



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

UMHVERFISÁHRIF JARÐHITANÝTINGAR
Staða verksins í lok árs 1995

Hrefna Kristmannsdóttir

Samvinnuverk Orkustofnunar, Hitaveitu Reykjavíkur,
Hitaveitu Suðurnesja og Landsvirkjunar

OS-96038/JHD-23 B Júlí 1996

UMHVERFISÁHRIF JARÐHITANÝTINGAR
Staða verksins í lok árs 1995

Hrefna Kristmannsdóttir

Samvinnuverk Orkustofnunar, Hitaveitu Reykjavíkur,
Hitaveitu Suðurnesja og Landsvirkjunar

OS-96038/JHD-23 B Júlí 1996

EFNISYFIRLIT

1. INNGANGUR	3
2. LÝSING VERKÞÁTTA	4
2.1 Almenn atriði, skilgreining og viðmið	4
2.2 Þróun aðferða til eftirlits með áhrifum jarðhitavinnslu á umhverfi	5
3. GANGUR VERKSINS	6
4. KOSTNAÐUR VIÐ VERKIÐ	8
5. STAÐA EINSTAKRA VERKÞÁTTA UM ÁRAMÓT 1995-1996	11
6. ÁÆTLUN 1996	12
7. NIÐURLAGSORÐ	13
8. SKÝRSLUR, GREINAR OG GREINARGERÐIR UM UMHVERFISVERKIÐ	14

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1. Langtímaáætlun Umhverfisverksins	7
Tafla 2. Kostnaðarskipting	9
Tafla 3. Samanburður kostnaðaruppgjörs og áætlana	10

1. INNGANGUR

Rannsóknarverkefni um áhrif jarðhitavinnslu á umhverfið, sem til styttingar verður hér eftir nefnt Umhverfisverkið, hófst á árinu 1991. Ákveðið var að beina rannsóknum fyrst og fremst að áhrifum vinnslu háhitasvæða á umhverfið, þar sem þau eru meiri og augljósari en áhrif vinnslu lághitasvæða. 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. Þannig ættu þeir meiri möguleika á að taka þátt í að móta þær kröfur sem settar yrðu um þau umhverfismál er virkjanir varða. Leitað var samstarfs við helstu virkjunaraðila háhita, og er Umhverfisverkið samvinnuverkefni Hitaveitu Suðurnesja, Hitaveitu Reykjavíkur, Landsvirkjunar og Orkustofnunar. Samstarfssamningur um verkefnið var undirritaður þann 3. mars 1992 að undangenginni nokkurra mánaða kynningu og undirbúningsvinnu. Verkefnið var skilgreint sem átaksverk til 3-5 ára þótt það sé í eðli sínu langtíma-
verk.

Í upphafi var Umhverfisverkið skilgreint af faghópi á Orkustofnun, sem gerði samantekt á stöðu rannsókna á umhverfisáhrifum jarðhitánýtingar á Íslandi og mat rannsóknarþörf ýmissa umhverfisþátta. Við gerð samningsins um samvinnu virkjunaraðila var skipuð samstarfsnefnd um verkefnið með fulltrúum allra aðila og tók hún þátt í frekari skilgreiningu verksins. Umhverfisráðuneytið gerðist fljótlega aðili að Umhverfisverkinu og á fulltrúa í samstarfsnefnd um það. Samvinna hefur verið við Veðurstofu Íslands, Raunvísindastofnun og Verkfræðistofnun Háskóla Íslands um ýmsa verkþætti.

Í samstarfssamningi er markmið verkefnisins skilgreint á eftirfarandi hátt: "Markmiðið með samningi þessum er að rannsaka ítarlega áhrif háhita jarðhitasvæða á umhverfið og hver breyting verði þar á við virkjun svæðanna til framleiðslu á raforku og/eða hitaorku. Jafnframt þessu að rannsaka ýmsar leiðir til að draga úr mengun samfara nýtingu háhitasvæða."

Samstarfsnefnd og fagnefnd unnu í upphafi mikið starf við skilgreiningu forgangsverkefna, sem æskilegt væri að vinna innan ramma Umhverfisverksins. Skipta má þeim verkefnum annars vegar í rannsóknir, sem beinast að því að setja viðmið og skilgreina hvaða atriði þurfi að rannsaka og fylgjast með, og hvernig beri að haga slíku eftirliti. Undir þennan flokk fellur einnig samstarf um athugun á reglugerðum um umhverfismál jarðhitánýtingar. Hins vegar er um að ræða þróun sérstakra aðferða til eftirlits með áhrifum jarðhitánýtingar. Forgangsverkefnið 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.

Hér á eftir er gerð grein fyrir stöðu verkþátta, sem unnir hafa verið innan Umhverfisverksins frá upphafi þess til loka árs 1995. Einnig er staða verksins um áramótin 1995-1996 borin saman við langtímaáætlun og markmið, sem sett voru fram um verkið til ársins 1998.

Gerð hefur verið heildarsamantekt um stöðu verksins í þremur greinargerðum, á árunum 1992, 1994 og nú í febrúar 1996 (Hrefna Kristmannsdóttir, greinargerðir HK-92/09, HK-94/01, HK-96/01). Í greinargerðinni frá 1994 var unnin ítarleg langtímaáætlun um framhald verksins. Sú skýrsla, sem hér liggur fyrir, er gerð vegna beiðni Guðmundar Pálmasonar forstjóra Jarðhita-deildar um að fá allar framvinduskýrslurnar teknar saman í eina.

Með þessari skýrslu fylgir skrá yfir helstu skýrslur og greinargerðir, sem samdar hafa verið í tengslum við verkið. Auk þessara rita hefur mikill fjöldi minnisblaða og fundargerða verið skrifaður á þeim tíma, sem verkið hefur staðið. Ritin eru flokkuð eftir sömu númerum og verkþættir í listanum hér á undan. Rit, sem fjalla um áætlanir, eru samantekt á stöðu verksins almennt, eða falla ekki beint undir einn verkþátt, eru merkt með (0).

2. LÝSING VERKÞÁTTA

2.1 Almenn atriði, skilgreining og viðmið

Vinna samstarfsnefndar, fagverkefnishóps og verkefnisstjóra á Orkustofnun fellur undir almenna vinnu við verkefnið. Einnig má nefna vinnu við gerð skýrslu um þörf á umhverfisrannsóknnum á óvirkjuðum svæðum á næstu árum. Jafnframt fellur samvinna og mótun alþjóðlegs samvinnuverkefnis á vegum IEA (International Energy Agency) um rannsóknir á umhverfisáhrifum samfara nýtingu jarðhita undir almenna vinnu í Umhverfisverkefninu, svo og innlend samvinna á þessu sviði.

