

**Rennslisprófun holu 2 á Grafarbakka í maí
1998, og tengsl hennar við borholur á
Flúðum**

Grímur Björnsson

Greinargerð GrB-99-01

2. janúar, 1999

RENNSLIÞRÓFUN HOLU 2 Á GRAFARBAKKA Í MAÍ 1998, OG TENGLS HENNAÞ RORHOLUR Á FLÚÐUM

1. Inngangur

Eftirfarandi greinargerð er unnin að beiðni Hitaveitu Grafarbakka ehf og fjallar um rennslisþrófun holu 2 á Grafarbakka. Holan var boruð í 187 m dýpi í júní 1997. Margar öflugar æðar, 106-108 °C heitar eru í henni. Lokunarþrýstingur er 1,6 bör. Þótti strax ljóst að holan er til mikils vís. Var það og staðfest í þrófun í ágúst 1998, þar sem sjálfrennslis mældist tæpir 100 l/s við rúmlega 0,5 bara þrýsting á toppi (Grímur Björnsson, 1997). Athugun á nálægum hverum sýndi hins vegar að svo mikil vinnsla hafði áhrif á rennslis úr þeim. Þótti því óráðlegt að slá nokkru föstu um langtímaafköst holunnar fyrr en mun lengri þrófun hefði átt sér stað. Þessi þrófun var svo gerð í maí síðastliðnum og er hér fjallað um niðurstöður hennar.

2. Framkvæmd

Hola 2 var þrófuð þannig að við hana var tengd gufuskilja. Frá gufuskiljunni var svo 100 °C heitur vatnfasinn leiddur inn á stafrænan rennslismæli og rennslisú holunni lesið þar. Þess utan var toppþrýstingur skráður svo og hitinn í Litlu-Laxá 10, 20 og 30 m neðan við þar sem holuvatnið rann út í ána. Eins var fylgst með afrennslis úr holu 1, sem er rétt við holu 2. Tafla 1 sýnir tölugildi allra mælinganna. Hannibal Kjartansson á Flúðum sá um þennan þátt, þ.e. uppsetningu búnaðar svo og sjálfar mælingarnar.

Auk þess að skráðar voru ýmsar stærðir holu 2 og næsta nágrennis hennar, vann sjálfvirkur gagnasöfnarbúnaður með borholunum á Flúðum sitt starf á meðan. Munu þau gögn fléttast saman við tölurnar í töflu 1 síðar í greinargerðinni.

3. Úrvinnsla mælinga í holu 2

Mynd 1 sýnir hvernig toppþrýstingur og rennslis holu 2 hegðuðu sér í maíþrófuninni. Rennslis var aukið í daglögum þrepum fram að kvöldi 11. maí að stutt hámarksþrep er tekið og þrófinu síðan hætt. Fór rennslisú hæst í kringum 110 l/s og er þá ótalin gufan sem fór upp úr skiljunni. Hrávarmi þessa flaums er tæp 50 MW. Alls fóru upp um holuna í þrófuninni tæpir 34 þúsund rúmmetrar af 100 °C heitu vatni.

