



Óli Már Aronsson.

S-
IR
OO
ÁSKÓLANS

Páll Einarsson, Raunvísindastofnun Háskólans



Suðurlandsskjálftar 2000: Orsakir og atburðarás

Efnisyfirlit:

* <i>Inngangur</i>	195
* <i>Flekar, flekaskil, rek og sprungur</i>	196
* <i>Skjálftasaga Suðurlands</i>	199
* <i>Langtímaspá</i>	205
* <i>Jarðskjálftarnir í júní 2000 og upptök þeirra</i>	206
* <i>Um stærð jarðskjálfta</i>	207
* <i>Áhrif á land</i>	208
* <i>Forboðar skjálftanna</i>	212
* <i>Hvað um framhald skjálftavirkni?</i>	213
* <i>Samantekt</i>	213

Inngangur

Jarðskjálftarnir á Suðurlandi í júní 2000 eru meðal athyglisverðustu atburða í jarðfræði Íslands á tuttugustu öldinni. Þeim fylgdu umtalsverðar jarðskorpuhreyfingar á meira en 1000 ferkílómetra svæði og skjálftavirkni á meira en 90 km löngu stykki af flekaskilunum sem liggja yfir landið. Skjálftanna gætti um meginhluta lands-

ins. Þegar þetta er skrifað, í febrúar 2001, er engan veginn víst að búið sé að bíta úr nálinni með þessa atburði. Skjálftarnir urðu í kjölfar atburða sem sumir telja merki um aukna virkni í jarðskorpunni á Íslandi (1), aukningu sem eigi sér ef til vill dýpri rætur í möttli jarðar undir landinu. Minna má á að gos hafa orðið með stuttu millibili undir Vatnajökli, aðstreymi kviku hefur orðið vart í rótum megineldstöðvanna

Eyjafjallajökuls, 1994 og 1999, og Hrómundartinds á Hellisheiði, 1994-1998, Hekla hefur gosið á 10 ára fresti undanfarið og jafnvel Katla lét á sér kræla 1999. Við höfum með stuttu millibili verið minnt á að við búum í landi náttúruhamfara og þurfum að læra að lifa með þeim. Þetta á ekki síst við um Rangárvallasýslu sem á við óvenju fjölbreyttar hamfarir að glíma.

Í þessari grein verður leitast við að gefa mynd af jarðskjálftunum út frá jarðfræðilegum sjónarhóli. Talsverðar rannsóknir eru í gangi og fjarri er því að öll kurl séu komin til grafar. Að rannsóknunum vinnur fjölmargt fólk, bæði hérlendis og erlendis. Mynd sú sem hér er gefin er byggð á vitneskju sem þegar er fyrir hendi og kynnt hefur verið í greinum og á ráðstefnum fram til þessa. Þar ber hæst haustráðstefnu Jarðfræðafélags Íslands í Reykjavík í nóvember 2000 og haustráðstefnu Ameríska jarðeðlisfræðisambandsins í San Fransískó í desember 2000.

Flekar, flekaskil, rek og sprungur

Umbrotasvæði Íslands eru hluti af miklum flekaskilum sem liggja eftir Atlantshafi endilöngu (2). Stinnhvolfsflekar færast í sundur um skilin og til verður ný jarðskorpa í bilinu með tilheyrandi jarðskjálftum og eldgosum. Hér á landi eru það Norður-Ameríku-flekinn og Evrasíuflekinn sem færast í sundur og er rekstefna þeirra um 15° norðan við vestur eða sunnan við austur eftir því hvernig horft er á málín.

Rekhraðinn er tæplega 2 cm á ári, þ.e. Austur- og Vesturland fjarlægjast sem þessu nemur á hverju ári. Þessi færsla veldur því að spennan hleðst upp í jarðskorpunni næst flekaskilunum. Þegar spennan fer yfir þau mörk, sem bergið í jarðskorpunni þolir, brestur það. Það myndast sprunga og veggir hennar ganga á víxl með snöggum rykk. Rykkurinn hrindir af stað bylgjuhreyfingu í jarðskorpunni sem berst út frá upptökunum í allar áttir. Það er þessi bylgjuhreyfing sem við skynjum sem jarðskjálfta (3).

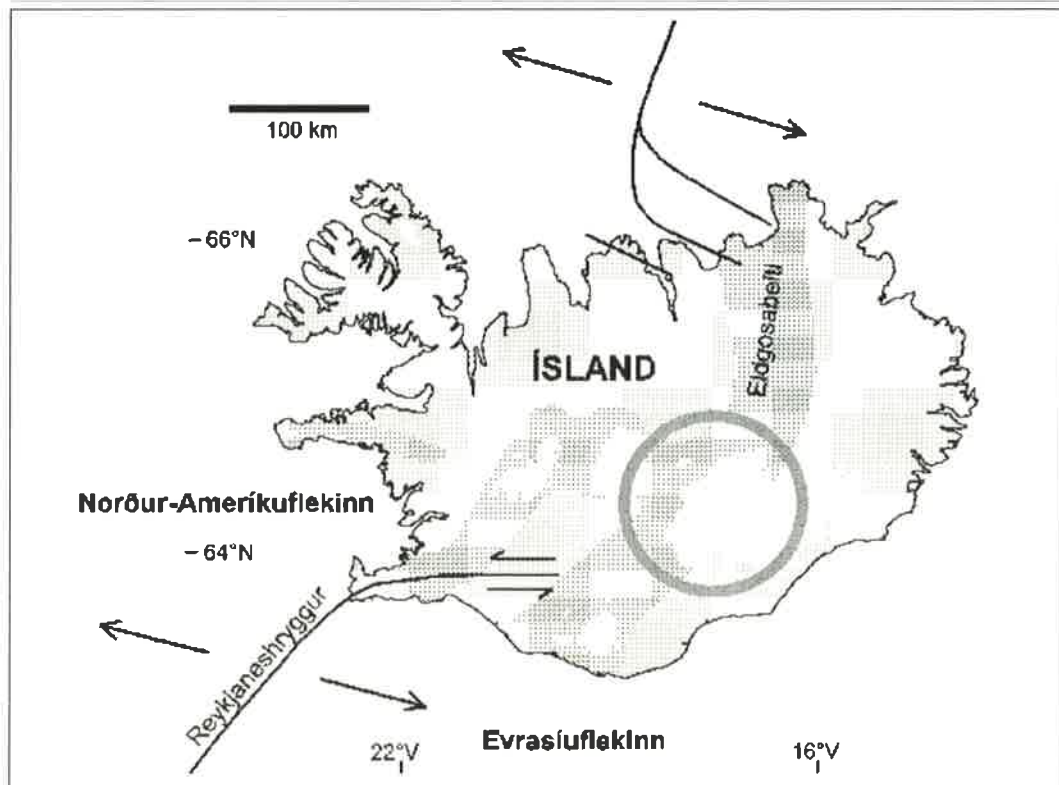
Flekaskilin á Íslandi eru nokkuð flókin (sjá 1. mynd). Þau ganga á land við Reykjanes, liggja eftir Reykjanes-skaga endilöngum og klopna síðan á Hellisheiði í tvær greinar. Önnur greinin liggur til norðausturs, um Þingvallavatn og upp til Langjökuls. Hin greinin liggur beint til austurs, um Ölfus, Flóa, Skeið, Holt, Land og Rangárvelli, í stefnu nokkurn veginn á Heklu. Þar rennur þessi grein flekaskilanna saman við eystra gosbeltið. Skilin halda þaðan til norðausturs, undir Vatnajökul og norður í land þar sem þau greinast og ganga út í sjó í Öxarfirði, Skjálfanda og Skagafirði.

Skjálftabeltið á Suðurlandi er því grein af flekaskilunum og stefnir næstum samsíða flekarekinu. Á slíkum beltum verða jarðskjálftar að jafnaði stærstir á flekaskilum Atlantshafsins. Þeir geta náð stærðinni 7 en fátítt er að þeir verði miklu stærri en það. Af því sem að framan segir má ráða að svæðið sunnan beltisins fylgir Evrasíuflek-

ári, þ.e. jast sem si færsla pp í jarð- m. Þegar n bergið í það. Það r hennar m rykk. bylgju- n berst út r. Það er skynjum

a nokkuð ga á land eykjanes- a síðan á c. Önnur turs, um ngjökuls. sturs, um Land og veginn á flekaski- osbeltið. ðausturs, í land þar út í sjó í afirði.

andi er því fnir næst- kum belt- ð jafnaði tshafsins. átítt er að ð. Af því að svæðið rasíuflek-

