

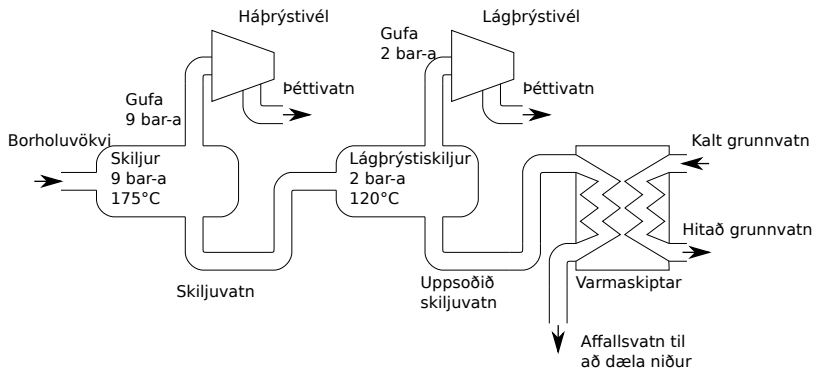
Niðurdæling á háhitasvæðum

Erindi flutt fyrir verkefnisstjórn rammaáætlunar

Gunnar Gunnarsson

17. desember 2014

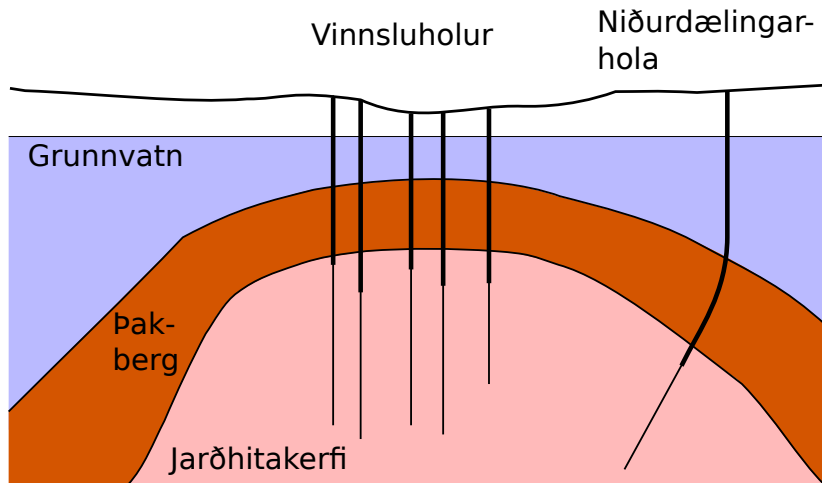
Jarðhitavirkjun í hnotskurn – Hellsheiðarvirkjun



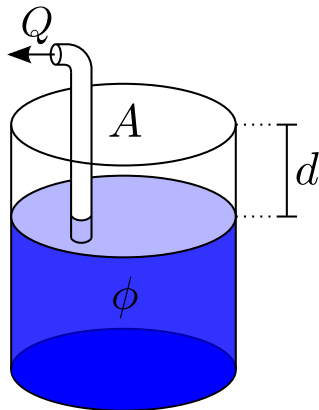
Að losna við skiljuvatnið

- ▶ Umhverfi og ásýnd.
 - ▶ Heitt vatn á yfirborði – gróðurskemmdir, slysaætta.
 - ▶ Varmamengun í grunnvatni
 - ▶ Efnamengun í grunnvatni – efnainnihald jarðhitavats.
- ▶ Vatni dælt aftur niður í jarðhitageyminn.
 - ▶ Um 80% varmaorkunnar bundin í berginu.
 - ▶ Niðurdæling hjálpar til við að nema varmann úr berginu.
 - ▶ Ekki auðhlaupið að því að dæla niður.
- ▶ Vatni fargað utan jarðhitageymis
 - ▶ Vatni dælt niður í neðri grunnvatnslög.
 - ▶ Vatni dælt burt af svæðinu.

