



# JARÐSKJÁLFTA- BELTIÐ Á SUÐURLANDI

## JARÐSKORPUHREYFINGAR 1986–1992

### ÁKVARÐAÐAR MEÐ GPS-LANDMÆLINGUM

*Hér á Íslandi skýtur Mið-Atlantshafshryggurinn kryppunni upp úr sjónum og eru gosbelti landsins því óvefengjanlega hluti af hryggjakerfi úthafanna. Fljótlega eftir að endurbættar hugmyndir um rek meginlanda urðu almennt viðurkenndar á 7. áratugnum varð vísindamönnum ljóst að jarðskjálftabeltið á Suðurlandi tengist landrekinu. Sveitirnar í Flóanum virðast vera á hægri hreyfingu til austurs meðan uppsveitir Árnessýslu hreyfast til vesturs. Einfaldast er að gera ráð fyrir að eitt sniðgengi með austur-vestur stefnu liggi á milli svæðanna og skjálftar verði er það hrekkur til. Sú er ekki raunin. Skjálftasprungur á Suðurlandi eru dreifðar á breiðu beltí milli þessara svæða og snúa auk þess norður-suður, eða nær hornrétt á þá stefnu sem einfaldast er að gera ráð fyrir. Til skamms tíma voru þessar hreyfingar ekki mælanlegar vegna þess hve hægar þær eru en tæknibylting í landmælingum hefur nú opnað vísindamönnum nýjar leiðir í rannsóknum.*

**P**lötuskil Norður-Ameríkuþlötunnar<sup>1</sup> og Evrasíuþlötunnar liggja um Ísland og markast af gliðnunar- og jarðskjálftabeltum landsins. Þlötuhreyfingar teygja og aflaga jarðskorpuna á plötuskilunum og aflögunina má mæla með endurteknum nákvæmum landmæl-

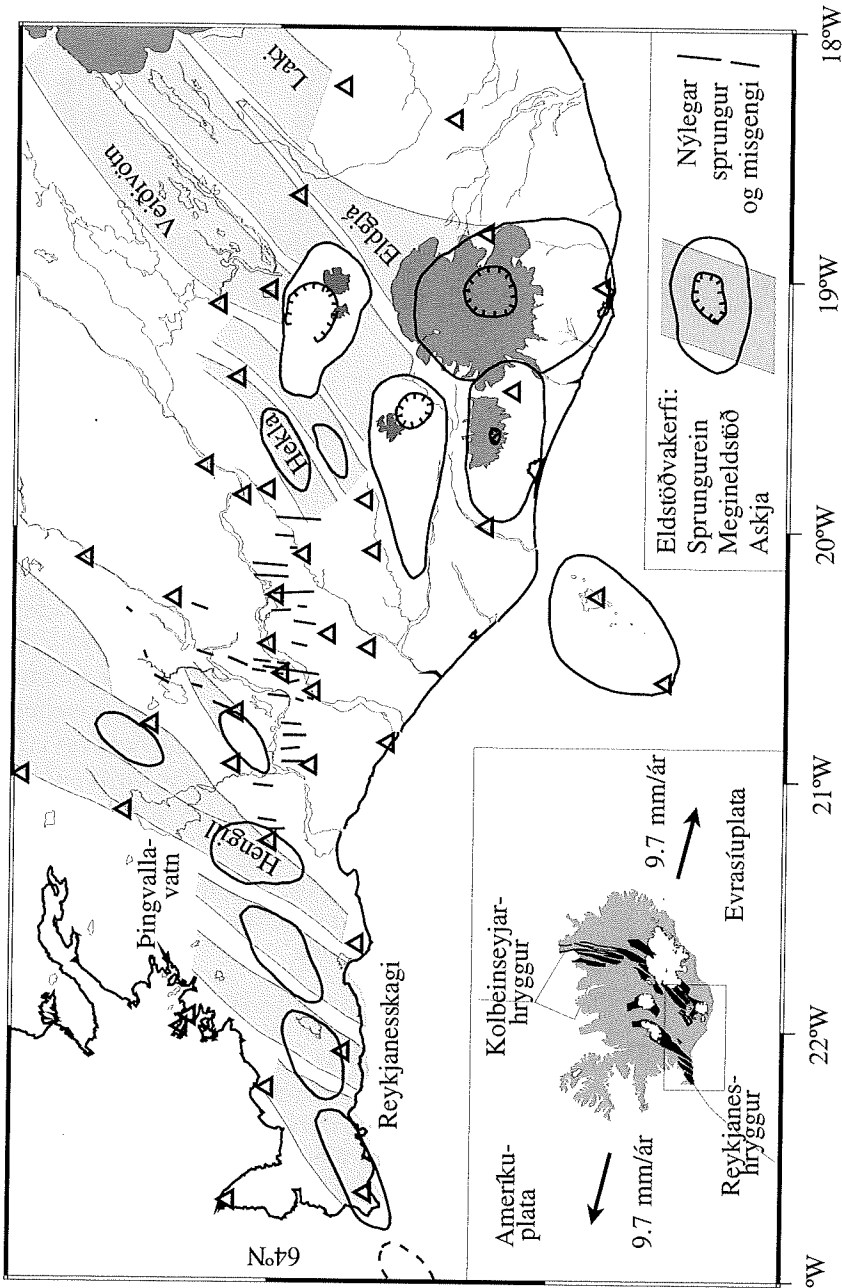
Freysteinn Sigmundsson (f. 1966) lauk M.S.-prófi í jarðeðlisfræði frá Háskóla Íslands 1990. Hann lauk Ph.D.-prófi í sömu grein frá University of Colorado at Boulder í Bandaríkjunum 1992 og hefur síðan verið sérfræðingur hjá Norrænu eldfjallastöðinni.

