

Faculty of Business and Science

Department of Science



TS08:04-Raunvísindaskor

September 2008

**Jarðhiti á Peistareykjum
Möguleg áhrif virkjunar á jarðhitasvæðið**

Axel Björnsson



**Háskólinn
á Akureyri**
University
of Akureyri

**Viðskipta- og raunvísindadeild
Háskólans á Akureyri**
Raunvísindaskor

Efnisyfirlit

	Bls.
Meginniðurstöður - Samantekt	1
1. Inngangur	2
2. Eðli jarðhitasvæða – háhiti og lághiti	2
3. Náttúrulegar breytingar á hveravirkni og rennsli jarðhitavatns	3
4. Áhrif virkjana á jarðhitavirkni á yfirborði	5
5. Þeistareykir - jarðfræði og jarðhiti	7
6. Þeistareykir – eftirlit með breytingum á jarðhita	7
7. Niðurstöður – umræður	10
Heimildir	11

Höfundur:

Axel Björnsson, prófessor
Háskólinn á Akureyri
Borgir - Norðurslóð
600 Akureyri
s. 8951530
ab@unak.is

Útgefandi:

Viðskipta- og raunvísindadeild Háskólans á Akureyri
Raunvísindaskor
Útgáfuár: 2008
ISSN: 1670–7931
Vefútgáfa: www.unak.is/taekniskyrslur

Meginniðurstöður - samantekt

Verulegar breytingar verða á jarðhitasvæðinu á Þeystareykjum frá ári til árs af náttúrulegum ástæðum, einkum vegna árstíðaskipta, breytilegrar úrkomu og tíðarfars. Þetta á jafnt við um gufuaugu, brennisteins- og ummyndunarskellur svo og leirhveru og laugar. Einnig hafa mælst verulegar breytingar á yfirborði og á djúphita sem væntanlega tengjast jarðskjálftavirkni og landhreyfingu.

Búast má við að einhverjar breytingar verði á hverum og laugum þegar farið verður að bora fleiri holur og nýta svæðið. Það er erfitt að segja til um það fyrirfram hve miklar þær breytingar gætu orðið. Sum jarðhitasvæði hafa lítið sem ekkert breyst þrátt fyrir verulega nýtingu í áratugi. Á öðrum svæðum hefur orðið umtalsverð aukning á hveravirkni vegna þrýstilækkunar og aukinnar suðu efst í jarðhitakerfinu. Þessar breytingar eru svipaðar og verða við stærri jarðskjálfta eða eldsumbrot.

Hitagjafi jarðhitakerfisins á Þeystareykjum er væntanlega kólnandi innskot og /eða gangar með sömu stefnu og misgengi og sprungur hafa á yfirborði. Jarðfræði svæðisins bendir til að ekki sé stórt kvikuhólf undir svæðinu líkt og við Kröflu. Við slíkar aðstæður mætti frekar búast við að nokkur niðurdráttur verði í jarðhitakerfinu við vinnslu og að niðurdrátturinn tengist einstökum sprungum. Við það gæti myndast gufupúði og aukin jarðhitavirkni á yfirborði líkt og orðið hefur á Reykjanesi. Ef lekt í svæðinu er mikil og mikið rennsli gæti það hamlað gegn breytingum á hverum og laugum.

Telja verður að breytingar á hverasvæðinu vegna virkjunar verði vart meiri en búast má við vegna náttúrulegra orsaka eins og jarðskjálfta og verði jafnvel verulega minni eða svipaðar árstíðabundnum sveiflum.

Til þess að fylgjast með jarðhitasvæðinu mætti kortleggja og mynda valin jarðhitaummerki nákvæmlega og fylgst reglulega með breytingum frá ári til árs. Einnig mætti mynda, hitamæla og taka valin sýni úr nokkrum gufuaugum og laugum til að fylgjast reglulega með hugsanlegum breytingum. Þessar athuganir þyrfti í fyrstu að gera oft á ári til þess að fá yfirsýn yfir miklar árstíðabundnar breytingar en síðar mætti fækka athugunum niður í árlegar athuganir sem gerðar yrðu við svipaðar veðurfarslegar aðstæður í hvert sinn.

1. Inngangur

Í apríl 2008 óskaði Landsvirkjun eftir því að sérfræðingar Háskólans á Akureyri á sviði jarðhitafræða könnuðu tiltæk gögn um hveravirkni og ummerki um jarðhita á jarðhitasvæðinu að Þeistareykjum. Sérstaklega var óskað eftir því að tekið yrði saman yfirlit um umtalsverðar náttúrulegar breytingar sem hafa orðið á jarðhita og jarðhitaummerkjum á hverasvæðinu við Þeistareyki undanfarin ár. Jafnframt er þess ósakað að reynt verði að meta hver áhrif boranir og virkjun á svæðinu muni hafa á hverri og laugar á yfirborði.

Ekki er spurt beint um áhrif borana og rekstur virkjunar á Þeistareykjum á djúpkerfið undir háhitasvæðinu. Þessir hlutir eru þó að nokkru tengdir og ekki unnt að skilja þá alveg að. Í þessari skýrslu verður þó áhersla lögð á að svara spurningunum um áhrif virkjunar á jarðhitavirkni á yfirborði eins og óskað er eftir.

Jarðhitasvæði og jarðhitakerfi eru flókin náttúruvyrirbæri og engan vegin að fullu þekkt þó þekking á eðli þeirra hafi aukist verulega síðustu áratugin. Auk þess má segja að engin tvö jarðhitasvæði/jarðhitakerfi séu nákvæmlega eins. Upplýsingar um margslungið eðli jarðhitasvæða er ekki að finna aðgengilegar almenningi, ráðamönnum og sérfræðingum á einum stað. Það er því ofureðlilegt að oft sé varpað fram spurningum um eðli jarðhitasvæða sem engin svör virðast við. Í þessari skýrslu verður því fyrst reynt að gefa stutt yfirlit um helstu meginatriði er ráða eðli jarðhitavirkni hér á landi og hvernig boranir og vinnsla hefur haft áhrif á jarðhitavirkni.

Farið hefur verið yfir öll helstu tiltæk gögn um jarðhitasvæðin á Þeistareykjum, þau metin og dregnar ályktanir um möguleg áhrif virkjunar á þessi svæði. Niðurstöður eru birtar í þessari skýrslu. Vitnað er til heimilda í texta, en lista yfir notaðar heimildir er að finna aftast í skýrslunni.

