

Páll Halldórsson
Björn Ingi Sveinsson

Dvínun hröðunar á Íslandi

Inngangur

Það sem hér er greint frá er liður í vinnu þeirri og rannsóknum sem tengjast innleiðingu og gildistöku Evrópustaðla um hönnun mannvirkja á Íslandi. Verkefni þetta beinist að því að finna dvínun hröðunar frá íslenskum jarðskjálftum og tengist gerð nýs álagskorts sem nú er í vinnslu.

Í vinnu þessari er að miklu leyti byggt á mælingum frá Aflifræðistofu Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands, en gögn og söguleg þekking Veðurstofunnar á íslenskum jarðskjálftum leggja þó mikilvægan grunn að vinnunni. Stærð beggja jarðskjálftanna á Suðurlandi sumarið 2000 var ákvörðuð sem $M = 6,6$.

Skoðuð voru tvö líkön og er niðurstaðan eftirfarandi:

Líkan 1:

$$\log_{10}A = 0,4805M - \log_{10}R - 0,0049R - 2,6860 + 0,3415n$$

Líkan 2:

$$\log_{10}A = 0,4840M - 1,4989\log_{10}R - 2,1640 + 0,3091n$$

Í ofangreindum jöfnum er A mesta lárétta hröðun, sem hlutfall af þyngdarhröðun í fjarlægðinni R (í km) frá upptökum skjálfta af stærðinni M. Talan n (0, 1, 2) segir til um hversu mörgum staðalfrávikum á að bæta við til að ná ásættanlegu öryggi. Þegar talað er um hröðun hér á eftir er ætíð átt við lárétta hröðun og þann þátt hennar sem stærri er á sérhverri mælistöð.

Eldra samband sem notað var í tengslum við eldra álagskort, og gefið var út í skýrslu Rannsóknarstofnunar byggingariðnaðarins (Rb 95-16), byggðist á dvínun áhrifa sem síðan var breytt í hröðun. Í athugun þeirri sem hér er greint frá er gerður samanburður á þessari eldri dvínunarformúlu og þeirri nýju og leitast við að skýra muninn. Ljóst er af athuguninni að dvínun hröðunar er mun meiri en dvínun áhrifa. Það liggur bæði í eðli áhrifa og hröðunar en einnig í mismunandi aðferðum við að meta þessar stærðir.

Hröðunargögn

Notuð eru hröðunargögn frá Afllfræðistofu Verkfræðistofnunar Háskóla Íslands, sem afhent voru höfundum á stafrænu formi.¹ Úrvinnsla á hröðunargögnunum var gerð á Verkfræðistofunni Hönnun þar sem gögnin, þ.e. tímaraðirnar, voru nákvæmlega greindar. Í eftirfarandi töflu eru taldir þeir skjálftar sem hröðunargögn liggja fyrir um, staðsetning þeirra og á hvað mörgum hröðunarmælum þeir mældust.

Nr.	Ár	Mán.	Dagur	Kl.	Breidd °N	Lengd °V	Fjöldi mælinga
1	1986	08	26	04:00	63.96	-20.34	2
2	1987	05	25	11:32	63.89	-19.77	7
3	1988	09	09	14:40	66.66	-17.91	1
4	1991	01	30	07:44	64.38	-20.75	4
5	1991	04	23	10:27	63.00	-20.40	3
6	1992	12	27	12:23	64.016	-21.179	8
7	1993	08	28	19:59	65.971	-17.941	3
8	1994	02	08	03:28	66.451	-19.249	5
9	1994	08	16	16:42	64.063	-21.204	1
10	1994	08	19	19:19	64.034	-21.249	2
11	1994	08	20	16:40	64.035	-21.241	1
12	1996	01	17	18:02	66.014	-18.125	2
13	1996	10	14	20:60	64.052	-21.049	3
14	1997	07	22	16:22	66.287	-18.394	2
15	1997	08	24	03:04	64.035	-21.269	4
16	1998	06	04	21:37	64.036	-21.289	13
17	1998	11	13	10:39	63.954	-21.346	12
18	1998	11	13	11:50	63.943	-21.405	6
19	1998	11	14	14:24	63.958	-21.237	9
20	1999	09	27	16:01	63.975	-20.790	14
21	2000	06	17	15:41	63.973	-20.367	25
22	2000	06	21	00:52	63.972	-20.711	24

Tafla 1. Skjálftar sem hröðunargögn eru til um.