Páll Einarsson (f. 1947) lauk fyrrihlutaprófi í eðlisfræði frá Háskólanum í Göttingen í Þýskalandi 1970. Hann stundaði síðan framhaldsnám í jarðeðlisfræði við Columbia University í New York í Bandaríkjunum og lauk þaðan Ph.D.-prófi 1975. Páll var sérfræðingur við Raunvísindastofnun Háskólans 1975–1994 er hann varð prófessor í jarðeðlisfræði við Háskóla Íslands.

ingum. Á seinasta áratug hafa komið til sögunnar nýjar landmælingaaðferðir sem gera kleift að mæla jarðskorpuhreyfingar með meiri nákvæmni en áður. Handhægasta og ódýrasta aðferðin byggist á GPS-leiðsögukerfinu (Global Positioning System). GPS-kerfið grundvallast á 24 gervitunglum á braut umhverfis jörðina í um 20.000 km hæð sem senda frá sér merki sem nota má til að ákvarða staðsetningu mælipunkta á jörðu niðri. GPS-leiðsögu-

<sup>1</sup>Um þá heimsmýnd jarðfræðinnar sem nú er almennt viðurkennd og nefnd hefur verið *plate tectonics* á ensku kjósa höfundar að nota orðið *plötukenning* á íslensku en hún hefur einnig verið nefnd *flekakenning*. Til samræmis eru hinar stóru einingar jarðskorpunnar nefndar *plötur* (e. *plates*) en þær eru nefndar *flekar* þegar orðið flekakenning er notað. Ekki er eining meðal jarðvísindamanna um notkun þessara orða.

1. mynd. GPS-punktur á Suðurlandi mældir árið 1992 (þríhyrningar). Einnig eru sýnd eldstöðvakerfi, sprungureinar, útlínur megineldstöðva, öskjur og nýlegar jarðskjálfta-sprungur (eftir Páli Einarssyni og Kristjáni Sæmundssyni 1987). Eystra gosbeltið liggur frá Vestmannaeyjum norðaustur í Vatnajökul, vestra gosbeltið liggur frá Hengli norðaustur í Langjökul. Jarðskjálfta-sprungur með norður-suður stefnu liggja á skjálftabelti Suðurlands milli vestra og eystra gosbeltisins. Innskotsmynd neðst til vinstri sýnir hvernig Mið-Atlantshafshryggurinn tengist gosbeltum Íslands. Hryggurinn markar plötuskil milli Norður-Amerikuplötunnar og Evrasíuplötunnar. Meðalplöuhraði er 9,7 mm/ár í hvora átt.



tæki sem nú eru í almennri notkun hér á landi gefa staðsetningu með 10–50 metra nákvæmni en með GPS-landmælinga-tækjum má hins vegar ákvarða afstöðu mælipunkta með 5–10 millímetra nákvæmni. GPS-landmælingar hafa ýmsa kosti fram yfir hefðbundnar landmælingar. Á lengri vegalengdum eru þær mun nákvæmari, ekki þarf að vera sjónlína milli mælipunkta og hægt er að framkvæma mælingarnar jafnt að nóttu sem degi í nánast hvaða veðri sem er. Leick (1990), Páll Einarsson (1991a) og Freysteinn Sigmundsson (1992) hafa meðal annarra birt almennt yfirlit yfir GPS-mælitæknina.

Víðtækar GPS-landmælingar voru gerðar á Suðurlandi árin 1986, 1989 og 1992 til að fylgjast með jarðskorpuhreyfingum. Meginmarkmið mælinganna var að auka skilning á eðli jarðskjálftabeltisins á Suðurlandi og kanna hvernig virkni í því er háð virkni í gosbeltunum á Suðurlandi. Í þessari grein er gefið yfirlit yfir niðurstöður mælinganna. Mælingarnar 1992 náðu til 41 punkts sem flestir höfðu verið mældir a.m.k. einu sinni áður (1. mynd). Jarðskorpuhreyfingar eru metnar með samanburði við mælingar frá árunum 1986 og 1989. Ítarlegri lýsing á mælingum og niðurstöðum er í grein Freysteins Sigmundssonar o.fl. (1995). Áður hefur verið lýst niðurstöðum GPS-landmælinga á Reykjanesskaga (Sturkell o.fl. 1994) og við Heklu (Freysteinn Sigmundsson o.fl. 1992).

## ■ NIÐURSTÖÐUR GPS-MÆLINGA 1986–1992

Láréttar færslur mælipunkta metnar út frá GPS-mælingunum eru sýndar á 2. og 3. mynd. Óvissa (eitt staðalfrávik) færsluvektora er um 20 mm og stafar að mestu af óvissu í eldri mælingunum, óvissa í staðsetningu árið 1992 er þannig aðeins um 5 mm. Óvissan er há miðað við stærð færsluvektora og því er rétt að túlka aðeins kerfisbundnar hreyfingar. Megindrættir hreyfinganna eru:

