

LV-2011-100



Landsvirkjun



## Könnun á smáskjálftavirkni við Hágöngulón 2010

# Könnun á smáskjálftavirkni við Hágöngulón 2010

Höfundar:  
Einar Kjartansson  
Sigurlaug Hjaltadóttir  
Kristín S. Vogfjörð



Skýrsla VÍ 2011/011

ISSN 1670-8261

Október 2011

Skýrsla LV nr: LV-2011-100 Dags: Október 2011

Fjöldi síðna: 13	Upplag: 15	Dreifing:	<input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Birt á vef LV <input type="checkbox"/> Takmörkuð til
------------------	------------	-----------	--

Titill: Könnun á smáskjálftavirkni við Hágöngulón 2010

Höfundar / fyrirtæki Einar Kjartansson, Sigurlaug Hjaltadóttir og Kristín S. Vogfjörð

Verkefnisstjóri: Ásgrímur Guðmundsson Kristín S. Vogfjörð f.h. VÍ

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: \_\_\_\_\_

Útdráttur: Möguleg smáskjálftavirkni tengd jarðhitasvæðinu undir Hágöngulóni var könnuð á árinu 2010. Annars vegar var leitað að mögulegum smáskjálftum í bylgjugögnum frá SIL-stöðinni Skrokköldu á völdum dögum fyrri hluta ársins. Hins vegar var sett upp tíma-bundið net fjögurra mæla umhverfis lónið sem notaðir voru, ásamt næstu SIL-stöðvum, til þess að nema og staðsetja mögulega smáskjálfta við lónið seinni hluta árs. Könnunin leiddi í ljós að ekki varð vart við skjálftavirkni undir lóninu, utan frostbrestir sem einkum mældust í nóvember eftir að frysta tók en fjölmargir skjálftar mældust við Hamarinn. Þróaðar voru aðferðir til þess nýta farsímatækni til gagnaflutnings jafnóðum svo og til að breyta gögnunum kerfisbundið af Reftek-sniði sem safnað er á yfir á bc-snið sem notað er til frekari úrvinnslu skjálftagagna á Veðurstofu Íslands.

Lykilorð:

Hágöngur, Hágöngulón, smáskjálftar, Hamarinn, skjálftavirkni, jarðhitasvæði, frostbrestir

ISBN nr: \_\_\_\_\_

Samþykki verkefnisstjóra  
Landsvirkjunar

*Ásgrímur Guðmundsson*  
*Samþykkið*



## Efnisyfirlit

1	Inngangur.....	7
2	Könnun á smáskjálftum með bylgjugögnum frá Skrokköldu.....	7
3	Uppsetning jarðskjálftamæla og söfnun gagna .....	8
4	Úrvinnsla .....	10
5	Niðurstöður.....	11
6	Lokaorð .....	13
	English Summary .....	13
	Heimildir .....	13

## Myndaskrá

Mynd 1. a) Líklegur frostbrestur við Hágöngulón skráður kl. 00:02:19, 20. apríl í um -13°C frosti. b) Skjálfti sem skráður var á Skrokköldu 26. maí um kl. 05:51:25 .....	7
Mynd 2. Staðsetning tímabundinna stöðva við Hágöngulón, hgv, hgs, hga og hgn.. .....	9
Mynd 3. Sólarrafhlaða, lofnet og rafgeymir stöðvarinnar hga. Hágöngulón og Nyrðri Háganga í baksýn. ....	9
Mynd 4. Skjálftar sem staðsettir hafa verið með SIL-kerfinu við Hágöngur frá upphafi stafrænna skjálftamælinga .....	11
Mynd 5. Kort sem sýnir þá skjálfta (hringir) sem staðsettir voru nærri Hágöngulóni og í norðvestanverðum Vatnajökli í júlí og fram í nóvember 2010.. .....	12
Mynd 6. Stærð skjálfta sem staðsettir voru með Hágöngunetinu frá júlí fram í nóvember 2010 sem fall af tíma. ....	12

## Töfluskrá

Tafla 1. Helstu upplýsingar um stöðvarnar sem settar voru upp umhverfis Hágöngulón....	8
Tafla 2. Upplýsingar varðandi fjarskipti við stöðvarnar fjórar.....	8

