

Jarðhiti til raforkuframleiðslu

Valgarður Stefánsson

Greinargerð VS-91-04

Bólkasafn

DE GREINARGERÐ

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Greinargerð VS-91/04
9. mars 1991

JARÐHITI TIL RAFORKUFRAMLEIÐSLU

1. INNGANGUR

Rétt fyrir áramótin síðustu ræddi JB við mig um rannsóknir háhitasvæða vegna fyrirhugaðar nýtingar til raforkuframleiðslu. Hann sýndi mér minnisblað dagsett 27. desember 1990, sem bar yfirskriftina *Hugmynd að vinnutilhögun við undirbúning undir fyrstu stórvirkjun á íslensku háhitasvæði utan Kröflu*. Við ræddum þessar hugmyndir að vissu marki og voru athugasemdir mínar einkum í þá veru að undirbúningstíminn væri allt of langur og kostnaður þess vegna of mikill. Ég hélt því fram að virkjun í tiltölulega smáum einingum (20 MW) væri betri kostur. Nokkrum dögum síðar (4. janúar 1991) setti ég svo skoðanir mínar á minnisblað og færði JB. Hann taldi að ég hefði misskilið forsendurnar fyrir svona áætlun, hugmyndin væri að undirbúa virkjun fyrir svo sem 500-700 MW raforkuframleiðslu á tíu ára tímabili.

Þann 22. febrúar 1991 sendi JB mér svo minnisblað sem var undanfari hugleiðinga hans frá 27. des. 90. Þetta fyrra minnisblað JB er dagsett 28. nóvember 1990 og ber yfirskriftina *Rannsóknir til undirbúnings vinnslu raforku í stórum stíl á íslenskum háhitasvæðum*. Jafn framt stakk JB upp á frekari umræðu um málið seinna.

Svo virðist sem skoðanir mínar í minnisblaði mínu frá 4. jan. 1990 um virkjun háhitasvæða í 20 MW einingum hafi ekki verið mjög greinilegar. Fyrirliggjandi greinargerð er þess vegna ætlað að rekja þær hugmyndir nánar.

2. STÓRVIRKJUN

Í minnisblaði JB frá 1990-11-28 kemur fram að hann hugsar sér að virkjuð séu svo sem 500-700 MW á einhverju tilteknu tíu ára tímabili í byrjun næstu aldar. Hann gefur sér að ekki gefist öllu meiri tími en 10 ár til þessarar virkjunarframkvæmda vegna þarfa markaðarins, t.d. ört vaxandi útflutnings og/eða innlendrar stóriðju. Hvort þetta er líklegur framtíðarmöguleiki eða ekki, þarf ekki að ræða hér. Það sem skiptir máli er að jafn vel með þessum virkjunarhraða (að meðaltali 50-70 MW á ári) eru engin rök fyrir því að það þurfi að virkja jarðhita í stórum einingum (100-200 MW einingum). Mér sýnist því að það sé ekki rétt að gefa sér að mikill virkjunarhraði á svo sem 10 ára tímabili, eða jafn vel á en lengra tímabili, útiloki aðra möguleika en að stórar virkjanir verði reistar og að einungis stór háhitasvæði séu áhugaverð í þessu skyni, eins og JB gerir í minnisblöðum sínum. Með tilvitnun í minnisblað mitt frá 4. jan. 91 getur vel verið að JB hafi ósjálfrátt metið stöðuna með gleraugum vatnsaflsvirkjannamanna, og mér finnst það mjög sennilegt að út frá reynslu vatnsaflsvirkjunarmanna sé virkjun 700 MW vatnsafls á 10 árum í 35 einingum ekki talinn góður kostur. En vinnutilhögun við virkjun jarðhita er á mörgum sviðum öðruvísi en vinnutilhögun við virkjun vatnsafls, eins og reynt verður að skýra nánar hér á eftir.

Það eru viss atriði í jarðhitarannsóknum, í virkjun jarðhita og í rekstri jarðhitakerfa sem eru svo frábrugðin þeim aðstæðum sem menn eiga að venjast í sambandi við vatnsorkuna, að menn eru nú öðrum að breyta um vinnuaðferðir í rannsókn og virkjun háhitasvæða. Segja má með vissum rétti að

jarðhitinn sé nú að finna sína eigin "fílósóffu" og sé nú að skilgreina sínar eigin vinnuaðferðir í stað þess að treysta á aðferðir sem hafa verið fengnar að láni fyrst og fremst frá vatnsorkuiðnaðinum.

