



JARÐSKJÁLFTAR

Yfirlit yfir hröðunarmælingar árin 2005 og 2006

Ragnar Sigbjörnsson

Símon Ólafsson

Ragnar Sigbjörnsson, Símon Ólafsson: *Jarðskjálftar: Yfirlit yfir hröðunarmælingar árin 2005 og 2006*,
Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði, skýrsla nr. 07001, Selfoss, 2007.

© Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði og höfundar.

Rit þetta má ekki afrita eða fjölfalda með neinum hætti að hluta eða í heild án leyfis Rannsóknar-
miðstöðvar í jarðskjálftaverkfræði og höfunda.

Vefsíða: Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði <http://www.afl.hi.is>

ÚTDRÁTTUR

Þetta rit fjallar um hröðunarmælingar árin 2005 og 2006. Gefið er yfirlit yfir Íslenska hröðunarmælanetið, sem er sjálfvirkt mælanet sem skiptist í svonefndar grunnmælistöðvar og fjölnemakerfi. Grunnmælistöðvarnar eru staðsettar í sérstaklega völdum mannvirkjum sem dreifast um megin jarðskjálftasvæði Íslands. Fjölnemakerfin eru einkum staðsett í stíflum og orkumannvirkjum.

Lítill jarðskjálftavirkni hefur verið á landinu á þessu tímabili og aðeins mælst jarðskjálftar sem flokka má sem óverulega eða litla. Þeir bæta því litlu við þau gögn sem þegar hefur verið aflað. Þau má nálgast á vefsíðunni <http://www.ISESD.hi.is>. Þar eru bæði frumgögn, leiðrétt gögn svo og afleidd gögn, meðal annars jarðskjálftasvörunarróf, ásamt upplýsingum um stærð og staðsetningu atburðanna. Úrval þessara gagna hefur einnig verið gefið út á geisladiski sem tekur sérstaklega mið af þörfum verkfræðinga svo og Evrópustaðli um jarðskjálfta (EUROCODE 8).

Að lokum er horft til framtíðar og fjallað um þörfina fyrir áframhaldandi mælingar. Niðurstaðan er sú að nauðsynlegt sé að halda mælingum áfram. Í þessu sambandi er horft til upphaflegra markmiða, en einnig tekið mið af þróuninni undanfarin ár, svo og þeim hugmyndum um hröðunarmælingar sem settar hafa verið fram erlendis.

LYKILORD: Jarðskjálftaverkfræði, hröðunarmælingar, hröðunarmælanet, grunnstöðvar, fjölnemakerfi, hröðunarraðir, jarðskjálftasvörunarróf.

EFNISYFIRLIT

ÚTDRÁTTUR.....	3
EFNISYFIRLIT.....	4
1. INNGANGUR.....	5
2. JARÐSKJÁLFTAUMHVERFI ÍSLANDS.....	6
3. ÍSLENSKA HRÖÐUNARMÆLANETIÐ.....	9
4. MÆLINGAR.....	12
4.1 Yfirlit.....	12
4.2 Árið 2005.....	13
4.3 Árið 2006.....	15
5. UMRÆÐA OG LOKAORÐ.....	18
RITASKRÁ.....	19

1. INNGANGUR

Í þessu riti er gefið stutt yfirlit yfir þær mælingar á jarðskjálftum árin 2005 og 2006 sem gerðar hafa verið á vegum Rannsóknarmiðstöðvar Háskóla Íslands í jarðskjálftaverkfræði. Megin áhersla er lögð á að mæla þá hröðun sem stórir jarðskjálftar valda. Í þessu sambandi er fyrst og fremst átt við jarðskjálfta sem valda það mikilli hreyfingu að hún hefur áhrif á mannvirki og getur valdið skemmdum á þeim og truflað rekstur.

Meginmarkmið mælinganna er¹:

- ✓ öflun gagna um áhrif jarðskjálfta á byggingar og tæknikerfi
- ✓ öflun gagna og tengdra upplýsinga sem hægt er að nýta við hönnun mannvirkja á jarðskjálftasvæðum
- ✓ öflun gagna sem nýtast við áhættustjórnun

Mælingarnar byggja á mælaneti sem skiptist í megin dráttum í svonefndar *grunnstöðvar* (ground response stations) og *fjölnemakerfi* (arrays). Grunnstöðvarnar eru staðsettar í sérstaklega völdum mannvirkjum sem dreifast um megin jarðskjálftasvæði Íslands, það er á Suður- og Norðurlandi. Fjölnemakerfin eru einkum staðsett í stíflum og orkumannvirkjum en einnig í byggingum og brúm. Alla jafna þjóna fjölnemakerfin einnig hlutverki grunnmælistöðva. Fyrirkomulag mælinganna, úrvinnsla þeirra og dreifing gagna er í samræmi við þá stefnu og aðferðarfræði sem tíðkast erlendis.

Fjölmarginir aðilar hafa styrkt þessa starfsemi, ýmist með beinum eða óbeinum hætti. Hér er sérstök ástæða til þess að nefna Landsvirkjun, Reykjavíkurborg, Orkustofnun, Vegagerðina, sveitarfélög á Suður- og Norðurlandi, Rannsóknaráð Íslands, Evrópusambandið og síðast en ekki síst Háskóla Íslands.

Athygli er vakin á því að nálgast má öll helstu gögn um hröðunarmælingar á vefsíðunni <http://www.ISESD.hi.is>². Einnig er ástæða til þess að minna á að úrval þessara gagna hefur verið gefið út á geisladiski³ sem tekur sérstaklega mið af þörfum verkfræðinga svo og Evrópustaðli um jarðskjálfta (EUROCODE 8).

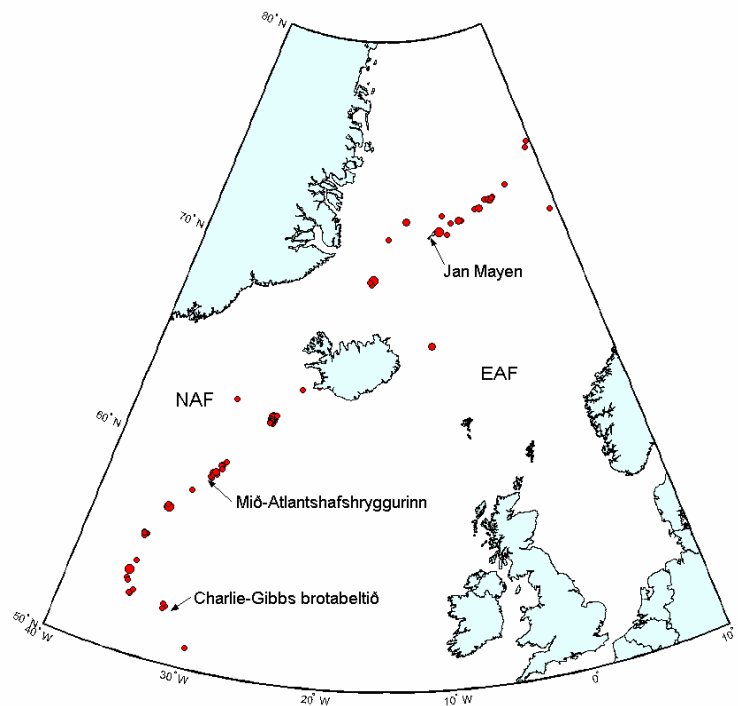
¹ Ragnar Sigbjörnsson, Jónas Þór Snæbjörnsson, Símon Ólafsson, Óðinn Þórarinnsson: *Jarðskjálftar: Yfirlit yfir hröðunarmælingar*, Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði, Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, skýrsla nr. 04006, Selfoss, 2004.

