

Tjónnæmi lágreistra íbúðarhúsa byggt á gögnum frá Suðurlandsskjálftunum 2000 og 2008

Bjarni Bessason^a, Jón Örvar Bjarnason^b

^aUmhverfis- og byggingarverkfræðideild, Háskóli Íslands, Hjarðarhaga 2-6, 107 Reykjavík

^bViðlagatrygging Íslands, Hlíðarsmára 14, 201 Kópavogi

Fyrirspurnir:
Bjarni Bessason
bb@hi.is

Greinin barst 30. september 2015
Samþykkt til birtingar 13. janúar 2016

ÁGRIP

Í júní 2000 urðu tveir jarðskjálftar á Suðurlandi af stærðinni M_w 6,5 og í maí 2008 varð einn til viðbótar af stærðinni M_w 6,3 í Ölfusi. Útgildi hröðunar var yfir 0,6 g (g er þyngdarhröðun jarðar) í öllum þessum þremur skjálftum. Um 9.500 íbúðarbyggingar eru staðsettar á áhrifasvæði þessara skjálfta. 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 skjálftana voru matsmenn fengnir til að skoða skemmdir og áætla viðgerðarkostnað fyrir allar byggingar á svæðinu, þar sem tilkynnt var um tjón. Mesta tjónið reyndist vera nálægt upptökum og þá gjarnan í 0-10 km fjarlægð frá kortlögðum jarðskjálftasprungum. Tjón í fyrri tveimur 6,5 skjálftunum var meira og útbreiddara en í 6,3 skjálftanum. Í öllum þremur var töluvert um byggingar sem sluppu án skemmda. Mesta tjónið reyndist vera útlitstjón á léttum innveggjum og gólfefnum sem og skemmdir á innréttingum. Nýrri byggingar sem hannaðar voru eftir innleiðingu jarðskjálftastaðla stóðu sig að jafnaði betur en eldri byggingar.

Lykilord: Lærdómur af jarðskjálftum, Lágreist hús, Steinsteypar byggingar, Timburhús, Tjónnæmi, Tölræði tjóns

ABSTRACT

In June 2000, two M_w 6.5 earthquakes occurred in South Iceland and in May 2008 an M_w 6.3 quake struck in the same area. High PGAs (>0.6 g) were registered in all three events. The epicentres were located in an agriculture region and close to small towns and villages. In total, nearly 9,500 residential buildings were affected. A great deal of damage occurred but there was no loss of life. Insurance against natural disasters is obligatory for all buildings in Iceland and they are all registered in a comprehensive property database. Therefore, after each earthquake a field survey was carried out where damage and repair costs were estimated for every structure. Most of the damage was observed in the near-fault area (0-10km) but at longer distances it was significantly less. The damage in the two M_w 6.5 events was considerably greater than in the M_w 6.3 event. In all the events a high proportion of buildings suffered no damage, even in the near-fault area. The main damage was non-structural, in interior walls and flooring. New buildings built after implementation of seismic codes performed better than those built pre-code.

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

INNGANGUR

Bakgrunnur

Mikilvægt er að þekkja tjónnæmi (e. *vulnerability*) bygginga gagnvart jarðskjálftaárána þegar meta á jarðskjálftaáhrættu, bæði við áhættustjórnun og þegar byggingarstaðlar eru uppfærðir og endurbættir. Jarðskjálftaáhrif og jarðskjálftaþol bygginga eru staðbundin og því mismunandi á milli svæða og landa. Eftir stóra jarðskjálfta er mikilvægt að kortleggja og greina tjón til að læra af þeim og byggja upp þekkingu á styrk og veikleika mannvirkja á viðkomandi svæði.

Byggt á upplýsingum úr fasteignaskrá eru um 54% íbúða á Ísland að finna í lágreistum (1-3 hæðir) járnþentum steinsteypum byggingum og um 26% eru í steinsteypum meðalháum (4-7 hæðir) byggingum. Flestar þessar byggingar eru svo nefndar staðsteypar skúfveggja-byggingar. Loks eru um 12% íbúða í lágreistum timburbyggingum. Hlaðnar byggingar úr múrsteini, sem eru algengar í Suðurevrópu, þekkjast nánast ekki á Íslandi. Um tíma voru þó reist hús hér á landi úr vikurholsteini, en síkar byggingar hafa varla verið byggðar eftir 1980.

Hægt er tala um fjórar meginadferðir við að meta tjónnæmi bygginga. Í fyrst lagi matsaðferðir þar sem verkfræðingar leggja huglægt mat á jarðskjálftaþol bygginga (ATC-13, 1985; ACT-13.1, 2002). Í öðru lagi fræðilegar aðferðir þar sem stuðst er við tölvutæk reikniliön og greiningarhugbúnað (Rota, Penna og Magenes, 2010; Silva, Crowley, Varum, Pinho og Sousa, 2014). Í þriðja lagi eru aðferðir sem byggja á tjónagögnum sem safnað er saman í kjölfar jarðskjálfta (Shinozuka, Feng og Lee, 2000; Rossetto og Elnashai, 2003; Rota, Penna og Strobba, 2008; Colombi og fleiri, 2008; Rossetto, Ioannou, Grant og Maqsood, 2014). Í fjórða lagi eru svo aðferðir sem flétta saman aðferðunum, sem nefndar voru hér að framan.

Grundvallaratriði í aðferðum sem byggja á notkun tjónagagna er að hafa nákvæma fasteignaskrá. Stundum eru slíkir gagnagrunnar ekki til eða takmarkaðir við einstök svæði eða þorp. Einnig geta tjónagögn verið rýr, ónákvæm og takmörkuð við úrtak. Gögnin sem notast er við í þessari rannsókn eru ítarleg, bæði hvað varðar tjónskráningu og fasteignaskrá, og sömuleiðis fullþekjandi og án eyða. Tjónagögnin eru frá þremur Suðurlandsskjálftum, nánar tiltekið tveimur frá júní 2000 (M_w 6,5 og M_w 6,5) og einum frá maí 2008 (M_w 6,3). Upptök skjálftanna og tilheyrandi sprungur sem hreyfðust í þessum atburðum eru sýnd á mynd 1. Gögnin frá 2008 eru nákvæmari en frá 2000 og þau hafa áður verið notuð til að rannsaka tjónnæmi og tölræði tjóns (Bjarni Bessason, Jón Örvar Bjarnason, Ari Guðmundsson og Júlíus Sólnes, 2011 og 2013; Bjarni Bessason, Jón Örvar Bjarnason, Ari Guðmundsson, Júlíus Sólnes og Steadman 2012 og 2014). Í þessari rannsókn eru hins vegar í fyrsta sinn skoðuð gögn frá öllum þremur skjálftunum frá 2000 og 2008.

Markmið

Aðalmarkmið rannsóknarinnar var að læra af skráðu tjóni sem varð í Suðurlandsskjálftunum 2000 og 2008, þar sem tæplega 9.500 lágreist íbúðarhús voru útsett fyrir áhrifum þeirra. Í alþjóðlegu samhengi er sjaldgæft að hafa tjónagögn fyrir sams konar byggingargerð frá fleiri en einum skjálfta (Rossetto, D'Ayala, Ioannou og Meslem, 2014). Enn fremur var í könnuninni unnið með gögn frá bæði skemmdum og óskemmdum byggingum, sem er sömuleiðis fágætt í rannsóknum af þessu tagi (Pitilakis, Crowley og Kaynia, 2014). Til viðbótar gefur nákvæmi og undirflokkun gagnanna möguleika á að sundurgreina tjón eftir eðli skemmda (burðarvirki, sökklar, fastar innréttingar, laganakerfi o.s.frv.). Í rannsókninni er tjón skilgreint sem hlutfallið:

$$Tjón = \frac{\text{Áætlaður viðgerðarkostnaður}}{\text{Brunabótamat}}$$

Þar sem áætlaður viðgerðarkostnaður er samanlagður viðgerðarkostnaðar á öllu tjóni í viðkomandi byggingu sem metin er af sérfröðum tæknimönnum. Tjón getur ekki orðið meira en einn (100%). Í Suðurlandsskjálftunum 2000 var tjón upp að 70% gert upp samkvæmt mati. Hins vegar eftir jarðskjálftann 2008 var tjón sem var á bilinu 50 til 70% eða meira flokkað sem alþjón og fullt brunabótamat greitt til viðkomandi eiganda. Í slíkum tilfellum er í rannsókninni unnið með 100% tjónshlutfall. Brunabótamat var sótt í fasteignaskrá Þjóðskrár Íslands.

Jarðskjálftar sem valda tjóni á Íslandi eru gjarnan af stærðinni 6,0-7,0. Stærri skjálftar en sjö verða varla á Íslandi og kemur þar til brotlausn skjálfta, sem og brotstyrkur og þykkt jarðskorpu. Söguleg gögn styðja sömuleiðis þessa fullyrðingu (Páll Einarsson, 1991; Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson og Bjarni Bessason, 2013). Því er óhætt að segja að fyrirgreindir þrjú jarðskjálftar gefi dýrætær upplýsingar um tjónnæmi íslenskra mannvirkja þó fræðilega séð hefðu þeir gefið enn betri upplýsingar hefðu þeir verið stærri og nær efri mörkum. Í tjónnæmisgreiningum er venja að nota einhvern stika til að lýsa jarðskjálftaáhrifum (e. *intensity measure*). Áður fyrr var gjarnan notast við áhrifakvarða eins og Mercalli-kvarðana (Páll Halldórsson, 2013). Í seinni tíð er frekar stuðst við stika sem eru skráðir beint eða óbeint með mælitækjum. Hér má nefna stika eins og hágildi yfirborðs-hröðunar, -hraða eða -færslu (e. *peak ground acceleration, velocity or displacement*, PGA, PGV, PGD). Einnig má nefna svörunarrósgildi sem miðast við grunnsvæflutíma viðkomandi bygginga, og loks stika sem tengjast orkuinnihaldi hreyfingar. Fræðileg rannsókn á tengslum mismunandi stika við tjón á meðalháum járnbentum steinsteyptum byggingum sýndi að hröðunarsvörunarrósgildi fyrir grunntíðni bygginga sýndi bestu fylgnina við tjón og millihæðabjögun (e. *inter-story drift*) og þar á eftir hágildi yfirborðshraða (Kostinakis, Athanapoulou, og Morfidis, 2015). Þetta er þó ekki algild niðurstaða og vitað er margir þættir yfirborðshreyfingar skipta máli sem erfitt er að fanga í einum stika. Þegar tjónnæmi bygginga er metið út frá tjónagögnum þarf að styðjast við dvínunarlíkon til að meta jarðskjálftaáhrif á hverjum stað. Í sumum tilvikum er einnig hægt að styðjast við skráðarraunhreyfingar (t.d. frá Selfossi og Hveragerði eftir Suðurlandsskjálftana 2000 og 2008) og nota slík gögn með dvínunarlíkingum til að áætla staðbundin áhrif. Fjöldi dvínunarlíkinga hafa verið þróaðar. Sumar byggja á gögnum frá mörgum svæðum á meðan aðrar byggja á staðbundnari gögnum. Í seinni tilvikunum eru gagnasöfnin minni og geta því af þeim sökum verið óáreiðanleg. Í þessari rannsókn var ákveðið að fara tvær leiðir við að kanna gögnin og tjónnæmið. Í fyrsta lagi að tengja tjónið við fjarlægðina frá skjálftaupptökum. Þessi aðferðafræði gefur ákveðið yfirlit yfir hvernig mannvirkjatjón dvínar með fjarlægð frá upptökunum og er ekki háð einhverjum áhrifastika sem getur dregið inn óvissu og haft takmarkaða fylgni við tjón. Ókosturinn er sá að aðferðin skilar ekki hefðbundnum tjónaföllum (e. *fragility functions*) sem hægt er að nota til að spá fyrir tjón í skjálftum af annarri stærð

sem og til að bera saman við tjónaföll úr öðrum rannsóknum. Hin leiðin, sem valið var að fara, er hefðbundnari og gekk hún út á að tengja tjónið við reiknuð jarðskjálftaáhrif. Þar sem byggingarnar í þessari rannsókn voru allar lágreistar og stífar var ákveðið að notast við PGA stikann. Allir þrjú atburðirnir höfðu sömu brotlausn, voru nánar tiltekið svo nefndir grunnir sniðgengisskjálftar með lóðréttu brotflæti í jörðu, sem réttlætti að hægt væri að flétta tjónagögnin saman til að meta hefðbundin tjónaföll.