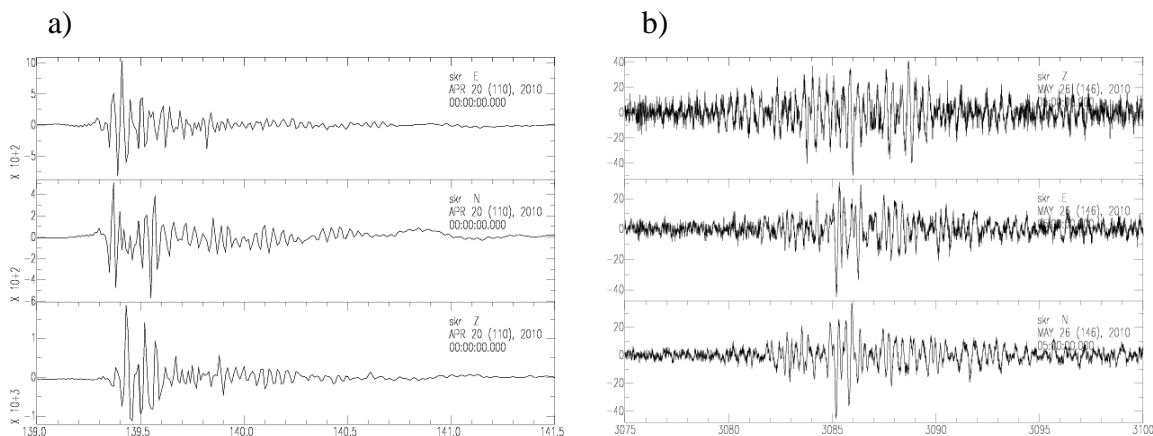


# 1 Inngangur

Snemma árs 2010 fór Landsvirkjun þess á leit við Veðurstofu Íslands að gerð yrði könnun á mögulegri smáskjálftavirkni tengdri jarðhitasvæðinu undir Hágöngulóni, en frá uppsetningu stafræna skjálftamælinetsins upp úr 1990 og fram til ársins 2010 höfðu afar fáir skjálftar verið staðsettir á svæðinu. Verkefnið var tvíþætt. Annars vegar skyldi kanna mögulega smáskjálftavirkni með því að skoða bylgjugögn frá næstu SIL-mælistöð, Skrokköldu, sem staðsett er um 8 km vestan lónsins. Hins vegar var ætlunin að mæla mögulega smáskjálfta undir Hágöngulóni með þéttara, tímabundnu mælaneti sem koma átti fyrir sumarið 2010 og reka fram eftir hausti. Í þessum tilgangi voru fjórar stöðvar settar upp umhverfis lónið og söfnuðu þær gögnum í tæpa fimm mánuði. Við mælingarnar voru notuð tæki frá jarðskjálftamælabankanum Loka sem er í eigu Veðurstofunnar, Íslenskra orkurannsókna, Jarðvísindastofnunar Háskólans og Háskólans í Reykjavík.

## 2 Könnun á smáskjálftum með bylgjugögnum frá Skrokköldu

Bylgjugögn frá SIL-stöðinni Skrokköldu voru notuð til að kanna smáskjálftavirkni á Hágöngusvæðinu fyrri hluta árs 2010. Valdir voru nokkrir dagar þar sem fasamerki (þ.e. líkleg merki um P- eða S- bylgjur sem sjálfvirka staðsetningarkerfið nemur) voru áberandi mörg: Það voru 20. apríl, 23. maí, 26. maí og 5. ágúst auk þess sem ein og ein klukkustund var valin til að skoða dagana 22. apríl, 1. júní og 14. júní en þá voru fá fasamerki. Þá daga sem skoðaðir voru fundust ekki skjálftar með upptök nærri Hágöngusvæði nema líklegir frostbrestir.