² Ambraseys et al. (2004). Internet site for European strong-motion data. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 45(3), 113-129.

³ Ambraseys et al. (2004). Dissemination of European strong-motion data, volume 2. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Mira, Vancouver.

2. JARÐSKJÁLFTAUMHVERFI ÍSLANDS

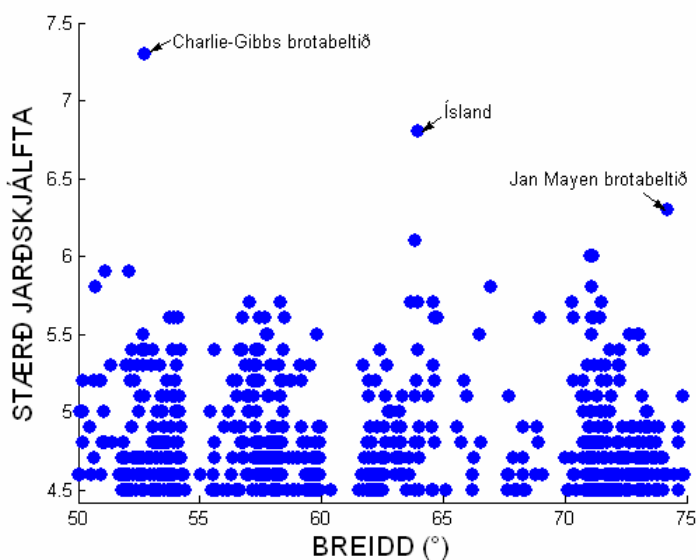
Jarðskjálftaumhverfi Íslands mótast af legu landsins á Mið-Atlantshafshryggnum. Á mynd 2.1 er sýnd staðsetning jarðskjálfta stærri en 4.5 á árunum 2005 og 2006. Þessi mynd er sambærileg við tilsvareandi mynd í ritinu *Jarðskjálftar: Yfirlit yfir hröðunarmælingar* (sjá mynd 1).⁴ Á mynd 2.1 má sjá að jarðskjálftavirkni í nágrenni landsins er fremur lítil á umræddu tímabili. Einna helst vekur athygli jarðskjálfti austur af landinu, en upptök hans eru nálægt brún landgrunnsins og utan hefðbundinna jarðskjálftasvæða. Þó eru jarðskjálftar á þessu svæði ekki með öllu óþekktir. Stærð þessa jarðskjálfta var rúmlega fjórir.



Mynd 2.1 – Jarðskjálftavirkni í nágrenni Íslands á árunum 2005 og 2006. Rauðu hringirnir tákna upptakamiðjur jarðskjálfta á hafsbötni. Stærð jarðskjálftanna er á bilinu 4.5 til 5.7. Jarðskjálftamiðjurnar mynda nokkuð samfelldan feril sem gefur til kynna legu Mið-Atlantshafshryggsins í nágrenni Íslands. Myndin er byggð á gögnum frá U.S. Geological Survey National Earthquake Information Center (Jarðskjálftaupplýsingamiðstöð Bandaríkjana).⁵ Eftirfarandi skammstafanir eru notaðar: NAF er Norður-Amerikuflekinn og EAF er Evrasíuflekinn. Gefin er til kynna lega Jan Mayen brotabeltisins norðan Íslands og Charlie-Gibbs brotabeltisins sunnan þess.

⁴ Ragnar Sigbjörnsson, Jónas Þór Snæbjörnsson, Símon Ólafsson, Óðinn Þórarinnsson: *Jarðskjálftar: Yfirlit yfir hröðunarmælingar*, Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði, Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, skýrsla nr. 04006, Selfoss, 2004.

Þegar stærð jarðskjálfta, sem fall af breidd, á svæðinu milli Jan Mayen brotabeltisins norðan Íslands og Charlie-Gibbs brotabeltisins sunnan þess kemur athyglisverð mynd í ljós. Af mynd 2.2 má sjá þessi tengsl, en á myndinni eru sýndir jarðskjálftar stærri en 4.5 á tímabilinu 1985 til og með 2006. Það sést að utan brotabeltanna, þ.e. Charlie-Gibbs og Jan Mayen svo og á Suður og Norðurlandi, verður stærð jarðskjálfta ekki meiri en 6 á umræddu tímabili. Þessi niðurstaða samræmist hugmyndum fræðimanna um að jarðskjálftar sem eiga upptök á eða í námunda við rekbelti hryggjarins verði ekki stærri en sex. Nánari könnun á eðli þessara jarðskjálfta sýnir að þeir eru siggengisjarðskjálftar en jarðskjálftar á brotabeltinu eru að jafnaði sniðgengisjarðskjálftar. Af myndinni sést að stærsti jarðskjálftinn á tímabilinu varð á Charlie-Gibbs brotabeltinu árið 1998. Stærð hans er vel yfir 7 sem er í samræmi við stærð stærstu jarðskjálfta sem mælst hafa við Ísland, þ.e. árin 1910 og 1912.



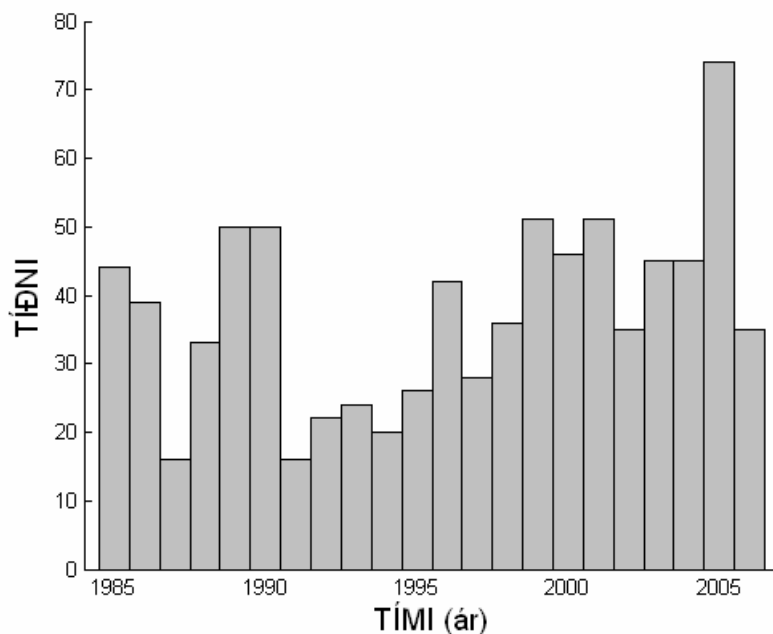
Mynd 2.2 – Jarðskjálftavirkni í nágrenni Íslands á árunum 1985 og 2006. Á myndinni getur að líta stærð jarðskjálfta með upptök á Miðatlantshafshryggnum sem fall af breidd. Stærð jarðskjálftanna er á bilinu 4.5 til 7.3. Myndin er byggð á gögnum frá U.S. Geological Survey National Earthquake Information Center (Jarðskjálftaupplýsingamiðstöð Bandaríkjanna).⁶

