

Greinargerð vegna styrks árið 2013 af tilraunafé til samvinnu um rannsóknir á Grímsvatnahlaupum.

Jöklahópur Jarðvísindastofnunar Háskólans (umsjón: Finnur Pálsson, fp@hi.is)
Sturlugata 7, 101 Reykjavík

Við sendum hér með niðurstöður af samvinnu um verkefnið Grímsvatnahlaup: vatnsgeymir, upphaf og rennsli. Um er að ræða yfirlit yfir könnun á aðstæðum við Grímsvötn: vatnshæð, legu vatnsrása, mat á þykkt íshellu, flatarmáli og rúmmáli Grímsvatna, hæð og styrk ísstíflu, mat á líklegu hámarksrennsli í hlaupum, mælingum á rennsli úr Grímsvötnum, mati á núverandi stöðu í Grímsvötnum og áframhaldandi vöktun ísstíflu. Einnig afkomu ísaviðs Grímsvatna, lögum þess og ísskrið, og afrennsli leysingavatns til þeirra.

Mælistöð í Grímsvötnum.

Eins og mörg undanfarin ár voru rekin mælitæki í Grímsvötnum til að fylgjast með vatnshæð.

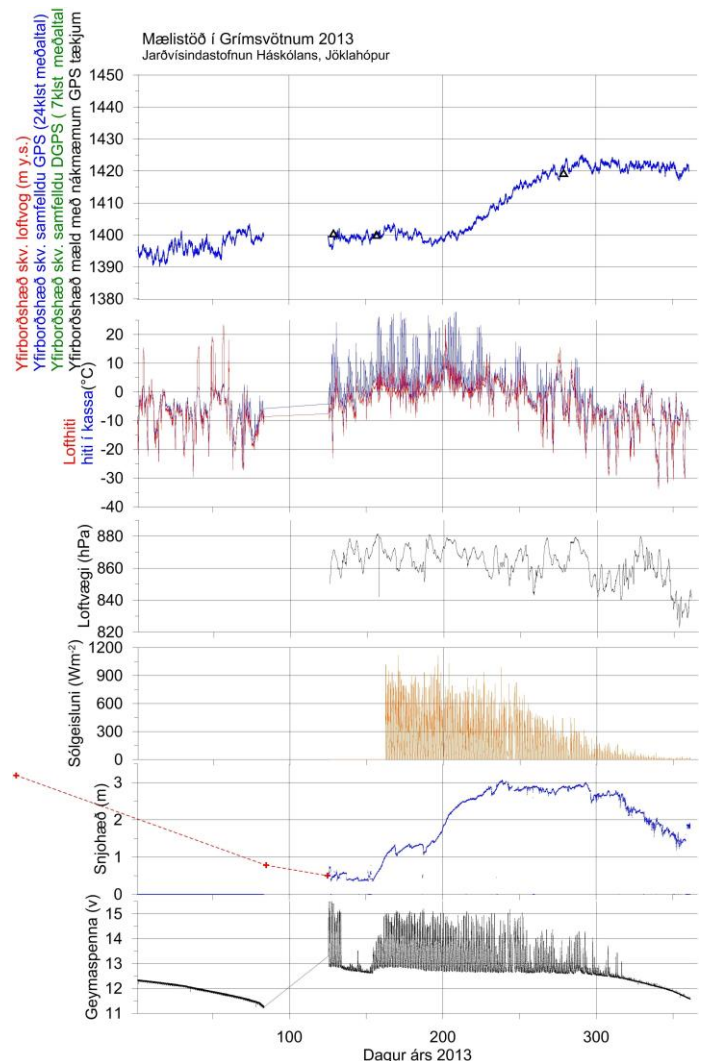
Skráðar voru mælingar á meðalloftvægi (nákv. ~ 0.2 mb) hverra 15 mínútna og einnig hitastig (nákv. ~ 0.5 °C) auk snjóhæðar, sem mæld er með hljóðbylgjumæli sem komið er fyrir á slá efst á mælitækjamastri. Einföldum geislunarmæli fyrir stuttbylgjugeislun (sólgeislun) var bætt við í júní 2013.

Tvö GPS tæki mæla og skrá staðsetningu og hæð mastursins, hnit frá öðru tækinu eru skráð með veðurgögnunum (á 6 mínútna fresti, nákvæmni hvernar mælingar í hæð ~ 5 -20 m), en hitt skráir í innbyggða gagnageymslu (á 5 mínútna fresti, nákvæmni í hæð ~ 2 -5 m).

Þegar komið var við í mælistöðinni í marslok til að skipta um loftvog (sú gamla reyndist ónýt vegna tæringar haustið 2012) fór ekki betur en svo að stöðin missti alveg afl vegna rangra tenginga; þetta var ekki lagfært fyrr



Mynd 1. Mælistöð í Grímsvötnum í maí 2013, (ljósm. FP).



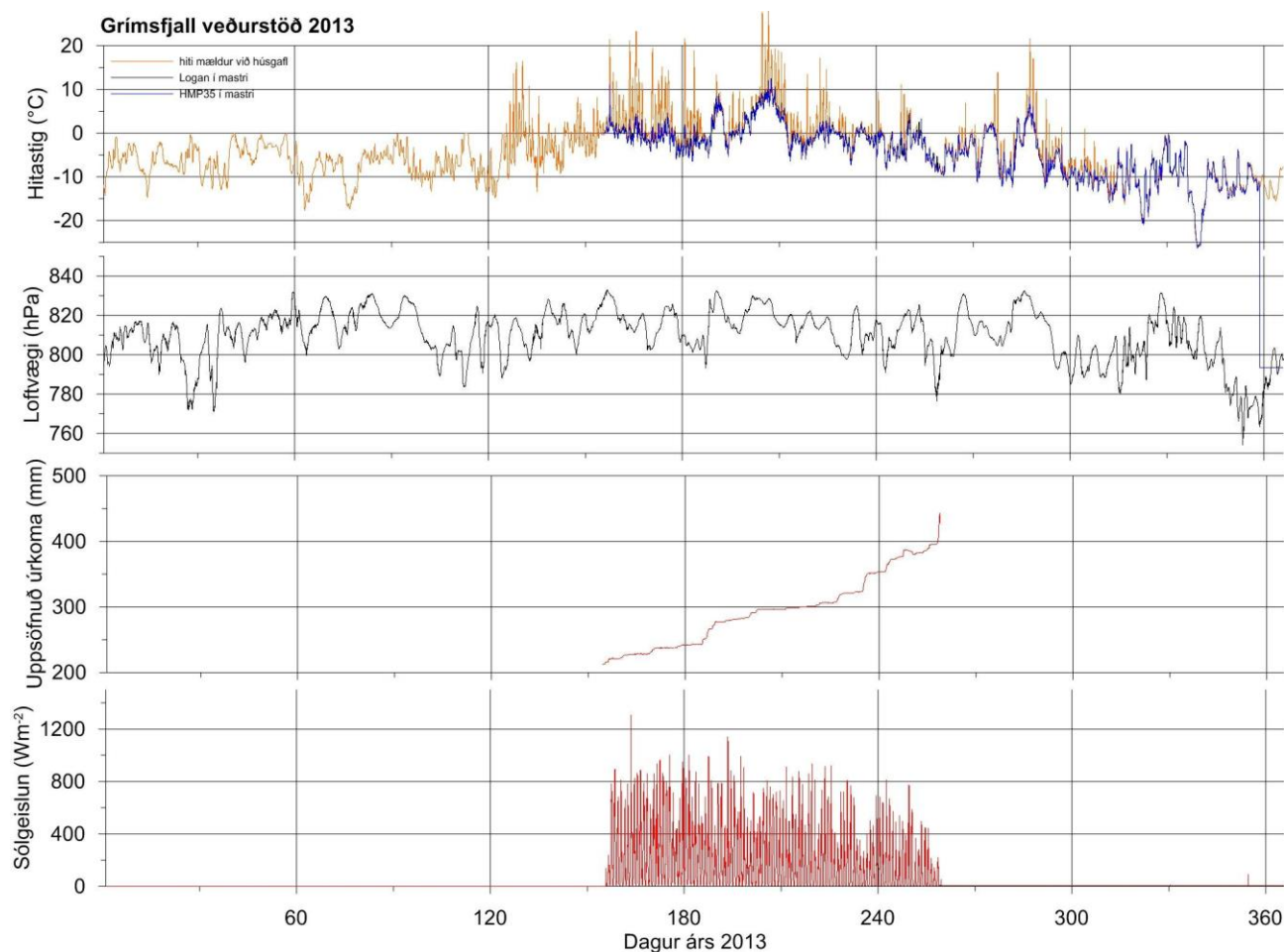
Mynd 2. Yfirlit yfir mælingar í sjálfvirkri mælistöð í Grímsvötnum á árinu 2013.

en í maí byrjun í afkomumælileiðangri. Þannig voru engar mælingar í rúmlega einn mánuð.

