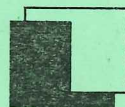
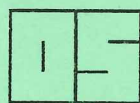


KYNNINGARFUNDUR
UM NIÐURSTÖÐUR
RANNSÓKNARVERKEFNISINS

UMHVERFISÁHRIF JARÐHITANÝTINGAR

Átaksverk
ORKUSTOFNUNAR
um rannsóknir á
umhverfisáhrifum jarðhitanytingar
í samvinnu við
HITAVEITU REYKJAVÍKUR
HITAVEITU SUÐURNESJA
LANDSVIRKJUN
OG
UMHVERFISRÁÐUNEYTIÐ



Fundurinn verður haldinn í Rúgbrauðsgerðinni,
Borgartúni 6, Reykjavík
þann 2. október, 1997, kl. 9.10 - 18.00.

Fundarstjóri
Helgi Bjarnason deildarstjóri á Landsvirkjun

KYNNINGARFUNDUR
UM NIÐURSTÖÐUR
RANNSÓKNARVERKEFNISINS

UMHVERFISÁHRIF JARÐHITANÝTINGAR

Átaksverk
ORKUSTOFNUNAR
um rannsóknir á
umhverfisáhrifum jarðhitanytingar
í samvinnu við
HITAVEITU REYKJAVÍKUR
HITAVEITU SUÐURNESJA
LANDSVIRKJUN
OG
UMHVERFISRÁÐUNEYTIÐ



Fundurinn verður haldinn í Rúgbrauðsgerðinni,
Borgartúni 6, Reykjavík
þann 2. október, 1997, kl. 9.10 - 18.00.

Fundarstjóri
Helgi Bjarnason deildarstjóri á Landsvirkjun

3

**Fimmtudaginn 2. október 1997, kl. 9¹⁰-18 í Rúgbrauðsgerðinni,
Borgartúni 6, Reykjavík.**

DAGSKRÁ

Fundarstjóri: Helgi Bjarnason deildarstjóri á Landsvirkjun

- 9¹⁰-9²⁰ Setning: Magnús Jóhannesson ráðuneytisstjóri Umhverfissráðuneytis.
9²⁰-9⁴⁰ Umhverfisáhrif jarðhitanytingar: Halldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir, Orkustofnun.
- 9⁴⁰-10⁰⁰ Umhverfissrannsóknir orkufyrirtækja: Albert Albertsson, Hitaveita Suðurnesja.
10⁰⁰-10³⁰ Umfang átaksverks um umhverfissrannsóknir á íslenskum jarðhitasvæðum: Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson, Orkustofnun.
- 10³⁰-11⁰⁰ Kaffihlé
- 11⁰⁰-11²⁰ Brennisteinsvetni í andrúmslofti á jarðhitasvæðum: Einar Gunnlaugsson og Gretar Ívarsson, Hitaveita Reykjavíkur.
- 11²⁰-11⁴⁰ Langtímamælingar á brennisteinsgastegundum í andrúmslofti á jarðhitasvæðum: Hrefna Kristmannsdóttir, Magnús Á. Sigurgeirsson og Kristján H. Sigurðsson, Orkustofnun.
- 11⁴⁰-12⁰⁰ Líkanareikningar og hvörfun brennisteinsvetnis: Hreinn Hjartarson, Veðurstofu Íslands.
- 12⁰⁰-12²⁰ Áhrif úða og tæringar á mannvirki á jarðhitasvæðum: Magnús Á. Sigurgeirsson, Sverrir Þórhallsson og Magnús Ólafsson, Orkustofnun og Einar Gunnlaugsson, Hitaveitu Reykjavíkur.
- 12²⁰-13³⁰ Hádegishlé
- 13³⁰-13⁵⁰ Hæðar- og þyngdarbreytingar á jarðhitasvæðum: Hjálmar Eysteinnsson, Orkustofnun.
- 13⁵⁰-14¹⁰ Þróun fjarkönnunaraðferða til að kortleggja hitabreytingar á jarðhitasvæðum: Kolbeinn Árnason, Verkfræðistofnun Háskóla Íslands.
- 14¹⁰-14³⁰ Áhrif niðurdælingar á smáskjálftavirkni jarðhitasvæða. Dæmisaga úr Svartsengi: Bryndís Brandsdóttir og Páll Einarsson, Raunvísindastofnun Háskóla Íslands og Knútur Árnason og Hrefna Kristmannsdóttir, Orkustofnun.
- 14³⁰-14⁵⁰ Skjálftamælanet á Reykjanesi: Kristján Ágústsson, Ragnar Stefánsson, Bergur H. Bergsson og Sigurður Th. Rögnvaldsson, Veðurstofu Íslands.
- 14⁵⁰-15¹⁰ Tilraun til að kanna suðusvæði í Svartsengi með jarðsveiflumælingum: Knútur Árnason, Orkustofnun.
- 15¹⁰-15³⁰ Kaffihlé
- 15³⁰-15⁴⁵ Aðferðir til mælinga á gufustreymi úr gufuaugum: Gestur Gíslason, Hitaveitu Reykjavíkur.
- 15⁴⁵-16¹⁵ Rannsóknir á breytingum í virkni á óvirkjuðum jarðhitasvæðum: Halldór Ármannsson, Helgi Torfason, Magnús Ólafsson, Kristján H. Sigurðsson og Hrefna Kristmannsdóttir, Orkustofnun .
- 16¹⁵-16⁴⁰ Samanteknar niðurstöður og tillögur um framhaldsrannsóknir: Eiríkur Bogason, framkvæmdastjóri Samorku.

UMHVERFISÁHRIF JARÐHITANÝTINGAR

Haldór Ármannsson og Hrefna Kristmannsdóttir
Orkustofnun

Helstu umhverfisáhrif jarðhitanytingar eru: Útlitsbreytingar á yfirborði jarðar, eðlisbreytingar umhverfis, hávaði, varmamengun, efnamengun, menningar- og félagsleg áhrif.

Undir útlitsbreytingar flokkast jarðrask og önnur landspjöll, sem fylgja mannvirkjagerð, en einnig breytingar á virkni hvera og lauga. Jarðhitanyting á sér þær málsbætur að athafnasvæði er lítið, nýting er iðulega nálægt vinnslu og bor er fjarlægður að loknu verki. Nátengd er umgengni um svæðin eftir að virkjun er hafin. Borholur, sem ekki á að nota strax, er unnt að hylja og þær sem alls ekki á að nota, þarf að steypa í.

Landsig getur skemmt mannvirki, breytt farvegum o.fl. Nátengd er breyting á vatnsborðsstöðu. Í einstökum tilfellum er hætta á breytingum á jarðskjálftavirkni í sambandi við massatöku eða sér í lagi niðurdælingu, þar sem henni er beitt við losun affalls og endurnýjun vatnskerfa.

Töluverður hávaði getur fylgt framkvæmdum eins og jarðborunum, en mestum hávaða valda þó blásandi háhitaholur. Er honum haldið í skefjum með hljóðdeyfingu.

Varmamengun getur orðið af manna völdum, þegar afrennsli frá virkjun kemst í önnur vatnskerfi, en varmbreytingar geta einnig fylgt náttúrulegum ferlum eins og gerðist við Námafjall 1977, þegar grunnvatn í nágrenni jarðhitasvæðisins hitnaði verulega. Niðurdæling er áhrifaríkust til að losna við varma frá vatnsfasa, en gufa er kæld með vatni.

Helstu loftmengunarvaldar eru koltvíoxíð, sem er gróðurhúsalofttegund, og brennisteinsvetni. Útblástur koltvíoxíðs frá jarðhitavirkjunum og verksmiðjum er litill í samanburði við hliðstæðan útblástur frá starfsemi sem nýtir brennslu jarðefna. Að auki er verið að færa til koltvíoxíð í hringrás þess en ekki að mynda nýtt eins og gert er við brennslu. Hlutur jarðhita í hringrás koltvíoxíðs er litill. Brennisteinsvetni er eitrad í stórum skömmtum. Útblástur þess frá jarðhitastarfsemi er þó yfirleitt mjög staðbundinn, og áhyggjur fremur hafðar af hinni óþægilegu lykt þess en af eituráhrifum. Kvartanir og reglugerðir um hámarksstyrk í andrúmslofti eru mjög tengdar streymi þess til andrúmslofts fyrir virkjun. Við brennslu jarðefna er brennisteinsútblastur á formi brennisteinsvíoxíðs, sem er mjög mengandi, veldur t.d sýringu jarðvegs ("súru regni"). Með tíma getur brennisteinsvetni breyst í brennisteinsvíoxíð og þarf að fylgjast vel með því. Geta má þess þó að heildarbrennisteinsútblastur vegna vinnslu jarðhita er umtalsvert minni en styrkur brennisteins í útblæstri vegna hliðstæðrar olíuotkunar. Auk þessara tveggja lofttegunda er ástæða til að fylgjast með styrk lofttegunda, sem eru í minni mæli í jarðhitagasi, þ.e. metani (gróðurhúsalofttegund), ammoníaki, arseni, kvikasilfri (eitruðum lofttegundum), bóri (skaðlegu gróðri) og radoni (geislavirkri lofttegund).

Í affallsvatni er aðallega gætt að brennisteinsvetni, arseni og bóri ásamt kvikasilfri og öðrum hættulegum þungmálum. Affarasælasta leiðin til að losna við það er niðurdæling í jarðhitakerfið, sem auk þess hefur þann kost að lengja líftíma kerfisins. Skemmdir geta og orðið af völdum vatnsúða, sem berst frá virkjunum og getur valdið kísailútfellingum á gróðri og skaða af völdum bórs.

Menningar- og félagsleg áhrif tengjast röskun atvinnulífs í byggðarlögum, þar sem virkjanir eru reistar. Mikil atvinna skapast meðan á byggingu stendur og dregur að sér fólk frá hefðbundinni atvinnustarfsemi, sem getur borið af varanlegan skaða. Fjöldi aðkomufólks dvelur tímabundið á staðnum og gerir kröfur til aukinnar þjónustu. Svæðið opnast til ferðamennsku vegna bættra vega og aukinnar þjónustu. Loks getur starfsemin valdið röskun á náttúruminum og forminum.

