



AUKIN MASSAVINNSLA JARÐHITAVÖKVA Á HELLISHEIÐI

Viðbrögð við umsögnum um matsskyldufyrirspurn

Nóvember 2021

Uppfært 6. desember 2021

1. Inngangur

Hér er gerð grein fyrir viðbrögðum Orku náttúrunnar (ON) við umsögnum eftirtalinnna aðila um matsskyldufyrirspurn um aukna massavinnslu jarðhitavökva á Hellisheiði:

- Sveitarfélagið Ölfus, dags. 24. september 2021
- Heilbrigðiseftirlit Suðurlands, dags. 6. október 2021 – ekki þörf á viðbrögðum.
- Hveragerði, dags. 22. október 2021
- Orkustofnun, dags. 25. október 2021

Í einhverjum tilvikum hafa umsagnir verið umorðaðar eða stokkaðar upp til að draga saman helstu atriðin. Hægt er að sjá umsagnirnar í heild sinni í viðauka.

2. Viðbrögð við umsögnum um matsskyldufyrirspurn

2.1 Sveitarfélagið Ölfus

Vísað er til umsagnar Sveitarfélagsins Ölfus, dags. 24.9.2021, um matsskyldufyrirspurn.

Í umsögn segir:

Aukinni massavinnsla fylgir óhjákvæmilega aukin niðurdæling affalsvatns. Niðurdælingarvatn hefur lægra hitastig og gæti leitt til aukinnar svæðisbundinnar kælingar jarðhitakerfisins. Mikilvægt er að haldið sé áfram að fylgjast náið með breytingum á jarðhitageyminum. Lagt er til að könnuð verði hvort aukin massavinnsla jarðhitavökva geti haft takmarkandi áhrif á nýtingarmöguleika annarra í sveitarfélaginu.

Viðbrögð ON: Möguleg áhrif á nýtingarmöguleika annara geta orðið vegna þrýstibreytinga í jarðhitakerfinu vegna vinnslu eða vegna hitabreytinga því niðurdælingarvatnið er kaldara en jarðhitakerfið sem vatninu er dælt í. Nánar er gerð grein fyrir báðu hér að neðan:

Eins og kemur fram í matsskyldufyrirspurninni sýna líkön, sem ON styðst við, að þrýstifall mun í heildina ekki breytast í kjölfar á aukinni massavinnu jarðhitavökva. Ástæðan er sú að öllu skiljuvatni er dælt aftur ofan í jarðhitageyminn og samhliða aukinni massavinnslu mun niðurdælingin aukast. Netto aukning á massavinnslu verður því óveruleg og áhrif á þrýstilækkun í jarðhitakerfinu sömuleiðis.

Niðurdæling á köldu notuðu jarðhitavatni í jarðhitakerfi sem er töluvert heitara en niðurdælingarvatnið mun óumflýjanlega kæla bergið sem tekur við vatninu. Náið er fylgst með á nýtingarsvæði Hellisheiðarvirkjunar hvernig niðurdælingin hefur áhrif á hitastig jarðhitavökvans í vinnsluholunum. Vegalengdin á milli niðurdælingarhola og vinnsluhola er þar sem hún er styst um 1 km og óverulegrar kælingar hefur verið vart þar þrátt fyrir 10 ára niðurdælingarsögu. Nýtingarleyfi Hellisheiðarvirkjunar rannar inn það svæði sem heimilt er að vinna jarðhitavökva. Stysta vegalengd í sennilegri rennslisstefnu niðurdælingarvatns að útmörkum nýtingarleyfis er 0,5 km og er það á norðurenda nýtingarsvæðisins. Líklegasta rennslisleið niðurdælingarvatnsins er í átt að lægri þrýstingi í miðju svæðisins þar sem vinnslan er mest en ekki út úr svæðinu afmörkuðu af nýtingarleyfinu.

Niðurstaðan er að ekki er gert ráð fyrir að aukningin geti haft takmarkandi áhrif á nýtingarmöguleika annarra í sveitarfélaginu utan svæðisins sem er afmarkað af nýtingarleyfi Hellisheiðarvirkjunar.

Í umsögn segir:

Fjallað er um að gert sé ráð fyrir að niðurdæling, vegna aukinnar massavinnslu, verði á nýju niðurdælingarsvæði við Lakahnúka og á norðanverðu Skarðsmýrarfjalli. Ekki er búist við aukinni skjálftavirkni þar sem lítið er af skjálftum á svæðunum fyrir. Lagt er til að skoðuð verði möguleg áhrif niðurdælingar og massavinnslu á skjálftavirkni á nýju svæðunum.

Viðbrögð ON: Það er mat ON að ítarleg greining hafi nú þegar verið unnin á skjálftavirkni á niðurdælingarsvæðunum á Skarðsmýrarfjalli og Lakahnúkum, bæði fyrir og eftir að niðurdæling þar hófst. Gerð voru frummöt á jarðskjálftahættu áður er niðurdæling hófst og áralöng reynsla af niðurdælingunni hefur sýnt að örvuð skjálftavirkni vegna hennar er óveruleg. Jafnframt hefur verið gerð greining á áhrifum vinnslu á spennubreytingar innan áhrifasvæðis vinnslunnar og gefur sú úttekt til kynna að niðurdæling á Skarðsmýrarfjalli og Lakahnúkum er innan þess svæðis þar sem vinnsla veldur því að jarðskjálftahætta minnkar (sjá viðauka B).

Niðurdælingarsvæðið á Skarðsmýrarfjalli hefur verið í rekstri síðan 2017 og niðurdælingarsvæðið í Lakahnúkum síðan 2019 án þess að örvaðrar skjálftavirkni hafi verið vart.

Enn fremur hefur ON rekið þétt skjálftamælanet á Hengilssvæðinu síðan 2016 og er með skýrt verklag til að lágmarka örvaða skjálftavirkni. Verklagið fylgir reglum Orkustofnunar OS-2016-R01-01 um viðbúnað og viðbrögð við jarðskjálftavá vegna losunar á vökva í jörðu um borholur.

Það er því mat ON að möguleg áhrif aukinnar niðurdælingar á nýju svæðunum á Skarðsmýrarfjalli og Lakahnúkum sé þekkt og að hætta á örvaðri skjálftavirkni vegna hennar óveruleg.

Í umsögn segir:

Greining á aðrennslissvæði fyrir núverandi og framtíðarvatnsból Sveitarfélagsins Ölfuss bendir til þess að fyrirhuguð iðnaðarsvæði tengt Hellisheiðarvirkjun í gildandi aðalskipulagi skeri aðrennslissvæði rétt sunnan við Suðurlandsveg (Vatnaskil, 2018). Staðsetning fyrirhugaðs vatnsbóls er gefin upp í gildandi aðalskipulagi Sveitarfélagsins Ölfuss 2010 – 2020. Fyrirhuguð er stóraukin nýting grunnvatns innan Sveitarfélagsins og er því mikilvægt að huga vel að áhrifum aukinnar vinnslu og niðurdælingar við Hellisheiðarvirkjun. Er því mikilvægt að vakta möguleg áhrif aukinnar niðurdælingar á nýjum svæðum, þ.e. hvort niðurdælingarvökvi nái upp fyrir þakberg og vakta þannig hugsanleg áhrif á grunnvatn í átt að Þorlákshöfn. Jafnframt þarf að skoða hver áhrif neyðarlosunar affallsvatns á yfirborði frá Hellisheiðarvirkjun geti haft á grunnvatn og vinnsluvatn við Þorlákshöfn. Mælt er með að skoðuð verði áhrif neyðarlosunar á grunnvatn og að grunnvatn verði vaktað samhliða aukinni niðurdælingu.

Viðbrögð ON: Orka Náttúrunnar tekur undir með sveitarfélagi Ölfus um mikilvægi vöktunar á grunnvatni. Líkt og kemur fram í matsskyldufyrirspurn er unnið í samræmi við nýtingar- og starfsleyfi virkjunarinnar og er affallsvatni dælt niður á a.m.k. 800 m dýpi í gegnum borholur sem eru fóðraðar niður á a.m.k. 500 m dýpi. Þetta fyrirkomulag niðurdælingar gerir það að verkum að affallsvatnið kemst ekki í snertingu við kalda grunnvatnskerfið og eru áhrif slíkrar djúprar niðurdælingar á grunnvatn talin óveruleg. Aukin massataka er ekki líkleg til að hafa áhrif á núverandi fyrirkomulags niðurdælingar.

Samkvæmt nýtingarleyfi er losun vökva á yfirborði jafnframt óheimil nema til prófana á holum til skemmri tíma og vegna stórfelldra bilana (neyðarlosun). Samsvarandi ákvæði eru í starfsleyfi virkjunarinnar en þar er jafnframt tekið fram að losun geti orðið á yfirborði vegna fyrirséðra og ófyrirséðra atburða sem hafa áhrif á viðtöku niðurdælingarsvæða. Lagt hefur verið mat á áhrif

neyðarlosunar á grunnvatn í fyrri matsskýrslum Hellisheiðarvirkjunarinnar^{1,2}. Aukin massataka og niðurdæling er ekki líkleg til að auka tíðni neyðarlosunar á yfirborði. Mikill árangur hefur náðst á seinasta ári í að minnka magn neyðarlosunar og eru leyfisveitendur upplýstir um öll þau tilvik þar sem losun fer um yfirfall virkjunarinnar á yfirborð á reglulegum fundum og í uppgjörsskýrslum vegna leyfisskilyrða.

Umfangsmikið eftirlit er með grunnvatnsforða á svæðinu og hefur þrýstingssíritum sem mæla grunnvatnsborð verið komið fyrir í 25 borholum á svæðinu. Gögn úr þeim ásamt vinnslugögnum úr Engidal eru notuð í árlega uppfærslu á grunnvatnslíkani. Fylgst er með áhrifum Hellisheiðarvirkjunar á efnasamsetningu og hita grunnvatns í vöktunarholum við og í nágrenni virkjunarinnar. Áframhaldandi vöktun verður á grunnvatnsforða, eftir að massavinnsla jarðhitavökva verður aukin, í samræmi við nýtingar- og starfsleyfi.

2.2 Hveragerði

Vísað er til umsagnar Hveragerðisbæjar, dags. 22.10.2021, um matsskyldufyrirspurn.

Í umsögn segir:

Hvergerðingar hafa ávallt furðað sig á því að umhverfisáhrif Hellisheiðarvirkjunar og tengdra framkvæmda hafi ekki verið metin með skýrari hætti gagnvart Hvergerðingum en raun var á í umhverfismati virkjunarinnar á sínum tíma. Þar var hvergi minnst á að jarðskjálftar væru fylgifyfar niðurdælingar og lítið gert úr áhrifum mengunar sem nú hefur þó verið bætt úr.

Bæjarráð telur með öllu óásættanlegt ef að aukin skjálftavirkni muni fylgja fyrirhuguðum framkvæmdum á Hellisheiði eins og fram kemur að geti verið raunin. Skjálftar sem valdið geta óþægindum í nærliggjandi byggðarlögum eins og Hvergerðingar hafa ítrekað upplifað eru aldrei ásættanlegir. Bæjarráð telur að allra leiða verði að leita til að komið verði í veg fyrir að slíkt verði raunin. Íbúar verða ávallt að geta treyst því að hagsmunir þeirra séu settir framur öðrum hagsmunum þegar kemur að ákvörðunum og framkvæmdum á svæðinu.

Bæjarráð vill einnig ítreka mikilvægi góðs samráðs og upplýsingagjafar sem er reyndar með allt öðrum og betri hætti að undanfögnu heldur en áður var.

Viðbrögð ON: Það er rétt sem kemur fram í umsögninni að hætta á örvaðri jarðskjálftavirkni vegna Hellisheiðarvirkjunar var ekki metin í umhverfismati Hellisheiðarvirkjunar, hvorki í upphaflegu mati 2003-eða stækkun 2005. Ástæðan fyrir því að það var ekki gert að ekki var búist við að það yrði einn af áhrifaþáttum virkjunarinnar. Umhverfismatið miðaðist við stöðu þekkingar á þeim tíma sem það var gert og unnið af færustu sérfræðingum og leitast var eftir umsögnum sem víðast. Í matsskyldufyrirspurn um aukna massavinnslu jarðhitavökva á Hellisheiði hefur áhersla verið lögð á að gera grein fyrir mögulegum áhrifum framkvæmdar á skjálftavirkni.

Örðuð jarðskjálftavirkni vegna niðurdælingar kom töluvert á óvart þegar hún kom upp í tengslum við að niðurdæling hófst í Húsmúla. Þá var þegar áralöng reynsla af niðurdælingu í nærliggjandi svæði, Gráuhnúkum, og þar var ekki vart við örvaða skjálftavirkni. Þegar þessi áhrifaþáttur kom í ljós hefur ONr látið gera og verið aðili að mörgum rannsóknum á skjálftavirkni á svæðinu, bæði áhrif vinnslu og niðurdælingar á skjálftavirkni og náttúrulega skjálftavirkni á áhrifasvæði virkjunarinnar. Skipaður var stýrihópur óháðra sérfræðinga til að fara yfir stöðu mála og bent á það sem betur mætti fara í

¹ Orkuveita Reykjavíkur og VGK. (2005). Stækkun Hellisheiðarvirkjunar. Mat á umhverfisáhrifum.

² Orkuveita Reykjavíkur og VGK. (2003). Virkjun á Hellisheiði. Rafstöð allt að 120 MW. Varmastöð allt að 400 MW. Mat á umhverfisáhrifum.

undirbúningi og framkvæmd niðurdælingar³. Í kjölfar þessara ábendinga voru gerðar gagngerar breytingar á öllu verklagi við niðurdælingu, sem hefur verið fylgt allar götur síðan með góðum árangri. Einnig hefur verið síðan 2016 rekið mjög viðamikið net jarðskjálftamæla sem á tímabili samanstóð af yfir 500 jarðskjálftamæla á Henglinum. Í dag eru þeir 14 talsins sem er mjög mikið fyrir eftirlit með jarðhitavinnslu. Það er óhætt að fullyrða að samspil jarðhitavinnslu, niðurdælingar og jarðskjálftavirkni er óvíða betur þekkt en fyrir Hellisheiðarvirkjun. ON telur að vegna þess hve vel þessi áhrif eru þekkt, rannsókuð og vöktuð myndi mat á áhrifum jarðskjálftavirkni litlu bæta við, en tekur undir með Hveragerðisbæ að æskilegast hefði verið að þessi umhverfispáttur hefði verið þekktur og þar með tekinn inn í umhverfismat virkjunarinnar á sínum tíma.