Hér skulu rakin fjögur atriði sem hafa haft mikil áhrif á þessa þróun.

- a) Það skiptir megin máli fyrir fjárhagslega afkomu jarðhitavirkjunar að stuttur tími sé frá borunum þar til virkjun kemst í rekstur. Þetta getur leitt til ósættanlegra sjónarmiða. Ef menn vilja halda áhættu innan einhverra vissra marka þarf að fá nægjanlega mikla vitneskju um jarðhitakerfið fyrir hönnun og ákvörðun um stærð virkjunar. Til að fullnægja þeim skilyrðum þarf að bora vissan fjölda hola og reynslukeyra þær mörgum árum áður en virkjun kemst í gagnið. Þessi "rannsóknarkostnaður" getur orðið svo stór hluti af heildarvirkjunarkostnaði, einkum vegna þess að þessi kostnaður kemur svo löngu áður en virkjun kemst í gagnið, að þessi framgangsmáti gangi hreint og beint út af fjárhagslegri hagkvæmni virkjunar.
- b) Haldgöð þekking á forðafræðilegum eiginleikum jarðhitakerfa fæst aðeins með margra ára athugunum á viðbrögðum kerfisins, og slík þekking er sjálnast fyrir hendi fyrr en jarðhitakerfið hefur verið í nýtingu í mörg ár. Sú vinnuaðferð að byggja í einum áfanga jarðhitavirkjun sem passar nákvæmlega við vinnslugetu jarðhitakerfisins er einfaldlega ósættanleg við forðafræðilega eiginleika jarðhitans. Í þessu tilviki verða menn annað hvort að virkja í þrepum eða taka mjög mikla áhættu, svo mikla áhættu að hún er í flestum tilvikum ekki réttlætanleg frá fjárhagslegu sjónarmiði.
- c) Þó svo að jarðhitarannsóknir hafi verið gerðar af samviseksemi, og þó svo að jarðhitasvæði hafi verið virkjuð í þrepum, eru dæmi um það í heiminum að of stórar virkjanir hafa verið reistar á vissum jarðhitasvæðum eða að "óvænt" atvik hafa komið upp við vinnslu og orðið þess valdandi að ekki hefur verið hægt að nýta nema vissan hluta af virkjunarbúnaðinum. Menn hafa þá setið uppi með vissa fjárfestingu sem ekki hefur komið að notum við orkuframleiðsluna. Ég veit tvö dæmi þess að menn hafi athugað að flytja búnað, sem þannig var ástatt um, á annað jarðhitasvæði. Í báðum tilvikum var ekki talinn vera ávinningur að að flytja búnaðinn.
- d) Við langtíma rekstur virkjana á háhitasvæðum hefur það komið í ljós að breytingarnar sem verða á blöndunarhlutfalli vatns og gufufasa eru oftast verulegar og að þessar breytingar hafa miklu meiri áhrif á raforkuframleiðslu virkjunarinnar til langs tíma, heldur en sá ávinningur sem fékkst í upphafi við það að sérhanna vélbúnað í samræmi við upphafseiginleika svæðisins. Menn eru því almennt þeirrar skoðunar nú, að það sé ekki þess virði að sérhanna vélbúnað fyrir hvert jarðhitasvæði, heldur sé vænlegra að vera með staðlaðan búnað sem komi til með að ganga þolanlega, þó svo að gufuhlutfallið frá jarðhitasvæðinu breytist verulega í tímans rás.

Þegar þessi atriði eru skoðuð og tekið er tillit til þeirra tengsla sem verða að vera á milli rannsókna, virkjun svæðisins og reksturs jarðhitasvæðis og búnaðar, ættu þættir þessarrar nýju jarðhitaheimspeki að verða nokkuð augljósir. Það er þó líklega einfaldara að byrja í öfugum enda og rekja sig fram í tíma til þess að skýra þessa þætti nánar.

