

**JARÐHITI Í GRÍMSVÖTNUM ÁRIÐ 2004**  
**TENGL ELDGOSS OG JARÐHITA**

**Magnús Tumi Guðmundsson**  
**Pórdís Högnadóttir**

**Jarðvísindastofnun Háskólans**  
**Febrúar 2005**  
**RH-02-2005**



## ÁGRIP

Með kortlagningu Grímsvatnasvæðisins undanfarin ár hefur þróun jarðhita verið könnuð. Kortlagningin hefur verið gerð með nákvæmum DGPS tækjum sem ekið er með eftir neti mælilína. Jarðhiti í Grímsvötnum jókst nokkuð 1998, í aðdraganda gossins í desember það ár. Í kjölfar gossins óx jarðhiti verulega og var afl hans um 4000 MW árið 1999. Síðan dró úr virkninni og 2002 var aflið komið niður í um 1400 MW. Jarðhiti óx síðan nokkuð á ný 2003 (í 2300 MW) og aukning var einnig milli 2003 og 2004. Þessi aukning er tengd aðdraganda gossins í nóvember á síðasta ári. Ákveðið samband virðist því vera milli jarðhita og kvikuþrýstings undir Grímsvötnum. Jarðhiti vex með auknu landrasi og kvikuþrýstingi. Á árunum 1998-2003 minnkaði rúmmál íss innan Grímsvatna um 0,5-0,6 km<sup>3</sup>. Þar af bráðnuðu 0.15 km<sup>3</sup> í gosinu 1998; 0,35-0,45 km<sup>3</sup> eru bráðnun vegna jarðhita, umfram þá reglubundnu bráðnun sem vegur upp á móti snjófyrningum á yfirborði og ísskriði inn í vötninn. Í gosinu í nóvember síðastliðnum bráðnuðu um 0,1 km<sup>3</sup> og einhver bráðnun hefur orðið á umbrotasvæðinu síðan. Þessi bráðnun hefur að mestu orðið við suðurjaðar vatnanna, undir norðurhlíð Grímsfjalls. Þessi þróun leiðir til stækkandi vatnsgeymis. Mælingarnar 2004 sýna að austasti sigketill við ísstífluna norðaustan Eystri Svíahnúks minnkaði heldur milli 2003 og 2004 auk þess sem hæsti punktur á ísstíflunni hækkaði dálítið. Þessar breytingar eru líklegasta ástæða þess að vatn náði að safnast fyrir í Grímsvötum frá og með 2003, en vatnsborðið náði um 1420 m hæð skömmu fyrir gosið í nóvember síðastliðnum.

**Efnisyfirlit**

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Ágrip .....                          | 1  |
| 1. Inngangur .....                   | 3  |
| 2. Yfirborð Grímsvatna .....         | 5  |
| 3. Varmaafli og þróun jarðhita ..... | 5  |
| 4. Ísbráðnun eftir 1998 .....        | 10 |
| 5. Breytingar á gígsvæði.....        | 11 |
| 6. Samantekt.....                    | 12 |
| 7. Heimildir.....                    | 12 |
| <br>                                 |    |
| Viðauki A .....                      | 14 |

## 1. INNGANGUR

Gosið í Grímsvötnum í nóvember 2004 kom ekki á óvart. GPS mælingar höfðu sýnt stöðugt landris frá lokum gossins 1998 og var það túlkað sem uppsöfunun kviku undir eldstöðinni (Erik Sturkell o.fl., 2003). Jarðskjálftavirkni óx um mitt ár 2003 (Gunnar B. Guðmundsson o.fl., 2004) og aukning í jarðhita kom fram um svipað leyti (Magnús T. Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir, 2004). Gosið er það þriðja í Vatnajökli á 8 árum og bendir flest til þess að tímabil ókyrrðar og tíðra eldgosa sé hafið á svæðinu. Auk virkninnar undanfarin ár bendir lota gosvirkinnar í Vatnajökli til þess að eldvirknin eigi að vera tiltölulega mikil næstu áratugi (Guðrún Larsen o.fl., 1998). Gangi það eftir, má búast við að ísbráðnun vegna jarðhita og eldgosa í Grímsvötnum vaxi og gæti það leitt til stækkandi Skeiðarárhlaupa.

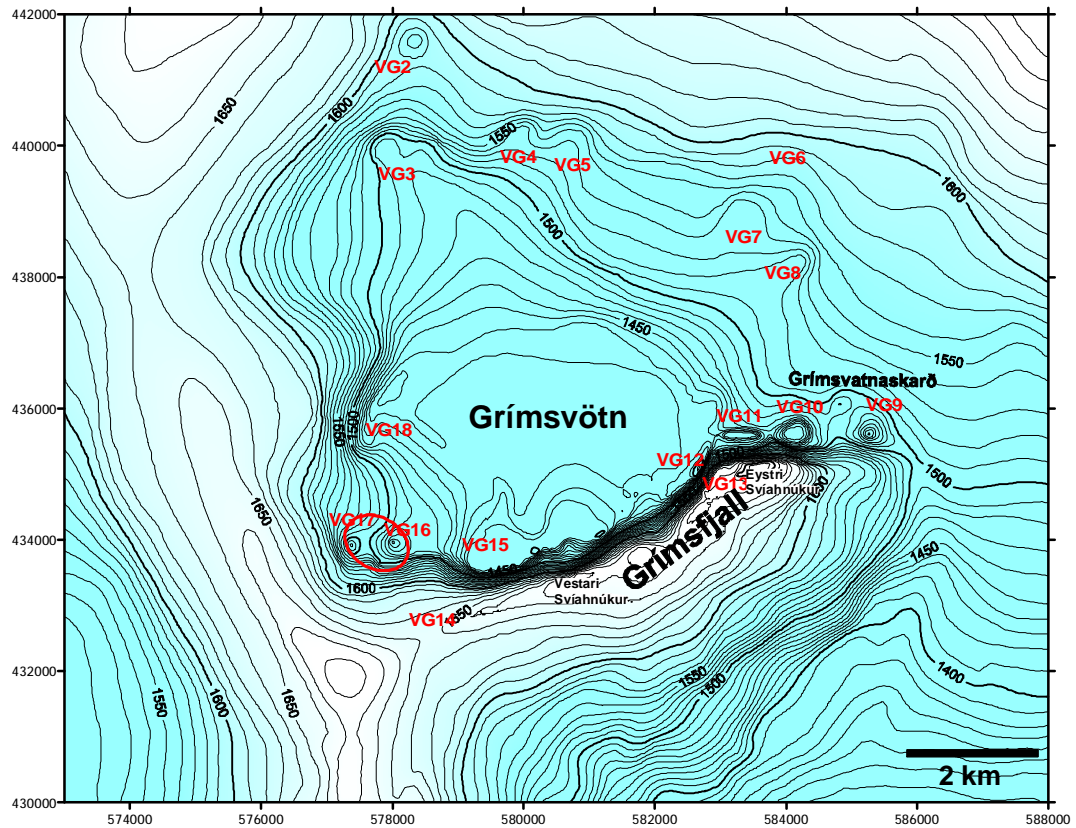
Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir jarðhita og breytingum á ísþykkt vegna hans í Grímsvötnum 2003-2004, í aðdraganda gossins í nóvember. Verkefnið hófst eftir gosið í Grímsvötnum 1998, þegar farið var að gera mun nákvæmari athuganir á jarðhitnum en áður. Tilgangur rannsókna er einkum sá að kanna áhrif eldgosa og ísbráðnun þeim samfara á Grímsvötn. Verkefnið hefur að auki almennari skýrskotun, því það eykur skilning á því hvernig breytingar á jarðhita hafa áhrif á lón undir jöklum og líkur á jökulhlaupum frá þeim. Eins og málum er nú háttáð eru rannsóknirnar unnar af Jarðvísindastofnun Háskólans en styrktar af Vegagerð Ríkisins. Einnig kemur Jökларannsóknafélag Íslands (JÖRFÍ) að vinnunni með því að leggja til farartæki, aðstöðu og mannafla í ferðum sínum. Niðurstöður rannsókna síðustu ára á gosstöðvum í Vatnajökli hafa birst í greinum og skýrslum (Hreinn Haraldsson, ritsj. 1997, margir höfundar; Guðrún Larsen og fl. 1998; Helgi Björnsson og fl. 2001; Sverrir Guðmundsson og fl. 2002; Magnús T. Guðmundsson og fl. 1997, 2000; 2001; 2002; 2003, 2004, Magnús T. Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir, 2004).