ON tekur undir með bæjarráði Hveragerðis um mikilvægi góðs samráðs og upplýsingagjafar. ON hefur leitast við að halda jarðskjálftavirkni í lágmarki eins og kostur er og er skýrt verklag til staðar til að lágmarka hættu á jarðskjálftum vegna niðurdælingar. Allar viðbætur við niðurdælingarkerfið og meiriháttar breytingar á tilhögun niðurdælingar fara í frummat á jarðskjálftahættu þar sem áhrif framkvæmdanna, hvort sem það sé niðurdæling í nýja holu eða hækkun á niðurdælingarþrýstingi, er metin m.t.t. hættu á örvaðri skjálftavirkni. Hvað varðar daglegan rekstur niðurdælingarkerfis virkjunarinnar er til verklag um meiriháttar eða óvenjulegar breytingar á tilhögun niðurdælingar. Áður en slíkar breytingar hefjast er send út tilkynning til hagsmunaaðila um auknar líkur á skjálftavirkni vegna breytinganna. Meiri háttar breytingar eru gerðar í litlum skrefum og fylgst með hvernig skjálftavirknin þróast, þannig að ekki séu gerðar breytingar sem valdi meiriháttar skjálftavirkni. Hefur þetta verklag reynst ákaflega vel og mælst vel fyrir hjá hagsmunaaðilum. ON hefur einnig haldið uppi virku samtali við hagsmunaaðila vegna örvaðrar skjálftavirkni, eins og vegna annarra umhverfispátta, á umhverfissfundum með leyfisveitendum annan hvern mánuð. Þar er jarðskjálftavirkni undanfarins tímabils og möguleg tengsl við vinnslu rædd.

Það er því mat ON að áhrif aukinnar massavinnslu á skjálfta er vel þekkt, rannsakað og vaktað og frekara umhverfismat mun ekki bæta við stöðu þekkingar í dag um samspil jarðhitavinnslu og jarðskjálfta.

2.3 Orkustofnun

Vísað er til umsagnar Orkustofnunar, dags. 25. október 2021, um matsskyldufyrirspurn.

Í umsögn segir:

„ Í kafla 6 í greinargerð sem fylgdi með fyrirspurninni er fjallað um núllkost, þ.e. þann kost að ekki sé ráðist í aukningu á massavinnslu. Orka náttúrunnar telur að það sé ekki raunhæfur kostur í ljósi gildandi heimilda virkjunarinnar til orkuframleiðslu, en ekki er nánar fjallað um hvaða afleiðingar sá kostur myndi hafa fyrir rekstur virkjunarinnar eða umhverfisáhrif hennar.“

Viðbrögð ON: Orka Náttúrunnar tekur undir með Orkustofnun að núllkostur sé ekki raunhæfur valkostur. Í matsskyldufyrirspurn kemur fram að með núllkosti myndi virkjunin ekki geta viðhaldið fullri framleiðslugetu. Hellisheiðarvirkjun er mikilvæg fyrir landið allt hvað varðar raforkuframleiðslu og fyrir höfuðborgarsvæðið fyrir framleiðslu á heitu vatni fyrir húshitun. Áhrif þess að massavinnsla gildandi nýtingarleyfis verði takmarkandi fyrir framleiðslugetu virkjunarinnar verða því þær að virkjunin mun ekki geta framleitt rafmagn og heitt vatn til að standa fyllilega undir þeim samningum og skuldbindingum sem gerða hafa verið um rekstur virkjunarinnar.

Hellisheiðarvirkjun getur framleitt 303 MW af rafmagni og er búið að selja raforkuna nánast alla fram til 2026 og skerðing á framleiðslugetu virkjunarinnar vegna heimilda til massavinnslu mun verulega

³ Bjarni Bessason, Eyþór H. Ólafsson, Gunnar Gunnarsson, Ólafur G. Flóvenz, Steinunn S. Jakobsdóttir, Sveinbjörn Björnsson og Þóra Árnadóttir (2012). Verklag vegna örvaðrar skjálftavirkni í jarðhitakerfum. Skýrsla 2012-24. Orkuveita Reykjavíkur.

skerða afhendingaröryggi á rafmagni frá virkjuninni með tilheyrandi orkukaupum fyrir Orku náttúrunnar til að endurselja viðskiptavinum sem hafa orkukaupasamning við ON. Eins og staða er á raforkumarkaði í dag er alls óvíst að hægt verði að kaupa raforku til að endurselja upp í skuldbindingar ON þegar eftirspurn eftir rafmagni er hvað mest.

Framleiðsla á heitu vatni til húshitunar á höfuðborgarsvæðinu er mikilvægur þáttur í starfsemi virkjunarinnar. Í dag er framleiðslugeta virkjunarinnar 950 l/s af heitu vatni eða um 20% af framleiðslugetu heits vatns á höfuðborgarsvæðinu. Eftirspurnaraukning eftir heitu vatni á höfuðborgarsvæðinu er um 100 til 150 l/s á ári og þeirri aukningu þarf að mæta að stórum hluta með því að stækka varmastöð Hellisheiðarvirkjunar. Innan tíu ára þarf því að auka framleiðslugetu virkjunarinnar á heitu vatni upp í 1800 til 2000 l/s. Það er því ljóst að ef heimild til massavinnslu verður takmarkandi fyrir framleiðslugetu virkjunarinnar gæti það kallað á endurskoðun á þeim áætlunum.

Það er rétt að taka fram að það er vissulega hægt innan reksturs virkjunarinnar að forgangsraða framleiðslu á heitu vatni umfram framleiðslu á rafmagni og þannig skerða raforkuframleiðslu þegar þörf er hvað mest eftir heitu vatni. Slík skerðing er í raun minnkun á framleiðslugetu raforku á Íslandi þegar mest á reynir og henni þarf væntanlega að mæta með byggingu nýrrar virkjunar með langt um meiri umhverfisáhrifum en aukning á heimildum til massavinnslu fyrir Hellisheiðarvirkjun veldur. Því eins og rakið hefur verið í fyrirspurninni eru áhrifin af breytingunni óveruleg umfram það sem nú er.

Núllkostur felur í sér óbreytt ástand, þannig að ekki verði af þeim umhverfisáhrifum sem lýst er í kafla 7.1 – 7.4 í matsskyldufyrirspurn. Helstu áhrifin koma fram við mögulega aukningu á skjálftavirkni en þar eru áhrif metin óveruleg til neikvæð.

3. Viðaukar

Viðauki A | Umsagnir sem bárust um matsskyldufyrirspurn um aukna massavinnslu jarðhitavökva á Hellisheiði:

- Sveitarfélagið Ölfus
- Heilbrigðiseftirlit Suðurlands
- Hveragerði
- Orkustofnun

Viðauki B | Reikningar á bergspennubreytingum á Hengilssvæði. Jarðvísindastofnun Háskólans, 2019.



Skipulagsstofnun

Borgartúni 7b
105 Reykjavík

Þorlákshöfn, 24. september 2021
Málsnúmer: 2109029 GJ
Kt. umsk. 5902695149

Hafnarberg 1
815 Þorlákshöfn, Ísland
+354 480 3800 olfus.is

Á 24. fundi Skipulags- og umhverfisnefndar Ölfuss 23.9.2021 sl., var neðangreint erindi tekið fyrir.

Aukin vinnsla jarðhita á Hellisheiði - Umsögn um matsspurningu

Skipulagsstofnun biður um umsögn Sveitarfélagsins um matsspurningu um aukna orkuvinnslu á Hellisheiði. Í viðhengi er umsagnarbeiðni og punktar fyrir umsögn sem verkfæðistofan Vatnaskil vann fyrir sveitarfélagið. Vatnaskil unnu einnig skýrslu nýlega fyrir sveitarfélagið um nýtingu grunnvatnsauðlindarinnar í nágrenni Þorlákshafnar.

Afgreiðsla: Skipulagsnefnd vill í þessu sambandi benda á eftirfarandi:

Sveitarfélagið Ölfus fer með skipulagsvald á svæðinu og er leyfisveitandi þegar kemur að framkvæmda- og byggingarleyfum. Sveitarfélagið leggur áherslu á eftirfarandi atriði.

Aukinni massavinnslu fylgir óhjákvæmilega aukin niðurdæling affallsvatns. Niðurdælingarvatn hefur lægra hitastig og gæti leitt til aukinnar svæðisbundinnar kælingar jarðhitakerfisins. Mikilvægt er að haldið sé áfram að fylgjast náið með breytingum á jarðhitageyminum. Lagt er til að könnuð verði hvort aukin massavinnsla jarðhitavökva geti haft takmarkandi áhrif á nýtingarmöguleika annarra í Sveitarfélaginu.

Í matsskyldufyrirspurn kemur fram að niðurdæling hefur haft áhrif á skjálftavirkni og er sú staðhæfing byggð á mælingum. Fjallað er um að gert sé ráð fyrir að niðurdæling, vegna aukinnar massavinnslu, verði á nýju niðurdælingarsvæði við Lakahnúka og á norðanverðu Skarðsmýrarfjalli. Ekki er búist við aukinni skjálftavirkni þar sem lítið er af skjálftum á svæðunum fyrir. Lagt er til að skoðuð verði möguleg áhrif niðurdælingar og massavinnslu á skjálftavirkni á nýju svæðunum.

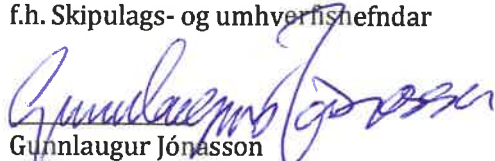
Greining á aðrennslissvæði fyrir núverandi og framtíðarvatnsból Sveitarfélagsins Ölfuss bendir til þess að fyrirhugað iðnaðarsvæði tengt Hellisheiðarvirkjun í gildandi aðalskipulagi skeri aðrennslissvæði rétt sunnan við Suðurlandsveg (Vatnaskil, 2018). Staðsetning fyrirhugaðs vatnsbóls er gefin upp í gildandi aðalskipulagi Sveitarfélagsins Ölfuss 2010-2020. Fyrirhuguð er stóraukin nýting grunnvatns innan Sveitarfélagsins og er því mikilvægt að huga vel að áhrifum aukinnar vinnslu og niðurdælingar við Hellisheiðarvirkjun. Er því mikilvægt að vakta möguleg áhrif aukinnar niðurdælingar á nýjum svæðum, þ.e. hvort niðurdælingarvökvi nái upp fyrir þakberg og vakta þannig hugsanleg áhrif á grunnvatn í átt að Þorlákshöfn. Jafnframt þarf að skoða hver áhrif neyðarlosunar affallsvatns á yfirborði frá Hellisheiðarvirkjun geti haft á grunnvatn og vinnsluvatn við Þorlákshöfn. Mælt er með að skoðuð verði áhrif neyðarlosunar á grunnvatn og að grunnvatn verði vaktað samhliða aukinni niðurdælingu.

Að öðru leiti telur nefndin að vel sé gerð grein fyrir framkvæmdinni í skýrslunni.

Skipulagsnefnd gerir ekki frekar athugasemdir við matsspurninguna eins og hún er sett fram.

Afgreiðsla nefndarinnar er gerð með fyrirvara um staðfestingu bæjarstjórnar Ölfuss og verður þér gert viðvart fari afgreiðsla á annan veg í sveitarstjórn heldur en hér kemur fram.

Virðingarfyllt,
f.h. Skipulags- og umhverfisnefndar


Gunnlaugur Jónsson
skipulagsfulltrúi Ölfuss



Austurvegur 65 - 800 Selfoss

Sími 480 8250 – Veffang www.hsl.is – Netfang hsl@hsl.is – Kennitala 480284-0549

**Skipulagsstofnun
Jakob Gunnarsson
Borgartúni 7b
105 Reykjavík**

jakob@hsl.is
skipulag@skipulag.is

Selfossi, 6. október 2021
2109047HS SG

Efni: Aukin massavinnsla jarðhitavökva Hellisheiði, Ölfusi - Umsögn um framkvæmd

Þann 9. september sl. móttók Heilbrigðiseftirlit Suðurlands tölvupóst með bréfi Skipulagsstofnunar, dags. sama dag, þar sem óskað er eftir umsögn embættisins um tilkynningu vegna fyrirhugaðar aukinnar massavinnslu jarðhitavökva á Hellisheiði, 816 Ölfusi.

Um er að ræða umsókn um rýmri heimildir til massavinnslu jarðhitavökva á Hellisheiði svo hægt sé að nýta fulla framleiðslugetu Hellisheiðarvirkjunar á rafmagni og heitu vatni. Aukin massavinnsla felur í sér að meiri massi verður tekinn úr hverri holu í jarðhitakerfinu. Framkvæmdin er í samræmi við gildandi skipulagsáætlanir, í matsskýldufyrirspurn er m.a. gerð grein fyrir mögulegum áhrimum á umhverfið s.s. jarðhitageymi, grunnvatn og skjálftavirkni.

Heilbrigðiseftirlit Suðurlands hefur farið yfir ofangreinda tilkynningu fyrir téða framkvæmd og gerir engar athugasemdir.

1. Heilbrigðiseftirlit Suðurlands tekur undir sjónarmið ON varðandi skilgeiningu á jarðhitavökva sem „jarðhita“ en ekki „grunnvatn“ sbr. lög nr. 57/1998.
2. Varðandi skjálftavirkni þarf að taka tillit til íbúa í nágrenninu sem hafa síður þolinmæði gagnvart manngerðum jarðskjálftum sem eru finnanlegir í íbúabyggð en þeim sem koma af náttúrunnar völdum.
3. Í starfsleyfi virkjunarinnar sem er útgefið 2016 er ekki ákvæði um vöktun/viðbrögð við örvaðri skjálftavirkni í starfsleyfisskilyðum, hvorki vegna vinnslu né niðurdælingar. Það gefur tilefni til að endurskoða skilyrðin og bæta inn viðauka með ákvæðum um verklag við niðurdælingu, sem ON hefur þegar útfært. Ekki er fyrir hendi verklag/mógvægisáðgerðir vegna örvaðrar skjálftavirkni vegna vinnslu/massaupptektar og áhrif óljós, sem gefur jafnframt ástæðu til athugunar á endurskoðun starfsleyfis.



Að teknu tilliti til ofangreinds telur embættið að tilkynningin geri nægjanlega grein fyrir eðli, umfangi og umhverfi framkvæmdarinnar, sem og mótvægisáðgerðum og vöktun. Embættið telur að varanleg umhverfisáhrif framkvæmdarinnar önnur en sjónræn og staðbundin í næsta nágrenni hennar séu hverfandi/óveruleg og mögulegt að milda þau með góðri umgengni á framkvæmdatíma og vönduðum frágangi umhverfis og mannvirkja að framkvæmdum loknum. Embættið metur málið því sem svo að framkvæmdin skuli ekki háð mati á umhverfisáhrifum.

