

Staðbundið hættumat

22. September 2016

Frummat á jarðskjálftahættu vegna niðurdælingu í holur HE-23, HE-25 og HE-38 í Skarðsmýrarfjalli

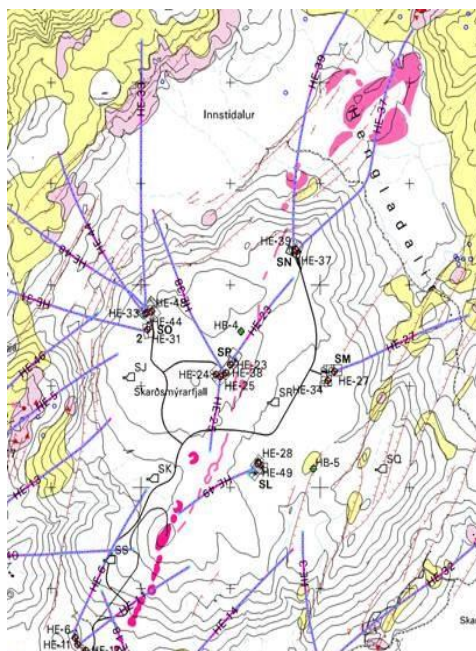
Höf.: Kristín S. Vogfjörð og Kristín Jónsdóttir

Viðtakandi: Orka Náttúrunnar

Verknúmer: 100303894

Málsnúmer:

Verklagsreglur Orkustofnunnar gera ráð fyrir að unnið sé frummat í aðdraganda nýtingar borholna til niðurdælingar. Tilgangur frum mats er að fá faglegt mat á hvort líklegt sé að niðurdæling affallsvökva í borholur geti orsakað jarðskjálfta sem valdi hættu eða verulegum óþægindum. Í þessu mati sem unnið er af Veðurstofu Íslands að beiðni Orku Náttúrunnar eru jarðskjálftagögn Veðurstofu Íslands höfð til grundvallar könnun á áhrifasvæði í kringum holur HE-23, HE-25 og HE-38 sem allar eru á Hengilssvæðinu, nánar tiltekið í Skarðsmýrarfjalli. Borholurnar eru með nálæga holutoppa en eru skáboraðar í ólíkar áttir (sjá Mynd 1).

