



# Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing

Útdráttur úr ráðstefnu í Brisbane,  
maí 2013

Einar Jón Ásbjörnsson

Unnið fyrir Orkustofnun

ÍSOR-2014/035

ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

Reykjavík: Orkugarður, Grensásvegi 9, 108 Rvk. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1699  
Akureyri: Rangárvöllum, P.O. Box 30, 602 Ak. – Sími: 528 1500 – Fax: 528 1599  
isor@isor.is – www.isor.is

# Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing

Útdráttur úr ráðstefnu í Brisbane,  
maí 2013

Einar Jón Ásbjörnsson

Unnið fyrir Orkustofnun

ÍSOR-2014/035

Júlí 2014



Skýrsla nr. ÍSOR-2014/035	Dags. Júlí 2014	Dreifing <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing. Útdráttur úr ráðstefnu í Brisbane, maí 2013.		Upplag 7
		Fjöldi síðna 17
Höfundur Einar Jón Ásbjörnsson		Verkefnisstjóri Ólafur G. Flóvenz
Gerð skýrslu / Verkstig		Verknúmer 13-0200
Unnið fyrir Orkustofnun		
Samvinnuaðilar		
<p>Útdráttur</p> <p>Fulltrúi ÍSOR sótti ráðstefnu í Ástralíu í maí 2013 sem bar yfirskriftina „Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing“. Meginviðfangsefni ráðstefnunnar var líkanagerð og hermun sprunguvaxtar í bergi við þær aðstæður sem myndast við þrýstiaukningu þegar vökva er dælt í holurnar. Einnig var fjallað um aðferðir við bergbrot (e. fracking) en meginmarkmiðið með þátttöku í ráðstefnunni var að reyna að finna samlegð í reynslu manna úr olíuiðnaði við jarðhitaiðnaðinn á Íslandi. Leitast var eftir reynslu og þekkingu í notkun pakkara og hvort tengja mætti reynslu manna við bergbrot við örvun jarðhitaholna. Tilgangurinn var að finna út hvernig undirbúa ætti aðgerðir þar sem hættu er á manngerðum jarðskjálftum eins og mynduðust í tengslum við niðurrennsli á Hellisheiði.</p> <p>Umhverfismál fengu litla umfjöllun á ráðstefnunni og var almennt lítið gert úr hættunni á grunnvatnsmengun vegna tengingar gaskerfisins og vökvans sem dælt er niður við grunnvatnskerfið. Ráðstefnugestir höfðu meiri áhyggjur af hvernig þeir gætu sparað vatnsnotkun í ferlinu með hreinsun og hringrás.</p>		
Lykilorð Hydrolic fracturing, bergbrot (fracking), pakkarar, jarðskjálftavirkni, örvaðir jarðskjálftar, EGS, HDR, umhverfismál		ISBN-númer
		Undirskrift verkefnisstjóra 
		Yfirfarið af ÁR



## Efnisyfirlit

<b>1 Inngangur</b> .....	<b>7</b>
<b>2 Ráðstefnan</b> .....	<b>7</b>
2.1 Hydraulic fracturing .....	7
2.2 Vökvi.....	11
2.3 Pakkarar.....	13
2.4 Jarðskjálftavirkni .....	13
2.5 EGS.....	15
2.6 Umhverfispættir .....	16
<b>3 Samantekt</b> .....	<b>16</b>
<b>4 Heimildir</b> .....	<b>17</b>

## Töflur

Tafla 1. Samanburður á helstu breytum bergbrots m.v. mismunandi notkunarsvið.....	9
Tafla 2. Bergtegundir notaðar í tilraunir .....	10
Tafla 3. Flokkun bergbrotsvökva eftir notkun og eiginleikum .....	12
Tafla 4. Örvunaraðgerðir í HDR-verkefnum .....	15

## Myndir

Mynd 1. Sprunguvöxtur eftir mismunandi dælingu. Grænar línur eru upphaflegar sprungur og rauðar eru þær sem myndast. ....	8
Mynd 2. Þrýstifall í raufuðum leiðara sem fall af sprunglengd, m.v. mismunandi þéttleika gata .....	9
Mynd 3. Niðurstöður úr prófunum .....	10
Mynd 4. Þrýstingur sem fall af fjarlægð og tíma .....	11
Mynd 5. Lóðréttur sprunguvöxtur getur verið flókinn og erfitt að sjá fyrir leiðandi net af sprungum gegnum allt kerfið.....	11
Mynd 6. Efnafræðleg samsetning nokkurra efna sem minnka núningsviðnám vökva og samanburður á þrýstifalli mismunandi vökva sem fall af dælingu í 4½" 11.5# 4" ID fóðringu. ...	13
Mynd 7. Samband milli stærðar skjálfta og lengdar misgengis (e. slip plane) .....	14
Mynd 8. Stærð skjálfta á leirsteins vinnslusvæðum í Norður Ameríku .....	14
Mynd 9. Grunnhugmyndir HDR (Hot Dry Rock) og EGS (Enhanced Geothermal System). .....	15





# 1 Inngangur

Í þessari skýrslu eru teknar saman meginniðurstöður frá ráðstefnu um aðferðir við bergbrot (e. hydraulic fracturing) sem haldin var í maí 2013 í Brisbane í Ástralíu. Ráðstefnan bar yfirskriftina „Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing“ og stóð yfir í tæpa þrjá daga.