Mynd 1. a) Líklegur frostbrestur við Hágöngulón skráður kl. 00:02:19, 20. apríl í um  $-13^{\circ}\text{C}$  frosti. b) Skjálfti sem skráður var á Skrokköldu 26. maí um kl. 05:51:25, líkleg upptök eru nærri Hamrinum (í vestanverðum Vatnajökli).

Á mynd 1a má sjá dæmi um óvenju greinilegan atburð sem fannst á stöðinni 20. apríl og hafði ekki verið staðsettur í SIL-kerfinu. Þessi atburður er talinn vera frostbrestur sem líklega á upptök sín í um 3 km fjarlægð frá mælistöðinni Skrokköldu (mismunur á komutíma P- og S-bylgju er um  $t_p - t_s = 0,6$  s), hugsanlega nálægt lóninu en á þessum tíma mældist frost á sjálfvirkri veðurstöð Veðurstofunnar við Hágöngur  $-12,8^{\circ}\text{C}$ . Til samanburðar má sjá á mynd 1b dæmi um lítinn skjálfta með  $t_p - t_s \approx 5$  s, og á hann upptök sín í u.þ.b. 30 km fjarlægð frá Skrokköldu, eða líklega í Hamrinum í vestanverðum Vatnajökli.

Allmargir atburðir fundust með svipaðan mismun á komutíma P- og S- bylgju,  $t_P - t_S \sim 4-5$  s, sem eiga að öllum líkindum einnig upptök sín í Hamrinum. Áætluð stærð frostbrestsins sem greindist á Skrokköldu (mynd 1a) er um  $M_L 0,0$ .

### 3 Uppsetning jarðskjálftamæla og söfnun gagna

Settar voru upp fjórar jarðskjálftamælistöðvar við Hágöngulón dagana 28. til 30. júní 2010 af Bergi H. Bergssyni og Einari Kjartanssyni. Á öllum stöðvunum voru stafsetjarar af gerðinni RefTek 130, nemar af gerðinni Lennarts 5, sólarraflöður sem afkasta allt að 60–70 W, 12 volta rafgeymir með rýmd um það bil 180 Amperstundir og GPS móttakari. Staðsetning stöðvanna er sýnd á mynd 2 og helstu upplýsingar um þær er að finna í töflu 1. Dæmigerð uppsetning stöðvar er sýnd á mynd 3.

Tafla 1. Helstu upplýsingar um stöðvarnar sem settar voru upp umhverfis Hágöngulón.

nafn	lengd	breidd	hæð	stafsetjari	nemi	undirlag	upp/niður
hga	18.06823	64.57482	851	9870	Y-584	Móberg, múr	29. júní/29. okt. 24. nóv./ágúst '11
hgn	18.10307	64.62240	910	9871	Y-589 Y-590	Móberg	30. júní/23. nóv.
hgv	18.24718	64.54378	830	986F	AB- 722	Sandur, steinhella	30. júní/23. nóv.
hgs	18.11775	64.51280	831	9886	Y-586	Sandur, múr	29. júní/23. nóv.

Grafnar voru holur, 60 cm breiðar og 45–60 cm djúpar. Þegar nemanum hafði verið komið fyrir var steinull (þéttull) sett meðfram honum og yfir hann. Plast var sett yfir steinullina og 12 mm krossviðarplata þar á ofan. Ofan á plötuna var sett þunnt lag af jarðvegi. Á þremur stöðvanna náðist gott GSM farsímamerki frá Símanum. Þar voru settir upp beinar fyrir netsamskipti, af gerðinni Edge Router ER75i ([www.conel.cz](http://www.conel.cz)). Á fjórðu stöðinni, hgn, var farsímamerki Símans veikt, en merki frá Vodafone miklu sterkara. Settur var upp beinir með tengingu við farsímanet Vodafone þann 7. september.

