



Efnahagsleg forðafraeði og vinnslubestun.  
Framvinda og árangur 1988

**Jón Steinar Guðmundsson**

**Greinargerð JSG-89-01**

EFNAHAGSLEG FORÐAFRÆÐI OG VINNSLUBESTUN  
Framvinda og árangur 1988

## Inngangur

Vinnslu-HÆFNI má skipta í þrjá þætti: þrýsifall í jarðhitasvæði sem fall af tíma, þrýstifall í vatnsæðum sem leiða vatn og gufu inni borholu, og þrýstifall upp borholu (frá helstu vatnsæð til yfirborðs). Stundum er þetta kallað niðurdráttur, innrennsli og borholurennsli. Um er að ræða fræðilega lýsingu á rennsli vatns og gufu úr jarðhitasvæði til yfirborðs.

Vinnslu-BESTUN fjallar það hvernig hagkvæmast sé að vinna vatn og gufu úr jarðhitasvæðum; þ.e.a.s. áætlun á kostnaði við öflun vatns og gufu við ýmsar aðstæður. Til þess að hægt sé að áætla vinnslukostnað, er nauðsynlegt að þekkja bæði vinnsluhæfni og þá kostnaðarþætti, sem tengjast borholum (borun, dæling, leiðslur, búnaður o.fl.).

Árið 1987 var til verkefni sem hét VINNSLUBESTUN JARÐHITASVÆÐA, sem breyttist í EFNAHAGSLEGA FORÐAFRÆÐI 1988. Í þessari greinargerð verður stiklað á stóru um framvindu og árangur verkefnisins til þessa. Fyrstu lýsing á verkefninu er að finna í meðfylgjandi ljósriti frá 23.3.1987.

## Niðurdráttur

Til eru margvísleg líkön til að reikna niðurdrátt og aðrar breytingar á jarðhitasvæðum. Einföld forðalíkön geta helst hermt og spáð niðurdrætti (þrýstingi) með tíma, en margvíð líkön geta að auki greiðlega reiknað kælingu og aðrar breytingar. Á Jarðhitadeild eru til bæði einföld og margvíð líkön, sem hafa verið notuð í hinum ýmsum verkefnum.

Eðlilegt má telja að hafa tiltæk margvísleg forðalíkön til að geta leyst margbreytileg verkefni, sem upp kunna að koma á sviði forðafræði jarðhita.

Það er ekki óalgengt að nota líkön úr olíuönaði við hermun jarðhitasvæða, með viðeigandi breytingum að sjálfsögðu. Eitt slíkt er svokallað Hurst-líkan (aðsteymislíkan), sem lýsir áhrifum þess á niðurdrátt þegar vatn streymir inni jarðhitasvæði úr aðliggjandi jarðlögum.

Forrit fyrir hermun jarðhitasvæða með Hurst-líkani, var lagað 1988 og komið fyrir á HP-vél stofnunarinnar. Forritið var prófað á gögn frá Svartsengi og víðar. Er nú svo komið að auðvelt á að vera að herma og spá fyrir um niðurdrátt á vatnsráðandi svæðum með þessu líkani.

Í tengslum við prófun Hurst-líkansins, voru teknar saman mælingar Borholumælinga á niðurdrætti í Svartsengi, sem sýna nokkuð aðra mynd af niðurdrætti svæðisins á allra seinustu árum, en niðurdráttarmælingar í holu 4, sem notaðar hafa verið í hermun og spá Vatnaskila h.f. til þessa. Stórt séð sýna mælingarnar áframhaldandi niðurdrátt sem fyrr, þ.e. niurdælingin virðist ekki hægja mikið á niðurdrættinum.

Einfaldasta aðsteymislíkanið er Schilthuis-líkanið. Það hefur reynst vel á svæðum með mikla vatnsleiðni; þar sem það tekur stuttan tíma að jafna þrýsting. Schilthuis-líkanið getur við margar aðstæður hermt og spá niðurdrátt á jarðhitasvæði jafnvel og Hurst-líkanið, sem er þó öllu flóknara. Auðvelt er að koma Schilthuis-líkaninu fyrir í töflureikni á PV-vél.

Skrifaðar voru tvær greinar um hermum þriggja háhitasvæða (Ahuachapan, Svartsengi og Wairakei) með Hurst-líkaninu. Önnur greinin verður flutt á forðafraeðimóti við Stanford-háskóla í þessum mánuði (janúar 1989). Hin greinin er lengri útgáfa og verður send til Geothermics (væntanlega) til birtingar. Elliðaársvæðið er tekið með í þessari grein.