Tíðni jarðskjálfta á svæðinu milli Jan Mayen brotabeltisins norðan Íslands og Charlie-Gibbs brotabeltisins sunnan þess (sjá mynd 2.1) á tímabilinu 1985 til og með 2006 er sýnd á mynd 2.3. Þar sést að tíðni jarðskjálfta hefur að jafnaði aukist þegar litið er á tímabilið í heild sinni. Hugsanlegt er að fjölgun mælitækja og betri mælitæki eigi

⁵ <http://neic.cr.usgs.gov/>

einhvern þátt í því. Þessi aukning er hins vegar ekki jöfn og eru nokkur ár sem skera sig úr vegna hárrar tíðni jarðskjálfta, til dæmis árið 2005.

Jarðskjálftatíðnin er há árið 1989 og 1990. Árið 1999 gekk mikil jarðskjálfta-hrina yfir á Reykjaneskaga og náðust þá umfangsmestu hröðunargögn sem fengist höfðu með Íslenska hröðunarmælanetinu fram að því. Mikil aukning á jarðskjálftavirkni verður næst árið 1996. Tengist það að verulegu leyti umbrotum í Vatnajökli. Íslenska hröðunarmælanetið nemur að jafnaði ekki þá jarðskjálfta sökum mikillar fjarlægðar, en skráir hins vegar jarðskjálfta með upptök á Reykjanesi svo og undan ströndum Norðurlands. Næsti hápunktur í jarðskjálftavirkni er árið 1999. Mikil jarðskjálftavirkni var á Íslandi annars vegar árið 1998 og hins vegar árið 2000 þegar Suðurlandsskjálftar gengu yfir. Bæði þessi ár söfnuðust umtalsverð hröðunargögn, einkum árið 2000. Næst verður umtalsverð aukning á tíðni jarðskjálfta árið 2005. Það ár voru hins vegar ekki miklir jarðskjálftar á Íslandi eins og vikið verður að síðar.



Mynd 2.3 – Fjöldi jarðskjálfta á Íslandi og í nágrenni þess á tímabilinu 1985 til og með 2006 sem mælast 4.5 að stærð eða meira. Byggt á gögnum frá U.S. Geological Survey National Earthquake Information Center í Bandaríkjunum.⁷

⁶ <http://neic.cr.usgs.gov/>

⁷ <http://neic.cr.usgs.gov/>

3. ÍSLENSKA HRÖÐUNARMÆLANETIÐ

Staðsetning helstu stöðva Íslenska hröðunarmælanetsins eru sýndar á mynd 3.1. Skrá yfir stöðvarnar getur að líta í töflu 3.1. Netið byggir annars vegar á svonefndum *þrí-ása grunnstöðvum* (tri-axial ground response stations) og hins vegar á *fjölnemakerfum* (multi level response arrays). Sérhver stöð tengist tilteknu mannvirki, enda markmiðið að mæla áhrif jarðskjálfta á mannvirki. Alls er fjöldi mælistaða 34 með samtals 42 grunnstöðvum. Stöðvar hröðunarmælanetsins má flokka á eftirfarandi hátt:

- ✓ 22 stakar grunnstöðvar í byggingum (66 nemar)
- ✓ 3 fjölnemakerfi í jarðstíflum (30 nemar)
- ✓ 5 fjölnemakerfi í stöðvarhúsum (30 nemar)
- ✓ 2 fjölnemakerfi í byggingum (14 nemar)
- ✓ 2 fjölnemakerfi í brúm (17 nemar)

Heildarfjöldi nema er 187. Í öllum tilvikum eru notaðir hröðunarnemar með mælisvið sem eiga að tryggja að mælingar náist í stærstu jarðskjálftum.

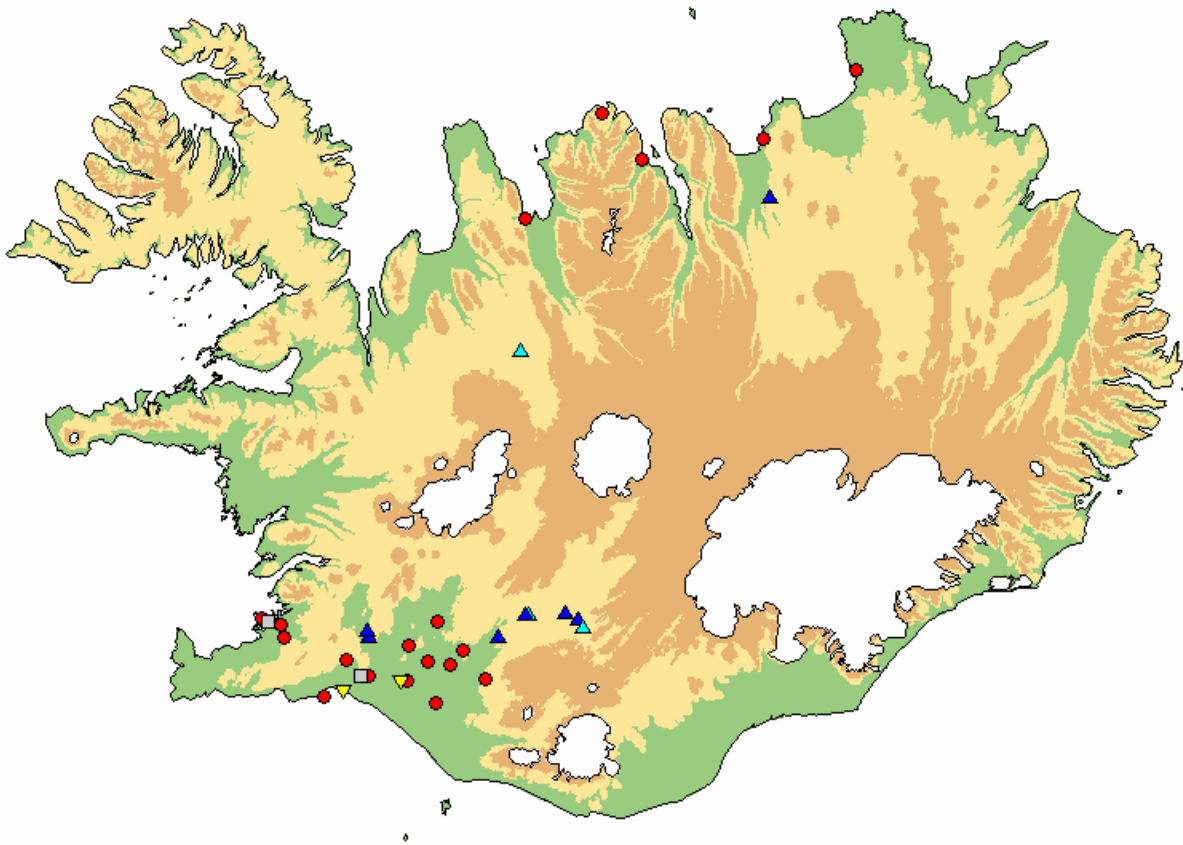
Grunnstöðvarnar eru í öllum tilvikum með þrjá hröðunarnema og er þeim komið fyrir þannig að einn nemi mælir hreyfingu í lóðrétta stefnu, en tveir nemar mæla hreyfingu í þverstæðar (hornréttar) láréttar stefnur, sem oftast eru látnar fylgja stefnu útveggja ef um rétthyrndar byggingar er að ræða. Þannig mynda nemar grunnstöðvar þrívítt rétthnitakerfi með einn ásinn lóðréttan og tvo lárétta. Talað er um nema af þessari gerð sem *þrí-ása nema* (tri-axial acceleration sensor).

