

ORKUSTOFNUN

Jarðhitadeild

Jarðboranir ríkisins

**SKÝRSLA UM FERÐ TIL NÝJA SJÁLANDS,
FILIPSEYJA, HAWAII, MEXICO OG
BANDARÍKJANNA**

**VALGARÐUR STEFÁNSSON
SIGURÐUR BENEDIKTSSON
SVERRIR ÞÓRHALLSSON**

OS-JHD-7826

OS-JBR-7801

APRÍL 1978

ORKUSTOFNUN

Jaróhitadeild

Jarðboranir ríkisins

SKÝRSLA UM FERÐ TIL NÝJA SJÁLANDS, FILIPSEYJA, HAWAII, MEXICO
OG BANDARÍKJANNA.

Valgarður Stefánsson

Sigurður Benediktsson

Sverrir Þórhallsson

OS JHD 7826

OS JBR 7801

Apríl 1978

1. Inngangur

Við gufuöflun í Kröflu hafa komið fram ýmis áður óþekkt vandamál. Orkustofnun ákvað því að senda þrjá menn til Nýja Sjálands. Til fararinnar voru valdir þeir Valgarður Stefánsson, Sigurður Benediktsson og Sverrir Þórhallsson. Tilgangur fararinnar var annars vegar að athuga hvort á Nýja Sjálandi væri fyrir hendi þekking sem nota mætti við lausn þeirra vandamála sem fram hafa komið í Kröflu, en hins vegar að kynna málin fyrir Ricard Bolton yfirjarðhitaverkfræðingi hjá Ministry of Works and Development. Um nokkurt skeið hafa verið umræður um að fá Bolton til ráðgjafar um gufuöflun í Kröflu.

Ferðin var farin á tímabilinu 31. janúar - 12. mars 1978. Var dvalið á Nýja Sjálandi í 3 vikur. Síðan fóru Sigurður og Sverrir til Filips-eyja og Mexico, en Valgarður fór til Hawaii og San Francisco. Hópurinn sameinaðist aftur í San Francisco þar sem rætt var við ýmsa aðila. Alls staðar sem komið var voru viðtökur mjög góðar og upplýsingar veittar greiðlega.

Fyrirliggjandi skýrsla fjallar um þessa ferð og þær upplýsingar sem aflað var. Frumgögn skýrslunnar er dagbók sem færð var jafnóðum í ferðinni auk fjölmargra heimildarrita sem fengin voru. Dagbókin er birt í heild sem viðauki, svo og skrá um heimildarritin.

Í dagbókinni er ekki gerður samanburður við aðstæður á Íslandi, en áhersla lögð á að lýsa því sem fyrir augu bar. Skýrslan sjálf fjallar almennt um stöðu jarðhitamála í þeim löngum sem heimsótt voru. Þar eru einnig dregnar saman í kafla 3 helstu niðurstöður sem höfundar telja að hliðsjón ætti að hafa af við áframhaldandi nýtingu háhitasvæða á Íslandi.

Það gefur auga leið að ekki er fyrir hendi nein einföld lausn á svo margslungnum vandamálum sem fram hafa komið við Kröflu, og þessi skýrsla gefur auðvitað enga fullnaðarlausn þeirra vandamála. Hins vegar eru fyrir hendi mörg atriði sem bæta má.

Í heild má segja að þó þau vandamál sem fram hafa komið í Kröflu séu að sumu leyti einstæð, svo sem útfellingar í borholum og gerð jarðhitakerfisins, eru vandamálin sem slík, ekki meiri en menn hafa rekist á annars staðar. Skemmdir á fóðurrörum eru víða mjög alvarlegt vandamál og sú reynsla að leita þurfi innan eins jarðhitasvæðis að heppilegum vinnslueiginleikum er alþekkt.

Við samanburð á því hvernig staðið er að jarðhitamálum á Íslandi og annars staðar, kemur í ljós að hlutur Íslands er allgóður. Þó virðist svo sem utan Íslands sé lögð meiri áhersla á stjórnun borverka og nauðsyn þess, að sanna vinnslugetu jarðhitasvæða með borunum, en hingað til hefur tíðkast hér.

2.1 Nýja Sjáland

2.1.1 Skipulag jarðhitamála

Á Nýja Sjálandi er sérstakur lagabálkur (heimild 38) sem fjallar um jarðhita. Er þar lögfest, að allur jarðhiti á Nýja Sjálandi sé í eigu ríkisins. Opinberir aðilar standa þannig að allri jarðhitastarfsemi í landinu. Jarðhitastarfsemin á Nýja Sjálandi skiptist milli þriggja aðila (ráðuneyta). Þessir aðilar eru Department of Scientific and Industrial Research (DSIR), sem sér um rannsóknir, Ministry of Works and Development (MW), sem sér um byggingarframkvæmdir, borun og rekstur jarðhitasvæða og New Zealand Electricity Department (NZED), sem sér um hönnun og uppsetningu véla í orkuverum og um rekstur orkuveranna.

MW er mjög stórt ráðuneyti, og er verksvið þess allar opinberar framkvæmdir (vegalagning, hafna- og brúargerð, byggingarframkvæmdir og bygging orkuvera). Innan orkugeira þessa ráðuneytis er jarðhitastarfsemin hluti af margþættri starfsemi sem spannar yfir vatnsafl, gas, olíu og kol. MW sér um allar boranir á NZ eftir jarðhita og að hluta til fyrir olíu og gasi. MW sér einnig um rekstur jarðhitasvæða, þannig að borholur frá og með aðaloka eru í umsjá MW. MW hannar einnig stöðvarhús og gufuveitu og sér um byggingu þeirra.

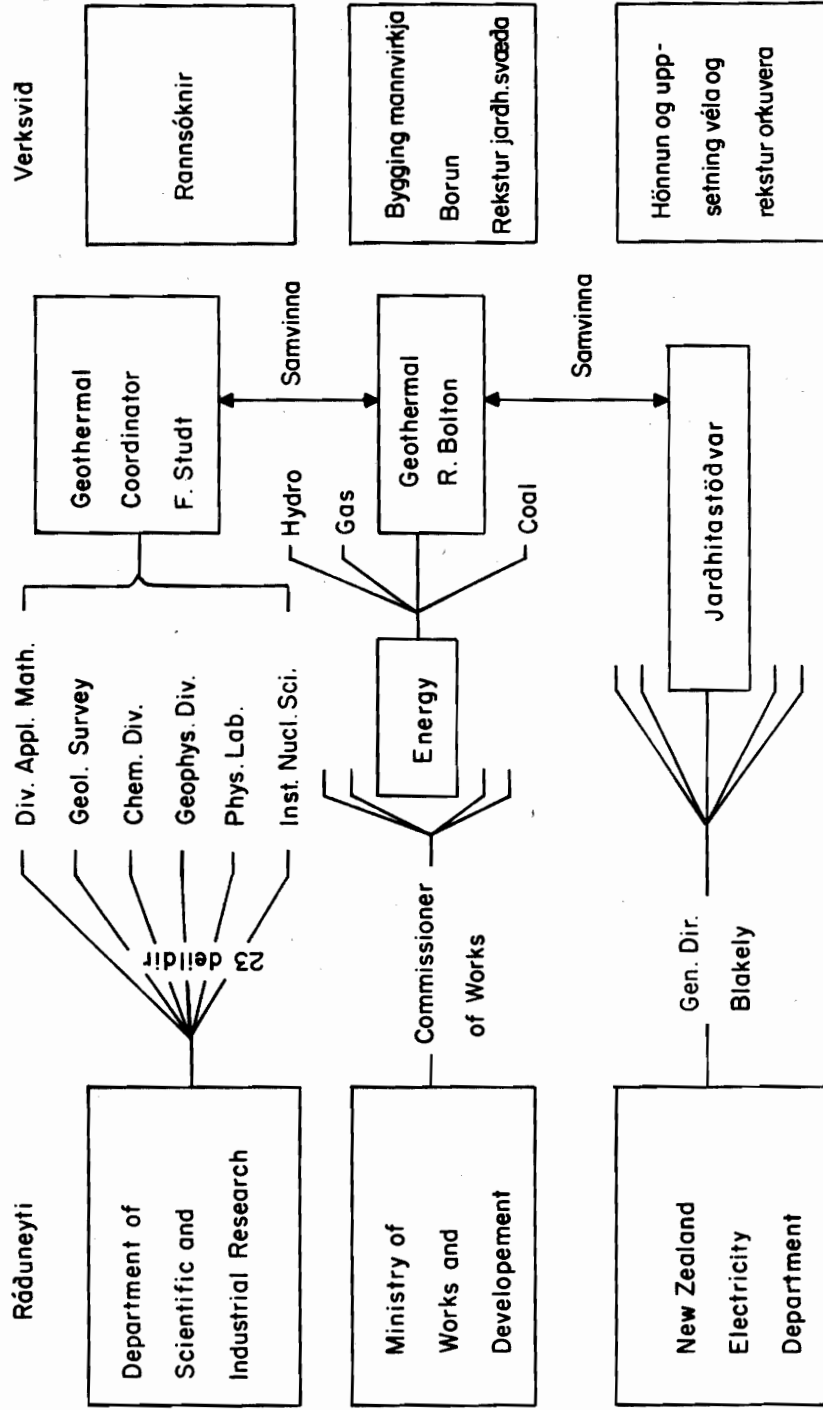
DSIR sér um allar hagnýtar rannsóknir á NZ. Starfsemin er mjög víðfeðm og spannar yfir svið frá akuryrkju til kjarnorku. DSIR er í 23 deildum og starfa sex deildir að jarðhitarannsóknum.

Þær eru:

Geological Survey
Chemical Division
Geophysical Division
Physical Laboratory
Institute for Nuclear Sciences
Division for Applied Mathematics

SKIPULAG JARÐHITAMÁLA Á NÝJA SJÁLANDI

Í GRÓFUM DRÁTTUM



ORKUSTOFNUN

Skipulag jarðhitamála á Nýja Sjálandi

78-04-26 VS/e
T-674
J-Ým.
F-16843

Til að samræma aðgerðir þessara deilda er einn aðili á aðalskrifstofu DSIR (Geothermal Coordinator). DSIR er eingöngu ráðgjafaraðili um jarðhitamál, en ákvörðunarvald um t.d. boranir er hjá MW. Allsæmilegur skilningur og samvinna virðist vera milli DSIR og MW, þó mismunandi sjónarmið á ýmsum hlutum komi fram hjá þessum tveim aðilum. Þannig má t.d. benda á að MW sér um allar mælingar í borholum, en DSIR sér um úrvinnslu mælinganna. MW er rekstraraðili jarðhitasvæða, en DSIR sér um allar sýnitökur og efnagreiningar til eftirlits svæðanna.

Rekstraraðili raforkuvera á NZ er NZED. Þeir sjá einnig um dreifingu raforku til rafveitna. Einnig sér NZED um hönnun og uppsetningu vélabúnaðar raforkuvera, bæði vatnsorkuvera og jarðvarmaorkuvera. Við jarðvarmaorkuver sér NZED einnig um rekstur gufuveitu, en MW um rekstur jarðhitasvæðisins eins og áður getur. Mjög einkennandi fyrir starfseim MW og NZED er hvað þessir aðilar reyna að vera sjálfum sér nógir. Nú eru orkuver yfirleitt hönnuð af MW og NZED.

Á sviði orkumála sér NZED um orkuspár og tekur ákvörðun um hvar næsta virkjun verður byggð. MW sér um að hafa vissa valkosti fyrir hendi, t.d. að sanna afkastagetu jarðhitasvæða með borunum. Þáttur DSIR er að veita ráðgjöf um hvaða svæði komi til greina til rannsókna (t.d. með borunum).

Tvö ráðgjafafyrirtæki um jarðhita eru starfandi á Nýja Sjálandi, en fram að þessu hefur verkefni þeirra eingöngu verið utan Nýja Sjálands.

