

## Bitrusprunga á Hellisheiði kortlögð við gamla þjóðveg með endurstaðsettum smáskjálftum

---

Sigurlaug Hjaltadóttir  
Kristín S. Vogfjörð

---

Veðurstofa Íslands  
Veðurstofa Íslands



---

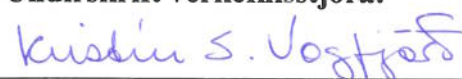
## Bitrusprungu á Hellisheiði kortlögð við gamla þjóðveg með endurstaðsettum smáskjálftum

---

Sigurlaug Hjaltadóttir  
Kristín S. Vogfjörð



Lykilsíða

<b>Skýrsla nr.:</b> VÍ 2009-005	<b>Dags.:</b> Júlí 2009	<b>Dreifing:</b> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>
		<b>Skilmálar:</b>
<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b> Bitrusprunga á Hellisheiði kortlögð við gamla þjóðveg með endurstaðsettum smáskjálftum		<b>Upplag:</b> 12
		<b>Fjöldi síðna:</b> 14
<b>Höfundar:</b> Sigurlaug Hjaltadóttir Kristín S. Vogfjörð		<b>Verkefnisstjóri:</b> Kristín S. Vogfjörð
<b>Gerð skýrslu/Verkstig:</b> Rannsókn		<b>Verknúmer:</b> 2821-8-0001
<b>Unnið fyrir:</b> Orkuveitu Reykjavíkur		
<b>Samvinnuaðilar:</b>		
<b>Útdráttur:</b> Greint er frá nákvæmri kortlagningu á svokallaðri Bitrusprungu á Hellisheiði, þar sem hún sker gamla þjóðveginn yfir heiðina, en Orkuveita Reykjavíkur áformar að bora þar niðurdælingarholu. Skjálftarnir á sprungunni, sem aðallega urðu í hrinu 1997–1998, eru endurstaðsettir með svokallaðri upptakagreiningu, en með þeirri aðferð er unnt að bæta staðsetningar til muna, svo hægt er að kortleggja þá brotflati sem smáskjálftarnir verða á. Aðferðinni er beitt í þremur mismunandi hraðalíkönum. Samkvæmt Suðurlandslíkani (P23) og Reykjaneslíkani (P1), sem teljast hér jafnáreiðanleg, er dýpi niður á virka hluta sprungunnar 1,5–2 km og neðri mörk virkninnar 3–3,5 km þar sem hún sker veginn á 21,291°A og 64,0145°N.		
<b>Lykilorð:</b> Smáskjálftar, kortlagning, sprungukortlagning, sprunga, sprungur, Hellisheiði, Bitra, borun, hraðalíkon	<b>ISSN númer:</b> 1670-8261	
	<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b> 	
	<b>Yfirlit af:</b> SG	



## **EFNISYFIRLIT**

<b>MYNDASKRÁ</b> .....	5
<b>TÖFLUSKRÁ</b> .....	5
<b>1 INNGANGUR</b> .....	7
<b>2 FRAMKVÆMD OG NIÐURSTÖÐUR KORTLAGNINGAR</b> .....	8
<b>3 SAMANTEKT</b> .....	14
<b>HEIMILDIR</b> .....	15

## **MYNDASKRÁ**

<b>Mynd 1.</b> Sprungur kortlagðar með skjálftavirkninni 1997–2001 á Hengilssvæðinu.....	7
<b>Mynd 2.</b> Upphaflegar staðsetningar skjálftanna í SIL-líkani.....	9
<b>Mynd 3.</b> P- og S- hraðalíkon sem notuð voru við staðsetningu skjálftanna.....	10
<b>Mynd 4.</b> Skjálftarnir endurstaðsettir í SIL-líkaninu.....	11
<b>Mynd 5.</b> Skjálftarnir endurstaðsettir í Suðurlandslíkaninu (P23).....	12
<b>Mynd 6.</b> Skjálftarnir endurstaðsettir í Reykjaneslíkaninu (P1). .....	13
<b>Mynd 7.</b> Samanburður á staðsetningum í SIL-, P1- og P23-hraðalíkönunum.....	14

## **TÖFLUSKRÁ**

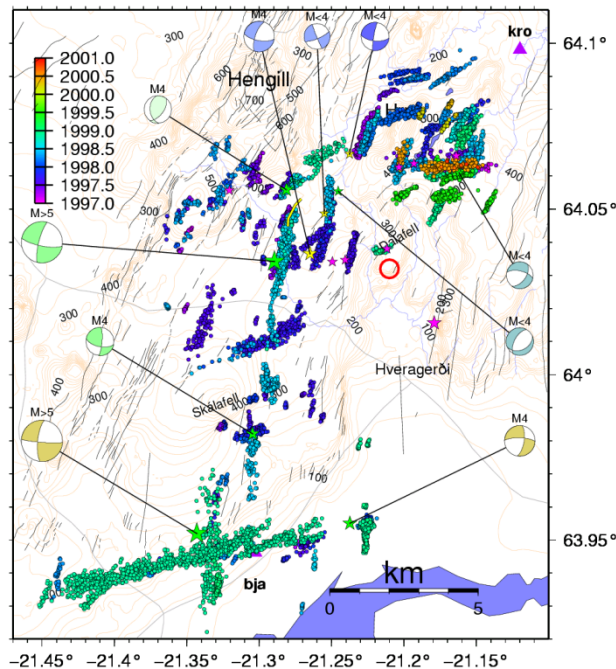
<b>Tafla 1.</b> Staðsetning virka hluta Bitrusprungunnar við gamla þjóðveginn. ....	14
---	----