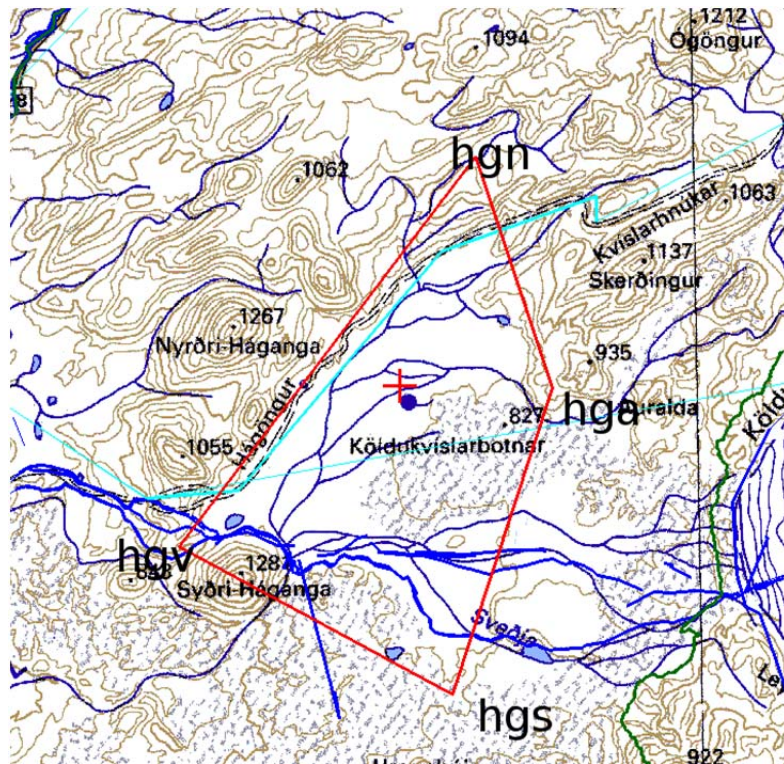
Tafla 2. Upplýsingar varðandi fjarskipti við stöðvarnar fjórar.

stöð	IP-tala	símanúmer	styrkur merkis
hga	157.157.145.125	895 9188	-91 dBm
hgs	157.157.145.124	895 9077	-71 dBm
hgv	157.157.145.126	895 9788	-63 dBm
hgn	194.44.255.161	6900645	breytilegur

Nettengingin nýttist til þess að fylgjast með stöðvunum, þar með talið spennu á rafgeymum, hitastigi á stafsetjara og tímanákvæmni og einnig til þess að sækja gögn. Þá var sá möguleiki fyrir hendi að breyta stillingum stafsetjaranna, ef ástæða þætti til. Rekstur



nettengdu stöðvanna gekk vel, sólarrafhlöður dugðu til að halda rafgeymum fullhlöðnum og vel gekk að sækja gögn.



Mynd 2. Staðsetning tímabundinna stöðva við Hágöngulón, hgv, hgs, hga og hgn. Stöðvarnar eru staðsettar í hornpunktum rauða ferilsins.



Mynd 3. Sólarrafhlaða, lofnet og rafgeymir stöðvarinnar hga. Hágöngulón og Nyrðri Háganga í baksýn.

**Hgs** safnaði gögnum í 147 daga, frá 29. júní til 23. nóvember. Gagnasöfnun var samfelld og gögn voru sótt jafnóðum um EDGE (GPRS) beini tengdan farsímaneti Símans. Fljótlega eftir uppsetningu bilaði beinirinn þannig að ekki var hægt að komast að stillingum hans yfir netið. Það hafði þó ekki áhrif á flutning gagna. Næg spenna hélst á rafgeymum meðan á mælingum stóð en var þó komin niður í 11,6 volt síðustu nóttina.

**Hgv** safnaði gögnum í 146 daga frá 30. júní til 23. nóvember. Klukkan 05:50 þann 3. júlí bilaði neminn, sem olli því að lóðrétti þáttur hreyfingar var ekki skráður. Skipt var um nema þann 7. september og eftir það var skráning í lagi. Á þessari stöð var heldur meira suð en á hinum stöðvunum. Þetta stafaði líklega af lakari undirstöðu en ekki náðist að finna trausta undirstöðu fyrir nemann. Þetta gæti þó einnig stafað af því að þarna sé lengra niður á grunnvatn en á hinum stöðvunum.

