

## Umhverfismál jarðhitavirkjana

### *Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson, Orkustofnun*

#### Inngangur

Íslendingar standa að mörgu leyti vel hvað varðar rannsóknir á umhverfismálum jarðhitavinnslu. Orkufyrirtæki á Íslandi hafa á undanförunum áratugum kostað og framkvæmt margs konar rannsóknir á sviði umhverfismála og tóku myndarlega þátt í átaksverkefni á þessu sviði fyrir nokkrum árum (Kristmannsdóttir and Ármannsson, 1995, Hrefna Kristmannsdóttir, 1997, Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2000). Á nokkrum sviðum höfum við þó ekki staðið nægilega vel að verki og meðal þess sem við þyrftum að huga betur að er að skilgreina þau verndarviðmið sem nota skal varðandi jarðhitasvæði. Jafnframt þarf að skilgreina mörk verndaðra svæða og hvernig standa skal að nýtingu nálæggra jarðhitasvæða. Jafnframt er brýnt að fylgjast með náttúrulegum breytingum á óvirkjuðum svæðum til að geta skilið á milli eðlilegra sveiflna í jarðhitavirkni og breytinga í kjölfar virkjana, en þau litlu gögn sem til eru benda til að náttúrulegar sveiflur á sumum svæðum geti verið mun meiri. Bæta þarf og gera vinnubrögð við úrskurðarferlið vegna mats á umhverfisáhrifum virkjunar jarðhitasvæða skilvirkara, en það hefur reynst seinvirk og lítið hnitmiðað og ekki nógu ljóst hvert er hlutverk hvers einstaks umsagnaraðila. Hefur þetta bæði tafið ákvörðunartöku og aukið kostnað verulega.

#### Helstu umhverfisáhrif jarðhitavirkjana

Þótt jarðhiti sé umhverfisvæn orkulind miðað við flestar aðrar þá fylgja honum engu að síður áhrif á umhverfi, sem bæði geta verið jákvæð og neikvæð og þarf að vega þau og meta áður en ráðist er í virkjun hans (Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1992). Umhverfisáhrif eru mjög mismikil eftir eðli jarðhitasvæða og því um hvers konar virkjun er að ræða. Sum þeirra umhverfisáhrifa sem talist geta neikvæð staðbundið eru hins vegar jákvæð í hnattrænum skilningi og þarf þá að meta m.a. kostnað hvers um sig og stjórnvöld að skera úr um hvað vegur þyngra.

Helstu áhrif, sem vinnsla og nýting jarðhita hefur á umhverfi eru:

- *Útlitsbreytingar á yfirborði.* Vökvanám veldur gjarnan minnkun eða hvarfi hvera og lauga, en aukning verður hins vegar gjarnan á gufuústreymi með tímanum á virkjuðum háhitasvæðum. Þá geta mannvirki svo sem vegir og borholur stungið í augu. Þó verður virkjun jarðhita að teljast fremur hagstæð að þessu leyti miðað við aðra orkuvinnslu, því að athafnasvæði er tiltölulega og vinnslan fer að mestu leyti fram neðanjarðar. Lagning vega að virkjunarsvæðum eykur ferðamannastraum að þeim og þarf að bregðast við því.
- *Hávaðamengun,* einkum tengd blásandi háhitaborholum. Hávaði í 10 m. fjarlægð frá óheftri, blásandi gufuborholu er sambærilegur við hávaða frá þotu í flugtaki (120-130 dB). Hávaði frá stöðvarhúsi virkjunar og við borun getur verið verulegur. Unnt er að deyfja hávaða tengdan rekstri.
- *Félagsleg og efnahagsleg* áhrif jarðhitaframkvæmda eru svipaðs eðlis og annarra stórfamkvæmda, en hafa þó yfirleitt fleiri jákvæðar hliðar.

