



ÍSOR
ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

Fýsileiki jarðvarmavinnslu til raforkuframleiðslu á Hveravöllum á Kili

Ragnar K. Ásmundsson
Árni Hjartarson
Elías Þorsteinsson

Unnið fyrir Hveravallafélagið

Greinargerð
ÍSOR-10061

Verknr.: 500287
27.05.2010

Inngangur

Í desember 2009 hafði Gunnar Guðjónsson, staðarhaldari á Hveravöllum, samband við ÍSOR með hugleiðingar um að nýta jarðvarmann á Hveravöllum til raforkuframleiðslu. Í framhaldinu var haldinn fundur með Gunnari, 18. febrúar 2010, í húsnæði ÍSOR ásamt nokkrum fulltrúum frá fyrirtækjum sem veitt hafa þjónustu á Hveravöllum en einnig aðilum sem selt gætu tvenndarvélar sem henta til raforkuframleiðslu úr jarðvarma.

Annar fundur var svo haldinn á Hveravöllum, 4. mars og í framhaldi þess fundar ákveðið að ÍSOR skrifaði greinargerð um fýsileika raforkuframleiðslu á Hveravöllum sem nýta myndi þann jarðvarma sem afla mætti án þess að skaða hið þekkta hverasvæði sem þar er.

Hveravellir er ferðamannastaður og þangað koma um 30 þúsund manns árlega. Til greina kemur að vinna að uppbyggingu raforkuframleiðslu og annarrar varmanýtingar í samvinnu við vísinda- og tæknistofnanir og gera verkefnið sýnilegt ferðamönnum, með áherslu á sjálfbærni. Í því ljósi verður hér sérstaklega hugað að aðkomu innlendra aðila við hönnun og smíði búnaðar, þar sem því verður komið við.



Mynd 1. Fundað á Hveravöllum við undirbúning þessa verkefnis. Mynd: Elías Þorsteinsson.

Raforkuframleiðsla úr lághita jarðvarma

Áætlað er að nota tvenndarvél til raforkuframleiðslunnar. Tvenndarvél (binary power plant) er rafstöð knúin af jarðvarma og hefur að geyma lífrænan vinnslumiðil í lokaðri hringrás (Organic Rankine Cycle – ORC). Tvenndarvélin nýtir varma úr umhverfi með aðstoð vinnslumiðils sem hefur fasaskipti við lægri hitastig en vatn. Þegar vinnslumiðillinn er í gasfasa knýr hann rafal, t.d. túrbínuhreyfla sem staðsettir eru inni í hringrásinni. Vinnslumiðill er valinn með tilliti til bestu nýtingar á því hitasviði sem um ræðir. Algengt er að gefa sér varmaorkunýtingu til raforkuframleiðslu á bilinu 8-12%, þar sem nýtingin er lægri við lægra hitastig. Hingað til hafa hitastig neðan við 100 °C ekki verið talin vænleg til raforkuframleiðslu.

Samband rafaflsframleiðslu og rennslis, nýtingarhita (hitamunar) og nýtni er:

$$\text{Afl [í kW]} = 4.19 * \Delta T * Q * \eta$$

Þar sem ΔT er hitamismunur, gefinn í gráðum á Celcius eða Kelvin, Q er rennslíð í lítrum á sekúndu og η er einingarlaus nýtingarstuðull tvímiðla rafals til raforkuframleiðslu. Stuðullinn fyrir framan er varmastuðull vatns (breytilegur, en oft nálægt 4.19 J á hverja gráðu og gramm vatns). Í raforkuframleiðslunni þarf að fella hitastig jarðhitavatsins með kælivatni sem fengist á Hveravöllum ýmist frá kæliturni (loftkæling á vatninu) eða lengra að úr köldum borholum.

Núverandi aflþörf á Hveravöllum er vart yfir 20 kW, en gera mætti ráð fyrir stærri stöð með hliðsjón af því að þjónusta við ferðamenn gæti aukist, auk þess sem í nágrenninu eru fleiri notendur raforku: Neyðarlínan ohf. er með senda á svæðinu og Veðurstofan er með veðurathugunarstöð innan girðingar rétt við hverasvæðið. Seinna mætti nýta raforku á farartæki, þar sem það á við. Afgangsvarma frá tvenndarvélinni má nýta beint til húshitunar, t.d. í aðstöðu Neyðarlínunnar og/eða Veðurstofu ef þörf verður á því.