1. Gerð umhverfisúttektar, svonefndrar núllgrunnsúttektar, á svæðum, sem þegar hafa verið virkjuð eða til stendur að virkja, felst í því að taka saman upplýsingar um núverandi ástand til að byggja á mat á hugsanlegum breytingum og nauðsynlegu eftirliti með svæðunum. Tekinn er saman heimildalisti um rannsóknir á hverju svæði. Eftir að gátlista Skipulags ríkisins hefur verið svarað eru teknar saman tillögur um hvaða viðbótarrannsókn sé þörf og hvernig beri að haga eftirliti með tilteknum umhverfisþáttum. Er þá hliðsjón höfð af leiðsögureglum Skipulagsins um umhverfismat.

2. Rannsóknir á umhverfisáhrifum náttúrulegrar jarðhitavirkni: Til þess að unnt sé að meta breytingar vegna virkunar þurfa að vera til upplýsingar um náttúrulegt ástand svæða og eðlilegar sveiflur í virkni. Rannsóknir á náttúrulegum breytingum á virkni jarðhitasvæða hafa verið takmarkaðar og ósamfelldar þar sem fjármagn til rannsókna er takmarkað og rannsóknir á náttúrulegu ástandi jarðhitasvæða hafa að öllu jöfnu ekki verið forgangsverkefni. Af sömu ástæðu hefur heldur ekki verið lögð mikil vinna í að meta náttúrulegt útstreymi efna frá óvirkjuðum jarðhitasvæðum. Fyrir flest óvirkjuð svæði eru til einhver gögn um efnasamsetningu gass og vatns, en gögn um magn útstreymis eru ófullkomin og því er mikil óvissa bundin mati á efnáútstreymi. Þannig hefur verið stærðargráðu munur á þeim tölum, sem ýmsir aðilar hafa birt um náttúrulegt útstreymi efna frá jarðhitasvæðum.

3. Mælingar á gasi í andrúmslofti á virkjuðum og óvirkjuðum jarðhitasvæðum: Gös í jarðhitagufu eru sum eitruð og önnur eru svokölluð gróðurhúsagös og eru því meðal þeirra umhverfisþátta, sem krafist er eftirlits með. Mælingar á gasi í andrúmslofti yfir jarðhitasvæðum, bæði óvirkjuðum og vinnslusvæðum, eru því nauðsynlegar til að fá hugmynd um styrk helstu mengandi gasa og einnig til að fylgjast með dreifingu þeirra og hvörfum í andrúmsloftinu. Rannsókn á þessum atriðum hefur verið einn aðalþátturinn í Umhverfisverkinu. Sérstaklega er mikill áhugi á að fá vitneskju um hvort brennisteinsvetni, sem berst út í andrúmsloftið með jarðgufu, oxist yfir í brennisteinstvíoxíð, og þá hversu mikill hluti þess. Talsverðar umræður hafa orðið um afdrif brennisteinsvetnisins þegar lengra dregur frá jarðhitasvæðunum. Bagalegt er að hafa ekki betri vitneskju um þetta atriði vegna þeirra alþjóðlegu samninga og reglugerða um losun brennisteinsgasa, sem Íslendingar verða aðilar að á næstunni. Einnig skiptir það verulegu máli við mat á þeim kostnaði, sem þarf að leggja í hreinsibúnað fyrir jarðhitavirkjanir, hvort brennisteinsvetni breytist að einhverju marki yfir í brennisteinstvíoxíð eða ekki. Innan Umhverfisverksins var skilgreindur verkþáttur, sem fólst í því að prófa mæliaðferðir og síðan að mæla grunngildi fyrir brennisteinsgös um nokkurra mánaða skeið á hverju vinnslusvæði. Samhliða aðferðaþróuninni voru gerðar skammtíamælingar á fleiri gösum og einnig á fleiri svæðum. Að auki var skilgreindur verkþáttur, sem miðaði að því að skýra afdrif brennisteinsvetnis, bæði með tilraunum og mælingum á brennisteinsgösum, utan Nesjavallasvæðisins, á Írafossi og við Korpu.

4. Athugun á erlendum reglugerðum um umhverfismál jarðhitavinnslu: Við gerð reglugerða og krafna varðandi umhverfismál jarðhitavirkjana er eðlilegt að taka mið af þeim reglugerðum sem aðrar þjóðir hafa sett, en þó þannig að tekið sé tillit til aðstæðna og sérstöðu. Innan Umhverfisverksins var áætlað að safna saman erlendum reglugerðum varðandi jarðhitanytingu og vinna úr þeim í samvinnu við Umhverfisráðuneytið.

2.2 Þróun aðferða til eftirlits með áhrifum jarðhitavinnslu á umhverfi

5. Þróun fjarkönnunaraðferða til umhverfisrannsókna: Fjarkönnun er oft mun ódýrari og fljótlegri en aðrar aðferðir til að fylgjast með breytingum á umhverfi. Innrauðar mælingar hafa á undanförunum árum verið í stöðugri þróun og hafa þær verið notaðar með góðum árangri til að fylgjast með breytingum á virkni jarðhitasvæða og eldfjallasvæða. Skiptir þar mestu máli að með öflugri tölvum er unnt að gera miklu viðameiri leiðréttingar en áður á ýmsum þáttum eins og landslagi og umhverfishitastigi. Merkjafræðistofa Verkfræðideildar Háskólans hefur verið að þróa slíkan búnað, sem unnt er að koma fyrir í líttli flugvél. Skilgreint var þriggja ára samvinnuverkefni innan Umhverfisverksins um þróun á aðferðum til að fylgjast með breytingum í varmaflæði á jarðhitasvæðum í samvinnu við Merkjafræðistofuna og með styrk frá Rannsóknaráðs ríkisins.

6. Mat á breytingum á náttúrulegu útstreymi gufu: Mat á náttúrulegu gufuútstreymi er nauðsynlegt til að meta breytingar vegna virkjunar. Mjög erfitt getur reynst að meta breytingar á náttúrulegu útstreymi gufu því annars vegar er það oft mjög dreift og hins vegar geta kröftugufuaugu flutt mikla gufu, og heppileg mælitæki til fyrir hvorugan kostinn. Einfaldara er þó að meta dreifða útstreymið með sæmilegri nákvæmni en að mæla streymi í kröftugum gufuaugum. Dreifða útstreymið skiptir þó minna máli í heildarstreyminu. Því var skilgreindur innan Umhverfisverksins verkþáttur, sem miðaði að því að þróa mælibúnað fyrir streymi úr gufuaugum.

7. Hæðar- og þyngdarmælingar á jarðhitasvæðum: Við massatöku úr jarðhitasvæðum lækkar vökvaprýstingur, porur og sprungur falla saman og þar með sígur landið. Sé tekinn meiri vökví úr berginu en nær að streyma til þess aftur verða einnig massabreytingar. Af þessum sökum er nauðsynlegt að gera reglulega hæðar- og þyngdarmælingar samfara vinnslu á jarðhitasvæðum.

