

# Tölfræðileg greining á tjóni í Ölfus skjálftanum 2008

Bjarni Bessason<sup>a</sup>, Jón Örvar Bjarnason<sup>b</sup>, Ari Guðmundsson<sup>b</sup>, Júlíus Sólnes<sup>a</sup>,  
<sup>a</sup>Umhverfis- og byggingarverkfræðideild, Háskóli Íslands, Hjarðarhaga 2-6, 107 Reykjavík  
<sup>b</sup>VERKÍS, Ármúla 4, 108 Reykjavík

**Fyrirspurnir:**  
 Bjarni Bessason  
 bb@hi.is

Greinin barst  
 10. febrúar 2013.  
 Samþykkt til birtingar  
 8. júní 2013.

## ÁGRIP

Þann 29. maí 2008 varð jarðskjálfti af stærðinni 6,3 ( $M_w$ ) í Ölfusi. Upptök skjálftans og tvö misgengi hans voru nálægt nokkrum smábæjum og þéttbýliskjörnum á svæðinu. Hágildi yfirborðshröðunar var skráð 0,88g í Hveragerði sem er aðeins 2–3 km frá meginmisgenginu. Töluvert tjón varð í skjálftanum, en til allra hamingju urðu nánast engin slys á fólki og ekkert dauðsfall. Allar byggingar á Íslandi eru skráðar í opinberri fasteignskrá sem inniheldur margvíslegar upplýsingar um þær. Samkvæmt lögum eru allar fasteignir landsmanna tryggðar gegn náttúrvá hjá Viðlagatryggingu Íslands. Til að meta tryggingarbætur eftir Ölfus skjálftann voru matsmenn fengnir til að skoða skemmdir og áætla viðgerðarkostnað fyrir allar byggingar á svæðinu, þar sem tilkynnt var um tjón. Tjón á hverri fasteign var flokkað í marga fyrirfram skilgreinda undirflokk. Rannsókn á þessum tjónagögnum sýnir að skemmdir á burðarvirki er aðeins lítið hlutfall af heildartjóni, ef miðað er við útgreiddar tryggingabætur. Stærstur hluti bóta fór í að bæta viðgerðarkostnað vegna útlitsskaða á veggjum sem þörfuðust minniháttar sprunguviðgerða og endurmálunar sem og til að bæta skemmdir á gólfefnum eins og parketi og flísum.

**Lykilord:** Lærdómur af jarðskjálftum, Lágrest hús, Steinsteypur byggingar, Timburhús, Tjónnæmi, Tölfræði tjóns.

## ABSTRACT

The South Iceland lowland is an active seismic zone. In May 2008 a shallow  $M_w$  6.3 earthquake occurred in the Ölfus region in South Iceland. The epicentre was located in the middle of farmlands and also close to two small towns in the area. The recorded maximum PGA was 0.88g in the town Hveragerði, about 2–3 km from the main fault. A great deal of damage occurred, but fortunately there was no loss of life. All buildings in Iceland are registered in a detailed official database. Insurance against natural disasters is obligatory. After the Ölfus earthquake, damage and repair cost for every affected building was estimated by trained estimators in order to cover the loss incurred for policy holders. The damage data for every property was split into number of subcategories. Analysis of the data showed that damage of structural elements was only a fraction of the total damage, and most of the estimated repair cost was related to cosmetic non-structural surface damage that required replacement of flooring, tiles and paint work.

**Keywords:** Learning from earthquakes, Low-rise buildings, RC-buildings, Timber buildings, Vulnerability, Damage statistics.

## Inngangur og markmið

Brotabelti Suðurlands er eitt virkasta jarðskjálftasvæði Íslands. Nokkrir stórir jarðskjálftar verða þar á hverri öld, en þeir kom þó gjarnan í runum líkt og gerðist í Suðurlandsskjálftunum 1896. Þá urðu fimm skjálftar stærri en 6,0 á tæplega tveggja vikna tímabili, eða frá 26. ágúst til 6. september. Árið 1912 kom svo einn stór stakur skjálfti austarlega á svæðinu, kenndur við Selsund á Rangárvöllum. Telja sumir jarðvísindamenn að hann hafi verið síðasti skjálftinn í rununni sem hófst 1896 (Páll Einarsson, 1991; Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson & Bjarni Bessason, 2013). Þann 17. og 21. júní árið 2000 skóku tveir skjálftar Suðurland sem báðir voru af stærðinni 6,5 ( $M_w$ ). Sá fyrri átti upptök við Skammbæisstaði í Holtum og sá síðari við Hestfjall í Grímsnesi. Hágildi yfirborðshröðunar í þessum skjálftunum mældist við gömlu Þjórsárbrúna eða 0,84g (g er þyngdarhröðun jarðar), (Bjarni Bessason & Einar Hafliðason, 2004). Þriðji skjálftinn varð svo 29. maí 2008 í Ölfusi, 6,3 ( $M_w$ ) að stærð. Í þeim atburði mældist hröðun yfir 0,8g á nokkrum stöðum í Hveragerði, í svokölluðu ICEARRAY mælaneti sem Rannsóknarmiðstöð Háskóla Íslands í jarðskjálftaverkfræði á Selfossi rekur (Benedikt Halldórsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2009). Engin íbúðarhús hrundu í jarðskjálftunum 2000 og 2008, en órfa útihús féllu. Eignatjón var þó mikið. Um 40 íbúðarhús voru metin óviðgerðarhæf í 2000 jarðskjálftunum og um 30 í 2008 skjálftanum.

Aðalmarkmið þeirrar rannsóknar sem hér er kynnt, er að draga lærdóm af jarðskjálftum. Gerð er tölfræðileg greining á eignatjóni sem varð í Ölfusjarðskjálftanum 2008, þar sem byggt er á tjónagögnum sem Viðlagatrygging Íslands hefur safnað saman vegna greiðslu tjóna-

bóta. Tjónið er sundurliðað í tíu meginflokk, og hver þeirra skiptist síðan í fjóra til átta undirflokk, samtals 62 undirflokk. Með því að sundurgreina tjónið með þessum hætti má greina helstu veikleika bygginga og í framhaldinu leggja mat á hvað má bæta til að draga úr tjóni í jarðskjálftum framtíðar.