**Hgn** safnaði gögnum í 146 daga, frá 30. júní til 23. nóvember. Skráning var samfelld. Framan af var stöðin ekki í netsambandi en sambandi um farsímakerfi Vodafone var komið á þann 7. september. Sambandið var breytilegt, lengst af mjög gott en stundum það lélegt að ekki tókst að flytja heilar gagnaskrár. Ekki fannst skýring á þessu.

**Hga** safnaði gögnum í 122 daga frá 29. júní til 29. október en skráningu lauk þegar Reftek skráningartæki bilaði. Gagnasöfnun var næstum samfelld. Nokkrar stuttar truflanir á skráningu tengjast hugsanlega bilun í skráningartækinu. Gögn voru sótt með EDGE (GPRS) beini tengdum farsímaneti Símans. Framan af var sambandið tæpt en lagaðist eftir að sett var upp loftnet með um það bil 10 db mögnun þann 7. september. Vegna vaxandi virkni í vestanverðum Vatnajökli haustið 2010 var ákveðið að reka þessa stöð áfram. Þann 24. nóvember hófst gagnasöfnun á ný eftir að skipt hafði verið um skráningartæki, bætt við 70 watta sólarrafhlöðu og þremur 180 Amperstunda rafgeymum. Stöðin var í gangi fram í ágúst 2011 en GPS tæki hafði þá bilað tvívegis. Nýjar breiðbandsstöðvar voru settar upp haustið 2011 við vestanverðan Vatnajökul og var stöðin því tekin niður.

Allar stöðvarnar voru með nægilegt minni til þess að skrá og geyma öll gögn fyrir tímann sem mælingarnar stóðu yfir. Þau hafa nú verið vistuð á tölvukerfi Veðurstofunnar.

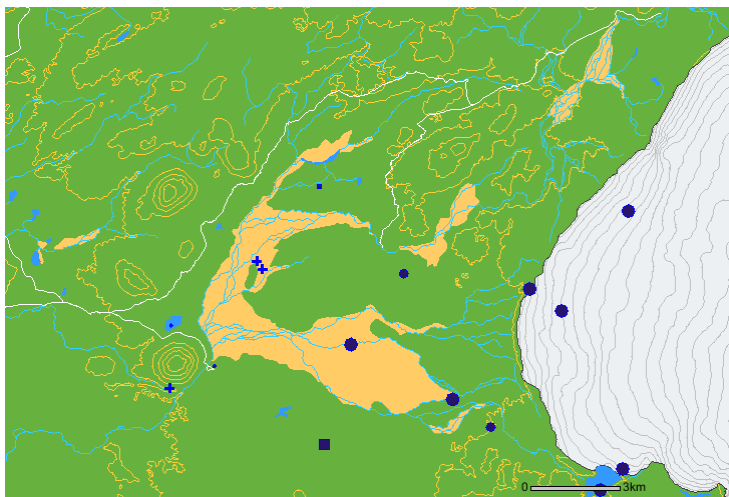
## 4 Úrvinnsla

Nokkur vinnutími fór í að þróa verklag til þess að nýta farsímataækni til þess að sækja gögn jafnóðum. Þetta hefur sparað ferðir til að kanna ástand mælitækja og dregið úr afföllum vegna bilana.

Hugbúnaður SIL-kerfisins var notaður við úrvinnslu mælinganna. Umbreyta þurfti gögnum af RefTek-sniði yfir á það snið sem notað er í SIL kerfinu og voru skrifuð forrit til þess að lesa RefTek gögn inn í SIL kerfið. Þar sem gagnaúrvinnsla var ekki framkvæmd í rauntíma þurfti að aðlaga forrit, sem keyra í rauntíma á gögn á fastastöðvum SIL kerfisins og notuð eru til þess að finna skjálfta, til þess að vinna með eldri gögn. Forritin voru síðan keyrð á gögnin og skrár gerðar yfir hugsanlega atburði (skjálfta). Farið var handvirkt yfir atburði á sama hátt og gert er í reglubundnu eftirliti með jarðskjálfta-virkni á Veðurstofunni. Leitað var að atburðum í gögnum frá tímabundnu stöðvunum fjórum, ásamt fastastöðinni á Skrokköldu. Ef merki um aukið útslag fannst á þremur stöðvanna þannig að innan við 4 sekúndur voru milli útslags á einstökum stöðvum, þá var það skráð sem mögulegur atburður. Skráðir voru 2287 slíkir atburðir. Farið var yfir bylgjugögn fyrir þessa atburði handvirkt og staðsetning ákvörðuð fyrir 809 þeirra.