# 1 INNGANGUR

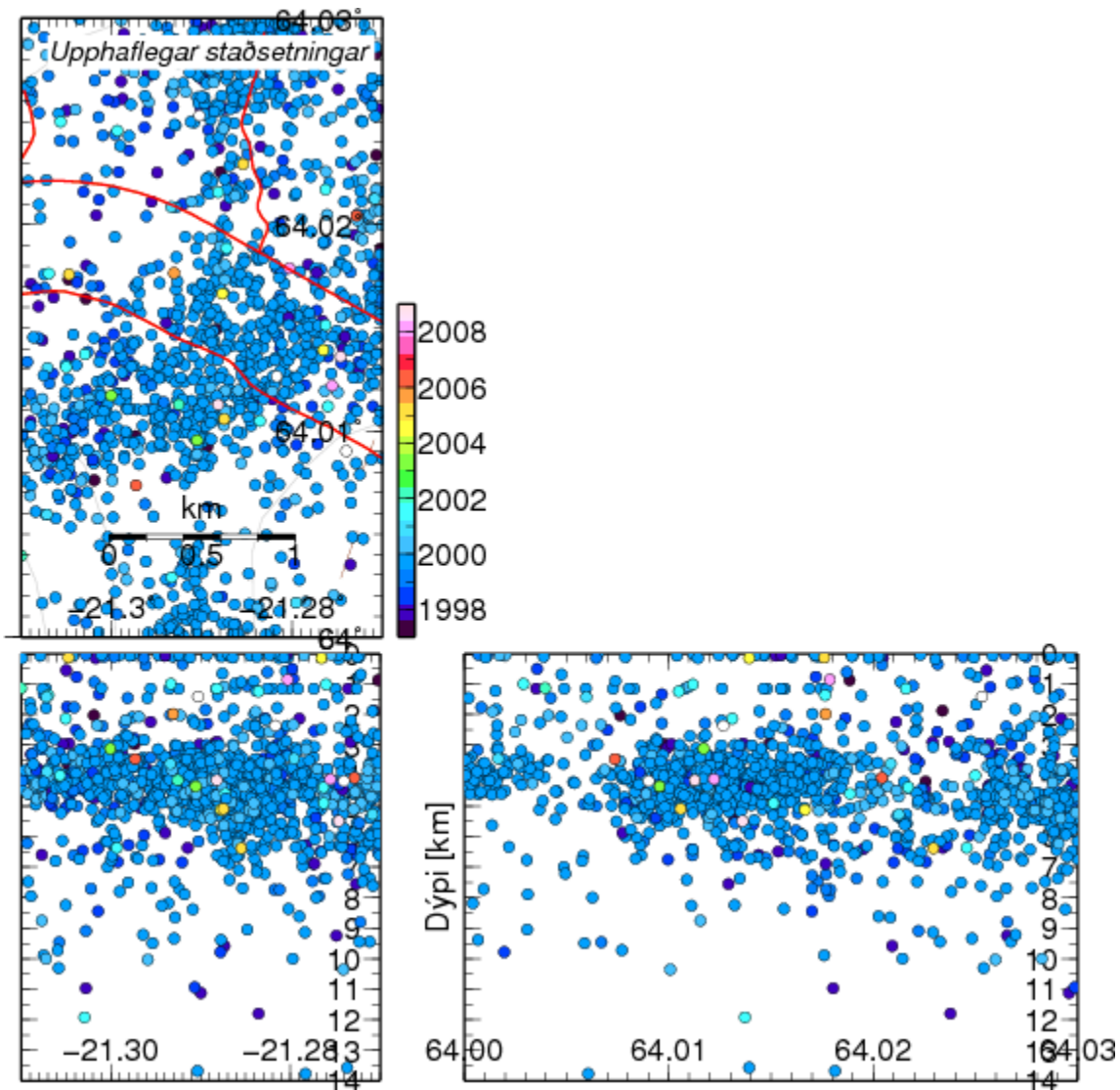
Vegna fyrirhugaðrar borunar niðurdælingarholu á Hellisheiði í júlí 2009, fór Orkuveita Reykjavíkur þess á leit við Veðurstofu Íslands að kortlögð yrði nákvæmlega með endurstaðsettum smáskjálftum svonefnd Bitrusprunga á Hellisheiði þar sem sprungan sker gamla þjóðveginn yfir heiðina, eða hér um bil við 64,0145°N og 21,292°V. Skjálftar sem mælst hafa á þessari sprungu eru að langmestu leyti frá 1997–1998, en á þeim tíma er talið að kvikuinnskot hafi valdið nokkurra cm landlyftingu norðvestan Hveragerðis (Feigl o.fl., 2000) og gríðarlegri aukningu í skjálftavirkni, sem náði hámarki í júní og nóvember 1998 þegar tveir skjálftar um 5,5 að stærð urðu á svæðinu (Sigurður Th. Rögnvaldsson o.fl., 1999; Gunnar Geir Pétursson og Kristín S. Vogfjörð, 2009). Fyrri skjálftinn ( $M_L$  5,5) varð rétt norðar á Bitrusprungunni en hinn síðari ( $M_L$  5,2) varð suður undir heiðarbrúninni, í Hjallahverfi. Stór hluti sprungnanna sem voru virkar á Hengilssvæðinu í innskotshrinunni hafa þegar verið kortlagðar með endurstaðsettum smáskjálftum (**Mynd 1**) (Kristín Vogfjörð o.fl., 2005). Í þeirri kortlagningu voru jarðskjálftarnir endurstaðsettir í SIL-hraðalíkani sem notað er við venjubundna staðsetningu jarðskjálfta í SIL-kerfinu (Ragnar Stefánsson o.fl., 1993). SIL-líkanið er hins vegar ekki sérlega góð nálgun á skorpuhræða á Hengilssvæðinu (Kristín S. Vogfjörð o.fl., 2002) og við endurstaðsetningu smáskjálfta við Hverahlíð á Hellisheiði 2006 (Kristín S. Vogfjörð og Sigurlaug Hjaltadóttir, 2007) kom í ljós að dýpi grunnra skjálfta er nokkuð breytilegt eftir því hvaða hraðalíkan er notað. Þess vegna voru smáskjálftar í námunda við Bitrusprunguna endurstaðsettir í hraðalíkönum sem lýsa betur bylgjuútbreiðslu á Suðurlandi og Reykjanesi. Í þessari greinargerð er einkum reynt að kortleggja nákvæmar þann hluta sprungunnar sem áætlað er að bora í.