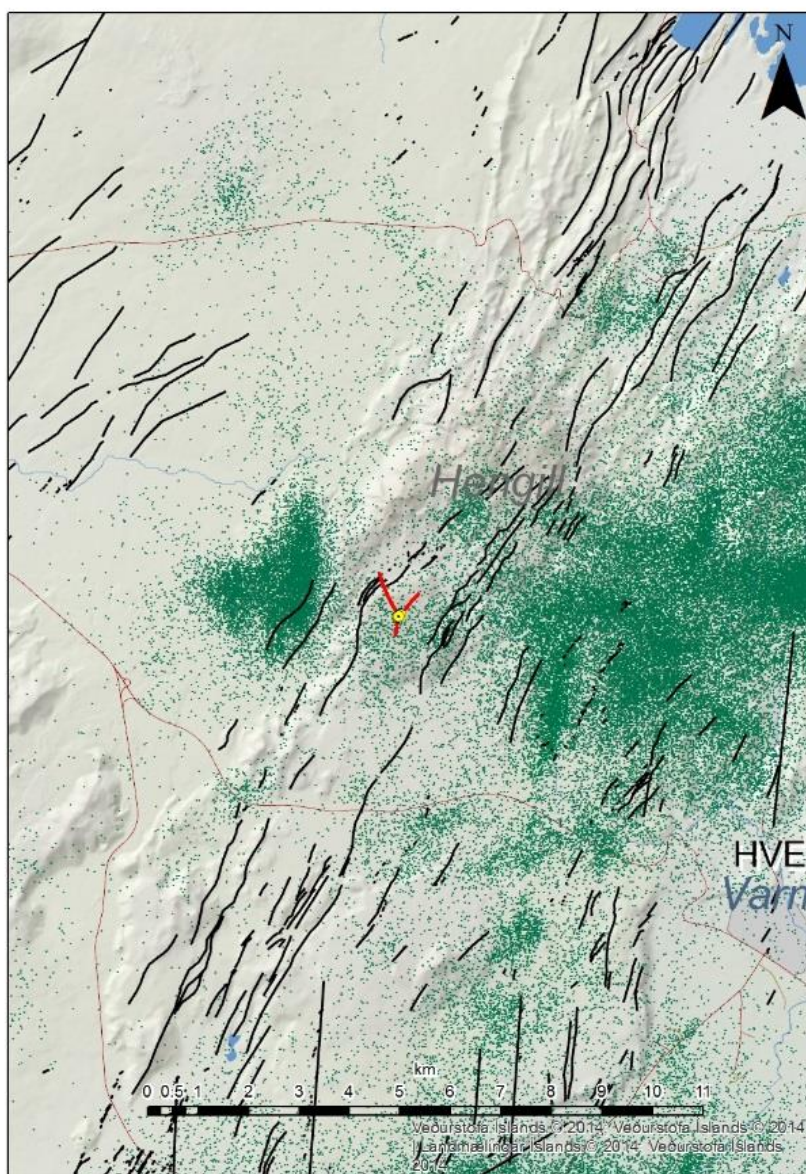


Mynd 1. Borholur og holuferlar í Skarðsmýrarfjalli á Hellisheiði. (Kort fengið með leyfi frá Orkuveitu Reykjavíkur).

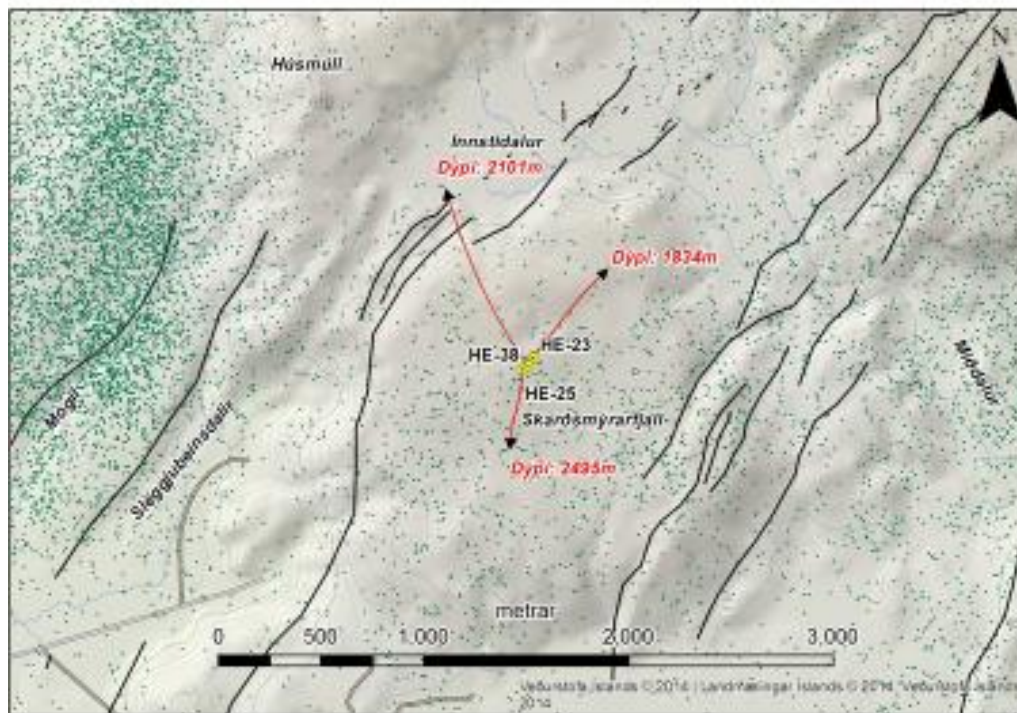
Staðbundið hættumat

Skjálftavirkni Hengilssvæðisins frá 1991

Á Hengilssvæði mætast Reykjanesgosbeltið, Vestra gosbeltið og Suðurlandsbrotabeltið og er svæðið virkasta skjálftasvæðið á líftíma stafrænna jarðskjálftamælakerfisins SIL, sem Veðurstofan hefur rekið síðan 1991. Þetta kemur berlega í ljós þegar jarðskjálftavirkni á u.þ.b. 20 x 20 km svæði kringum Skarðsmýrarfjall er skoðuð (svæðið afmarkast af breiddargráðum frá 63.93 til 64.15 og lengdargráðum milli -21.45 og -21.14), en þar hafa alls mælst um 136 þúsund skjálftar á mælakerfi Veðurstofunnar. Stærstur hluti virkninnar (um 70%) er þó að



