

Tjónnæmi brúa gagnvart jarðskjálftaáraun

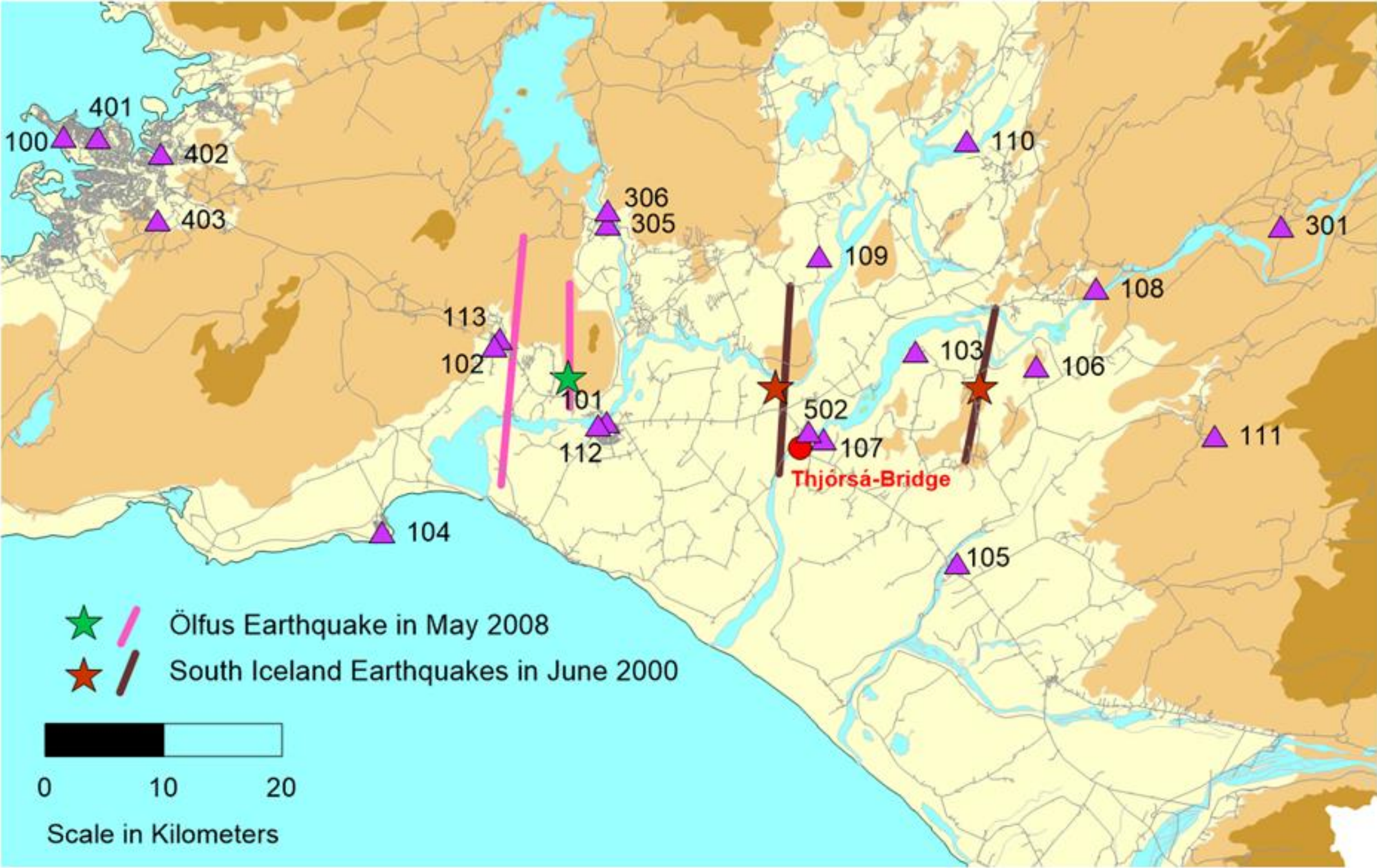
Bjarni Bessason, Ching-Yi Tsai, Ólafur Sveinn Haraldsson