Mælingar í Grímsvötnum 2004 í júní voru í meginatriðum svipaðar og undanfarin ár. Áhersla var lögð á að kortleggja breytingar sem orðið hafa milli árána 2003 og 2004. Fjöldi mælinga í ár var svipaður og árið áður, en þá var heldur dregið úr mælingum á þeim svæðum þar sem breytinga gæti lítið og bein áhrif jarðhita eru óveruleg. Lögð er áhersla á að safna sem bestum upplýsingum við sigkatla en reynslan sýnir að þannig fæst best mynd af jarðhitavirkninni. Mælingarnar fóru fram í vorferð Jökларannsóknafélags Íslands í júní og var hluti verksins unnin af sjálfboðaliðum þess. Yfirborð Grímsvatna og nágrennis þeirra var kortlagt með DGPS, breytingar á gígsvæði frá fyrra ári voru kannaðar og hiti mældur í vesturbarmi gígsins frá 1998.

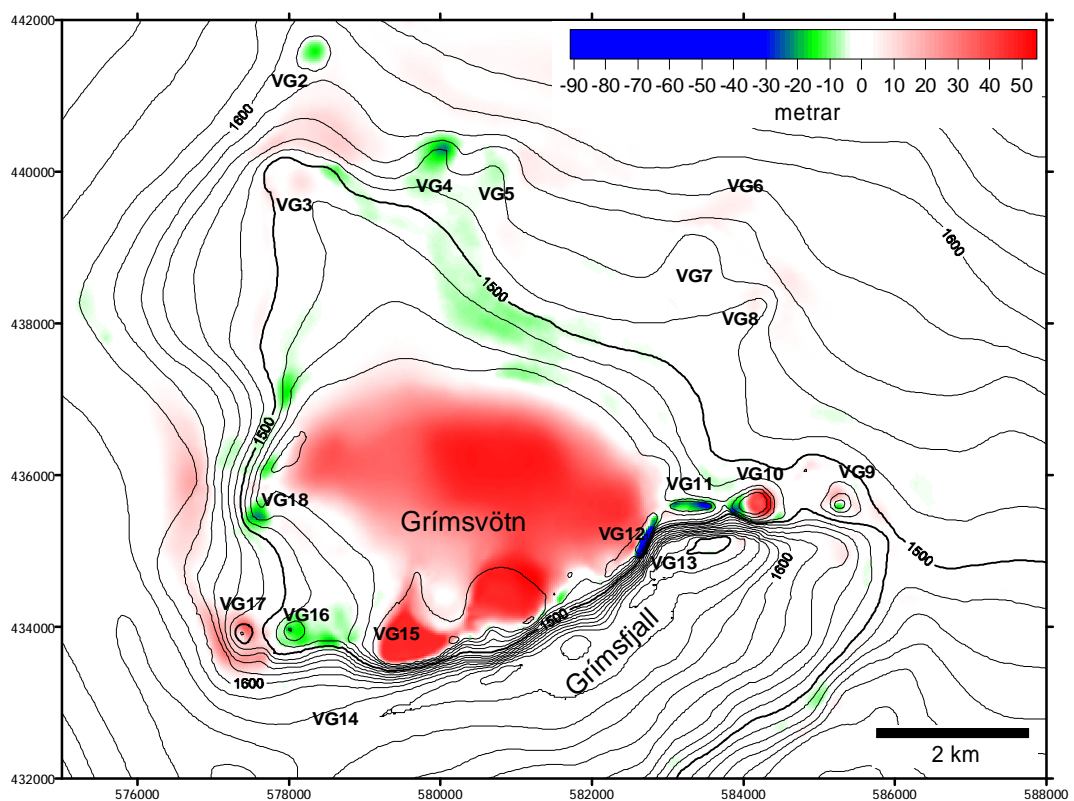
Á grundvelli gagnanna var:

- (a) Gert kort af Grímsvötnum eins og þau voru í júní 2004
- (b) Þróun gígsvæðisins skoðuð, hvernig gígurinn frá 1998 breytist, sígur til og hugsanlega ummyndast.
- (c) Breytingar á jarðhita á Grímsvatnasvæðinu metnar fyrir 2003-2004
- (d) Þróun og ástand ísstíflunnar var metið, sér í lagi hvaða áhrif jarðhitinn hefur á hana og möguleika á vatnssöfnun í Grímsvötnum.

Rannsóknir á jökulhlaupum, vatnshæð og stærð vatnsgeymis á hverjum tíma tengjast þeim verkefnum sem hér er fjallað um. Þær rannsóknir eru á hendi Helga Björnssonar og Finns Pálssonar á Jarðvísindastofnun. Samvinna hefur verið við Helga og Finn um gagnaöflun og frumúrvinnslu.



1 mynd. Grímsvötn, júní 2004 - yfirlitskort, katlar VG2-VG18. Rauða sporaskjan sýnir gosstöðvarnar í nóvember.



2. mynd. Hæðarbreytingar milli 2003 og 2004.