Aðgangur að ítarlegri fasteignaskrá til viðbótar við tjónagögnin er lyklatríði í greiningu tjóns á byggingum. Tjónagögnin samtengd Fasteignaskrá Íslands hafa nú þegar verið notuð til að búa til líkindafræðileg tjónaföll fyrir lágrestar byggingar sem nota má til að meta líklegt árlegt tjón af völdum jarðskjálfta á Íslandi, sem og til að meta tjón í einstökum raunverulegum eða sviðsettum atburðum (Bjarni Bessason o. fl., 2012). Tjón í þessum rannsóknum er skilgreint sem hlutfall viðgerðarkostnaðar samkvæmt mati og brunabótamats viðkomandi byggingar.

## Fasteignaskrá og tjónagagnagrunnur

Allar byggingar á Íslandi eru skráðar í opinberan fasteignagrunn hjá Þjóðskrá Íslands. Skráin inniheldur upplýsingar um notkun fasteignar, byggingarár, fjölda hæða, aðalbyggingarefni, landfræðilega staðsetningu og fleira. Enn fremur er bæði fasteignamat og brunabótamat bygginga skráð.

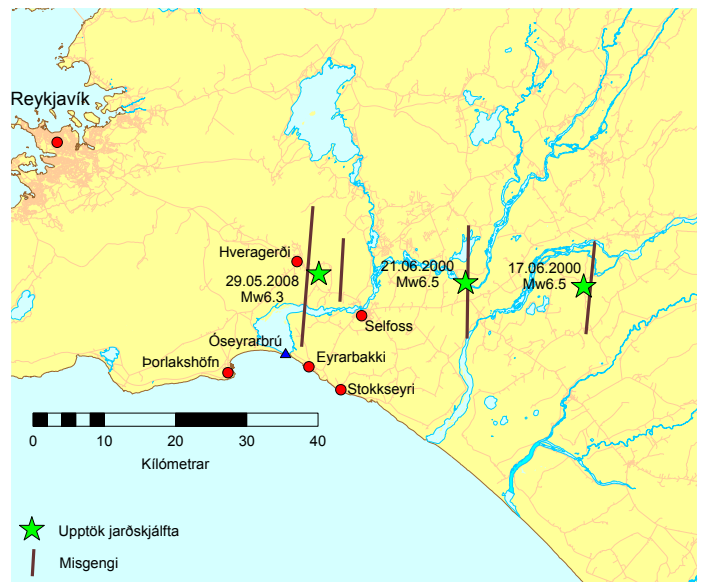
Skýlt er að brunatryggja allar fasteignir, og miðast brunabótamat við áætlað endurbyggingarverð, að teknu tilliti til ástands og aldurs. Viðlagatrygging Íslands tryggir allar brunatryggðar fasteignir gagnvart náttúruhamförum, m.a. jarðskjálftum og eldgosum. Í kjölfar náttúruhamfara eru því allar tilkynntar skemmdir á fasteignum metnar og

skráðar af sérstökum matsmönnum sem sundurgreina tjónið (undirstöður, burðarveggir, þakvirki, o.s.frv.) og áætla viðgerðakostnað. Öll þessi gögn eru skráð í gagnagrunn Viðlagatryggingar Íslands.

### Ölfusskjálftinn og mæld jarðskjálftaáhrif

Suðurlandsskjálftinn 29. maí 2008 varð á tveimur misgengjum í Ölfusi. Fyrst hnikaðist misgengi í vestanverðu Ingólfsfjalli til. Það ræsti hník á mun stærra misgengi vestar á svæðinu við bæinn Kross, um einni sekúndu síðar (sjá mynd 1). Litið hefur verið á þessar tvær misgengishreyfingar sem einn atburð. Ragnar Sigbjörnsson o.fl. (2009) hafa áætlað reikningslega staðsetningu upptaka skjálftans 63,98°N og 21,13°V. Stærðin hefur verið metin 6,3 ( $M_w$ ). Áhrif skjálftans voru skráð í íslenska hröðunarmælakerfinu og í nýja fjölmælakerfinu í Hveragerði sem er kallað ICEARRAY, en bæði þessi kerfi eru rekin af Rannsóknarmiðstöð Háskóla Íslands í jarðskjálftaverkfræði á Selfossi (Benedikt Halldórsson, Ragnar Sigbjörnsson & Schweitzer, 2009) og (Júlíus Sólnes o.fl., 2013). Valdar tímaraðir, sem skráðar hafa verið í þessum mælikerfum, eru vistaðar í evrópska gagnagrunninum ISESD (Ambraseys o.fl. 2002). Stærsta skráða útgildi yfirborðshröðunar í Ölfusskjálftanum í íslenska hröðunarmælakerfinu var 0,66g í Hveragerði og 0,54g á Selfossi. Í ICEARRAY kerfinu mældist hæsta útgildið hins vegar 0,88g (Benedikt Halldórsson & Ragnar Sigbjörnsson, 2009). Þessi gögn, ásamt hröðunargögnum frá Suðurlandsskjálftunum 2000 og fleiri ís-lenskum jarðskjálftum, hafa reynst mikilvæg við að þróa deyfiflök sem nota má til að meta staðbundin jarðskjálftaáhrif á Íslandi. Svör-unarróf jarðskjálftans reiknuð út frá mældum hröðunartímaröðum í Hvergerði og Selfossi yfirstíga Eurocode 8 staðlarófin fyrir þetta svæði, bæði fyrir stutta og langa (> 0,6s) sveiflutíma. Hvað lengri sveiflutíma varðar má útskýra þennan mismun með svokölluðum nærsprungu-áhrifum (e. *near fault effect*), sjá nánar í Somerville o.fl. (1997). Þessi áhrif hafa komið fram í öllum þremur Suðurlandsskjálftunum 2000 og 2008, sem voru meðalstórir skjálftar (6,5, 6,5 og 6,3 ( $M_w$ )). Þau skipta einkum máli fyrir mannvirki með langa sveiflutíma. Þannig sýna rannsóknir að Óseyrabrúin hafi að öllum líkindum orðið fyrir nærsprunguáhrifum í 2008 skjálftanum, en brúin er staðsett við suðurenda Kross-misgengisins (sjá mynd 1), (Magni Hreinn Jónsson, Bjarni Bessason og Einar Hafliðason, 2010). Hins vegar eru flestar byggingar á Suðurlandi lágreistar og stífar og því með stuttan eiginsveiflutíma, sem þýðir að þessi nærsprunguáhrif hafa litla þýðingu fyrir þau.

