

Bergsprungur og byggingar á höfuðborgarsvæðinu

Dr. Páll Einarsson, prófessor^a, Dr. Haukur Jóhannesson^b, Dr. Ásta Rut Hjartardóttir^a

^aJarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, Askja 101 Reykjavík.

^bJarðfræðipjónusta Hauks Jóhannessonar, Barðavogi 44, 104 Reykjavík.

Fyrirspurnir:

Dr. Páll Einarsson
palli@hi.is

Greinin barst 7. september 2017.
Samþykkt til birtingar: 10. nóvember 2018

ÁGRIP

Útdráttur: Staða Íslands á flekaskilum meginfleka býður upp á aðstæður sem finnast óviða annars staðar og krefst sérstakrar aðgátar við mannvirkjagerð. Þéttbýli á Íslandi færast nú óðfluga inn á svæði þar sem berggrunnur er sundurskorinn af virkum misgengjum og sprungum. Sprungusveimur kenndur við Krísuvík liggur um austustu hluta höfuðborgarsvæðisins. Virkni á sprungum hans tengist að öllum líkindum kvikuhreyfingum í eldstöðvarkerfi Krísuvíkur og á flekaskilunum á Reykjanesskaga sem láta til sín taka á þúsund ára tímakvarða. Hætta sem mannvirkjum er búin stafar annars vegar af færslum um sprungurnar í tengslum við slíka virkni og hins vegar af gjókti þegar bylgjur frá fjarlægum skjálftum ganga yfir. Tjón má að líkindum fyrirbyggja að talsverðu leyti með því að forðast að byggja mannvirki yfir sprungurnar. Mælt er með breyttu verklagi við mannvirkjagerð á virkum sprungusvæðum.

ABSTRACT

Abstract: Straddling the boundary between two of the major tectonic plates on Earth, Iceland offers unique conditions for engineering structures that require special attention. Urban areas are rapidly expanding into areas where the bedrock is cut by numerous active fractures and faults. The fissure swarm of the Krísuvík volcanic system runs through the outskirts of Reykjavík and other towns of the metropolitan area. Activity of its fractures mostly occurs during magmatic events along the Reykjanes Peninsula oblique rift on a thousand years timescale. Hazard caused by the fractures is mostly twofold: Relative displacement of the walls of the fracture during magmatic intrusion and small relative displacements during the passage of seismic waves from distant earthquakes may damage structures built across them. The risk of structural damage may most likely be reduced considerably by avoiding building structures across the fractures. We suggest a change in building practice in fractured areas to achieve that.

Inngangur

Ísland er um margt frábrugðið öðrum löndum og margs að gæta við mannvirkjagerð sem ekki þarf annars staðar. Flekaskil milli tveggja stærstu jarðskorpufleka jarðarinnar liggja í gegnum landið (1. mynd), og það er því nokkuð sérkennilega í sveit sett með tilliti til jarðskorpuhreyfinga. Á seinustu áratugum hefur byggð og mannvirkjagerð færst lengra inn á svæði þar sem virkar bergsprungur eru algengar. Þetta á sérstaklega við um höfuðborgarsvæðið en önnur þéttbýlissvæði má einnig nefna, t.d. Húsavík, Kópasker, Selfoss og Grindavík. Í umfjöllun framkvæmda aðila um sprungurnar og þau atriði sem varast ber gætur stundum nokkurrar ónákvæmni og stundum vantar á að þeir sem um málið fjalla hafi fylgst með breyttum hugmyndum og auknum skilningi sem fengist hefur með rannsóknum hin síðari ár.