Heilbrigðiseftirlit Suðurlands veitir jarðvarmavirkjunum starfsleyfi skv. lögum nr. 7/1998 um hollustuhætti og mengunarvarnir og reglugerð nr. 550/2018 um losun frá atvinnurekstri og mengunarvarnaeftirlit. Einnig veitir embættið starfsleyfi vegna ýmissa verkþátta á meðan á framkvæmdum stendur, s.s. efnisnámi, landmótun og verktakaaðstöðu skv. ofangreindri reglugerð auk starfsmannabúða skv. reglugerð nr. 941/2002 um hollustuhætti.

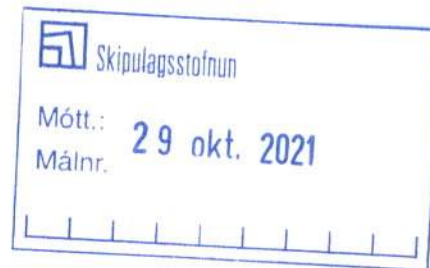
F.h. Heilbrigðiseftirlits Suðurlands,

Sigrún Guðmundsdóttir
framkvæmdastjóri



HVERAGERÐISBÆR

Skipulagsstofnun
B.t. Jakob Gunnarsson
Borgartún 7b
105 Reykjavík



Hveragerði, 22.10.2021

Efni: Bréf frá Skipulagsstofnun frá 14. September 2021.

Á fundi bæjarráðs Hveragerðisbæjar, sem haldinn var 21. október 2021, var ofangreint tekið til umfjöllunar;

„Lagt fram bréf frá Skipulagsstofnun frá 14. september þar sem kemur fram að Orka náttúrunnar hefur óskað eftir umsögn vegna mögulegrar skjálftavirkni vegna fyrirhugaðrar aukningar á massavinnslu jarðhitavökva a Hellisheiði.“

Eftirfarandi var fært til bókar;

„Hvergerðingar hafa ávallt furðað sig á því að umhverfisáhrif Hellisheiðarvirkjunar og tengdra framkvæmda hafi ekki verið metin með skýrari hætti gagnvart Hvergerðingum en raun var á í umhverfismati virkjunarinnar á sínum tíma. Þar var hvergi minnst á að jarðskjálftar væru fylgifyiskar niðurdælingar og lítið gert úr áhrifum mengunar sem nú hefur þó verið bætt úr.

Bæjarráð telur með öllu óásættanlegt ef að aukin skjálftavirki muni fylgja fyrirhuguðum framkvæmdum á Hellisheiði eins og fram kemur að geti verið raunin. Skjálftar sem valdið geta óþægindum í nærliggjandi byggðarlögum eins og Hvergerðingar hafa ítrekað upplifað eru aldrei ásættanlegir. Bæjarráð telur að allra leiða verði að leita til að komið verði í veg fyrir að slíkt verði raunin. Íbúar verða ávallt að geta treyst því að hagsmunir þeirra séu settir framur öðrum hagsmunum þegar kemur að ákvörðunum og framkvæmdum á svæðinu. Bæjarráð vill einnig ítreka mikilvægi góðs samráðs og upplýsingagjafar sem er reyndar með allt öðrum og betri hætti að undanfögnu heldur en áður var.

Bæjarstjóra falið að senda umsögn um erindið byggða á umræðum á fundinum en frestur til að skila athugasemdum Hveragerðisbæjar hefur verið gefinn til 29. október n.k.“

Þetta tilkynnist hér með.

Virðingarfyllst,
f.h. Hveragerðisbæjar,


Aldís Hafsteinsdóttir
Bæjarstjóri



Skipulagsstofnun
Borgartúni 7b
105 REYKJAVÍK

Reykjavík, 25. október 2021
Tilvísun: OS2021090031/20.3
Verknúmer: 3090000

Efni: Umsögn um fyrirspurn um matsskyldu vegna aukinnar massavinnsla jarðhitavökva á Hellisheiði

Vísað er til erindis Skipulagsstofnunar, dags. 9. september sl., þar sem óskað var umsagnar Orkustofnunar um hvort, og þá á hvaða forsendum, aukin massavinnsla jarðhitavökva á Hellisheiði skyldi háð mati á umhverfisáhrifum með vísan til 20. gr. laga, nr. 111/2021, um umhverfismat framkvæmda og áætlana og 12. gr. reglugerðar nr. 660/2015, um mat á umhverfisáhrifum. Óskað er eftir því að í umsögn komi fram, eftir því sem við á, hvort umsagnaraðili telji að nægjanlega sé gerð grein fyrir framkvæmdinni, umhverfi hennar, mótvægisáðgerðum og vöktun. Einnig óskar Skipulagsstofnun eftir því að í umsögn komi fram, eftir því sem við á, hvaða leyfi framkvæmdin er háð og varðar starfssvið umsagnaraðila.

Samkvæmt 4. gr. raforkulaga, nr. 65/2003 þarf leyfi Orkustofnunar til að reisa og reka raforkuver. Nýting jarðhita til framleiðslu á raforku krefst að auki nýtingarleyfis vegna jarðhita á grundvelli 6. gr. laga, nr. 57/1998, um rannsóknir og nýtingu á auðlindum í jörðu (auðlindalög).

Núgildandi virkjunarleyfi fyrir Hellisheiðarvirkjun var gefið út þann 3. júní 2011 og þann 2. nóvember 2015 veitti Orkustofnun Orku náttúrunnar nýtingarleyfi á jarðhita á Hellisheiði. Skv. því leyfi hefur leyfishafi heimild til að nýta allt að 60 PJ/a af vergri frumorku og allt að 38 Tg/a af vergri massavinnslu úr jarðhitageymi. Nú óskar leyfishafi eftir því að auka við massavinnsluna og krefst það umsóknar um nýtt leyfi, þar sem slík breyting á núverandi leyfi er ekki heimil skv. auðlindalögum að mati Orkustofnunar.

Orkustofnun hefur kynnt sér gögn sem fylgdu með erindi Skipulagsstofnunar. Í kafla 6 í greinargerð sem fylgdi með fyrirspurninni er fjallað um núllkost, þ.e. þann kost að ekki sé ráðist í aukningu á massavinnslu. Orka náttúrunnar telur að það sé ekki raunhæfur kostur í ljósti gildandi heimilda virkjunarinnar til orkuframleiðslu, en ekki er nánar fjallað um hvaða afleiðingar sá kostur myndi hafa fyrir rekstur virkjunarinnar eða umhverfisáhrif hennar.

Orkustofnun gerir að öðru leyti ekki athugasemdir við framlagða matsskyldufyrirspurn.

Orkustofnun bendir á að umsögn þessi, sem stofnunin veitir Skipulagsstofnun, er af því tagi að ekki felist í henni vanhæfi stofnunarinnar til að taka afstöðu til umsókna vegna leyfisveitinga stofnunarinnar á síðari stigum.

Virðingarfyllst,
f.h. orkumálastjóra



María Guðmundsdóttir



Harpa Pétursdóttir

Reikningar á bergspennubreytingum á Hengilssvæði

1. Samantekt

Vinnsla jarðhitakerfa veldur breytingum í bergspennum og getur því mögulega hrundið af stað jarðskjálftum. Hér er einfölduðum líkönum af jarðhitakerfunum á Helligheiði og Nesjavöllum beitt til að reikna breytingar í Coulomb spennu (CS; *e. Coulomb failure stress*) fyrir lóðrétt hægri handar sniðgengi, en stærstu jarðskjálftar á Suðurlandi verða á þess háttar misgengjum. Í útreikningum er ekki tekið tillit til breytinga í vökvæðingum, sem hefur einnig áhrif á hvort misgengi geta hrokkið. Jákvæð breyting í CS merkir að auknar líkur eru á að misgengi hrökkvi. Niðurstöður sýna jákvæðar breytingar í CS norðvestur og suðaustur af miðjum vinnslusvæðanna, og neikvæðar breytingar í CS suðvestur og norðaustur af miðjum vinnslusvæðanna. Stærstar breytingar í CS eru nálægt vinnslusvæðunum, á dýpi sem er grynnra en aflögunarmiðja jarðhitavinnslunnar. Niðurstöður sýna t.a.m. jákvæða breytingu í CS við Húsmúla og neikvæða breytingu í CS við Gráuhnjúka. Einnig eru reiknaðar spennubreytingar vegna langvarandi landsigs undir Ölkelduhálsi sem er ráðandi í spennubreytingum dýpra en 3 km á Hengilssvæðinu og veldur m.a. jákvæðum CS breytingum suður af Hveragerði.

2. Inngangur

Jarðskjálftar verða þegar jarðskorpuhreyfingar valda spennum í bergi sem fara yfir brotmörk bergsins. Að öllu jöfnu hafa flekahreyfingar og aflögun jarðskorpunnar við mót flekana mest að segja með hvar og hvernig jarðskjálftar verða. Ýmis önnur ferli geta þó valdið staðbundinni aflögun, t.d. kvikuhreyfingar, jarðskjálftar og jarðhitavinnsla - og þar með haft áhrif á hvenær og hvar jarðskjálftar eiga sér stað. Hafa þarf í huga breytingar í tveimur þáttum bergspennu þegar verið er að kanna hvort misgengi færist nær eða fjær brotmörkum: a) skúfspennu (*e. shear stress*), sem er spenna samsíða misgengisfleti; b) þverspennu (*e. normal stress*), sem er spenna þvert á misgengið. Ef skúfspennan eykst meira en þverspennan þá færist misgengið nær brotmörkum og auknar líkur eru á jarðskjálfta á misgenginu. Einföld samlíking fæst með að þrýsta saman lófunum og finna hversu mikið þrýsingurinn (þverspennan) hefur áhrif á hversu erfitt er að hreyfa lófana samsíða hvorum öðrum (skúfspenna). Með þessari samlíkingu færst einnig tilfinning fyrir áhrif núnings: ef núningsstuðull er hár þá hefur þverspennan meiri áhrif á hvort lófarnir renni.

Til að meta hvort breytingar í spennu auki eða minnki líkur á jarðskjálftum er rétt að skoða svokallaða Coulomb spennu, sem er breyting í mismun skúf- og þverspenna á misgengjum með ákveðið strik og halla. Hér er mikilvægt að gera sér grein fyrir að spennubreytingarnar eru mismunandi fyrir mismunandi strik, halla og skriðstefnu (*e. rake*) misgengja. Eins eru spennubreytingar mismunandi eftir dýpi og verður því að reikna í þrívíðu hálfgrúmi. Misgengin sem spennubreytingar eru reiknaðar fyrir er kölluð viðtaksmisgengi (*e. receiver faults*). Breyting í Coulomb spennu er skilgreind sem

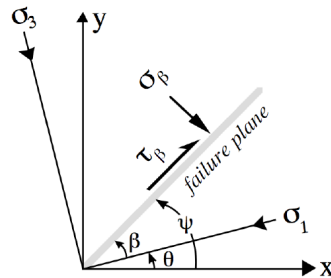
$$\Delta\sigma_{CS} = \Delta\tau + \mu(\Delta\sigma_N + \Delta p), \quad (1)$$

þar sem $\Delta\tau$ er breyting í skúfspennu (jákvæð ef samsíða skriðstefnu), $\Delta\sigma_N$ er breyting í þverspennu (jákvæð fyrir minni þverspennu), Δp er breyting í vökvaprýstingi og μ er núningsstuðull (Harris & Simpson, 1992). Ef ekki er tekið sérstaklega tillit til vökvaprýstings, eða ef gert ráð fyrir að breytingar í vökvaprýsting séu í hlutfalli við breytingar í þverspennu, má umrita jöfnu (1) sem

$$\Delta\sigma_{CS} = \Delta\tau + \mu'\Delta\sigma_N, \quad (2)$$

þar sem μ' er raun-núningsstuðull (*e. effective coefficient of friction*). Þó svo að núningsstuðlar séu breytilegir innan sama misgengis, milli misgengja og eftir tíma, þá er þessi breytileiki óþekktur og algengt er að nota föst gildi núningsstuðuls: 0.8 fyrir samgengi og 0.4 fyrir sniðgengi eða misgengi með óþekktu skriðstefnu (Toda o.fl. 2011). Á þessari nálgun eru ýmsir

vankantar (sjá t.d. Beeler o.fl., 2000) og rétt að skoða nokkur mismunandi gildi fyrir núningstuðul í hverju tilviki fyrir sig til að kanna vikmörk niðurstaðna.

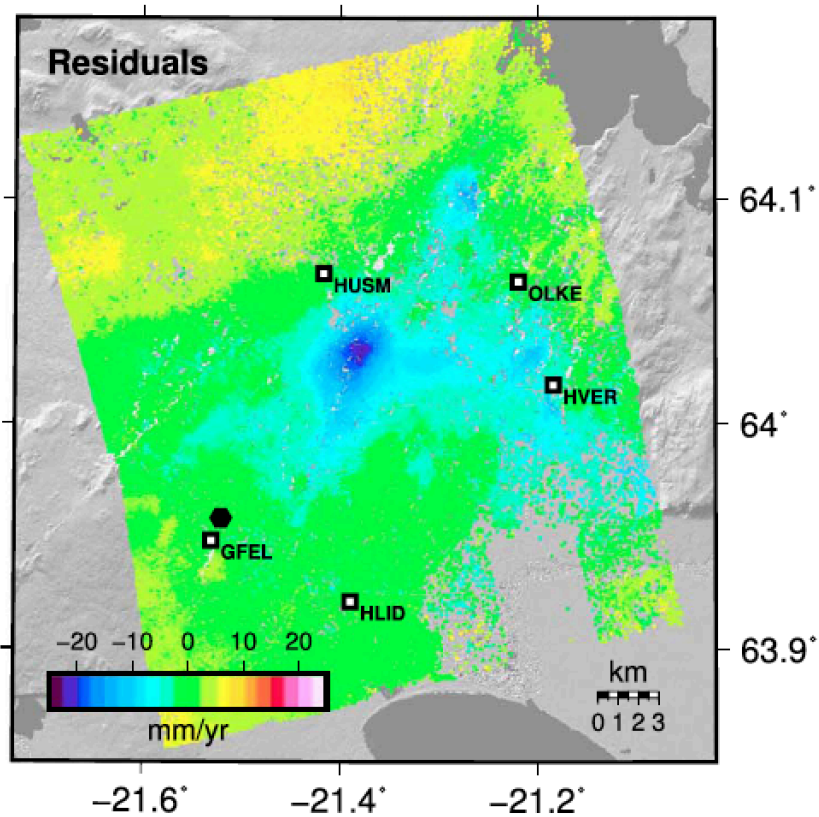


Mynd 1: Þverspenna og skúfspenna á misgengi (e. failure plane) [Frá Toda o.fl. 2011].