Við skoðun og greiningu á byggingatjóni er nauðsynlegt að geta tengt það við mæld eða áætluð jarðskjálftaáhrif á þeim stað þar sem mannvirkið stendur. Það er hins vegar ekki einhlítt hvernig á að skilgreina stika sem hentar til að lýsa áhrifum, og í heimildum hafa margar kennistærðir verið settar fram í þessu sambandi. Þar sem flestar byggingarnar á Suðurlandi eru með stuttan grunnsvæiflutíma var valið að styðjast við útgildi yfirborðshröðunar (e. *PGA - peak ground acceleration*), en það er nátengt orku yfirborðshreyfingarinnar við stutta sveiflutíma. Önnur meginástæða fyrir því að velja þennan stika er sú, að þróuð hafa verið staðbundin deyfiflök, er byggjast á íslenskum mæligögnum, til að meta PGA sem fall af upptakafjarlægð og stærð skjálfta. Tilsvarandi líkön fyrir aðra stika eru ekki aðgengileg enn sem komið er. Í þessari rannsókn var PGA ákvarðað á hverjum stað með einfaldaðri útgáfu af dvínunarlíkingu (Bjarni Bessason o.fl., 2012) sem þróuð var af Símoni Ólafssyni og Ragnari Sigbjörnssyni (Símon Ólafsson, 1999; Símon Ólafsson & Ragnar Sigbjörnsson, 2002). Líkanið áætlað miðgildi PGA fyrir báða lárétta þættina. Er það talið áreiðanlegt fyrir jarðskjálfta af stærðinni 5,0 til 6,5 og fjarlægðir frá 0 til 30 km, en meginþorri gagna, sem líkanið grundvallast á, eru skráð innan þessara marka. Jarðskjálftaáhrifum er raðað í fjóra flokka sem gerð er grein fyrir í töflu 1. Nánari umfjöllun um ólíkar skilgreiningar á PGA má finna hjá Bjarna Bessasyni o.fl. (2012).



Mynd 1: Kort sem sýnir misgengin tvö er hnikaðust í Ölfus jarðskjálftanum 29. maí 2008. Einnig má sjá upptök og misgengi Suðurlandsskjálftanna 2000.

Tafla 1. Áhrifaflokkar skilgreindir með efri og neðri mörkum PGA.

Áhrifaflokkur	1	2	3	4
PGA – (g)	0,05 – 0,09	0,09 – 0,18	0,18 – 0,34	0,34 – 0,65

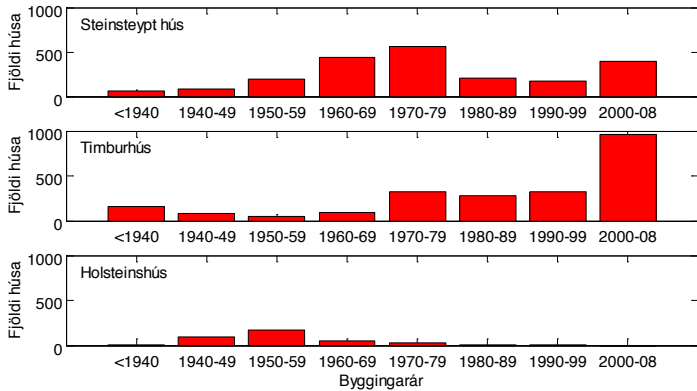
### Byggingar á Suðurlandi og tjónamat

Íbúafjöldi á Suðurlandi, frá Þorlákshöfn og Hveragerði og nærsveitum í vestri og að Hvolsvelli og nágrenni í austri (póstnúmer 800-861) var í kringum 18,600 í janúar 2008 (Hagstofa Íslands). Um 14.160 íbúanna býr á svæði sem liggur nálægt misgengjunum tveimur er hnikaðust í Ölfusskjálftanum 2008. Flestir búa í þéttbýli, nánar tiltekið um 6.300 á Selfossi, 2.300 í Hvergerði, 1.550 í Þorlákshöfn, 600 á Eyrarbakka og 500 á Stokkseyri (sjá mynd 1). Um 2.900 búa svo í sveitunum í kring. Flest hús eru lágreist einbýlis- eða raðhús. Fá fjölbýlishús eru á svæðinu, og ekkert þeirra er hærra en fimm hæðir. Þessi rannsókn takmarkast við íbúðarhúsnæði að undanskildum fyrrgreindum fjölbýlishúsum, sem einkum er að finna á Selfossi. Sumarhús og frístundarhús eru heldur ekki tekin með. Samkvæmt fasteignaskrá eru um 45,5% húsanna steinsteypt, 48% timburhús og 7,5% hlaðin úr holsteini úr vikri eða gjalli. Nánari lýsingu á einkennum þessara húsgerða má finna í grein eftir Bjarni Bessason o.fl. (2012). Mynd 2 sýnir aldursdreifingu þessara húsa. Elstu húsin, sem byggð eru fyrir árið 1940, eru aðallega timburhús. Á árunum frá 1940 til 1970 var algengast að reisa steinsteypt hús, en einnig var notkun á holsteini nokkuð algeng. Frá 1980 hefur mest verið byggt af timburhúsum. Holsteinn hefur lítið verið notaður frá þeim tíma.

### Byggingarflokkar

Niðurstöður tjónamats eftir Ölfusskjálftann 2008 sýna að töluverður munur er á skemmdum íbúðarhúsa eftir byggingarefni þeirra og aldrir. Því er eðlilegt að flokka hús eftir aðalbyggingarefni þeirra og greina á milli steinsteypu, timburs og holsteins. Hvað aldur húsa varðar, má taka tillit til þess að jarðskjálftastaðlar voru fyrst innleiddir á Íslandi 1976, en upp úr því eykst járnþvinging í steinsteyptum byggingum. Í rannsókninni var valið að nota ártalið 1980 til að greina á milli eldri og nýrri steinsteyptra bygginga. Óljóst er hver áhrif staðalsins hafði á byggingarlag timburhúsa, en benda má á að vindálag er mjög hátt á Íslandi sem hefur þau áhrif, að timburhús eru jafnan vel stífuð gagnvart

