

## **Leiðbeiningar fyrir reglur nr. OS-2016-R01-01 um viðbúnað og viðbrögð við jarðskjálftavá vegna losunar á vökva í jörðu um borholur**

### **Inngangur**

Jarðhitasvæði eru jarðfræðilega virk og slíkum svæðum fylgja miklar líkur á ýmisskonar jarðhræringum. Vatnsnám og losun vatns í jörðu vegna nýtingar jarðhitans valda breytingum á spennu í jarðskorpunni á vinnslu- og losunarsvæðunum. Rannsóknir á losun vökva í jörðu á jarðhitasvæðum hafa sýnt að á virkum jarðskjálftasvæðum á Íslandi getur hún örvað nokkra smáskjálftavirkni. Annars vegar er um að ræða smáskjálfta sem svörun við þessari spennubreytingu og hins vegar getur hún flýtt fyrir jarðskjálftum sem óhjákvæmilega yrðu síðar. Algengast er að breytingar í losun, t.d. ef losun stöðvast tímabundið af einhverjum ástæðum, auki líkur á smáskjálftavirkni. Yfirleitt finnast þessir skjálftar lítið á yfirborði en í einstökum tilvikum eru talsverðar líkur á að aukinn vökvaprýstingur vegna losunar hafi hleypt af stað stærri skjálftum.

Losun jarðhitavökva í jörðu er mikilvægur þáttur við nýtingu jarðhita, annars vegar til förgunar vökva og hins vegar til að sporna við þrýstingslækkun í jarðhitakerfum. Í sumum tilfellum er losun skylda samkvæmt nýtingarleyfi og/eða starfsleyfi skv. lögum nr. 7/1998, um hollustuhætti og mengunarvarnir, og stunduð frá upphafi reksturs. Í öðrum tilfellum hefur verið gripið til hennar eftir að rekstur hefur staðið yfir í nokkurn tíma. Víða er jarðhiti þó unninn án losunar í jörðu.

Áhrif jarðskjálfta í tengslum við losun eru af tvennum toga, annars vegar hætta á skemmdum á mannvirkjum og líkamstjóni og hins vegar óþægindi af völdum síendurtekinnna smárra skjálfta. Við undirbúning niðurdælingar geta framkvæmdaraðilar litið á viðkomandi staðla til viðmiðunar um áhrif og afleiðingar skjálfta á umhverfið. Byggingastaðlar kveða á um hvaða hröðun byggingar eiga að þola eftir svæðum og notkun bygginga og hver endurkomutími þeirrar hröðunar er. Um óþægindi vegna síendurtekinnna smáskjálfta gilda engin viðmið hér á landi, en líta má til staðals um hönnun mannvirkja með tilliti til áhrifa af titringi, ISO nr. 10137/2007, til að greina og meta áhrif af þeim.

Umfang losunar vökva í jörðu í tengslum við nýtingu jarðhita fer stöðugt vaxandi. Í ljósi þeirrar áhættu sem hér er lýst hefur Orkustofnun gefið út reglur um undirbúning og framkvæmd losunar á vökva í jörðu um borholur (nr. OS-2016-R01-01). Markmið reglnanna er að draga úr hættu á líkamstjóni, skemmdum á mannvirkjum og óþægindum af völdum jarðskjálfta í tengslum við losun vökva í jörðu um borholur. Þeim er einnig ætlað að afmarka og skýra skyldur, hlutverk og aðkomu leyfishafa, Orkustofnunar og annarra aðila eins og við á hverju sinni og stuðla að réttum áherslum við undirbúning og framkvæmd losunarinnar.

Reglurnar eru settar fram í tvíþættum tilgangi. Megintilgangurinn er að veita upplýsingar fyrir umsækjendur fyrir virkjunarleyfi skv. raforkulögum nr. 65/2003 og nýtingarleyfi skv. lögum nr. 57/1998, um rannsóknir og nýtingu auðlinda í jörðu (auðlindalög), vegna virkjunar eða annarrar nýtingar jarðhita, um þær kröfur sem Orkustofnun horfir til við útgáfu og endurskoðun þessara leyfa, með vísan til ákvæða 7. tölul. 18. gr. auðlindalaga og 4. tölul. 1. mgr. 6. gr. raforkulaga. Einnig er með útgáfu reglnanna birt það sem Orkustofnun telur sem bestu starfsvenjur og eru leyfishafar gildandi nýtingar- og virkjanaleyfa og aðrir réttthafar

nýtingar jarðhita hvattir til að hafa þær í huga við undirbúning og framkvæmd losunar á vökva í jörðu um borholur.