Markmið

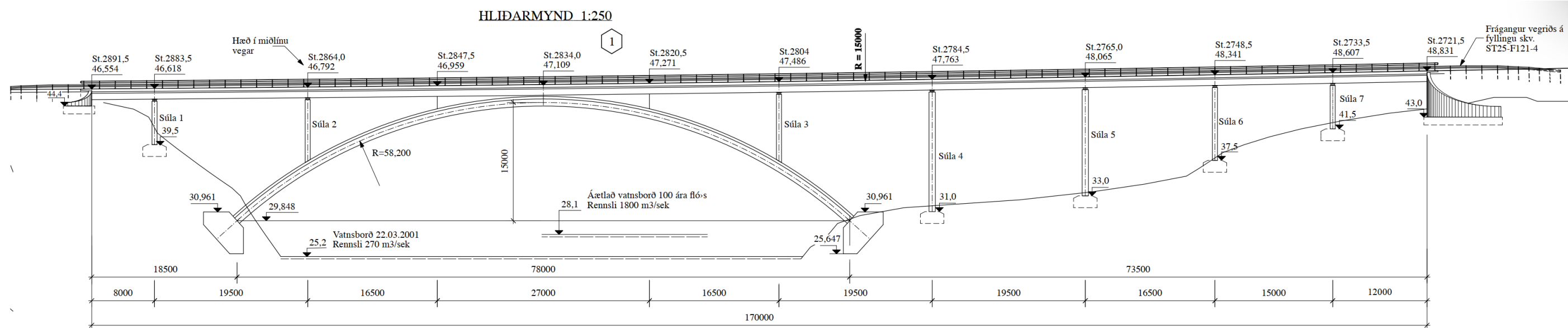
Markmið rannsóknaverkefnis er að þróa og aðlaga aðferðafræði til að meta tjónnæmi brúa gagnvart jarðskjálftaáraun og leggja þannig grunn að áhættu-greiningu á mikilvægum innviðum á brotabelti Suðurlands. Þjorsárbrúin á Þjóðvegi 1 var notuð sem tilviksrannsókn í þessu verkefni.

Bakgrunnur

Þjorsárbrúin var byggð árið 2004. Hún er mikilvægt samgöngumannvirki á Suðurlandi og það eru langar hjáleiðir ef hún skemmist og verður óökufær í jarðskjálfta. Mynd 1 sýnir staðsetningu hennar í miðju brotabelti Suðurlands og nálægð hennar við Suðurlandsskjálftana árið 2000 og 2008. Staðsetning sterkhröðunarmæla HÍ er einnig sýnd á myndinni. Brúin er 170 metra löng og samanstendur af einum 78 metra víðum boga sem þverar ánna og til viðbótar sjö súlum og tveimur landstöplum sem saman bera yfirbygginguna (brúardekkið), sjá mynd 2. Bogi og yfirbygging eru hönnuð sem samverkandi stál-steypuþversnið. Yfirbyggingin er steipt föst við efsta hluta bogans og mikið reynir á bogann og grundun hans í kröftugum jarðskjálftum. Ofan á súlur og landstöpla eru blýgúmmilegur sem draga úr áraun á súlurnar sem eru háar og grannar. Áherslan í þessu verkefni takmarkast við að meta tjónnæmi leganna í brúnni en í raun er hægt að nota sama tölulíkan og aðferðafræði við að meta tjónnæmi annarra burðareininga og kriticalra þversniða í brúnni.



Mynd 1 –Þjorsárbrú og nálægð við upptök Suðurlandsskjálftana 2000 og 2008. Bláir þríhyrningar sýna staðsetningu sterkhröðunarmæla HÍ.

