

# Förgun affallsvatns frá jarðhitavirkjunum

Erindi flutt á aðalfundi Jarðhitafélags  
Íslands, 30. apríl 2013

*Þráinn Friðriksson*

*thf@isor.is*

# Yfirlit

- Skilgreiningar
- Megin förgunaraðferðir
- Magn affallsvatns
- Efnasamsetning
- Áhrif niðurdælingar
  - Þrýstistuðningur
  - Jarðskjálftar

# Skilgreiningar

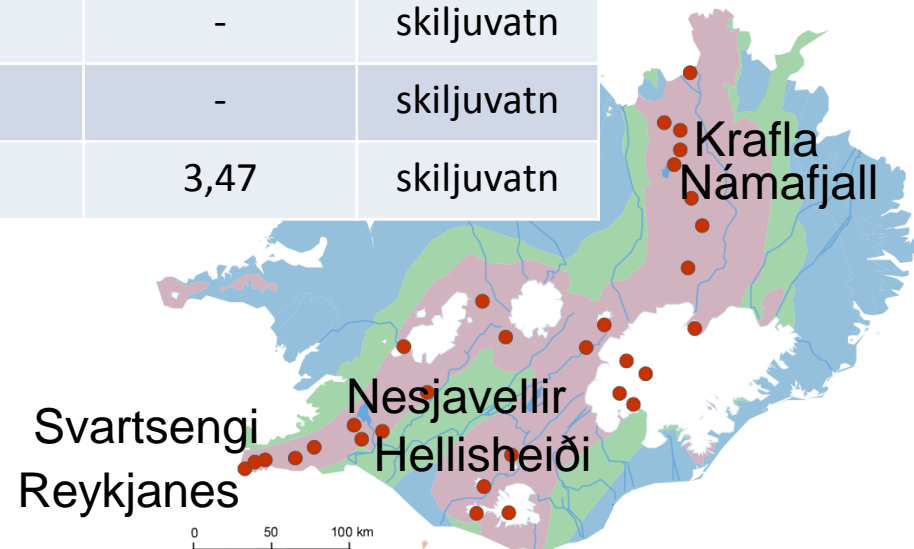
- **Djúpvökvi**
  - Vökvi í iðrum jarðhitakerfis
  - Ekki unnt að safna án suðu
- **Skiljuvatn**
  - Jarðhitavökvi eftir suðu niður í skiljuþrýsting
  - Styrkur steinefna meiri en í djúpvökva
- **Þéttivatn**
  - Vökvi sem myndast þegar gufa er þétt í eimsvala virkjunar
  - Hluti þéttivatns tapast í kæliturnum
- **Affallsvatn**
  - Getur verið skiljuvatn eða skiljuvatn og þéttivatn og jafnvel kælivatn

# Helstu förgunaraðferðir

- Losun á yfirborði (grunnvatn)
  - Tjarnir, lón eða svelgholur
- Losun í sjó
- Niðurrennsli í grunnar holur
  - 200 til 800 m dýpi
  - Hvorki tengsl við efri grunnvatnskerfi né jarðhitakerfi
- Niðurdæling í jarðhitakerfi
  - > ~800 m dýpi

# Helstu förgunaraðferðir á Íslandi

	Grunnvatn (Mt/ár)	Sjór (Mt/ár)	Niðurdæling grunn (Mt/ár)	Niðurdæling djúp (Mt/ár)	Aths.
Reykjanes	hverfandi	14,22	-	1,42	affallsvatn
Svartsengi	0,7 (2011)	í skoðun	3,33 (2011)	7,13	affallsvatn
Hellisheiði	0,51	-	-	9,9	skiljuvatn
Nesjavellir	4,6	-	2,95	-	skiljuvatn
Námafjall	1,25-1,58	-	-	-	skiljuvatn
Krafla	1,26	-	-	3,47	skiljuvatn