Fulltrúi ÍSOR sótti ráðstefnuna og var markmiðið með þátttöku að reyna að finna samlegð í reynslu manna úr olíuðnaði við jarðhitaiðnaðinn á Íslandi. Þá var helst leitast eftir þekkingu og reynslu í notkun pakkara, og hvort tengja mætti reynslu manna við bergbrot (e. fracking) við örvun jarðhitaholna. Einnig var leitað eftir viðbragðsáætlunum og undirbúningi vegna bergbrots m.t.t. örvaðra jarðskjálfta. Örvaðir jarðskjálftar (e. induced seismicity) er vandamál sem komst í sviðsljósið í tengslum við niðurrennsli á Hellisheiði, og var verið að leita eftir hvernig menn undirbúa aðgerðir þar sem hætta er á manngerðum jarðskjálftum.

Meginviðfangsefni ráðstefnunnar var hinsvegar líkanagerð og hermun sprunguvaxtar í bergi við þær aðstæður sem myndast við þrýstiaukningu þegar vökva er dælt í holurnar. Yfirleitt var reiknað með að bergið væri leirsteinn (e. shale), oft lagskiptur, en hann á sér litla samsvörun við berg í íslenskum jarðhitaholum. Einnig voru kynnt reiknilíkön sem vinna úr jarðskjálftaupplýsingum og eru notuð til að kortleggja sprungur.

Umhverfismál fengu litla umfjöllun á ráðstefnunni og almennt var gert lítið úr hættunni á grunnvatnsmengun vegna tengingar gaskerfisins og vökvans sem dælt er niður við grunnvatnskerfið. Ráðstefnugestir höfðu meiri áhyggjur af hvernig þeir gætu sparað vatnsnotkun í ferlinu með hreinsun og hringrás.

Einungis voru fluttir þrír fyrirlestrar sem komu inn á á jarðhita en þar var verið að skoða spunguvöxt í EGS (Enhanced Geothermal Systems) kerfum.

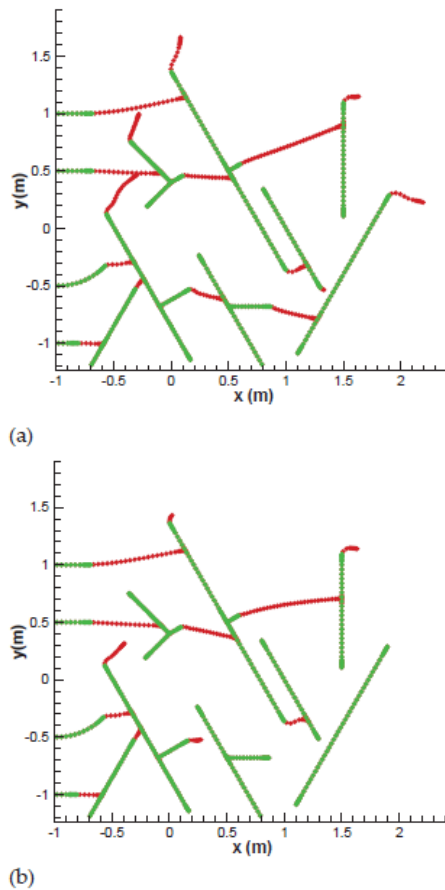
Undirritaður þakkar Orkustofnun fyrir stuðning við þátttöku á ráðstefnunni.

## 2 Ráðstefnan

Í þessum kafla verður farið kerfisbundið í gegnum helstu erindi sem fulltrúi ÍSOR sat á ráðstefnunni og greint frá meginatriðum þeirra. Einnig verður fjallað um þær upplýsingar sem fengust frá sýningarbásum ráðstefnunnar.

### 2.1 Hydrolic fracturing

Meginniðurstöður Zhang og Jeffrey (2013) sýna tvívítt líkan sem tengir bjögun bergs við vökvaflæði. Þar kemur fram að í þéttu bergi, sem innheldur ótengt net af náttúrulegum sprungum, sumar það litlar að vera álitnar sem veila en ekki sprunga, eru upphafsstaðir sprungumyndunar þegar þrýstingur kemst á kerfið. Líkanið tekur tillit til þess að sprungur tengjast saman og mynda eina tengda sprungu. Niðurstöður líkansins eru að sprunguvöxturinn er mjög háður upphafsáðstæðum, þ.e.a.s. spennuástandi og uppröðun sprunganna í berginu. Mynd 1 sýnir niðurstöður úr einni slíkri hermun.