Suðurlandsskjálftarnir í júní 2000 og maí 2008

Brotabelti Suðurlands er eitt virkasta jarðskjálftasvæði Íslands (Páll Einarsson, 1991). Nokkrir stórir jarðskjálftar verða þar á hverri öld, en þeir koma 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 (Decriem o.fl., 2010).

Þann 17. og 21. júní árið 2000 skóku tveir skjálftar Suðurland sem báðir voru af stærðinni M_w 6,5. Sá fyrri átti upptök við Skammbeinsstaði í Holtum og sá síðari við Hestfjall í Grímsnesi. Hágildi hröðunar í þessum skjálftunum mældist við gömlu Þjórsárbrúna eða 0,84 g (sjá t.d. Bjarni Bessason og Einar Hafliðason, 2004). Út frá eftirskjálftum og smáskjálftarannsóknunum hefur brotflötur fyrri skjálftans verið áætlaður um 12,5 km langur og 10 km djúpur, með stefnu 7° austur af norðri, N7°A (Kristín Vogfjörð o.fl., 2013). Brotflötur seinni skjálftans hefur með samskonar aðferðum verið metinn sem 16,5 km langur og 7-9 km djúpur með stefnunna, N1°A. Báðir sprunguflétimír eru sem næst lóðréttir. Stærsti eftirskjálftinn var af stærðinni 5,0 (M_L). Hér á eftir verður 17. júní skjálftinn auðkenndur sem Skj1 og 21. júní atburðurinn sem Skj2.

Þriðji stóri skjálftinn varð svo 29. maí 2008 í Ölfusi, M_w 6,3 að stærð. Í þeim atburði mældist hröðun yfir 0,8 g á nokkrum stöðum í Hveragerði, í svokölluðu ICEARRAY mælaneti sem Jarðskjálftamiðstöð Háskóla Íslands á Selfossi rekur (Benedikt Halldórsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2009). Skjálftinn varð á tveimur misgengjum í Ölfusi. Fyrst hreyfðist misgengi í vestanverðu Ingólfsfjalli til. Það ræsti um einni sekúndu síðar hnik á mun stærra misgengi vestar á svæðinu við bæinn Kross. Lítið hefur verið á þessar tvær misgengishreyfingar sem einn atburð og verður hann hér eftir auðkenndur sem Skj3.

Á mynd 1 eru skjálftaupptök og sprungur skjálftanna þriggja sýnd. Í töflu 1 eru sýnd hnit upptaka sem og endahnit sprungna allra skjálftanna. Valdar tímaráðir sem skráðar voru í þessum jarðskjálftum eru vistaðar í opna evrópska gagnagrunninum ISESD (Ambraseys o.fl. 2002).

Engin íbúðarhús hrundu í þessum þremur jarðskjálftunum, en örfá útihús féllu. Eignatjón var þó mikið. Sömuleiðis urðu engin dauðsföll né alvarleg slys á fólki. Um 40 íbúðarhús voru metin óviðgerðarhæf í skjálftunum árið 2000 og um 30 í 2008 atburðinum. Vænta má fleiri jarðskjálfta af svipaðri stærð í náinni framtíð til að losa uppbyggða streituorku á svæðinu (Decriem o.fl., 2010).

Tafla 1. Hnit upptaka og endapunkta sprungna í Suðurlandsskjálftunum 2000 og 2008 (mynd 1).

Jarðskjálfti	Sprunga	Upptök		Suðurendi sprungu		Norðurendi sprungu	
		Breidd	Lengd	Breidd	Lengd	Breidd	Lengd
Skj1- 17. júní 2000	Aðal	63.97°N	20.35°W	63.915°N	20.380°W	64.029°N	20.355°W
Skj2- 21. júní 2000	Aðal	63.97°N	20.70°W	63.900°N	20.700°W	64.049°N	20.694°W
Skj3- 29. maí 2008*	Eystri	63.98°N	21.13°W	63.95°N	21.07°W	64.03°N	21.07°W
	Vestari			63.89°N	21.17°W	64.07°N	21.15°W

*) Reikningsleg staðsetning upptaka (Benedikt Halldórsson og Ragnar Sigbjörnsson, 2009).

FASTEIGNASKRÁ OG TJÓNAGAGNAGRUNNUR

Fasteignaskrá

Allar byggingar á Íslandi eru skráðar í opinberan fasteignagrunn hjá Þjóðskrá Íslands (2015). Skráin inniheldur upplýsingar um notkun fasteignar, byggingarár, fjölda hæða, byggingarefni, landfræðilega staðsetningu og fleira. Enn fremur er bæði fasteignamat og brunabótamat skráð. Í fjölbýlishúsum er hver íbúð með sér skráningu og sér fasteignanúmer í grunninum. Byggt á gagnagrunninum er hægt að flokka allar íbúðir á Íslandi með mismunandi hætti. Í töflu 2 eru allar

íbúðir flokkaðar eftir hæð bygginga og byggingarefni. Gagnagrunnurinn gefur ekki upplýsingar um meginburðarform, en segja má að meginþorri íslenskra íbúðabygginga innihaldi skúfveggi, sem veita viðnám gegn lárétrri jarðskjálftaáráun. Hlaðnar byggingar eða vægisþolnir burðarrámmar með músteinshleðslum, eins og velþekkt er að nota í suðurevrópskum byggingum, þekkjust varla hér á landi. Það er helst að íslenskar byggingar úr vikurholsteini megi líta á sem hlaðnar byggingar.



Mynd 1 - Kort sem sýnir upptök og misgengi Suðurlandskjálftanna 2000 og 2008. Blái rétthyrningurinn sýnir áhrifsvæði 17. júní 2000 skjálftans sem notað var í þessari rannsókn. Sá rauði sýnir áhrifsvæði 21. júní 2000 og græni hringurinn sýnir áhrifsvæði Ölfuskjálftans. Kortið er byggt á kortagrunni Landmælinga Íslands.

Fasteignaskráin inniheldur engar upplýsingar um jarðvegsaðstæður á þeim stöðum þar sem byggingar standa. Algengt er á byggingarlóðum að efst sé þunnt lag af lífrænum jarðvegi, gjarnan 1-3 m að þykkt. Við byggingarframkvæmdir síðustu áratugi hefur verið venja að hreinsa þetta lag í burtu og annaðhvort að byggja beint á klöpp eða endurfylla með mól og sandi sem síðan er þjappað og bygging reist þar ofan á. Á sumum stöðum á Suðurlandi eru þó að finna þykk setlög sem geta mótað og magnað jarðskjálftabylgjur (Bjarni Bessason og Kaynia, 2004; Bjarni Bessason og Sigurður Erlingsson, 2011).

Flokkun bygginga eftir byggingarefni og fjölda hæða á áhrifsvæði Suðurlandskjálftanna er allt önnur en fram kemur í töflu 2.

Hver skráning í fasteignagrunn miðast við íbúðareiningu og jarðskjálftatjón var metið fyrir hverja slíka einingu. Hver gagnapunktur í

rannsókninni er því tjón í einni íbúð sem getur tilheyrt einbýlishúsi, parhúsi, raðhúsi eða fjölbýli. Flest íbúðarhús á Suðurlandi eru lágrest einbýlis- par- eða raðhús og rannsóknin takmarkast við lágrest íbúðarhúsnæði, fjórar hæðir eða lægra. Fjölbýlishús eru fá á svæðinu og mjög fá þeirra ná fjórum hæðum og ekkert þeirra er hærra en fimm hæðir. Örfá fjölbýlishús, hærri en 2-3 hæðir, urðu fyrir áhrifum jarðskjálftanna í júní 2000. Gögnin fyrir jarðskjálftann í maí 2008 innihalda ekki tjónaupplýsingar fyrir fjölbýlishús sem eru 3 hæðir eða meira. Ætla má að það hafa óverulega áhrif á rannsóknandiurstöður hvort unnið sé með íbúð eða byggingu sem grunneiningu, en rétt þykir að nefna þetta sem forsendu. Loks skal undirstrikað að sumarhús og frístundarhús eru ekki hluti af rannsókninni.

Tafla 2. Flokkun íbúða á Íslandi eftir hæð viðkomandi byggingar og efni (Þjóðskrá Íslands, 2015).

Byggingar-efni	Burðarkerfi með tilliti til jarðskjálfta	Fjöldi hæða	Hlutfall bygginga í hverjum flokki
Járnbent steinsteypa	Skúfveggir	1-3 hæðir	53,7%
		4-7 hæðir	26,4%
		8 eða fleiri hæðir	4,6%
Timbur	Skúfveggir	1-3 hæðir	12,5%
Vikurholsteinn	Skúfveggir	1-3 hæðir	2,8%
Samtals:			100%

Tafla 3. Sundurgreining á tjóni í Suðurlandsskjálftunum 2000 í fimm undirflokkum.

Yfirflokkur	Nr. Undirflokkur
Tjón á burðarvirki	1 Grunnur, undirstöður og botnplata
	2 Burðarvirki (innveggir, útveggir, súlur, bitar, plötur, stigar og þakvirki)
Annað tjón	3 Innanhússvinna (skilveggir, múrverk, niðrhengd loft, klæðning)
	4 Ýmis frágangur (málning, gólfefni, veggflisar, gluggar, bað- og eldhúsinnréttingar)
	5 Lagna- og þjónustukerfi (kalt vatn, heitt vatn, skólplagnir, ofnar, rafkerfi)

Lágrestum íbúðabyggingum á Suðurlandi var í rannsókninni skipt í fimm flokka eftir byggingarefni og aldri. Aðalbyggingarefnin eru steinsteypa, timbur og vikurholsteinn. Jarðskjálftastaðall var fyrst innleiddur á Íslandi 1976, en frá þeim tíma eykst járnbanding í steinsteyptum byggingum. Almennt má þó segja að gömlu lágrestu húsin séu vel byggð þó þau fæst þeirra hafi verið hönnuð með tilliti til jarðskjálfta. Einnig má halda því fram að nýrri lágrestar byggingar hafi almennt ekki krafist sérhæfðrar jarðskjálftahönnunar þar sem þau eru í eðli sínu bæði stíf og sterk. Nýr staðall gerði þó kröfu um lágmarksjárnbandingu sem jók styrk steyptra burðarvirkja. Einnig var í kringum 1980 farið að nota sterkari steypu í byggingar til að auka veðrunarþol. Loks má nefna að frágangur og styrkur undirstaða hefur einnig batnað með árunum þótt erfitt sé að tilgreina eitthvað ár í því sambandi. Niðurstaðan í þessari rannsókn var að nota ártalið 1980 til að greina á milli eldri og nýrri steinsteyptar bygginga. Til að gæta samræmis var sama ártal líka notað fyrir timburbyggingar enda hvíla þær gjarnan á steiptum undirstöðum. Byggingar hlaðnar úr holsteini hafa ekki verið reistar um áratuga skeið. Vegna þess og hversu fáar þær eru var ákveðið að hafa þær allar í einum flokki. Í rannsókninni er því greint á milli fimm byggingargerða, sem hér eftir verða kallaðar *Steypa_{ný}*, *Steypa_{gömul}*, *Timbur_{ný}*, *Timbur_{gömul}* og *Holsteinn*.