# Losun á yfirborð



Bláa Lónið, Svartsengi



Gráa Lónið, Reykjanesi 05.07.2005



Glerhallarvatn, Bjarnarflagi

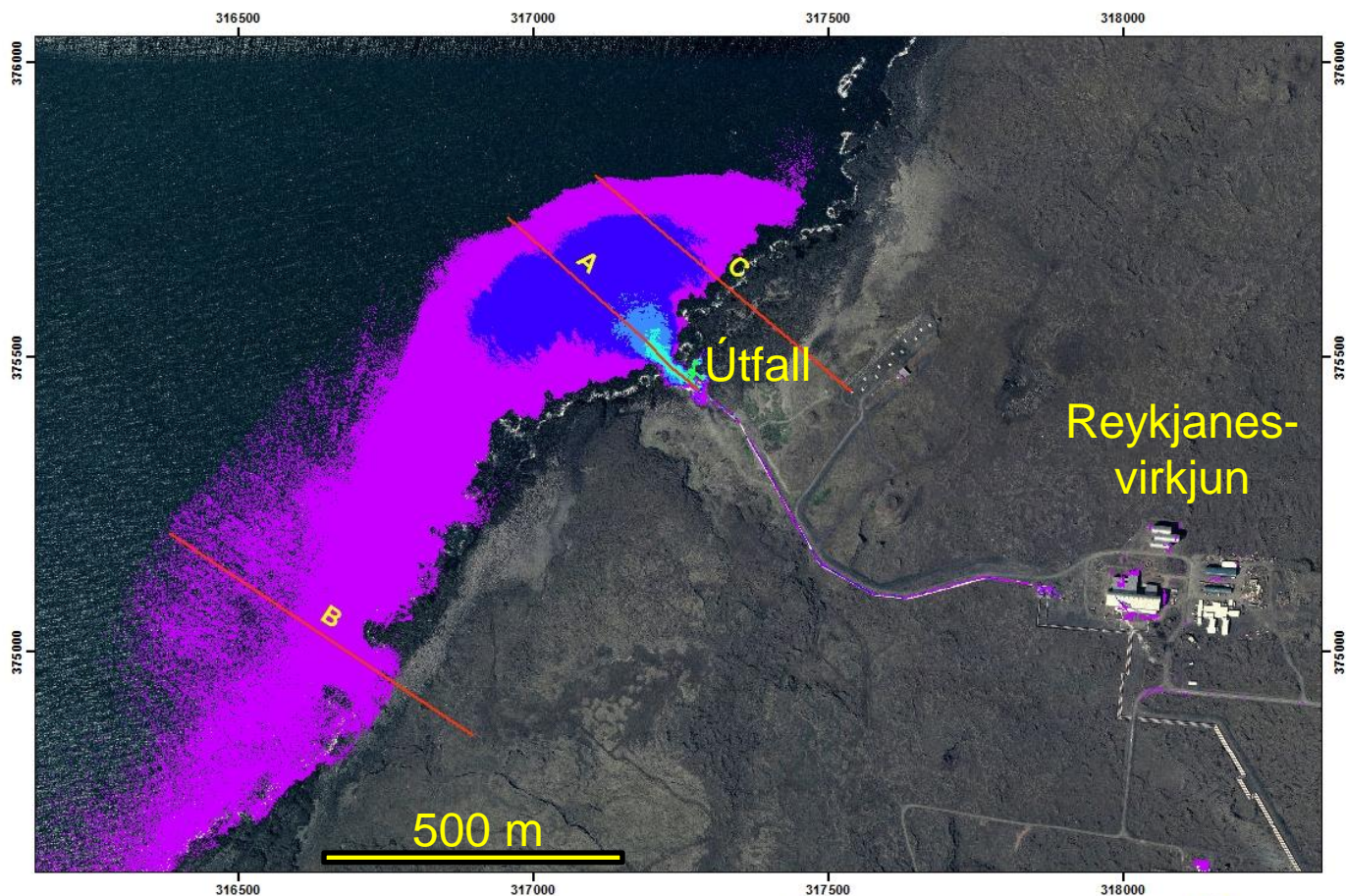


# Losun í sjó



Eftir fimmtán mánaða vinnslu

# Varmamengun við Reykjanes Innrauð hitaloftmynd



Temperature profiles





# Kostir og ókostir niðurdælingar í jarðhitakerfi

- Kemur í veg fyrir að skiljuvatn berist í grunnvatn
  - Efnamengun og varmamengun
- Kemur í veg fyrir myndun lóna – kísilútfellingar
- Dregur úr þrýstilækkun í jarðhitakerfinu
- Kísilútfellingar geta takmarkað niðurdælingargetu
- Getur valdið kólnun
- Getur valdið jarðskjálftum

# Efnasamsetning djúpvökva: aðalefni

	Reykjanes RN-12	Svartsengi SV-07	Sjór	Hellisheiði HE-52	Krafla K-21	Grunnvatn Kópavogur
°C	295	238		266	266	
pH	5,30	5,35	7,9	7,04	7,5	8,75
SiO <sub>2</sub>	702	455	6,4	510	553	7,16
Na	9,650	6,396	10,770	134	153	9,0
K	1,410	937	390	21,4	26,5	0,56
Ca	1,660	1,028	410	0,96	0,94	5,02
Mg	0,78	0,36	1,350	0,001	0,02	0,96
Cl	19,200	12,610	19,350	58,3	154	8,6
SO <sub>4</sub>	14,7	28	2,712	22,9	20,3	1,8
CO <sub>2</sub>	1,700	463	99	785,4	122	18,0
H <sub>2</sub> S	45,5	9,8	0	42,8	81	<0,03

# Efnasamsetning affallsvatns og drykkjarvatnsstaðlar

	Reykjanes	Svartsengi	Hellisheiði	Krafla	Drykkjarvatns staðlar
	Skiljuvatn	Affallsvatn	Affallsvatn	Skiljuvatn	EU-WHO-EPA
sýni	20120113	20110410	20125122 og Andri Stefánsson og fl. 2009	20120330	
pH	5,93	6,75	9,23		6,5-9,5
B (mg/l)	4,8	4,4	1,18		1-2,4
Fe (mg/l)	1,09	0,09	< 0,02	0,22	0,2
K (mg/l)	1700	579	37,4	31	12
Mg (mg/l)	1,3	0,23	0,0027	-	50
Cl (mg/l)	22500	7510	198		250
Na (mg/l)	11380	3940	214	234	200
SO <sub>4</sub> (mg/l)	17,7	15,2	25,6		250
Al (µg/l)	46,8	61	2020	1500	200
As (µg/l)	85,4	52	79	36	10
Ba (µg/l)	12100	1040	0,5	6,5	700-2000
Br (µg/l)	79,5	26,8			6
Cd (µg/l)	0,05	0	0,01	0,4	5
Cr (µg/l)	1,45	0,2	0,2	<0,01	50
Cu (µg/l)	0,79	0	1	0,3	1000-2000
F (µg/l)	230	110			1500-4000
Hg (µg/l)	0,003	0,002		<0,002	1-6
Mn (µg/l)	2850	94,5	0,6	1,7	50
Ni (µg/l)	6,7	12,8	0,3	0,2	20-70
Pb (µg/l)	0	0,3	3,7	0,1	10