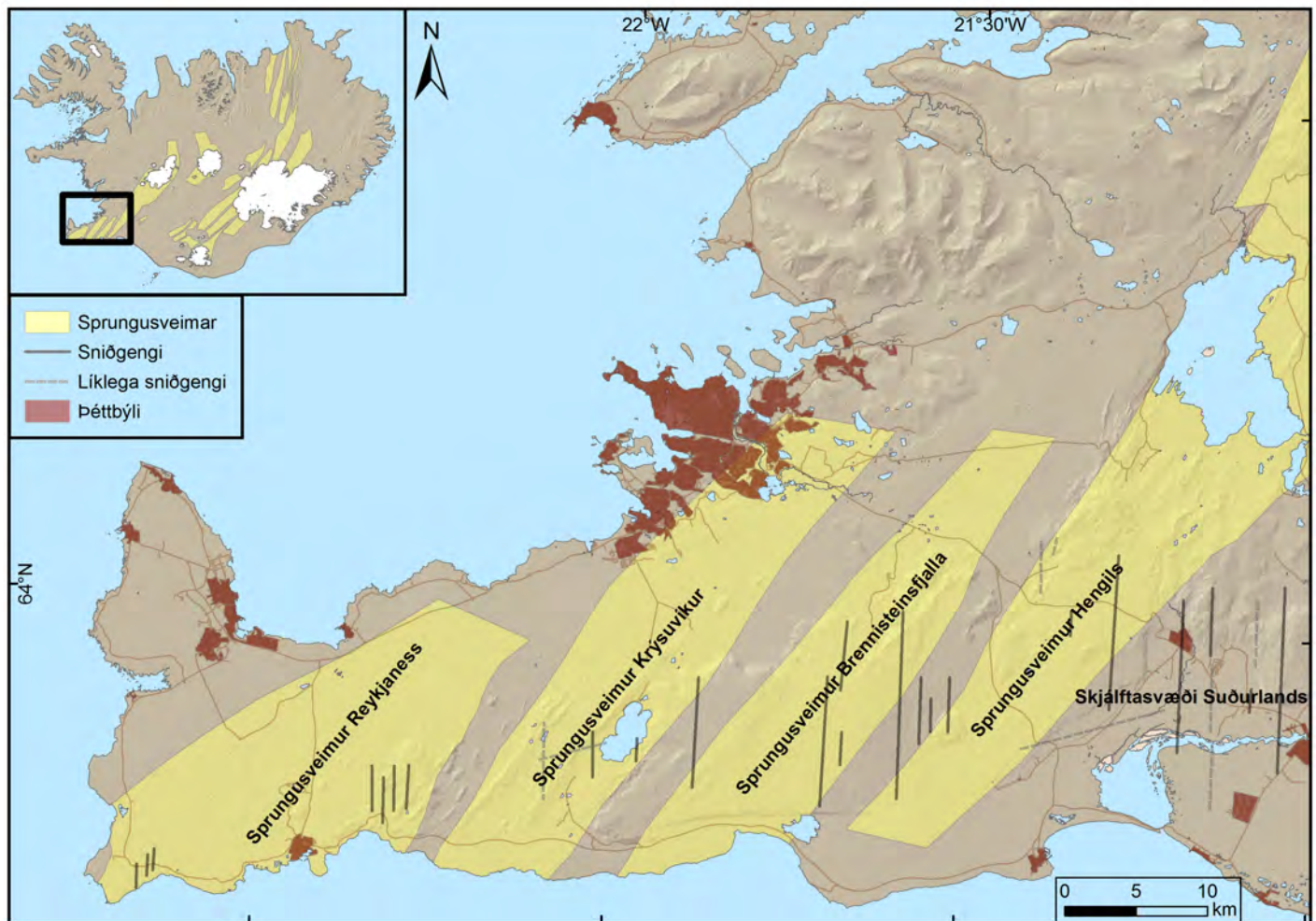
Skilin milli Norður-Ameríkuflækans og Evrasíuflekans liggja eftir Reykjanesskaga endilöngum (sjá t.d. greinar eftir Pál Einarsson 2008 og Sveinbjörn Björnsson o. fl. 2018). Þau ganga á land norðan Reykjanestár, liggja undir Svartsengi, austur undir Fagradalsfjall, Krísuvík, allt austur undir Helliheiði. Þar greinast þau í tvennt. Önnur greinin fer til NA um Þingvelli og Langjökul, hin til austurs um skjálftasvæði Suðurlands og er hún miklu virkari. Hraði færslunnar milli flekana er um 19 mm á ári á Reykjanesskaga og er hann jafn milli ára. Skilin eru þó engan vegin grön lína heldur á aflögunin sér stað á um 30 km breiðu belti umhverfis skilin. Innan aflögunarbeltisins hleðst upp spenna sem losnar í snöggum atburðum, bæði jarðskjálftum og kvikutengdum atburðum, innskotum og eldgosum. Þessir atburðir eru ekki jafndreifðir í tíma og virðist tímasetning þeirra ráðast að nokkru af framboði á bergkviku úr mötli jarðar. Svo virðist sem kvikuvirknin sé bundin við kvikutímabil, sem standa í nokkur hundruð ár (Kristján Sæmundsson og Magnús Sigurgeirsson 2013). Milli kvikutímabila virðast líða um þúsund ár. Fyrstu aldirnar eftir landnám Íslands gekk hrina eldgosu yfir Reykjanesskaga sem endaði árið 1240. Síðan þá hefur flekahreyfingin leitt til jarðskjálfta fremur en gosvirkni. Skjálftavirknin virðist einnig vera hviðukennd en lengd hviðanna og bil milli þeirra eru mun styttri. Síðan um aldamótin 1900 hafa skjálftar náð hámarki á um 30 ára fresti. Stærstu skjálftar ná stærðinni 6-6,5. Greina má fjögur virk tímabil: Fyrsti áratugur tuttugustu aldar, 1929-35, 1967-75, og 2000-03 (Páll Einarsson 1991, 2015; Sveinbjörn Björnsson o. fl. 2018).

Sprungukerfin

Aflögunin umhverfis flekaskilin á sér stað að stórum hluta með sprunguhreyfingum. Greina má tvenns konar sprungukerfi:

A) Sprungusveimar eldstöðvarkerfa. Á skaganum eru í meginatriðum fjögur eldstöðvarkerfi sem oft eru kennd við Reykjanes, Krísuvík, Brennisteinsfjöll og Hengil. Stundum eru þau talin fleiri, t.d. er Reykjanes- og Krísuvíkurkerfunum stundum skipt í tvennt, en við látum það liggja milli hluta. Í gegnum hvert þeirra liggur öflugur sprungusveimur með gossprungum, gjám og siggengjum. Sveimarnir eru um 10 km breiðir og nokkrir tugir kílómetra að lengd. Þeir liggja skáhallt á flekaskilin, hafa NA-SV stefnu, og teygja sig því inn á flekana beggja vegna skilanna. Það er sprungusveimur Krísuvíkur sem kemur helst við sögu í austustu byggðum Hafnarfjarðar, Garðabæjar, Reykjavíkur og Mosfellsbæjar. Sprungusveimarnir tengjast kvikuvirkni eldstöðvarkerfanna. Reynsla frá Kröflueldum sýnir að þeir eru helst virkir þegar gangar skjótast inn í jarðskorpuna undir þeim (Ásta Rut Hjartardóttir o. fl. 2012, 2016). Ef það sama á við á Reykjanesskaga, er líklegt að þeir séu helst virkir á kvikuskeiðunum, og þar með að síðustu umtalsverðu færslur á þeim séu tæpast yngri en frá þrettánda öld.