Verðhugmyndir á tvenndarvél liggja fyrir frá fyrirtækinu Kaldara Green Energy á 50 kW stöð sem er framleidd á Indlandi. Sambærileg stöð hefur risið í Mið-Asíu, þó ekki fyrir jarðvarma. Fyrirtækið Infinity Turbine hefur nýlega sett saman 10 kW tvenndarstöð sem gæti hentað fyrir jarðvarma en engin reynsla er komin ennþá á slíka uppsetningu (sjá mynd 2). Sú vél kostar einnig um 2500 \$/kW án rafals sem er þá í hærri kantinum, sérstaklega meðan óvissa ríkir um virkni varmaskipta fyrir jarðvarma-vökva. ÍSOR hefur verið í samskiptum við Pratt&Whitney varðandi 250 kW jarðvarma-stöðvar sem kallast PureCycle®. Slíkar vélar eru of stórar fyrir Hveravelli en verðforsendur eru nú þekktar og miðast við um 1600 \$/kW. Þar er um fjöldaframleiðslu að ræða og hingað til hefur verið á tvenndarstöðvum verið yfir 2000 \$/kW. Tvenndarvélar þurfa ætíð varmaskipta, dælukerfi, lagnakerfi og stýringar sem mynda fastan kostnað og því er óhagkvæmt að smíða of litla stöð. Reikna mætti með allt að 3000 \$/kW fyrir litla stöð, þ.e. stöð sem skilar 10-50 kW rafafl. Erlendis mega þessar vélar vera þetta dýrar, því raforkuverð er herra og víða eru veittir opinberir styrkir til grænnar raforkuframleiðslu.



Mynd 2. 10 kW tvenndarstöð frá Infinity Turbine. Verðið er \$25.000 án rafals. Mynd frá <http://www.infinityturbine.com>

ÍSOR hefur undanfarið ár kannað möguleika á jarðvarmavinnslu úr lághita, þ.e. vatni eða gufu á hitabilinu 80-180 °C. Vinna stendur yfir á Reykholti í Borgarfirði vegna 250 kW stöðvar (PureCycle) og á Hæðarenda, þar sem nú er skoðaður möguleiki á að nýta gamla bandaríska tvenndarvél með nýjum vinnslumiðli og varmaskiptum til að framleiða hátt í 20 kW rafafis. Nýta mætti þá reynslu sem nú er að skapast í þessum tveimur verkefnum til sérlausna á Hveravöllum.

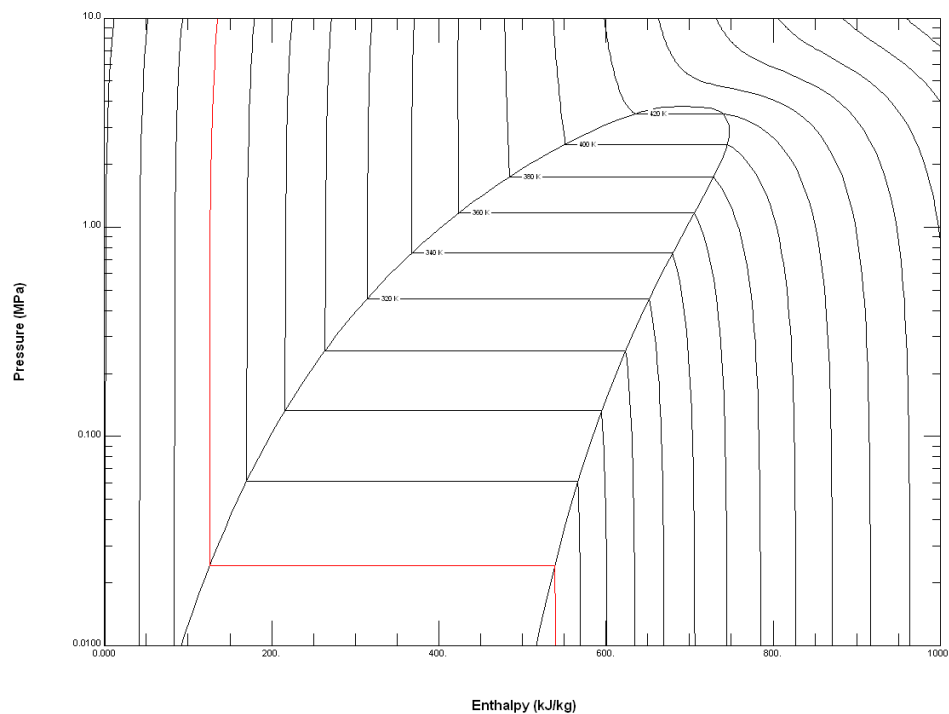
Athyglisverð tvenndarstöð var nýlega sýnd á Alþjóðajarðhitaráðstefnunni á Balí í Indónesíu (25.-30. apríl, 2010, sjá mynd 3). Um er að ræða 60 kW stöð frá fyrirtækinu Cyplan¹ sem byggð er á eldri tvenndarstöð (ORC örvirkjun) sem nýtir glatvarma frá lífrænum gashreyfli. Frumgerð stöðvarinnar verður prófuð á tilraunasvæði GFZ-Potsdam í Þýskalandi (Groß Schönebeck). Niðurstöður prófanna verða nýttar til að aðlaga og endurbæta hönnunina svo vélin geti nýtt jarðvarma á afskekktum svæðum (mun geta keyrt sjálfstætt, þ.e. í svokölluðum „island mode“, og þarf ekki tengingu við raforkukerfið til að koma henni af stað og á réttan snúning). Hugað verður að bestu nýtingu varmans með tilliti til aðstæðna („holistic design“, sjá Frick o.fl., 2010). Vinnslumiðill frumgerðarinnar verður bútan (n-butane) og ef hann er notaður á Hveravöllum þarf að gæta þess að hann kólni ekki mikið undir frostmark, því þá myndast undirþrýstingur (sjá mynd 4). Reynt er að hafa rúmtak vélarinnar eins lítið og hægt er miðað við afl og öllum einingum vélarinnar er komið fyrir í einum ramma, ef frá er talinn kæliturninn. Þannig er auðvelt að flytja vélina og tengja við ýmist vatneða loftkælíbúnað. Varmahringrásin er einfölduð eins og kostur er til að lágmarka viðhald og hverfillinn frá fyrirtækinu E&P Turbo er marggreyndur. Rafall og hverfill eru