Mat á stærð jarðskjálfta

Við þessa athugun er nauðsynlegt að nota samræmda stærð M sem er sambærileg fyrir mælingar frá mismunandi tímum og einnig við mat á stærðum sögulegra skjálfta. Stærðarskilgreiningar hafa verið nokkuð á reiki hérlendis og var því nauðsynlegt að gera á þeim sérstaka skoðun. Ákveðið var að leggja stærðir frá ISC til grundvallar en tengja þær íslenskum stærðum MI þegar stærðir

¹ Ragnar Sigbjörnsson o.fl. (2000). Jarðskjálftar á Suðurlandi 17. og 21. júní.

frá ISC vantar. Sambandið milli MI í SIL-kerfinu annars vegar og rúmbylgjustærðar, mb , og yfirborðsbylgjustærðar, Ms , samkvæmt ISC hins vegar reyndist vera (reiknaðar stærðir merktar með *):

$$mb_{ISC}^* = 0,78MI_{SIL} + 1,22 \pm 0,35$$

$$Ms_{ISC}^* = 0,84MI_{SIL} + 0,76 \pm 0,50$$

Stærðin M var síðan ákveðin þannig:

- 1) Ef bæði mb_{ISC} og Ms_{ISC} eru þekkt: $M = \max(mb_{ISC}, Ms_{ISC})$
 2) Ef aðeins MI_{SIL} er þekkt: $M = \max(mb_{ISC}^*, Ms_{ISC}^*)$

Í samræmi við þetta voru stærðir ákvarðaðar fyrir þá skjálfta sem notaðir eru í þessari athugun, en ákveðið var að nota aðeins gögn frá skjálftum sem mælst höfðu á fjórum eða fleiri hröðunarmælum. Þessir skjálftar eru taldir upp í töflu 2.

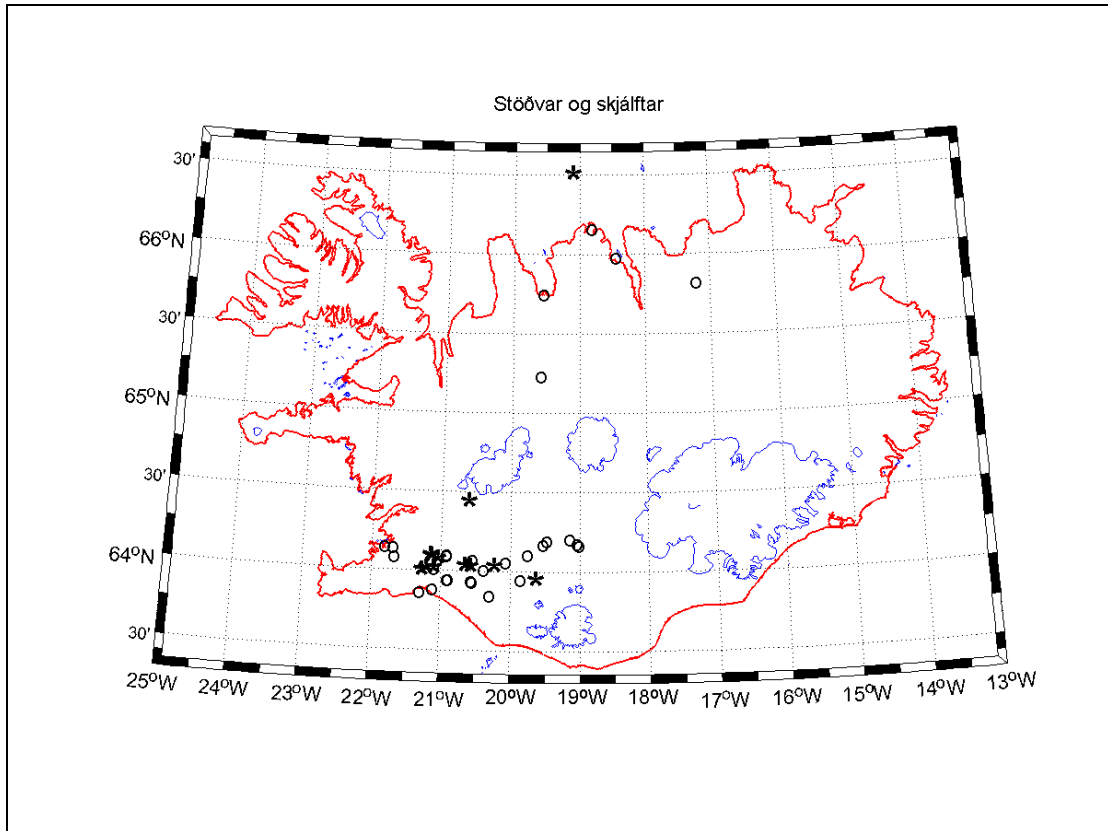
Nr.	Fjöldi hröðunarmælinga	M	Svæði
2	7	5,9	Vatnafjöll
4	4	5,1	Suðurland – Flói
6	8	4,3	Hengilssvæði
8	5	5,4	Mynni Skagafjarðar
15	4	4,7	Hengilssvæði
16	13	5,2	Hengilssvæði
17	12	4,7	Ölfus
18	6	4,7	Ölfus
19	9	4,7	Ölfus
20	14	4,1	Flói
21	25	6,6	Suðurland – Holt
22	24	6,6	Suðurland – Hestfjall