# Efnasamsetning affallsvatns og drykkjarvatnsstaðlar

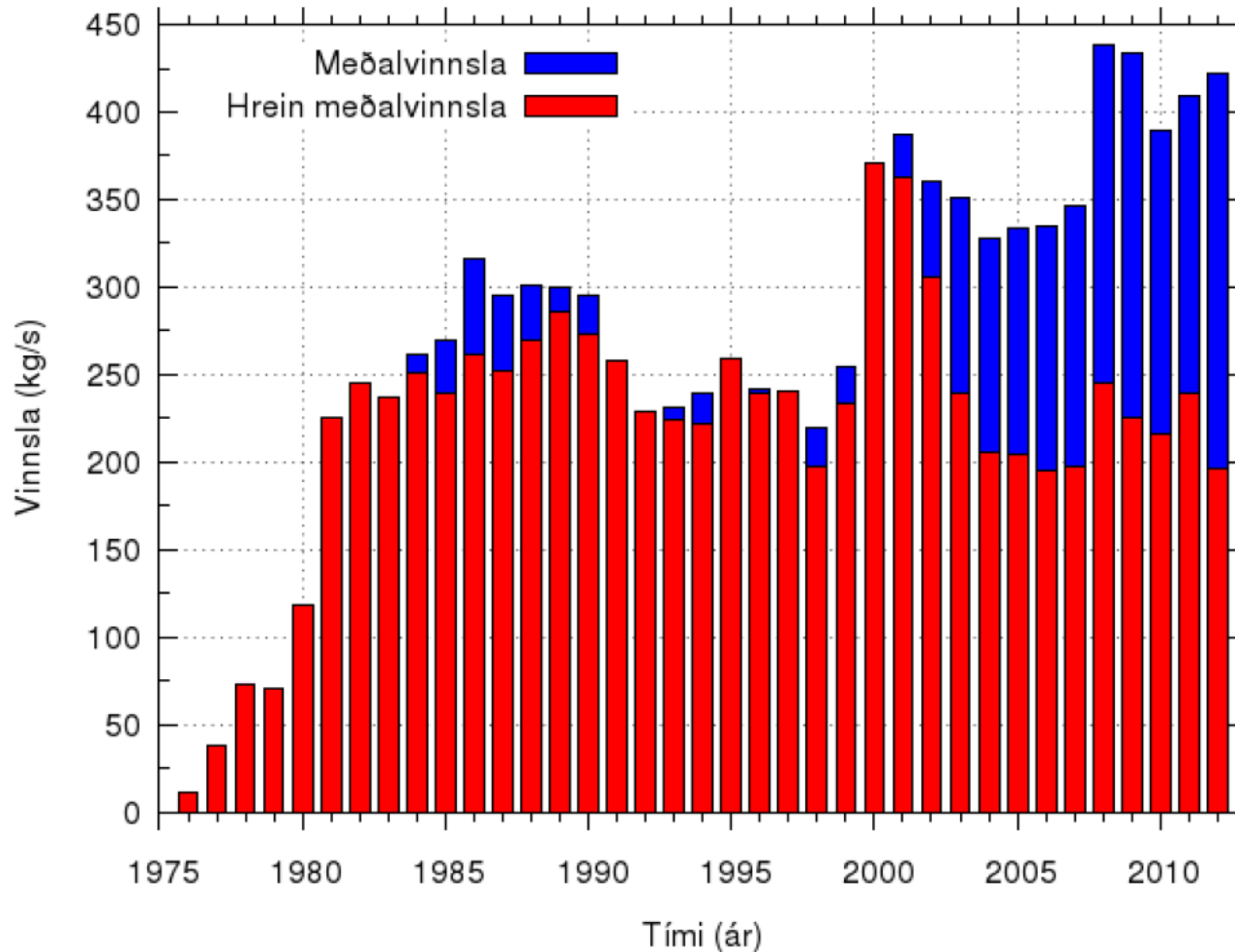
	Reykjanes	Svartsengi	Hellisheiði	Krafla	Drykkjarvatns staðlar
	Skiljuvatn	Affallsvatn	Affallsvatn	Skiljuvatn	EU-WHO-EPA
sýni	20120113	20110410	20125122 og Andri Stefánsson og fl, 2009	20120330	
pH	5,93	6,75	9,23		6,5-9,5
B (mg/l)	4,8	4,4	1,18		1-2,4
Fe (mg/l)	1,09	0,09	< 0,02	0,22	0,2
K (mg/l)	1700	579	37,4	31	12
Mg (mg/l)	1,3	0,23	0,0027	-	50
Cl (mg/l)	22500	7510	198		250
Na (mg/l)	11380	3940	214	234	200
SO <sub>4</sub> (mg/l)	17,7	15,2	25,6		250
Al (µg/l)	46,8	61	2020	1500	200
As (µg/l)	85,4	52	79	36	10
Ba (µg/l)	12100	1040	0,5	6,5	700-2000
Br (µg/l)	79,5	26,8			6
Cd (µg/l)	0,05	0	0,01	0,4	5
Cr (µg/l)	1,45	0,2	0,2	<0,01	50
Cu (µg/l)	0,79	0	1	0,3	1000-2000
F (µg/l)	230	110			1500-4000
Hg (µg/l)	0,003	0,002		<0,002	1-6
Mn (µg/l)	2850	94,5	0,6	1,7	50
Ni (µg/l)	6,7	12,8	0,3	0,2	20-70
Pb (µg/l)	0	0,3	3,7	0,1	10

# Efnasamsetning affallsvatns og drykkjarvatnsstaðlar

- **Reykjanes og Svartsengi:**
  - Mikill styrkur Cl, Na og K, (100 x staðalgildi)
  - Styrkur Mn ~50 x staðalgildi
  - Styrkur Fe, As, Ba og Br nokkuð yfir staðalgildum
- **Hellisheiði og Krafla:**
  - Styrkur Al, K og As yfir staðalgildum
  - Styrkur Al ~10 x staðalgildi
- **Niðurstaða:**
  - Óæskilegt að jarðhitavökvi blandist grunnvatni til langs tíma
  - Sjávarættaður jarðhitavökvi getur spillt grunnvatni vegna seltu
  - Styrkur sumra málma og hálfmálma yfir drykkjarvatnsmörkum
  - Almennt ekki stórhætta á umhverfisslysum