2. Eðli jarðhitasvæða – háhiti og lágthiti

Jarðhitasvæðum á Íslandi er skipt í tvo ólíka meginflokka, lágthitasvæði og háhitasvæði. Sjá t.d. samantekt í skýrslu Orkustofnunar (Axel Björnsson, 1990).

Lágthitasvæði einkennast af laugum og hverum þar sem hitastig er á bilinu 15-100 °C. Vatnið er regnvatn sem rennur niður á 1-4 km dýpi eftir sprungum í jarðskorpunni, hitnar og leitar síðan upp til yfirborðs. Þessi staðbundna hringrás tekur varma úr berginu á miklu dýpi (1-4 km) og flytur hann til efri jarðlaga. Varmagjafinn er því ekki annar en sá varmi sem er í berginu á hverjum stað þar sem hringrás vatnsins verður. Hitastig vatnsins á 1 km dýpi er yfirleitt lægra en 150°C. Jarðhitavatnið inniheldur lítið gas og leysir ekki upp verulegt magn efna úr berginu. Lágthitavatn er því efnasnautt og yfirleitt hæft til neyslu og í hitaveitur án meðhöndlunar. Hitastig og rennsli á lágthitasvæðum ræðst af hitastigli (aukningu hita með dýpi) og lekt jarðlaga. Öflugustu lágthitasvæðin eru nálægt jöðrum gosbeltanna, t.d. í Mosfellssveit og Reykjahverfi þar sem hitastigull er hár og lekt mikil.

Háhitasvæðin einkennast m.a. af gufuaugum, leirhverum, brennisteinsútfellingum og sjóðandi vatnshverum á yfirborði. Vatnið er í flestum þeirra (utan Reykjanesskagans), eins og í lágthitasvæðunum, regnvatn sem hringrásar í sprungum en meginhitagjafinn eru kólnandi kvikuinnskot á fárra km dýpi í jarðskorpunni. Háhitasvæðin eru því öll tengd eldstöðvum innan

gosbelta landsins eða kólnandi innskotum nærri jöðrum þess. Hitastigið fylgir gjarnan suðumarksferli og er því um eða yfir 300°C á 2 km dýpi og mun hærra nær hitagjafanum. Vegna háshitastigs og innihalds súrra kvikugasa leysir vatnið upp verulegt magn efna úr berginu. Gasið kemur úr kólnandi kvikunni. Yfirleitt er vatnsborð á nokkurra tuga metra dýpi á háhitasvæðunum innan gosbeltisins. Í efsta hluta jarðhitakerfisins sýður gjarnan djúpvatnið og leita þá gufur upp til yfirborðs. Gufustreymið getur myndað gufuaugu á yfirborði. Einnig þéttist gufan og blandast þéttivatnið regnvatni í þéttum jarðlögum næst yfirborði og myndast þá leirhverir. Gastegundir úr kvikunni gera vatnið tærandi og veldur suða leirmyndun í leirhverum. Einnig falla út efni eins og brennisteinn, sem ættaður er úr kvikugasinu. Þar sem djúpvatn nær að streyma til yfirborðs einkennast háhitasvæði af heitum og/eða sjóðandi hverum. Dæmi um slík svæði er Geysissvæðið og Hveravellir á Kili. Eðli hveravirkinnar á yfirborði ræðst einkum af stöðu grunnvatnsborðs yfir jarðhitakerfinu og lekt sprungna sem leiða gufu upp til yfirborðs.

3. Náttúrulegar breytingar á hveravirkni og rennsli jarðhitavatns

Það er vel þekkt að náttúrulegar breytingar verða á jarðhitavirkni frá einum tíma til annars á jarðhitasvæðum sem ekki eru nýtt. Þessar breytingar má greina með því að bera saman lýsingar í sögulegum heimildum um virkni á mismunandi tíma og eins sýna magntækar mælingar og athuganir sem gerðar hafa verið reglulega á mörgum jarðhitasvæðum marktækar breytingar. Þessar breytingar geta verið hægfare breytingar á árum eða áratugum, árssveiflur, eða skyndilegar breytingar nánast frá degi til dags og þá oft í tengslum við eldgos, jarðskjálfta eða hreyfingar á sprungum. Því miður hefur upplýsingum um náttúrulegar breytingar á hveravirkni ekki verið haldið til haga sem skyldi frá því að nýting jarðhita hófst hér á landi. Því verður oft að styðjast við óljósar frásagnir, annála, ferðalýsingar, ljósmyndir og fjölmiðla við mat á breytingum af þessu tagi. Á árunum 1991-1997 gerði Orkustofnun reglubundnar athuganir á nokkrum ónýttum háhitasvæðum, m.a. í Kverkfjöllum, Þeistareykjum og Krísuvík (Hrefna Kristmannsdóttir, 1997; Halldór Ármannsson o.fl., 2000). Niðurstöður þessara athugana sýna umtalsverðar breytingar frá ári til árs.

Langflest **lághitasvæði** eru nokkuð stöðug. Þó má ætla að eitthvað dragi úr afli þeirra á áratugum og öldum þegar sprungur þéttast af útfellingum og vatnsleiðni minnkar. Þetta hefur þó ekki verið staðfest með beinum mælingum. Hins vegar eru mörg dæmi um að afl lághitasvæða hafi aukist við jarðskjálfta, hitastig hækkað og rennsli aukist þegar sprungur hreyfast og opnast á ný. Bestu dæmin um þetta eru breytingar á lághitasvæðum á Suðurlandi í kjölfar Suðurlandsskjálftanna sumarið 2000 og 2008 og miklar breytingar á rennsli úr borholum að Bakka í Ölfusi í jarðskjálftum 1998.

Breytingar á **háhitasvæðum** eru fjölbreytilegri og tíðari en á lághitasvæðum. Þær helstu eru:

- Hægfare rénun jarðhitavirkni á yfirborði sem stafar af útfellingum í sprungum og kólnun innskota á litlu dýpi. Kaldar ummyndunarskellur og kalt hverahrúður sem víða er að finna eru góð dæmi um rénun jarðhitavirkni eða horfinn jarðhita. Sem dæmi má nefna köld ummerki virkra hvera skammt norðan Geysis og eins Hvíthóla sunnan stöðvarhúss Kröfluvirkjunar, sem Jónas Hallgrímsson kallaði Selhitur, kenndar við selið Skarðssel. Þessar hitur voru kólnaðar með öllu um miðja síðustu öld.