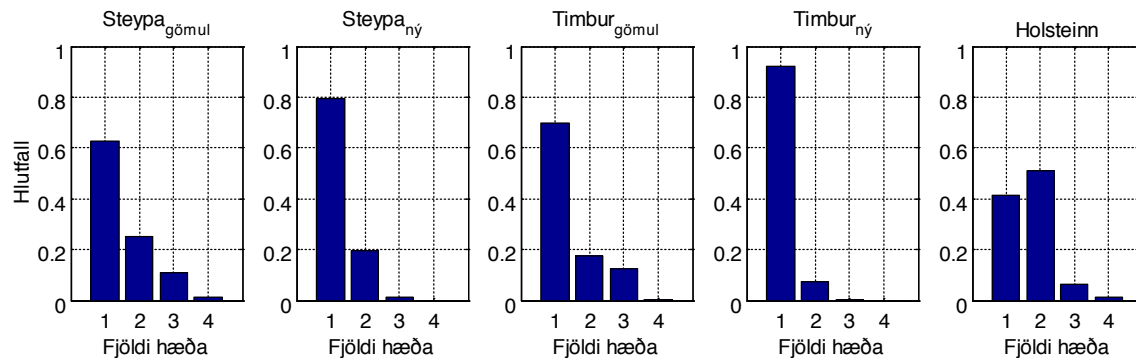
láréttu álagi. Til að gæta samræmis við steinsteyptu húsin var þó einnig valið að miða við árið 1980 til aðgreiningar milli eldri og nýrri timburhúsa. Byggingar hlaðnar úr holsteini hafa ekki verið reistar um áratuga



Mynd 2: Aldursdreifing íbúðarhúsnæðis á vestanverðu Suðurlandi, þ.e. frá Ölfusi að Þjórsá (fjölbýlishús og sumarhústaðir eru ekki með).

Tafla 2. Fjöldi bygginga raðað eftir byggingargerð og áhrifaflokk sem ræðst af fjarlægð frá upptökum (sjá mynd 1).

Byggingargerð	Áhrifaflokkur				Samtals
	1 0,05g – 0,09g	2 0,09g – 0,18g	3 0,18g – 0,34g	4 0,34g – 0,65g	
Steypa <sub>gömul</sub>	106	362	617	252	1337
Steypa <sub>ný</sub>	26	165	327	260	778
Timbur <sub>gömul</sub>	45	250	211	203	709
Timbur <sub>ný</sub>	160	282	876	245	1563
Holsteinn	39	102	144	74	359
Samtals	376	1161	2175	1034	4746



Mynd 3. Dreifing á fjölda hæða fyrir íbúðarhús á vestanverðu Suðurlandi, þ.e. frá Ölfusi að Þjórsá (fjölbýlishús og sumarhústaðir eru ekki með).

## Tjónamat

Mat á tjóni hófst strax eftir jarðskjálftann. Matsferlinu má lýsa með eftirfarandi skrefum:

- Húseigandi tilkynnir tjón á eign sinni til tryggingarfélag síns, sem síðan sendir þær upplýsingarnar áfram til Viðlagatryggingar Íslands.
- Viðlagatrygging felur matsmönnum að meta tjónið.
- Matsmaður undirbýr skoðun með því að rýna byggingarnefndarteikningar og önnur gögn sem nýfast, þegar á tjónstað er komið.
- Matsmaður skoðar húseign. Allt sjáanlegt tjón er skráð niður og ljósmyndað eins og kostur er á.
- Matsmaður býr til matskýrslu, þar sem tjón af völdum jarðskjálftans er sundurliðað og því lýst. Jafnframt er gerð kostnaðaráætlun fyrir viðgerðir og endurbætur. Sú áætlun myndar grunn fyrir tryggingarbætur.

skeið. Vegna þess og hversu fáar þær eru var ákveðið að hafa þær allar í einum flokki. Niðurstaðan er því sú að greina á milli fimm byggingargerða, sem hér eftir verða kallaðar *steypa<sub>ný</sub>*, *steypa<sub>gömul</sub>*, *timbur<sub>ný</sub>*, *timbur<sub>gömul</sub>* og *holsteinn*, sjá nánar hjá Bjarna Bessasyni o.fl. (2012). Í einstaka tilvikum (<5%) varð tjón sem tengdist grundun bygginga og af völdum mismunasígs undirstaða og þannig óháð byggingargerð. Slík tilvik eru ekki tekin með í þessari rannsókn.

Mynd 3 sýnir dreifingu á fjölda hæða fyrir þessar fimm byggingargerðir. Flest nýju húsin eru einnar hæðar, meðan fleiri hæðir eru algengari í eldri húsum. Veggir eru meginburðarkerfi í öllum þessum byggingum, en ramma- og súlubyggingar eru sjaldgæfar. Tafla 2 sýnir hvernig byggingarnar skiptast í þessar fimm byggingargerðir, og sömu-leiðis hvernig staðsetning þeirra (fjarlægð frá upptökum) dreifir þeim í hina fjóra áhrifaflokka sem skilgreindir eru í töflu 1. Flestar byggingar á Suðurlandi eru reistar á klöpp eða stífum jarðvegi og eru á flatlendi. Í Suðurlandskjálftunum er því lítið sem ekkert tjón sem hægt er að rekja til jarðskriða eða mögnunaráhrifa vegna landslags eða staðhátta. Yfirborðshringur vegna jarðskjálftans er því meginorsök tjóns.

Tafla 3: Meginflokkar fyrir tjón á burðarvirki og annars konar tjón.

Tjónaflokkur	Lýsing á tjóni
1	Útgröftur, jarðfylling og jarðvinna.
2	Undirstöður og botnplata.
3	Ytra burðarkerfi (veggir, súlur, bitar og tröppur).
4	Þakvirki og skorsteinn.
5	Innra burðarkerfi (veggir, plötur, súlur, bitar og tröppur).
6	Ýmis frágangur innanhúss (léttir skilveggir, múrverk, niðrhengd loft, loftklæðningar).
7	Innréttingar, tæki, innihurðir, gólfefni, veggflísar o.fl.
8	Gluggar, gler, útidyr, útveggjaklæðning o.fl.
9	Veggfóður, málun inni, málun úti, o.fl.
10	Pípulagnir (kalt vatn, heitt vatn, frárennsli), ofnar, raflagnir.