¹ <http://www.cyplan.de>

einnig sambyggðir og krefjast ekki viðhaldfrekra þéttilega þar á milli. Kostnaður við þessa vél á Hveravöllum gæti verið 4-5 þúsund \$/kW.²



Mynd 3. Myndir af 60 kW tvenndarstöð frá GFZ-Potsdam. Á myndinni til vinstri er vökvadæla, þá eimari og radíal hverfill á myndinni í miðjunni og lengst til hægri sýnir Stephanie Frick okkur hvar vinnslumiðillinn streymir inn í hverfilinn.



Mynd 4. Þrýstingur sýndur sem fall af vermi á fasariti bútans. Rauð lína táknar 240 K jafnhitalínu sem er í tvífasa streymi við þrýsting vel undir loftþyngd.

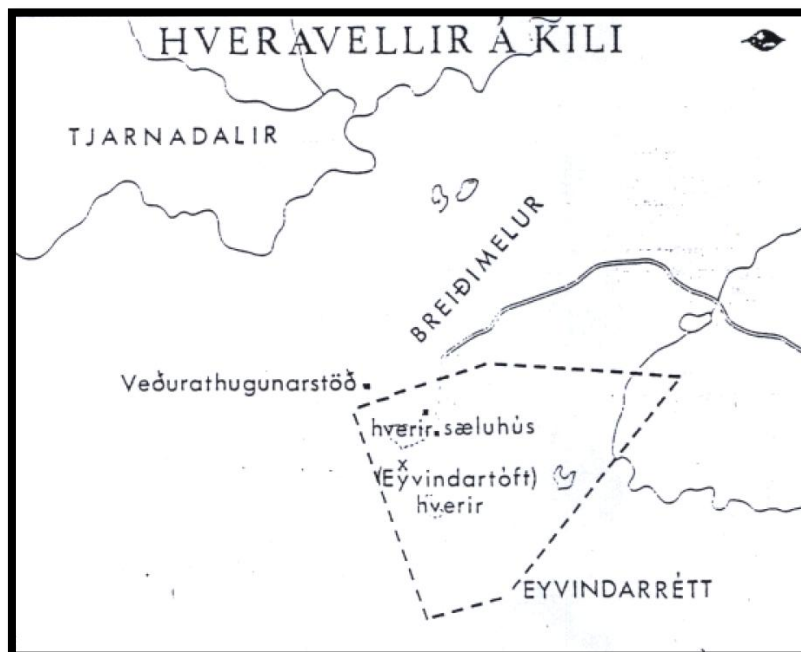
² Stephanie Frick, upplýsingar í tölvupósti 26.maí 2010.