Leiðbeiningar þær sem hér eru birtar eru hugsaðar til skýringar á efnisatriðum einstakra greina í reglunum og til að auðvelda leyfishöfum undirbúning og framkvæmd losunar vökva í jörðu, þ.m.t. efnisatriði og framkvæmd frummats, rannsóknaráætlunar, vöktunar, eftirlits og viðbragðsáætlunar. Þá er í leiðbeiningunum gefin dæmi um atriði sem leyfishafar nýtingar jarðhita geta haft í huga við undirbúning og framkvæmd losunar vökva í jörðu um borholur.

Tilvísanir til ákveðinna greina í leiðbeiningunum er vísun til viðkomandi atriða í reglum um viðbúnað og viðbrögð við jarðskjálftavá vegna losunar á vökva í jörðu um borholur. Mikilvægt er að samlesa reglurnar og eftirfarandi leiðbeiningar þar sem hér eru ekki útskýrð hugtök eða endurtekin öll atriði í reglunum.

Ekki ber að skilja sem svo að leiðbeiningarnar setji kvaðir á leyfishafa eða aðra þá sem fylgja reglunum. Þá skal tekið fram að mörg þeirra atriða sem ráðlegt er að fylgjast með eða rannsaka eru hluti af eðlilegum rannsóknum og eftirliti, eða undirbúningi við mat á umhverfisáhrifum vegna nýtingar jarðhita eða áforma um hana, og felur því ekki endilega í sér viðbót við aðrar kröfur eða hefðbundið verklag.

## **Frummat**

Tilgangur með frummati (4. gr.) er að meta með rökstuddum hætti hvort líklegt sé að skjálftavirkni fylgi losun á vökva í jörðu og hvort líklegt sé að skjálftar geti orðið það stórir að hætta eða veruleg óþægindi skapist.

Í frummati er lýst tilhögun á fyrirhugaðri losun í jörðu. Fram komi upplýsingar um staðsetningu, dýpi, þrýsting, hitastig og magn losunarvökva, eðli jarðmyndana, og hvort búist er við miklum sveiflum í umfangi losunar hvað magn, þrýsting og hitastig snertir. Þá er mælt til að tekin verði saman gögn um sprungur úr jarðfræðikortlagningu og gögn um borholu(r) sem áformað er að dæla niður um ef þær eru fyrir hendi. Hér má nefna sem dæmi upplýsingar um gang borunar og viðbrögð jarðhitakerfisins við borun og mælingar og annað sem talið er geta gefið upplýsingar um afleiðingar losunar og breytinga þar á. Æskilegt er að frummati fylgi upplýsingar um jarðskjálftavirkni innan 10 km frá losunarstað og um líkur á örvuðum jarðskjálftum. Ekki er almennt gert ráð fyrir að sérstakra rannsókna sé þörf áður en frummat er gert enda talið að til séu fullnægjandi upplýsingar um jarðskjálftavirkni og jarðlagagerð víðast hvar á landinu. Niðurstöður frummats geta fallið í þrjá flokka:

1. Svæðið hentar ekki til losunar í jörðu, annað hvort þar sem talið er að fjöldi og stærð jarðskjálfta verði óásættanleg, eða að aðrar aðstæður bjóða ekki upp á þennan möguleika (t.d. vegna áhrifa á jarðhitageyminn undir, grunnvatnsaðstæður, önnur nýting á svæðinu o.fl.).
2. Talið er að óveruleg hætta sé á því að jarðskjálftar tengist losun í jörðu eða að þeir finnist á yfirborði. Bent er á að þrátt fyrir það er það ætíð skylda leyfishafa að útbúa viðbragðsáætlun (skv. 7. gr.) ef áformuð er losun vökva í jörðu. Jafnframt er mælt með því að farið verði af stað með tilraunalosun áður en stöðug losun hefst.
3. Niðurstöður matsins gefa til kynna að losun leiði af sér eða kunni að leiða af sér aukna jarðskjálftavirkni og að hún verði finnanleg á yfirborði. Í þessum tilvikum ber að fara í nákvæmari rannsóknir á áhættunni og hugsanlegum afleiðingum hennar.

## Rannsóknaráætlun

Tilgangur rannsóknaráætlunar (sjá 4. gr.) er að meta nánar hættu á örvaðri skjálftavirkni og hugsanlegum afleiðingum hennar ef niðurstöður frummats gefa til kynna að hætta sé á jarðskjálftum í tengslum við losun vökva í jörðu. Rannsóknir á áhrifum losunar í jörðu geta skipst í tvo hluta. Markmið fyrri hlutans, greining og mat, er þá að kanna hvort ásættanlegt sé að vinna áfram að undirbúningi losunar. Síðari hlutinn, tilraunalosun, er lokaáfangi í undirbúningi fyrir endanlegri ákvörðun um eðli, umfang og tilhögun losunar. Rannsóknaráætlun felur í sér áætlun um rannsóknir ásamt áætlun um tilraunalosun.