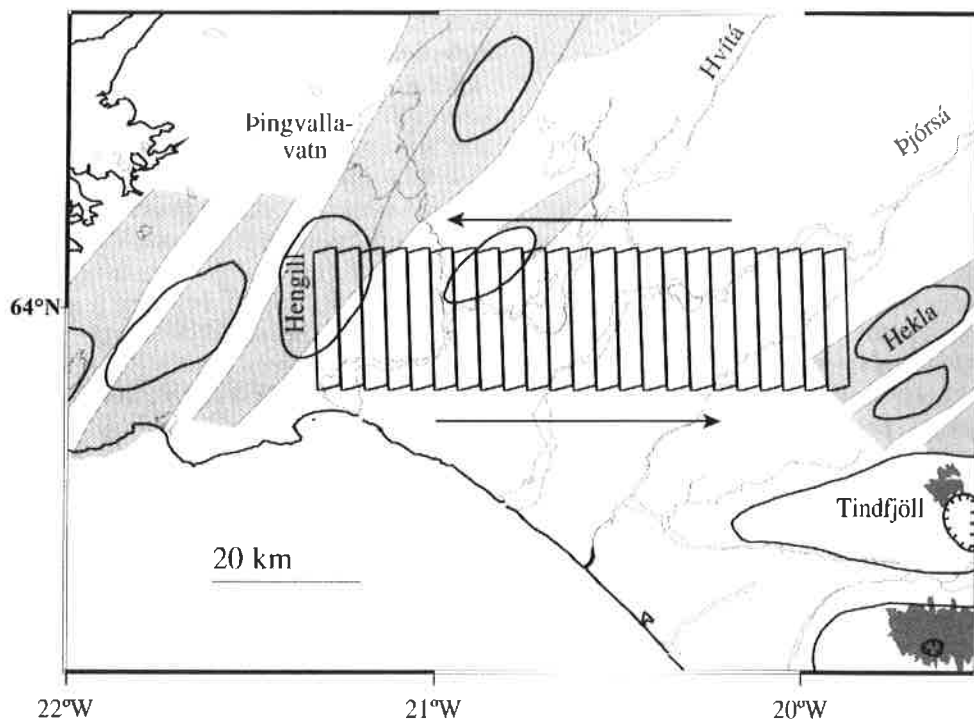


1. mynd. Yfirlitskort af flekaskilum, reki og virkum svæðum á Íslandi. Flekaskilin milli Evrásíuflekans og Norður-Ameríkuflekans liggja eftir Reykjaneshrygg fyrir sunnan land og Kolbeinseyjarhrygg fyrir norðan land. Örvarnar sýna stefnu flekareksins út frá flekaskilunum. Hringurinn yfir vesturhluta Vatnajökuls merkir miðju heita reitsins svokallaða sem er uppspretta mikils hluta eldvirkinnar. Flekaskilin taka á sig krók til að liggja yfir heita reitinn. Við það skapast jarðskjálftasvæðin tvö, annað á Suðurlandi og hitt við norðurströndina.

anum til austurs, en norðan þess færir jarðskorpan með Norður-Ameríkuflek- anum til vesturs. Þetta hefur verið staðfest með nákvæmum landmæling- um (4).

Þrátt fyrir eindregna stefnu skjálfta- beltisins á Suðurlandi í austur-vestur verða einstakir skjálftar vegna hreyf- inga um sprungur sem stefna þvert á

beltið, þ.e. norður-suður. Brothreyf- ingin er með þeim hætti að vesturbakki sprungunnar hnikast til norðurs en austurbakkinn til suðurs. Misgengi af þessu tagi kallast sniðgengi, og hreyf- ingin í þessu tilfalli er til hægri, þ.e. maður sem stendur á öðrum bakkanum og horfir á hinn bakkann sér hann fær- ast til hægri. Misgengjanna sér víða



2. mynd. Kort af Suðurlandi þar sem sjá má helstu eldstöðvakerfi og skýringu á bókahillulíkaninu af jarðskorpuhreyfingum. Flest misgengi snúa í norður og suður og rista jarðskorpuna í ræmur. Norðurendi hverrar ræmu færist til vesturs en suðurendinn til austurs. Afstæð hreyfing milli ræma er þá hægri handar sniðgengisfærsla. Myndin er úr heimild (4).

Oddastefna 2001: Náttúruvár í Rangárþingi. Suðurlandsskjálftarnir sumarið 2000

Oddastefna árið 2001 verður haldin á Laugalandi í Holtum, laugardaginn 19. maí nk. og hefst kl. 14:00. Yfirskrift hennar að þessu sinni verður „Náttúruvár í Rangárþingi. Suðurlandsskjálftarnir sumarið 2000“. Erindi flytja m.a. jarðfræðingarnir Freysteinn Sigurðsson og Elsa G. Vilmundardóttir, Ragnar Stefánsson jarðeðlisfræðingur og Hafþór Jónsson aðalsviðsstjóri hjá Almannavörnum ríkisins. Öllum er velkomið að sækja málþingið.

Oddafélagið

merki á Suðurlandsundirlendi. Þau koma fram á yfirborði sem skástígar raðir af sprungum og gjám, oft með hólum á milli (5, 6). Stundum sjást sprungurnar sem opnar gjár í bergi en oftast koma þær fram sem aflangar lautir eða niðurföll í grónu landi. Hver sprunga er 1-100 m löng og hefur norðtil norðaustlæga stefnu. Næsta sprunga í röðinni er síðan hliðruð til vinstri, þannig að endar þeirra standast ekki á. Sprunguröðin hefur þannig oftast norðlæga stefnu, en einstakar sprungur í henni hafa austlægari stefnu. Milli einstakra sprungna myndast oft hólar, sprunguhólar, þar sem yfirborðið hefur kýst upp. Skástígar sprunguraðir með sprunguhólum eru einkennisfyrirbrigði sniðgengja. Kortlögð hafa verið meira en 20 slík skjálftasniðgengi á Suðurlandi og liggja þau hlið við hlið eftir skjálftasvæðinu endilöngu (7, 2). Ekki er vafamál að fleiri eiga eftir að finnast við frekari leit og kortlagningu. Svæðið sem sprungurnar finnast á er a.m.k. 10-15 km breitt.

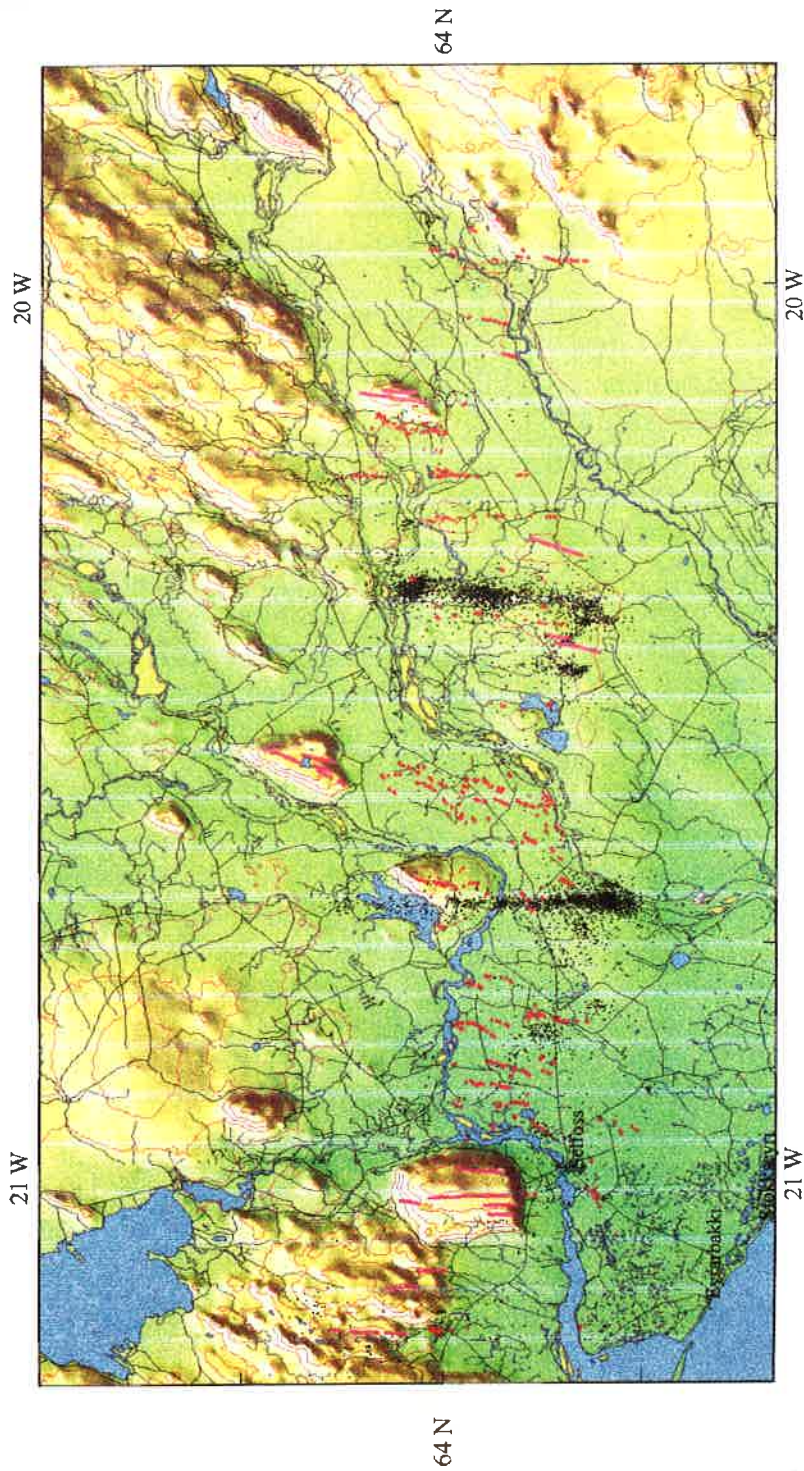
Spurning vaknar nú um það hvernig það megi vera að misgengishreyfingarnar séu fyrst og fremst í norður og suður en heildarhreyfing flekanna samt til austurs og vesturs. Þetta má skýra með einföldu líkani sem prófa má í næstu bókahillu (2. mynd). Ef spildur milli sprungna (bækurnar) snúast lítillega rangsælis má færa nyrðri enda þeirra til vesturs. Afstæð hreyfing milli aðliggjandi spildna verður þá hægri sniðgengishreyfing (4).