## 2. YFIRBORÐ GRÍMSVATNA

Á 1. mynd er kort af Grímsvötnum eins og þau voru í júní 2004. Veruleg breyting varð milli ára, því íshellan reis um tæplega 50 metra. Samanburður milli 2003 og 2004 leiðir í ljós (2. mynd) að sigkatlar norðan til í Grímsvötnum (VG2, 4 og 5) hafa dýpkað. Einnig jókst bráðnun við Vatnshamar (VG18) vestast í Grímsvötnum. Í suðvesturhorni Grímsvatna urðu einnig nokkrar breytingar. Sigketill VG17 grynnaði meðan ketillinn vestan hans (VG16) dýpkaði verulega. Einnig lækkaði yfirborð jökulsins á skika milli VG16 og lónsins vestan gosstöðvanna frá 1998 (VG15). Að lokum varð nokkur viðbótarbráðnun meðfram Grímsfjalli austanverðu (VG11) og yfir að stóra sigkatlinum norðaustur af Eystri Svíahnúk (VG10). Breytingar á gosstöðvunum 1998 er erfitt að meta í ljósi þess að stór hluti þeirra var á kafi í vatni og yfir því ísþekja. Röð ljósmynda sýnir þróunina við gosstöðvarnar síðustu árin (3. mynd).

Í Grímsvatnaskarði, norðaustan Eystri Svíahnúks, er miðja ísstíflunnar sem lokar Grímsvötnum. Á 4. mynd sést að milli 2003 og 2004 hefur austasti ketillinn, VG9, heldur minnkað. Hæsti punktur á ísstíflunni, um 800 m austan við miðju VG9, er 1-2 m hærri en árið áður. Sú staðreynd að VG9 hefur grynnað og ísstíflan austan hans heldur eflst er líklegasta skýringin á því að vatnsborð náði að rísa úr um 1360 m hæð vorið 2003 upp í 1420 m hæð í nóvember 2004.

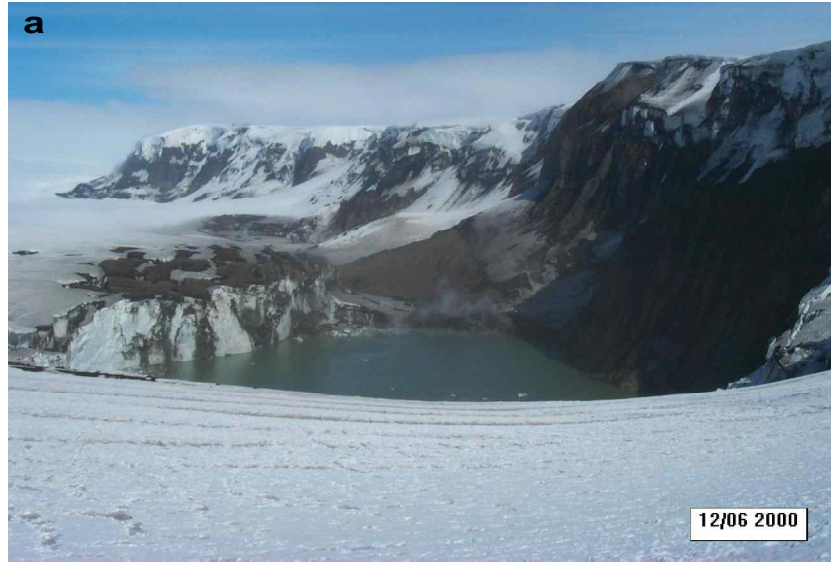
## 3. VARMAAFL OG ÞRÓUN JARÐHITA

Í skýrslum undanfarinna ára hefur varmaafli verið metið með því að mæla bráðnun íss. Vegna viðvarandi leka hefur ekki verið hægt að mæla rúmmál vatns sem farið hefur út úr vötnunum eins og hægt var fyrir 1996. Sú forsenda sem notuð var áður til að meta afl, að Grímsvötn haldist lokuð milli hlaupa (Helgi Björnsson, 1988; Helgi Björnsson og Magnús T. Guðmundsson, 1993, Helgi Björnsson, 1997), hefur ekki átt við síðustu 8 árin.

Afl undanfarin ár hefur verið metið með því að greina það í þrjá þætti (sjá einnig fyrri skýrslur): (1)  $P_0$ : Grunnafl, samsvarar því varmaafli sem var áður en umbrot hófust. Grunnaflið hefur verið talið 1800 MW en sú tala er óviss. (2)  $P_i$ : Afl sem nýtist til bræðslu íss umfram grunnaflið. (3)  $P_a$ : Varmaafli sem fer beint út í andrúmsloftið með gufu og nýtist ekki til bræðslu íss. Heildarafl er þá  $P_{\text{heild}} = P_0 + P_i + P_a$ . Umframafl  $P_i$  er fengið með því að mæla breytingar í ísmagni, þ.e. með því að bera saman kort sem gerð eru á mismunandi tímabilum. Það er reiknað með