Tjónöggn og undirflokkun á skemmdum

Skyld er að brunatryggja allar fasteignir á Íslandi. Brunabótamat miðast við áætlað endurbyggingarverð, að teknu tilliti til ástands og aldurs. Viðlagatrygging Íslands váttryggir allar brunatryggðar fasteignir gagnvart náttúruhamförum, meðal annars jarðskjálftum og eldgosum. Í kjölfar náttúruhamfara eru því allar tilkynntar skemmdir á fasteignum metnar og skráðar af sérstökum matsmönnum sem greina og flokka tjónið (undirstöður, burðarveggir, þakvirki, o.s.frv.) og áætla viðgerðakostnað.

Eftir Suðurlandsskjálftana í júní 2000 var tjón metið í öllum húsum (íbúðum) þar sem tilkynnt var um skemmdir. Tjónið var greint í fimm undirflokkum (tafla 3). Fyrstu tveir lúta að burðarkerfi byggingar og seinni þrjú eiga við um annars konar tjón á byggingu. Tjón í skjálftunum 2008 var greint enn ítarlegar eða í alls tíu undirflokkum. Hver þessa þeirra var svo með fjögur til átta efnisatriði eða samtals 62 efnisatriði (Bjarni Bessason o.fl. 2013 og 2014). Í þessari rannsókn er verið að skoða tjónagögn frá öllum þremur Suðurlandsskjálftunum og því verður grófasta flokkunin frá 2000 að stýra sundurgreiningunni (tafla 3). Auðvelt var að raða gögnum frá 2008 í þá flokka til að samræma gögnin.

Áhrifsvæði jarðskjálfta

Tjónagögnin í þessari rannsókn eru tilkomin vegna þriggja jarðskjálfta. Skráningum tjóna eftir Suðurlandsskjálftana 2000 var safnað saman eftir að báðir atburðir voru yfirstaðnir. Því má ætla að tjón á einstökum byggingum sé vegna áhrifa frá báðum skjálftum. Gögnin sýna hins vegar að tjón dvínar hratt með fjarlægð frá jarðskjálftasprungum og í 10-15 km fjarlægð hefur tjónið minnkað mikið samanborið við styttri fjarlægðir. Í rannsókninni var því talið raunhæft að gera ráð fyrir að allar byggingar austan megin við 17. júní jarðskjálftann hefðu skemmt eingöngu vegna áhrifa hans. Austari réttthyrningur á mynd 1 afmarkar áhrifsvæði þess skjálfta. Á tilsvarendi hátt var miðað við að áhrifa-

svæði 21. júní skjálftans væri eingöngu vestan megin við hann og er það svæði sömuleiðis sýnt með réttthyrning á mynd 1. Byggingar sem lenda á milli misgengjanna, þ.e. á milli réttthyrninganna á mynd 1 var hins vegar sleppt í rannsókninni. Fjarlægð á milli sprungnanna er um 14 km. Tjón vegna Suðurlandsskjálftans í maí 2008 er eingöngu vegna þess skjálfta. Áhrifsvæði þess skjálfta er afmarkað með hring með 35 km radíus í kringum upptök hans (mynd 1). Heildarfjöldi íbúðareininga á þessum merktu svæðum er 9.259.

Í töflu 4 eru sýndur fjöldi óskemmdra íbúða, fjöldi skemmdra íbúða og fjöldi altjóna fyrir mismunandi fjarlægð frá misgengjum fyrir hvern skjálfta fyrir sig. Fjöldinn er sýndur fyrir 5 km breið fjarlægðarbil. Sem dæmi sýnir fjarlægðin 2,5 km allar íbúðir sem staðsettar eru í 0-5 km fjarlægð frá misgengi. Taflan sýnir að fjöldi þeirra er mjög ójafnt dreifður með tilliti til fjarlægðar frá misgengi. Til dæmis má nefna að fyrir 21. júní jarðskjálftann er fjöldi íbúða af gerðinni *Steypa_{ný}* í 0-10km fjarlægð frá misgengi aðeins sex (1+1+2+2) á meðan 308 (181+3+122+2) eru á fjarlægðarbilinu 10-20 km. Mikilvægt er að hafa þetta í huga þegar gögn frá mismunandi jarðskjálftum er sameinuð.

GREINING Á TJÓNAGÖGNUM

Meðaltjón sem fall af fjarlægð

Í stærri jarðskjálftum þar sem misgengi geta verið margir kílómetrar er umfang tjóns frekar tengt fjarlægð frá sprungu fremur en fjarlægð frá upptökum (e. *epicentre*). Í rannsókninni var valið að miða fjarlægð við stystu fjarlægð frá misgengi (mynd 1). Á mynd 2 er sýnt meðaltjónhlutfall íbúða (skemmdar og óskemmdar) fyrir hverja byggingargerð og áhrifsvæði hvers jarðskjálfta (mynd 1). Meðaltjón er fundið fyrir allar íbúðir á 5 km breiðum fjarlægðarbilum. Fyrst er skoðaðar allar byggingar sömu gerðar á bilinu 0-5km með miðgildi fjarlægðar sem 2,5 km, því næst allar á bilinu 5-10 km með miðgildi fjarlægðar sem 7,5 km o.s.frv. Punktarnir sem fást með þessu móti eru svo teiknaðir upp með ferlum. Þegar fjöldi íbúða í einhverju fjarlægðarbili reyndist fimm eða færri var viðkomandi bili sleppt og enginn punktur ákvarðaður fyrir það bil.

Ýmislegt fróðlegt má lesa út úr þessum ferlum. Meðaltjón er marktækt lægra í 2008 skjálftanum en í 2000 skjálftunum á svæðinu næst misgengi (0-10 km). Fyrir meiri fjarlægðir var meðaltjónið minna og erfiðara að greina mun. Hátt meðaltjón teygði sig lengra frá upptökum í 17. júní skjálftanum en í hinum tveimur. Eldri byggingargerðirnar, *Steypa_{gömul}* og *Timbur_{gömul}* skemmdust meira en nýrri gerðirnar. Þetta á við í öllum þremur jarðskjálftunum. Meðaltjón fyrir holsteinsbyggingarnar eru mun meira en fyrir steinsteypu- og timburbyggingarnar í öllum skjálftunum. Fyrir fjarlægðarbilið 10-15 km er meðaltjónið miklu lægra en fyrir skemmi fjarlægðir. Með öðrum orðum tjónið dvínar hratt með fjarlægð. Þetta síðasta atriði réttlætir að meðhöndla sjálfstætt tjón frá annars vegar 17. júní 2000 og hins vegar 21. júní 2000 skjálftunum, ef svæðinu á milli skjálftanna er sleppt (mynd 1).

Hlutfallslegur fjöldi skemmdra bygginga sem fall af fjarlægð

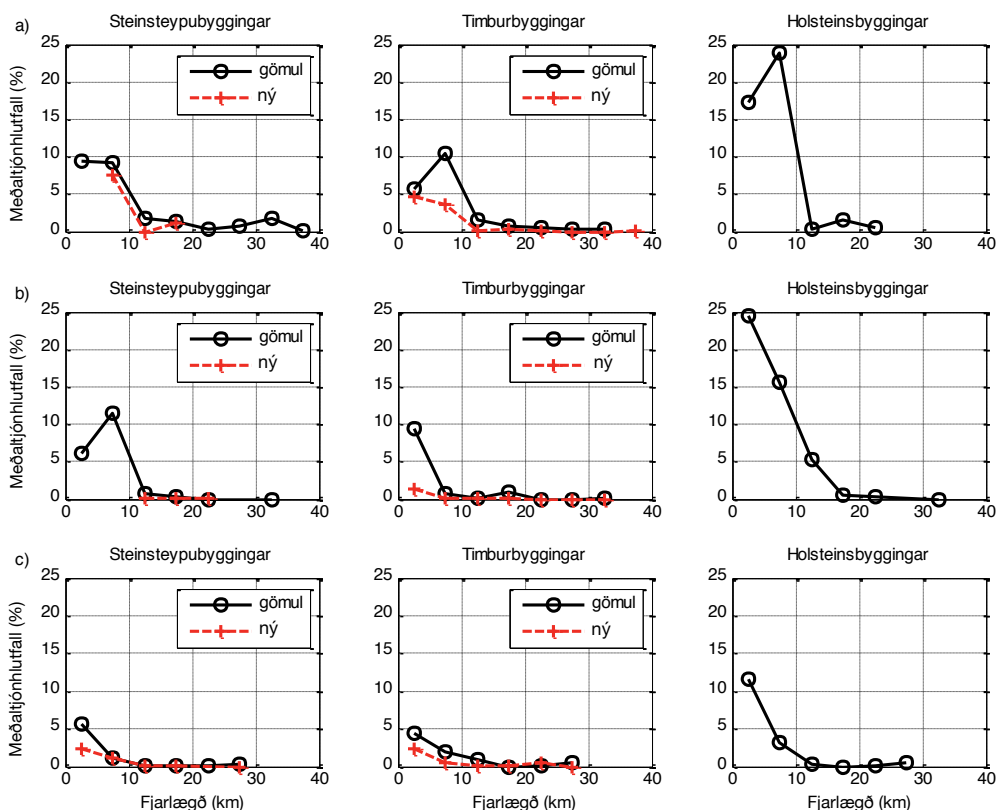
Á mynd 3 er sýnt hlutfall hlutfall skemmdra íbúða af heildarfjölda íbúða sem fall af fjarlægð fyrir hverja byggingargerð og hvern skjálfta. Eins og hér að framan var unnið með allar byggingar innan sama fjarlægðarbils, 0-5 km, 5-10 km o.s.frv. Fyrir byggingar næst misgengi var hlutfall skemmdra íbúða á bilinu 30-75%, en fyrir lengri vegalengdir (>10km)

Tafla 4. Fjöldi óskemmdra (N_{OS}), fjöldi skemmdra (N_S) og fjöldi altjóns íbúða (N_{AT}) fyrir hverja byggingargerð sem fall af minnstu fjarlægð í misgengi fyrir 17. júní 2000 jarðskjálftann (Skj1), 21. júní 2000 skjálftann (Skj2) og 29. maí 2008 skjálftann (Skj3).