Tilgangurinn með greinaskrifunum var sá að fjalla um og finna út geymslustuðul vatnsráðandi svæða og vatnsleiðni aðliggjandi svæða. Fram kemur að öll svæðin hafa geymslustuðul sem er nálægt því sem búast má við þegar frjálst vatnsyfirborð ræður fjöðrun. Til þess að finna þetta út þurfti að reikna þjappanleika (fjöðrun) vatns sem fall af hitastigi miðað við tvær aðstæður: (1) þjappanleika innilokaðs vatns og (2) þjappanleika vatns með frjálst yfirborð. Búin hefur verið til mynd sem sýnir geymslustuðul fyrir báðar gerðir af þjappanleika sem fall af hitastigi. Sjá meðfylgjandi mynd.

Forritið AUTOMATE, sem notað er við þrýstigreiningu, var prófað á PC-vél. Þetta forrit er svipað því sem Jarðhitadeild hefur gert til að túlka þrýstiprófanir. Notuð voru gögn frá Glerárdal. Fram kom að vatnsleiðnin virtist hækka frá fyrri prófunum til síðari prófana. Ekki tókst að fá mælikvarða á geymslustuðul holunnar.

Forritinu BOAST var komið fyrir á PC-vél en ekki prófað. Þetta forrit er margvitt líkan fyrir einn fasa (t.d. vatn), ekki ósvipað og PT-forritið frá Berkeley.

### Innrennsli

Leitun er að mælingum á innrennsli borhola á jarðhitasvæðum. Innrennslishégóun borhola tengir saman hermilíkan (niðurdrátt í jarðhitasvæði) og borholurennisli. Algengt er að PI-aðferð sé notuð við hermireikninga, sem gerir ráð fyrir lagstreymi eingöngu. Við mat á afkastagetu borhola hefur stundum verið notuð (lagstreymi+ólgustreymi)-aðferð, sem tengist nafni hina ýmsu höfunda.

Lítið var gert til að rannsaka innrennsli jarðhitahola á starfsárinu 1988. Tímaritagreina var aflað og athugað var samband PI og kh (vatnsleiðni) í þrýstigreiningu.

### Borholurennisli

Þrýstifall upp borholur má reikna með forritum, sem byggja á tvífasafræðum. Nokkur slík forrit eru til á Jarðhitadeild: IKIFAZ (Parlaktuna), GORKIS (JSG) og HOLA (GrB). IKIFAZ var endurskoðað á Jarðhitaskólanum og byggir á eldri vinnu GKH og SPK. GORKIS byggir á forriti frá Stanford-háskóla, sem hefur verið notað þar um margra ára skeið. HOLA er forrit sem GrB gerði við Berkeley.

Forritið GORKIS er nú keyranlegt á PC-tölvur. Það var m.a. notað til samanburðar við nýlegar mælingar GrB o.fl. á þrýstifalli upp háhitaholur. Útreikningar með GORKIS þóssuðu yfirleitt betur við mæld gildi en útreikningar með HOLA. Ein helsta ástæðan getur verið sú að GORKIS byggir á sérstökum (specific) jöfnum fyrir hverja rennslisgerð, en HOLA hins vegar almennum (general) jöfnum án tillits til rennslis.

Greinum og öðru efni um tvífasa rennsli var safnað. Lestur og athuganir hafa nú sýnt að Friedel-aðferð gefur besta raun við útreikninga á viðnámi í þrýstifalli. Aðferðir Lockhart og Martinelli (við lágt flæði), annars vegar, og Chishom (við hátt flæði), hins vegar, passa einna helst þegar mikill munur er á eðliseiginleikum fasanna, sbr. vatn og loft. Friedel-aðferð passar betur þegar munur fasanna er lítill, sbr. vatn og gufa við jarðhitaaðstæður. Sjá meðfylgjandi mynd.

### Afköst borhola

Unnið var áfram að athugun á afköstum borhola, til að geta betur áætlað fjölda borhola við mat á kostnaði við gufuöflun. Gengið var frá grein til birtingar í Geothermics. Greinin fjallar um POWER POTENTIAL OF TWO-PHASE WELLS. Fram kemur að borholur á 21 jarðhitasvæði í heiminum eiga að geta afkastað að meðaltali jafngildi 8.7 MW<sub>e</sub> þegar eitt flassþrep er notað. Athugunin sýndi auk þess meðalafköst borhola á jarðhitasvæðunum, sbr. meðfylgjandi mynd.

Unnið var áfram að athugun á hljóðhraða í tvífasa streymi. Tilgangurinn er sá að geta metið mesta mögulega hraða tvífasa blöndu úr borholu - þetta tengist aðferð Russell James. Gengið var frá grein um COMPRESSIBILITY AND SONIC VELOCITY IN STEAM/WATER MIXTURE, sem flutt var á forðafraeðimóti Stanford-háskóla 1988.