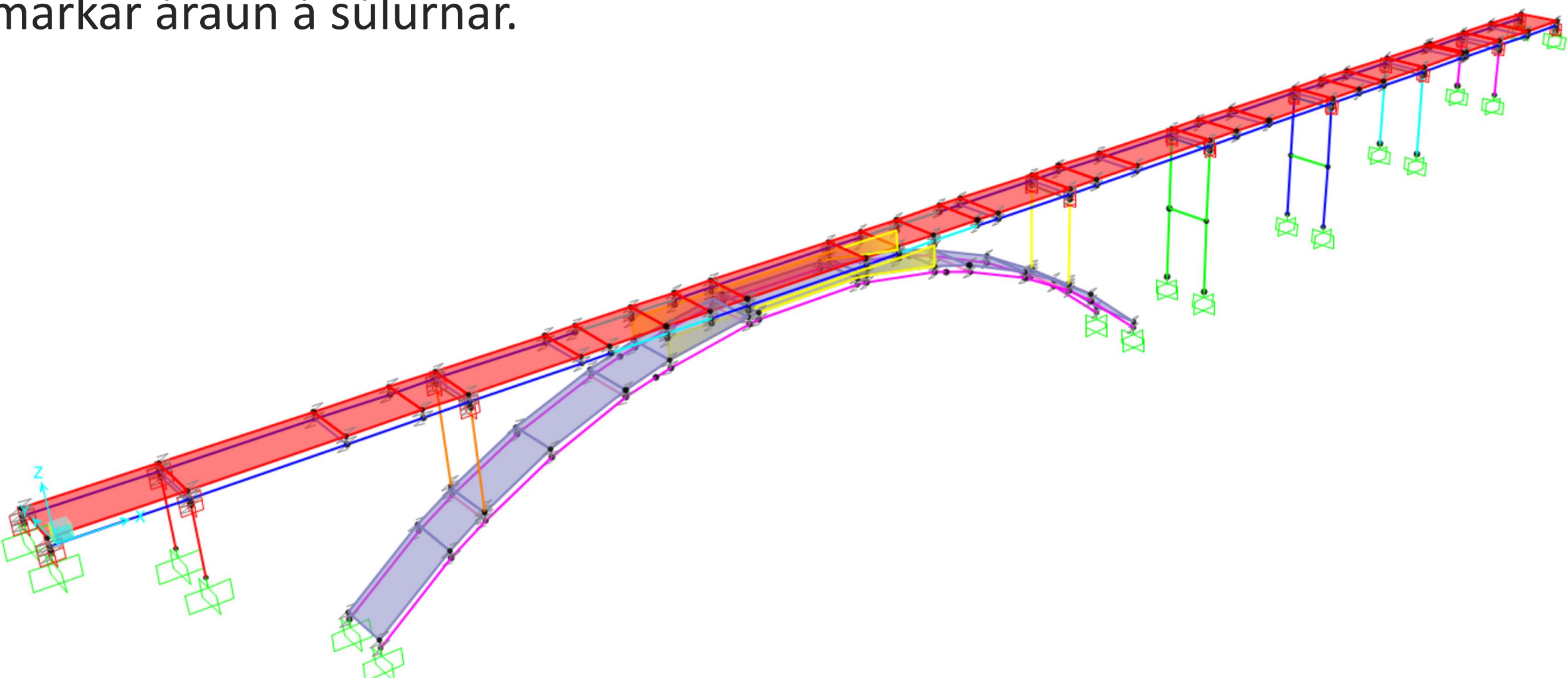


Mynd 2: Teikning af Þjorsárbrúnni (Vegagerðin, 2002)