Staðbundið hættumat



Mynd 2. (Efri) Yfirlitskort af svæði í kringum Skarðsmýrarfjall. Kortið sýnir staðsetningar skjálfta ákvarðaða með venjubundnum aðferðum (grænir punktar) frá upphafi stafrænna mælinga á Veðurstofu Íslands árið 1991. Mikill þéttleiki skjálfta er við Húsmúla og suðaustan Hengils. Helstu sprungur kortlagðar á yfirborði, bæði jarðskjálftamisgengi og gliðnunasprungur, eru merktar með svörtum línunum (frá Amy Clifton, Páli Einarssyni o.fl.). Staðsetning borholutoppa á Skarðsmýrarfjalli er sýnd með gulum punkti og borholuferlarnir með rauðum línunum þáðan. (Neðri) Stækkuð mynd af svæðinu umhverfis Skarðsmýrarfjall sem sýnir nánar virknina og staðsetningu borholna HE-23, HE-25 og HE-38. Rauðu ferlarnir sýna borholuferlana.

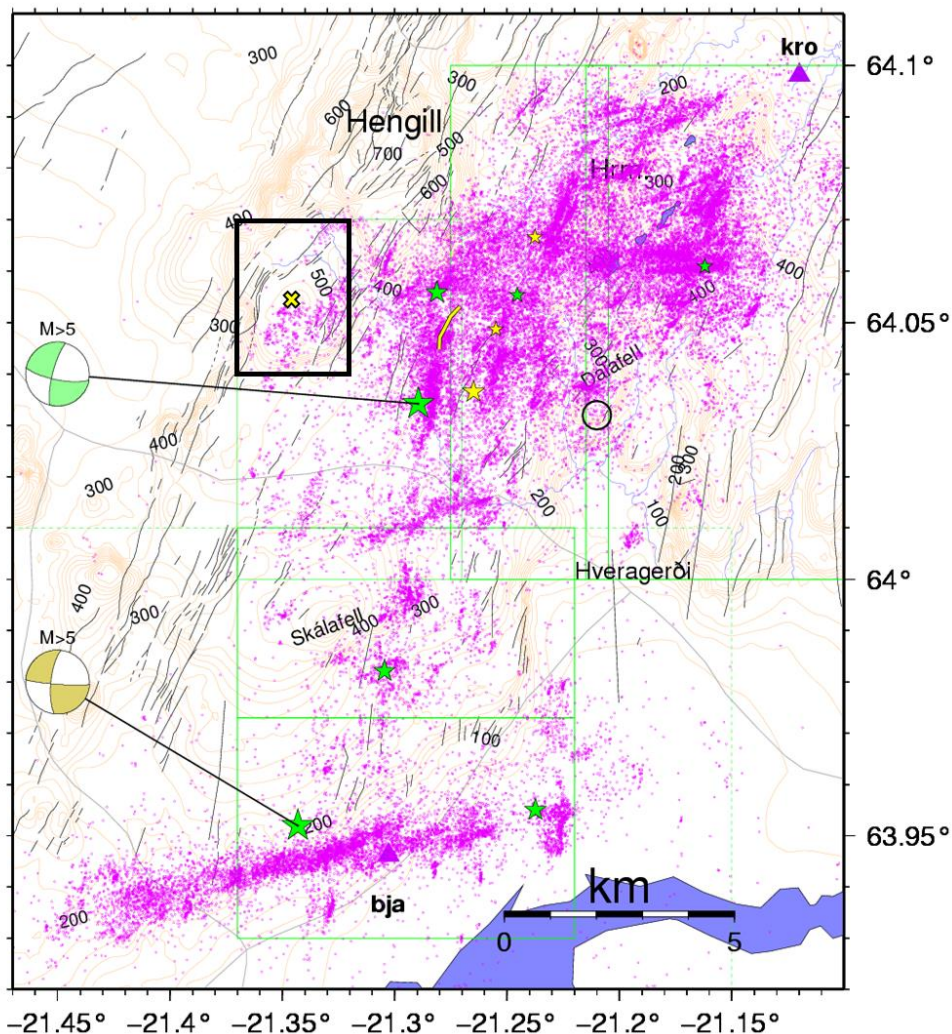
mestu innan tímabilsins 1994 – 1999, en þá leiddi 8 cm Landris á Ölkelduhálsi (K. Feigl ofl. 2000, *J. Geophys. Res.*, 105, 655–670.) til stórauðinnar skjálftavirkni á Hengilssvæði og Hellisheiði (sjá Mynd 2). Í fyrstu var virknin að mestu við Hengilinn, norðan Suðurlandsbrotabeltisins, þangað til 4. júní 1998 þegar brotabeltið brotnaði upp frá norður- til suðurenda. Virknetímabilinu lauk svo að mestu í nóvember 1998 með þúsundum stórra og smárra skjálfta í Hjallahverfi í Ölfusi. Alls skráðust yfir 90 þúsund skjálftar á þessu tímabili, þeir stærstu M5.5 þann 4. Júní 1998 og M5.2 þann 13. nóvember 1998 (G. Pétursson og K. Vogfjörð, 2009, *Skýrsla VÍ 2009-012*). Aukning varð aftur í skjálftavirkni í kjölfar Suðurlandsskjálftanna árið 2000 og eftir Selfossskjálftann árið 2008. Einnig hefur mælst örðuð virkni frá árinu 2002 vegna borana og niðurdælinga á svæðinu.

