

MÁ EKKI FJARLÆGJA

GUFUVINNSLA VIL KRÓFLU

Skýrsla

til

Orkustofnunar

eftir

Gunnar Böðvarsson,
Corvallis, Oregon, U.S.A.

Maf 1977

OS-THD-7718

GUFUVINNSLA VID KRÖFLUSkýrsla til Orkustofnunar

eftir

Gunnar Bóðvarsson, Corvallis, Oregon, U.S.A.

(1) INNGANGUR

Í febrúar 1977 fór Orkustofnun þess á leit við höfund þessarar skýrslu, að hann kæmi í stutta heimsókn til Íslands til þess að hafa samstarf við starfsmenn stofnunarinnar um tillögur til aukinnar gufuvinnslu á jarðhitasvæðinu við Kröflu. Höfundur lagði upp frá Corvallis þann 29 marz og dvaldi á Íslandi til 15 apríl. Eftirfarandi plagg er skýrsla höfundar til Orkustofnunar, en stutt skýrslubrot var og tekið saman í Reykjavík.

Höfundur þakkar iðnaðarmálaráðherra, Iðnaðarmálaráðuneyti, Kröflunefnd og starfsmönnum Orkustofnunar fyrir ánægjulegt samstarf.

(2) JARÐHITI OG JARÐELDUR VID KRÖFLU

Ýtarlegar lýsingar á jarðhita við Kröflu eru gefnar í fjölmörgum skýrslum Orkustofnunar, og er óþarfi að endurtaka efni þeirra hér. Aðeins skal á það bent, að samband jarðhita og jarðelds er greinilegra á Kröflusvæði en á flestum öðrum svæðum á Íslandi. Svæðið virðist og eitt heitasta jarðhitasvæði landsins.

Starfsmenn Orkustofnunar og Raunvísindastofnunar hafa og gert ýtarlegar og athyglisverðar skýrslur um ýmsa atburði á svæðinu í kjölfar gossins í desember 1975. eru fyrir hendi niurstöður mælinga á skjálrtavirkni, landrasi og öðru, sem rekja má til jarðeldavirkinnar. Mjög athyglis-

vert er, að þessir atburðir eru svo að segja allveg hlíð-
stæðir því, sem gerist við eldöskjuna Kilauea á Hawaii.
Þegar bornir eru saman atburðir á báðum stöðum verður ekki
hjá því komist að álykta, að kvika neðanjarðar sé meginorsök
landhreyfinga og skjálftavirkni við Kröflu.

Þétt er að taka fram, að skortur þekkingar á eðli
sambandsjarðhita og jarðelds veldur meginvanda við skipulagn-
ingu gufuvinnslu á Kröflusvæði og öðrum líkum svæðum. Ekki
er vitað á hvern hátt, jarðhitavatn tekur upp varma né um
hvada rásir það leitar til yfirborðs.

(3) GUFUVINNSLA 77/4

Á Kröflusvæði hafa alls verið borðar 11 vinnslu-
holur og er dýpt þeirra frá 1,1 til 2,2 km. Aðeins tvær þeirra
hafa þoríð sæmlegan árangúr, þ.e. hola 7, sem flytur um 7
kg/s af gufu við 8 ata þrýsting og hola 11, sem flytur 10 til
12 kg/s við 10 ata þrýsting.

Greinilega hefur komið fram, að vinnsla er úr tveim
aogreindum kerfum. Efra kerfið er á 0,8 til 1,2 km dýpt og
flytur vatn við 220°C hita. Neðra kerfið er mestmegnis neðan
1,5 km dýptar og flytur gufu-vatnsblöndu við um 320°C hita.

Vert er að taka fram, að þau vandamál, sem fram hafa
komið við gufuvinnslu á Kröflusvæði eru hvergi einsdæmi um
negðun slíkra svæða. Um 1960 voru gerðar 3 árangurslausar
boranir í Krýsuvík. Afköst hornhola á Olkariasvæði í Kenya
eru ófullnægjandi. Þá hafa komið upp vandamál af líku tagi

í Valles öskjunninni í New Mexico, East Mesa, Imperial Valley, Cali-
fornia, Momotombo í Nicaragúa og allt að 5 háhitasvæði á Nýja
Sjálandi hafa verið dæmd úr leik vegna tregis rennslis hornhola.