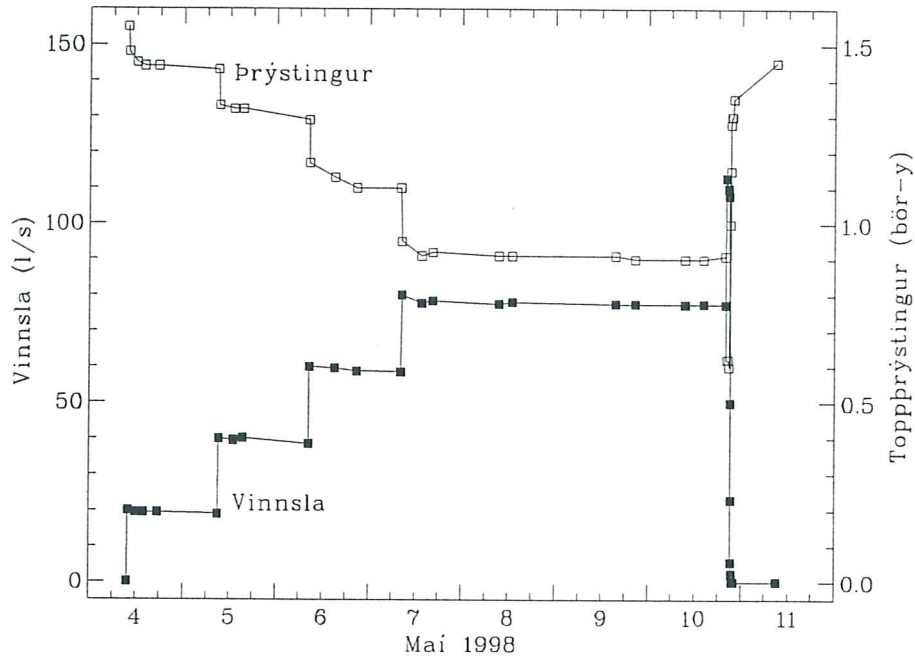
BYLSTIÞRÓFUN

Tafla 1: Mæligögn sem söfnuðust í prófun holu 2 á Grafarbakka í maí 1998.

Dags	kl	Rennsli holu 2 (l/s)	Toppþr. holu 2 (bör-y)	Hver af. (l/s)	Hiti í Laxá 10 m neðar			Hiti í Laxá 20 m neðar			Hiti í Laxá 30 m neðar		
					(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)
04	09:45	00.0	1.55	2.88	6.6	5.9	8.7	6.8	5.8	8.3	6.5	5.7	7.9
04	10:00	20.0	1.48	2.88	7.4	9.0	8.4	6.7	7.4	8.1	6.9	8.6	7.0
04	12:00	19.5	1.45	1.83	8.3	9.0	9.2	8.1	9.4	8.9	7.8	10.1	8.4
04	14:00	19.4	1.44	2.00	8.6	8.1	9.8	8.0	9.6	9.5	7.9	10.3	9.3
04	17:30	19.4	1.44	3.15	11.4	11.5	11.4	10.6	11.8	11.1	10.0	11.8	10.3
05	09:00	19.0	1.43	1.80	4.8	4.5	5.5	4.7	6.9	5.4	4.8	7.1	5.5
05	09:15	40.0	1.33	1.80	4.8	4.5	5.5	4.7	6.9	5.4	4.8	7.1	5.5
05	13:00	39.5	1.32	1.26	6.7	11.7	8.0	6.5	10.3	7.5	6.7	10.4	6.9
05	15:30	40.1	1.32	2.30	8.2	13.0	9.0	8.1	12.2	9.1	8.6	11.3	8.6
06	08:30	38.5	1.29	1.27	2.4	3.6	4.4	2.4	7.8	4.0	2.9	7.5	3.4
06	08:40	60.0	1.17	2.40	2.4	3.8	4.6	2.4	8.0	4.1	2.9	7.7	3.6
06	15:10	59.5	1.13										
06	20:50	58.7	1.10	0.30	4.6	9.4	5.3	4.4	10.5	5.4	4.5	10.1	4.9
07	08:15	58.5	1.10	1.20	2.4	7.5	7.0	2.2	8.5	6.8	2.6	7.4	6.8
07	08:35	80.0	0.95	1.20	2.4	7.5	7.0	2.2	8.5	6.8	2.6	7.4	6.8
07	13:40	77.8	0.91	1.76	8.2	17.3	29.4	11.9	12.7	25.3	12.2	12.8	21.6
07	16:30	78.4	0.92	2.30	10.7	18.8	25.9	17.1	16.2	24.7	14.7	15.4	19.6
08	09:30	77.5	0.91	1.00	11.2	15.8	22.8	19.4	11.0	18.5	18.4	11.1	14.7
08	13:00	78.0	0.91	2.09	19.1	15.7	20.9	23.8	14.0	20.4	22.5	16.0	17.9
09	15:40	77.5	0.91	2.09	22.6	21.4	15.7	25.2	19.7	15.3	26.1	21.0	17.8
09	20:40	77.5	0.90	0.20	11.0	21.3	11.7	23.3	20.1	11.3	23.0	17.1	15.3
10	09:30	77.4	0.90	1.50	12.7	19.0	8.8	19.2	17.3	8.9	18.1	14.0	12.8
10	14:17	77.5	0.90	1.00	19.7	19.9	10.5	20.0	15.7	10.3	18.9	15.6	15.2
10	20:00	77.4	0.91	0.08	5.1	6.7	9.4	18.1	16.9	9.1	17.4	14.2	12.5
10	10:15	113.0	0.62										
10	20:45	110.0	0.62										
10	21:00	108.0	0.60	1.00									
10	21:15	50.0	1.00										
10	21:20	23.0	1.15										
10	21:25	05.6	1.28										
10	21:30	02.3	1.30										
10	21:45	00.0	1.30										
10	22:00	00.0	1.35										
11	09:00	00.0	1.45										

Hitinn í Laxá var skráður við bakkana tvo og svo úti í miðri á.