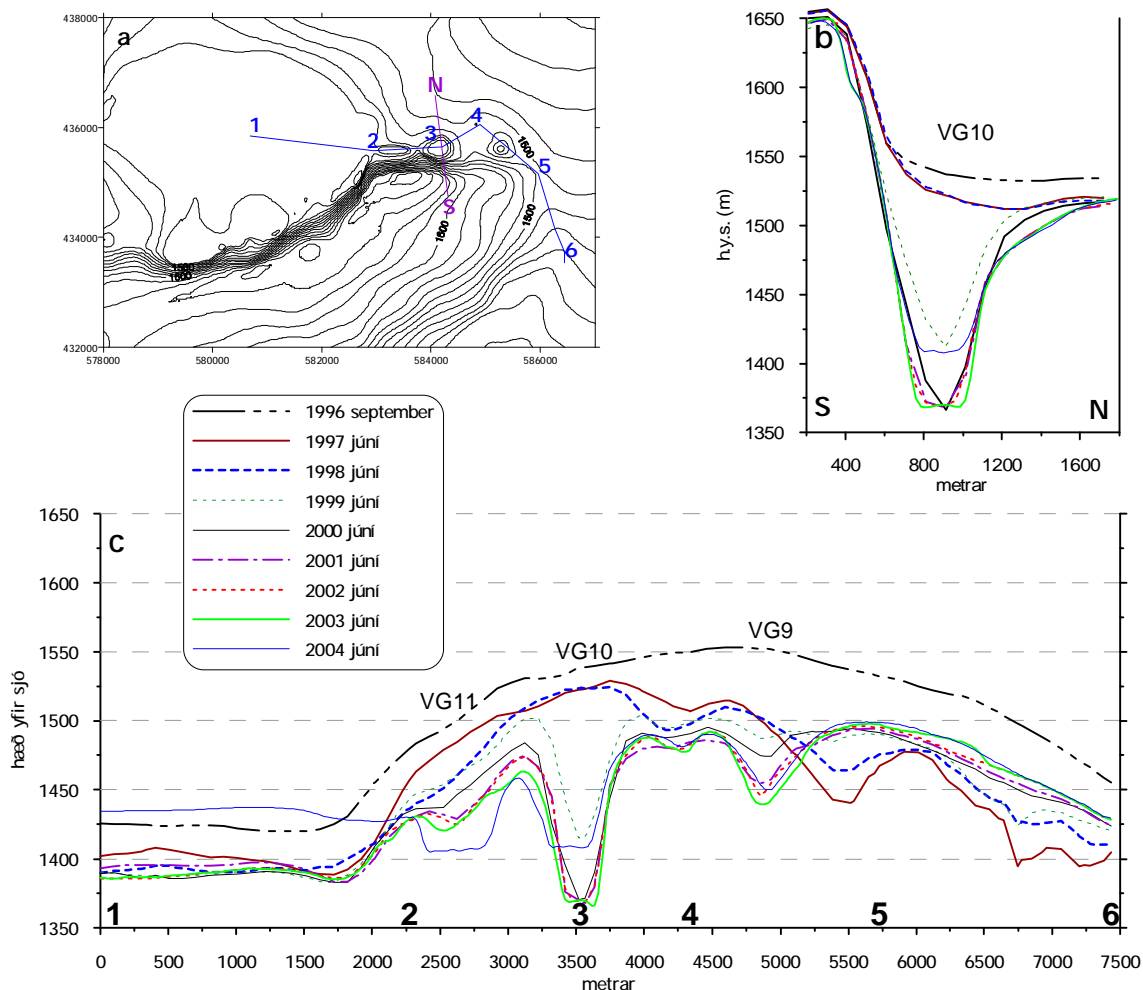
$$P_i = \frac{(V_i - V_h) \rho_i L}{t} \quad (1)$$

Hér er  $V_i$  rúmmálsbreyting íss utan íshellu (lækkun yfirborðs metin sem jákvæð stærð)  $V_h$  er rúmmálsaukning íshellu vegna þykknunar (getur verið neikvæð stærð ef hellan þynnist),  $\rho_i = 910 \text{ kg m}^{-3}$  er eðlismassi íss,  $L=335 \text{ KJ kg}^{-1}$  er bræðsluvarmi íss og  $t$  tími milli mælinga (1 ár).



3. mynd. Gosstöðvarnar a) 2000, b) 2003, c) 2004.  
Horft úr vestri, í baksýn er norðurhlíð Grímsfjalls austur að Gríðarhorni.