- Breytingar verða á virkni leirhvera og gufuaugna, oft frá ári til árs. Hér er það staða grunnvatnsborðs og magn jarðvatns í yfirborðslögum sem ræður mestu um eðli og útlit jarðhitavirkni á yfirborði. Grunnvatnsborð getur breyst um metra á fáum árum og sveiflast verulega frá ári til árs. Nái það til yfirborðs verða til vatnshverir, falli vatnsborðið niður á einhverra metra eða tugi metra dýpi geta vatnshverir breyst í leirhverir og leirhverir í gufuaugu eða ummyndunar- og útfellingaskellur. Alþekkt er einnig að leirhverir flytji sig um set þ.e. gamlir deyi út og nýir myndist á sama jarðhitasvæði. Vitað er um mörg dæmi slíkra breytinga t.d. frá Krísuvík, í Hverum austan Námafjalls (Hverarönd) og við Kröflu. Fyrir nokkrum árum var greint í fréttum frá umtalsverðum breytingum á hverum í Kverkfjöllum. Samanburður á jarðhitaummerkjum á korti af Hverum sem gert var fyrir 50 árum og virkninni í dag sýnir allnokkrar breytingar. Þessar yfirborðsbreytingar má væntanlega að mestu rekja til tíðra breytinga á vatnsborði, til mismikillar staðbundinnar úrkomu og til breytinga á uppstreymisrásum gufu vegna útfellinga og leirmyndunar.
- Breytingar verða á yfirborðsvirkni háhitasvæða vegna jarðskjálfta á svipaðan hátt og á lághitasvæðum. Dæmi um slíkt er myndun nýrra hvera á Reykjanesi árið 1968 og aukin virkni í Geysi eftir Suðurlandsskjálftana 2000. Nýjasta dæmið er umtalsverð aukning í hveravirkni norður af Hveragerði eftir Suðurlandsskjálftann 29. maí 2008. Hverir og önnur jarðhitaummerki höfðu verið ljósmynduð nokkrum dögum fyrir skjálftann og aftur var farið á staðinn daginn eftir skjálftann og teknar nýjar myndir (Kristján Jónasson og Sigmundur Einarsson, 2008). Sjá mynd 1 sem er úr þessu myndasafni. Reyndar hittist þannig á að allar myndirnar á þessari heimasíðu eru frá tilteknu svæði norðvestur af skjálftamiðjunni. Virkni í hverum og laugum suðvestur af skjálftamiðjunni minnkaði hins vegar. Þetta er eðlilegt þar sem þrýstingur í jarðlögum ýmist vex eða minnkar í grennd við skjálftamiðju. Þrýstimynstrið sem myndast ræðst af brotlausn skjálftans.
- Breytingar verða við eldvirkni og kvikuinnskot inn í jarðhitakerfi. Við eldgos ryðst kvika oft upp í sprungur á lítið dýpi þó hún berist ekki til yfirborðs. Einnig opnast gamlar sprungur og nýjar myndast, einkum við sprungugos í gliðnunarbeltum landsins. Hvoru tveggja, efldur hitagjafi og aukin lekt, veldur aukningu á jarðhitavirkni á yfirborði. Gott dæmi um þetta er mikil aukning hveravirkni í Bjarnarflagi árið 1977 er kvika hljóp tvisvar neðanjarðar frá Kröflu suður í Bjarnarflag (Axel Björnsson, 1985). Nokkurt gjall kom upp um eina borholuna (Axel Björnsson og fl., 1978). Grunnvatn sem rann til suðurs og vesturs frá jarðhitasvæðinu hitnaði um 15 - 20 °C í Grjótagjá og Stórugjá. Síðan hefur grunnvatn á þessum slóðum farið hægt kólnandi.
- Umbrot með eldgosum, gliðnun og skjálftavirkni eru ekki stöðug á háhitasvæðunum. Umbrotin verða gjarnan í stuttum hrinum sem vara nokkur ár en á milli eru róleg tímabil sem vara öld eða einhverjar aldir. Stærri jarðskjálftahrinur á Suðurlandi og í Tjörnesbrotabeltinu verða einnig á um það bil einnar aldar fresti. Í umbrotahrinunum lifnar jarðhitinn við en á rólegu tímabilunum dregur jafnt og þétt úr virkninni og getur hún horfið að mestu. Dæmi um þetta er minnkandi hveravirkni í Bjarnarflagi og við Hvíthóla sunnan Kröfluvirkjunar eftir lok Mývatnselda á fyrsta hluta 18. aldar og fram að Kröflueldum sem hófust 1975 (Axel Björnsson, 2001). Sem dæmi má nefna að gufubað sem byggt var um 1940 norðan í Jarðbaðshólum lagðist af skömmu fyrir 1970 þegar gufuna þvarr (Snæbjörn Pétursson, munnl. uppl.). Í Kröflueldum hitnaði grunnvatn sunnan Bjarnarflags (í Grjótagjá) úr um það bil 40°C og mældist 60°C síðla árs 1978. Síðan hefur vatnið kólnað um einar 16°C og fer hægt kólnandi (Axel Björnsson, 2001).

Af þessu yfirliti verður að draga þá ályktun að náttúrulegar breytingar jarðhitavirkni á háhitasvæðum verða oft verulegar á skömmum tíma og geta einnig breyst hægt og rólega á nokkrum mannsöldrum. Það getur því reynst vandamt verk að greina í sundur náttúrulegar breytingar

og breytingar sem stafa af vinnslu jarðvarma úr tilteknu jarðhitasvæði. Þess ber einnig að geta að engin tvö háhitasvæði eru nákvæmlega eins. Það fer því eftir eðli hvers svæðis hverjar og hve miklar breytingarnar verða.



Mynd 1:

Gufuauga í þornuðum hver fyrir skjálftann Sami staður, rauður leirhver eftir skjálftann. við Hveragerði árið 2008
(Kristján Jónasson og Sigmundur Einarsson, 2008).

4. Áhrif virkjana á jarðhitavirkni á yfirborði

Boranir á jarðhitasvæðum og vinnsla jarðhitavatns og/eða gufu úr jarðhitakerfinu hefur oft veruleg áhrif á jarðhitavirkni á yfirborði. Sjá t.d. tilvitnanir (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1995; 1996). Hér verður þó að gera greinarmun á lág- og háhitakerfum.