2 Jan 1999 GrB
tp V2.3



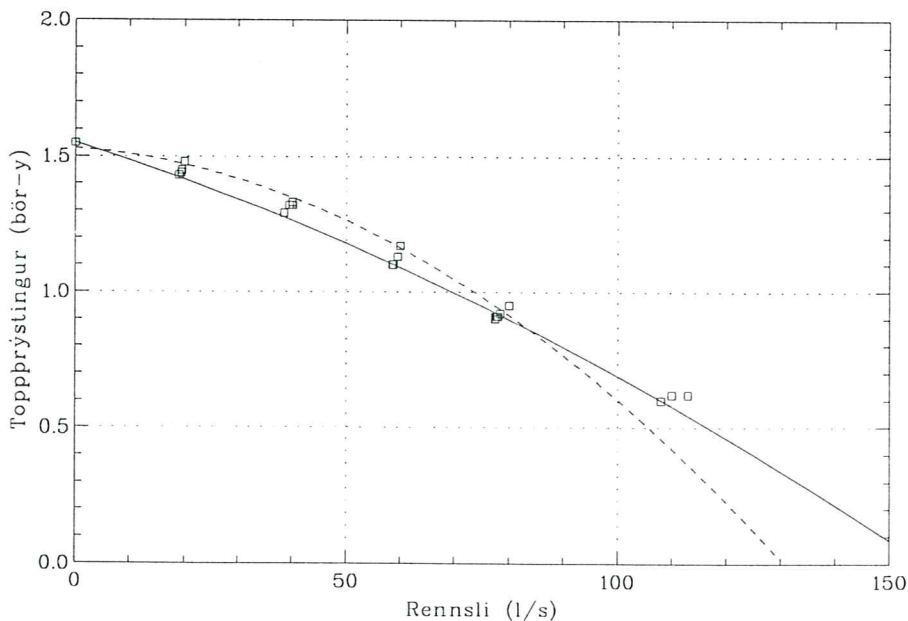
Mynd 1: Vinnsla og toppþrýstingur holu 2 í maí 1998.

Auðvelt er að vensla saman rennslið og toppþrýstinginn á mynd 1 og er niðurstaðan sýnd á mynd 2. Felldur er ferill að gögnunum, eilítið bjúgur, og fylgir hann jöfnunni:

$$P_0 = 1.5 - 0.63 \times 10^{-2} \cdot m - 0.231 \times 10^{-4} \cdot m^2$$

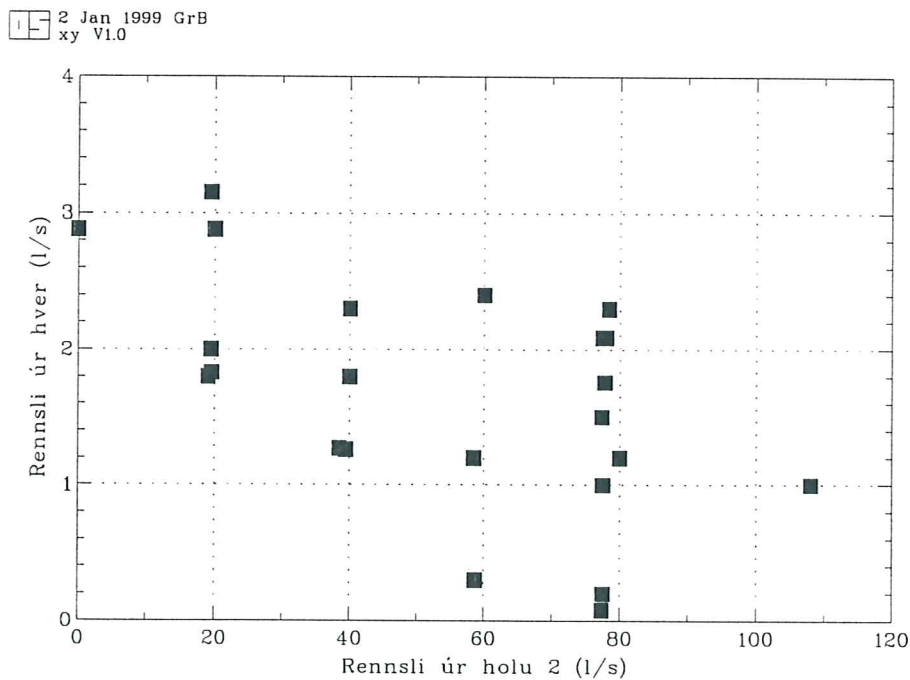
þar sem P_0 er toppþrýstingur holunnar og m er vinnslan úr henni. Svipaður affferill var skilgreindur á grunni skamrar prófunar í ágúst 1997. Er hann hafður með til samanburðar á mynd 2. Þar má sjá að holan mælist nú mjög svipuð í afköstum og árið á undan, utan í lokaprepinu. Er mælingin nú talin réttari.

2 Jan 1999 GrB
xy V1.0



Mynd 2: Affferlar holu 2 í maí 1998 (heildreginn lína og feringar) og ágúst 1997 (slitin lína).

Mynd 3 sýnir hvernig rennslið úr holu 1 og hvernum ofan við holu 2 teiknast á móti rennslinu úr holu 2. Taka ber fram að hér er verið að mæla afgangsvatn, þ.e. það vatn sem nærliggjandi gróðurhús nýta ekki úr hvernum og holunni. Greinilegt samband kemur fram á þann veg að dregur úr sjálfrennsli hveranna við aukið rennsli úr holu 2. Þetta er einkum skýrt þegar litið er til hámarksrennslis í hverju þrepi. Lætur nærri að það hafi minnkað úr tæpum 3 l/s í e.t.v. 1,5 l/s ef meðaltal er tekið. Eðlilegt er að hverinn og holan lifi áfram þótt mikið sé tekið úr holu 2, því enn var rúmlega 0,5 bara þrýstingur á toppi hennar.



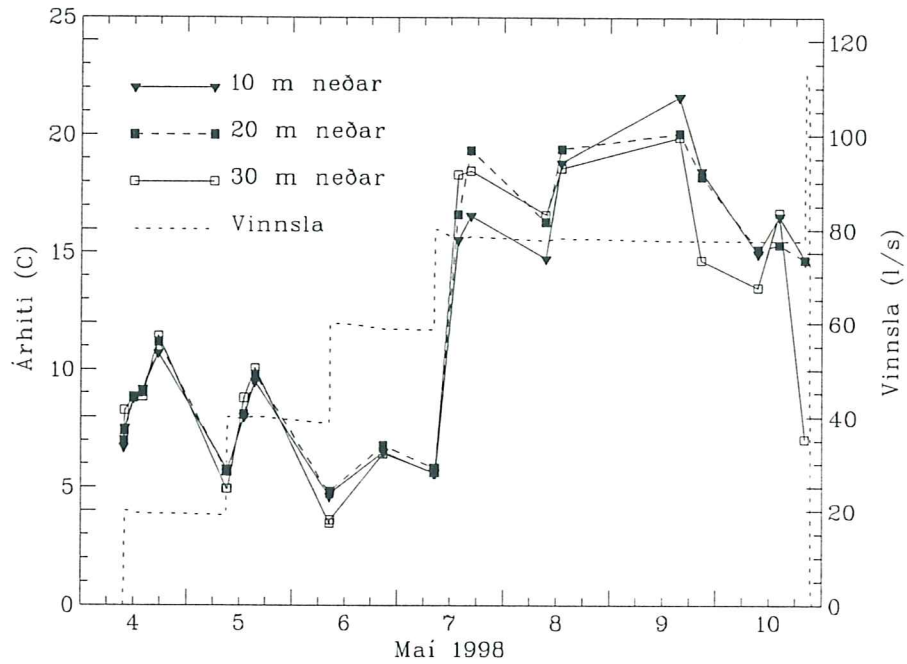
Mynd 3: Samband rennslis holu 2 og rennslis úr hver og holu 1 á Grafarbakka.