**Sundurliðun á tjóni**

Allt tilkynnt og metið tjón var sundurliðað og flokkað. Tjónið er greint í fimm flokka sem lúta að burðarkerfi byggingar (nr. 1-5) og aðra fimm flokka er eiga við um annars konar tjón á byggingu (nr. 6-10). Þessir tíu flokkar eru sýndir í töflu 3. Hver þeirra greinist svo í fjóra til átta undirlíði og samtals 62 mismunandi tjónaliði.

Tafla 4: Hlutfall (%) skemmdra bygginga á Suðurlandi, raðað eftir byggingargerð og áhrifaflokki.

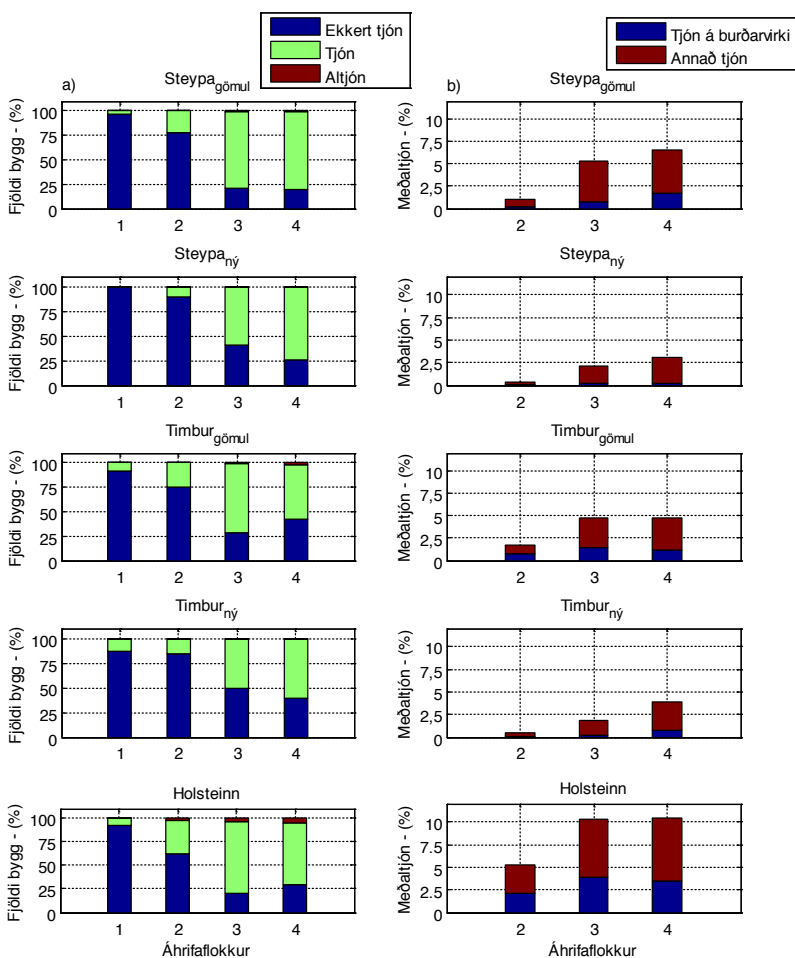
Byggingargerð	Áhrifaflokkur				Allir flokkar
	1 0,05g – 0,09g	2 0,09g – 0,18g	3 0,18g – 0,34g	4 0,34g – 0,65g	
Steypa <sub>gömul</sub>	2,8	22,0	79,1	80,6	<b>57,9</b>
Steypa <sub>ný</sub>	3,9	10,3	59,9	74,2	<b>52,3</b>
Timbur <sub>gömul</sub>	8,9	24,4	71,0	57,6	<b>46,8</b>
Timbur <sub>ný</sub>	13,8	14,9	51,0	61,2	<b>42,3</b>
Holsteinn	7,7	38,2	79,9	70,2	<b>58,2</b>
<b>Allar gerðir</b>	<b>8,8</b>	<b>20,6</b>	<b>64,2</b>	<b>69,1</b>	<b>50,2</b>

**Tölfræði tjóns**

Hin ítarlega sundurliðun á metnu tjóni gerir kleift að kortleggja algengasta tjónið og þá veikleika sem komu í ljós í jarðskjálftanum. Sum hús skemmdust ekkert, meðan önnur urðu fyrir smáskaða og allt upp í að þola miklar skemmdir. Íbúðarhús, þar sem viðgerðarkostnaður var metin meiri en 50-70% af brunabótamati, voru í flestum tilvikum metin óviðgerðarhæf og fullar bætur greiddar út. Tafla 4 sýnir hlutfall skemmdra húsa fyrir hverja byggingargerð og hvern áhrifaflokk. Hæst reyndist hlutfallið vera fyrir holsteinshús og gömul steinsteypt hús, og lægst fyrir timburhús byggð eftir 1980, ef allir áhrifaflokkar eru teknir saman (aftasti dálkur). Einnig er fróðlegt að skoða tjón í hverjum áhrifaflokki óháð húsagerð. Þannig sést að innan við 10% íbúðarhúsa sem lenda í áhrifaflokki 1 skemmast og um 20% húsa í áhrifaflokki 2.

Síðan er stórt stökk yfir í áhrifaflokka 3 og 4, þar sem 64% húsa annars vegar og 69% hins vegar skemmast. Það má líka orða þetta þannig, að þegar reiknuð yfirborðshröðun fer yfir 0,18 g (-0,20g) skemmast u.þ.b. tveir þriðju allra húsa.