### *Greining og mat:*

Eftir því sem við á í hverju tilviki getur rannsóknaráætlun innifalið eftirfarandi atriði:

1. Greiningu á tiltækum jarðskjálftagögnum til að meta náttúrulega skjálftavirkni svæðisins og mat á þörf á nákvæmari mælingum.
2. Greiningu á tiltækum gögnum um jarðskorpuhreyfingar ásamt mati á spennuupphleðslu sem þær valda og mat á þörf á nákvæmari mælingum.
3. Uppsetningu staðbundins næms jarðskjálftamælanets til að meta skjálftavirkni áður en losun hefst ef þörf er.
4. Uppsetningu mælanets fyrir skorpuhreyfingar ef þörf er.
5. Úttekt á jarðfræði og höggun svæðisins.
6. Mat á stefnu höfuð-ása spennusviðs skv. jarðskjálftum, skorpuhreyfingum og sprungumynstri.
7. Hættumat sem feli í sér mat á hröðun (PGA) og hraða (PGV) auk líkinda á óþægindum vegna tíðra smáskjálfta.
8. Hönnun á tilraunalosun.

Vægi ofangreindra atriða getur verið mismikið, bæði innbyrðis og í heild, og ræðst fyrst og fremst af jarðfræðilegum aðstæðum, afstöðu til byggðar og áætluðu umfangi losunar.

Ef niðurstaða rannsókna er sú að áhætta samfara losun á tilteknum stað sé ásættanleg er farið í næstu skref sem geta falist í tilraunalosun. Ef áhættan er metin óásættanleg er eðlilegt að endurskoða áætlanir um losun vökva í jörðu og leita nýrra lausna.

### *Tilraunalosun:*

Ef niðurstaða rannsókna er sú að áhætta sé ásættanleg eru losunarholur valdar, eða boraðar. Kortleggja þarf sprungur í holunum, meta spennusvið eftir því sem unnt er og bera niðurstöðurnar saman við það sem metið hefur verið í fyrri rannsóknum. Eftir það hefst losun í tilraunaskyni, Tímalengd hennar fer eftir aðstæðum. Æskilegt er að byrja með lítið magn og auka það síðan stig af stigi. Kannað er hvert vökvinn streymir frá losunarstað með ferilprófunum og nákvæmri greiningu á skjálftum sem staðbundna jarðskjálftamælanetið kann að leiða í ljós. Upplýsingar sem fást með losun í tilraunaskyni eru afgerandi um það hvort ásættanlegt sé að setja í gang losun til frambúðar. Mælt er með að tilraunalosun fari ávallt fram áður en stöðug losun hefst, jafnvel þó að frummat bendi til þess að óveruleg hætta sé á að hún leiði af sér finnanlega skjálftavirkni.

## Eftirlit og vöktun

Mikilvægt er að fylgst sé vel með losun vökva í borholur og áhrifum hennar. Samkvæmt 5. gr. ber leyfishafa að setja upp vöktunarkerfi vegna hættu á jarðskjálftum af völdum losunar.

Eftirtalin atriði eru þar mikilvæg en rétt er að taka fram að flest þeirra eru fastir liðir í rekstri jarðhitasvæða og fela því í sér litla viðbót:

1. *Jarðskjálftamælingar:* Ef niðurstöður frummats eða rannsókna sýna hættu á finnanlegri jarðskjálftavirkni er mikilvægt að sett verði upp næmt mælakerfi sem skráir og staðsetur jarðskjálfta á sjálfvirkan hátt sem næst í rauntíma, ef slíkt kerfi er ekki fyrir hendi eða annað sem rekstraraðili metur að gefi nægilegar upplýsingar. Ef jarðskjálftamælar eru það nærri losunarstað að unnt er að greina jarðskjálfta sem eru yfir 1,0 að stærð getur það verið nægjanlegt. Uppsetning og hönnun jarðskjálftamælakerfisins þarf þó ætíð að taka mið af aðstæðum. Mikilvægt er að fylgjast vel með jarðskjálftavirkni við upphaf losunar í jörðu og næstu mánuði á eftir. Hið sama gildir þegar verulegar breytingar verða á magni, hita eða þrýstingi á losunarsvæðum. Ef aðstæður eru þannig að líkur eru á mikilli skjálftavirkni í tengslum við losun í jörðu er æskilegt að hafa kerfi sem getur sent út viðvaranir þegar miklar eða óvenjulegar breytingar verða á skjálftavirkni eða aðstæðum.
2. *Upplýsingar um losun:* Þegar vatn er losað í jörðu er mælt með að höfð verði sískráning á því magni sem dælt er niður í hverja holu, hitastigi losunarmagns og þrýstingi á holutoppi. Aðgengi að þessum mælingum í rauntíma er jafnframt æskilegt. Skráningartíðni þarf að vera nægileg svo hægt sé að greina tengsl breytinga í losun og skjálftavirkni, t.d. á mínútu fresti.
3. *Þrýstingur í jarðhitakerfinu:* Mikilvægt er að fylgst sé með þrýstingsbreytingum í jarðhitakerfinu til að meta áhrif losunarinnar, helst með sískráningu á þrýstingi í sérstakri eftirlitsholu eða -holum. Aðgengi að mælingum í rauntíma er æskilegt auk þess sem skráningartíðni sé nægileg til að bera saman við jarðskjálftavirkni.
4. *Aðrar athuganir:* Eftir því sem við á er fylgst með jarðskorpuhreyfingum á jarðhitasvæðinu, bæði láréttum hreyfingum og landhæðarbreyfingum. Einnig má, eftir því sem við á, fylgjast með áhrifum losunar í gegnum aðra eftirlitsþætti, t.d. eftirlit með efnainnihaldi vatns úr vinnsluholum, þyngdarmælingar og umhverfiseftirlit.