Á **lág**hitasvæðum er jarðhitavatni yfirleitt dælt með djúpdælum úr 500 – 2000m djúpum borholum. Við það lækkar vatnsborð í jarðhitageyminum, oft um tugi eða hundruð metra og það nær nýrri stöðu sem er háð því hve miklu magni er dælt. Reynslan sýnir að með dælingu er oft unnt að tífalda jafnvel hundruðfalda afköst svæðisins miðað við upprunalegt náttúrulegt rennsli. Við niðurdrátt vatnsborðsins hverfa hins vegar oft flestar ef ekki allar laugar og volgrur í næsta nágrenni jarðhitasvæðisins. Laugar á jöðrum þess eða skammt utan þess geta þó haldist óbreyttar. Sé dælingu hætt hækkar gjarnan aftur í borholunum og laugarnar koma fram á ný. Þessi staða ríkir á flestum lághitasvæðum sem nýtt eru af hitaveitum landsins. Sem dæmi má nefna Reyki í Mosfellssveit og Laugaland í Eyjafirði þar sem all flestar laugar hafa horfið vegna vinnslu. Verði niðurdráttur og dæling of mikil getur kalt grunnvatn, eða kaldara jarðhitavatn, flætt frá hliðunum eða að ofan inn í jarðhitakerfið og truflað eða stöðvað hringrás jarðhitavatnsins. Slíkrar kælingar hefur aðeins orðið vart á nokkrum lághitasvæðum þar sem niðurdráttur er mikill eins og t.d. í Elliðaárdal (Jens Tómasson, 1988) og á Selfossi (Jens Tómasson o.fl., 1981). Það er því mikilvægt að fylgjast stöðugt með niðurdrætti, hitastigi og efnasamsetningu vatnsins í lághitakerfum sem dælt er úr til þess að tryggja sem besta og lengsta nýtingu kerfisins.

Á **há**hitasvæðum er staðan nokkuð önnur og flóknari. Þegar vatn og gufa streymir upp úr djúpum borholum á háhitasvæði lækkar þrýstingur í jarðhitageyminum. Það fer síðan eftir aflí og stærð geymisins hve mikil þrýstingslækkunin er. Á takmörkuðum litlum svæðum ætti

lækkunin að verða meiri en á stærri öflugum háhitasvæðum. Flest háhitakerfin eru svokölluð sjóðandi kerfi, þ.e. lækkun hitastigs með dýpi fylgir suðumarksferli. Vinnsla á þessum svæðum er stillt þannig í hóf að þrýstislækkun á ári fari ekki yfir tiltekið mark þannig að sem best nýting fái út úr kerfinu. Sjá t.d. Guðni Axelsson o.fl. (2005). Þegar vinnsluholur dala með tíma eru boraðar viðbótarholur til að halda afköstum virkjunar á svæðinu. Oft er miðað við 50 ára hagkvæman nýtingartíma sem er lengri tími en ending véla og búnaðar. Eitt háhitasvæði í vinnslu, Svartsengi, er ekki sjóðandi þ.e. hitastig nær ekki suðumarki. Við niðurdrátt og vinnslu í nokkur ár lækkaði hins vegar vatnsborðið, þrýstingur lækkaði, suða hófst og gufupúði myndaðist í efri hluta kerfisins. Á svipaðan hátt hefur myndast gufupúði með háan þrýsting efst í jarðhitakerfinu á Reykjanesi vegna borana og vinnslu jarðhita fyrir virkjunina. Þetta hefur orðið til þess að hveravirkni hefur aukist mikið á yfirborði eins og fram hefur komið í fréttum af Gunnhver síðustu árin. Í Svartsengi hefur orðið vart tímabundins innstreymis kalds grunnvatns. Frekar ólíklegt er að kalt grunnvatn sem streymir að ofan eða frá hliðunum geti haft veruleg áhrif á stærri sjóðandi háhitakerfin sé vinnsla stillt í hóf eins og nauðsynlegt er til að ná sem mestri hagkvæmni. Háhitakerfin eru mun stærri en lághitakerfin og það tekur hundruð ára að kæla stór kvikuinnskot í megineldstöðvum landsins. Líftími megineldstöðva er nokkur hundruð þúsund ár og má búast við kvikuinnskotum á fárra hundruð ára fresti inn í rætur jarðhitakerfa í eldstöðinni. Á háhitasvæðum í vinnslu er engu að síður fylgst reglulega með þrýstingi í jarðhitageyminum og með efnainnihaldi vatns og gufu til að tryggja sem besta nýtingu og lengsta endingu kerfisins. Þessar mælingar hafa sýnt einhverja aukningu á innstreymi kaldara vatns á nokkrum svæðum. Það er þó ekki meira en búast má við þegar vinnsla hefst og hringrás í kerfinu eykst.

Áhrif þrýstingslækkunar í djúpkerfinu á jarðhitavirkni á yfirborði eru hins vega gjörólík á háhitasvæðum og lághitasvæðum. Þegar vatnsborð djúpkerfisins lækkar í háhitasvæði vegna vinnslu þá lækkar þrýstingur og hitastig hækkar, þar sem hiti vex með dýpi. Þetta veldur aukinni suðu og gufumyndum. Meiri gufa streymir upp til yfirborðs þar sem gufuaugu og leirhverir verða öflugri og nýjir geta myndast. Dæmið um þetta er Hvíthólasvæðið sem getið er hér að framan. Þegar borað var á svæðinu til þess að afla gufu fyrir Kröfluvirkjun, lækkaði þrýstingur í djúpkerfinu og suða hófst við vinnsluholurnar og við það mynduðust nýjir gufu- og leirhverir. Reyndar kviknaði jarðhiti á þessu svæði við upphaf Kröfluelda og Selhitur Jónasar Hallgrímssonar komu þá aftur í ljós. Það ræðst af stærð svæðisins hve þrýstingslækkun og/eða niðurdráttur verður mikill. Á litlum og afmörkuðum svæðum gæti orðið meiri niðurdráttur og þar af leiðandi meiri aukning á yfirborðsvirkni. Á stærri svæðum þar sem þrýstingur helst nokkuð stöðugur þrátt fyrir vinnslu er ekki að búast við verulegum breytingum á yfirborðsvirkni vegna vinnslunnar.