(4) UMRÆÐA OG TÚLKUN

(4.1) Innstreymi í borholur. Það skiptir nokkru máli að gera sér grein fyrir hversu smáir innstreymisflötir eru. Líttum á niðurstöður mælinga á KJ-7 frá 76.11.18. Hólan er talin ríytja svo að segja eingöngu háhitavatn úr neðra kerfi. Við 12 ata toppþrýsting er gufurennslí 7 til 8 kg/s en vatnsrennslí um 5 kg/s. Gerum ráð fyrir 20 ata þrýstingi við innstreymi í holu á 1.6 til 2.0 km dýpt og 320°C og um 110 ata þrýstingi í bergi. Hér er um margyfirhætið (supercritical) streymi að ræða, en það má telja eðlilegt við þær aðstæður, sem hér ríkja. Innstreymishraði hreinnar gufu inn í holu ætti að vera yfir 600 m/s en vegna vatnsblöndunar mun raunverulegur hraði talsvert lærgi. Gizkun á 300 m/s og reiknum þá innstreymi 3000 kg/m²s. Til þess að ríytja 8 kg/s þarf því aðeins $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ innstreymisflöt. Ef gufan streymir út úr láréttari æð, sem er opin allan hringsinn þarf vidd hennar aðeins að vera 3,5 mm til þess að ríytja blönduna. Þessi niðurstaða sýnir, að innstreymisæðar eru mjög óverulegar. Líkar aðstæður ættu að ríkja í holum 6, 10 og 11.

Til fróoleiks má geta þess, að fyrrgreind æð gæti við þær þrýstingsaðstæður, sem hér ríkja flutt um 200 kg/s af hreinum vatnsfasa. Þessi tala er reiknuð á einföldum grundvelli, sem ekki verður rakinn hér. Samanburður á þeim rennslistölum, sem hér hafa verið gefnar sýnir, að það getur skipt talsvefðu máli að reka holur þannig, að innstreymi sé í vatnsfasa, ef þess er kostur.

(4.2) Botnhiti og fasaástand. Lítum aftur á niðurstöður mælinga í holu 7. Samkvæmt F-18986 er mældur hiti á 1.6 km dýpt 340°C en suðuhiti á þessari dýpt er 320°C . Þar sem hitamælur eru við hámark er mælingin ekki nákvæm, og fullt eins líklegt, að raunverulegur berghiti sé við suðumark. Þá er samkvæmt F-14899 gufuhlutfall holunnar við 12 ata útprýsting um 0,57, og er þetta óvenju há tala. Hlutfallið hækkar á 0,60 við 5 ata útprýsting. Holan er talin taka lítið eða ekkert vatn úr efra kerfi, og ættu þessar tölur því að vera einkennandi fyrir ástand í neðra kerfi.

Á Íslandi er jarðhitasvæðum er eðlilegt að gera ráð fyrir því, að djúpvatn, ef undarhætið, sé í vatnsfasa. Orsakir fyrir háu gufuhlutfalli geta þá verið þrjár, þ.e. (1) hár botnhiti, (2) ísóbar suða í nágrenni holu og (3) skiljun gufu og vatns og niðurstraumur vatnsfasa vegna hærri eðlisþessa. Gufutöflur sýna að til þess að ná gufuhlutfalli 0,57 við 12 ata út þyrfti botnhiti að vera um 370°C , þ.e. mjög nálægt hætnum hita vatns. Ef atriði (2) og (3) skipta máli lækkar þessi tala.

Línfaldir útreikningar, sem ekki verða raktir hér, sýna nú, að varmaleiðni bergs er svo lág að óeðlilega stóra snertifleti þarf til þess að ísóbar suða skipti máli. Þá er og prýstingsfall nálægt holu 7 svo mikið, að óeðlilegt virðist, að munur eðlisþessa gufu og vatns geti haft veruleg áhrif á strauma í berginu. Það er því sennilegt, að atriði (1), þ.e. hár botnhiti skipti hér mestu máli, og að raunverulegur botnhiti svæðisins sé nálægt 370°C , a.m.k. í nágrenni holu 7.

botnhiti = base temperature

Þrýstingur vatns við 370°C er um 210 ata, og má því ekki reikna með því, að botnhiti ríki fyrr en á um 3 km dýpt. Ef svæðið er nokkurn veginn í hitajafnvægi, atti vatn með 370°C hita að leita upp frá þessari dýpt, verða fyrir ísent-halplískri buðu á leið sinni, og koma upp á 1,6 km dýpt með gufuhlutfalli um 0,3, en þetta hlutfall atti að ríkja í nágrenni botns hola 7.

Vert er að taka fram, að mælingar á gufuhlutfalli eru aðfó erfiðar, og hitamælat þeir, sem notaðir eru í borholum eru hvergi nákvæmir við svo háan hita. Framangreind áætlun um gufuhlutfall er því í nokkurri óvissu.

(4.3) Rennslisminnkun og óstöðugleiki. Breytingar í rennsli bornola má rekja til eftirfarandi atriða, og ekki skal því haldið fram, að þessi listi sé tæmandi.

Þrýstingslækkun. Lækkun bakþrýstings í kerfi mun að sjálfsögðu tregða rennsli. Ekki er vitað um tímaferil þrýstings í neora kerfi, en ólíklegt er, að hann þafi tekið merkjanlegum breytingum, og það er næsta ólíklegt að rekja megi rennslisbreytingar til slíkra orsaka. Hins vegar eru merki um, að grunnvatnsborð á Kröflusvæði hafi lækkað við gosið 1975, og gæti þetta skýrt minnkun rennslis úr efra kerfi og einnig aukna gufumynun úr yrirhordsaugum.