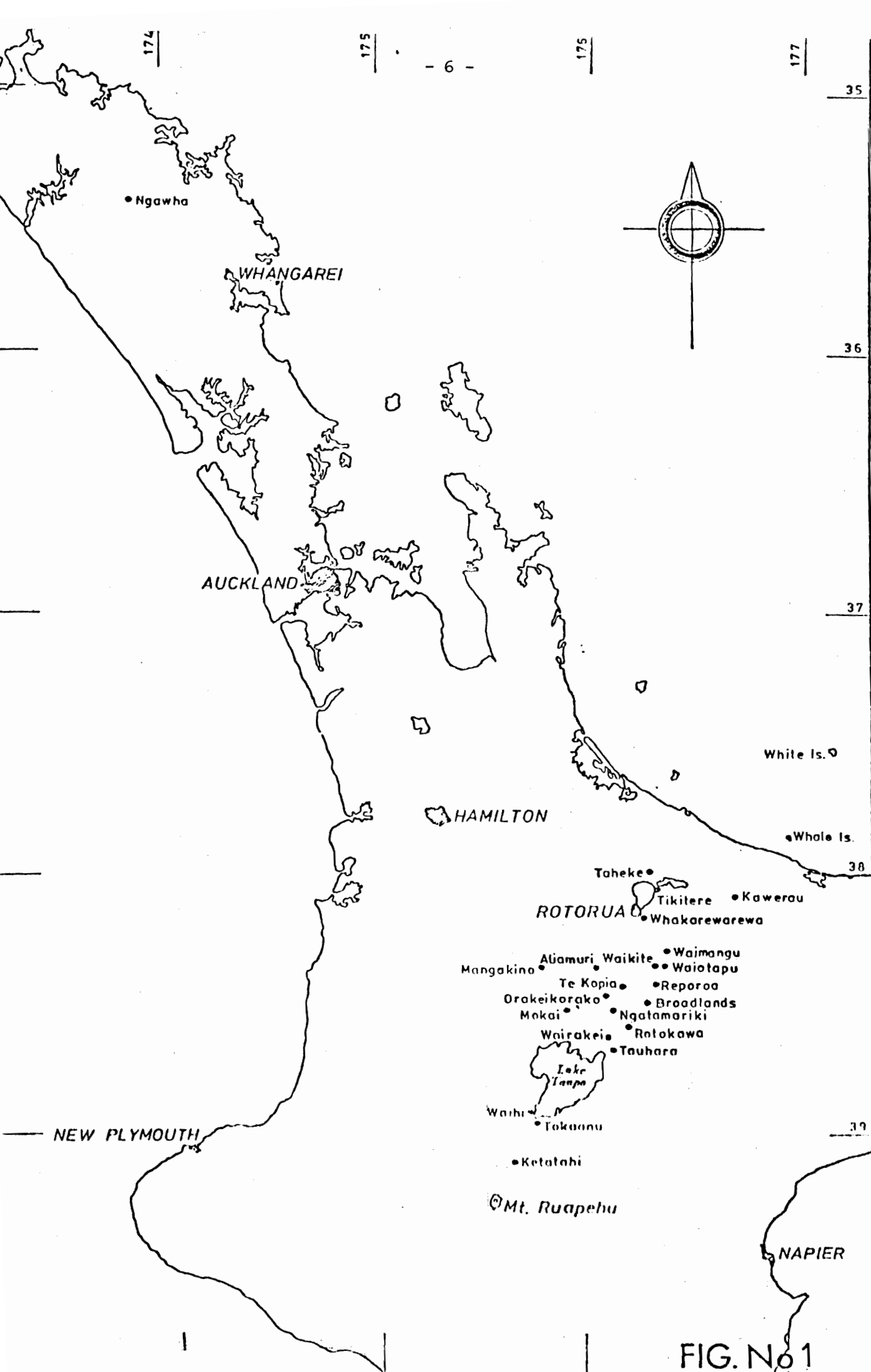


FIG. No 1

2.1.2 Aðgerðir í jarðhitamálum

Nýting jarðvarma til raforkuframleiðslu hófst á Nýja Sjálandi árið 1958 með virkjun Wairakei svæðisins. Nýsjálendingar voru þannig aðrir í röðinni á eftir Ítölum að virkja jarðvarma til raforkuframleiðslu. All mikill munur er þó á Wairakeistöðinni og stöðvum á Ítalíu, þar sem Wairakei svæðið er "vatnssvæði" en á Ítalíu hafa fyrst og fremst verið virkjuð þurrgefusvæði. Wairakeisvæðið er þannig að sumu leyti hliðstætt íslenskum háhitasvæðum. Við hönnun Wairakeistöðvarinnar var gert ráð fyrir að framleiða þungt vatn samhliða raforku. Frá þessu var þó horfið snemma á byggingartíma og gufuhverflar settir í stað þungavatnsframleiðslu. Hafði þetta í för með sér að þrenns konar hverflar eru í fyrsta áfanga stöðvarinnar.

Fljótlega eftir að rekstur stöðvarinnar hófst kom í ljós að þrýstingur á svæðinu lækkaði með vinnslu.

Í upphafi var háþrýstiprep stöðvarinnar hannað fyrir 12.4 bar, en 1977 hafði hann verið lækkaður í 6.8 bar.

Við hönnun seinni áfanga Wairakeistöðvarinnar var tekið tillit til þessarar aðstæðna og sá áfangi hannaður fyrir 3.5 bar inntaks þrýsting. Uppsett afl í Wairakei er 190 MW en sakir skorts á háþrýstigufu er mesta afl stöðvarinnar nú um 160 MW.

Ef frá er talin þrýstilækkun á jarðhitasvæðinu hefur rekstur Wairakeistöðvarinnar gengið mjög vel. Þannig er t.d. nýting Wairakeistöðvarinnar hærri (97%) en nokkurs annars raforkuvers á Nýja Sjálandi, og NZED notar stöðina til að þjálfa upp starfslið til vinnu við önnur varmaorkuver.

Auk raforkuversins í Wairakei notar Tasman pappírverksmiðjan á Kawerau jarðhitasvæðinu 114 tonn/kl. (= 32 kg/s) af gufu við framleiðslu sína. Þar er einnig 10 MW mótþrýtitúrbína til raforkuframleiðslu. Um nokkurra ára skeið hefur einnig gufa af Broadlandsvæðinu verið notuð til þurrkunnar grasköggla í tilraunarskyni. Auk þess er jarðhiti sums staðar notaður til upphitunar einstakra húsa.

Þegar Wairakeistöðin var komin í fulla nýtingu, var hafist handa við rannsókn annarra svæða til raforkuframleiðslu. Árið 1965 var byrjað að bora á Broadlandsvæðinu, og því haldið áfram til 1970. Á þessu tímabili voru boraðar um 30 holur, og þó aðeins um helmingur holanna væru nothæfar, eru þar fyrir hendi 120 MW af gufu til raforkuframleiðslu. Um þetta leyti (1970) fannst jarðgas á Nýja Sjálandi og var þá virkjun Broadlandssvæðisins frestað. Árið 1978 var svo aftur ákveðið að virkja Broadlandsvæðið, og er nú stefnt að því að 150 MW stöð verði fullgerð þar árið 1981.

Nú hefur komið í ljós að magn af jarðgasi var ekki eins mikið og menn héldu um 1970. Hafa því orðið allmiklar umræður um hvaða orkulindir Nýsjálandingar ættu að nýta í framtíðinni. Hagkvæmustu vatnsaflsvirkjanir hafa þegar verið reistar og viðbótaraflið er einkum í smáum vatnsaflsvirkjunum (30 - 60 MW), sem eru mun dýrari í stofnkostnaði.

Nákvæm athugun var gerð á því hvort hefjast skyldi handa um nýtingu kjarnorku og var niðurstaðan sú að það væri hagkvæm lausn. Samtímis var einnig athugað hvaða möguleiki væri á nýtingu jarðvarma, og var á árinu 1977 tekin sú ákvörðun, að nýta fyrst jarðvarma áður en farið yrði út í nýtingu kjarnorku. Þessi einfalda stefnuyfirlýsing í orkumálum hefur mjög víðtæk áhrif á svið jarðhitamála í landinu. Sem dæmi um það má benda á eftirfarandi:

- Nauðsynlegt er að hafa tilbúið til nýtingar nýtt 100 MW jarðhitasvæði annað hvert ár.
- Til að svo megi verða þarf að bora 400-600 borholur á næstu 20-25 árum. Það þýðir að meðaltali 20-30 vinnsluholur á ári. Núverandi borgeta er um 10 holur á ári.

Tveir nýir borar (bordýpt 1750-2000 m) verða keyptir í stað þeirra bora sem nú eru fyrir hendi. Áætlað er að þeir anni 14-16 holur á ári, sem er nægjanlegt til að áætla vinnslugetu jarðhitasvæða. Einnig er gert ráð fyrir að með þessum borunum verði um helmingur af gufuþörf virkjunar fyrir hendi. Þar af leiðandi þarf frekar bortæki til framhaldsborana fyrir virkjanirnar.

Gert er ráð fyrir að virkjanlegur jarðvarmi til raforkuframleiðslu sé um 2000 MW. Næsta virkjun hefur þegar verið ákveðin á Broadlands-svæðinu og þar er meginhluti borframkvæmda lokið. Á Kawerau svæðinu hefur þegar verið borað allmikið og er þar fyrir hendi mun meiri gufa en Tasman pappírsverksmiðjan, sem þar starfar, þarf á að halda. Nauðsynlegt er þó talið að bora þar meira áður en hægt er að áætla vinnslugetu svæðisins. Allmiklar rannsóknir hafa einnig verið gerðar á Ngawha svæðinu norður af Aucland og á Tikitere svæðinu sem er nálægt Lake Rotorua. Áætlanir gera ráð fyrir að hægt verði að gefa umsögn um vinnslugetu Kawerau 1978, Ngawha 1980 og Tikitere 1983. Síðan er gerð ráð fyrir að önnur svæði verði tilbúin annað eða þriðja hvert ár.

Við skipulagningu svona viðamikils verkefnis hafa menn komist að þeirri niðurstöðu, að tíminn leyfir ekki að árangur einstakra borhola hafi áhrif á staðsetningu næstu borhola. Við rannsókn Ngawha svæðisins hefur því verið tekin upp sú aðferð, að eftir frumrannsókn, sem tekur til jarðfræðirannsókna, viðnámsmælinga, jarðefnafræðilegrar úttektar, borun sex hitastigulshola og einnar 600 m rannsóknarholu, voru staðsettar 12 djúpar borholur. Stefnt er að því að bora þær allar.

Reiknað er með að þessar 12 holur geti svarað því hver sé vinnslugeta svæðisins. Jarðhitasérfræðingar DSIR hafa samþykkt þessa vinnuaðferð. Áætlað er að nota þessa aðferð í framtíðinni við rannsóknir annarra jarðhitasvæða.

2.2 Filipseyjar

Á Filipseyjum hófst jarðhitaleit að tilhlutan Commission on Volcanology, sem er ríkisstofnun, árið 1962. Sameinuðu þjóðirnar veittu tækni-aðstoð í upphafi og var Guðmundur Pálmason m.a. þar að störfum á þeirra vegum á árinu 1965. Í apríl 1967, hófst tilraunarekstur lítillar rafstöðvar, 2,5 KW, við Tiwi syðst á Luzon eyju. Á sama stað hefur einnig verið reist og starfrækt tilraunaverksmiðja til satlvinnslu. Tilraunin hófst 1972 en framleiðsla, fyrir almennan markað, 1/2 tonn á dag, hófst 1974. Um 1970 tók stjórnin ákvörðun um nýtingu jarðhita og fól National Power Corporation (NPC) að annast frekari jarðhitaleit, boranir og nýtingu til orkuframleiðslu. Síðan 1970 hafa boranir verið í fullum gangi í Tiwi og á öðrum háhitasvæðum.

Boranir á Tiwi svæðinu í Albay héraði og Makiling-Banahaw (Mak-Ban) svæðinu í Laguna héraði, hafa verið framkvæmdar af Philippine Geothermal Inc. (PGI), sem er í eigu Union Oil, Bandaríks fyrirtækis (Union Oil annast einnig gufuöflun og selur, meðal annars, 50% af jarðgufu til Geysers-orkuveranna í Californiu). Árið 1972 gerði PGI samning um rannsóknir, boranir, byggingar gufuveitu og gufusölu til fyrirhugaðra orkuvera á Tiwi og Mak-Ban svæðunum. Gufuverið er ákveðið fyrir hverja framleidda KW-stund í orkuveri. Umsamið gufuverð var, fyrir 2x55 MW stöð, 9 mill á KWh og kostnaður stöðvar áætlaður 17 mill á KWh. Árið 1975 var síðan samið um nýtt verð fyrir gufuna (hækkun á gufuverði vegna olúkreppunnar). Til samanburðar má geta þess að Union Oil selur nú gufu til Geysers orkuveranna á 16.02 mill á (5) KWh, en upplýsingar fengust ekki um gufuverð á Filipseyjum samkvæmt nýju samningunum. Nú hafa verið boraðar 28 holur á Tiwi svæðinu, og 22 holur á Mak-Ban svæðinu. Afl borhola á Tiwi svæðinu hefur verið frá 2.5 til 14 MW og á Mak-Ban frá 3.5 til 12.2 MW. Hitastig í jarðhitasvæðunum hafa mælst um 277°C í Tiwi um 330° á Mak-Ban svæðinu. Bordýpi er 1500 til 2700 m.

Unnið er að miklum krafti að virkjun jarðhita og byggingu jarðgufuafls-stöðva. Nú er verið að ljúka við byggingu (stöðvar)^x I, (2x55 MW), á Tiwi svæðinu og hafin bygging stöðvar II þar, sem einnig verður 2x55 MW.

Turbínur í þessum stöðvum eru frá Toshiba og fyrir 85 PSI háþrýsti- og 25 PSI lágþrýstigufu inn á túrbínu. Við Mak-Ban er verið að steypa upp

LOCATION OF PHILIPPINE GEOTHERMAL AREAS UNDERGOING EXPLORATION AND DEVELOPMENT

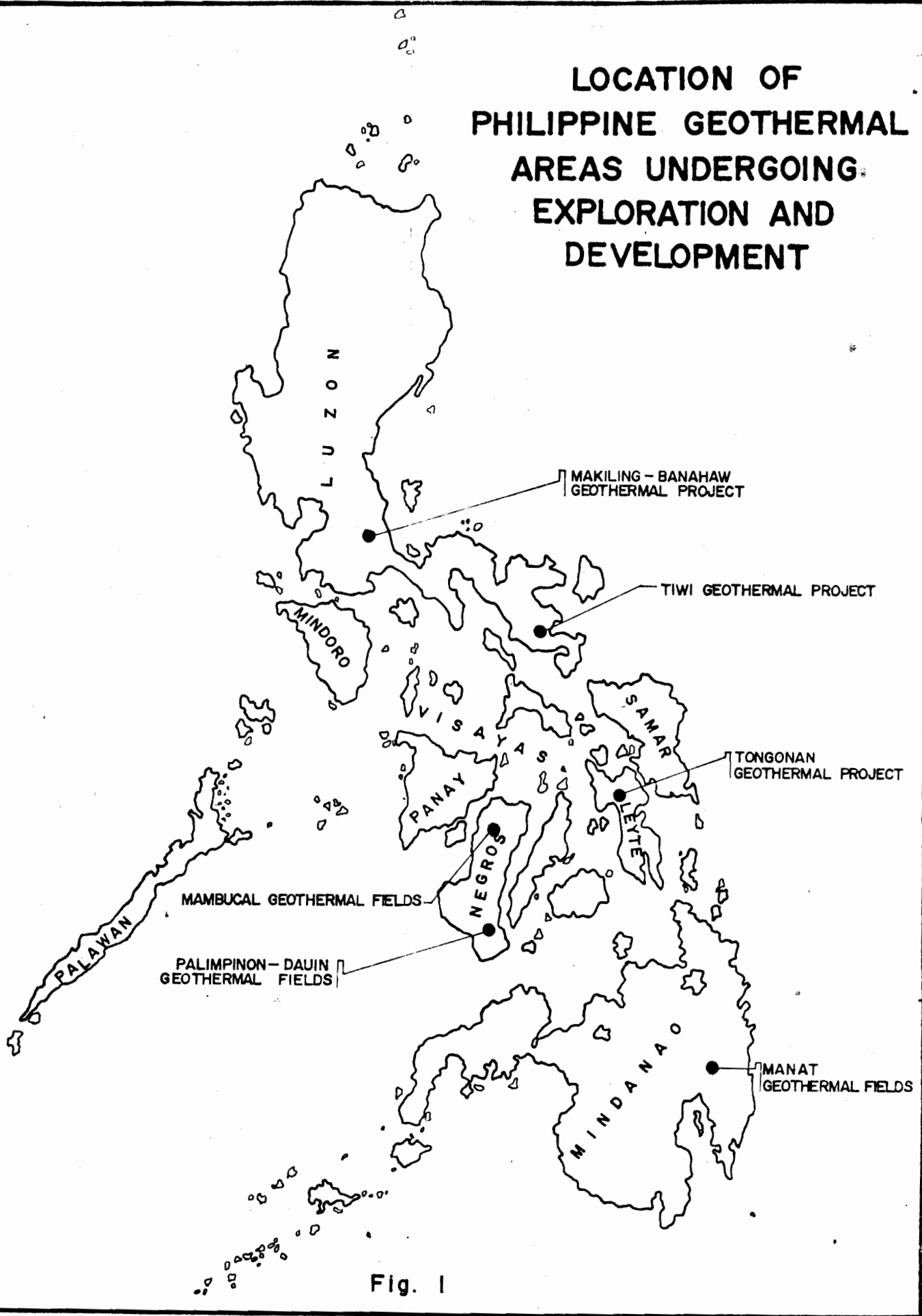


Fig. 1

stöðvarhús fyrir stöð I þar (2x55 MW) og búið að ýta fyrir grunni stöðvar II, einnig 2x55 MW. Túrbínur þar eru frá Mitsubishi fyrir sömu inntaksþrýstinga og fyrir Toshiba túrbínurnar.