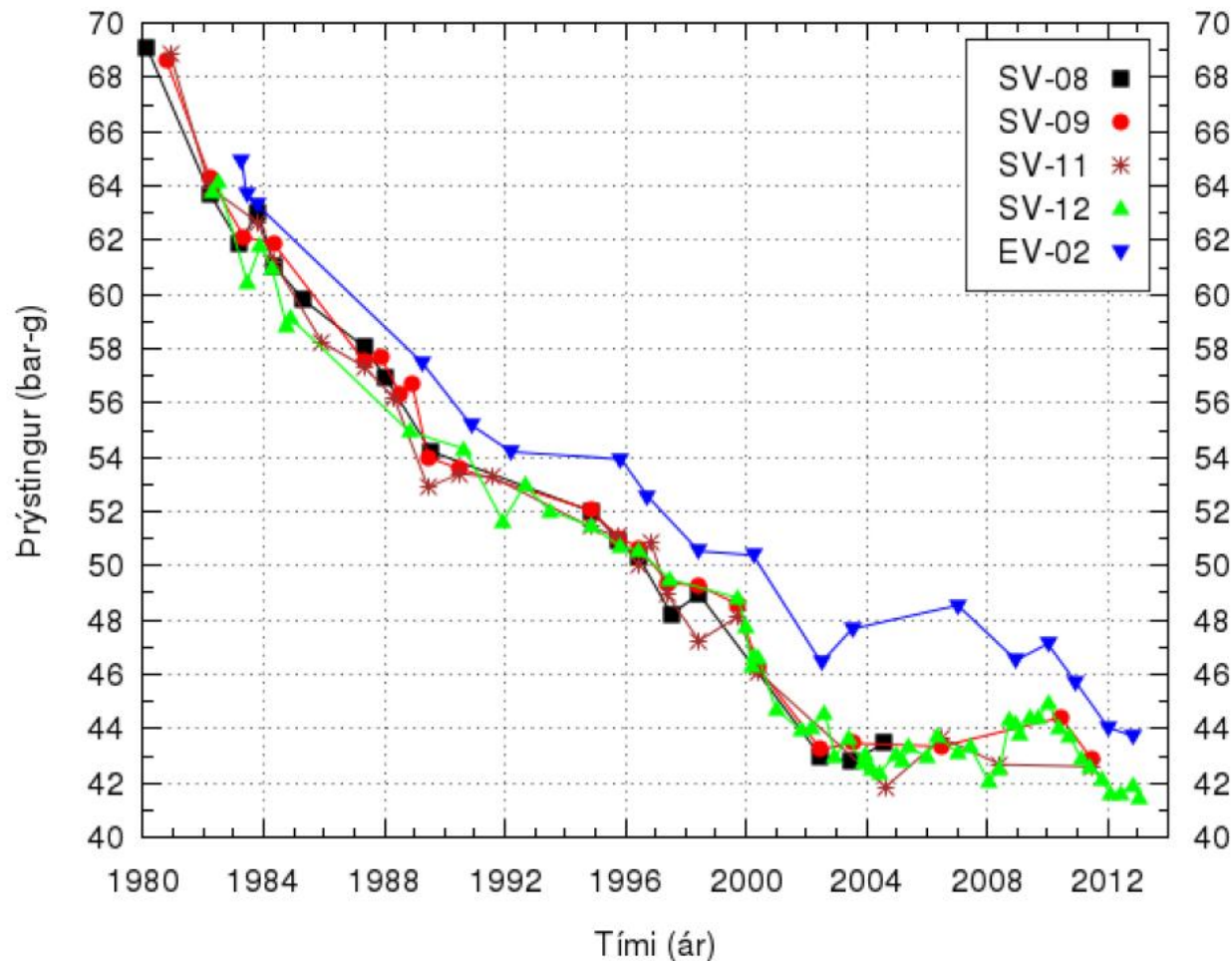


# Niðurdæling og þrýstistuðningur

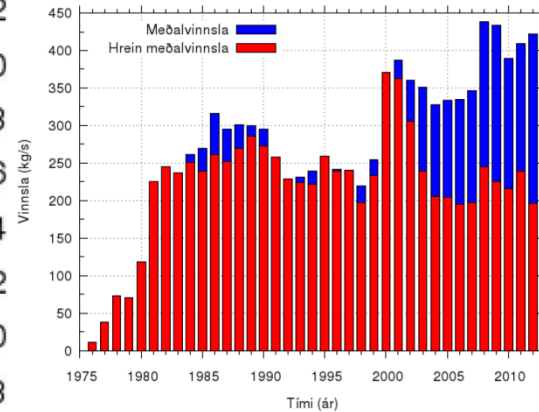


**Svartsengi:**  
Heildarvinnsla og  
niðurdæling

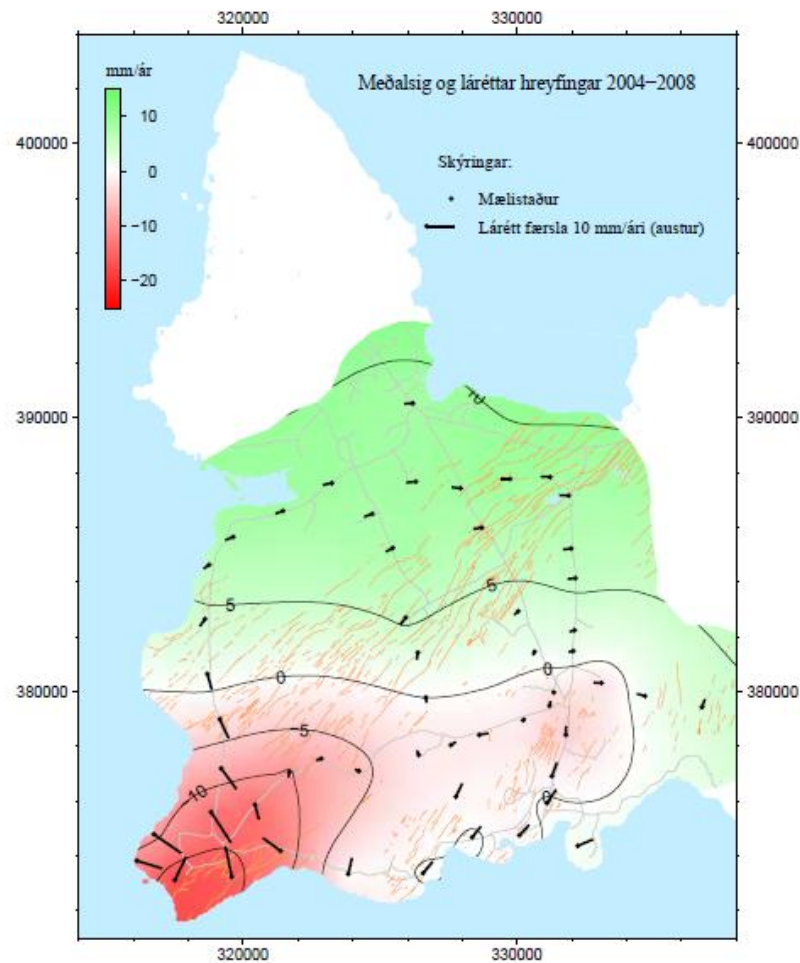
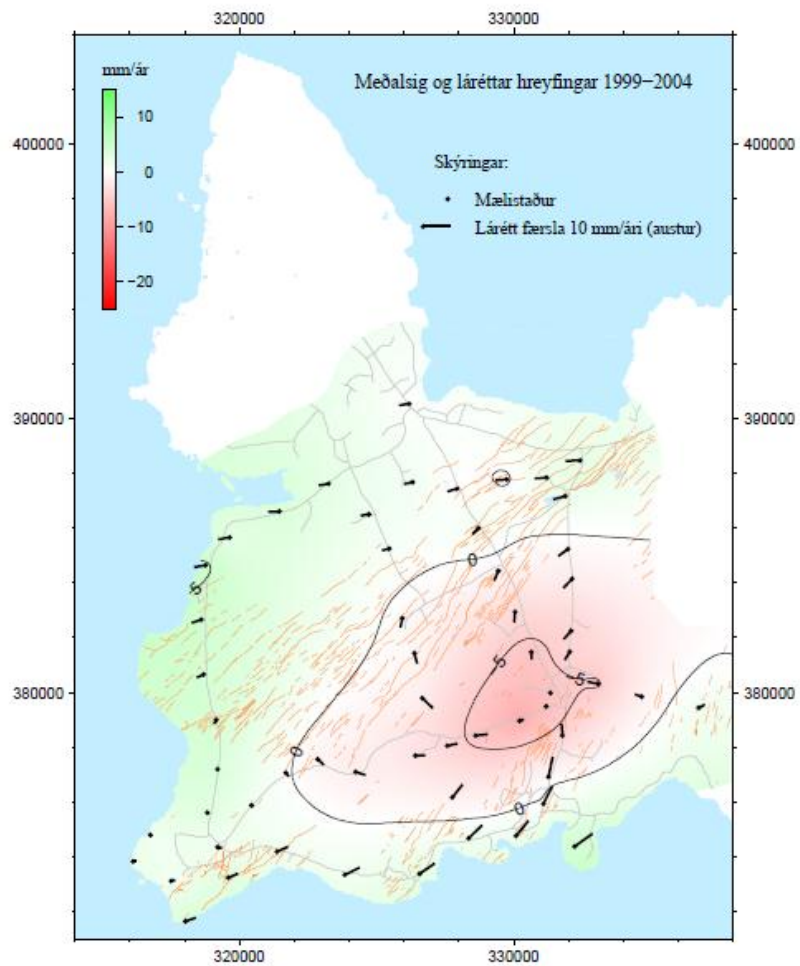
# Niðurdæling og þrýstistuðningur