Fjölnemakerfi í mannvirkjum er í flestum tilvikum byggt upp með þeim hætti að neðst í byggingunni er staðsett þrí-ása grunnstöð en í efstu hlutum hennar eru staðsettir hröðunarnemar sem ætlað er að nema þær hreyfingar sem jarðskjálftinn veldur í sjálfri byggingunni. Mismunur hreyfingarinnar efst og neðst í byggingunni, ásamt upplýsingum um hröðun á undirstöðu hennar, gerir mögulegt að ákvarða þá áraun sem jarðskjálfti veldur á burðarvirki hennar.

Netið í heild sinni er að mestu sjálfvirkt. Mælistöðvarnar eru tengdar miðlægrri tölvumiðstöð sem staðsett er í stjórnstöð Rannsóknarmiðstöðvarinnar. Tölvur skrá jafnóðum þá jarðskjálfta sem mælanetið nemur. Skráning hröðunar fer þó aðeins fram þegar sú hröðun sem nemarnir skynja fer yfir tiltekið þröskuldsgildi. Þetta gildi er alla jafna á bilinu 0,2% til 0,9% af g (þar sem g er fallhröðun í þyngdarsviði jarðar við

yfirborð hennar), en í flestum tilvikum um 0,4% g. Nýjustu mælitækin hringja sjálfvirkt inn í kjölfar jarðskjálfta sem þau nema og setja þá jafnframt af stað ferli úthringinga til mæla á viðeigandi svæði. Gögn frá eldri mælitækjum eru síðan sótt eins fljótt og auðið er. Í tölvumiðstöðinni fara gögnin í gegnum ákveðna úrvinnslu áður en þau eru skráð inn í miðlægan gagnagrunn til varanlegrar varðveislu. Þeir sem málið varðar geta síðan nálgast gögnin og skoðað á heimasíðu.

Nú er unnið að endurbótum á kerfinu og endurnýjun elstu mælitækjanna sem sum hver eru komin til ára sinna og löngu orðið tímabært að endurnýja.



Mynd 3.1 – Landfræðilega dreifing stöðva í Íslenska hröðunarmælanetinu. Eftirfarandi tákni eru notuð: rauður hringur - grunnstöð, blár þríhyrningur - stöðvarhús, ljósblár þríhyrningur - jarðstífla, gulur þríhyrningur - brú og grár ferhyrningur - bygging. Þrí- og ferhyrningar tákna fjölnemakerfi.

Tafla 3.1 – Yfirlit yfir Íslenska hröðunarmælanetið. Taldar eru upp grunnstöðvar og fjölnemarkerfi í mannvirkjum.

Nr	Nafn	°V	°N	Mælitæki	Mannvirki
100	Reykjavík	21.96	64.14	Kinematics SMA-1 ¹⁾	Skrifstofubygging, 3 hæðir
101	Selfoss	21.00	63.94	Terra DCA-333	Sjúkrahús, 3 hæðir
102	Hveragerði	21.19	64.00	Geotech A-700	Kirkja
103	Kaldárholt	20.47	64.00	Terra DCA-333	Íbúðarhús, 2 hæðir
104	Þorlákshöfn	21.38	63.85	Kinematics SMA-1 ¹⁾	Skólabygging, 1 hæð
105	Hella	20.39	63.84	Kinematics ETNA	Skólabygging, 2 hæðir
106	Flagbjarnarholt	20.26	63.99	Kinematics SSA-1	Íbúðarhús, 2 hæðir
107	Þjorsártún	20.65	63.93	Geotech A-700	Íbúðarhús, 2 hæðir
108	Minni-Núpur	20.16	64.05	Kinematics ETNA	Íbúðarhús, 2 hæðir
109	Sólheimar ¹⁾	20.64	64.07	Kinematics ETNA	Skólabygging, 2 hæðir
110	Hvítárþakki	20.39	64.16	Terra DCA-333	Íbúðarhús, 1 hæð
111	Selsund	19.95	63.94	Kinematics SMA-1 ¹⁾	Íbúðarhús, 1 hæð
112	Selfoss, Ráðhús	21.00	63.94	KMI K2 (kerfi) ⁴⁾	Skrifstofubygging, 3 hæðir
113	Hveragerði, Grund	21.19	64.00	Kinematics K2	Dvalarheimili, 2 hæðir
201	Dalvík	18.53	65.97	Kinematics SSA-1	Skrifstofubygging, 3 hæðir
202	Húsavík	17.36	66.05	Kinematics K2	Brunastöð, 3 hæðir
203	Sauðárkrókur	19.64	65.74	Kinematics SSA-1	Skólabygging, 2 hæðir
204	Síglufjörður	18.91	66.16	Kinematics SSA-1	Dvalarheimili, 3 hæðir
205	Kópasker	16.44	66.30	Kinematics SSA-1	Íbúðarhús, 1 hæð
301	Búrfellsvirkjun	19.84	64.10	HP/KMI (kerfi) ⁵⁾	Stöðvarhús (fjölnemarkerfi)
302	Hrauneyjafoss	19.24	64.20	KMI K2 (kerfi) ³⁾	Stöðvarhús (fjölnemarkerfi)
303	Sultartangastífla	19.57	64.19	HP/KMI (kerfi) ⁵⁾	Jarðstífla (fjölnemarkerfi)
304	Sigöldustífla	19.10	64.16	HP/KMI (kerfi) ³⁾	Jarðstífla (fjölnemarkerfi)
305	Írafossvirkjun	21.01	64.09	KMI SSA-1 (kerfi) ³⁾	Stöðvarhús (fjölnemarkerfi)
306	Ljósafossvirkjun	21.01	64.10	KMI K2 (kerfi) ⁴⁾	Stöðvarhús (fjölnemarkerfi)
307	Sigölduvirkjun	19.13	64.17	Kinematics K2	Stöðvarhús
308	Sultartangavirkjun	19.60	64.15	KMI K2 (kerfi) ⁵⁾	Stöðvarhús (fjölnemarkerfi)
310	Laxárvirkjun	17.31	65.82	Kinematics SSA-1	Stöðvarhús
311	Blöndustífla	19.67	65.23	KMI SSA-1 (kerfi) ³⁾	Jarðstífla (fjölnemarkerfi)
401	Reykjavík, Húsverslunarinnar	21.90	64.13	KMI SSA-1 (kerfi) ³⁾	Skrifstofubygging, 14 hæðir (fjölnemarkerfi)
402	Rvk., Foldaskóli	21.79	64.13	Kinematics SSA-1	Skólabygging, 2 hæðir
403	Rvk., Heiðmörk	21.76	64.07	Kinematics SSA-1	Dælustöð
501	Óseyrarbrú	21.21	63.88	KMI SSA-1 (kerfi) ³⁾	Steinsteypt spennt bitabrú ²⁾
502	Þjorsárbrú	20.65	63.93	KMI K2 (kerfi) ⁴⁾	Stálbogabrú ²⁾

