

## Rennslismælingar á Flúðaholum í júlí 1994

**Grímur Björnsson**

**Greinargerð GrB-94-03**



14. júlí 1994

---

## RENNSLISMÆLINGAR Á FLÚÐAHOLUM Í JÚLÍ 1994

### 1. Inngangur

Í þessari greinargerð er lýst rennslismælingum sem voru gerðar á holum 6 og 8 á Flúðum þann 6. júlí 1994. Mælingarnar voru gerðar að beiðni Hitaveitu Flúða. Um þetta leyti stóð þannig á að borun nýrrar holu, 8, var nýlokið auk þess sem útihiti hafði verið á bilinu 15-25 °C svo dögum skipti. Var vatnsnotkun Hitaveitunnar því mjög lítil og þrýstingur á holutoppum hár. Tilgangur mælinganna var tvíþættur, í fyrsta lagi að hitamæla og aflmæla holu 8 og afla þannig vitneskju um gæfni holunnar. Hins vegar að hleypa vatni af holum 6 og 8 í miklum mæli út í Hellisholtalækinn og mæla hvoru tveggja rennslið og þrýstilækkun svæðisins. Þannig fæst afkastamat á sjálfst jarðhitakerfið.

Aðstæður til mælinga voru hinar ákjósanlegustu. Búið var að setja hliðarlegg og leggventil á holu 8 auk þess að rennslið frá holunni fór niður í plastklætt lón í Hellisholtalæknum sem endaði í V-laga þversniði. Hliðarleggur með kúluloka var einnig á holu 6 og var rennsli frá henni beint ofan í kerru með V-laga þversniði í annan endann. Nýjum þrýstimælum með sviði 0-0,6 og 0-1,6 bör var komið á holur 4, 5, 6 og 8 til að fylgjast mætti með holutoppþrýstingi. Ekki var hægt að mæla vatnsnotkun Hitaveitunnar, en gera má ráð fyrir að hún hafi verið lítil og jöfn (5-10 l/s) þann stutta tíma sem mælingar stóðu. Þá var hola 4 lokið mestallann mælitímann vegna þrýstimælinga.

### 2. Borun og frágangur holu 8

Hola 8 var boruð með jarðbornum Ými dagana 15. júní til 4. júlí 1994 og varð hún 276 m djúp. Holan er fóðruð með 15" öryggisfóðringu í 17 m og 10" vinnslufóðringu í 57 m. Vinnsluhluti holunnar var svo boraður með 7 ¼" lofthamri í 180 m þar sem fyrsta umtalsverða vatnsæðin kom í holuna. Hætti þá hamarinn að vinna þannig að áfram var borað með hjólakrónu og lofti í 276 m. Þá var stoppað þar sem þrýstingur á loftpressu borsins var kominn í 25,5 bör sem er um 1,5 bari yfir leyfilegum mörkum. Höfðu þá bæst margar æðar í holuna og sýndist 20 til 30 l/s rennsli frá henni. Var þá haldinn fundur með Veitustjórn Hitaveitu Flúða og fulltrúum Jarðborana og Orkustofnunar og þar afráðið að hætta borun þar sem árangur virtist orðinn mjög góður.

Hola 8 er staðsett í NA frá holum 4 og 6, þar við sem vegurinn að sundlauginni fer yfir

Hellisholtalækinn. Hnit holunnar í Landskerfi (Lambert) voru lesin af korti ásamt hnitum hinna holnanna og eru þau birt í töflu 1.

TAFLA 1: Lambert-hnit borholna á Flúðum. Hæð jarðhitasvæðisins er u.þ.b. 75 m y.s.

