

Rannsókn jarðhita til raforkuvinnslu. Staða  
verks í nóvember 1994

**Valgarður Stefánsson**

**Greinargerð VS-94-03**



## Rannsókn jarðhita til raforkuvinnslu

Staða verks í nóvember 1994

### INNGANGUR

Þetta verkefni er samvinnuverkefni Orkustofnunar og orkufyrirtækja. Rammasamningur um verkið var undirritaður í mars 1992 og stóðu að þeim samningi Landsvirkjun, Hitaveita Reykjavíkur, Hitaveita Suðurnesja og Orkustofnun. Á árinu 1993 kom Hitaveita Akureyrar inn til samstarfs um einn verkþátt í þessu verki.

Verkefnið er greint í undirþætti (verkþætti) sem hér segir:

Verknúmer	Heiti
720-000	Samræming og önnur almenn atriði
720-101	Frumrannsókn í Brennisteinsfjöllum
720-102	Yfirborðsrannsóknir á Torfajökulssvæði
720-103	Yfirborðsrannsóknir á Ölkelduhálsi
720-104	Hagkvæmniathugun í Bjarnarflagi
720-105	Forðafræðistuðlar
720-106	Kjarnataka í háhitaholum
720-107	Áhrif niðurdælingu á vinnslutilhögun
720-108	VSP-forðafræðistuðlar

Þátttaka orkufyrirtækjanna hefur verið nokkuð mismunandi, en í öllum tilvikum hefur þátttakan verið bundin við einstaka verkþætti í verkinu. Á árunum 1992 og 1993 bar Orkustofnun um 70% af kostnaði við verkið, en sameiginlegt framlag orkufyrirtækjanna á þessum árum var um 30% af heildarkostnaði. Ætla má að kostnaðarskipting á árinu 1994 verði svipuð, þó upphafleg áætlun ársins gerði ráð fyrir öðru hlutfalli.

Fyrirliggjandi greinargerð lýsir í stuttu máli framvindu verksins, eins og hún liggur fyrir í nóvember 1994, og rekur helstu atriði, sem áætlað er að vinna að í náinni framtíð.

### KOSTNAÐUR

Tafla 1 sýnir kostnað við verkið á árunum 1992 og 1993 og áætlaðan kostnað fyrir árið 1994.

Tafla 1.

	1992	1993	1994 (áætlun)
Hlutur HR	3.092.112	2.952.510	4.293.750
Hlutur HS		1.000.000	
Hlutur LV	2.806.000	3.145.900	
Hlutur HA		1.160.465	901.800
Hlutur OS	12.565.894	18.564.891	24.630.605
Samtals	18.464.006	26.823.766	29.826.155

Fyrirsjáanlegt er að umfang verksins á árinu 1994 verður mun minna en gert var ráð fyrir í áætlun sem gerð var í upphafi ársins 1994, þannig að hlutur OS verður mun minni en taflan segir til um. Stafar það fyrst og fremst af því að heildarframlög orkufyrirtækjanna til verksins árið 1994 eru mun minni en gert var ráð fyrir þegar verkáætlun OS var gerð.

## VERKÞÆTTIR

Hér verða rakin helstu atriði í framvindu hvers verkþáttar og lýst hugmyndum um umfang hvers verkþáttar á árinu 1995. Í sumum tilvikum nær lýsing á framhaldi verkþáttar til meira umfangs en hægt verður að vinna á einu ári (1995).

### 720-000 Samræming og önnur almenn atriði

*Staða verkþáttar.* Auk verkefnisstjórnunar er þessi verkþáttur látinn ná til ýmissa almennra atriða er varða virkjun jarðhita til raforkuvinnslu. Umfangsmikil vinna hefur verið lögð í það að fá fram skilgreiningu á orkugetu jarðgufustöðva, þannig að hægt sé að bera saman kostnaðaráætlanir fyrir jarðgufuvirkjanir og vatnsaflsvirkjanir. Niðurstöður eru þær að heppilegast sé að skilgreina orkugetu jarðgufustöðva sem aukningu í orkugetu raforkukerfis þegar viðkomandi virkjun tengist raforkukerfinu. Á þennan hátt er hægt að nota samskonar skilgreiningu á orkugetu vatnsaflsstöðva og jarðgufustöðva.

*Framhald verkþáttar.* Áætlað er að umfang verka í þessum verkþætti verði svipað og verið hefur á undanförunum árum.