Þegar litið er yfir þau háhitasvæði sem nú eru í vinnslu og reynt að meta breytingar á yfirborðsvirkni kemur í ljós að breytingarnar eru annað hvort litlar sem engar eða einhver aukning í virkni. Hvergi hefur dregið úr virkni á yfirborði háhitasvæðis vegna borana og vinnslu. Á vinnslusvæðum Kröfluvirkjunar hafa ýmsar breytingar orðið á yfirborðsvirkni eftir að vinnsla hófst, aukning á sumum stöðum og minnkun á öðrum. Sumar þessara breytinga má rekja til eldsumbrota (Ásgrímur Guðmundsson m. uppl.). Það er hins vegar athyglisvert að engar stórfeldar breytingar hafa orðið á þessum slóðum, í líkingu við aukningu í hveravirkni sem varð á árunum 1939-1944 (Ólafur Jónsson, 1946), þrátt fyrir óvenju umfangsmiklar boranir. Á sama tíma hafa orðið umtalsverðar breytingar á Þeistareykjasvæðinu, m.a. hverir horfið og nýir myndast og virknin flust til, en þar hafði ekki verið borað (Hrefna Kristmannsdóttir, 1997). Á Hvíthólasvæði mynduðust nýir hverir við boranir eins og nefnt var hér að framan. Í Bjarnarflagi hefur ekki orðið vart þrýstingslækkunar nema í næsta nágrenni vinnsluholanna þrátt fyrir allumfangsmikla jarðhitavinnslu í ein 26 ár (Ásgrímur Guðmundsson,

1999; Gestur Gíslason, 1999). Á Nesjavallasvæðinu höfðu árið 1999 ekki orðið neinar marktækar breytingar á gufuaugum og hverum þrátt fyrir miklar boranir (Gestur Gíslason, 1999). Frá 2000 hefur þó orðið vart við einhverja aukningu í hveravirkni á yfirborði (Gestur Gíslason, munnl. uppl.). Í Svartsengi hefur orðið talsverð þrýstingslækkun enda svæðið afmarkað og frekar lítið. Þrýstilækkun hefur aukið gufu efst í jarðhitakerfinu og yfirborðsummerki eru orðin nokkur en voru hverfandi áður en boranir hófust.

5. Þeistareykir –jarðfræði og jarðhiti

Í gosbeltinu á NA-landi eru fjögur viðamikil eldstöðvakerfi. Hvert kerfi er gert úr megineldstöð þar, sem eldvirknin er mest. Í gegnum hverja megineldstöðina liggur sprungurein með gjám og misgengjum sem gengur frá suðri til norðurs. Þessi kerfi eru kennd við Þeistareyki, Kröflu, Fremrinámur og Öskju. Í eldstöðvakerfunum Kröflu og Öskju eru kvikuþrær undir megineldsröðunum sem eru meginhitagjafinn og í sprungureinum þeirra verður mest gliðnunin í gosbeltinu. Undir megineldstöðvunum Þeistareykjum og Fremrinámum eru ekki merki um grunnstæð kvikuhólf og hitagjafinn er væntanlega minni innskot eða gangar í skorpunni úr dyngjubasalti (ólivínþóleíti). Norðurendi sprungureinanna endar í Tjörnes-brotabeltinu norðan Þeistareykja og í Öxarfirði (Kristján Sæmundsson, 2007)

Á Þeistareykjum hefur einungis gosið dyngjubasalti eftir að ísöld lauk. Flest gosin urðu skömmu eftir lok ísaldar (yngri en 10.000 ár). Elstu hraunin eru alsett misgengjum og sprungum einkum vestantil á svæðinu. Austurhluti svæðisins á milli Tjarnaráss og Ketilfjalls er mun minna sprunginn. Síðasta gos á Þeistareykjum varð þar fyrir um 2500 árum og þá rann Þeistareykjahraun, sem er nálægt miðju sprungureinarinnar vestan Tjarnaráss. Það hraun er lítið sprungið. Jarðhitasvæðið er í norðurhlíðum Bæjarfjalli og á Þeistareykjum (bæjarstæðinu) norður af fjallinu og nær frá Ketilfjalli í austri og vestur fyrir Tjarnarás. Það einkennist af leirhverum, gufuaugum og brennisteinsútfellingum. Kaldar ummyndunarskellur teygja sig til norðurs frá virka svæðinu. Austan Tjarnaráss er gufstreymi upp úr nýjasta hrauninu. Heildarflatarmál jarðhitasvæðisins þar sem merkja má hita og ummyndun á yfirborði er um 7-8 km² (Kristján Sæmundsson, 2007). Greinilegt er að jarðhitinn er tengdur norður-suður sprungum og misgengjum. Sjá mynd 2 sem er hluti korts eftir Kristján Sæmundsson (2007). Aðeins eru til heimildir um tvær umbrotahrinur á Þeistareykjum á sögulegum tíma. Árið 1618 er greint frá jarðskjálftum sem stóðu í nokkra mánuði og sprunguhreyfingum á austanverðu Tjörnesi. Árið 1885 varð jarðskjálfti af stærðinni 6 á mótum Tjörnesbrotabeltisins (Húsavíkurmisgengi) og sprungureinarinnar við Þeistareyki (Kristján Sæmundsson, 2007).
