Tafla 2. Skjálftar sem notaðir voru í athuginni.

Hér er samtals um að ræða 131 mælingu úr 12 skjálftum, en rétt er að ítreka það hér að við úrvinnsluna var einungis notað mæligildi hæstu hröðunar úr tveimur láréttum þáttum hröðunarinnar.

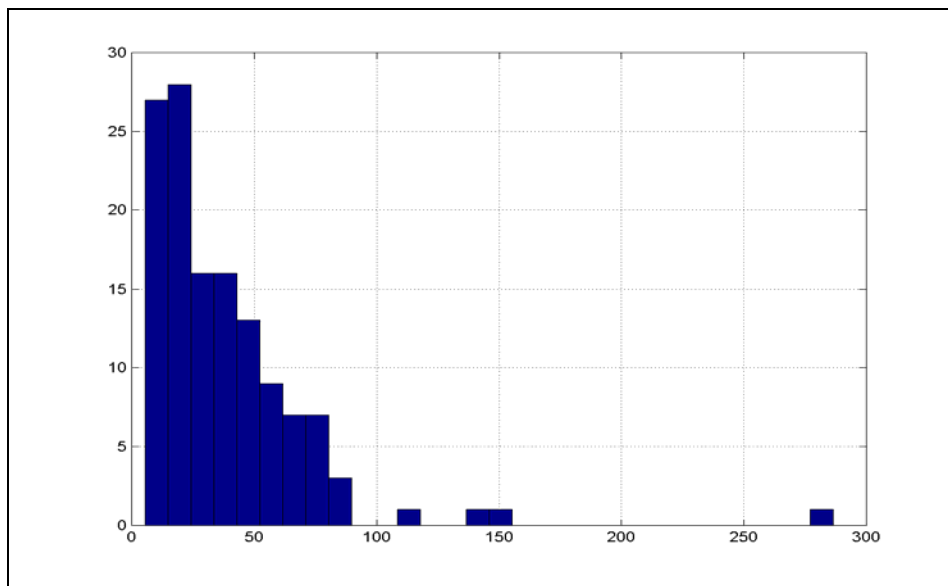
Dreifing gagnanna

Upptök skjálftanna sem eru notaðir eru með einni undantekningu bundin við Suðurland. Á mynd 1 eru sýnd upptök skjálftanna ásamt þeim mælistöðvum sem koma við sögu. Skjálftar eru merktir með stjörnu (*) en stöðvar með hring (o). Af kortinu má sjá að skjálftarnir eru að mestu bundnir við Suðurland og sama á við um langflestar stöðvanna.