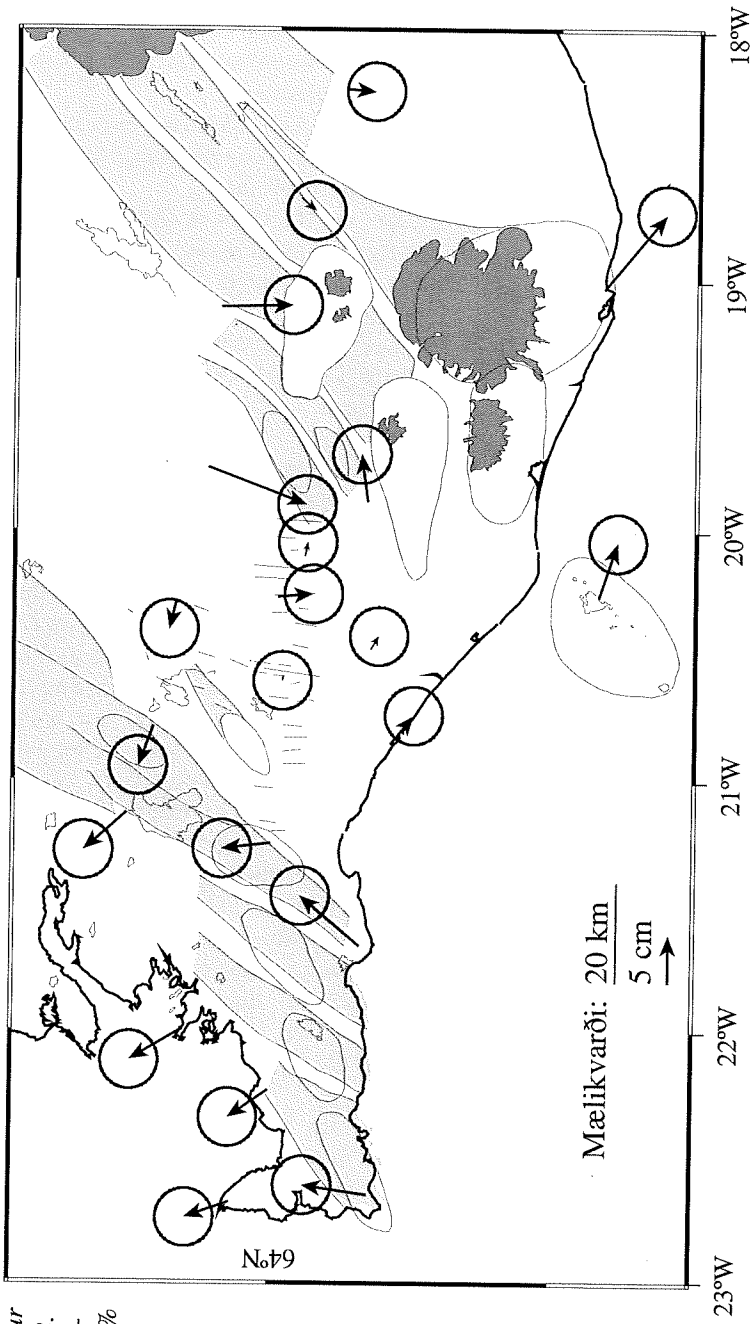
1. Mælistöðvar vestan við vestra gosbeltið (á Norður-Ameríkuþlötunni) færast í vestur eða norðvestur.
2. Mælistöðvar við suðurenda eystra gosbeltisins (á Evrasíuþlötunni) færast í austur eða suðaustur.
3. Sunnan skjálftabeltisins færast punktar í austur, norðan þess færast punktar til vesturs. Skjálftabeltið verður þannig fyrir vinstri skúfhreyfingu<sup>1</sup>.
4. Tögnun yfir plötuskilin norðan skjálftabeltisins á sér ekki eingöngu stað innan gosbeltanna heldur dreifist yfir breitt svæði.
5. Talsverður munur er á stefnu færsluvektora 1986–1992 annars vegar og 1989–1992 hins vegar.

Kerfisbundinn munur á stefnu færsluvektora 1986–1992 og 1989–1992 stafar án efa af kerfisbundinni skekkju, því ólíklegt er að stefna hægra jarðskorpuhreyfinga breytist mikið á nokkurra ára tímabili. Skekkjurnar eru líklega tilkomnar vegna þess að eldri mælingar eru ekki í sama hnitkerfi og nýrri mælingarnar, og erfitt reyndist að leiðrétta fyrir því að fullu (Freysteinn Sigmundsson o.fl. 1995). Í viðbót við þennan kerfisbundna mun á hreyfingum 1986–1992 og 1989–1992 sýna þrír mælipunktar mjög mismunandi færslu á þessum tímabilum og eru þær ekki taldar réttar. Það eru tveir punktar á suðurhluta Reykjanesskaga og punkturinn næst Stokkseyri.

