



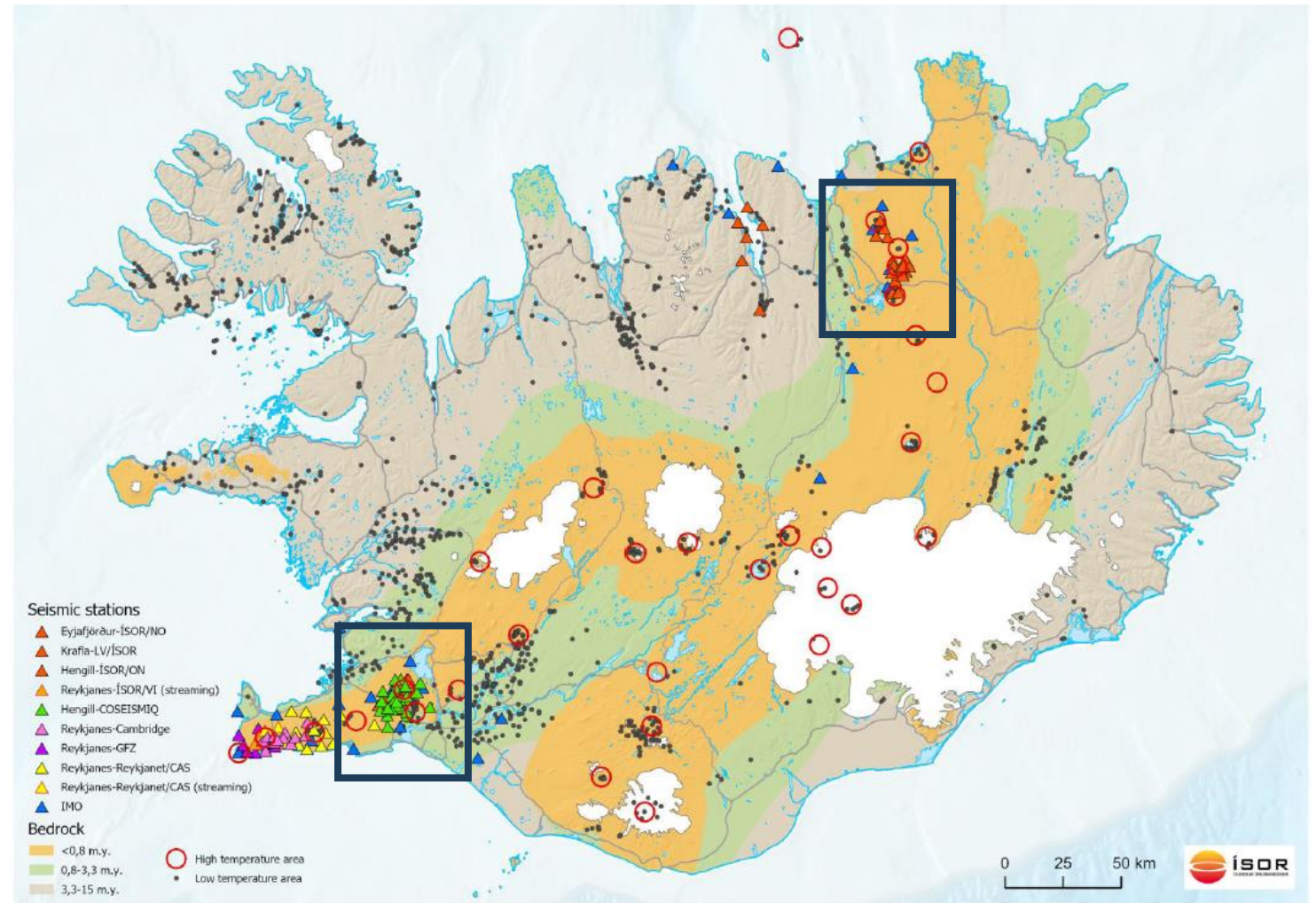
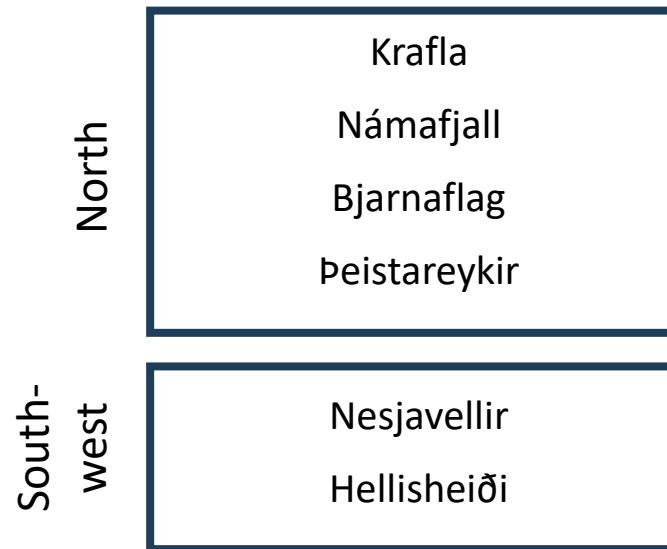
**GEOENVI WEBINAR: TOWARD A EUROPEAN CODE TO ASSESS, MONITOR, AND HANDLE THE SEISMIC RISKS IN
DEEP GEOTHERMAL PROJECTS
CASE STUDY: ICELAND**