- i) Staðlaður vélbúnaður fyrir virkjanir. Heppilegt hefur verið talið að einingar væru 20 MW. Margir þættir koma hér inn. Þetta er nægilega stór eining til að halda framleiðslukostnaði einingarinnar lágum, en nægilega lítil eining til þess að flutningur og uppsetning verður auðveld aðgerð. Þær einingar sem nú eru að koma á markaðinn, eða jafn vel komnar á markaðinn, eru settar upp á sléttu gólfi og einingarnar koma á meiðum (skid). Fyrir svona einingu þarf oft svo sem 5-8 borholur, en það fer eftir aðstæðum á virkjunarstað. Gert er ráð fyrir að hver svona 20 MW eining sé sjálfstæð eining með vissan fjölda vinnsluhola og eigin

niðurdælingaholur. Þetta þýðir að vegalengdir verða tiltölulega stuttar á jarðhitasvæðinu fyrir flutning á vatni og gufu. Niðurdæling dreifist sjálfkrafa á marga staði á jarðhitasvæðinu, sem að öllum líkindum er gott fyrir langtímaframvindu jarðhitakerfisins. Hvort sem menn eru að virkja á stóru jarðhitasvæði sem gæti verið 200-300 MW eða menn eru að virkja lítið svæði er 20 MW eining heppileg stærð til virkjunar. Staðlaður búnaður minnkar hönnunurvinnu og hönnunarkostnað verulega og styttrir tímann verulega frá borunum þar til að stöðin kemst í gagnið. Einingin er það lítil og meðfærileg að lítil áhætta er tekin með því að setja stöðina upp án þess að langtímaprófun hafi farið fram á holum, og jafn vel þó eitthvað fari úrskaiðis þá er búnaðurinn svo meðfærilegur að lítið mál er að flytja hann á annan stað á jarðhitasvæðinu eða á annað jarðhitasvæði.

- ii) Hvert háhitasvæði er virkjað í þrepum óháð því hvaða virkjunarhraði er fyrir hendi í landinu. Þegar menn hafa lagt fyrir róða að fullvirkja hvert svæði áður en menn snúa sér að virkjun á næsta svæði, gefur það auga leið að menn verða að vera með fleiri svæði í takinu til virkjunarframkvæmda. Hversu mörg svæði þarf að leggja undir ræðst einfaldlega af virkjunarhraðanum, og að vissu marki af stærð jarðhitasvæðanna. Innan hvers jarðhitasvæðis eru oft fleiri en einn virkjunarstaður, og það er frekar fjöldi virkjunastaða frekar en fjöldi jarðhitasvæða sem þurfa að vera fyrirbyggjandi til þess að hægt sé að framfylgja vissum virkjunarhraða. Einnig skiptir það máli hvar í þróuninni visst háhitasvæði er statt. Ef menn eru að hefja virkjun á jarðhitasvæði sem lítur út fyrir að vera stórt svæði mundu menn setja upp fleiri en eina einingu í byrjun og leyfa tiltölulega hraða uppbyggingu í byrjun. Ef margar einingar eru aftur á móti í rekstri á vissu háhitasvæði, og menn fer að gruna að uppsett afl sé að nálgast vinnslugetu kerfisins, má ætla að lengri vinnslusaga þurfi að liggja til grundvallar ákvörðunartöku um stækkun heldur en í byrjun nýtingarinnar. Í stuttu máli má segja að forðafraðileg viðbrögð jarðhitakerfisins ákvarða hve mikið afl verður sett upp á svæðinu, og hversu hratt aukið verður við uppsett afl á svæðinu.
- iii) Nýja heimspekin í jarðhitarannsóknnum og jarðhitavirkjunum hefur í för með sér að það þarf að taka fyrir mun fleiri jarðhitasvæði eða virkjunarstaði til rannsókna heldur en í þeirri einkvænisflósóffu sem útlást hefur, þar sem menn hafa einskorðað sig við fullnaðarvirkjun á hverju svæði áður en menn snúa sér að næsta svæði. Hins vegar gerir nýja heimspekin ráð fyrir að mun minni rannsóknir þurfi áður en virkjun hefst heldur en talið var þurfa með gömlu aðferðinni, og þar sem rannsóknarkostnaður á vissu svæði er ekki línulegt fall, heldur exponentiellt, verður heildarkostnaður við að hafa mörg svæði á lágu rannsóknarstigi minni en að hafa fá svæði á háu rannsóknarstigi. Ofan á þetta bætist svo sá kostur að tíminn frá borun til nýtingar verður mun styttri en mögulegt er að fá fram með gömlu aðferðinni. Nýja jarðhitaheimspekin kemur þannig til með að minnka rannsóknarkostnaðinn, en það sem skiptir þó meira máli er að nýja aðferðin dreifir fjárförfinni á mun hagstæðari hátt en gamla aðferðin. Árangurinn af þessum aðgerðum er einfaldlega sá að bæði virkjunarkostnaður og rannsóknarkostnaður lækkar.