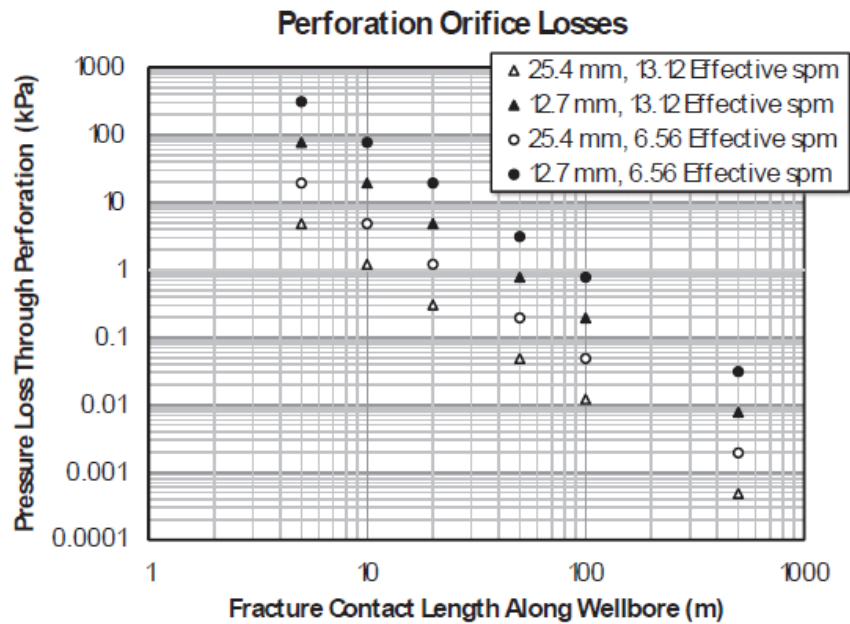


**Figure 2.** Fracture pathways at the time of breakthrough for two different injection conditions: (a) Type I and (b) Type II. The fracture system is subject to the applied stresses  $\sigma_{xx}^0=6$  MPa,  $\sigma_{yy}^0=4$  MPa and  $\sigma_{xy}^0=0$ . The initial hydraulic aperture  $\phi_0$  for all natural fractures is 0.01 mm. The fluid comes into the area from four entry fractures at the left ( $x=-1$  m) and its pressure drives some fractures to propagate and connect the separated fractures as the hydraulic fractures grow toward the right outlet zone ( $x=2$  m). The initial fracture configuration is shown in green and the generated fracture segments are in red.

**Mynd 1.** *Sprunguvöxtur eftir mismunandi dælingu. Grænar línur eru upphaflegar sprungur og rauðar eru þær sem myndast.*

Líkön (Chuprakov o.fl., 2013) sýndu að ádæling og seigja vökvans væru lykilbreytur í tengingum milli sprungna.

Glauser o.fl. (2013) velta fyrir sér hvernig mismunandi útfærslur á borholum fyrir EGS einfaldi bergbrot. Þar er verið að hugsa um mun á opnum vinnsluhluta (e. barefoot) eða með raufuðum leiðara. Einnig er velt fyrir sér hvernig hægt sé að einangra þau svæði þar sem fýsilegt er að opna sprungur þannig að hægt sé að nota skorðuefni (proppant) sem annars færi í það svæði sem er betur opið. Einnig er mikið fjallað um þrýstifall í raufuðum leiðara (sjá mynd 2) en þrýstifallið er lítið.



Mynd 2. Þrýstifall í raufuðum leiðara sem fall af sprunglengd, m.v. mismunandi þéttleika gata.

Adams og Rowe (2013) fjalla um helstu notkunarvið bergbrots, s.s. örvun vatnsholna, námavinnslu, greiningu á burðarþoli jarðlaga vegna framkvæmda, olíu- og gasframleiðslu, EGS og CCS (carbon capture and storage). Tafla 1 sýnir hvernig mismunandi notkun krefst mismunandi magns, þrýstings og bætiefna. Stungið er upp á flokkunarkerfi fyrir bergbrot.

Tafla 1. Samanburður á helstu breytum bergbrots m.v. mismunandi notkunarvið.

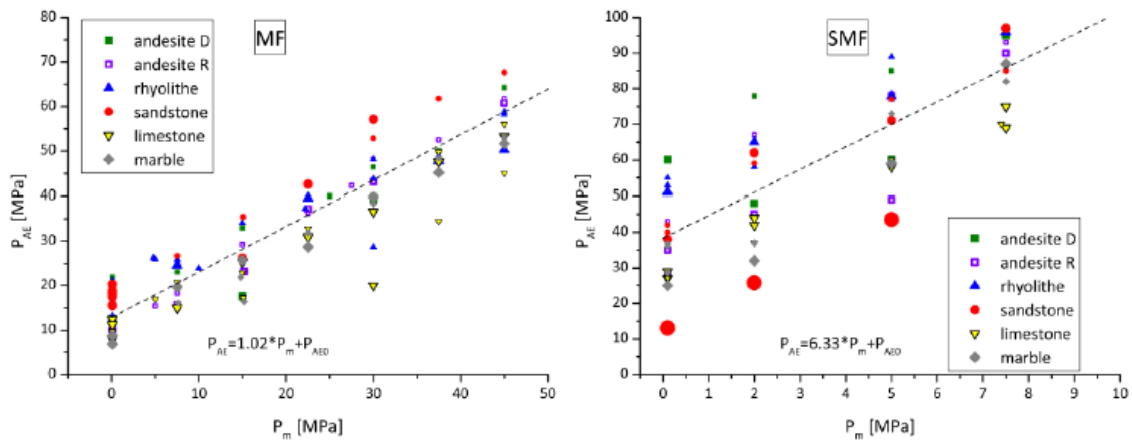
Application	Injectate Volume (L)	Additives	Proppant	Pressure	Propagation	True Frac
O&G Tight Reservoirs	10 <sup>6</sup>	Yes	Yes	Up to 15K psi	Yes	Yes
Water Wells	<10 <sup>3</sup>	No	Some	<3,000 psi	Yes	Few
Block Cave Mining	10 <sup>4</sup>	No	Some	<10K psi	<100m	Yes
Rock Stress Testing	<10 <sup>3</sup>	No	No	<15K psi	Limited	Yes
Conventional Oil & Gas	10 <sup>6</sup>	Yes	Yes	Up to 15K psi	Yes	Yes
Enhanced Geothermal	10 <sup>7</sup>	Yes	Yes	Up to 15K psi	Yes	Yes
Carbon sequestration	10 <sup>6</sup>	Yes	Yes	Up to 10K psi	Yes	Yes
CBM	<5x10 <sup>5</sup>	Some	Yes	<5Kpsi	Yes	Yes
CMM	10 <sup>4</sup>	Some	Some	<5Kpsi	Yes	Yes
Rock Burst Mitigation	<10 <sup>3</sup>	No	No	<15K psi	Limited	Yes

Abbas og Lecampion (2013) skoðuðu upphaf sprunguvaxtar við holuvegg í láréttri holu. Helstu niðurstöður voru að þrjár einingarlausar breytur stýra lausninni.