March 9th 2021

Sigríður Kristjánsdóttir

Monitoring in Iceland

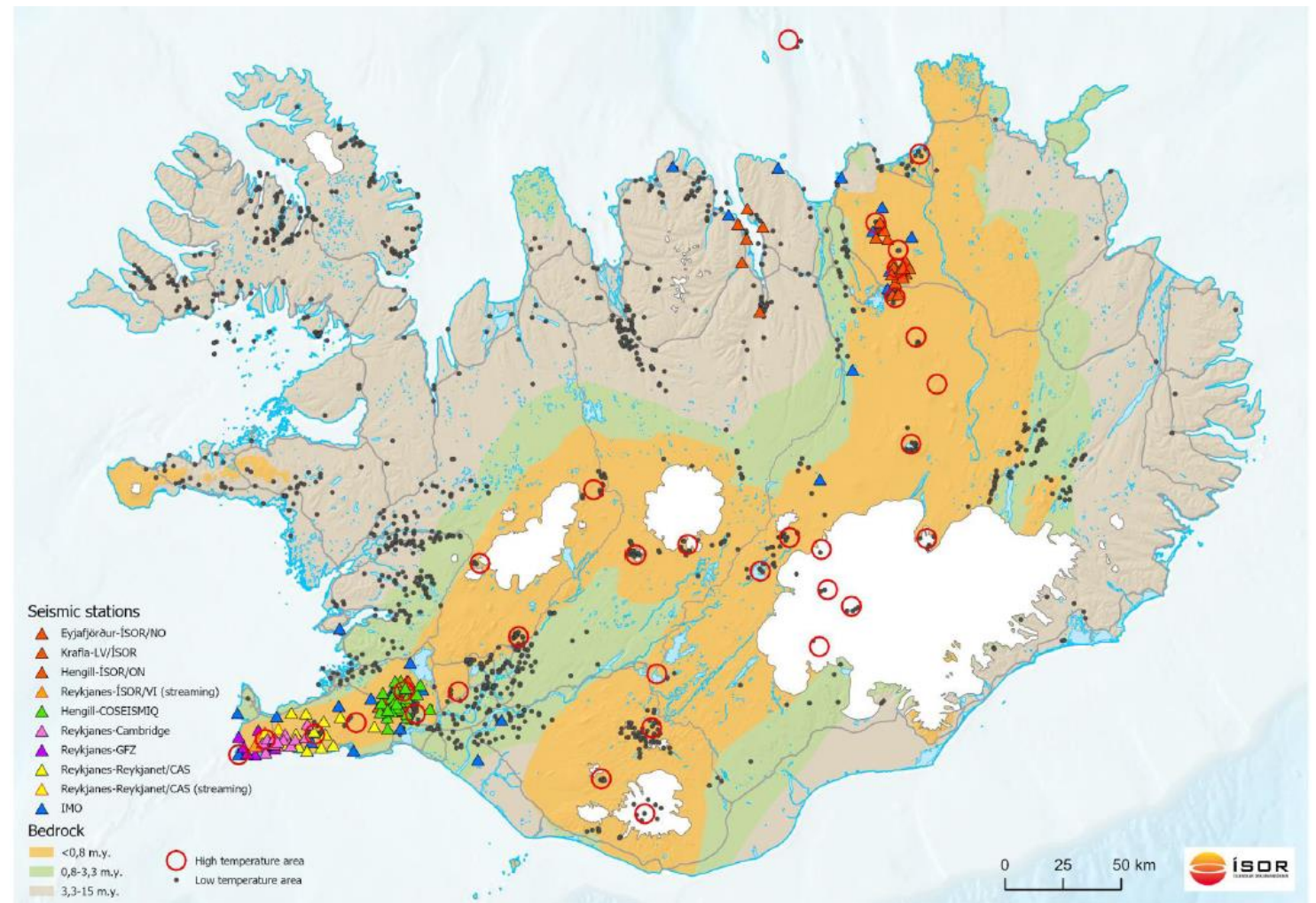
ÍSOR monitors 6 high temperature geothermal fields