**Mynd 1.** Sprungur kortlagðar með skjálftavirkninni 1997–2001 á Hengilssvæðinu (Kristín S. Vogfjörð o.fl., 2005). Skjálftarnir eru litaðir eftir því hvenær þeir urðu. Raudur hringur sýnir miðju landriss í Dalafelli.

## 2 FRAMKVÆMD OG NIÐURSTÖÐUR KORTLAGNINGAR

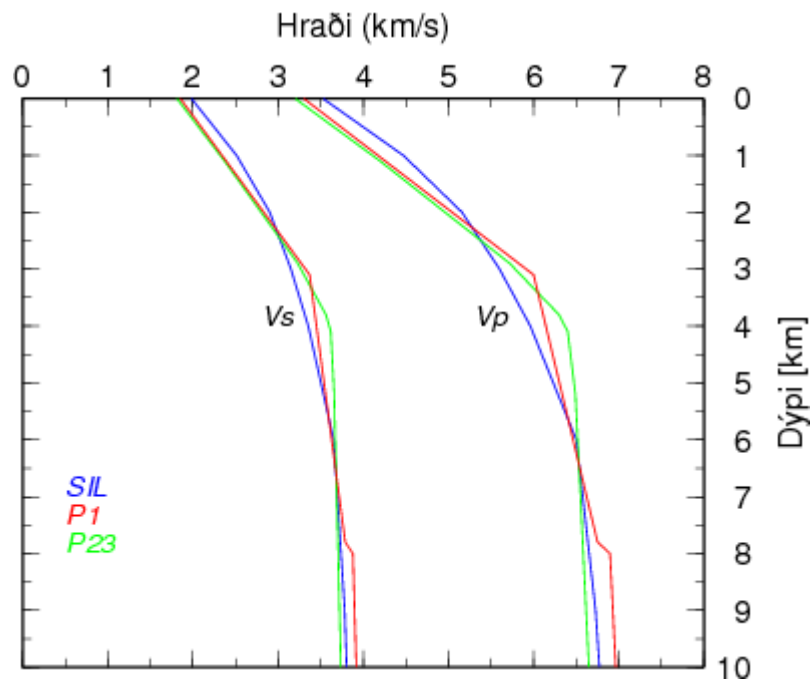
Þeir 1335 skjálftar, sem staðsettir hafa verið á svæðinu sem afmarkast af  $64,00^{\circ}\text{N}$ – $64,03^{\circ}\text{N}$  og  $21,27^{\circ}\text{V}$ – $21,31^{\circ}\text{V}$  og urðu á tímabilinu frá 1. janúar 1997 til 31. desember 2008, eru sýndir á **Mynd 2**. Myndin sýnir upphaflegar staðsetningar skjálftanna, sem fengist hafa með venjubundinni yfirferð á sjálfvirkum skjálftagögnum. Þar sést að dýptardreifing skjálftanna er aðallega á bilinu 2,5–7 km. Til þess að fá skýrari mynd af sprungunni voru skjálftarnir endurstaðsettir með aðferð sem kölluð hefur verið upptakagreining (*e. double-difference relative locations*) (Slunga o.fl., 1995) og byggir á því að bylgjur frá nálægum skjálftum sem ferðast hafa nær sömu leið að skjálftastöð eru oftast mjög líkar. Því er hægt að nota víxlfylgniaðferð (*e. cross correlation*) til þess að meta afstæðan komutíma þeirra með mun nákvæmari hætti en ella og þar með að meta nákvæmari afstæða fjarlægð milli skjálftanna. Tímanákvæmni í SIL-kerfinu er mikil, 10 ms, og með víxlfylgni er jafnvel hægt að minnka hana niður í nokkrar ms. Óvissa á algildri (*e. absolut*) staðsetningu skjálftanna getur þó verið meiri og er m.a. háð dreifingu stöðva í kringum virknina en einnig að nokkru leyti háð því hversu vel hraðinn í jarðskorpunni er þekktur. Í þessari könnun voru því notuð þrjú mismunandi hraðalíkön til þess að endurstaðsetja skjálftana og niðurstöðurnar úr þessum þremur líkönum voru svo bornar saman til að meta betur óvissu í lögum sprungunnar og (algilda) staðsetningu hennar miðað við gamla veginn. Líkönin þrjú má sjá á **Mynd 3**. SIL-líkanið (blátt) er eins og áður sagði notað við að reikna út allar sjálfvirkar og venjubundnar staðsetningar skjálfta í SIL-kerfinu og er meðaltalslíkan, áætlað út frá bylgjubrautum um Vestur- og Suðvesturland (Ragnar Stefánsson o.fl., 1993). Suðurlandslíkanið (P23, grænt) og Reykjaneslíkanið (P1, rautt) voru metin út frá komutíma bylgna frá skjálftum staðsettum í hrinu á Hengilssvæði 3.–5. júní 1998, annars vegar til austurs eftir Suðurlandi og hins vegar til vesturs eftir Reykjanesskaga (Kristín Vogfjörð o.fl., 2002). Meginmunurinn á líkönunum þremur er sá að SIL-líkanið er hægara á 2–6 km dýpi en þar fyrir neðan er það hraðara en P23-líkanið. Það er einnig áberandi hraðast á 0–2 km dýpi. P1-líkanið er hægara en P23 á milli 3,5 km og 6,5 km dýpis en þar fyrir neðan er það hraðast af þessum þremur og mörk möttuls og skorpu (Móhó) eru á 17 km dýpi. Í P23-líkaninu eru Móhó-mörk á 22 km dýpi (svarar til skorpuþykktar undir Fjóltslíð) en í SIL-líkaninu er engin skyndilega breyting í hraða (Móhó-mörk). Notuð voru bylgjugögn frá að hámarki 20 stöðvum út að 100 km fjarlægð frá upptökum skjálftanna.