Skjálftasaga Suðurlands

Talsverðar upplýsingar má fá úr rituðum heimildum um jarðskjálfta á Suðurlandi og er þær að mestu að finna í riti Þorvalds Thoroddsens um land-skjálfta á Íslandi (8). Tjónasvæði skjálfta, sem orðið hafa síðan 1700, eru allvel þekkt. Að minnsta kosti 39 jarðskjálftar hafa valdið umtalsverðu tjóni á Suðurlandi frá því að sögur hófust.

Helstu staðreyndir eru þessar (7):

1. Tjónasvæði skjálftanna eru aflöng í N-S stefnu og stefna þannig þvert á skjálftabeltið sjálft. Þetta er í samræmi við það að upptök skjálftanna eru á N-S misgengjum.
2. Skjálftar á austurhluta svæðisins, þ.e. austan Þjórsár eru stærri en á vesturhlutanum. Austantil ná þeir stærðinni 7-7,1 en á vestursvæðinu eru stærstu skjálftar 6 - 6,8 stig.
3. Skjálftavirknin gengur oft yfir í hviðum. Hver hviða byrjar austantil með skjálftum um 7 stig, en síðan færir virkni yfir á vesturhlutann þar sem skjálftar eru ívið minni.
4. Hviður ganga yfir á 80 ára fresti að meðaltali. Stysta bil milli hviða er 45 ár, lengsta 112 ár.
5. Auk hviðanna verða stundum skjálftar sem bundnir eru við vestur- eða austurenda svæðisins.



3. mynd. Kort af Suðurlandsskjálftarlendi. Merktar eru allar nýlegar jarðskjálftasprungur sem þekktar eru (rauð strik) og upptök skjálfta seinni helming ársins 2000 (svartir punktar) samkvæmt upplýsingum frá Védurstofu Íslands. Vel kemur fram hvernig sprungurnar raða sér í kerfi með stefnu í norður og suður. Skjálftaupptökkin raða sér líka á línur með sömu stefnu. Sérstaklega koma vel fram upptakamisgengi skjálftanna tveggja, í Holtum 17. júní og í Flóa og Grímsnesi 21. júní



4. mynd. ... haga norð ... Þessar spr ... takamisge ... yfirborði. ... einstakar ... sprunguke ... yfirleitt stu ... sprunguena ... svörðurinn





4. mynd. Sprungur frá 17. júní í hrossahaga norðan Skammbeinsstaða í Holtum. Þessar sprungur sýna helstu einkenni upptakamísgengisins eins og það kemur fram á yfirborði. Sprungurnar eru skástígar; þ.e. einstakar sprungur stefna öðruvísi en sprungukerfið í heild. Sprungurnar eru yfirleitt stuttar og hliðrast til vinstri. Milli sprunguenda aðliggjandi sprungna vöðlast svöðurinn upp í sprunguhóla. Í baksýn



5. mynd. Sprungur við Skammbeinsstaði. Upptakamísgengi skjálftans 17. júní liggur undir þessar byggingar:

mundar Amy Clifton frá Norrænu eldfjallastöðinni GPS-tæki sem notað er til að kortleggja sprungurnar.



6. mynd. Jarðvegsprungur mynduðust víða þar sem jarðvegur mætir klapparholtum. Hér seig jarðvegur í mýrasundi nálægt Eyvík í Grímsnesi í skjálftanum 21. júní. Sprungan fylgir brekkufetinum. Vatn hefur safnast í lögðina við klapparholtið. Á myndinni er Kolbeinn Reynisson í Eyvík.

Helstu þekktu skjálftahviður eru þessar:

1294.

Miklir skjálftar urðu á Suðurlandi og benda heimildir til þess að skjálftarnir hafi verið að minnsta kosti tveir, annar á Rangárvöllum en hinn á Skeiðum. Þess er getið að Rangá hafi fallið úr farvegi sínum og brotið hús manna. Þessi lýsing getur ekki átt við um marga staði. Grunur fellur á misgengi skammt suðvestan Leirubakka á Landi sem upptakamisgengi eystri skjálftans. Einnig mynduðust miklar gjár við Húsatóttir á Skeiðum. Þar rifnaði og sprakk svo djúpt að ekki sá niður. Miklar hverabreytingar urðu í Haukadal.

1339.

Hús féllu í miklum jarðskjálfta, mest í Flóa, á Skeiðum og víða milli Þjórsár og Eystri Rangár. Þetta svæði er svo stórt að líklegt verður að telja að fleiri en einn skjálfti hafi valdið. Umhverfðist holt í Holtamannahreppi og færði úr stað. Víða rifnaði jörð til undirdjúpanna, uppsprettandi heitt vatn og kalt. Þá kom upp hver í Henglafjöllum, 10 faðma á hvern veg, þar sem áður var slétt jörð. Heklugos varð tveimur árum seinna.

1389-91.

Mikil umbrotahrina gekk yfir landið. Hófst hún með eldgosum í Heklu og í nágrenni hennar, Rauðöldum, með dunum og brestum sem heyrðust um

allt land. Þá kom landskjálfti á Suðurlandi með húsahruni og hverabreytingum nærri Heklu. Í kjölfarið kom síðan skjálfti með tjóni í Grímsnesi, Ölfusi og Flóa. Rifnaði víða jörð og komu upp vötn.

1630-33.

Þrír jarðskjálftar urðu veturinn 1630 og átti sá stærsti upptök við Minnivelli á Landi. „...sprakk jörðin sumstaðar í sundur og urðu þar stórar, djúpar gjár, sem engvar voru áður, sérdeilis austur á Landi hjá Minnivöllum.“ Þessar sprungur má enn sjá og rekja allt norður fyrir Þjórsá hjá Þjórsárholti og Skaftholtsrétt (9). Getið er um jarðskjálfta 1632 en óvíst hvar hann átti upptök. Árið 1633 urðu svo jarðskjálftar í Ölfusi. Hús hrundu en ekki sakaði fólk né skepnur. Skjálftar voru svo tíðir að messufall varð í mörgum kirkjum allan þann vetur.

1732-34.

Tjón varð á 40 bæjum á Rangárvöllum og í Eystrihrepp í miklum skjálfta haustið 1732. Af þeim hrundu 11 eða 12 í grunn. Skjálftavirkni var mikil í hálfan mánuð á eftir. Aftur urðu skjálftar 1734, og nú í Flóanum. Í Árnessýslu hrundu 30 bæir alls en 60 til 70 býli spilltust. Sjö eða átta manns dóu undir húsbrotum og margt af nautpeningi.

1784.

Hinn 14. ágúst varð stærsti skjálfti sem vitað er um á Íslandi, metinn 7,1

stig. Hann á Holtum. Þar voru 5 faðma hvar þetta v líkur að því á í Sandskarð beinsstaða (9) upptakamisg þverlæk og S Rangárvalla- menn fórust. skjálftar með ágúst var þeir stig, og féllu suður til str Grímsnes og mynduðust við að teljast líkle takamisgengið í kjölfar Skaffanna og var þandi.

1896.

Miklir jarðsveit 26.- 27. einnig miklir s 5.- 6. september skjálftarnir tve morgni 27. ág stórir, tæplega báðir áttu uppt má rekja við bjarnarholt. S tjóni um allt Tveir skjálftar 5. september. Skeiðum, á m rekja, m.a. við

stig. Hann átti að líkindum upptök í Holtum. Þar mynduðust sprungur sem voru 5 faðma djúpar. Ekki er alveg víst hvar þetta var en leiddar hafa verið líkur að því að hér sé rætt um sprungur í Sandskarðaheiði, vestan Skammbeinsstaða (9). Samkvæmt því liggur upptakamísgengið um Marteinstungu, Þverlæk og Stúfholt. Mikið tjón varð í Rangárvalla- og Árnessýslum og þrír menn fórust. Fyrsta skjálftanum fylgdu skjálftar með upptök vestar. Skjálfti 16. ágúst var þeirra stærstur, líklega um 6,7 stig, og féllu í honum bæir í Flóa, allt suður til strandar, um sunnanvert Grímsnes og víðar. Sprungur miklar mynduðust við Laugardæli og verður að teljast líklegt að þar um liggi upptakamísgengið. Skjálftarnir 1784 komu í kjölfar Skaftárelda og Móðuharðindanna og var því vart á hörmungar bættandi.

1896.

Miklir jarðskjálftar hófust í Landsveit 26.- 27. ágúst, en þeim fylgdu einnig miklir skjálftar í Flóa og Ölfusi 5.- 6. september (8). Fyrstu stóru skjálftarnir tveir urðu að kvöldi 26. og morgni 27. ágúst og voru þeir álíka stórir, tæplega 7 stig. Annar þeirra eða báðir áttu upptök á misgengi sem enn má rekja við Lækjarbotna og Flagbjarnarholt. Skjálftarnir ollu miklu tjóni um allt Suðurlandsundirlendi. Tveir skjálftar urðu með stuttu millibili 5. september. Annar átti upptök á Skeiðum, á misgengi sem enn má rekja, m.a. við Kálfhól, Kílhraun,

Borgarkot og Arakot. Hinn átti upptök við Selfoss og féllu í honum allir bæir í Votmúlahverfi og Smjördalahverfi. Einnig hrundu 3 býli á Selfossi og þar fórust hjón undir. Tjónasvæðið teygði sig síðan til norðurs upp með Ingólfsfjalli. Aðfararnótt 6. september varð enn skjálfti, og nú vestar. Aðaltjónasvæðið var um miðbik Ölfuss. Minna varð tjónið með fjöllunum. Sprungur mynduðust í jörð við Arnarbæli og Kröggólfsstaði og bakkar Varmár umturnuðust. Flóðbylgja myndaðist í Ölfusá og gekk á land fyrir neðan Kaldaðarnes, einnig gekk Varmá upp á bakka sína og hverabreytingar urðu við Reyki.