- *Eðlisbreytingar umhverfis* eins og landsig, massabreytingar og breytingar á grunnvatnsstöðu. Auk yfirborðsbreytinga veldur vökvanám landsigi og er slíkt vel þekkt hér á landi, t.d. í Svartsengi. Truflun getur einnig orðið á nálægum grunnvatnskerfum fari námið fram úr náttúrulegu aðstreymi. Til þess að halda vökvanámi og efnamengun í lágmarki er affallsvatni oft dælt niður í jarðhitakerfin.
- *Varmi* verður afgangur við vinnslu jarðhita og reyndar einnig frá náttúrulegu afrennslis hvera og lauga. Varmi er illa nýttur (10-15%) við vinnslu raforku úr jarðgufu og er best með afgangsvarmann farið með því að dæla affallsvatninu niður.
- *Efnalosun* í vatn og loft getur fylgt vinnslu jarðhita. Í jarðhitagufu eru gös (koltvíoxíð, brennisteinsvetni, vetni, metan, köfnunarefni, argon) og í vatninu er bæði hærri styrkur flestra uppleystra efna en í köldu grunnvatni og stundum efni sem teljast mengandi jafnvel í lágum styrk (m.a. arsen, bór, flúor kadmíum og blý). Útblástur koltvíoxíðs og brennisteinsgasa er þó mun minni en í orkuverum kyntum með kolum og olíu og þeim fylgir ekkert ryk. Niðurstöður mælinga á brennisteinsgösum á og í grennd við jarðhitasvæði (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2000) benda til þess að við íslenskar loftslagsaðstæður valdi þau ekki hnattrænni mengun. Íslenskt jarðhitavatn er í flestum tilvikum efnasnautt og því meinlitið.
- Möguleg áhrif á *lífríki*, gróður, dýralíf og örveruflóru í hverum. Þessi áhrif tengjast einkum eðlisbreytingum eða losun varma og efna og geta verið mjög breytileg milli svæða. Varmaaukning getur haft afdrifarík áhrif á lífríki í ám og vötnum en óveruleg hætta er á efnamengun frá íslenskum jarðhitasvæðum.
- *Röskun ósnortinnar ásýndar* landsvæða. Þar sem jarðhitavirkjanir krefjast lítils rýmis ofanjarðar valda þær í flestum tilvikum litlu raski og unnt að koma þeim fyrir á lítið áberandi hátt.

### Átaksverk um rannsóknir á umhverfisáhrifum jarðhitánýtingar

Á árunum 1991-1998 stóð yfir átaksverk með því markmiði að rannsaka áhrif háhitasvæða á umhverfi og mögulegum breytingum sem virkjun svæðanna yllu. Jafnframt þessu var tilgangurinn að vinna að þróun aðferða á ýmsum sviðum umhverfisrannsókna og rannsaka leiðir til að draga úr neikvæðum áhrifum samfara nýtingu háhitasvæða. Verkefnið var samtarfsverkefni Orkustofnunar, Landsvirkjunar, Hitaveitu Reykjavíkur og Hitaveitu Suðurnesja. Sérfráveitingar fengust til verkefnisins frá iðnaðarráðuneytinu og umhverfisráðuneytið tók einnig þátt í hluta kostnaðar við það. Í verkefninu var farið yfir fyrirbyggjandi rannsóknargögn frá öllum virkjuðum svæðum og kom í ljós að þau voru veruleg og spönnuðu yfir alla helstu umhverfisþætti, nema síst hávaða. Skilgreind voru nokkur forgangsverkefni á ákveðnum sviðum, sem helst þótti þurfa að styrkja grunninn að. Stærstu verkefnin voru:

- Mælingar á gasi í andrúmslofti á virkjuðum og óvirkjuðum jarðhitasvæðum og í grennd við þau;
- Þróun fjarkönnunaraðferða við innrauða myndatöku á jarðhitasvæðum til að fylgjast með breytingum á varmaflæði;
- Hæðar- og þyngdarmælingar á jarðhitasvæðum til þess að rannsaka áhrif massatöku og koma upp mælineti fyrir slíkar mælingar á öllum virkjunarsvæðum.

Innan átaksverkefnisins fóru einnig fram umhverfisrannsóknir á nokkrum óvirkjuðum svæðum. Jarðhitakerfi eru óstöðug og þarf ekki virkjun til þess að á þeim verði breytingar. Því er samþurður virkjaðra og óvirkjaðra svæða grundvallaratriði í umhverfisrannsóknum. Staða 28 háhitasvæða var metin með tilliti til nauðsynlegra umhverfisrannsókna áður en unnt væri að gera frummat á umhverfisáhrifum. Gerðar voru tillögur um nauðsynlegar rannsóknir á svæðunum og kostnaðaráættun varðandi nokkur þeirra. Einnig var bent á nauðsyn þess að rjúfa ekki gagnaöflun á þeim svæðum sem rannsókuð hafa verið frá 1991 innan ramma átaksverksins.