Rekstur tvenndarvélar á Hveravöllum er háður því að heppilegur hiti og vatnsmagn fáið úr borholu. Af náttúruverndarástæðum þarf að bora utan hins verndaða svæðis. Aðkoma ÍSOR að verkinu er eftirfarandi :

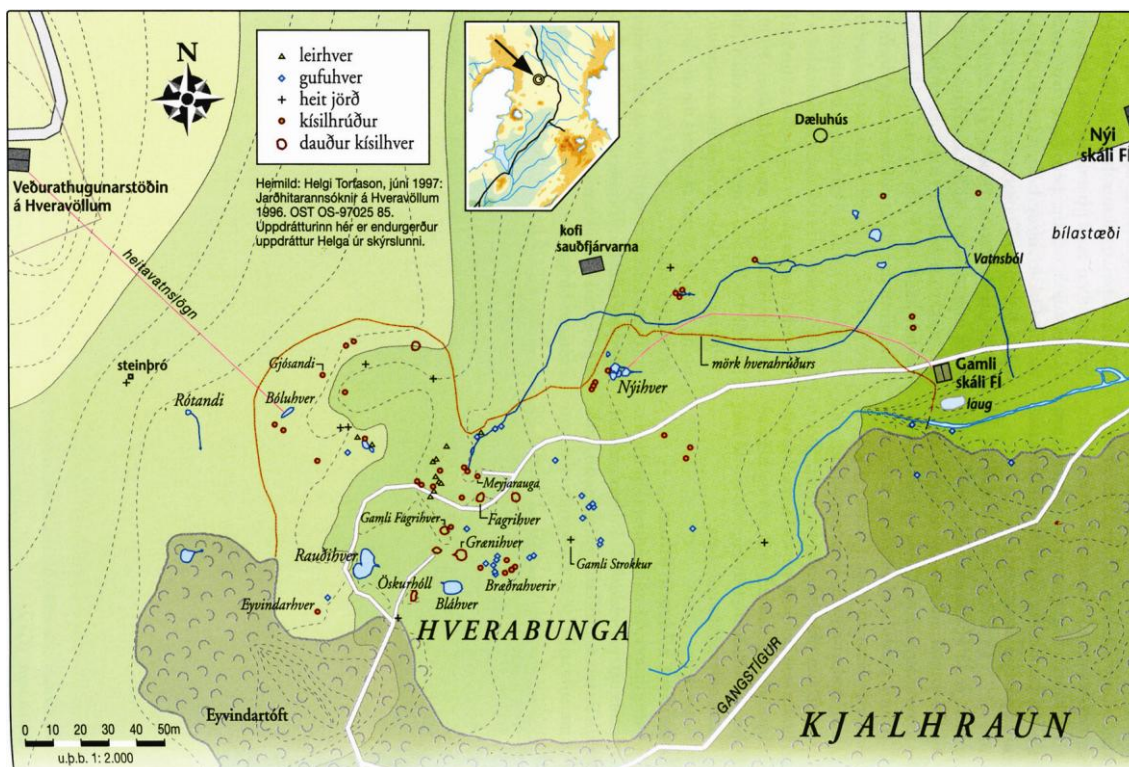
1. Finna heppilegasta stað fyrir jarðhitaholu og ráðleggja um gerð hennar
2. Fylgjast með borun og gera nauðsynlegar mælingar í holunni
3. Meta árangur borunar
4. Veita ráðgjöf um kælivatnsöflun
5. Ráðleggja um tæknibúnað og frágang

Hveravellir eru í um 600 m hæð við Kjalveg og tilheyra Húnavallahreppi. Staðurinn hefur verið þekktur áningarstaður á Kjalvegi síðan á landnámsöld. Ferðamenn allra tíma, gangnamenn, útilegumenn og auðnuleysingar, veðurathugunarmenn og jarðfræðingar hafa haft þar aðsetur. Sæluhús hafa verið þar í hrauninu frá ómunatíð. Elsta húsið sem þar er nú var reist á kostnað vegamálastjóra árið 1922 og Ferðafélag Íslands reisti sér þar hús 1938. Um árabíl (1963-2003) rak Veðurstofan athugunarstöð þar. Umferð hefur farið stigvaxandi og ekkert lát er á. Rafmagn fyrir ferðamannaaðstöðuna og veðurstöðina gömlu er framleitt með dísilstöðvum.

Hverirnir á Hveravöllum og næsta nágrenni þeirra voru friðlýstir sem náttúruvætti 1960. Mörk hins friðlýsta svæðis eru að mestu bundin við aðalhverasvæðið og minjarnar sem þar eru við jaðar Kjalhrauns. Að norðan miðast það við suðurmörk afgirtu lóðarinnar við veðurstöðina gömlu þar sem Neyðarlínan hefur aðstöðu í dag (mynd 5).



Mynd 5. Hið friðlýsta svæði á Hveravöllum (Stjórnartíðindi, 1975).



Mynd 6. Hveravellir (Arnór Karlsson, 2001).