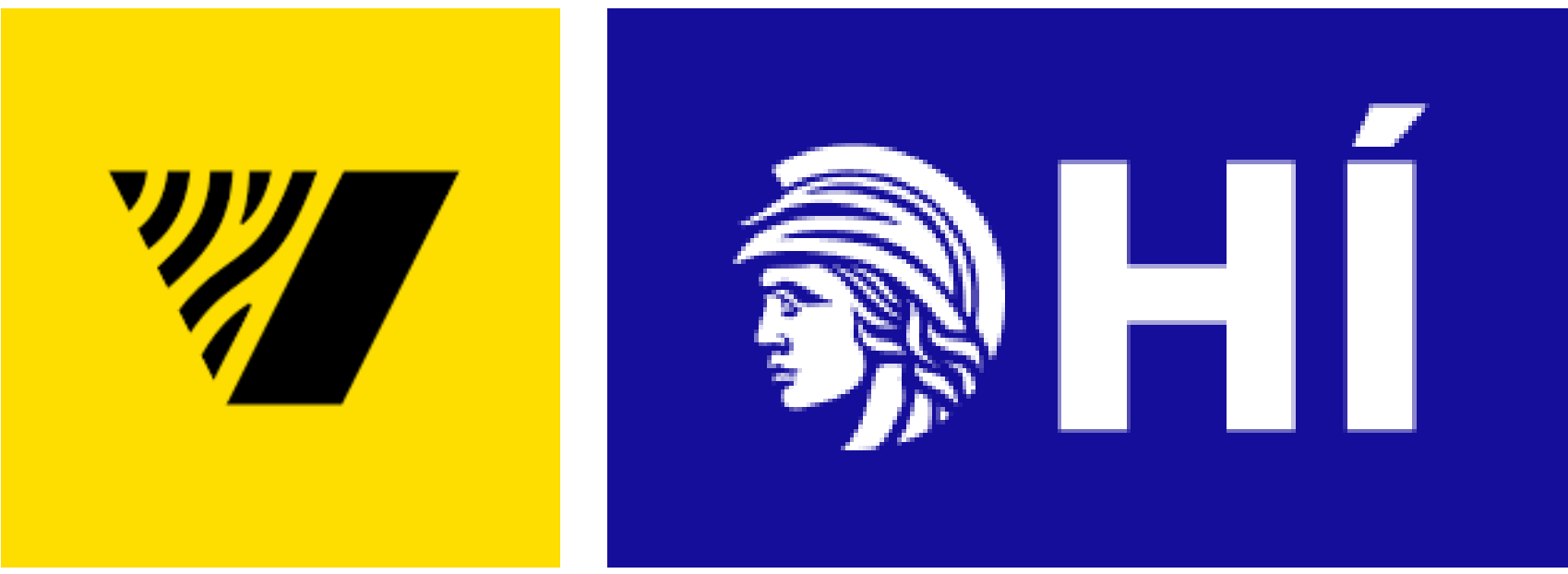
Aðferðir

Aðferðafræðin byggir á tölulegri greiningu til að meta tjónnæmi brúarinnar vegna jarðskjálftaáraunar. Mynd 3 sýnir þrívíddarlíkan brúarinnar sem er útfært í SAP2000 hugbúnaðinum með einingaaðferðinni. Yfirbygging, súlur og bogi eru hermd með víðeigandi einingum (ramma- og skeljaeiningar) og gert er ráð fyrir að allar undirstöður séu grundaðar og festar við undirliggjandi grunnberg. Þetta á sérstaklega við bogann sem er í reynd festur niður með bergankerum.

Í tölulíkaninu eru notaðar sérstakar ólínulegar tengieiningar til að herma hegðun jarðskjálftaleganna ofan á súlunum (Nonlinear Link Elements). Hönnun þeirra miðast við að þær fari á flotsvið við kröftuga jarðskjálftaáraun og framkalli við það hreyfiorkudeyfingu í formi hysteresuslaufa, samhliða sem þetta ferli takmarkar áraun á súlurnar.