**Mynd 2.** Upphaflegar staðsetningar skjálftanna í SIL-líkani. Skjálftarnir eru litaðir eftir því hvenær þeir urðu. Rauðar línur sýna vegi og vegslóða.

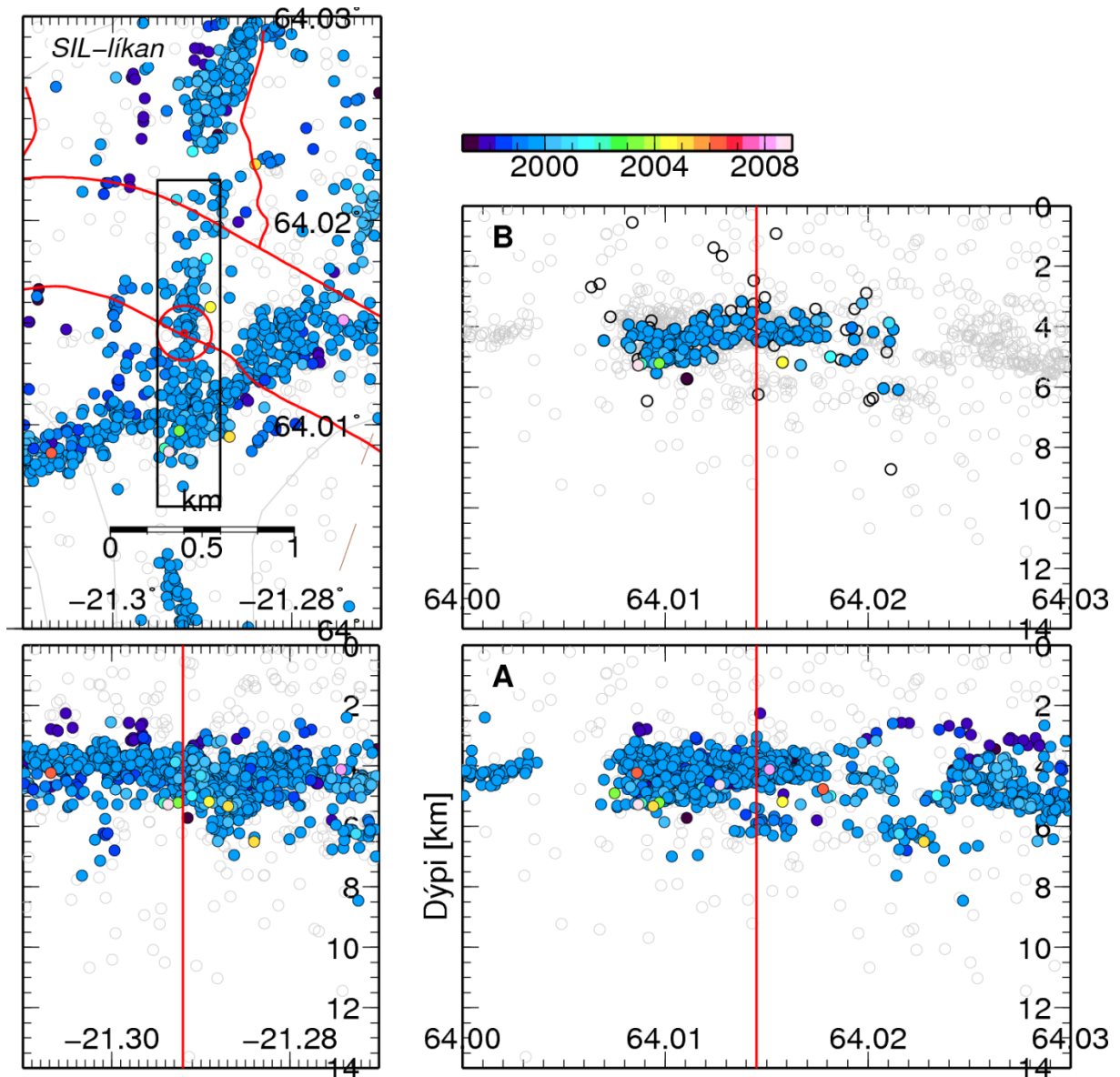
Á **Mynd 4** má sjá endurstaðsetta skjálfta í SIL-líkaninu. Þeir skjálftar sem hafa afstæða staðsetningarskekkju innan við 100 m í lengd og breidd og 300 m í dýpi eru sýndir í lit eftir því hvenær tímabilsins þeir urðu en aðrir eru sýndir sem daufgráir hringir. Myndin sýnir jafnframt V-A þversnið horft frá suðri og N-S langsnið horft frá austri (merkt A). Miðað við upphaflegar staðsetningar hefur skjálftadreifin aðallega þjappað sér saman á tvær sprungur sem liggja um svæðið, Bitrusprunguna sem stefnir N-S og aðra VSV-ANA sprungu sem liggur þvert á Bitrusprunguna. Bitrusprungan er slitrótt og greina má þrjá leggi á þessu svæði sem hliðrast til hægri þegar horft er eftir sprungunni. Staðurinn þar sem miðleggurinn liggur undir gamla Hellisheiðarveginn hefur verið merktur með rauðum hring á kortinu á **Mynd 4**, og jafnframt er dregin rauð lína á dýptarsniðin niður af miðju hringins til frekari glöggvunar. Eftir endurstaðsetningu þjappast skjálftadreifin saman en meginhluti skjálftanna er sem áður á 3–7 km dýpi. Ef aðeins eru skoðaðir þeir skjálftar sem eru hér um bil á miðleggnum (innan svarta ferhyrningsins á **Mynd 4**, sýndir á efra langsniði, B) má sjá að í SIL-líkaninu liggur virki hluti sprungunnar á 3,5–4,5 km dýpi.