Að öðru leiti gengu mælingar vel, yfirlit mælinga á yfirborðshæð íshellu og veðurþáttum eru sýnd á 2. mynd.

Á Grímsfjalli er einnig rekin veðurstöð sem safnar gögnum um hitastig, loftvægi og sumarúrkomu (3. mynd). Gögn um hitastig og loftvægi nýtast til reikninga á vatnshæð Grímsvatna eftir stigli hita og loftþrýstings með hæð, ef gögn frá GPS tækjunum bregðast. Nákvæmstu mælingar hitastigs eru sýndar með svörtum og bláum ferlum. Þeir skynjarar, ásamt sólgeislunarmæli, eru á sérstöku mastri (röri) sem flesta vetur sligast undan ísingu, en appelsínuguli ferillinn er frá hitaskynjara á vestur skálavegg, þar gætir mjög upphitunar frá sólu eftir að eftir að sól fer að hækka á lofti. Á vetrum eru gæði þeirrar mælingar ágæt.

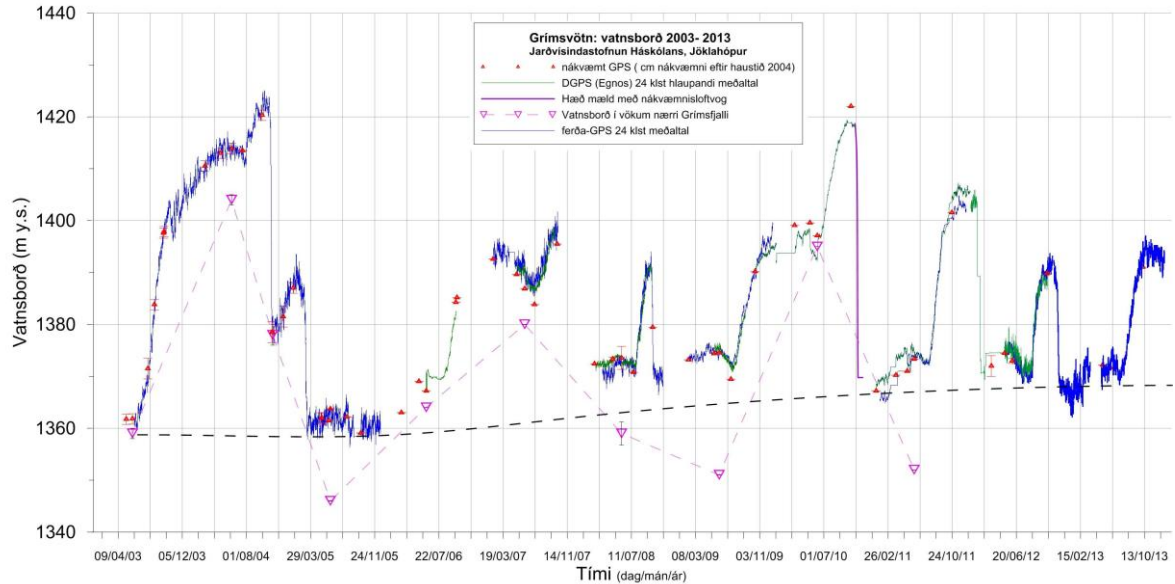
Veðurgögnin nýtast einnig sem almenn veðurgögn, meðal annars til mats á orkubúskap og við gerð afkomulíkana af Grímsvatnasvæðinu.



Mynd 3. Yfirlit yfir mælingar í sjálfvirkri mælistöð á Grímsfjalli á árinu 2013.

Vatnshæð og vatnssöfnun í Grímsvötnum

Yfirlit yfir mældu vatnshæð frá ársbyrjun 2003 til ársloka 2013 er sýnt á 4. mynd.



Mynd 4. Vatnshæð Grímsvatna frá ársbyrjun 2003 til ársloka 2013.

Í ársbyrjun 2013 var mjög lítið vatn í Grímsvötnum. Á árinu 2012 voru tvö jökulhlaup frá Grímsvötnum, annað um mánaðarmótin febrúar mars en hitt í nóvemberlok. Í kjölfar seinna hlaupsins safnaðist lítið sem ekkert vatn innundir íshelluna fyrr en á miðju sumri 2013 eftir að veruleg ofanbráð fór að renna til Grímsvatna. Bráðnun vegna jarðhita er að mestu bundin við suður og vesturjaðar vatnanna og stök jarðhitasvæði norðan og austan þeirra. Þegar íshellan er í mjög lágri stöðu er lítið eða ekkert vatnssamband milli megin hluta vatnanna og rennunar sem nú liggur meðfram nær allri suður og vesturbrúninni. Jarðhitavatn fer að mestu í rennuna og lægðina í SV krikanum sem myndaðist í gosunum 2004 og 2011. Þetta vatn virðist að miklu leiti renna burt nær jafnóðum (eða í smáum atburðum) með Grímsfjalli til austurs og þaðan um rennislleiðir við jökulbotn að jaðri og að lokum í Gígjukvísl. Eftir að ofanbráð hefur safnast fyrir undir íshellunni miðri og hún hefur lyfst um ~10-15 m verða tengsl milli vatnsins þar og þess sem er í rennunni með fjallinu; eftir það getur jarðhitavatnið þaðan runnið til Grímsvatna auk vatns úr jarðhitakötlunum vestan og norðan þeirra. Vatnssöfnun í Grímsvötn sumarið 2013 fylgdi sama takti og síðustu ár, vatn fór skyndilega að safnast fyrir eftir að leysing á yfirborði varð veruleg og hætti aftur í kjölfar þess að haustaði og leysing stöðvaðist. Það virðist svo að sírennsli frá Grímsvötnum nái að jafnaði að halda í við bráðnun vegna jarðhita en ekki þegar ofanbráðin bætist við. Það líka hugsanlegt að aukin hreyfing íssins, þegar leysingavatn er farið berast til botns í verulegum mæli, loki fyrir rennislleiðir sem sírennsli er um að vetri og fram á sumar.

Jökulhlaupaannáll Grímsvatna síðasta áratug.

Eftir jökulhlaupið um mánaðamótin október nóvember 2004 safnaðist fyrst í stað lítið vatn í Grímsvötn. Vötnin tæmdust ekki í því hlaupi (vatnshæð í lok hlaups var um 1380 m og rúmmál vatns um 0.2 km³). Hæsta vatnsstaða eftir þetta var um 1385 m (rúmmál vatns um 0.26 km³) nærri miðjum febrúar 2005. Eftir það jókst leki og endaði með smáhlaupi í byrjun mars 2005. Þá tæmdust vötnin og í hlaupinu runnu 0.25-0.3 km³ til Skeiðarár frá Grímsvötnum.