Fyrir utan hviðurnar sem að ofan eru taldar hafa oft orðið stakir skjálftar og skjálftahrinur með upptök nálægt endum skjálftabeltisins, þ.e. í Ölfusi og á Rangárvöllum. Í fyrri flokknum má telja skjálftahrinur í Ölfusi 1706 og 1789 sem ollu umtalsverðu tjóni. Í seinni flokknum má telja skjálftann 1912 sem átti upptök á misgengi við Selsund og Galtalæk (10). Í seinni flokknum er einnig skjálftinn við Vatnafjöll 1987 (11).

Eftirfarandi tafla gefur upptök og stærðir helstu skjálfta sem við sögu koma síðan árið 1700. Stærðir sögulegra skjálfta eru metnar eftir stærð tjónasvæðis, samkvæmt (12).



7. mynd. Skástígar sprungur við tjörn sunnan Skeiðavegamóta. Sprungurnar voru vel vatnsgengar því vatn streymdi í þær úr tjörninni og hvarf. Inn í tjörnina rann úr nálægu skurðakerfi.



8. mynd. Skástígar sprungur við gaflinn á sumarbústað við Kersholt suðvestan Skeiðavegamóta. Plönturnar úr vermiréitnum lágu á sprungubotninum. Ramminn var skekktur til vinstri og sýndi á hvorn veginn hliðrunin var yfir sprunguna. Hér hliðrast sprungurnar til hægri, sem er afbrigðilegt. Þessi grein sprungukerfisins hafði stefnu í ANA-VSV og er 2 km löng. Færslan um hana var til vinstri. Sprunguhóll myndaðist við húsgaflinn og annar lyfti horni vélageymslunnar.



9. mynd. Á norðurbrún Hestfjalls, þar sem upptakamisgengi skjálftans 21. júní skar hana, voru mikil átök. Engu er líkara en hrært hafi verið í urðinni. Allir steinar eru hreyfðir á kafla.

Ár	m
1706	09
1732	09
1734	03
1784	08
1784	08
1896	08
1896	08
1896	09
1896	09
1896	09
1912	05
1929	07
1935	10
1947	05
1955	04
1964	08
1967	07
1968	12
1987	05
1998	06
1998	11
1998	11
2000	06
2000	06

M_L er stærð s

Lá

Skjálftahvið
taldar, hafa ým
Í þeim verða s
skjálftasvæðisin
stórum skjálfta

Ár	m.d.	Breidd	Lengd	Stærð	Upptakasvæði
1706	04 20	63.98	21.20	6.0	Ölfus
1732	09 07	63.97	20.04	6.7	Land, Leirubakki ?
1734	03 21	63.97	20.83	6.8	Flói, Litlureykir ?
1784	08 14	63.97	20.37	7.1	Holt - Sandskarðaheiði
1784	08 16	63.97	20.95	6.7	Flói - Laugardælir
1896	08 26	63.97	20.26	6.9	Flagbjarnarholt- Lækjarbotnar
1896	08 27	63.97	20.26	6.7	Flagbjarnarholt- Lækjarbotnar
1896	09 05	63.98	20.99	6.0	Selfoss - Alviðra
1896	09 05	63.99	20.57	6.5	Skeið - Arakot - Borgarkot
1896	09 06	63.98	21.20	6.0	Ölfus - Hveragerði
1912	05 06	63.94	19.95	7.0 M _S	Selsundssprungan
1929	07 23	63.93	21.70	6.3	Heiðin há, Hvalhnúkur
1935	10 09	64.00	21.37	6.0 M _L	Hellisheiði
1947	05 19	64.00	21.19	4.3 M _L	Hveragerði
1955	04 01	64.05	21.25	5.5 M _L	Norðan Hveragerðis
1964	08 20	63.95	20.35	4.9 m _b	Holt
1967	07 27	63.95	20.75	5.0 m _b	Flói
1968	12 05	63.93	21.70	6.0 M _S	Heiðin há, Hvalhnúkur
1987	05 25	63.91	19.78	5.9 M _W	Vatnafjöll
1998	06 04	63.95	21.28	5.4 M _W	Hellisheiði
1998	11 13	63.95	21.34	5.1 M _W	Ölfus, Hjalli
1998	11 14	63.96	21.24	4.5 M _S	Ölfus, Hjalli
2000	06 17	63.97	20.35	6.5 M _W	Holt, Skammbeinsstaðir
2000	06 21	63.97	20.70	6.4 M _W	Flói, Grímsnes, Hestfjall

M_L er stærð samkvæmt hámarksútslagi á skjálftamæli nálægt upptökum, M_S er yfirborðsbylgjustærð, m_b er rúmbylgjustærð, M_W er vægisstærð.

Langtímaspá

Skjálftahviðurnar, sem að ofan eru taldar, hafa ýmis sameiginleg einkenni. Í þeim verða skjálftar á miklum hluta skjálftasvæðisins. Þær hefjast yfirleitt á stórum skjálfta á austurhluta svæðisins

og í kjölfar hans koma skjálftar vestar. Skjálftarnir á vesturhlutanum eru yfirleitt ívið minni en hinir. Hviðurnar standa mislengi, allt frá tveimur dögum (1784) upp í þrjú ár (1630-33). Tími milli þeirra er einnig nokkuð breytilegur. Meðaltími milli hviða er 80 ár ef

reiknað er með tímabilið 1391-1630, sem líklega ætti ekki að gera. Á þessum tíma var skrásetning náttúruviðburða mjög ófullkomin, t.d. eru engar skrifaðar heimildir til um stórgos sem vitað er að varð á þessu tímabili. Meðaltími milli hviða er því styttri en 80 ár. Stysta tímabilið er 45 ár (1294-1339) og það lengsta, sem þekkt er með vissu, er 112 ár (1784-1896). Tíminn, sem liðinn var frá síðustu hviðu (1896), var því orðinn í lengra lagi þegar leið að síðustu aldamótum. Í grein í Náttúrufræðingnum árið 1985 var sett fram langtímaspá um slíka skjálftahviðu á Suðurlandi sem byggði á þessu munstri (13). Voru þar taldar meira en 80% líkur á því að hviða gengi yfir Suðurland á næstu 25 árum. Gert var ráð fyrir að hún hæfist á skjálfta á stærðarbilinu 6,3-7,5 með upptök á austurhluta svæðisins en færðist síðan til vesturs, um Skeið, Grímsnes, Flóa eða Ölfus. Þetta var dæmigerð langtímaspá, byggð á þeirri meginforsendu að jarðskjálftavirkni á Suðurlandi haldi áfram með líkum hætti og verið hefur síðustu aldirnar.

Langtímaspáin var endurbætt nokkuð næstu árin. Reynt var að meta hversu stórir stærstu skjálftar á Suðurlandi hefðu verið (12). Við nánari könnun var sýnt fram á að líklega hefði stærð skjálftans 1784 verið ofmetin. Hefur hann síðan verið talinn 7,1 stig. Efri stærðarmörk í langtímaspánni voru því lækkuð til samræmis. Í ljós kom að smáskjálftar á skjálftabeltinu austanverðu áttu flestir upptök á tiltölulega

afmörkuðu svæði ofarlega í Holtum (7), sem benti til þess að þar væri spenna hæst eða næst brotmörkum jarðskorpunnar. Einnig voru leidd rök að því að lengst væri síðan losnað hafi um spennu einmitt á því svæði (14). Menn voru því almennt sammála um að líklegasti upptakastaður næsta stóra skjálfta væri á þessum slóðum.

Jarðskjálftarnir í júní 2000 og upptök þeirra

Fyrsti jarðskjálftinn dundi yfir klukkan 15 40 á þjóðhátíðardaginn 17. júní, að því er virðist alveg fyrirvara-laust. Engir forskjálftar komu fram á mælum. Stærð skjálftans er um 6,5 stig en nákvæm tala fer eftir því hvaða aðferð er beitt við mælinguna. Stærð allt að 6,8 hefur fengist. Upptök þessa skjálfta voru í ofanverðum Holtum, á um 15 km löngu misgengi eða sprungu. Sprungan nær frá yfirborði jarðar og niður á um 15 km dýpi. Rekja má sprunguna á yfirborði frá suðri til norðurs allt frá Pulutjörn og norður í Árnes (15, 16). Hún liggur beint í gegnum fjósið á Skammbeinsstöðum (5. mynd). Það má því til sanns vegar færa að upptök þjóðhátíðarskjálftans hafi verið í fjósinu á Skammbeinsstöðum, eins og gárungarnir létu sér um munn fara.

Tveimur mínútum eftir fyrsta skjálftann varð annar kippur, 5,7 að stærð (m_b). Hann átti upptök á um 2 km langri sprungu sem liggur 3-4 km vestan við aðalsprunguna en samsíða

henni. Ekki er víð hafi náð til yfirborðs.

Við fyrstu kippun flekaskilin til vestanverðu tölulega kyrrt hafi umnar og mánuðir um en nú breytt. Skjálftar mældust í Holt, Flóa, og vestur á Reykjum. Fimm mínútum eftir varð skjálfti að suðri upptök í Núpshlí dísarvalla. Honum rask á yfirborði suðvestan Djúpanna.

Næstu dagar á skjálftavirknin tölulega í austanverðum Holtum suður af því. Þar varð við að stórir skjálftar anverðu skjálftastærð að sem hugsanlega skjálfta og almannatölur um það (17). Stærsta skjálftið yfir 21. júní kl. 15 40 mældist 6,4 að stærð og fyrsti skjálftið tökin voru á um 15 km löngu sem liggur frá suðri vestanvert Hestabakk og undir Þjórsá við Eyvindr. Þetta endinn undir Eyvindr yfirborði má sjá á myndum (15, 16) en þó eru staðar eru ósprungu. Það stærsta er í Fögnu hringvegarins og á ýmsar óreglur og

henni. Ekki er vitað til að þessi sprunga hafi náð til yfirborðs.