Niðurdæling í jarðhitageyminn – Grunnhugmyndin



Áhrif vinnslu – Þrýstifall/niðurdráttur



- ▶ Ekkert aðstreymi –
niðurdrátturinn á tímabilinu ΔT
gefinn með:

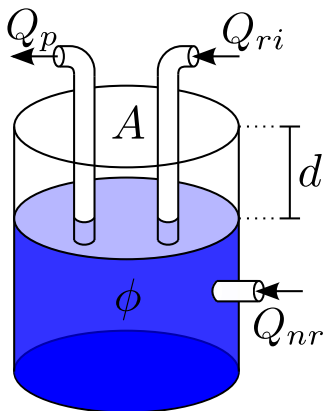
$$\Delta d = \frac{Q}{A} \frac{1}{\rho \phi} \Delta T$$

- ▶ 1 MW/km² (4 kg/s/km²)
Poruhlutinn 10% og meðalhiti
275°C ($\rho = 759 \text{ kg/m}^3$) verður
árlegur niðurdráttur:

$$\Delta d = \frac{4 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2/\text{s}}{759 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,1} 3,16 \times 10^7 \text{ s}$$

$$\Delta d = 1,67 \text{ m}$$

Niðurdráttur – Massi inn og út



- ▶ Niðurdráttur er háður tveimur mikilvægum þáttum til viðbótar.
- ▶ Náttúrulegt aðstreymi (Q_{nr}) og niðurdæling (Q_{ri}).
- ▶ Niðurdráttur að teknu tilliti til þessara þátta er gefinn með:

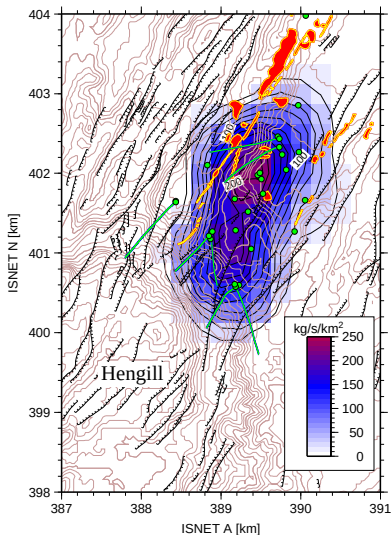
$$\Delta d = \frac{Q_p - Q_{nr} - Q_{ri}}{A\rho\phi} \Delta T.$$

- ▶ Náttúrulegt aðstreymi skiptir miklu um hvort dæla skuli niður.

Að dæla eða dæla ekki niður

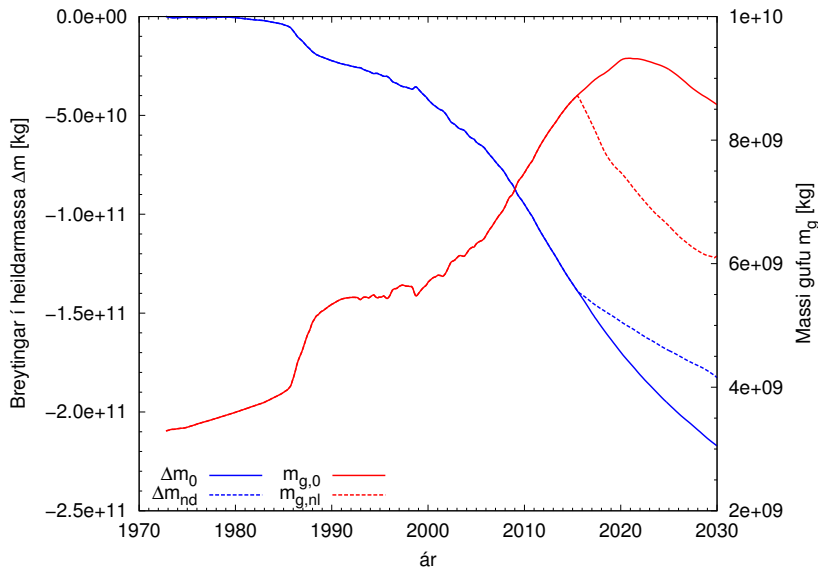
- ▶ Er æskilegt að dæla niður?
 - ▶ Hve mikið er náttúrulegt aðstreymi.
 - ▶ Áhrif þrýstiniðurdráttar á vinnslueiginleika.
- ▶ Ýmis tæknileg úrlausnarefni:
 - ▶ Að finna hentugt niðurdælingarsvæði.
 - ▶ Að koma vatninu niður.
 - ▶ Útfellingar og endingartími holna.
 - ▶ Hitaháð afköst niðurdælingarholna.
- ▶ Örvuð skjálftavirkni.
- ▶ **Reynslan af niðurdælingu í Henglinum.**