Brenne o.fl. (2013) gerðu prófanir á sprunguvexti í mismunandi bergi. Tafla 2 og mynd 3 sýna niðurstöður úr prófunum. Samband mældist á milli hljóðbylgjuþrófana og sprunguvaxtar.

Tafla 2. Bergtegundir notaðar í tilraunir (Brenne o.fl., 2013).

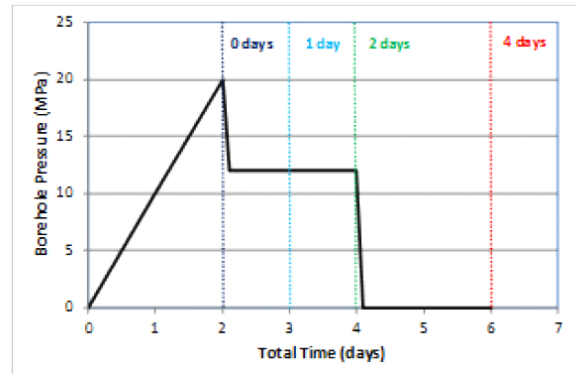
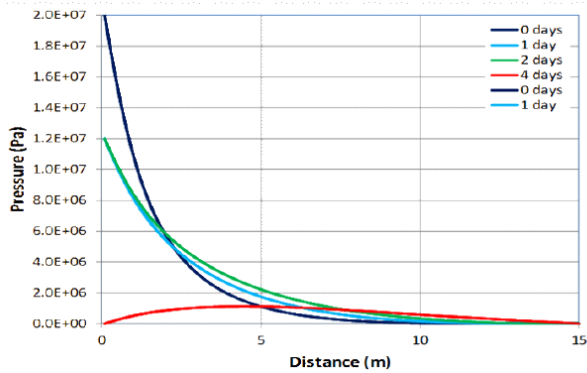
rock type	era & period	quarry localization	Microstructure
marble	Triassic Upper	Carrara Italy	coarse monocrystalline polygonal fabric
limestone	Jurassic upper Malm	Treuchtlingen South Germany	micritic limestone with abundant fossils and stylolites
sandstone	Carboniferous Mississippian	Dortmund/Hagen West Germany	fine-grained arcose
andesite D	Permian Rotliegend	Doenstedt N German Basin	porphyric fine-grained partly altered and pre-fractured
rhyolite	Permian Rotliegend	Flechtingen N German Basin	porphyric fine-grained partly pre-fractured and sealed joints
andesite R	Permian Rotliegend	Thuringian Forest Rotkopf	porphyric coarse-grained and pre-fractured



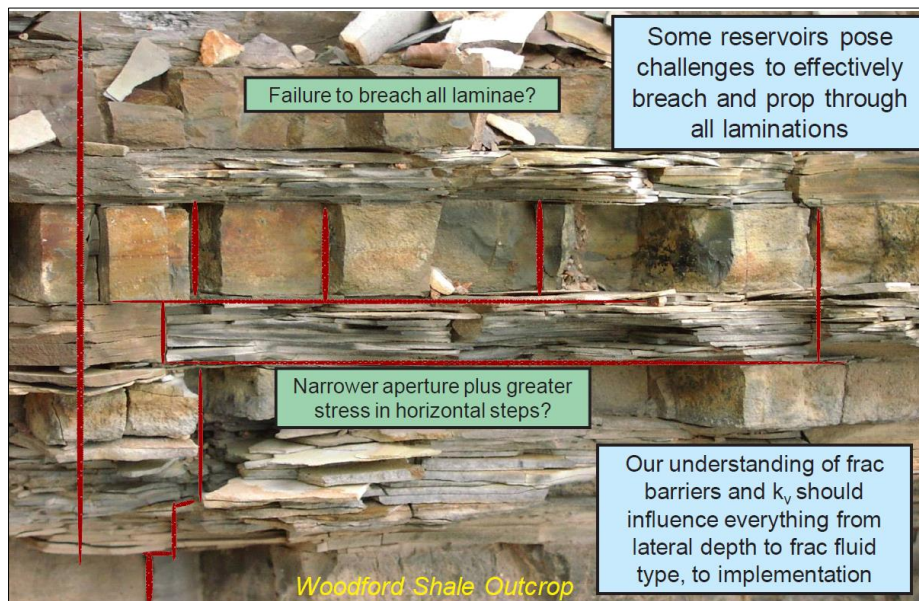
Mynd 3. Niðurstöður úr prófunum (Brenne o.fl., 2013).

Fairhurst (2013) sýndi m.a. niðurstöður líkana þar sem hermt var eftir þrýstisvörun í borholu og svæðinu í kring. Mynd 4 sýnir að vökvaprýstingurinn heldur áfram frá holunni þó þrýstingur í borholunni sé kominn niður í núll.

Vincent (2013) fór yfir hættuna á því að einfalda líkön of mikið og sýndi m.a. dæmi um hvernig sprunguvöxtur er langt frá því að vera einsleitt vandamál eins og oft sést í líkana-gerð (sjá mynd 5).



Mynd 4. Þrýstingur sem fall af fjarlægð og tíma (Fairhurst, 2013).



