

Vinnslu og forðafraeði háhitasvæða

Valgarður Stefánsson, Benedikt Steingrímsson

Greinargerð VS-BS-91-03

VINNSLU OG FORÐAFRÆÐI HÁHITASVÆÐA

1. INNGANGUR

Í byrjun árs 1990 var sett á fót ríkisverkefnið *Vinnslu og forðafraedi háhitasvæða*. Lítið var unnið að þessu verki á árinu 1990, einkum vegna anna forðafraeðinga við söluverk og kennslu við Jarðhitaskólann. Í byrjun árs 1991 lítur að vísu einnig út fyrir að hlutur söluverka og kennslu við Jarðhitaskólann verði meiri á forðafraeðisviði heldur hann var 1990, og þess vegna eru ekki góðar líkur á því að mikið verði unnið að verkinu á árinu 1991. Hins vegar er nauðsynlegt að skilgreina verkefnið allsæmilega, þó ekki væri til annars en að færa til bókar hvaða verk fara forgörðum vegna mannfæðar á forðafraeðisviði.

Verkefnið *Vinnslu og forðafraedi háhitasvæða* er í eðli sínu langtímaverkefni og verður eðli sínu samkvæmt aldrei lokið. Hins vegar munu á hverjum tíma verða fyrir hendi mismunandi áleitnar spurningar sem menn munu beina kröftum sínum að. Það er því eðlilegt að skipta verkinu niður í afmarkaða verkþætti, þar sem mögulegt er að skilgreina eðlileg verklok fyrir hvern verkþátt. Í tímans rás mun þannig verða unnið að takmörkuðum fjölda verkþátta, en eftir því sem lokið verður við einstaka verkþætti má búast við að nýjar spurningar vakni og skilgreindir verði nýjir verkþættir í stað þeirra sem lokið er.

Fyrirliggjandi greinargerð er ætlað að fjalla um markmið verkefnisins og skilgreina þá verkhluta sem áætlað er að vinna að í náinni framtíð. Að megin dráttum er þessi greinargerð byggð á verkefnalýsingu BS frá 14. feb. 1990, en í tímans rás hafa orðið smávægilegar viðhorfsbreytingar til verkefnisins, þar með talið að VS tók við verkefnisstjórn af BS í byrjun árs 1991.

2. MARKMIÐ

Langtímamarkmið verkefnisins er að auka þekkingu á innra ástandi og eiginleikum háhitasvæða og nota þá þekkingu til þess að finna og skilgreina heppilegustu leið til þess að nýta orku jarðhitakerfanna til langs tíma.

Til þess að ná þessu markmiði er verkefninu skipt niður í afmarkaða verkþætti, sem hver og einn hefur mun þrengra markmið en það sem greint er hér að ofan. Stefnt er að því að hvert verkhlutamarkmið sé svo vel afmarkað að hægt sé að skilgreina eðlileg verklok fyrir hvern verkþátt.

3. VERKÞÆTTIR

Aðeins eru rúm tuttugu ár síðan vinnsla hófst úr íslenskum háhitasvæðum, en það var þegar Kísiliðjan í Mývatnssveit tók til starfa. Nýting jarðvarmaorku úr háhitasvæðum hefur aukist hröðum skrefum, og nú er um helmingur nýttar jarðhitaorku á Íslandi fenginn úr háhitasvæðum. Þekking manna á háhitasvæðum og eðli þeirra hefur auðvitað aukist mikið samfara aukinni nýtingu, en samt eru þó fyrir hendi verulegar þekkingareyður á mörgum sviðum. Má þar til nefna bæði eiginleika vökvans í berginu,

sem oft er blanda vatns, gufu og gastegunda svo og eiginleika bergsins eins og grophlutfall (poruhluta), sprungur í berginu, hlutlekt vatns og gufu í blönduðum kerfum, lekt bergsins og sprungulekt. Þegar kemur að nýtingu er þekking okkar einnig af skornum skammti á atriðum eins og streymi vatns og gufu upp borholur, langtíma viðbrögðum jarðhitakerfisins við nýtingu, langtímaáhrifum niðurdælingu í jarðhitakerfið og svo mætti lengi telja.

Eftirfarandi fjórir verkþættir koma til með að fylla upp í sum af þeim þekkingargötum, sem fyrir hendi eru. Þeir eru skilgreindir þannig að auðvelt sé að ákvarða hvenær hverjum verkþætti er lokið, en svo sem áður er greint þá má búast við að í tímans rás verði skilgreindir nýjir verkþættir, sem koma til með að endurspeglar brýnustu spurningarnar sem verða uppi á þeim tíma.