UMHVERFISRANNSÓKNIR ORKUFYRIRTÆKJA

Albert Albertsson
Hitaveitu Suðurnesja

Orkufyrirtækin sem að samvinnuverkefnum standa svo og önnur orkufyrirtæki hafa um áratuga skeið staðið að umfangsmiklum umhverfisrannsóknum og umhverfisvöktun hvert á sínu sviði. Rannsóknir og vöktun á umhverfi athafnarýmis fyrirtækjanna hafa til þessa ekki verið samræmdar, hvorki hvað varðar það sem rannsakað hefur verið, né hvernig eða hversu nákvæmlega staðið hefur verið að athugunum. Rannsóknirnar hafa að hluta verið unnar af fyrirtækjunum sjálfum, rannsóknarstofnunum svo sem Orkustofnun, Raunvísindastofnun Háskólans o.fl. og sjálfstæðum fyrirtækjum. Rannsóknum hefur verið lýst og niðurstöður þeirra birtar í skýrslum, sem margar hverjar eru opinberar og aðgengilegar almenningi. Því má segja að orkufyrirtækin hafi unnið fyrir opnum tjöldum og þar með lagt grunninn að nokkuð heilstæðri umhverfisgát, sem til fyrirmyndar má hafa þegar kemur til þess að ný jarðhitasvæði eru virkjuð.

Ótvíráður er vilji orkufyrirtækjanna til þess að raska sem minnst láði, legi og lífríki, og jafnframt hafa gát á öllum breytingum sem óhjákvæmilegar eru þegar virkjað er. Þennan vilja og rétt hugarfar sýna rannsóknir síðustu áratuga, þátttaka fyrirtækjanna í þessu stóra samvinnuverkefni sem nú er kynnt, og stofnun umhverfisráðs Samorku. Þessi umfangsmikla og árangursríka samvinna Orkustofnunar, Umhverfisráðuneytis og orkufyrirtækjanna þriggja hefur lagt grunninn að skilgreindri og samræmdri umhverfisvernd og umhverfisgát og þar með einnig lagt grunninn að vinnubrögðum að hætti evrópskra umhverfisstaðla. Skilningur manna á umhverfisáhrifum jarðhitavirkjana hefur aukist og þau skilgreind og flokkuð. Samvinnuverkefnið leggur til mestallan efnivið í ramma laga og reglugerða um mat á umhverfisáhrifum jarðhitavirkjana og nauðsynlega umhverfisgát þeirra. Vandað samræmt mat á umhverfisáhrifum jarðhitavirkjana og umhverfisgát þeirra, sem og víðtæk fagleg samstaða, gerir umhverfisskatta, sem minnst hefur verið á opinberlega að undanförmu, með öllu óþarfa, og eykur þar með tiltrú innlendra sem og erlendra aðila á íslenskum jarðhitavirkjunum.

Aðferðir við mat á umhverfisáhrifum jarðhitavirkjana og umhverfisgát þeirra verður að vera í stöðugri þróun. Með stöðugri þróun og með íslenskar jarðhitavirkjanir sem vettvang þróunar er lagður traustur grunnur að útflutningi á þekkingu, reynslu, nýjum aðferðum, tækjum og tólum. Stefna ber markvisst að útflutningi á þeirri reynslu sem íslenskur jarðhitaiðnaður og íslenskir rannsóknaraðilar afla á sviði umhverfismála, og ber opinberum aðilum að stuðla að og hvetja til útflutnings.

Gerð er grein fyrir helstu rannsóknum Hitaveitu Suðurnesja síðastliðin tuttugu ár á umhverfisáhrifum virkjunarinnar í Svartsengi og viðbrögð við þeim. Lýst er jákvæðum umhverfisáhrifum virkjunarinnar í Svartsengi og Sjóefnavinnslunnar á Reykjanesi. Gerð er grein fyrir auknum fjölda ferðamanna vegna sérstöðu orkuversins, fjölpættar starfsemi við Bláa lónið og framleiðslu heilsusalts á Reykjanesi.

UMFANG ÁTAKSVERKS UM UMHVERFISRANNSÓKNIR Á ÍSLENSKUM JARÐHITASVÆÐUM

Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson
Orkustofnun

Orkustofnun hafði á árinu 1991 frumkvæði að því að koma á fót átaksverkefni í rannsóknum á áhrifum vinnslu háhita á umhverfið. Leitað var samstarfs við helstu virkjunaraðila háhita, og er *Umhverfisverkið* samvinnuverkefni Hitaveitu Suðurnesja, Hitaveitu Reykjavíkur, Landsvirkjunar og Orkustofnunar. Umhverfisráðuneytið gerðist fljótlega aðili að *Umhverfisverkinu* og á fulltrúa í samstarfsnefnd um það. Fjöldi aðila hafa tekið þátt í vinnu við rannsóknarverkefnið m.a. Veðurstofan, Raunvísindastofnun H.Í., Verkfræðistofnun H.Í. og Norræna Eldfjallastöðin.

Lög um mat á umhverfisáhrifum framkvæmda voru í undirbúningi á þessum tíma og var talið æskilegt að virkjunaraðilar hefðu frumkvæði að því að skipuleggja umhverfisrannsóknir á jarðhitasvæðum og tækju þátt í að móta þær kröfur sem settar yrðu um þau umhverfismál er virkjanir varða. Samstarfs-samningur um verkefnið var undirritaður 3. mars 1992 að undangenginni nokkurra mánaða kynningu og undirbúningsvinnu. Verkefnið var skilgreint sem átaksverk til 5 ára þótt það sé í eðli sínu langtímaverk. Í samstarfssamningi er markmið verkefnisins skilgreint á eftirfarandi hátt: "Markmiðið með samningi þessum er að rannsaka ítarlega áhrif háhitasvæða á umhverfið og hver breyting verði þar á við virkjun svæðanna til framleiðslu á raforku og/eða varmaorku. Jafnframt þessu að rannsaka ýmsar leiðir til að draga úr mengun samfara nýtingu háhitasvæða".

Í upphafi voru skilgreind forgangsverkefni, sem æskilegt væri að vinna innan ramma *umhverfisverksins*.

Forgangsverkefnin skiptast í eftirfarandi verkþætti:

Almenn atriði, skilgreining og viðmið

1. Umhverfisúttekt, svonefnd núllgrunnsúttekt, á öllum svæðum sem þegar hafa verið virkjuð.
2. Rannsóknir á umhverfisáhrifum náttúrulegrar jarðhitavirkni.
3. Mælingar á gasi í andrúmslofti á virkjuðum og óvirkjuðum jarðhitasvæðum og í grennd við þau.
4. Athugun á erlendum reglugerðum varðandi umhverfismál jarðhitavinnslu.

Þróun aðferða til eftirlits með áhrifum jarðhitavinnslu á umhverfi

5. Þróun fjarkönnunaraðferða til umhverfisrannsókna.
6. Mat á breytingu á náttúrulegu útstreymi gufu.
7. Hæðar- og þyngdarmælingar á jarðhitasvæðum til þess að rannsaka áhrif massatöku.
8. Rannsókn á smáskjálftavirkni á jarðhitasvæðum.
9. Rannsóknir á grunnvatni.
10. Mat á aðferðum til gaslosunar.
11. Tilraunir varðandi niðurdælingu affallsvatns.
12. Rannsókn á myndun og útbreiðslu gufupúða í jarðhitageymum virkjunarsvæða

Heildarkostnaður við *Umhverfisverkefnið* er nú orðinn um 80 mkr og hefur Orkustofnun greitt um 45 % kostnaðar en samvinnuaðilarnir afganginn. Í töflunni hér að neðan er samantekt kostnaðar fyrir helstu verkþættina, en þess ber að geta að eigin vinna samvinnuaðila er ekki að fullu metin í uppgjörinu. Umfangsmestu verkþættirnir hafa verið hæðar- og þyngdarmælingar, rannsóknir á gasi og þróun fjarkönnunaraðferða til eftirlits með jarðhitasvæðum.

Kostnaður við *Umhverfisverkið* 1992-1997

Verkefnið	UMHVERFISÁHRIF JARÐHITANÝTINGAR						
KOSTNAÐUR í þús. kr	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Samtals
Verkþáttur							
Umhverfisúttekt/Forverk	2560	1630		345	562	277	5374
Kynning, mótun, verkstjórn	1600	2870	2250	2460	2171	1014	12365
Landmælingar	7495	2090	5770	4200	1772	1041	22368
Grunnvatnsrannsóknir	160	55	260	125	124	630	1354
Rannsókn á óvirkj. sv.	1770	1400	1330	810	465	861	6636
Mælingar á gasi		4325	5190	4935	1544	562	16556
Athugun á úða og tæringu		290	225	290	291	154	1250
Smáskjálftamælingar		2250	995	280		51	3576
Kortlagning gufupúða		865					865
Mat á gufustreymi		230	55	40	9		334
Fjarkönnun		2500	2040	1550	1625	2035	9750
Gaslosun		255	170				425
Ahrif sýrustigs á útfellingu		50					50
Samtals	13585	18810	18285	15035	8563	6625	80960

Fyrsti verkþátturinn, sem unnið var að í *Umhverfisverkinu* var núllgrunnsúttekt á umhverfisþáttum í svokölluðu forverki 1992, sem lauk með skýrslu 1993. Önnur verkefni tengd umhverfisúttekt hafa verið vinna við mat á hugsanlegum breytingum á grunnvatni og gasústreymi samfara fyrirhugaðri virkjun í Bjarnarflagi og núllgrunnsúttekt á Reykjanessvæði, sem lokið var með skýrslu 1997.