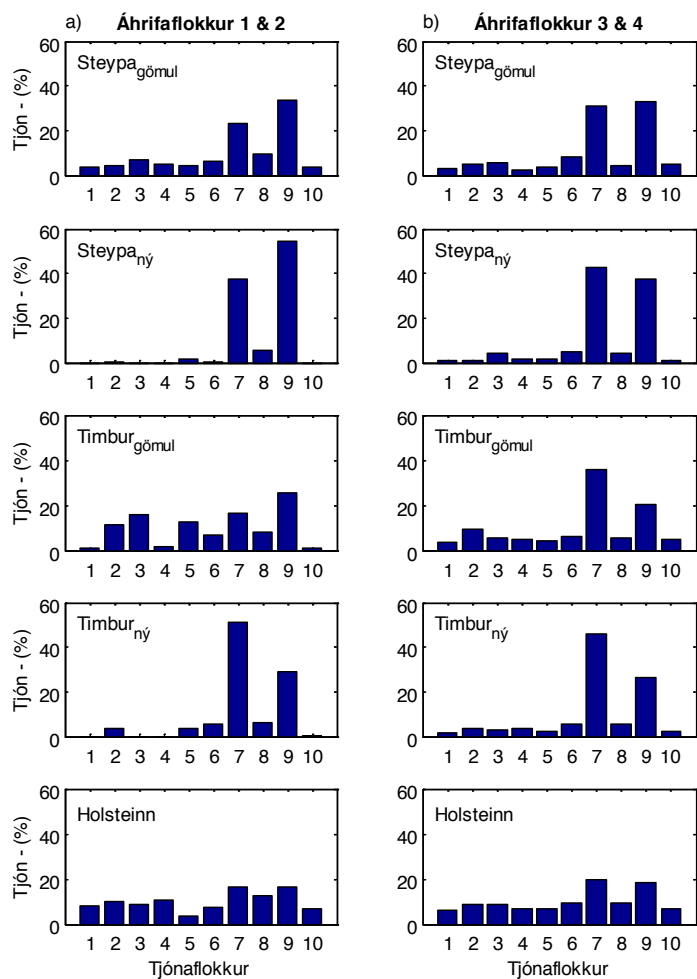
Súluritin á mynd 4a sýna hlutfall óskemmdra, skemmdra og altjónsbygginga fyrir byggingargerðirnar fimm sem fall af áhrifaflokki. Sé dæmi tekið, sést fyrir áhrifaflokk 3 að 20% gamalla steinsteypra bygginga (steypa<sub>gömul</sub>) skemmdust ekkert, 80% urðu fyrir einhverju tjóni, en engin bygging eyðilagðist alveg (altjónsbygging). Einnig vekur athygli að hvað bæði gömul timburhús og holsteinshús varðar eru fleiri hús óskemmd í áhrifaflokki 4 heldur en í flokki 3, sem er ófugt við það sem vænta mátti. Mynd 4b sýnir meðaltjón fyrir hverja byggingargerð fyrir áhrifaflokka 2 til 4, sem og hvernig meðaltjónið skiptist milli burðarkerfis (meginflokkar 1-5) og annarra byggingarhluta (meginflokkar 6-10). Ef gamlar steinsteyptar byggingar eru teknar sem dæmi, sést að meðaltjón er 5,3% fyrir áhrifaflokk 3, og af því flokkast 15% sem tjón á burðarvirki og 85% sem tjón á öðrum hlutum. Vert er að benda á, að meðaltjón eykst verulega við það að fara frá áhrifaflokki 2 í 3, en aukningin er minni þegar farið er frá 3 í 4. Ef gömlu timburhúsin eru skoðuð, sést við nánari skoðun að meðaltjón á þeim er svipað í áhrifaflokki 3 og 4, og sama á við holsteinshúsin. Ástæður fyrir þessu, sem og að hlutfallslega fleiri hús af þessum gerðum skemmast í áhrifaflokki 4 en 3, eins og áður var nefnt, geta verið ýmsar. Til dæmis gætu hlutfallslega fleiri „veikbyggð“ hús af þessum gerðum hafa lent í áhrifaflokki 3 heldur en í flokki 4, einnig er ákveðin óvissa í reiknuðum PGA-gildum á hverjum stað. Ef mynd 4b er skoðuð í heild, sést að tjón á burðarvirki er hlutfallslega lítil hluti heildartjóns fyrir allar byggingargerðirnar og alla áhrifaflokkana. Þetta kemur heim og saman við þá staðreynd, að ekkert íbúðarhús hrundi í Suðurlandsskjálftanum 2008. Loks má lesa út úr myndinni, að tjón á nýjum steinsteyptum og nýjum timburhúsum (byggðum eftir 1980) er mjög svipað fyrir alla áhrifaflokkana. Meðaltjón fyrir þessar byggingargerðir er 3,0% og 3,9% fyrir áhrifaflokk 4. Til samanburðar er meðaltjón fyrir gamlar steinsteyptar byggingar og holsteinshús annars vegar 6,5% og hins vegar 10,5% fyrir áhrifaflokk 4.



Mynd 4: a) Hlutfall óskemmdra, skemmdra og altjónsbygginga fyrir mismunandi byggingargerðir og áhrifaflokka. b) Meðaltjón sem hlutfall af brunabótamati fyrir mismunandi byggingargerðir og áhrifaflokka, og skipting tjóns á milli burðarvirkis og annarra byggingarhluta.

**Sundurliðun á tjóni**

Á mynd 5 er tjónið sundurliðað í þá 10 meginflokkar sem skilgreindir eru í töflu 3. Mynd 5a sýnir sundurliðunina fyrir áhrifaflokka 1 og 2 sameinaða og mynd 5b fyrir áhrifaflokka 3 og 4 sameinaða.



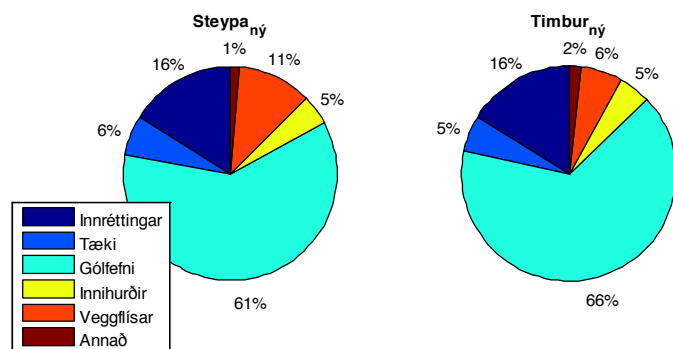
Mynd 5: Hlutfallsleg flokkun tjóns í tíu meginflokkum fyrir mismunandi byggingargerðir, þ.e. summa tjóns er 100% í hverju tilviki a) áhrifaflokkar 1 og 2 teknir saman, b) áhrifaflokkar 3 og 4 teknir saman.