Nesjavellir – Engin niðurdæling

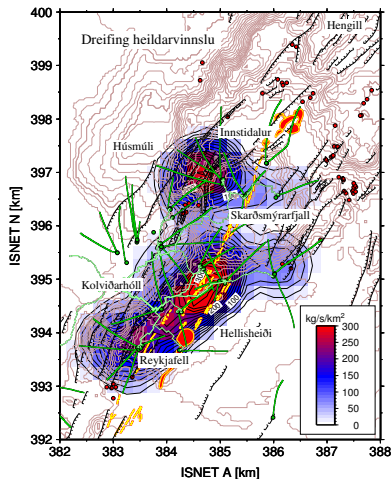


- ▶ Vinnsla rúmlega 200 kg/s/km² þar sem hún er mest.
- ▶ Í lokaðri tunnu væri árlegur niðurdráttur um 83 m eða 6,2 bar.
- ▶ Mældur árlegur niðurdráttur er um 1,5 bar – Náttúrulegt aðstreymi einkum úr norðri.
- ▶ Þrýstiniðurdráttur veldur suðu í berginu – Hærra vermi unnins vökva.
- ▶ Niðurdæling tvíeggjuð skv. líkanreikningum.

Líkanspá fyrir Nesjavelli – Dælt niður á miðju svæði

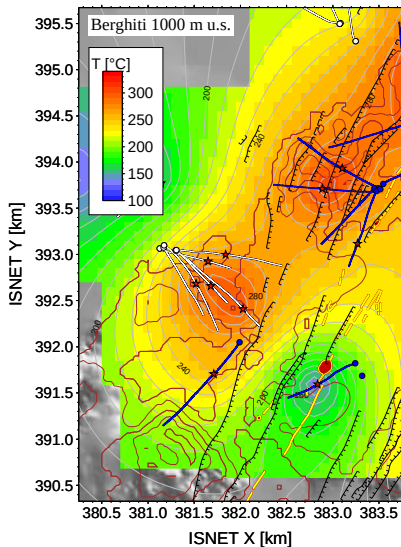


Hellisheiði – Niðurdæling



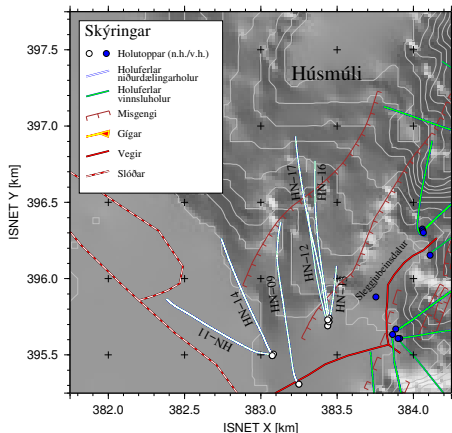
- ▶ Vinnsla rúmlega 300 kg/s/km^2 þar sem hún er mest.
- ▶ Í lokaðri tunnu væri árlegur niðurdráttur um 125 m eða 9,3 bar.
- ▶ Mældur árlegur niðurdráttur um 1,7 bar – Niðurdæling og náttúrulegt aðstreymi.
- ▶ Sambærileg áhrif þrýstiniðurdráttar á vinnslueiginleika og á Nesjavöllum.

Gráuhnúkar



- ▶ Upphaflegt niðurdælingarsvæði Hellisheiðarvirkjunar, gangsett 2007.
- ▶ Mikil hiti ($>300^{\circ}\text{C}$) uppgötvaðist þegar borað var í svæðið.
- ▶ Hreinu skiljuvatni dælt niður – gera má ráð fyrir yfirmettun.
- ▶ Svæðið tengt við virkjunina með ~ 3 km lögn sem virkar eins og fjölliðunartankur.