B) Rannsóknir á jarðskjálftum á Reykjanesskaga síðustu áratuginu hefur leitt í ljós að þeir stærstu verða vegna sniðgengishreyfinga (Páll Einarsson 2015). Þeir eru því óháðir misgengjunum í sprungusveimunum, sem eru siggengi. Stefna þessara sniðgengja er oftast nálæg N-S. Nánari rannsóknir hafa leitt í ljós að þessi sniðgengi má víða sjá á yfirborði (Páll Einarsson o. fl. 2018). Þau eru um 10 km löng og liggja hlið við hlið þvert á flekaskilin. Þau hafa stundum verið kölluð bókahillumisgengi. Þau ná ekki eins langt inn í flekana og sprungusveimarnir. Þau ná því ekki inn á byggingaland þéttbýlisins. Lega helstu þekktu sprungukerfanna er sýnd á mynd 1. Þau eru fundin með hjálp loftmynda og kortlagningar úti í mörkinni með nákvæmum GPS-tækjum (sjá t.d. greinar Páls Einarssonar 2010 og Clifton og Kattenhorn 2006). Einnig er stuðst við vinnu stúdenta við Jarðvísindadeild HÍ en námsverkefni þeirra um áratuga skeið hafa nýst vel í þessum tilgangi (sjá t.d. grein Pálma Erlendssonar og Páls Einarssonar 1996).



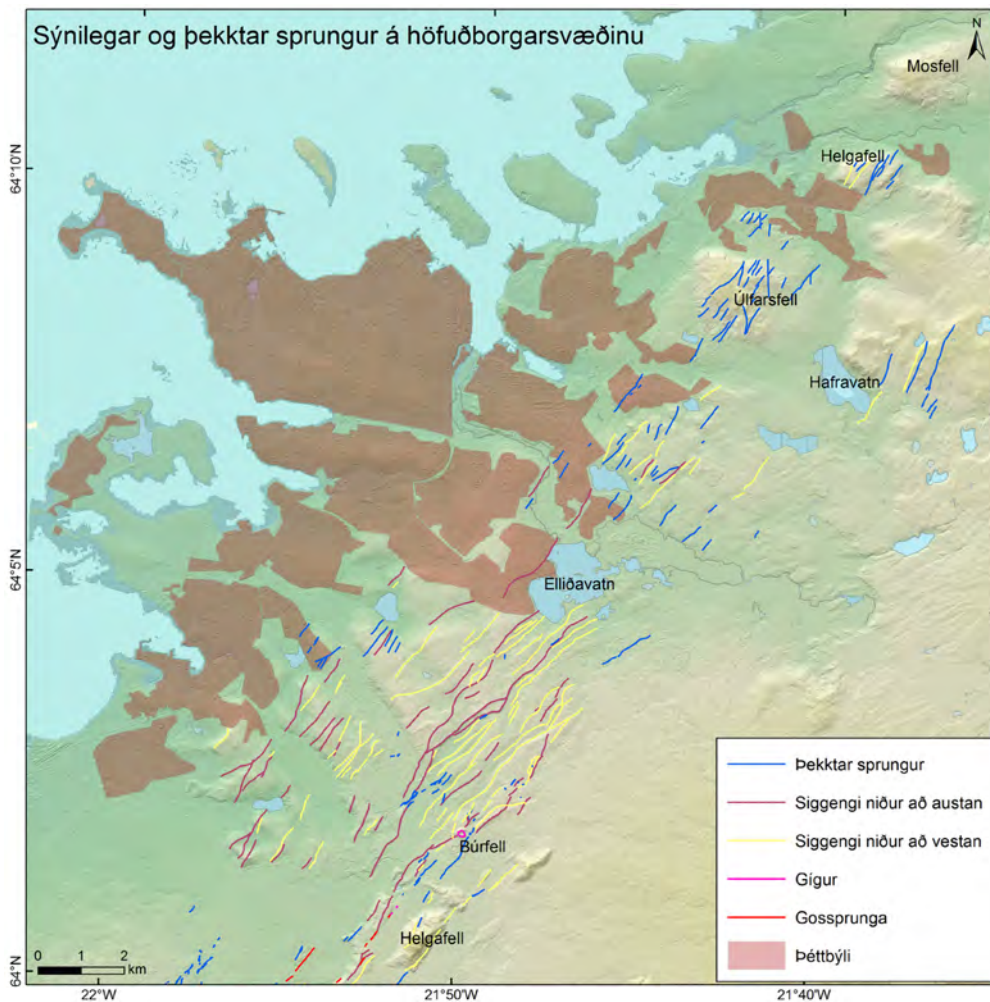
Mynd 1. Yfirlitskort af Reykjaneskaga og afstöðu til sprungusveima og upptakamisgengja skjálfta. Skýrt kemur fram hvernig þéttbýli á höfuðborgarsvæðinu teygir sig æ meira inn á sprungusvæði. Þekkt sniðgengi eru einnig færð inn á kortið. Þau liggja flest í N-S stefnu og eru hægri-handar sniðgengi, þ.e. vesturbakki þeirra færast í norður, austurbakkinn til suðurs.