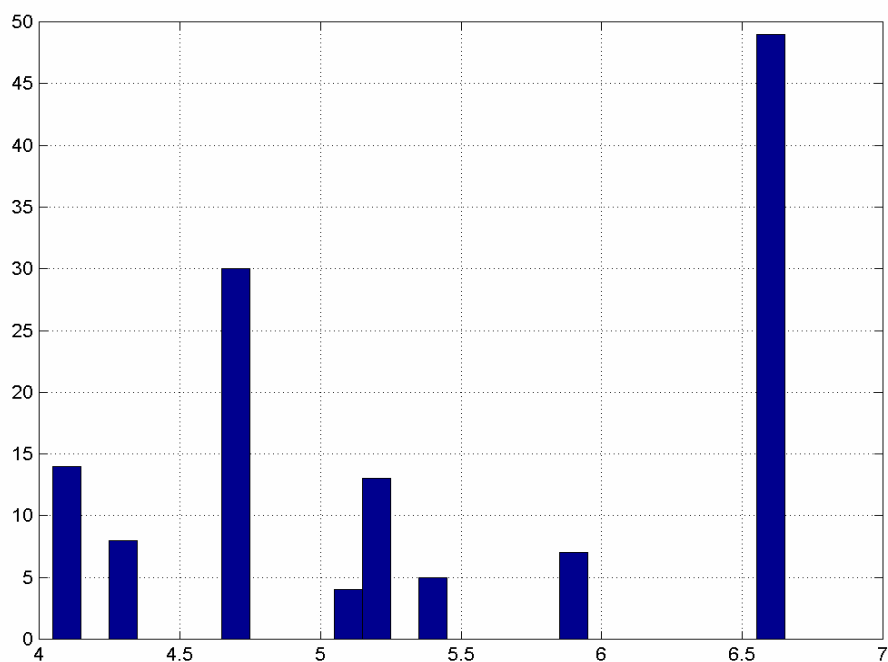


Mynd 1. Stöðvar (o) og skjálftar (*) sem athuginin byggist á.

Við skoðun á mynd 1 kemur það ekki á óvart að yfirleitt eru vegalengdirnar sem skoðaðar eru ekki langar. Þetta sést vel á mynd 2 þar sem fjarlægð samanborið við fjölda mælinga er sýnd á stöplariti. Á mynd 3 er svo sýndur fjöldi mælinga miðað við stærð jarðskjálfta.



Mynd 2. Fjöldi mælinga samanborið við fjarlægð.



Mynd 3. Fjöldi mælinga fyrir mismunandi stærðir.

Samband hröðunar, stærðar og fjarlægðar

Ýmis líkön hafa verið þróuð til að túlka samband hröðunar (A), fjarlægðar (R) og stærðar (M) jarðskjálfta. Tvö þekkt líkön eru:

- 1) $\log A = aM - \log R - bR + c$
- 2) $\log A = aM - b \log R + c$

Hér eftir verða þessi líkön kölluð 1 og 2. Gæta verður þess að ekki dugir að leysa 1 og 2 með einfaldri aðhvarfsgreiningu (regression) og er ástæða þess sú að það er línulegt samband milli fastanna a og b. Þess í stað er mögulegt að nota tveggja þrepa aðhvarfsgreiningu eins og lýst er af Fukushima og Tanaka (1990).¹