Gott yfirlit hefur fengist um styrk, innbyrðis tengsl og dreifingu brennisteinsgasa á jarðhitasvæðunum og er nú verið að tengja veðurgögn og mælingar á brennisteinsvetni og brennisteinstvíoxíði á virkjunarsvæðunum. Skammtímamælingar voru gerðar á virkjunarsvæðum allra samstarfsaðila og í Hveragerði og auk þess á nokkrum óvirkjuðum jarðhitasvæðum, þ.e. á Ölkelduhálsi, Þeistareykjum og Krýsuvík. Gerðar hafa verið langtímamælingar, um 4-6 mánaða skeið, á gasi í andrúmslofti á virkjunarsvæðum allra samstarfsaðila, nema á Reykjanesi, og skrifaðar um þær skýrslur. Verið er að vinna úr gögnum frá mælingum á Írafossi og Korpu með hjálp loftdreifingarlíkana og einnig er verið að setja upp tilraunir í samvinnu við Norrænu Eldfjallastöðina til þess að fá úr því skorið hve stór hluti brennisteinsvetnis getur oxast í brennisteinstvíoxíð á tilteknum tíma við mismunandi aðstæður. Könnun á áhrifum gass og gufu í andrúmslofti á virkjunarstöðunum á mannvirki mun ljúka 1997.

Unnið hefur verið mun minna við verkþáttinn, mat á aðferðum til gaslosunar en áætlað hafði verið. Hitaveita Reykjavíkur hafði unnið talsvert að þessu verkefni áður en *Umhverfisverkið* hófst og var áætlað að halda þeirri vinnu áfram innan ramma þess. Stefnt var að því að gera ítarlegri úttekt á þekktum leiðum til umhverfisvænnar losunar á gasi. Einnig var á áætlun að safna upplýsingum um aðferðir til hreinsunar á gasi til vinnslu á hreinni kolsýru úr hveralofthi, þar sem slík iðnaðarnýting getur leitt til minnkunar á útstreymi koltvísýrings. Þessi verkefni frestast en æskilegt væri að ljúka þeim síðar.

9

Einnig er að ljúka verkefni um þróun á fjarkönnunaraðferðum til að fylgjast með langtímabreytingum í varmaflæði og virkni á jarðhitasvæðum. Verkefnið hófst 1993 og hafa öll vinnslusvæði samstarfsaðila verið mynduð þrívægis og einnig nokkur óvirkjuð svæði tvisvar til þrisvar þ.e. Þeistareykir, Kverkfjöll, Krýsuvík, Trölladyngja, Ölkelduháls og Fremri námur. Unnið verður úr öllum mælingunum að einhverju leyti, en sérstök svæði verða valin til nákvæmari könnunar og samanburðar við rannsóknir á jörðu niðri. Lokaskýrsla þessa verks er í vinnslu.

Á árinu 1995 var þróaður og prófaður búnaður til þess að mæla gufustreymi úr gufuaugum í samvinnu við Hitaveitu Reykjavíkur.

Unnið hefur verið að hæðar- og þyngdarmælingum á öllum virkjunarsvæðum samstarfsaðilanna. Unnið hefur verið úr eldri gögnum og er búið er að skilgreina mælinet og eðlilegt eftirlit með þessum þætti á hverjum stað.

Á árunum 1993-1994 var hafin rannsókn á hugsanlegum áhrifum vinnslu og niðurdælingar á smáskjálftavirkni á jarðhitasvæðinu í Svartsengi. Verkið var unnið í samvinnu við Raunvísindastofnun Háskólans, sem á næstu árum hélt nokkuð áfram með verkið á eigin kostnað. Á síðasta ári var unnið að áframhaldi þessa verks og setti Veðurstofa Íslands upp þrjá fasta jarðskjálftamæla á Reykjanesi.

Unnið hefur verið að rannsóknum á grunnvatni á Hengilssvæði og í Kröflu. Gerð grunnvatnskorts á Hengilssvæði er lokið. Gefin var út skýrsla um rannsóknir í Kröflu 1996. Styrkur til frekari grunnvatnsrannsókna á Kröflu og Mývatnssvæði fékkst 1997 fékkst frá Rannsóknarráði og mun það verkefni standa a. m. k. næstu tvö ár.

Unnið hefur verið nokkuð að rannsókn á áhrifum sýrustigs á útfellingu og útfellingarhraða í jarðsjó í niðurdælingarvatni í Svartsengi.

Árið 1993 voru gerðar tilraunir til að kortleggja gufupúða í Svartsengi með jarðsveiflumælingum.

Lítið fjármagn hefur fengist til að efla umhverfisrannsóknir á óvirkjuðum háhitasvæðum þrátt fyrir samdóma álit samstarfsnefndar um *Umhverfisverkið* og forsvarsmanna Orkustofnunar um nauðsyn þess. Nokkuð hefur þó verið unnið að úttekt á umhverfisáhrifum náttúrlegs jarðhita og tímaháðum eðlisbreytingum jarðhita á nokkrum jarðhitasvæðum, sem ætla má að verði virkjuð á næstu áratugum (Þeistareykjum, Krýsuvík, Trölladyngju) og á einu svæði, sem ekki er útlit fyrir að verði virkjað í bráð (Kverkfjöll). Þessi rannsókn er í eðli sínu langtímaverkefni og verklok þess ekki fyrirsjáanleg. Gerð hefur verið langtímaáætlun um rannsóknir á náttúrulegum breytingum á jarðhitasvæðum, er líklegt má telja að verði virkjuð á næstu áratugum. Vegna aukinnar áherslu á umhverfisþætti við val á staðsetningu og forgangsröðun virkjana er mikilvægt að þessu verkefni verði haldið áfram.

BRENNISTEINSVETNI Í ANDRÚMSLOFTI Á JARÐHITASVÆÐUM

Einar Gunnlaugsson og Gretar Ívarsson
Hitaveitu Reykjavíkur

Sagt er frá niðurstöðum mælinga Orkustofnunar og Hitaveitu Reykjavíkur á gasi í andrúmslofti árið 1993. Niðurstöðurnar voru birtar í skýrslu sem nefnist: Mælingar á gasi í andrúmslofti, OS-93074/JHD-16. Mældur var styrkur brennisteinsvetnis (H_2S), brennisteinsdíoxíðs (SO_2) og kvikasilfurs (Hg) á níu háhitasvæðum, Hveragerði, Nesjavöllum, Ölkelduhálsi, Krísuvík, Svartsengi, Reykjanesi, Kröflu, Námafjalli og Þeistareykjum.

Orkustofnun mældi styrk þriggja gastegunda. Safnað var tvisvar einn sólarhring í senn. Sýnin voru síðan mæld á rannsóknarstofu. Mælingar Hitaveitu Reykjavíkur á brennisteinsvetni voru gerðar með Jerome 621 mælitæki sem gefur kost á mörgum mælingum á skömmum tíma og þar með dreifingu brennisteinsvetnis í andrúmslofti á stóru svæði.

Samkvæmt mælingum Orkustofnunar eru hæstu mæligildi fyrir H_2S frá Nesjavöllum $200 \mu g/m^3$ (160 ppb), en einnig allhá í Bjarnarflagi, $83 \mu g/m^3$ (66,6 ppb) og Kröflu, um $45 \mu g/m^3$ (36,1 ppb). Á Reykjanesi og Ölkelduhálsi mældust rúm $30 \mu g/m^3$ (24,1 ppb) og í Námaskarði og Þeistareykjum um $20 \mu g/m^3$ (16 ppb). Annars staðar mældist minna en $10 \mu g/m^3$ (8ppb).

Samkvæmt mælingum Hitaveitu Reykjavíkur á H_2S eru einstök mæligildi á bilinu 0-522 ppb og meðalgildi mælistaða á bilinu 0 – 498 ppb. Meðaltöl svæða voru á bilinu 2,1 – 40,2 ppb H_2S og meðaltal allra svæða 15,7 ppb. Lægsta meðalgildi fyrir brennisteinsvetni reyndist vera í Hveragerði (2,1 ppb) og litlu hærra á Nesjavöllum og Kröflu, 6,0 og 6,4 ppb. Á Reykjanesi, Ölkelduhálsi og Svartsengi á bilinu 10,2 – 16,4 ppb, og á Þeistareykjum og Krísuvík á bilinu 22,5 – 24,4 ppb. Hæst reyndist meðalgildið vera á Námafjallssvæðinu um 40,2 ppb.

Samkvæmt dreifingu og flatarmáli jafnstyrktarlína er áætlað að afgösun H_2S sé mest á Nesjavalla-svæðinu eða sem samsvarar 88 faldri afgösun Hveragerðissvæðisins, þar sem afgösun er minnst. Næst mest er hún á Námafjallssvæðinu (67 föld) en síðan koma Krafla (28 föld), Þeistareykir (22 föld) og Svartsengi (2 föld).

Flest mæligild fyrir SO_2 liggja nærri óvissumörkum greiningaraðferðarinnar, eru í flestum tilvikum lægri en $5 - 6 \mu g/m^3$. Í öllum tilfellum er styrkur SO_2 og H_2S vel undir viðmiðunarmörkum leyfilegu hámarki mengunnar.

Mælingar á kvikasilfri benda til þess að styrkur þess sé í öllum tilfellum lægri en $6 ng/m^3$, rétt við óvissumörk greiningaraðferðar. Er styrkur kvikasilfurs svipaður og styrkur þess utan jarðhitasvæða, svo sem yfir haf- og strandsvæðum.

Einkennandi er fyrir mælingarnar, einkum hvað varðar SO_2 og H_2S er hve breytileiki er mikill á styrk sýna sem tekin eru á sama söfnunarstað. Er greinilegt að afstaða söfnunartækja til gufuústreymis og ríkjandi vindáttar á meðan á söfnun stendur ræður hér mestu.