## Svartsengi: Þrýstilækkun



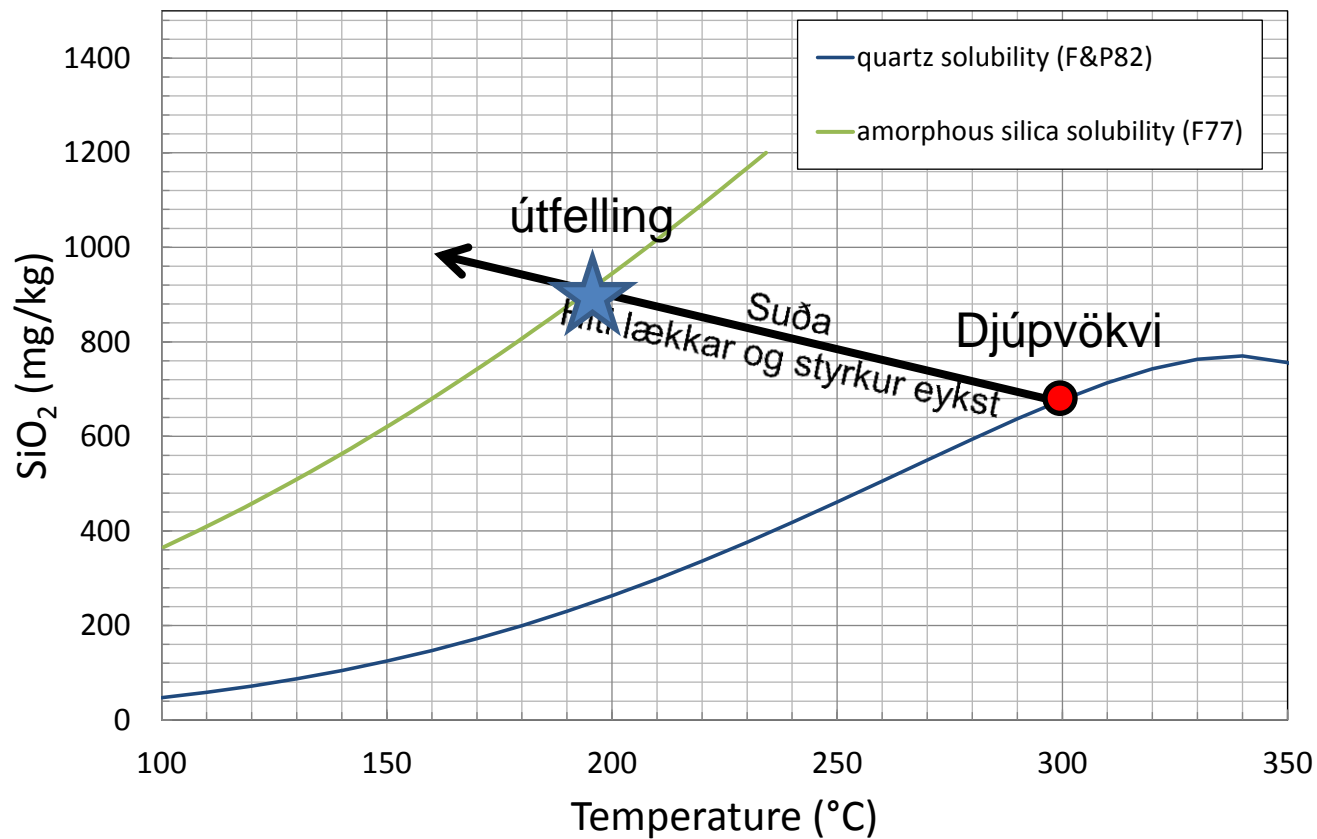
# Niðurdæling og landsig



# Kísilútfellingar

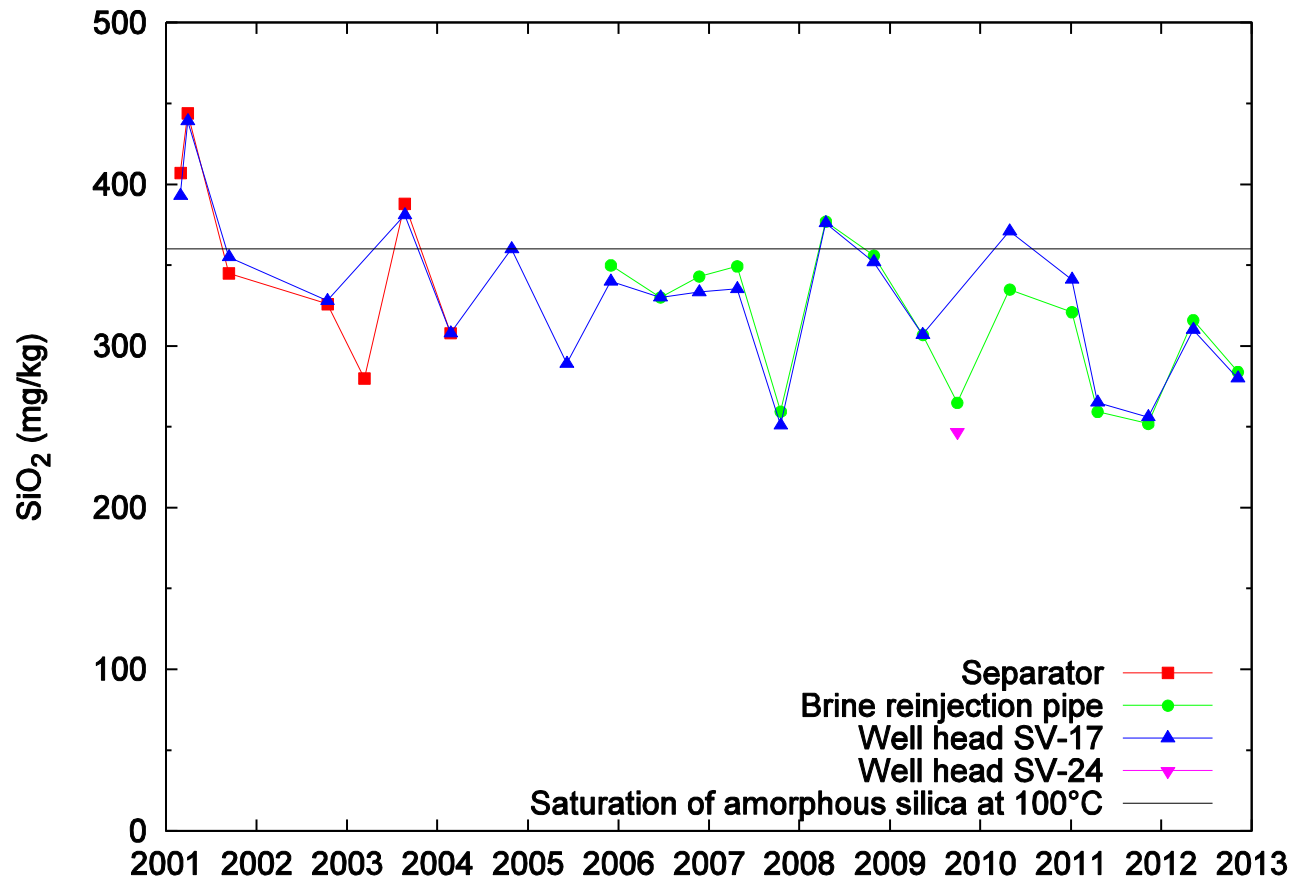
- Kísillútfellingar geta myndast í pípum og holum ef skiljuvökvi er kældur of mikið miðað við kísilstyrk