Stíflun. Útfellingar, sandur og grjót geta stíflað innstreymisæðar, raufar og jafnvel borholur. Þetta eru alþekkt fyrirbæri og óþarfi að ræða þau frekar. Á svo virku svæði sem Kröflusvæði geta jarðnreytingar beyglad og kræðt íðourpípur þannig að til stíflunar komi.

Lokun aða. Hækkun bergnita og önnur þensla gæti lokað innstreymisæðum og þannig valdið rennelismennkun.

Kæling. Í tvífasa straumi upp borholu þar sem gúfufasinn hefur ekki nægan hraða getur vatn safnast fyrir og kælt innstreymi úr nedri æðum. Þetta virðist koma fyrir í holu 11 þegar dregið er úr afköstum með því að minnka blástursop.

Tæming hólfá. Hugsanlegt er, að borholur taki blöndu úr afbörkuðum (lokuðum) sprungukerfum, sem ekki geyma nema takmarkaðan massa. Slíkt er þó ósennilegt á Kröflusvæði þar sem CO₂ gusan, sem fram kom við gosið 1975 virðist hafa streymt úr neðra kerfið.

(4.4) Túlkun fyrirbyggjandi gagna. Á grundvelli þeirra gagna, sem fyrir liggja, virðist eftirfarandi mynd einna sennilegust. Vatn við nær-hætið ástand (370°C) er á um og yfir 3 km dýpt. Uppstreymi framkallar ísenthaldíska suðu, sem veldur á 1,6 til 2,0 km dýpt gufuhlutfalli nálægt 0,3. Ástand í neðra vinnslukerfi er þannig eðlileg afleiðing straumskilyrða. Blandan streymir um viðtunnukíð samtengt æðakerfi, sem myndað er af mjög þrongum sprungum. Líklegt er, að þeirra sé helzt að leita á lagaörum og jafnvel í innskotslögum.

Borholur taka gufu-vatnsblöndu úr sprungum, sem eru aðeins örfár millimetra víðar. Flutningsgeta æðanna er mjög viðkvæm gagnvart ýmsum breytingum. Líklegt er, að rennstisminnkun borahola í neðra kerfi sé fyrst og fremst af völdum ernissöfnunar vegna útrellinga, en grjót- og sandur geta einnig valdið stíflun millibíla og rauða. Kæring innstreymis úr neðra kerfi af völdum vatns fer augljóslega fram í sumum borholum.

Efra vinnslukeffid liggur yfir því neðra, og virðist ekki hafa beinan samgang við það. Þétt jarölög og/eda efnissöfnun munu valda þessu. En í borholum er samgangur milli kerfanna, og er hætt við því, að vatn úr efra kerfi auki hættu á kæringu þess neðra. Einnig getur verið hættu á efnissöfnun í sprungum neðra kerfis, ef efrakerfisvatn nær að streyma niður og inn í þær.

(4.5) Afköst og könnun vinnslugetu neðra kerfis

Lengd virkra borahola í neðra kerfi er nú um 3,5 km og afköst við 8 ata toppþrýsting eru um 18 kg/s af gufu, þ.e. um 5 kg/s,km. Þjárhagslega séð er æskilegt, að hver borahola reki í minnsta lagi 3 MW, og minnstu afköst þyrftu því að nema um 7 kg/s af gufu við um 10 ata þrýsting. Ef meðallengd boraholu í neðra kerfi er 0.8 km þyrftu afköst þá að nema 9 kg/s,km af gufu við 10 ata þrýsting. Því má segja, að núverandi afköst borahola í neðra kerfi séu um 50% af minnstu æskilegu afköstum, og er þá miðað við varanlegt rennsli, en það kann að vera tálvon, ef nöð er hljóðsjón af fenginni reynslu. Þegar öllu er á botn hvolft má því segja, að byrjunarafköst borahola í neðra kerfi þyrftu að vera talsvert meir en tvöföld núverandi afköst. Eðlilegt virðist að stefna að 15 til 20 kg/s,km byrjunarafköstum.

Á þessu stigi er algerlega óvíst, hvort fyrrgreind byrjunarafköst eru raunhæft markmið, og mun reynslan ein skera úr um það. En sá, sem þetta ritar, er þeirrar skoðunar, að borun 3.5 km í neðra kerfi sé hvergi fullnægjandi könnun afkasta. Þá eru fyrir hendi, eins síðar skal bent á, ýmsir möguleikar á því að bæta tækni við staðsetningu nýrra borahola, og einnig standa vonir til þess að beita megi sérstökum aðferðum til örvunar rennelis borahola.

(5) VIÐHORF 77/4

(5.1) Gufuþörf virkunar. Miðað við 8 ata inntak og þéttingu við 0.1 ata er gufuþörf virkunarinnar um 8 kg/kvst, þ.e. alls 145 kg/s við 65 MW álag. Ef auka má meðalafköst borahola í neðra kerfi í 10 kg/s við 10 ata toppþrýsting þarf um 10 borholur til þess að ná framangreindum afköstum.