### 720-101 Frumrannsókn í Brennisteinsfjöllum

*Staða verkþáttar.* Á árunum 1992 og 1993 voru gerðar 38 TEM viðnámsmælingar í Brennisteinsfjöllum, og er viðnámsmælingum á þessu svæði þar með lokið. Niðurstöður benda til að flatarmál jarðhitasvæðisins sé um 15-20 km<sup>2</sup>, en það er mun stærra svæði en áður var talið. Háhiti hefur verið þekktur í Brennisteinsfjöllum um aldir, en engar rannsóknir hafa verið gerðar þar vegna þess að talið var að jarðhitasvæðið væri lítið. Þessi mynd hefur nú breyst og virðist nú



liggja fyrir að álitlegt háhitasvæði hefur fundist í næsta nágrenni höfuðborgarsvæðisins. Jarðfræðikortlagning svæðisins stendur yfir en er ekki lokið. Yfirborðsjarðhiti er svo óverulegur í Brennisteinsfjöllum að ekki hefur reynst mögulegt að beita jarðefnafræðilegum aðferðum við yfirborðsrannsóknir á svæðinu.

*Framhald verkþáttar.* Áætlað er að skýrsla um viðnámsmælingar í Brennisteinsfjöllum komi út í byrjun árs 1995. Jarðfræðikortlagningu verður fram haldið á árinu 1995, og er vonast til að skýrsla um það verk komi út í byrjun árs 1996.

#### **720-102 Yfirborðsrannsóknir á Torfajökulssvæði**

*Staða verkþáttar.* Jarðfræðikortlagning hófst á árinu 1992 og hefur síðan haldið áfram árlega með nokkuð jöfnum hraða. Heppilegur tími til útvinnu á Torfajökulssvæðinu er tiltölulega skammur á hverju ári, þar sem snjóá leysir seint. Jarðfræðikortlagning er að komast á það stig að hægt sé að fá sæmilegt yfirlit um megindrætti svæðisins og skilgreina umfang þess verks. Fyrirsjáanlegt er að verja verður nokkrum árum til viðbótar til gagnasöfnunar, þannig að jarðfræðikortlagningu lýkur varla fyrr en 1997. Flatarmál jarðhitasvæðisins við Torfajökul er stærra en annarra jarðhitasvæða á Íslandi og koma allar rannsóknir á svæðinu til með að taka lengri tíma en venja er á öðrum jarðhitasvæðum. TEM mælingar hafa verið gerðar á Torfajökulssvæði á árunum 1993 og 1994. Alls hafa verið gerðar 57 mælingar og ná þær yfir tæplega helming jarðhitasvæðisins. Ætla má að það taki a.m.k 2-3 ár að ljúka viðnámsmælingum á svæðinu miðað við þann verkhraða sem hefur verið fram að þessu. Lítið er hægt að ráða í viðnámsdreifingu á svæðinu enn sem komið er, nema það að jarðhiti í Reykjadalum virðist aðskilinn frá jarðhita við Hrafninnusker. Farinn var einn leiðangur til sýnatöku á vatni, gufu og gasi á árinu 1994.

*Framhald verkþáttar.* Áætlað er að halda áfram yfirborðsrannsóknnum á Torfajökulssvæði með svipuðum hraða og verið hefur á undanförunum árum. Farnir verða leiðangrar á hverju ári til jarðfræðikortlagningar, viðnámsmælinga og sýnatöku til jarðefnafræðigreininga. Miðað við ofangreindann rannsóknarhraða þarf að minnsta kosti þrjú ár til viðbótar til gagnasöfnunar. Yfirborðsrannsóknnum verður því varla lokið fyrr en á árinu 1998.

#### **720-103 Yfirborðsrannsóknir á Ölkelduhálsi**

*Staða verkþáttar.* Lokaskýrsla um yfirborðsrannsóknir á Ölkelduhálsi kom út á árinu 1993, og hefur rannsóknarholu verið valinn staður. Á árinu 1994 var unnið að hönnun og verkáætlun fyrir rannsóknarborun og er forborun holu þar lokið.

*Framhald verkþáttar.* Þessum verkþætti er lokið.

#### **720-104 Hagkvæmniathugun í Bjarnarflagi**

*Staða verkþáttar.* Verkið var unnið í tveim áföngum. Fyrri hluti verksins var að mestu unninn á árinu 1992 og kom út áfangaskýrsla um þann verkhluta um áramótin 1992/93. Niðurstöður þeirra athugana voru þær að virkjun í Bjarnarflagi væri mjög álitlegur kostur. Var því farið í seinni hluta verksins á árinu 1993 og lauk þeim áfanga í byrjun árs 1994. Í seinni hluta verksins voru öll

fyrirliggjandi jarðhitagögn um svæðið endurskoðuð og forsendur virkjunar endurmetnar. Lokaskýrsla í formi verkhönnunar 20 MW virkjunar í Bjarnarflagi kom út í febrúar 1994. Í skýrslunni er einnig lagt mat á hvaða þættir hafa mest áhrif á orkuverð frá virkjuninni og nákvæm athugun gerð á rekstrarkostnaði virkjunar. Niðurstöður þessarar hagkvæmniathugunar sýna að Bjarnarflagsvirkjun er einn hagkvæmasti virkjunarkostur sem nú er þekktur á Íslandi. Framleiðslukostnaður raforku frá Bjarnarflagsvirkjun er áætlaður 1,03 kr/kWh.