Unnið var að úttekt á umhverfisáhrifum náttúrulegs jarðhita og tímaháðum eðlisbreytingum jarðhita á nokkrum jarðhitasvæðum, sem ætla má að verði virkjuð á næstu áratugum: Þeistareykjum, Krýsuvík, Trölladyngju (Halldór Ármannsson o.fl., 2000). Fylgst var með hitabreytingum á nokkrum svæðum með mælingum á innrauðum geislum úr flugvél í samvinnu við Merkjafræðistofu Háskólans og einnig er jarðhiti á yfirborði kortlagður reglulega og sýni til efnagreininga tekin úr gufuaugum. Sýnt var fram á verulegar breytingar bæði í Krýsuvík þar sem jarðhiti hefur færst til og á Þeistareykjum þar sem einnig hafa orðið hitabreytingar og breytingar á efnasamsetningu. Þessi rannsókn er í eðli sínu langtímaverkefni, sem ekki hefur fyrirsjáanleg verklok.

Gerðar voru skammtímamælingar 1992-1993 á gastegundum í andrúmslofti á virkjunarsvæðum allra samstarfsaðila og í Hveragerði og auk þess á nokkrum óvirkjuðum jarðhitasvæðum, þ.e. á Ölkelduhálsi, Þeistareykjum og Krýsuvík. Einnig fóru fram langtímamælingar á brennisteinsgastegundum í andrúmslofti á virkjunarsvæðum allra samstarfsaðila, nema á Reykjanesi um 4-6 mánaða skeið (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2000). Gerðar voru einfaldar tilraunir í samvinnu við Norrænu Eldfjallastöðina til þess að fá úr því skorið hve stór hluti brennisteinsvetnisins getur oxast í brennisteinstvíoxíð á tilteknum tíma við mismunandi aðstæður. Í samstarfi við Veðurstofu Íslands voru mældar brennisteinsgastegundir á tveimur stöðum í nánd við Nesjavallavirkjun, Írafossi og Korpu, sem liður í rannsókn á afdrifum brennisteinsvetnis í útstreymi jarðhitasvæða í andrúmslofti og niðurstöðurnar bornar saman við niðurstöður úr líkanreikningum á dreifingu brennisteinsvetnis frá Nesjavallavirkjun. Samhliða gasmælingum voru könnuð tæringaráhrif andrúmslofts á virkjunarstöðunum á mannvirki.

Í samvinnu við Merkjafræðistofu Verkfræðideildar Háskólans var unnið að þróun og notkun innrauðrar myndatöku á jarðhitasvæðum til að fylgjast með breytingum á varmaflæði (Kolbeinn Árnason, 1997). Verkefnið hófst á árinu 1993 og voru öll vinnslusvæði samstarfsaðila mynduð þrívægis og einnig nokkur óvirkjuð svæði; Þeistareykir, Kverkfjöll, Krýsuvík, Trölladyngja, Ölkelduháls, Fremrinámur.

Unnið var að hæðar- og þyngdarmælingum á öllum virkjunarsvæðum með það að markmiði að koma upp mælineti og áættun um framtíðareftirlit á þeim öllum (Eysteinnsson, 2000). Ljóst er að gera þarf slíkar mælingar u.þ.b. fimm tals hvert ár í því mælineti, sem búið er að koma upp á hverjum stað, svo lengi sem virkjanirnar starfa. Eðlilegt er talið að mælingar þessar falli hér eftir alfarið undir rekstur viðkomandi virkjana og greiðist af þeim. Vegna mikils kostnaðar við hefðbundnar hæðarmælingar þyrfti að vinna að því að því að þróa ódýrari aðferðir og koma þá einkum til greina GPS aðferðir og fjarkönnunar-tækni.