Mynd 3: Tölulíkan af Þjorsárbrúnni í þrívídd tekið úr SAP2000



Rannsóknarráðstefna Vegagerðarinnar 7. nóvember 2025

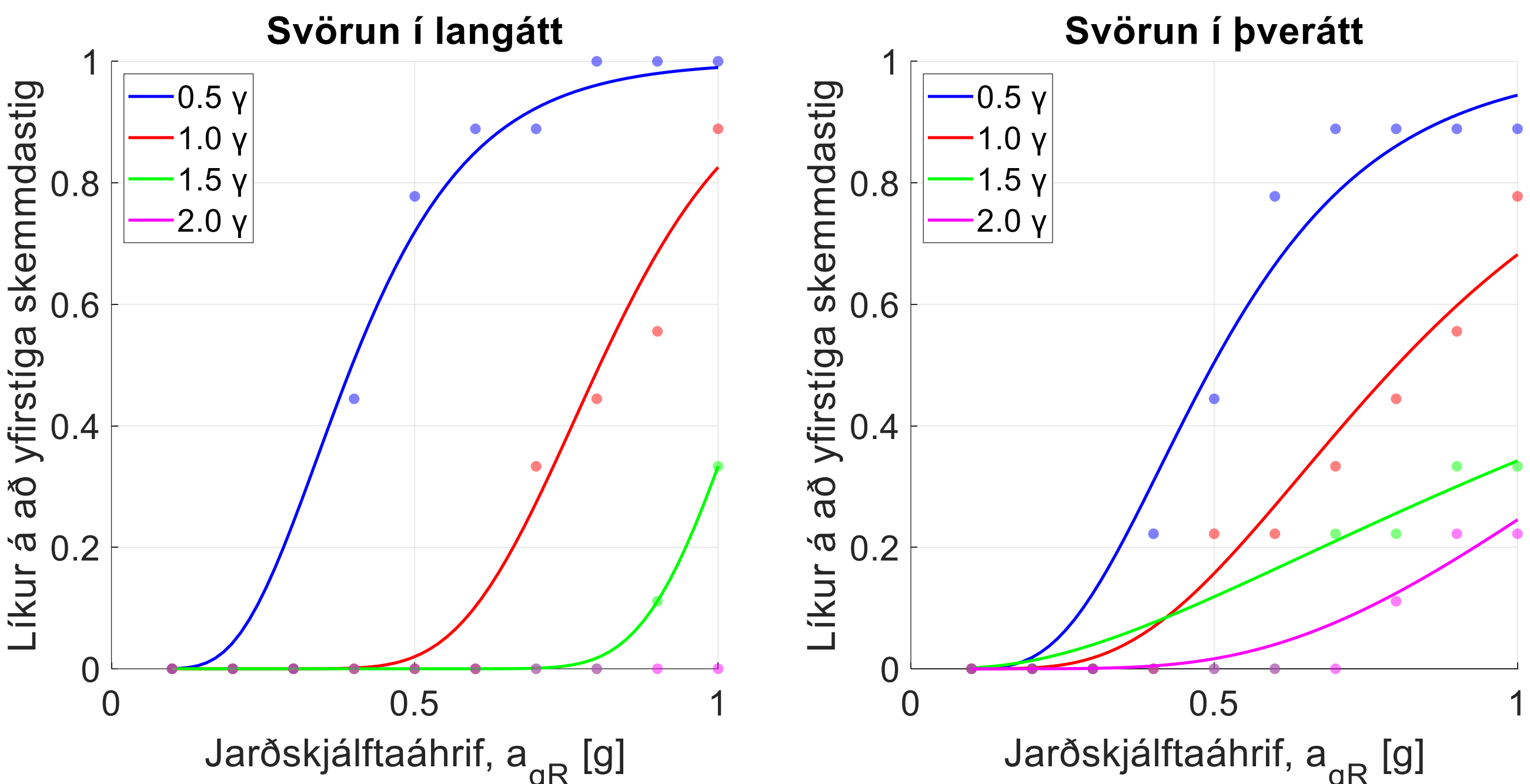
Til að meta tjónnæmi brúarinnar var notast við ólínulega tímaraðagreiningu. Valdar voru níu tímaraðir sem skráðar voru í Suðurlandsskjálftunum árið 2000 og 2008. Mynd 1 og tafla 1 og gefa nánari upplýsingar um mælistaði og mæld útgildi hröðunar (*PGA*) í þrjár stefnur. Tímaraðirnar voru kvarðaðar með sérstökum hætti út frá jarðskjálftarófi Eurocode 8 og þannig tengdar við hröðunargrunngildi staðalsins, a_{gR} . Tímaröðunum var beitt á brúarlíkanið með stigvaxandi ákefð (*Icremental Dynamic Analysis*). Í rannsókninni eru eingöngu horft á svörun lega og reiknuð aflögun þeirra notuð til að áætla skemmdir. Áraun á aðrar kriticalar burðareiningar, eins og t.d. boga og súlur, er sleppt. Aflögunin er síðan notuð til að ákvarða skemmdaferla (*Fragility curves*) lega sem gefa líkur á að yfirstíga tiltekið skemmdastig (*Damage states*) sem fall af jarðskjálftaáhrifum sem lýst er með a_{gR} . Skilgreind voru fjögur stig skemmda; „*litlar*“, „*miðlungs*“, „*miklar*“, og „*mjög miklar*“ út frá skeraflögun gúmmís í legum. Mörkin milli skemmdastiga miðast við 0.5γ, 1.0γ, 1.5γ og 2.0γ. Hér þýðir sem dæmi 0.5γ, að mismunafærsla á milli efri og neðri brún legu sé 50% af heildargúmmíþykkt hennar. Ef aflögunin er minni verða engar skemmdir. Aðhvarfsgreiningu er notuð til að fella lognormaldreifingarfall að reiknuðum líkum á að áraun, við gefin jarðskjálftáhrif, yfirstígi skilgreind mörk milli skemmdastiga.