Jarð-skjálfti	Fjarlægð (km)	Steypa _{gömul}			Steypa _{ný}			Timbur _{gömul}			Timbur _{ný}			Holsteinn		
		N_{OS}	N_S	N_{AT}	N_{OS}	N_S	N_{AT}	N_{OS}	N_S	N_{AT}	N_{OS}	N_S	N_{AT}	N_{OS}	N_S	N_{AT}
Skj1	2,5	7	13	1	1	2	0	5	2	0	11	9	0	4	1	1
	7,5	54	90	3	6	16	0	13	32	1	32	23	0	14	23	5
	12,5	49	7	0	19	0	0	9	5	0	61	2	0	18	2	0
	17,5	97	45	0	48	16	0	27	6	0	38	4	0	19	8	0
	22,5	31	5	0	0	0	0	17	3	0	9	1	0	4	2	0
	27,5	40	10	0	3	2	0	22	3	0	10	0	0	2	2	0
	32,5	20	8	0	1	0	0	5	1	0	13	0	0	5	2	0
Skj2	2,5	7	13	0	1	1	0	5	6	0	7	8	0	2	4	1
	7,5	14	14	1	2	2	0	7	3	0	17	1	0	4	6	0
	12,5	252	23	1	181	3	0	46	2	0	254	7	0	56	6	3
	17,5	509	24	1	122	2	0	227	6	1	93	1	0	112	8	0
	22,5	325	1	0	131	1	0	247	0	0	77	0	0	90	1	0
	27,5	3	0	0	1	0	0	5	0	0	9	0	0	4	0	0
	32,5	218	1	0	97	0	0	50	1	0	28	0	0	34	0	0
Skj3	2,5	186	728	3	204	391	0	185	294	4	499	602	3	48	179	11
	7,5	56	24	0	14	8	0	82	25	0	89	23	0	26	12	0
	12,5	201	15	0	121	6	0	60	5	0	131	10	0	38	4	0
	17,5	31	1	0	12	1	0	15	0	0	70	2	0	7	0	0
	22,5	41	1	0	4	0	0	15	3	0	52	21	0	12	2	0
	27,5	48	2	0	17	0	0	20	1	0	61	0	0	19	1	0

lækkar þetta hlutfall, eins og við var að búast. Mikilvægt er að taka tillit til þessa þegar tjónalíkön eru búin til. Hlutfallið er að jafnaði hærra fyrir íbúðir sem urðu fyrir áhrifum 17. júní skjálftans heldur en þeirra sem lentu í hinum tveimur skjálftunum. Athyglisvert er að ferlarnir flökta mikið upp og niður fyrir þennan skjálfta og enn fremur fyrir fjarlægðarbilið 25-30 km rís hlutfallið upp í 35% fyrir holsteinsbyggingarnar. Fyrir 21. júní 2000 og 29. maí 2008 skjálftana er hlutfallið af skemmdum íbúðum af öllum íbúðum innan saman fjarlægðar-

bils minna en 15% fyrir öll fjarlægðarbil 10-15 km eða lengra í burtu (myndir 3b og 3c). Ferlarnir sýna jafnframt að í sumum tilvikum er hlutfallið hærra fyrir nýrri byggingargerðir en þær eldri. Þetta er ekki eins og búast hefði mátt við, en sýnir vel flöktið í niðurstöðunum. Í þessu sambandi verður þó að hafa í huga að tjónahlutfallið var ávalt lægra fyrir nýrri byggingargerðirnar en þær eldri.

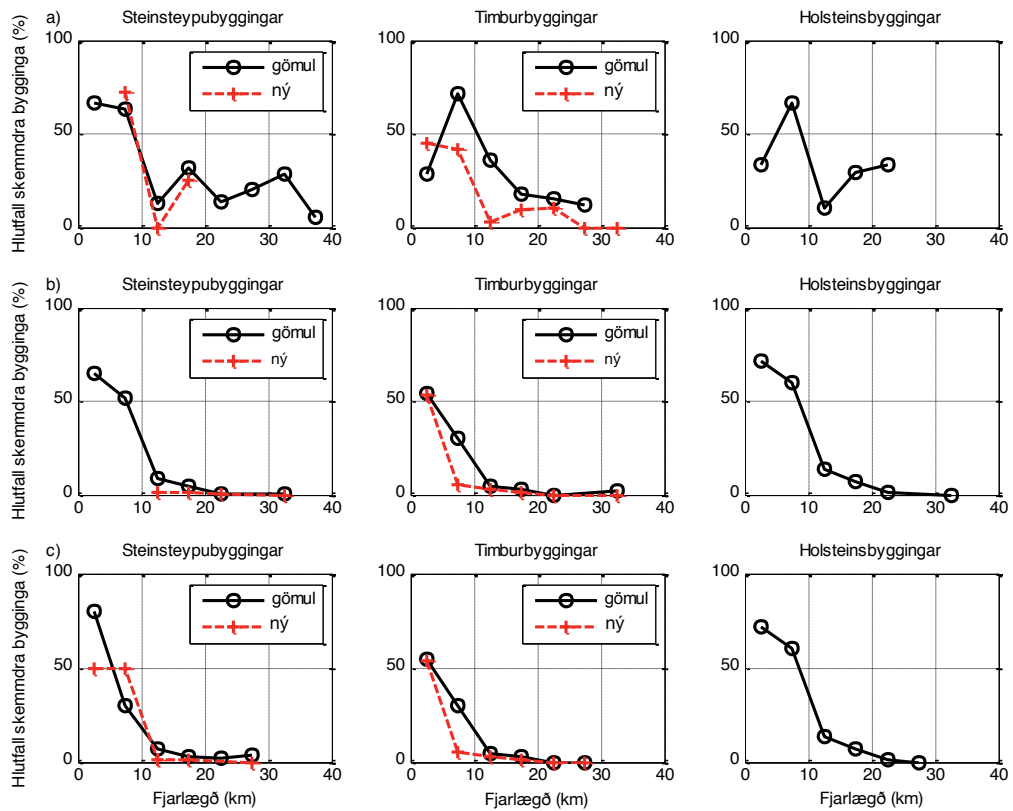


Mynd 2. Meðaltjónhlutfall sem fall af minnstu fjarlægð til misgengis fyrir alla fimm byggingargerðirnar; a) jarðskjálfti 17. júní 2000, b) jarðskjálfti 21. júní 2000 og c) jarðskjálfti 29. maí 2008.

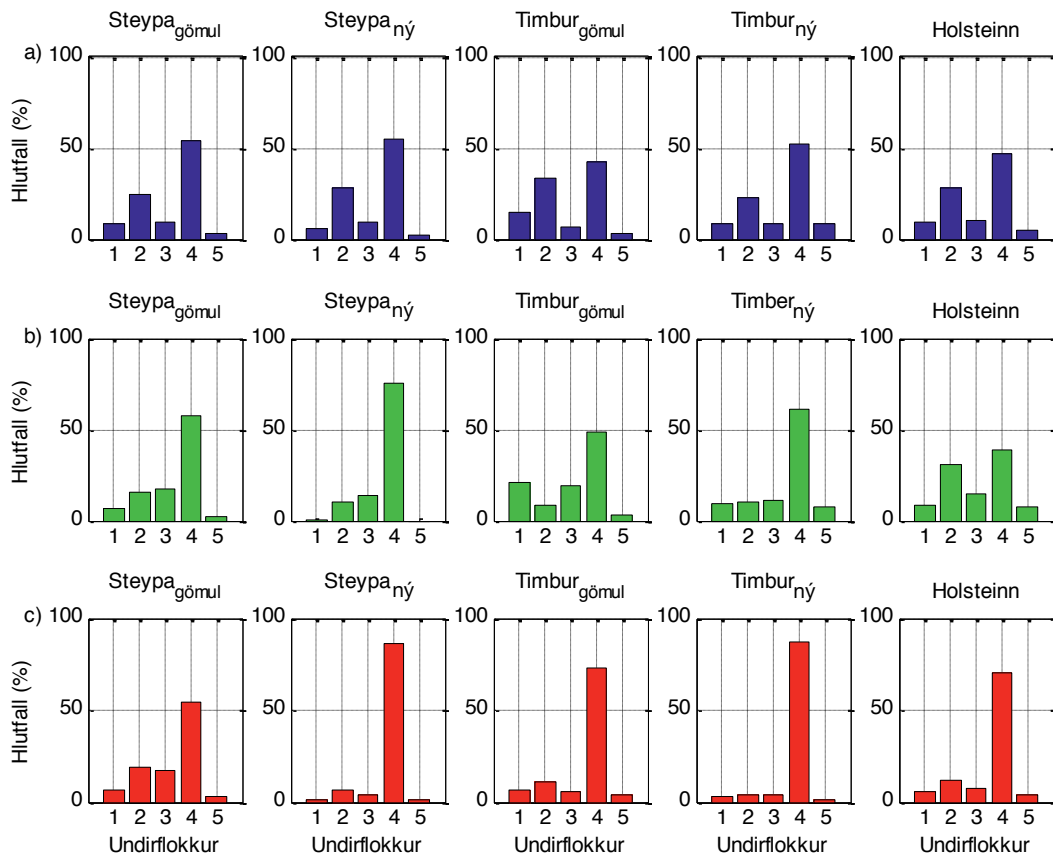
Sundurgreining tjóns

Það hversu ítarleg gögnin eru gefur möguleika á að sundurgreina tjónið. Tjóni fyrir hverja skemmda íbúðareiningu var skipt hlutfallslega á undirflokkana fimm sem skilgreindir voru í töflu 3 þannig að heildarsumman var einn (100%). Út frá þessum hlutfallstölum var hægt að

finna meðaltal hlutfallsskiptingar fyrir hverja byggingargerð og hvern jarðskjálfta (mynd 4). Aðeins skemmdar íbúðir voru teknar með og byggingum á öllum fjarlægðarbilum er blandað saman. Þetta skilar sér í 15 línuritum. Eins og sést er súla 4 hæst í öllum tilvikum. Hún endurspeglar tjón á innanhúsfrágangi, svo sem máluðu yfirborði, gól-



Mynd 3. Hlutfall skemmdra íbúða sem fall af minnstu fjarlægð til misgengis fyrir fimm byggingargerðirnar; a) jarðskjálfti 17. júní 2000, b) jarðskjálfti 21. júní 2000 og c) jarðskjálfti 29. maí 2008.



Mynd 4. Hlutfallsleg skipting tjóns á milli undirflokka fyrir hverja byggingargerð; a) jarðskjálfti 17. júní 2000, b) jarðskjálfti 21. júní 2000 og c) jarðskjálfti 29. maí 2008. Gögnunum fyrir allar fjarlægðir er blandað saman.

fefnum, veggflísnum, gluggum, dyrum, og skemmdum á bað- og eldhúsinnréttungum. Ef byggt er á nákvæmari greiningu gagna eftir Ölfuskskjálftann 2008 og það heimfært yfir á tjónið í 2000 skjálftanum má ætla að megnið af þessu tjóni hafi verið útlitsskaðar á léttum innveggjum, sem hafa þarfnast minniháttar sprunguvíðgerða, spörtlunar og málunar, sem og skemmdir á gólfefnum sem þurfti að endurnýja (Bjarni Bessason o.fl. 2013 og 2014). Einnig sést að skemmdir í þessum undirflokki eru að jafnaði meiri í Ölfuskskjálftanum 2008 en hinum tveimur skjálftunum. Súla 2 er næst hæst á myndunum. Hún tengist skemmdum á burðarvirki (veggir, súlur, bitar, plötur, þak). Eftir skjálftana árið 2000 var þessi tegund skemmda á bilinu 20-35% af heildartjóni á meðan hún var undir 10% eftir Ölfuskskjálftann 2008 ef undanskildar eru gamlar steypar byggingar þar sem hún var nálægt 20%.