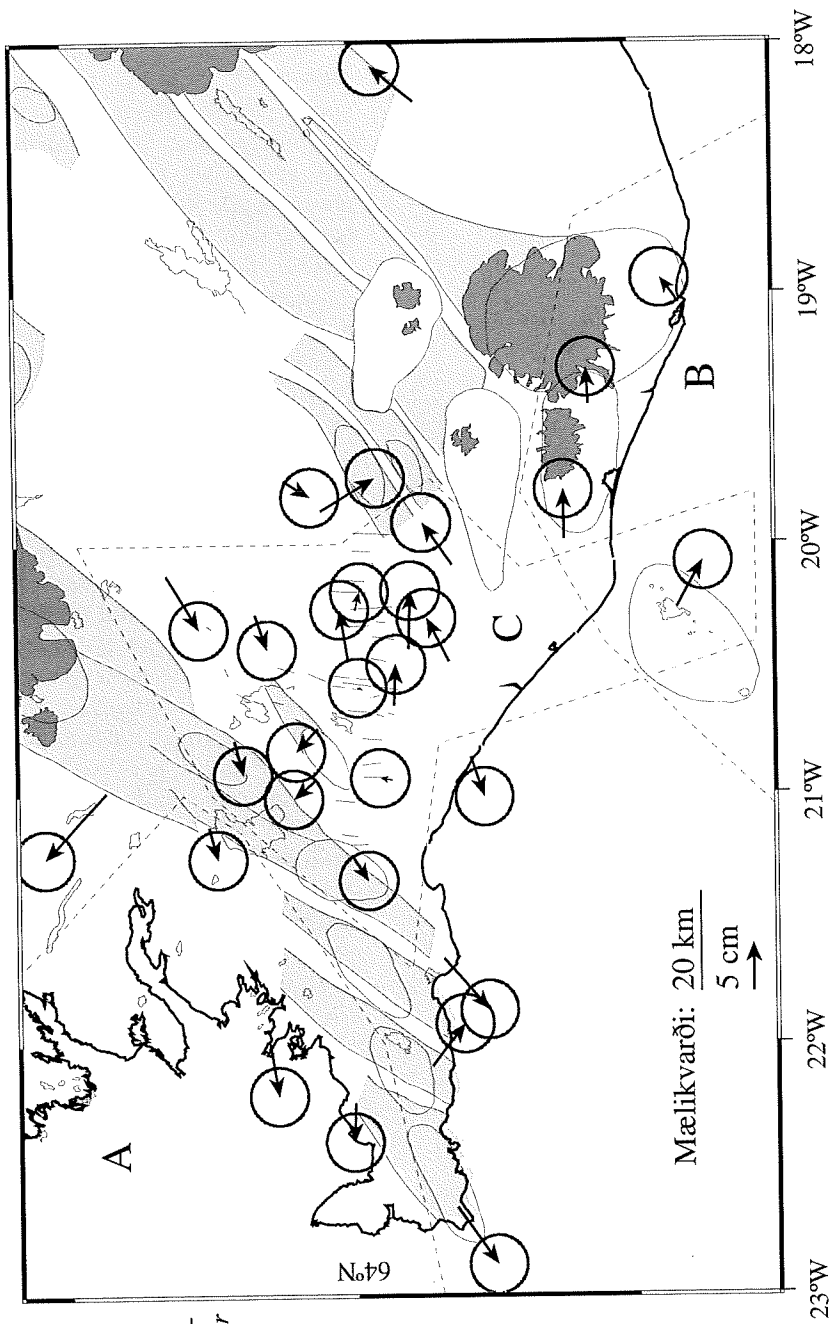
Mælingarnar sýna, þrátt fyrir nokkra óvissu, að óveruleg aflögun er innan svæðisins vestan við vestra gosbeltið (innan Norður-Ameríkuþlötunnar) og innan svæðisins við suðurenda eystra gosbeltisins (innan Evrasíuþlötunnar). Færsla milli þessara tveggja svæða reiknast  $2,1 \pm 0,4$  cm/ár í stefnu  $N116 \pm 11^\circ A$  (1σ óvissumörk), ef notuð er aðferð minnstu kvaðrata og mælingum 1986 og 1989 er gefið jafnt vægi. Færslan er í samræmi við

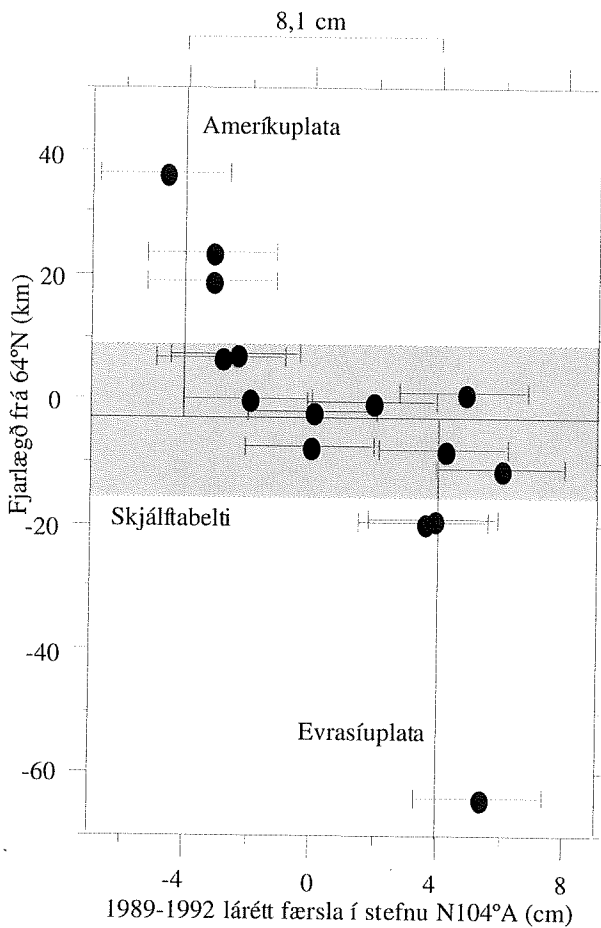
<sup>1</sup>Enska orðið „shear“ er hér þýtt sem skúfun, samanber útskúfun, þ.e.a.s. ýta til hliðar. Sjá orðasafn Orðanefndar byggingaverkfræðinga.

40 2. mynd. Láréttar færslur á tímabilinu 1986–1992. Hringir við enda færsluvektora sýna áætluð 68% öryggismörk.