Hér er sérstaklega vakin athygli á því að reiknaðar eru *breytingar* á spennu, en ekki er lagt mat á heildarspennuástandið í jarðskorpunni. Misgengi þurfa því að öllu jöfnu að vera nálægt brotmörkum til að litlar breytingar í Coulomb spennu valdi jarðskjálftum. Því er ekki hægt að segja til um tölulega hversu mikið líkur á jarðskjálftum aukast með breytingu í Coulomb spennu. Stundum er miðað við 10 kPa (0,1 bar) sem marktækar breytingar á spennu, eða 1 kPa (0,01 bar), sem eru álíka spennubreytingar og verða vegna flóðkrafta (Stein, 1999). Í þessu samhengi má hugsa sér að áhrifasvæðið sé fall af tíma: aflögun vegna jarðhitavinnslu veldur um 2,5 cm sigi á hverju ári við Hellsheiði og því munu landfræðileg mörk spennuþröskulda breytast (stækka) með tíma.

Coulomb spennureikningum hefur áður verið beitt á Íslandi, til dæmis voru reiknaðar spennubreytingar vegna suðurlandsskjálftanna 2000 (Decriem & Árnadóttir, 2012) og 2008 (Decriem o.fl., 2010). Jarðskjálftarnir við Hveragerði og Ingólfsfjall 2008 ullu minnkun í Coulomb spennu á vestanverðu Hengilssvæðinu sem nam um 100-200 kPa (Decriem o.fl. 2010). Einnig má nefna sem dæmi um spennureikninga á Íslandi grein Maccaferri o.fl. (2013) þar sem sýnt er að Kröflueldar leiddu til neikvæðra breytinga í Coulomb spennu á Húsavíkur-Flateyjar misgenginu. Fáar greinar hafa verið birtar um áhrif jarðhitavinnslu á Coulomb spennubreytingar. Trugman o.fl. (2014) leiða líkur að því að jarðhitavinnsla í Cerro Prieto hafi komið af stað El Mayor - Cucapah jarðskjálftunum, þar sem stærsti skjálftinn var 7.2 að stærð. Niðurstaða Trugman o.fl. var að Coulomb spennubreytingar vegna jarðhitavinnslu voru stærri en tektónískar spennubreytingar á hluta misgengjanna sem hrukku í jarðskjálftunum.

Juncu o.fl. (2017) notuðu GPS og InSAR gervitunglagögn frá 2012-2015 til að mæla aflögun á Hengilssvæðinu (Mynd 2) og meta stika í einföldum líkönum til að skýra mælingarnar. Líkönin samanstóðu af ellipsoíðulaga sigsvæðum fyrir Hellisheiði og Nesjavelli, kúlulaga sigupptökum undir Ölkelduhálsi, auk þess sem líkan frá Árnadóttur o.fl. (2009) var notað til að leiðrétta fyrir flekahreyfingum. Juncu o.fl. (2019) beittu svo porufjaðrandi (poro-elastic) líkönum á sömu gögn, þar sem gert var ráð fyrir sívalingslaga jarðhitageymum, og endurmátu staðsetningar, dýptir og aðra stika fyrir sigsvæðin á Hellisheiði, Nesjavöllum og Ölkelduhálsi, sem notaðir eru hér til að reikna breytingar á Coulomb spennu (Viðauki 1).



Mynd 2: Meðalfærsluhraðar 2012-2015 úr InSAR tímaraðagreiningu. Færslurnar eru í stefnu að gervitunglinu, um 20° frá lóðréttu. Búið er að leiðrétta fyrir flekahreyfingum. Sig á vinnslusvæðum á Hellisheiði og Nesjavöllum sést ágætlega, sem og víðfemt sig á austurhluta svæðisins. [Frá Juncu o.fl. 2017]

Stærstu jarðskjálftar á Hengilssvæðinu verða á lóðréttum sniðgengjum sem stefna í norður og eru framhald af bókahillutektóník Suðurlandsbrotabeltisins (sjá t.d. Einarsson, 2008). Því eru hér reiknaðar Coulomb spennubreytingar eingöngu fyrir hægri-handar lóðrétt norður-suður sniðgengi.

3. Aðferðir

Til útreikninga var notað forritið Coulomb 3.3 frá USGS (<https://earthquake.usgs.gov/research/software/coulomb/>; Toda o.fl. 2011). Forritið var keyrt í Matlab, útgáfu R2016a. Gildi fyrir staðsetningar, dýpi og rúmmálsbreytingar á aflögunaruppsprettum voru fengin úr grein Juncu o.fl. (2019), sjá Viðauka 1. Gerð var sú nálgun að uppsprettur væru punktuppsprettur ("Mogi uppsprettur"), enda ekki boðið upp á annað í Coulomb 3.3. Útreikningarnir eru gerðir í rétthyrndu X-Y hnitakerfi, gert var ráð fyrir að miðja hnitakerfisins væri í $64,059^\circ\text{N}$ og $21,255^\circ\text{W}$. Í líkanreikningunum þarf að gefa sér fjaðurstuðla bergsins; hér var notast við Youngs stuðul 80 GPa og Poisson hlutfall 0,25. Reiknuð var Coulomb spennubreyting fyrir lóðrétt hægri handar sniðgengi. Gert var ráð fyrir að virkur núningsstuðull (sjá Jöfnu 2) væri 0,4, en önnur gildi voru einnig prófuð og virtist ekki muna miklu á niðurstöðum (sjá Viðauka 2). Til að sjá sem best áhrif virkjananna voru tvenns konar útreikningar gerðir: annars vegar eingöngu notaðar sigmiðjur frá Helligheiði og Nesjavöllum og hins vegar var bætt við sigmiðju undir Ölkelduhálsi.

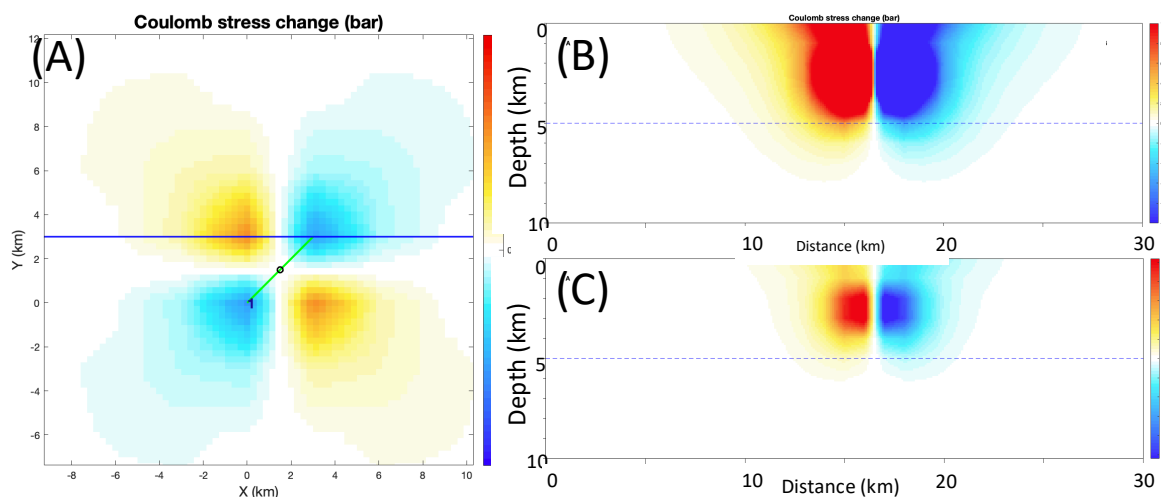
Einnig var líkt eftir spennusöfnun vegna flekahreyfinga með mjög einfölduðu líkani. Flekaskilin voru sett upp sem 200 km langt austur-vestur misgengi sem er læst niður á 10 km dýpi og þar fyrir neðan með hreina vinstri handar skúfhreyfingu sem nemur 1,9 cm á ári. Reiknaðar voru Coulomb spennubreytingar fyrir lóðrétt hægri handar sniðgengi á sama hátt og áður.

Inntaksskrár fyrir Coulomb 3.3 fyrir hvern þessara útreikninga má finna í Viðauka 3 og úttaksskrár með spennubreytingum í Viðauka 4 (rafrænn viðauki).

4. Niðurstöður

4.1. Stök sigmiðja

Til að fá betri hugmynd um hvernig sigmiðjur valda Coulomb spennubreytingum á nálægum misgengjum er rétt að byrja á að skoða Coulomb spennubreytingar á lóðréttum N-S hægri handar sniðgengjum vegna stakrar sigmiðju (Mynd 3). Mynstrið sem kemur í ljós í láréttu þversniði sýnir fjórðungaskiptingu: norðvestur og suðaustur af sigmiðjunni eru breytingar í Coulomb spennu jákvæðar, en neikvæðar í fjórðungum suðvestur og norðaustur af sigmiðju (Mynd 3A). Einnig er ljóst að mestar Coulomb spennubreytingar verða ofan við miðju sigs og innan svæðis sem er svipað að stærð og dýpið niður á sigmiðju (Mynd 3B og 3C). Myndir 3B og 3C sýna einnig hvernig draga má fram mismunandi atriði með að velja mismunandi metnun í litaskala.



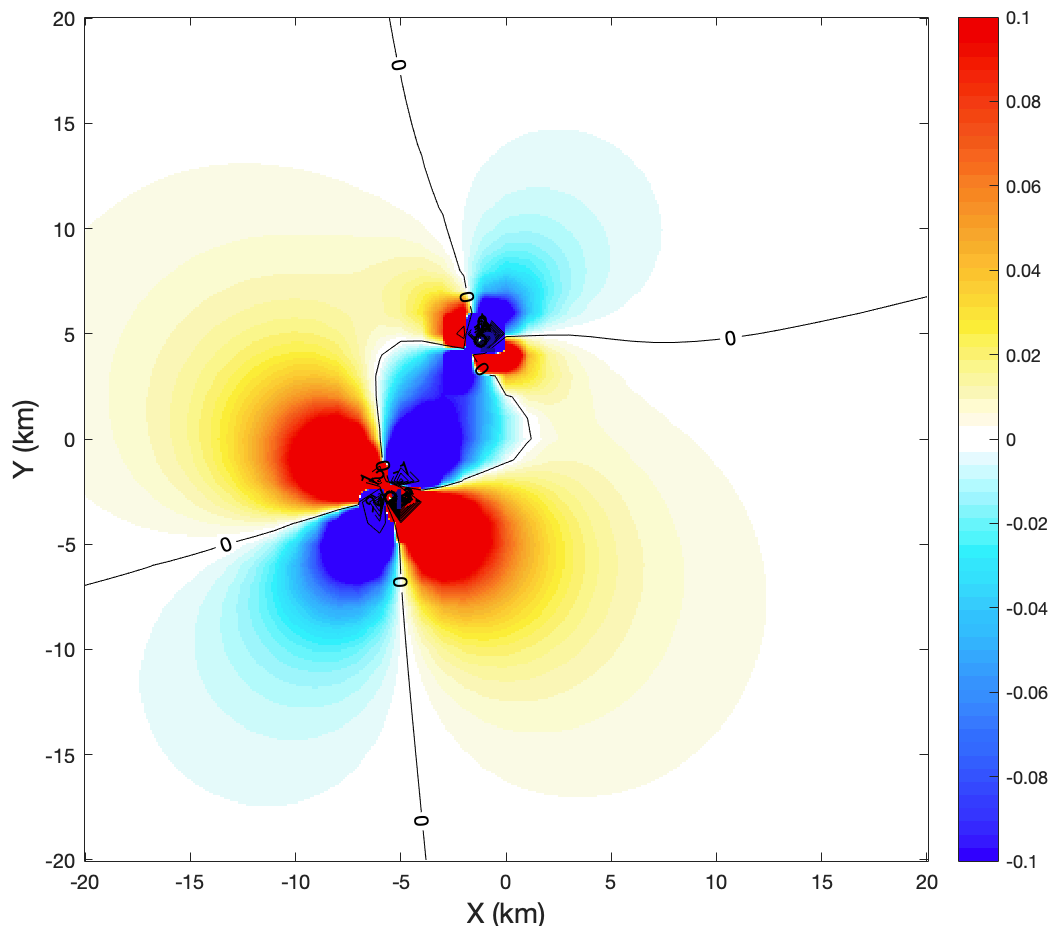
Mynd 3: Coulomb spennubreytingar fyrir staka sigmiðju sem staðsett er á 5 km dýpi.

Núningsstuðull er 0,0. A) Lárétt snið á 5 km dýpi. Staðsetning sigmiðju er táknuð með hring nálægt miðju kortsins. Blá lína í $Y = 3$ km sýnir staðsetningu lóðrétts sniðs sem sýnt er í B) og C). Litaskali á A) og B) er sá sami, mettast í 10 börum, en á C) er skalinn látinn mettast í 50 börum til að draga fram að mestu spennubreytingarnar verða á dýpi mitt á milli sigmiðju og yfirborðs. Punktalína í B) og C) sýnir dýpi lárétta sniðsins í A).

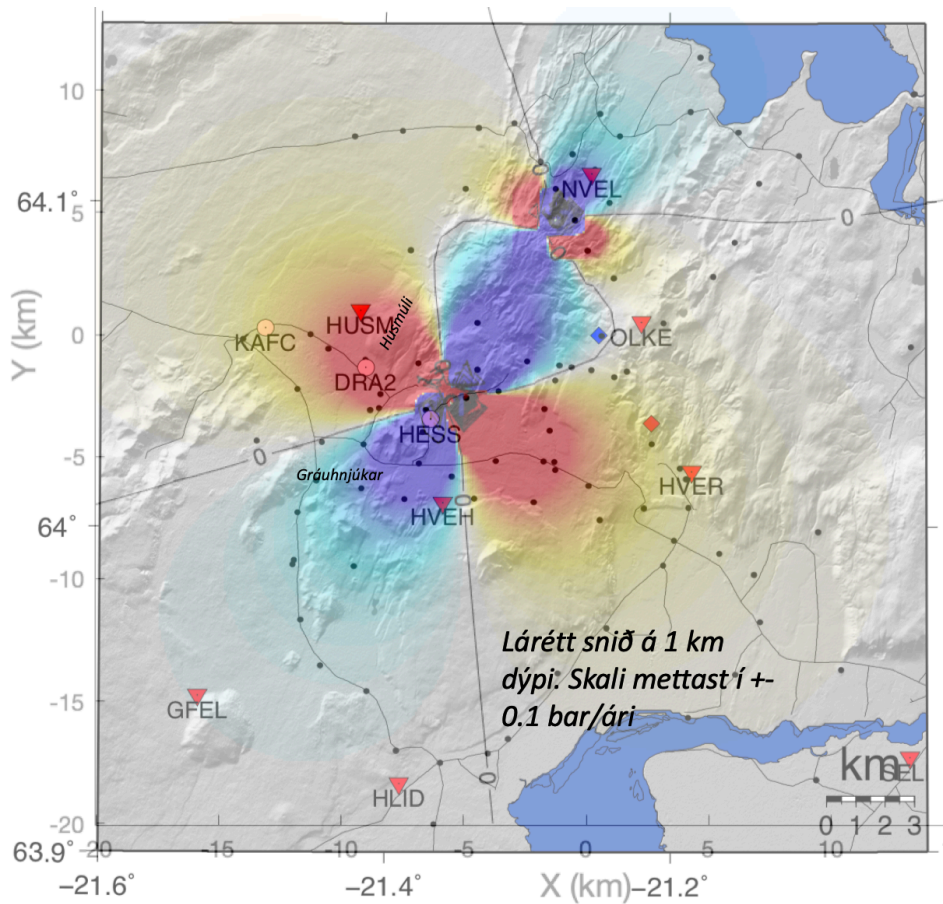
Á Mynd 3 er gert ráð fyrir núningsstuðli 0,0 og er þá fullkomin samhverfa um sigmiðjuna í láréttum sniðum. Í Viðauka 2 má sjá hvernig hærri gildi núningsstuðuls bjaga samhverfuna án þess að breyta heildarmynstrinu mikið. Hér eftir verður gert ráð fyrir núningsstuðli 0,4.