Í upphafi árs 2007 hófst niðurdæling affalsvökva frá Hellisheiðarvirkjun í borholur í Gráuhnúkum. Sú niðurdæling olli óverulegri skjálftavirkni. Niðurdæling á Húsmúlasvæðinu hófst árið 2009, þar sem áður hafði ekki verið mikil skjálftavirkni. Við niðurdælinguna örðuðust þúsundir skjálfta á næstu árum, þar af tveir M4.0 skjálftar í október 2011 (B. Bessason ofl., 2012, *Skýrsla OR, 2012-24*). Þessi virkni kemur skýrt fram á Mynd 2 sem vestasta þyrpingin á báðum kortum.

Staðbundið hættumat

Við Skarðsmýrarfjall, austan Húsmúla hefur ekki mælst mikil virkni fram til þessa en þó alltaf eitthvað viðvarandi. Neðra kortið á Mynd 2 sýnir virknina (grænir punktar) og einnig staðsetningu borholna HE-23, HE-25 og HE-38 sem fyrirhugað er að hefja niðurdælingu í. Holurnar eru allar skáboraðar, HE-23 fer til norðausturs og nær niður á 1.968 km, HE-25 fer til suðurs og niður á 2.155 km og HE-38 er dýpst, fer til norðvesturs og niður á 2.726 km.

Skjálftarnir á Mynd 2 eru staðsettir með venjubundnum staðsetningaraðferðum, en virkni á tímabilinu 1997 – 1998 hefur einnig verið endurstaðsett með afstæðum staðsetningum (R. Slunga ofl., 1995, *Geophys. J. Int.*, 123, 409-419). Þessar háupplausnastaðsetningar draga skýrt fram helstu sprungulínur á svæðinu, sem og mörg smærri brot (sjá Mynd 3). Til dæmis einkennist svæðið við Skarðsmýrarfjall af stuttum brotum með breytilega strikstefnu.



Mynd 3. Kort sem sýnir háupplausnastaðsetningar skjálfta á Hengilssvæði og Ölfusi á árunum 1997 – 2000. Stjörnur sýna staðsetningar skjálfta af stærð $M \geq 4$ og Tvar stærstu stjörnurnar eru M5.5 og M5.2 skjálftar sem urðu í júní og október 1998. Svartur ferhyrningur markar svæði kringum Skarðsmýrarfjall. Borholuplan HE-23, HE-25 og HE-38 er merkt með gulum krossi. Helstu sprungur eru sýndar með svörtum línur.

Staðbundið hættumat

Nokkuð erfitt er að meta bakgrunnsvirkni á Hengilssvæðinu þar sem tiltölulega stutt er síðan farið var að safna jarðskjálftagögnum jafnt og þétt með stafrænum hætti, árið 1991 og í raun hófst skráning eftir að fyrsta borholan var boruð á svæðinu árið 1986 (upplýsingar frá OR). Tímabilið frá 1991 til 2002 gefur að einhverju leyti mynd af virkninni áður en eiginleg vinnsla hófst en hafa verður í huga að þegar jarðskjálftavirkni er skoðuð í stuttan tíma (innan við öld) sést vel að hún dreifist ójafnt á tímabil. Tímabilið sem hér er skoðað er sérstakt fyrir þær sakir að virknin var óvenju mikil, bæði vegna hrinukenndar virkni sem má rekja til landrissins á Ölkelduhálsi og hugsanlegrar innskotavirkni undir sunnanverðu Dalafelli og vegna Suðurlands-skjálftanna árið 2000. Þannig sjáum við á þessu tímabili virknina breytast frá því vera nokkur hundruð skjálftar á ári og orkuútlausn nokkur hundruð erg á ári (1991-1994), yfir í ríflega 20 þúsund skjálfta á ári og orkuútlausn um 150 þúsund erg árin 1997 og 1998 (SIL gagnagrunnur).