Krísvíkursprungusveimurinn

Það er ljóst af mynd 1 að það er fyrst og fremst sprungusveimurinn sem kenndur er við Krísvík sem varast ber þegar mannvirkjum er valinn staður á höfuðborgarsvæðinu. Mynd 2 sýnir afstöðuna til þéttbýlisins enn betur. Sprungukortin sem sýnd eru hér ásamt myndum 3 og 4 eru byggð á sprungukortum Clifton og Kattenhorn (2006) og jarðfræðikortum ÍSOR (Kristján Sæmundsson o.fl. 2016) en einnig ítarlegri könnun höfunda þessarar greinar um áratuga skeið. Einnig hafa mörg verkefni nemenda í Jarðvísindadeild HÍ verið unnin á þessu svæði. Miðja virkinnar á þessu sprungukerfi er á Krísvíkarsvæðinu þar sem kerfið sker hin eiginlegu flekaskil. Eldvirkni og jarðhitavirkni er þar í hámarki. Þaðan liggur sveimurinn til suð-vesturs í átt til sjávar og til norð-austurs í átt til höfuðborgarsvæðisins og er sú grein hans öllu lengri. Þrjár gerðir sprungna einkenna sprungusveiminn. Mest eru áberandi siggengi, þ.e. sprungur þar sem annar barmurinn hefur sigið miðað við hinn. Siggengin sjást því vel í landslaginu, og getur misgengisfærslan verið fáeinir tugir metra. Í öðru lagi finnast í sveimnum opnar sprungur eða gjár með litlum sem engum lóðréttum færslum. Í þriðja lagi eru innan sveimsins gossprungur, þar sem bergkvika hefur náð yfirborði í sprungugosi. Gosvirknin dvínar þó eftir því sem norðar dregur og nyrsta gosstöðin er í Búrfelli ofan Hafnarfjarðar. Sprungusveiminn má hins vegar rekja lengra þótt líka dragi úr sprunguvirkninni til norðurs. Hann virðist enda í Mosfellsdal. Sunnan dalsins, í Helgafelli, má sjá sprungur og misgengi af óvissum aldri sem gætu tilheyrt sprungusveimnum. Í Mosfelli norðan dalsins er hins vegar lítið um sprungur (mynd 2). Yfirlitt sjást bergsprungurnar best þar sem land stendur hátt. Þar sem land liggur lægra eru sprungurnar oft huldar seti og jarðvegi þannig að illa sést til þeirra.

Norðan Búrfells, þar sem eldvirkninni sleppir, verður sprungusveimurinn mjög áberandi í landslaginu (mynd 3) enda hafa hér ekki runnið hraun til að jafna út landslagið. Þetta svæði er að mestu nýtt til útivistar, sem verður að teljast ákjósanleg notkun á mikið sprungnu landi. Sprungusveimurinn er tvöfaldur á þessu svæði. Aðalgrein hans myndar djúpan sigdal sem afmarkast að vestan af Hjallamisgenginu svokallaða. Auk þess má greina grunnan sigdal vestar, sem sker hálsana við Hvaleyrarvatn og sunnan og austan Urriðakotsvatns. Þessi vestari grein er stundum kennd við Trölladyngju. Á byggingasvæðinu við Urriðakotsvatn hafa komið í ljós opnar sprungur þegar grafið var fyrir húsgrunnum. Mjög dregur af þessari grein sveimsins þegar norðar dregur. Þó má líklega rekja til hans tilvist sprungna sem komið hafa í ljós í húsgrunnum í Hólhverfi í Breiðholti. Megingrein sprungusveimsins heldur áfram til NA um Heiðmörk og liggur Elliðavatn í dældinni þar sem sigið hefur mest. Austurmörk sprungusvæðisins eru þar nokkuð óljós vegna ungra hrauna sem runnið hafa austan frá Bláfjallasvæðinu og yfir sprungurnar.

Norðaustan Elliðavatns taka við Norðlingaholt, Rauðavatn og Hólmsheiði. Landið hér er greinilega sprungið en erfitt er að festa hendur á einstökum sprungum (mynd 4). Sprunguvirknin er greinilega minni en sunnan Elliðavatns og aldur sprungnanna óvissari (Kristbjörn Egilsson o. fl. 1996). Ótvíræð merki um hreyfingar á síðustu 10 000 árum má þó finna á a.m.k. fjórum stöðum (sjá mynd 4). Gapandi gjár og niðurföll í jarðvegsþekju benda til hreyfinga eftir að jökull fór síðast yfir svæðið. Við skipulag byggðar á Norðlingaholti var tekið tillit til tveggja sprungna sem staðfestar voru með skurðgrefti. Það vekur þó athygli að sprungur liggja mun þéttar í sama sprungukerfi norðan Rauðavatns, sem gæti bent til þess að ekki séu öll kurl komin til grafar í Norðlingaholti. Þar gætu fleiri sprungur leynst.