Mynd 4 sýnir svo hvernig hitnaði í Litlu-Laxá í rennslisprófinu. Til einföldunar er sýndur meðalhiti í hverju þversniði árinna. Ljóst er að áin hitnar töluvert í prófinu. Eigi að nota þessi gögn frekar í vistfræðirannsóknunum er rétt að teikna með mældan hita í Hjarðarholti svo meta megi hitnun fyrir hvert MW varma sem í ána kemur.

4. Áhrif á Flúðaholur

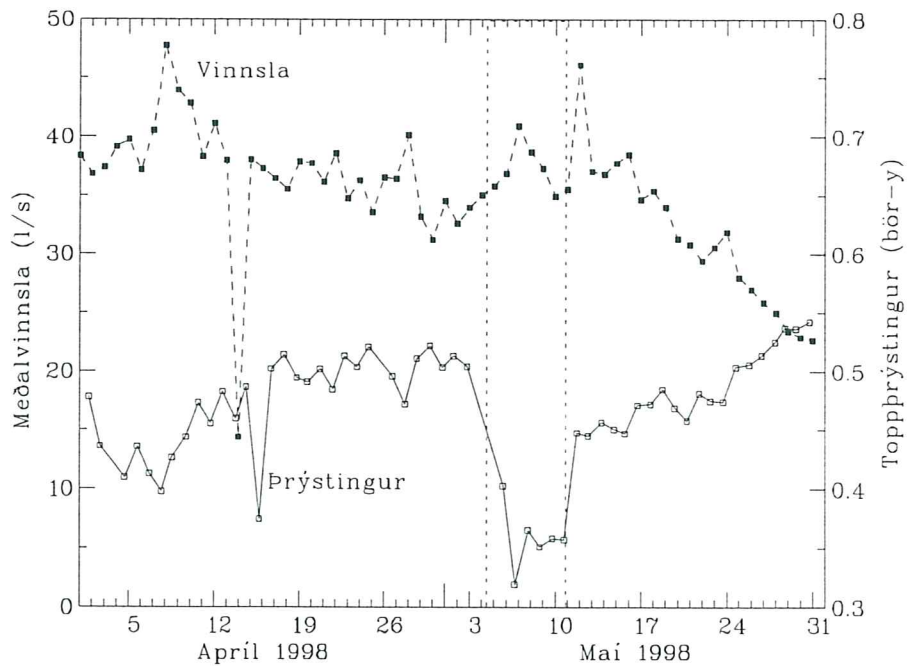
Sem fyrr var nefnt er heildarvinnsla og toppþrýstingur holnanna á Flúðum skráður reglulega inn í vinnslueftirlitsbúnað. Mynd 5 sýnir hvernig toppþrýstingur þar og vinnslan hegðuðu sér áður og eftir að prófunin var gerð á Grafarbakka. Þar sést glögglega að prófunin á holu 2 skilar sér mjög greinilega sem lækkun í toppþrýstingi. Af þessu má ljóst vera að jarðhitinn á Flúðum og á Grafarbakka tilheyrja einu og sama jarðhitakerfinu.