Holu-nafn	Vestur (m)	Norður (m)	Staður (Oracle)
1	613127	404937	90931
3	613076	404962	90933
4	613096	404947	90934
5	613154	404907	90935
6	613109	404945	90936
8	613049	404965	90938

### 3. Hitamælingar í holu 8

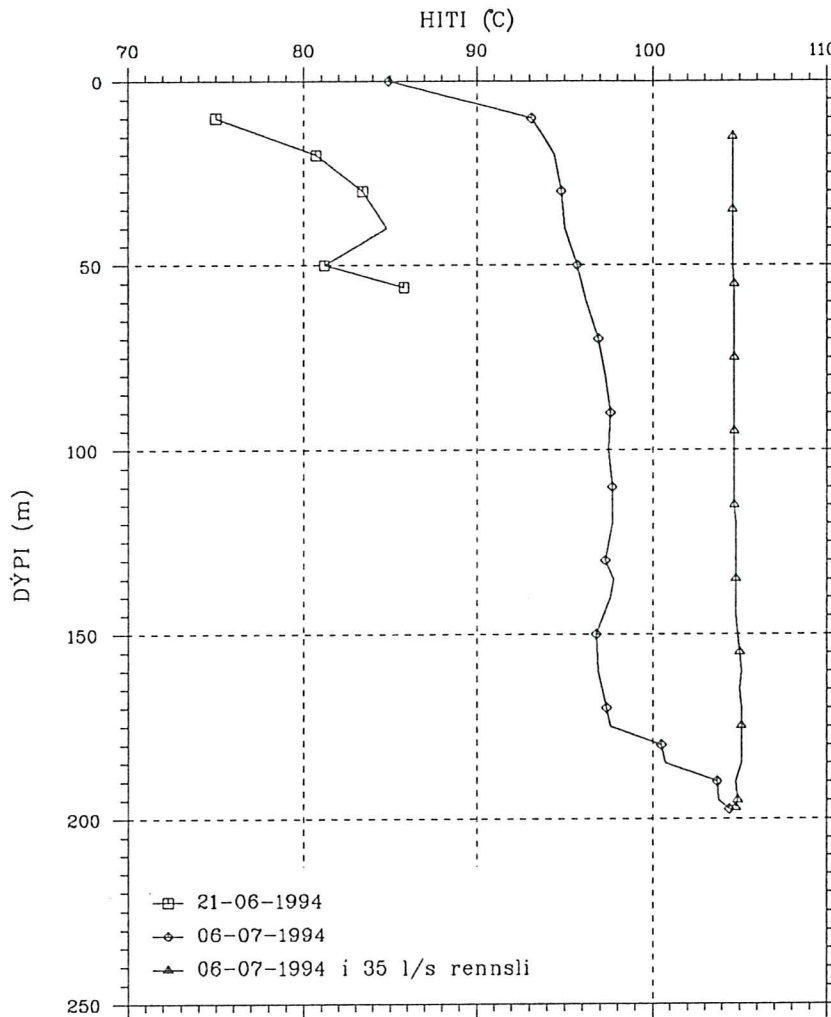
Mælingarnar á Flúðum þann 6. júlí hófust með því að hola 8 var hitamæld án þess að rynni upp úr henni. Sáust æðar á 134, 177, 187 og 197 m dýpi. Hins vegar brá svo við að mælirinn stöðvaðist í neðstu æðinni og komst ekki neðar þrátt fyrir ítrekaðar tilraunir. Er þarna líklegast skápur eða steinn í holunni, því samkvæmt hitamælingunni virtist rennsli frá æðunum neðar. Að því búnu var fullopnað út á hliðarlegginn og beðið með mælinn í botni í u.þ.b. 15 mínútur uns hitinn á vatninu sem kom upp hafði stöðvast í 104,8 °C. Er það hitastig væntanlega einkennandi fyrir æðarnar neðan við 197 m dýpi. Rennslið úr holunni mældist þá 35-38 l/s.