Af myndinni má sjá að súlur 7 og 9 eru áberandi hærrí en aðrar súlur fyrir allar byggingargerðirnar og báða sameinuðu áhrifaflokkana (1&2 og 3&4). Af þessu má draga þá ályktun að mesti viðgerðarkostnaður samkvæmt mati varð annars vegar vegna skemmda á föstum innréttingum, innihurðum, gólfefni og vegg- og gólfllísum, og hins vegar vegna yfirborðsskemmda á út- og innveggjum sem kröfðust minniháttar sprunguviðgerða, spörtlunar og málunar. Tjón í þessum tveimur meginflokkum nam 80% af heildartjóni nýrra steinsteypta bygginga í öllum fjórum áhrifaflokkunum. Tilsvandi hlutfall er 73% fyrir ný timburhús, 63% fyrir gömul steinsteypt hús, 53% fyrir gömul timburhús og loks 37% fyrir holsteinshús. Mynd 5a sýnir jafnframt að tjón á burðarvirki (meginflokkar 1 til 5) fyrir ný steinsteypt hús og ný timburhús takmarkaðist við flokka 2 og 5 fyrir áhrifaflokk 1 & 2. Með öðrum orðum ekkert tjón raðaðist í flokka 1, 3 og 4 fyrir þessar byggingargerðir fyrir lægri tvo áhrifaflokkana.

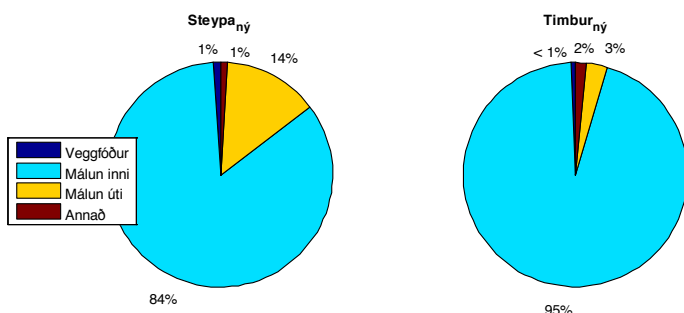
Þar sem mesta tjónið reyndist vera í meginflokkum 7 og 9, skilgreindir hér að framan, er áhugavert að skoða hvernig það sundurliðast fyrir ný steinsteypt hús og ný timburhús. Ef allir fjórir áhrifaflokkarnir eru teknir saman, sést að fyrir meginflokk 7 eru viðgerðir á gólfefnum stærsti kostnaðarliðurinn (>61%), sjá mynd 6. Hluti af þessu tjóni er komið til vegna hluta sem falla eða velta (stytur, vasar, bókaskápar o.þ.h.). Það tjón má minnka með fyrirbyggjandi aðgerðum íbúa sem byggjast á skynsamlegum frágangi og festingum á munum og hlutum.

Fyrir meginflokk 9 eru það skemmdir á innveggjum, sem kalla á minniháttar sprunguviðgerðir og endurmálun, stærsti viðgerðarliður-

inn (>84%), sjá mynd 7. Hér má nefna að notkun gífsplatta í léttum skilveggjum hefur aukist mikið á síðustu árum. Þessar plötur eru stífar og samskeyti þeirra þola lítið hnjask.



Mynd 6: Sundurlíðun á tjóni í meginflokkum 7 fyrir nýjar steinsteyptar byggingar og timburhús (steypa\_ný og timbur\_ný).



Mynd 7: Sundurlíðun á tjóni í meginflokkum 9 fyrir nýjar steinsteyptar byggingar og timburhús (steypa\_ný og timbur\_ný).

## Samantekt og lokaröð

Ölfusjarðskjálftinn 29. maí 2008 olli töluverðu tjóni á Suðurlandi. Allt tjón sem var tilkynnt var skráð og metið af matsmönnum á vegum Viðlagatryggingar Íslands. Íbúðarhús á Suðurlandi eru að langmestu leyti lágreistar byggingar þar sem byggingarefnið er aðallega steinsteypta og timbur, en einnig er nokkuð um hús úr holsteini steiptum úr vikri eða gjalli.

Í þessari rannsókn var kastljósinu beint að lágreistum húsum, en sumarbústaðir, fjölbýlishús, úthús og atvinnuhúsnaði ekki tekið með. Í heild sinni samanstendur gagnagrunnurinn af 4.746 byggingum, sem flokkaðar voru í fimm byggingargerðir, þ.e. tvær gerðir fyrir steinsteyptar byggingar, tvær fyrir timburhús og ein fyrir hús úr holsteini. Steinsteypt hús byggð fyrir 1980 voru flokkuð saman í eina byggingargerð og steinsteypt hús byggð eftir 1980 í aðra. Timburhúsum var á sama hátt skipt í tvo flokka. Holsteinshúsin voru öll höfð í einum flokki, óháð byggingartíma, en þau eru mun færri og jafnframt flest byggð fyrir 1980. Þessir fimm flokkar eru kallaðir, *steypa\_gömul*, *steypa\_ný*, *timbur\_gömul*, *timbur\_ný* og *holsteinn*. Tjón í rannsókninni var skilgreint sem hlutfall viðgerðarkostnaðar samkvæmt mati og brunabótamats viðkomandi húss. Tjónið var flokkað niður í 10 meginflokkum og hver þeirra í 4 til 8 undirlíðum. Þannig var metið tjón greint sundur í 62 undirlíðum. Um 50% bygginganna urðu fyrir tjóni, en aðeins 0,44% þeirra voru metnar óviðgerðarhæfar. Engin bygginganna, sem metin var óviðgerðarhæf, hrundi eða féll saman, en viðgerðir á þeim voru metnar það umfangsmiklar, að ekki þótti skynsamlegt að ráðast í þær.

Dvínunarlíking, sem lýsir hvernig yfirborðshröðun dvínar með fjarlægð frá skjálftaupptökum, var notuð til að reikna hágildi hröðunar á hverjum byggingarstað. Það var svo notað til þess að raða byggingum

í fjóra áhrifaflokka, þar sem hver flokkur afmarkast af neðra og efra hröðunargildi.

Íslensk veðráttta og byggingarhefðir hafa leitt af sér sterkbyggd, lág-reist hús, óháð þekkingu manna á jarðskjálftaálagi. Meðaltjón á burðarvirki í Ölfusjarðskjálftanum var lítið fyrir allar byggingargerðirnar og alla áhrifaflokkana. Ekkert íbúðarhús hrundi, og því má ætla að burðarvirki þeirra sé að jafnaði nægjanlega sterkt til að standast jarðskjálfta allt að stærðinni 6–6,5, jafnvel þótt þau séu staðsett nálægt upptökum. Tjón í Suðurlands skjálftunum 2000, sem báðir voru af stærðinni 6,5, styður þessa ályktun, en ekkert íbúðarhús hrundi þá heldur. Tjón á eldri byggingum var þó marktækt meira en á þeim yngri sem gæti bent til þess, að innleiðing jarðskjálftastaðalsins 1976 hafi gert nýjar byggingar traustari en þær eldri.