LANGTÍMAMÆLINGAR Á BRENNISTEINSGASTEGUNDUM Í ANDRÚMSLOFTI Á JARÐHITASVÆÐUM

Hrefna Kristmannsdóttir, Magnús Sigurgeirsson og Kristján H. Sigurðsson
Orkustofnun

Brennisteinsvetni (H_2S) er ríkjandi brennisteinsgastegund í jarðhitagufu og eru rúm sex þúsund tonn af því losuð árlega í íslenskum jarðhitavirkjunum. Það er eitruð gastegund í háum styrk, en vegna þynningar er hætta af því bundin við nánasta umhverfi útstreymis. Það er einnig mjög hvarfgjarn og í oxandi umhverfi getur það myndað brennistein(S), brennisteinstvíoxíð (SO_2) eða brennisteinssýru (H_2SO_4). Skiptar skoðanir eru um hver afdrif brennisteinsvetnisins eru í andrúmsloftinu. Mikill brennisteinn myndast sjáanlega umhverfis gufuauðu við oxun brennisteinsvetnis. Margir telja að meginhluti þess brennisteinsvetnis, sem berst með lofti lengra frá jarðhitasvæðunum oxist einnig yfir í brennistein, sem falli til jarðar með úrkomu. Hann safnist þar fyrir í jarðvegi og verði smám saman að málmsöltum, sem séu alls ekki skaðleg. Aðrir telja að brennisteinsvetnið oxist aðallega yfir í brennisteinstvíoxíð. Þetta atriði skiptir verulegu máli vegna alþjóðlegra samninga og reglugerða og við mat á því hvort nauðsynlegt sé að setja upp hreinsibúnað fyrir jarðhitavirkjanir.

Mælingar á brennisteinsgastegundum í andrúmslofti yfir jarðhitasvæðum, bæði óvirkjuðum og vinnslusvæðum hafa verið einn aðalverkhátturinn í "Umhverfisverkinu" og sömuleiðis rannsókn á dreifingu þeirra og hvörfum í andrúmsloftinu. Skammtímamælingar leiddu í ljós mikinn breytileika á styrk gastegunda á sama stað og að til að fá haldgóðar upplýsingar um grunngildi þessara gastegunda þyrfti að mæla samfelt í langan tíma (í nokkra mánuði a.m.k.) og gera veðurathuganir samhliða. Eftir prófun mismunandi mæliaðferða var mælt um 4-6 mánaða skeið á öllum virkjunarsvæðunum, nema á Reykjanesi. Samskonar mælingar voru gerðar við Korpu og á Írafossi til að kanna dreifingu og hvörfun brennisteinsvetnis. Mælistaðir voru valdir með hliðsjón af niðurstöðum skammtímamælinganna. Inntak fyrir loft var í um 2 m hæð og þaðan var loftinu dælt stöðugt gegnum síur og það rúmmálmælt. Skipt var um síur á sólarhringsfresti. Brennisteinsvetninu var safnað í síu gegnvætta af silfurnítratlausn ($AgNO_3$), þar sem það binst sem silfursúlfið (Ag_2S) og brennisteinstvíoxíðinu á síu gegnvætta með kalíumhýdroxíðlausn (KOH) og síðan oxað yfir í sulfat (SO_4) og greint sem slíkt.

Niðurstöður mælinganna sýndu að styrkur brennisteinsvetnis var að meðaltali mjög svipaður á öllum jarðhitasvæðunum, en hæstur á Nesjavöllum.

Meðaltöl og spönn mælinga á brennisteinsvetni (H_2S) og brennisteinstvíoxíði (SO_2) Styrkur í $\mu g/m^3$

Staður	Meðalstyrkur H_2S	Styrkspönn H_2S	Meðalstyrkur SO_2	Styrkspönn SO_2
Nesjavellir	13	9,5-15,2	1,7	1,0-2,9
Svartsengi	10	6,6-11,6	1,0	0,8-1,3
Krafla	11	9,6-12,1	2,4	2,1-2,8
Námafjall	11	10,5-11,4	5,5	2,5-8,3

Þessi gildi eru stærðargráðu lægri en hæst mældist í skammtímamælingunum. Meðaltöl af styrk brennisteinstvíoxíðs eru mjög breytileg á milli svæða, en skýra má hæstu gildin með utanaðkomandi mengun. Svo virðist sem óverulegur hluti brennisteinsvetnisins oxist yfir í brennisteinstvíoxíð inni á jarðhitasvæðunum sjálfum jafnvel á kyrrum dögum þegar lítil hreyfing er á lofti. Í úrkomu hverfur brennisteinsvetni að mestu úr lofti, en styrkur brennisteinstvíoxíðs virðist lítið háður úrkomu. Frumtúlkun á mælingum við Korpu og á Írafossi bendir heldur ekki til mikillar oxunar á þeirri leið, en úrvinnsla gagna, líkangerð og tilraunir í samvinnu við Norrænu Eldfjallastöðina mun væntanlega skýra frekar hve stór hluti brennisteinsvetnisins getur oxast í brennisteinstvíoxíð á tilteknum tíma við mismunandi aðstæður.

LÍKANAREIKNINGAR OG HVÖRFUN BRENNISTEINSVETNIS

Hreinn Hjartarson, Veðurstofu Íslands.

Helstu niðurstöður:

Skoðaðar hafa verið niðurstöður mælinga sem fram fóru á tímabilinu frá því í september 1994 þar til í desember 1995, á magni brennisteinsvetnis og brennisteinsdíoxíðs. Mælistaðirnir voru að Korpu við Reykjavík og að Írafossi í Grímsnesi. Tilgangur mælinganna var að varpa nokkru ljósi á dreifingu og afdrif brennisteinsvetnisins frá Nesjavallasvæðinu. Ljóst er að mun viðameira mælinet hefði þurft til að fá niðurstöður sem gæfu skýr svör við spurningunni um hvörfun brennisteinsvetnisins yfir í SO_2 en það er mjög mikilvægt atriði í umhverfismálaumræðunni.

Við dreifingarútreikninga eru notuð föst gildi fyrir útblásturinn, 6,9 kg/mín að vetrarlagi en 4,1 kg/mín að sumarlagi. Notað er Gaussískt reiknilíkan frá bandarískum aðila. Það tekur tillit til stöðugleika loftsins, vindhraða og hitastigs ásamt eiginleikum þeirrar lofttegundar sem um er að ræða.

Með líkanareikningum má sýna fram á að styrkur brennisteinsvetnis á mælistöðunum er oft afleiðing af flutningi vetnisins frá Nesjavöllum án hvörfunar yfir í brennisteinsdíoxíð. Styrkur brennisteinsdíoxíðs að Írafossi er mjög lágur og langtímamælingar sýna enga aukningu þrátt fyrir verulega aukningu á útblæstri frá Nesjavöllum. Magn SO_2 að Korpu er að jafnaði lægra en í Reykjavík og engin fylgni er milli styrks brennisteinsvetnis og brennisteinsdíoxíðs hvorki að Írafossi eða á Korpu. Í mörgum tilvikum má sjá að úrkoma hefur nokkur áhrif á styrk brennisteinsvetnisins að Korpu en nokkur misbrestur var á skráningu úrkomu að Nesjavöllum meðan á mælingum stóð. Hvarfhraði efnaferlisins sem oxar brennisteinsvetnið yfir í SO_2 er mjög breytilegur eftir aðstæðum og er þar fyrst og fremst um að ræða hve oxandi umhverfið er. Það magn koldíoxíðs sem í útblæstrinum er, ásamt brennisteinsvetninu og vatnsgufu, veldur frekar súru umhverfi. Því má ætla að hraði útskolunar úr andrúmsloftinu sé að jafnaði til muna meiri en hvarfhraðinn.

ÁHRIF ÚÐA OG TÆRINGAR Á JARÐHITASVÆÐUM

Magnús Á. Sigurgeirsson, Sverrir Þórhallsson og Magnús Ólafsson, Orkustofnun.
Einar Gunnlaugsson, Hitaveitu Reykjavíkur