Með því að leggja saman súlur 1 og 2 má sjá að skemmdir á burðarvirki voru að jafnaði undir 40% af heildartjóni í öllum tilvikum nema fyrir gamlar timburbyggingar í 17. júní skjálftanum. Í heild má segja að skemmdir á burðarvirki voru marktækt meiri í Suðurlandskskjálftum

$$\log_{10}(PGA) = -1,038 + 0,387 \cdot M_w - 1,159 \cdot \log_{10}\left(\sqrt{H^2 + 2.6^2}\right) + 0,123 \cdot S \quad (\text{m/s}^2) \quad (1)$$

þar sem M_w er vægisstærð jarðskjálfta, H (km) er stysta fjarlægð í áætlaðan feril misgengis á yfirborði (e. *surface trace*). Misgengin eru sem næst lóðrétt og því jafngildir þetta minnstu fjarlægð í misgengin eins og þau eru sýnd á mynd 1. Loks tekur stuðullinn S tillit til gerða jarðvegs undir mannvirki. Ef það er reist á klöpp eða öðru tilsvareandi stífu undirlag er $S=0$, en ef bygging hvílir á mjúkum setlögum er $S=1$ og PGA-gildi hækkar um 33% ($10^{0.123}$). Hvorki tjónmatsskýrslur né fasteignaskrá gefa upplýsingar um jarðvegsaðstæður fyrir einstaka byggingar. Til að ákvarða hvort byggingar hvíli á stífu undirlagi (klöpp eða hrauni) eða setlögum verður því nota jarðfræðikort eða önnur gögn sem byggja á staðbundnum jarðvegsrannsóknnum. Til einföldunar var þó í þessari rannsókn sleppt að leggja mat á jarðvegsaðstæður og notast var við $S=0$ í öllum tilvikum.

Dvínunarlíkingin, jafna (1), var kvörðuð að mestu með íslenskum gögnum en auk þess var bætt við gögnum frá meginlandi Evrópu og frá Austurlöndum (Rajesh Rupakhety og Ragnar Sigbjörnsson, 2009). Báðir láréttu þættir mældra yfirborðshreyfinga voru notaðir frá hverri mælistöð. Aðaleinkenni líkingarinnar, er að hún spáir háum PGA gildum nálægt misgengi sem dvína svo hratt með fjarlægð. Aðrar hliðstæðar líkingar sýna gjarnan lægra PGA við upptök sem aftur á móti dvína hægar með fjarlægð (sjá t.d. Ambraseys, Simpson og Bommer, 1996).

Þó hér sé valið að byggja á PGA stikanum má benda á að orkan sem losnar í skjálfta af stærðinni $M_w 6,5$ er um tvisvar sinnum meiri (100%) en í skjálfta af stærðinni $M_w 6,3$. Þessi niðurstaða fæst ef líkingu Hanks og Kanamori (1979):

$$M_w = \frac{2}{3} \log_{10}(M_0) - 6,0 \quad (2)$$

2000 en í Ölfuskskjálftanum 2008. Ætla má að stærð fyrri tveggja skjálftanna ráði þar mestu (6,5 á móti 6,3).

TJÓNAFÖLL

Áhrifastiki og skemmdarstig

Tjónagögnin má nota til að ákvarða tjónaföll fyrir byggingargerðirnar fimm. Fjöldi aðferða er til í heimildum til að stilla upp og kvarða tjónaföll þar sem byggt er á tjónagögnum. Yfirlit yfir helstu og nýjustu aðferðirnar á þessu svið má finna í skýrslu eftir Rossetto, Ioannou, Grant og Maqsood (2014). Þar er mælt með að prófa mismunandi líkön og prófa sömuleiðis ólíka áhrifastika.

Í þessari rannsókn var til einföldunar og sem fyrsta skref aðeins prófað að nota hágildi yfirborðshröðunar (PGA) sem áhrifastika. Mannvirkin í rannsókninni eru öll lágreistar og stífar skerveggjabyggingar með stuttan grunnsveiflutíma. Þar sem hágildi yfirborðshröðunar er nátengt orku yfirborðshreyfingarinnar við stutta sveiflutíma var álitlegt að nota PGA sem áhrifastika. Til að áætla PGA á hverjum stað var stuðst við dvínunarlíkan frá Rajesh Rupakhety og Ragnari Sigbjörnssyni (2009):

er notuð til að reikna skjálftavægið M_0 og orkulosunina. Ef hins vegar dvínunarlíking (1) er notuð sést að hágildi hröðunar er aðeins 20% hærra á hverjum stað fyrir $M_w 6,5$ skjálfta borið saman við $M_w 6,3$ skjálfta.

Til að ákvarða tjónaföll er nauðsynlegt að skilgreina skemmdarstig. Ýmsar skilgreiningar eru til í heimildum og stundum eru þær huglægar og skemmdum lýst með orðum, en í öðrum tilvikum er byggt á tjónhlutfalli. Í þessari rannsókn var valið að byggja á skilgreiningu eftir Dolce, Kappos, Masi, Penelis og Vona (2006) (tafla 4).

Tafla 4. Skilgreining á skemmdarstigum.

Skemmdastig	Tjónhlutfall	Lýsing skemmda
DS0	0%	Ekkert tjón
DS1	>0 – 5%	Lítið
DS2	>5 – 20%	Nokkuð (e. <i>moderate</i>)
DS3	>20 – 50%	Töluvert til mikið
DS4	>50%	Mjög mikið til altjóns

Sem fyrr segir þekkjast nokkrar aðferðir við að ákvarða tjónaföll. Hér var valið að styðjast við aðferð sem kennd er við Shinozuka (Shinozuka, Feng, Lee, og Naganuma, 2000).

Aðferð Shinozuka

Til að fá yfirlit yfir gögnin var þeim stillt upp í töflu þar sem flokkaðar voru saman íbúðareiningar sem urðu fyrir svipaðri reiknaðri yfirborðshröðun, byggt á líkingu (1). Unnið var með hröðunarbíl sem byggja á fyrirmynd úr grein eftir Wald, Quitoriano, Heaton, og Kanamori (1999) þar sem hröðun var tengd saman við Mercalli kvarðann (tafla 5). Efra

Tafla 5. Fjöldi íbúða sem raðast í mismunandi yfirborðshröðunarbíl fyrir hvern jarðskjálfta.

Hröðun (g)	Steypa _{gömul}			Steypa _{ný}			Timbur _{gömul}			Timbur _{ný}			Holsteinn		
	Skj1	Skj2	Skj3	Skj1	Skj2	Skj3	Skj1	Skj2	Skj3	Skj1	Skj2	Skj3	Skj1	Skj2	Skj3
0,05–0,09	105	544	104	6	230	26	42	302	41	31	113	152	17	128	37
0,09–0,18	193	803	240	83	308	135	46	280	79	99	352	199	41	183	46
0,18–0,34	153	30	74	21	2	22	51	8	103	51	17	104	45	9	37
0,34–0,65	15	21	726	2	2	449	8	13	318	20	15	971	6	8	171
0,65–1,05	13	8	193	2	2	146	3	3	168	12	5	137	3	3	68
N	479	1406	1337	114	544	778	150	606	709	213	502	1563	112	331	359

*) Skj1–Jarðskjálfti 17. júní 2000; Skj2–Jarðskjálfti 21 júní 2000; og Skj3–Jarðskjálfti 29. maí 2008.

gildi neðsta hröðunarbilsins í töflunni var svo sett sem 1,05 g sem fæst með líkingu (1) þegar $H=0$ og $M_w 6,5$ og $S=0$. Hvernig húsin raðast á hröðunarbílun var mjög mismunandi milli skjálfta. Til dæmis þegar hæsta bilið er skoðað (0,65-1,05 g) sést að þar eru flestar íbúðareiningar frá Ölfusskjálftanum (Skj3) sem var minnstur skjálftanna 2000 og 2008 að stærð. Eins og myndir 2 til 4 sýna er ákveðinn eðlismunur á milli tjóna í skjálftunum þremur og því er fróðlegt og gagnlegt að reikna tjónaferla fyrir hvern skjálfta sér áður en gögnin eru sameinuð.

Fyrir hverja byggingargerð, hvert skemmdarstig og hvern jarðskjálfta gengur aðferðafræði Shinozuka út á að máta (e. *to fit*) tveggja stika lognormal dreifingu við gögnin með aðferð sennilegustu gilda (e. *maximum likelihood method*). Sennileikafallið er skilgreint sem:

$$L = \prod_{i=1}^N [G(a_i)]^{y_i} [1 - G(a_i)]^{1-y_i} \quad (3)$$

þar sem G er tjónafall fyrir tiltekið skemmdarstig; a_i er útreiknað PGA gildi fyrir byggingu nr. i þar sem notast er við dvínunarlíkingu (1); y_i er útkoma fyrir slembitöluna Y sem fylgir Bernoulli dreifingu og tekur gildið 1 ef tjón er meira en skemmdarstigið sem til athugunar er en 0 annars; N er svo fjöldi íbúða í hverju tilvik (neðsta lína í töflu 5). Byggt á forsendunni um að tjónaföllin fylgi lognormal dreifingu þá er G skilgreint sem:

$$G(a) = \Phi \left(\frac{\ln \left(\frac{a}{\mu} \right)}{\xi} \right) \quad (4)$$

þar sem Φ er staðlað normaldreifingarfall og μ og ξ eru miðgildi og dreifistuddull fyrir lognormaldreifinguna. Til að meta þessa stika er notast við innbyggt Matlab® fall sem leitar með tölulegum aðferðum að lágildi fallsins $-\ln(L)$ þar sem L er sennileikafallið samkvæmt jöfnu (3). Þegar lágildi finnst er samhliða athugað hvort hlutfleiðurnar af $-\ln(L)$ með tilliti til μ og ξ séu núll eins og vera ber fyrir útgildi:

$$\frac{d(-\ln L)}{d\mu} = 0 \quad \text{og} \quad \frac{d(-\ln L)}{d\xi} = 0 \quad (5)$$

Hefðbundnir stikar í lognormaldreifingu, $LN(\alpha, \beta)$, eru tengdir μ og ξ með jöfnunum $\alpha = \ln(\mu)$ og $\beta = z$. Loks má ákvarða meðalgildi m og staðalfrávik σ af lognormaldreifðu slembibreytunni með vel þekktum jöfnum út frá α og β .

Kannað var hvernig tjónaföllin passa við gögnin fyrir gefna húsgerð og tiltekinn jarðskjálfta. Fyrsta skrefið var að raða gögnunum í hverjum dálki fyrir sig í töflu 5 eftir stærð PGA. Því næst voru 40 fyrstu íbúðirnar í röðuðum dálk settar í grúppu eitt, síðan næstu 40 í grúppu tvö og svo koll af kolli. Síðasta grúppan innhélt svo afganginn af íbúðunum sem ekki náðu að fylla nýja 40 eininga grúppu. Næst var PGA-gildi hverrar grúppu fundið sem meðaltal af reiknuðum PGA gildum fyrir allar íbúðirnar í viðkomandi grúppu. Ennfremur var með beinni talningu fundið út hlutfall íbúða í hverri grúppu sem höfðu hærra skemmdarstig en DS0, DS1, DS2 og DS4, eða samtals fjögur hlutfallsgildi (y -gildi) fyrir hverja grúppu. Þessi hlutfallsgildi, sem og PGA-gildi hverrar grúppu, voru svo notuð til að setja gagnapunkta á sama línur og þar sem útreiknuðu lognormal tjónaföllin voru sýnd. Niðurstaða þessara útreikninga er sýnd á mynd 5 fyrir gamlar og nýjar steinsteyptar byggingar, á mynd 6 fyrir gamlar og nýjar timburbyggingar og á mynd 7 fyrir holsteinshús.