Háhitasvæðið

Aðalhverasvæðið er í norðurjaðri Kjalhrauns þannig að syðstu gufur eru inni á hrauninu en aðalhverirnir eru utan hrauns (mynd 6). Þeir eru allfjölbreyttir að gerð, gufuhverir, leirhverir, suðuhverir, vatnshverir, laugar og volgrur. Svæðið er þekkt fyrir goshveri en þeir sem eru virkir í dag gjósa einungis óreglulegum smágosum. Útfellingar eru áberandi, hverahrúður og kísilbungur og segja má að þær einkenni svæðið. Á Breiðamel (eða Breiðmel) norður af völlum eru gufuhverir þar sem menn hafa útbúið bakstursholur og seytt rúgbrauð og þar norður af eru ummyndunarskellur, hveraleir, laugar og volgrur. Premur kílómetrum norðar, við Þegjanda, er kröftugur suðuhver sem kallast Einbúi. Háhitasvæðið er talið ná frá hverasvæðinu við hraunbrúnina og að Einbúa. Ef miðað er við yfirborðsmerki, þ.e. suðuhveri og ummyndun, mælist það 5 km að lengd en vart nema 0,5 km á breidd. Flatarmálið yrði því um 2,5 km² (Árni Hjartarson og Magnús Ólafsson, 2005).

Jarðhitasvæðið í heild er mun víðfeðmara því vart verður við volgrur áfram til norðurs um Beljandatungur og allt að Kúlukvísl. Þannig er heildarsvæðið um 14 km að lengd. Breiddin er hins vegar víðast á bilinu 1-2 km en flatarmálið 20 km².

Jarðeðlisfræðilegar mælingar hafa leitt í ljós að uppstreymi háhitavatnsins á Hveravöllum er á 2,5 km langri sprungu með stefnu N28°V (Ragna Karlsdóttir og Arnar Már Vilhjálmsson, 2006). Mælingarnar benda til þess að hitinn í efstu 1000 m undir hverasvæðinu sé alstaðar undir 240°C.