Við fyrstu kippina var eins og öll flekaskilin til vesturs lifnuðu við. Tiltölulega kyrrt hafði verið síðustu vikurnar og mánuðina á undan skjálftunum en nú breyttist það svö um munaði. Skjálftar mældust um allt skjálftasvæðið, Holt, Flóa, Ölfus, Selvog og allt vestur á Reykjanesskaga (17, 18). Fimm mínútum eftir fyrsta skjálftann varð skjálfti að stærð 4,9 (m_b) sem átti upptök í Núpshlíðarhálsi norðan Vigdísarvalla. Honum fylgdi umtalsvert rask á yfirborði í fjöllum vestan og suðvestan Djúpatvatns.

Næstu dagana var greinilegt að skjálftavirknin tók að beinast að svæði í austanverðum Flóa, við Hestfjall og suður af því. Þar sem almennt var búist við að stórir skjálftar gætu orðið á vestanverðu skjálftasvæðinu var þetta túlkad að sem hugsanlegur forboði slíks skjálfta og almannavörnum gert viðvart um það (17). Stór skjálfti reið síðan yfir 21. júní klukkan 00 51. Hann mældist 6,4 að stærð (M_w), eða svipaður og fyrsti skjálfti hviðunnar. Upptökin voru á um 18 km langri sprungu sem liggur frá suðri til norðurs um vestanvert Hestfjall. Suðurendinn er undir Þjórsá við Egilsstaði, norðurendinn undir Eyvík í Grímsnesi. Víða á yfirborði má sjá merki um sprunguna (15, 16) en þó er greinilegt að sums staðar eru ósprungin höft á yfirborði. Það stærsta er í Flóanum, á bilinu milli hringvegarins og Hvítár. Einnig eru ýmsar óreglur og frávik á yfirborðs-

prungum. Þær hliðrast talsvert til vesturs og austurs frá sprungunni undir niðri. Áberandi hliðarsprungu, um 2 km löng, er einnig við hringveginn vestan Skeiðavegamóta. Spor hennar á yfirborði hefur stefnu í ANA og hliðrun um hana er vinstri handar.

Eftirskjálftar á svæðinu sýna hvernig upptakamisgengin liggja í skorpunni. Þeir raða sér mjög skýrt á belti með stefnu í norður og suður (3. mynd). Rannsóknir á bylgjum frá stóru skjálftunum tveimur sýna að þeir urðu vegna hægri handar hliðrunar um upptakamisgengi sín, þ.e. vesturbakkar þeirra færðust til norðurs en austurbakkarnir til suðurs (19). Þessar niðurstöður staðfesta þar með þá mynd sem fengist hefur af Suðurlandsskjálftum við könnun á ummerkjum eftir fyrri skjálfta á svæðinu.

Eftir skjálftann í Flóanum tók heldur að róast á skjálftasvæðunum. Mikill fjöldi smáskjálfta kom þó fram á mælum á hverjum degi en tíðni þeirra dvínadði smátt og smátt. Nú, 9 mánuðum eftir stóru skjálftana, er enn talsverð eftirskjálftavirkni sem að mestu er bundin við upptakamisgengin tvö í Holtum og Flóa-Grímsnesi. Enn er því of snemmt að fullyrða að skjálftahviðan á Suðurlandi sé gengin yfir.

Um stærð jarðskjálfta

Nokkur óvissa var um stærð skjálftanna fyrst eftir að þeir urðu. Fyrstu upplýsingar gáfu stærð á bilinu 5 til 5,5 sem kom illa heim við umfang áhrifa

og tjóns. Ruglingur af þessu tagi er algengur fyrst eftir stóra skjálfta og á upptök sín í eðli Richterskvarðans. Allt frá því að sá kvarði var fundinn upp hafa fræðimenn deilt um réttmæti þess að lýsa með einni tölu því flókna ferli sem á sér stað í jarðskjálfta. Upphaflegur tilgangur með kvarðanum var að nota hann til að grófflokka jarðskjálfta með tilliti til jarðfræðilegs mikilvægis þeirra. Til þess var notað hámarksútslag staðlaðs jarðskjálftamælis í næsta nágrenni skjálftaupptakanna, eða í innan við 600 km fjarlægð. Aðferðin reyndist hins vegar betur en til var ætlast og það leiddi fljótt til þess að mönnum hætti til að ofmeta gildi Richterskvarðans. Síðar voru skilgreindir margir kvarðar sem byggja á mismunandi bylgjugeirum og mælingum á þeim. Ekki verður farið nánar út í fræðilegan bakgrunn kvarðanna hér. Þó ber þess að geta að kvarðinn, sem best reynist til að meta hina fjölmörgu smáskjálfta sem verða á hverjum degi hér á landi (M_L -kvarðinn), dugur ekki vel til að gefa rétta mynd af mikilvægi stórra skjálfta. Til þess duga betur kvarðar sem byggjast á löngum yfirborðsbylgjum (M_S -kvarðinn) eða á svokölluðu skjálftavægi jarðskjálftans (M_W -kvarðinn). Til að mæla löngu yfirborðsbylgjurnar þarf mælirinn að vera staðsettur fjarri upptökum skjálftans, þ.e. erlendis. Bylgjur frá Suðurlandsskjálftunum í júní 2000 mældust um allan heim og stærðarmat á þeim lá fyrir um klukkustund eftir að þeir urðu, byggt á mælingum alþjóðlegra mæla-

neta. Tölur, sem síðan hafa verið ákvarðaðar, liggja á bilinu 6,4 til 6,8 fyrir stóru skjálftana tvo. Aðeins tveir stærri skjálftar hafa orðið á Íslandi á þessari öld, skjálftinn í Rangárvallasýslu 1912 og fyrir mynni Skagafjarðar 1963. Stærð þeirra beggja var um 7 stig. Á heimsvísu teljast þessir skjálftar þó ekki nema meðalstórir. Skjálftinn á Indlandi í janúar 2001 var til dæmis tæp 8 stig og stærstu mældu skjálftar sögunnar, í Chile 1960 og Alaska 1964, voru meira en 9 stig. Slíkra skjálfta er ekki að vænta hér á landi sem betur fer.

Áhrif á land

Ummerki um skjálftana sjást víða á landi og landslagi (20, 21). Þau eru af mismunandi tagi, sprungur, grjóthrun, skriður og breytingar á vatni. Mest var um þessi ummerki á upptakasvæði skjálftanna en þau urðu minna áberandi eftir því sem fjær dró.

Sprungur. Víða komu fram sprungur í bergi eða jarðvegi. Mestar voru þær þar sem upptakamisgengi skjálftanna náðu til yfirborðs. Þar komu fram skástígar raðir eða kerfi af sprungum þar sem sprungurnar sjálfar hafa norðaustlæga stefnu en kerfin snúa næstum beint í norður (15, 16). Þessar sprungur eru í raun hluti af upptökum skjálftanna. Víða mátti sjá sprunguhóla, þ.e. spildur þar sem jarðvegur og grjót hafði vöðlast upp í fellingar eða hrúgur (4. mynd). Hólarnir myndast gjarna á milli sprunguenda þar sem sprungur

hliðrast til. A sprungur frá Holtabrauta um Mykjune Stúfholtshj Akbrautar. Einnig að fin þar sem sést í Þinghólum vestari skjálft suðvestan þ Skeiðavegan sjá hliðargre kallað vensla til VSV san skar veginn talsverðu tjón þekkt í fjölb nærri það va mynd). Aðal vegar til norð Hestfjalli. Þa sins um þver enda Hestvat síðan í landi þar sem rek land Eyvíku verulegar spr vatns en ekki kanna það.

Það er gre um að upptök misgengjum Sprungukerf kortlagningu a Þau voru þó svæðinu. Mis mun fersklegr þannig á misg

hliðrast til. Á eystra svæðinu má rekja sprungur frá Pulutjörn við vegamót Holtabrautar og Hagabrautar, norður um Mykjunes og Skammbeinsstaði, um Stúfholtshjáleigu og norður í land Akbrautar. Greinar sprungukerfisins er einnig að finna í Árnesi. Nyrsti staður, þar sem sést til upptakasprungnanna, er í Þinghólum í Árnesi. Upptakasprungur vestari skjálftans má rekja frá Dælarett suðvestan Þjórsárbrúar og norður að Skeiðavegamótum (7. mynd). Þar má sjá hliðargrein sprungukerfisins, svokallað venslað sprungukerfi, sem liggur til VSV samsíða þjóðveginum. Það skar veginn á a.m.k. 3 stöðum og olli talsverðu tjóni. Þetta sprungukerfi varð þekkt í fjölmiðlum vegna þess hve nærri það var byggð og alfaraleið (8. mynd). Aðalsprungukerfið liggur hins vegar til norðurs og sést næst til þess í Hestfjalli. Það sker vestasta hluta fjallsins um þvert og hverfur undir suður-enda Hestvatns. Grein kerfisins finnst síðan í landi Galtar, vestan vatnsins, þar sem rekja má sprungur norður í land Eyvíkur. Ekki er ósennilegt að verulegar sprungur séu á botni Hestvatns en ekki hefur verið aðstaða til að kanna það.