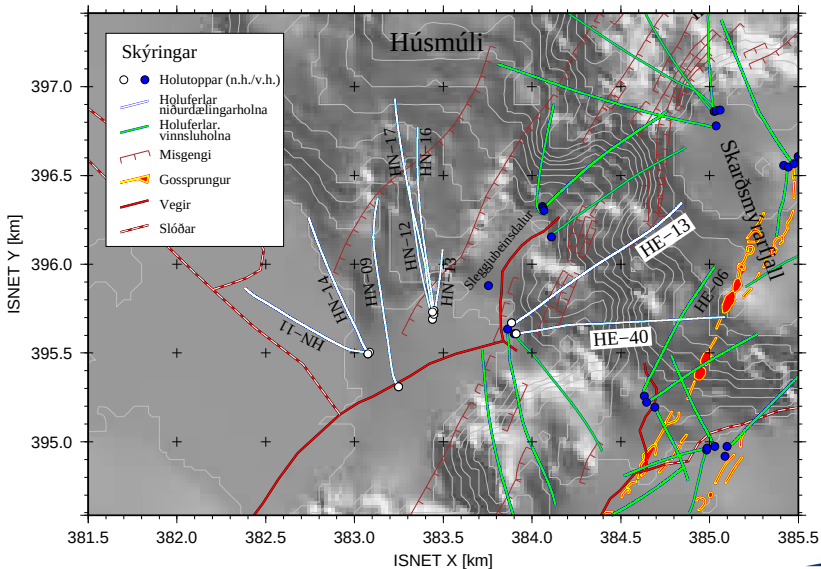
Húsmúli



- ▶ Upphaflega ætlað að taka við öllu affallsvatni frá Hellisheiðarvirkjun.
- ▶ Skiljuvatni þynntu þéttivatni (30–40%) dælt niður.
- ▶ Takmarkið: Tvö misgengi í Húsmúlanum.
- ▶ Nokkuð dregið úr afköstum svæðis.

- ▶ Gangsetningu svæðisins fylgdi mikil örvuð skjálftavirkni.

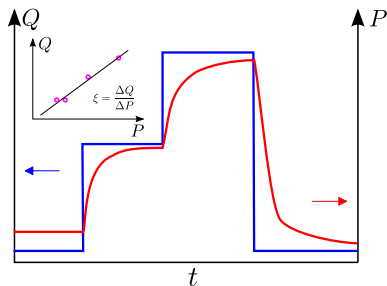
Niðurdæling á vinnslusvæðinu – Nýlegar tilraunir



Reynslan af rekstri niðurdælingarsvæða

- ▶ Afköst Gráuhnúkasvæðisins minnkuðu eitthvað í byrjun en hafa eftir það haldist nokkuð stöðug.
- ▶ Vöktun niðurdælingar við Gráuhnúka var nokkuð fábrotin framan af – rennsli í einstaka holur ekki mælt fyrr en nýlega.
- ▶ Holur á Húsmúlasvæðinu voru prófaðar gaumgæfilega og vandlega hefur verið fylgst með niðurdælingu í hverja holu.
- ▶ Afköst Húsmúlasvæðisins hafa dalað nokkuð frá upphafi. Ekki ljóst hvað veldur.
- ▶ Afköst niðurdælingarholna eru mjög háð hita niðurdælingarvatnsins. Þetta hefur sést í holuprófunum og rekstri beggja svæða.

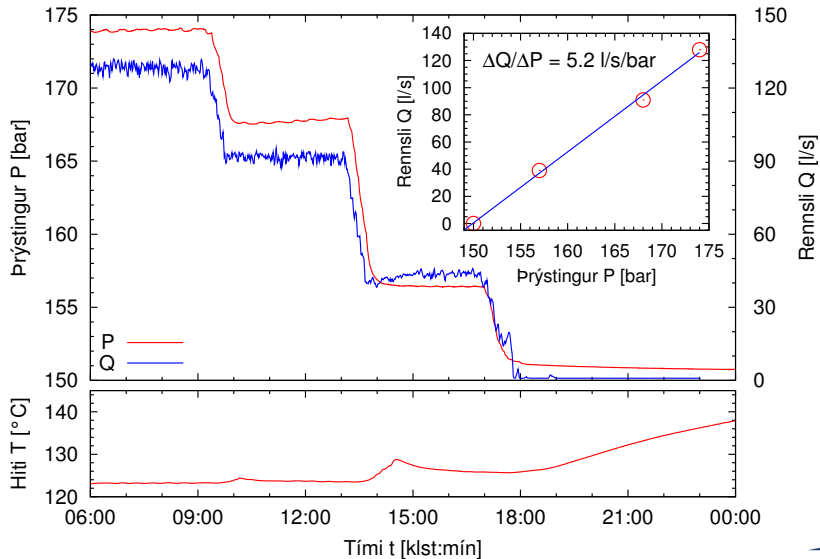
Hitaháð afköst niðurdælingarholna



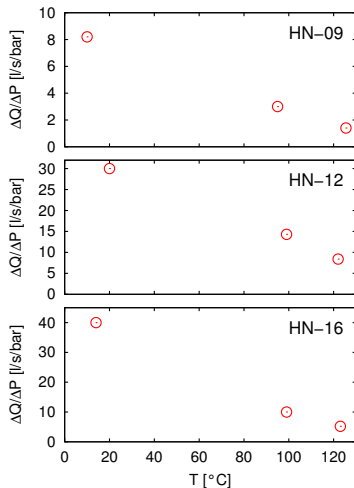
Þrepaðæling til að fá $Q(P)$.
Ádælingarstuðull $\xi = \Delta Q / \Delta P$.