Gagnapunktur dreifast töluvert í kringum tjónaföllin. Eins og áður hefur komið fram er nóg af byggingum með hátt útreiknað PGA gildi til fyrir Ölfusskjálftann 2008 (Skj3), á meðan gagnapunktarnir (byggingarnar) fyrir báða Suðurlandsskjálftana 2000 (Skj1 og Skj2) raðast meira við lægri PGA gildi. Aðferðafræði Shinozuka o.fl. (2000) gengur út á að meta miðgildi og dreifni í lognormal dreifingu. Miðgildið sýnir í reynd það PGA gildi þar sem 50% af íbúðaeiningum yfirstíga tiltekið skemmdarstig. Aðferðafræðin virkar trúverðug fyrir lægri skemmdarstigin DS0 (ekkert tjón) og DS1 (0-5% tjón). Hins vegar fyrir DS2 (5-20% tjón) og DS3 (20-50% tjón) má segja að byggingar með umfangsmeiri skemmdir vanti í gagnasafnið til að fá áreiðanlegt mat á stikunum. Einfaldur framreikningur sýnir að miðgildi PGA er miklu hærra en 1 g fyrir skemmdarstigin DS2 og DS3. Gagnapunktarnir eru því fyrst og fremst að raða sér á vinstri hala lognormaldreifingarinnar og því fæst ekki áreiðanlegt mat á stika dreifingarinnar fyrir þessi skemmdarstig út frá gögnunum. Einnig má nefna að einungis örfáar nýjar steinsteyptar byggingar voru útsettar fyrir mikla yfirborðshröðun í Skj2 og því má segja að allir þeir ferlar séu óáreiðanlegir og ómarktækir. Loks má taka fram að lítið járnbenntar steinsteyptar byggingar sem og holsteinsbyggingar eru líklegar til að brotna stökkt. Skemmdir í slíkum byggingum gætu því stigmagnast þegar jarðskjálftaáran fer yfir einhver ákveðin mörk og burðarþoli þeirra er ofboðið. Allir framreikningar eru því vafasamir.

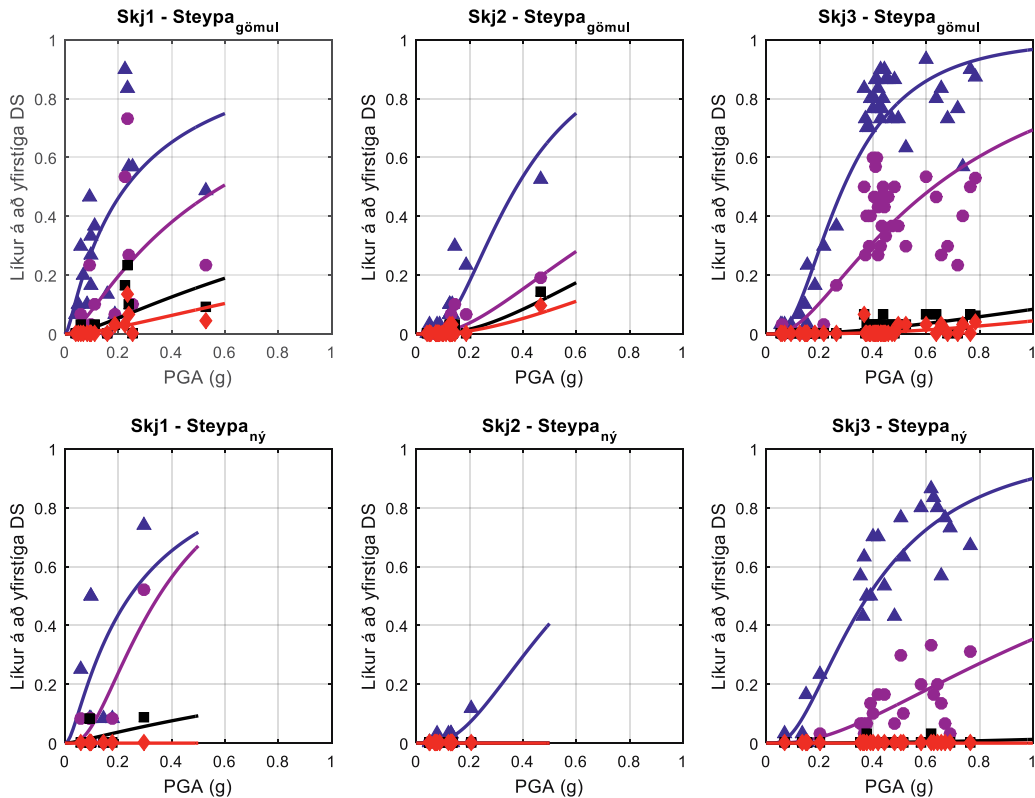
Niðurstaðan er eigi að síður nokkuð skýr. Í öllum þremur Suðurlandsskjálftunum og fyrir allar byggingargerðirnar gildir að aðeins lítill hluti íbúða yfirsteig skemmdastig DS2 (5-20% tjón) eins og sést glögglega af útreiknuðum tjónaföllum og gagnapunktum. Það eru því litlar líkur að fá „töluvert til mikið tjón“ jafnvel þótt yfirborðshröðun sé nálægt því að vera 1 g og byggingarnar staðsettar nálægt misgengjum fyrir jarðskjálfta af stærðinni 6,5 eða minni.

Á mynd 8 eru sýnd tjónaföll þar sem búið er að leggja saman gögn frá öllum þremur skjálftunum. Sem fyrr er byggt á aðferð Shinozuka. Þegar gögnin eru fléttuð saman með þessum hætti verður að hafa í huga að gögn frá Ölfusskjálftanum 2008 vega mest fyrir háu hröðunargildi á meðan Suðurlandsskjálftarnir frá 2000 hafa meira vægi við lág hröðunargildi. Tjónaferlarnir sýna að líkurnar á að yfirstíga DS1, DS2 og DS3 er minni fyrir nýjar steypar og timburbyggingar en fyrir gamlar steypar og timburbyggingar, sem kemur ekki á óvart. Sömuleiðis sést að holsteinsbyggingarnar eru tjónnæmari heldur en aðrar byggingargerðir. Meðalgildi og staðalfrávik fyrir tjónaferla fyrir skemmdarstigin DS0 og DS1 eru sýnd í töflu 6 fyrir allar byggingargerðirnar en ekki fyrir DS2, nema fyrir holsteinsbyggingar, og DS3, þar sem þeir stikar eru talar óáreiðanlegir eins og áður hefur komið fram.

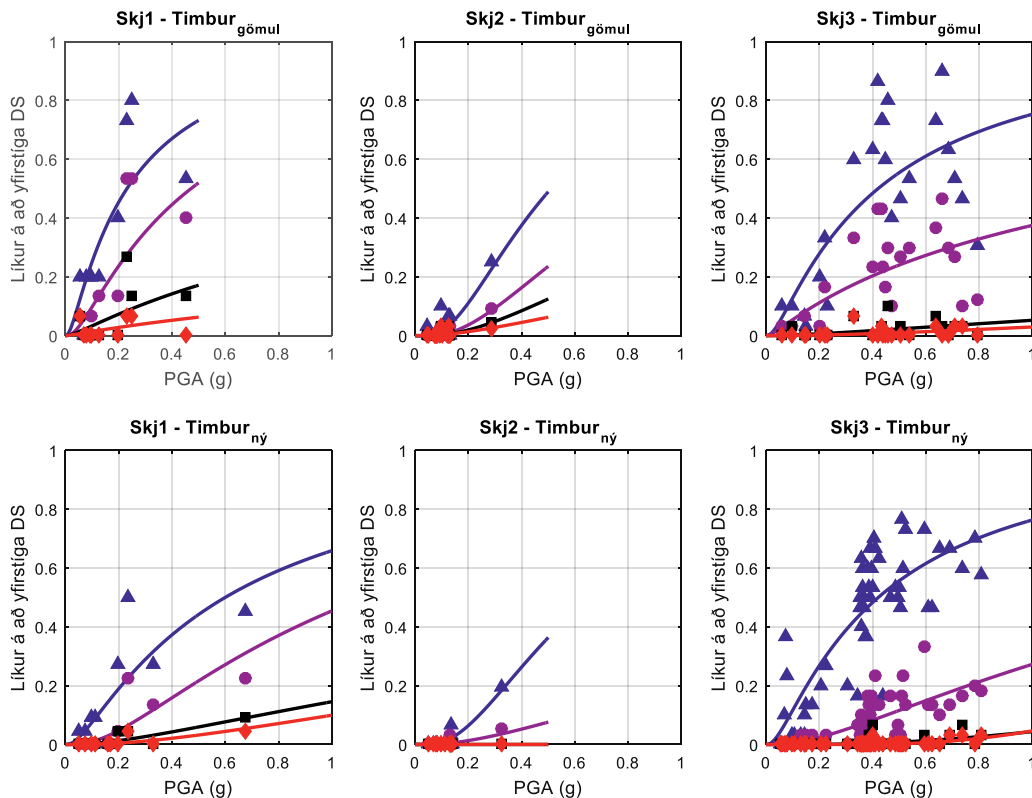
Á mynd 8 eru sýnd tjónaföll þar sem búið er að leggja saman gögn frá öllum þremur skjálftunum. Sem fyrr er byggt á aðferð Shinozuka. Þegar gögnin eru fléttuð saman með þessum hætti verður að hafa í huga að gögn frá Ölfusskjálftanum 2008 vega mest fyrir háu hröðunargildi á meðan Suðurlandsskjálftarnir frá 2000 hafa meira vægi við lág hröðunargildi. Tjónaferlarnir sýna að líkurnar á að yfirstíga DS1, DS2 og DS3 er minni fyrir nýjar steypar og timburbyggingar en fyrir gamlar steypar og timburbyggingar, sem kemur ekki á óvart. Sömuleiðis sést að holsteinsbyggingarnar eru tjónnæmari heldur en aðrar byggingargerðir. Meðalgildi og staðalfrávik fyrir tjónaferla fyrir skemmdarstigin DS0 og DS1 eru sýnd í töflu 6 fyrir allar byggingargerðirnar en ekki fyrir DS2, nema fyrir holsteinsbyggingar, og DS3, þar sem þeir stikar eru talar óáreiðanlegir eins og áður hefur komið fram.

Tafla 6. Metið meðalgildi (m) og staðalfrávik (σ) fyrir tjónaföll þar sem byggt er á lognormal dreifingu og aðferð Shinozuka o.fl. (2000). Stikarnir byggja gögnum frá öllum þremur Suðurlandsskjálftunum 2000 og 2008.