(5.2) Sérstök vandamál. Rétt er að drepa með nokkrum orðum á ýmsa atriði, sem hafa verið í nuga við þau verkefni, sem framundan eru á Kröflusvæði.

Skammtímasjónarmið. Áskilegt væri að geta tekið Kröfluvirkjun í rektur þegar á þessu vori, þótt ekki væri nema um 10 MW virkt afl að ræða. Til þess að ná þessu marki þyrfti væntanlega um 25 kg/s af gufu við 8 ata úr neðra kerfi. Sama árangri mætti einnig ná með um 18 kg/s við 8 ata úr neðra kerfi auk um 10 kg/s við 3,5 ata úr efra kerfi. Til þess að ná nægu efra kerfis vatni mætti nýta rennsli úr holum 8, 9 og 10 en þær munu alls flytja nægilegt vatnsrennsli úr efra kerfi til þess að vinna um 10 kg/s af lágþrýstigufu. Þá er og auðvelt að hafa nýjar holur niður í efra kerfi.

Goshætta og landröskun. Á meðan á núverandi virkni á Kröflusvæði stendur er að sjálfsgöðu hætta á margskonar tjóni vegna jarðelds, hrauns, skjálfta og annarrar landröskunar. Ymsu má hagræða til þess að draga úr hugsanlegu tjóni, og er þá eðlilegast að styðjast við sögulegar heimildir um hegoun svæðisins við fyrri goshrynur.

Tæring í borholum. Tæring á fóðurplum og öðru erni í borholum er mjög alvarlegt mál, sem gefa þarf fullan gæma.

Efni í gufu og vatni á Kröflusvæði eru þannig, að nokkur hætta er á tæringu. Við hönnun borhola verður að gera tilraun til þess að verja yztu meginfóðurpípur og sjá svo um að endurnýja megi a.m.k. hluta af innri pípum.

Stýring gufuveitu. Samrekstur margra borhola, sem hafa ólíka þrýstingsferla getur valdið nokkrum vanda, og þarf að huga að þessu sérstaklega. Í þessum efnum mætti leita til reynslu manna við Wairakei á Nýja Sjálandi.

(5.3) Leiðir til aukinnar gufuvinnslu og betri afkasta borhola. Eins og fyrr getur skiptir meginmáli að auka ætætt rennsli borhola á Kröflusvæði. Í þessum efnum eru þrjár leiðir, þ.e. (1) bætt staðsetning, (2) endurnönnun til þess að vinna gegn rennslisminnkun og (3) rennslisörvun með sérstökum aðferðum, sem auka innstreymsflætti. Til þess að hafa vonir um hætta staðsetningu þarf að endurkanna og raunar gerrannsaka allt Kröflusvæðið. Er hér einkum um að ræða jarðeðlisfræðilega gagnasöfnun með allmorgum aðferðum.

(6) ENDURMANNSÓKN OG GAGNASÖFNUN

(6.1) Markmið. Borholur ber að staðsetja þannig, að þær hafi möguleika að skera nægilega víðar æðar á hæfilegri dýpt. Líkur eru fyrir láréttum æðum einkum á lagamörkum og e.t.v. í hraun- og innskotslögum. Líkur eru á nær-lóðréttum æðum við loðrétt innskot svo sem ganga og í brotasvæðum. Og yfirleitt eru meiri líkur á æðum á svæðum, sem hafa orðið fyrir rosun af einu eða öðru tagi. Augljóst er, að staðsetning lárétta aðasvæða veldur meiri örðugleikum en lóðréttra.

Ýmsum á könnunaradferðum til þess að bæta tækni við staðsetningu borhola verður hér skipt í tvo flokka, (1) aðferðir, sem eðlilegt er að nota og (2) hugsanlegar aðferðir, sem bent er á að til greina komi þótt að svo stöddu geti verið tvísýnt um árangur.

(6.2) Yfirborðsrannsóknir, eðlilegar aðferðir.

Þyngdar- og segulsvið. Nákvæm þyngdar- og segulsviðskort með þéttum mælistöðvum geta gefið mikilsverðar upplýsingar um stöðu brotlína og innskota. Á Kröflusvæði virðist eðlilegt að endurmæla um 10 km^2 svæði, og hafa ekki meir en 100 metra milli mælistöðva. Reynsla verður að skera úr um það, hvort þetta mælisvæði sé nægilegt.

Berghiti og varmastraumur. Augljóst er, að uppstreymi heits vatns og gufa veldur auknu varmastreymi við yfirhorð, og þarf ekki að ræða það frekar.

Rafleiðni og jarðspenna. Rafleiðnigögn hvort heldur rak- eða rístraums eru gagnleg, en vegna mikillar dreifingar er tálkun oft erfið og tvísýn.

Smáskjálftar. Slíkir skjálftar eiga upptök þar sem spenna er í bergi og röskun fer fram. Staðsetning á upptökum er því oft gagnleg.