Frá því í hlaupinu í marsbyrjun 2005 til loka júlí 2006 hafði nær ekkert vatn náð að safnast í Grímsvötn. Frá ágúst 2006 til miðs nóvember safnaðist vatn fyrir og náði vatnsborð hámarki um 1395 m. Þann 8. febrúar 2007 var vatnshæðin 1393 m, nær óbreytt síðan í nóvember. Vatnsborð lækkaði jafnt og þétt og var 8. júní orðið 1387 m og lækkaði enn til u.þ.b. 15. júlí var þá 1384 m (vatnsmagn er um 0.3 km³). Eftir það náði vatn að safnast fyrir, lekinn hafði ekki undan innstreymi bræðsluvatns af yfirborði. Það hægði á hækkininni eftir að yfirborðsleysing datt niður í byrjun september. Vatnshæðin var orðin um 1396 m 10. október, um 6 m hærra en var fyrir smáhlaupið í febrúar 2005. Lítið hlaup varð frá Grímsvötnum um mánaðamótin október nóvember 2007, vatnshæð fyrir það hlaup var nærri 1398 m en 1372 m í lok þess. Rúmmál þessa hlaups var því nærri 0.25 km³. Eftir þetta hlaup verður enn á ný sírennsli úr vötnunum en í síðustu viku júlí 2008 fer vatn að safnast hratt fyrir í Grímsvötnum, en hægir á í annarri viku september. Þetta endar með hlaupi um mánaðamótin september október 2008, verulegt útrennsli hefst 24. september en líkur 1. október. Vatnshæð í upphafi hlaups var 1392 m en 1370 í lok þess, rúmmál hlaupvatns nærri 0.19 km³. Nú varð enn sírennsli úr Grímsvötnum; allt bræðsluvatn rann þaðan jafnharðan. Undir lok júlí 2009 varð breyting á og vatn fór að safnast fyrir í Grímsvötnum. Um miðjan október 2009 var vatnshæð orðin ~1394 m. Rishraðinn varð minni þegar leið á veturinn, mest vegna þess að sumarleysingavatn af yfirborði hafði allt skilað sér, en að hluta vegna þess að sífellt stærri hluti íshellunnar fer á flot (meira rúmmál fyrir hvern metra í hækkin); vatnshæð orðin ~1404 m 14. mars 2010. Ris íshellunnar var með svipuðu sniði 2010 og var 2009, leki frá Grímsvötnum hafði undan innrennsli þar til á miðju sumri, þegar yfirborðsleysing hófst að ráði. Í sumarlok var vatnsborð orðið jafnhátt og fyrir hlaupið (og gosið) 2004, vatnsborð 1420 m og ~0.7 km³ vatns safnast fyrir. Hlaup varð úr Grímsvötnum 23. október til 5. nóvember. Sig íshellunnar (og þá einnig vatnsborðs) var mælt með loftvogum á Grímsfjalli og í Grímsvötnum. Með því að tengja sigferilinn við lýsingu á rúmmáli vatns sem fall af vatnshæð var gerður rennslisferill vatns frá Grímsvötnum (5. mynd). Hámarksrennsli frá Grímsvötnum er skv. þessu um 2500 m³s⁻¹, frá ~kl. 2-8 aðfaranótt 3. nóvember, en frá hádegi fram á síðdegið við Gígjubrúna skv. mælingum Vatnamælinga Veðurstofu. Hlaupið má einnig greina á jarðskjálftamæli á Grímsfjalli. Órói á hærri tíðniböndunum óx jafnt og þétt þegar vatn byrjaði að renna frá Grímsvötnum. Óróinn er vegna niðs í sívaxandi magni rennandi vatns (líklega er vatn þó búið að renna frá Grímsvötnum í tæpa viku (23-28. október) áður en hægt er sjá óróann vaxa). Þegar vatnsborðið hafði lækkað um ~30 m og hlaupið náði hámarki breyttist óróinn skyndilega. Óróakviður, sem líklega stafa af suðu í jarðhitakerfinu vegna þrýstiléttis, bættust við rennslisóróann (sem þá var minnkandi; jöklahópur JH mun í samvinnu við Pál Einarsson skoða þetta nánar). Þessi suðuórói var öflugur til að byrja með (3.-6. nóv.) en síðan í óreglulegum rokem eftir það, datt trúlega alveg niður stuttan tíma 14. nóvember (óróinn datt líka alveg niður í nokkra daga snemma í desember og aftur milli jóla og nýárs, en tók sig upp aftur). Þetta eru vísbendingar um að vatn hafi safnast fyrir í stuttan tíma og þrýstingur orðið nægur til að kæfa jarðhitakerfið. Hinn 11. janúar 2011 var yfirborðshæð íshellunnar sú sama og í hlauplok, líklegast er að íshellan hafi hvílt á botni Grímsvatna allan tímann, lítið eða ekkert vatn safnast fyrir. Ekki fór að safnast vatn í Grímsvötn árið 2011 fyrr en um mánuður var liðinn af yfirborðsleysingartímabilinu, nærri júlilokum, og hætti snögglega þegar sumarleysing hætti í september.

Eldgos í Grímsvötnum í síðustu viku maí bræddi lítinn ís, þar sem gosið var á nær sama stað og 2004: allt bræðsluvatnið rann burtu jafnóðum eða fór upp í loftið sem hluti gosmakkar. Hins vegar dreifðist aska úr gosinu um Grímsvatnasvæðið, raunar frekar lítið magn því mest af öskunni fór til suðurs yfir Háubungu og talsvert til vesturs og vestnorðvesturs yfir Tungnaárjökul í átt að Hamrinum og Köldukvíslarjökli. Sú litla aska sem þó dreifðist um Grímsvötn og norður um ísasvæði þeirra jók leysingu á svæðinu til muna, sjá nánar í kafla um afkomumælingar.

Í vetrarbyrjun 2011 var vatnshæð nálægt 1400 m Grímsvötnum og vatnsmagn um 0.4 km³.

Lítilega (5m) hækkaði í vötnunum til miðs desember. Eftir það náðist ekki samband við mælistöðina í Grímsvötnum, GSM sambandið hafði versnað svo að ekkert samband var við símamótald á Grímsfjalli (sambandið fjaraði alveg út í desember 2011). Í lok janúar 2012 bentu óróagröf frá jarðskjálfamælum auk vatnshæðar- og leiðnimæla Veðurstofunnar í Gígju til þess að Grímsvötn væru að hlaupa (28-30 janúar). Við töldum okkur þó vita að vatnsborð hefði ekki hækkað mikið í Grímsvötnum frá síðasta aflestri gagna í desember 2012 (mjög lítið hefur safnast í Grímsvötn á síðustu árum að vetrarlagi). Vatnsborð Grímsvatna mældist þann 17. mars hafa lækkað um ~25 m frá miðjum desember 2011. Mæligögnin sýna að vatnshæð í upphafi hlaups var um 1405 m og 1370 m í lok þess, vatnsmagn í upphafi hlaups um 0.5 km³ en 0.14 í lok þess. Eftir að hlaupinu lauk lækkaði enn hægt og rólega fram á mitt sumar (um ~5 m) uns íshellan settist á botn vatnanna. Eftir miðjan ágúst safnaðist hins vegar vatn í Grímsvötn, vatnsborð reis um á u.þ.b. mánuði (mest leysingarvatn af yfirborði vatnasviðs Grímsvatna) en svo sáralítið eftir miðjan september. Eftir leiðangur til afkomumælinga á Vatnajökul um miðjan október, voru gögn reglulega lesin af mælistöðinni. Eftir vinnslu lesinna mæligagna 22. nóvember sýndist okkur að það væri farið að lækka í Grímsvötnum og sendum viðvörðun til Vegagerðar um yfirvofandi hlaup:

Næstu daga var fylgst mjög nákvæmlega með og Vegagerðin upplýst um gang mála.

Þetta hlaup reyndist bæði lítið og langdregið, mun hægara en t.d. 2010 og 2008.

Á árunum 2007 og 2009 voru mæld þétt mælisnið í Grímsvötnum með íssjá, úrvinnsla þeirra gagna mun skila betra mati á rúmmáli Grímsvatnalægðarinnar og þá einnig venslum vatnhæðar og vatnsrúmmáls.