4.2. Tvær sigmiðjur: Hellisheiði og Nesjavöllir

Hér eru kannaðar Coulomb spennubreytingar vegna sigmiðja á Hellisheiði og Nesjavöllum. Við útreikninga var notast við mat á árlegum rúmmálsbreytingum frá Juncu o.fl. (2019) og eru niðurstöður Coulomb spennubreytinga því birtar í einingunni *bar/ári* (Myndir 4 til 7). Meiri Coulomb spennubreytingar tengjast vinnslunni Hellisheiði en Nesjavöllum vegna meiri aflögunar og massatöku á Hellisheiði. Áhugavert er að Húsmúli lendar í svæði jákvæðra breytinga í Coulomb spennu, en Gráuhnúkar lenda heldur á svæði neikvæðra breytinga í Coulomb spennu. Helst það að nokkru leyti í hendur við breytingar í jarðskjálftavirkni, þó svo að auðvitað hafi breytingar í vökvaprygtingi við niðurdælingu einnig mikið að segja um heildar spennubreytingar. Þá má benda á að Hengillinn sjálfur, milli Hellisheiðar og Nesjavalla, er á svæði neikvæðra Coulomb spennubreytinga í takt við litla jarðskjálftavirkni þar.

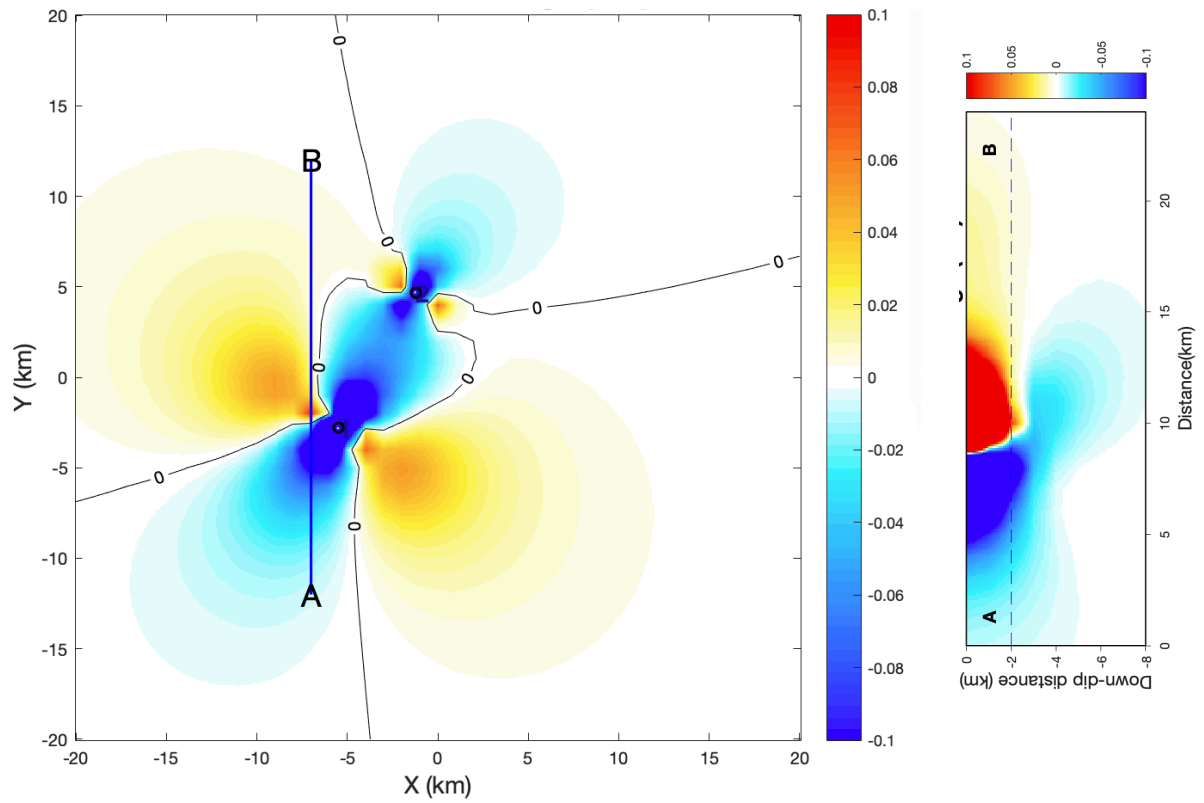


Mynd 4: Lárétt snið á 1 km dýpi af Coulomb spennubreytingum vegna aflögunar á Hellisheiði (í suðvestri) og Nesjavöllum (í norðaustri). Litaskalinn er í bar/ári og er látinn mettast í $\pm 0,1$ bar/ári. Áhugavert er að Húsmúli lendar á svæði aukinnar Coulomb spennu.

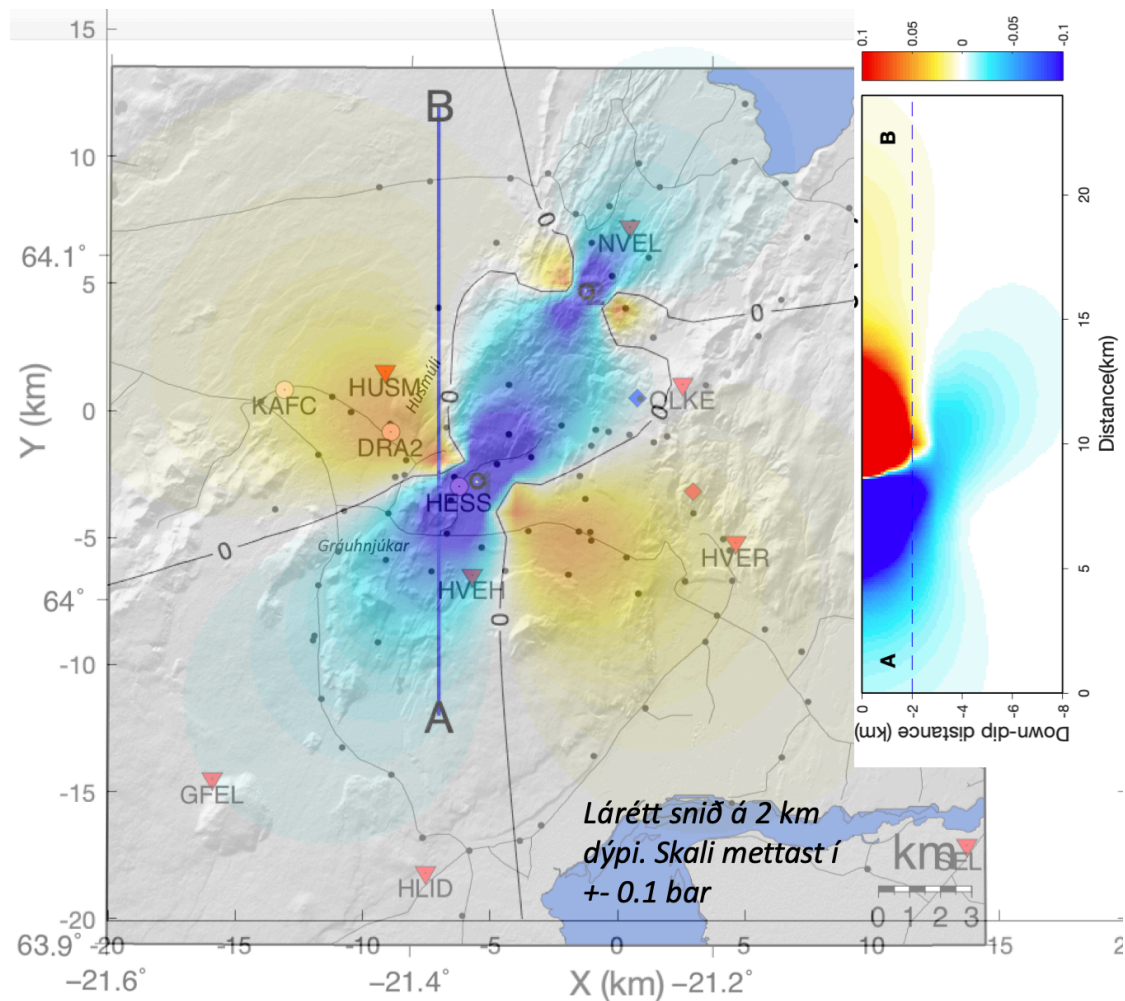


Mynd 5: Sama og mynd 4, ofan á landslagskorti með staðsetningum GPS stöðva.

Undir Húsmúla eru áhugaverðar breytingar í bergspennum. Vegna fjórðungaskiptingar Coulomb spennubreytinga verða spennubreytingar bæði jákvæðar og neikvæðar á sömu misgengjum (sjá þversnið á Mynd 6-7). Hugsanlega skýrir þetta mynstur hvers vegna jarðskjálftavirkni í Húsmúla barst frekar norður en suður frá niðurdælingarsvæðunum: sunnan Húsmúla hefur vinnslan á Hellisheiði minnkað líkur á jarðskjálftum. Undir Húsmúla, á um 2.5 km dýpi breytist jákvæð spennubreyting yfir í neikvæða, sem hindrar heldur að skjálftar berist dýpra undir Húsmúla (Mynd 6-7, þversnið). Athuga ber að hér ekki er gert ráð fyrir breytingum í vatnsþrýstingi, en aukinn vatnsþrýstingur (þ.e. niðurdæling) hækkar Coulomb spennu. Af fjórðungaskiptingu breytinga í Coulomb spennu má einnig álykta að ákjósanleg niðurdælingarsvæði út frá spennubreytingum eru norðaustur og suðvestur af vinnslusvæðum.



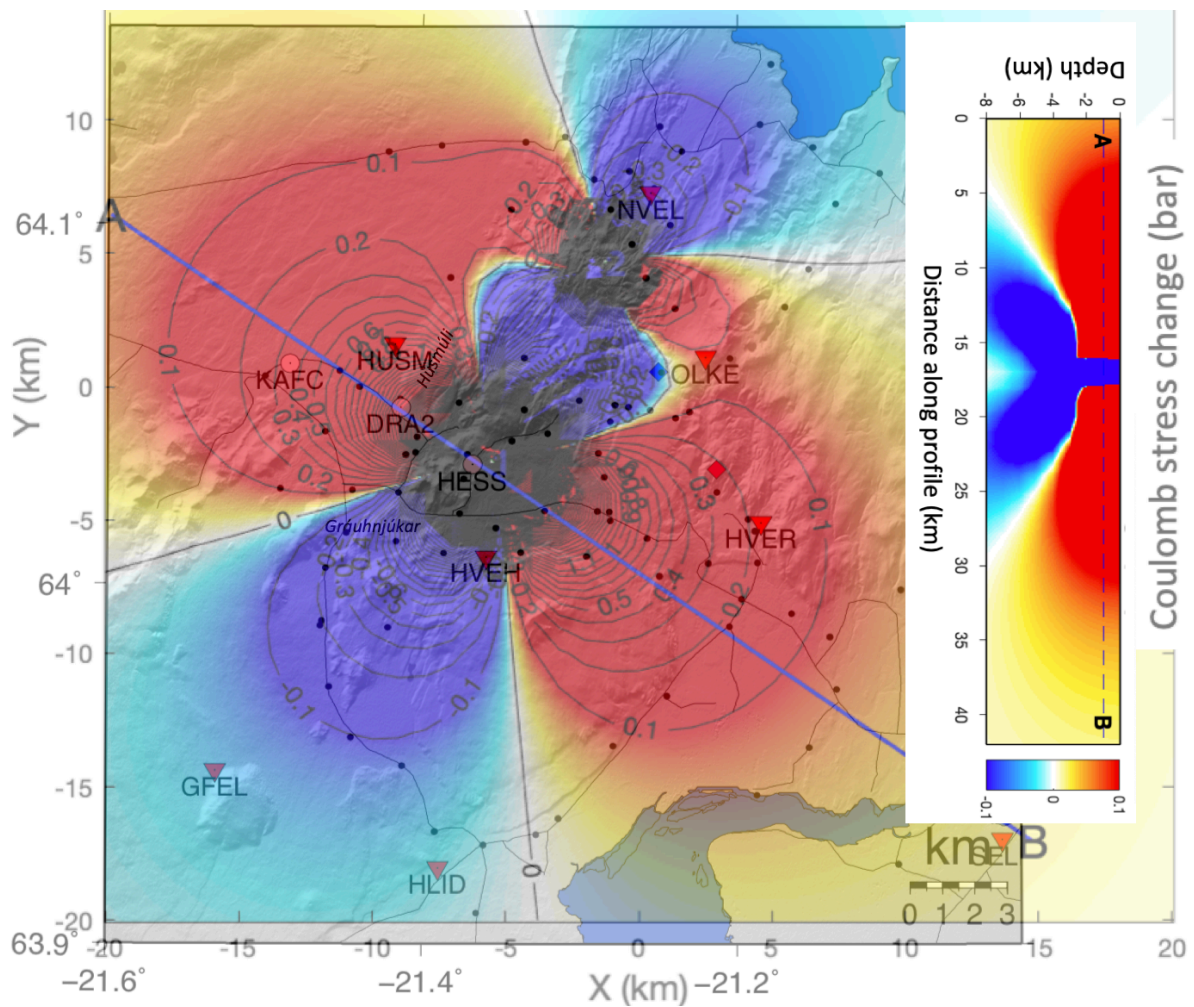
Mynd 6: Lárétt snið á 2 km dýpi af Coulomb spennubreytingum vegna Hellisheiðar og Nesjavalla. Til hægri er lóðrétt þversnið frá A til B. Þversniðið liggur nokkurnvegin gegnum Húsmúla.