Mynd 5. Lóðréttur sprunguvöxtur getur verið flókin og erfitt að sjá fyrir leiðandi net af sprungum gegnum allt kerfið (Vincent, 2013).

## 2.2 Vökvi

Við val á vökva fyrir bergbrot eru ýmsir þættir sem þarf að hafa í huga (Montgomery, 2013). Mikilvægast er að velja rétta seigju á vökvanum:

- Til að koma nægilegu magni af skorðuefni (e. proppant) í sprungurnar til að halda þeim opnum.
- Skapa nægilegan þrýsting til að stýra hvar sprunguvöxtur á sér stað.
- Koma skorðuefni í sprunguoddana.
- Hindra vökvatap í aðgerðinni.

Einnig þarf að velja vökva og efni sem hafa lítil áhrif á umhverfið.

Nokkrir möguleikar eru fyrir hendi með mismunandi vökva: vatn, olíur, fjölfasa vökva og sýrur. Einnig er fjöldi íblöndunarefna notaður, svo sem gel, bindiefni, yfirborðsvirk efni og

efni sem hindra fleyti (e. emulsion). Sett hefur verið upp kerfi sem gefur mismunandi vökvum einkunn (sjá töflu 3) (Montgomery, 2013).

**Tafla 3.** Flokkun bergbrotsvökva eftir notkun og eiginleikum.

Fluid System	Prop Pack KfW	Low Pump Pressure	VISCOSITY			Breaking	Compatibility		Fluid Loss	Ease of Mixing	Cost	Safety and Environmentally Friendly	Total
			Prop-Transport	Stable	Life		Formation Fluid	Fluid Recovery					
Water Frac <sup>1</sup>	5	5	1	3	3	5	3	4	1	5	5	4	44
Linear Gel <sup>2</sup>	3	5	3	3	3	4	3	4	2	5	4	5	44
Linear Gel <sup>3</sup>	5	5	3	3	3	4	3	4	2	5	4	5	46
Borate X-Link <sup>2</sup>	3	3	5	5	5	3	4	3	5	4	3	5	48
Delayed Borate X-Link <sup>2</sup>	3	3	5	5	5	3	4	3	5	3	3	5	47
Delayed Metallic X-Link <sup>4</sup>	3	3	5	2	2	3	4	3	5	3	3	4	40
Delayed Metallic X-Link <sup>5</sup>	3	3	5	2	2	3	4	3	5	3	3	4	40
YES <sup>6</sup>	5	3	5	4	4	2	1	3	2	2	1	5	37
Nitrogen Foam	5	2	5	3	3	5	4	4	5	2	1	3	42
CO <sub>2</sub> Foams	5	2	5	3	3	5	4	5	5	2	1	2	42
Gelled Propane	5	3	4	4	3	4	5	4	4	2	1	1	40
Poly Emulsions (K1)	4	1	5	5	5	4	4	3	5	2	3	2	43
Lease Crude	2	3	2	5	5	5	5	3	2	5	5	1	43
Gelled Oil <sup>7</sup>	2	3	4	4	4	4	3	3	3	4	3	1	38

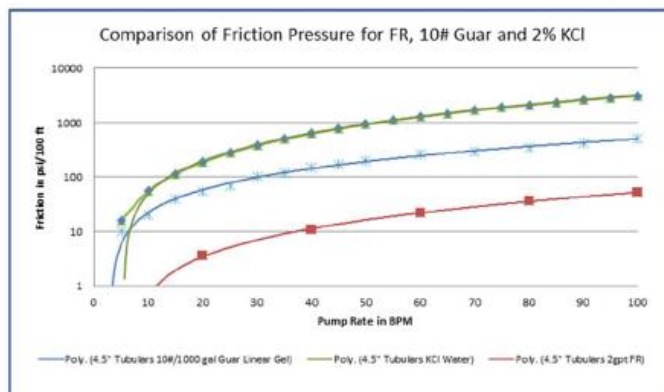
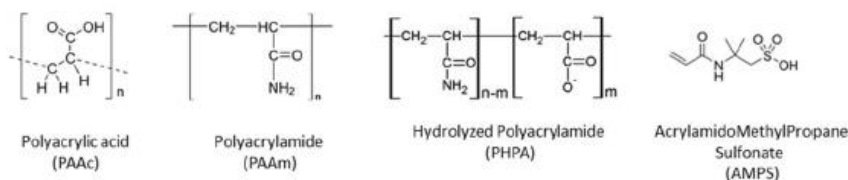
Qualitative Rate 1 to 5 where 1 is poor, 3 is moderate and 5 is excellent

1 - Uses Polyacrylamide (PAA) as a Friction Reducer
2 - Uses Guar, HydroxyPropyl Guar (HPG) or CarboxyMethylHydroxyPropyl Guar (CMHPG) as gelling agent
3 - Uses HydroxyEthyl Cellulose (HEC) or CarboxyMethylHydroxyEthyl Cellulose (CMHEC) as gelling agent
4 - Uses Titanium or Zirconium Crosslinkers for Guar, HPG, and CMHPG gelling agents
5 - Uses Titanium or Zirconium Crosslinkers for CMHEC gelling agents
6 - Uses a ViscoElastic Surfactant system as the gelling agent
7 - Uses a Phosphate Ester crosslinked with an Aluminum Salt and activated with a Base

Vatn er mikilvægasti þáttur vökvablöndunar sem er notuð við sprunguopnun (Montgomery, 2013). Það er síað með annaðhvort 50 µm eða 2 µm síu eftir því hvað á að gera í holunni. Ekki þykir æskilegt að nota sjó vegna súlfats sem getur örvað bakteríur.