¹⁾ Hliðrænt mælitæki

²⁾ Brú með jarðskjálftaeinangrun, fjölnemarkerfi

³⁾ Ein grunnstöð

⁴⁾ Tvær grunnstöðvar

⁵⁾ Þrjár grunnstöðvar

4. MÆLINGAR

4.1 Yfirlit

Ítarleg grein hefur verið gerð fyrir þeim mælingum sem gerðar hafa verið eftir að Íslenska hröðunarmælanetinu var komið á fót. Hér er sérstaklega bent á ritgerð Símonar Ólafssonar⁸ þar sem fjallað er um mælingar á tímabilinu 1985 til 1998. Enn fremur er að finna greinargott yfirlit um mælingarnar í ritinu *Jarðskjálftar: Yfirlit yfir hröðunarmælingar*.⁹ Þar er fjallað um mælingarnar allt til ársloka 2004.

Fyrsti jarðskjálftinn sem skráður var á meginþorra þeirra mæla sem þá mynduðu Íslenska hröðunarmælanetið átti upptök í Vatnafjöllum skammt suður af Heklu árið 1987. Gerð hefur verið ítarleg grein fyrir þessum jarðskjálfta svo og öðrum jarðskjálftum sem hafa mælst allt til ársins 1998.¹⁰ Árið 1998 voru tíðir jarðskjálftar með upptök á Hengilssvæðinu og áttu þeir stærstu upptök á Hellisheiði og í Ölfusi. Fjallað hefur verið ítarlega um þessa jarðskjálfta í tveimur skýrslum.¹¹

Í júní árið 2000 gengu miklir jarðskjálftar yfir Suðurland. Stærstu atburðirnir í þessari miklu hrinu voru skráðir 17. og 21. júní. Fjallað hefur verið ítarlega um Suðurlandskjálftana 2000¹² og tilheyrandi hröðunarmælingar í sérstökum rannsóknarskýrslum, ráðstefnuritum, tímaritsgreinum og fjölda fyrirlestra (sjá Ritaskrá).

Gögn frá grunnstöðvum eru aðgengileg á vefsíðunni <http://www.ISESD.hi.is>, hér með taldar tímaraðir,¹³ sem gera mögulegt að ákvarða afleiddar stærðir svo sem jarðskjálftasvörunarróf. ISESD-gagnabankinn er opinn öllum. Þar er einnig að finna heildstætt safn gagna frá öðrum Evrópulöndum og Austurlöndum nær, alls frá um 30 löndum.

⁸ Símon Ólafsson: *Estimation of Earthquake-Induced Response*, (dr.ing. thesis), Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 1999.

⁹ Ragnar Sigbjörnsson, Jónas Þór Snæbjörnsson, Símon Ólafsson, Óðinn Þórarinnsson: *Jarðskjálftar: Yfirlit yfir hröðunarmælingar*, Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði, Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, skýrsla nr. 04006, Selfoss, 2004.

¹⁰ Símon Ólafsson: *Estimation of Earthquake-Induced Response*, (dr.ing. thesis), Norwegian University of Science and Technology (NTNU), 1999.

¹¹ Ragnar Sigbjörnsson o.fl.: *Jarðskjálftar með upptök í Hellisheiði 28 ágúst 1997*. Skýrsla 97005, ISBN 9979-899-00-X, Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, Reykjavík.

Ragnar Sigbjörnsson o.fl.: *Jarðskjálftar með upptök í Hellisheiði 4. júní 1998*. Skýrsla 98001, ISBN 9979-899-12-3, Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, Reykjavík.

¹² Ragnar Sigbjörnsson o.fl.: *Jarðskjálftar á Suðurlandi 17. og 21. júní 2000*, Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði, Háskóli Íslands, skýrsla nr. 00001, 2000, ISBN 9979-899-85-9, (53 blaðsíður).

¹³ J. Douglas, What is a poor quality strong-motion record? Compilation of papers from the XXVIII General Assembly of ESC, Genova 2002.

ISESD vefurinn hefur verið heimsótt af mörgum og margir fræðimenn hafa nýtt sér þann möguleika að ná í gögn í gagnabankann. Gögnin eru:

- ✓ frumgögn, þ.e.a.s. mældar hröðunarraðir (án leiðréttingar)
- ✓ „leiðrétt“ hröðunargögn ásamt afleiddum tímaröðum
- ✓ jarðskjálftasvörunarróf
- ✓ upplýsingar um stærð jarðskjálftanna, upptakafjarlægðir, mælitæki o.s.frv.