Allur ofangreindur tækjabúnaður (440 MW), var pantaður samtímis og hefur legið í vöruhúsum á Filipseyjum á annað ár. Þegar túrbínurnar voru pantaðar, höfðu verið boraðar níu holu á Tiwi svæðinu og tvær holur á Mak-Ban svæðinu. Tafir hafa orðið á virkjunum, vegna samninga um gufuverð og óvæntra erfiðleika við undirstöður á orkuveri. Fyrir ári síðan hafði þegar verið aflað gufu fyrir samtals 90 MW framleiðslu á Tiwi svæðinu og 50 MW framleiðslu á Mak-Ban.

Nýsjálendingar hafa annast tæknaaðstoð og boranir við Tongonan á Leyte eyju. Þar hafa verið boraðar 7 holur og tekin var í notkun þar 3 MW færanleg mótþrýstistöð frá Mitsubishi árið 1977. Þar munu Nýsjálendingar (KRATA) aðstoða við byggingu 30 MW stöðvar.

Nú hefur Philippine National Oil Company - Energy Development Corporation (PNOC - EDC) umsjón og yfirstjórn á nýtingu alls jarðvarma og byggingu jarðgufustöðva á Filipseyjum. Þeir munu annast boranir í framtíðinni, með eigin bortækjum. Þeir hafa á tveimur stöðum hafið boranir en áætlanir hafa verið gerðar um öra virkjun jarðhitans og hljóðar áætlunin nú um að ljúka virkjun 1320 MW fyrir árslok 1985.

2.3 HAWAII

2.3.1 Skipulag jarðhitamála

Eiginleg jarðhitasvæði eru ekki á Hawaii eyjum, en mikið varmaútstreymi er í námunda við virk eldfjöll á eyjunni Hawaii (Big Island). Eru þar mörg gufuaugu sem beint eru tengd heitum hraunmassa í námunda við virkar eldstöðvar. Eldvirkni er mikil í Kilauea eldfjallinu en minni í Mona Loa. Nægur jarðvarmi er því fyrir hendi, en ekki vitað um vatnskerfi sem gerðu nýtingu hans hagkvæma.

Árið 1972 var sett af stað "The Hawaii Geothermal Project" og var markmið þeirra starfsemi að sannreyna hvort ekki mætti nýta jarðvarma á eyjunni Hawaii. University of Hawaii sá um stjórnun verkefnisins og hefur prófessor A. Furumoto séð um samræmingu verkþátta. National Science Foundation, the State of Hawaii og the Country of Hawaii, hafa veitt fé til verkefnisins. Aðilar frá meginlandi Bandaríkjanna svo sem G. Keller hafa tekið þátt í starfsemiinni. Hins vegar mun U.S.G.S. ekki hafa verið þátttakandi.

2.3.2 Aðgerðir og framtíðaráform

Hawaii Geothermal Project framkvæmdi mjög ýtarlegar yfirborðsrannsóknir til að kanna heppilegasta borstæði. Ákveðið var að bora í eystra gliðnunarbelti Kilauea eldfjallsins (Puna District) í um 45 km fjarlægð frá aðalgígnum. Holan HGP-A var boruð 1976 og gaf hún góðan árangur. Komið var í mjög heitt jarðhitakerfi (hæsta hitastig sem mælst hefur er 358°C) og gufuhlutfall er 0.6 - 0.7. Magnið er ekki mikið eða um 12 kg/s heildarflæði. Mjög líklegt er að þetta jarðhitakerfi sé í suðu. Miðað við þau gögn sem fyrir liggja líkist HGP-A mjög mikið holum KJ-6 og KJ-7 í Kröflu.

Auk þess sem jarðhitakerfið á Hawaii líkist jarðhita í Kröflu líkist Kilauea eldfjallið mikið Kröflueldstöðinni. Á báðum stöðum er innstreymi í kvikuþró, sem veldur því að eldfjöllin bólgnu út. Skyndilega verður svo kvikuhlaup á þann veg að kvikan streymir annað hvort út í sprungusveima neðanjarðar eða til yfirborðs.

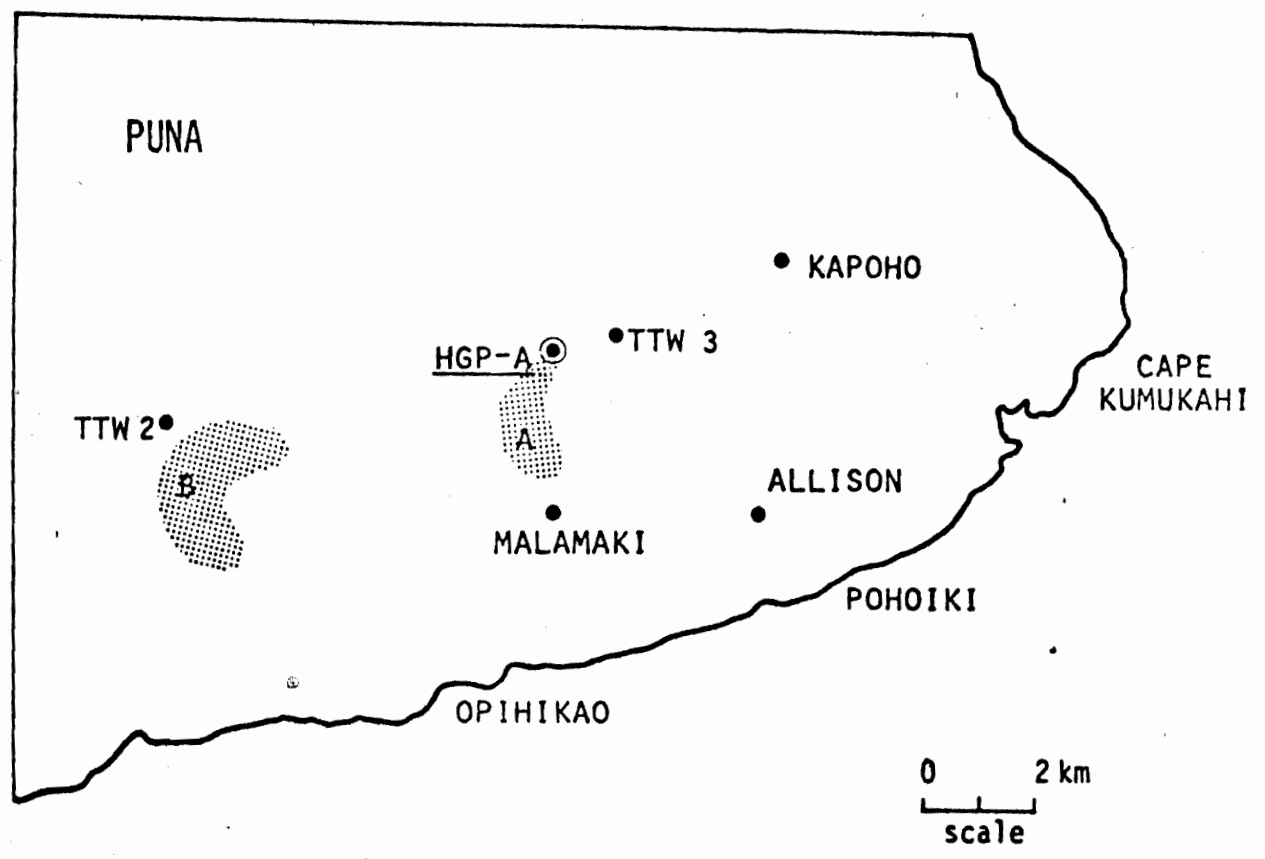
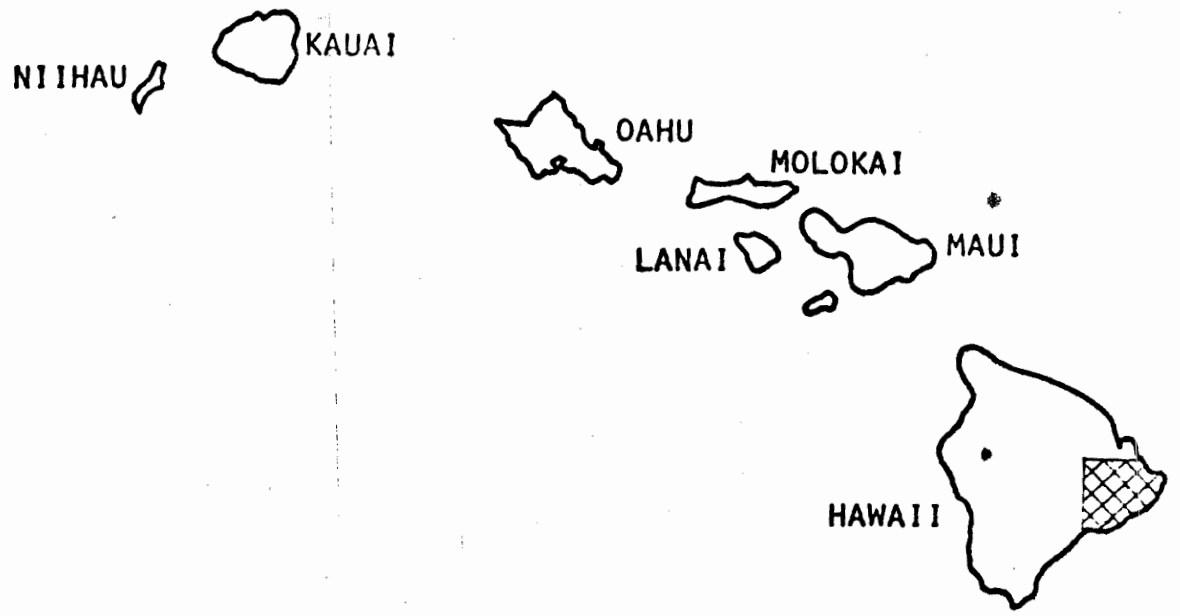


Figure 17. Location of HGP-A and Other Wells

Mjög athugandi væri að taka upp samvinnu við Hawaii bæði á svið eldfjallafræði og jarðhita. Nokkuð var rætt við Gordon Eaton um skipti-program milli Íslands og Hawaii á sviði eldfjallafræði. En G. Eaton er forstöðumaður Eldfjallastöðvarinnar á Hawaii. Búast má við að Hawaii sé meira gefandi en þiggjandi á sviði eldfjallafræði, en e.t.v. er málum háttað á hinn veginn á svið jarðhita. Það styrkir því líklega sanningsaðstöðu Íslendinga að fjalla um bæði atriðin í einu. Miðað við það sem nú er þekkt um jarðhita á Hawaii kemur varla til mála önnur nýting en á eyjunni sjálfri. Of langt er að leiða raforku til stærsta þéttbýliskjarnans (Honolulu á eyjunni Oahu).

Endanleg ákvörðun hefur ekki verið tekin um framhald jarðhitastarfseminnar, en næsti áfangi er vinnslutækniathuganir á holunni HPG-A. Í þessu skyni hefur verið stofnuð samsteypa (consortium) er nefnist HGP-A Development Group. Að þessari samsteypu standa the State of Hawaii, the County of Hawaii og the University of Hawaii. Auk þessara aðila taka the Hawaii Electric Light Company og Hawaii Electric Company þátt í starfseminni. Auk vinnslutækniathugana er einnig stefnt að því að ákvarða vinnslugetu svæðisins. Hlýtur það að hafa í för með sér borun fleiri hola. Einnig mun verða athugað hvaða hættur eru því samfara að staðsetja virkjun á virku eldfjalli.

Á Hawaii er talið að HGP-A framleiði sem svara 3.5 MW af raforku, og borun þessarrar einu holu hefur haft í för með sér að menn á Hawaii tala nú um möguleika á 500 - 5000 MW raforku frá jarðvarma. Miðað við þekkt jarðhitasvæði virðast það vera bjartsýnisáætlanir.

2.4 Mexico

Í Mexico hófst jarðhitaleit árið 1959 á vegum Comision Federal de Electricidad. Við Cerro Prieto, sem er rétt sunnan landamæra Californiu í Baja California héraði, tók stöð I, sem er 75 MW að stærð, til starfa árið 1973. Hún nýtir gufu frá 16 borholum. Nú hafa verið boraðar þar yfir 50 holur og er verið að ljúka við stöð II, sem er einnig 75 MW að stærð. Túrbínur eru af Toshiba gerð, tvær í hverri stöð. Inntaksþrýstingur er 75 PSI og túrbínur eru af einþrýsti gerð. Stærð vinnslusvæðisins fyrir 16 holurnar, sem boraðar voru fyrir stöð I, er 0.7×0.7 km og djúpt borhola 1100-1300 m. Nú eru fjórir borar að verki til gufuöflunar fyrir þriðju stöðina, sem verður 110 MW að stærð. Nýrri holurnar eru mun djúpri, eða um og yfir 2000 m. Fyrirhugað er að virkja samtals um 400 MW á svæðinu við Cerro Prieto. Afl borhola er frá 2 til 12 MW og hefur farið minnkandi í holum við nýtingu. Aflminnkun hefur orðið allt að 40% í einstökum holum, en gasinnihald gufu hefur lækkað úr 4% í 2,4% á sama tíma. Hitastig í 1300 m vinnsluholunum er 250-300°C, en í djúpu (2000 m) holunum hefur mælst hæst 342°C. Fóðurröraskemmdir, sem gert hefur verið við, hafa orðið í 12 af 16 borholum, sem nýttar hafa verið og auk þess hefur orðið að hreinsa kalkútfellingar í 4 til 6 holum árlega. Til viðgerða og hreinsana eru notaðir tveir meðalstórir borar.