Þorbjörg Ágústsdóttir et al., 2020

Monitoring in Iceland

- 96 permanent stations streaming in real time, 21 from the Icelandic meteorological office (IMO) and 75 from ÍSOR and collaborators
- CAS, GFZ and Cambridge operate offline research networks in Reykjanes. In total 34 temporary stations



Þorbjörg Ágústsdóttir et al., 2020

REGULATIONS

Reglur um viðbúnað og viðbrögð við jarðskjálftavá vegna losunar á vökva í jörðu um borholur

1. gr. Markmið

Markmið reglna þessara er að draga úr hættu á líkamstjóni, skemmdum á mannvirkjum og óþægindum af völdum jarðskjálfta í tengslum við losun vökva í jörðu um borholur.

Reglunum 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.

2. gr. Gildissvið

Reglur þessar taka til undirbúnings og framkvæmdar á losun vökva í jörðu um borholur og um viðbúnað við jarðskjálftahættu þegar eitthvert eftirfarandi atriði á við:

1. Losun vökva er umfram 5 l/s að ársmeðaltali.
2. Losun vökva er umfram 10 l/s að meðaltali innan hvers klukkutíma.
3. Losun vökva niður í virk sprungukerfi.
4. Örvun borholna ef beita á meira en 6 MPa þrýstingi umfram náttúrulegt ástand.

Reglurnar gilda ekki um tímabundna losun við boranir svo sem vegna skoltaps, hreinsunar eða prófana á borholum á bortíma eða við borlok.

Reglur þessar taka ekki til áhættu fyrir starfsfólk leyfishafa, annarri áhættu tengda rekstri orkuvera eða til annarra umhverfisáhrifa af starfsemi.

Reglur þessar eru óaðskiljanlegur hluti nýtingarleyfa skv. lögum nr. 57/1998, um rannsóknir og nýtingu á auðlindum í jörðu, og virkjunarleyfa skv. raforkulögum nr. 65/2003, útgefnum af Orkustofnun vegna nýtingar jarðhita eftir gildistöku reglnanna, enda sé vísað til þeirra í umræddum leyfum.

3. gr. Skilgreiningar

Finnanleg jarðskjálftavirkni: Jarðskjálfti á yfirborði með hröðun yfir 0,01 m/s² eða 0,001g.

Grunnvatn: Vatn sem er neðanjarðar í samfelldu lagi, kyrrstætt eða rennandi, og fyllir að jafnaði allt samtengt holrúm í viðkomandi jarðlagi og sem unnið er í öðrum tilgangi en að flytja varma til yfirborðs jarðar eða nýta staðarorku þess.

Leyfishafi: Handhafi leyfis til nýtingar jarðhita samkvæmt lögum nr. 57/1998, um rannsóknir og nýtingu á auðlindum í jörðu, eða virkjunarleyfis samkvæmt ákvæðum raforkulaga nr. 65/2003.

Losun í jörðu: Losun á vökva niður í jörðu um borholur sem ætlað er að veita vökvanum aftur niður í jarðhitakerfið ellegar niður fyrir grunnvatn. Miðað er við losun niður fyrir 200 m undir yfirborð grunnvatns í jörðinni eða 500 m frá yfirborði jarðar, hvort sem liggur neðar.

Prófun: Hefðbundið ferli sem miðar að mælingum á afkastagetu og eiginleikum borholu og jarðhitakerfis. Prófun í þessum reglum felur ekki í sér örvun holu eða aðrar framkvæmdir sem framkalla þrýstingsaukningu umfram 6 MPa í jarðlögum við borholu.

Örvun holu: Framkvæmdir sem miða að aukningu á lekt jarðlaga umhverfis borholu eða streymi jarðhitavökva. Örvun fer fram með ádælingu (þrýstingsaukningu), sprengingu eða samskonar ferli.

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 vökvaþrýstingur vegna losunar hafi hleypt af stað stærri skjálftum.