Það er greinilegt af þessum sprungum að upptök stóru skjálftanna urðu á misgengjum sem voru fyrir hendi. Sprungukerfin voru þekkt frá fyrri kortlagningu á sprungum á Suðurlandi. Þau voru þó ekki nýjustu misgengin á svæðinu. Misgengi í nágrenninu voru mun fersklegri. Skjálftinn 17. júní varð þannig á misgengi sem er innan við 1

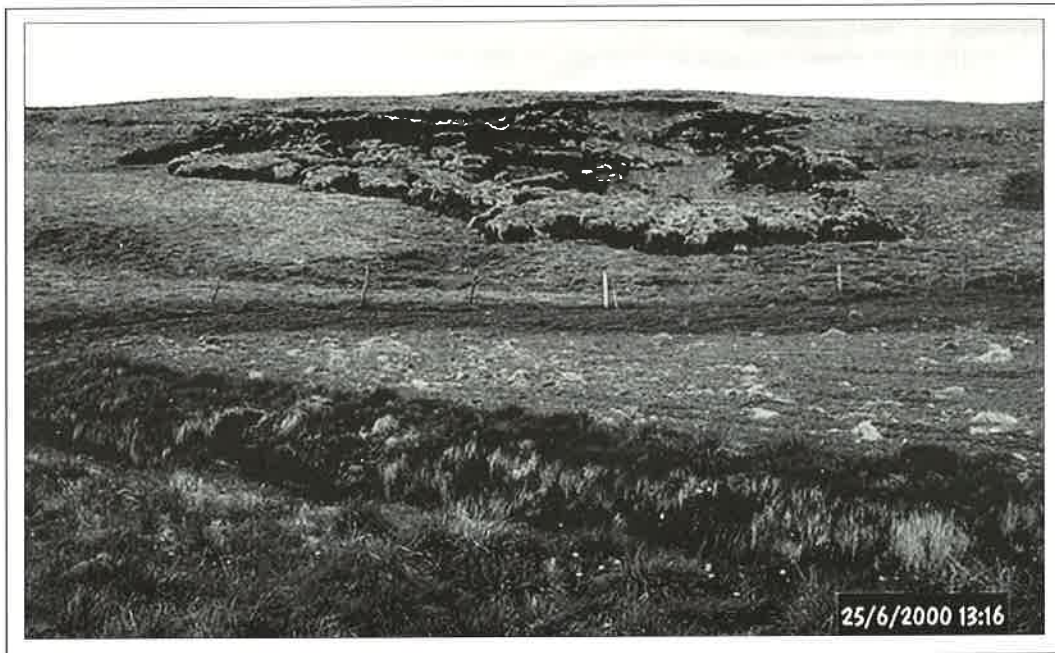
km austan við misgengi sem líklega hrökk í stóra skjálftanum 1784. Draga má þá ályktun að skjálftar á Suðurlandi verði á gömlum misgengjum en ekki vegna myndunar nýrra sprungna. Sprungurnar, sem mynduðust í júní 2000, eru af sama tagi og þær sem áður hafa myndast í jarðskjálftum. Það er þó greinilegt af samanburði við eldri sprungurnar að skjálftarnir nú eru heldur minni en sumir eldri skjálftanna, t.d. 1630 við Minnivelli í Landssveit og 1912 við Selsund á Rangárvöllum.

Auk upptakasprungnanna mynduðust víða sprungur í jarðvegi þar sem ástæða var til að ætla að jarðvegur hefði skriðið til eða þjappast. Til dæmis var verulegur hluti sprungna, sem mynduðust við Læk í Holtum, af þessu tagi. Sums staðar sigu mýrar og mynduðust þá sprungur í mýrarjarðveginn meðfram klapparholtum sem upp úr stóðu. Þar mynduðust þá litlar tjarnir. Þetta mátti t.d. sjá sunnan við mýrina sunnan Stúfholtshjáleigu, í mýrasundum sunnan Eyvíkur í Grímsnesi (6. mynd) og víðar. Sprungur í hlaðinu á Árbæjarhjáleigu stafa líklega af framskriði gamals malarhjalla og fyllingar sem bærinn stendur á. Skemmdir á hitaveituleiðslu meðfram þjóðveginum austan Hellu eru líklega af þessum toga, einnig tjón á þjóðveginum nálægt Áshóli í Holtum. Þar sprakk vegurinn í báðum skjálftunum enda mitt á milli upptaka þeirra.

Á nokkrum stöðum á Skeiðum varð talsvert **jarðvegrask** við gamlar



10. mynd. Víða á bökkum Hvítár og Þjórsár mátti sjá grjóthrun sem þetta í Árnosi hjá Akbraut í Holtum. Í höfðanum handan úrinnar má einnig víða sjá hrun.



11. mynd. Skriða í hálsinum sunnan við Urriðafoss myndaðist í skjálftanum 21. júní.

sprungur
var mest
Brjánsstað
ið ofan í s
raunveru
Víða höfð
niður í va
göt gátu
skepnum.

Grjóth

í tengslun
hrundi úr
frá Eyjafj
svæðið og
Í Vestman
niður í He
Sveifluha
Reykjanes
í átt að ve
dísarvíkun
grjóthrun
hrundi ví
Hestfjall
við Akbra
var úr Hes
Á brún fjá
sem uppta
sums staða
stórgrýtisu
brún fjalls
víða hafði
sigið. Þann
víða efst í
Á þessum
ummerki u
Steinar hö
Það þýðir
var stærri e

sprungur frá skjálftunum 1896. Þetta var mest við Kálfhól, Arakot og Brjánsstaði. Jarðvegsfyllur höfðu hrundið ofan í sprungurnar en hvergi sást til raunverulegra misgengishreyfinga. Víða höfðu myndast göt þar sem sást niður í vatnsborð í sprungunum. Þessi göt gátu verið hættuleg mönnum og skepnum.

Grjóthruns varð vart ótrúlega víða í tengslum við skjálftana (22). Grjót hrundi úr brúnum og klettabríkum allt frá Eyjafjöllum, vestur um upptaksvæðið og vestur eftir Reykjanesskaga. Í Vestmannaeyjum hrundi mikið grjót niður í Herjólfssdal og úr Klifinu. Úr Sveifluhálsi og Núpshlíðarhálsi á Reykjanesskaga hrundi víða grjót, m.a. í átt að veiðihúsi við Djúpavatn. Herðisárvíkurfjall huldust rykmekki vegna grjóthruns í fyrsta skjálftanum. Grjót hrundi víða úr bökkum Hvítár við Hestfjall og Þjórsár við Þjórsárbrú og við Akbraut (10. mynd). Mikið hrun var úr Hestfjalli, einkum við Hestvatn. Á brún fjallsins sunnan vatnsins, þar sem upptakamísgengið skar hana, var sums staðar eins og hrært hefði verið í stógrýtisurðinni (9. mynd). Úr suðurbrún fjallsins hrundi líka mikið grjót og víða hafði skriðan losnað frá fjallinu og sigið. Þannig varð til jarðvegssprunga víða efst í hlíðinni meðfram klettunum. Á þessum slóðum mátti líka víða finna ummerki um mikla hröðun á jörðinni. Steinar höfðu kastast upp úr sæti sínu. Það þýðir að á þá verkaði kraftur sem var stærri en þyngdarkrafturinn.

Skriðuföll, sem oft eru fylgifyskar stórra jarðskjálfta, voru ekki sérlega áberandi í þessum skjálftum ef frá er talið hið umfangsmikla grjóthrun. Aðeins er vitað um eina umtalsverða skriðu. Hún féll úr hálsinum sunnan við Urriðafoss í skjálftanum 21. júní (11. mynd). Staðurinn er beint ofan á upptakamísgengi skjálftans svo vafalítið hefur skjálftahreyfingin verið mjög sterk. Einnig voru aðstæður með þeim hætti að jarðvegslagið gat runnið á leirlagi undan halla.

Breytingar á vatni urðu víða, bæði á grunnvatni og yfirborðsvatni, heitu og köldu. Grunnvatnsbreytingar fylgdu mjög fastri reglu sem endurspeglar spennubreytingar í jarðskorpunni sem fylgdu misgengishreyfingu skjálftanna (23, 24). Norðaustan og suðvestan skjálftaupptakanna lækkaði grunnvatnsþrýstingur en suðaustan og norðvestan þeirra hækkaði þrýstingurinn. Þessar þrýstingsbreytingar komu meðal annars fram í streymi linda og vatnsborði í borholum. Flestar þessara breytinga gengu til baka eftir nokkrar vikur þegar vatnsþrýstingur yfir svæðið náði að jafnast út.

Eins og í mörgum sögulegum skjálftum á Suðurlandi urðu miklar breytingar á hverum í Haukadal. Geysir tók að gjósa af sjálfsdáðum og minnti á forna frægð.

Næstu vikur eftir jarðskjálftana tók vatn að þverra í Pulutjörn við suðurenda misgengisins frá 17. júní og hefur vatn ekki safnast aftur í tjörnina. Pulu-

tjörn er til orðin við sprunghreyfingar í fyrri skjálftum og höfðu opnast vatns-gengar sprungur út úr henni til norðurs þannig að hún heldur ekki lengur vatni.

Víða mátti sjá þess merki að vatnsrennsli í skurðum hafði breyst. Fyrir slíku geta verið margar orsakir, svo sem breytingar í grunnvatnsþrýstingi, sbr. hér að ofan, hallabreytingar á landi, sprunguhreyfingar og jarðvegs-skrið. Víða urðu lindir og lækir mjólkurlitaðir eða gruggugir og stóð það í nokkra daga til vikur. Þetta fyrirbrigði er þekkt frá öðrum skjálftasvæðum en hefur lítið verið rannsakað. Líklega stafar gruggið af fínkornaðri misgengismylsnu sem grunnvatnið skolar úr sprungum og misgengjum. Bergmylsnan verður til við núning og gjökt þegar veggir misgengisins færast til í skjálftanum og núast saman.