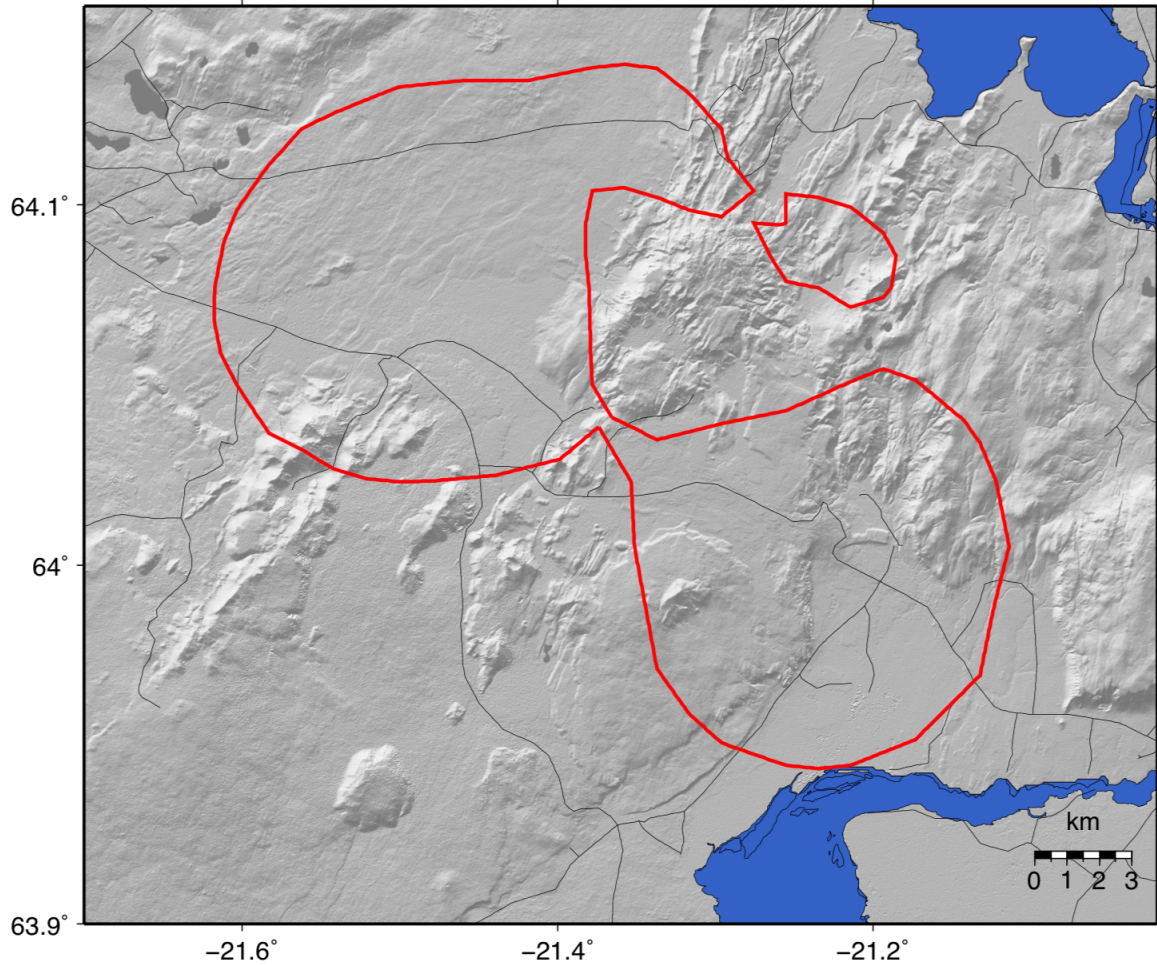
Mynd 7: Sama og mynd 6, ofan á landslagskorti með staðsetningum GPS stöðva.

Mestu spennubreytingar í líkani tveggja sigmiðja nema rúmlega 2 bar/ári og er hámarkið á um 1 km dýpi nálægt sigmiðju vinnslusvæðis Hellisheiðarvirkjunar. Þar sem aflögun eykst ár frá ári, þá stækka útmörk áhrifasvæðis spennubreytinga ár frá ári. Séu heildaráhrif síðustu 12 ára skoðuð, að því gefnu að jarðhitavinnsla hafi verið svipuð og 2012 - 2015 á tímabilinu 2006 - 2018, má ætla útmörk þeirra svæða sem vinnslan hefur áhrif nú á (Myndir 8 og 9). Samkvæmt þessu nær því áhrifasvæði virkjananna nú yfir mest alla Mosfellsheiði í vestri og austur fyrir Hvergerði í austri. Misgengi er sterkust á neðri hluta sínum, og þar sem þykkt hinnar brotgjörnu skorpu er um 6-8 km á áhrifasvæðinu má ætla að dýpið sem helst hefur áhrif á stóra skjálfta sé á 4-6 km dýpi. Sé NV-SA þversnið yfir Coulomb spennubreytingar síðustu 12 ára skoðað (Mynd 8) sést að Coulomb spennubreytingar eru neikvæðar út í um 8 km fjarlægð frá sigmiðju Hellisheiðarvirkjunar (þ.e. skjálftar hindraðir), en jákvæðar breytingar þar fyrir utan. Þetta eitt og sér bendir til aukinna líkna á jarðskjálftum í Ölfusi, en verður að skoðast í

samhengi með öðrum aflögunarferlum sem eiga sér stað á svæðinu: sig undir Ölkelduhálsi, aflögun við flekaskilin, og spennulosun sem varð í Ölfusi í jarðskjálftum 1998-2008.



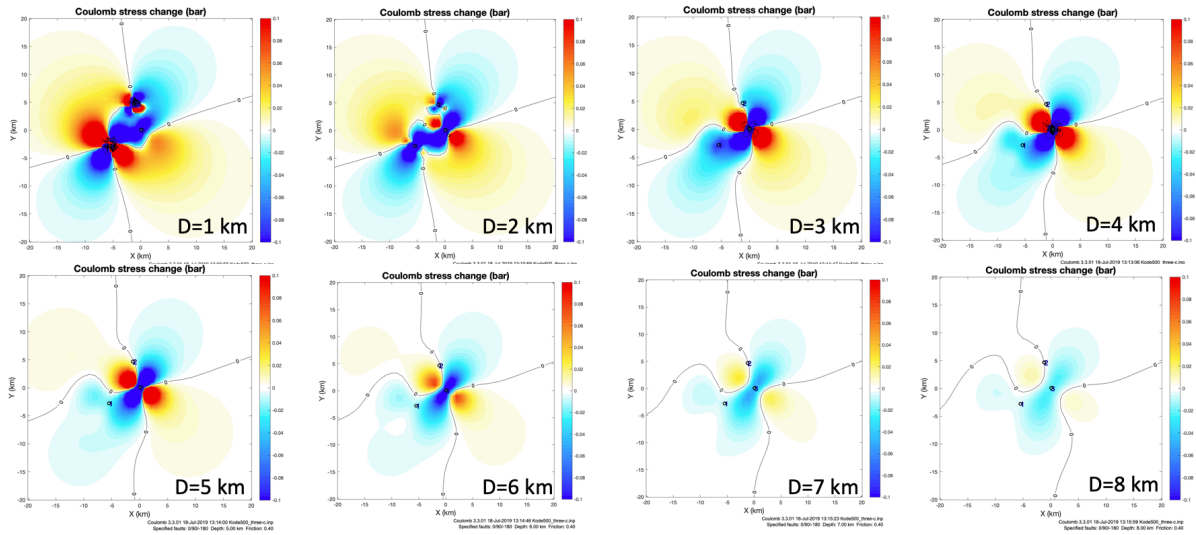
Mynd 8: Heildar Couloumb spennubreytingar á 1 km dýpi vegna jarðhitavinnslu á Hellisheiði og Nesjavöllum yfir 12 ár (2006 - 2018) ásamt NV-SA þversniði milli A og B. Litaskali er látinn mettast í 0,1 börum (10 kPa) og jafnspennulínur eru teiknaðar með 0,1 bara millibili.



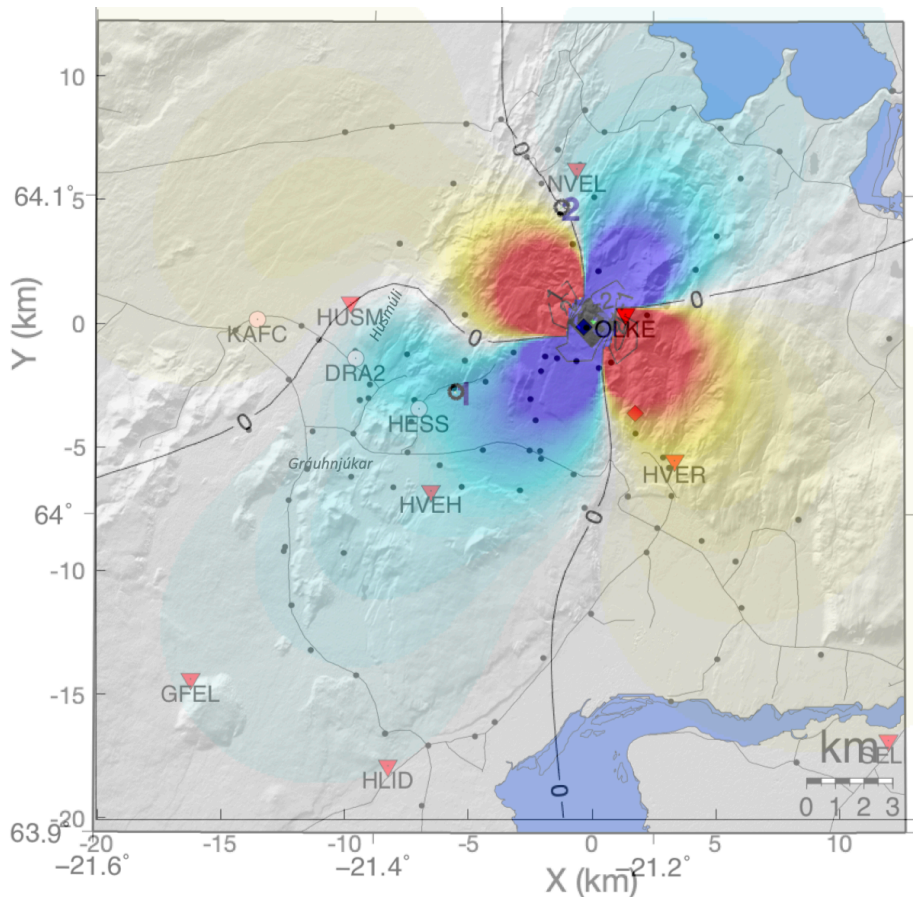
Mynd 9: Útmörk 0,1 bar (10 kPa) heildar Coulomb spennubreytinga á 1 km dýpi vegna jarðhitavinnslu í 12 ár (2006 - 2018) á Hellisheiði og Nesjavöllum. Athuga ber að hámarkspennubreytingar eru á um 1 km dýpi, þar fyrir neðan eru minni spennubreytingar.

4.3. Þrjár sigmiðjur: Hellisheiði, Nesjavellir og Ölkelduháls

Síðan 2006 hefur mælst landsig á víðfeðmu svæði austarlega á Hengilssvæðinu, með miðju undir Ölkelduhálsi á um 7 km dýpi (Juncu o.fl. 2016) og virðist vera ótengt jarðhitavinnslu á Hengilssvæðinu. Þessi sigmiðja hefur umtalsverð áhrif á spennubreytingar á svæðinu, helst á austari hluta svæðisins (Mynd 10). Fyrir neðan 3 km dýpis veldur sigið undir Ölkelduhálsi svo til öllum spennubreytingum, en ofan 2 km dýpis veldur jarðhitavinnsla á Hellisheiði meirihluta spennubreytinga á vestur- og miðhlutum Hengilssvæðisins. Þess má geta að veturinn 2017-2018 var viðsnúningur í nokkra mánuði í sigi undir Ölkelduhálsi.



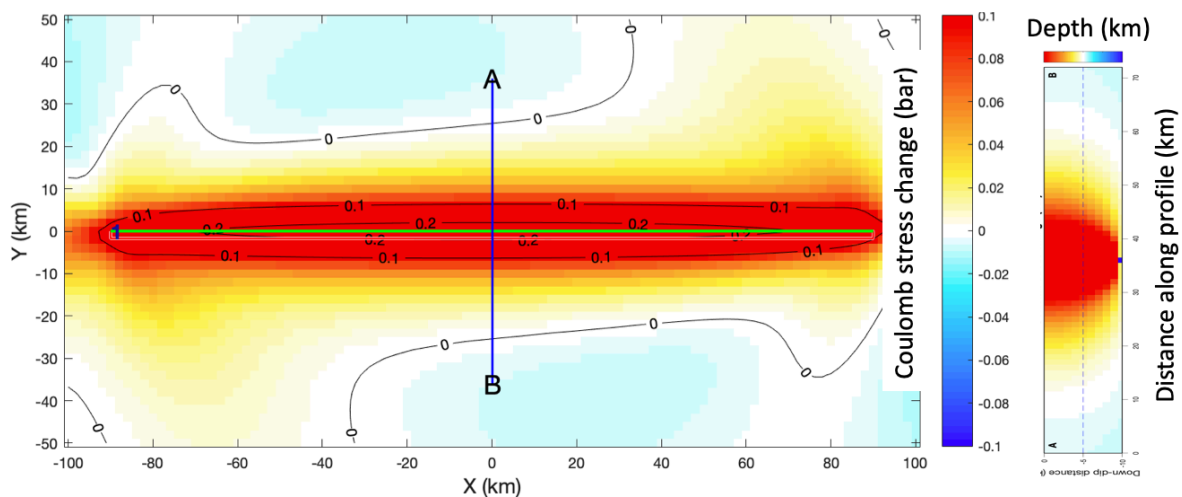
Mynd 10: Lárétt snið á 1 til 8 km dýpi af Coulomb spennubreytingum vegna sigmiðja á Hellisheiði, Nesjavöllum og Ölkelduhálsi (staðsett í $x=0$ og $y=0$). Litaskalinn er í bar/ári og er látinn mettast í $\pm 0,1$ bar/ári. Bera má saman $D=1$ km við Myndir 4 og 5, þar sem einungis er reiknað með sigi á vinnslusvæðunum.



Mynd 11: Lárétt snið á 4 km dýpi. Hér eru spennubreytingar vegna sigmiðju undir Ölkelduhálsi ráðandi.

4.4. Spennusöfnun vegna flekahreyfinga

Að öllu jöfnu má búast við að aflögun jarðskorpunnar vegna flekahreyfinga sé ráðandi þáttur í spennusöfnun í jarðskorpunni, enda halda flekahreyfingar sífellt áfram á meðan aflögun í jarðhitakerfum er takmarkaðri í tíma. Því er fróðlegt að bera saman stærðargráður á spennubreytingum vegna jarðhitavinnslu og flekahreyfinga. Til þess var sett upp einfalt reiknilíkan fyrir flekaskil (sjá Kafla 3). Eins og búast má við er mesta spennusöfnunin nálægt ás flekaskilanna (Mynd 12; í $y=0$ km). Á 5 km dýpi er Coulomb spennubreyting um 0,1 bar/ári út í um 8 km frá flekaskilunum (gert er ráð fyrir 10 km læsingardýpi). Til samanburðar er Coulomb spennubreyting á 1 km dýpi um 0,1 bar/ári í um 5 km fjarlægð frá sigmiðju Hellsheiðarvirkjunnar (til norðvesturs og suðvesturs). Því má ætla að langtímajarðhitavinnsla valdi nógu háum spennum til að mynda eigin misgengi, þó svæðisbundið sé og á litlu dýpi (sjá einnig Im o.fl. 2017).