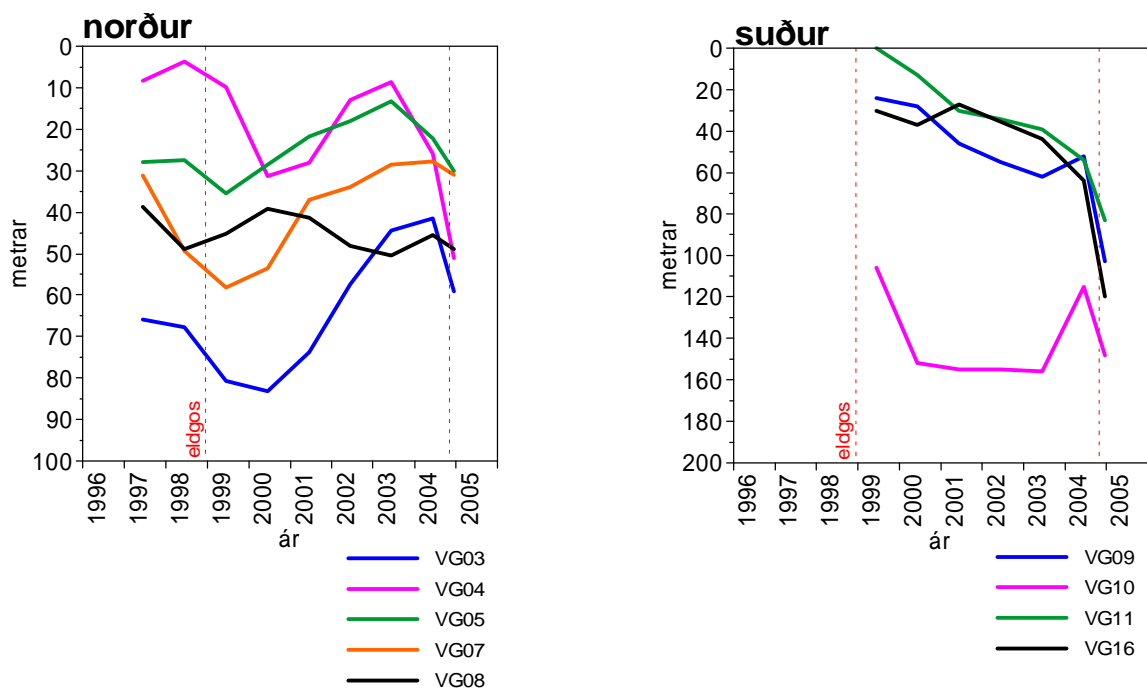




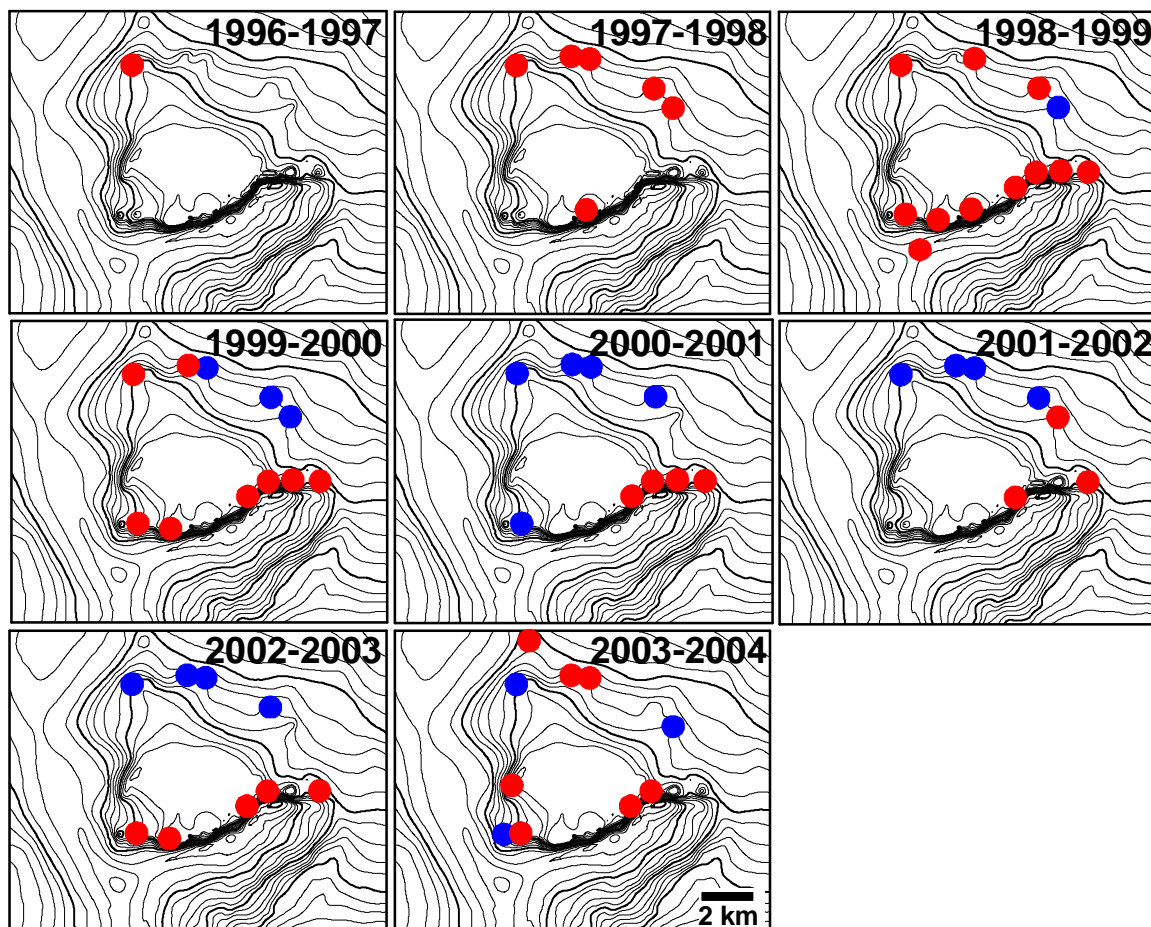
4. mynd. b) Þversnið yfir stóra ketilinn norðaustan í Grímsfjalli (VG10). c) Langsnið austur með Grímsfjalli að norðan 1996-2004.

Vatnsborð hækkaði um tæplega 50 m milli 2003 og 2004 og orsakaði það stóra rúmmálsbreytingu vegna aukins rúmmáls vatns. Þessi stóra breyting veldur aukinni óvissu í  $V_i$  í samanburði við það sem verið hefur á síðustu árum. Því er ekki hægt að nota aðferðina af neinu öryggi og við reiknum því ekki afl fyrir 2003-2004 nú. Hinsvegar er hægt að skoða breytingar milli ára með öðrum hætti.

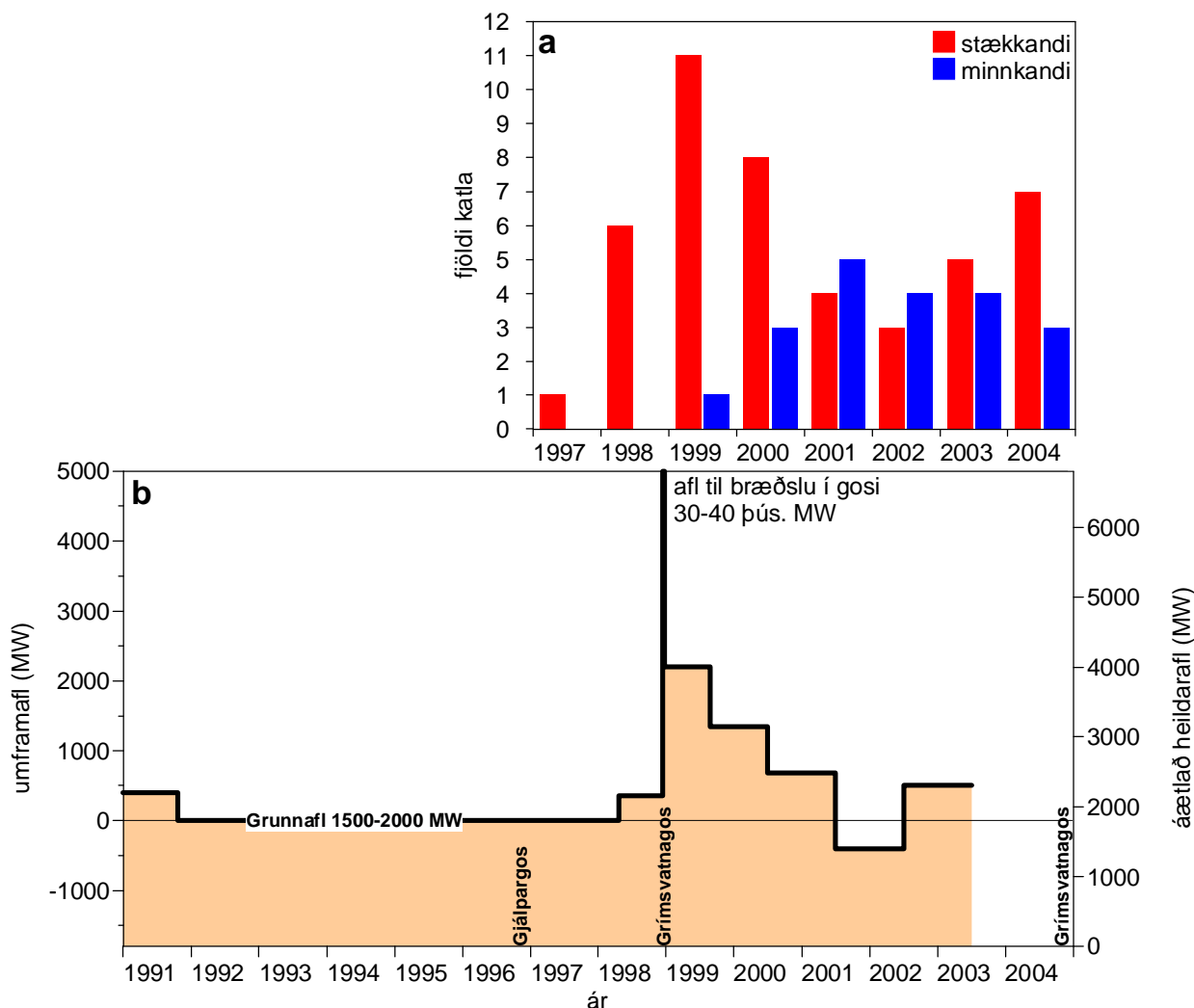
Á 5. mynd er sýnd þróun sigkatla í Grímsvötnum 1997-2004 (sjá staðsetningar á 1. mynd). Byggt er á árlegum mælingum með GPS og radarhæðarmælingum úr flugvél (7. nóvember og 17. desember 2004). Myndin sýnir hvernig jarðhitakatlar dýpkuðu milli 1997 og 1998. Þar var að öllum líkindum á ferð undanfari eldgossins í desember 1998. Aukningin sem varð í jarðhita eftir gosið olli því að á árunum 1999-2000 dýpkuðu flestir katlar. Á norðanverðu svæðinu grynkuðu þeir aftur milli 2000 og 2003 en síðan fara nokkrir að dýpka aftur. Á suðurhluta svæðisins taka katlar við sér eftir gosið 1998 og þar verða stórfelldar breytingar meðfram Grímsfjalli norðaustanverðu eins og einnig kemur fram á 4. mynd. Á 6. mynd eru hliðstæðar upplýsingar teknar saman. Þær sýna hvar breytingar verða. Milli 1996 og 1997 eru litlar breytingar en jarðhitavirknin tekur við sér 1998 eins og áður sagði. Mestur er hitinn 1999 og 2000 en síðan dregur úr fram að 2003. Aukning í jarðhita kemur fram 2003 og færirst í aukana 2004. Gos braust síðan út 1. nóvember eins og kunnugt er.