Greint er frá athugunum á úða og tæringu á fjórum háhitasvæðum, Nesjavöllum, Kröflu, Námafjalli og Svartsengi á árunum 1994-1997. Til að mæla tæringu málma voru notaðar plötur úr járn, kopar og áli. En til údamælinga voru notaðir speglar. Plöturnar voru festar upp á tréstauro, fjórar af hverri gerð á hvern staur. Fimm staurar voru settir upp á Nesjavöllum og við Kröflu en sex á hinum stöðunum. Athugunartíminn var um eitt ár. Til að mæla úða og tæringu voru plöturnar vigtaðar fyrir og eftir notkun og fundið út hvort um þyngdaraukningu eða minnkun var að ræða. Eftir próftímann kom í ljós að járn- og koparplöturnar voru verulega tærðar. Járnplöturnar voru allar ryðgaðar og höfðu í sumum tilvikum klofnað í ryðflögur. Á koparplötunum hafði myndast veðrunarhúð, í sumum tilfellum það mikil að hún flagnaði af. Álplöturnar voru lítið tærðar, en á þeim voru þó yfirleitt smáir mattir dílar. Á speglunum mátti í sumum tilfellum sjá ljósa örsmáa údadíla en almennt voru ekki mikil merki um úða. Til að kanna hversu mikil tæringin á járninu var í reynd var veðrunarhúð (ryðið) leyst upp af nokkrum plötum og síðan reiknað út hversu mikil þynging þeirra var. Einnig voru flögur af koparskífum greindar í röntgentæki til að finna út hvaða ummyndunarsteindir höfðu myndast. Niðurstöðurnar sýna að járnskífurnar léttust í flestum tilvikum. Eftir að ryðið hafði verið leyst upp af plötunum og þær síðan vigtaðar aftur kom í ljós að plöturnar frá Nesjavöllum höfðu þynnst u.þ.b. tvöfalt meira en þær frá Kröflu, eða 0,090 mm/ári á móti 0,047 mm/ári. Ástæður fyrir þessu er ekki að fullu ljósar en nefnd skulu þó tvö atriði sem skipt geta máli. Mælingar hafa leitt í ljós að afgangur á H₂S er um þrefalt meiri við Nesjavelli en Kröflu. Ekki er ólíklegt að það flýti fyrir tæringu járnins. Einnig má benda á að sjávarúða gætir án efa meira við Nesjavelli en við Kröflu. Áhrif seltu á járn þarf vart að tíunda hér. Kanna þyrfti þessa þætti betur. Koparskífurnar ýmist léttust eða þyngdust. Í þeim tilvikum sem létting átti sér stað er greinilegt að veðrunarhúðin hefur flagnað af plötunum. Röntgengreining á veðrunarhúðinni leiðir í ljós að um er að ræða steindirnar, cuprite (CuO), posnjakite og brochantite, sem eru koparsúlfatsteindir, og svo covellite (CuS). Koparsúlfatsteindirnar virðast vera meira ráðandi við Kröflu en Nesjavelli. Er það í góðu samræmi við mælingar á brennisteinsgösum í andrúmslofti en þær leiddu í ljós að styrkur brennisteinsdíoxíðs (SO₂) er um 50 % meiri við Kröflu en Nesjavelli. Staðfesta röntgengreiningar að brennisteinsgös eiga stóran þátt í tæringu koparsins. Í Kröflu og á Nesjavöllum varð örli til þyngdaraukning á áli og speglum. Í Svartsengi er einkennandi hversu mismikil tæringin er á milli stauro. Mælist þarna mesta tæring á járn í þessum athugunum. Smávægileg þyngdarlétting varð á áli og speglum. Við Námafjall var þyngdarbreyting mest á járn- og koparplötum sem voru við Hverarönd. Þar kemur fram mesta mælda þyngdarlétting á kopar. Mesta mælda tæring á áli kemur einnig fram við Hverarönd. Speglar léttast lítillaga. Þær athuganir sem hér hefur verið greint frá benda til að tæring málma sé mjög háð afstöðu til gufuústreymis- og gasústreymisstaða á virkjunarsvæðum, s.s. við orkuver, kæliturna og frárennslirásir, svo eitthvað sé nefnt. Til dæmis kemur skýrt fram að tæring á kopar er mest við Hverarönd þar sem gas- og gufuústreymi er mikið og jafnframt kemur fram að tæringin minnkar með fjarlægð frá hverasvæðinu. Tæring á járn og kopar á Nesjavöllum var mest við stöðvarhús og við Kröflu var hún mest við kæliturna. Í Svartsengi var tæring á járn og kopar mest við bunustokk, þar sem jarðsjór rennur frá orkuverinu. Einnig kemur fram að veður skiptir máli hvað tæringu varðar, einkum úrkoma og ríkjandi vindátt. Sem dæmi má nefna að við Nesjavelli varð þyngdaraukning mest á járnplötum sem snéru á móti suðri og ennfremur mest létting á plötum sem snéru á móti norðri. Þær athuganir sem hér hefur verið greint frá benda til að með þessum einföldu mælingum megi fá haldgóða mynd af tæringu og úða á jarðhitasvæðum, virkjuðum sem óvirkjuðum.

Hæðar og þyngdarbreytingar á jarðhitasvæðum Hjálmar Eysteinnsson, Orkustofnun

Tilgangur hæðar og þyngdarmælinga á jarðhitasvæðum er að fylgjast með umhverfisáhrifum vegna vinnslu úr þeim. Þegar jarðhitavökva er dælt upp úr jörðinni minnkar þrýstingur og veldur samþjöppun bergsins og landssigi. Ef jarðhitavökvinn nær ekki að andurnýjast nægjanlega hratt veldur það lækkun í þyngdarsviði vegna þess massa sem hverfur. Því gefa þessar mælingar mikilvægar upplýsingar um ástand og stærð jarðhitakerfisins.

Hér á landi er reglulega fylgst með þremur háhitasvæðum með þessum hætti, það er í Svarsengi-Reykjanesi, á Nesjavöllum og Ölkelduhálsi, og í Kröflu. Miðað er við að hvert svæði sé mælt á að minsta kosti fimm ára fresti.

Á Reykjanesi hefur land sigið á um 100 km² svæði. Mest er sigið við Svartsengisvirkjun þar sem land hefur sigið um 155 mm frá 1975 fram til 1992 er síðast var hæðarmælt. Þetta samsvarar 10 mm árssigi að meðaltali. Landsig var mest í upphafi vinnslunnar (14 mm/ári, 1975-1982), en á seinni árum hefur dregið úr sigráðanum (7 mm/ári, 1987-1992). Við jarðhitakerfið á Reykjanesi hefur land sigið mest um 40 mm, sem samsvarar 5 mm/ári. Þyngdarmælingarnar sýna yfirleitt nokkra þyngdarminnkun frá Svarsengi og út á Reykjanesi eða sem samsvarar 5-8 µgal/ári. Við virkjunarsvæðið í Svarsengi er þyngdarlækkunin um 80 µgal frá upphafi mælinga sem samsvarar 20 m niðurdrætti vatnsborðs, miðað við 10% poruhluta bergs.

Á Nesjarvallarsvæðinu hefur land sigið á takmörkuðu svæði umhverfis virkjunarsvæðið, mest um 45 mm á tímabilinu frá 1984 til 1994. Það landsig hefur einkum átt sér stað frá 1987, sem gefur um 6 mm sig á ári. Á Ölkelduhálsi hefur mælst landris, milli árunna 1994-1996, mest um 60 mm. Óverulegar þyngdarbreytingar eru á Nesjarvallarsvæðinu fram til 1994, en þá mældist yfirleitt þyngdarlækkun upp á 50 µgal, en mest er hún um 150 µgal. Ekki er hægt að skýra þessa miklu þyngdarlækkun með massatöku vegna vinnslu á Nesjavöllum. Til þess nær þyngdarminnkunin yfir of stórt svæði og eins er hún ekki áberandi mest við virkjunarsvæðið. Hugsanlega er hér um breytingar á grunnvatnsborði að ræða, en 50 µgal minnkun þýðir um 10-15 m vatnsborðslækkun, miðað við 10% poruhluta.

Á Kröflusvæðinu hafa orðið verulegar breytingar í hæð og þyngd samfara Kröflueldum. Þar hefur land risið um all að 3 metra, og annarstaðar sigið um rúman metra. Frá 1989, þegar landrisið náði hámarki, og fram til 1995, þegar síðast var mælt, hefur land sigið, mest um 250 mm. Á þessu tímabili kemur fram sigdæld umhverfis vinnslusvæði Kröfluvirkjunar, með mesta sig um 190 mm, sem samsvarar um 30 mm sigi á ári. Að því best er séð eru mældar þyngdarbreytingar eingöngu tengdar Kröflueldum. Óverulegar þyngdarbreytingar eru á vinnslusvæði Kröfluvirkjunnar frá 1986 og fram til 1995.

Samanburður á mældum hæðarbreytinum á Svartengis- og Kröflusvæðunum, mældar annarsveggar með hefðbundnum aðferðum, og hinsveggar með gervitungla radarmælingum (SAR), sýna mjög gott samræmi. Gervitungla mælingarnar gætu því innan fárra ára komið að einhverju leyti í staðinn fyrir kostnaðarsamar hefðbundnar hæðarmælingar.

15

ÞRÓUN FJARKÖNNUNARADFERÐA TIL AÐ KORTLEGGJA HITABREYTINGAR Á JARÐHITASVÆÐUM

Kolbeinn Árnason

Árið 1993 var efnt til sameiginlegs rannsóknaverkefnis Upplýsinga- og merkjafræðistofu Háskólans (UMH), Orkustofnunar, Landsvirkjunar og Hitaveitna Reykjavíkur og Suðurnesja um notkun fjarkönnunartækni við að mæla hitastig á yfirborði jarðhitasvæða og fylgjst með og kortleggja breytingar sem verða á virkni þeirra með tímanum.

Árin 1993, 1994 og 1995 var flogið yfir jarðhitasvæðin á Suðvesturlandi, frá Reykjanesi að Hengli og einnig nokkur háhitasvæði á Norðurlandi og varmageislun þeirra mæld með hitaskanna sem komið hefur verið upp hjá UMH. Eftir mælingarnar 1993 voru gerðar miklar endurbætur á hitaskannanum og enn frekari breytingar 1994. Næmni tækisins er nú um það bil $0,1^\circ/\text{grágildi}$ og hægt er að mæla með því á öllu hitasviðinu upp fyrir 1000°C .

Nokkur tölfræði varð á seinni hluta verkefnisins sem lýtur að því að kortleggja breytingar sem verða á varmageislun jarðhitasvæða með tímanum. Í því skyni þarf að vinna sameiginlega úr mælingum sem gerðar eru af sama svæðinu á mismunandi tímum. Forsenda fyrir slíkri úrvinnslu er sú að geómetríá myndefnisins sem safnað hefur verið í tvö eða fleiri skipti af sama svæðinu sé sambærileg, en alltaf er nokkur bjögun í myndunum og hún er mismunandi frá einu skipti til annars. Skannanum er komið fyrir í flugvélinni með þeim hætti að hann er festur við gólf vélarinnar og hreyfist því eins og hún meðan á mælingu stendur. Óreglulegar hreyfingar flugvélarinnar koma fram sem bjögun í geómetríu þess myndefnis sem verið er að safna og þessa bjögun þarf að leiðrétta áður en hægt er að bera gögnin saman með stafrænum hætti.

Nú hefur verið þróaður sérstakur hugbúnaður til þess að laga geómetríu einnar myndar að annarri (eða korti) þannig að nákvæmur samanburður myndefnisins í tölum er mögulegur. Þessi hugbúnaður hefur reynst mjög vel og gerir hann kleift að sýna á myndrænan hátt hvar hitastigsbreytingar hafa orðið og jafnframt hversu mikil hitnunin eða kólnunin er á hverjum stað.

Tilgangurinn með geómetrískum leiðréttingum hitamyndanna er sá að sýna fram á hvar og hversu miklar breytingar hafa orðið á yfirborðshita jarðhitasvæða milli tveggja mælinga, en þessar leiðréttingar eru tímaflek vinna. Ef hægt er að ganga úr skugga um að engar hitabreytingar hafa orðið á ákveðnum svæðum án þess að gera þessar leiðréttingar er því hægt að spara sér þessa vinnu.