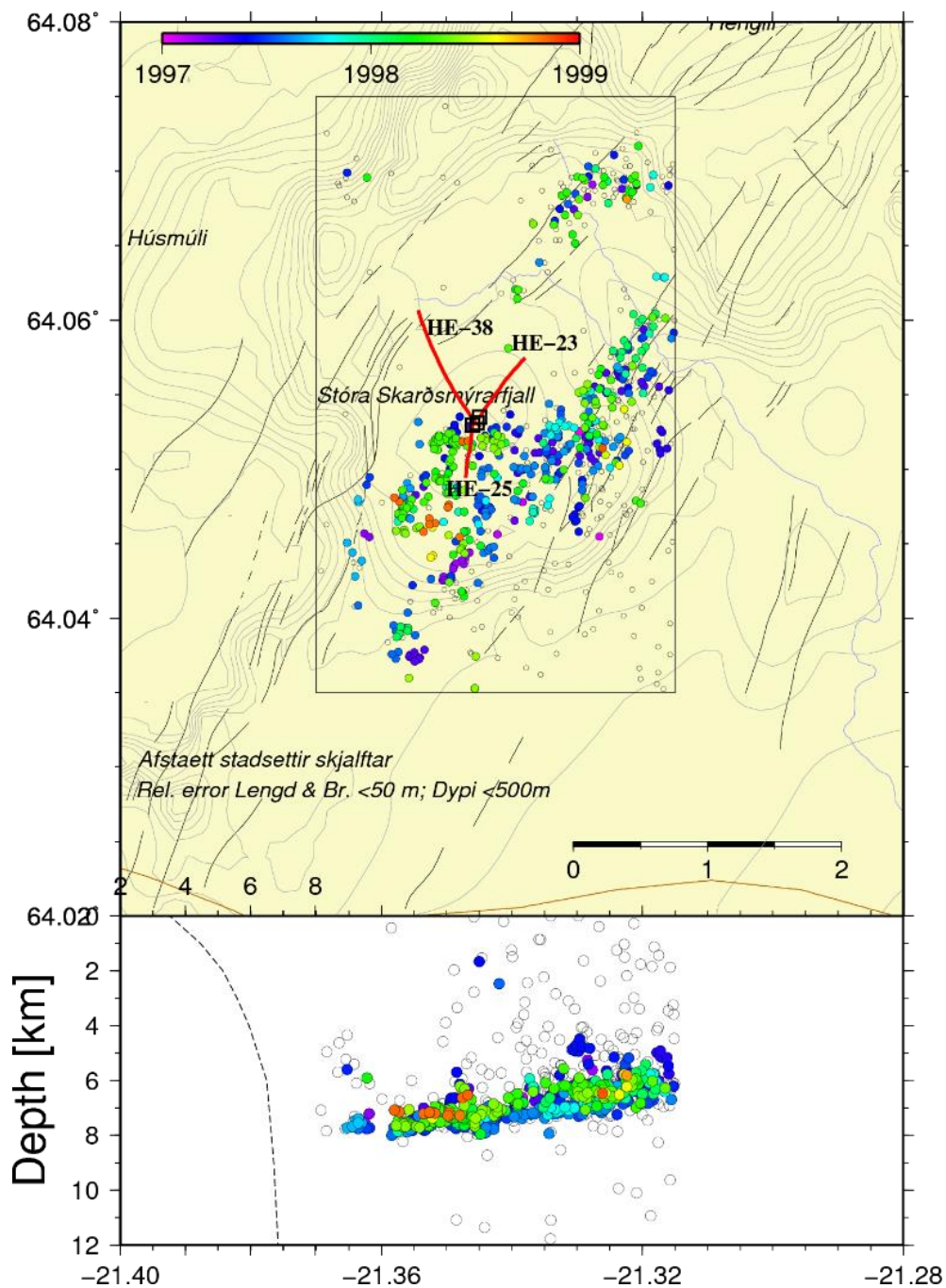
Skjálftavirkni við Skarðsmýrarfjall

Miðað við hina miklu skjálftavirkni austan við lengdargráðu -21.3 er svæðið umhverfis Skarðsmýrarfjall (innan svarta ferhyrningsins á Mynd 3) ekki mjög virkt. Þó hefur verið þar nokkuð stöðug virkni síðan 1991; að meðaltali 25 skjálftar á ári. Eins og annars staðar á Hengilssvæðinu sker tímabilið 1994 – 1999 sig þó úr, en þá mældust 1846 skjálftar, eða 79% þeirra 2342 skjálfta sem alls hafa skráðst þar síðan 1991. Skjálftarnir virðist að miklu leyti dreifast yfir suðurhluta afmarkaða svæðisins og í norðausturhorn þess.