Hér að neðan er tafla með helstu kennistærðum Grímsvatnahlaupa frá 1998. Hafa þarf í huga að tölur um rúmmál og flatarmál eru úr fengnar úr stafrænum kortum af neðra borði íshellunnar og botni vatnanna frá árinu 2000. Síðan þá hefur íshellan þykkað (um ~10 m þar sem mælistöðin er og vötnin dýpst en minna eða ekkert annars staðar) og gosin 2004 og 2011 breyttu talsvert lögun íshellunnar meðfram Grímsfjalli, þó það hafi ekki veruleg áhrif á vatnsrúmmál. Þrátt fyrir þetta eru óvissa í rúmmálstölum talin minni en 0.1 km³.

	dnu-max	dnu-min	man-max	man-min	vb-max	vb-min	dz	A-max	A-min	V-max	V-min	dV	
1998,13	46,39	60,66	feb	mars	1407	1348	59,0	13,4	2,78	0,51	0,05	0,46	
1999,08	30,92	34,42	jan	jan	1390	1338	51,9	10,3	1,28	0,30	0,03	0,27	
1999,81	295,43	317,33	sept	okt	1386	1349	37,4	9,74	2,85	0,27	0,05	0,22	
2000,56	205,75	218,45	júl	agúst	1369	1350	19,0	5,56	2,9	0,12	0,05	0,07	
2001,92	337,15	353,65	des	des	1397	1391	6,8	11,6	10,5	0,38	0,31	0,08	
2002,20	72,05	106,29	feb	april	1399	1361	38,2	12	4,04	0,41	0,09	0,32	
2004,79	287,55	314,85	okt	nov	1422	1378	44,2	16,5	8,05	0,73	0,19	0,55	+0.1bráðnun
2005,18	65,59	76,72	mars	mars	1385	1361	24,6	9,57	4,04	0,26	0,09	0,17	
2007,83	301,42	304,92	okt	okt	1400	1372	27,9	12,1	6,76	0,42	0,15	0,27	
2008,72	264,37	275,17	sept	okt	1391	1369	22,0	10,7	5,82	0,32	0,13	0,19	
2010,84	304,00	309,50	okt	nóv	1419	1370	49,0	15,8	6,08	0,68	0,14	0,55	
2012,16	28,00	32,00	jan	feb	1405	1370	35,0	13,1	6,08	0,5	0,14	0,36	
2012,90	323,00	331,00	nóv	nóv	1388	1367	21,0	10,1	5,21	0,32	0,10	0,22	

Hér er da-by og da-en dagnúmer við upphaf og lok hlaups

Zw-max og zw-min hæst og lægsta vatnsborð, dz vatnshæðarbreyting (m)

A-max og A-min mesta og minnsta flatarmál fljótandi hluta íshellunnar (km²)

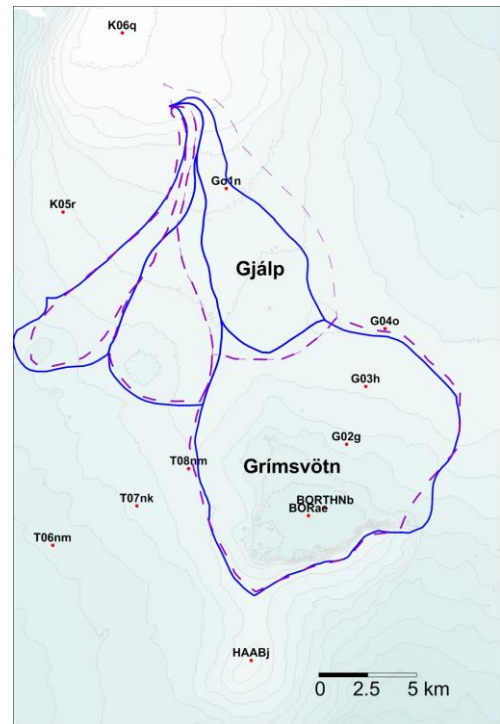
V-max og V-min rúmmál vatns við upphaf of lok hlaups (km³)

dV rúmmál vatns sem rann frá Grímsvötnum (km³)

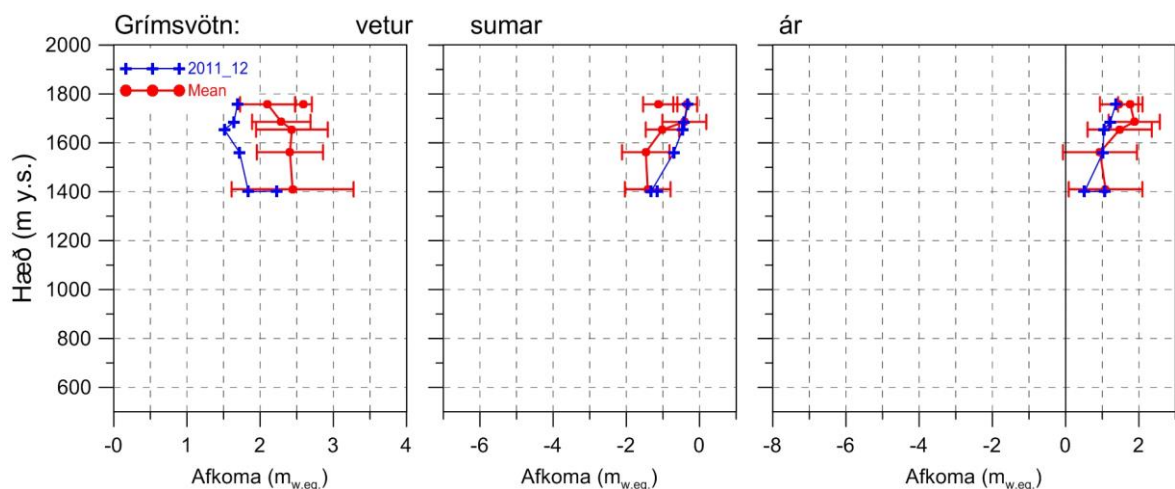
Afkoma Grímsvatna.

Vatn sem safnast í Grímsvötn er annars vegar leysingarvatn af yfirborði vatnasviðs Grímsvatna en hins vegar vatn sem bráðnar neðan af ísnum vegna jarðhita í Grímsvötnum og Gjálp. Afkomumælingar eru gerðar á ísa- og vatnasviði Grímsvatna í samvinnu Jarðvísindastofnunar, Rannsóknasjóðs Vegagerðar og Landsvirkjunar, auk þess sem afkoma er mæld á íshellu Grímsvatna í vorferðum Jöklarannsóknafélagsins. Lega mælipunktanna er sýnd á 5. mynd. Þar er líka sýnt mat ísasvæðis Skaftárkatla, Gjálpar og Grímsvatna, unnið eftir yfirborðskorti 2010 (grunnurinn er hæðarlíkan sem Jöklahópur Jarðvísindastofnunar fékk frá SPOT-image fyrirtækinu unnið eftir gervitunglamyndum). Ísskrið vegna framhlaups Dyngjujökuls 1998-2000 og ísskrið inn í Gjálp frá 1996 hafa breytt lögun yfirborðsins talsvert, ísaskil hafa flutts til. Flatarmál ísasviðs Grímsvatna (auk Gjálpar) er metið 175 km² 2010 en var metið 204 km² 1998 (nákvæmt yfirborðskort unnið eftir EMISAR gögnum úrflugvél).