Efni í vatni, gasi og jarðvegi. Jarðefnarannsóknir eru mikið svið, og hér gefst ekki tórn að ræða gagnsemi þeirra. Aðeins skal á það bent, að nú eru kunnar mjög auðveldar aðferðir við greiningu ýmissra snefilefna svo sem kvikasilfrurs og þessháttar efna. Taka þarf til atvagnar að gera snefilefna kort af Kröflusvæði, en þessi gögn getu verið gagnleg við greiningu uppstreymissvæða.

Skjálftaöldur. Seismiskar mælingar eru skarpari greiningartakni en flestar abrar jarðeðlisabferðir. Slíkar mælingar gefa þyðingarmiklar upplýsingar um lagskiptingu og abra Jarðlagabyggingu. Nákvæm könnun ölduhraða og ölduveifa gefur og gogu um hraða í einstökum jarðlögum, Poisson-hlutfall og öldu-
deyflingu, en þessar stærðir geta gefið hugmyndir um hita-, fana- og sprunguástand. Þá hafa P-öldutafir og S-ölduskuggar verið gagnleg við staðsrentingu innskota í bráðnu eða nær-bráðnu ástandi

(6.3) Yfirborðsrannsóknir, hugsanlegar abferðir

Titringur. Sú skoðun hefur komið fram oftast en einu sinni, að sititringur með 0.1 til 10 ríðum sé einkenni virkra háhitasvæða. Þótt enginn hafi enn lagt fram nægilega sannilega skýringu á orsökum slíks titrings hafa menn þó framkvæmt talsvert af titringsmælingum á ýmsum svæðum í Bandaríkjunum. Höfundur þessarar skýrslu hefur yfirleitt tekið drama afstöðu til gagnsemi slíkra mælinga, einkum ef þeim er ætlað að vísa á lítið virk háhitakerri neðanjarðar.

En virkni á Kröflusvæði er svo mikil að ekki má útiloka þann möguleika, að tvífasa stráumar vatns og skyld fyrirbrigði geti valdið við yfirborð mælanlegum titringi, sem nota mætti til leitar að uppstreymisstöðum. Hér verður að vísu að hafa í huga, að borholur og hverir eru talsverðir titringsvaldar, og er því nætt við að greiningaröröngleikar geti komið fram á Kröflusvæði. Vegna þess ástands, sem nú ríkir, má þó ekki hafna gagnsemi titringsmælinga, og ætti að taka málið til frekari athugunar. Best skal á að mæla má titring á þverskurðum sunnan og norðan við aðalvirknina.

Togspenna. Gera verður ráð fyrir því, að togspenna ríki í jarðlogum yfir innskotum og svæðum, sem eru sprungin vegna lárefts átaks. Togspennumælingar hafa ekki verið framkvæmdar á jarðhitasvæðum, og tækni við slíkar mælingar er rannar lítt þróuð enn. Sá sem þetta ritar er þó þeirrar skoðunar, að spennumælingar megi gera í hæfilega djúpum bornolum með tiltölulega einföldum aðferðum. Reikna verður með a.m.k. um 100 metra djúpum holum. Hæfilega heillegur hluti hola nálægt botni er síðan afgirtur með steypu- eða gúmmítoppum og sprengdur með vatnsprýstingi. Sá prýstingur, sem mældur er þegar holuveggur klofnar gefur gögn um togspenna í bergi. Að sjálfsögu er spurning, hvort gagnsemi slíkra mælinga gæti borið borunarkostnað. Holurnar væru notaðar til annarra kannana svo sem hitamælinga.

Jarðspenna. Úmtalsvert er, að rafspennumælingar við Wiluaea á Hawaii hafa sýnt, að talsverð jarðspenna (self-potential) er umhverfis kvikuinnskot. Hugsanlegt er að greina megi innskot með nægilega þéttum spennumælingum.

(6.4) Bornoluadrerðir. Bornolugögn eru mjög mikilsverð, og er því rétt að freista þess að ná öllum slíkum upplýsingum, sem nokkur tæk eru á. Er hér um að ræða gögn um hita, prýsting, rennsli og leka. Ytarlegum gögnum hefur þegar verið safnað úr holum á Kröflusvæði, og skal hér því aðeins bent á að mikilvægt er að nægur tækjakostur sé fyrir hendi, einkum til þess að framkvæma mælingar á tímferli hinna ýmsu mælistærða í lokuðum og opnum holum. Tímabreytingar hita og prýstings geyma mikilsverðar upplýsingar.

(6.5) Önnur viðhorf við staðsetningu borhola. Hér skal aftur bent á þao, sem fram kom í fyrra skýrslubroti undirritaðs, að vert að að ihuga, hvort hagkvæmt sé að staðsetja borholur þar, sem merki eru um mikla og aukna jarðhitavirkni. Hitahækkun og aukin efnissörnun geta lokað mikilvægum hlíðaræðum út frá aðaluppstreymisrásun.