#### *Vöktunarkerfi:*

Út frá rannsóknum, tilraunalosun og eftir aðstæðum í hverju tilviki þarf að meta hvernig vöktunarkerfi (5. gr.) skuli byggt upp. Eftirfarandi atriði má hafa til hliðsjónar við skipulag þess:

1. *Stærð jarðskjálfta:* Ef skjálfti fer yfir tiltekna stærð skal gefin viðvörðun. Viðmiðunargildið er breytilegt eftir aðstæðum.
2. *Fjöldi skjálfta:* Ef fjöldi skjálfta á tímaeiningu (t.d. á klst.) er meiri en viðmiðunargildi skal send út viðvörðun. Viðmiðunargildið er breytilegt eftir aðstæðum.
3. *Uppsafnað vægi:* Ef uppsafnað vægi skjálfta á tímaeiningu (t.d. á klst.) er meira en viðmiðunargildi skal send út viðvörðun. Viðmiðunargildið er breytilegt eftir aðstæðum.
4. *Órar breytingar á losun:* Reynslan sýnir að samfara breytingum á losunarmagn hafa orðið jarðskjálftar. Gefa skal viðvaranir þegar slíkt er í bígerð eða tilkynna ef það gerist óvænt.
5. *Þrýstingsbreytingar:* Snöggar þrýstingsbreytingar í jarðhitakerfi án breytinga á losun og vinnslu geta bent til breytinga á lekt bergs, t.d. vegna skyndilegrar opunar sprungna, sem gæti haft svipuð áhrif og snöggar breytingar í losun.
6. *Aðrar athuganir:* Reynslan á viðkomandi svæði verður að sýna hvernig nota á skorpuhreyfingamælingar og aðrar mælingar til viðvarana. Sama gildir um breytingar í langtímahegðun.

### **Viðbragðsáætlun**

Samkvæmt 6. gr. ber leyfishöfum að setja sér viðbragðsáætlun vegna hættu á jarðskjálftum. Umfang og eðli slíkra viðbragðsáætlana er háð þremur þáttum, stærð og eðli fyrirtækis, nálægð við byggð eða aðra starfsemi og stærð og eðli þeirra skjálfta sem áætlunin nær yfir. Þrátt fyrir það eru nokkur grunnatriði sem ber að hafa í hverri áætlun, s.s. að ljóst sé í hverju tilviki fyrir sig í hvern eigi að hringja eða hafa samband við í hverju tilviki fyrir sig, hverjir hafi vald til ákvarðana og aðgerða í hvert sinn, s.s. hafa samband við æðstu stjórnendur, upplýsa Orkustofnun, Veðurstofu Íslands, sveitarstjórnir, viðkomandi heilbrigðisnefndir, almannavarnir og/eða almenning, stöðva losun o.sv.frv. Þá þarf að liggja fyrir hvenær eigi að virkja áætlunina.

Rétt er að benda sérstaklega á mikilvægi virkra samskipta við Veðurstofu Íslands áður en rekstraraðili hefur aðgerðir eða framkvæmdir sem auka líkur á jarðskjálftum og/eða þegar jarðskjálftar verða sem tengst gætu losun á jarðhitavökva í jörðu.

Eins og fram kemur í reglunum er ekki gert ráð fyrir að það sé hlutverk Orkustofnunar að greina ítarlega einstök atriði viðbragðsáætlunarinnar heldur einungis að sannreyna í fyrsta lagi að áætlunin liggi fyrir, í öðru lagi að hún innihaldi þau grundvallaratriði sem tilgreind eru í 1. mgr. 6. gr. og í þriðja lagi að veita stofnuninni tækifæri á að koma að ábendingum ef þessi yfirferð leiðir eitthvað í ljós sem stofnunin teldi að gæti gert áætlunina betri.

Ítreka ber að leyfishafi ber ábyrgð á sinni starfsemi og afleiðingum hennar á umhverfi sitt og samfélag.