3. mynd. Láréttar færslur á tímabilinu 1989–1992. Hringir við enda færsluvektora sýna áætluð 68% öryggismörk. Svæði A tilheyrir Norður-Ameríkuplötum, svæði B tilheyrir Evrasíuplötunni. Færslur punkta á svæði C eru sýndar á 4. mynd.





4. mynd. Færslur mælipunkta 1989–1992 í stefnu N104°A, stefnu plötuhreyfinga, sem fall af fjarlægð frá 64°N. Aðeins eru teiknaðar færslur mælipunkta milli eystra og vestra gosbeltisins (svæði C á 3. mynd). Lóðréttar línur sýna áætlaða færslu svæða A og B á 3. mynd, sem tilheyra Norður-Ameríku- og Evrasíuplötunum. Lárétt lína sýnir miðju skjálftabeltisins á Suðurlandi. Skjálftabeltið er um 25 km breitt í norður-suður stefnu (skyggt á myndinni) og er greinilega það svæði þar sem færslustefna breytist úr austurstefnu sunnan við beltið í vesturstefnu norðan við beltið. Nokkur óvissa er um það hversu mikil þessi vinstri skúfhreyfing er miðað við plötuhreyfingarnar (láréttu línurnar). Punktar utan skyggða svæðisins gætu samkvæmt mælingunum verið að færast með sama hraða og plöturnar og þá er skúfhreyfing 100% af plötuhreyfingunum. Hraðinn gæti einnig verið nokkru minni, þó varla minni en 70% af plötuhreyfingunum. Við höfum áætlað

að um  $85 \pm 15\%$  af plötuhreyfingunum verði um skjálftabeltið á Suðurlandi. Mælingar 1989–1992 sýna plötuhreyfingar um 8,4 cm, eða um 2,8 cm/ár. Ef hins vegar allar mælingar 1986, 1989 og 1992 eru notaðar til að meta meðalhraðann yfir allt tímabilið þá verður niðurstaðan  $2,1 \pm 0,4$  cm/ár í stefnu N116 $\pm$ 11°A.

viðtekið líkan af plötuhreyfingum á jörðinni (DeMets o. fl. 1990), en samkvæmt því færast Norður-Ameríku- og Evrasíuplötturnar hér á landi hvor frá annarri að jafnaði um 1,94 cm/ár í stefnu N104°A.

Mælingarnar sýna einnig óyggjandi að skjálftabeltið á Suðurlandi verður fyrir vinstri skúfhreyfingu. Aflögunin er að mestu bundin við 20–30 km breitt belti sem fellur alveg saman við jarðskjálftabeltið á Suðurlandi. Færsla yfir skjálftabeltið samsvarar um  $85 \pm 15\%$  af plötuhreyfingunum þannig að svæðið fyrir

norðan skjálftabeltið færast í vestur með Norður-Ameríkuplötunni og svæðið fyrir sunnan jarðskjálftabeltið færast í austur með Evrasíuplötunni (4. mynd). Af því leiðir að tognun norðan skjálftabeltisins er um þessar mundir að mestu bundin við eystra gosbeltið og umhverfi þess. Óveruleg tognun á sér stað yfir vestra gosbeltið. Innan skjálftabeltisins veldur vinstri skúfhreyfingin því að sprungur með norður-suður stefnu snúast rangsælis um 0,5–1 μrad/ár (jafngildir 0,3–0,6 gráðum á 10.000 árum).