*Framhald verkþáttar.* Þessum verkþætti er lokið.

## 720-105 Forðafræðistuðlar

*Staða verkþáttar.* Með þessum verkþætti er stefnt að því að koma upp gagnabanka um forðafræðistuðla í íslensku bergi, en forðafræðistuðlar er samheiti yfir þá eiginleika bergsins sem hafa áhrif á forðafræði jarðhitans. Koma hér til atriði eins og lekt, poruhluti, eðlisþyngd, varmaleiðni, berggerð, efnasamsetning, ummyndun og fleiri atriði. Á árunum 1992 og 1993 var safnað skipulega um 400 bergsýnum úr rofnum megineldstöðvum (útkulnuð háhitasvæði) til þess að athuga áhrif ummyndunar á poruhluta og lekt bergsins. Mælingar og greiningar á sýnum fara að miklu leyti fram erlendis þar sem ekki er fyrir hendi aðstaða til slíks í landinu. Mælingar á um það bil helmingi sýnanna hafa farið fram í rannsóknarstofu erlendis. Í ljós hefur komið visst misræmi í lektarmælingum gerðum með gasi og lektarmælingum gerðum með vatni. Hefur þetta tafið verkið nokkuð vegna þess að ekki liggur ljóst fyrir hvað veldur þessu misræmi. Er nú unnið að því að láta 2-3 rannsóknarstofur mæla sömu sýnin til þess að skera úr um gæði mælinganna. Enn sem komið er liggja varla fyrir mælingar á nægjanlega mörgum sýnum þannig að hægt sé að draga ályktun um samband einstakra forðafræðistuðla. Gögnin benda þó til að ummyndun lækki lekt bergsins. Þessi verkþáttur er langtímaverkefni og búast má við að það taki nokkurn tíma þar til hægt verður að fá fram tölfræðilegt samband milli forðafræðistuðla. Viðamiklar efnagreiningar hafa verið gerðar á 63 sýnum. Tilgangur þeirra er að fá mat á efnaflutninga í jarðhitakerfum og áhrif ummyndunar á slíka efnaflutninga. Unnið er að túlkun þessara gagna, en niðurstöður liggja ekki fyrir.

*Framhald verkþáttar.* Áætlað er að halda áfram úrvinnslu þeirra gagna sem nú liggja fyrir og ljúka við mælingar á fyrirliggjandi bergsýnum þegar gengið hefur verið úr skugga um af hverju misræmi hefur komið fram í lektarmælingum. Úrvinnslu á efnagreiningum bergs verður fram haldið, og verða efnagreiningar auknar ef þurfa þykir. Einnig er stefnt að því að tengja mælingar á bergsýnum og borkjörnum við borholumælingar. Verður þar fyrst og fremst um að ræða að bera saman poruhlutamælingar á borkjörnum og poruhlutamælingar gerðar með nifteindadreifingu. Mismunandi niðurstöður koma fram með þessum mæliaðferðum vegna þess að mælingarnar taka yfir misstórt rúmmál. Við mælingar á borkjörnum er stærð sýnis um 1 cm<sup>3</sup>, en það rúmmál sem er næmt fyrir mælingum með nifteindum er um 1 m<sup>3</sup>. Til þess að styrkja betur ákvörðun á poruhluta í borholumælingum er einnig reiknað með því að kaupa borholumælitæki sem mælir hljóðhraða í borholuveggjum (sonic log). Með tilkomu slíks tækis fengist önnur óháð mæling á poruhluta í borholum, en slíkt mundi auka áreiðanleika borholumælinganna verulega auk þess sem tenging poruhlutaathuganna í þessum verkþætti við niðurstöður úr verkþætti 720-108 (VSP-forðafræðistuðlar) yrði mun auðveldari.



**720-106 Kjarnataka í háhitaholum**

*Staða verkþáttar.* Stefnt er að því að taka borkjarna í sem flestum háhitaholum sem boraðar verða í landinu á næstu árum. Til þess að þessum verkþætti þoki eitthvað áleiðis þarf að koma til velvilji orkufyrirtækjanna (verkkaupa við háhitaboranir), þannig að kjarnataka verði hluti af borverki.