Vegna þessarar reynslu hefur hönnun hola verið breytt. Nú eru notuð mun sterkari fóðurrör, vídd og djúpt fóðringa hefur verið aukin, en holur eru nú mun djúpri en áður. Færri skemmda hefur orðið vart í nýju holunum, enn sem komið er.

Eitthundrað manna starfslið er við rannsóknir og rekstur jarðhitasvæðisins ásamt rekstri á viðgerðar og hreinsunar borunum tveimur. Í Mexico eru þekkt níu háhitasvæði auk Cerro Prieto, en einungis hafin könnun á einu þeirra.

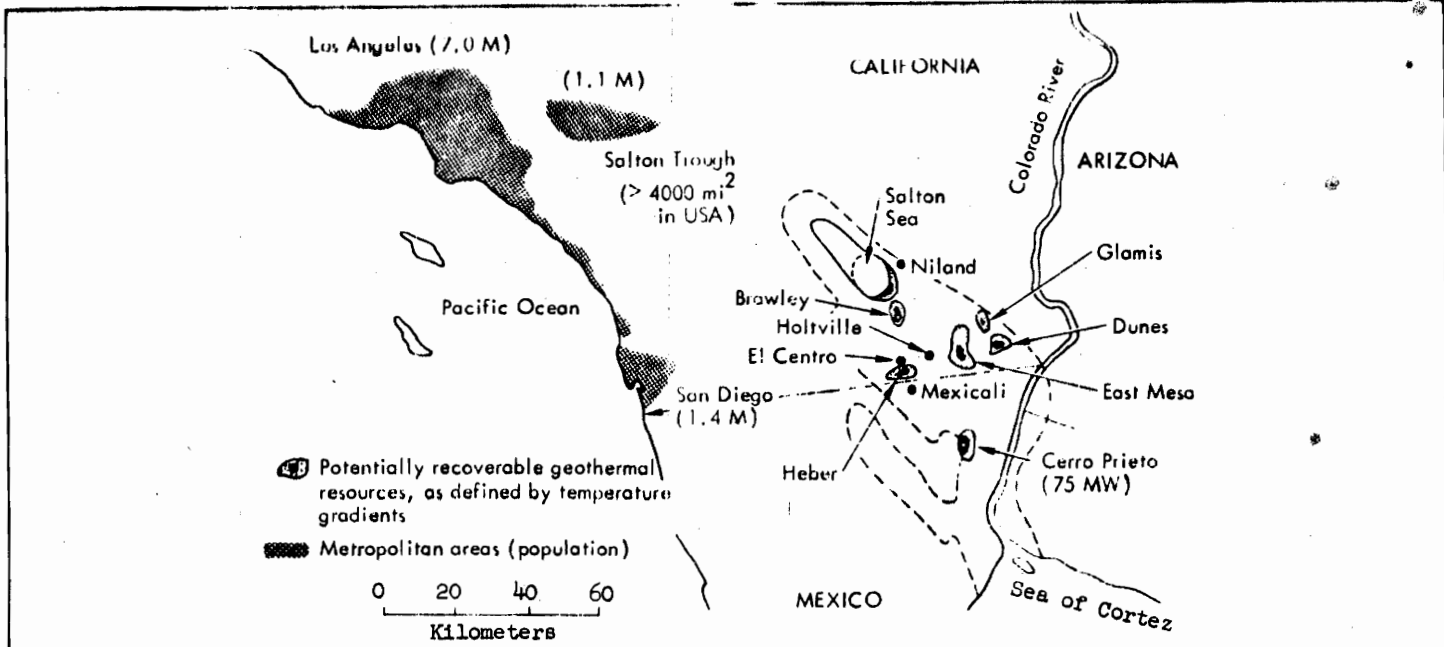


Figure 1. Sea of Cortez-Salton Trough geothermal province and known geothermal resource areas (KGRA); (from Palmer, et.al.¹⁶).

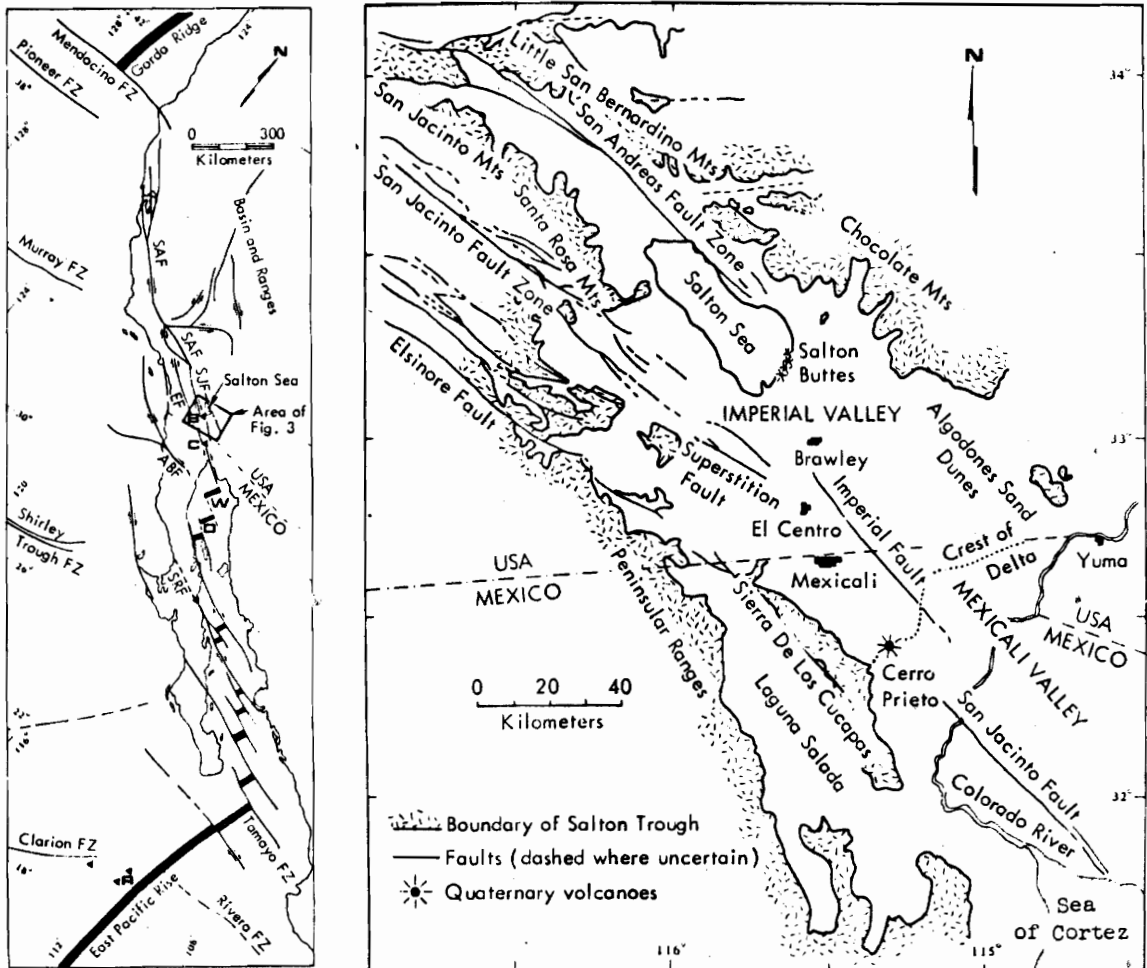


Figure 2. General tectonics of North American Pacific Coast. Included are postulated pull-apart basins between en echelon fault segments in the Sea of Cortez: W = Wagner Basin, D = Delfin Basin. ▲ = Holocene Volcanoes: B = Salton Buttes, C = Cerro Prieto; (from Elders, et.al.⁷).

Figure 3. Sea of Cortez-Salton Trough index map showing Imperial and Mexicali Valleys.

2.5. Bandaríki Norður Ameríku

2.5.1. Skipulag jarðhitamála

Mjög erfitt er að fá fram einfalda mynd af skipulagi jarðhitamála í Bandaríkjunum, því þar eru jarðhitamál í höndum margra opinberra stofnana, auk fjölda einkaaðila. Enginn sérstakur samræmingaraðili virðist vera fyrir hendi og virðist svo sem innbyrðis sé ekki mjög mikil samvinna.

Rannsóknir og framkvæmdir, sem kostaðar eru af opinberu fé, skiptast mest á tvo aðila, Department of Energy (áður ERDA) og United States Geological Survey. Fjárhagslega séð hefur Department of Energy vinninginn, en þar mun vera áætlað að verja 90 M\$ til jarðhitaverkefna á þessu ári, en USGS hefur um 9 M\$ til umráða. Meginhluti fjármagns Department of Energy fer til ýmissa rannsóknarstofnana, háskóla og einkafyrirtækja, sem taka að sér rannsóknarverkefni fyrir Department of Energy. USGS notar hins vegar um 85% af því fé sem það hefur til umráða til eigin rannsókna, en um 15% fer til utanaðkomandi aðila.

2.5.2. Aðgerðir og framtíðarhorfur

Sem grófa einföldun má segja að verksvið USGS sé fyrst og fremst frumrannsóknir, en Department of Energy stuðli mest að vinnslutækniathugunum og nýtingarvandamálum á svæðum, sem sannanlega hafa jarðvarmaorku (proved geothermal resource). Þannig stendur Department of Energy undir kostnaði Reservoir Engineering Group við Lawrence Berkley Laboratory, það kostar vinnslutæknirannsóknir við Lawrence Livermore Laboratory og "Hot dry rock" tilraunina í Los Alamos.

Samkvæmt verkefnaskrá USGS er á árinu 1978 unnið að 85 rannsóknarverkefnum á sviði jarðhita auk 28 verkefna utan stofnunarinnar. Megináhersla verður lögð á að setja fram nýtt "Geothermal resource assessment of the United States". Patric Muffler er stjórnandi þessa verkefnis. Búist er við að verkinu verði lokið fyrri part ársins 1979. Fyrsta samantekt á jarðhita í Bandaríkjunum kom út 1975 (USGS Circular 726) en talið er nauðsynlegt að endurskoða þá úttekt sem fyrst.

Önnur rannsóknarverkefni USGS spanna yfir flestar greinar jarðvísinda. Þó er eftirtektarvert að rannsóknir á borholum og jarðhitarannsóknir með borunum er mjög lítil þáttur af starfsemi USGS.

Þegar kemur að nýtingu jarðhita í Bandaríkjunum eru landsvæði boðin út og leigð hæstbjóðanda. Boranir og vinnsla er því í höndum einkaaðila og eru því niðurstöður djúprannsókna yfirleitt ekki opinberar. Frá íslensku sjónarmiði virðist það ekki gott fyrirkomulag, að þeir aðilar, sem vinna að frumrannsóknum, hafi ekki aðgang að niðurstöðum djúprannsókna. Á þann hátt virðist erfitt að meta árangur frumrannsókna og endurbæta túlkunaraðferðir.

Helstu framtíðaráform um virkjun jarðhita í Bandaríkjunum er stækkun rafstöðvarinnar á Geysissvæðinu. Reiknað er með að 1981-82 verði afl hennar komið í 900-1000 MW. Allmiklar vonir eru bundnar við Rosweltsvæðið í Utah. Ennþá hafa aðeins fengist tvær góðar borholur þar en fjórar holur gefa ekkert.

Í Imperial Valley eru fjögur jarðhitasvæði og hafa þar verið boraðar allmargar holur. Margar þeirra eru mjög heitar. Borholuvökvinn er hins vegar svo saltur að nýting er mjög erfið. Þrátt fyrir margra ára vinnslutæknilitraunir þar, virðist ekki vera komin fram hagkvæm lausn á málinu.

Það virðist því svo, að næsta skrefið eftir virkjun Geysissvæðisins í Bandaríkjunum, verði erfiðara og virkjun jarðvarma verði ekki eins stórstíg þar og verið hefur síðasta áratuginn.

3. Niðurstöður og tillögur

1. Túlkun íslenskra sérfræðinga á jarðhitasvæðinu við Kröflu fékk góðar undirtektir hjá jarðhitasérfræðingum á Nýja Sjálandi og í Bandaríkjunum. Voru niðurstöðurnar í samræmi við reynslu þeirra á öðrum jarðhitasvæðum.
2. Við rannsókn jarðhitasvæða hefur komið í ljós að afl einstakra hola innan svæðisins er mjög breytilegt. Eina leiðin til að kanna hvar séu bestu vinnslueiginleikar innan svæðis, er með borun. Ef hins vegar er borað utan við lágviðnámssvæðið eru holur yfirleitt kaldar.
3. Á Nýja Sjálandi og í Bandaríkjunum telja menn efnafræðilegar rannsóknir mjög áhrifamikil verkfæri bæði við frumrannsókn og eftirlit jarðhitasvæða. Helstu nýmæli á því sviði eru notkun ýmissa ísótópa og gastegunda við ákvörðun á jafnvæghitastigi.
4. Gerður var munnlegur samningur við J. Hulston og Lyon hjá I.N.S. um að greina ísótópa í sýnum frá Kröflu. Þetta er samvinnuverkefni og niðurstöður verða sameiginleg eign Orkustofnunar og I.N.S.
5. Reynsla Nýsjálandinga í nýtingu jarðvarma nær upp að 300°C. Neðri hluti Kröflúsvæðis er mun heitari (nálægt 350°C). Járn og kísilútfellingar í borholum er óþekkt fyrirbæri á Nýja Sjálandi.
6. Reynsla á Nýja Sjálandi, Filipseyjum og Mexico af kalkútfellingum er svipuð og fram hefur komið á Íslandi. Talið er í öllum löndunum að hægt sé að búa við þannig útfellingar. Holur eru hreinsaðar reglulega. Kalkútfellingar eru algengastar í grunnum köldum holum. Stundum virðist hægt að sniðganga kalkútfellingar með dýpri borun.
7. Hvergi hefur orðið vart við útfellingar af kísil í borholum nema í Kröflu. Í Imperial Valley í Bandaríkjunum hafa fundist útfellingar bæði af kísil og járnsamböndum en þær útfellingar hafa einungis orðið í tækjum og lögnum á yfirborði.