## ■ BÓKAHILLUHÖGGUN Á SUÐURLANDI: NIÐURSTÖÐUR GPS- MÆLINGA Í VÍÐU SAMHENGI

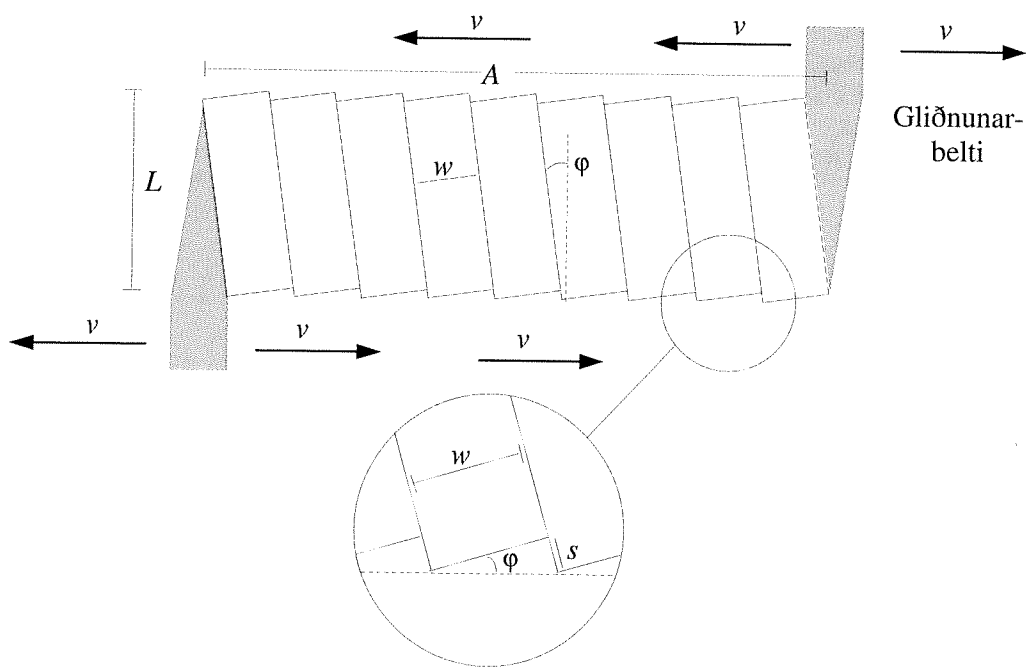
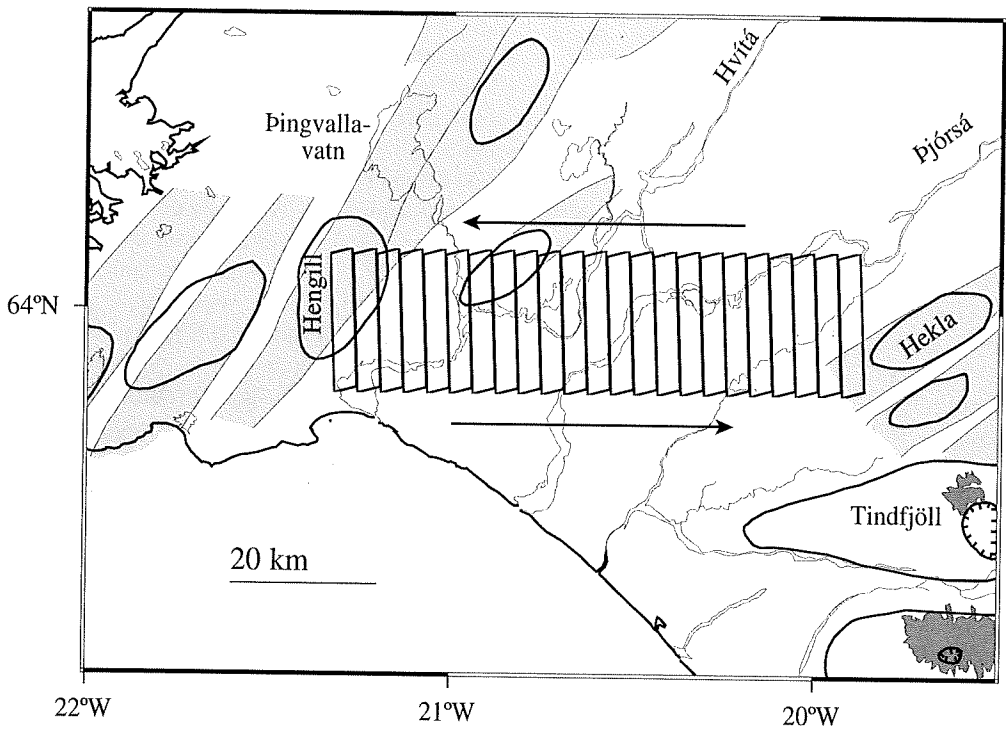
Jarðskjálftasprungur á skjálftabelti Suðurlands eru með nokkuð óvenjulegum hætti (sjá t.d. Pál Einarsson 1991b). Flestir skjálftar eiga upptök á sprungum sem snúa norður-suður, þ.e. þvert á skjálftabeltið sjálft. Stórir skjálftar á Suðurlandi, af stærðinni 6–7 á richterskvarða, verða gjarnan í hrinum, þ.e. nokkrir stórir skjálftar verða á nokkurra vikna eða nokkurra ára tímabili. Þetta gerðist síðast árið 1896. Árið 1912 varð hins vegar einn stór skjálfti á Suðurlandi, án þess að hrina yrði. Í hrinum eru nokkrar samsíða sprungur virkar. Færsla um hverja sprungu er lárétt og samsíða sprungunni, svokölluð sniðgengisfærsla. Færsla sprungubarmsins er til hægri ef horft er frá hinum barminum. Vesturbarmur færir þannig til norðurs en austurbarmurinn til suðurs. Sprungurnar liggja með um 1–5 km millibili innan skjálftabeltisins (Páll Einarsson o.fl. 1981, Páll Einarsson og Jón Eiríksson 1982, Páll Einarsson og Kristján Sæmundsson 1987, Páll Einarsson óbirtar niðurstöður 1994). En hvernig kemur þetta heim og saman við vinstri skúfhreyfingu yfir skjálftabeltið? Það má prófa með einfaldri tilraun með bækur í bókahillu. Ef efri endi bókanna er færður til vinstri, snúast (hallast) þær og á milli þeirra verður hægri sniðgengishreyfing. Vinstri skúfhreyfingin kemur þannig fram sem hægri sniðgengisfærsla milli einstakra bóka. Þetta má heimfæra á skjálftabeltið (5. mynd). Bækurnar samsvara óbrotnum spildum milli sprungna. Snúningur á norður-suður sprungunum um 0,5–1 μrad/ár, eins og GPS-mælingarnar benda til, krefst sniðgengisfærslu, að meðaltali um 0,5–5 mm/ár á hverri sprungu. Ef óveruleg hreyfing er á sprungunum milli stórra jarðskjálfta, þá verður færsla í stórum jarðskjálftum að vera um 0,5–5 m á 1000 árum á hverri sprungu. Eitt próf á bóka-