(7) RENNSLISÖRVUN OG HÖNNUN BORHOLA

(7.1) Þrýstidæling. Helzta leið við rennslisörvun í borholun er sprenging holuveggs með þrýstidælingu (hydraulic fracturing). Þessi aðferð hefur borið góðan árangur á olíusvæðum, en hefur ekki verið tekin í notkun á háhitasvæðum. Þrýstidælingu við frekar lágan þrýsting hefur hins vegar verið beitt með góðum árangri á Suður-keykjum í Mosfellsstöðum.

Þrýstidæling ber því aðeins árangur, að þrjú skilyrði séu uppfyllt, (1) þrýstingur þarf að vera nægur til þess að sprengja holuvegg, (2) hinar nýju sprungur þurfa að hafa samgang við æðar, sem flytja vatn og/eda gufu og (3) koma þar fyrir grjóti eða sandi í sprungunum til þess að halda þeim opnnum eftir að dælingu er hætt. Og nefna má fjórða skilyrðið, þ.e. að efnissörnun verði ekki til þess að loka sprungunum fljótlega.

Á olíusvæðum er þrýstidæling yfirleitt gerð í borholum með steyptum fóbúrpípum. Valin er heppileg dýpt og pípurnar gataðar á hæfilega löngu bili á móts við þann stað, sem valinn hefur verið. Þjög seigum vökva, sem blandaður er grófum sandi, er síðan dælt með háum þrýstingi út um götin. Bergið springur og vökviinn ber sandinn inn í hinar nýju sprungur. Þegar dælingu er hætt hindrar sandurinn að sprungur lokist aftur, og olía getur leitað inn í holuna um hina grófkornóttu sprungufyllingu. Þannig er hægt að auka talsvert innrennslisleka í borholum.

Þeir Guðmundur Einarsson, Karl Kagnars og Valgarður Stefánason ásamt höfundum þessarar skýrslu sátu þann 12 maí s.l. fund með starfsmönnum Halliburton Services í Duncan, Oklahoma, og var þar einkum rætt um það, hvort heita tækni framangreindri tækni til rennslisörvunar í borholum á Kröflusvæði. Í þessum fyrstu viðræðum kom greinilega fram, að sérfræðingar Halliburton sáu ýmis tæknimerki á því að heita sömu tækni á Kröflusvæði og nú er notuð á olíusvæðum. Þrýstidæling í ófóðrudum holum með aðstöð holutappa kemur líklega að litlu gagni. Að umræðunum loknum varð ljóst, að í bili má ekki reikna með því, að þrýstidæling geti leyst vandamál gufuvinnslu á Kröflusvæði. Þó töldu sérfræðingar Halliburton vel til greina koma að gera tilraunir á þessu sviði, og buðu fram aðstöð.

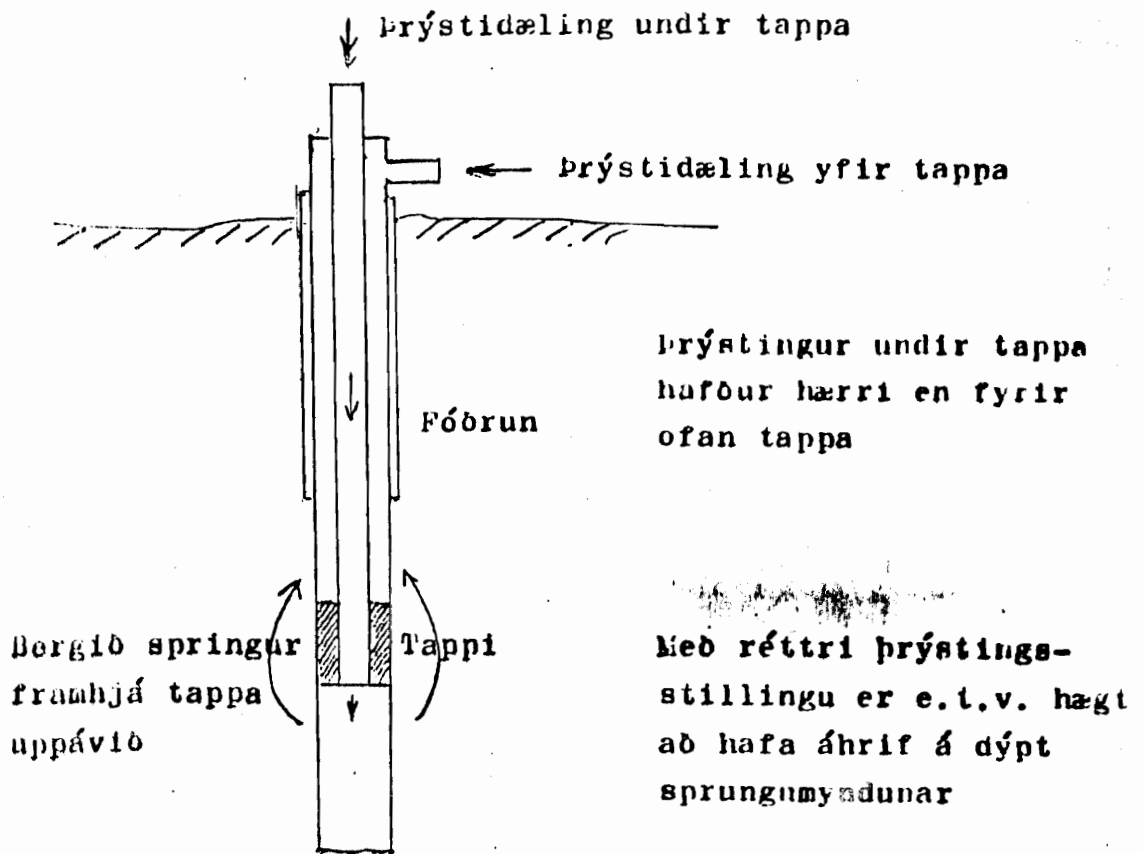
Höfundur þessarar skýrslu er þeirrar skoðunar að ekki séu öll kurl til grafar komin í þessum málum. Þótt ekki megi reikna með neinu gagni af þrýstidælingu á Kröflusvæði sumari 1977, er vert að hafa eftirfarandi atriði í huga. Eðlilegt er að það taki nokkurn tíma og átak að aðlaga tækni nýjum aðstæðum. Þenn Halliburton hafa til þessa ekki reynt þrýstidælingu á háhitasvæðum, og hafa því ekki gefið gaum þeim aðstæðum, sem