Skemmdastig	Steypa _{gömul}		Steypa _{ný}		Timbur _{gömul}		Timbur _{ný}		Holsteinn	
	m	σ	m	σ	m	σ	m	σ	m	σ
Ekkert tjón	0,381	0,334	0,514	0,466	0,708	0,927	0,700	0,853	0,413	0,423
Lítið tjón	0,957	1,09	3,73	6,85	2,89	6,24	5,42	14,4	0,988	1,320
Nokkuð tjón	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	12,8	50,7
Töluvert til mikið									NaN	NaN



Mynd 5. Tjónaföll sem fall af PGA fyrir Steypagömul og Steypa ný byggingar fyrir Suðurlandsskjálftana 2000 og 2008 (Skj1, Skj2 og Skj3). Blár ferill er fyrir skemmdarstigið DS0, bleikur fyrir DS1, svartur fyrir DS2 og rauður fyrir DS3 (sjá nánar töflu 4). Gögn fyrir há PGA-gildi eru rýr í sumum tilvikum og því eru nokkrir ferlana klipptir

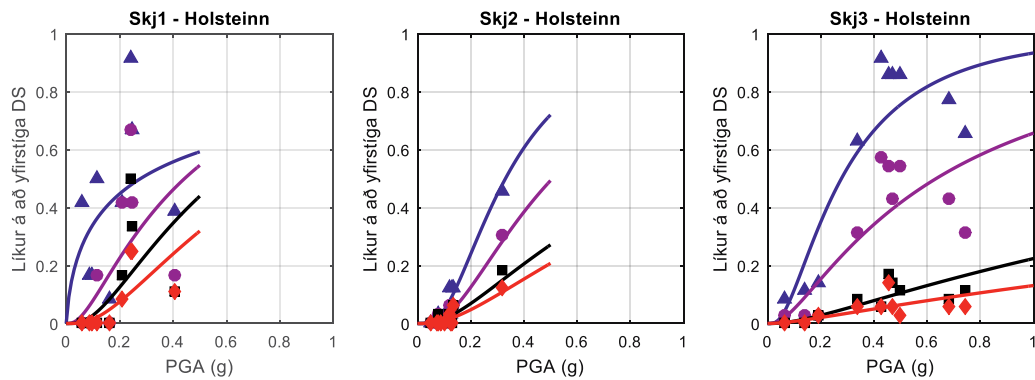


Mynd 6. Tjónaföll sem fall af PGA fyrir Timburgömul og Timburný, byggingar fyrir Suðurlandsskjálftana 2000 og 2008 (Skj1, Skj2, Skj3). Blár ferill er fyrir DS0, bleikur fyrir DS1, svartur fyrir DS2 og rauður fyrir DS3 (tafla 4). Gögn fyrir há PGA-gildi eru rýr í sumum tilvikum og því eru nokkrir ferlana klipptir

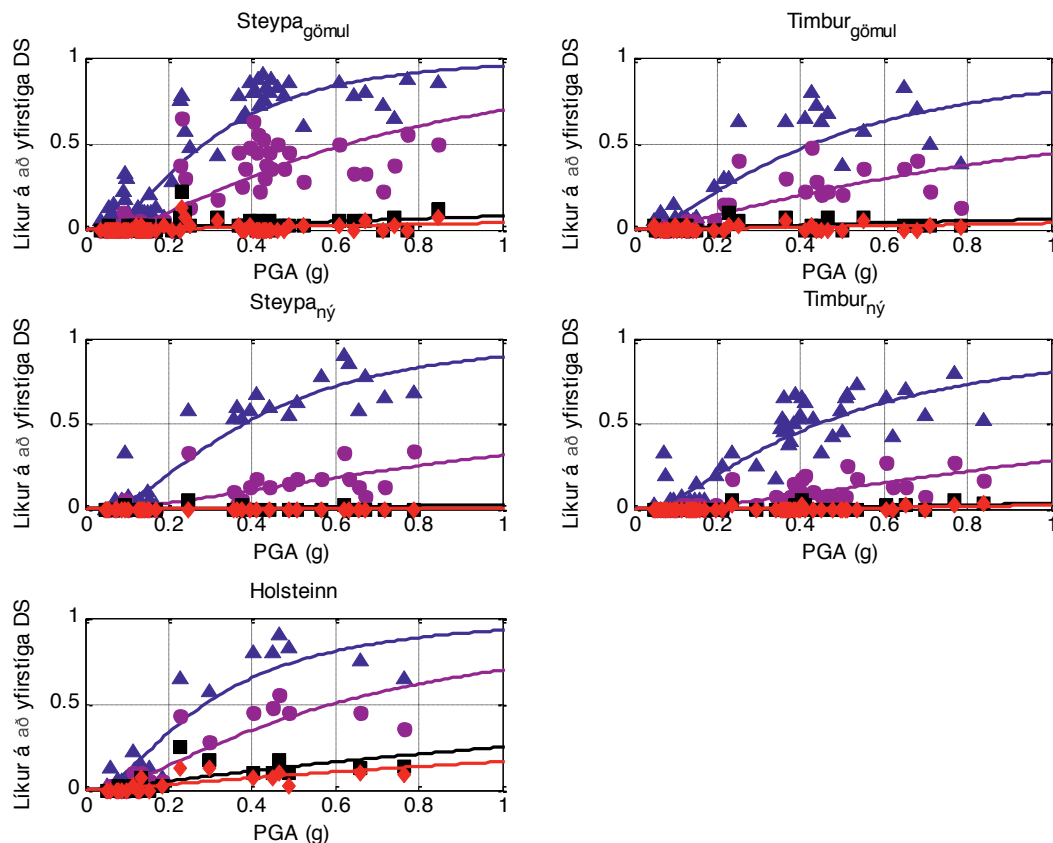
Samanburður á tjónaföllum

Áhugavert hefði verið að bera saman tjónaföllin úr þessari rannsókn við tjónaföll úr öðrum heimildum. Í skýrslu eftir Crowley o.fl. (2011) er sýndur fjöldi tjónafalla fyrir dæmigerðar evrópskar steinsteypu- og múrveggjabyggingar. Föllin þar voru ákvörðuð með fræðilegum

aðferðum en ekki byggð á tjónagögnum eins og í þessari rannsókn sem gerir samanburðinn strax óáreiðanlegri en ef bæði byggðu á sömu aðferðafræði. Erlendu tjónaföllin fyrir lágrest hús eiga einnig illa við íslenskar byggingargerðirnar þar sem burðarvirkið fyrir þau er seigjuþolið rammavirki en ekki skúfveggjavirki eins og í þeim íslensku. Samanburði við erlendu tjónaföll er því sleppt í þessari rannsókn.



Mynd 7. Tjónaföll sem fall af PGA fyrir holsteinsbyggingar fyrir Suðurlands skjálftana 2000 og 2008 (Skj1, Skj2, Skj3). Blár ferill er fyrir DS0, bleikur fyrir DS1, svartur fyrir DS2 og rauður fyrir DS3 (tafla 4). Gögn fyrir há PGA-gildi eru rýr í sumum tilvikum og því eru nokkrir ferlana klipptir



Mynd 8. Tjónaföll sem fall af PGA fyrir fimm byggingargerðir. Tjónagögn frá öllum þremur Suðurlands skjálftunum hafa verið lögð saman. Blár ferill er fyrir DS0, bleikur fyrir DS1, svartur fyrir DS2 og rauður fyrir DS3 (tafla 4).

LOKAORÐ

Í þessari grein hefur verið fjallað um rannsóknir á tjóni á lágrestum íbúðarbyggingum úr þremur stórum Suðurlands skjálftum. Allt tjón sem var tilkynnt í þessum skjálftum var skráð og metið af matsmönnum á vegum Viðlagatryggingar Íslands. Tveir jarðskjálftanna urðu árið 2000 og voru af sömu stærð $M_w 6,5$, en sá þriðji varð 2008 og var af stærðinni $M_w 6,3$. Munur á orkusonun í þessum tveimur skjálftastærðum var um 100%. Allir þrjú skjálftarnir hristu og skóku sömu gerðir bygginga. Í rannsókninni voru einnig teknar með óskemmdar byggingar sem skiptir máli þegar lagt er mat á líkur á að hús sleppi við tjón, sem og þegar meðaltjón er ákvarðað. Um 9.500 íbúðabyggingar urðu fyrir áhrifum frá þessum skjálftum ($PGA > 5\%$) og af þeim skemmdust um 3.200. Aðeins íbúðabyggingar voru skadaðar í þessari rannsókn. Byggingunum var raðað í fimm tegundaflokka: Einn flokk fyrir gamlar steinsteyptar byggingar sem reistar voru fyrir 1980, áður en innleiddir voru sérstakir jarðskjálftastaðlar á Íslandi; einn flokk fyrir nýjar steinsteyptar byggingar reistar eftir 1980; einn flokk fyrir gömul timburhús byggð fyrir 1980; einn flokk fyrir ný timburhús reist eftir 1980; og loks

einn flokk fyrir hlaðin holsteinshús. Í rannsókninni var tjón skilgreint sem hlutfall af áætluðum viðgerðakostnaði á móti brunabótamati samkvæmt Þjóðskrá Íslands. Ýmsan lærdóm má draga af rannsókninni. Aðalatridin og helstu uppgötvanir og eru sýndar hér að neðan:

- Engin dó eða slasaðist illa í þessum þremur jarðskjálftum. Örfáir (<10) urðu fyrir minniháttar meiðslum.
- Engar íbúðarbyggingar hrundu í skjálftunum þremur. Hins vegar voru nokkrar byggingar (<0,5% af heildarfjölda bygginga á áhrifasvæði) það illa laskaðar eftir skjálftana að þær voru metnar sem ónýtar og greiddar út að fullu.
- Mesta tjónið var á svæðum í 0-10 km fjarlægð frá misgengjum. Fyrir meiri fjarlægðir var tjónið marktækt minna.
- Fjarlægð milli misgengja skjálftanna 17. júní og 21. júní 2000 var tæpir 15 km. Hin mikla dvínun tjóns með fjarlægð gerir það að verkum að með því að fjarlægja byggingar úr gagnagrunninum sem staðsettar eru á milli misgengjanna má nálgja tjón á öðrum byggingum (austan misgengis fyrir 17. júní skjálftann, og vestan misgengis

fyrri 21. júní skjálftann) eins og það væri frá tveimur óháðum jarðskjálftum.

- Gögnin sýndu að tjón á nýrri byggingum, sem byggðar voru eftir að jarðskjálftastaðlar voru innleiddir, þ.e. reist eftir 1980, var marktækt minna en í eldri húsum. Leiða má líkur að því að hér hafi þrjú atrið skipt mestu máli fremur en vönduð jarðskjálftahönnun. Í fyrsta lagi voru settar fram nýjar kröfur um lágmarksbendingu í byggingum, í öðru lagi aukinn styrkur steypu, sem var til kominn til að auka veðrunarþol steypu, og í þriðja lagi bæt看ur frágangur á undirstöðum og undirlagi. Hér má nefna að nýrri timburhús eru gjarnan með steypa sökkla og steypa plötu og því gagnast þeim líka lágmarksbending, aukin steypustyrkur og betri frágangur undirstaða.
- Meðaltjónshlutfall næst misgengjum, nánar tiltekið fyrir fjarlægðarbilin 0-5 km og 5-10 km frá misgengjum, fór aldrei yfir 12% fyrir steinsteypar byggingar né timburhús. Þetta á við bæði gamlar og nýjar byggingar.
- Fyrir holsteinsbyggingar fór meðaltjónshlutfall upp í 25% fyrir báða skjálftana 2000 á upptaksvæðunum (0-10km). Þær löskuðust því mun meira en steypar byggingar og timburhús. Hlutfall slíkra bygginga er mjög lítið á landsvísu (< 3%) og hafa varla verið byggðar eftir 1980.
- Tjónöggnin sýndu að á öllum fjarlægðarbilum var umtalsvert hlutfall bygginga sem sluppu án skemmda. Á upptaksvæðunum, 0-10km frá misgengi, var hlutfall óskemmdra bygginga gjarnan á bilinu 30-40%, fór niður í 25% og upp í 60%. Mikilvægt er að taka þessar niðurstöður með í tjónnæmislíkón og þegar tjón er hermt.
- Tjón var bæði meira og útbreiddara í $M_w 6,5$ Suðurlandsskjálftunum tveimur frá 2000 en tjónið í $M_w 6,3$ Ölfusskjálftanum frá 2008.
- Rannsóknin sýndi að tjón á öðrum hlutum bygginga en burðarvirki (e. *none-structural*) voru að jafnaði töluvert meira en tjón á burðarvirki. Fyrir $M_w 6,5$ skjálftana frá 2000 var þetta tjón gjarnan á bilinu 60-70% á meðan þetta hlutfall var gjarnan á bilinu 80-90% fyrir $M_w 6,3$ skjálftann frá 2008. Í öllum tilvikum var mesta tjónið tengt innanhússfrágangi, máluðu yfirborði, gólfefnum, veggjaflium gluggum og dyrum.