Eftir að botnhitinn var kominn í jafnvægi var mælt upp holuna og stöðvað í 15 m dýpi. Var hitinn þar 104,6 °C og er það væntanlegur vinnsluhiti holunnar. Mynd 1 sýnir hitamælingarnar tvær auk mælingar sem var gerð í borun þegar holan var 60 m djúp. Mælingarnar sýna að verulegur hiti er við holuna, líklega yfir 90 °C þegar frá 10 m dýpi. Einnig er athyglisvert að holan kólnar neðan 187 m æðarinnar um 0,3 °C sem gæti bent til hitaviðsnúnings um þetta dýpi.

### 4. Afmæling á holum 6 og 8

Að lokinni hitamælingu holu 8 var farið í að mæla hvernig toppþrýstingur sömu holu lækkaði með stigvaxandi rennsli. Lokunarþrýstingur var 0,76 bör. Jafnframt sást að fullopin gaf holan um og yfir 35 l/s við 0,22 bara toppþrýsting. Mynd 2 sýnir affferil holunnar, þ.e. holutoppþrýsting sem fall af rennsli. Myndin á við þegar þrýstingur er hvað hæstur í jarðhitakerfinu að sumarlagi, en væntanlega hliðrast ferillinn hliðrast niður á við um hávetur þegar vinnsla er hvað mest og þrýstingur jarðhitakerfisins lágur.

12 Jul 1994 grb  
L= 90938 Oracle



Mynd 1: Hitamælingar í holu 8, Flúðum.

Sams konar aflmæling var einnig gerð á holu 6 við lok prófananna á Flúðum þann 6. júlí síðastliðinn. Rennsli var aukið í þrepum og toppþrýstingur mældur. Mynd 2 sýnir gögnin sem söfnuðust. Gefur hola 6 mest um 38 l/s samkvæmt mælingu í V-sniði frá því fyrir 1991 (Hannibal Kjartansson, Flúðum, persónulegar upplýsingar).

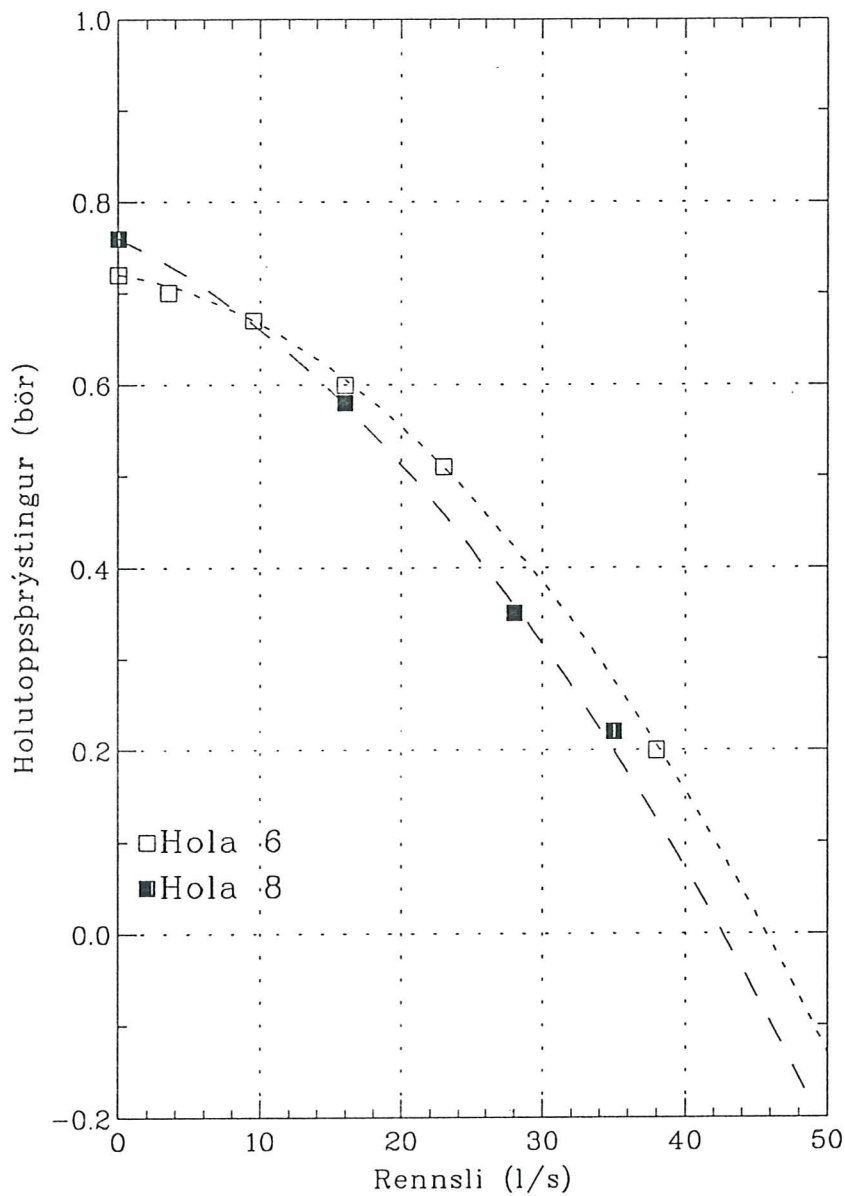
Inn á mynd 2 eru færðir tveir slitnir ferlar sem eru felldir með annarar gráðu margliðu að mældu þrýstings- og rennslisgildunum. Þessar margliður eru:

$$\text{Hóla 6: } P_0 = 0.72 - 0.0025 \times Q - 0.00029 \times Q^2$$

$$\text{Hóla 8: } P_0 = 0.76 - 0.0076 \times Q - 0.00024 \times Q^2$$



12 Jul 1994 GrB  
xy V1.0



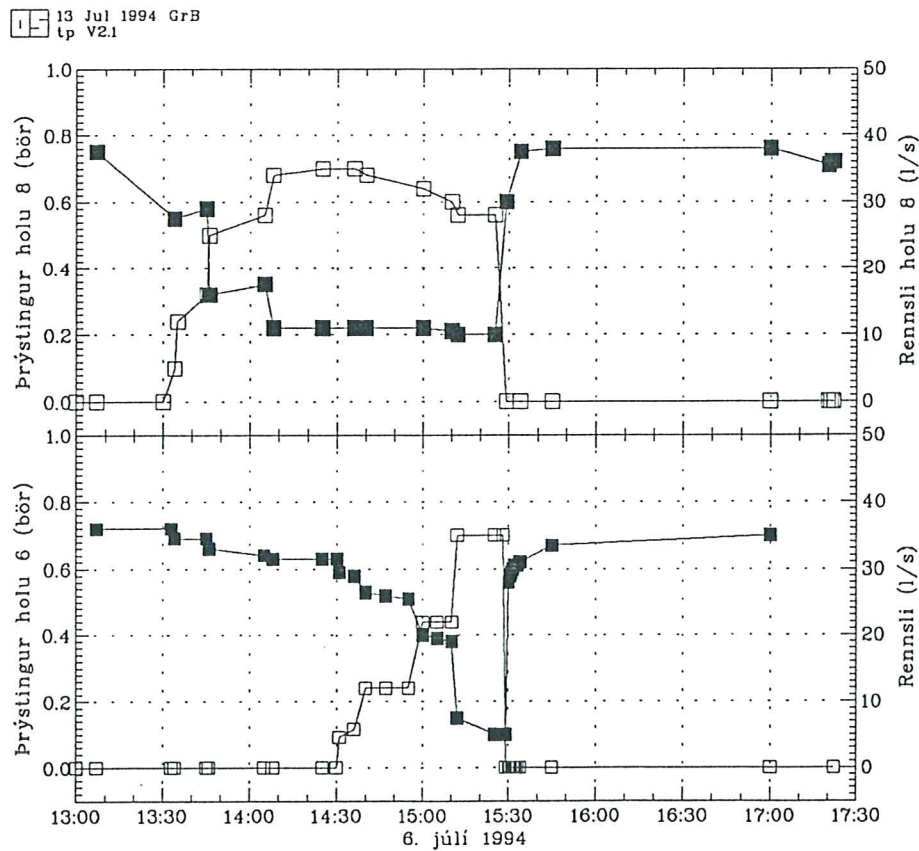
Mynd 2: Afþerlar holna 6 og 8 Flúðum. Mældu gildin eru sýnd með opnum og lokuðum kössum.