Í þessum kafla er bent á það að virkjun jarðhita til raforkuframleiðslu í 20 MW einingum sé heppileg vinnuaðferð bæði fyrir virkjun jarðhita í stórum og smáum stíl. Virkjunarhraðinn í landinu ákvarðar hversu mörg jarðhitasvæði eða hversu margir virkjunarstaðir eru teknir fyrir til rannsókna á hverjum tíma. Þessi nýja jarðhitaflosoffá kallar á breytt viðhorf í jarðhitarannsóknnum, en verður til þess að lækka tilkostnað bæði í rannsóknnum og við virkjunir.

3. STÓR EÐA LÍTIL HÁHITASVÆÐI

Í minnisblaði JB frá 1990-11-28 kemur fram að hann telur að einungis stór háhitasvæði séu áhugaverð til þeirra nota sem hann greinir frá. Þessi fullyrðing tengist beint þeirri meinloku að til þess að virkja stórt þurfi stórar virkjanir.

Einn af kostunum við að virkja í 20 MW einingum er að stærð háhitasvæðana skiptir sáralitlu máli. Ég man þess ekki dæmi að menn hafi fundið alvöru háhitasvæði í heiminum, sem hafa reynst minni en 20 MW. Að vísu eru Kizildere í Tyrklandi og Yanbajain í Tíbet trúlega ekki mikið stærri en svo sem 20 MW, en bæði þessi svæði eru á mörkum skilgreiningu okkar á háhita og lághita. Samkvæmt íslenskri skilgreiningu mundi t.d. Yanbajain vera talið lághitasvæði (svipað og Laugarnessvæðið), en Kizildere mundi ná því að kallast háhitasvæði (svipað og Hveragerði).

Stærð háhitasvæðanna skiptir þannig ekki máli ef virkjað er í 20 MW einingum. Hins vegar skiptir lega svæðanna með tilliti til dreifikerfis nokkru máli. Að virkja í 20 MW einingum er þannig miklu almennari aðferð til að beisla jarðhitaorkuna heldur en gamla aðferðin. Í stórum dráttum koma öll háhitasvæði til greina fyrir virkjun.

4. HAGKVÆMNI HÁÐ HITASTIGI

JB telur að hitastigið sé væntanlega afgerandi stærð í jarðhitarannsóknunum vegna þess hve mjög hagkvæmni raforkuvinnslu úr jarðhita vex að öðru jöfnu með hitastigi.

Miðað við núverandi þekkingu á háhitasvæðum er þessi fullyrðing ekki rétt, og að mínu mati ætti hitastig ekki að fá þá sérstöðu í rannsóknum sem JB ýjar að. Ástæða fyrir þessu er m.a. sú að það er ekki hægt að skilgreina "að öðru jöfnu". Það er að vísu hægt að hugsa sér tvö jarðhitakerfi þar sem kerfið með hærra hitastiginu væri hagkvæmara til virkjunar en það sem er með lægri hita, en það er jafn auðvelt að hugsa sér tvö jarðhitakerfi þar sem kerfið með hærra hitastigi væri óhagkvæmara til virkjunar en kerfið með lægra hitastig. Áður en byrjað var á Kröflu var því stundum haldið fram að hitastigið skipti miklu máli vegna þess að við suðu á hreinum vatnsfasa fæst hærra gufuhlutfall ef hiti vatnsins eykst. Hins vegar eru fleiri þættir en hitastig sem hafa áhrif á gufuhlutfall frá blásandi borholu, og það eru líka margir aðrir þættir en gufuhlutfall sem hafa áhrif á hagkvæmni virkjunar. Að þessu athuguðu sýnist mér að það megi ekki gefa hitastigi neina sérstöðu í rannsókn háhitasvæða, heldur ber að líta á hitastig sem eina af þeim stærðum sem ákvarða hagkvæmni virkjunar.