Sölt eru notuð til að gera leirinn stöðugan og hefur virkni KCl verið best. Önnur ólífræn sölt eins og t.d. NaCl og CaCl<sub>2</sub> hafa ekki reynst eins vel.

Efni til að minnka núningsmótstöðu (þrýstítap) eru mikið notuð. Þá er talað um „slickwater“. Mynd 6 sýnir efnafræðilega samsetningu nokkurra þessara efna og áhrif þeirra á þrýstifall í niðurdælingu.



**Mynd 6.** Efnafræðleg samsetning nokkurra efna sem minnka núningsviðnám vökva og samanburður á þrýstifalli mismunandi vökva sem fall af dælingu í 4½" 11.5# 4" ID fóðringu.

## 2.3 Pakkarar

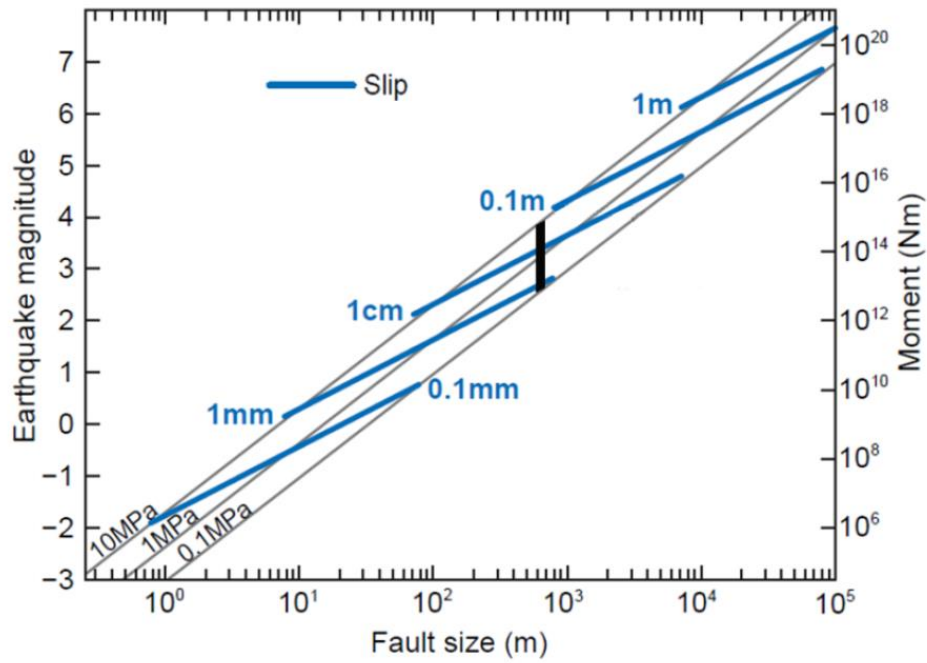
Ekkert erindi var flutt á ráðstefnunni um notkun eða þróun í pökkurum. Einungis Saltel Industries og Inflatable Packers kynntu pakkara en treystu sér ekki til að svara neinum spurningum um vörur fyrir jarðhitaumhverfi.

## 2.4 Jarðskjálftavirkni

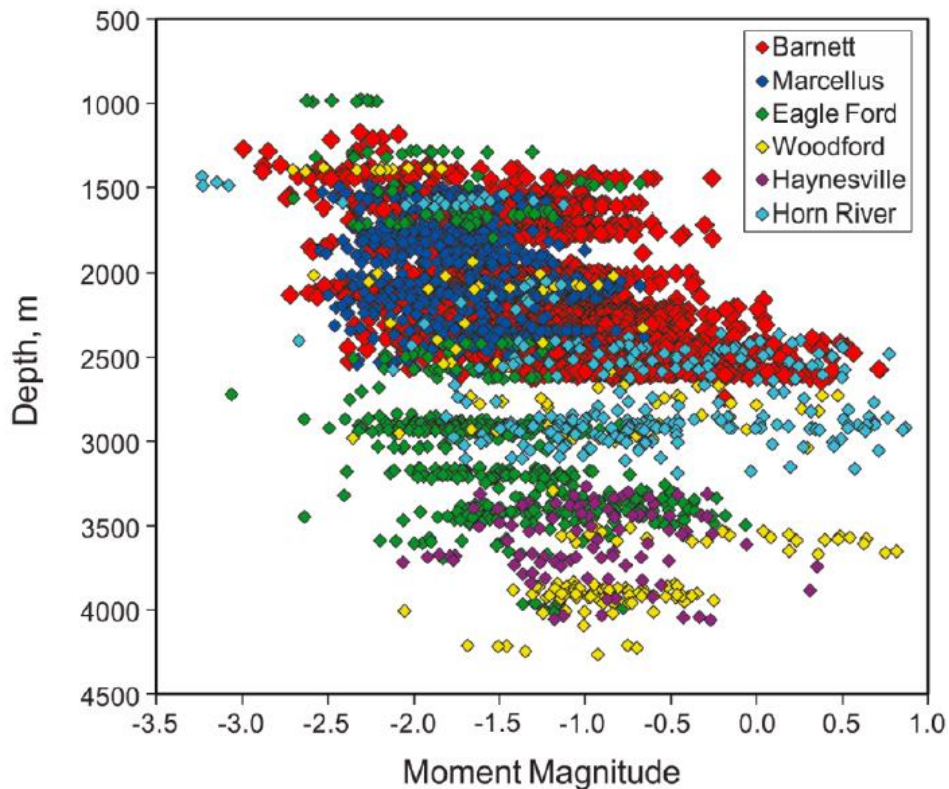
Nokkrir höfundar ræddu um túlkun mælinga frá örskjálftum (microseismic) en það eru skjálftar sem eru mjög litlir (van der Baan o.fl., 2013; Dyskin o.fl., 2013). Zangeneh o.fl. (2013) fóru yfir jarðskjálftavirkni í tengslum við bergbrot í leirbergi, t.d. í Lancashire í Bretlandi þar sem skjálftar mældust 1,5 og 2,3 á Richter-kvarða. Einnig höfðu mælingar í Horn River Basin í Kanada sýnt 38 skjálfta milli 2,2 og 3,8 á Richter-kvarða. Þessir aðilar þekktu ekki til viðbragðsáætlana vegna skjálftanna og töluðu mest um að þessi svæði væru fjarri mannabyggð. Aðrir ráðstefnugestir sem undirritaður ræddi við varðandi reglugerðir og viðbragðsáætlanir vegna skjálftavirkni í tengslum við bergbrot sögðu að ekki væri ástæða til aðgerða vegna þess að skjálftarnir væru allir minni en 1 en þeir höfðu allir reynslu úr bergbroti í leirsteini (sjá mynd 8). Allir sem rætt var við gerðu lítið úr þessari áhættu, það virtist vera lítil vilji innan olíu/gasgeirans að ræða skjálfta og umhverfismál, einungis hvernig mætti nýta örskjálfta við að kortleggja sprungur.