þar sem  $P_0$  er toppþrýstingur holu (bör) og  $Q$  er heildarrenslið í l/s. Miðliðurinn í jöfnunum tveimur sýnir það óumflýjanlega þrýstifall sem verður í jarðhitakerfinu við rennsli til (og úr) holu. Síðari liðurinn táknar hins vegar þrýstitöp sem verða í og allra næst holunni vegna iðustreymis. Þetta þrýstifall eykst með öðru veldi af rennslinu og getur því orðið umtalsvert við mikið rennsli. Þannig er iðustreymistapið í holu 6 við 35 l/s rennsli um 0,35 bör en 0,29 bör í holu 8. Aftur á móti eru þrýstitöpin nálægt helmingi lægri ef

25 l/s eru teknir úr hvorri holu. Sýnir það að reka má svæðið með allt að 0,15 börum hærri toppþrýstingi við samanlagða 50 l/s vinnsla úr holum 6 og 8 borið saman við að einungis hola 6 væri rekin með 35 l/s afköstum.

### 5. Samgangur holna 6 og 8

Þó svo að vinna megi meira magn samanlagt úr holum 6 og 8 en áður fékkst eingöngu úr holu 6, er ekki þar með sagt að vinnsla úr annari holunni hafi ekki áhrif á hina. Mynd 3 sýnir rennsli og toppþrýsting holna 6 og 8 þann 6. júlí 1994. Myndin sýnir að á tímabilinu 13:30 til 14:30 féll þrýstingur holu 6 um 0,1 bar við 35 l/s rennsli úr holu 8. Það þýðir að affferill holu 6 hliðrast niður á við um þetta gildi. Jafngildir það því að rennsli holu 6 minnki um 5-10 l/s alls, eða um 1-2 l/s fyrir hverja 7 l/s sem er bætt við rennslið úr holu 8. Einnig sést að rennslið úr holu 8 fellur úr 35 l/s í 28 l/s við að hola 6 var fullopnuð í rúma 35 l/s. Þýðir það að fyrir hverja 7 l/s sem er bætt við vinnsluna úr holu 6, lækka afköst holu 8 um 1 l/s. Í stuttu máli sýnir þetta að aukin vinnsla úr annari holunni lækkar rennsli hinnar um 15-30 % af aukningunni. Vatnið úr holu 8 er því að stórum hluta varanleg viðbót við það sem áður fékkst úr svæðinu.