5. mynd. Dýpi katla sem fall af tíma: a) norðan til á svæðinu, b) sunnan til á svæðinu. Síðustu mælingar eru úr flugvél með hæðarradar og GPS þann 7. nóvember (staðsetningar katla, sjá 1. mynd.)



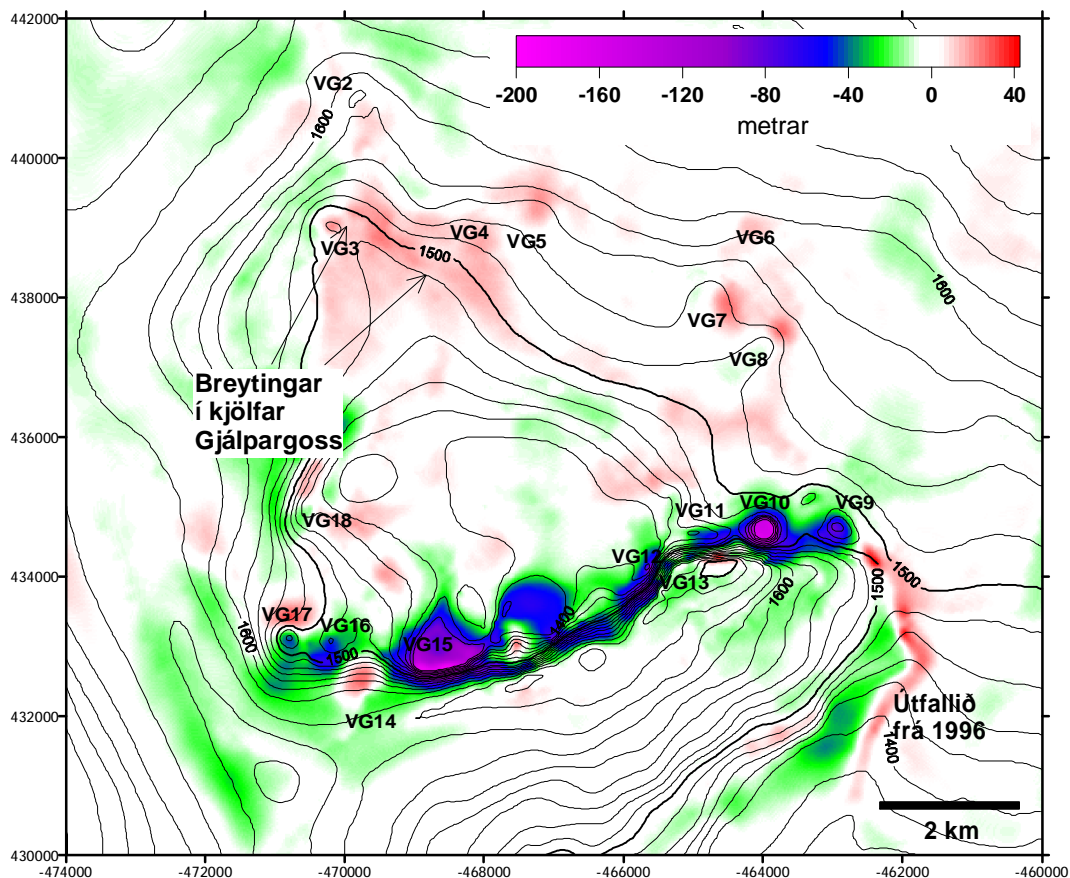
6. mynd. Þróun sigkatla í Grímsvötnum 1998-2004. Rautt: stökkandi ketill, blátt: minnkandi ketill.



7. mynd. a) Fjöldi sigkatla sem stækka (rautt) eða minnka (blátt) 1997-2004. b) Varmaaflið 1991-2003. Óvissa í grunnafli er meiri en óvissa í umframafli.

Á 7. mynd eru upplýsingar um ísbráðnun síðustu ára og þróun sigkatla dregnar saman. Á 7 (a) er sýndur fjöldi katla sem stækka (rautt) og minnka (blátt). Á 7 (b) er varmaaflið 1991-2003 en eins og áður sagði leyfa gögnin ekki tölulegt mat á aflinu 2003-2004. Báðar myndirnar sýna sömu þróunina enda byggðar á sömu gögnunum: Jarðhiti óx árið fyrir gosið 1998, stórjókst í kjölfar gossins en aukningin fjaraði síðan út á 3-4 árum. Hiti vex aftur 2003 og mynd 7 (a) bendir til aukningar milli 2003 og 2004. Sama þróunin varð því fyrir gosin 1998 og 2004.

Aukning í jarðhita 1998 var einkum að norðanverðu og á þeim stað þar sem gosið braust út síðar á árinu. Aukning 2003-2004 verður m.a. í suðvesturhorni vatnanna. Túlka má gögnin þannig að hitaukning fyrir seinna gosið hafi legið sunnar og vestar en fyrir það fyrra. Þá vekur það athygli að í báðum tilvikum varð veruleg aukning í jarðhita þar sem gos braust síðan út. Það gæti þó verið tilviljun.