Tafla 1: Jarðskjálftatímaraðir sem notaðar voru í greiningunni

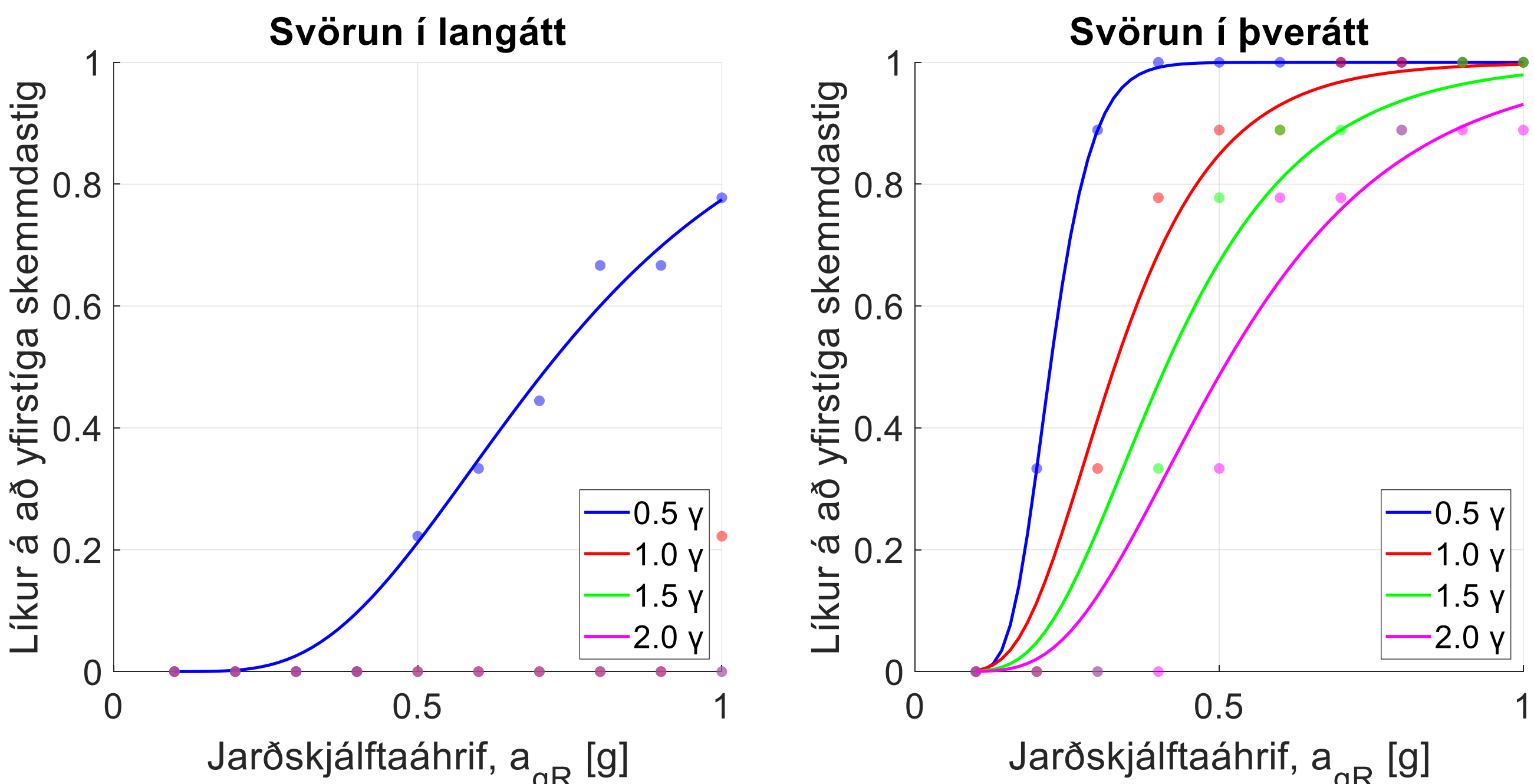
Jarðskjálfti	Nr.	Stöð	Jarðvegsflokkur	PGA _x (g)	PGA _y (g)	PGA _z (g)
Holt	105	Hella	Samlímt malarefni	0.208	0.477	0.182
17.06.00	106	Flagbjarnarholt	Grunnberg	0.318	0.338	0.273
M _w =6.50	103	Kaldárholt	Grunnberg	0.625	0.512	0.667
Hestfjall	502	Þjorsárbrú (Vesturbakki)	Hraun/Setlög	0.744	0.838	0.422
21.06.00	107	Þjorsártún	Grunnberg	0.529	0.568	0.325
M _w =6.42	109	Sólheimar í Grímsnesi	Setlög	0.420	0.721	0.420
Ölfus	113	Hveragerði, Ás	Grunnberg	0.664	0.468	0.437
29.05.08	112	Selfoss, ráðhús	Grunnberg	0.536	0.326	0.251
M _w =6.29	101	Selfoss, sjúkrahús	Grunnberg	0.509	0.217	0.180

Niðurstöður