3.1 Forðafræðistuðlar

Verklutarnið Að koma upp aðstöðu til mælinga á berglekt. Mæla berglekt, virkt grophlutfall, heildar grophlutfall og eðlisþyngd á um það bil 200 bergsýnum sem verða sérstaklega valin í þessum tilgangi. Taka saman og vinna úr þeim gögnum, sem fyrir hendi eru um mælingar á kjörnum og öðrum sýnum af íslensku bergi. Taka fyrir eitt háhitasvæði (t.d. Nesjavelli) þar sem fyrir hendi er sæmilegt magn nifteindamælinga og nota aðferðir í geostatistik til þess að fá fram þrívíða dreifingu á grophlutfalli í jarðhitakerfinu.

Þau atriði, sem mestu máli ráða um nýtanlegan orkuforða háhitasvæða eru berglekt, grophlutfall, hitastig og stærð jarðhitakerfis. Afl háhitahola ræðst einkum af sprungulekt og af hitastigi jarðhitavökvans. Til þess að meta afl og orku háhitasvæða þurfa því að liggja fyrir upplýsingar um ofangreinda stuðla, sem hér eru kallaðir forðafræðistuðlar. Fram að þessu hefur vitneskja um stærð þessarra stuðla verið af mjög skornum skammti, og í sumum tilfellum hafa menn hreint og beint stuðst við ágiskanir og tilfinningar við val á t.d. grophlutfalli. Stundum hefur sú staða komið upp í líkanreikningum að dæmið gengur aldrei upp fyrir þá stuðla, sem menn hafa giskað á í upphafi reikninganna. Því er þá auðvitað bjargað við með því að breyta forsendunum þar til að dæmið gengur upp, en það sýnir bara hvað ágiskanir og tilfinning geta verið hæginn grundvöllur til að byggja á við mat á afli og orkuforða jarðhitakerfa. Til þess að bæta úr á þessu sviði er gert ráð fyrir að koma upp aðstöðu til mælinga á berglekt við stofnunina, en þegar er fyrir hendi á stofnuninni aðstaða til mælinga á grophlutfalli (bæði virku og heildar grophlutfalli) og eðlisþyngd. Þessi tæki verða síðan notuð til þess að mæla berglekt þeirra fáu borkjarna sem til eru úr háhitasvæðum landins. Mælingar á virku og heildar grophlutfalli hafa þegar verið gerðar.

Þess er ekki að vænta að fjöldi borkjarna úr íslenskum háhitasvæðum aukist mjög hratt á næstu árum, jafn vel þó menn tækju upp þá stefnu að taka kjarna í hverri einustu háhitaholu, sem boruð verður í framtíðinni. Hins vegar er nauðsynlegt að safna svo mörgum mælingum, að unnt sé að beita tölfræðilegum aðferðum við mat á stærð forðafræðistuðlanna fyrir mismunandi berggerðir, mismunandi ummyndun og aðra þætti. Til þess að komast í kringum þennan vanda er hér gert ráð fyrir að safna sérstaklega sýnum úr rofnum megineldstöðvum (útkulnuðum háhitasvæðum) og mæla lekt, virkt grophlutfall, heildar grophlutfall og eðlisþyngd fyrir þessi sýni. Ekki er fyrirfram vitað hversu margar mælingar þarf til þess að fá fram tölfræðilega marktækt mat á því hvaða eiginleikar bergsins stjórna stærð forðafræðistuðlanna, en miðað er við hér að gögn frá um það bil 200 sýnum muni liggja til grundvallar við samantekt á þessum verkþætti.

Fram til þessa hefur ekki verið fyrir hendi tækjabúnaður í landinu til mælinga á lekt. Er það eflaust ein meginástæðan fyrir því hversu lítil þekking er fyrir hendi um lekt í íslenskum jarðhitakerfum. Með tilkomu tækjabúnaðar til þess að mæla lekt á bergsýnum opnast möguleiki á því að bæta þessa þekkingu bæði fyrir háhitakerfi landsins og lághitakerfin. Gert er ráð fyrir að tækin verði í framtíðinni í sífelldri notkun til þess að bæta við þessa þekkingu og að mæliniðurstöðum verði haldið til haga í

gagnabanka um forðafræðistuðla íslenskra og erlendra jarðhitakerfa. Nýleg grein eftir Grím Björnsson og Guðmund Böðvarsson (A Study of Geothermal Reservoir Properties, Geothermics, vol19,17-27, 1990) gefur yfirlit um meðalgildi forðafræðistuðla fyrir 70 háhitasvæði víðs vegar um heim. Þessi samantekt kemur að mjög góðum notum sem fyrsta framlag til gagnabanka um forðafræðistuðla háhitasvæða.