Mikilvægt er að koma skjálftanemum fyrir í nálægum borholum til að fá sem nákvæmastar upplýsingar um sprunguvöxt, stærðir og stefnur. Það er nákvæmara en að vera með net af nemum á yfirborði (Warpinski, 2013).





Mynd 7. Samband milli stærðar skjálfta og lengdar misgengis (e. slip plane) (Zangeneh o.fl., 2013).

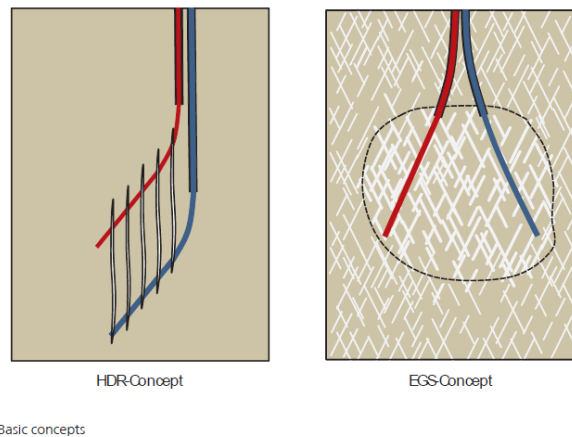


Mynd 8. Stærð skjálfta á leirsteinsvinnslusvæðum í Norður-Ameríku (Warpinski, 2013).



## 2.5 EGS

Jung (2013) kynnti söguna á bak við HDR og EGS (mynd 9). Einnig var farið í gegnum nokkur HDR/EGS verkefni og lýst örvunaraðgerðum í HDR (tafla 4). Í lokaorðum sínum sagði Jung að EGS ætti enga framtíð fyrir sér fyrr en hægt væri að bora lárétt í heitt bergið og einangra svæði með pökkurum (e. isolation packers) og sprengja upp bergið eins og gert er við leirsteininn.



Mynd 9. Grunnhugmyndir HDR (Hot Dry Rock) og EGS (Enhanced Geothermal System).

Tafla 4. Örvunaraðgerðir í HDR-verkefnum.  $V_{in}$  er heildarmagn vökva,  $Q_{in}$  rennsli,  $P_{wc}$  er holutoppþrýstingur og  $A$  er flatarmál áhrifasvæðis (Jung, 2013).

Project	Stress st.	Well	Frac-int. [km]	Well Traj.	$V_{in}$ [m <sup>3</sup> ]	$Q_{in}$ [L/s]	$P_{wc}$ [MPa]	$A$ [km <sup>2</sup> ]	Cloud-Dip	Ref.
Falkenberg	normal	HB4a	0.25	vertical	25	3.5	2.2	0.014	60	[23]
Fenton H. I	normal		2.8	sub-vert.	587			0.15		[24]
Fenton H. I	normal		2.8	sub-vert.	761			0.16		[24]
Fenton H. I	normal		2.8	sub-vert.	5018			0.53		[24]
Fenton H. II	normal		3.7	55° II $S_h$	150			0.027		[24]
Fenton H. II	normal		3.7	55° II $S_h$	890			0.085		[24]
Fenton H. II	normal		3.7	55° II $S_h$	3183			0.27		[24]
Fenton H. II	normal		3.7	55° II $S_h$	3183			1		[24]
Fenton H. II	normal		3.7	55° II $S_h$	4702			1.1		[24]
Fenton H. II	normal	EE2	3.45-3.47	55° II $S_h$	22000	108	38	0.7	65	[8,12]
Camb. II	strike s.	RH12	1.74-2.12	60° II $S_h$	18500	20-90	14	0.6	sub-vert.	[25]
Camb. II	strike s.	RH15	2.1-2.25	60° II $S_h$	5700*	200	15	0.04	sub-vert.	[13]
Hijiori	normal	SKG-2	1.79-1.80	vertical	2000	17-100	15	0.15	60	[2,26,27]
Hijiori	normal	HDR-1	2.03-2.21	vertical	2100	17-67	26	0.25	60	[2,26]
Ogachi (rever.)		OGC-1	1.00-1.01	vertical	10140	11	19	0.5	30	[2,28]
Ogachi (rever.)		OGC-1	0.71-0.72	vertical	5440	8	22	0.3	sub-hor.	[2,28]
Soultz I	strike s.	GPK1	2.85-3.40	vertical	25300	0.2-36	9	1	sub-vert.	[20,29]
Soultz I	strike s.	GPK2	3.21-3.88	sub-vert.	28000	12-50	12	0.8	sub-vert.	[20]
Soultz II	strike s.	GPK2	4.40-5.00	sub-vert.	23400	30-50	14.5	3	sub-vert.	[22]
Cooper B.	reverse	Hab. 1	4.14-4.42	vertical	20000	14-26	60	3	sub-hor.	[9]
Basel	strike-s.	Basel 1	4.63-5.00	vertical	11650	0.2-55	30	0.9	sub-vert.	[30]