hillufkanið fyrir jarðskorpuhreyfingar á Suðurlandi felst í því að reikna svokallað skjálftarúmvægi<sup>2</sup>. Skjálftarúmvægi fyrir jarðskjálfta er flatarmál þess sprunguflatar sem hreyfist, margfaldað með meðalfærslu í skjálftanum. Samkvæmt bókahillufkaniinu ætti samanlagt skjálftarúmvægi í jarðskjálftum á Suðurlandi að nema að jafnaði  $1,0\text{--}2,5 \times 10^7$  m<sup>3</sup>/ár (sjá Freystein Sigmundsson o.fl. 1995). Þetta er í góðu samræmi við áætlað skjálftavægi jarðskjálfta á sögulegum tíma á Suðurlandi, sem bendir til að jarðskorpuhreyfingar síðustu 1000 árin á Suðurlandi hafi verið með sama hætti og GPS-mælingar síðustu ára sýna. Síðustu 1000 árin a.m.k. ætti þá land norðan skjálftabeltisins að hafa færst í vestur með Norður-Ameríkuplötunni, og tognun yfir plötuskilin norðan skjálftabeltisins ætti að mestu að hafa verið bundin við eystra gliðnunarbeltið en ekki það vestra. Saga gliðnunarhrina á Suðurlandi síðustu 1000 árin styður einnig þessa hugmynd. Stóru sprungugosin í eystra gosbeltinu síðan um 900 e.Kr. í Eldgjá, Vatnaöldum, Veiðivötnum og Lakagígum gætu hæglega hafa tekið upp þá 20 m gliðnun sem búast má við að hafi orðið á Suðurlandi á síðustu 1000 árum.

Ef hins vegar er litið til lengri tíma virðast jarðskorpuhreyfingar á Suðurlandi vera með öðru sniði. Síðustu 9000 árin virðist gliðnun yfir eystra og vestra gosbeltið hafa verið álíka mikil. Þannig er heildargliðnun sprungna í vestra gosbeltinu við Þingvelli um 100 metrar (Ágúst Guðmundsson 1987) í Þingvallahrauninu sem rann fyrir um 9000 árum (Kristján Sæmundsson 1992). Meðagliðnunarhraði þar er því um 1 cm/ár, um helmingur af plötu hreyfingunum, og því verður að gera ráð fyrir álíka mikilli gliðnun í vestra og eystra gliðnunarbeltinu. Þess ber þó að gæta að gliðnun í vestra beltinu minnkar ört þegar norðar dregur. Þannig er Skjaldbreiðarhraun lítið sprungið um 20 km norðaustan Þingvalla.

Norður-suður sprungurnar sem nú eru

<sup>2</sup> Nýyrði fyrir *geometric seismic moment* (tillaga).





5. mynd. Efri myndin sýnir einfaldað líkan af skjálftabeltinu á Suðurlandi. Norðan þess færast land til vesturs en sunnan þess færast land til austurs, skjálftabeltið verður fyrir vinstri skúfhreyfingu. Þetta orsakast af því að núverandi tognunarbelti, Reykjaneskagi og eystra gosbelti, eru hliðruð. Í staðinn fyrir að hreyfing verði um eina einfalda A-V misgengissprungu koma fram norður-suður sprungur á um 25 km breiðu belt. Bókahilluhöggun á þessu sprungukerfi losar um þá spennu sem byggist upp vegna plötuhreyfinganna. Neðri mynd sýnir hvernig spildur milli norður-suður sprunganna á Suðurlandi snúast líkt og bækur í bókahillu. Snúningshraðinn,  $\phi$ , er  $2v/L$ , þar sem  $2v$  eru plötuhreyfingar sem svæðið verður fyrir og  $L$  er norður-suður breidd svæðisins. Færsluhraði á hverri sprungu,  $s$ , verður að jafnaði  $s=w\phi$  þar sem  $w$  er fjarlægð milli sprungna.

virkar í skjálftabeltinu á Suðurlandi virðast vera mjög ungar, þ.e.a.s. heildarfærsla á þessum sprungum er lítil. Erfitt er þó að ákvarða hana nákvæmlega vegna þess hve óreglulegar sprungurnar eru á yfirborðinu. Heildarfærsla á níu sniðgengissprungum við norðurjaðar skjálftabeltisins á Suðurlandi hefur þó verið mæld (Ágúst Guðmundsson 1995). Reyndist heildarfærslan hvergi vera meiri en 15 metrar. Ef það á við um aðrar sprungur í skjálftabeltinu er ólíklegt að þær hafi verið virkar lengur en í nokkra tugi árþúsunda. Núverandi jarðskorpuhreyfingar á Suðurlandi benda til um 0,5–5 mm/ár meðalfærslu á þessum sprungum. Það jafngildir 5–50 metrum á 10.000 árum, og því ætti heildarfærsla á hverri einstakri sprungu að nema meira en 15 metrum ef þær hefðu verið virkar lengur en í nokkra tugi árþúsunda.

## ■ SAMANTEKT

Plötuhreyfingar og aflögun jarðskorpunnar á Suðurlandi hafa verið ákvarðaðar út frá GPS-landmælingum árin 1986, 1989 og