2 Jan 1999 GrB
tp V2.3



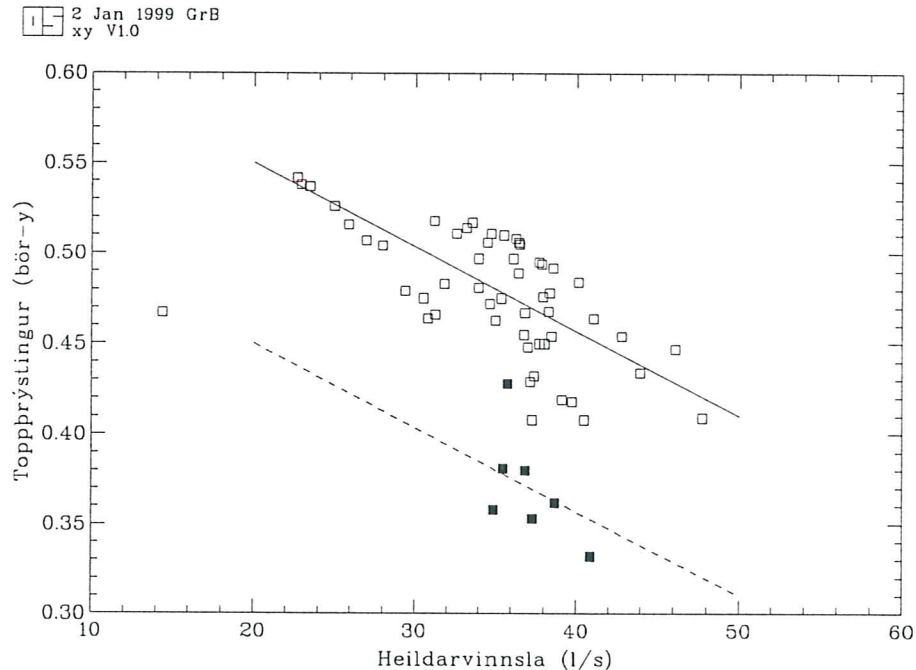
Mynd 4: Samband hita Litlu-Láxár og rennslis úr holu 2 út í ána.

3 Jan 1999 GrB
tp V2.3



Mynd 5: Toppþrýstingur og vinnsla á Flúðum meðan hola 2 var prófuð. Tímabilið þar sem hola 2 var prófuð er sýnt innan tveggja lóðréttra punktalína.

Nú kynni einhver að spyrja hvort borun holu 2 sé þar með tilgangslaus viðbót við borholur á Flúðasvæðinu, sökum þess að vinnsla úr henni skerðir afköst eldri holna. Til að átta sig á þessu er hér teiknað samband toppþrýstings og heildarvinnslu á Flúðum. Mynd 6 sýnir það.



Mynd 6: Samband toppþrýstings og vinnslu á Flúðum. Mælingar frá því í prófun holu 2 eru sýndar með fylltum ferningi. Bein lína er tillaga að núverandi affferli Flúðaholnanna, en sú slitna gæti gilt ef 50-100 kg/s vinnsla á sér stað á Grafarbakka.

Inni á mynd 6 er ferill sem hér er kallaður tillaga að affferli Flúðaholnanna. Hann er:

$$P_0 = 0.64 - 0.00456 \cdot m$$

þar sem P_0 er toppþrýstingur og m er rennslið sem áður. Ferillinn er fundinn með því að sleppa mælingum sem eru gerðar í prófun holu 2. Óvíst er að hann gildi allt árið sökum þess hve stuttur hluti vinnslusögunnar er nýttur til gerðar hans. Má skjóta því hér inn að mun áreiðanlegri afkastaferil má gera með sérstakri úrvinnslu fyrirbyggjandi mælinga. Af mynd 6 má draga þá ályktun að 50-100 l/s vinnsla á Grafarbakka skerði toppþrýsting Flúðaholnanna um e.t.v. 0,1 bar. Nýr affferill gömlu holnanna á Flúðum við slíkt ástand fæst því einfaldlega með því að hliðra núverandi affferli niður á við sem þessu nemur.

Ofangreind aðferðarfræði er mikil einföldun á viðbrögðum jarðhitakerfisins við vinnslu. Telst hún á mörkum þess að vera brúkhæf sem hönnunarforsenda fyrir frekari vatnsvinnslu á Grafarbakka og Flúðum. Hvað um það er ljóst að til samans voru þessi tvö bor-svæði að skila 120-140 l/s til yfirborðs. Að sögn Hannibals Kjartanssonar nást nú að hámarki á Flúðum að áliðnum vetri kringum 60 l/s við 0,2 bör á toppi. Því telst fullljóst að Grafarbakkaholan eykur við þá heildarvinnslu sem taka má á Flúðasvæðinu.