5. ÓDÝRAR BORANIR

Kostnaður við boranir er vissulega verulegur hluti heildarkostnaðar við virkjun jarðhita, en kostnaður við borun vinnsluhola sem komast í framleiðslu fljótlegra eftir borun er aldrei talinn baggi, heldur er þetta mjög arðbær fjárfesting þar sem framleiðsla holunnar borgar upp borkostnað á einu til tveim árum í flestum tilvikum. Hins vegar hefur mannkynið alla tíð verið tregt til að leggja fé í rannsóknaboranir. Kemur þar tvennt til. Annars vegar er það óvissan um niðurstöður rannsóknaborana, en hins vegar hinn langi tími frá því að fjárfest er í rannsóknarborun og þar til möguleiki er á að fjárfestingin hafi möguleika á að skila arði. Eins og greint er frá hér að framan er auðvelt að setja upp

Þannig rannsóknarætlun að kostnaðurinn við rannsóknarboranir (sem kemur löngu áður en framleiðsla hefst) skipti raunverulega sköpum um það hvort virkjun telst fjárhagslega hagkvæm eða ekki.

Hægt er að ráðast á þetta vandamál frá a.m.k. tveim sjónarhornum. Annar kosturinn er að lækka borkostnað, eins og JB leggur til að athugað verði. Menn hafa haft ósk um að lækka borkostnað eins lengi og ég man fram, og ég er jafn vel þeirrar skoðunar að borkostnaður hafi lækkað með tíma. Hins vegar hafa kröfurnar til borana líka aukist með tíma, svo menn eru ennþá ekki sáttir við borkostnað, a.m.k. ekki kostnað við rannsóknaboranir.

Seinni kosturinn er að tímasetja rannsóknirnar öðru vísi, þurrka út í megin dráttum muninn á rannsóknarholum og vinnsluholum og breyta virkjunartilhögun þannig að alltaf sé stuttur tími frá borun og þar til framleiðsla hefst frá virkjuninni. Þetta er í reynd sú aðferð sem nýja jarðhitaheimspekin býður upp á. Ég hef gert því skóna hér að framan að þessi vinnutilhögun hafi ýmsa kosti, en einn mikilvægasti kosturinn er að spurningin um áhættufé til rannsóknaborana er næstum því úr sögunni. Þetta þýðir m.a. að í reynd verður rannsókn- og borkostnaður mun minni en með gömlu aðferðinni og þannig meiri líkur á að jarðhitinn sé samkeppnisfær eða ódýrari en vatnsorka til raforkuframleiðslu.

6. VATNSORKA Á UNÐAN JARÐHITA

JB segir í minnisblaði sínu frá 1990-11-28 : "Búast má við að vatnsorkan verði virkjuð á meðan nógir virkjunarstaðir eru fyrir hendi sem ódýrari orku gefa en jarðgufustöðvar."

Þar sem vatnsorka Íslands er endanleg stærð gefur það auga leið að það er til tími þar sem jarðhiti gefur ódýrari orku en vatnsorka. Hins vegar getur menn greint á um hvort þessi tímasetning er í framtíðinni, í nútíðinni eða jafn vel í fortíðinni.

Það sem einkum veldur mér áhyggjum í þessu efni er að ég man ekki til þess að fram hafi komið á síðast liðnum tveim áratugum sannfærandi samanburður á kostnaði raforkuvinnslu frá jarðhita í samanburði við kostnað frá vatnsorku. Bæði fyrir og eftir Kröfluæfintýrið hafa menn að meira eða minna leyti gefið sér að vatnsorkan sé ódýrari en jarðhitinn. Í öllum samanburði á vatnsorku og jarðhita sem ég hef séð hafa vatnsorkuleg sjónarmið verið ráðandi í þeim takmarkaða samanburði sem gerður hefur verið. Sem dæmi skulum við skoða umræðuna um virkjanaraðir. Þetta er reikningsaðferð sem ætti að gefa okkur lægsta orkukostnað að því gefnu að allir möguleikar séu skoðaðir við reikningana. Mér vitanlega hafa menn sett þau vatnsorkulegu sjónarmið á þessar athuganir að virkjun minni en svo sem 50 MW sé ekki þess virði að setja inn í reikninga um virkjunarraðir. Í þessarri greinargerð er lagt til að allar jarðhitavirkjanir verði gerðar í svo sem 20 MW einingum. Það þýðir í reynd að jarðhiti getur aldrei komið inn í myndina sem möguleiki við virkjun til raforkuframleiðslu ef menn halda áfram útiloka einingar sem eru minni en 50 MW.