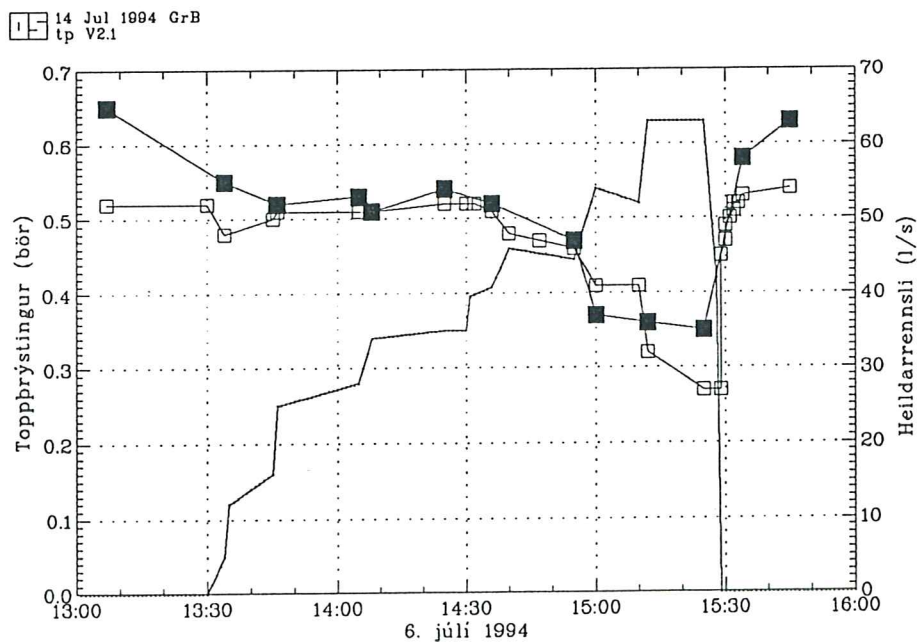


Mynd 3: Rennsli og toppþrýstingur holna 6 og 8. Þrýstimælingarnar eru sýndar með fylltum kössum en rennslismælingar með opnum kössum.

## 6. Afköst jarðhitakerfisins á Flúðum

Annar megintilgangur mælinganna á Flúðum var að fá mat á afköst sjálfs jarðhitakerfisins sem nú er unnið úr. Til að meta þau var hola 4 lokað og hún notuð sem eins konar þrýstimælir fyrir sjálft jarðhitakerfið. Notkun hola 4 í þessum tilgangi hefur þann annmarka að dýpi hennar er eingöngu um 200 m og endurspeglar því toppþrýstingur hennar þrýsting á því dýpi. Mynd 4 sýnir hvernig toppþrýstingur holunnar breyttist sem fall af heildarrennsli úr holum 6 og 8. Einnig er sýndur þrýstingur hola 5, sem var aftur á móti í vinnslu inn á veitu.

Mynd 4 sýnir að vinnslan úr hola 8 hefur ekki sjáanleg áhrif á þrýsting holna 4 og 5, en veruleg eftir að hola 6 var opnuð út í læk (kl 14:30). Þá féll þrýstingur hola 4 um 0,25 bör en um tæp 0,2 bör í hola 5. Sýnir það að greið tengsl eru milli æða í holum 4 og 6 ofan 200 m dýpis en óveruleg milli holna 4 og 8 annars vegar og holna 5 og 8 hins vegar. Jafnframt sýnir myndin að þegar heildarvinnslan úr svæðinu fer í rúma 60 l/s, fellur þrýstingur á 200 m dýpi um 0,25 bör. Þá sést að toppþrýstingurinn jafnar sig skjótt að fyrra gildi við lokun holna 6 og 8 sem endurspeglar góða rýmd og lekt jarðhitakerfisins. Ekki er hægt að meta hvort þrýstilækkun hola 5 stafi af lækkun þrýstings í jarðhitakerfinu við holuna eða af aukinni vinnslu úr henni eftir að hola 6 var opnuð út í læk.



Mynd 4: Samanlagt rennsli úr holum 6 og 8 (heildregin lína) ásamt toppþrýstingi hola 4 (opnir kassar) og 5 (fylltir kassar).



## 7. Almennt um jarðhitakerfið og jarðhitavinnslu á Flúðum

Mælingarnar á Flúðum frá 6. júlí veita athyglisverða innsýn í vatnsþrýsting í jarðhitakerfinu. Þannig er lokunarþrýstingur hola 4 um 0,1 bari lægri en hola 6. Væntanlega stjórnast þrýstingur hola 6 af æðum kringum 300 m dýpi og sýnir þetta því að þar er hlutfallslega hærri þrýstingur en á 200 m dýpi. Einnig sést að hola 8 er a.m.k. með 0,1 bari hærri lokunarþrýsting en hola 6, jafnframt því að vera 3-5 °C heitari. Þetta liggur beinast við að túlka þannig að hola 8 sé næst uppstreymissvæði jarðhitakerfisins af Flúðaholunum. Það gæti þá hæglega verið enn lengra til norðausturs en holan. Þá má nefna að hola 8 virðist í mun minni tengslum við holur 4 og 5 en hola 6. Styrkir það ályktunina um að vatnið úr hola 8 verði að stórum hluta hrein viðbót við það sem kom úr eldri holum.