## 5 Niðurstöður

Frá upphafi samfelldra, stafrænna skjálftamælinga SIL-kerfisins hafa ekki mælst neinar smáskjálftahrinur undir Hágöngulóni, eða við það. Við nánari athugun má sjá að einungis fáeinir atburðir (mögulegir jarðskjálftar, frostbrestir eða staðfestar sprengingar) hafa mælst undir eða í námunda við Hágöngulón frá árinu 1991 og fram í mars 2011. Þessir atburðir eru sýndir á mynd 4. Nálægasta skjálftasvæði er að finna í vestanverðum Vatnajökli, við Hamarinn, þar sem skjálftar eru tíðir.

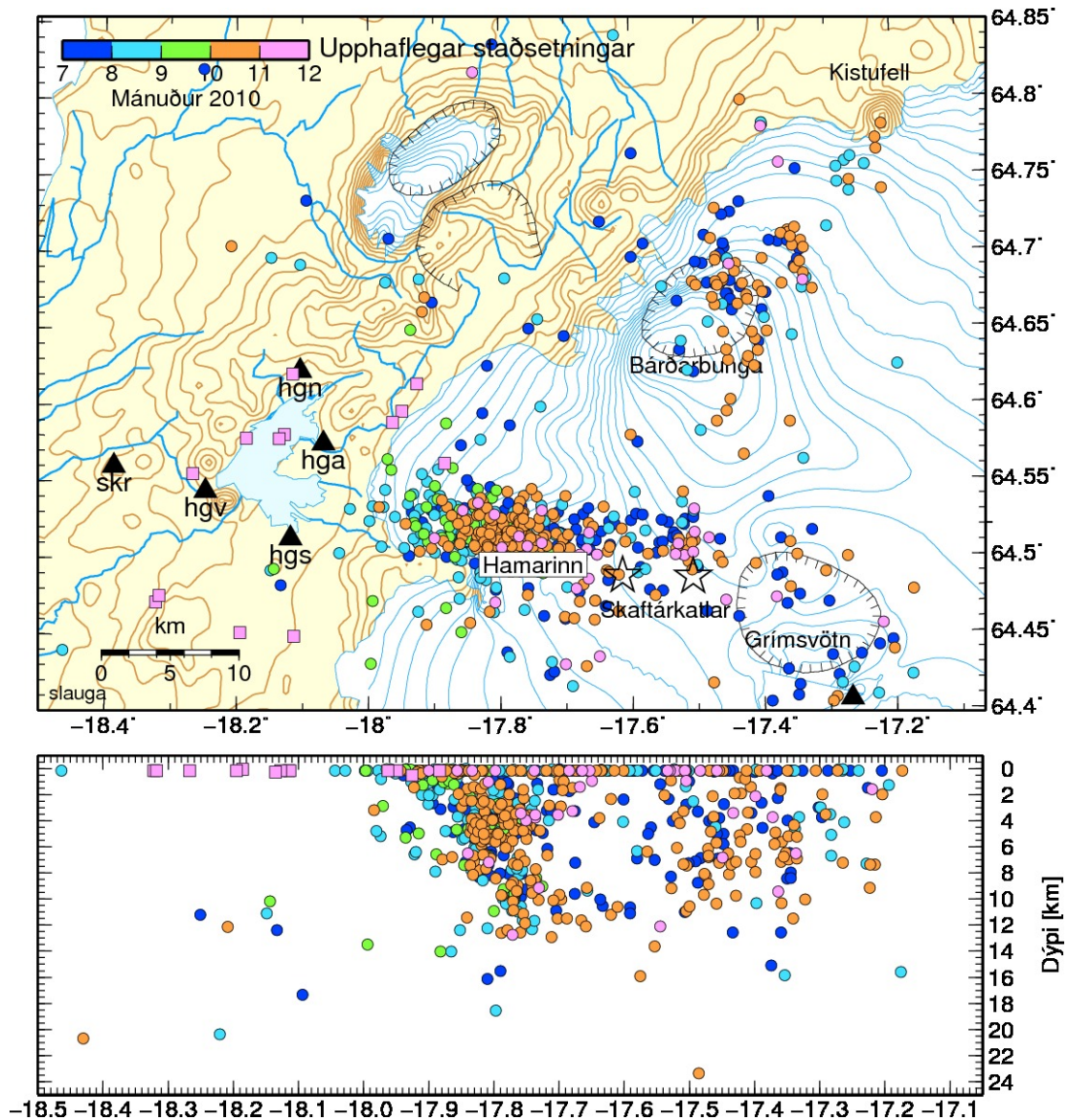


Mynd 4. Skjálftar sem staðsettir hafa verið með SIL-kerfinu við Hágöngur frá upphafi stafrænna skjálftamælinga, eða milli 1991 og mars 2011 sýndir í bláum lit. Hringir tákna jarðskjálfta, ferningar skjálfta af óvissum uppruna (líklega frostbresti) og krossar staðfestar sprengingar.

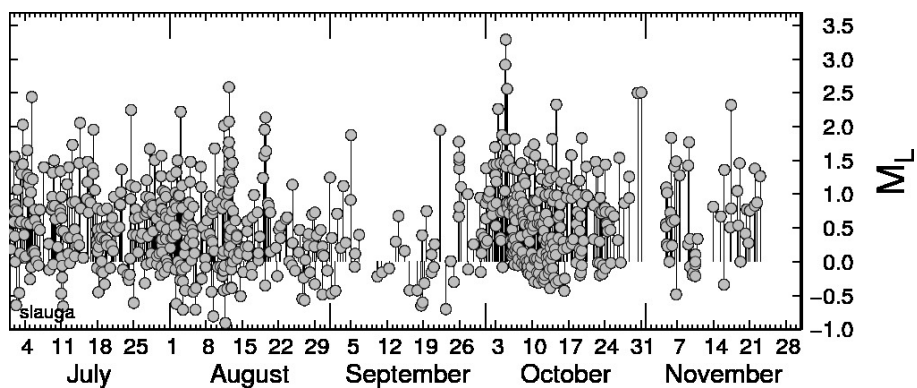
Þeir u.þ.b. 730 skjálftar sem staðsettir voru með tímabundna netinu við norðvestanverðan Vatnajökul eru sýndir bæði á korti og A-V-þversniði á mynd 5. Þeir eru nær allir staðsettir vestan Hágöngulónsins, við