8. Vinnslutæknirannsóknir á Nýja Sjálandi hafa sýnt að útfellingar kísils séu ekki vandamál við niðurdælingu affallsvatns ef þess er gætt að jarðhitavatnið komist ekki í snertingu við súrefni andrúmsloftsins.
9. Tilraunir hafa verið gerðar á NZ um áhrif járns og annarra málma á útfellingarhraða kísils. Talið er víst að bæði járn og aðrar málmjónir hafi hvetjandi áhrif á útfellingu kísils.
10. Bæði á NZ og í USA hafa verið gerðar tilraunir með efni sem koma í veg fyrir útfellingu kísils. Upplýsingar um þessar tilraunir fengust í ferðinni.
11. Aflmælingar borhola á NZ eru framkvæmdar á líkan hátt og nú er gert í Kröflu, þannig að mælt er vatnsmagn og kítiskur þrýstingur. Aflmælingaútbúnaður á NZ er þó færanlegur og þess vegna er kostnaður eflaust minni. Lagt er til að hannaður verði færanlegur aflmælingaútbúnaður, sem nota megir almennt á íslenskum háhitasvæðum.
12. Þegar holur er hleypt í blástur í fyrsta sinn er lagt til að holan fái að hitna hægt upp. Ef holan kemur ekki upp sjálf er lagt til að rör verði sett niður fyrir vatnsborð og lofti dælt þar til renna fer úr holunni.
13. Reynsla Mexicana er sú að ekki sé hægt að nýta saman misheitar vatnsæðar í sömu holunni. Afleiðing af þessu er að æskilegt er talið að hafa aðeins um 150 m kafla raufaðan í hverri holu.
14. Á Nýja Sjálandi er í notkun raufunarvél, sem fræsir raufar í fóðurrör. Lagt er til að athuguð verði hagkvæmni á að smíða slíka vél hér á Íslandi. Jafnframt er lagt til að athuguð verði lögum raufa, þar sem sýnt er að lögunin hefur áhrif á sprungumyndun í rörum.
15. Þurrugufuholur eru yfirleitt án raufaðra fóðringa. Í Bandaríkjunum er einnig farið að nýta holur án raufaðra fóðringa á blautum svæðum (Rosvelt Uth.).

16. Við vinnslu á Wairakei svæðinu hefur komið fram mikið landsig auk láréttra hreyfinga lands. Lagt er til að komið verði upp nákvæmu mælineti á öllum háhitasvæðum á Íslandi sem eru í nýtingu.
17. Við rekstur jarðhitasvæða er nauðsynlegt að fylgjast með rennsli frá hverri holu fyrir sig. Auðveldlega má gera þetta með því að mæla þrýstifall yfir blendu aftan við hverja háþrýstiskilju. Lagt er til að þessi aðferð verði notuð í Kröflu.
18. Magn óþéttanlegra gastegunda virðist yfirleitt minnka við langvarandi nýtingu. Núorðið eru jektorar oft hannaðir í þrepum til að mæta þessari breytingu. Ef gas fer upp í 3-4% af gufu er gufubörf jektora talin of mikil (10-15% af gufunotkun) og ráðlegra talið að nota sogdælur.
19. Vegna þrýstifalls jarðhitasvæða við nýtingu er nú yfirleitt reynt að velja inntaksþrýsting á túrbínur sem lægstan. R. James telur að 50 psi (3,5 bar) sé hagkvæmasti inntaksþrýstingur, óháð vinnslueiginleikum svæðisins.
20. Lagt er til að nota aðkeyptan holutopp með áföstum kæfingastút og þennslustykki fyrir innri fóðringu. Holuloki er þá festur á ytri fóðringu.
21. Til að forðast tæringu á holutoppi er lagt til að alltaf verði lát-ið blæða af holum sem eru í geymslu.
22. Lagt er til að settar verði öndunarpípur milli allra steyptra fóðurröra sem eru í snertingu við andrúmsloft.
23. Reynsla Nýsjálendinga bendir til að kvörðun framleiðenda á hita og þrýstimælum sé ekki nógu áreiðanleg. Lagt er til að komið verði upp aðstöðu til kvörðunar á Íslandi og mælar kvarðaðir reglulega, vegna breytinga sem verða við notkun.
24. Gufuveitum er yfirleitt haldið heitum og túrbínur látnar snúast í tómagangi þegar þær eru ekki í notkun, til þess að forðast tæringu.

25. Kröfur um mengunarvarnir við jarðhitavirkjanir hafa þegar verið settar í Bandaríkjunum og fyrirsjáanlegt er að það verði gert annars staðar (NZ).

26. Við borframkvæmdir á NZ er tæknileg yfirstjórn borverka mun meiri en á Íslandi. Þannig eru 8 verkfræðingar auk 32 bormanna við rekstur á tveim T12 borum og einum Failing bor.

27. Allar líkur eru á, að minnka megi erfiðleika og kostnað við steypingar með því að nota leðju við boranir fyrir steiptum fóðurrörum. Lagt er til að þessi háttur verði hafður við boranir á háhitasvæðum þar sem leki er vandamál. Nauðsynleg efni og tæki verði fengin til þessa.

28. Þegar steypa kemur ekki upp á yfirborð, en nær upp milli fóðringa nota Nýsjálandingar, Filipseyingar, og Mexicanar þá aðferð að skjóta göt á fóðurrör og steypa síðan það sem eftir er með því að láta tappa í holuna og steypa í gegnum götin. Lagt er til að tæki verði fengin til að skjóta göt á fóðurrör.

29. Reynsla hérlendis og erlendis er sú að ekki sé hægt að steypa í einu þrepi nema 600 m kafla. Lagt er til að útbúnaður til þrepasteypinga verði fenginn til landsins og slík tækni notuð ef steypa þarf dýpra en 600 m.

30. Þó hvergi sé notuð sú aðferð að steypa niður með fóðurröri og holuvegg leggjum við til að athugað sé hvort þessi aðferð geri það kleift að steypa holur án notkunar þrepasteyputækja. Þörf á þéttingu verður þá minni.

31. Lagt er til að kannaðar verði leiðir til að minnka borkostnað. Má þar benda á upphækkun bors og notkun grunnra borkjallara, borun með leðju fyrir steiptum fóðringum, notkun þéttiefna, gerð verklýsinga borana og rannsókna meðan á borun stendur.

32. Við borun eftir jarðhita annars staðar en á Íslandi er yfirleitt fylgst með halla holunnar í borun. Ef holan byrjar að hallast er dregið úr álagi til þess að reyna að rétta holuna. Lagt er til að fengin verði hallamælingatæki og að bormenn hallamæli holur reglulega í borun, vegna hættu á fódurröraskemmdum og festu.

33. Allgóðar upplýsingar fengust á Nýja Sjálandi, Filipseyjum og Mexico um könnun á fódurrörskemmdum. Lagt er til að fengin verði 32 arma þreifari (Otis) til að kanna fódurrörsskemmdir. Einnig sérstakir pakk-arar með mjúku gúmmíi til að taka þrykkimyndir af fódurrörskemmdum. Ennfremur að reyna að ná þrykkimyndum með blýhnalli. Körfur til víddar-mælina verði sívalningar en ekki vírgrindur.

34. Til þess að hægt sé að draga vinnslufóðringu upp úr borholum, mæla Nýsjálendingar með notkun hydril linerá (slétt rör). Einnig er talið að þessi gerð fódurröra skemmist síður í holum vegna tæringar og efna-áhrifa. Lagt er til að þessi gerð vinnslufóðringa verði tekin upp á Íslandi.

35. Á þeim svæðum sem heimsótt voru hefur meginvandamál við nýtingu jarðvarma verið skemmdir á fódurrörum. Til lausnar á þessum vanda hafa helstu ráð verið: val á fódurrörámúffum, efnisval fódurröra, þykkt fódurröra, bætt steypugæði, borun lóðréttra hola, aðferðir við að koma holum í blástur og aðgerðir við að geyma holur.

36. Lagt er til að álagstengur séu ekki sverari en svo að ætíð sé mögulegt að bora utan með álagsstöngunum í festum. Eða að króna sé minnst 2 tommum breiðari en álagsstengur. Þessar aðstæður skapa einnig minni hraða á skolvökva milli álagsstanga og holuveggjar.

37. Lagt er til að fengin verði "bridge plug" sem nota mætti til að loka holu með þegar viðgerða er þörf á holutoppi.

38. Í ferðinni kom fram að Magobar hefur nýlega hafið framleiðslu á sérstakri borleðju til háhitaborana. Lagt er til að slík leðja verði reynd við íslenskar aðstæður.

39. Í Mexico hefur verið reynt nýtt þéttiefni frá Halliburton til þess að þétta leka í borholum. Lagt er til að þetta efni verið reynt á Íslandi.

40. Eftir viðræður við R. Bolton var talið mjög æskilegt að steypa af efra jarðhitakerfið í Kröflu. Lagt er til að það verði athugað í holum KG-10 og KJ-11.

41. Richard Bolton yfirjarðhitaverkfræðingur hjá Ministry of Works and Development á Nýja Sjálandi verði fenginn til Íslands. Verksvið hans verði ráðgjöf um bortæknileg atriði og nýtingarmöguleika Kröflusvæðis. Einnig er æskilegt að fá umsögn hans um stjórnnum jarðhitaframkvæmda við Kröflu, vegna reynslu hans við slík störf á Nýja Sjálandi.

42. Þrátt fyrir ýmsar ábendingar í þessum kafla eru megindrættir jarðhitastarfsemi á Íslandi mjög sambærilegir við það sem gerist annars staðar í heiminum. Nýsjálendingar hafa um 25 ára reynslu af háhitaborunum og hafa borað hátt í 200 borholur en flestar þeirra eru um 1200 m. Á Filipseyjum hófust boranir fyrir 6 árum og hafa um 60 holur verið boraðar. Holur þar eru um 2000 m djúpar. Í Mexikó hófust boranir 1964 og hafa þar verið boraðar 90 holur. Fyrri holur þar eru um 1500 m en nú eru holur um 2000 m. Hér á landi hafa verið boraðar yfir 40 háhitaholur þar af meira en 10 holur 1800-2200 m.

Viðauki 1.

Dagbók.

A. Dagbók frá Nýja Sjálandi

Dagana 6. febrúar - 28. febrúar 1978.

Mánudagur 6. febrúar.

Komum til Wellington kl. 15. Bolton hringdi og spurði m.a. um svar við bréfi sínu til G. Pá. Ákveðið var að hitta Bolton á miðvikudagsmorgni.

Þriðjudagur 7. febrúar.

Gengið var endanlega frá gögnum handa Bolton, sjá fsk. 1.

Miðvikudagur 8. febrúar.

Hittum Bolton um morguninn. Hann fór með okkur að hitta yfirmann sinn Jack Chestermann, Chief Power Engineer, Ministry of Works. Geta má þess að Ministry of Works sér um allar opinberar framkvæmdir á Nýja Sjálandi. Síðan var haldinn fundur með R. Bolton, Chief Geothermal Engineer og Ian Innes Senior Engineer frá Ministry of Works ásamt Frank Studt, Geothermal Coordinator og Tom Lumb frá DSIR (Department of Science and Industrial Research). Gögn um Kröflu voru lögð fram og almennar umræður um þau vandamál, sem þar eru fyrir hendi.

Gengið var endanlega frá ferðaáætlun okkar og er hún þannig að mánudaginn 13. feb. verður farið til Wairakei og verið þar til þriðjudags 21. feb. Á morgun verður farið til DSIR og rætt við jarðfræðinga, efnafræðinga og fleiri. Föstudag 10. feb. verður dvalið hjá Bolton í Ministry of Works.

Rætt var um framkvæmdir við Kröflu og lagt fram skipurit um hvernig hin ýmsu verk skiptast milli KN, OS og Rarik. Reynt að skýra út hvers vegna Bolton hefði fengið bréf samtímis frá tveim aðilum á Íslandi, sem fjölluðu bæði um sömu atriði. Síðan raktar helstu ástæður fyrir ferð okkar til NZ og tekin fyrir helstu vandamál sem upp hafa komið við Kröflu. Þau voru talin vera:

- A Lítið afl borholu
- A-1 Lítið permeability
- A-2 Útfellingar

- A-3 Mikið magn CO₂
- A-4 Hátt hitastig og tveggja fasa streymi

B Borvandamál

- B-1 Steypingar í lek jarðlög
- B-2 Steypingar djúpra (1200-1500) fóðringa
- B-3 Fóðurrörskemmdir

Aðspurður lýsti Bolton hvernig staðið væri að nýtingu jarðvarma á NZ. Nýlega hefur verið sett á stofn sérstakt Orkuráðuneyti og eru því skipulagsbreytingar enn á döfinni.

Núverandi skipulag er þannig að New Zealand Electricity sér um rekstur allra raforkuvera, gerir tillögur um allar orkuframkvæmdir og sér um dreifingu rafmagns til rafveitna. Að auki sér NZED um hönnun véla- búnaðar raforkuvera (jarðgufu, vatnsafl og gas).

Ministry of Works sér um byggingarframkvæmdir raforkuvera og á jarð- hitasvæðum sér MW um hönnun og byggingu gufuveitna auk borana og mælinga í borholum. Auk þess sér MW um rekstur jarðhitasvæða.

DSIR er ráðgjafaraðlili um jarðhitafræði og annast rannsóknir á jarð- hita auk þess stunda þeir vinnslutækni og tæringarrannsóknir. Öll hagnýt rannsóknarstarfsemi á NZ er í höndum DSIR og spannar sviðið frá fjárbúskap upp í kjarnorku. DSIR er í 23 deildum og eru 6 deildir tengdar jarðhitarannsóknum. Síðan var rætt um bortæknileg atriði og kom þá eftirfarandi í ljós:

1. Borað er fyrir fóðringu með leðju. Eðlisþyngd leðju 68-70 lbs/cuft og seigja 45 sek. Hitastig leðju þarf að vera minna en 70°C. Ef hiti verður of hár er dregið úr borhraða og dæling aukin. Borhraði stjórnast að nokkru af leðjuhita. Ef leki kemur fram er bætt í sóða, (pH ~ 11) gelþyngd 70-71 lbs/cuft, sellofansnifsum, spónum og hnetu- brotum. Ef þetta ekki dugar þá er steyppt. Notkun á bentoniti er 50 - 100 tonn á holu (400 m fóðring). Áður en fóðring er sett niður er holan rýmd einu sinni eða tvisvar sinnum með nýrri krónu til þess að skafa leðjuna af veggjunum. Holan er ekki kæld fyrir fóðringu. Við

frekari borun er notað vatn, en það sem eftir er af leðju er þynnt út og látið tapast niður í jörðina í borun.