Á vefsíðunni er einnig boðið upp á forrit til að lesa og teikna tímaraðir og róf.¹⁴

Úrval framangreindra gagna hefur einnig verið gefið út á geisladiski.¹⁵ Gagnagrunnurinn sem fylgir geisladisknum tekur sérstaklega mið af þörfum verkfræðinga svo og Evrópustaðli um jarðskjálfta (EUROCODE 8). Við gerð geisladisksins var höfð hliðsjón af viðhorfskönnun sem gerð var meðal verkfræðinga í Evrópu um þarfir og óskir þeirra um aðgang og frágang jarðskjálftagagna. Á geisladisknum er að finna sömu grunnupplýsingar og í ISESD-gagnagrunninum, en einnig ýmsar hagnýtar viðbótaupplýsingar. Í því sambandi má nefna *ólínuleg jarðskjálftasvörunarróf* (inelastic earthquake response spectra), bæði róf fyrir *fastan styrk* (constant strength) og *fasta seiglu* (constant ductility), enn fremur hröðunarróf sem fall af færslu, en slík framsetning er nauðsynleg fyrir *ástandstengda hönnun* (performance based design) sem nú ryður sér ört til rúms. Þá má geta þess að ýmsir möguleikar eru gefnir varðandi leit í gagnagrunninum. Til dæmis leit að rófi sem fellur að tilteknu hönnunarrófi Evrópustaðals. Þetta gerir kleift að finna tímaröð sem samræmist Evrópustaðli. Hægt er að nota slíka tímaröð í ólínulegri tímaraðagreiningu í samræmi við ákvæði Evrópustaðalsins. Gerð ISESD-gagnagrunnsins hefur verið styrkt af fjölmörgum aðilum á alþjóðavettvangi, þar á meðal af Evrópusambandinu.

4.2 Árið 2005

Lítil jarðskjálftavirkni var á Íslandi árið 2005 og mældist aðeins tveir litlir jarðskjálftar, þ.e. jarðskjálfti á stærðarbilinu 4 til 4,9. Í þessu sambandi er rétt að hafa í huga algenga stærðarflokkun jarðskjálfta, sem m.a. er notuð af Amerísku jarðfræðistofnuninni (sjá

¹⁴ Ambraseys et al. (2004). Internet site for European strong-motion data. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 45(3), 113-129.

¹⁵ Ambraseys et al. (2004). Dissemination of european strong-motion data, volume 2. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Mira, Vancouver.

töflu 4.1). Aðrir jarðskjálftar sem mældust teljast óverulegir og verður ekki fjallað um þá hér í smáatriðum enda algengast að þeir mælist aðeins á einni grunnstöð og mjög sjaldgæft að þeir hafi áhrif á mannvirki.

Tafla 4.1 - Stærðarflokkun jarðskjálfta sem notuð er af Amerísku jarðfræðistofnuninni.¹⁶

<i>Stærðarbil</i> (magnitude range)	<i>Flokkun</i> (classification)
0 – 3	Míkró (<i>Micro</i>)
3 – 3,9	Óverulegur (<i>Minor</i>)
4 – 4,9	Lítill (<i>Light</i>)
5 – 5,9	Miðlungs (<i>Moderate</i>)
6 – 6,9	Sterkur (<i>Strong</i>)
7 – 7,9	Mikill (<i>Major</i>)
8 <	Stór (<i>Great</i>)

Jarðskjálftar austur af Grímsey

Miðvikudaginn 5. janúar kl. 15:50 varð jarðskjálfti sem átti upptök ASA af Grímsey. Fólk í Grímsey varð greinilega vart við jarðskjálftann og sumir urðu skelkaðir. Mikil umfjöllun fjölmiðla í kjölfar hamfaranna í Asíu á annan í jólum jók á óhug fólks. Jarðskjálftans varð einnig vart víða á Norðurlandi. Hann kom fram í hröðunarmælaneti Rannsóknarmiðstöðvarinnar á mælistöðvum á Kópaskeri, Húsavík og Dalvík. Helstu niðurstöður eru dregnar saman í töflu 4.2.

Um kvöldið þennan sama dag kl. 23:22 varð eftirskjálfti á svipuðum slóðum. Hröðun úr þessum jarðskjálfta skráðist á mælistöðvum á Kópaskeri og Húsavík. Í töflu 4.3 má sjá helstu niðurstöður þeirra mælinga og á <http://www.afl.hi.is> getur einnig að líta mældar tímaraðir.

Tafla 4.2 – Útgildi mældrar yfirborðshröðunar í jarðskjálfta með upptök við Grímsey. Upptakatími jarðskjálftans er 5. janúar 2005, kl. 15:50.

<i>Mælistaður</i>	<i>Komutími S-bylgna</i> (h:m:s)	<i>Upptaka-fjarlægð</i> (km)	<i>Stefna til upptaka</i> (°)	<i>Hámarksyfirborðshröðun</i> (%g)		
				<i>L-ás</i> (N-S)	<i>T-ás</i> (A-V)	<i>V-ás</i> (lóðrétt)
Kópasker	-	54	294	0,52	0,88	0,21
Húsavík	15:49:42	50	350	0,42	0,27	0,40
Dalvík	-	73	37	0,69	0,45	0,27

¹⁶ <http://www.usgs.gov>, 2006.

Tafla 4.3 – Útgildi mældrar yfirborðshröðunar í jarðskjálfta með upptök við Grímsey. Upptakatími jarðskjálftans er 5. janúar 2005, kl. 23:21.

Mælistaður	Komutími S-bylgna (h:m:s)	Upptaka- ffjarlægð (km)	Stefna til upptaka (°)	Hámarksyfirborðshröðun (%g)		
				L-ás (N-S)	T-ás (A-V)	V-ás (lóðrétt)
Kópasker	23:21:50	54	296	0,18	0,28	0,09
Húsavík	23:21:52	52	351	0,05	0,06	0,09

Jarðskjálfti norðaustur af Siglufirði

Mánudagsmorgun 10. október varð jarðskjálfti, um 4 að stærð, 11 km norðaustur af Siglufirði klukkan 8:13 um morguninn. Jarðskjálftinn fannst vel inni á landi og mældist á þremur stöðvum og eru niðurstöðurnar sýndar í töflu 4.4.

Tafla 4.4 – Útgildi mældrar yfirborðshröðunar í jarðskjálfta með upptök nálægt Dalvík. Upptakatími jarðskjálftans er 10.október 2005, kl. 8:12.

Mælistaður	Komutími S-bylgna (h:m:s)	Upptaka- ffjarlægð (km)	Stefna til upptaka (°)	Hámarksyfirborðshröðun (%g)		
				L-ás (N-S)	T-ás (A-V)	V-ás (lóðrétt)
Siglufjörður	-	9	32	3,8	3,2	1,6
Dalvík	-	31	337	0,53	0,34	0,29
Húsavík	8:13:04	67	288	0,03	0,04	0,04

4.3 Árið 2006

Lítill jarðskjálftavirkni var á Íslandi árið 2006 og mældust einungis tveir jarðskjálftar á stærðarbilinu 4 til 4½ samkvæmt upplýsingum Veðurstofu Íslands.¹⁷ Með öðrum orðum enginn jarðskjálfti á Íslandi árið 2006 telst stærri en lítill samkvæmt þeirri flokkun sem sett er fram í töflu 4.1.

¹⁷ <http://vedur.is>, 2006.