Nú mun hola 8 væntanlega skila 104-105 °C heitu vatni. Einnig sást af prófunum á hola 6 að hún skilaði um og yfir 100 °C heitu vatni. Gráupplagt virðist að blanda bakrásarvatni saman við þennan rúmlega 100 °C heita vökva úr holunum og drýgja þannig vatnið úr jarðhitakerfinu. Ef t.d. er miðað að vatnið fari 95 °C heitt frá dælustöð og að tiltækt sé 35 °C heitt bakrásarvatn, má setja u.þ.b. 1 l/s af bakrásarvatni saman við hverja 9 l/s sem eru teknir úr holum 6 og 8. Þetta skilar um 10 % aukningu í rennsli frá dælustöðinni, eða allt að 7 l/s viðbótarrennsli þegar álag er hvað mest að vetrinum. Þetta hlutfall fer svo upp í 16-18 % ef miðað er við 90 °C frárennslishita.

Holum 4 og 6 var lokað og þær hitamældar í lok mars 1994. Mælingarnar sýna að einungis 4 m dýpi var á 100 °C heitt vatn í hola 4 og um 80 m í hola 6. Einnig kom fram í mælingunum nú að vatnið úr hola 6 sýður í toppi. Sýnir það að holur 4, 6 og 8 gefa allar um og yfir 100 °C heitt vatn í rennsli.

Þá sýna rennslismælingarnar í júlí að holur á svæðinu hafa mjög "flata" affferla, þ.e. rennsli eykst verulega fyrir hvern metra sem vatnsborð lækkar í þeim. Mynd 2 sýnir t.d. að heildarrennsli úr holum 6 og 8 gæti vaxið um 8-10 l/s samtals ef holutopparnir yrðu lækkaðir um 1 m. Því sýnist augljóst að lárétta tengingin frá hola 8 verði höfð eins nærri aðalventlinum og kostur er auk þess sem kanna þarf hvort gufan í rennsli holunnar verði skilin frá eða þétt með bakrásarvatni þegar við holutoppinn. Einnig er vel hugsanlegt að lækka megi alla holutoppa, safnæðar og skilju um 1-2 m og fá þannig rennslisaukningu sem jafnast á við nýja hola. Eins er athugandi hvort einangrun safnæðanna skili ekki einhverri hitaaukningu við dælur.

Nokkurt gas kemur með rennslinu úr Flúðaholunum. Þannig sýnir efnagreining á vatni úr hola 5 að 45 mg af koldíoxíði (CO<sub>2</sub>) voru uppleyst í hverjum lítra vatns úr holunni. Einnig voru 1,94 mg af brennisteinsvetni í vatninu. Athugandi er hvort ekki eigi að taka gassýni úr útblæstrinum við skiljuna og fá þannig mat á hve mikið er af koltvísýringi í gasinu, hvort brennisteinsvetnið sé til baga og hvort hagkvæmt sé að vinna þetta gas fyrir gróðurhúsin á Flúðum.

## 8. Niðurstöður

Helstu niðurstöður rennslis- og þrýstímælinga á Flúðaholum í júlí 1994 eru eftirfarandi:

1. Hóla 8 skilar um og yfir 35 l/s rennslis af 104-105 °C heitu vatni við 0,2 bara mót-þrýsting.
2. Þrýstisamband er milli holu 8 og dýpri æða holu 6. Ekki sást slíkt þrýstisamband við holur 4 og 5.
3. Svo virðist sem aukning í vinnslu úr holu 6 eða 8, valdi rennslisminnkun í hinni holunni sem nemur 10-15 % af aukningunni. Það sýnir jafnframt að rúmur helm-ingur vatnsins úr holu 8 er hrein viðbót við mögulegt sjálfrennslis úr núverandi hol-um. Þessu ályktun er einnig studd með óverulegum áhrifum rennslisins úr holu 8 á þrýsting holna 4 og 5.
4. Hiti og þrýstingur er hæstur í holu 8 af Flúðaholum. Bendir það til þess að hún sé næst uppstreymissvæði jarðhitakerfisins.
5. Einnig sýna hitamælingar frá mars 1994 og rennslismælingin nú, að holur 4 og 6 skila rétt um 100 °C heitu vatni.
6. Tvær leiðir virðast nú færar fyrir Hitaveitu Flúða til að auka enn frekar rennslis frá dælustöð. Sú fyrri, og einsýnni, er að safna bakrásarvatni og blanda því saman við um og yfir 100 °C heitt rennslis frá holum 4, 6 og 8. Ef miðað er við að 95 °C heitt vatn fari frá dælustöð, má blanda 1 l/s af 35 °C heitu bakrásarvatni saman við hverja 9 l/s frá holunum. Hin leiðin felst í lækku holutoppa, safnæða og skilju. Virðist hver metri sem topparnir lækka skila 10 l/s viðbót við sjálfrennslis úr svæð-inu.
7. Lagt er til að Hitaveitan láti mæla magn koldíoxíðs og brennisteinsvetnis í gasinu sem streymir úr skilju í dælustöð. Sést þá hvort fýsilegt er að vinna gasið fyrir gróðurhúsin á Flúðum.

Í heild má því segja að árangur af borun holu 8 sé góður og að jarðhitakerfið standi undir því að veita auknu vatni til yfirborðs með þessari nýju holu. Helsta óvissan í afkastamati jarðhitakerfisins felst í að enn er ekki til heilleg vinnslusaga fyrir svæðið þar sem kemur fram: heildarvinnsla, hiti og toppþrýstingur á holum. Slíkar athuganir eru sérlega mikil-vægar þegar meta skal mögulegt rennslis úr svæðinu þegar aflþörfin er mest að áliðnum vetri. Mælingarnar nú í júlí sýna að allar eru Flúðaholurnar nátengdar í þrýstingi og að þær eru að vinna úr sama kerfinu. Því ætti að nægja að mæla rennslis úr svæðinu með ein-ungis einum rennslismæli sem yrði komið fyrir milli skilju og dælna eða niðurstreymis við dælurnar. Komi til þess að gangasöfnunartæki verði sett upp er æskilegt að hita- og þrýstiskynjara verði einnig komið á hverja holu. Fram að því ætti að nægja að mæla og skrá vikulega þrýsting á holunum, hita á vatni sem rennur kröftuglega úr stút við holu-

topp auk þess sem heildarrennsli verði mælt með nýjum rennslismæli.

Að lokum má nefna að sá fjarlæggi möguleiki er fyrir hendi að framleiða rafmagn með heita vatninu á Flúðum. Nú hafa verið reknar um nokkurt skeið svokallaðar Ormat-rafstöðvar í Svartsengi. Þær framleiða hver um 1,2 MW rafmagns, auk þess sem töluvert magn af 27 °C heitu kælivatni fellur til. Vísbendingar eru um að allt að 150 °C heit jarðhitakerfi séu til staðar í nágrenni Flúða. Hugsanlega getur aflmikil hola í slíkt svæði skilið að þeirri varmaorku sem þarf fyrir 1,2 MW Ormat-vél. Ljóst er að hér yrði um tugmilljóna verkefni að ræða og þyrfti að skoða vel í upphafi hvort slík rafstöð skili orkuverði sem er samkeppnisfært við það sem nú býðst frá almenningsrafveitum. Eins er hugsanlegt að fá megi nægilega gufu úr slíkri holu til að reka bakþrýstítúrbínu sem yrði verulega ódýrari, aflminni og einfaldari í rekstri en ofanefndar Ormat-vélar.

*Reykjavík, 14. júlí 1994*

*Grímur Björnsson*