Á 6. mynd er sýnd vetrar-, sumar- og ársafkoma á mælisniðinu í Grímsvötnum. Þar sést að vetrarafkoma var með minnsta móti, meira einu staðalfráviku undir meðaltali mælitímans (frá 1991_92) í flestum mælipunktum, nema á íshellunni; þangað hefur skafrenningur náð að flytja snjó. Sumarleysing var líka með minna móti þrátt fyrir að einhver aska úr öskubingjum í Grímsvötnum settist í svæðið. Sumarið var stutt og ekki bjart á Grímsvatnasvæðinu í votum suðvestan og sunnan áttum sem voru ríkjandi stærstan hluta sumars. Samanlagt varð ársafkoman ekki langt frá meðaltali í mælipunktunum. Stafræn kort sem hafa verið unnin af afkomu Grímsvatna

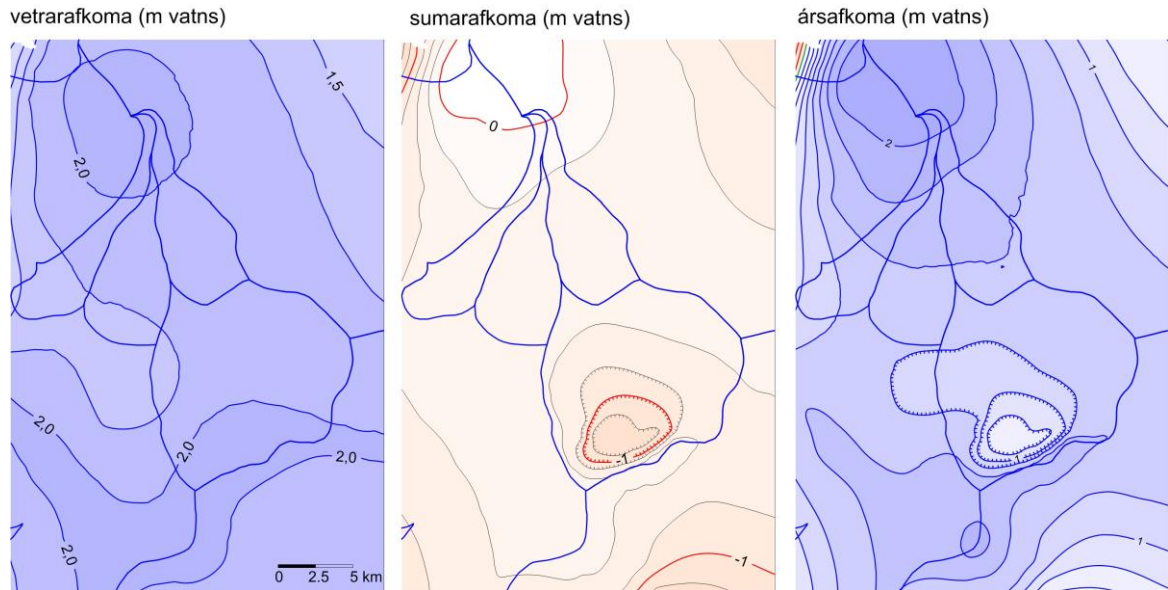


Mynd 5. Afkomumælistaðir á ísasviði Grímsvatna jökulárið 2012-13. Undir er yfirborð jökulsins sumarið 2010 unnið eftir SPOT5 gervitunglamyndum. Bláu línurnar afmarka ísasvið unnin eftir yfirborðskorti 2010 en brotnu línurnar eftir yfirborðskorti 1998.

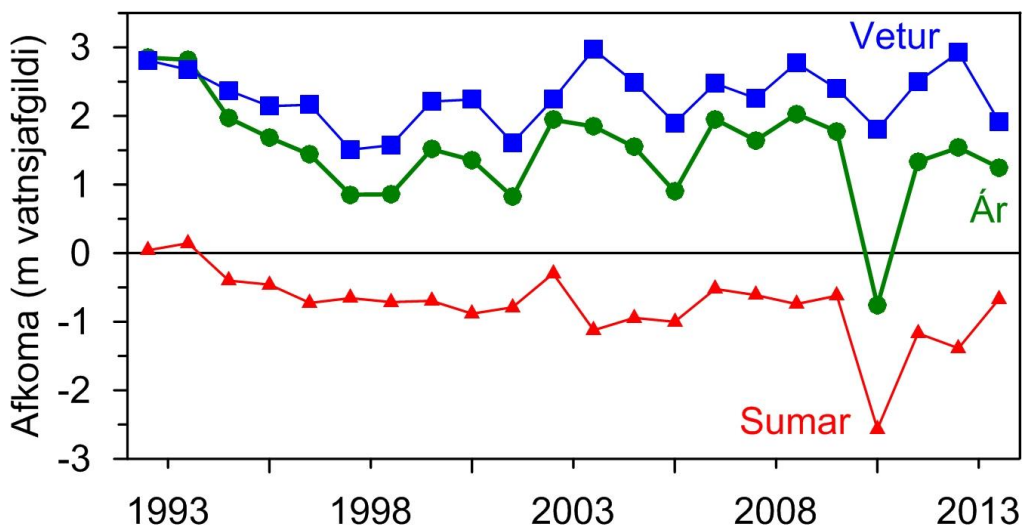


Mynd 6. Afkoma 2012-13 á mælisniði á íssvæði Grímsvatna og Gjálpar (blá), og meðalafkoma þar 1991-92 til 2011-12.

eru sýnd á 7. mynd. Afkoma ísasviðs Grímsvatna (auk Gjalpar) er reiknuð með því að tegra afkomukortin yfir ísasviðið. Meðalafkoma Grímsvatna og Gjalparsvæðisins frá upphafi afkomumælinga er sýnd á 8. mynd.



Mynd 7. Afkoma Grímsvatnsvæðisins jökulárið 2012-13, vetrar- sumar- og ársafkoma í m vatnsjafngildis.



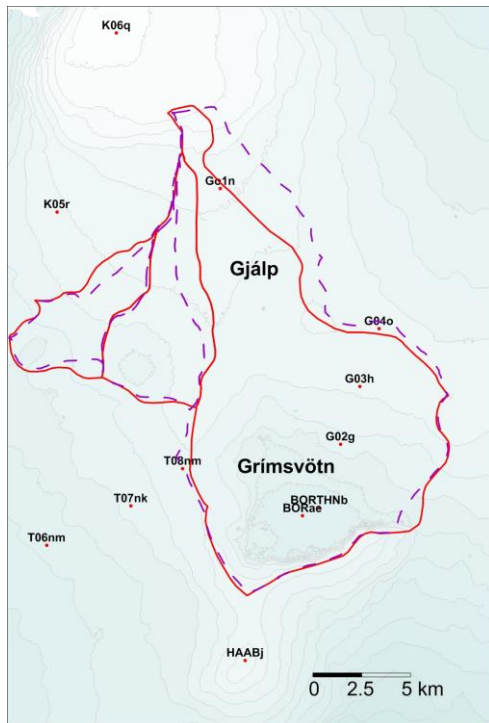
Mynd 8. Afkoma Grímsvatnsvæðisins (Grímsvötn og Gjalp) jökulárin 1991-92 til 2012-13, vetrar- sumar- og ársafkoma í m vatnsjafngildis.

Vetrarafkoma ísasviðs Grímsvatna og Gjalpar var með minnsta móti, um 85% af afkomu meðalárs, en sumarafkoma (rýrnun) var líka með minna móti, nærri 90% meðaltals. Niðurstaðan varð sú að ársafkoma Grímsvatnsvæðisins var 85% af meðaltali mælitímabilsins.