Þjappanleiki tvífasa blöndu vatns og gufu reiknast út frá hljóðhraða í sama. Þessi þjappanleiki skiptir máli við einfalda hermun á jarðhitasvæðum, sbr. Hurst-líkan.

### Kostnaður orkuvera

Unnið var áfram að öflun gagna um kostnað jarðgufustöðva. Fengið var töflureiknistofrit frá Bandaríkjunum til að reikna stofnkostnað og raforkuverð frá gufuvirkjunum. Eftir er að prófa forritið.

Teknar voru saman upplýsingar um áhrif stærðar á stofnkostnað gufuafstöðva eingöngu, þ.e. ekki virkjunina í heild. Fram kom að í Bandaríkjunum fylgir kostnaðurinn veldinu 0.70 (skv. Bechtel-fyrirtækinu) en 0.72 á Nýja Sjálandi (skv. grein Dobbie). Þessar upplýsingar má nota við mat á kostnaði raforkuvers á tilteknum jarðhitasvæðum.

### Framhald 1989

Lagt er til að verkefninu verði fram haldið 1989. Gert er ráð fyrir að verkefnið fjalli um helstu atriði í 2. og 3. lið fyrstu verkefnislýsingar frá 23.3.1987, sbr. meðfylgjandi ljósrit. Um leið getur verkefnið verið vettvangur til að stunda rannsóknir á sviði forðafraeði, með áherslu á efnahagslega forðafraeði og vinnsluhæfni.

Af einstökum atriðum má minnast á eftirfarandi verkþætti: aðsteymslíkön (Hurst-líkan og Schilthuis-líkan) verði notuð til að herma niðurdrátt lághitasvæða (nota gögn sem búið er að taka saman, sbr. grein GAx á Stanford-mótinu); teikna geymsluðuða frá hinum ýmsu jarðhitasvæðum (ath. samantekt GrB) á mynd sem sýnir stuðla lokaðra og opinna (frjálst vatnsborð) svæða; safna upplýsingum um innrennsli og athuga samband við kh-gildi sömu hola/svæða.

Til umræðu er að hafa sérstakt verkefni um kostnað við gufuvirkjanir: stöð, veita, borholur, svæði. Um er að ræða samantekt á upplýsingum um hvað það getur kostað að framleiða rafmagn með jarðhita, að gefnum forsendum um ákveðin svæði. Þetta verði gert með hliðsjón af sambærilegum athugunum á kostnaði vatnsaflsvirkjana.

ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild  
23.3.1987  
JSG

### Vinnslubestun jarðhitasvæða

Verkefnið fjallar um hvernig hægt sé að mæla og reikna vinnslu úr jarðhitasvæðum, innrennsli í borholur, og rennsli upp borholur - einu nafni kallað vinnsluhæfni. Verkefnið er í framhaldi af sambærilegum rannsóknum verkefnisstjóra við Stanford háskóla. Tilgangur verkefnisins er að gera Jarðhitadeild mögulegt að meta hagkvæmni kosta til vatns- og gufuöflunar.

1. Fyrsta árið verða þau líkön, sem verkefnistjóri vann með við Stanford háskóla, gerð keyrsluhæf á PC-tölvur og VAX/HP-tölvur Orkustofnunar. Eftir því sem tími gefst, verður auk þess unnið að gagnaöflum (sjá hvað er til) og vinnsluhæfnilíkanið notað til útreikninga fyrir íslenskar aðstæður: ýmislegt prófað. Mælingar á þrýstifalli upp borholur styrkir útreikninga á sama.

2. Annað árið verður farið að nota vinnsluhæfnilíkanið í samspili kostnaðar vatns- og gufuöflunar og virkjunarkostnaðar. Fyrst um sinn verða notaðar tölur fyrir raforkuvirkjanir, m.a. byggt á áætlunum VGK fyrir LV fyrir litlar virkjanir, ásamt og samantekt frá Bechtel í Bandaríkjunum. Rannsóknum og verði haldið áfram á þrýstifalli upp borholur.

3. Þriðja árið verður prófað að nota vinnsluhæfnilíkanið á aðstæður dæmigerðar fyrir hitaveitur. Hugsanlega verða þá notuð hermilíkön Jarðhitadeildar eða annarra af jarðhitasvæðum hitaveitna, ásamt kostnaðartölum virkjunaraðila. Þá er vonast til að hægt verði að gera mælingar á innrennslishegðum borhola (bæði lág- og háhita) og aðferðir til útreikninga á sama haldið áfram.

4. Fjórða árið verður vinnsluhæfnilíkanið notað til að bera saman kosti jarðhita og vatnsafls, þá sérstaklega samkeyrslu slíkra orkuvera. Í slíkum útreikningum verði miðað við sömu vexti og hverjar aðrar aðstæður sem Íslendingar búa við í orkumálum.