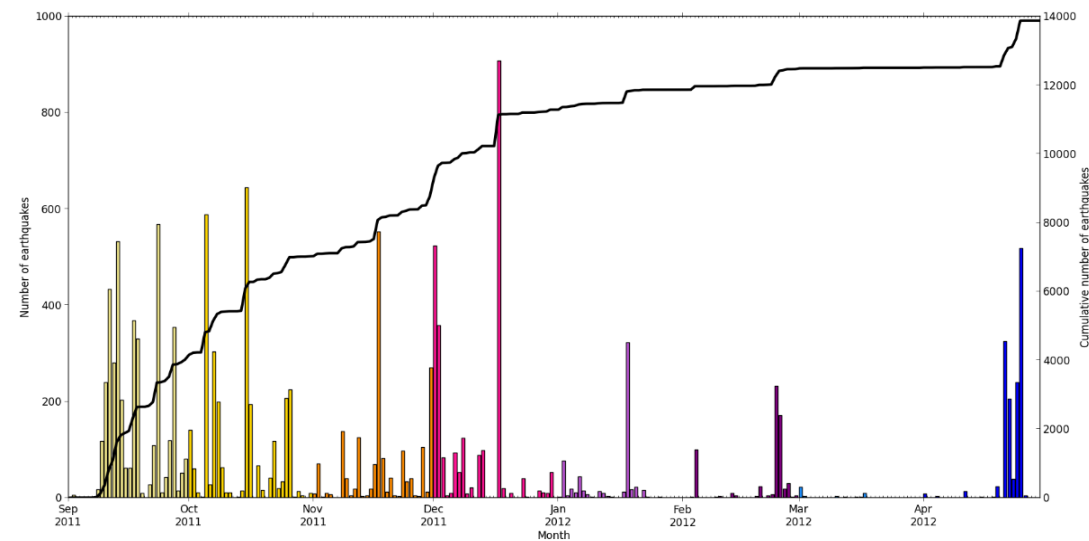
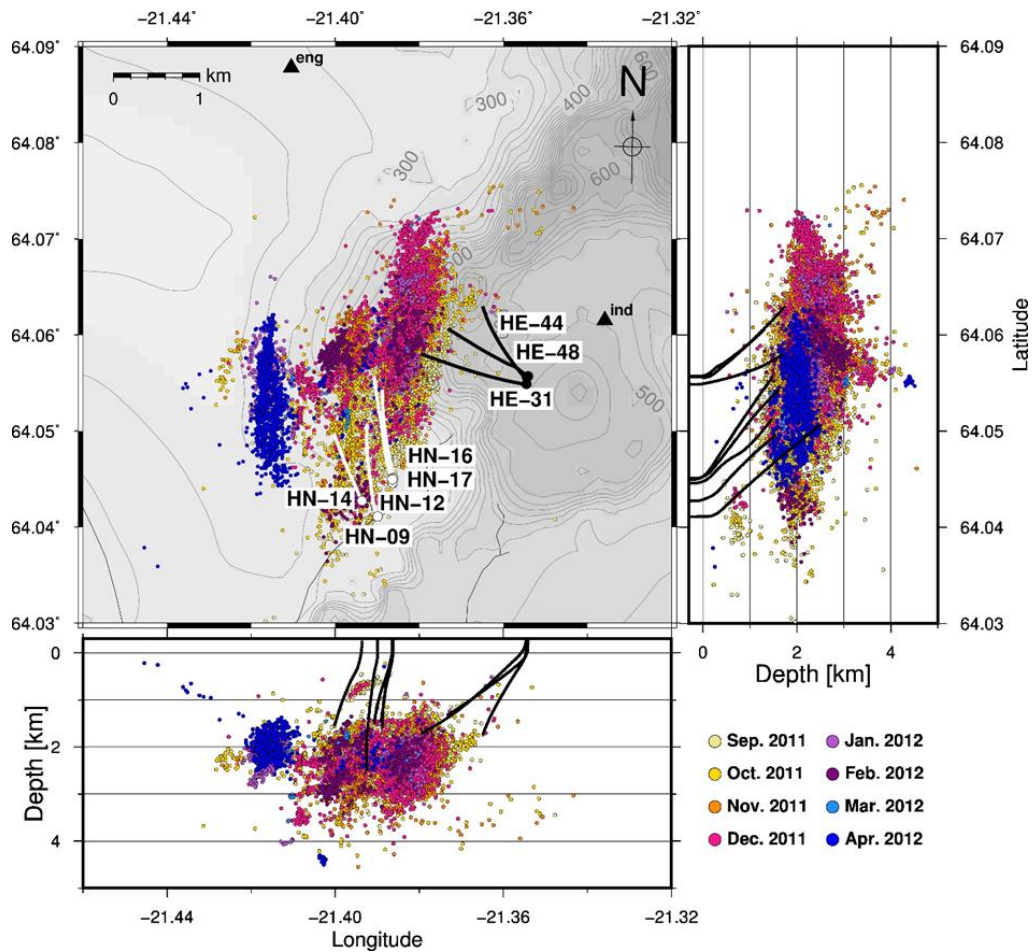
Losun jarðhitavökva í jörðu er mikilvægur þáttur við nýtingu jarðhita, annars vegar til förgunar vökva og hins vegar til að sporna við þrýstingslækkun í jarðhitakerfum. Í sumum tilfellum er losun skylda samkvæmt nýtingarleyfi og/eða starfsleyfi skv. lögum nr. 7/1998, um hollustuhætti og mengunarvarnir, og stunduð frá upphafi reksturs. Í öðrum tilfellum hefur verið gripið til hennar eftir að rekstur hefur staðið yfir í nokkurn tíma. Viða 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 siendurtekinnna smárra skjálfta. Við undirbúning niðurdælingar geta framkvæmdaraðilar lítið 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 siendurtekinnna 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 réttahafar