Ummerki um **sandgos** fannst á einum stað, við Köldukinn í Holtum. Þar myndaðist stutt röð af litlum gígum sem sandblandað vatn spýttist upp úr, líklega um leið og skjálftinn 17. júní reið yfir. Þetta fyrirbrigði er þekkt úr öðrum skjálftum og verður við það að vatnsmettað sandlag þjappast við titring. Vatnsþrýstingur í sandinum vex þá gríðarlega þegar holrými minnkar og úr geta orðið tignarleg gos.

Forboðar skjálftanna

Jarðskjálftarnir gerðu ekki boð á undan sér sem eftir var tekið. Við nánari yfirferð á margs konar mæligögnum

má þó greina breytingar sem hugsanlega geta nýst í framtíðinni og sem geta gefið margvíslegar vísbendingar um eðli skjálftavirkinnar.

Breytingar urðu á smáskjálftavirkni á Suðurlandi síðustu vikurnar á undan stóru kippunum. Tíðni smáskjálfta minnkaði og jafnframt tóku skjálftaupptök að raða sér á misgengið í Holtunum sem síðan brast 17. júní (17, 18). Jafnframt urðu breytingar á spennusviði sem lesa má út úr bylgjum frá þessum skjálftum.

Áður var minnst á miklar breytingar á vatnsþrýstingi í mörgum borholum og lindum samfara skjálftunum. Einnig mældist á einum stað á Flúðum þrýstingsbreyting skömmu áður en fyrsti skjálftinn varð (23, 24).

Radonmælingar hafa verið stundaðar á Suðurlandi allt síðan 1977 með það að markmiði að finna breytingar á undan jarðskjálftum (25, 26)). Radon er geislavirkt gas sem losnar stöðugt úr bergi í litlum mæli og fer út í grunnvatnið þar sem auðvelt er að mæla það. Mælingarnar héldu áfram til 1993 en þá voru tækin úr sér gengin. Niðurstöður mælinganna gáfu mjög greinilegar vísbendingar um að á undan skjálftum yrðu mælanlegar breytingar á radonstyrk í vatni. Mælingar hófust aftur árið 1999 með nýjum og endurbættum tækjum (27). Vatnssýni voru tekin u.þ.b. tvisvar í viku úr borholum á 7 stöðum á Suðurlandi, Laugalandi og Kaldárholti í Holtum, Flúðum, Hlemmiskeiði, Selfossi, Öxnalæk og Bakka í Ölfusi. Sýnin voru send til

Raunvísindgreind þar. Í ur í radonbrunum, sem mælistaðann

1. Radonstyrk dögum á undan sig aftur
2. Skammlíf styrk 36-50 unum.
3. Radonstyrk

Nú er verið ingataeki sem virkt og sem urnar sem no

Hvað um f

Um framhafi er fátt hægt hafi nokkuð spám þá er sl vart að vænt næstunni. Be atburðarásir anna og þeim um eðli hreyf valda.

Skjálftarnir í ætt skjálftahafa á 45-1 byggðist. Þes lagi. Í henni fjórðungur þe hefur frá því á undan (17).

Raunvísindastofnunar Háskólans og greind þar. Í ljós kemur ákveðið munstur í radonbreytingum á undan skjálftunum, sem er sameiginlegt nokkrum mælistaðanna (28):

1. Radonstyrkur minnkar 100-140 dögum á undan skjálftunum en jafnar sig aftur.
2. Skammlíf aukning verður í radonstyrk 36-59 dögum á undan skjálftunum.
3. Radonstyrkur lækkar við skjálftana.

Nú er verið að hanna radonmælingatæki sem skráir mæligildin sjálfvirkt og sem setja má upp við borholunar sem notaðar hafa verið.

Hvað um framhald skjálftavirkni?

Um framhald skjálfta á Suðurlandi er fátt hægt að fullyrða. Þótt vissulega hafi nokkuð orðið ágengt í jarðskjálftaspám þá er slík viðleitni á frumstigi og vart að vænta áreiðanlegra spádóma á næstunni. Benda má á nokkrar líklegar atburðarásir og byggja á reynslu aldanna og þeim skilningi sem fyrir liggur um eðli hreyfinganna sem skjálftunum valda.

Skjálftarnir 2000 sverja sig ótvírætt í ætt skjálftahviða af því tagi sem orðið hafa á 45-112 ára fresti síðan land byggðist. Þessi hviða var þó í minna lagi. Í henni losnaði einungis tæplega fjórðungur þeirrar spennu sem safnast hefur frá því síðustu skjálftar urðu þar á undan (17). Ef hviðunni er lokið að

þessu sinni verður því að reikna með að stuttan tíma taki að byggja upp spennu fyrir næstu hviðu, 25-50 ár eða jafnvel skemmri tíma. Þess ber einnig að geta að sumar hviðurnar hafa staðið lengur en nú, jafnvel 2-3 ár. Það er því engan veginn víst að hviðunni sé lokið. Meðan eftirskjálftar mælast á hverjum degi á svæðinu er því varla hægt að útiloka þann möguleika að framhald geti orðið á stórum skjálftum á næstu mánuðum og árum. Það er þó fremur ólíklegt að þeir verði verulega stærri en þeir sem þegar hafa orðið.

Samantekt

Vegna þeirra margvíslegu gagna sem söfnuðust eiga Suðurlandsskjálftarnir 2000 eftir að vera efniviður mikilla rannsókna sem beinast að orsökum jarðskjálfta og aðferðum til að segja fyrir um þá. Nefna má nákvæmar landmælingar, bæði GPS-landmælingar (29, 30) og mælingar á aflögun jarðskorpunnar með ratsjártækni úr gervitunglum (31). Þegar búið verður að fullvinna úr mælingunum munu þær sýna umfang og eðli jarðskorpuhreyfinganna með meiri nákvæmni en fengist hefur nokkru sinni fyrr. Niðurstöður rannsókna fram til þessa má draga saman í eftirfarandi punkta:

1. Jarðskjálftarnir voru í samræmi við langtímaspá sem sett var fram á árunum 1985-1993 og byggðist að mestu á sögulegum heimildum.

2. Jarðskjálftarnir áttu upptök á tveimur samsíða misgengjum með norður-suðurstefnu, þ.e. þvert á stefnu skjálftabeltisins. Eystra misgengið var um 15 km langt en það vestara um 18 km langt. Misgengin voru hægri sniðgengi, þ.e. vesturbakki þeirra gekk til norðurs miðað við austurbakkann.
3. Á yfirborði komu misgengin fram sem skástígar raðir af sprungum og gjám. Stefna einstakra sprungna var til norðurs eða norðausturs en raðirnar stefndu í norður-suður. Sprunguhólar mynduðust gjarnan þar sem yfirborðslög vöðluðust upp milli enda á aðliggjandi sprungum. Þetta eru svipuð ummerki og víða má finna á Suðurlandi.
4. Upptakamisgengin tvö voru gömul, þ.e. á þeim má finna ummerki eftir eldri skjálfta. Þetta eru þó ekki þau misgengi sem síðast ollu stórum skjálftum á þessu svæði sem sést á því að í næsta nágrenni þeirra má finna misgengi með mun fersklegri ummerkjum eftir gamla skjálfta.
5. Ummerkin eftir skjálftana nú eru minni en eftir suma af eldri skjálftunum, t.d. 1630 og 1912. Skjálftarnir 2000 eru því ekki með stærstu skjálftum sem orðið hafa á Suðurlandi. Skjálftinn 1784 er stærsti skjálfti sem vitað er um á Suðurlandi, um 7,1 að stærð. Ekki er talið

líklegt að skjálftar verði miklu stærri en það á Íslandi.

6. Skjálftarnir höfðu mikil áhrif á land. Grjóthrun varð í brattlendi á stórum hluta Suðvesturlands, jarðvegur skreið og þjappaðist og breytingar urðu á vatnafari víða umhverfis upptökin.
7. Næst upptökunum voru ummerki um að miklir kraftar hefðu verkað, meiri en þyngdarkrafturinn. Þetta er staðfest með mælingum á hröðun. Hæst hröðun var mæld í vesturstöpli Þjórsárbrúar í skjálftanum 21. júní, 84% af þyngdarhröðun (32).
8. Í ljósi mikilla krafta, sem verkuðu á hús og mannvirki, er furða að ekki varð meira tjón en raun bær vitni.
9. Ekki er hægt að fullyrða að skjálftahviðunni sé lokið.

Þakkarorð

Grein þessi er byggð á margvíslegum upplýsingum frá rannsóknaraðilum og heimamönnum á skjálftasvæðinu, auk ritaðra heimilda sem vitnað er til í textanum. Heimamenn hafa verið óþreytandi að tilkynna um áhrif skjálftanna og leiðbeina rannsóknarmönnum um land sitt. Ekki er á neinn hallað þótt nefnt sé nafn Daníels Magnússonar í Akbraut í því sambandi. Upplýsingar um upptök skjálfta og stærðir eru að

mestu fengnar Á skoðunarferð svæðið hafa þá Pedersen, Vala dór Ólafsson og Briem las yfir til betri vegar.