- Minnkar afkastagetu niðurdælingarholna
- Algengt vandamál í rekstri jarðhitavirkjana

# Kísilmettun og suðuferill



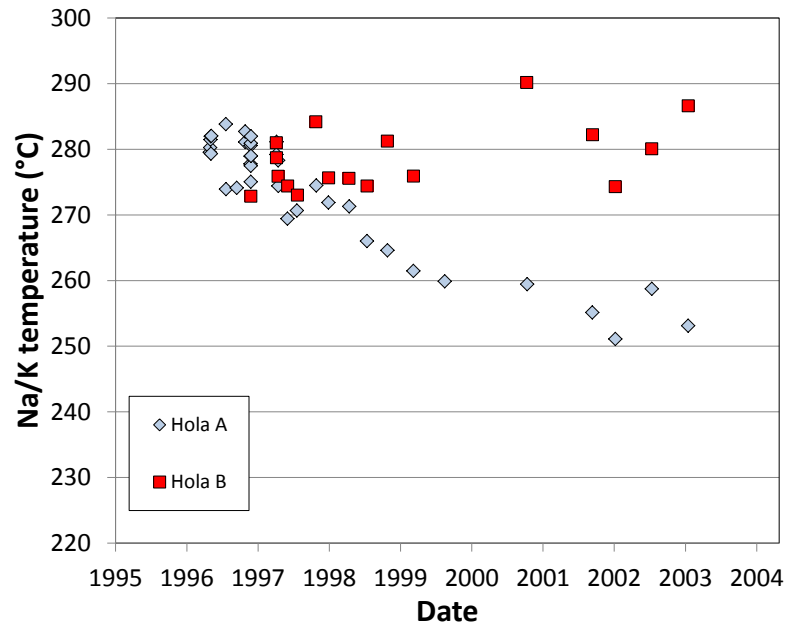
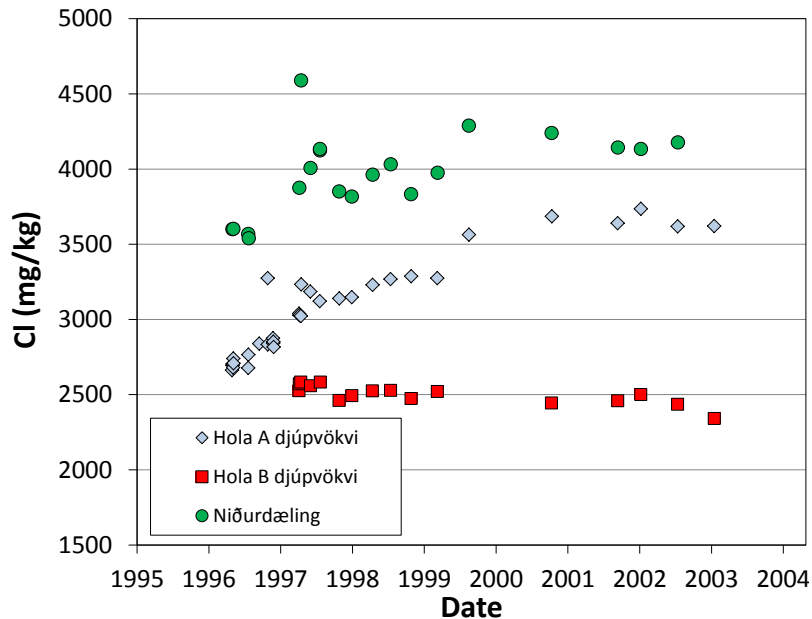