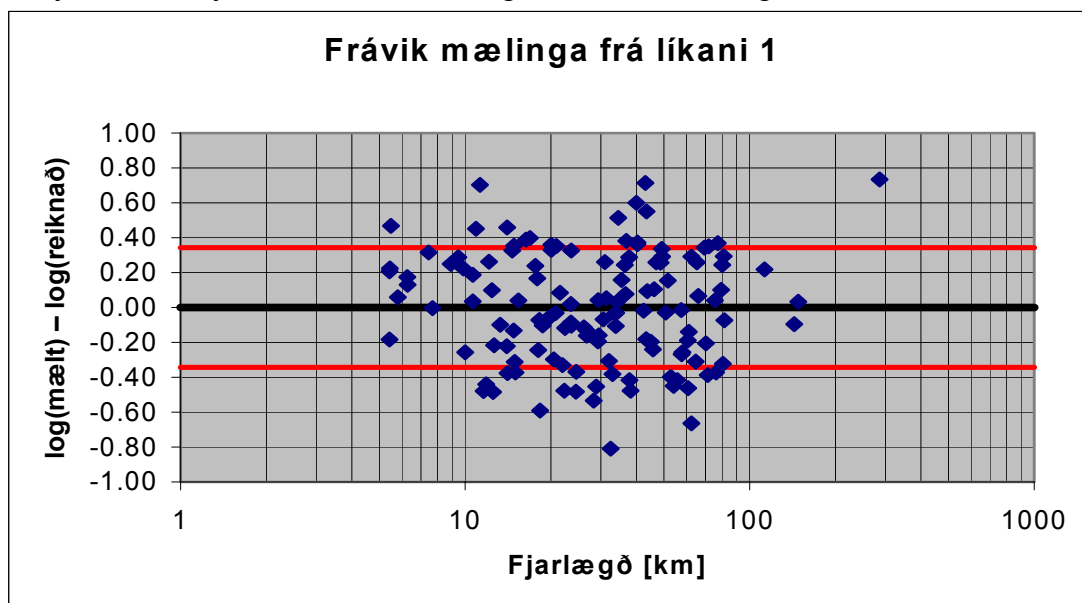
Líkan 1

Niðurstaða tveggja þrepa aðhvarfsgreiningar fyrir líkan 1 er:

$$\log_{10} A = 0,4805M - \log_{10} R - 0,0049R - 2,6860 + 0,3415n$$

¹ Fukushima, Y. og T. Tanaka (1990). A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. Bull. Seism. Soc. Am. 80, 757-783.

Á mynd 4 eru sýnd frávik reiknaðra gilda frá mældum gildum.



Mynd 4. Frávik mældra gilda frá reiknuðum, rauða línan sýnir eitt staðalfrávik.

Til að átta sig betur á þessum stærðum eru þær brotnar upp í töflu þar sem sýnt er hversu mörg mæligildi eru hærri en reiknuðu gildin fyrir 0, 1 og 2 staðalfrávik.

Fjarlægð [km]	Mæligildi	0	1	2
0–10	13	10	1	0
10–20	29	14	6	1
20–30	24	7	2	0
30–40	18	9	2	0
40–50	15	11	5	1
50–60	8	3	0	0
60–70	9	4	1	0
70–80	8	5	2	0
>80	7	4	2	1
Samtals	131	67	21	3

Tafla 3. Fjöldi mældra gilda sem eru hærri en reiknuð gildi að viðbættum 0, 1 og 2 staðalfrávikum.

Sé engu staðalfrávikum bætt við ættu mældu gildin að vera hærri en líkanið segir til um í 50% tilvika. Hér reynast 67 gildi vera hærri eða 51%. Þetta er þó mjög mismunandi eftir fjarlægðum. Þannig vanmetur líkanið 10 af 13 gildum á fjarlægðarbilinu 0-10 km, og einnig er nokkuð vanmat á bilinu 40-50 km.

Ef einu staðalfrávikum er bætt við ættu u.þ.b. 16% mældra gilda að vera hærri en líkanið spáir, sem og er raunin. Vanmatið á fyrsta fjarlægðarbilinu er horfið en bilin 10-20 km og 40-50 km sýna heldur há gildi.

Sé tveimur staðalfrávikum bætt við ættu rúmlega 2% gildanna að vera hærri en sagt er fyrir, sem er í góðu samræmi við niðurstöðuna.