Jarðvegshiti

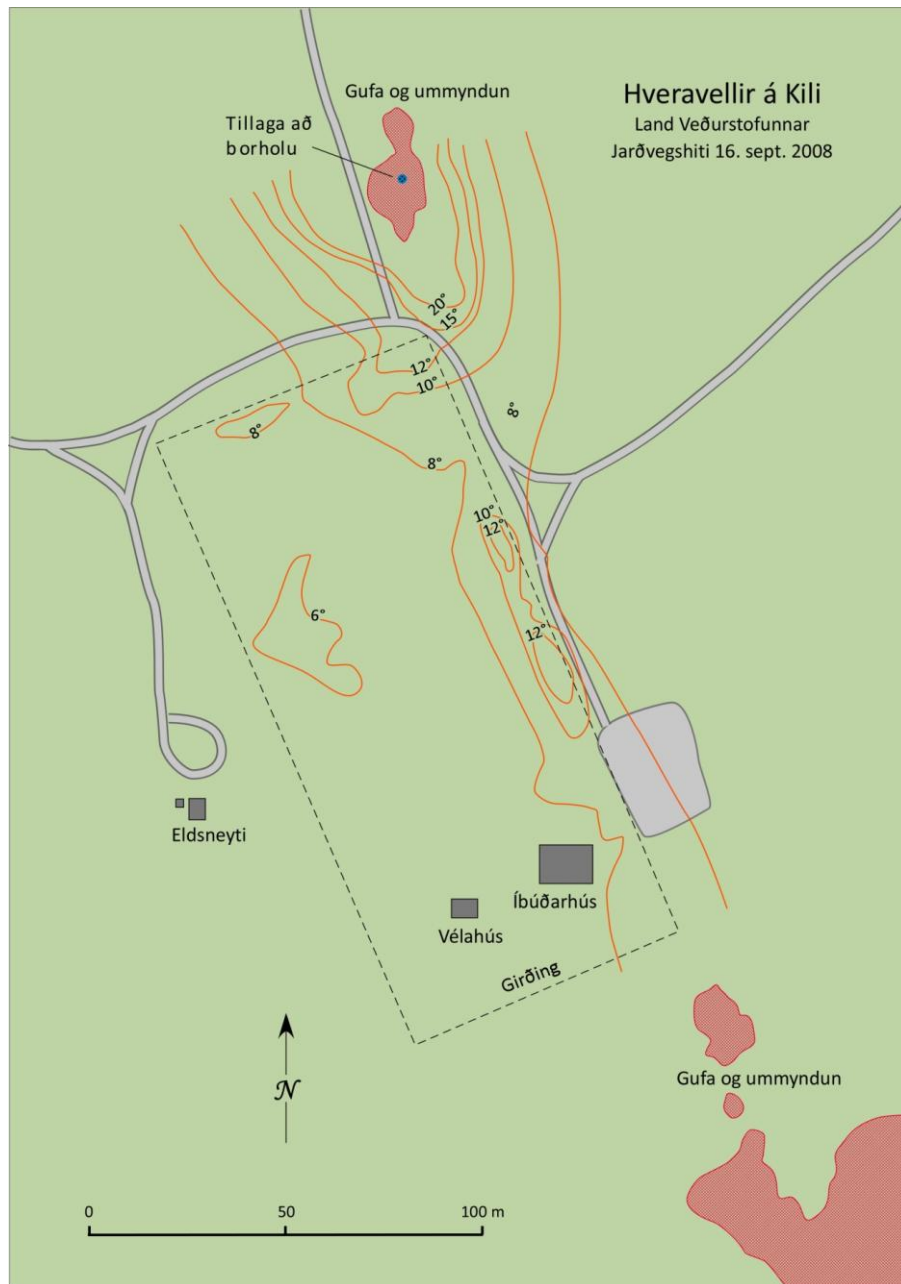
Haustið 2008 var boruð hitahola á lóðinni við veðurstöðina gömlu til upphitunar fyrir húsið. Áður en borað var voru gerðar jarðvegshitamælingar (Árni Hjartarson og Guðjón Eyjólfur Ólafsson, 2008). Þær sýndu að ótruflaður jarðvegshiti var víðast hvar á bilinu 6-7°C (mynd 7). Meðfram girðingunni austan húss kom í ljós hitafrávik sem segja má að tengi saman aðalhverasvæðið á Hveravöllum og hitablettinn á Breiðamel norðan lóðarinnar. Hitinn hækkar þar upp í 8°C og nær 12°C á blettum. Í bláhorni girðingarinnar að norðaustan skríður hann síðan yfir 13°C enda eru ekki nema um 30 m í hitablett með gufum þar norður af, þar sem jarðvegshiti nálgast suðumark við gufuaugu. Hitafrávikid hefur stefnuna N30°V og liggur á línu þar sem jarðeðlisfræðilegar mælingar hafa þótt benda til hitauppstreymis í sprungum með þessa stefnu. Gert var ráð fyrir að sprungan væri nálægt því að vera lóðrétt. Holan sem boruð var í kjölfarið var staðsett sem næst þessari meintu sprungu í grennd við húsið. Hún var þó bæði kaldari og þéttari en vonir höfðu staðið til og hitti ekki á jarðhitasprunguna. Holan var 204 m á dýpt og botnhiti reyndist 71°C. Dýpi á grunnvatn var um 30 m (Ræktunarsamband Flóa og Skeiða, 2008).

Staðsetning hitaholu og borun hennar

Það svæði sem álitlegast er að bora í utan verndarsvæðis á Hveravöllum er á Breiðamel. Þar sýna gufur og jarðhitaummyndun að mikill hiti er undir. Vegarslóði að hesthúsum liggur meðfram svæðinu svo ekki þarf að gera sérstaka slóð á borstað. Þarna eru 30-35 m niður á vatnsborð og þar er vatnshiti 90-100°C. Hitauppstreymið er bundið við sprungu eða sprungur sem hitta þarf í. Talið er að sprungurnar séu sem næst lóðréttar. Bergið til hliðar við sprungurnar er þétt. Efst er farið í gegn um þunnt yfirborðslag af sundursoðnum jökulruðningi, þá er komið í hitaummyndað dílabasalt en síðan verður borað í móbergsmýndanir. Jarðlagaskipan neðar er óljós og lítt þekkt.

Bora skal holu sem næst ætlaðri hitasprungu. Miðað er við 100 m djúpa holu. Borholuna þarf jarðfræðingur að staðsetja að undangenginni athugun á vettvangi því mikilvægt er að hitta vel á sprunguna. Holan yrði í námunda við hnit X=473315, Y=485420 (mynd 7).

Á meðan á borverki stendur þarf að fylgjast með gerð jarðlaga sem borað er í og ummerkjum um sprungufyllingar o.fl. Einnig þarf að fylgjast með hita og rennsli úr holu. Í borlok þarf síðan að meta árangur með hita og afkastamælingu.



Mynd 7. Jarðvegshiti milli hverasvæðisins á Hveravöllum og Breiðamels. Jafnhitalínurnar gefa til kynna að sprunga tengi saman aðalhverasvæðið og hverina á Breiðamel.