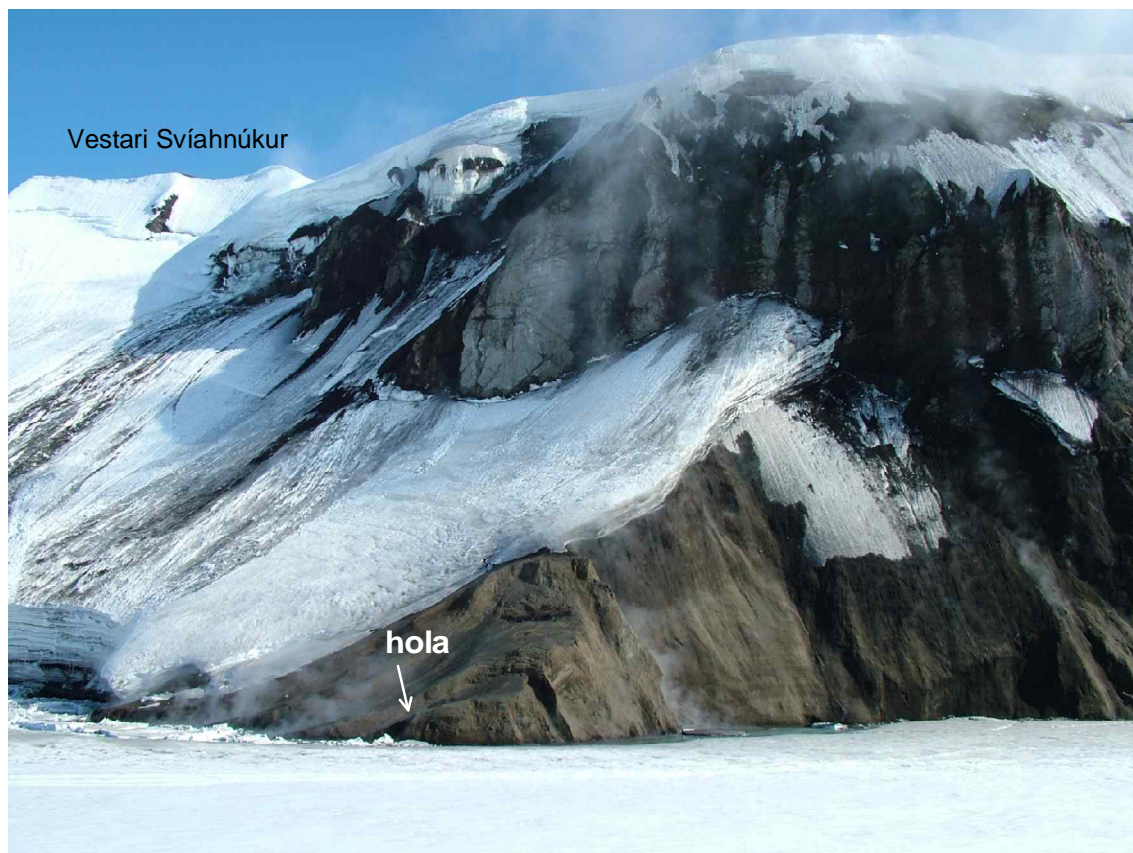
8. mynd. Hæðarbreytingar milli 1998 og 2003.

#### 4. ÍSBRÁÐNUN EFTIR 1998

Á 8. mynd eru sýndar þykktarbreytingar íss á 5 ára tímabili, 1998 til 2003. Svo vel vill til að vatnsborð Grímsvatna var svipað 1998-2003 og mismunur hæðar sýnir vel hvar ís hefur horfið vegna aukins jarðhita. Á tveimur stöðum hefur bráðnunin numið meira en 200 m. Það er vestan við gosstöðvarnar frá 1998 og í stóra sigkatlinum (VG10) norðaustan Eystri Svíahnúks. Hækkun um 10-20 m milli VG3 og VG5 stafar af fyllingu rásar sem myndaðist í Gjálpargosinu og sama á við um útfallið frá 1996 austan Grímsfjalls. Alls nemur ísbráðnun undir suðurhlíð Grímsfjalls 0,5-0,6 km<sup>3</sup> á þessu tímabili. Þar af varð ísbráðnun í gosinu 1998 um 0,15 km<sup>3</sup>. Meirihlutinn hefur því orðið vegna aukningar jarðhita eftir gosið. Þessi þróun hefur leitt til aukins flatarmáls vatnsgeymisins.

Gosið 2004 olli enn aukinni bráðnun og er hún talin hafa numið um 0,1 km<sup>3</sup> í lok þess. Ef þróunin verður svipuð eftir það gos og var eftir 1998, má búast við að meiri ís hverfi syðst í Grímsvötnum, undir norðurhlíð Grímsfjalls. Það myndi leiða til hraðara ísskriðs úr norðri, þynningar íshellunnar og stækkunar vatnsgeymisins. Áhrif þessa á Grímsvatnahlaup fara eftir þróun ísstíflunnar á næstu árum.

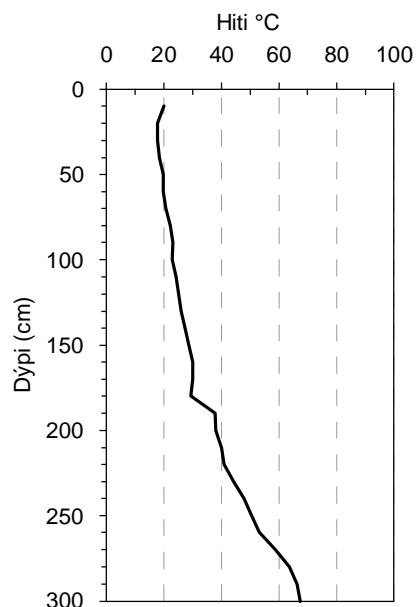




9. mynd. Leifar vesturbarms gígsins frá 1998. Horft úr norðri. Myndin var tekin 9. júní 2004.

## 5. BREYTINGAR Á GÍGSVÆÐI

Gígsvæðið frá 1998 var að mestu undir vatni í júní 2004. Aðeins austurbarmur gígsins og efsti hluti leifanna af vesturbarminum náðu upp fyrir vatnsborðið (9. mynd). Austurbarmurinn er fremur kaldur og hefur safnast á hann hjarn og 20-30 m fönn með slúttandi stáli til norðurs hálfyllir gígskálina sjálfa. Það sem upp úr stóð af vesturbarminum var hinsvegar snjólaust og í því verulegur hiti eins og áður (9. mynd). Svæðið þar sem hitamælingar í gjósku hafa verið unnar, var allt á kafi í vatni. Grafín var ein hola, um 3 m djúp til að kanna hitastig og ummyndun ( $64^{\circ} 23.85' 17^{\circ} 20.05' 1411\text{m y.s.}$ ). Hitaferill holunnar er á 10. mynd. Hann sýnir stöðuga hækkun hita með dýpi en mun hægari stigul en var á hitasvæðunum vestar síðustu ár (sjá fyrri skýrslur). Ekki fundust merki um móbergsmýndun en sýni voru tekin fyrir Náttúrfræðistofnun Íslands.