1992. Lítil innri aflögun er á svæðinu vestan við vestra gosbeltið og á svæðinu við suðurenda eystra gosbeltisins. Mælingarnar sýna að þessi svæði færast hvort frá öðru með hraða um  $2,1 \pm 0,4$  cm/ár í stefnu  $N116 \pm 11^\circ A$ . Skjálftabelti Suðurlands verður fyrir vinstri skúfhreyfingu sem leiðir til jarðskjálfta á norður-suður sprungum á Suðurlandi. Færsla yfir skjálftabeltið samsvarar um  $85 \pm 15\%$  af plötuhreyfingunum þannig að svæðið fyrir norðan skjálftabeltið færast í vestur með Norður-Ameríkuplötunni og svæðið fyrir sunnan jarðskjálftabeltið færast í austur með Evrasíuplötunni. Tognun jarðskorpu norðan skjálftabeltisins er um þessar mundir og hefur síðustu 1000 árin verið að mestu bundin við eystra gosbeltið en ekki það vestra. Þetta gildir hins vegar ekki ef litið er til lengri tíma, þá virðist tognun yfir vestra og eystra gliðunarbeltið vera álfka mikil. Mikil skjálftavirkni á Suðurlandi á sögulegum tíma er í góðu samræmi við þessar hugmyndir, þrátt fyrir litla heildarfærslu á jarðskjálftasprungunum. Hugsanlegt er að virkni í gliðunarbeltunum sé sífbreytileg með tíma, stundum sé tognun yfir plötuskilin bundin við eystra gliðunarbeltið eins og nú er en á öðrum tímum sé tognunin að mestu bundin við vestra beltíð. Mismikið framboð á kviku í gliðunarbeltunum gæti verið ástæðan fyrir þessari breytilegu virkni. Virkni í skjálftabelti Suðurlands er mjög háð því hvernig tognun yfir plötuskilin norðan við skjálftabeltið deilist milli vestra og eystra beltisins. Ef gliðnun verður í vestra gosbeltinu norðan Hengils er þannig líklegt að jarðskjálftavirkni á Suðurlandi færast norðar en nú er.

## ■ ÞAKKIR

GPS-mælingar á Suðurlandi 1992 voru unnar í samvinnu við Roger Bilham, University of Colorado at Boulder, og hann tók jafnframt þátt í túlkun mælinganna. Mælingarnar voru styrktar af National Science Foundation, Bandaríkjunum, Rann-

sóknarsjóði Háskóla Íslands, Landsvirkjun og Landmælingum Íslands. University Navstar Consortium (UNAVCO) lagði að hluta til GPS-landmælingatæki til verksins. Unnur Svavarsdóttir og Erik Sturkell tóku þátt í mælingunum. Fjöldi einstaklinga og stofnana tók þátt í fyrri GPS-mælingum á Suðurlandi árin 1986 og 1989. Sigmundur Einarsson og Haukur Jóhannesson lásu handrit að greininni og veittu gagnlegar ábendingar.

## ■ HEIMILDIR

- Ágúst Guðmundsson 1987. Tectonics of the Thingvellir fissure swarm, SW Iceland, *J. Struct. Geol.* 9. 61-69.
- Ágúst Guðmundsson 1995. Ocean-ridge discontinuities in Iceland. *J. Geol. Soc. London* 152. 1011-1015
- DeMets, C., R.G. Gordon, D.F. Argus & S. Stein 1990. Current plate motions. *Geophys. J. Int.* 101. 425-478.
- Freysteinn Sigmundsson 1992. Ný landmælingatækni: GPS landmælingar. *Tæknivísir*, blað byggingartæknifræðinema. 16. 9-13.
- Freysteinn Sigmundsson, Páll Einarsson & R. Bilham 1992. Magma chamber deflation recorded by the Global Positioning System: The Hekla 1991 eruption. *Geophys. Res. Lett.* 19. 1483-1486.
- Freysteinn Sigmundsson, Páll Einarsson, R. Bilham & E. Sturkell 1995. Rift-transform kinematics in south Iceland: Deformation from Global Positioning System measurements, 1986-1992. *J. Geophys. Res.* 100. 6235-6248.
- Kristján Sæmundsson 1992. Geology of the Thingvallavatn area. *Í Ecology of Oligotrophic, Subarctic Thingvallavatn* (ritstj. Pétur M. Jónasson). *Oikos*. 64. 40-68.
- Leick, A. 1990. *GPS Satellite Surveying*. John Wiley. New York.
- Páll Einarsson 1991a. Landmælingar með GPS-gervitunglum. *Í Eðlisfræði á Íslandi V*. Háskólaútgáfan. Bls. 97-108.
- Páll Einarsson 1991b. Earthquakes and present-day tectonism in Iceland. *Tectonophysics* 189. 261-279.
- Páll Einarsson, Sveinbjörn Björnsson, G. Foulger, Ragnar Stefansson & Þórunn Skaftadóttir 1981. Seismicity pattern in the south Iceland seismic zone. *Í Earthquake Prediction: An International Review*. Maurice Ewing Ser. 4 (ritstj. D. Simpson & P.G. Richards), AGU, Washington, D.C. Bls. 141-151.
- Páll Einarsson & Jón Eiríksson 1982. Earthquake fractures in the districts Land and Rangárvellir in the south Iceland seismic zone. *Jökull* 32. 113-120.
- Páll Einarsson & Kristján Sæmundsson 1987. Upptök jarðskjálfta 1982-1985 og eldstöðvakerfi á Íslandi (kort). *Í hlutarins eðli: Afmælisrit til heiðurs Þorbirni Sigurgeirssyni* (ritstj. Þorsteinn Sigfússon). Menningarsjóður, Reykjavík.
- Sturkell, E., Freysteinn Sigmundsson, Páll Einarsson & R. Bilham 1994. Strain accumulation 1986-1992 across the Reykjanes Peninsula plate boundary, Iceland, determined from GPS measurements. *Geophys. Res. Lett.* 21. 125-128.

### PÓSTFANG HÖFUNDA

Freysteinn Sigmundsson  
Norraenu eldfjallastöðinni,  
Háskóla Íslands  
Grensásvegi  
108 Reykjavík  
Netfang: [fs@norvol.hi.is](mailto:fs@norvol.hi.is)

Páll Einarsson  
Raunvísindastofnun Háskólans  
Dunhaga 3  
107 Reykjavík  
Netfang: [palli@raunvis.hi.is](mailto:palli@raunvis.hi.is)