Unnið var að rannsóknum grunnvatns á Hengilssvæði og í Kröflu. Eftir að átaksverkefninu lauk hefur verið unnið áfram að umfangsmiklum grunnvatnsrannsóknum á Kröflu-Námafjallssvæðinu í samvinnu við Landsvirkjun vegna virkjunaráforma og umhverfismats þeirra vegna (Halldór Ármannsson o.fl., 1998, Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1999a,b og 2000, Hauksdóttir o.fl., 2000).

Einnig var unnið að allmörgum minni verkþáttum innan átaksverksins:

- athugun á erlendum reglugerðum varðandi umhverfismál jarðhitavinnslu;
- mat á breytingu á náttúrulegu útstreymi gufu;
- rannsókn á smáskjálftavirkni á jarðhitasvæðum;
- rannsóknum á grunnvatni;
- mati á aðferðum til gaslosunar;
- tilraunum varðandi niðurdælingu affallsvatns;
- rannsókn á myndun og útbreiðslu gufupúða í jarðhitageymum virkjunarsvæða.

### **Reynslan af umhverfismati vegna virkjanaframkvæmda á jarðhitasvæðum**

Umhverfismatsskýrslur hafa verið gerðar vegna allmargra framkvæmda frá því að fyrstu löggin um mat á umhverfisáhrifum framkvæmda voru samþykkt árið 1993. Sú fyrsta var borun rannsóknarholu á Ölkelduhálsi (Einar Gunnlaugsson 1994) og fékkst leyfi til hennar tiltölulega greiðlega. Síðan hefur verið úrskurðað um jarðhitanýtingu á Reykjanesi (Halldór Ármannsson, 2001), 40 MWe jarðvarmavirkjun í Bjarnarflagi og 132 kW háspennulínu að Kröflustöð, Nesjavallavirkjun, áfanga 4b, stækkun rafstöðvar úr 76 í 90 MW, borun rannsóknarholu og vegagerð í Grændal, Ölfusi auk þess sem ákvarðanir hafa verið teknar um matsskyldu rannsóknarholna í Grændal, Trölladyngju, Helliheiði og Grændal. Svo virðist sem oft gangi nokkuð treglega að komast gegnum matsferlið (Halldór Ármannsson, 2001). Borun í Grændal var hafnað en sá úrskurður hefur verið kærður. Ekki var lagst gegn borun á Ölkelduhálsi og stækkun Nesjavallavirkjunar, en krafist var frekara mats fyrir jarðhitanýtingu á Reykjanesi og jarðvarmavirkjun í Bjarnarflagi. Sums staðar virðist hafa gætt þess misskilnings að matið sé aðferð til að koma í veg fyrir framkvæmdir. Vonast er til að með nýjum lögum frá maí 2000 verði ráðin bót á ýmsum hnökrum í framkvæmd ferlisins og eytt óvissuatriðum Eitt þeirra verkefna sem bíða jarðhitamanna er að vinna að því að ferlið við mat á umhverfisáhrifum verði einfaldara og skilvirkara og tryggja bæði verndunarsjónarmið og hagkvæmustu nýtingu jarðhitauuðlindanna.

### **Erlent samstarf**

Frá 1995 hafa Íslendingar tekið óformlega þátt í alþjóðlegu samvinnuverkefni um rannsóknir á á umhverfisáhrifum jarðhita á vegum IEA (International Energy Agency) og m.a. tekið þátt í þremur fagfundum þar sem niðurstöður átaksverksins hafa verið kynntar. Verkþættir þeir sem við höfum tekið þátt í voru skilgreindir innan átaksverkefnisins fyrrnefnda um Umhverfisáhrif jarðhitanýtingar og voru upphaflega allir innan þess. Sá fyrsti var í Japan 1997 á alþjóðlegri jarðhitaráðstefnu á vegum NEDO og þar voru að Íslands hálfu kynntar niðurstöður rannsókna á dreifingu og hvörfun jarðhitagasa frá virkjunum og náttúrulegu útstreymi (Kristmannsdóttir o.fl., 1997). Annar fundurinn var í Kaliforníu á GRC ráðstefnu og þar kynntum við rannsóknir á náttúrulegri virkni og

eftirlitsaðferðir með breytingum á henni (Kristmannsdóttir og Ármannsson, 1998). Sá þriðji og stærsti var á heimsráðstefnunni um jarðhita í Japan og tóku Íslendingar myndarlegan þátt í kynningu verkefna á honum (sjá Proceedings of the World geothermal Congress, 2000).