Mynd 12: Coulomb spennubreytingar á 5 km dýpi ásamt þversniði vegna einfalds austur-vestur sniðgengis. Litaskali er látinn mettast í 0,1 bar/ári.

5. Túlkun og umræður

Þrátt fyrir að líkön sem notuð eru hér séu einfölduð af mörgu leiti þá er heildarmynd niðurstaðna nokkuð skýr. Jarðhitavinnsla á Nesjavöllum og Hellisheiði veldur spennubreytingum sem vaxa ár frá ári. Sé miðað við algenga spennuþröskulda fyrir Coulomb spennubreytingar (0,1 bar) til að hrinda af stað jarðskjálftum í forspenntu bergi, er ljóst að áhrifin ná nú þegar um 15-20 km frá virkjunarsvæðunum. Þess ber þó að geta að áhrif jarðhitavinnslu eru fyrst of fremst ofan 1-2 km dýpis. Á svo grunnu dýpi getur berg verið brotið og sprungið og haldið illa bergspennum, og því vænlegra að horfa til sterkari hluta jarðskorpunnar á um 3-6 km dýpi þegar rætt er um gikkáhrif á stærstu skjálfta sem verða á svæðinu. Á því dýptarbili eru ráðandi þættir í bergspennubreytingum flekahreyfingar og aðrar djúpar sigmiðjur, svo sem undir Ölkelduhálsi.

Vel er þekkt að breytingar í vökvaprygting hafa einnig áhrif á líkur á jarðskjálftum á sama hátt og breytingar í þverspennu (aukinn vökvaprygtingur minnkar þverspennu). Breytingar í vökvaprygting valda því almennt minni jarðskjálftavirkni á vinnslusvæðum, og aukinni jarðskjálftavirkni á niðurdælingarsvæðum. Til að taka þessi áhrif með í útreikninga á heildar spennubreytingum þarf að meta hversu hratt þrygtingsbreytingar falla með fjarlægð frá borholum, sem ræðst fyrst og fremst af lekt jarðskorpunnar og fasabreytingum á vinnslusvæðum og er efni áframhaldandi rannsókna.

Ýmislegt annað mætti hugsa sér að bæta í þessum útreikningum, til dæmis þróa betri líkön af jarðhitasvæðum sem endurspeglar betur ósamhverfu aflögunarmynstursins sem mælist á Hengilssvæðinu (Juncu o.fl. 2017, 2019). Til að meta heildarspennuástand svæðisins er nauðsynlegt að endurmeta legu flekaskila með betri gögnum og aðferðum en áður.

Hér voru einungis skoðaðar Coulomb spennubreytingar á lóðréttum N-S hægri handar sniðgengjum. Ýmsar aðrar sprungustefnur eru virkar á Hengilssvæðinu og þó svo að jarðskjálftar á þeim sprungum verði líklega ekki jafn stórir og á N-S misgengjum, þá er vel þekkt að miðlungsstórir jarðskjálftar geta valdið spennubreytingum á stærri misgengjum og hrundið af stað stærri jarðskjálftum. Slík ferli mætti nefna afleiddar spennubreytingar. Því er ljóst að rétt að hugsa þessa álitsgerð sem gróft fyrsta mat á spennubreytingum og áhrifum á jarðskjálftavirkni.

6. Heimildir

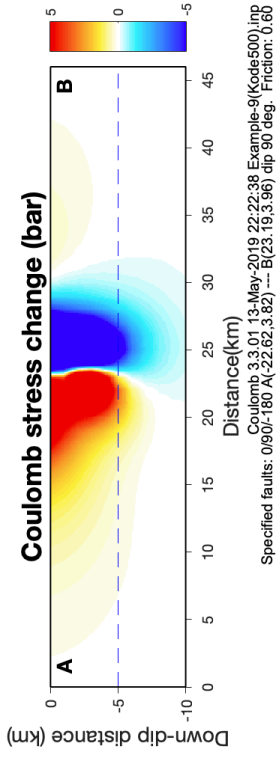
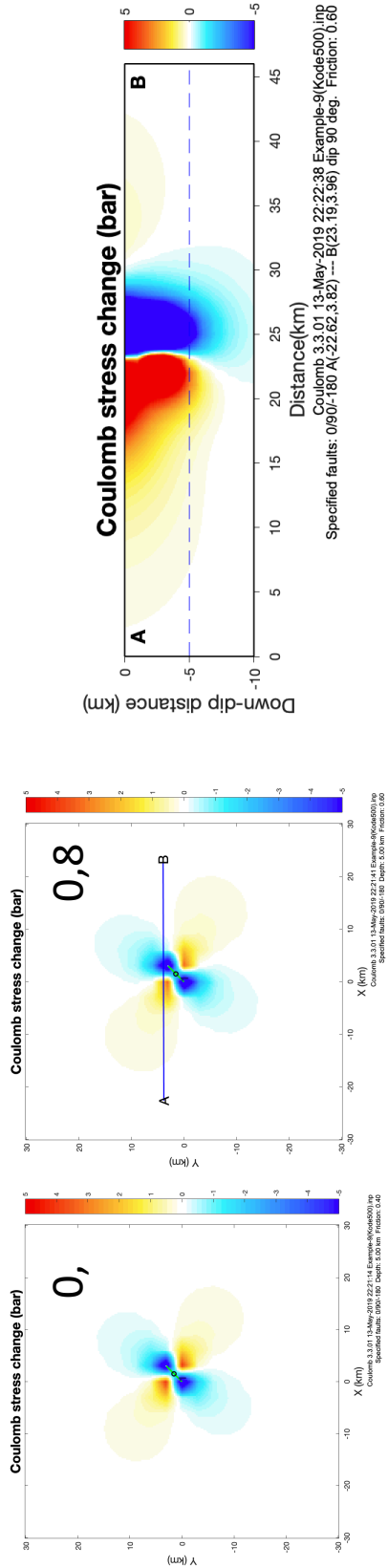
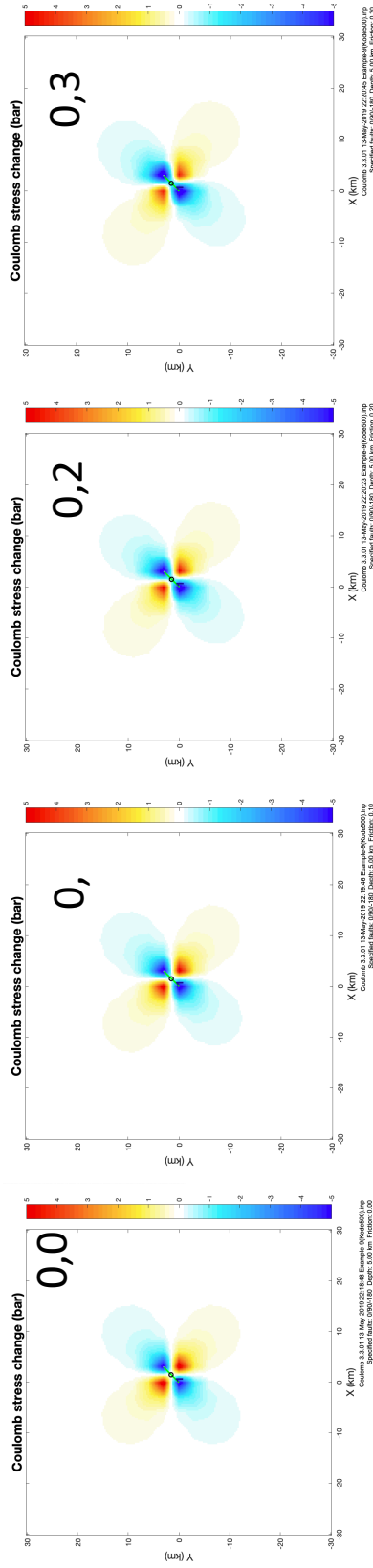
- Árnadóttir, T., Lund, B., Jiang, W., Geirsson, H., Björnsson, H., Einarsson, P., & Sigurdsson, T., Glacial rebound and plate spreading: results from the first countrywide GPS observations in Iceland. *Geophysical Journal International*, 177(2), 691-716, 2009.
- Beeler, N. M., Simpson, R. W., Hickman, S. H., & Lockner, D. A., Pore fluid pressure, apparent friction, and Coulomb failure, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B11), 25533-25542, 2000.
- Decriem, J., & Árnadóttir, T., Transient crustal deformation in the South Iceland Seismic Zone observed by GPS and InSAR during 2000–2008, *Tectonophysics*, 581, 6-18, 2012.
- Decriem, J., Árnadóttir, T., Hooper, A., Geirsson, H., Sigmundsson, F., Keiding, M., ... & Bennett, R. A., The 2008 May 29 earthquake doublet in SW Iceland, *Geophysical Journal International*, 181(2), 1128-1146, 2010.
- Einarsson, P., Plate boundaries, rifts and transforms in Iceland, *Jökull*, 58, 35-58, 2008.
- Harris, R. A., Simpson, R. W., Changes in static stress on southern California faults after the 1992 Landers earthquake, *Nature*, 360, 313-318, 1992.
- Im, K., Elsworth, D., Guglielmi, Y., & Mattioli, G. S. (2017). Geodetic imaging of thermal deformation in geothermal reservoirs - production, depletion and fault reactivation. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.03.021>.
- Juncu, D., Árnadóttir, T., Hooper, A., & Gunnarsson, G., Anthropogenic and natural ground deformation in the Hengill geothermal area, Iceland, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(1), 692-709, 2017.
- Juncu, D., Árnadóttir, T., Geirsson, H., & Gunnarsson, G., The effect of fluid compressibility and elastic rock properties on deformation of geothermal reservoirs, *Geophysical Journal International*, 217(1), 122-134, 2019.
- Maccaferri, F., Rivalta, E., Passarelli, L., & Jonsson, S., The stress shadow induced by the 1975–1984 Krafla rifting episode, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 118(3), 1109-1121, 2013.
- Stein, R. S., The role of stress transfer in earthquake occurrence, *Nature*, 402(6762), 605, 1999.
- Toda, S., Stein, R. S., Sevilgen, V., & Lin, J., Coulomb 3.3 graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching-user guide, US Geological Survey, technical report No. 2011-1060, 2011.
- Trugman, D. T., Borsa, A. A., & Sandwell, D. T., Did stresses from the Cerro Prieto Geothermal Field influence the El Mayor-Cucapah rupture sequence?, *Geophysical Research Letters*, 41(24), 8767-8774, 2014.

Viðaukar

Viðauki 1: Tafla frá Juncu o.fl. (2019) sem sýnir stika fyrir líkön sem notuð voru til útreikninga á breytingu í Coulomb spennu. Eingöngu var notast við staðsetningu, dýpi og rúmmálsbreytingu úr töflunni.

Hellisheidi	Median	90% CI
Longitude [°W]	21.368	(21.361; 21.374)
Latitude [°N]	64.034	(64.031; 64.038)
Depth [km]	1.3	(0.7; 2.0)
ΔP [MPa]	-0.25	(-0.18; -0.30)
Radius [km]	1.6	(1.1; 2.0)
Thickness [km]	0.7	(0.5; 1.0)
Bulk modulus K [GPa]	3.0	(1.3; 6.4)
Poisson's ratio ν	0.19	(0.11; 0.30)
Biot's coefficient α	0.95	(0.92; 0.99)
ΔV [10^5 m ³ /yr]	-2.1	(-1.1; -3.8)
Nesjavellir	Median	90% CI
Longitude [°W]	21.280	(21.259; 21.296)
Latitude [°N]	64.101	(64.082; 64.119)
Depth [km]	1.9	(1.0; 2.4)
ΔP [MPa]	-0.08	(-0.02; -0.13)
Radius [km]	2.5	(1.3; 3.4)
Thickness [km]	0.6	(0.2; 0.9)
Bulk modulus K [GPa]	13.0	(3.1; 22.1)
Poisson's ratio ν	0.29	(0.18; 0.38)
Biot's coefficient α	0.89	(0.75; 0.99)
ΔV [10^5 m ³ /yr]	-0.33	(-0.04; -0.93)
Eastern Hengill	Median	90% CI
Longitude [°W]	21.255	(21.238; 21.274)
Latitude [°N]	64.059	(64.050; 64.067)
Depth [km]	7.3	(6.4; 8.4)
ΔV [10^6 m ³ /yr]	-2.7	(-2.0; -3.4)

Viðauki 2: Athuganir á áhrifum mismunandi gilda núningsstuðuls.



Coulomb 3,3,01 13-May-2019 22:22:38 Example-9(Kode500).inp
 Specified faults: 090/-180 A(-22.62,3.82) --- B(23.15,3.96) dip 90 deg. Friction: 0.60

Mynd V2.1. Coulomb spennubreytingar fyrir mismunandi núningstuðul vegna sigmiðju á 5 km dýpi fyrir mismunandi núningstuðul (0 - 0,8) ásamt lóðréttu þversniði fyrir núningstuðul 0,8.

Viðauki 3: Inntaksskrár (.inp) fyrir Coulomb 3.3. Skrárnar eru textaskrár sem lesa má beint inn í Coulomb.