Hamarinn, en einnig mældist þó nokkur virkni við Grímsvötn, Bárðarbungu og Kistufell. Þrír skjálftar (einn í júlí, einn í ágúst og einn í september) eru staðsettir á 10–12 km dýpi sunnan lónsins, rétt sunnan við stöðina **hgs**, en skjálftar fundust ekki undir lóninu, utan frostbresti sem mældust í vetrarbyrjun. Nokkrir þeirra frostbresta sem urðu í nóvember voru staðsettir og má sjá á mynd 5 sem bleika ferninga.

Prófað var að endurstaðsetja skjálftana (Slunga o.fl., 1995) með aðferð sem notast við víxl fylgnireikninga á bylgjugögnunum (e. cross-correlation) og venjulega bætir aðferðin til muna nákvæmni á afstæðum staðsetningum nálæggra skjálfta. Við endurstaðsetninguna færðust nokkrir skjálftanna að austurenda lónsins en óvissa í staðsetningu þeirra var mjög mikil í A-V-stefnu svo þær staðsetningar voru taldar mjög óreiðanlegar. Bylgjugögn þessara skjálfta voru skoðuð sérstaklega og kom í ljós að erfitt var að greina komutíma S-bylgju og/eða P-bylgju á nálægustu stöðvum. Því er frekar talið að skjálftarnir eigi upptök í skjálftasvæðinu við Hamarinn.