Það er mjög brýnt að Orkustofnun skapi sér stefnu í sambandi við samanburð á vatnsorku og jarðhita. Orkustofnun er eini aðilinn í íslenska stjórnkerfinu sem ætti að geta borið saman rannsóknarþörf á sviði jarðhita og vatnsorku. Reyndin í þessu er hins vegar sú, að mjög skiptar skoðanir eru innan stofnunarinnar hvernig fjárveitingu hefur verið skipt á milli vatnsorkurannsóknar og jarðhitarannsóknar á síðustu árum. Það veikir stöðu stofnunarinnar ef menn eru ekki sammála um vægi milli vatnsorkurannsóknar og jarðhitarannsóknar.

Eins og ég minntist á í minnisblaði mínu frá 4. janúar 1991, þá falla 20 MW jarðhitavirkjanir miklu betur að almenna raforkumarkaðnum heldur en t.d. Blanda og Fljótsdalsvirkjun. Miðað við þá

takmörkuðu reynslu sem ég hef á því að skoða hvernig tímasetning fjárfestingar hefur mikil áhrif á hagkvæmni jarðhitavirkjana, finnst mér svona eftirá að hyggja ævintýralegt að ákvörðun um virkjun Blöndu er tekin þegar eini fyrirsjáanlegi markaður fyrir virkjunina er almenni raforkumarkaðurinn í landinu. Byggingartími virkjunarinnar hefur verið langur og virkjunin verður ekki fullnýtt fyrr en a.m.k. tíu árum eftir gangsetningu, ef aðeins kemur til almennur raforkumarkaður. Ef ekki kemur nýtt álver sýnist mér að Blanda verði þungur baggi.

Það er rétt hjá JB að Orkustofnun þarf núna að setja upp rannsóknaráætlun fyrir þær virkjanir sem fyrirsjáanlega þarf að reisa í byrjun næstu aldar. Þessar áætlanir þurfa að gera ráð fyrir ýmsum möguleikum eins og hvort nýtt álver rís hér á næsta áratug eða ekki. Þessar áætlanir verða að taka til bæði jarðhitarrannsókna og vatnsaflsrannsókna. Mér sýnist að 20 MW jarðgufuvirkjanir munu verða svo mikilvægur kostur í stækkun raforkukerfisins að þennan kost verði að taka inn nú þegar í alla áætlunargerð. Ef nýtt álver rís ekki á næsta áratug sýnist mér að 20 MW jarðhitavirkjanir verði lang hagkvæmasti kosturinn eftir að Blanda er fullnýtt. Ef álverið kemur má búast við að Fljótsdalsvirkjun verði reist. Hins vegar verða allir virkjunarkostir eftir það mjög háðir kostinum að virkja jarðhita í 20 MW einingum. Þetta gildir óháð því hvort við gerum ráð fyrir að aukning markaðar þá verði eingöngu almenn notkun eða við gerum ráð fyrir að til komi ný stóriðja.

Í minnisblaði mínu frá 4. janúar 1991 bennti ég á að það væri mjög lítil áhætta því samfara að taka ákvörðun í dag um uppsetningu á 20 MW stöðvum á Reykjanesi, í Hengli og í Bjarnarflagi. Þetta þýðir að við erum með fullrannsakaðan 60 MW jarðhitakost í dag ef við notun nýju jarðhitaheimspekina. Hins vegar eigum við engan fullrannsakaðan 60 MW jarðhitakost ef reisa á í einu lagi 60 MW jarðhitastöð.

6. SAMANTEKT

Í þessari greinargerð er lýst ýmsum kostum við það að virkja háhitasvæði til raforkuvinnslu í 20 MW einingum. Með þessari jarðhitafllósóffu er talið að bæði rannsóknarkostnaður og virkjunarkostnaður verði lægri en með gömlu aðferðinni.

Það er nauðsynlegt fyrir Orkustofnun að skilgreina hlutfall milli vatnsorkurannsókna og jarðhitarrannsókna. Þessi skipting mun líkega fara eftir því hvaða gagn þjóðfélagið telur sig hafa af hvorum þætti rannsókna. Í þessari greinargerð er greint frá ýmsum atriðum sem munu verða til þess að virkjunarkostnaður og rannsóknarkostnaður við virkjun jarðhita til raforkuframleiðslu mun verða mun minni en fram að þessu hefur verið talið. Það er nauðsynlegt að koma þessum sjónarmiðum inn í rannsóknaráætlun Orkustofnunar um rannsókn virkjunarkosta. Fram að þessu hafa vatnsorkuleg sjónarmið verið alsráðandi í áætlunum um aukningu raforkugeirans.