Rannsóknin sýnir að nýjar steinsteypar byggingar og ný timburhús urðu fyrir mjög sambærilegu tjóni. Áhugavert er að tjón á öðrum hlutum en burðarvirki var ráðandi fyrir allar byggingargerðirnar og alla áhrifaflokkana. Nánar tiltekið var metinn viðgerðarkostnaður mestur fyrir skemmd gólfefni og útlitsskaða á veggjum sem þurfti að spartla og endurmála.

Í nútíma jarðskjálftaverkfræði er aðaláhersla lögð á hönnun burðarvirkis og eiginleika þess til að standast jarðskjálfta. Minni áhersla er á sérstaka jarðskjálftahönnun og útfærslur sem ætlað er að draga úr tjóni á öðrum byggingarhlutum svo sem gólfefnum, innréttingum og létt-

um milliveggjum. Innleiðing staðals eða leiðbeininga um frágang og hönnun á innréttingum og léttum milliveggjum gæti hjálpað hér. Einnig er ljóst er að draga má úr tjóni á gólfum með því að festa hluti sem geta fallið eða oltið, (bókahillur, lausa skápa, þunga muni). Mikilvægt er að auka vitund fólks um að oft er með litlum tilkostnaði hægt að betrubæta þessa þætti. Betri frágangur er ekki síður mikilvægur til að minnka líkur á slysum og mannsköðum. Notkun gifsplatna í léttum skilveggjum er ekki æskileg á jarðskjálftasvæðum. Sveigjanlegri og sterkari plötur eru ákjósanlegri. Þó verður að nefna að léttir innveggir (timburstödir/blikkstödir klæddar með spónaplötum eða gifspilötum) eru heppilegri en hlaðnir veggir úr vikursteini, sem eru algengir í steinsteypum húsum byggðum fyrir 2000. Ástæðan er sú að í hlöðnum vikursteinsveggjum koma gjarnan fram stórar sprungur sem dýrt er að gera við. Þeir eru einnig þyngri og hættulegri fólki, ef þeir hrynja. Loks má draga fram að lítið tjón varð á rúðugleri sem er jákvætt og bendir til þess að veggir hafi almennt lítið aflagast í jarðskjálftanum.

Í þessari grein hefur verið gerð grein fyrir helstu niðurstöðum tölfræðilegrar greiningar á tjóni sem varð í Ölfusjarðskjálftanum 2008. Byggt var á umfangsmiklum gögnum sem safnað var saman af matsmönnum Viðlagatryggingar Íslands í kjölfar skjálftans. Byggingarlag á Íslandi er frekar einsleitt. Því eru líkur til þess að vænta megi svipaðra skemmda af völdum sambærilegs jarðskjálftaálags á öðrum svæðum á Íslandi.

## Heimildir

- Ambraseys, N., Smit, P., Ragnar Sigbjörnsson, Suhadolc, P. & Margaris B. (2002). Internet-Site for European Strong-Motion Data (ISESD). European Commission, Research-Directorate General, Environment and Climate Programme.
- Benedikt Halldórsson, Ragnar Sigbjörnsson & Schweitzer, J. (2009). ICEARRAY: the first small-aperture, strong-motion array in Iceland, *Journal of Seismology*.13(1), 173-178.
- Benedikt Halldórsson & Ragnar Sigbjörnsson (2009). The Mw6.3 Ölfus earthquake at 15:45 UTC on 29 May 2008 in South Iceland: ICEARRAY strong-motion recordings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29, 1073–1083.
- Bjarni Bessason, Jón Örvar Bjarnason, Ari Guðmundsson, Júlíus Sólnes & Steedman S. (2012). Probabilistic earthquake damage curves for low-rise buildings based on field data. *Earthquake Spectra*, 28(4), 1353-1378.
- Hagstofa Íslands, *Talnaefni – Mannfjöldi*, Skoðað 1. febrúar 2013 á <http://www.hagstofan.is>
- Magni Hreinn Jónsson, Bjanri Bessason & Einar Hafliðason (2010). Earthquake response of a base-isolated bridge subjected to strong near-fault ground motion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(6), 447-455.
- Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson og Bjarni Bessason (ritstjórar) (2013). *Náttúruvá á Íslandi - Eldgos og jarðskjálftar*. Viðlagatrygging Íslands og Háskólaútgáfan, 785 bls.
- Páll Einarsson (1991). Earthquakes and present-day tectonics in Iceland. *Tectonophysics*,189(1-4), 261-279.
- Ragnar Sigbjörnsson, Jónas Þór Snæbjörnsson, Higgins, S. M., Benedikt Halldórsson & Símon Ólafsson (2009). A note on the Mw6.3 earthquake in Iceland on 29 May 2008 at 15:45 UTC. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 7, 113–126.
- Somerville, P. G., Smith, N. F., Graves, R. W. & Abrahamson, N. A. (1997). Modification of empirical strong motion attenuation relations to include the amplitude and duration effect of rupture directivity. *Seismological Research Letter*, 68(1), 199-222.
- Símon Ólafsson (1999). *Estimation of Earthquake-Induced Response*, Ph.D thesis. Institute for Marine structures, NTNU, Norway. 1999:75.
- Símon Ólafsson & Ragnar Sigbjörnsson (2002). Attenuation of strong-motion in the South Iceland Earthquakes of June 2000, *Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering*. CD-disk: Paper 412, London, UK.

## STERKIR Í STÁLINU Í 40 ÁR

- STÁLBITAR
- PLÖTUJÁRN
- PRÓFÍLAR
- ÁL
- RYÐFRÍTT STÁL
- BLIKKPLÖTUR
- PVC PLÖTUR
- POM ÖXLAR



### VIÐ BYGGJUM Á TRAUSTUM GRUNNI



SMÍÐAJÁRN  
 GUDMUNDUR ARASON EHF  
 Skútuveg 4, 104 Reykjavík  
 Rauðhelli 2, 220 Hafnarfjörður  
 Sími 568 6844 - [ga@ga.is](mailto:ga@ga.is)  
[www.ga.is](http://www.ga.is)