Holurnar HE-23 og HE-25 voru boraðar haustið 2006 en HE-38 ári seinna. Jarðskjálftavirkni varð ekki vart við borun holu HE-23 og ekki fengust upplýsingar frá Orkuveitunni hvaða daga holan var dæluprófuð. Hóla HE-25 var boruð í nóvember og fram í fyrstu viku desember og virðist ekki hafa komið af stað neinni jarðskjálftavirkni. Nokkrir skjálftar mældust á þessum tíma nyrst í Skarðsmýrarfjalli en sú virkni var þegar hafin fyrir borunina og ólíklegt að hún tengist henni. Engir skjálftar mældust við borun vinnsluhlutans. Sömuleiðs mældust engir skjálftar við borun holu. HE-38 og dæluprófanir virðast ekki hafa valdið skjálftavirkni sem augljóst er að tengja.

Við Skarðsmýrarfjall hafa einungis skjálftar frá árunum 1997 – 1998 verið staðsettir með afstæðum aðferðum, en það eru 32% virkninnar. Endurstaðsettir skjálftar þessa tímabils, innan afmarkaða ferhyrningsins á Mynd 3 eru sýndir á Mynd 4 ásamt ferlum borholnanna þriggja. Skjálftavirknin, sem er að mestu leyti (73%) fyrir sunnan og suðaustan borholutoppuna, myndar þéttar þyrpingar um ýmis smærri brot og eru helstu sprungustefnur SV-NA og A-V. Lítil virkni er norður af holutoppunum og virðist það mynstur vera viðvarandi yfir allt tímabilið frá 1991. Engin skýr merki eru um langar sprungur, en það er þó ekki staðfesting á að þær séu ekki til staðar, því mörg dæmi eru um það frá Suðurlandsbrotabeltinun að einugis litlir hlutar sprungufleta stóru sögulegu Suðurlandsskjálftanna séu virkir á hverjum tíma og líklega er hægt að kortleggja betur legu og lengd virkra sprungna í námunda við holurnar með því að vinna úr ókortlagðri skjálftavirkni frá 1991-1996 með háupplausnastaðsetningum. Flestir skjálftarnir eru á 5 – 8 km dýpi en líklegt er að þeir myndu færast ofar um 1 – 2 km ef staðsett væri í hraðalíkani sem passar betur við hraðstrúktúr skorpunnar á Suðurlandi.

Staðbundið hættumat



Mynd 4. (Efri) Kort sem sýnir háupplausnastadsetningar skjálfta umhverfis Skarðsmýrarfjall á árunum 1997 – 1998. Skjálftarnir eru litaddir eftir því hvenær á tímabilinu þeir urðu. Skjálftar með afstaða óvissu yfir 50 m í lengd og breidd of 500 m í dýpi eru sýndir með gráum hringjum. Borholuplan HE-23, HE-25 og HE-38 er merkt með svörtum ferningum og borferlarnir sýndir með rauðum línum. Helstu sprungur eru sýndar með svörtum línum. (Neðri) Lóðrétt þversnið séð úr suðri sem sýnir dýptardreifingu skjálftanna. Skjálftarnir eru staðsettir í SIL hraðalíkani sem er sýnt vinstra megin á myndinni, en það er líklegt til að skila heldur djúpum upptökum og líklegt er að upptökin myndu færast ofar um 1-2 km við endurstaðsetningu í meira víðeigandi hraðalíkani.

Staðbundið hættumat

Holur HE-23 og HE-38 stefna í norðurátt, frá mestu virkninni og einungis hola HE-25 fer inn á svæði sem er virkt, en jafnvel þó skjálftavirknin þar færðist ofar við endurstaðsetningu væri hún líklega að mestu leyti undir holuferlinum sem nær dýpst niður á 2.1 km. Miðað við nálægð holuferilsins við virknina er þó ekki útilokað að niðurdæling í holu HE-25 gæti örvað einhverja skjálftavirkni undir sunnanverðu Skarðsmýrarfjalli. Skarðsmýrarfjall er í 9 km fjarlægð frá Hveragerði og 2 km nær en Húsmúlasvæðið (sjá Mynd 2) þar sem niðurdæling örvaði M4.0 skjálftarna tvo árið 2011. Skjálftarnir þar, sem voru um 2 km grynri en virknin við Skarðsmýrarfjall, ollu talsverðum hristingi í Hveragerði, en grunnir skjálftar mynda að jafnaði stærri yfirborðsbylgjur en djúpir.