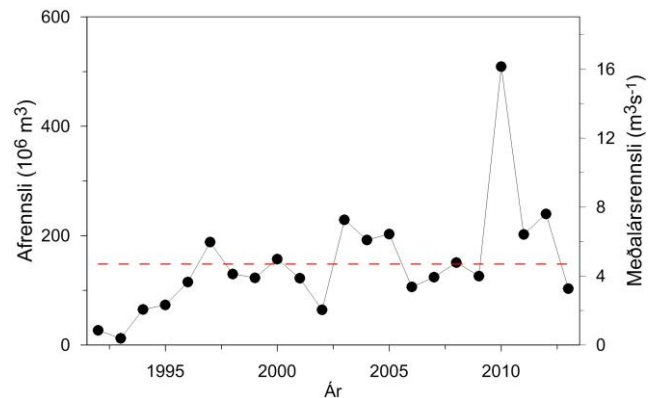
Vegna breytinga á yfirborðslögun hefur vatnsvið Grímsvatna breyst töluvert. Jökulsá á Fjöllum og eystri Skaftárketillinn fá nú afrennsli af hluta þess svæðis sem áður veitti vatni til Grímsvatna (sjá mynd 9.). Þessu svæði liggja þó mjög hátt þannig að leysing þar er lítil, þessi minnkun á vatnasviði Grímsvatna úr rúmlega 200 km² í 173 km² breytir því litlu um heildarafrennslið.

Frá því mælingar á sumarafkomu vatnasviðs Grímsvatna hófust, 1992, hefur afrennsli leysingavatns til Grímsvatna verið mjög breytilegt (10. mynd) en að meðaltali 148 10⁶ m³ á ári (125 ef sumrinu 2010 er sleppt). Í þessa tölu vantar rigningavatn og líka leysingu sem bætt hefur verið upp með snjókomu að sumrinu (það er heildarafkoma sumars sem er mæld); þetta er því lágmarksgildi afrennslis. Hæsta afrennslið tengist skítugu yfirborði næsta sumar eftir eldgos eða ryki frá hálendinu og söndunum í þurkkatíð og/eða óvenju hlýju og björtu sumri (1997, 1999, 2003, 2005, 2010). Sumarið 2013 var afrennsli leysingavatns 103 10⁶ m³

Dreifing afrennslis yfirborðsleypingavatns til Grímsvatna á mismunandi hæðarbil sumarið 2013 er í töflu II. í viðauka.

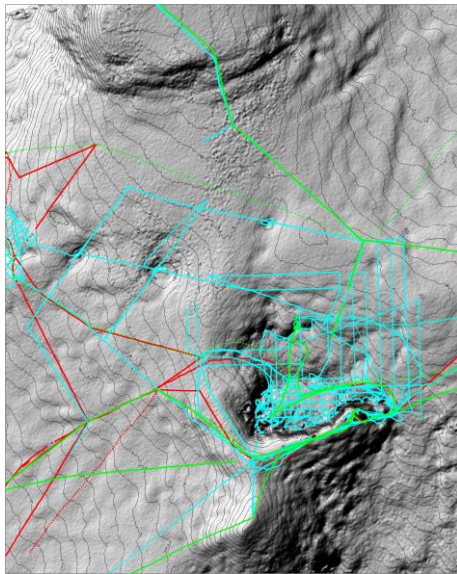


Mynd 9. Vatnasvið Grímsvatna og Skaftárkatla afmörkuð eftir yfirborðskorti frá 2010 (rautt), brotnu línurnar sýna vatnasviðin metin eftir yfirborðskorti frá 1998.

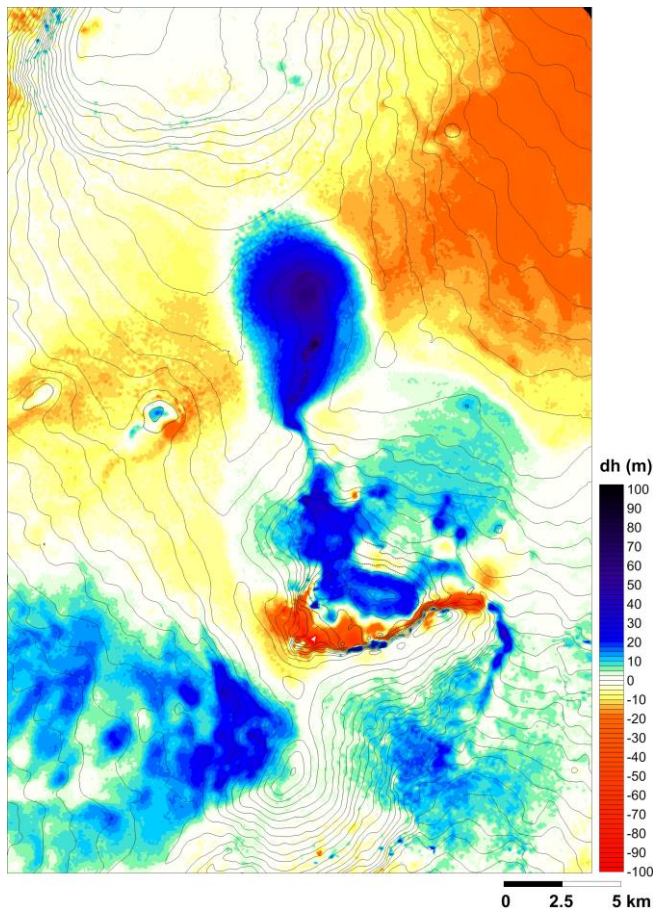


Mynd 10. Afrennsli yfirborðsleypingavatns til Grímsvatna metið útfrá afkomumælingum (meðaltali áráanna 1992 til 2013 er sýnt með brotinni línu).

Breytingar á stærð Grímsvatna og yfirborðshæð Grímsvatnasvæðisins.



Mynd 10. Hæðarsnið mæld með GPS landmælinga tækjum árið 2013. Í bakgrunni er yfirborðskort 6/6 2010 gert eftir SPOT5 gerfitunglamyndum, stillt af með GPS-sniðum frá júní 2010. (rautt: maí; líósblátt: júní; grænt: október).



Mynd 11. Hæðarbreyting Grímsvatnasvæðisins síðsumar 1998 til hausts 2009.

Árlega er unnið að mælingu hæðarsniða Grímsvatnasvæðinu í vorferð Jökларannsóknafélags Íslands með kinematiskum GPS tækjum (nákvæmni nokkrir cm) í samvinnu við Magnús T. Guðmundsson og Þórdísi Högnadóttur. Einnig er hæðargagna aflað í afkomumælingaferðum Jarðvísindastofnunar og Landsvirkjunar vor og haust og öðrum tilfallandi ferðum. Kort af yfirborði eru endurnýjuð árlega (eða bæði vor og haust) eftir þessum mælingum. Mælsnið sem aflað var á árinu 2013 eru sýnd á mynd 11. Vinnslu allra hæðarsniða er lokið en hæðarkort af yfirborði Grímsvatnasvæðisins sumarið 2013 er ekki fullunnið.

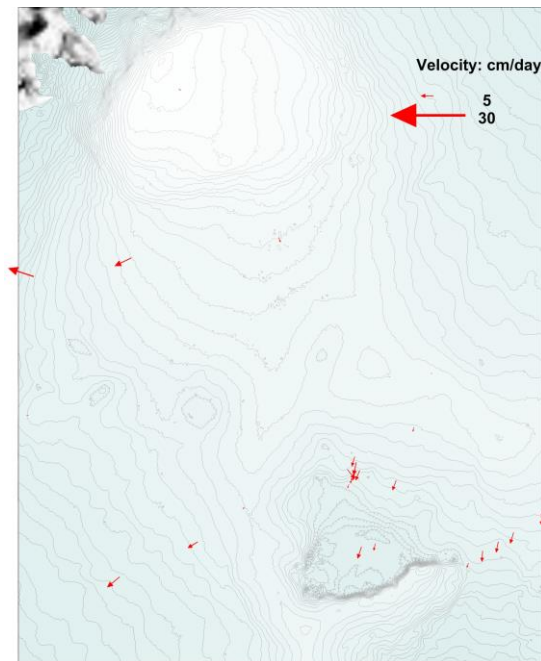
Ísasvæði Grímsvatna minnkaði eftir gosið í Gjalp, ís af nokkru svæði sem áður féll til Grímsvatna fer nú að Gjalparlægðinni. Fyrir Gjalpargosið var ísasvið Grímsvatna 160 km² en var 1998 132 km² (203 km² ef Gjalparsvæði er talið með).