Á alþjóðaráðstefnunni í Japan voru alls flutt um 40 erindi á sérstökum umhverfisfundum, en auk þess var fjöldi erinda um umhverfismál jarðhita fluttur á fundum um jarðhitamál einstakra landa eða um forrannsóknir á einstökum svæðum. Af Íslands hálfu var lagður fram um tugur erinda um þennan málsflokk. Flest þeirra voru um verkefni sprottin úr rannsóknum sem unnar voru að hluta eða öllu leyti innan fyrrnefnds átaksverks um umhverfisáhrif jarðhitánýtingar.

### Áherslur í íslenskum rannsóknum

Þótt virkjun jarðvarma a.m.k. til raforkuvinnslu sé svipuð framkvæmd hvar sem er í heiminum er samt ákveðinn munur á umhverfisáhrifum og þeim áherslum sem lagðar eru á mismunandi umhverfiáhrif. Landsig, massabreytingar og útlitsbreytingar eru alls staðar áhyggjuefni og mikilvægt rannsóknarefni, en mjög mismunandi eftir jarðfræði svæðanna hversu mikil og staðbundin þau eru. Þannig nær landsig á íslensku basalhraunlagasvæðunum gjarna yfir tugi kílómetra út frá jarðhitasvæðunum en mælist í fáeinum sentimetrum. Á Nýja Sjálandi, í síru túff- og innskotslagamyndunum, er landsig mun meira en bundið við lítið (nokkur hundruð metra) landsvæði umhverfis vinnslusvæðið (Hunt, 2000). Svipaða sögu er að segja frá jarðhitasvæðum í setlagamyndunum á Ítalíu (Aust and Sustrac, 1992). Gasútblastur og hreinsun á gasi frá jarðhitavirkjunum virðist vera meira áhyggjuefni á flestum stöðum en hér á Íslandi. Ástæðan er sú að brennisteinsvetni hvarfast mjög hægt yfir í brennisteinstvíoxíð í köldu, röku og sólarlitlu loftslagi eins og hér á Íslandi (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2000). Skriðuföll í kjölfar jarðhitavirkjana hefur lítið verið fjallað um né verið mikið áhyggjuefni á Íslandi, en er vandamál í kjölfar byggingar margra erlendra jarðhitavirkjana (Goff and Goff, 1997). Á Íslandi er meira fjallað um hættu á grunnvatnsmengun en í öðrum löndum líklega vegna þess að á flestum öðrum stöðum er það nokkuð sjálfsagt að dæla mestöllu affallsvatni aftur niður í jarðhitageyminn. Á Íslandi er það hinsvegar ekki gert í miklum mæli enn sem komið er. Vandamál vegna niðurdælingar eru nokkuð algeng erlendis og hérlendis. Aðferðir við eftirlit með náttúrulegri virkni eru á mörgum stöðum vandamál og sömuleiðis aðferðir til að segja fyrir um breytingar í kjölfar virkjunar. Sama máli gegnir um beitingu mats á umhverfisáhrifum.

Nauðsyn þess að kortleggja nákvæmlega jarðhitasvæði, mæla gufuústreymi og fylgjast með breytingum á þessum þáttum um árabíl fyrir virkjun er almennt viðurkenndur sem nauðsynlegur grundvöllur að vali milli virkjunarkosta og einnig síðara eftirliti með vinnslu jarðhitasvæða. Jafnframt er þetta sá þáttur sem erfiðast er að fjármagna og koma af stað tímanlega fyrir virkjunáform og framkvæmdir á svæðunum. Rammaáætlun ríkisstjórnarinnar mun væntanlega taka á þessum þáttum en hún er eins konar frummat á virkjunarkostum og væntanleg áhrif á umhverfi vega þar talsvert þungt.