## 2.6 Umhverfisþættir

Á undanförunum árum hafa verið miklar deilur um bergbrot (Cham og Stone, 2013). Meðan iðnaðurinn lítur á bergbrot sem aðferð sem lágmarkar áhættu við að ná upp leirgasi er vaxandi hópur almennings sem telur að áhættan sé of mikil, sérstaklega vegna grunnvatns-mengunar. Meginniðurstöður (Cham og Stone, 2013) eru að það þurfi óháða aðila til að afla og miðla upplýsingum til almennings.

## 3 Samantekt

Ráðstefnan var að mörgu leyti mjög áhugaverð þótt stór hluti erindanna fjallaði um fræðilega útreikninga og líkanagerð á sprunguvexti og sprungutengingum í bergi, með megináherslu á leirstein. Erfitt er að leggja mat á þær aðferðir sem lýst var og hvort þær megi yfirfæra á íslenskar jarðhitaáðstæður.

Það kom á óvart að umhverfismál og samskipti við almenning var efni sem ráðstefnugestir höfðu lítinn áhuga á að ræða. Almenna viðhorfið var að fólk vissi ekki hvað það væri að tala um, þessi tækni væri hættulaus og menn gerðu í raun lítið úr áhyggjum fólks. Þrátt fyrir að líkön sýni að sprungurnar verði fyrir neðan grunnvatnskerfin eru hugsanlegar leiðir milli kerfa, s.s. eftir utanverðri borholunni, og þegar almenningur spyr um þessi tilvik eru oft ekki gefin nógu greinargóð svör. Enginn ráðstefnugesta sem undirritaður talaði við hafði heyrt af viðbragðsáætlunum vegna umhverfisáhrifa, s.s. skjálfta. Taka þarf fram að flestir ráðstefnugesta komu frá háskólum eða höfðu einungis reynslu af tæknilegum hluta borverka.

Það er full ástæða að skoða nánar hvort hægt sé að örva holur á Íslandi með bergbroti og nýta sér skorðuefni og þær aðferðir sem eru þekktar úr gas/olíu iðnaðinum. Æskilegt væri að setja af stað rannsóknarvinnu sem skoðar alla þessa þætti, líkön til að meta sprunguvöxt á jarðhitasvæðum, skjálftavirkni í tengslum við bergbrot, efnafræði bergbrotsvökva og skorðuefna, þróun pakkara fyrir jarðhitaumhverfið (hiti, þrýstingur og kostnaður) og regluverk kringum bergbrot.

## 4 Heimildir

- Abbas, S. og Lecampion, B. (2013). Initiation and Breakdown of an Axisymmetric Hydraulic Fracture Transverse to a Horizontal Wellbore. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Adams, J. og Rowe, C. (2013). Differentiating Applications of Hydraulic Fracturing. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Brenne, S., Molenda, M., Stöckhert, F. og Alber, M. (2013). Hydraulic and Sleeve Fracturing Laboratory Experiments on 6 Rock Types. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Cham, S. T. og Stone, P. (2013). How Can Understanding Community Concerns About Hydraulic Fracturing Help to Address Them? *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Chuprakov, D., Melchaeva, O. og Prioul, R. (2013). Hydraulic Fracture Propagation Across a Weak Discontinuity Controlled by Fluid Injection. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Dyskin, A., Pasternak, E., Bungler, A. og Kear, J. (2013). Blue Shift in the Spectrum of Arrival Times of Acoustic Signals Emitted during Laboratory Hydraulic Fracturing. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Fairhurst, C. (2013). Fractures and Fracturing: Hydraulic Fracturing in Jointed Rock. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Glauser, W., McLennan, J. og Walton, I. (2013). Do Perforated Completions Have Value for Engineered Geothermal Systems. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Jung, R. (2013). EGS – Goodbye or Back to the Future. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Montgomery, C. (2013). Fracturing Fluid Components. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- van der Baan, M., Eaton, D., & Dusseault, M. (2013). Microseismic Monitoring Developments in Hydraulic Fracture Stimulation. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Vincent, M. C. (2013). Five Things You Didn't Want to Know about Hydraulic Fractures. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Warpinski, N. R. (2013). Understanding Hydraulic Fracture Growth Effectiveness, and Safety Through Microseismic Monitoring. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Zangeneh, N., Eberhardt, E., Bustin, R. og Bustin, A. (2013). A Numerical Investigation of Fault Slip Triggered by Hydraulic Fracturing. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.
- Zhang, X., og Jeffrey, R. (2013). Development of Fracture Networks Through Hydraulic Fracture Growth in Naturally Fractured Reservoirs. *Effective and Sustainable Hydraulic Fracturing*. Brisbane.