Á síðasta ári var lokið vinnslu hæðarlíkans af yfirborði Grímsvatna og nágrennis árið 2010. Grunn gögn þessa hæðarlíkans eru unnin af SPOT-Image fyrirtækinu eftir steríó-myndum frá SPOT5 gervitunglinu sem teknar voru 6. júní 2010) sem þáttur í SPIRIT samstarfsverkefningu. Upprunalega hæðarlíkanið var nokkuð götótt og hliðrað í hæð. Samanburður við GPS sniðmælingar, víðsvegar um svæðið (þekja svipuð og sýnt er á mynd 10.) okkar sýndu að hæðarhliðrunin var 4 m. Talsverð vinna var lögð í að brúa yfir eyðurnar í upprunalega líkaninu með því að hliðra öðrum hæðarlíkunum þar til þau féllu að jöðrum eyðanna. Það er mat okkar að nákvæmni þessa nýja hæðarlíkans sé 0.5-1 m (byggt á samanburð við GPS sniðmælingar frá nánast sama degi).

Nú er til tímaröð nákvæmra hæðarkorta af Grímsvatnasvæðinu frá 1998 til

2012. Ekki vannst tími á þessu vinnuári til að fullvinna mat á breytingum ísrúmmáls á ísasviði Grímsvatna eftir þessum gögnum, en sem dæmu um hæðarbreytingar á tímabilinu eru sýndar hæðarbreytingar frá hausti 1998 til hausts 2009 á 11. mynd. Hér sést hvernig er að fyllast í lægðina sem myndaðist norðan Grímsvatna í Gjalpargosinu 1996 og einnig ~7km langa og þrönga lægðina sem myndaðist yfir vatnsgöngunum við botninn (suður frá Grímsvötnum) í stóra jökulhlaupinu eftir Gjalpargosið. Einnig hvernig að endurtekin gos og kvikuinnskot með norðurbrún Grímsfjalls hafa brætt rás í íshelluna meðfram fjallinu. Þá má sjá hvernig ísasvið Grímsvatna til norðurs hefur þyknað lítillega, væntanlega mest vegna þess að hægt hefur á hreyfingu íshellunnar inn að Grímsfjalli á löngum tímabilum þegar íshellan er ekki á floti (samfelldu GPS mælingarnar í mælitækjamastrinu sýna að þegar íshellan er ekki á floti er skrið hennar til suðurs nær ekkert, en er ~25m ári þegar hún er á floti). Þykkunin vestan í Háubungu (neðarlega til vinsti er vegna þess að jökullinn er byrjaður að byggja sig aftur upp eftir framhlaupin 1994-1995 (Síðujökull, Skaftárjökull og Tungnaárjökull), en efst til hægri má sjá hvernig efsti hluti Dyngjujökuls hefur lækkað um tugi metra í framhlaupinu 1998-2000; sú lækun hefur einnig valdið hliðrun ísaskila í átt að Grímsvötnum (ísavið Dyngjujökuls stækkar á kostnað Grímsvatna. Þó hluti hækkunar íshellu Grímsvatna sé vegna þess að meira vatn er undir henni stafar hækkunin líka af því að íshellan hefur þyknað á tímabilinu, ísskrið úr norðri til Grímsvatnahellunnar sem situr föst langtímum saman veldur þykkun. Að lokum má nefna að ísasvið Skaftárkatla hefur þynnst á tímabilinu. Þetta getur verið vegna vaxandi jarðhitavirkni í Skaftárkötlum, en líklegra er að ísskrið að norðan sem áður flutti ís að kötlunum minnkaði eftir Gjalpargosið 1996; ísasvið Skaftárkatla til NNA minnkaði við myndun Gjalparlægðarinnar.

Höfundar hafa ásamt öðrum áður metið varmafl Grímsvatna á seinni hluta 20. aldar. Þetta var gert út frá vatnssöfnun í Grímsvötnum sem var tiltöluglega auðvelt að meta meðan lítill eða enginn leki var frá Grímsvötnum og uppsafnað vatn skilaði sér í Skeiðarárhlaupum á u.þ.b. 4 ára fresti. Frá gosinu 1998 hefur einungis hluti bræðsluvatns



Mynd 12. Meðalyfirborðsskriðhraði í Grímsvötnum og nágrenni 2013 (yfirborð 2010 í bakgrunni).

safnast fyrir, stærri hluti þess hefur runnið burt jafnóðum og/eða í smáum hlaupum. Til að meta varmaflið nú þarf að meta afkomu á ísaviði Grímsvatna, auk ísflæðis til þeirra og kanna hvort massabreytingar verða á íshellunni. Ísþykkt var mæld með íssjá í júní 2013 á sömu mælisniðum og mælt var 2007 og 2009. Tilgangur þessara mælinga er að fylgjast með þykktarbreytingum íshellunnar og þannig við- brögðum hennar við breyttum að ísasviði Grímsvatna. Hraðamælingarnar hafa verið gerðar hvert ár síðan 1992 á mismörgum stöðum. Hraðavigrar í skriðmælistikum 2013 eru sýndir á 12. mynd. Á myndunum sést hve meðalskriðhraði sumars var miklu hærri 2010 en 2012 en skriðhraði 2012 er svipaður og í meðalári, líklega vegna þess að leysingatímabilið var miklu lengra, að jafnaði hærri vatnsþrýstingur við botn og því meira botnskrið.

Hnit mælipunkta eru í töflu 3 í viðauka.

Tafla I. Afkoma ísasviða Grímsvatna og Gjálpar jökulárið 2012-13.

ΔS : area in elevation range, $\Sigma\Delta S$: cumulative area above given elevation, b_w : specific winter balance, b_s : specific summer balance. b_n : specific winter balance, ΔB_w : winter balance at a given elevation range, $\Sigma\Delta B_w$: cumulative winter balance above given elevation, ΔB_s summer balance at a given elevation range, $\Sigma\Delta B_s$: cumulative summer balance above given elevation, ΔB_n : net annual balance in a given elevation range, ΣB_n : cumulative net annual balance above given elevation.

Grímsvötn og Gjálpar (neðri tafla)

Elevation (m a.s.l.)			ΔS (km ²)	$\Sigma\Delta S$ (km ²)	b_w (mm)	b_s (mm)	b_n (mm)	ΔB_w (10 ⁶ m ³)	$\Sigma\Delta B_w$ (10 ⁶ m ³)	ΔB_s (10 ⁶ m ³)	$\Sigma\Delta B_s$ (10 ⁶ m ³)	ΔB_n (10 ⁶ m ³)	ΣB_n (10 ⁶ m ³)
1900	1950	1925	0,5	0,5	2062	23	2086	1	1	0	0	1	1
1850	1900	1875	0,6	1,1	2047	-41	2006	1	2	0	0	1	2
1800	1850	1825	1,2	2,3	2039	-122	1916	2	5	0	0	2	5
1750	1800	1775	4,5	6,8	2004	-263	1740	9	14	-1	-1	8	13
1700	1750	1725	15,9	22,7	1919	-354	1564	31	45	-6	-7	25	38
1650	1700	1675	16,5	39,2	1877	-389	1487	31	76	-6	-13	25	62
1600	1650	1625	0	39,2	1874	-387	1487	0	76	0	-14	0	62
1700	1750	1725	0,8	0,8	1879	-400	1479	2	2	0	0	1	1
1650	1700	1675	40,8	41,6	1867	-449	1417	76	78	-18	-19	58	59
1600	1650	1625	30,6	72,2	1869	-551	1318	57	135	-17	-36	40	100
1550	1600	1575	18,6	90,8	1924	-646	1277	36	171	-12	-48	24	123
1500	1550	1525	16,9	107,7	1959	-751	1207	33	204	-13	-60	20	144
1450	1500	1475	11,6	119,3	1983	-951	1031	23	227	-11	-71	12	156
1400	1450	1425	15,1	134,4	2017	-1218	798	30	257	-18	-90	12	168
1350	1400	1375	0,6	135	2025	-1018	1006	1	259	-1	-90	1	168

Tafla II: Afrennsli yfirborðsleysingar til Grímsvatna sumarið 2013.