Með því að bera saman tölfræði hitamynda sem teknar eru af sama svæðinu á mismunandi tíma er hægt að einangra þá staði þar sem einhverjar breytingar hefa orðið á varmageisluninni. Þannig er hægt að takmarka geómetrískar leiðréttingar á gögnunum við slíka staði, staðsetja breytingarnar nákvæmlega og reikna út hversu miklar þær eru. Með þessu móti er hægt að gera reglubundið eftirlit með jarðhitasvæðum mun ódýrara án þess að minnka gildi þeirra upplýsinga sem fást úr hverju mælingaflugi.

Tilkoma leiðréttingarhugbúnaðar fyrir geómetríu hitamyndanna breytir því ekki að núverandi fyrirkomulag skannans í flugvélinni er óheppilegt. Ákjósanlegra væri að koma honum fyrir með þeim hætti að hann sé óháður öllum hreyfingum flugvélarinnar og haldi ákveðinni stöðu miðað við jörð meðan mæling fer fram. Það er að sjálfsögðu gerlegt en kostar peninga, sem hingað til hafa ekki legið á lausu.

ÁHRIF NIÐURDÆLINGAR Á SMÁSKJÁLFTAVIRKNI JARÐHITASVÆÐA: DÆMISAGA ÚR SVARTSENGI.

Bryndís Brandsdóttir og Páll Einarsson
Raunvísindastofnun Háskólans, Dunhaga 5, 107 Reykjavík.

Knútur Árnason og Hrefna Kristmannsdóttir
Orkustofnun, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík.

Við niðurdælingu affallsvatns í námasvæði ber að hafa í huga möguleg áhrif hennar á spennusvið bergsins og þar með skjálftavirkni viðkomandi svæðis. Niðurdæling kaldara vatns í heitt berg skapar mismunaspennu í berginu og hækkandi vökvaprystingur lækkar brotmörk bergsins, jafnvel svo að það brotni í smáskjálfta. Þar sem vatn undir þrýstingi leitar strax út í nýmyndaðar sprungur má nota smáskjálftavirknina til þess að rekja slóð affallsvatns neðanjarðar á meðan á niðurdælingu stendur.

Erlendar rannsóknir sýna að nokkuð algengt er að smáskjálftavirkni aukist í tengslum við niðurdælingu í jarðhitasvæði. Dæmi um slík jarðhitasvæði eru Salton Sea og Geysers í Kaliforníu, Tongonan og Puhagan á Filippseyjum, Wairakei á Nýja-Sjálandi, og Larderello, Travale og Latera á Ítalíu. Reynsla manna víða um heim hefur þó sýnt að oft reynist mjög erfitt að meta samband smáskjálftavirkni og niðurdælingar og að nær ómögulegt er að gera sér fyrirfram grein fyrir áhrifum niðurdælingar. Þó er ljóst að niðurdælingarþrýstingur hefur mikil áhrif á smáskjálftavirknina. Sem dæmi má nefna að smáskjálftavirkni í Wairakei jarðhitasvæðinu jókst til til muna árið 1984 þegar affallsvatni var dælt í svæðið undir 20-30 bara þrýstingi við holutopp. Hins vegar hafði niðurrennsli affallsvatns á árunum 1988 og 1989 engin marktæk áhrif á sama svæði.

Vorið 1993 voru settir upp færnanlegir jarðskjálftamælur umhverfis Svartsengi með það að meginmarkmiði að kanna smáskjálftavirkni innan jarðhitasvæðisins og skrásetja hugsanlegar breytingar á henni, í kjölfar niðurdælingar affallsvatns í jarðhitakerfið. Jafnhliða voru gerðar bylgjubrots- og jarðóróamælingar til þess að fá upplýsingar um hljóðhraða svæðisins og til kvörðunar á skjálftaupptökum.

Skjálftavirkni á Reykjanesi var með minnsta móti þá mánuði sem mælingarnar stóðu yfir. Engir skjálftar mældust við Svartsengi í tengslum við niðurrennsli 217,5 þúsund tonna af vatni í holu H-6 á tímabilinu frá 19 júlí fram í desember, 1993. Engrar dælingar var þörf þar sem vatnið rann sjálfkrafa niður holuna. Með samanburði við niðurdælingartilraunir erlendis verður að telja þetta eðlilegt. Magn affallsvatns var allt of lítið og lekt svæðisins of mikil til þess að niðurdælingin hefði nokkur áhrif á vökvaprysting svæðisins. Þar sem minnkandi vökvaprystingur í jarðskorpunni lækkar brotmörk bergsins verður að telja að niðurdráttur grunnvatnsborðs í Svartsengi vegna jarðhitavinnslunnar hafi haft í för með sér tímabundna fækkun smáskjálfta á þessu svæði.

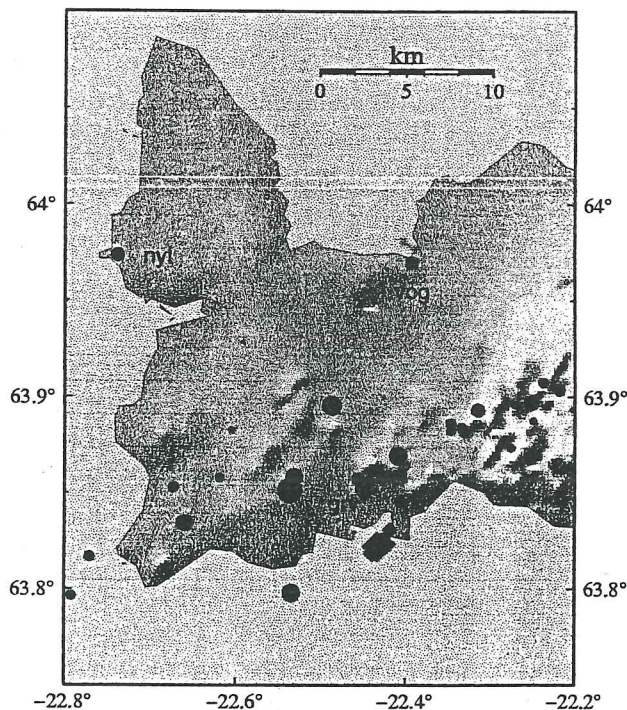
JARÐSKJÁLFTAMÆLANET Á REYKJANESI

Kristján Ágústsson, Ragnar Stefánsson,
Bergur H. Bergsson, Sigurður Th. Rögnvaldsson,
Veðurstofu Íslands.

Frá því í mars 1997 hafa 3 jarðskjálftamælar af SIL gerð verið reknir á Suðurnesjum og tengdir úrvinnslu- og eftirlitskerfi Veðurstofunnar. Mælanetið er hluti af síðasta áfanga átaksverks Orkustofnunar, fyrirtækja í orkuvinnslu og Umhverfissráðuneytis um rannsóknir á umhverfisáhrifum jarðhitanytingar. Um leið er það hluti af almennu eftirlitskerfi Veðurstofunnar með jarðhræringum á og við Reykjanesskagann. Hitaveita Suðurnesja stóð að miklu leyti undir stofnkostnaði netsins og stendur undir rekstri og gagnaúrvinnslu ásamt Veðurstofunni. Við eftirlitið og úrvinnsluna nýtast einnig aðrar SIL stöðvar í mælakerfi Veðurstofunnar, einkanlega næstu stöðvar svo sem í Krísuvík, Hafnarfirði og Vogsum. Til að fylgjast með áhrifum jarðhitavinnslu þarf fleiri stöðvar, nær vinnslusvæðinu, en reynslan af rekstri þessara fyrstu stöðva á að skapa grunn til að meta hvernig best er að þetta kerfið um leið og skapaður er bakgrunnur til að fylgjast með áhrifum vinnslunnar.

Notkunarmöguleikar jarðskjálftamælinga við jarðhitavinnslu og til eftirlits með henni eru margir. Meðal annarra má nefna jarðskjálftavirkni tengda vinnslu og niðurdælingu, óróa eða suð og staðsetningu hans, hljóðhraðabreytingar og fleira. Þessar athuganir geta gefið mikilvægar upplýsingar um jarðhitakerfið og breytingar á því.

Það sem af er árinu hefur mjög lítið verið um jarðskjálfta á utanverðum Reykjanesskaga (vestan Trölladyngju/Krísuvíkur) og því lítil reynsla komin á mælanetið. Virkni á þessu svæði hefur reyndar verið lítil frá því á miðjum áttunda áratugnum. Smæstu skjálftar sem netið hefur greint eru af stærðinni -0.4 og eiga upptök í Fagradalsfjalli. Reikna má með að skjálftar af stærðinni 0.0 með upptök í Svartsengi mælist á 3 stöðvum (grv, nyl, vog). Til að góð brotlausn fáiast með SIL hugbúnaðinum verðum við að gera ráð fyrir að atburðir sjáist á 4-5 stöðvum. Þá þurfa atburðir í Svartsengi að ná stærð um 0.2. Næmni kerfisins má auka með fjölgun stöðva að vissu marki. Órói setur eðlilega neðri mörk á stærð mælanlegra skjálfta. Komið hefur í ljós að sveifluvidd óróa á mælinum í Grindavík er um það bil hundraðföld miðað við hinar stöðvarnar. Ef það er dæmigert fyrir svæðið er trúlega ekki unnt að nema mikið minni jarðskjálfta en -1.0 á Richter í grennd við Svartsengi en reynslan á eftir að leiða það í ljós.



Mynd 1: Jarðskjálftar og sprengingar á utanverðu Reykjanesi á tímabilinu frá 23. mars til 15. september 1997. Jarðskjálftamælar eru sýndir með svörtum hringjum og jarðskjálftar með rauðum hringjum. Stærð þeirra er frá -0.4 - 2.3 stig á Richter. Sprengingar eru sýndar með grænum tígulum og stærð þeirra er frá 0.2 - 1.2 stig á Richter.