Mynd 2. Yfirlitskort af nyrsta hluta sprungusveims Krísuvíkur sýnir vel afstöðu til þéttbýlis höfuðborgarsvæðisins. Kortið sýnir einungis sprungur sem eru þekktar. Þær gætu verið umtalsvert fleiri en hér eru sýndar. Landslagsgögn á myndum 2, 3 og 4 eru ArcticDEM, fengin frá Polar Geospatial Center í Bandaríkjunum, Upplýsingar um vegi, vötn og byggð eru frá IS50 gagnagrunni Landmælinga Íslands

Norðan Úlfarsár taka við Úlfarsfells- og Lágafellssvæðin, sem bæði eru greinilega sprungin. Þar hafa þó ekki fundist ótvíræð merki um hreyfingar á síðustu 10 000 árum, þótt ekki sé hægt að útiloka virkni á því tímabili. Tvö greinileg sprungukerfi sjást (mynd 4). Annað er framhald Krísuvíkursveimsins og hefur NA-SV stefnu. Einnig sjást hér misgengi með N-S stefnu. Ef til vill eru hér á ferðinni gömul merki um virkni á sniðgengjum, eins konar bóka-hillu-misgengjum, frá fyrri kafla jarðsögunnar þegar skjálftasvæði Suðurlands lá norðar en nú er.

Fjallendið austan Hafravatns er talsvert sprungið og hafa sprungurnar yfirleitt NNA-læga stefnu. Þetta sprungukerfi á sér ekki greinilegt framhald til SV eða NA, að minnsta kosti ekki í nýlegum sprungumyndunum. Líklega eru þetta sprungur frá eldri köflum jarðsögunnar, jafnvel myndunarskeiði berggrunnsins sem þær eru í. Ekki er þó hægt að fullyrða um það.

Umræða og athugasemdir

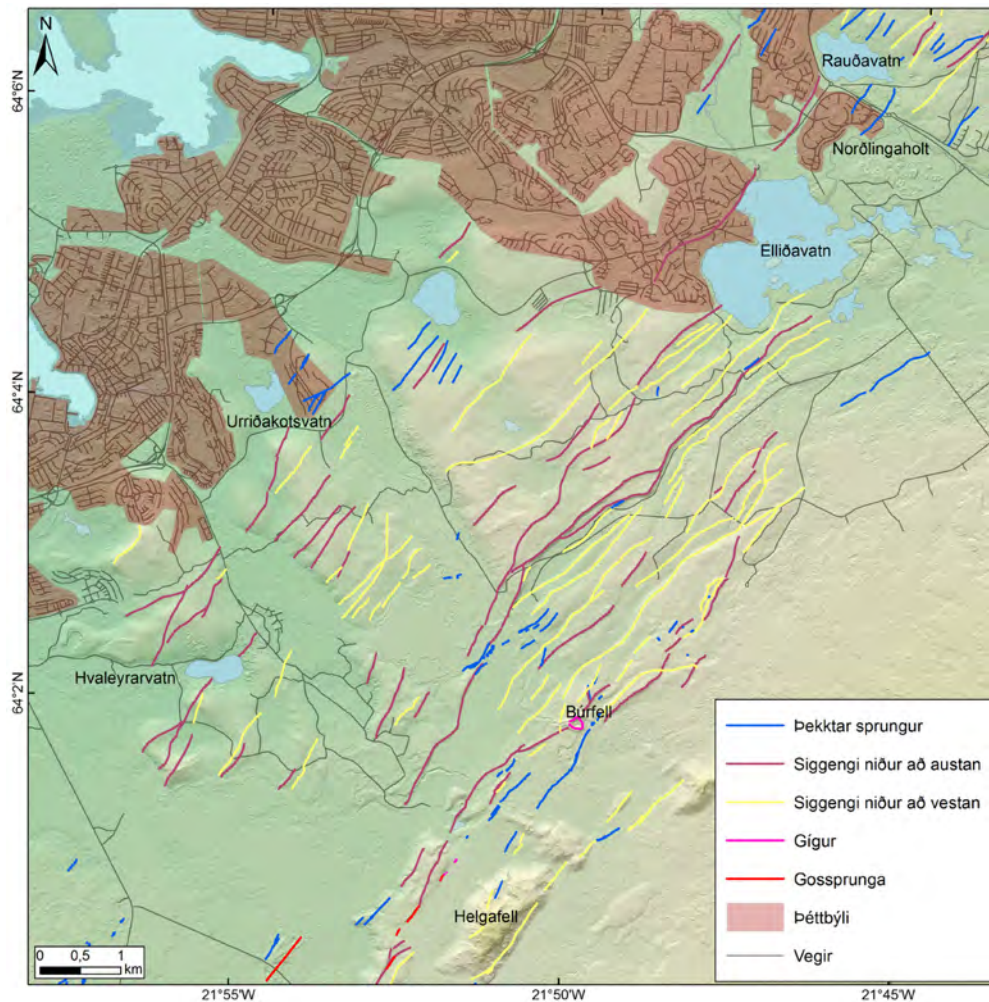
Það er ljóst að staðsetning mannvirkja á sprungusvæði og í nágrenni virks jarðskjálftasvæðis á flekaskilum gerir óvenjulegar kröfur til hönnunar. Til viðbótar álagi vegna bylgjuhreyfinga frá nálægum skjálftum kemur hætta á að hreyfingar verði á virkum sprungum sem skeri undirstöður eða valdi aflögun á mannvirkinu. Við hönnun mannvirkisins er því skynsamlegt að reyna að taka mið af hugsanlegum hreyfingum. Þetta er sérstaklega áriðandi þar sem ekki er hægt að vera viss um að allar sprungur séu þekktar þegar framkvæmdir hefjast. Æskilegt væri að haga hönnun þannig að hægt sé að bregðast við nýjum upplýsingum sem berast meðan á byggingu stendur, t.d. þegar jarðvegi er flett af berggrunnum og sprungur koma betur í ljós. Nánar er fjallað um þetta í bókinni „Náttúruvá á Íslandi“ sem kom út 2013 (Páll Imsland 2013).