Þar sem VSV-ANA sprungan sker hana dýpka efri mörk virkninnar niður á um 4 km dýpi en neðri mörk virkninnar færast á tæplega 5,5 km dýpi.



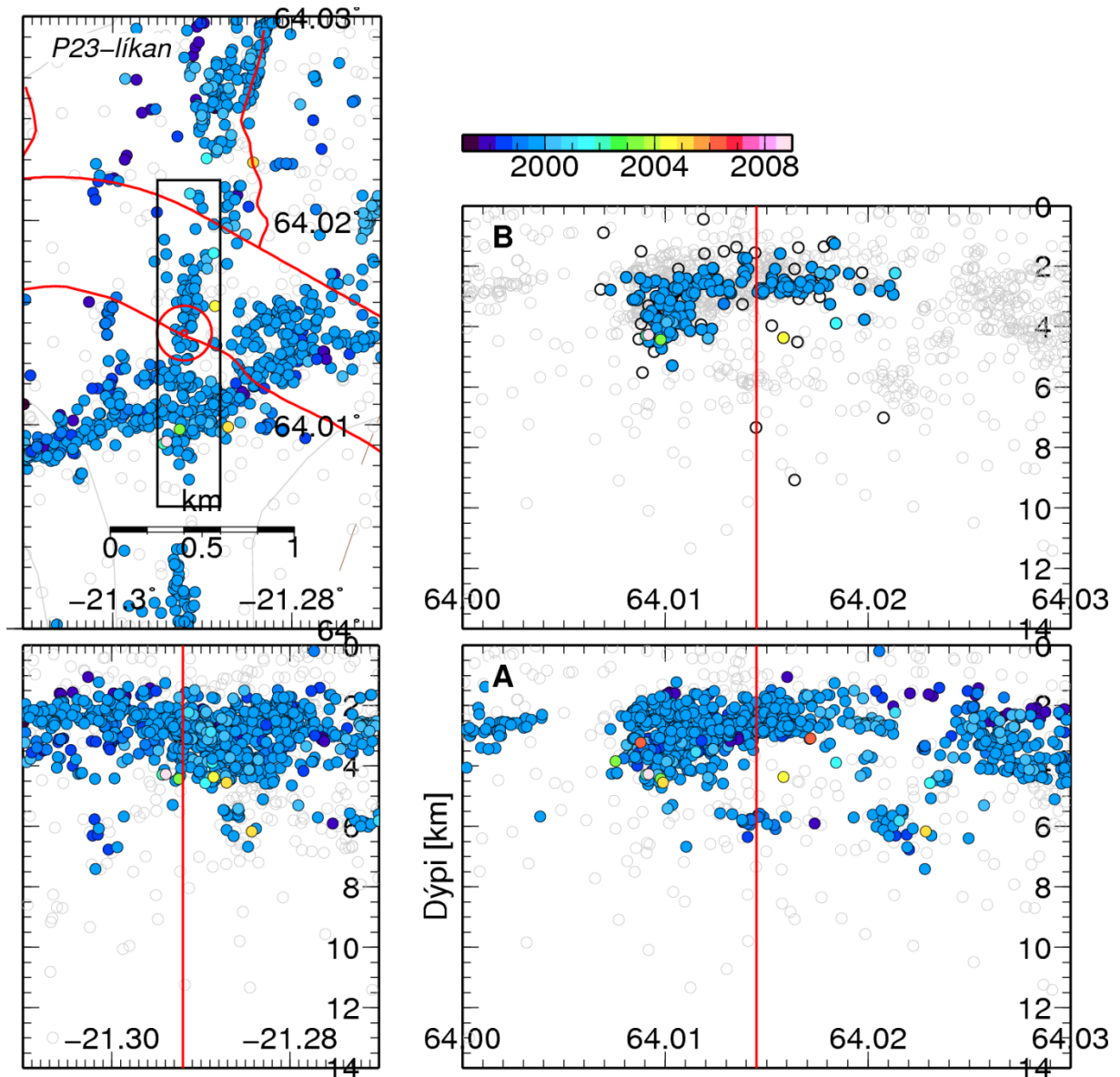
**Mynd 3.** P- og S- hraðalíkon sem notuð voru við staðsetningu skjálftanna. Blátt: SIL-líkan, rautt: P1-líkan fyrir Reykjanes og grænt: P23-líkan fyrir Suðurland.