Ádælingar í holur HE-23, HE-25 og HE-38

Í Töflu 1 má sjá yfirlit yfir ádælingastuðla og áætlaða viðtöku í holu HE-23, HE-25 og HE-38 (upplýsingar frá Orkuveitu Reykjavíkur, Anette Kærgaard Mortensen). Um er að ræða gróft mat á áætlaðri viðtöku af heitu vatni m.v. reynslu frá Húsmúla og Gráuhnúkum þar sem viðtaka minnkar eftir því sem hitastig vatnsins er hærra.

Tafla 1. Ádælingaprófanir í holum HE-23, HE-25 og HE-38. Viðtaka er gefin upp í lítrum á sekúndu. Ádælingarstuðull er mælikvarði á viðtöku á þrýstingseiningu (bar).

	HE-25	HE-38	HE-23
Borun	2.11-8.12.2006 (3. áf.23.11-8.12.2006)	24.9-7.11.2007 (3. áf.20.10-7.11.2007)	9.8.-15.9.2006 (3. áf.1.9.-15.9.2006)
Dags. dæluþrófana	7.12.2006	7.11.2007	2006*
Ádælingarstuðull	4,3	4	1,4
ÁDST. 50% við 170°C	2,2	2,0	0,7
ÁDST. 25% við 170°C	1,075	1	0,35
Vatnsborð	600	500	600
Viðtaka 100% miðað við kalt vatn	236	188	77
Viðtaka 50% (miðað við 170°C vatn)	118	94	38
Viðtaka 25% (miðað við 170°C vatn)	59	47	19

*ádælingapróf var eftir viðgerð við holu.

Staðbundið hættumat

Varkárasta matið er miðað við að viðtaka sé 25% af metinni viðtöku af köldu vatni (sjá neðst í töflunni) en væntanlega verður viðtaka nær þessu tölum. Holurnar sem hér um ræðir eru staðsettar innan vinnslusvæðisins, en á þessu svæði hafa holur tekið vel við niðurdælingu og umfram fyrsta mat samkvæmt ádælingastuðli (HE-13 og HE-40). Matið er því varkært og ef holur HE-23, HE-25 og HE-38 svara eins og aðrar sambærilegar holur á svæðinu má gera ráð fyrir að viðtakan verði enn meiri.

Fyrir utan það sem tapaðist í prófunum hefur ekki verið dælt í holurnar. Ljóst er frá ádælingaprófunum að viðtaka holu HE-23 er lítil.

Staðsetning stórra skjálfta í námunda við Skarðsmýrarfjall

Síðan 1991 hafa orðið 2 skjálftar stærri en M4 og 22 skjálftar á stærðarbilinu þar fyrir neðan, (milli M3-M4) innan afmarkaða svæðisins í kringum Skarðsmýrarfjall, í um 1-2 km fjarlægð frá borholutoppum holnanna þriggja (Mynd 4). Á fyrri tímabilum hafa mælst skjálftar innan þessa svæðis, en staðsetningarnákvæmni er verri eftir því sem aftar dregur. Frá 1974 – 1990 er staðsetningarnákvæmni 0.5-1 km en þá mældust 6 skjálftar, allir undir M2.7. Á tímabilinu þar á undan, 1926 – 1974 eru engir stórir skjálftar innan afmarkaða svæðisins, en staðsetningarnákvæmni þá var einungis um 5-10 km og því ekki hægt að slá föstu hvort stórir skjálftar hafi orðið nálægt Skarðsmýrarfjalli eða ekki án þess að viðbótarupplýsingar, t.d. um áhrif þeirra séu til staðar. Á þessu tímabili urðu 2 skjálftar á Hengilssvæðinu stærri en M5 og 12 skjálftar stærri en M4. Sem dæmi um óáreiðanleika staðsetninga þessa tímabils má geta þess að annar M>5 skjálftanna (frá 1. apríl 1955) var staðsettur nálægt Hrómundartindi, en endurmat með tilliti til fundinna áhrifa færði hann suður á Hellisheiði í námunda við Skálafell (S. Ármannsdóttir, 2008, *Skýrsla VÍ-ES-05*).