- ▶ Þrepaðælingar gerðar í borlok.
- ▶ Ádælingarstuðlar notaður til að meta lekt holna.
- ▶ Ádælingarstuðull mældur í nokkrum holum á Húsmúlasvæðinu fyrir mismunandi hitastig.
- ▶ Þess gætt að hola væri í jafnvægi fyrir þrepaðælingu.

Dæmi um þrepaðælingu: 120°C heitt vatn í holu HN-16 við Húsmúla

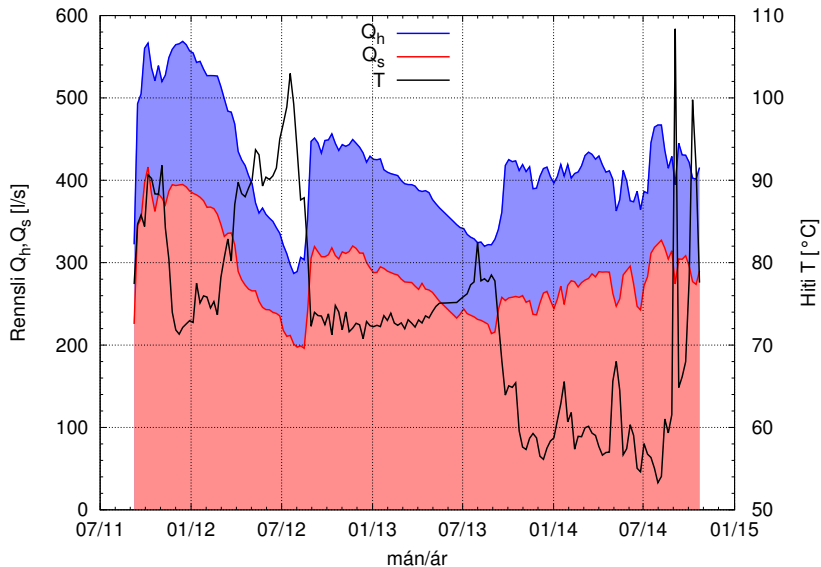


Hitaháðir áðælingarstuðlar

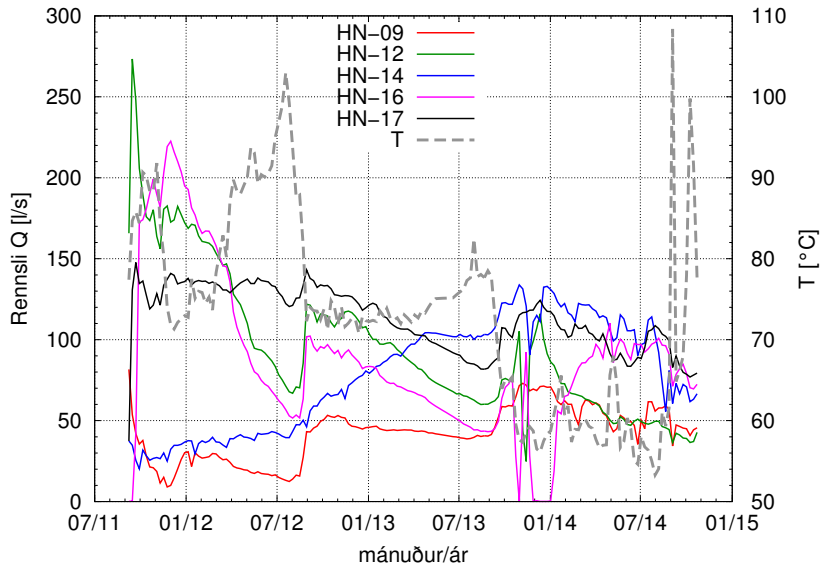


- ▶ Áðælingarstuðlar mældir við þrjú mismunandi hitastig.
- ▶ Áðælingarstuðlar mjög háðir hitastigi niðurdælingarvatnsins.
- ▶ Að þynna skiljuvatn með þéttivatni gerir kleift að dæla niður meira skiljuvatni.
- ▶ Þéttivatnsíblöndun minnkar hættu á útfellingum.
- ▶ Hitaháð lekt eiginleiki sprungulektar.