Innan Umhverfisverksins var sett það markmið að mæla einu sinni á hverju virkjunarsvæði og koma upp hæðar- og þyngdarmæligrunni á þeim öllum. Í ljósi niðurstaðna mælinganna átti sýðan að gera áætlun um magn og tíðni slíkra mælinga til framtíðareftirlits, sem virkjunaraðilar létu framkvæma á eigin kostnað í framtíðinni.

8. Rannsóknir á smáskjálftavirkni: Breytingar á hita- og þrýstingsástandi á jarðhitasvæðum og breytingar á grunnvatnsstöðu og grunnvatnsrennsli, svo og niðurdæling, geta haft áhrif á smáskjálftavirkni. Suða og brestir í bergi, sem er að dragast saman, geta valdið suði, sem numið er með skjálftamælum. Æskilegt var talið að koma af stað rannsóknum á þessum þáttum á íslenskum háhitasvæðum. Gerð var áætlun um rannsókn innan Umhverfisverkefnisins á hugsanlegum breytingum á virkni smáskjálfta í kjölfar niðurdælingar og vinnslu á jarðhitasvæðinu í Svartsengi. Augljóslega er um langtímarannsóknir að ræða og jafnframt grundvallarrannsóknir, sem hafa gildi fyrir önnur íslensk jarðhitasvæði. Reynt verður að leita til fleiri aðila um fjármögnun til framhalds á rannsóknum þessum, þar sem ljóst er að vegna mikils kostnaðar verður ekki unnt að ljúka þeim án utanaðkomandi fjármögnunar.

9. Grunnvatnsrannsóknir: Við förgun affallsvatns er ávallt nokkur hætta á efnamengun grunnvatns og fyrir virkjun er því nauðsynlegt að hafa undirstöðuupplýsingar um efnasamsetningu grunnvatnsins og fylgjast reglulega með hugsanlegum breytingum í kjölfar vinnslu. Innan Umhverfisverksins var stefnt að því að koma þessum þætti í réttan farveg hjá þeim virkjunaraðilum þar sem honum var áfátt.

10. Mat á aðferðum til gaslosunar: Aðferðir til að minnka loftmengun samfara jarðhitanýtingu eru margar og henta misvel eftir aðstæðum á hverjum virkjunarstað. Stefnt var að því innan Umhverfisverksins að gera úttekt á þessum aðferðum og meta fyrir helstu virkjunarstaði hver þeirra væri ódýrust og hagkvæmust þar, eða hvort yfirleitt væri þörf á sérstökum gaslosunarbúnaði.

11. Niðurdæling affallsvatns kemur í veg fyrir efnamengun og útbreiðslu lóna á yfirborði og er því talin umhverfisbætandi. Innan Umhverfisverksins var því áætlað að vinna að tilraunum með niðurdælingu affallsvatns, sem fælust í prófunum á áhrifum sýrustigs á útfellingamörk.

12. Myndun og útbreiðsla gufupúða: Við þrýstingslökkun í kjölfar jarðhitanýtingar geta myndast gufupúðar í jarðhitageymum virkjunarsvæða. Innan Umhverfisverksins var skilgreindur verkþáttur, sem fólst í því að þróa jarðeðlisfræðilegar aðferðir til að fylgjast með útbreiðslu slíkra gufupúða. Var Svartsengissvæðið notað sem tilraunasvæði, en þar er gufupúðinn allvel þekktur frá borunum í hann.

3. GANGUR VERKSINS

Umhverfisverkið hófst 1991 með undirbúningsvinnu á Orkustofnun, kynningu og fyrstu umræðum við væntanlega samstarfsaðila. Í ársbyrjun 1992 var unnið að nánari skilgreiningu og mótun verksins, samningum við samstarfsaðila um verkþætti, kostnaðarskiptingu og gerð rannsóknarverkefna um sameiginlega vinnu við verkið. Einnig var unnið áfram að mótun fleiri rannsóknarverkefna. Helstu sérverkefni ársins 1992 voru þessi. Unnið var að frumgerð umhverfisúttektar á hverju virkjunarsvæði, svokallað forverk. Hafin var forvinna við mælingar á gasi í andrúmslofti, gerðar hæðar- og þyngdarmælingar á Reykjanesi og á Hengilssvæði og unnið að grunnvatnsrannsóknum á Hengilssvæði. Samhlíða var unnið að rannsóknum á nokkrum óvirkjuðum háhitasvæðum.

Á árinu 1993 var lokið við samantektarskýrslu um stöðu umhverfisrannsókna á virkjunarsvæðum Landsvirkjunar, Hitaveitu Suðurnesja og Hitaveitu Reykjavíkur. Fólst vinnan að miklu

Á árinu 1995 var áfram unnið að gasmælingum, rannsókn á afdrifum brennisteinsvetnis, smáskjálftarannsóknnum, fjarkönnun, hæðar- og þyngdarmælingum, gaslosun og athugun á erlendum reglugerðum. Lokið var við langtíamælingar á gasi í Kröflu og á Nesjavöllum og skrifuð um þær skýrsla. Einnig var lokið mælingum á Írafossi og Korpu og sett upp mælistöð í Bjarnarflagi um haustið. Jafnframt var unnið að hæðar- og þyngdarmælingum á Kröflu- og Námafjallssvæði og umhverfisúttekt á Námafjallssvæðinu. Skrifuð var skýrsla um grunnvatnsathuganir á Kröflusvæði frá árinu áður. Sett var upp samfelld skráning á grunnvatnshitastigi á Námafjallssvæði. Flogið var í þriðja sinn yfir jarðhitasvæði og þau mynduð á hitainnrauðu sviði og skrifaðar voru áfangaskýrslur um verkið. Verkumfang Umhverfisverksins var svipað og 1994, en minna var gert í rannsóknnum á óvirkjuðum svæðum.

4. KOSTNAÐUR VIÐ VERKIÐ

Yfirlit yfir kostnað við verkið frá og með árinu 1992 til ársloka 1995 er sýnt í töflu 2. Einnig er sýnd í grófum dráttum skipting kostnaðar og framlag hvers samvinnuaðila fyrir sig. Taflan sýnir ekki alveg réttan heildarkostnað rannsóknanna, því eigið framlag samvinnuaðila er nokkuð örugglega vanáætlað. Í það vantar framlagða vinnu og ýmsan kostnað, sem Orkustofnun hefur ekki gögn til að meta. Þannig hefur t.d. Hitaveita Reykjavíkur gert umtalsverðar gasmælingar á eigin vegum.

Heildarkostnaður verksins nam um 65,5 Mkr um áramótin 1995-1996 og hefur Orkustofnun lagt um 31 Mkr til þess, eða tæplega 48% af heildarkostnaði. Framlag samvinnuaðila er um 52% af heildarkostnaði, en virkjunaraðilar hafa lagt fram 7,7-10,8 Mkr hver.