Þáttur borholumælinga við mat á forðafræðistuðlum hefur um langt árabil verið mjög mikilvægur í olíuðnaðnum. Þegar byrjað var á því að nýta tækni olíuðnaðsins við borholumælingar hér á landi í lok áttunda áratugsins var það stór spurning, hvernig hægt væri að nýta þessa tækni í jarðhitarannsóknnum á Íslandi. Ein af þeim mæliaðferðum sem upp var tekin hér á landi árið 1977 var nifteindadreifing. Þessi mæliaðferð mælir heildargrophlutfall bergsins sem borhola sker. Þær kvörðunaraðferðir sem olíuðnaðurinn notar við þessa mæliaðferð eru háðar þeirri berggerð sem fyrir hendi er. Nú er það svo að þær berggerðir sem geyma olfu (sediment) eru frábrugðnar þeim berggerðum sem eru algengar á íslenskum jarðhitasvæðum. Það var því ekki einfalt mál að setja upp kvörðunarstuðla sem giltu fyrir íslenskt berg. Það var þó gert eftir bestu samvisku, en mælingarnar sýndu alltaf hærra gildi en menn höfðu búist við. Það voru því uppi raddir um að kvörðun mælinganna væri ekki nógu góð. Árið 1987 var tekinn kjarni úr holu NJ 17 á Nesjavöllum og forðafræðilegir stuðlar kjarnans mældir erlendis. Það sem einkum kom á óvart í þessum mælingum var að grophlutfall sýnanna var mun hærra en menn höfðu áætlað, en að mælt grophlutfall á bergsýnum var í mjög góðu samræmi við þær niðurstöður sem komið höfðu fram úr mælingum á nifteindadreifingu. Það lítur því út fyrir að kvörðun nifteindamælinganna sé mjög nærri lagi og að það sé hægt að nota borholumælingar við mat og kortlagningu á grophlutfalli í íslenskum jarðhitakerfum á sama hátt og tíðkast hefur um langan tíma í olíuðnaðnum. Áður en mælingar voru gerðar á kjarnanum úr holu NJ-17 var fyrir hendi samanburður á nifteindadreifingu og mælingar á kjarna úr rannsóknarholunni á Reyðarfirði. Sá galli var á þeim samanburði að einungis var mældur virkt grophlutfall á kjarnasýnunum, en nifteindadreifingin mælir heildar grophlutfall. Þó svo að það væri allgott samræmi milli borholumælinganna og mælinganna á kjarnanum, var þessi samanburður ekki talinn nægilega góð "sönnun" á því að kvörðun nifteindadreifinganna væri rétt.

Þar sem nifteindadreifingin er nú talin áreiðanleg við mælingar á grophlutfalli er nauðsynlegt að koma upp stöðluðum aðferðum um það hvernig niðurstöður borholumælinga eru notaðar t.d. í líkanreikningum. Við teljum að aðferðir úr geostatistik (krieking) sé mjög vel til þess fallin. Þessi stærðfræðilega úrvinnsluaðferð hefur ekki komist í gagnið hér, en aðferðin var fyrst kynnt hér á stofnuninni af Jan Czubek sem borholumælingadeildin fékk hingað sem ráðgjafa árið 1981. Í fyrirliggjandi verkefni er gert ráð fyrir að bæta úr þessum aðstæðum og taka fyrir eitt háhitasvæði þar sem sæmilega mikið magn nifteindamælinga er fyrir hendi og vinna úr þeim mælingum með geostatískum aðferðum. Heppilegasta svæðið til slíkra athuganna er að öllum líkindum Nesjavellir vegna þess að þar eru fyrir hendi bestu mæligögn til slíkra athuganna. Verklök í þeim verkþætti er tekur til nifteindamælinga er skýrsla sem greinir frá dreifingu gropu í því jarðhitakerfi sem valið verður til þessarra athuganna. Verklök í þeim hluta verkþáttarins sem tekur til mælinga á bergsýnum er skýrsla sem rekur niðurstöður þeirra mælinga og lýsir þeim tækjabúnaði sem upp var settur.