10. mynd. Hiti sem fall af dýpi í holunni í vesturbarmi gígsins frá 1998

Athyglisvert er að móbergsmýndun virðist ekki hafa náð sér verulega af stað í vesturbarmi gígsins frá 1998 á þeim 6 árum sem liðin eru frá gosinu, þrátt fyrir verulegan hita í gjóskuhaugnum frá goslokum (sjá fyrri skýrslur). Þessi hegðun er nokkuð önnur en sást í Surtsey þar sem gjóskan ummyndaðist í móberg á fáum árum (Sveinn Jakobsson, 1979).

## 6. SAMANTEKT

- Vatnsborð Grímsvatna hækkaði verulega milli 2003 og 2004. Töluvert hlaup kom í lok október og vatnsborðslækkunin sem því fylgdi virðist hafa hleypt af stað eldgosinu 1. nóvember. Gosið kom ekki á óvart í ljósi þess að forboðar eldgoss voru komnir fram: Landris, aukin jarðskjálftavirkni og aukinn jarðhiti.
- Breytingar á ísstíflu Grímsvatna voru litlar milli 2003 og 2004. Dálítill hækking varð þó jafnframt sem að austasti sigketillinn (VG9) minnkaði lítið eitt. Þessi litla breyting, að jarðhiti við ísstífluna sjálfa minnkar er líklegasta orsök þess að vatnsborð náði að rísa upp í um 1420 m fyrir hlaupið í október 2004.
- Í aðdraganda gossins 2004 óx jarðhiti eins og gerðist fyrir gosið 1998. Þungamiðja jarðhitaaukningar nú var nokkru vestar en var 1998, m.a. varð veruleg aukning í suðvesturhorninu þar sem gosið í nóvember síðastliðnum kom upp.
- Rúmmál íss innan Grímsvatna minnkaði um 0,5-0,6 km<sup>3</sup> á fimm ára tímabili, 1998 til 2003. Þá bræddi gosið 2004 um 0,1 km<sup>3</sup> af ís meðan á því stóð. Þessar breytingar leiða til stækkunar vatnsgeymis Grímsvatna. Þessi þróun mun leiða til stækkandi Grímsvatnahlaupa ef ísstíflan nær að styrkjast eins og gerðist milli 2003 og 2004.
- Ekki hefur orðið vart við umtalsverða ummyndun gjósku í móberg í vesturbarmi gígsins frá 1998, þrátt fyrir verulegan jarhita þar undanfarin ár. Ekki er ljóst af hverju móbergsmýndun er hægari í gígunum frá 1998 en var í Surtsey.

## 7. HEIMILDIR

Guðrún Larsen, Magnús T. Guðmundsson og Helgi Björnsson. 1998. *Eight centuries of periodic volcanism at the center of the Iceland hot spot revealed by glacier tephrostratigraphy*. *Geology*, 26, 943-946.

Helgi Björnsson. 1997. *Grímsvatnahlaup fyrr og nú*. Í: Hreinn Haraldsson (ritstj.) *Vatnajökull. Gos og hlaup 1996*, Vegagerðin, Reykjavík, 61-78.

Helgi Björnsson. 1988. *Hydrology of ice caps in volcanic regions*, *Societas Scientiarum Islandica*, 45, Reykjavík. 139 bls.

Helgi Björnsson og Magnús T. Guðmundsson. 1993. *Variations in the thermal output of the subglacial Grímsvötn Caldera, Iceland*. *Geophysical Research Letters*, 20, 2127-2130.

- Helgi Björnsson, Helmut Rott, Sverrir Gudmundsson, Andrea Fischer, Andreas Siegel and Magnús T. Gudmundsson. 2001. *Glacier-volcano interactions deduced by SAR interferometry*. Journal of Glaciology, 47, 58-70.
- Hreinn Haraldsson (ritstj.). 1997. *Vatnajökull. Gos og hlaup 1996*, Vegagerðin, Reykjavík.
- Magnús T. Guðmundsson, Freysteinn Sigmundsson og Helgi Björnsson. 1997. *Ice-volcano interaction of the 1996 Gjálp subglacial eruption, Vatnajökull, Iceland*. Nature, 389, 954-957.
- Magnús T. Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir, Finnur Pálsson og Helgi Björnsson. 2000. *Grímsvötn: Eldgosið 1998 og breytingar á botni, rúmmáli og jarðhita 1996-1999*. Raunvísindastofnun Háskólans RH-03-2000. 32 bls.
- Magnús T. Guðmundsson, Finnur Pálsson, Þórdís Högnadóttir, Kirsty Langley og Helgi Björnsson. 2001. *Rannsóknir í Grímsvötnum árið 2000*. Raunvísindastofnun Háskólans, RH-30-2001. 25 bls.
- Magnús T. Gudmundsson, Finnur Pálsson, Helgi Björnsson, og Þórdís Högnadóttir. 2002. *The hyaloclastite ridge formed in the subglacial 1996 eruption and Gjálp, Vatnajökull, Iceland: present day shape and future preservation*, in Volcano-Ice Interaction on Earth and Mars, Geological Society London Spec. Publ., 202 ritstj: J.L. Smellie og M. Chapman, pp. 319-335.
- Magnús T. Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir og Kirsty Langley. 2003a. *Jarðhiti, gosstöðvar og skilyrði til vatnssöfnunar í Grímsvötnum 2001-2002*. Raunvísindastofnun Háskólans, RH-30-2001. 30 bls.
- Magnús T. Gudmundsson, Freysteinn Sigmundsson, Helgi Björnsson og Þórdís Högnadóttir. 2004. *The 1996 eruption at Gjálp, Vatnajökull ice cap, Iceland: efficiency of heat transfer, ice deformation and subglacial water pressure*. Bulletin of Volcanology, 66:46-65.
- Magnús T. Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir. 2004. *Rannsóknir á jarðhita í Grímsvötnum árið 2003*. Raunvísindastofnun Háskólans, RH-02-2004. 14 bls.
- Sturkell, Erik, Páll Einarsson, Freysteinn Sigmundsson, Sigrún Hreinsdóttir og Halldór Geirsson. 2003. *Deformation of Grímsvötn volcano, Iceland: 1998 eruption and subsequent inflation*. Geophysical Research Letters, 30, no. 4, 1182. doi:10.1029/2002GL016460.
- Sveinn Jakobsson. 1979. *Outline of the Petrology of Iceland*. Jökull 29, 57-73
- Sverrir Gudmundsson, Magnús Tumi Gudmundsson, Helgi Björnsson, Freysteinn Sigmundsson, Helmut Rott og Jens Michael Carstensen. 2002. *Three-dimensional glacier surface motion maps at the Gjálp eruption site, Iceland, inferred from combining InSAR and other ice displacement data*. Annals of Glaciology, 34, 315-322.

VIÐAUKI A: DGPS SNIÐMÆLINGAR Í JÚNÍ 2004.