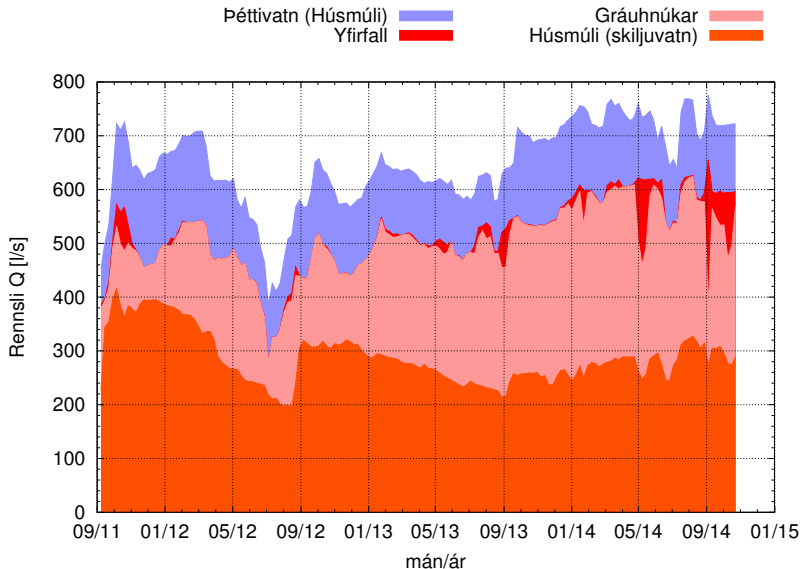
Rennsli í Húsmúlasvæðið frá september 2011



Rennsli í stakar holur á Húsmúlasvæðinu



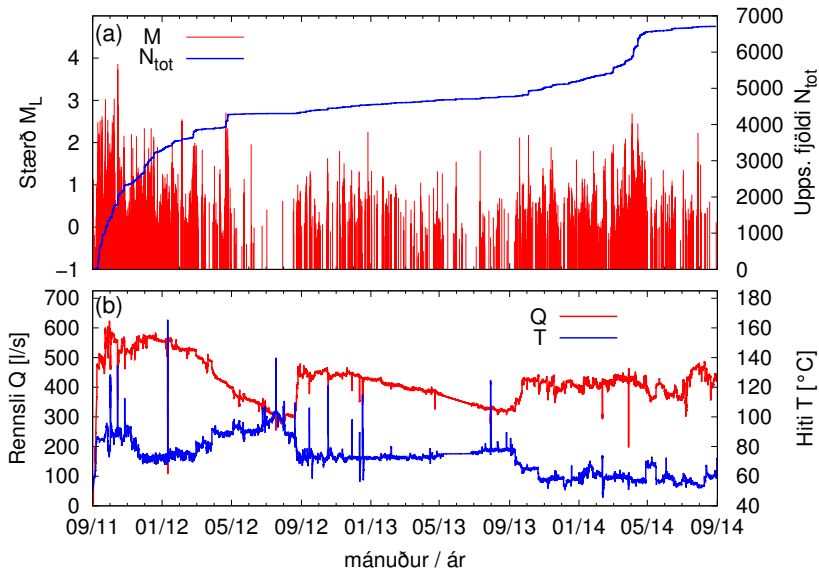
Heildarmyndin – Allt skiljuvatn frá Hellisheiði



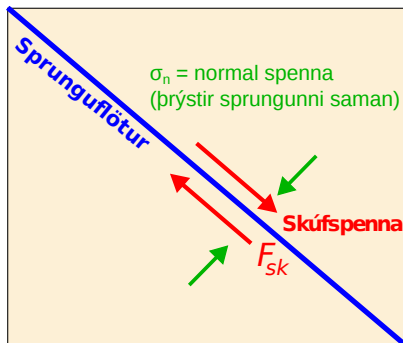
Þróun niðurdælingar

- ▶ Mjög skýr tengsl milli afkasta og hita niðurdælingarvatnsins – sést einkum á Húsmúlasvæðinu.
- ▶ Heildarmagn skiljuvatns hefur aukist. Að hluta er það vegna breytinga í rekstri.
- ▶ Niðurdælingin sjálf gæti aukið magn skiljuvatns.
- ▶ Útfellingar ættu ekki að vera vandamál skv. efnafræðirannsóknnum – í öllu falli ekki í Húsmúla.
- ▶ Örvuð skjálftavirkni var mikil í Húsmúlanum en óveruleg á Gráuhnúkasvæðinu.

Skjálftavirkni við Húsmúla



Skjálftavirkni og niðurdæling – brotmörk



Skúfspenna hleðst upp vegna jarðskorpuhreyfinga.