INDUCED SEISMICITY IN HELLISHEIÐI



Tveir snarpir jarðskjálftar nærri Hveragerði
© 10. október 2011 09:44

Jarðskjálfti upp á 3,8 á richter skók jörðu rétt eftir klukkan nín í morgun. Uppþök skjálftans voru við Hellisheiðarvirkjun samkvæmt upplýsingum frá Veðurstofu Íslands.

Skjálftinn fannst víða, meðal annars í Hveragerði og Höfuðborgarsvæðinu. Þá mældist annar jarðskjálfti upp á 3,7 á richter um klukkan 9:45. Uppþök þess skjálfta var um tvo kílómetra vestur af Hveragerði.

Yfir 1300 jarðskjálftar voru staðsetir af Jarðfræðingum Veðurstofu Íslands í síðustu viku. Lang flestir voru við Hellisheiðarvirkjun.

Undanfarnar vikur hefur verið niðurrenni í borholur á svæðinu. Um 75 jarðskjálftar hafa mælst á svæðinu frá miðnætti.



Skjálftarnir setja óhug í fólk
innvið | mbl | 16.10.2011 | 10:07 | Upplifing 10:47

„Það hafa tveir mjög stórir skjálftar ríðið yfir og svo hefur verið stórvingur hérna í allen morgun,“ segir Aldis Hafsteinsdóttir, bæjarstjóri í Hveragerði en stærsti skjálftarnir voru 3,8 og 3,7 stig og fundust vel í Hveragerði, í höfuðborginni, á Akranesi og á Helli.

Aldis segir líkur á því að skjálftana megi rekja til starfsemi Orkuvettunar á Hengilsisvæðinu og segir ástandið ólíklegt en verð er að dæla niður jarðsæðuvöku frá Hellisheiðarvirkjun.

„Þetta er görsamlega óþolandi og ég held að stórnendur Orkuvettunar og eigendur ættu að hugsa til þess hvort þeir myndu vilja búa við þetta ástand,“ segir Aldis. „Álar finnst algjörflega óþolandi að einstaklingar og fyrirtæki séu að leika sér með þessum hætti að niðurninni og það hefur í rauninni engin hugmynd um þetta þarna er að gerast,“ segir hún, ekki sé hægt að greina á milli manngerðra skjálfta og raunverulegra jarðskjálfta.

Manngerðir skjálftar upp á 4
© 15.10.2011 - 12:22 innvið

Á annað hundrað skjálftar hafa orðið nálægt Hellisheiðarvirkjun í morgun, þeir stærstu upp á um fjóra. Skjálftarnir hafa fundist víða á Suðurlandinu, frá Akranesi austur að Helli.

Skjálftavirknin er vegna niðurdælingar vatns frá Hellisheiðarvirkjun. Orkuskiptastöðin telur ekki ástæðu til að hætta niðurdælingu vegna skjálftavirkni.

Þessi hrina hófst um miðnætti í nótt, en fór af alvöru af stað um klukkan níu í morgun. Þráir mínútur yfir níu kom snarpur kippur, fjór á stærð, og annar allka klukkan fjóran mínútur í þú. Þessir skjálftar fundust greinilega á Akranesi, höfuðborgarsvæðinu, og allt austur á Helli. Skjálftarnir eru manngerðir - kommi til eftir að starfsemi Orkuvettunar hófu að dæla affallsvatni frá Hellisheiðarvirkjun niður í borholur á svæðinu. Skjálftarnir í morgun eru þeir snörpuustu sem orðið hafa síðan virkinn hófst í september - og þeir hafa vakið óhug þúa, til dæmis í Hveragerði. Orkuskiptun er að ganga frá skýrslu eða minnisbæði um þessa skjálftavirkni.

„Ólíkar niðurstæða er sú að þessir skjálftar sem hafa orðið finnst vissulega í byggð en það er ekki reynstan að þeir valdi skemmdum, þó það sé ekki hægt að útiloka það í einstökum tilvikum er ekki sérstök ástæða til að hafa áhyggjur af því í þessum skjálftum,“ segir Guðni A. Jóhannesson orkuskiptastjóri.