þar eru fyrir hendi. Þá ber að hafa í huga, að talsverð togspenna mun ríkjja í jarðlögum á Kröflusvæði. Sprenging holuveggs ætti því að vera auðveld, og mjög lausleg áætlun bendir til þess, að 100 ata dæluprýstingur muni nægja til þess að sprengja á um 2 km dýpt.

Á hinn bóginn er augljóst, að holur á Kröflusvæði hafa ekki verið hannaðar með prýstidælingu fyrir augum. Helsta vandamáli er, að meginfóðrun er of grunn. Eins og fram kemur í næstu grein þennari skýrslu eru og aðrar ástæður til þess að hafa dýpri fóðrun. Ef gripid yrði til þess að fóðra niður á 1,2 til 1,5 km dýpt er líklegt, að einföld þrepadælings eins og hún er nú framkvæmd á Suður-Reykjum í Mosfellssveit gæti leitt til merkjanlegrar rennslisörvunar. Hugsanlegt er, að árangur megi bætast með því að forspenna bergið á þann hátt, að prýstingi er heitt fyrir ofan holutappa eins sýnt er á hjálagðri mynd. Þó er enn óleyst sú spurning, hvernig best væri að koma fyrir sprungufyllingarefni.

(7.2) Marganga holur. Önnur umtalsverð leið til rennslisörvunar er að gera einn eða fleiri anga út úr neðri hluta borhola. Þortæknilega séð er þetta ekki erfitt, og á þennan hátt má væntanlega auka innstreymisfleti og þar með auka rennsli.

(7.3) Undirrýming. Þá er og hugsanlegt, að hæfileg undirrýming með þar til gerðum tækjum geti aukið holuhvermál og þar með innstreymisfleti.



Aðferð við prýstidælingu með holutappa.

(7.4) Djúpholur og hönnun þeirra. Fram að þessu hafa borantíveris takmarkaðar við um 2,2 km dýpt. Hugsanlegt er, að dýpri boranir, þ.e. niður á allt að 3,0 km geti búið betri árangur, og er því rétt að benda á þennan möguleika. Slíkar holur yrði að færa niður á 1,2 til 1,5 km dýpt. Hér er um að ræða öryggi, og einnig er rétt að loka útrásum úr efra kerfi, en eins og áður tekið fram er rétt að hindra samgang milli kerfanna. Djúpfóðrun eykur einnig möguleika á því að beita þrepaprýstidælingu. Í bili skortir þó dæluátbúnað til þess að ganga frá svo djúpum fóðrunum.

(8) TILLOGUR UM NÆSTU FRAMKVÆMDIR

(8.1) Vidhorf. Í málum Kröfluvirkjunar blasa nú við tvö andstæð viðhorf. Boranir hafa fram að þessu hvergi nærri horið tilætlaðan árangur, og er því knýjandi nauðsyn að endurskoða og endurskipuleggja þær aðferðir og þá tækni, sem notuð hefur verið. Þetta verður ekki gert í einni svipan. Tæknilega væð væri mjög óskilegt að gera hlé á meiri háttar vinnsluborunum þar til gefist hefur nægilegt tóm í þessum efnum. Þá er og skjálfta- og eldvirkni svæðisins énn í hámarki, og gefur það fullt tilefni til frekari gætni. Á hinn bóginn er virkjunarsamstæðan þegar fullgerð og tilbúin til reksturs. Af fjárhagslegum og samfélagslegum ástæðum er jafnknýjandi nauðsyn að koma henni í gagnið hið allra fyrsta.

Hér verður því að sigla milli skers og báru. Fara verður hagkvæmasta leið til að koma virkjuninni í gagnið þegar í byrjun þessa sumars, en leggja svo með fullri gætni út í allar framkvæmdir, sem miða umfram þetta markmið.