- Sprunga stöðug ef eftirfarandi er uppfyllt:

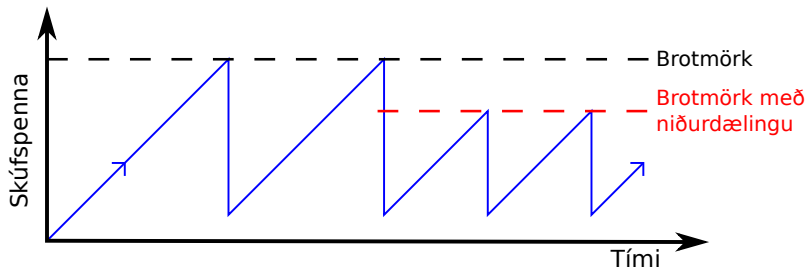
$$F_{sk} - (\sigma_n \cdot \phi + S_o) < 0$$

þ.e. þegar **brotpól** er stærra en **brotkraftur**.

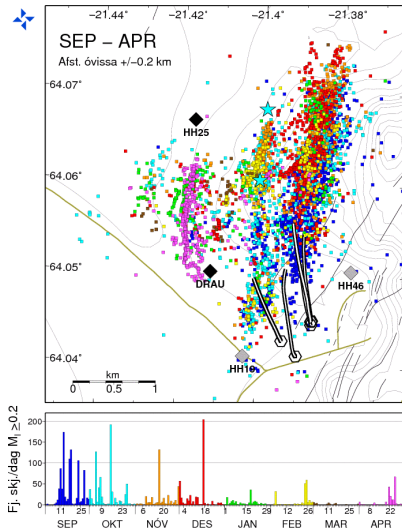
- Vatn í sprungu minnkar viðnám sprungunnar:

$$F_{sk} - [(\sigma_n - P) \cdot \phi + S_o] < 0$$

Örvaðir jarðskjálftar – gíkkskjálftar



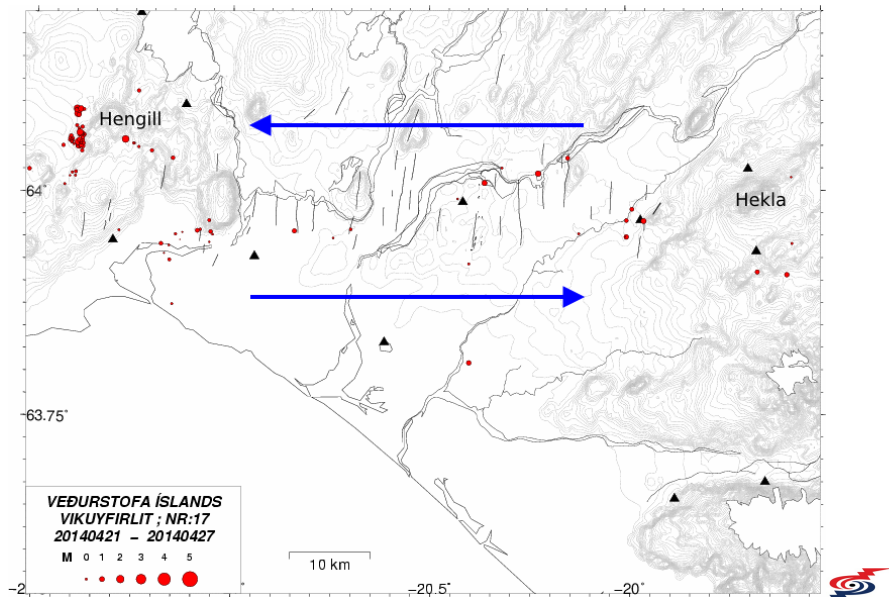
Skjálftavirknin við Húsmúla



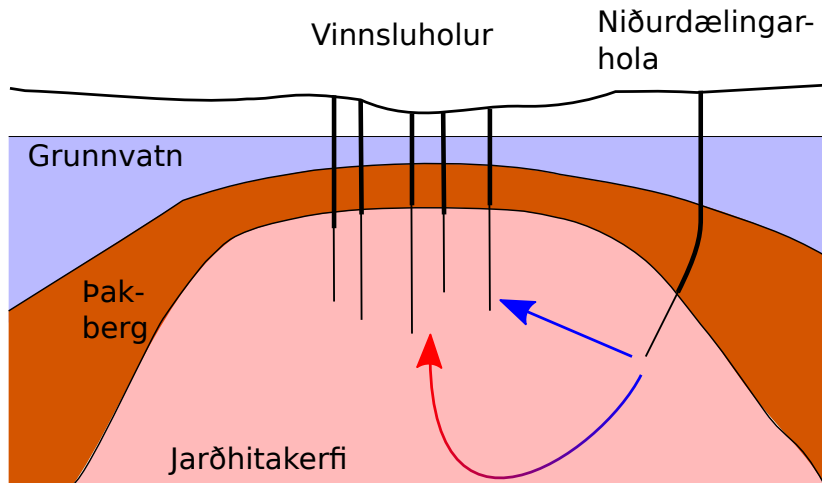
Mynd: Gunnar Guðmundsson og Steinunn Jakobsdóttir