Jarðskjálfti við Krísuvík

Um klukkan 14:32, 6. mars, varð jarðskjálfti við Krísuvík sem fannst vel á höfuðborgarsvæðinu. Stærð jarðskjálftans var um 4½. Jarðskjálftinn mældist í Heiðmörk og Húsi verslunarinnar en auk þess á fjórum mælistöðvum fyrir austan fjall. Niðurstöður mælinga á yfirborðshröðun eru sýndar í töflu 4.5. Jarðskjálftinn mældist ekki í VRÍI og Foldaskóla sem gefur til kynna að hröðunin hafi verið minni en 0,5 %g og 0,3 %g í lárétta stefna á þessum tveimur stöðum

Tafla 4.5 – Útgildi mældrar yfirborðshröðunar í jarðskjálfta með upptök nálægt Krísuvík. Upptakatími jarðskjálftans er 6. mars 2006, kl. 14:31.

Mælistaður	Komutími S-bylgna (h:m)	Upptaka- fjarlægð (km)	Stefna til upptaka (°)	Hámarksyfirborðshröðun (%g)		
				L-ás (N-S)	T-ás (A-V)	V-ás (lóðrétt)
Heiðmörk	-	18	205	0,38	0,39	0,18
Hús verslunar	14:32:01	23	182	0,35	0,65	0,17
Hveragerði (Ás)	14:32:07	37	256	0,18	0,11	0,11
Selfoss (ráðhús)	14:32:07	45	268	0,11	0,11	0,17
Þjórarárbrú	14:32:12	62	270	0,22	0,13	0,06
Hella	-	45	277	0,16	0,14	0,05

Jarðskjálfti austan við Flatey á Skjálfanda

Laust fyrir klukkan 14, 1. nóvember varð jarðskjálfti 10 til 15 kílómetra austur af Flatey á Skjálfanda. Jarðskjálftinn flokkast sem lítill og var af stærðinni 4 til 4½. Hans varð víða vart á Norðurlandi. Á Húsavík fann fólk greinilega fyrir jarðskjálftanum en þar titruðu húsgögn og hnikuðust til. Yfirborðshröðun mældist á mælakerfi Rannsóknarmiðstöðvarinnar á Húsavík og Dalvík (sjá töflu 4.5).

Tafla 4.6 – Útgildi mældrar yfirborðshröðunar í jarðskjálfta með upptök nálægt Dalvík. Upptakatími jarðskjálftans er 1. nóvember 2006, kl. 13:55.

Mælistaður	Komutími S-bylgna (h:m)	Upptaka- fjarlægð (km)	Stefna til upptaka (°)	Hámarksyfirborðshröðun (%g)		
				L-ás (N-S)	T-ás (A-V)	V-ás (lóðrétt)
Húsavík	13:55:31	16	294	1,93	3,10	1,99
Dalvík	-	41	67	1,28	0,63	0,63

Yfirlit mælinga fyrir árin 2005 og 2006

Í töflu 4.7 eru teknar saman allar helstu mælingar á yfirborðshröðun á árunum 2005 og 2006 og birtar eru í töflum 4.2 til 4.6 hér að framan. Alls er um að ræða 5 jarðskjálfta af stærðinni 4 til 4½. Þess má geta að komutími S-bylgna er aðeins sýndur fyrir þá mæla sem hafa GPS-klukku. Í sviga fyrir aftan nafn stöðvar er skammstöfun sem notuð er til að einkenna tímaraðir sem eru skráðar í kerfinu. Einkennisnúmer stöðvar má hinsvegar finna í töflu 3.1. Stærðin D í töflu 4.7 er fjarlægð frá mælistöð að skjálftamiðju.

Ekki eru teknar með mælingar á jarðskjálftum sem einungis settu í gang mælingu á einni stöð. Nokkrar mælingar eru til fyrir árin 2005 og 2006 fyrir minni jarðskjálfta sem skráðust einungis á einni mælistöð. Einnig er nokkuð af mælingum til á svörun, t.d. eru til mælingar á svörun fyrir jarðskjálftana í töflu 4.7 sem mælst hafa í Húsi verslunarinnar í Ráðhúsi Selfoss og Þjósárbrú, auk annarra fyrir smærri jarðskjálfta.

Tafla 4.7 – Helstu jarðskjálftar sem mælst hafa í Íslenska hröðunarmælanetinu árin 2005 og 2006.

Dagsetning	Komutími S-bylgna (GMT)	Stöð	D (km)	Stefna	PGA (%g)		
					L	T	V
05-Jan-2005	15:49:42	Húsavík (HU)	50	350	0,42	0,27	0,40
	-	Kópasker (KS)	54	294	0,52	0,88	0,21
	-	Dalvík (DV)	73	37	0,69	0,45	0,27
	-	Hella (HE)	45	277	0,16	0,14	0,05
05-Jan-2005	23:21:52	Húsavík (HU)	52	351	0,05	0,06	0,09
	23:21:50	Kópasker (KS)	54	296	0,18	0,28	0,09
10-Okt-2005	-	Siglufljörður (SI)	9	32	3,8	3,2	1,6
	-	Dalvík (DV)	31	337	0,53	0,34	0,29
	08:13:04	Húsavík (HU)	67	288	0,03	0,04	0,04
06-Mar-2006	-	Heiðmörk (JA)	18	205	0,38	0,39	0,18
	-	Hús verslunar (HS)	23	182	0,35	0,65	0,17
	14:32:07	Hveragerði (HD)	367	256	0,18	0,11	0,11
	14:32:07	Selfoss ráðhús (SR)	45	268	0,11	0,11	0,17
	14:32:12	Þjósárbrú (TB)	62	270	0,22	0,13	0,06
	-	Hella (HE)	75	277	0,16	0,14	0,05
01-Nov-2006	13:55:31	Húsavík (HU)	16	294	1,93	3,10	1,99
	-	Dalvík (DV)	41	67	1,28	0,63	0,63

5. UMRÆÐA OG LOKAORÐ

Ýmsir hafa sett fram efasemdir um nauðsyn þess að halda rekstri hröðunarmælanetsins áfram eftir að Suðurlandsskjálftarnir riðu yfir í júní árið 2000. Í ritinu *Jarðskjálftar: Yfirlit yfir hröðunarmælingar*¹⁸ eru færð rök fyrir nauðsyn þess að þeim verði haldið áfram og þær auknar fremur en hitt. Þar kemur enn fremur fram að búast megi við því að þýðingarmikil hröðunargögn safnist að jafnaði á hverjum áratug. Þá er bent á að jafnvel fremur litlir skjálftar geta gefið margvíslegar gagnlegar upplýsingar, sérstaklega hvað varðar eiginleika og hegðun einstakra mannvirkja. Fjölnerkerfi mælanetsins hafa gefið mjög athyglisverðar niðurstöður af þessu tagi.¹⁹ Samfelldar langtímamælingar á mannvirkjum er nýtt svið sem á sér stutta sögu, af skiljanlegum ástæðum, sem líklegt er gefi nýja sýn á efnis- og eðliseiginleika mannvirkja. Langtímamælingar af þessu tagi hafa á ensku verið nefndar “health monitoring”. Mikilvægi hröðunarmælinga er því ótvírætt að mati flestra og má reikna með að mikilvægi slíkra mælinga aukist jafnt og þétt.