2. Við steypingar er notað Portlandcement með 3% bentoniti til að mýkja steypuna og til þess að draga úr rýrnun. Einnig er notað tafefni HR-12, 0.5% þegar þess er þörf. Áður en steyppt er, er fyrst dælt vatni, síðan cementvatni og loks cement lögum með eðlisþyngd 1.6-1.8. Magn steypu er þrefalt rúmmál milli fóðringar og holuveggja. Á eftir steypingu er settur niður tappi og dælt þar til cement kemur upp en þá er hægt á dælingu þar til tappi er kominn í botn. Cementið er látið fara í gegn um borventla og út um flowline og látið fara á jörðina. Þegar þessu er lokið er farið að dæla cementi gegn um kill - line og því haldið áfram þar til cementið hættir að síga. Fóðringin er hreyfð upp og niður í holunni, meðan hægt er. Við steypingar eru notaðar leðjudælur borsins. Ef steypa kemur ekki upp en steypa er milli fóður röra eru skotin göt á fóðurrör þannig að byrjað er neðan frá og athugað hvar steypuborð er með hringrásar-dælingu. Þegar steypuborð er fundið eru skotin 5 göt á viðkomandi fóðurrör og síðan steyppt á vanalegan hátt.

Allt að 600 m fóðringar er hægt að steypa á þennan hátt.

3. Dýpri fóðringar en 600 m verður að steypa í þrepum. Eftir fyrstu steypu er skolað út um port á steypuþrepi og ekkert gert að þó steypuborð sigi. Á NZ er hvorki notuð geislavirk efni né cement bond logging til könnunar á steypugæðum. Ekki er talin ástæða til að nota kísil-salla til að auka styrk steypu enda nægi að bond styrkur steypur sé 1 psi.

4. Í stað leðju benda Nýsjálendingar á möguleika á að nota cementsvatn með eðlisþyngd 65 lbs/cuft sem borvökva. Max temp 60°C. Cementvatni ýmist hent eða hringdælt. Eftir steypingu fóðurröra eru borlokar skolaðir með vatni.

5. Við hönnun fóðringarprógramms eru lágmarkskröfur 1 fet af fóðurröri fyrir hvert psi af gufuþrýstingi á holutoppi.

6. Efni í fódurrörum. Talið er að K-55 (J-55) sé nægjanlega sterk fyrir aðstæður á NZ. C-75 er það sterkasta sem hægt er að nota vegna hattu á vetnisbrotum (hydrogen embrittlement). Samkvæmt prófunum er styrkur buttress múffa á fódurrörum 120% af styrk fódurröra (þ.e. sterkara en fódurrör).

7. Gerð liners. Allir linerar voru raufaðir með logskornum (seinni upplýsingar gefa til kynna að nú eru öll fódurrör með fræstum raufum) raufum 3/4" x 2". Notaður er 7 5/8" liner í 8 1/2" holu og eru rörin sett saman með hydril múffum (slétt utan og innan). Þegar fóðrað er með 7" múffuðum rörum þarf að renna utan af múffunum (turned down casing coupling). Þegar liner af þessari gerð er hreinsaður eru notaðar 3 1/2" borstengur og venjuleg borkróna.

8. Notaður er Failing 2500 bor við hreinsanir og eru holur kæfðar á meðan. Vatn er notað við hreinsanirnar og svarfið fer niður í holuna. Um er að ræða hreinsanir af kalki í holum er ekki kísil. Raufaður liner er ca 600-700 m langur og ekki gerð tilraun til að staðsetja æðar. Kæfing og hreinsun tekur 3 daga. Max hreinsunardýpt með Failing er 2500 fet. Á Kawarau svæðinu þarf að hreinsa á 3-6 mán. fresti.

9. Hallamælingar eru gerðar í borun á 200 ft bili með Eastman "single shot" mæli. Gert inni í borstöngum. Kjarni er tekinn eftir fyrirframgerðri áætlun þannig að gerð jarðlaga ákveður hvort kjarni er tekinn. Petrologisk umsögn er talin meira virði er geologisk umsögn við ákvörðun á holudýpt. Stefnt er að því að bora niður fyrir gasrík kerfi sem eru talin liggja ofarlega í jarhitasvæðum. Enn neiri hætta er talin á kalsíútfellingum þar sem gas er mikið. Þetta hefur verið notað á gasríkum svæðum svo sem Broadlands og Filipseyjum.

10. Einn þáttur vinnslutæknirannsókna DSRI er þróun eimsvala (condenser) og kæliturna fyrir gasríka gufu. Þetta spannar yfir efnisval, og gerð sogðælu (jector, þjappa eða rotary blásari). Talið er að gufunotkun jectora verði óhóflega mikil ef gasinnihald gufu fer yfir 4%. Í Wairakei er talið að 17 MW gufuorka fari í jectora við 160 MW rafmagnsframleiðslu. Einnig eru kannaðar aðferðir til að eyða H₂S frá stöðinni en reiknað er

með að 34 tonn á klst. muni fara út í andrúmsloftið á Broadlands við vinnslu. Á Geysersvæðinu í Kaliforníu er nú notaður Stretford process og kostaði sá búnaður 9 M\$ fyrir 55 MW orkuver. Í Kaliforníu eru kröfur um að í andrúmslofti mælist ekki meira en 0.03 ppm H_2S en Helth. Dep. í NZ hefur enn ekki ákveðið kröfur þar.

11. Holulokar eru allir af WKM gerð, smíðaðir í Houston. Lokar af WKM gerð smíðaðir annars staðar (Japan, Australía, England) hafa reynst illa. Í gufuveitu eru notaðir lokar með fjaðrandi tungu og harðsuðu á bæði tungu og sæti með stellite 6 en aðrar gerðir harðsuðuvírs hafa gefist verr.

12. Hluti Wairakei svæðisins er í suðu og hefur hitastig þar lækkað úr 263°C í 235°C og þrýstingur úr 900 psig í 540 psig á 900 feta dýpi.

13. Athuganir á meðhöndlun affalsvatns sýna að ef vatnið er leitt beint í "reinjections" holu án þess að komast í snertingu við andrúmsloft má komast hjá útfellingavandamálum. Aðspurðir gátu þeir ekki gefið skýringar á hvers vegna hegðun útfellinga er svo. Í bili hefur því verið fallið frá því að fella kísilinn út sem calsíumsilikat. Arsenik hefur verið fjarlæggt úr vatni með því að lækka pH gildi þess og kompleksa arsenikið með íblöndunarefnum. Við þetta lága pH gildi fellur kísillinn ekki út.

14. Könnun á fóðurrörum er gerð með 32 arma mekaniskum kaliper sem registrerar á koparþynnu (sbr. Amerada). Slit á fóðurrörum er ekki vandamál.

15. Borun 3-4000 feta holu tekur 28 daga og kostar slík hola um 350.000 \$. Meðalkostnaður borhola er um 250\$ á metra, miðað við dýrar fóðringar. Fóðurröraverð var hátt um tíma vegna olíukreppunnar, en hefur nú lækkað.

16. Á áður ókunnum svæðum eru boraðar tvær grunnar rannsóknarholur. Síðan eru allar holur hannaðar sem vinnsluholur.

Fylgiskjal 1

8. febrúar 1978.

Afhent Bolton:

- 1 Organisation of the Krafla Project.
- 2 Description of casing damages.
- 3 Description of the geology and the reservoir.
- 4 Krafla borhole bulletin no 7.
- 5 Table of major components in fluid at well head (A_0). Concentrations in ppm.
- 6 Description of analytical methods.
- 7 The Chemistry of the Upper Zone.
- 8 Heat content and Chemistry at the Lower Zone.
- 9 Some Trace Element in Well Fluids at Krafla and Námafjall.
- 10 Photo of damage in Well KJ - 7.
- 11 Photo, calcite in liner KJ - 9.
- 12 Caliper log well KJ - 7.
- 13 Drilling and casing program.
- 14 Description of cementing.

Fimmtudagur 9. febrúar.

Í dag var farið í heimsókn til DSIR. Fylgdarmaður var Tom Lumb frá aðalskrifstofu, aðstoðarmaður Studt, Geothermal Coordinators.

Studt lýsti aðferðum Nýsjálendinga við jarðhitaleit. Jarðhitaleitin byggir fyrst og fremst á viðnámsmælingum og jarðefnafræði. Fyrst koma jarðfræðingar og kortleggja jarðfræði svæðisins, síðan er reynt að finna útlínur jarðhitasvæðisins með viðnámsmælingum. Vanalega eru viðnámsmælingar gerðar með þúsund metra straumarmi og meðal dýptarskynjun áætluð um 500 m. Sýni eru tekin á yfirborði (úr hverum) og max. hitastig svæðisins áætlað með Geochemískum hitamælum sem eru gashlutföll. Út frá ofangreindum upplýsingum er varmainnihald jarðhitasvæðisins áætlað, og út frá þeim niðurstöðum eru gefnar ráðleggingar til M.W. um rannsóknar boranir. DSIR er skift í 23 deildir af þeim taka sex þátt í jarðhitarannsóknum.

Þar eru: Geological survey
Geophysics division
Chemistry division
Institute of nuclear sciences
Physics and engineering laboratory
Applied mathematics division

Geothermal Coordinator (Studt), er til þess að samræma aðgerðir þessara deilda.

Einstakir starfsmenn gefa út dreifibréf (geothermal circular), þar sem ræddar eru hugmyndir manna og lýst verkefnum sem unnið er að. Síðan eru haldnir sameiginlegir fundir deildanna þar sem hugmyndir manna eru ræddar og verkefni deildanna ákveðin (Studt). Að öðru leyti starfa deildirnar nokkuð sjálfstætt. Nú starfa um 40 manns hjá DSIR við jarðhitarannsóknir en áætlað er að fjölga starfsmönnum um 36 á næstu þrem árum.

Farið var frá DSIR aðalstöðvunum í heimsókn til Geological Survey í Lower Hut. Þar var rætt við Georg Grindley, project geology, P.R.L Browne, petrolog (ummyndun) og Peter Wood (svanfla) hann hefur starfað á Filipseyjum.

Lýst var fyrir þeim helstu verkefnum á jarðhitasviðinu á Íslandi nú. Síðan var rætt við P. Browne um kjarnatöku í borholum og svarfgreiningu. Við borun er svarf tekið með 3 m millibili og kjarni tekinn með 100 m bili (í rannsóknarholum). Sá kjarni er sendur Geological Survey til rannsóknar. Svarfið er geymt á jarðhitasvæðinu og einungis rannsakað þegar jarðfræðingar eiga leið um. Komið hefur í ljós að steindin "adularia" bendir til góðrar vatnsgæfni (permeabilitet) og albite til samilegrar vatnsgæfni. Mikið af calcite og aragonite bendir til mikils CO₂ innihalds en þegar komið er niður í epidot, wairakite, prehnite, wollastonite og ampibole er minna af CO₂ í jarðlögum og síður að vænta calcite útfellinga í borholum á Nýja Sjálandi eða Mexico.

Helstu jarðfræðiathuganir eru gerðar á kjörnum (greining í smásjá, röntgen myndun) auk þess er mæld eðlisþyngd, segulmögnun en ekki gerðar tilraunir til að mæla vatnsleiðni (conductivity) eða porositet.

P. Wood lýsti nokkrum aðstæðum á Filipseyjum. Í Tiwi á Luzon eyju hafa verið boraðar 22 holur. Í Tonganan á Negros eyjum, hafa verið boraðar 6 holur (325°C) og fyrirhugað að virkja þar 90 MW, nú hefur 5 MW tilraunatúrbína verið tekin í notkun þar. Í Tiwi boraðar 22 holur, 260°C, áætluð 220 MW virkjun. Í Los Banjos boraðar 18 holur, 315°C, áætluð 165 MW virkjun. Í Tonganan boraðar 6 holur, 325°C, áætl. 3 MW + 90 MW virkjun en þar annast Nýsjálendindgar framkvæmdir, sem einn lið í aðstoð við erlend ríki.

Síðan var farið í Institute of Nuclear Sciences í Gracefield og starfsemi þeirra skoðuð í fylgd með J.R. Hulston sem er yfirmaður í masspectrometry division. Hann lýsti því að notaðir væru fimm mismunandi isotopar: hitamælar við jarðhitarannsóknir.

- Þeir eru:
- 1) Stabílir isotopar
 - 2) H₂ - H₂O
 - 3) S¹⁸O₄ - H₂¹⁸O
 - 4) ¹³CO₂ - ¹²CH₄
 - 5) H₂³⁴SO₄ - H₂³²S

Lýst var mælingu á rennslisraða og stefnu með geislavirkum efnum á Broadland svæðinu, sem er gert með því að dæla geislavirku jöði 131 niður í borholur.

Valgarður skoðaði 3MeV protonu Van der Graf accelerator (hraðal) sem að mestu er notaður við framleiðslu geislavirkra efna til notkunar á Nýja Sjálandi.

Lítið var inn hjá A.J. Ellis, yfirmanns Chemistry Division. Varðandi kísilútfellingar í Kröflu taldi hann vonlítið að vinna svæði sem væri mikið yfir 300°C heitt. Hann benti á þann möguleika að reynandi væri að fara út fyrir heitasta hluta svæðisins og reyna að draga vökvann í gegnum jarðhitasvæðið.

Þá var farið til H.P. Rothbaum og S.K. Fellows, í Geochemistry section. Rætt var við þá um meðhöndlun affallsvatns og gass með tilliti til mengunarvarna. Helstu mengunarvaldar á Nýja Sjálandi eru arsenic, bohr og H₂S.

Gerðar hafa verið tilraunir með útfellingar kísils með kalki en horfið frá þeirri aðferð þar sem nú er áætlað að dæla niður (reinjekt) affallsvatni án nokkurrar meðhöndlunar annarrar en að forðast snertingu þess við andrúmsloft (súrefni). Með því að sýra affallsvatn með brennisteinssýru og lækka þannig pH gildið úr 7.8 niður í 4.0 á vatni við 90°C sem innihélt 600 ppm af kísil, minnkuðu útfellingar til mikilla muna. Verið er að þróa athyglisverða aðferð til mengunarvarna, sem felst í því, að járn-súlfat og natríumhyppocloriti er blandað saman við jarðhitavatnið. Við það fellur arsenic út með jarnhydroxydi (coprecipitate) og myndast þá einnig brennisteinssýra og pH gildi vatnsins fellur í 4.0. Íblöndun FeSO₄ er um 25 ppm. Járnhydroxydið Fe(OH)₃ fellur út, síðan er H₂S frá eimsvala sett í snertingu við járnhydroxydið sem bindur brennisteinssvæðið. Sjá raport nr. CP 2252.