- (1) Freysteinn S. arsson. 1994. *Mic unrest at the Mid-Atlantic in Iceland: Evidence from an American Geophysical Meeting, San Francisco, 1232, 2000.*
- (2) Páll Einarsson. *sent-day tectonophysics*
- (3) Sveinbjörn Einarsson. *og pipraði á útgáfa*. Alnámavík, 121-15
- (4) Freysteinn S. arsson. *Jarðskorpukvæðing* Náttúrufræðingafélagið 1982.
- (5) Páll Einarsson. *skjálftasprungu*, í: *Reykjavík*
- (6) Páll Einarsson. *quake from Rangá* *Seismicity in Iceland* 1982.
- (7) Páll Einarsson. *G. Foulge Þórunn Skarphéðinn* *in the South*

mestu fengnar frá Veðurstofu Íslands. Á skoðunarferðum mínum um skjálftasvæðið hafa þau Amy Clifton, Rikke Pedersen, Vala Hjörleifsdóttir og Halldór Ólafsson unnið með mér. Ingibjörg Briem las yfir handrit og færði margt til betri vegar.

Tilvitnanir:

- (1) Freysteinn Sigmundsson og Páll Einarsson. *1994-2000 Volcanic and seismic unrest at a 200-km-long stretch of the Mid-Atlantic Ridge plate boundary in Iceland: Episodic magma delivery*. American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, Eos 81, bls. 1232, 2000.
- (2) Páll Einarsson. *Earthquakes and present-day tectonism in Iceland*. *Tectonophysics*, 189, 261-279, 1991.
- (3) Sveinbjörn Björnsson og Páll Einarsson. *Jarðskjálftar - „Jörðin skalf og pipraði af ótta“*, Náttúra Íslands (2. útgáfa), Almenna bókafélagið, Reykjavík, 121-155, 1981.
- (4) Freysteinn Sigmundsson og Páll Einarsson. *Jarðskjálftabeltið á Suðurlandi: Jarðskorpuhreyfingar 1986 - 1992 ákvarðaðar með GPS landmælingum*. Náttúrufræðingurinn, 66, 37-46, 1996.
- (5) Páll Einarsson og Jón Eiríksson. *Jarðskjálftasprungur á Landi og Rangárvöllum*, í: Eldur er í norðri, Sögufélag, Reykjavík, 295-310, 1982.
- (6) Páll Einarsson og Jón Eiríksson. *Earthquake fractures in the districts Land and Rangárvellir in the South Iceland Seismic Zone*. *Jökull*, 32, 113-120, 1982.
- (7) Páll Einarsson, Sveinbjörn Björnsson, G. Foulger, Ragnar Stefánsson and Þórunn Skaftadóttir. *Seismicity pattern in the South Iceland seismic zone*. Í: Earthquake Prediction - An International Review (ritstj. D. Simpson og P. Richards). American Geophys. Union, Maurice Ewing Series 4, 141-151, 1981.
- (8) Þorvaldur Thoroddsen. *Jarðskjálftar á Suðurlandi*. Hið íslenska bókmenntafélag, Kaupmannahöfn, 199 bls., 1899.
- (9) Kristín Jónsdóttir, Páll Einarsson og Vala Hjörleifsdóttir. *Sprungukerfi Suðurlandsskjálftanna 1630 og 1784*. Vorráðstefna 1999. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 42.
- (10) Ingi Þ. Bjarnason, P. Cowie, M. H. Anders, L. Seeber and C. H. Scholz. *The 1912 Iceland earthquake rupture: Growth and development of a nascent transform system*. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 83, 416 - 435, 1993.
- (11) Ingi Þ. Bjarnason og Páll Einarsson. *Source mechanism of the 1987 Vatnafjöll earthquake in South Iceland*. *J. Geophys. Res.*, 96, 4313-4324, 1991.
- (12) Ragnar Stefánsson og Páll Halldórsson. *Strain release and strain build-up in the South Iceland seismic zone*. *Tectonophysics*, 155, 267-276, 1988.
- (13) Páll Einarsson. *Jarðskjálftaspár*. *Náttúrufræðingurinn*, 55, 9-28, 1985.
- (14) Ragnar Stefánsson, Reynir Böðvarsson, R. Slunga, Páll Einarsson, Steinunn Jakobsdóttir, H. Bungum, S. Gregersen, J. Havskov, J. Hjelm, H. Korhonen. *Earthquake prediction research in the South Iceland seismic zone and the SIL project*. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 83, 696-716, 1993.
- (15) Amy Clifton, Páll Einarsson. *Styles of surface rupture accompanying the June 17 and 21, 2000 earthquakes in the South Iceland Seismic Zone*. Haustráðstefna 2000. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 1.
- (16) Rikke Pedersen, Amy Clifton, Páll Einarsson, Freysteinn Sigmundsson,

- Guðmundur H. Guðfinnsson. *Styles of surface rupture accompanying the June 17 and 21, 2000 earthquakes in the South Iceland Seismic Zone*. American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, Eos 81, bls. 1171, 2000.
- (17) Ragnar Stefánsson, Páll Halldórsson, Gunnar B. Guðmundsson. *Eðli, áhrif og spár í ljósi sögulegra heimilda og jarðskjálftamælinga*. Haustráðstefna 2000. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 11-12.
- (18) Ragnar Stefánsson, Þóra Árnadóttir, Grímur Björnsson, Gunnar B. Guðmundsson, Páll Halldórsson. *The two large earthquakes in the South Iceland Seismic Zone in June 2000. A basis for earthquake prediction research*. American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, Eos 81, bls. 890, 2000.
- (19) Harvard University. *Centroid Moment Tensor Catalog*, 2000.
- (20) Páll Einarsson og Amy Clifton. *Suðurlandskjálftar 2000: Tektónískt umhverfi, sprungur og yfirborðsummerki*. Haustráðstefna 2000. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 7-8.
- (21) Páll Einarsson, Amy Clifton, Freysteinn Sigmundsson, Ragnar Sigbjörnsson. *The South Iceland earthquakes of 2000: Tectonic environment and effects*. American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, Eos 81, bls. 890, 2000.
- (22) Esther Hlíðar Jensen. *Grjóthrun í Suðurlandskjálftum 2000*. Haustráðstefna 2000. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 2.
- (23) Grímur Björnsson, Kristján Sæmundsson, Ólafur G. Flóvenz. *Vatnsborðsbreytingar í tengslum við Suðurlandskjálftana í júní 2000*. Haustráðstefna 2000. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 3-5.
- (24) Grímur Björnsson, Kristján Sæmundsson, Ólafur G. Flóvenz, Einar M. Einarsson. *Pre- and post-hydrological pressure signals associated with the two large earthquakes in S-Iceland in June 2000*. American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, Eos 81, bls. 891, 2000.
- (25) Hauksson, E., and J. Goddard. *Radon earthquake precursor studies in Iceland*. J. Geophys. Res., 86, 7037-7054, 1981.
- (26) Sigurjón Jónsson og Páll Einarsson. *Radon anomalies and earthquakes in the South Iceland Seismic Zone 1977-1993*. In: Seismology in Europe (Ed. B. Thorkelsson et al.), European Seismological Commission, Reykjavík, bls. 247-252, 1996.
- (27) Páll Theodórsson. *Improved automatic radon monitoring in ground water*. In: Seismology in Europe (Ed. B. Thorkelsson et al.), European Seismological Commission, Reykjavík, bls. 253-257, 1996.
- (28) Páll Theodórsson, Páll Einarsson and Guðjón I. Guðjónsson. *Radon anomalies prior to the earthquake sequence in the South Iceland Seismic Zone in June 2000*. American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, Eos 81, bls. 891, 2000.
- (29) Þóra Árnadóttir, Halldór Geirsson, Bergur Bergsson, Jósef Hólmjárn, Erik Sturkell, Halldór Ólafsson, Rikke Pedersen, Páll Einarsson, Vala Hjörleifsdóttir, Christof Völksen, Markus Rennen, Guðmundur Valsson. *Jarðskorpuhreyfingar í kjölfar Suðurlandskjálfta í júní 2000*. Haustráðstefna 2000. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 13-14

- (30) Þóra Árnadóttir, Bergur Bergsson. *Crustal deformation during the 2000 earthquakes in the South Iceland Seismic Zone*. American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, Eos 81, bls. 335, 2000.
- (31) Rikke Pedersen, Guðmundur H. Guðfinnsson. *Initial results from the 2000 earthquake sequence in the South Iceland Seismic Zone*. American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, Eos 81, bls. 891, 2000.



- (30) Þóra Árnadóttir, Halldór Geirsson, Bergur Bergsson, Jósef Hólmjárn. *Crustal deformation observed with continuous GPS measurements in Iceland.* American Geophysical Union, Fall Meeting, San Francisco, Eos 81, bls. 335, 2000.
- (31) Rikke Pedersen, Freysteinn Sigmundsson. *InSAR study of the June 17, 2000 earthquake, SISZ, Iceland: Preliminary results.* Haustráðstefna 2000. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 9-10.

- (32) Ragnar Sigbjörnsson, Jónas Þór Snæbjörnsson, Símon Ólafsson, Bjarni Bessason, Gunnar I. Baldvinsson, Óðinn Þórarinnsson. *Jarðskjálftar á Suðurlandi 17. og 21. júní 2000.* Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði, Háskóla Íslands, Selfossi, Skýrsla 00001, 53 bls., 2000.

Höfundur: Páll Einarsson, Raunvísindastofnun Háskólans, Hofsvallagötu 53, 107 Reykjavík.

Þjónustuskraáin Bella
- símaskrá fyrir Suðurland
kemur út á hverju ári.

Öll heimili og fyrirtæki á Suðurlandi fá þessa skrá senda í pósti sér að kostnaðarlausu og er hún því sterkur auglýsingamiðill.

**Allir geta keypt
auglýsingar í henni og
er tekið við auglýsingum
í síma**

487 5551, fax 487 5585.

Þeir sem ætla sér að auglýsa í henni hafi samband sem fyrst.

Auglýsing í Bellu borgar sig!