Eins og sjá má á mynd 6, sem sýnir stærð þeirra skjálfta sem staðsettir voru (og sýndir eru á mynd 5), nam netið mjög litla skjálfta, allt niður fyrir  $M_L -0,5$ , en um 50% skjálftanna voru undir stærð  $M_L 0,5$ . Það er því nokkuð víst að netið hefði numið skjálfta undir lóninu ef einhver virkni hefði verið þar. Niðurstaða þessarar könnunar er því sú að ekki hafi orðið vart við vel staðsetjanlega smáskjálftavirkni undir Hágöngulóni, utan frostbresti sem mældust í miklum kuldum. Er sú niðurstaða í samræmi við forkönnunina sem gerð var á skjálftagögnunum frá Skrokköldu frá fyrri hluta árs 2010.



Mynd 5. Kort sem sýnir þá skjálfta (hringir) sem staðsettir voru nærri Hágöngulóni og í norðvestanverðum Vatnajökli í júlí og fram í nóvember 2010. Litur hringjanna sýnir í hvaða mánuði skjálftarnir urðu. Ferningar sýna þá frostbresti sem staðsettir voru. Svartir þríhyrningar sýna staðsetningu skjálftastöðva umhverfis lónið (blátt). Fyrir neðan kortið má sjá A-V þversnið þar sem horft er til norðurs.



Mynd 6. Stærð skjálfta sem staðsettir voru með Hágöngunetinu frá júlí fram í nóvember 2010 sem fall af tíma.

## 6 Lokaorð

Sú rannsókn sem farið hefur fram með þéttu tímabundnu jarðskjálftamælaneti við Hágöngulón síðari hluta árs 2010 hefur leitt í ljós að ekki fundust neinir smáskjálftar sem gætu átt uppruna sinn í jarðhitasvæðinu undir lóninu, heldur einungis frostbrestir sem verða helst í yfirborðinu í miklum kuldum. Fjöldi lítilla skjálfta voru hins vegar staðsettir 4–30 km austar, við Hamarinn í Vatnajökli. 12.–13. júlí 2011 mældust óróahviður á þessu svæði og í kjölfarið hljóp vatn undan jöklinum í Hágöngulón og sigdældir mynduðust í jöklinum.

Sú vinna, sem farið hefur í að þróa bæði gagnaflytning svo og breytingu á sniði gagnanna, mun verða mjög gagnleg í öðrum verkefnum sem nota færanlega mæla og auðvelda og flýta allri úrvinnslu slíkra verkefna í framtíðinni. T.a.m. hefur verklagið þegar komið að gagni við færanlegt mælanet við Blöndulón þar sem nýverið var fylgst með aukinni skjálftavirkni á svæðinu.

## English Summary

We looked for possible microseismicity in connection with geothermal areas beneath the Hágöngulón lake reservoir in year 2010. The research was carried out in two steps, firstly by using waveforms from a nearby permanent seismic station (Skrokkalda) to look for possible events originating at the reservoir site and secondly by deploying four temporary seismic stations around the reservoir (see maps in figures 2 and 5) to record possible small magnitude events which are not detected by the permanent seismic network, SIL.

The signals at Skrokkalda did not reveal any likely events originating near the reservoir, except frost breaks which occurred during coldest winter days (figure 1). Similarly, data from the four temporary stations along with data from the nearby station Skrokkalda (skr) did not reveal microseismic activity at the reservoir, but frost breaks were located at and near the lake during cold days in November (pink squares in figure 5). The temporary network also detected many events which were located further east, near Hamarinn (figure 5) and elsewhere beneath Vatnajökull ice cap. On 12–13 July tremor pulses were recorded on seismic stations in the region. A glacial flood (jökulhlaup) drained into the Hágöngulón reservoir just after midnight on 13 July and an ice cauldron was formed on the surface on the glacier just north-east of Hamarinn.

## Heimildir

Slunga, R., Sigurður Th. Rögnvaldsson og Reynir Böðvarsson (1995). Absolute and relative locations of similar events with application to microearthquakes in southern Iceland. *Geophys. J. Int.*, 123, s. 409–419.



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68  
103 Reykjavík  
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is  
Sími: 515 90 00