*Framhald verkþáttar.* Áætlað er að taka kjarna í rannsóknarholu við Ölkelduháls á árinu 1995.

**720-107 Áhrif niðurdælingu á vinnslutilhögun**

*Staða verkþáttar.* Í þessum verkþætti er stefnt að því að gera fræðilega athugun á staðsetningu niðurdælingahola á háhitasvæðum. Sett eru upp einföld líkön af jarðhitakerfum og viðbrögð kerfanna hermd við mismunandi dreifingu á niðurdælingaholum. Byrjað var á þessum verkþætti seint á árinu 1993 og síðan fram haldið á árinu 1994. Fyrirliggjandi niðurstöður benda til að orkugeta jarðhitakerfis fari að mjög miklu leyti eftir því hve mikinn varma er hægt að yfirfæra frá berginu til jarðhitavökvans, og í flestum tilvikum næst meiri varmi úr berginu með því að staðsetja niðurdælingaholur við jaðra jarðhitasvæðisins frekar en að dreifa niðurdælingaholum innan um vinnsluholur. Ef lekt jarðhitakerfanna er mikil og greitt aðstreymi að jarðhitakerfum eykst orkugeta kerfanna ekki með niðurdælingu. Niðurdæling í sjóðandi jarðhitakerfi eykur ekki skammtíma orkugetu svæðanna til raforkuvinnslu, en lengir líklega þann tíma sem vinna má gufu úr kerfunum. Til þess að viðhalda þrýstingi í jarðhitakerfum verður að dæla niður svipuðu magni af vökva og tekinn er upp.

*Framhald verkþáttar.* Áfangaskýrsla um verkið kemur út um áramótin 1994- 1995, og áætlað er að ljúka þessum verkþætti seinni hluta árs 1995.

**720-108 VSP-forðafræðistuðlar**

*Staða verkþáttar.* Þessi verkþáttur beinist að því að ákvarða meðalporuhluta jarðhitakerfis með því að mæla hljóðhraða bergsins í lóðréttu stefnu innan jarðhitakerfisins sjálfs. Vinnslugeta jarðhitakerfa er mjög háð poruhluta bergsins. Auk Orkustofnunar eru Hitaveita Akureyrar og Háskólinn í Oslo þáttakendur í þessum verkþætti. Háskólinn í Oslo lagði til sérstakt borholumælitæki sem gerir kleyft að gera lóðréttar hljóðhraðamælingar í borholu (VSP = Vertical Seismic Profiling). Á árinu 1993 voru gerðar VSP-mælingar í tveim holum við Laugaland í Eyjafirði og einni holu við Nauthólsvík í Reykjavík. Unnið er að úrvinnslu mælinganna.

*Framhald verkþáttar.* Framhald verksins ræðst af þeim niðurstöðum sem tilraunamælingar í holunum við Laugaland og Nauthólsvík gefur. Ef reyndin verður sú að niðurstöður hafi mikið gildi fyrir mat á vinnslugetu jarðhitakerfa verður stefnt að því að kaupa sérstakt borholumælingatæki til VSP mælinga.

## ÁÆTLUN FYRIR 1995

Skipting kostnaðar á árinu 1995 hefur verið áætluð samkvæmt töflu 2.

**Tafla 2.**

Verkþáttur	kkkr
Samræming og önnur almenn atriði	1.000
Yfirborðsrannsóknir í Brennisteinsfjöllum	3.000
Yfirborðsrannsóknir á Torfajökulsvæði	6.000
Forðafræðistuðlar	6.800
Kjarnataka í háhitaholum	1.500
Áhrif niðurdælingu á vinnslutilhögun	2.100
Hagkvæmniathugun á Reykjanesi	5.100
Samtals	25.500

Breytingar verða gerðar á þessari áætlun í samræmi við þátttöku orkufyrirtækjanna í verkinu á árinu 1995. Áætlunin í töflu 2 gerir til dæmis ráð fyrir að hagkvæmni raforkuvinnslu á Reykjanesi verði athuguð. Þessi verkþáttur verður auðvitað ekki unnin nema til komi virk þáttaka Hitaveitu Suðurnesja. Aðrir verkþættir en þeir sem taldir eru í töflu 2 koma einnig til álita. Æskilegt væri að orkufyrirtækin gerðu tillögur um nýja verkþætti sem vinna mætti að á árinu 1995 eða síðar.

Dreifing: HR: EG  
 HS: AA  
 LV: AO - KO  
 HA: FÁ  
 OS: ETE - ÁG - GÓF - HF - HeTo - KS - KÁ - ÓGF - RK - HK - JÖB - MÓ - Ómar - ÞA - BS - GAx - GrB - HS - SP - GP - JB