Höfundar þessarar greinar hafa á löngum starfsferli oft verið kallaðir til ráðgjafar við mannvirkjagerð þar sem bergsprungur koma við sögu. Ekki fer hjá því að mörg sjónarmið séu uppi þegar byggja skal á ótraustum grunni. Í eftirfarandi kafla er tekið á nokkrum þeirra álitamála sem upp hafa komið í þessari vinnu.

Því er stundum haldið fram að „það séu sprungur alls staðar á Íslandi og því engin leið að byggja nema undir sé sprunga“. Þetta er rangt. Vissulega eru bergsprungur algengar á Íslandi, en þær skipa sér oftast í ákveðin kerfi sem hægt er að kortleggja, sjá mynd 1. Sprungur sem eru líklegar til að haggast á næstu öldum, er flestar tengdar flekaskilunum sem liggja í gegnum landið. Byggingaland sveitarfélaganna á höfuðborgarsvæðinu teygir sig nú í auknum mæli inn á sprungusvæði, eins og glögg kemur fram á mynd 2. Það er sjálfsögð varúðaraðgerð að byggja mannvirki einungis á óbrotnum spildum milli sprungna. Með því má koma í veg fyrir slys og draga úr tjóni í náttúruhamföllum framtíðarinnar. Kostnaðaraukning er hins vegar óveruleg.

Það er stundum lögð umtalsverð vinna í að flokka þekktar sprungur í „virkar“ og „óvirkar“ sprungur. Aðferðir byggja oftast á því að grafa skurði þvert yfir sprungurnar og athuga jarðvegssnið. Þessi flokkun orkar tvímælis í besta falli. Ef jarðvegur hefur raskast yfir sprungu í berginu undir, er það vissulega vísbending um að hreyfing hafi orðið á sprungunni. Tímasetningin er hins vegar óviss því jarðvegur heldur áfram að sitra niður í sprunguna með úrkomu og grunnvatnsbreytingum um langt skeið á eftir. Tilviljun getur líka ráðið því að ekki sjáist rask í skurðinum þótt hreyfing hafi orðið. Því ber að varast oftúlkun á niðurstöðum slíkra athugana.

Sprungusveimur Krísuvíkur er ótvírætt virkur enda er hann hluti af aflögunarsvæði meginflekaskilanna í gegnum landið. Það er engin leið að flokka einstakar sprungur innan sveimsins sem



Mynd 3. Sprungukort af svæðinu sunnan og austan Hafnarfjarðar, Garðabæjar og Kópavogs. Sunnan Hvaleyrarvatns eru sprungurnar kaffærðar af nýjust hrauninum frá gosstöðvum við Undirhlíðar og Helgafell. Hraun frá Búrfelli hylur einnig sprungurnar í dölum sunnan og austan við Urriðakotsvatn.

„óvirkar“ og aðrar sem „virkar“. Þær verða allar að teljast virkar í þeim skilningi að þær eru hluti af hreyfikerfi sem er sannanlega og mælanlega á hreyfingu.

Stundum örlar á þeirri hugmynd að sprunga sem ekki hefur hreyfst í langan tíma (þúsund – 10 þúsund ár) sé „óvirk“ eða ólíkleg til að hreyfast frekar. Þetta getur verið réttlætlanleg röksemdafærsla þar sem færslur eiga sér stað á einföldum sprungukerfum. Þetta á ekki við á Íslandi. Vegna þess hve hreyfingin deilist á margar sprungur þá getur tími milli atburða á hverri þeirra verið mjög langur. Sprunga sem ekki hefur haggast í 10 þúsund ár getur einmitt verið sprungan sem hreyfist næst.

Í umræðunni hefur stundum komið fram sú skoðun að sprungu-svæði séu ónothæf til bygginga, jafnvel til hvers konar nota. Þetta er að okkar mati fjarri lagi. Sprungusvæðin á höfuðborgarsvæðinu og í nágrenni þess eru flest hlutar af sprungusveimum eldstöðvarkerfanna á Reykjanesskaga. Þessi sprungukerfi eru virk fyrst og fremst í tengslum við kvikuvirkni kerfanna. Miklar færslur á sprungum eru líklegastar þegar gangainnskot verða innan sveimsins. Þeim fylgja skjálftar en þeir verða sjaldan stórir. Hættan sem stafar af sprungunum er því fyrst og fremst vegna sprunguhreyfinga, ekki vegna titrings frá skjálftum. Byggingar og mannvirki innan sprungusveimanna ættu því ekki að verða fyrir meira tjóni en gengur og gerist nema þau standi á sprungunum og séu tengd berggrunninum báðum megin. Við teljum skynsamlegt ákvæðið í reglugerð að „óheimilt sé að byggja á þekktum jarðsprungum, misgengi eða nálægt hverum“. Sprungurnar og næsta nágrenni þeirra má hins vegar nýta til annarra hluta, sem útivistarsvæði, fyrir lagnastokka, gangstíga, bílastæði, akbrautir o.s.frv.