TILRAUN TIL AÐ KANNA SUÐUSVÆÐI Í SVARTSENGI MEÐ JARÐSVEIFLUMÆLINGUM

Knútur Árnason, Orkustofnun

Árið 1993 var gerð tilraun til að kanna hvort sjá megi tilvist og útbreiðslu suðusvæðisins í Svartsengi með jarðeðlisfræðilegum mælingum á yfirborði. Þessi tilraun fólst í því að kanna breytileika í hljóðhraða bergsins undir Svartsengi. Fræðilegar athuganir benda til þess að hljóðhraðinn breytist verulega við það að suða verður í berginu og einungis virðist þurfa örlítinn gufuhluta til þess að hljóðhraðinn falli nánast niður í hraða í þurru bergi.

Tilraunin var gerð í tengslum við rannsókn á smáskjálftavirkni í Svartsengi. Liður í þeirri rannsókn var að framkalla skjálfta með sprengingum í og umhverfis vinnslusvæðið. Orkustofnun hafði um stundarsakir til afnota upptökutæki og kapal sem nota má til að nema jarðskjálftabylgjur í 48 nemum með 25 m milli nema. Ákveðið var að setja þessi tæki upp í Svartsengi og nema jarðskjálftabylgjur frá sprengingunum.

Tilraunin var gerð í tveimur hlutum. Í fyrri hlutanum var hlustunarkapallinn lagður meðfram gufulögninni að holum H-2 og H-3, fram hjá orkuverinu og til suðvesturs út eftir veginum í átt að Eldvörpum. Jarðskjálftabylgjur frá sprengingum voru skráðar stafrænt fyrir hvern hinna 48 nema með þar til gerðum upptökutækjum (söfnunarbíl 2 ms). Sprengt var á um 560 m dýpi í holu SG-4 og á um 40 m dýpi í kaldavatnsholu HSK-1 norður með Grindavíkurvegi. Einnig var sprengt vestast í Blálóninu og í Grindavíkurhöfn.

Þessar mælingar, og þá einkum gögn frá skotinu í Grindavíkurhöfn, gáfu vísbendingar um verulega lægri hljóðhraða á svæðinu um og austan við stöðvarhúsið í Svartsengi en þar fyrir vestan. Hraðalækkunin virtist í grófum dráttum í samræmi við þá hraðabreytingu sem gera má ráð fyrir við suðu í vatnsmettuðu bergi við 200°C.

Því var ákveðið að gera frekari tilraunir og leggja hlustunarkapalinn frá afleggjaranum að malarnámunum vestan í Svartsengisfelli og norður með Grindavíkurveginum og sprengja í Grænavatni í Krísuvík og í sjó við Hafnir vestan á Reykjanesskaga. Með því móti ættu hljóðbylgjur sem berast eftir háhraðalögum djúpt í jörðu og brotna síðan til yfirborðs að fara upp í gegnum svæðið kringum holur H-2 og H-3 þar sem vitað er að suða er til staðar í jörðu. Ef um er að ræða verulegan gufuhluta í berginu á þessum slóðum, ætti að koma fram seinkun í komutíma bylgnanna borið saman við svæði þar sem gufa er ekki til staðar.

Skráningin á skotonum í Höfnunum og Grænavatni sýndi enga marktæka breytingu í hljóðhraða í bergi undir kaplinum norður með Grindavíkurveginum. Einungis eru um eða innan við 300 m milli norðausturenda kapalsins á fyrri staðnum og suðurenda hans á seinni staðnum. Ólíklegt er að verulegur munur sé á meðalhljóðhraða efstu nokkur hundruð metra jarðskorpunnar undir þessum tveimur stöðum. Hljóðhraðinn í efstu hundruð metrunum virðist því vera verulega lægri á svæðinu austan við orkuverið og norður með Grindavíkurvegi en vestan orkuversins.

Hugsanlega er suða í berginu undir mun stærra svæði en ætla má út frá ummerkjum á yfirborði, en gufusvæðið á yfirborði er einkum takmarkað við nágrenni austustu vinnsluholanna. Annar möguleiki er að lægri hljóðhraði undir og norðaustan við virkjunina sé ekki vegna gufu í bergi heldur vegna þess að jarðfræðilegar aðstæður séu aðrar þar en vestar. Lægri hljóðhraða má hugsa sér að skýra með hærra hlutfalli móbergs og/eða mun brotnara bergi.

14

Jarðlagasnið úr borholum í Svartsengi sýna heldur minna móberg í vestustu holunum en í holum austar, en sá munur er hvergi nærri nægur til að skýra þann mun sem virðist vera í hljóðhraðanum. Hugsanlega er brotarein með NA-SV stefnu undir austanverðu svæðinu sem hefur lægri hljóðhraða en bergið vestan hennar. Slíkrar brotareinar sér lítinn stað á yfirborði utan brota í Þorbirni, en brot og misgengi á láglendinu geta verið hulin ungum hraunum.

Niðurstaða þessara tilrauna er því sú að þær benda til þess að hljóðhraði í efstu nokkur hundruð metrum jarðskorpunnar við Svartsengi sé verulega lægri í austurhluta vinnslusvæðisins en vesturhluta þess. Ekki er ljóst hvort lágur hraði tengist suðu í bergi, en til þess að svo sé virðist þurfa að gera ráð fyrir að suðusvæðið sé verulega stærra en hingað til hefur verið talið. Sú tilraun sem hér er lýst var gerð með það fyrir augum að þreifa á vandamálinu með lágmarks tíma og tilkostnaði til að fá vísbendingar um hvort hljóðhraðamælingar gætu nýst við kortlagningu suðusvæðisins. Til að fá úr því skorið hvort hinn lági hraði tengist suðu í berginu, þarf að kortleggja útbreiðslu lághraðasvæðisins mun betur en gert hefur verið og gera líkanreikninga þar sem tekið er tillit til fyrirliggjandi gagna úr borholum á svæðinu.

AÐFERÐIR TIL MÆLINGA Á GUFUSTREYMI ÚR GUFUAUGUM

Gestur Gíslason

Hitaveita Reykjavíkur

Varmi frá háhitasvæðum tapast á náttúrulegan hátt til yfirborðs með vatni í hverum, varmaleiðni um varmaskellur og gufu í gufuaugum og leirhverum. Aðferðir til þess að ákvarða rennsli frá vatnshverum og hitastreymi um hitaskellur hafa verið þróaðar, en mæling á gufustreymi frá gufuaugum hefur reynst erfiðleikum bundin, sérstaklega úr þeim öflugustu. Stærstur hluti náttúrulegs varmatapsins verður hins vegar um stór gufuaugu, og nánast öll gaslosun frá háhitasvæðum fer um gufuaugu.

Streymi um minni gufuaugu er unnt að mæla með því að þétta gufuna, en gufumagn í öflum gufuaugum hefur verið metið með því að bera stærð gufustróksins saman við gufustróka úr smærri gufuaugum, sem hafa verið mæld. Þess aðferð er bundin verulegri óvissu, er mjög persónubundin og erfitt er að samræma hana milli mælingamanna. Þegar skilgreindir voru forgangsverkefni í átaksverkefni um "Umhverfisáhrif jarðhitanytingar" 1991-1992 voru mælingar á gufustreymi úr gufuaugum einn þeirra þátta, sem ákveðið var að vinna að.

Jarðfræðistofnun Bandaríkjanna hefur um árabíl notað búnað til mælinga á gufustreymi úr gufuaugum, sem byggir annars vegar á lofthraðamælingum með lítilli vindrellu og hins vegar á mælingum á þrýstimun með "pítot-rörum". Samkvæmt upplýsingum sem hingað bárust reyndist búnaðurinn bærilega, og var því ákveðið að reyna hann við íslenskar aðstæður, og var því keyptur árið 1993 svipaður búnaður og notaður er á Jarðfræðistofnun Bandaríkjanna. Gerð var grein fyrir fyrstu niðurstöðum tilraunarinnar í skýrslu Gests Gíslasonar og Magnúsar Á. Sigurgeirssonar "*Athugun á búnaði til mælinga á gufustreymi úr gufuaugum*". Skýrslan kom út árið 1995.

Búnaðurinn var reyndur á Nesjavöllum, bæði á náttúrulegum gufuaugum og við gufustreymi úr gufulögnum virkjunarinnar. Niðurstöður sýna að bæði tækin duga til að mæla straumhraða gufunnar við ákveðin skilyrði, en einnig hafa tilraunirnar leitt í ljós nokkur tæknileg vandamál. Gufuhraðinn í þeim augum sem mæld voru með rellunni reyndist á bilinu 0 - 25 m/s. Vegna dropamyndunar nær rellan ekki að snúast á blautri vatnsgufu þegar hraðinn er undir 5 - 6 m/s, en mikið að þeim gufuaugum sem reynt var að mæla er undir þeim mörkum. Þá kom einnig í ljós að mismunaprýstingurinn sem gufuhraði veldur í "pítot-rörinu" er mjög lágur, eða á bilinu 0 - 2 mbar. Nákvæmstu mælar sem voru handbærir mældu hins vegar þrýsting á bilinu 0 - 64 mbar. Þetta mætti væntanlega laga með því að festa kaup á nákvæmnisþrýstimæli. Þétting í augum pítot-rörsins veldur einnig erfiðleikum við mælingu sem og þrýstitap í röri og slöngum.

Það er ljóst að lokinni fyrstu tilraun á búnaðinum að með endurbótum á honum má fá upplýsingar um hraða gufunnar í gufuaugum. Markmiðið er hins vegar að fá mælingu á gufumagni, en til þess þarf eðlisrúmmál gufunnar að vera þekkt. Ef um er að ræða mettaða vatnsgufu þá er það vel þekkt sem fall af hitastig, en um leið og þétting hefst eykst óvissa í reikningum í réttu hlutfalli við þéttinguna. Þétting veldur þannig óvissu um eðlisrúmmál og varmáinnihald auk þess sem dropamyndun við þéttingu truflar mælitækin eins og að ofan greinir.

Hér á landi er algengast að þegar gufa nær yfirborði í gufuaugum er hún mettuð og hitastig hennar nálægt 100°C, og þétting hefst um leið og gufan sleppur út í andrúmsloftið. Það er því ljóst að til þess að draga sem mest úr óvissupáttum verður að mæla gufustreymi í gufuaugum áður en þétting hefst. Þetta leiðir til þess að erfitt er að koma við einhverjum búnaði yfir gufuauganu til að auðvelda mælingu því það kann að leiða til þéttingar gufunnar.