6. Þeistareykir – eftirlit með breytingum á jarðhita

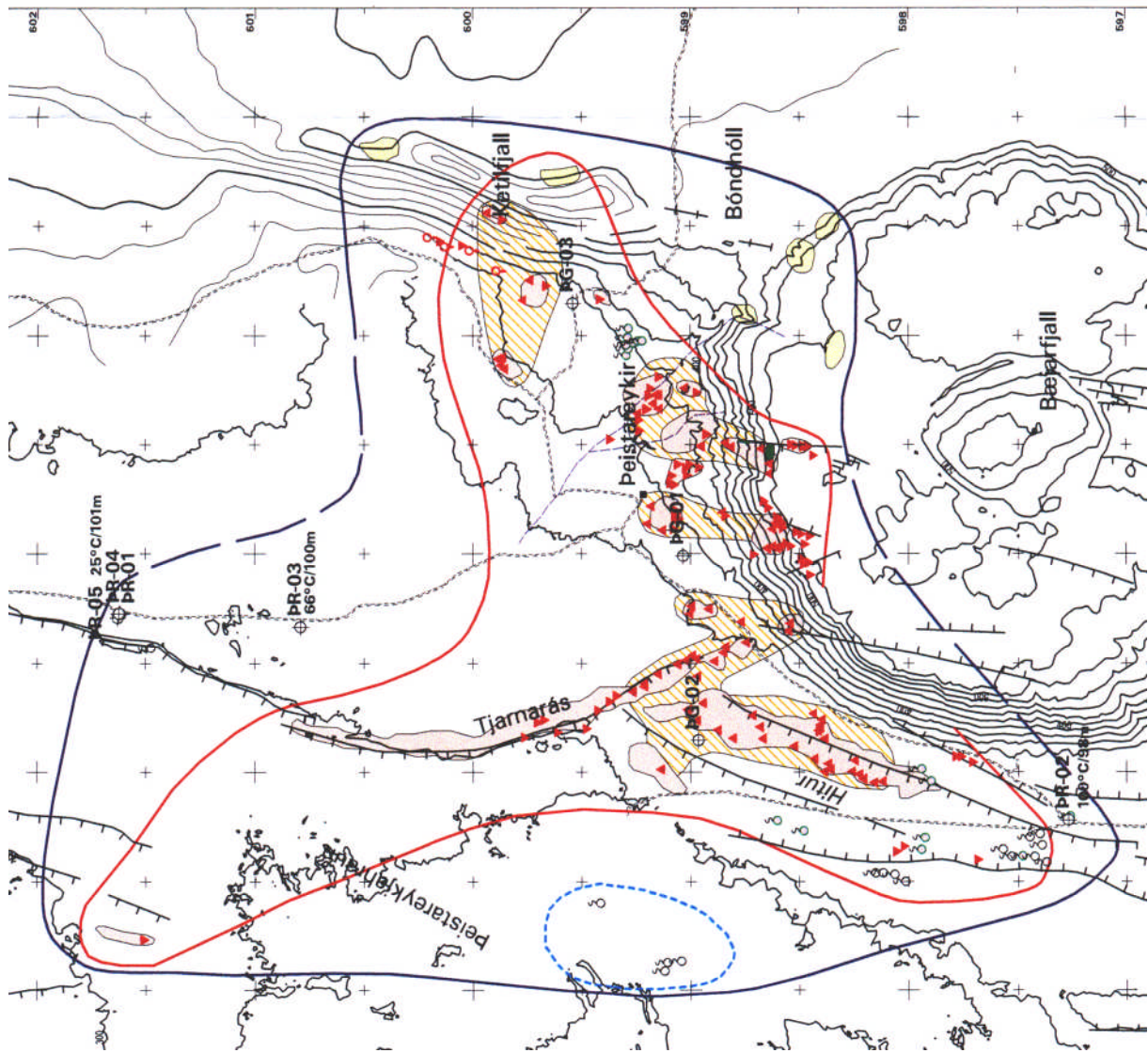
Snemma á áttunda áratug síðustu aldar hóf Orkustofnun kerfisbundnar rannsóknir á jarðhitasvæðinu á Þeistareykjum. Fram að þeim tíma var svæðið nær ókannað. Niðurstöður voru birtar í allmörgum áfangaskýrslum næstu árin en umfangsmikil heildarskýrsla kom út 1984 (Gestur Gíslason o.fl., 1984). Þar er m.a. birt nákvæmt jarðfræðikort af svæðinu, sprungukort og nokkuð nákvæmt kort sem sýnir útbreiðslu og einkenni jarðhita og ummyndunar á yfirborði. Auk þess er þar að finna niðurstöður efnagreininga á vatni og gasi, viðnámsmælinga, þyngdarmælinga og segulmælinga.

peistareykir

Jarðhiti / Thermal activity

SKÝRINGAR / LEGEND

	Væg ummyndun Slightly altered ground
	Mikil ummyndun Highly altered ground
	Brennisteinshverasvæöl Solfatara area
	Gífls Gypsum deposit
	Misgengi og gjár Fault and open fissure
	Útmörk á mestu ummyndun Outer limit of highly altered ground
	Útmörk ummyndunar Outer limit of geothermal manifestations
	Gufusvæöl Steaming ground
	Laug Thermal spring
	Brennisteinshver Solfatara depositing sulphur
	Gufu- eða lauhver Fumarole or mudpool
	Gufufumur > 50°C Hot steam in reddend soil > 50°C
	Gufufumur < 50° Low temperature steam < 50°C
	Borhola (með nafni) Borehole (with name)
	Hiti í vatnsborði Temp. at water level



Mynd 2: Hluti jarðhitakorts af Peistareykjum eftir Kristján Sæmundsson (2007). Tekið úr skýrslu Landsvirkjunar um mat á jarðvá á norðausturlandi (Axel Björnsson o.fl. 2007).

Vorið 1991 var farin stutt könnunarferð og gerð lausleg athugun á yfirborðsummerkjum jarðhita (Halldór Ármannsson, 1991; Helgi Torfason 1992). Þá kom í ljós að yfirborðsummerki höfðu breyst töluvert frá árinu 1984. Jarðhiti hafði minnkað eða horfið alveg á nokkrum stöðum á Tjarnarássvæðinu og greinileg kólnun orðið þar á yfirborði. Gassýni voru tekin á þremur helstu jarðhitasvæðunum, þ.e. við Ketilfjall, á Þeistareykjum (við bæjarstæðið) og í Tjarnarási og gashiti reiknaður á sama hátt og árið 1981, er sýni voru síðast tekin. Gashiti er vísbending um hitastig í jarðhitageyminum undir svæðinu. Í Tjarnarási hafði gashitinn lækkað um 50°C (310 → 260). Gashitinn hafði hins vegar hækkað á Þeistareykjum um 15°C (270 → 285) og um 20°C (270 → 290) við Ketilfjall (tölurnar eru hér rúnnaðar af). Það mætti því álykta að þarna hafi orðið umtalsverðar breytingar bæði á yfirborði og eins á djúphita innan jarðhitakerfisins, þ.e. kólnun vestanvert en hitnun í miðjunni og austanvet. Darling og Ármannsson (1989) hafa hins vegar bent á að fara verður með gát við túlkun á gashita. Breytilegur straumur kalds grunnvatns í efri jarðlögum yfir eða efst í jarðhitageyminum getur haft áhrif á niðurstöður djúphitanælinga til hækkunar eða lækkunar án þess að hiti í dýpra kerfinu breytist.

Til þess að fylgjast með þessum breytingum nánar var farið í sýnatökuferðir 1993, 1994 og 1995 og það ár var gefin út greinargerð með niðurstöðunum og samanburði mælinga einkum frá árunum 1994 og 1995 (Helgi Torfason og Halldór Ármannsson, 1995). Nokkrar breytingar mældust á milli ára en mun minni en á áratugnum 1981- 1991. Gufur höfðu minnkað á einhverjum stöðum en aukist á öðrum. Vatnsrennsli hafði einnig þrefaldast í Ketillaugum. Veður og snjóalag var ólíkt í sýnatökuferðunum 1994 og 1995 og telja höfundar greinargerðarinnar að breytingarnar megi jafnvel skýra með mismunandi veðurfari. Niðurstöður efnagreininga sýna úr þessum ferðum eru til í gagnagrunni ÍSOR en þær hafa ekki verið túlkaðar frekar eða birtar í skýrslum (Upplýsingar frá Ásgrími Guðmundssyni).