Kalt vatn

Neysluvatn á Hveravöllum er allt undir áhrifum frá jarðhitanum. Gamalt vatnsból er í brekkunni ofan við Sæluhúsin. Árið 2005 var borað eftir köldu vatni nokkru austan ferðamannahúsanna. Holan nefnist VE-01 (45161) og var 24 m á dýpt. Vatnsöflunin tókst ekki sem skyldi því vatnshitinn er um 20°C, þó var sett dæla í holuna. Holan var dýpkuð í 102 m haustuð 2008 en ekki er vitað hvaða árangur það bar. Á mynd 9 sést hitastigið í holunni fyrir dýpkun. Hár hitastigull (> 300°C) kemur fram. Ljóst er að

mikil jarðhitaáhrif eru í grunnvatni á stóru svæði umhverfis aðalhverasvæðið. Fara þarf vel út fyrir hverasvæðið ef afla skal kalds vatns með borunum.

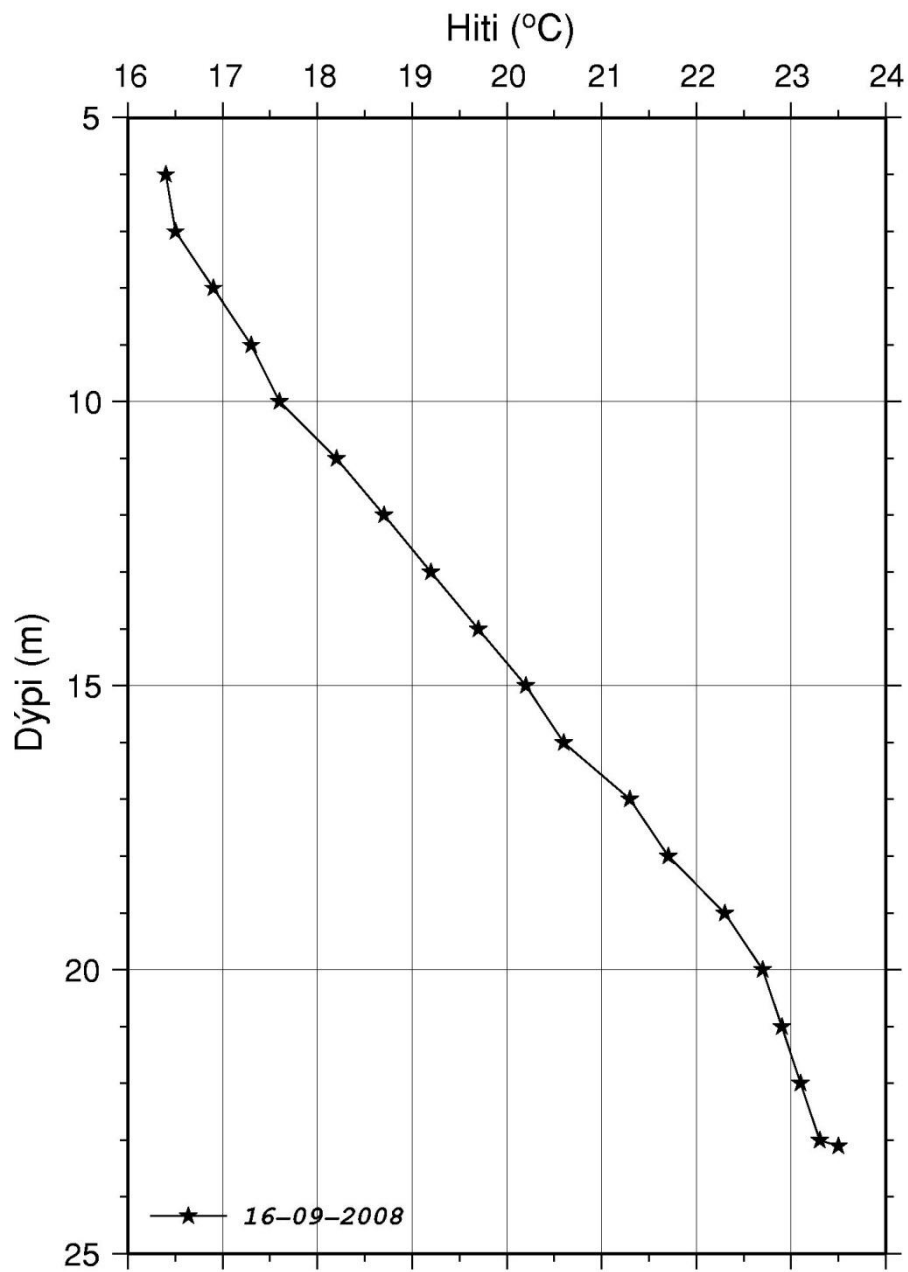
Hveravellir eru á vatnasviði lækjarins Þegjanda. Þegjandi er draglækur að stofni til en lindir eru þó við hann hér og þar. Efstu lindir hans koma undan nyrstu totum Kjalhrauns í Tjarnardölum. Þær kallast Þegjandalindir (mynd 8). Rennslið frá þeim var 30-40 l/s og vatnshitinn 2,2-2,3°C í ágúst 2004. Þetta eru einu umtalsverðu lindirnar sem koma undan norðurjaðri Kjalhrauns. Vatn Þegjandalinda er að uppruna til úrkoma sem fallið hefur á nyrstu og vestustu skækla Kjalhrauns og á móbergshlíðarnar þar um kring.