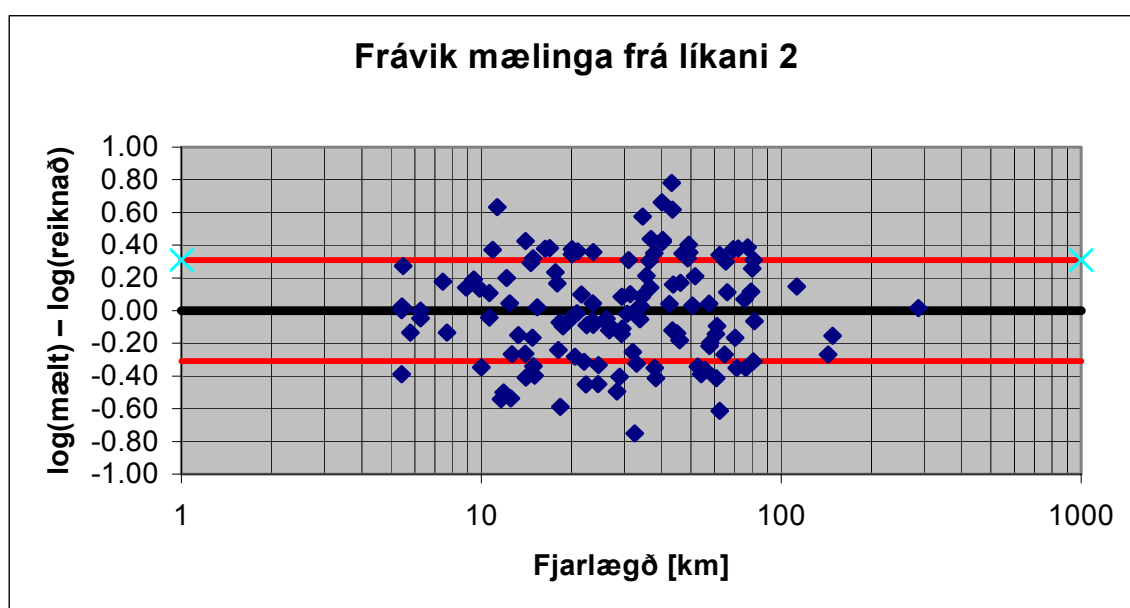
Samkvæmt þessu er ljóst að forspárgildi líkansins er í samræmi við að frávikin séu normaldreifð.

Líkan 2

Niðurstaða tveggja þrepa aðhvarfsgreiningar fyrir líkan 2 er:

$$\log_{10}A = 0,4840M - 1,4989\log_{10}R - 2,1640 + 0,3091n$$

Með sama hætti og við fyrra líkanið eru frávik mældra gilda frá reiknuðum sýnd á mynd 5.



Mynd 5. Frávik mældra gilda frá reiknuðum, rauða línan sýnir eitt staðalfrávik.

Þessar tölur eru síðan brotnar upp eftir fjarlægð og skoðað hversu oft mæld gildi eru hærri en reiknuð að viðbættum 0, 1 eða 2 staðalfrávikum.

Fjarlægð [km]	Mæligildi	0	1	2
0–10	13	8	0	0
10–20	29	13	6	1
20–30	24	7	4	0
30–40	18	11	4	0
40–50	15	12	9	2
50–60	8	3	0	0
60–70	9	4	2	0
70–80	8	5	2	0
>80	7	3	0	0
Samtals	131	66	26	3

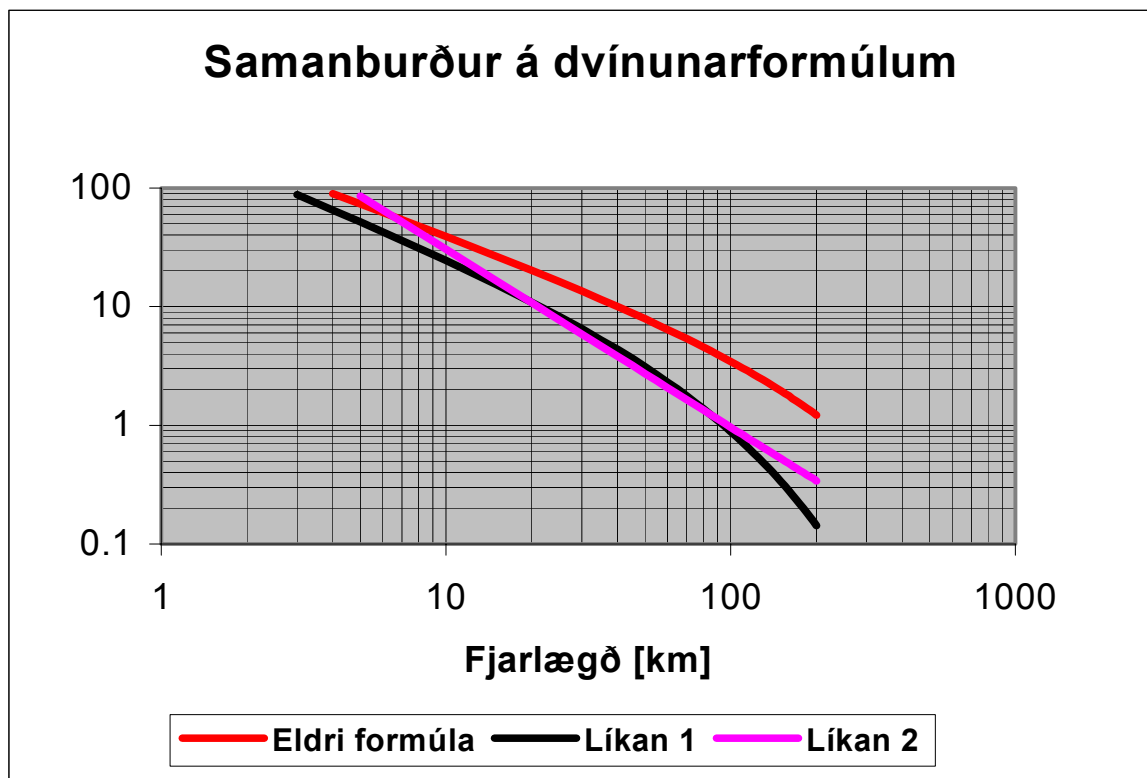
Tafla 4. Fjöldi mældra gilda sem eru hærri en reiknuð gildi að viðbættum 0, 1 og 2 staðalfrávikum.