Í töflu 3 er sýnd sundurliðun kostnaðar milli ára og eru stærstu verkefni þar brotin meira upp. Í töflu 3 er einnig sýnd til samanburðar áætlun árána 1992 og 1993 og langtímaáætlun frá 1994-1998. Við fjárhagsuppgjörið er ávallt nokkuð álitamál hvernig eigi að skipta verkþáttum milli ára og ekki verður hjá því komist að einhver skörun eigi sér stað. Samstarfsaðilar eiga oft í erfiðleikum með að færa fjárveitingu til verkefnisins milli ára og hefur verið reynt að taka tillit til þessa þótt áætlaðri vinnu tímabilsins sé ekki að fullu lokið. Við uppgjörið hefur því verið leitast við að hafa með þá verkþætti sem samið var um að unnir yrðu á hverju ári og voru langt komnir um áramót þótt vinnu lyki ekki að fullu fyrr en snemma á næsta ári. Þannig eru t.d. allar efnagreiningar í gasmælingaverki gerðar upp 1995, þótt vinnu við þær lyki ekki fyrr en í janúar 1996.

Á árinu 1992 var heildarkostnaður verksins um 13,5 Mkr, sem var talsvert lægra en áætlað hafði verið. Ástæðan var sú að samningum var ekki lokið fyrr en undir mitt ár og dróst vinna fram á árið 1993, enda var þá raunkostnaður 3,5 Mkr yfir áætlun. Það stafaði reyndar líka af því að viðbótarverk voru tekin inn eftir frágang samnings.

Heildarkostnaður 1993 var 18,8 Mkr og var þá lokið við ýmsa verkþætti, sem ekki tókst að ljúka 1992 vegna þess hversu samningar drógust.

Heildarkostnaður verksins á árinu 1994 var um 17,3 Mkr. Á því ári fékkst lægri styrkur til fjarönnunarverks en gert hafði verið ráð fyrir og skýrir það að mestu frávik frá áætlun. Á árinu 1995 hafði verið reiknað með auknu framlagi til óvirkjaðra svæða, sem ekki fékkst og skýrir það mun á langtímaáætlun og raunverulegum kostnaði. Heildarkostnaður verksins nam það ár 15,8 Mkr.

Tafla 2. Kostnaðarskipting

UMHVERFISAHRIF JARÐHITANYTINGAR-Kostnaðarskipting										
KOSTNAÐUR 1992-1995 þúsundum kr	Kostnaður		Hlutur		Hlutur		Hlutur		Hlutur	
	Samtals	OS	LV	HR	HS	Ve/Umhvr.	Hlutur stofn Hl +sjóðir Ra			
Verkþáttur										
Umhverfisúttekt/Forverk	4535	2655	940	450	490					
Aimenn, móttun, verkstjórn	9180	7910	475	405	390					
Landmælingar	19555	7835	3465	3545	4710					
Grunnvatnsrannsóknir	600	255	230	115						
Rannsókn á óvirkj. sv.	5310	5310								
Mælingar á gasi	14450	5270	2315	2425	1590	2850				
Athugun á úða og tæringu	805	325	255	140	85					
Smáskjálftamælingar	3525	675			2530					320
Kortlagning gufupúða	865	345			520					
Mat á gufustreymi	325	150			175					
Fjarkönnun	5830	260	650	645	235					4040
Gaslosun	425	325	50		50					
Ahrif sýrustigs á útfellingu	50	50								
Samtals	65455	31365	8380	7725	10775	2850				4360

5. STAÐA EINSTAKRA VERKÞÁTTA UM ÁRAMÓT 1995-1996

1. Umhverfisúttekt-núllgrunnsúttekt: Byrjað var á slíkri úttekt í svokölluðu forverki 1992, sem lauk með skýrslu 1993. Síðan hefur lítið verið unnið við þennan verkþátt, en áætlað er að gera núllgrunnsúttekt á Reykjanessvæði á árinu 1996. Vegna fyrirhugaðrar virkjunar í Bjarnarflagi lét Landsvirkjun gera umhverfisúttekt á þeirri framkvæmd og var mat á breytingum á grunnvatni og gasútstreymi samfara virkjun unnið af sérfræðingum Orkustofnunar innan Umhverfisverks.

2. Umhverfisáhrif náttúrulegrar jarðhitavirkni: Þrátt fyrir niðurskurð fjárframlaga hefur verið unnið að úttekt á umhverfisáhrifum náttúrulegs jarðhita og tímaháðum eðlisbreytingum jarðhita á nokkrum jarðhitasvæðum, sem ætla má að verði virkjuð á næstu áratugum: Þeistareykjum, Krýsuvík, og Trölladyngju. Jafnframt þessu hefur verið unnið að úttekt á einu svæði, sem ekki er útlit fyrir að verði virkjað í bráð, Kverkfjöllum. Þessi rannsókn er í eðli sínu langtíma- verkefni, sem ekki hefur fyrirsjáanleg verklok. Skrifaðar hafa verið greinargerðir um einstaka verkþætti á hverju ári. Gerð hefur verið gróf langtímaáætlun um rannsóknir á náttúrulegum breytingum á jarðhitasvæðum, er líklegt má telja að verði virkjuð á næstu áratugum, og var gefin út skýrsla um það efni 1995 og gerð nákvæmari kostnaðaráætlun um tillögur fyrir árið 1996.

3. Mælingar á gasi í andrúmslofti á virkjuðum og óvirkjuðum jarðhitasvæðum og í grennd við þau: Skammtíamælingar voru gerðar á virkjunarsvæðum allra samstarfsaðila og í Hveragerði og auk þess á nokkrum óvirkjuðum jarðhitasvæðum, þ.e. á Ölkelduhálsi, á Þeistareykjum og í Krýsuvík. Gefin var út skýrsla um niðurstöður mælinganna. Gerðar hafa verið langtíma- mælingar, um 4-6 mánaða skeið, á gasi í andrúmslofti á virkjunarsvæðum allra samstarfsaðila, nema á Reykjanesi, og skrifaðar um þær skýrslur. Samstarfsverkefni Veðurstofu Íslands, Orkustofnunar og Umhverfisráðuneytis um rannsókn á afdrifum brennisteinsvetnis frá útstreymi jarðhitasvæða í andrúmslofti mun væntanlega ljúka á árinu 1996 með líkangerð og úrvinnslu gagna frá mælingum á Írafossi og við Kröflu. Einnig verða settar upp tilraunir í samvinnu við Norrænu Eldfjallastöðina til þess að fá úr því skoríð hve stór hluti brennisteinsvetnisins getur oxast í brennisteinstvísýring á tilteknum tíma við mismunandi aðstæður.

Könnun á tæringu mannvirkja á virkjunarstöðunum mun ljúka 1997. Gefin hefur verið út skýrsla um niðurstöður athugana í Kröflu og á Nesjavöllum.