Ákvarðaðir voru skemmdaferlar þar sem kröftugri láréttri stefnuþáttur tímaraðanna (sjá feitletruðu gildi í töflu 1) verkar annars vegar í langátt (mynd 4) og hins vegar í þverátt (mynd 5). Í hvoru tilviki er skeraflögun lega í bæði lang- og þverátt skoðuð. Greiningin leiðir í ljós að aðaláraun í þverátt og svörun í þverátt er kriticalust (mynd 5 til til hægri). Fyrir þetta tilfelli, er sem dæmi, um 35% líkur á að yfirstíga „miðlungs“ skemmdstigið (1.0γ) við PGA=0.3g. Ferlarnir gefa tölfræðilegt mat á skemmdum og þjóna sem grunnur fyrir áhættumat á Þjorsárbrú. Tilsvarendi skemmdaferla þarf svo að reikna fyrir aðra kriticala staði í brúnni.



Mynd 4: Skemmdaferlar fyrir legur. Aðaláraun í langátt.



Mynd 5: Skemmdaferlar fyrir legur. Aðaláraun í þverátt.

Þakkir

Sérstakar þakkir fær Vegagerðin fyrir að veita aðgang að teikningum og fjármagni sem voru nauðsynleg fyrir framkvæmd þessarar rannsóknar.