Nánari skoðun á þessum tölum leiðir í ljós svipaða niðurstöðu og varðandi líkan 1.

Sé engu staðalfrávikum bætt við eru rúmlega 50% gildanna hærri en líkanið sýnir, en normaldreifing gerir ráð fyrir 50%. Ef einu staðalfrávikum er bætt við reiknuðu gildin reyndust tæplega 20% mældu gildanna vera hærri í stað 16%. Ef tveim staðalfrávikum er bætt við ættu rúmlega 2% gildanna að vera hærri en líkanið gefur og er það einnig útkoman. Samkvæmt þessu fellur líkanið sem heild vel að mælingunum. Það nær vel utan um stystu fjarlægðirnar en vanmetur hröðunina á bilinu 30 til 50 km.

Samanburður og niðurstöður

Á mynd 6 er sýndur samanburður þessara tveggja líkana auk þeirrar formúlu sem leidd var út fyrir álagskortið frá 1995. Á myndinni eru formúlurnar reiknaðar án staðalfráviks.



Mynd 6. Samanburður á líkönum fyrir skjálfta af stærðinni 6,5.

Þau líkön sem hér hafa verið reiknuð byggja á 131 mælingu. Mikill meirihluti þessara mælinga er á Suðvesturlandi (mynd 1). Skjálftarnir sem notaðir eru eiga flestir upptök sín á svæðinu milli Hellisheiðar og Vatnafjalla, en inn í dæmið vantar öfluga Norðurlandsskjálfta og Suðurlandsskjálfta eins og þeir gerast mestir. Flestir skjálftarnir eru í þröngum geira í austurátt séð frá Reykjavík. Loks eru aðeins örfáar mælingar í meiri fjarlægð en 100 km frá skjálftaupptökum. Þessar takmarkanir sýna að erfitt er að alhæfa um dvínunarlíkan fyrir Ísland út frá þeim gögnum sem fyrir liggja. Þótt líkan 1 falli aðeins betur að mælingunum,

Þegar einu staðalfrávikni hefur verið bætt við, þá er óraunhæft að byggja á því fyrir skjálfta úr meiri fjarlægð en 100 km.

Niðurstaðan er því að nota líkan 2, þ.e. að dvínun íslenskra jarðskjálfta verði lýst samkvæmt jöfnunni:

$$\log_{10}A = 0,4840M - 1,4989\log_{10}R - 2,1640 + 0,3091n$$

Engin gögn eru fyrirbyggjandi um hröðun innan nærsviðsáhrifa upptaka jarðskjálftans og er því varasamt að nota líkingu sem þessa við og nálægt upptökum jarðskjálfta. Óhætt er þó að segja að jafnan sé studd gögnum í allt að 5 km nálægð við upptök.