Í tengslum við rekstur tvenndarvélar þarf aðgang að kælivatni. Gert er ráð fyrir að kaldavatsþörfin ($< 10^{\circ}\text{C}$) sé um 5 l/s. Eins og fyrr getur þarf að leita út fyrir hverasvæðið eftir þessu vatni. Tveir staðir koma helst til greina. Annars vegar eru það Þegjandalindir. Lindirnar eru 2500 m vestur af Breiðamel og liggja um 20 m lægra í landinu. (Hnit: X=470420, Y=485797). Þar fæst öruggt og gott vatn til frambúðar fyrir Hveravelli. Hins vegar má að líkindum útbúa vatnsból neðar með læknum Þegjanda, þar sem hann tekur vinkilbeygju til norðurs, um 1000 m vestur af Breiðamel. (Hnit: X=472476, Y=485910). Þarna þarf annað hvort að grafa niður brunn í laus jarðlög við lækinn eða bora grunna holu. Í öllum tilvikum þarf að dæla vatninu að Breiðamel.



Mynd 8. *Þegjandalindir, upptakasvæði Þegjanda í Tjarnardölum.*

Hveravellir á Kili VE-01
Hveravellir
Austur-Húnavatnssýsla



Mynd 9. Hiti í neysluvatnsholu á Hveravöllum.

Fýsileiki og tillögur að tvenndarstöð

Tvenndarstöð þarf heitt vatn og kælingu til að hin lokaða hringrás vélarinnar geti knúið hverfilinn og framleitt raforku. Hveravallafélagið hefur fengið tilboð frá Ræktunarsambandi Flóa og Skeiða, dagsett 30. mars, í borun tveggja holna, heitrar og kaldrar. 100 m djúp heit hola er talin kosta 2,5 milljónir og 30 m köld hola 600 þúsund krónur. Með flutningi en án borplans og fæðis- og húsnæðiskostnaðar starfsmanna borsins er heildarupphæðin um 3,6 milljónir króna. 50 kW tvenndarvél, samkvæmt umræðu hér fyrir ofan, gæti kostað um $50 \text{ kW} * 3000 \text{ \$/kW} = 150.000 \text{ \$}$, sem er á gengi dagsins 10.maí 19,2 milljónir króna. Húsnæði fyrir stöðina ásamt tengdum raf- og vatnslögnum gæti kostað um 5 milljónir króna. Vinna við hönnun og smíði, ásamt kostnaði við aðkomu nemanda sem væri í samskiptum við GFZ-Potsdam er metinn á um 5 milljónir króna.

Vegna þeirrar óvissu sem borun fylgir og að hér skuli vera um fyrstu samsetningu tvenndarvélar á hálendi Íslands að ræða verður að telja að kostnaður við verkefnið í heild sinni fari varla undir 35 milljónir króna.

Heimildir

- Árni Hjartarson og Guðjón Eyjólfur Ólafsson (2008). *Hveravellir á Kili. Borun á lóð Veðurstofu*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-08090
- Árni Hjartarson og Magnús Ólafsson (2005). *Hveravellir. Könnun og kortlagning háhitasvæðis*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2005/014.
- Arnór Karlsson (2001). *Á Kili*. Árbók Ferðafélags Íslands 2001, bls. 6-183.
- Frick, S., Kranz, S. og Saadat, A. (2010). *Holistic Design Approach for Geothermal Binary Power Plants with Optimized Net Electricity Provision*. World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia.
- Ragna Karlsdóttir og Arnar Már Vilhjálmsson (2006). *Hveravellir. TEM-mælingar 2006*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2006/049
- Ræktunarsamband Flóa og Skeiða (2008). *Hveravellir á Kili. Borun hitaholu*.
- Stjórnartíðindi B nr. 217/1975.