Varðandi áframhaldandi rannsóknir á gögnum má nefna að aðeins einni þekktri aðferðafræði var beitt til að meta stika í tjónaföllum. Fleiri fullkonnari tölfræðilegar aðferðir eru þekktar og ætti að skoða í náinni framtíð. Einungis var stuðst við hágildi yfirborðshröðunar (PGA) sem áhrifastika þegar tjónaföll voru kvörðuð. Athuga þarf hvort aðrir stikar séu heppilegri. Tjónagögnin frá jarðskjálftunum þremur voru ekki jafndreifð með tilliti til fjarlægðar frá misgengjum og reiknaðrar yfirborðshröðunar. Skoða þarf fleiri aðferðir en hér var beitt við að flétta gögnin saman. Sú staðreynd að aðeins fáar byggingar voru mikið skemmdar eftir jarðskjálftana gerir það að verkum að erfitt er að meta áreiðanleg tjónaföll fyrir hærri skemmdarstigun (DS2, DS3 og DS4) byggt á fyrirliggjandi gögnum. Þetta þarfnast nánari skoðunar.

Íslensk veðráttu og byggingarhefðir hafa leitt af sér sterkbyggð, lágreist hús, óháð þekkingu manna á jarðskjálftaálagi. Lærdómurinn af þessari rannsókn gefur til kynna að lágreistar íslenskar íbúðarbyggingar standi vel af sér jarðskjálfta af stærðinni $M_w 6,5$ eða minni jafnvel þótt þau standi nærri misgengjum. Út frá rannsóknarlegu sjónarmiði þyrfti í raun stærri og kröftugri jarðskjálfta til að virkilega láta reyna á byggingarnar og fá betri upplýsingar um styrk þeirra og brotmörk en hægt var í þessari rannsókn.

Ætla má að byggingar séu nokkuð einsleitar fyrir allt Ísland þannig að óhætt er að heimfæra tjónaföllin sem byggja á gögnum frá Suðurlandi yfir á sambærilegar byggingar um allt land. Fyrirvari gildir fyrst og fremst um að jarðskjálftar séu ekki mikið stærri en þeir sem hér voru lagðir til grundvallar.

Pakkir

Höfundar vilja þakka Rannsóknasjóði Háskóla Íslands fyrir veittan styrk.

Heimildir

- Ambraseys, N. N., Simpson, K. A., Bommer J. J. (1996). Prediction of horizontal response spectrum in Europe, Earthquake engineering and structural dynamics, 25:371-400.
- Ambraseys, N. 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.
- ATC-13 (1985). Earthquake damage evaluation data for California. Applied Technology Council, Redwood City, CA, 492 bls.
- ATC-13-1 (2002). Commentary on the use of ATC-13 earthquake damage evaluation data for probable maximum loss studies of California buildings. Applied Technology Council, Redwood City, CA, 66 bls.
- 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, Kaynia, A. M. (2002). Site amplification in lava rock on soft sediments, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22:309-332.
- Bjarni Bessason, Einar Hafliðason (2004). Recorded and Numerical Strong Motion Response of a Base-Isolated Bridge, Earthquake Spectra, 20(2):309-332.
- Bjarni Bessason, Sigurður Erlingsson (2011). Shear wave velocity in surface sediments, Jökull, 61:51–64.
- Bjarni Bessason, Jón Örvar Bjarnason, Ari Guðmundsson og Júlíus Sólnes (2011). Jarðskjálftatjónaföll fyrir lágreistar byggingar, Árbók VFÍ/TFÍ, 23:273-281.
- Bjarni Bessason, Jón Örvar Bjarnason, Ari Guðmundsson, Júlíus Sólnes, Steedman, S. (2012). Probabilistic damage curves for low-rise buildings based on field data, Earthquake Spectra, 28(4): 1353-1378.
- Bjarni Bessason, Jón Örvar Bjarnason, Ari Guðmundsson, Júlíus Sólnes (2013). Tölfræðileg greining á tjóni í Ölfusskjálftanum 2008, Verktækni, 19:37-42.
- Bjarni Bessason, Jón Örvar Bjarnason, Ari Guðmundsson, Júlíus Sólnes, Steedman, S. (2014). Analysis of damage data of low-rise building subjected to a shallow Mw6.3 earthquake. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 66:89–101.
- Colombi, M., Borzi, B., Crowley, H., Onida, M., Meroni, F., Pinho, R. (2008). Deriving vulnerability curves using Italian earthquake damage data, Bulletin of Earthquake Engineering, 6:485–504.
- Crowley, H., Colombi, M., Silva, V., Ahmad, N., Fardis, M., Tsionis, G., Papilia, A., Taucer, F., Hancilar, U., Yakut, A., Erberik, M. A. (2011) D3.1 Fragility functions for common RC buildings types in Europe, SYNER-G Deliverable 3.1. 2011. Available from URL: <http://www.vce.at/SYNER-G/files/dissemination/deliverables.html>.
- Decriem, J., Þóra Árnadóttir, Hooper, A., Halldór Geirsson, Freisteinn Sigmundsson, Keiding, M., Benedikt Gunnar Ófeiggsson, Sigrún Hreinsdóttir, Páll Einarsson, LaFemina, P., Bennett, R. A. (2010). The 2008 May 29 earthquake doublet in SW Iceland. Geophysics Journal International, 181(2):1128–1146.
- Dolce, M., Kappos, A., Masi, A., Penelis, G., Vona, M. (2006). Vulnerability assessment and earthquake damage scenarios of the building stock of Potenza (Southern Italy) using Italian and Greek methodologies. Engineering Structures, 28:357-351.
- Hanks, T. C., Kanamori, H. (1979). Moment magnitude scale, Journal of Geophysical Research, 84(B5): 2348–50.
- Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason ritstjórar (2013). Náttúruvá á Íslandi, Eldgos og jarðskjálftar. Háskólaútgáfan og Viðlagatrygging, 789 bls.
- Kostinakis, K., Athanatopoulou, A., Morfidis, K. (2015). Correlation between ground motion intensity measures and seismic damage of 3D R/C buildings. Engineering Structures, 82:151–167.
- Kristín Vogfjörð, Ragnar Sigbjörnsson, Jónas Þór Snæbjörnsson, Benedikt Halldórsson, Júlíus Sólnes, Ragnar Stefánsson (2013). Suðurlandsskjálftarnir 2000 og 2008. Í: Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason ritstjórar. Náttúruvá á Íslandi, Eldgos og jarðskjálftar, Háskólaútgáfan og Viðlagatrygging, 789 bls.
- Páll Einarsson (1991). Earthquakes and present-day tectonics in Iceland, Tectonophysics, 189:261-279.
- Páll Halldórsson (2013). Áhrif jarðskjálfta. Í: Júlíus Sólnes, Freisteinn

- Sigmundsson, Bjarni Besson ritstjórar. *Náttúruvá á Íslandi, Eldgos og jarðskjálftar*. Háskólaútgáfan og Viðlagatrygging, 789 bls.
- Páll Halldórsson, Sveinbjörn Björnsson, Bryndís Brandsdóttir, Júlíus Sólmes, Ragnar Stefánsson, Bjarni Besson (2013). *Jarðskjálftar á Íslandi*. Í: Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Besson ritstjórar. *Náttúruvá á Íslandi, Eldgos og jarðskjálftar*. Háskólaútgáfan og Viðlagatrygging, 789 bls
- Pitilakis, K., Crowley, H., Kaynia, A. M. (2014). Introduction. In: K. Pitilakis, H. Crowley, A. M. Kaynia (Editors) *SYNER-G: Typology definition and fragility curves for physical elements at seismic risk*. Springer, 2014.
- Rajesh Rupakhety, Ragnar Sigbjörnsson (2009). Ground-motion prediction equations (GMPEs) for inelastic response and structural behavior factors, *Bulletin of earthquake engineering*, 7(3):637–659.
- Rossetto, T., Elnashai, A. (2003). Derivation of vulnerability functions for European-type RC structures based on observational data. *Engineering Structures*, 25:1241–1263.
- Rossetto, T., Ioannou, I., Grant, D. N., Maqsood T. (2014). Guidelines for empirical vulnerability assessment, GEM Technical Report 2014-08, 140 pp. GEM Foundation, Pavia, Italy, doi: 10.13117/GEM.VULN-MOD. TR2014.11.
- Rossetto, T., D’Ayala, D., Ioannou I., Meslem, A. (2014). Evaluation of existing fragility curves. In: K. Pitilakis, H. Crowley, A. M. Kaynia (Editors) *SYNER-G: Typology definition and fragility curves for physical elements at seismic risk*. Springer, 2014.
- Rota, M., Penna, A., Stobbia, C. L. (2008). Processing Italian damage data to derive typological fragility curves, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28:933–947.
- Rota, M., Penna, A., Magenes, G. (2010). A methodology for deriving analytical fragility curves for masonry buildings based on stochastic nonlinear analysis, *Engineering Structures*, 32:1312–1323.
- Shinozuka, M., Feng, M. Q., Lee, J., Naganuma, T. (2000). Statistical analysis of fragility curves, *Journal of Engineering Mechanics*, 126:1224–1231.
- Silva V., Crowley, H., Varum, H., Pinho, R., Sousa R. (2014). Evaluation of analytical methodologies used to derive vulnerability functions, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 43(2):181–204.
- Wald, D. J., Quitoriano, V., Heaton, T. H., Kanamori, H. (1999). Relationship between peak ground acceleration, peak ground velocity, and Modified Mercally Intensity in California, *Earthquake Spectra*, 15(3):557–564.
- Þjóðskrá Íslands (2015). <http://www.skra.is/>

Þar sem tvær lagnir koma saman þar ætti að vera brunnur



Byggingarreglugerðir krefjast þess að brunnar séu settir við allar nýbyggingar enda er mikið öryggi og kostnaðarhagkvæmni fólgin í að hafa aðgang að lögnum utanhúss vegna eftirlits og viðhalds.

Sæplast framleiðir brunna til fráveitulagna úr polyethylene-efni (PE).

Í Sæplast-vörulínunni er fjölbreytt úrval brunna til að mæta mismunandi notkunarkröfum.

Brunnarnir eru fáanlegir í þremur þvermálsstærðum: 400 mm, 600 mm og 1000 mm.

ATH. Hægt er að fá upphækkanir á alla brunna.

Fást í byggingavörverslunum um land allt.

Sæplast ráðleggur að ætíð sé leitað til fagaðila um niðursetningu á brunnunum.



RPC

sæplast

HLUTI AF RPC GROUP

SÆPLAST • Gunnarsbraut 12 • 620 Dalvík • Sími 460 5000 • sales.europe@saeplast.com • www.saeplast.com

© Sæplast er skrásett vörumerki í eigu RPC GROUP