4. Athugun á erlendum reglugerðum um umhverfismál jarðhitavinnslu: Vinna við þetta verk hefur gengið hægt, en vonast er til að söfnun erlendra reglugerða um umhverfismál varðandi jarðhitavirkjanir og upplýsinga um hvernig staðið er að umhverfisúttekt og eftirliti í slíkum orkuverum svo og úrvinnslu safnaðra gagna muni ljúka árið 1997.

5. Þróun fjarkönnunaraðferða til umhverfisrannsókna: Í samvinnu við Merkjafræðistofu Verkfræðideildar Háskólans hefur verið unnið að þróun og notkun innrauðrar myndatöku á jarðhitasvæðum til að fylgjast með breytingum á varmaflæði. Verkefnið hófst á árinu 1993 og hafa öll vinnslusvæði samstarfsaðila verið mynduð þrívægis og einnig nokkur óvirkjuð svæði: Þeistareykir, Kverkfjöll, Krýsuvík, Trölladyngja og Ölkelduháls. Verkefninu seinkaði nokkuð vegna þess að á árinu 1994 fékkst lægri styrkur til þess en vonir stóðu til. Á árinu 1995 fékkst aftur á móti hærri styrkur og tókst því að ljúka mælingunum. Komið hafa út sjö framvinduskýrslur um þetta verkefni. Því mun væntanlega ljúka á þessu ári, 1996.

6. Mat á breytingum á náttúrulegu útstreymi gufu: Þróun og prófun búnaðar til þess að mæla gufustreymi úr gufuaugum í samvinnu við Hitaveitu Reykjavíkur lauk að mestu á árinu 1995.

7. Hæðar- og þyngdarmælingar á jarðhitasvæðum til þess að rannsaka áhrif massatöku: Unnið hefur verið að hæðar- og þyngdarmælingum á öllum virkjunarsvæðum samstarfsaðil-

anna. Á árinu 1995 var lokið fallmælingum á Kröflusvæðinu fyrir Landsvirkjun og verður úrvinnsla lokið á árinu 1996 og hefur þá Orkustofnun tekið þátt í kostnaði við að koma upp neti fyrir slíkar mælingar á öllum virkjunarsvæðum. Átaki í þessum rannsóknarþætti er því lokið. Ljóst er að gera þarf slíkar mælingar u.þ.b. fimmta 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.

8. Rannsókn á smáskjálftavirkni á jarðhitasvæðum: Á árunum 1993-1994 var unninn fyrsti liður áætlunar um rannsókn og eftirlit með hugsanlegum áhrifum vinnslu og niðurdælingar á smáskjálftavirkni á jarðhitasvæðinu í Svartsengi, en þessi áætlun var samin 1992. Verkið var unnið í samvinnu við sérfræðinga á Raunvísindastofnun og kom út um það skýrsla. Reynt hefur verið að fá styrki til fjármögnunar á framhaldi verkefnisins en það hefur ekki gengið enn og því óvíst um framvindu þessa verks.

9. Rannsóknir á grunnvatni: Unnið hefur verið að rannsóknnum grunnvatns á Hengilssvæði og í Kröflu. Gefin var út skýrsla um rannsóknir í Kröflu, og gerð grunnvatnskorts á Hengilssvæði er nær lokið. Stefnt var að því að leggja grunn að framtíðareftirliti með grunnvatni á Kröflu- og Námafjallssvæði, en vegna kostnaðar hefur því verki ekki verið sinnt enn. Ekki er líklegt að unnið verði meira við þennan verkþátt innan Umhverfisverks.

10. Mat á aðferðum til gaslosunar: Unnið hefur verið mun minna við þennan þátt en áætlað var vegna mannaflaskorts. Stefnt er að því að ljúka á árinu 1997 úttekt á þekktum leiðum til umhverfisvænnar losunar á gasi og á stöðu málsins. Einnig er áætlað að safnað verði upplýsingum um aðferðir til hreinsunar á gasi til vinnslu á hreinni kolsýru úr hveralofiti, þar sem slík iðnaðar- nýting getur dregið úr útstreymi koltvísýrings.

11. Tilraunir varðandi niðurdælingu affallsvatns: Rannsókn á áhrifum sýrustigs á útfellingu og útfellingarhraða í jarðsjó í niðurdælingarvatni í Svartsengi átti að hefjast 1993 og ljúka á árinu 1995, en frestaðist að mestu vegna tæknilegra vandamála hjá virkjuninni.

12. Rannsókn á myndun og útbreiðslu gufupúða í jarðhitageymum virkjunarsvæða: Gerðar voru tilraunir 1993 til að kortleggja gufupúða í Svartsengi með jarðsveiflumælingum. Prófuninni var ekki lokið, en gefin var út greinargerð um fyrsta áfanga hennar. TEM viðnámsmælingar er önnur aðferð, sem hugsanlega gæti nýst til þessa. Gildir svipuðu máli um þessar rannsóknir og smáskjálftarannsóknir að þær eru kostnaðarsamar langtímarannsóknir. Æskilegt væri að halda áfram með þessar rannsóknir á næstu þremur árum, en óvíst er um fjármögnun.

6. ÁÆTLUN 1996

Innan Umhverfisverksins er á þessu ári gert ráð fyrir að lokið verði við gasmælingaverkþátt, og skýrslu um hann á árinu 1997. Gott yfirlit hefur fengist um styrk brennisteinsgasanna á jarðhitasvæðunum, innbyrðis tengsl þeirra og dreifingu, en enn hefur ekki verið lögð mikil vinna í túlkun mælinganna og þarf að gera það á árinu 1996. Veðurgögn og mælingar á brennisteinsvetni og brennisteinstvöxði inni á virkjunarsvæðunum og utan Nesjavallasvæðis verða tengd og athugað sambengi milli þeirra. Einfalt loftdreifingarlíkan verður stillt af með niðurstöðum mælinga og veðurathugana og reiknaður út hámarks- og lágmarksstyrkur brennisteinsvetnis í andrúmslofti miðað við mismunandi forsendur um hvörfun brennisteinsvetnis. Áætlað er einnig að gera tilraunir með hvarfgirni brennisteinsvetnisins við mismunandi hitastig og raka í samvinnu við Norrænu Eldfjallastöðina. Settar verða upp nokkrar einfaldar tilraunir til að byrja með og tekið mið af niðurstöðum þeirra um hvert framhaldið verður.

Einnig er áætlað að ljúka á árinu verkefni um þróun á notkun innrauðrar myndatöku á jarðhitasvæðum til að fylgjast með breytingum á varmaflæði. Unnið verður úr öllum mælingunum að einhverju leyti, en valin verða sérstök svæði til nákvæmari skoðunar og samanburðar við rannsóknir á jörðu niðri. Gefin verður út skýrsla um niðurstöður á árinu 1996 þar sem metinn verður árangur og gagnsemi þessarar aðferðar til að fylgjast með langtímabreytingum í varmaflæði og virkni jarðhitasvæða.