Afstæðar staðsetningar í Suðurlands- (P23) og Reykjanesskagahraðalíkönunum (P1) eru sýndar á **Mynd 5** og **Mynd 6**. Þar hafa enn fremur gögn frá fimm stöðvum (**ves**-Vestmannaeyjar, **kud**-Kúludalsá, **nyl**-Nýlenda, **vog**-Vogar, og **mid**-Miðmörk) verið vigtuð niður. Áhrif þess að vigta út þessar fimm stöðvar sem oft hafa frábrugðið merki miðað við flestar aðrar stöðvar (staðaráhrif eins og að fasi kemur of snemma eða aukafasar fylgja fast á eftir fyrstu bylgju) voru aðeins könnuð í líkönunum P1 og P23. Sárálítill munur var á að vigta stöðvarnar út en þó voru þær niðurstöður valdar til frekari túlkunar, t.d. til að koma í veg fyrir að stórir aukafasar við P-fasa væru notaðir í víxl fylgnireikningunum, í stað P-fasa. Helsti munurinn á þessum tveimur líkönunum og SIL-líkaninu er sá að skjálftadreifin grynkar (**Mynd 7**). Efri mörk vel staðsettu virkninnar eru um 3 km í SIL-líkani, 2 km í P1 og 1,5 km í P23. Í P23 eru skjálftar á miðhluta Bitrusprungunnar á 1,5 km til 3 km dýpi; þeir eru á 2 km til 3,5 km dýpi í P1. Í báðum tilfellum dýpkar skjálftavirknin áberandi niður að 4,5–5 km dýpi þar sem þversprungan sker flötinn, en sú sprunga dýpkar austur af Bitrusprungunni. Hliðrun í A-V á milli líkananna tveggja er sárálítill og meðallengdargráða skjálftanna á sprungunni við gamla veginn er u.þ.b. 21,291°V. Staðsetningar skjálftanna í líkönunum þremur má sjá á **Mynd 7**.