Inntaksskrá fyrir tvær uppsprettur: Hellsheiði og Nesjavelli:

```

This is a test file for Kode 500 option with the Coulomb 3.3
A double point source of deflation (note deflation is negative, units in m**3)
#reg1= 0 #reg2= 0 #fixed= 2 sym= 1
PR1= 0.250 PR2= 0.250 DEPTH= 0.000
E1= 8.000e+05 E2= 8.000e+05
XSYM= .000 YSYM= .000
FRIC= 0.000
S1DR= 19.000 S1DP= -0.000 S1IN= 100.000 S1GD= 0.000
S2DR= 90.000 S2DP= 89.999 S2IN= 30.000 S2GD= 0.000
S3DR= 109.000 S3DP= -0.000 S3IN= 0.000 S3GD= 0.000

# X-start Y-start X-fin Y-fin Kode rt.lat reverse dip angle top bot
xxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx
1 -5.4900 -2.7800 -5.5000 -2.7900 500 0 -210000 90.0000 0.0000 1.3000 pt.source
2 -1.2200 4.6700 -1.2300 4.6800 500 0 -330000 90.0000 0.0000 1.9000 pt.source

Grid Parameters
1 ----- Start-x = -20.000000
2 ----- Start-y = -20.000000
3 ----- Finish-x = 20.010002
4 ----- Finish-y = 20.000000
5 ----- x-increment = 1.000000
6 ----- y-increment = 1.000000

Size Parameters
1 ----- Plot size = 3.000000
2 ----- Shade/Color increment = 1.000000
3 ----- Exaggeration for disp.& dist. = 1000000.000000

Cross section default
1 ----- Start-x = 4.000000
2 ----- Start-y = 18.000000
3 ----- Finish-x = 18.000000
4 ----- Finish-y = 46.000000
5 ----- Distant-increment = 1.000000
6 ----- Z-depth = -8.000000
7 ----- Z-increment = 1.000000

```

Inntaksskrá fyrir þrjár uppsprettur: Hellsheiði, Nesjavelli og Ölkelduháls:

```

This is a test file for Kode 400 option with the Coulomb 3.3
A triple point source of deflation (note deflation is negative, units in m**3)
#reg1= 0 #reg2= 0 #fixed= 3 sym= 1
PR1= 0.250 PR2= 0.250 DEPTH= 0.000
E1= 8.000e+05 E2= 8.000e+05
XSYM= .000 YSYM= .000
FRIC= 0.000
S1DR= 19.000 S1DP= -0.000 S1IN= 100.000 S1GD= 0.000
S2DR= 90.000 S2DP= 89.999 S2IN= 30.000 S2GD= 0.000
S3DR= 109.000 S3DP= -0.000 S3IN= 0.000 S3GD= 0.000

# X-start Y-start X-fin Y-fin Kode rt.lat reverse dip angle top bot
xxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx
1 -5.4900 -2.7800 -5.5000 -2.7900 500 0 -210000 90.0000 0.0000 1.3000 pt.source
2 -1.2200 4.6700 -1.2300 4.6800 500 0 -330000 90.0000 0.0000 1.9000 pt.source
3 0.0000 0.0000 0.1000 0.1000 500 0 -270000 90.0000 0.0000 7.3000 pt.source

Grid Parameters
1 ----- Start-x = -20.000000
2 ----- Start-y = -20.000000
3 ----- Finish-x = 20.010002
4 ----- Finish-y = 20.000000
5 ----- x-increment = 1.000000
6 ----- y-increment = 1.000000

Size Parameters
1 ----- Plot size = 3.000000
2 ----- Shade/Color increment = 1.000000

```

```

3 ----- Exaggeration for disp.& dist. = 1000000.000000

Cross section default
1 ----- Start-x = 4.000000
2 ----- Start-y = 18.000000
3 ----- Finish-x = 18.000000
4 ----- Finish-y = 46.000000
5 ----- Distant-increment = 1.000000
6 ----- Z-depth = -8.000000
7 ----- Z-increment = 1.000000

```

Inntaksskrá fyrir einfalt líkan af flekaskilum:

```

This is a test file for the Coulomb 3.3
A nearly infinitely long strike-slip fault simulates a plate boundary
#reg1= 0 #reg2= 0 #fixed= 1 sym= 1
PR1= 0.250 PR2= 0.250 DEPTH= 5.000
E1= 8.000e+05 E2= 8.000e+05
XSYM= .000 YSYM= .000
FRIC= 0.400
S1DR= 19.000 S1DP= -0.000 S1IN= 100.000 S1GD= 0.000
S2DR= 90.000 S2DP= 89.999 S2IN= 30.000 S2GD= 0.000
S3DR= 109.000 S3DP= -0.000 S3IN= 0.000 S3GD= 0.000

# X-start Y-start X-fin Y-fin Kode rt.lat reverse dip angle top bot
xxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxx
1 -90.0000 0.0000 90.0000 0.0000 100 -0.0190 0.0000 89.9000 10.0000 1000.0000

Grid Parameters
1 ----- Start-x = -100.000000
2 ----- Start-y = -50.000000
3 ----- Finish-x = 100.100000
4 ----- Finish-y = 50.0999985
5 ----- x-increment = 2.000000
6 ----- y-increment = 2.000000

Size Parameters
1 ----- Plot size = 2.000000
2 ----- Shade/Color increment = 1.000000
3 ----- Exaggeration for disp.& dist. = 10000.000000

Cross section default
1 ----- Start-x = 0.000000
2 ----- Start-y = 36.000000
3 ----- Finish-x = 0.000000
4 ----- Finish-y = -36.000000
5 ----- Distant-increment = 1.000000
6 ----- Z-depth = 8.000000
7 ----- Z-increment = 1.000000

```

Viðauki 4: Úttaksskrár Coulomb spennubreytinga.

Úttaksskrárnar eru í rafrænu viðhengi og innihalda breytingar í Coulomb spennu, skúfspennu og þverspennu (í einingunni bar/ári) á 1 km bili í neti sem er 40x40x10 km að stærð.

Skrár: dcff_Kode500_two-a_1km.cou, dcff_Kode500_three-c_1km.cou og dcff_EW-plateboundarytest_a.cou.

Ingvi Gunnarsson <Ingvi.Gunnarsson@or.is>

Til : Jakob Gunnarsson - SLS;Erla Björg Aðalsteinsdóttir
Frá : Ingvi Gunnarsson <Ingvi.Gunnarsson@or.is>
Heiti : RE: Aukin massavinnsla jarðhitavökva á Hellisheiði - Svar við fyrirspurn
Málsnúmer. : 202108058
Málsaðili : Orka náttúrunnar
Efnisflokkur : Svör framkvæmdaaðila
Skjalategund : Innkomið skjal
Skráð dags : 20.1.2022
Höfundur : Ingvi Gunnarsson <Ingvi.Gunnarsson@or.is>

Viðhengi

[image003.jpg](#)

[image001.jpg](#)

Sæll Jakob

Þetta tók smá tíma hjá okkur en hér að neðan eru okkar svör við spurningunum.

- **Við hvaða styrk er miðað varðandi finnanlega skjálfta, þ.e. er gert ráð fyrir að skjálftar stærri en 3 á Richter kunni að finnast í nágrannabyggðum sbr. álit Ísor sem vitnað er til?**

Hvort jarðskjálfti finnst eða ekki er háð stærð skjálftans, dýpi hans og eiginleikum, fjarlægð þess sem hann finnur frá upptökunum ásamt gerð jarðlaga og bygginga þar sem skjálftinn finnst. Einnig fer upplifunin eftir því hvað fólk er að gera þegar skjálftinn verður. Þannig t.d. verður sá sem liggur fyrir meiri áhrifum af skjálfta heldur en sá sem stendur. Það er því erfitt að setja skýr mörk á milli stærð skjálfta og upplifun þeirra sem eru innan áhrifasvæðis skjálftans.

Sem þumalputtaregla er oft miðað við að næmt fólk í hvíld geti fundið fyrir skjálftabylgjum sem valda hröðun við yfirborð sem nær 0.001 m/s^2 (sjá t.d. [hér](#)). Miðað við fyrirbyggjandi þekkingu á því hvernig skjálftabylgjur dvína með fjarlægð frá upptakastað sínum¹ og fjarlægðina á milli Hverahlíðar og næsta þéttbýlisstaðar sem er Hveragerði (6 km) má gera ráð fyrir þessi hröðun geti náðst fyrir skjálfta sem eru M 2.4 og yfir. Við gerum því ráð fyrir að skjálftar af stærð M 2.4 og stærri í Hverahlíð megi teljast finnanlegir skjálftar í næsta þéttbýlisstað. Samkvæmt gögnum Veðurstofu Íslands (skjalftalisa.vedur.is) hafa 1-2 skjálftar á ári mælst yfir þessum mörkum í Hverahlíð eftir að vinnsla hófst 2016 (Sjá Töflu 1).

Tafla 1 Skjálftar af stærð M 2.4 og stærri í Hverahlíð síðan síðan vinnsla hófst 2016.

Dagsetning	Stærð
2020-10-20	3
2020-07-24	2.7
2019-12-14	2.7
2019-04-03	2.6
2018-05-17	2.4
2018-02-22	3.1

- **Á þetta álit Ísor við fyrirhugaða aukna massavinnslu?**

Já, samanber greinargerðina sem fylgdi með umsókninni.

Í greinargerðinni kemur fram að aukning á smáskjálftavirkni er vel þekkt víða um heim samfara vinnslu jarðhita. Í greinargerðinni kemur einnig fram að 1) aukning hafi verið á skjálftum yfir 2 að stærð eftir að vinnsla var aukin í Hverahlíð 2018, 2) aukningin er innan þeirra marka sem áhrif langvarandi vinnslu á háhitasvæði hefur og 3) engin ástæða sé til að hún muni leiða til nema örfárra jarðskjálfta sem næðu 3 að stærð, og stærri. Stærstu jarðskjálftarnir og þar með mestu áhrifin á upplifun íbúa í kringum Hengilinn munu í framtíðinni verða vegna plötuhreyfinga á Hengilssvæðinu, óháð vinnslu í Hverahlíð.

- **Hvernig hyggst ON bregðast við ef í ljós kemur að fyrirhuguð aukin vinnsla jarðhitavökva og/eða niðurdæling affallsvatns veldur ítrekað skjálftavirkni sem finnst í nágrannabyggðarlögum**

Orka Náttúrunnar hefur verið með viðbragðsáætlun við aukinni skjálftavirkni vegna niðurdælingar síðan 2014. Lýsing á viðbrögðunum við skjálftavirkni eru í fyrirspurninni. Tilkynningar eru sendar til hagsmunaaðila þegar meiriháttar breytingar á niðurdælingu eru fyrirhugaðar. Stærð jarðskjálfta innan áhrifsvæðis niðurdælingarinnar ráða því hver viðbrögðin eru. Viðbrögðin eru allt frá því að vera engin, minnka niðurdælingu í rólegum skrefum eða jafnvel hætta henni alveg í þær holur sem valda skjálftavirkni. Þessu verklagi verður fylgt áfram.

Staðsetning þeirra 10 jarðskjálftamæla sem ON rekur í Henglinum miðast að því að hámarka upplýsingar um jarðskorpuhreyfingar vegna vinnslu og niðurdælingar og stendur til að færa amk. einn jarðskjálftamæli í Hverahlíð til að fá betri gögn vegna mögulegra vinnsluskjálfta. Jafnframt tekur ON þátt í rekstri hröðunarmælis í Hveragerði sem mælir með beinum hætti áhrif skjálftabylgna í þeim þéttbýlisstað sem næstur er Hverahlíð.

Það er erfitt að bregðast við jarðskjálftum vegna vinnslu þannig að þeir hætti því eins og lýst er í minniblaði ISOR verða skjálftarnir vegna þrýstilækkunar í jarðhitakerfinu og þrýstilækkunin gengur ekki hratt til baka jafnvel þó dregið verði úr vinnslu. Jarðskjálftar eru ekkert annað en leið jarðskorpunnar til að jafna út spennu sem myndast í jarðskorpunni vegna ýmissa þátta. Það má því gera ráð fyrir að komi til aukinnar skjálftavirkni vegna aukinnar massavinnslu muni draga úr henni þegar jafnvægi kemst aftur á spennuástand jarðskorpunnar kringum Hverahlíð

Ef svo ólíklega vill til að mikil aukning verði í fjöldi finnanlegra skjálfta kringum Hengilinn vegna aukinnar massavinnslu mun ON greina stöðuna með aðstoð sérfræðinga og taka ákvörðun um næstu skref með það að markmiði að lágmarka áhrifin.

¹ Pétursson, G. G., & Vogfjörð, K. S. (2009). *Attenuation relations for near- and farfield peak ground motion (PGV, PGA) and new magnitude estimates for large earthquakes in SW-Iceland*. Reykjavík: Veðurstofa Íslands.

Bestu Kveðjur

Ingvi

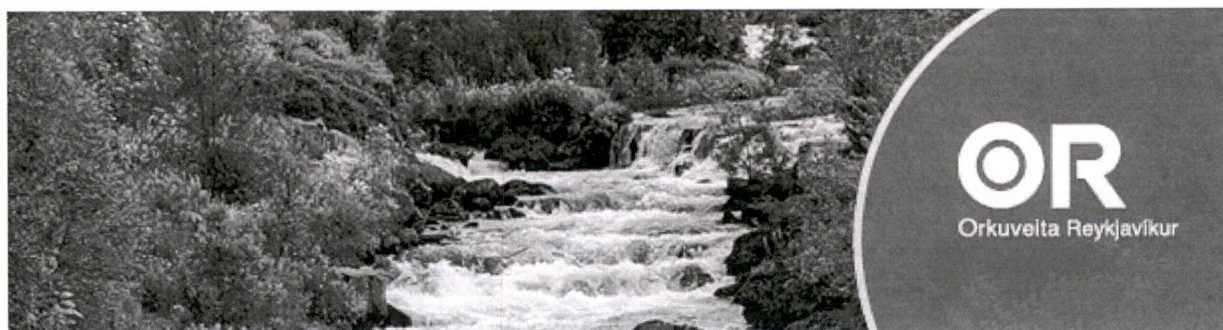
Kær kveðja / Best Regards,

Ingvi Gunnarsson

Forstöðumaður Auðlindastýringar / Head of Resource management

Sími / Tel: +354 516 6100 | Farsími / Mobile: +354 6176982 | Netfang / E-mail: Ingvi.Gunnarsson@or.is

Orkuveita Reykjavíkur / Reykjavik Energy | www.or.is



Fyrirvari / Disclaimer: <http://www.or.is/fyrirvaridisclaimer>

From: Jakob Gunnarsson - SLS

Sent: þriðjudagur, 21. desember 2021 14:59

To: Ingvi Gunnarsson ; Erla Björg Aðalsteinsdóttir

Subject: Aukin massavinnsla jarðhitavökva á Hellisheiði - Fyrirspurn

Vinna við ákvörðun um matsskyldu ofangreindrar framkvæmdar er á lokastigi en áður en ákvörðunin liggur fyrir óskar Skipulagsstofnun eftir eftirfarandi upplýsingum:

- Við hvaða styrk er miðað varðandi finnanlega skjálfta, þ.e. er gert ráð fyrir að skjálftar stærri en 3 á Richter kunni að finnast í nágrannabygðum sbr. álit Ísor sem vitnað er til?
- Á þetta álit Ísor við fyrirhugaða aukna massavinnslu?
- Hvernig hyggst ON bregðast við ef í ljós kemur að fyrirhuguð aukin vinnsla jarðhitavökva og/eða niðurdæling affallsvatns veldur ítrekað skjálftavirkni sem finnst í nágrannabygðarlögum

Jakob Gunnarsson

Sérfræðingur, svið umhverfismats / Specialist, Environmental Assessment

Skipulagsstofnun - National Planning Agency

Borgartún 7b, 105 Reykjavík, Ísland - Iceland

sími 595 4100

Jakob.Gunnarsson@skipulag.is

www.skipulag.is

www.facebook.com/skipulagsstofnun