Unnið verður úr hæðar- og þyngdarmælingum á Kröflu- og Námafjallssvæði. Einnig er áætlað að gerð verði núllgrunnsúttekt á Reykjanessvæðinu. Vinna við athugun á erlendum reglugerðum um umhverfismál jarðhitavinnslu hefur orðið minni en til stóð, en rætt hefur verið við Umhverfissráðuneytið að gera átak í þeirri vinnu. Reynt verður að halda einhverjum rannsóknum áfram á óvirkjuðum svæðum, en fé til þeirra hefur verið skorið mjög mikið niður.

Áætlaður kostnaður við Umhverfisverkið er um 11 Mkr og er framlag samvinnuaðila áætlað um 6,2 Mkr, en samningar eru ekki fullfrágengnir.

7. NIÐURLAGSORÐ

Á þeim árum sem Umhverfisverkið hefur verið í framkvæmd hefur meginuppistaða þess verið samvinnuverk milli virkjunaraðila og Orkustofnunar. Síðan hafa bæst við fleiri rannsóknarþættir og fleiri samstarfsaðilar. Eins og rakið hefur verið hér að framan mun upprunalega verkefniinu ljúka árið 1997 að frásildum fáeinum langtímaverkefnum er munu standa eitthvað lengur. Þá verður væntanlega lokið öllum stærstu sérverkefnum, sem skilgreind voru sem samvinnuverk við virkjunaraðila. Í töflu 3 sést að langtímaáætlanir, sem gerðar voru um verkefnið, um ftarlegar rannsóknir á óvirkjuðum svæðum og núllgrunnsúttekt á virkjuðu svæðunum, hafa ekki gengið eftir. Hvað virkjuðu svæðin varðar þá varð niðurstaðan sú að virkjunaraðilar vildu ekki leggja í mikinn kostnað nema fyrir dyrum stæðu nýjar framkvæmdir. Hvað óvirkjuðu svæðin varðar hefur ekki fengist fjármagn til að efla slíkar rannsóknir þrátt fyrir samdóma álit samstarfsnefndar um Umhverfisverkið og forsvarsmanna Orkustofnunar um nauðsyn þess. Þvert á móti hefur orðið að draga úr slíkum rannsóknum vegna fjárskorts. Aukafjárveiting, sem sótt var um árið 1995, til að efla rannsóknir á óvirkjuðum svæðum fékkst ekki. Á árinu 1996 voru lagðar til nokkuð umfangsmiklar rannsóknir á þeim óvirkjuðu svæðum, sem næst standa virkjun. Ekki fengust þær þó samþykktar við skiptingu fjárveitingar milli verkefnadeilda Orkustofnunar.

Mikil áhersla er lögð á mikilvægi þess að meira átak verði gert í þessu rannsóknarverkefni. Ástæða þessa er hið aukna vægi og hin formlega afgreiðsla umhverfismats við val á staðsetningu virkjana, sem tilkoma nýrra laga um umhverfismat hefur haft í för með sér. Samkvæmt þeim skal slíkt mat vera fastur liður í gerð skipulagsáætlana, og við greinargerð um staðarval skulu mismunandi kostir bornir saman með tilliti til umhverfisáhrifa. Samkvæmt lögnum er þess og krafist, að fram fari mat á umhverfisþáttum fyrir virkjun og ávinningur virkjunar metinn miðað við óæskileg umhverfisáhrif, sé virkjunin yfir 10 MW í uppsettu aflu, eða 25 MW í hráorku.

Lagt er til að gerð verði frumúttekt á rannsóknarþörf á tveimur svæðum á hverju ári næstu þrjú ár. Lauslega áætlaður árlegur kostnaður við rannsóknir þessar er 6 Mkr á ári. Í ljósi þeirra verði gerðar tillögur um framhaldsrannsóknir og eftirlit með breytingum á náttúrulegri virkni í framtíðinni. Jafnframt verði haldið áfram því eftirliti, sem þegar er hafið á nokkrum óvirkjuðum jarðhitasvæðum. Niðurstöður þessara rannsókna munu síðar nýtast til að forgangsraða virkjun svæðanna í tíma.

8. SKÝRSLUR, GREINAR OG GREINARGERÐIR UM UMHVERFISVERKIÐ

Ritverk eru flokkuð í efnisflokkum 1-12 samkvæmt skilgreiningu í inngangi og kafla 2. Rit sem eru almenns eðlis, áætlanir eða yfirlit, hafa merkinguna (0).

Ásgrímur Guðmundsson, 1993. Ástand holu AB-02 í Búrfellshrauni. Orkustofnun Greinargerð ÁsG-93/09. 3 s. (9)

Benedikt Steingrímsson og Valgarður Stefánsson, 1993. Námafjall-Krafla: Hitamælingar til kvörðunar á innrauðum myndum. Orkustofnun Greinargerð BS/VS-93-02, 2 s. (5)

Bryndís Brandsdóttir, Páll Einarsson, Knútur Árnason og Hrefna Kristmannsdóttir. Smáskjálfta og bylgjubrotsmælingar í tengslum við niðurdælingu affallsvatns í jarðhitasvæðið við Svartsengi sumarið 1993. Samvinnuverkefni Raunvísindastofnunar Háskólans, Orkustofnunar og Hitaveitu Suðurnesja um umhverfisáhrif jarðhitavinnslu. Orkustofnun, Raunvísindastofnun Háskólans OS-94016/JHD-05, RH-03-94, 28 s. (8)

Gretar Ívarsson, Magnús Sigurgeirsson, Einar Gunnlaugsson, Kristján H. Sigurdsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1993. Mælingar á brennisteinsgösum í andrúmslofti. Styrkur brennisteinsdfoxíðs við Svartsengi og Kröflu. Samvinnuverk Orkustofnunar, Hitaveitu Suðurnesja og Landsvirkjunar. Orkustofnun, OS-95025/JHD-18 B, 34 s. (2)

Guðrún Þóra Pálsdóttir, 1992. Umhverfisáhrif jarðhitavirkjana. Staða gagnasöfnunar. Orkustofnun Greinargerð GPP-92/01, 2 s. (1)

Guðrún Þóra Pálsdóttir, 1992. Mælingar á loftmengun í Svartsengi. Orkustofnun Greinargerð GPP-92/02, 3 s. (3)

Gunnar Þorbergsson og Guðmundur H. Vigfússon, 1993. Fallmælingar fyrir Hitaveitu Suðurnesja 1992. Orkustofnun Greinargerð GP,GHV-93/01, 11 s. (7)

