management. *Proceedings of XIIIth PIARC Winter Road Congress, Quebec, February 8-11, 2010*.
- Þorsteinn Sæmundsson, Costanza Morino, Jón Kristinn Helgason, Susan J. Conway & Halldór G. Pétursson (2018). The triggering factors of the Móafellshyrna debris slide in northern Iceland: Intense precipitation, earthquake activity and thawing of mountain permafrost. *Science of The Total Environment, 621*, 1163-1175. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.111>.
- Zhang T. (2004). Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview. *Reviews of Geophysics, 43*, RG4002.

Viðaukar

I Daggildi jarðvegshita á Hveravöllum

Mynd 29 sýnir daggildi jarðvegshita á Hveravöllum á 50 cm og 100 cm dýpi. Sjá má að hiti er oftar við frostmark að vetri í 50 cm á síðustu árum en við upphaf tímaraðar. Einnig kólnar seinna á veturna á 100 cm dýpi.



Mynd 29. Daggildi jarðvegshita ($^{\circ}\text{C}$) á 50 cm og 100 cm dýpi. Almanaksdagar eru á lóðréttum ási en ártöl á láréttum. Mannaðar og sjálfvirkar athuganir 1977–2017.