# Kísilmettun í niðurdælingarvökva í Svartsengi



# Niðurdæling og kæling

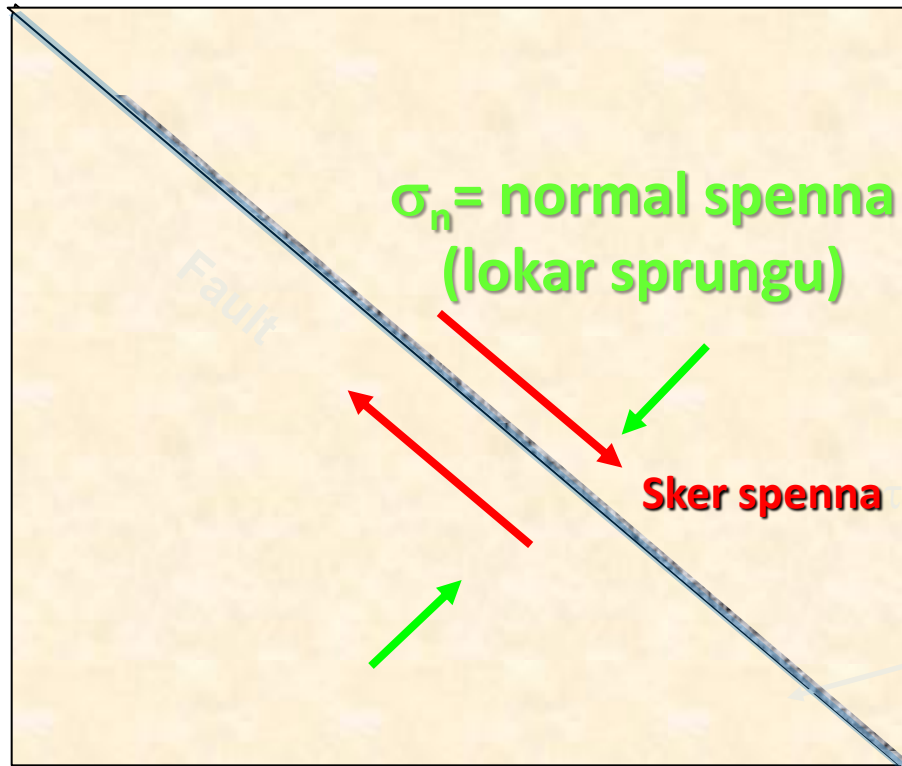
- Ef skiljuvökvi skilar sér hratt í vinnsluholur
  - hækkar Cl styrkur
  - hitastig getur lækkað



# Jarðhitanýting og jarðskjálftar

- Jarðhitanýting getur valdið jarðskjálftum
  - Við borun, við örvun með ádælingu og við niðurdælingu
- Getur valdið hreyfingu á sprungum sem eru til staðar (gikkskjálftar)
- Stærstu þekktu skjálftar af því tagi 3 til 4,6 M
- Getur líka valdið smærri skjálftum á óvirkum svæðum

# Poruþrýstingur og gikkskjálftar



Skjálfti á sér stað þegar skerspenna yfir sprungu verður stærri en skerstyrkur hennar:

$$\tau = c + \mu(\sigma_n - p)$$

$\mu$  = núningsstuðull

$\sigma_n$  = normal spenna á sprungu

$p$  = poruþrýstingur

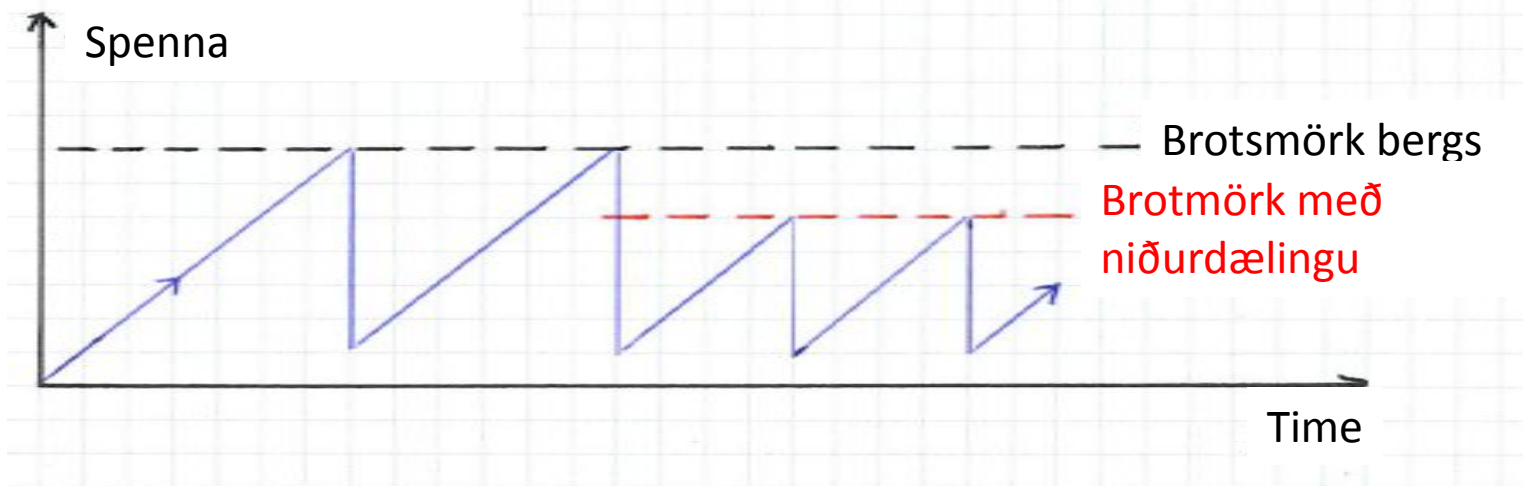
$c$  = fasti

$\tau$  = skerstyrkur sprungu

## Aukinn poruþrýstingur:

- Samkvæmt jöfnunni dregur aukinn poruþrýstingur í sprungu, t.d. vegna niðurdælingar, úr normal spennu á sprunguna og minnkar þannig skerþol hennar