Hreinn Hjartarson framkvæmdastjóri Þeistareykja ehf hefur fylgst náið með jarðhitasvæðinu á Þeistareykjum frá því að undirbúningur framkvæmda hófst. Hann segir að hverir á svæðinu öllu og einkum á svæðinu norður af Bæjarfjalli sýni mjög miklar árstíðabundnar sveiflur, sem væntanlega ráðist að mestu af magni vatns í yfirborðslögum og/eða grunnvatnsstöðu. Dæmi eru um að hverir séu bullandi leirhverir á vorin og fram á sumar en þorni að mestu og breytist í gufuhveri eða gufuaugu þegar kemur fram á haust eftir þurrt sumar (Hreinn Hjartarson, munnlegar upplýsingar). Það má því ætla að stopular athugunarferðir sem farnar eru á mismunandi árstíma og í breytilegri veðráttu gefi niðurstöður sem ráðast verulega af árstíðabundnum sveiflum og veðurlagi. Það er vart við því að búast að þær gefi glögga mynd af hugsanlegum langtímabreytingum.

Árið 1992 komu Orkustofnun, Hitaveita Reykjavíkur, Hitaveita Suðurnesja, Landsvirkjun og umhverfisráðuneytið á fót metnaðarfullu verkefni til að kanna umhverfisáhrif jarðhitánýtingar. Verkið átti að vera átaksverkefni til að koma á reglubundnu eftirliti með jarðhitasvæðum til lengri tíma litið. Uppgjör verkefnisins er í yfirlitsskýrslu (Hrefna Kristmannsdóttir, 1997) sem dregur saman það sem gert hafði verið og inniheldur góða heimildaskrá. Hins vegar fékkst sáralítið fé til mælinga og athugana á ónýttum háhitasvæðum þegar á reyndi. Ekki virðist hafa verið farin nema ein athugunarferð á Þeistareykji árið 1997 og þá dregið upp gróft kort sem sýnir í stórum dráttum breytingar á jarðhitasvæðinu á milli áruna 1983 og 1997 (Halldór Ármannsson o. fl., 2000). Þessar breytingar hafa væntanlega einkum orðið á árunum 1983- 1991 eins og lýst er hér að framan.

Það er ekki fyrr en árið 2007 að jarðhiti og ummyndun á Þeistareykjum er kortlögð á ný og þá í tengslum við mat á jarðvá sem unnið var vegna fyrirhugaðra virkjana á Norðausturlandi (Axel Björnsson o.fl., 2007). Kristján Sæmundsson (2007) gerði þá nákvæmt kort af jarðhitasvæðinu (sjá mynd 2). Þetta kort gefur mjög svipaða mynd af dreifingu jarðhitans og sýnd er á korti í yfirlitsskýrslu Orkustofnunar frá 1984 (Gestur Gíslason o.fl., 1984). Í stórum dráttum er dreifing jarðhitans svipuð en ef til vill hefur hveravirkni aukist í Tjarnarási síðan 1984. Mun fleiri einstakir hverir eru merktir inn á kort Kristjáns enda. Út frá yfirborðsummerkjum metur Kristján stærð svæðisins 7-8 km² en Gestur og félagar meta stærðina 10,3 km². Munurinn gæti legið í því að á eldra kortinu eru sýnd afbræðslusvæði sem einungis sjást í snjóföllum við hagstæðar aðstæður og/eða á innrauðum loftmyndum. Kortin bjóða ekki upp á nákvæman samanburð enda beinar mælingar á rennsli eða hitastigi ekki til á nákvæmlega sömu stöðum.

Þó eftirlitsmælingar á jarðhitabreytingum á Þeistareykjum hafi verið stoppar og væntanlega truflaða af árstíðasveiflum og hafi ekki verið fylgt nægjanlega vel eftir er engu að síður ljóst að umtalsverðar breytingar hafa orðið á svæðinu líkt og gerist á flestum öðrum háhitasvæðum. Árstíðabundnar sveiflur eru allmiklar og skyndilegar hitabreytingar gætu hafa átt sér stað frá ári til árs. Megindrættirnir í dreifingu jarðhita og ummyndunar eru þó þeir sömu nú og fyrir aldarfjórðungi.

7. Niðurstöður - umræða

Áður en unnt er að meta hugsanleg áhrif borana og vinnslu jarðhita á náttúrulega hver, laugar, ummyndun og önnur yfirborðseinkenni jarðhita á Þeistareykjasvæðinu er mikilvæst að reyna að átta sig á þeim náttúrulegu breytingum sem verða þar eins og á öllum háhitasvæðum hvort sem litið er til langs eða skamms tíma.

Þeistareykjasvæðið er frekar "rólegt" svæði. Þar hefur ekki gosið í 2500 ár, ekki hafa orðið miklir jarðskjálftar á svæðinu sjálfu en það liggur þó nærri mótum gosbeltisins á Norðausturlandi og Tjörnes-brotabeltisins þar sem miklir jarðskjálftar verða á nokkurra áratuga eða alda fresti. Meginhitagjafinn er væntanlega miklir gangar eða innskot úr ólivínríku basalti en ekki kvikuþró eins og á jarðhitasvæðinu við Kröflu.

Ekki eru til heimildir í annálum um umtalsverðar breytingar á hveravirkni á Þeistareykjum. Eftir að athuganir hófust á svæðinu upp úr 1970 hafa sést allnokkrar breytingar á jarðhitavirkninni. Eins og á öðrum háhitasvæðum eru verulegar árstíðabundnar sveiflur á hverum og gufuaugum sem stjórnast að mestu af breytilegri úrkomu og hæð staðbundins grunnvatns. Einnig komu á tíunda áratug síðustu aldar fram umtalsverðar breytingar í athugunum Orkustofnunar bæði hitnun á hluta svæðisins og kæling á öðrum. Þessar breytingar sáust bæði á yfirborði og komu fram í mælingum á djúphita með gashitamælum. Hugsanlega tengjast þessar breytingar á einn eða annan hátt umbrotunum við Kröflu sem hófust með vaxandi skjálftavirkni í mars 1975 og lauk í mars 1989 þegar land hætti að rísa og stöðugleiki komst á (Axel Björnsson, 2007). Þær gætu einni verið tengdar hreyfingu á Húsavíkurgönginu eða öðrum brotalínum Tjörnes brotabeltisins. Um þetta verður þó ekkert sagt með vissu þar sem líklega eru verulegar árstíðabundnar sveiflur og veðurfarssveiflur í athugunargögnunum.