Jarðfræðingar telja að skjálftar á Hengilsisvæðinu verði ekki stærri en sex, vegna þýkunar jarðskorpunnar þarna og styrks bergsins - þó sé ekki hætt á ferðum. Guðni vísar á hvernig hvers vegar að óvissa sé um framhaldið, og hvort niðurdæling sé ekki eða fýr stórum skjálftum. Hann segir ekki ástæðu til að hætta niðurdælingu á Hellisheiði, en segir að Orkuvettun hefði mátt standa sig betur í að kynna fyrir íbúum á svæðinu hvað gæti gerst, þegar þegar þessir dæling hófst. „Það hefur auðveldt verið skilt að þetta en ég held að það hefði verið hægt að gera með skilmerkislegri hætti og tryggja að þær upplýsingar bærist til íbúa, til dæmis í Hveragerði.“

„Ég held það sé afskaplega vægt til orða tekið. Íbúar í Hveragerði eru mjög ósattir við þessar starfsáætlaðir Orkuvettunar. Það er alveg ljóst að það verður ekki búið við manngerðar jarðskjálfta upp á fjóra á Richteri,“ segir Aldis Hafsteinsdóttir, bæjarstjóri í Hveragerði. Hún segir þetta sérstaklega ega við ef búið væru eiga von á jarðskjálftum upp á allt að 5 til 6.