- ▶ Virknin mest í byrjun en svo dróg úr henni.
- ▶ Skjálftavirkni á N-S sprungum.
- ▶ NA-SV stefnur einkennandi í Henglinum.
- ▶ Skjálftavirkni færðist til vesturs með tíma.
- ▶ Uppsöfnuð spenna fyrir á svæðinu. Niðurdælingin losaði hana.
- ▶ Mjög sérstaka aðstæður leiddu til virkninnar.

Suðurlandsbrotabeltið



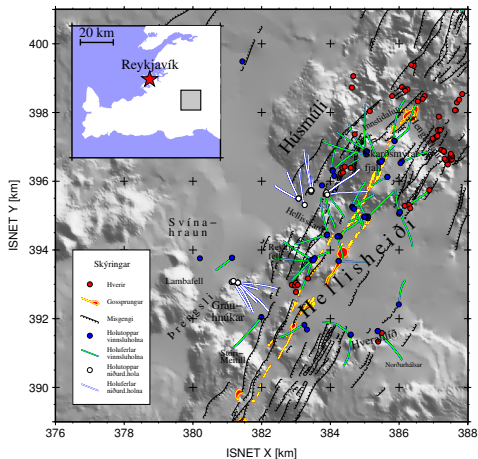
Áhrif niðurdælingar á vinnslu – Rennslisleiðir



Niðurdæling og varmanám úr berginu

- ▶ Sprungur stjórna lektinni í jarðhitakerfum hérlandis. Hætta á skammhlaupi kalds vatns milli niðurdælingar og vinnslu.
- ▶ Lengd og yfirborðsflatarmál rennslisleiða skiptir höfðumáli.
- ▶ Eðlisþyngdarmunur heits vatns og kalds skiptir máli: Kalt vatn sekkur – heitt vatn rís.
- ▶ Vandasamt verk að staðsetja niðurdælingarholur og stilla af rennsli í þær: [Styður niðurdælingin við vinnsluna eða kæfir það hana?](#)
- ▶ Beinir mælingar á rennslileiðum nauðsynlegar – ferilefnapróf.

Ferilefnapróf á Hellisheiði – Frumniðurstöður



- ▶ Ferilefni hellt í niðurdælingarsvæðin
- ▶ Gráuhnúkasvæðið: Styður við vinnslu við Reykjafell. Lítil hætt á kælingu.
- ▶ Húsmúlasvæðið: Full mikil áhrif á Skarðsmýrarfjalli.
- ▶ Niðurdæling á vinnslusvæði: Frumniðurstöður lofa góðu.

Samantekt

- ▶ Spurningin hvort dæla skuli niður í jarðhitageyminn veltur á eiginleikum kerfisins og áhrifum vinnslunnar á jarðhitageyminn.
- ▶ Niðurdælingunni er ætlað að hjálpa til við að nema varmann úr berginu.
- ▶ Sprungulekt er ráðandi í jarðhitakerfum hérlandis. Hún getur valdið hitaháðum afköstum niðurdælingarholna.
- ▶ Gæta þarf að hættunni á skammhlaupi milli niðurdælingar og vinnslu. Velja þarf niðurdælingu hentugan stað og stýra þarf magninu sem dælt er niður.
- ▶ Ferilefnapróf eru nauðsynlegt tæki til að meta áhrif niðurdælingar.
- ▶ Vera þarf vakandi fyrir örvaðri skjálftavirkni. Hún verður þó aðeins til vandræða við sérstakar aðstæður.

Þakka þeim sem hlýddu

Aukaghlærur

Efnainnihald skiljuvatns Hellisheiðarvirkjunar

Efni		Hámarksgildi neysluvatns	Skiljuvatn Hellisheiði
As	mg/kg	0,01	0,09
Ba	mg/kg	–	0,078
Cd	mg/kg	0,005	0,00017
Cr	mg/kg	0,05	0,00008
Cu	mg/kg	2	0,002
Hg	mg/kg	0,001	0,0002
Ni	mg/kg	0,02	0,0003
Pb	mg/kg	0,01	0,0035
Zn	mg/kg	3	0,0097