3.2 Holuhermir

Verklutarmarkmið Ákvarða empírískt þau föll sem lýsa fasahraðamun (slip) gufu og vatns í blásandi borholum og nýta þessar upplýsingar í holuherminum HOLA.

Nákvæm aðferðalýsing á þessum verkþætti er að finna í Greinargerð GrB-90/05 frá 1990-11-05. Mæla þarf nákvæmlega hita og þrýsting í blásandi holum í mismiklu rennsli. Hver slík mælisyrra gefur föll sem lýsa fasahraðamuninum (slip) fyrir mismikið rennsli og þrýsting. Með því að mæla á þennan hátt í mörgum holum fást reynslustuðlar fyrir fasahraða í borholum með "vanalega" vídd fódurröra (9 5/8" og 13 3/8"). Þessar upplýsingar verða síðan settar inn í holuherminn HOLA.

3.3 Varmaústreymi frá háhitasvæðum

Verkhlutamarkmið Ákvarða út í frá borholumæligögnum náttúrulegt varmaústreymi frá íslenskum háhitasvæðum.

Áður en vinnsla hefst frá tilteknu háhitasvæði er náttúrulegt varmaústreymi helsti mælikvarðinn á stærð svæðisins og þar með talinn orkuvinnslugeta svæðisins. Þegar að nýtingu kemur eru það hins vegar innri eiginleikar kerfisins sem ákvarða hve mikinn hluta af varmastreyminu er hægt að nýta. Til dæmis má nefna að nýtingin í Mosfellssveit hefur á síðustu árum verið um það bil 20 sinnum meiri en náttúrulegt varmaústreymi frá jarðhitasvæðinu. Náttúrulegt varmaústreymi jarðhitakerfa er hins vegar grunnstærð í mati á jarðhitakerfum og því nauðsynlegt að þekkja þessa stærð sem best. Í stórum dráttum er varmaústreymi jarðhitakerfa á tvennan hátt. Annars vegar með varmaleiðni til yfirborðs og hins vegar með massaflutningi annað hvort til yfirborðs eða út í kallt grunnvatnskerfi til hliðar eða ofan á jarðhitakerfinu. Fram að þessu hafa menn álitnið út frá mælingum að varminn sem flytst frá jarðhitakerfunum sé að meðaltali af svipaðri stærð fyrir varmaleiðni og massaflutning.

Í mörgum tilfellum hefur varmaústreymi frá háhitasvæðum verið áætlað í sjónhendingu, þannig að menn hafa áætlað hve mikil gufa streymir úr hverum án þess að beinar mælingar væru fyrir hendi. Að því loknu hafa menn gefið sér eitthvað hlutfall milli varmaleiðni og massaflutnings og þannig áætlað varmastraum háhitakerfanna.

Til þess að endurbæta þessa vinnuaðferð er hér gert ráð fyrir að gera úttekt á varmaleiðniþættinum á náttúrulegri varmaústreymi háhitasvæða. Gert er ráð fyrir að verkefnið *Eðli háhitasvæða* muni þróa aðferðir til þess að meta varmastreymi frá háhitasvæðum með massaflutningi.

Fyrirliggjandi verkþáttur gerir ráð fyrir að gerð verði úttekt á varmaleiðni frá þeim háhitasvæðum íslenskum sem borað hefur verið í. Þessi svæði eru Reykjanes, Eldvörp, Svartsengi, Trölladyngja, Krísuvík, Hveragerði, Vestur Hengill, Nesjavellir, Bjarnarflag og Krafla. Verklök í þessum verkþætti er skýrsla um náttúrulegt varmastreymi með leiðni á íslenskum háhitasvæðum.

3.4 Áhrif niðurdælinga á vinnslutilhögun

Verkhlutamarkmið Ákvarða með hjálp hermireikninga hagkvæmustu staðsetningar á niðurdælingaholum á háhitasvæðum.

Fram til þessa hefur niðurdæling í íslensk jarðhitakerfi ekki orðið fastur liður í rekstri jarðhitasvæðanna, en þess er að vænta að slík vinnslutilhögun þyki sjálfsögð er fram líða stundir. Tilraunir með niðurdælingu hafa verið gerðar í Svartsengi, en ekki á öðrum háhitasvæðum hér á landi. Niðurdælingar eru hins vegar algengar á Filippseyjum og í Japan. Í Bandaríkjunum er gert ráð fyrir niðurdælingu á öllum jarðhitasvæðum sem nú er verið að taka í notkun, þó svo að slíkt hafi ekki verið venja þar þegar eldri svæði voru tekin í notkun á sínum tíma.