HOW DO ICELANDIC REGULATIONS COMPARE TO GEOENVI RECOMMENDATIONS

HOW DO ICELANDIC REGULATIONS COMPARE TO GEOENVI RECOMMENDATIONS

Fall along the same
lines as GEOENVI

-

With some
exceptions

KEY POINTS IN THE ICELANDIC REGULATIONS

Injection above
threshold or into
active fault system

Acceleration >
0.001g

Preliminary
assessment

Contingency plan

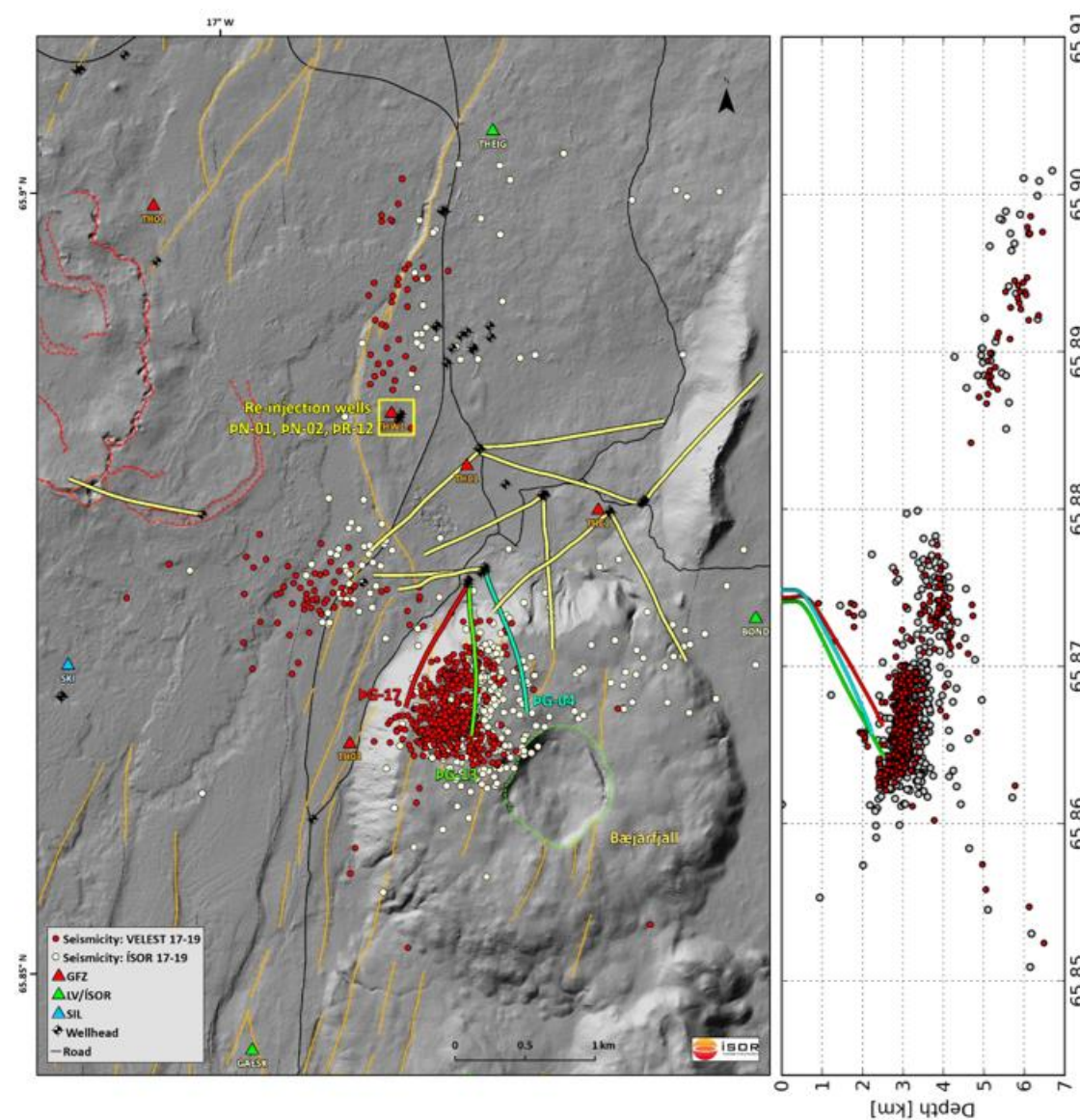
Monitoring

MAIN DIFFERENCES

Update of
velocity
model
not
required

Predictive
modelling
of
reservoir
not
required

INDUCED SEISMICITY IN ICELAND - ÞEISTAREYKIR



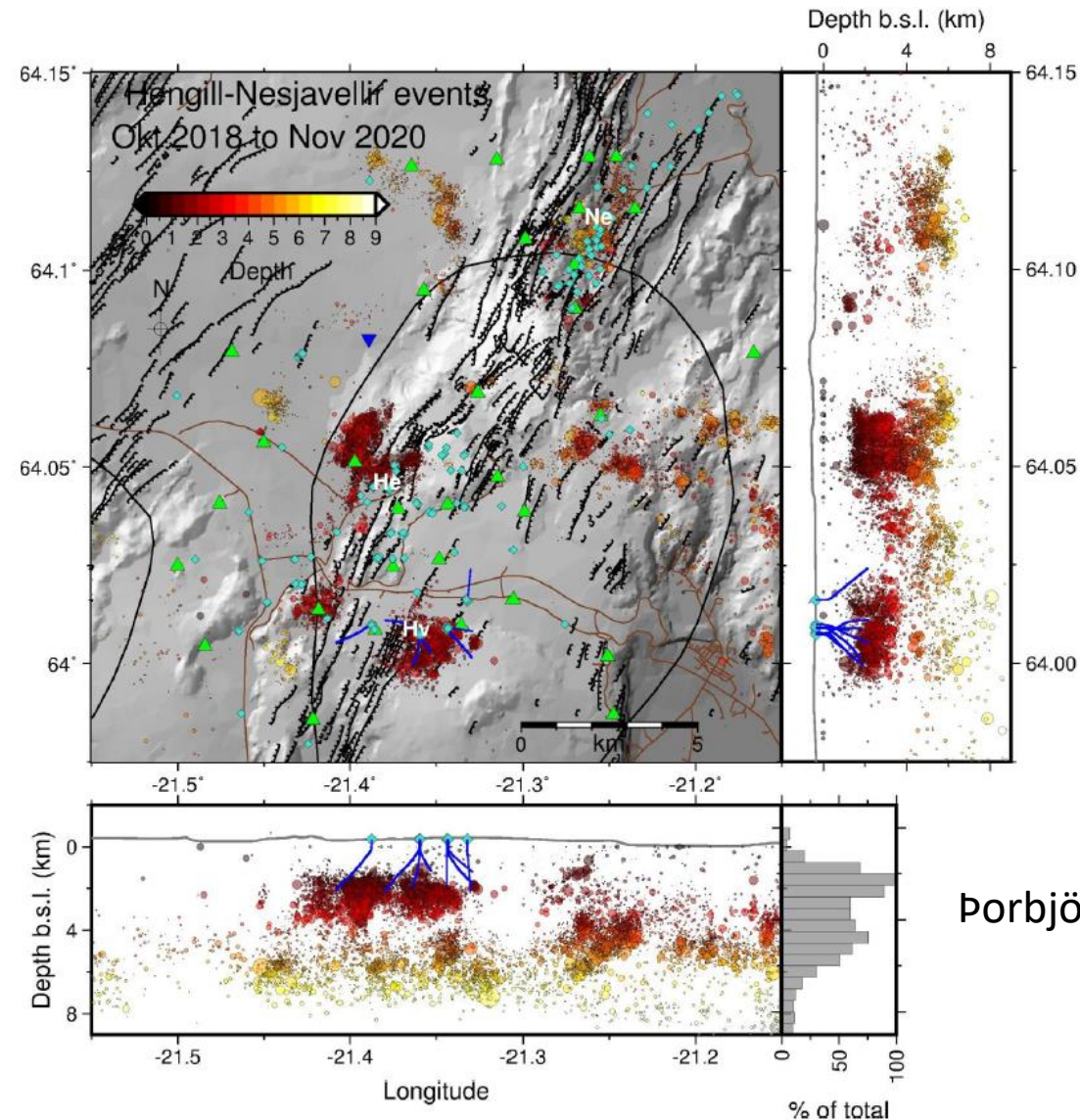