5. Sjálfrennsli og jarðskjálftar

Í jarðskjálftum sem urðu í nóvember 1998 brá svo við að þrýstingur lækkaði djúpt í borholum Hitaveitu Þorlákshafnar á Bakka í Ölfusi. Hætti önnur tveggja vinnsluholna að blása og varð að grípa til sérstakra aðgerða svo Hitaveitan hefði nægt vatn (Sverrir Þórhallsson og Grímur Björnsson, 1998). Við eftirgrennslan kom í ljós að nokkur dæmi eru um jarðskjálftatengdar þrýstibreytingar í jarðhitakerfum kringum Hengilssvæðið. Orsök þrýstibreytinganna er að við skjálfta lækkar oftsinnis hliðaráttak bergsins og það þenst lítilliga út. Rúmmálsaukningin tekur upp vatn og þar með dofna eða hætta sjálfrennsli í laugum og borholum. Yfirleitt gengur þessi þrýstitruflun yfir á 1-3 vikum og sjálfrennslið nær aftur fyrri stöðu.

Undirritaður telur að slíkt þrýstifall geti orðið á Flúðum í kjölfar stórra skjálfta. Líkleg stærðargráða þrýstifalls gæti legið í kringum 0,5 bör. Þar með gefa holurnar á Flúðum sáralítið rennsli. Hærri toppþrýstingur holunnar á Grafarbakka ásamt miklum afköstum gæti hins vegar tryggt nægt sjálfrennsli úr henni þó svo að svæðisþrýstingur falli tíma-bundið. Tenging holunnar við dreifikerfi Hitaveitunnar á Flúðum sýnist því eðlileg í ljósi rekstraröryggis.

5. Niðurstöður og umræða

Helstu niðurstöður þessarar samantektar um vinnsluprófun holu 2 á Grafarbakka eru:

1. Holan er gífurlega afkastamikil og má taka úr henni kringum 100 sekúndulíttra af ríflega 100 °C heitu vatni við 0,5 bör á toppi.
2. Svo mikil vinnsla mun hins vegar draga úr virkni hvera og lauga á yfirborði, e.t.v. um helming.
3. Losun varma í Litlu-Laxá hitar hana töluvert. Gæti hitnunin orðið upp undir 15 °C næst holunni.
4. Þrýstingur í borholum á Flúðum fellur við mikla vinnslu á Grafarbakka. Nam lækkunin um 0,1 bari. Þar með er ljóst að eitt og sama jarðhitakerfið fæðir bæði borsvæðin.
5. Með tilkomu holu 2 má vinna mun meira vatn á Flúðasvæðinu en áður. Sem dæmi má nefna að hámarksafköst borholnanna á Flúðum eru um 60 l/s við 0,2 bör á toppi. Samanlagða sjálfrennslið í prófun holu 2 var hins vegar á bilinu 120-140 l/s.
6. Vinnslueftirlitsgögn á Flúðum ásamt prófun holu 2 mynda grunn fyrir gerð líkans af jarðhitakerfinu. Í því má skoða með meiri vissu hvernig vinnslu sé best háttað úr borsvæðunum tveimur á Grafarbakka og Flúðum.

7. Tenging „háþrýstrar“ holunnar á Grafarbakka við dreifikerfi Hitaveitu Flúða sýnist eðlileg öryggisspilamennska hitaveitu á jarðskjálftasvæði þar sem umbrot geta lækkað svæðisþrýsting og skert tímabundið sjálfrennsli úr borholum og laugum.

Hola 2 er líklega ein best heppnaða lághitahola á Íslandi frá upphafi jarðhitaborana. Gildir það hvort sem litið er til afkasta, hita eða kostnaðar. Með tilkomu hennar má segja að jarðhitarannsóknir á Flúðum færast frá afkastamati einstakra holna upp í það að nú þarf að meta stærð og afköst sjálfs jarðhitakerfisins. Vel má vera að þetta jarðhitakerfi slagi í afköstum upp í annað tveggja Reykjasvæðanna í Mosfellsbæ, sem Hitaveita Reykjavíkur hefur nú nýtt um áratuga skeið. Verður því ekki annað séð en að mikil sóknarfæri séu í jarðhitavinnslu á Flúðum um langa framtíð.

Orkustofnun, 3. janúar 1999.

Grímur Björnsson

5. Heimildir

Grímur Björnsson, 1997: *Mælingar á holu 2 á Grafarbakka í Hrunamannahreppi*. Orkustofnun, greinargerð, GrB-97/04.

Sverrir Þórhallsson og Grímur Björnsson, 1998: *Áhrif jarðskjálftahrinu á borholur Hitaveitu Þorlákshafnar og tillögur til úrbóta*. Orkustofnun, greinargerð SP/GrB-98/01.