Því ber ekki að neita að umhverfissjónarmið voru í byrjun helsta ástæða þess að niðurdæling var tekin upp í byrjun vinnslu t.d. í Ahuachapán í El Salvador og á ýmsum háhitasvæðum á Filippseyjum. Á þessum stöðum eru jarðhitasvæðin inni á blómlegum landbúnaðarhéruðum og það kom hreinlega ekki til greina að losa affallsvatn út í ár og læki í nágrenninu. Hins vegar eru þær niðurdælingar sem gerðar eru nú á Geysis svæðinu í Bandaríkjunum og í Ladarello á Ítalíu fyrst og fremst gerðar til þess að kreista út meiri orku úr þessum svæðum. Orkuvinnslugeta háhitasvæða er ekki bara háð eiginleikum

jarðhitakerfisins, heldur skiptir það miklu máli hvaða "vinnsluaðferð" er notuð til þess draga orkuna út úr jarðhitakerfinu. Í stórum dráttum má segja að orkuvinnslugeta svæðis sé alltaf meiri þegar niðurdæling er notuð heldur en þegar niðurdæling er ekki notuð. Þá vaknar sú spurning hvornig haga skuli niðurdælingu. Er heppilegt að dæla niður í jaðra svæðisins, eða í mitt svæðið, eða jafn vel utan við svæðið? Einnig má hugsa sér að dæla tímabundið á einum stað og flytja svo niðurdælinguna í aðrar holur á öðrum stað á vinnslusvæðinu. Þessi umræða hefur verið í gangi í tugi ára, og sýnist sitt hverjum.

Algengasta niðurdælingaaðferðin er líklega sú að dæla niður í jaðra jarðhitasvæðisins. Ýmsir rekstrarörðugleikar hafa þó komið fram við þessa aðferð, einkum kæliáhrif. Þegar slík rekstrarvandamál hafa komið upp hafa menn rekið sig á það að hönnun gufuveitu leyfir yfirleitt ekki að vinnslutilhögun sé breytt á vinnslusvæðinu, nema til komi ærinn tilkostnaður. Í mörgum tilfellum má því segja að menn séu læstir í þeirri niðurdælingaaðferð, sem upphaflega var valin. Það skiptir því miklu máli að heppileg niðurdælingaaðferð sé valin og að hönnun gufuveitu gefi möguleika á að breyta vinnsluaðferð ef erfiðleikar koma upp eftir nokkurra ára rekstur.

Í þessum verkþætti er gert ráð fyrir að setja upp einfalt hermilíkan að háhitakerfi og herma vinnslu með mismunandi niðurdælingaaðferðum. Niðurstöður slíkra reikninga ættu að draga fram helstu kosti og galla á hverri aðferð, en einnig ætti að vera hægt að meta ávinning af niðurdælingu samanborið við að nota ekki niðurdælingu við nýtingu háhitasvæða. Verklök þessa verkþáttar er skýrsla sem greinir frá hermireikningunum og niðurstöðum þeirra.

4. ÁÆTLUN FYRIR 1991

Eftirfarandi tafla sýnir áætlaðan fjölda vinnustunda á árinu 1991 eftir verkþáttum og sviðum.

Verk- þáttur	Svið	jan-apr	maí-ág	sep-des	ótilt.	samtal s
1 Forðafræðistuðlar	JFR FFR	107			300 500	300 607
2 Holuhermir	FFR	100	50		250	400
3 Varmaústreymi	FFR				500	500
4 Niðurdælingaaðferðir	FFR				600	600
alls		207	50		2150	2407

Útlagður kostnaður er áætlaður:

Tæki

krónur

Gas Permeameter

854,000

Greinargerð VS/BS-91/03

6

Helium Porosimeter	670,000
Liquid Permeameter	2,980,000
Coreholder	360,000
Kjarnaborvél	200,000
Samtals	5,064,000
<hr/>	
Annar kostnaður:	
Mælingabíll 10 dagar x 12000kr	120,000
Metragjald 20,000 m x 25 kr	500,000
Fæði og gisting	150,000
Ýmislegt og ófyrirséð	100,000
Samtals	870,000
<hr/>	
Samtals tæki og þjónusta	5,934,000