Lagt hefur verið nákvæmt tölulegt mat á væntanlegt gagnamagn á komandi árum ef gert er ráð fyrir því að hröðunarmælanetið verði rekið áfram í núverandi mynd.²⁰ Nálgunin byggði á þeirri meginforsendu að jarðskjálftavirkni haldist óbreytt að meðaltali næstu áratugina. Niðurstaðan var sú að um 15 hágæðatímaraðir fengjust á ári að jafnaði. Þetta virðist í rýmilegu samræmi við þá reynslu sem fengist hefur á þeim 20 árum sem Íslenska hröðunarmælanetið hefur verið rekið. Þess ber einnig að geta að settar hafa verið fram hugmyndir um æskilegan fjölda mælistöðva og dreifingu þeirra grundvallaðar á áhættugreiningu. Ef tekið er mið að slíkum rannsóknum²¹ og reynt að færa niðurstöðurnar yfir á íslenskar aðstæður mun láta nærri að það ættu að vera um 10 fjölnerkerfi í hefðbundnum byggingum á Íslandi en ekki 2 eins og nú er í raun, þar sem stöðvarhús og vatnsorkuver flokkast ekki undir hefðbundnar byggingar. Full ástæða er því til þess að reka hröðunarmælanet áfram og fremur efla það en draga úr því.

¹⁸ Ragnar Sigbjörnsson, Jónas Þór Snæbjörnsson, Símon Ólafsson, Óðinn Þórarinnsson: *Jarðskjálftar: Yfirlit yfir hröðunarmælingar*, Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði, Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, skýrsla nr. 04006, Selfoss, 2004.

¹⁹ Jónas Þór Snæbjörnsson et. al. (2004) Analysis and modelling recorded earthquake induced structural response. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Mira, Vancouver.

²⁰ Ambraseys et al. (2004). Internet site for European strong-motion data. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 45(3), 113-129.

²¹ J. Aho et al. (2001) National and regional priorities for allocation of strong-motion instruments in structures. *Workshop on strong-motion instrumentation in buildings*. Emeryville, CA.

RITASKRÁ

- Ambraseys, N. N., Douglas, J., Sigbjörnsson, R., Berge-Thierry, C., Suhadolc, P., Costa, G., et al. (2004). Dissemination of European strong-motion data, volume 2. In *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 13). Vancouver: Mira.
- Ambraseys, N. N., Sigbjörnsson, R. (2000): *Re-appraisal of the seismicity of Iceland*, Polytechnica, Earthquake Engineering Research Centre, Selfoss, 06e 2000, ISBN 9797-989-91-4X (196 pages).
- Ambraseys, N. N., Sigbjörnsson, R. (2003): *On the seismicity of northwestern Europe*, Imperial College London, research report number: 03-0011-SM, 116 pages.
- Ambraseys, N. N., Smit, P. M., Douglas, J., Margaris, B., Sigbjörnsson, R., Ólafsson, S., et al. (2004). Internet site for European strong-motion data. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, **45**(3), 113-129.
- Ambraseys, N. N., Smit, P., Sigbjörnsson, R., Suhadolc, P., Margaris, B. (2002). *Internet-Site for European Strong-Motion Data*. (<http://www.isesd.hi.is>), European Commission, Research-Directorate General, Environment and Climate Programme. 10 pages.
- Ambraseys, N., Douglas, J., Sigbjörnsson, R., Berge-Thierry, C., Suhadolc, P., Costa, G., et al. (2004). *European Strong-Motion Database* (Vol. 2). London: Imperial College.
- Björg Pétursdóttir (2003): The local geology of strong-motion stations in Iceland. *Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði, skýrsla nr. 03004, Selfoss, 27 bls.*
- Júlíus Sólnes, Ragnar Sigbjörnsson og Jónas Eliasson (2003): Áhrif jarðskjálfta á Reykjavíkursvæðinu. ...upp í vindinn. *Blað umhverfis- og byggingarverkfræðinema*. 22. árgangur. 3 bls.
- Ólafsson, S., & Sigbjörnsson, R. (2004). Attenuation of strong ground motion in shallow earthquakes. In *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 10). Vancouver: Mira.
- Ólafsson, S., Remseth, S., Sigbjörnsson, R. (2001): Stochastic models for simulation of strong ground motion in Iceland, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 30, 27 pages.
- Pétursdóttir, B., Sigbjörnsson, R. (2002). Earthquake induced damage of roads. In: *Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, UK. Paper no. 381. Oxford: Elsevier Science, 10 pages.
- Ragnar Sigbjörnsson, Jónas Þór Snæbjörnsson, Simon Ólafsson, Bjarni Bessason, Gunnar I Baldvinsson, Óðinn Þórarinnsson (2000): *Jarðskjálftar á Suðurlandi 17. og 21. júní 2000*, Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði, Háskóli Íslands, skýrsla nr. 00001, ISBN 9979-899-85-9, (53 blaðsíður).
- Ragnar Sigbjörnsson. (2001). Suðurlandsjarðskjálftar 2000. ... upp í vindinn. *Blað umhverfis- og byggingarverkfræðinema*. 20. árgangur.
- Sigbjörnsson R. (2002). Strong-motion study of the South Iceland Earthquake 2000. In: *Proceeding of the 12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, UK. Paper 410. Oxford: Elsevier Science, 10 pages.
- Sigbjörnsson, R. (2001). South Iceland Earthquakes 2000: Damage and strong-motion recordings. *The Bulletin of the European Association for Earthquake Engineering*. Vol. 20, No. 1/2: 41-46.
- Sigbjörnsson, R., & Ólafsson, S. (2004). On the South Iceland earthquakes in 06e 2000: Strong-motion effects and damage. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, **45**(3), 131-152.
- Sigbjörnsson, R., Ambraseys, N. N. (2003): Uncertainty analysis of strong ground motion. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **1**(3).
- Sigbjörnsson, R., Ólafsson, S., & Thórarinnsson, Ó. (2004). Strong-motion recordings in Iceland. In *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 11). Vancouver: Mira.
- Snæbjörnsson, J. Th., Carr, J. A., & Sigbjörnsson, R. (2004). Analysis and modelling recorded earthquake induced structural response. In *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 15). Vancouver: Mira.

- Snæbjörnsson, J. Th., Sigbjörnsson, R., & Ólafsson, S. (2004). Modelling of earthquake response spectra for strike-slip earthquakes in the near- and far-field. In *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 10). Vancouver: Mira.
- Sólnes, J., Sigbjörnsson, R., & Eliasson, J. (2004). Probabilistic seismic hazard mapping of Iceland: Proposed seismic zoning and de-aggregation mapping for EUROCODE 8. In *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 14). Vancouver: Mira.
- Sólnes, J., Sigbjörnsson, R., Eliasson, J. (2002) Mapping of earthquake induced risk in Iceland. In: *Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, UK. Paper no. 215. Oxford: Elsevier Science, 10 pages.