Þegar borað verður frekar í jarðhitakerfið og vinnsla hefst má búast við einhverjum breytingum á jarðhita á yfirborði. Líklegast er að hveravirkni aukist eitthvað eins og á flestum öðrum

háhitasvæðum sem jarðhitaorka er unnin úr. Hvers eðlis og hve miklar breytingarnar verða er erfitt að segja fyrir um. Í Leirbotnum við Kröflu og á Nesjavöllum hafa breytingar orðið óverulegar og síst meiri en búast má við á svæðum sem eru ekki í vinnslu. Í Hvíthólum suður af Kröfluvirkjun mynduðust nýir hverir þegar þrýstingur lækkaði í jarðhitageyminum og aukin gufa myndaðist sem streymdi til yfirborðs. Í Svartsengi og á Reykjanesi jókst gufuútsreymi og hverir færðust í aukana. Þar er ástæðan sú að gufupúði undir háum þrýstingi mynduðist efst í jarðhitageyminum og þaðan streymir aukin gufa upp á yfirborð.

Hverir á Þeistareykjasvæðinu eru greinilega tengdir sprungum og misgengjum sem liggja norður-suður. Þetta sést best í Tjarnarási en eins norðan í Bæjarfjalli. Hitagjafinn er væntanlega kólnandi gangar eða innskotmeð sömu stefnu. Búast má við að nokkur niðurdráttur verði í jarðhitageyminum og að hveravirkni aukist við boranir a.m.k. fyrst um sinn.

Til þess að fylgjast með jarðhitasvæðinu og hugsanlegum breytingum sem gætu orðið á yfirborðsummerkjum samfara borunum og vinnslu þyrfti í fyrstu að kortleggja, mæla hitastig og rennsli, taka sýni til efnagreiningar og ljósmynda valin jarðhitaummerki nákvæmlega. Þetta þyrfti að gera oft á ári (mánaðarlega) til þess að átta sig á árstíðabundnum sveiflum og breytingum tengdum veðurlagi. Að því lokni væri væntanlega nægjanlegt að gera athuganir einu sinni til tvisvar á ári

Heimildir

Axel Björnsson: Dynamics of crustal rifting in NE Iceland. *J. Geophys. Res.*, 90, 10151-1062, 1985.

Axel Björnsson: Jarðhitarannsóknir - Yfirlit um eðli jarðhitasvæða, jarðhitaleit og vinnslu jarðvarma. Orkustofnun, OS-90020/JHD-04, júní 1990

Axel Björnsson og Oddur Sigurðsson: Hraungos úr borholu í Bjarnarflagi. *Náttúrufræðingurinn*, 48, 19-23, 1978.

Axel Björnsson: Hveravirkni í Jarðbaðshólum og Hverarönd – áhrif virkjunar á jarðhitasvæðin. Skýrsla unnin fyrir Landsvirkjun. Háskólinn á Akureyri, skýrsla 2002:01, ISBN 9979834331, ágúst 2001.

Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson, Freysteinn Sigmundsson, Páll Halldórsson, Ragnar Sigbjörnsson, Jónas Þór Snæbjörnsson: Geothermal Projects in Iceland at Krafla, Bjarnarflag, Gjástykki and Þeistareykir – Assessment of geo-hazards affecting energy production and transmission systems emphasizing structural design criteria and mitigation of risk. *Landsvirkjun*, LV-2007/075, 2007.

Ásgrímur Guðmundsson: Athugun á mögulegum áhrifum virkjunar í Bjarnarflagi á yfirborðsjarðhita í Hverarönd. Orkustofnun, Greinargerð ÁsG-99/03, 30. ág. 1999.

Darling, W.G. and Ármannsson, H.: Stable isotopic aspects of fluid flow in the Krafla, Námafjall and Theistareykir geothermal systems of northeast Iceland. *Chem. Geol.* 76, 197-213, 1989.

Gestur Gíslason, Gunnar V. Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason og Knútur Árnason: Þeistareykir – yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu. Skýrsla Orkustofnunar, OS-84089/JHD-16, Reykjavík, nóvember 1984.

Gestur Gíslason: Ósnortin hverasvæði. Orkan - innanhússfréttir Orkuveitu Reykjavíkur. Nr. 24, 1999.

Guðni Axelsson, Valgarður Stefánsson, Grímur Björnsson and Jiurong Liu: Sustainable Management of Geothermal Resources and Utilization for 100-300 Years. Proc. World Geoth. Congress, 2005

Halldór Ármannsson: Um hugsanlega gufuöflun frá Þeistareykjum og Öxarfirði. Orkustofnun, Greinargerð HÁ-91/02, desember 1991.

Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Helgi Torfason, og Magnús Ólafsson: Natural changes in unexploited high-geothermal areas in Iceland. Proceedings WGC 2000 Japan, 521-526, 2000.

Halldór Ármannsson 2001: Þeistareykir – Yfirlit um rannsóknir og rannsóknarkostnað. Orkustofnun OS-2001/035, 24 s.

Helgi Torfason 1992: Eðli háhitasvæða. Athuganir á Þeistareykjum 1991. Orkustofnun, jarðhitadeild. HweTo-92/02, 2 s.

Helgi Torfason, Halldór Ármannsson og Kristján Hrafn Sigurðsson 1993: Jarðhitasvæðið á Þeistareykjum. Jarðfræðafélag Íslands. Vorráðstefna 1993. Dagskrá og ágrip, 33-34

Helgi Torfason og Halldór Ármannsson: Athuganir á jarðhita á Þeistareykjum – Sýnataka og vettvangsathuganir 11.-13. nóvember 1995. Greinargerð Orkustofnunar, HeTo/HÁ-95/07. nóvember 1995.

Hrefna Kristmannsdóttir: Umhverfisáhrif jarðhitanýtingar. Orkustofnun, OS-97074, 1997.

Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór Ármannsson, Guðni Axelsson, Magnús Ólafsson, Sverrir Hákonarson og Sverrir Þórhallsson: Monitoring of geothermal fields during production. Proceedings WGC 1995, Florence, 1813-1817, 1995.

Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson: Chemical monitoring of Icelandic geothermal fields during production. Geothermics, 25, 349-369, 1996.

Jens Tómasson: Elliðaáarsvæðið - Uppruni og eðli jarðhitans. Orkustofnun, OS-88027/JHD-03, Júlí 1988

Kristján Jónasson og Sigmundur Einarsson: Aukin hveravirkni norðan við Hveragerði. Heimasiða Náttúrufræðistofnunar Íslands. <http://www.ni.is/frettir/nr/771>. Sótt 11.júní 2008.

Kristján Sæmundsson: Volcanic hazards. Í Skýrslu Landsvirkjunar LV-2007/075 eftir Axel Björnsson et al., 2007.

Ólafur Jónsson: Frá Kröflu. Náttúrufræðingurinn, 16, 152-157, 1946.