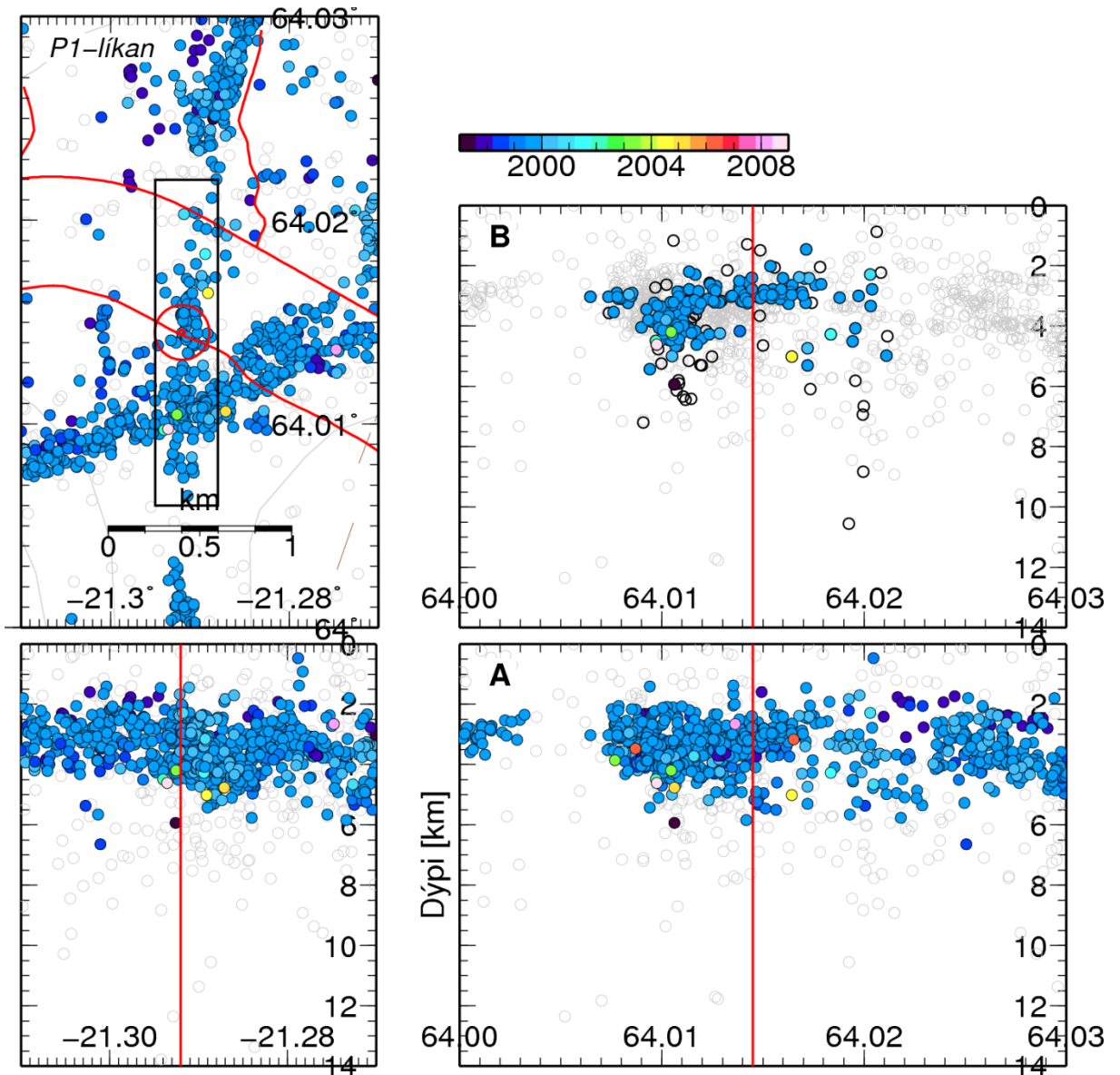


**Mynd 4.** Skjálftarnir endurstaðsettir í SIL-líkaninu. Skjálftar með afstæða skekkju innan við 100 m í lengd og breidd og 300 m í dýpi eru litaðir, aðrir sýndir sem daufgráir hringir. Rauðar línur sýna vegi og vegslóða. Fyrir neðan kortið er sýnt þversnið séð frá suðri og niðri til hægri er langsnið séð frá austri (merkt A). Á efra langsniðið (merkt B) eru aðeins vel staðsettir skjálftar innan svarta ferhyrningsins litaddir og svartir hringir sýna aðra skjálfta innan sama svæðis. Gráir hringir sýna skjálfta utan ferhyrningsins. Rauðar línur á þversniði og langsniðum eru dregnar niður frá miðju hringsins á kortinu, þ.e. mörkum sprungu og gamla vegar.

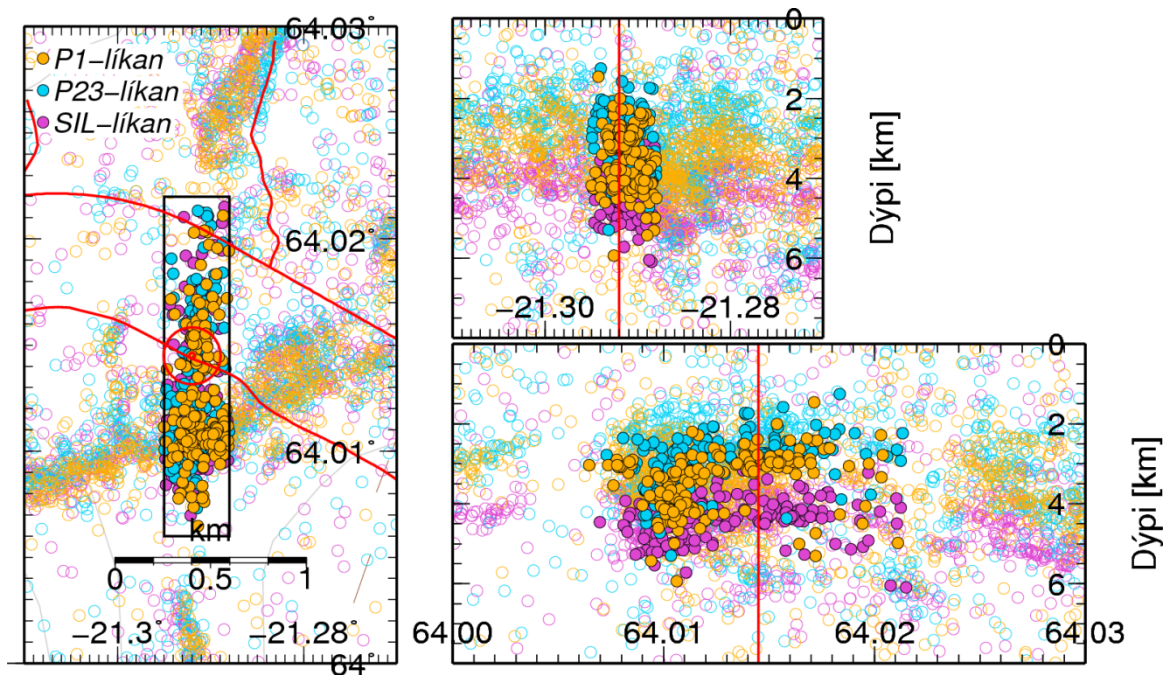




**Mynd 5.** Skjálftarnir endurstaðsettir í Suðurlandslíkaninu (P23). Skjálftar með afstæða skekkju innan við 100 m í lengd og breidd og 300 m í dýpi eru litaðir, aðrir sýndir sem daufgráir hringir. Rauðar línur sýna vegi og vegslóða. Fyrir neðan kortið er sýnt þversnið séð frá suðri og niðri til hægri er langsnið séð frá austri (merkt A). Á efra langsniðið (merkt B) eru aðeins vel staðsettir skjálftar innan svarta ferhyrningsins litaðir og svartir hringir sýna aðra skjálfta innan sama svæðis. Gráir hringir sýna skjálfta utan ferhyrningsins. Rauðar línur á þversniði og langsniðum eru dregnar niður frá miðju hringsins á kortinu, þ.e. mörkum sprungu og gamla vegar.



**Mynd 6.** Skjálftarnir endurstaðsettir í Reykjaneslíkaninu (P1). Skjálftar með afstæða skekkju innan við 100 m í lengd og breidd og 300 m í dýpi eru litaðir, aðrir sýndir sem daufráir hringir. Rauðar línur sýna vegi og vegslóða. Fyrir neðan kortið er sýnt þversnið séð frá suðri og niðri til hægri er langsnið séð frá austri (merkt A). Á efra langsniðið (merkt B) eru aðeins vel staðsettir skjálftar innan svarta ferhyrningsins litaðir og svartir hringir sýna aðra skjálfta innan sama svæðis. Gráir hringir sýna skjálfta utan ferhyrningsins. Rauðar línur á þversniði og langsniðum eru dregnar niður frá miðju hringsins á kortinu, þ.e. mörkum sprungu og gamla vegar.