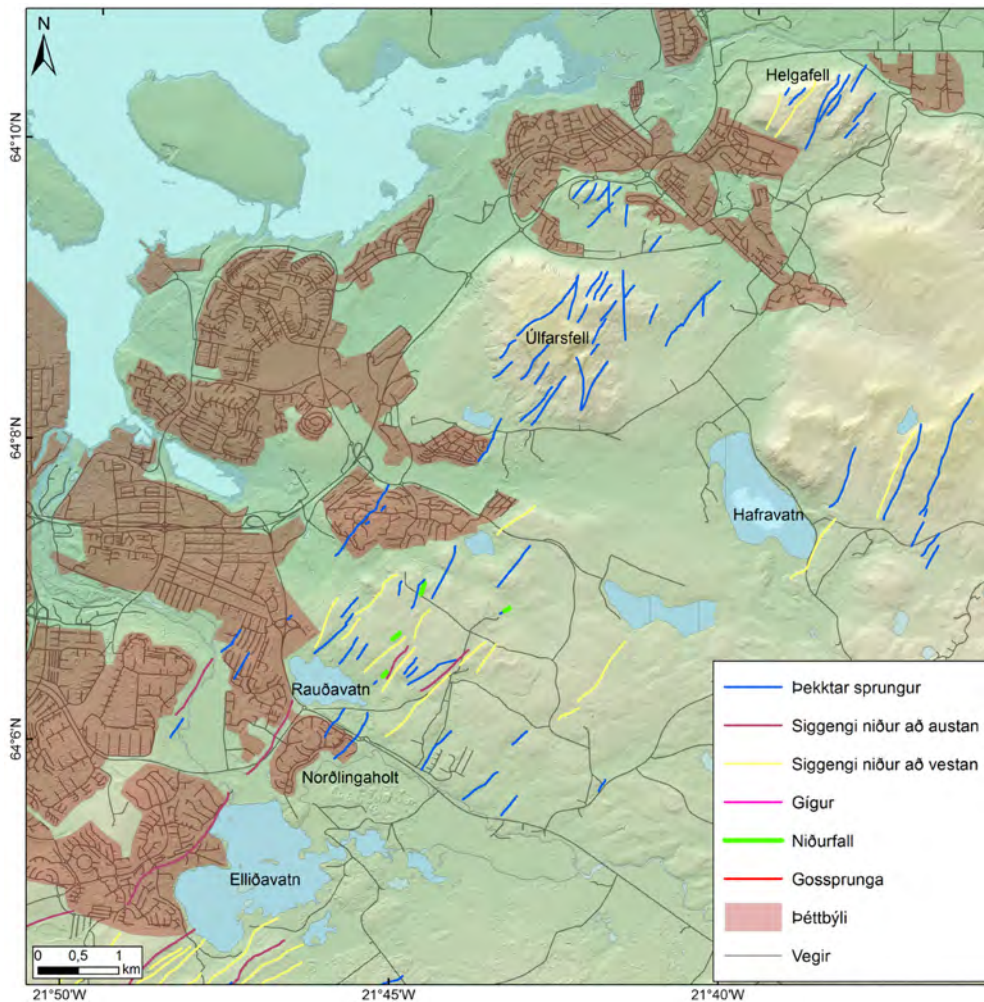
Sú hugmynd stingur stundum upp kollinum að hægt sé að byggja yfir sprungur ef húsíð er hannað fyrir jarðskjálftaálág. Við

leggjum áherslu á að helsta hættan sem stafar af sprungunni er mismunafærslan sem þar getur orðið, ekki titringur frá jarðskjálftum. Siggengi sprungusveimanna eru ekki líkleg til að valda stórum jarðskjálftum. Stærsta skjálftaálág á byggingar á svæðinu er því frá skjálftum með upptök í meiri fjarlægð. Gegn þeim þarf vissulega að hanna byggingarnar og umtalsverð þekking er til staðar til að gera það. En færslur á misgengjum eru erfiðari viðfangs. Það er erftitt að taka tillit til þeirra við hönnun, hins vegar auðvelt að sneiða hjá því að byggja mannvirki yfir þær.

Við mælum með því að eftirfarandi verklag sé viðhaft við byggingar á sprungusvæðum. Sum atriðin eru þegar í reglum og hluti núverandi verklags:

- Sprungukort byggt á yfirborðsrannsóknnum liggja fyrir við gerð skipulags nýrra hverfa á sprungusvæðum. Engar byggingar séu skipulagðar yfir sprungur.
- Komi í ljós sprunga í byggingareit við nánari skoðun, s.s. þegar jarðvegi er flett af, skal byggingareiturinn færður til innan lóðarinnar svo byggingin liggja ekki yfir sprunguna.
- Ef ekki er hægt að færa bygginguna til innan lóðarinnar skal húsbyggjandanum úthlutað nýrri lóð, enda hætt við að hús byggt yfir sprungu verði lítils virði, hvort sem sprungan hreyfist eða ekki.