RANNSÓKNIR Á BREYTINGUM Í VIRKNI Á ÓVIRKJUÐUM JARÐHITASVÆÐUM

Halldór Ármannsson, Helgi Torfason, Magnús Ólafsson, Kristján H. Sigurðsson og Hrefna
Kristmannsdóttir
Orkustofnun

Yfirborðsummerki jarðhitasvæða breytast hvort sem þau eru virkjuð eða ekki. Í fortíðinni hefur ýmiss konar rask af manna völdum haft veruleg áhrif á ásýnd sumra þeirra eins og alkunna er með holur sem boraðar voru í Hverarönd, Námafjalli á sjötta áratugnum en ekki var gengið frá þannig að þær blása nú sem öflugir hverir og draga til sín ferðamenn.

Með umhverfirannsóknunum á óvirkjuðum háhitasvæðum er fyrst og fremst átt við öflun upplýsinga um núverandi ástand svæðanna og eðlilegar sveiflur til að byggja á mat á hugsanlegum breytingum í kjölfar vinnslu. Einnig er eðlilegt að frummat á umhverfisáhrifum fyrirhugaðrar virkjunar liggi fyrir við endanlegt val á milli virkjunarstaða. Í slíku frummati er lagt til að miðað sé við 20 MW raforkuvirkjun, þar sem talið er hagkvæmast að byrja með 20-40 MW virkjanir á háhitasvæðum og stækka þær síðan í ljósi reynslu af vinnslu. Helstu umhverfisrannsóknir sem eru á könnu Orkustofnunar eru jarðhitakortlagning, grunnvatnskortlagning, athugun á gufuútreymi, á styrk gass í gufu og andrúmslofti á háhitasvæðum og rannsóknir á náttúrlegum breytingum á virkni svæðanna. Ennfremur þarf að gera nákvæmar hæðar- og þyngdarmælingar og athuga smáskjálftavirkni áður en vinnsla hefst. Meta þarf áhrif affalls gufu, gass og vatns og sýna fram á rennislísiðir og dreifingu. Margir þessara þátta eru hluti frumrannsókna á háhitasvæðum og ekki unnir sérstaklega vegna umhverfisrannsókna. Í sambandi við átaksverkið voru 28 háhitasvæði tekin fyrir og staða þeirra með tilliti til virkjunar og umhverfisrannsókna metin. Þá höfðu 7 þeirra verið virkjuð að einhverju marki, 3 voru komin á vinnsluboranastig, 8 á rannsóknaboranastig, 4 á yfirborðsrannsóknastig en frumrannsókn vantaði fyrir sex þeirra. Staða þeirra með tilliti til hinna ýmsu þátta umhverfisrannsókna er sýnd í Töflu 1.

Tafla 1. Staða 28 háhitasvæða með tilliti til hinna ýmsu þátta umhverfisrannsókna

Stig	Heim- ilda- listi	Frum- mat	Jarð- hita- kort	Náttúr- legt gufu- streymi	Styrkur gass í gufu	Gas í andrúms- lofti	í Grunn- vatns- kort	Þyngd- armæl- ingar	Breytingar á náttúrlegri virkni
Tilbúið	15	8	17	10	11	10	15	14	9
Að hluta	0	0	5	6	9	3	2	2	8
Vantar	13	20	6	12	8	15	11	12	11

Ekki hefur verið fylgst skipulega með breytingum á yfirborðsvirkni jarðhitasvæða á Íslandi gegnum tíðina en út frá lýsingum á hinum þekktari, t.d. Geysis- og Reykjanessvæðum má lesa nokkra sögu. Hverir kvikna og slokkna og virðast útfellingar áhrifamiklar við að stífla hveravirkni en truflanir af völdum hreyfinga eins og jarðskjálfta opna leiðir vatnsins á ný og svo koll af kolli. Gufuaugu færast til, öflug augu myndast en hverfa svo skyndilega og virðast breytingar á vatnsborði jarðhitakerfa hafa mikil áhrif að þessu leyti. Hitastigsbreytingar gerast hægar en geta haft varanleg áhrif. Þó geta þær verið umtalsverðar á nokkrum árum. T.d. hefur hiti í borholum í Ölfusdal lækkað um 5-10°C á um 30 árum þrátt fyrir litla massatöku úr svæðinu og má ætla að ástæður séu náttúrlegar.

Breytingar vegna virkjunar svæða geta verið umtalsverðar og tengjast að langmestu leyti breytingum á vatnsborði vegna massatöku. Greinileg dæmi eru um myndun gufupúða í Svartsengi en samfara henni hefur aukist mjög virkni gufuaugna á yfirborði sem vart þekktist fyrir virkjun. Í Hvíthólum, Kröflu, hefur og orðið vart við mikla aukningu á yfirborðsgufu. Það ferli hófst þó áður en borað var í Hvíthólum og raunar áður en nokkur verulegur massi var tekinn úr svæðinu öllu. Því er erfitt að dæma um hvort sú aukning er náttúrleg eða af völdum virkjunar.

Í Rotorua, Nýja Sjálandi, hefur jarðhiti á yfirborði verið mikill frá alda öðli, þar á meðal allmargir goshverir. Rennsli er mikið og var byrjað að virkja það á þriðja tug aldarinnar og fengu menn að virkja óheft þar til nokkrir frægustu hverirnir virtust ætla að hverfa og með þeim sú ferðamennska sem er helsta tekjulind bæjarbúa. Sett var í gang viðtæk rannsóknaráætlun í því augnmiði að skilja eðli breytinganna, sett voru lög sem bönnuðu fyrst boranir og skipuðu síðan fyrir lokun allra holna á ákveðnu svæði og loks var gerð áætlun um niðurdælingu og varmaskipti neðanjarðar. Nú svo komið að tekin eru upp úr svæðinu um 20% af þeim massa sem tekin voru úr því 1985 en hverirnir eru farnir að gjósa af fullum krafti. Rannsóknirnar hafa gefið góða mynd af svæðinu og sýndu að breytingar ganga ójafnt yfir svo að viðtækar athuganir þarf fremur en stikkprufur

Af framansögðu má ráða að mikilvægt er að þekkja ástand svæðis og vita hvaða breytingar hafa orðið þar, hverjar gætu orðið ef ekki væri virkjað og hverjar ef virkjað væri. Því var ákveðið að hluti átaksverkefnis Orkustofnunar, Hitaveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðurnesja, Landsvirkjunar og Umhverfissráðuneytisins fælist í rannsókn á breytingum á yfirborðsvirkni nokkurra óvirkjaðra svæða. Voru þrjú svæði valin: Þeistareykir og Krýsuvík sem svæði sem til greina kemur að verði virkjuð innan skamms, og Kverkfjöll sem óaðgengilegt svæði þar sem fengist gætu langtímaupplýsingar um breytingar. Fremur erfitt hefur reynst að fjármagna þennan þátt verkefnisins enda ekki hægt að krefjast þess að orkufyrirtæki kosti rannsóknir á svæðum sem þau eiga kannski aldrei eftir að virkja.

Á Þeistareykjum var gerð yfirgripsmikil yfirborðsrannsókn 1981-1983 og er gengið út frá niðurstöðum hennar sem grunni. Farnar hafa verið 4 stuttar ferðir til að kortleggja breytingar á yfirborðshita og taka sýni til efnagreininga úr völdum gufuaugum og volgrum. Komið hafa í ljós mjög afgerandi breytingar á yfirborðsvirkni, bæði tilfærsla ummerkja en einkum þó hvarf þeirra. Gashitamælar benda til kólnunar jarðhitakerfisins á því svæði þar sem ummerkjum hefur fækkað en hiti hefur staðið í stað og e.t.v. hækkað annars staðar.

Heildarrannsókn á Krýsuvíkursvæðinu í byrjun áttunda áratugarins er grunnur til samanburðar. Þá var og farið yfir svæðið og tekin sýni úr nokkrum gufuaugum 1983. Greinilegar breytingar hafa orðið varðandi einstök ummerki, þ.e. hverir hafa kviknað og sloknað o.þ.h. en í heildardráttum virðast umfang og virkni svæðisins nokkurn veginn óbreytt. Athuganir á gashita frá örfáum gufuaugum benda heldur ekki til breytinga.

Enginn grunnur var til samanburðar fyrir Kverkfjöll og hafa rannsóknir fram að þessu helgast af jarðhitakortlagningu og vali á gufusýnatökustöðum til þess að skapa slíkan grunn.

Þær breytingar í jarðhitakerfum sem mestu geta valdið um breytingar á yfirborðsvirkni eru vatnsborðsbreytingar og hitastigsbreytingar. Á svæðum þar sem vatnsborð hvera nær yfirborði er unnt að fylgjast með því og nota efnahitamæla til að fylgjast með hitastigi. Þar sem vatnsborð liggur á miklu dýpi er það augljóslega ekki hægt nema með því að bora holur sem ná niður fyrir vatnsborð og notkun gashitamæla er þá eina tiltæku aðferðin til að meta hitastig. Í raun eru þeir ekki nógu nákvæmir til þess að unnt sé að byggja á þeim upplýsingar um hitastigsbreytingar af þeirri stærðargráðu sem líklegt er að verði í jarðhitakerfum á nokkurra ára tímabili. Til þess að unnt sé að fylgjast með slíkum óvirkjuðum jarðhitasvæðum á viðunandi hátt þannig að þau verði tiltæk til umhverfismats vegna borana þarf að bora a.m.k. eina rannsóknarholu til að fylgjast með vatnsborði og hitastigi en fylgjast um leið með breytingum á yfirborðsummerkjum jarðhita og efnasamsetningu gufu úr völdum gufuaugum. Eðlilegt er að ríkið standi undir kostnaði við slíkar rannsóknir en virkjunaraðili borgi fyrir þær þegar hann fær svæðið afhent til virkjunar.