Gerðar hafa verið tilraunir með fjölliðun kísils (1200-1500 ppm) við 180°C í þrennskonar ílátum. Í gullflösku, fjölliðast kísillinn við kvartsmettun. Í inconel og ryðfríum flöskum fjölliðast kísillinn mun meira og er uppleysanleiki kísils í þeim tilfellum minni en annars kísils. Rotbaum telur einsýnt að áhrif járnjóna séu mikil á uppleysanleika kísils en mikið starf sé óunnið á því sviði. Þrátt fyrir þetta vildi hann ekki leggja til að fódurrör í Kröflu yrðu gullhúðuð!

Í fylgiskjali nr. 2 er skrá yfir greinar og skýrslur sem okkur áskotnuðust í dag.

P.S. Áætlað virkjanlegt vatnsafl á NZ er um 6000 MW og áætlað virkjanlegt afl í jarðgufuvirkjunum er um 2000 MW.

Fylgiskjal nr. 2.

1. Chemistry Division, 1974 Handbook
NZ DSIR information Series Nr. 98
2. Chemistry Division, 1976 Handbook
NZ DSIR info Series No. 119.
3. DSIR Research 1977
DSIR info SER. NO 128
4. Waiotapu Geothermal Field
NZ DSIR Maps to accompany Bulletin 155
5. Waiotapu Geothermal Field
NZ DSIR Bulletin 155
6. The Geology, Structure and Exploitation of the Wairakei Geothermal
Field, Taupo New Zealand.
7. A. Steiner
Clay Minerals in Hydrothermally Altered Rocks at Wairakei
New Zealand NZ Geological Survey.
8. P.R.L. Browne
Hydrothermal Alteration as an aid in Investigation of Geothermal Fields.
Geothermics (1970) Pisa 1970. Vol. 2. Part 1.
9. P.R.L. Browne and A.J. Ellis. The Ohaki-Broadlands Hydrothermal Area
New Zealand. Mineralogy and related Geochemistry
American Journal of Science, summer 1970.
10. P.R.L. Browne
Mineralisation in the Broadlands Geothermal Field,
Taupo Volcanic Zone , New Zealand.
11. P.R.L. Browne
Aragonite Deposited from Broadlands Geothermal Drillhole Water
N.Z. Geological Survey, DSIR - NZ J. of Geol. Vol/6 1973.
12. George W. Grindley, Patrick R.L. Browne
Structural and Hydrological Factors Controlling the Permeability
of Some Hot-Water Geothermal Fields
Proceedings 2nd U.N. Symp. San Francisco 1975.
13. P.R.L. Browne, Edwin Poedder, Antoni Qodzick: Comparison of Past
and Present Geothermal Waters, from a Study of Fluid Inclusions,
Broadlands Field, New Zealand. Proc. INT. Symp.
Water-Rock Interaction, Prague Pub. 1976.

Fylgiskjal nr. 2, frh.

14. P.R.L. Browne

Hydrothermal Alteration in Active Geothermal Fields

NZ Geological Survey - Aug. 1977

NZGS Unpublished Report N 58

15. J.R. Hulston

Isotope Work Applied to Geothermal Systems at the Institute of
Nuclear Sciences New Zealand

I.N.S. Contribution No 777 Geothermics Vol 5 pp 89-96

16. A. Steiner

Genesis of hydrothermal K. feldspar (adularia) in an active
geothermal environment at Wairakei N.Z.

Mineralogical Magazine, Dec 1970, Vol. 37 No 292.

17. N.K. Stewart

Stable Isotopes in Waters from the Wairakei Geothermal Area, N.Z.

INS contribution no. 776. DSIR Special Bulletin, 1977.

18. H.P. Rothbaum, D.H. Buisson

Removal and Potential Recovery of Arsenic from Geothermal
Discharge Waters after Absorption or Iron-Floc

DSIR - 1977 Rep. no. C.P. 2252.

Föstudagur 10. febrúar.

Ministry of Works

Í dag var dvalið hjá Ministry of Works hjá R.Bolton og I.Innes. Fyrst var rætt um fyrirhugaða ferð Boltons til Íslands og taldi hann engin vandkvæði á því. Hann er bundinn í maí og júní vegna "hearings" um virkjun Broadlands svæðisins, en gæti lagt af stað héðan eftir 5. júlí. Viss möguleiki er fyrir hann að koma í aprílmánuði en hann vildi síður velja þann tíma. Ákveðin plön liggja fyrir um stofnun jarðhítskóla við Univercity of Auckland, N.Z. Þessi áform eru unnin í samvinnu við U.N.D.P. og samþykki Nýsjálenskra yfirvalda er fyrir hendi. Þessi áform eru háð fjármagni frá U.N.D.P. en enn er óljóst hvernig þau mál þróast. Áætlað hefur verið að þessi skóli geti hafist 1979 (academist ár mars-okt). Skólinn gerir ráð fyrir "post graduate" námi í eitt háskólaár. Ekki er gert ráð fyrir að námið veiti sérstaka háskólagráðu. Samkomulag hefur náðst við DSIR og M.W. um þáttöku í kennslu og starfsþjálfun. Allmikil starfsþjálfunarstarfsemi hefur verið rekin á N.Z. á undanförunum árum og má skoða þessa starfsemi sem framhald af því í fastara formi.

Við fengum að líta yfir nokkrar innanhússkýrslur M.W. sem fjölluðu um hönnun borhola, styrk fóðurröra og heildarúttekt jarðhitasvæða. Afrit fékkst af nokkrum skýrslum og verður þeirra getið síðar. Rætt var við I.Innes um ýmis bortæknileg atriði og kom þá m.a. eftirfarandi í ljós:

- 1) Við kæfingar á holum sem á að hreinsa eru 2 3/8" borstengur settar niður í gegn um pakkdós og helst niður fyrir vinnslufóðringu. Þetta er gert til að minnka áraun á fóðringuna við kæfingu. Stengurnar eru settar niður með Failing 2500 bor og notað við það "pull-down". Öfugt slifsi er við pakkdósina sem grípur um stengurnar þegar bætt er í.
- 2) Miðjustillar eru settir á fóðringar með 30 m millibili og eru þær aldrei settar yfir múffur. Við steypingar á öllum fóðringum eru notaðir miðjustillar, flotskór og steyputappar í bak og fyrir.

3. Við steypingu er fyrst settur tappi ("wiper plug") síðan er dælt nokkru vatni og þá 4-500 gal. af sementsvatni sem hefur sömu eðlisþyngd og leðjan sem notuð var við borun holunnar. Loks er steyppt eins og áður hefur verið lýst og tappa dælt á eftir. Meðan á steypingu stendur er fóðringin hreyfð upp og niður í holunni þar til átakið eykst um 5-10.000 lb. Þá er fóðurrörið hengt upp með tréfleigum, til að samdráttur í fóðringu dragi mastrið ekki niður. Ef skolhiti leðjunnar hefur farið yfir 50°C í borun, er notað tafefni við steypinguna.

4. Áður en fóðrað er, er holan skröpuð með nýrri krónu tvíveigs og skoluð með leðju þar sem gelstyrkur hefur verið brotinn niður með íblöndun tannins.

5. Ekki telja þeir ráðlegt að steypa öflugt. Ástæðan er sú að ómögulegt er að vita hvar steypan fer út og mikil hættu er á lélegri steypingu á fóðurröri.

6. Þegar leðjan kemur úr holunni við borun fer hún yfir hristisigts, síðar í tvö setkór og þvínæst er henni dælt með miðflóttadælu í gegnum sandskilju (hydrocyclone) upp í kæliturn. Leðjan hríslast eftir grindum niður eftir kæliturninum. Lofti er blásið í gegnum kæliturninn. Úr kæliturninum fellur leðjan í leðjukarið. Til að ná góðri kælingu er hringdælt 3-4 sinnum meira magni um kæliturninn, en notað er við borun.

7. Ef rannsóknarhola (investigation well) er boruð eru lekar þéttir í borun með leðju og jafnvel borað með leðju eftir að fóðring hefur verið steyppt. Í þessum holum er kjarni tekinn á u.þ.b. 100 m millibili og svarf geymt á borstað. Í vinnsluholum (wells to prove potential production), er borað með vatni eftir að vinnslufóðring hefur verið steyppt. Engir lekar eru þéttir og borað áfram þótt algert skoltap sé. Ef þyngist á, er skolað frá með geltappa. Ef það dugur er borun hætt en kjarni tekinn á holubotni. Borholan er talin mishepnuð, ef ekki kemur fram algert skoltap í borun. Líner er settur í allar holur hvort sem þær eru lekar eða þéttar.

8. Að borun lokinni er holan látin blása beint upp í loftið, áður en ákveðið er hvort útblástursbúnaður skuli settur á hana.

9. Útblástursbúnaður er á sleða og er fluttur á milli staða.
10. Á Wairakei svæðinu eru 60 holur og er heildarlengd gufulagna 25 km og afköst orkuvers 160 MW.
11. Á gufuaðveitulögnum að orkuverinu á Wairakei eru hafðir margir vatnspottar til að fjarlægja raka úr gufunni. Að mati I. Innes eru axialskiljur aðeins nothæfar til að veiða sementspoka en gagnslausar sem rakaskiljur. Flotrofar eru notaðir í vatnspottum til að gefa viðvörðun um vatn í gufu, en rakamælur ekki notaðir.
12. Fylgst er með gufuafköstum borhola á sírita við hverja holu en gufunotkun rafstöðvar er ekki mæld, heldur eingöngu fylgst með raforkuframleiðslu.
13. Ef þetta á mikinn leka í borun er sandur o.fl. sett í holuna (allt að 50-90 m³) og síðan grátað. Við þéttingar á holum fyrir fóðringu er borun holunnar hætt, ef þétting hefur ekki tekist innan 30 daga.

Mánudagur 13. febrúar.

Ekið með R. Bolton frá Wellington til Taupo. Á leiðinni komu m.a. eftirfarandi upplýsingar í ljós: Öll borstarfsemi er rekin frá Wairakei. Uppbygging stjórnunar á borframkvæmdum er þannig:

Procect Engineer

/

Investigation Engineer

/

Drilling Engineer

/

Drilling Superintendent

/

Drilling Overseer

/

Driller + mastursmaður + 3 á palli.

Auk þess er MW með verkfræðinga, mælingamenn, teiknistofu og fullkomið vélaverkstæði og lager á Wairakei-svæðinu. Starfsmannafjöldi MW í Wairakei er 60 fastir starfsmenn (staff) og er áætlað að auka þann fjölda í 80. Aðrir starfsmenn eru 100 og er áætlað að auka þann fjölda í 120. Tveir T 12 borar eru notaðir við jarðhitaboranir og auk þess einn Failing 2500 til að bora rannsóknarholur í allt að 600 m dýpi. Eru slíkar holur fóðraðar með 4 1/2 liner. Dýpi borhola takmarkast af þyngd fóðurröra. Við rannsóknarboranir er tekið mikið af kjörnum að ósk jarðfræðinga. Holur eru hallamældar í borun og reynt að halda halla innan við 2°. Álag á borkrónu var 500-1000 lbs á þvermálstommu krónu en er nú 2000 lbs. Eitt af því sem takmarkar borhraða er leðjuhiti.

Tilraunir með niðurdælingar hafa verið gerðar á Broadlands (sjá skýrslu MW 1977) og kom þá í ljós að þrýstingur lækkar í holunni með tíma. Bendir það til að útfellingar hafi ekki áhrif á niðurdælingu. Niðurdælingarholur eru staðsettar í útjaðri jarðhitasvæðis.

Á Broadlands hefur verið boruð 31 hola til undirbúnings virkjunar. (sjá skýrslu MW). Broadlandssvæðið er allfrábrugðið Wairakei svæðinu. Er það mun meira gas, svæðið heitara og minni vatnsleiðni. Áætlað er að útvega háþrýstidælur til steypinga og tilrauna með "hydraulic fracturing" í greywakei berginu.

Hingað til hefur ekki verið unnin gufa úr slíkum jarðlögum á NZ. Áætlað er að kaupa tvo nýja 7000 feta bora til endurnýjunar eldri bora og til þess að hægt sé að bora dýpra.

Áætlaður stofnkostnaður jarðgufustöðva var um áramót 76-77 810-820 \$ á uppsett kw. Er í þessari tölu allt innifalið (rannsóknir, boranir o.s.frv.). Áður var stofnkostnaður vatnsorkuvera um 600 \$ á kw, en er nú kominn í 1200 \$ á kw vegna þess að virkjanir eru smærri. Fyrsta jarðgufustöðin í Wairakei var hönnuð af breskum ráðgjafarverkfræðingum en síðan hefur MW og NZE annast alla hönnun og uppbyggingu jarðgufustöðva. Tvö ráðgjafafyrirtæki eru á NZ á sviði jarðhitánýtingar, Geothermal New Zealand Ltd. GENZL og Kingston Renold Tom and Allaridge, skammstafað KRTA. Starfsemi fyrirtækjanna hefur verið bundin við verkefni utan NZ. Þar sem þessi fyrirtæki eru enn að koma sér upp sérfræðingum fá þau iðulega sérfræðinga að láni hjá MW og DSIR. KRTA annast ráðgjöf á Leite svæðinu á Filipseyjum, og GENZL í Indonesíu. En þessi verkefni eru hluti af aðstoð NZ við þróunarlönd.

Þriðjudagur 14. febrúar.

Farið með Bolton til Geothermal Project skrifstofu MW Wairakei.

Helstu starfsmenn þar eru:

Projects Engineer W.B. Stilwell
Mechanical Engineer D. Wigley
Investigation Engineer E.L.D. Fooks
Measurement Scientist P.F. Bixley
Senior Engineering Officer W. Tawkai
Drilling Superintendent J.V. Englebartsen
Administration Officer M.V.d. Linden
Drilling Supervisor K.Mc Corkindale
Drilling Engineer S.M. Barnett
Measurement Scientist G.W. Hitchcock

Nýr Project Engineer Denton, var að taka við starfi Stilwells.

Fyrst var rætt við Stilwell og T. Mahon (Section leader DSIR) og skipulögð dvöl okkar í Wairakei frá 14. til 21. feb.

(T. Mahon, Section Leader DSIR geothermal division Wairakei).