Niðurstaða frummats

Dreifing skjálftavirkni í kringum holur HE-23, HE-25 og HE-38 í Skarðsmýrarfjalli bendir til þess að einhver skjálftavirkni gæti örvast undir suðurhluta fjallsins, einkum við niðurdælingu í HE-25 sem liggur til suðurs í átt að skjálftavirkninni. M.v. þær skjálftaupplýsingar sem við höfum nú eru upptökin að mestu neðan 4 km dýpis, eða 2 km fyrir neðan holubotn. Það er þó ekki útilokað að grynri skjálftavirkni yrði vart við niðurdælingu. Ekki eru beinar vísbendingar um stórar sprungur sem gætu hreyfst í stórum skjálftum á svæðinu við Skarðsmýrarfjall, en eins og fram kemur hér að framan er ekki hægt að útilokaað þær séu til staðar. Virkni tveggja síðustu áratuga, með tveim M≥4 skjálftum og yfir 20 skjálftum á stærðarbilinu 3<M<4, í innan við 2 km fjarlægð frá holunum þrem gefur einnig vísbendingar um að skjálftar af stærð M~4 verði af og til á svæðinu og gætu því mögulega framkallast við niðurdælingu, en einnig veldur dæling úr borholum niðurdrætti, og þar með togspennu á jaðri niðurdráttarsvæðisins (B. Katarzyna, 2014 *MS Ritgerð í HÍ*) þar sem geta myndast skilyrði fyrir örvaða skjálftavirkni. Áframhaldandi vinnsla svæðisins (upp- og niðurdæling) mun því valda breytingum í spennusviði sem geta orsakað breytingar í skjálftavirkni. Dýpi skjálfta undir Skarðsmýrarfjalli er heldur meira en við Húsmúla og því er líklegt að M~4 skjálftar myndu framleiða heldur minni yfirborðsbylgjur en

Staðbundið hættumat

M4 skjálftarnir við Húsmúla og þar með valda heldur minni hristingi í byggð. Þó er ekki hægt að útiloka að niðurdælingin færi virknina nær yfirborði og örvi M~4 skjálfta á grunnnum sprungum.

Hafa verður einnig til hliðsjónar áætlaða viðtöku borholna en dæluprófanir benda til að viðtakan sé í meðallagi í holum HE-25 og HE-38 en afar lítil í holu HE-23. Í frummati ÍSOR, frá apríl á þessu ári, á jarðskjálftahættu vegna niðurdælingar í holur HE-37 og HE-39 á norðanverðu Skarðsmýrarfjalli, kemur fram lýsing af reynslu niðurdælingar í Kýrdal haustið 2015. Þá var allt að 240 L/s dælt niður í holur NJ-17 og NJ-26. Talsverð skjálftavirkni fylgdi niðurdælingunni en skjálftarnir voru allir minni en 2,2 Ml að stærð og þeir fundust ekki.

Þegar allt er tekið saman, þ.e. þekkt bakgrunnsjarðskjálftavirkni, dýpt og fjöldi skjálfta um og yfir M4 á svæðinu, lega þekktra misgengja, jarðskjálftavirkni á meðan á borunum og prófunum stóð, gróft mat á spennusviðsaðstæðum vegna niðurdráttar svæðisins og reynsla af niðurdælingu í Kýrdal má búast við, að niðurdæling affallsvökva valdi að mestu leyti smáum skjálftum við Skarðsmýrarfjall sem muni hvorki valda hættu né verulegum óþægindum. Fyrri skjálftavirkni gefur þó til kynna að möguleiki er á að skjálftar af stærð M~4 örvist einnig og gætu þeir hugsanlega valdið óþægindum í byggð.

Niðurstaða matsins er því að stærstu örvuðu skjálftar vegna niðurdælingar vökva í borholur í Skarðsmýrarfjalli geti fundist í byggð og falli svæðið því undir lið 3 í 4. grein reglna Orkustofnunar um viðbúnað vegna niðurdælingar í borholur (Reglur nr. OS-2016-R01-01). Samantektin á skjálftavirkni svæðisins er tæmandi og því ekki ástæða til frekari úttekta á henni og teljum við að þeim þáttum rannsóknaráætlunar sem máli skipta um viðbúnað við jarðskjálftavá vegna losunar vökva í borholur sé fullnægt. Mikilvægt er þó að fylgjast vel með skjálftavirkni og yfirborðsaflögun (t.d. með samfelldum GPS mælingum) á vinnslutímanum til að gera kleift að bregðast strax við ef spennubreytingar verða, sem leiða til aukinnar skjálftavirkni. Ennfremur er ráðlegt að auka niðurdælingu og gera aðrar breytingar í litlum skrefum og fylgjast vel með skjálftavirkni þegar magnið fer umfram það sem áður hefur verið dælt í holurnar.