(8.2) Stefna tillagna. Í grein (4,5) er á það dregið, að þær boranir, sem framkvæmdar hafa verið, séu hvorki fullnægjandi né afgerandi könnun á möguleikum til gufuvinnslu úr neðra kerfi undir Leirbotnum og næsta nágrenni. Þar sem möguleikar virðast á bettri vinnslutækni, og mikill kostnaðarauki væri við flutning á önnur svæði, jafnvel þótt aðeins um örfáa kílómetra væri að ræða, er full ástæða að halda enn um sinn fast við Leirbotnasvæðið. Á hinn bóginn verður að hafa fulla hlidsjón af fenginni reynslu, og hefja ekki meiri háttar aðgerðir fyrr en tækni hefur verið endurskipulögð. Í samræmi við þetta verður og að telja hagkvæmara að verja fjármunum til endurbóta á tækjaútbúnaði en

til tvísýnna borana á öðrum svæðum.

Jarðhitafraðilega séð er eðlilegt að telja svæðið í suburhifnum Kröflu hluta af því sama svæði, sem Leirbotnasvæði tilheyrir.

18.3.2. Tillogur. Í stytta máli eru tillögur undirritaða um minna framkvæmdir á Kröflusvæði þessar.

(1) Virkjun efrakerfisvatns. Til þess að gangsetja virkjunina og koma afli hennar upp í virk 10 MW má nota um 18 kg/s af gufu við 8 ata úr holum 7 og 11 auk 10 til 12 kg/s af lágþrýstigu gufu úr efrakerfisvatni frá holum 8, 9 og 10. Nægi rennsli þeirra ekki má bora eina eða fleiri holur í efra kerfi nálægt skiljustöðvarhúsi. Þetta ætti að geta tryggt rekstur jafnvel þótt einhver minnkun kæmi fram á holum 7 og 11.

(2) Endurrannsókn svæðis. Framkvæmdar verði þær rannsóknir, sem taldar eru í (6.2) og gaumgæfilega verði athugað, hvort ekki komi til greina að beita einnig titrings- og jarðspennuaförðum, sem nefndar eru í (6.3)

(3) Adgerðir á borholum. Full ástæða er til þess að gera tilraun til endurbóta á þeim holum, sem nú eru í samsilegu ástandi á Leirbotnasvæði. Kemur til greina hreinsun, einhver endurfórun og jafnvel dýpkun, einkum á 6, 8 og 9. Hér verður þó að geta fyllstu hagkvæmni.

(4) Endurhonnun borhola og tækjakaup. Í samræmi við það, sem fram kemur í (7) er full ástæða að íhuga kaup á nýjum háþrýstidælum þannig að dýpka megi fóðrun niður í 1,2 til 1,5 km og bora niður á 2,5 til 3,0 km dýpt. Sumu dælur má einnig nota við tilraunir til rennslisörvunar með þrýstidælingu. Þar kemur og að góðu haldi á öðrum jarðhitasvæðum á Íslandi. Hver dæluþantaða virðist ekki kosta meir en um 1/3 til 1/2 af heildarkostnaði einnar 2 km djúprar vinnsluholu.

(5) Borun í suðurhlíðum Kröflufjalls. Í samræmi við tillögur, sem áður hafa verið lagðar fram, er lagt til gerð verði ein könnunarhola á svæði, sem merkt er sunnan Kröflufjalls á F 15524. Af praktískum ástæðum verður að hanna þessu holu á sama hátt og núverandi holur.

(6) Djúpborun á Leirbotnasvæði. Þegar tækjakostur og aðrar aðstæður leyfa er lagt til að gerð verði ein borun niður á 2,5 til 3,0 km dýpt í nágrenni holu 11. Þessa holu bærir að djúpróra og gera að öðru leyti þannig úr garði að heita megi þrepaprýstidælingu til rennslisörvunar.

(8.4) Eftirmáli, borun á Hvíthólasvæði. Tillögur hafa komið fram um könnunarborun við Hvíthóla um 1 til 2 km sunnan stöðvarhúss (sjá F 15524). Svæði þetta er við meginjarðhitaásinn Leirbotnar-Námarfjall en yfirborðsvirkni er þar mjög lítil. Höfundur hefur ljáð þessari tillögu fylgi einkum á þeirri forsendu, að Hvíthólasvæðið sé utan virkasta hluta Kröflusvæðis, og djúpberg þar gæti því verið hentugra til vinnslu (6.5). Áherzla skal þó lögð á það, að hér er um að ræða tilgátu, sem enn er ekki byggð á föstum rökum. Í samræmi við það, sem áður hefur verið

drepio á, virðist að sinni varla réttlætislegt að verja fjárumunum til kúmunarborana á Hvíthólasvæði fyrir en frekari neikvæðmerki hafa komið fram á Leirhotnasvæði.

Ótímabært virðist að gera tilraun til þess að fjalla um framhald þeirra framkvæmda, sem taldar eru upp í framanreiðunum tilloögum. Kræfur verður einn að ráða í þeim efnum.