ΔS : area in a given elevation range where summer balance is negative (i.e. net melting in the area) , $\Sigma\Delta S$: cumulative area above a given elevation, ΔQ_s : melt water runoff from a given elevation range, $\Sigma\Delta Q_s$: cumulative melt water runoff from an area above given elevation.

Grímsvötn water drainage basin

Elevation (m a. s. l.)		ΔS km ²	$\Sigma\Delta S$ km ²	ΔQ_s (10 ⁶ m ³)	$\Sigma\Delta Q_s$ (10 ⁶ m ³)
1900	1950	0,5	0,5	0	0
1850	1900	0,6	1,1	0	0
1800	1850	1,2	2,3	0	0
1750	1800	4,5	6,8	1	1
1700	1750	17,5	24,3	6	7
1650	1700	57,3	81,6	24	31
1600	1650	30,6	112,2	17	48
1550	1600	18,6	130,8	12	60
1500	1550	16,9	147,7	13	73
1450	1500	11,6	159,3	11	84
1400	1450	15,1	174,4	18	102
1350	1400	0,6	175	1	103

Tafla III. : Mæld hnit hraðamælistika.

Hnit hraðamælistaka eru mæld með GPS: “differential, DGPS” (I), “fast static” (FS), eða “kinematic” (K) mæliaðferð.

(Nákvæmni mælinga er 0.2-1.0 m í fleti og 0.5-2.0 m í hæð fyrri DGPS, 1-2 cm í fleti og 2-4 c í hæð fyrir fast static, and 3 cm fyrir kinematic).

GPS stöðin á Höfn í Hornafirði er notuð sem viðmiðun fyrir allar mælingarnar, með föstum hnitum.

Viðmiðunarkerfi er ÍSN93 datum, h_i er hæð yfir ellipsóíðu, dL loftnetshæð, N metinn hæðarmunur ellipsóíðu og meðalsjávarborðs, H hæð yfir meðalsjávarfleti ($H = h_i + N + dL$). X and Y eru í ÍSN93 “Lambert conformal conic” vörpun. M er gæðamerki.

Stöð	tími	Dag		Ár	Breidd	Lengd	h_i (m a. e.)	dL (m)	N (m)	H (m a. s. l.)	X	Y	M			
		Dags #	númer													
Borah	18.373	4	6	155	2013	64	24.94800	17	20.15040	1468.30	0.00	-67.70	1400.60	580205.99	435928.41	K
Borah	10.977	6	10	279	2013	64	24.94440	17	20.15280	1479.71	0.00	-67.70	1412.01	580204.10	435922.57	K
BORTHNb	10.5	6	10	279	2013	64	25.09380	17	19.15140	1486.74	0.00	-67.70	1419.04	581000.94	436220.87	K
G02j	19.610	2	6	153	2013	64	26.85180	17	17.72100	1627.81	0.00	-67.73	1560.09	582061.80	439516.78	K
G02j	16.850	4	10	277	2013	64	26.84940	17	17.72340	1625.59	0.00	-67.73	1557.86	582060.08	439511.99	FS
G03k	18.864	2	6	153	2013	64	28.43880	17	16.35360	1722.24	0.00	-67.74	1654.51	583077.87	442493.64	K
G03k	16.450	4	10	277	2013	64	28.43880	17	16.35360	1720.08	0.00	-67.74	1652.34	583077.41	442491.63	K
G04r	18.542	2	6	153	2013	64	30.02640	17	15.05460	1751.86	0.00	-67.73	1684.13	584037.42	445471.27	K
G04r	11.614	4	10	277	2013	64	30.02640	17	15.05400	1749.60	0.00	-67.73	1681.87	584037.64	445471.80	FS
Go1q	18.237	2	6	153	2013	64	33.97680	17	24.94500	1824.84	0.00	-67.84	1757.00	575935.13	452600.41	K
Go1q	12.696	4	10	277	2013	64	33.97560	17	24.94380	1822.75	0.00	-67.84	1754.91	575935.98	452598.21	FS
GvK4-1a	22.830	6	6	157	2013	64	27.56640	17	20.41140	1663.03	0.00	-67.76	1595.27	579868.78	440786.40	K
GvK4-1a	12.539	6	10	279	2013	64	27.56400	17	20.41320	1660.83	0.00	-67.76	1593.07	579867.40	440781.77	K
GvK4-2a	23.153	6	6	157	2013	64	27.35820	17	20.31480	1638.09	0.00	-67.76	1570.33	579956.40	440401.50	K
GvK4-3a	23.271	6	6	157	2013	64	27.27720	17	20.34960	1616.23	0.00	-67.76	1548.47	579932.28	440250.63	K
GvK4-4a	23.830	6	6	157	2013	64	27.18180	17	20.37000	1593.20	0.00	-67.75	1525.45	579920.61	440073.17	K
GvK4-4a	12.079	6	10	279	2013	64	27.17940	17	20.37120	1592.53	0.00	-67.75	1524.78	579919.74	440068.60	K
GvK4-5a	0.017	7	6	158	2013	64	27.09480	17	20.48460	1595.39	0.00	-67.75	1527.63	579832.86	439908.71	K
GvK4-5a	11.807	6	10	279	2013	64	27.09300	17	20.48520	1593.71	0.00	-67.75	1525.95	579832.60	439906.04	K
GvK4-6a	0.169	7	6	158	2013	64	27.01500	17	20.60040	1587.80	0.00	-67.75	1520.05	579744.00	439758.38	K
GvK4-6a	11.676	6	10	279	2013	64	27.01380	17	20.60100	1585.68	0.00	-67.75	1517.93	579743.62	439755.99	K
GvK4-7a	0.356	7	6	158	2013	64	26.86320	17	20.78820	1575.60	0.00	-67.75	1507.85	579601.01	439472.06	K
GvK4-7a	11.525	6	10	279	2013	64	26.86200	17	20.78880	1573.49	0.00	-67.75	1505.74	579600.41	439470.36	K
GvK4-8a	23.441	6	6	157	2013	64	27.20880	17	20.58600	1618.66	0.00	-67.76	1550.91	579746.02	440118.59	K
GvK4-8a	11.919	6	10	279	2013	64	27.20640	17	20.58180	1614.37	0.00	-67.76	1546.61	579749.54	440114.07	K
GvK4-9a	23.898	6	6	157	2013	64	27.16800	17	20.13660	1606.70	0.00	-67.75	1538.95	580108.42	440052.09	K
GvK4-9a	12.218	6	10	279	2013	64	27.16500	17	20.13900	1604.96	0.00	-67.75	1537.21	580106.59	440047.23	K
T08np	18.048	3	5	123	2013	64	26.31300	17	27.76800	1703.80	0.00	-67.75	1636.05	574026.74	438309.60	K
T08np	15.883	4	10	277	2013	64	26.31240	17	27.76980	1701.13	0.00	-67.75	1633.38	574025.34	438308.65	FS

Kostnaður á árinu 2013:

Styrkur til þessa verkefnis af tilraunafé Vegagerðar var 1500 þkr.

Rekstrarkostnaður mælistöðvar (viðgerð skráningatækis, verkstæðisvinna, varahlutir í veðurstöð, rafgeymar, plaststíkur) var 350 þkr., kostnaður vegna mælléiðangra (4 ferðir, allar tengdar öðrum verkum til að halda kostnaði í lágmarki) reyndist 750 þkr., laun starfsmanns við frumúrvinnslu og túlkun gagna (2 mannmán) 920 þkr., og umsjónargjald til yfirstjórnar Raunvísindastofnunar 12.5% eða 190 þkr. Samtals eru þetta 2210 þkr. 31. mars 2014.

f.h. Jöklahóps Jarðvísindastofnunar; Finnur Pálsson verkefnistjóri