Halldór Ármannsson, 1992. Umhverfisverkefni. Krafla, Námafjall Sérverk 1993. Orkustofnun Greinargerð HÁ-92/02, 2 s. (0)

Halldór Ármannsson, 1993. Um framkvæmd umhverfisúttektar. Orkustofnun Greinargerð HÁ-93/01, 2 s. (1)

Halldór Ármannsson, 1994. CO₂ útblástur frá jarðhitavirkjunum 1980-1994. Orkustofnun Greinargerð HÁ-94/03, 2 s. (3)

Halldór Ármannsson, 1995. Um affallsvatn frá Kröfluvirkjun. Niðurstöður athugana á holu AB-02, Búrfellshrauni. Samvinnuverk Orkustofnunar og Landsvirkjunar. OS-95046/JHD-30 B, 14 s. (9)

Halldór Ármannsson and Hrefna Kristmannsdóttir, 1992. Geothermal Environmental Impact. Geothermics, 21, 869-880. (0)

Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Guðný Þ. Pálsdóttir og Árni Jón Reginsson, 1993. Áhrif vinnslu jarðhita á umhverfið. Framvinduskýrsla um forverk og mótun samvinnuverkefnis. Samstarfsverkefni Landsvirkjunar, Hitaveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðurnesja og Orkustofnunar. Orkustofnun, OS-93034/JHD-09, 239 s. (0)

Helgi Torfason, 1995. Breytingar á jarðhita sunnan Kleifarvatns, Krísuvík. Athugun 14. ágúst 1995. Orkustofnun Greinargerð, HeTo-95/06, 2 s. (2)

- Helgi Torfason, Magnús Ólafsson og Kristján H. Sigurðsson, 1993. Kverkfjöll. Rannsókn jarðhitasvæðisins 1992 og 1993: Framgangur útivinnu. Orkustofnun Greinargerð, HeTo/MÓ/KHS-93/04, 5 s. (2)
- Helgi Torfason, Magnús Ólafsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1993. Kverkfjöll. Rannsókn jarðhitasvæðisins 1994: Greinargerð um stöðu rannsókna og gildi þeirra. Orkustofnun Greinargerð, HeTo/MÓ/HK-93/05, 6 s. (2)
- Helgi Torfason og Halldór Ármannsson, 1995. Athuganir á jarðhita á Peistareykjum. Sýnataka og vettvangsathuganir 11-13. nóvember 1995. Orkustofnun Greinargerð, HeTo/HÁ-95/097, 3 s. (2)
- Hjálmar Eysteinnsson, Gunnar Þorbergsson og Ólafur G. Flóvens, 1991. Landhæðar- og þyngdarmælingar við Svartsengi og á Reykjanesi. Orkustofnun Greinargerð, HE-GP-ÓGF-91/01, 10 s. (7)
- Hjálmar Eysteinnsson, 1993. Hæðar- og þyngdarmælingar á utanverðum Reykjaneskaga 1992. Samvinnuverkefni Hitaveitu Suðurnesja og Orkustofnunar. Orkustofnun OS-93029/JHD-08, 53 s. (7)
- Hjálmar Eysteinnsson, 1994. Áætlun um þyngdarmælingar á Kröflusvæðinu 1994. Orkustofnun Greinargerð HE-94/02. (7)
- Hjálmar Eysteinnsson, 1994. Eftirlit með áhrifum vinnslu á jarðhitasvæðunum í Kröflu og Bjarnarflagi með hæðar- og þyngdarmælingum. Orkustofnun Greinargerð HE-94/03. (7)
- Hjálmar Eysteinnsson og Theodor Theodorsson 1994. Endurskoðuð áætlun um eftirlit með áhrifum vinnslu á jarðhitasvæðin í Kröflu og Bjarnarflagi með hæðar- og þyngdarmælingum. Orkustofnun Greinargerð HE/ThTh-94/04. (7)
- Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson, 1990. Umhverfisáhrif jarðhitanýtingar. Orkustofnun Greinargerð, HK-HÁ-90/02, 6 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1991. Sérverkefni um umhverfisáhrif jarðhitanýtingar. Orkustofnun Greinargerð, HK-9103, 3 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór Ármannsson, Benedikt Steingrímsson, Sverrir Þórhallsson, Ásgrímur Guðmundsson, Knútur Árnason, 1991. Sérverkefni um umhverfisáhrif jarðhitanýtingar. Orkustofnun Greinargerð, HK, HÁ, BS; SP, ÁG, KÁ-91/04, 5 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1992. Átaksverkefni um rannsókn á umhverfisáhrifum jarðhitanýtingar, Orkustofnun Greinargerð, HK-92/05, 2 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1992. Staða samvinnuverks um rannsókn á umhverfisáhrifum jarðhitanýtingar, Orkustofnun Greinargerð, HK-92/09. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1992. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Tillögur um verkþætti í ársáfangi 1993 fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Orkustofnun Greinargerð HK-92/07, 4 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1992. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Tillögur um verkþætti í ársáfangi 1993 fyrir Landsvirkjun. Orkustofnun Greinargerð HK-92/08, 3 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir og Sverrir Þórhallsson, 1992. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Tillögur um verkþætti í ársáfangi 1993 fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun Greinargerð HK/SP-92/12, 3 s. (0)

- Hrefna Kristmannsdóttir, 1993. Áætlun 1993 vegna verksins umhverfisáhrif jarðhitanýtingar - Tillögur að sérverkum unnum í sameiningu af öllum samstarfsaðilum. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/02, 4 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1993. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Verkbættir í ársáfanga 1993 fyrir Landsvirkjun. Orkustofnun Greinargerð HK-93/08, 3 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir og Ásgrímur Guðmundsson, 1993. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Tillögur um verkþætti í ársáfanga 1994 fyrir Landsvirkjun. Orkustofnun Greinargerð HK/ÁG-93/05, 5 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir og Benedikt Steingrímsson, 1993. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Tillögur um verkþætti í ársáfanga fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Orkustofnun Greinargerð HK/BS-93/07, 3 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif jarðhitanýtingar - Sérverk um rannsóknir á umhverfisáhrifum. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/02B, 4 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif Jarðhitanýtingar - Staða verkefnisins hjá Landsvirkjun. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/02. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif Jarðhitanýtingar - Staða verkefnisins hjá Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/03. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif Jarðhitanýtingar - Staða verkefnisins hjá Hitaveitu Reykjavíkur. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/04. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif Jarðhitanýtingar - Staða verkefnisins hjá Hitaveitu Reykjavíkur í lok júlí 1994. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/05. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif Jarðhitanýtingar - Staða verkefnisins hjá Hitaveitu Suðurnesja í lok júlí 1994. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/06. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif Jarðhitanýtingar - Staða verkefnisins hjá Landsvirkjun. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/09. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif Jarðhitanýtingar - Staða verkefnisins hjá Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/10. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif Jarðhitanýtingar - Staða verkefnisins hjá Hitaveitu Reykjavíkur. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/11. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif Jarðhitanýtingar - Staða verkefnisins hjá Landsvirkjun. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/14. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif Jarðhitanýtingar - Staða verkefnisins hjá Hitaveitu Reykjavíkur. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/15. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Umhverfisáhrif Jarðhitanýtingar - Staða verkefnisins hjá Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/16. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Staða og langtímaáætlun verkefnisins Umhverfisáhrif jarðhitanýtingar. Orkustofnun Greinargerð, HK-94/01. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Tillögur um verkþætti í ársáfanga 1995 fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun Greinargerð HK-94/16B, 4 s. (0)

- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Verkhættir í ársáfangi 1995 fyrir Landsvirkjun. Orkustofnun Greinargerð HK-94/13, 3 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Tillögur um verkþætti í ársáfangi 1995 fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Orkustofnun Greinargerð HK-94/12, 2 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir og Sverrir Þórhallsson, 1994. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Tillögur um verkþætti í ársáfangi 1994 fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun Greinargerð HK/SP-08, 7 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1995. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Verkhættir í ársáfangi 1996 fyrir Landsvirkjun. Orkustofnun Greinargerð HK-95/09, 2 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1995. Samvinnuverkefni um umhverfisáhrif jarðhitavinnslu. Tillaga um gasmælingar í Námafjalli. Orkustofnun Greinargerð HK-95/02, 2 s. (3)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1995. Umhverfisáhrif Jarðhitánýtingar- Sérverk um rannsóknir á umhverfisáhrifum. Orkustofnun Greinargerð, HK-95/05, 2 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1995. Greinargerð vegna samvinnuverks um þróun aðferða við notkun fjarinnrauðra mynda til að fylgjast með breytingum á jarðhitavirkni á yfirborði jarðhitasvæða. Orkustofnun Greinargerð HK-95/03, 1 s. (5)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1995. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Tillögur um verkþætti í ársáfangi 1995 fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun Greinargerð HK-95/07, 3 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1995. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Tillögur um verkþætti í ársáfangi 1996 fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun Greinargerð HK-95/08, 4 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1995. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Lýsing verkþátta í ársáfangi 1996 fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Orkustofnun Greinargerð HK-95/07, 3 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir and Halldór Ármannsson, 1995. Environmental impact of geothermal utilization in Iceland. Proceedings of the world geothermal congress 1995, Florence, Italy, 2731-2734. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór Ármannsson, Sverrir Þórhallsson, Helgi Torfason, Magnús Ólafsson, Hjálmar Eysteinnsson, Knútur Árnason, Benedikt Steingrímsson, Ásgrímur Guðmundsson, 1995. Umhverfisrannsóknir á þeim háhitasvæðum sem næst standa virkjun vegna stóriðjuáforma. OS-95058/JHD-38 B, 10 s. (2)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1996. Uppgjör verkefnisins Umhverfisáhrif jarðhitánýtingar. Staða verks og fjárhagsuppgjör fyrir árið 1995. Orkustofnun Greinargerð, HK-96/01, 4 s. (0)
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1996. Samvinnuverkefni um Umhverfisáhrif Jarðhitavinnslu. Lýsing verkþátta í ársáfangi 1996 fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Orkustofnun Greinargerð HK-96/07, 2 s. (0)
- Knútur Árnason, 1992. Yfirborðsjarðeðlisfræði á háhitasvæðum í vinnslu. Rannsókn á hæðarbreytingum, gufupúðum og skjálftavirkni. Orkustofnun Greinargerð KÁ-92/6, 9 s. (7,8,12)
- Knútur Árnason, 1992. Smáskjálftamælinet á háhitasvæðum í vinnslu. Orkustofnun Greinargerð KÁ-92/7, 6 s. (8)

- Knútur Árnason, 1993. Tilraun til að kanna gufupúða í Svartsengi. Orkustofnun Greinargerð KÁ-93/5, 9 s. (12)
- Kolbeinn Árnason, Ásmundur Eiríksson, Jón Atli Benediktsson og Vilhjálmur Þorvaldsson, 1994. Þróun mæliaðferða fyrir reglubundnar fjarkönnunarrannsóknir á Íslandi. Styrkur nr. 93027. Framvinduskýrsla til Rannsóknarráðs ríkisins. Upplýsinga og merkjafræðistofa Háskólans 1994, F94121, 53 s. (5)
- Kolbeinn Árnason, 1994. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 1993. I. Reykjanes, Eldvörp, Svartsengi, Kleifarvatn og Hengill. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1994. UMH F941001, 48 s. (5)
- Kolbeinn Árnason, 1994. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 1993. II. Námafjall, Krafla og Þeistareykir. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1995. UMH F941001, 38 s. (5)
- Kolbeinn Árnason, 1995. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 10. nóv.1995. I. Reykjanes, Eldvörp, Svartsengi og Sandfell-Trölladyngja. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1995. UMH F951201, 19 s. (5)
- Kolbeinn Árnason, 1995. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 10. nóv.1995. II. Krýsuvík, Brennisteinsfjöll og Hengill. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1995. UMH F951202, 38 s. (5)
- Kolbeinn Árnason, 1995. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 29. sept.1995. III. Námafjall og Krafla. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1995. UMH F960101, 30 s. (5)
- Kolbeinn Árnason, 1995. Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 29.sept.1995. IV. Askja, Fremrinámur og Þeistareykir. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1995. UMH F950102, 34 s. (5)
- Magnús Á. Sigurgeirsson, Kristján H. Sigurðsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Undirbúningsvinna fyrir rannsóknir á afdrifum brennisteinsvetnis í útstreymi frá jarðhitasvæðum. Orkustofnun Greinargerð, MÁS/KHS/HK-94/01, 3 s. (3)
- Magnús Á. Sigurgeirsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1996. Mælingar á brennisteinsgösum í andrúmslofti. Styrkur brennisteinsvetnis og brennisteinstvíoxíðs á Nesjavöllum og í Bjarnarflagi. Samvinnuverk Orkustofnunar, Hitaveitu Reykjavíkur og Landsvirkjunar. OS-96019/JHD-10B, 24 s. (3)
- Magnús Á. Sigurgeirsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1996. Mælingar á brennisteinsgösum í andrúmslofti. Styrkur brennisteinsvetnis og brennisteinstvíoxíðs við Korpu og Írafoss. Samvinnuverk Orkustofnunar Veðurstofu Íslands og Umhverfissráðuneytisins. OS-96020/JHD-11B, 58 s. (3)
- Magnús Á. Sigurgeirsson og Sverrir Þórhallsson, 1996. Úði og tæring við orkuverin á Nesjavöllum og við Kröflu. Samvinnuverk Orkustofnunar, Hitaveitu Reykjavíkur og Landsvirkjunar. OS-96023/JHD-12 B. (3)