Rétt er að taka fram að ekki er hægt að tryggja að undirlag mannvirkis sé ósprungið þótt þetta verklag sé viðhaft. Sprungur geta verið ógreinilegar og erftitt að koma auga á þær við aðstæður á byggingarstað. Við teljum þó að með þessu lagi megi draga verulega úr hugsanlegu tjóni á mannvirkjum í kvikuatburðum sem vafalítið eiga eftir að ganga yfir höfuðborgarsvæðið í framtíðinni.



Mynd 4. Sprungur í austurhverfum Reykjavíkur og í Mosfellsbæ. Austan Elliðavatns eru mörk sprunguvæðisins óljós vegna ungra hrauna frá Bláfjallasvæðinu. Greinilega dregur úr sprunguvirkninni eftir því sem norðar dregur. Nyrstu sprungur sem vitað er að hafi hreyfst á síðastliðnum 10 000 árum eru norðaustan við Rauðavatn, merktar með grænum lit.

Heimildir

- Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, E. Bramham, and T. J. Wright, 2012. The Krafla fissure swarm, Iceland, and its formation by rifting events. *Bulletin of Volcanology*, 74, 2139-2153. doi 10.1007/s00445-012-0659-0.
- Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir. 2016. Fracture movements and graben subsidence during the 2014 Bárðarbunga dike intrusion in Iceland. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 310, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2015.12.002.
- Clifton, A., S. Kattenhorn, 2006. Structural architecture of a highly oblique divergent plate boundary segment. *Tectonophysics* 419, 27-40.
- Freysteinn Sigmundsson, A. Hooper, Sigrún Hreinsdóttir, Kristín S. Vogfjörð, Benedikt G. Ófeigsson, Elías R. Heimisson, S. Dumont, M. Parks, K. Spaans, Gunnar B. Guðmundsson, V. Drouin, Þóra Árnadóttir, Kristín Jónsdóttir, Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir, Hildur M. Fridriksdóttir, M. Hensch, Páll Einarsson, Eyjólfur Magnússon, S. Samsonov, Bryndís Brandsdóttir, R.S. White, Þorbjörg Ágústsdóttir, T. Greenfield, R.G. Green, Ásta Rut Hjartardóttir, Rikke Pedersen, R.A. Bennett, Halldór Geirsson, P.C. La Femina, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, E. Sturkell, C.J. Been, M. Möllhoff, A.K. Braiden & E.P.S. Eibl, 2015. Segmented lateral dyke growth in a rifting event at Bárðarbunga volcanic system, Iceland. *Nature*, 517, 191-195, doi:10.1038/nature14111.
- Kristbjörn Egilsson, Haukur Jóhannesson, Jóhann Ó. Hilmarsson, Kristinn H. Skarphéðinsson, 1996. Náttúrufræðistofnun Íslands, 60 pp.
- Kristján Sæmundsson og Magnús Á. Sígurðsson, 2013. Reykjanesskagi. Kafi í: *Náttúruvá á Íslandi*, (ritstj. Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason), bls. 379-401, Háskólaútgáfan, Reykjavík.
- Kristján Sæmundsson, Magnús Á. Sígurðsson, Árni Hjartarson, Ingibjörg Kaldal, Sigurður G. Kristinnsson og Skúli Víkingsson, 2016. Jarðfræðikort af Suðvesturlandi, 1:100 000, önnur útgáfa. Íslenskar orkurannsóknir.
- Páll Einarsson, 1991. Earthquakes and present-day tectonism in Iceland. *Tectonophysics*, 189, 261-279.
- Páll Einarsson, 2008. Plate boundaries, rifts and transforms in Iceland. *Jökull*, 58, 35-58.
- Páll Einarsson, 2010. Mapping of Holocene surface ruptures in the South Iceland Seismic Zone. *Jökull*, 60, 121-138.
- Páll Einarsson, 2015. Mechanisms of earthquakes in Iceland. *Encyclopedia of Earthquake Engineering*, edited by M. Beer, E. Patelli, I. A. Kougioumtzoglou, and S.-K. Au. Doi 10.1007/978-3-642-36197-5_298-1. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2015.
- Páll Einarsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Imsland, Sigrún Hreinsdóttir, 2018. The structure of seismogenic strike-slip faults in the eastern part of the Reykjanes Peninsula oblique rift, SW Iceland. *J. Volcanol. Geothermal Res.*, doi:10.1016/j.jvolgeores.2018.04.029.
- Páll Imsland, 2013. Jarðskjálftasprungur. Kafi í: *Náttúruvá á Íslandi*, (ritstj. Júlíus Sólmes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason), bls. 658-662, Háskólaútgáfan, Reykjavík.
- Pálmi Erlendsson og Páll Einarsson. The Hvalhnúkur Fault, a strike-slip fault mapped within the Reykjanes Peninsula oblique rift, Iceland. Í: *Seismology in Europe* (ritstj. Barði Þorkelsson o.fl.), European Seismological Commission, Reykjavík, bls. 498-504, 1996.
- Sveinbjörn Björnsson, Páll Einarsson, Helga Tulinius, Ásta Rut Hjartardóttir, 2018. Seismicity of the Reykjanes Peninsula 1971-1976. *J. Volcanol. Geothermal Res.*, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.04.026>.