# Gikkskjálftar



- Bergspenna er víða krítísk (þ.e. nálægt brotmörkum) sérstaklega á tektónískt virkum svæðum
- Við þær aðstæður geta lítilsháttar breytingar í poruþrýstingi hleypt af stað gikkskjálftum
- Við þessar aðstæður veldur niðurdæling því að skjálftar verða tíðari en minni en ella hefði orðið



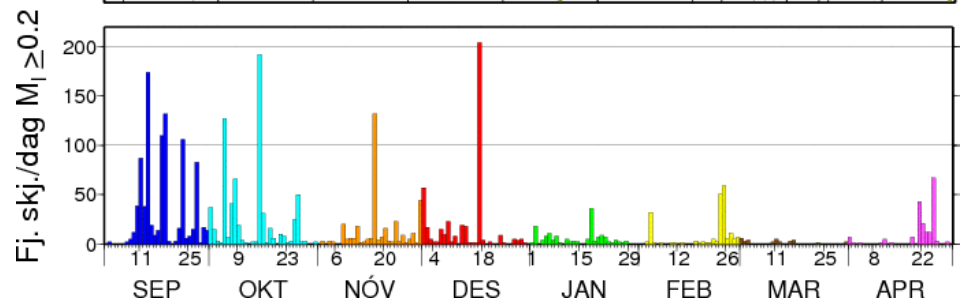
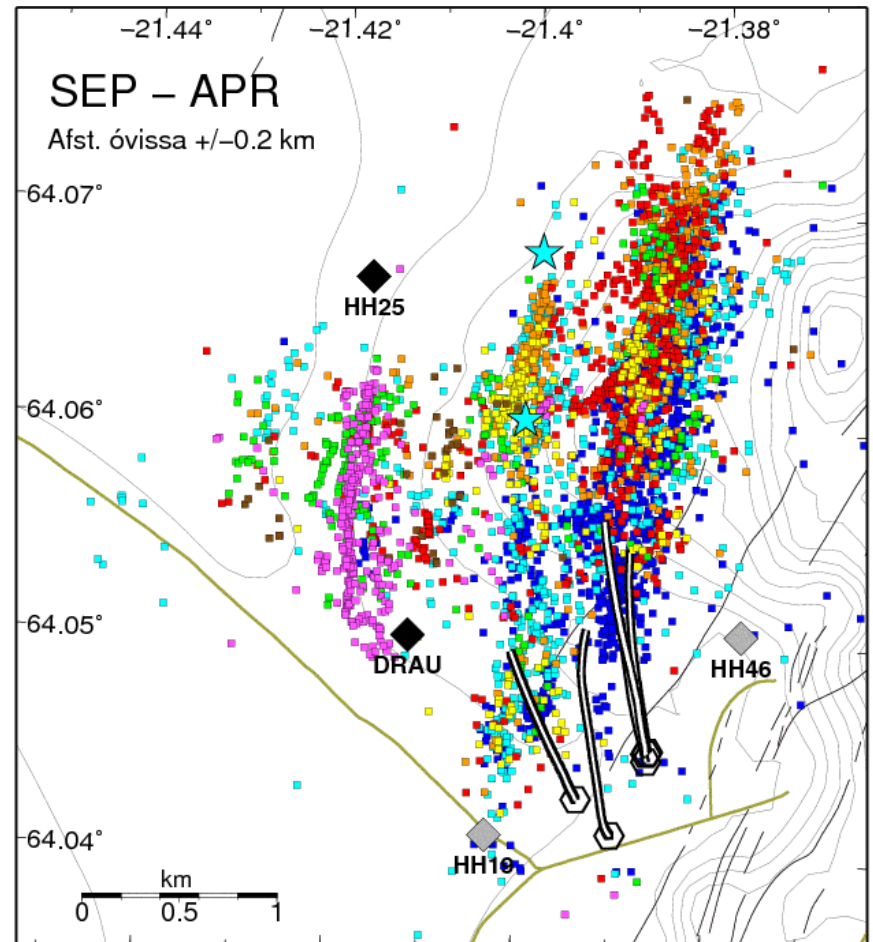
# Gikkskjálftar vegna niðurdælingar við Húsmúla á Hellisheiði

Niðurdæling aukin í skrefum í  
550 l/s

Poruþrýstings aukning í  
sprungum nam 28 bar

Skálftahrinur með nokkrum  
skjálftum >3 M og sá stærsti var  
3,8 M

Upptök skjálftanna lágu á  
sprunguflötum



# Niðurdæling og örvunarskjálftar: Ísland

Staður	Frá	Dýpi	Rennsli	Skjálftavirkni
Laugaland í Holtum	2000	<1000m	~10 l/s	Ekki vitað
Laugaland Eyjafirði	1996	1000-2800m	~15 l/s	Nei
Hofstaðir	2007	<1000m	~10 l/s	Ekki vitað
Eskifjörður	2008	<1000m	~10 l/s	Ekki vitað
Reykjanes	2011	>1000m	50 – 100 l/s ?	Nei
Svartsengi	2001	1000-2000m	~150 l/s	Einhver
Krafla	2002	2000m	~80 l/s	Einhver
Nesjavellir	2001	400-800m	~250-300 l/s	Ekki vitað
Gráuhnúkar	2006	>800m	~150 – 170 l/s	Einhver
Húsmúli	2011	>800m	~550 l/s	Umtalsverð



# Niðurdæling og örvunarskjálftar á heimsvísu

Staður	Aðstæður	Stærstu skjálftar	Gikkskjálftar
The Geysers, California	Niðurdæling á köldu vatni	4,6	Já
Cooper Basin, Australia	Örvun - ádæling, EGS	3,7	Nei
Basel, Switzerland	Örvun - ádæling, EGS	3,4	Já
Húsmúli	Niðurdæling	3,8	Já
Miravalles, Costa Rica	Niðurdæling	3,8	Já
Rosemanowes Quarry, UK	Örvun - ádæling, EGS	3,1	Nei
Soultz-sous-Forêts, France	Örvun - ádæling, EGS	2,9	Nei

# Niðurstöður

- Óæskilegt að jarðhitavökvi berist í grunnvatn
  - Selta of há í sjávarættuðum jarðhitavökva
  - Ekki stórkostleg mengunarhætta
- Niðurdæling í jarðhitakerfi heppileg lausn
  - Kemur í veg fyrir sjón-, efna- og varmamengun
  - Dregur úr þrýstilækkun og landsigi
- Niðurdælingu geta fylgt vandamál
  - Útfellingar
  - Kæling
  - Skjálftavirkni