**Mynd 7.** Samanburður á staðsetningum í SIL- (bleikt), P23-(blátt) og P1-líkani (appelsínugult). Hægra megin við kortið eru tvö dýptarsnið, efra er A-V snið séð frá suðri, neðra er N-S snið séð frá austri. Aths.: Mismunandi kvarði er í lárétu og dýpi.

### 3 SAMANTEKT

Þegar skjálftarnir á Bitrusprungu við gamla Helligsheiðarveg eru endurstaðsettir í þremur mismunandi líkönum lendir skjálftadreifin á mismunandi dýpi en minni hliðrun er í láréttri stefnu. Dýpstu niðurstöður fást ef SIL-líkanið er notað. Sá munur sem kemur fram í dýpi skjálftanna stafar líklega mest af þeim breytilega hraða sem er á 2–6 km dýpi því á því dýptarbili eru flestir skjálftarnir. Þar er SIL-líkanið hægast og færast þeir þá neðar í skorpuna því bylgjurnar leita í hærri hraða til að ferðast í; skjálftarnir eru hins vegar grynntir í P23-líkaninu sem er hraðast á þessu bili. Vegna þess að P1 og P23 líkönin eru metin út frá bylgjubrautum skjálfta á Hengilssvæðinu, bæði til austurs (P23) og vesturs (P1) teljum við niðurstöður fengnar með þeim líkönum áreiðanlegri heldur en þær sem fengnar eru í SIL-líkani. Þar sem skjálftarnir eru skráðir á álíka margar stöðvar til austurs og vesturs er þó óljóst hvort líkananna tveggja gefi áreiðanlegri niðurstöður enda er dýptarmunur skjálftanna í þeim lítill. Dýpi niður að virka hluta sprungunnar, rétt við gamla þjóðveginn, er 1,5–2 km en dýpkar um nokkur hundruð metra sunnan við 64,011°N.

**Tafla 1.** Staðsetning virka hluta Bitrusprungunnar við gamla þjóðveginn.

Efri mörk	Neðri mörk	Skurðpunktur við veg		Strik	Halli
1,5–2 km	3–3,5 km	21,291–21,292	64,0145	N183°A*	88°*

\* Metið út frá þeim hluta sem liggur norðan þversprungunnar.



Niðurstöður úr P1 og P23 sýna mjög litla lárétta hliðrun á þeim hluta Bitrusprungunnar sem liggur undir veginn, miðja sprungunnar er h.u.b. á  $21,291^\circ\text{V}$ , en norðar á sprungunni ( $>64,025^\circ\text{N}$ ) hliðrast staðsetningar í P23 líkaninu u.þ.b. 100 m til austurs miðað við staðsetningar í P1 (sjá *Mynd 7*). Eins hliðrast þversprungan um 150 m til norðvesturs í P23 miðað við P1. Þversprungan er grynnri vestan Bitrusprungunnar en austan hennar, en hún teygir sig um 1,7 km til VSV, norður af Skálafelli og um 1,2 km til ANA (*Mynd 1*) (Kristín Vogfjörð o.fl., 2005). Bitrusprungan hliðrast til vesturs sunnan þversprungunnar og önnur strikstefna er á sprungunni norðan nýja þjóðveggar, þar sem hún sveigir meira til austurs og virðist jafnframt dýpka. Skurðpunktur Bitrusprungunnar við VSV-ANA þversprunguna er einungis 350 m sunnan við gamla þjóðveginn. Þess vegna er hugsanlegt að vatn sem dælt er niður þar leiti út í þversprunguna.

## HEIMILDIR

Feigl, K., J. Gasperi, F. Sigmundsson, A. Rigo (2000). Crustal deformation near Hengill volcano, Iceland 1993–1998: coupling between magmatic activity and faulting inferred from elastic modelling of satellite radar interferograms. *J. Geophys. Res.* 105, 25655–25670.

Gunnar Geir Pétursson og Kristín S. Vogfjörð (2009). Attenuation relation for near and far field peak ground motion (PGV, PGA) and new magnitude estimate for large earthquakes in SW-Iceland. *Veðurstofa Íslands, skýrsla í undirbúningi*.

Kristín S. Vogfjörð, G. Nolet, W. J. Morgan, R. M. Allen, R. Slunga, Bergur H. Bergsson, Pálmi Erlendsson, G. Foulger, Steinunn Jakobsdóttir, B. Julian, M. Pritchard, Sturla Ragnarsson (2002). Crustal profiling in Iceland using earthquake source arrays, *AGU Fall meeting*, abstract S61C–1161.

Kristín S. Vogfjörð, Sigurlaug Hjaltadóttir og R. Slunga (2005). Volcano-tectonic interaction in the Hengill region, Iceland during 1993–1998. *Geophysical Research Abstracts*, 7, 09947.

Kristín S. Vogfjörð og Sigurlaug Hjaltadóttir (2007). Kortlagning skjálftavirkni við Hverahlíð á Hellisheiði í febrúar 2006. Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. *Veðurstofa Íslands, greinargerð nr. 07010*.

Ragnar Stefánsson, Reynir Böðvarsson, R. Slunga, Páll Einarsson, Steinunn Jakobsdóttir, H. Bungum, S. Gregersen, J. Havskov, J. Hjelme, H. Korhonen (1993). Earthquake prediction research in the South Iceland seismic zone and the SIL project, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 83, 696–716.

Sigurður Th. Rögnvaldsson, Kristín S. Vogfjörð og R. Slunga (1999). Kortlagning brotflata á Hengilssvæði með smáskjálftum. *Rit Veðurstofu Íslands*, VÍ-R99002-JA01.

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, 409–419.