## Heimildir

- Ármansson, H. and Kristmannsdóttir, H., 1992. Geothermal Environmental Impact. *Geothermics*, 21, 869-880.
- Ármansson, H., Kristmannsdóttir H. and Ólafsson, M. 2000. Geothermal influence on groundwater in the lake Myvatn area, north Iceland. *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Japan*, 515-520.
- Ármansson, H., Kristmannsdóttir, H., Torfason, H. and Ólafsson, M. 2000. Natural changes in unexploited high-temperature geothermal areas in Iceland. *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Japan*, 521-526.
- Aust, H. and Sustrac, G., 1992. Impact of development on the geological environment. Chapter 5 in Lumsden, G.I. (Chief editor). *Geology and environment in Western Europe*. Oxford University Press, Oxford, 202-280.
- Einar Gunnlaugsson, 1994. Borun rannsóknaholu á Ölkelduhálsi. Mat á áhrifum framkvæmdarinnar á umhverfið. *Hitaveita Reykjavíkur*, 28 s.
- Goff, S. and Goff, F., 1997. Environmental impacts during geothermal development: Some examples from Central America. *Proceedings of Nedo Int. Geothermal Symp. Sendai*, 242-250.
- Hauksdóttir, S., Kristmannsdóttir, H., Axelsson, G., Ármannsson, H., Bjarnason, H. and Ólafsson, M. 2000. The influence of effluent water discharged from the Námafjall geothermal field on local groundwater. *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Japan*, 603-608.
- Halldór Ármannsson, 2001. Umhverfismat-reynsla. Orkuþing 2001. Í prentun.
- Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Magnús Ólafsson, 1998. Krafla - Námafjall. Áhrif eldvirkni á grunnvatn. Samstarfsverk Orkustofnunar og Landsvirkjunar. OS-98066, ORKUSTOFNUN, OKTÓBER 1998, 30 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1997. Umhverfisáhrif jarðhitanytingar. Uppgjör verksins. Samvinnuverk Orkustofnunar, Hitaveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðurnesja, Landsvirkjunar og Umhverfissráðuneytis. ORKUSTOFNUN, OS-97074, DESEMBER 1997, 44 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Steinunn Hauksdóttir, Guðni Axelsson, Magnús Ólafsson og Halldór Ármannsson, 1999a. Ferilprófun á Mývatnssvæðinu. Unnið fyrir Landsvirkjun. OS-98028, ORKUSTOFNUN, APRÍL 1999, 48 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór Ármannsson og Steinunn Hauksdóttir. 1999b. Jarðvarmavirkjun í Bjarnarflagi. Mat á umhverfisáhrifum. Áhrif losunar gastegunda og affallsvatns. Unnið fyrir Landsvirkjun. OS-99105, OKTÓBER, 80 s.
- Hunt, T., 2000. Five lectures on environmental effects of geothermal utilization. United Nations University geothermal Training Programme, 2000-Report 1, 109 pp.
- Kolbeinn Árnason, 1997. Kortlagning hitabreytinga á jarðhitasvæðum með fjarkönnun úr flugvél. Upplýsinga og merkjafraeðistofa Háskólans 1997. UMH F97091, 5 s.
- Kristmannsdóttir, H. and Ármannsson, H., 1995. Environmental Impact of Geothermal Utilization in Iceland. *Proceedings of the World Geothermal Congress, 1995, Florence, Italy 1995*, 2731-2734.
- Kristmannsdóttir, H., Sigurgeirsson, M., Ármannsson, H. and Hjartarson, H., 1997. Emission, Dispersion and Reaction of H<sub>2</sub>S in Steam from Geothermal Fields in Iceland. *Proceedings of NEDO International Geothermal Symposium, March 11 & 12, 1997 at Sendai, Japan*, 261-269.
- Kristmannsdóttir, H. and Ármannsson, H., 1999. Environmental studies of Iceland's unexploited geothermal areas. *Geothermal Resources Council Bulletin*, 28, 25-28.
- Kristmannsdóttir, H. Ármannsson, H. and Árnason, K., 2000. Environmental impact of geothermal utilization in Iceland. *Proceedings of World geothermal congress 2000, Japan*, 633-638.
- Kristmannsdóttir, H., Sigurgeirsson, M., Ármannsson, H., Hjartarson, H. and Ólafsson, M., 2000. Sulphur gas emission from geothermal power plants in Iceland. *Geothermics*, 29, 525-538.