Egill Árni Guðnason
et al., 2021

INDUCED SEISMICITY IN ICELAND - HELLISHEIÐI

Seismicity is clustered

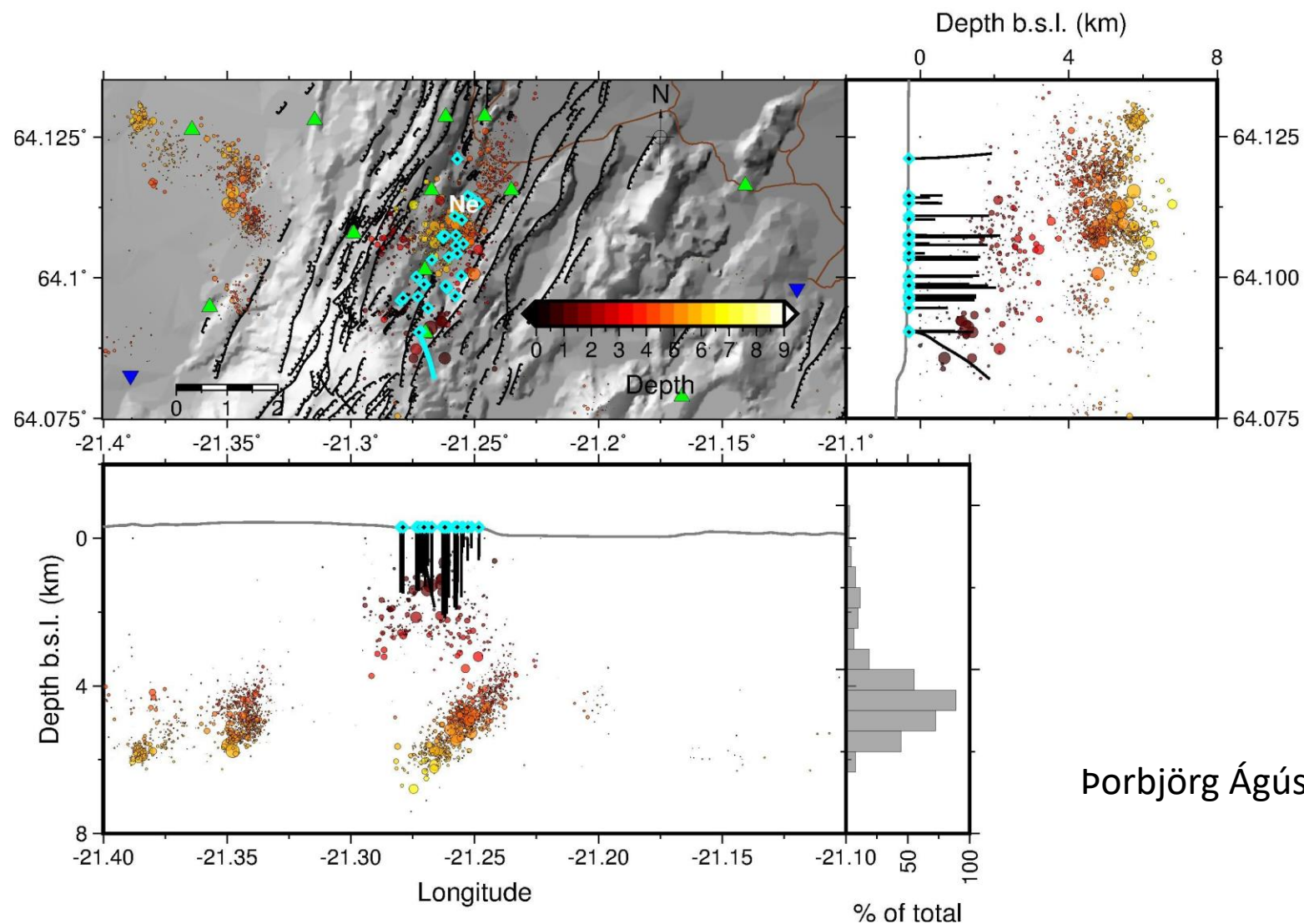
Various types of seismicity going on:

- Due to injection
- Due to production
- Natural seismicity



Þorbjörg Ágústsdóttir et al., 2020

INDUCED SEISMICITY IN ICELAND - NESJAVELLIR



Þorbjörg Ágústsdóttir et al., 2020

SUMMARY

- Icelandic regulations similar to GEOENVI recommendations
- A review of the current regulations advisable
- Build European code on previous work
- Challenging to discern induced seismicity from natural seismicity in Iceland