Síðan voru jarðhitasvæðin í Wairakei og Broadlands skoðuð undir leiðsögn Boltons. Það helsta sem athygli vakti var:

- 1) Gufurennslismælir er við hverja holu.
- 2) Þrýstimælar voru á hverri holu og gufuskiljum en önnur mælitæki ekki.
- 3) Gufugildirur (spirax) sem tæma út þéttivatn sem safnast í condenspotta á gufulögnum, alls 600 stk á svæðinu (en á hverjum condenspotti eru tvær gufugildirur). Gufugildirur eru einnig á öðrum stöðum.
- 4) Niðurföll frá kjöllum er 10-24" í þvermál og er það gert til að gas safnist ekki fyrir í kjöllum.
- 5) Allt frárennsli frá hljóðdeyfum er leitt í steyptum stokkum.
- 6) Allir hljóðdeyfar eru með tveimur strokkum gerðir úr tré eða stálhólkum með steypulagi að innan (centrifugally cast) án járnbindingar.
- 7) Vatnsmagn er mælanlegt með yfirfallsmælingu og einnig þrýstingur á innstreymi í hljóðdeyfa.
- 8) Eftir 1975 hafa verið settar upp nokkrar tveggjaprepa gufuskiljur á Þorsvæðinu (Flash Plant). Flash Plant samanstendur af einni háþrýstiskilju, tveimur lágþrýstiskiljum og tveim stórum vatns-

miðlunargeymum. Vatnshæðarstýring frá háþrýstiskiljum er gerð með sérsmíðuðum nálarlokum í kverkplötu (orificeplötu). Ef vatn safnast í fyrsta vatnspott (condens carryover) á gufulögn frá skilju, þá lokar vökvastýrður (sjálfvirkur) loki fyrir rennslið inn í gufuskiljuna og annar loki hleypir rennslinu út í hljóðdeyfi. Á holutoppum og gufuskiljum eru sprengidiskar notaðir en venju- legir öryggislokar með gormi á gufulögnum. Vatnshæðarglös eru í gufuskiljum en enginn sjálfvirkur rekstursbúnaður á gufuskiljum eða holum.

- 9) Undirstöður fyrir skiljur eru heitgalvaniseraðar og málaðar með zinkmálningu og stenst vel gufuna.
- 10) Holutoppum er vel við haldið, sandblásnir og sprautaðir með álbronsmálningu sem þolir háan hita (carbonyl).
- 11) Holum sem ekki eru í notkun er haldið heitum með því að láta blæða í gegnum kæfingarstút og rennslið stillt á 1" loka og leitt burt í 1" röri ca 20 til 30 m frá holunni.
- 12) Þegar lokið er steypingu fóðringa er kröfsuð upp steypa milli fóðringa áður en hún harðnar, niður á ca 2-3 feta dýpi, sem síðar er fyllt upp með mól og 1/2" pípu stugnið ofaní til að ventilera þennan kafla. Gufueymur sást koma úr þessum pípum á sumum holum. Síðan er steyppt ofaná mölina með sandsteypu.
- 13) Nýlegar lagnir á svæðinu hafa hlíf úr álkápu og utan yfir ein- angrunina sem er ýmist magnesíum asbest eða fiberglas. Vegna hás kostnaðar við frágang á beygjum eru nú gerðar tilraunir með notkun á formuðum beygjum úr trefjaplasi (skálar) og hafa þær gefist vel.
- 14) Á svæðinu er verkstæði (25 menn) vel búíð tækjum, sem sér um við- hald á gufuveitu (hreinsumá skiljum) þeir hafa traktora búna lyfti- krönnum og loftpressum fyrir loftverkfæri auk smá vörubíla til verksins. Gufuveitan og skiljur (pressure vessel) eru tekin út árlega af Skipaeftirlitinu, um leið er notað tækifærið og borholur mældar. Þetta fer saman við upptekt á túrbínunum.
- 15) Á svæðinu eru tvær holur sem gefa þurra gufu og eru tengdar beint inn á gufuveitu.
- 16) Skoðaðar voru leifarnar af holu no 204 (2 = efra svæðið). Stór gígur. Sú hola blés stjórnlaust samfellt í 15 ár og var orðin að ferðamannaundri sem hótél og ferðaskrifstofur skipulögðu hópferðir

til. Þegar hún loks sofnaði útaf datt allur "business" niður hjá ferðaskrifstofum og hótelum. Gígurinn eftir holuna er ca 2x stærri en við KG-4 Kröflu. Ástæðan fyrir því að misst var stjórn á þessari holu var sú að öryggisfóðring, sem steipt var í holuna, var of grunn svo gufan braust upp á yfirborð utan borplansins. Það sem bjargaði börnum var að öll plön eru grautuð með sementi (consolidation grouting) vegna þess hve jarðvegur er laus í sér á svæðinu (vikur og aska). Auk þess höfðu NZdingar misst stjórn á annarri holu inn á svæðinu en með því að bora á ská inn í holuna tókst að kæfa hana. Ummerki hafa nú verið afmáð.

- 15) Við stöðina og á svæðinu starfa um 150 manns.
- 16) Reksturskostnaður er um 5 M\$, þar af eru 4 M\$ fjármagnskostnaður og um 1 M\$ viðhaldskostnaður. Þetta gildir fyrir bæði stöðina og svæðið.
- 17) Af stofnkostnaði orkuversins í heild er kostnaður borhola 10% af heildarkostnaði orkuversins. Stofnkostnaður gufveitu mun vaxa þegar farið verður að nota lágþrýstigufu. Bolton giskaði á að kostnaður myndi þá skiptast þannig að 10% væri fyrir borholur og 10% fyrir veitukerfi (sjá grein frá Pisa ráðstefnu gamalt 10%/16%).
- 18) Kjallarar kostuðu um 10000 \$ þegar borað var á svæðinu, þeir voru djúpir. Nú eru notaðir mjög grunnir kjallarar og borinn hækkaður upp, er það mun ódýrara.
- 19) NZED, sem rekur orkuverið, notar það m.a. til að þjálfa starfsmenn fyrir olíkynt orkuver, sem NZED byggir og rekur annars staðar í landinu. NZED telur rekstur jarðgufuorkuversins mun vandræðaminna en olíukyntra orkuvera vegna rekstrartruflana, en það gæti stafað af því hve nýlega sá rekstur er hafinn.

Síðan var Broadlandsvæðið skoðað og byrjað á að skoða T-12 borinn sem var að bora niurdælingarholu. Borinn getur borað í 4000 feta dýpi en hefur verið teigður dýpra, en mörkin eru þyngd fóðringa (styrkur masturs) því allar holur hafa raufuð rör í botn. Þeir miða við að fara ekki yfir 3/4 af hook load. Borað var með leðju fyrir fóðringum. Sandskiljur eru á leðju. Við þessa holu var ekki notuð leðjukæling því leðjukæliturn var í viðgerð. Enginn borloki var notaður en öryggislokar borsins, Shaffer og Hydrill, einu lokarnir. Þegar byrjað er á nýjum svæðum eru gjarnan einnig notaðir borlokar. Ef svo illa vildi til að holan kæmi

upp er settur í hana "retrievable bridge plug" meðan holuloka er komið fyrir. Þeir notuðu sellofansnifsi og sag til að þetta leka í borun. Þeir steypa úr pokum (20 pokar/min, 20 menn við steypingu). Ekið var um svæðið og að tæringaprófunarstöð sem var við holu No 22, afl 194 tonn/tíma (total), $P = 4.8$ bar. Prófuð er almenn tæring, þreytuþrófun, spennutæring (stress) í: gufu, þéttivatni, borholuvatni og loftblandaðri gufu (andrúmsloft). Tilraunir þessar eru gerðar til undirbúnings virkjunar Broadlandssvæðisins (Ohaki).

Á sama stað verða gerðar umfangsmiklar tilraunir á gerð eymþetta þar sem könnuð er sérstaklega eyðing brennisteinsvetnis, málmtæring og ýmsar gerðir eymsvala. Komið hefur verið fyrir föstum mælipunktum til að fylgjast með hallabreytingum á svæðinu (fjögur rör upp á endana, eitt í miðju, hin hringinn í kring). Skoðaður var hver sem heitir Ohaki hver en búast má við að stöðin verði kennd við hann. Þegar hefur verið borað fyrir um 120 MW afl í ca þrjátíu holum. Ráðgert er að dæla affallsvatni niður í holur boraðar í jöðrum svæðisins og hafa verið gerðar vissar tilraunir með niðurdælingu. Fyrirhugað er að staðsetja stöðina nokkuð hátt á hæðum á svæðinu og verða kælitumar notaðir en ekki árvatn eins og í Wairakei. Sjá frekari lýsingu í skýrslu MW, "Broadlands Geothermal Field Investigation Report" jún. 1977. og "Broadlands Geothermal Power Scheme, Report on the Disposal of Waste Fluids".

Skoðuð var grasköggglaverksmiðja sem tengd er einni holu á Broadlands-svæðinu en þar er "Lusern" eða öðru nafni alfa-alfa þurrkað með jarðgufu í beltisþurrkara (Fisher & Pykel Engineering). Gufuhiti er 150°C og er notaður til að hita loft upp í 130°C sem síðan þurrkar grasið. Hér er um tilraunaverksmiðju að ræða í eigu bænda. Hún hóf starfrækslu fyrir þremur árum. Sjáanlegt starfslið á staðnum var tveir menn. Afköst verksmiðjunnar er 1 tonn af þurru mjöli á tímann (6 tonn blautt) og gufunotkun 18000 lb/tíma. Alfa-alfa grasið er þurrkað úr 95% raka niður í 10% raka. Áætlanir eru uppi um að reisa grasköggglaverksmiðju sem framleiði um 12 tonn af þurru kögglum á tímann og mundi hún þurfa um 200.000 lb af gufu á tímann. Á sprettutíma er verksmiðjan í gangi

að staðaldri, þeir fá fjórar uppskerur á tímabilinu frá okt. til apríl/maí. Til að ná 12 tonn/tímann þarf um 5000 ekrur. Það verður að þurrka grasið sem fyrst eftir að það er slegið. Önnur grasköggla-verksmiðja er í notkun á NZ sem notar olíu við þurrkunina. Hún er ekki eins hagkvæm því þar er þurrkað með eldhitun og gæði grasköggla því ekki eins mikil.

Miðvikudagurinn 15. febrúar.

Sverrir sat fund þar sem mættir voru R. Bolton, Stilwell, Wigley og Hetrick frá MW, Studt, Mahon, James, Marsh, Walker og Braithwaite McDowel frá DSIR. Einnig sat fundinn Wilson og tveir aðrir ráðgjafaverkfræðingar. Robert D. Board frá ECOLAIRE CONDENSER fyrirtækinu í USA lýsti eimpéttum sem notaðir hafa verið við jarðgufuvirkjanir á Geyserssvæðinu í Californíu. Af 12 stöðvum sem nú eru í gangi á Geyserssvæðinu hefur ECOLAIRE (fyrirtækið hét til 1971, Condenser Division of Ingersoll - Rand) framleitt eimpétta í 8 stöðvar og hefur nýlega gert samning um smíði eimpétta í stöðvar 13, 14, 15. Við síðasttöldu stöðvarnar verða notaðir röraeimsvalar (surface-condenser) til að koma í veg fyrir mengun andrúmslofts af brennisteinsvetni. En fyrri stöðvarnar nota vatnsúða þéttingu (jet-condenser). Lýsti hann helstu rekstrarvandamálum sem fram hafa komið við rekstur eimpétta sem stöfuðu aðallega af óvissu um gasinnihald gufunnar, en við hönnun var miðað við 0.1 - 2%. Meðaltalið á Geyserssvæðinu er nú talið vera 0.55%. Við stöðvarnar sem nú eru í smíðum verður sogdælubúnaður (ejectors) af tveimur mismunandi stærðum notaður til þess að ráða við mismunandi magn af gasi á hagkvæman hátt. Frá sogdælum fer gasið gegn um Stretford process þar sem H₂S er dregið út og kemur út sem hreinn brennisteinn. Þessi tækjabúnaður til mengunaryarna er talinn kosta um 9 milljónir bandaríkjadala fyrir 100 MW stöð. Kostnaður rörapéttis er auk þess helmingi hærri en vatnsúðapétta sem hingað til hafa alltaf verið notaðir í jarðgufustöðum. PG og E hafa gert tilraunir til að kanna varmafærslustuðul og lökkun hans með tíma (fouling) vegna brennisteinsútfellinga. Röarakondensarnir eru hannaðir fyrir 4" Hg abs. og þrýstifall yfir þá 0.1" Hg. Í þá verða notaðir 3/4", 7/8" eða 1" rör úr 316 L ryðfríu stáli. Efnisþykkt 22 gauge. Á NZ er gert ráð fyrir ströngum kröfum um mengunarvarnir. Við hönnun Broadlands (Ohaki) stöðvarinnar er gert ráð fyrir ströngum kröfum um hreinsun H₂S frá orkuverinu. Umfangsmiklar vinnslutækniprófanir munu hefjast í maí 1978 þar sem kannað verður með hvaða hætti heppilegast sé að losna við H₂S. R. Brathwite og B. Walker lýstu síðan fyrirhuguðum tilraunum en þar verða reyndir vatnsúðakondensar af nokkrum gerðum, röarakondensar og kælitum.

Þar verður könnuð losun H_2S , málmtæringarathuganir (titanium, 316L, MS og álbrass). Stefnt er að því að þéttivatn innihaldi ekki meira en 0.5-1.5 ppm H_2S og að H_2S í andrúmslofti sé ekki meira en 0.03 ppm. Engar ákveðnar kröfur Heilbrigðiseftirlitsins hafa þó verið settar fram í þessu sambandi. Rætt var síðan nokkuð um gerð eimsvala (t.d. sideoutlet) og eins um val kæliturna (Marley, parabolic og cooling pond). Talið er að mótordrífnað sogdælur og parabolukæliturnar verði notaðir í meira mæli í framtíðinni vegna lægri orkunotkunar. Vegna hönnunar á Broadlandsstöðinni er NZED að gera umfangsmikinn samanburð á notkun ejectora, roterandi sogdæla og stimpildæla.

Valgarður og Sigurður ræddu allítarlega við Dr. P.F. Bixley um mælingar í borholum og prófun borhola. Kom þá m.a. eftirfarandi fram.

1. Á NZ eru eingöngu notaðir Kuster mælar til mælinga á þrýstingi og hitastigi. Notaðir eru VITON O-hringir til þéttinga á mælum en auk þess eru settir koparþéttihringir yst á þéttingarsætið sem virkar sem metallic seal. NZ hafa góða reynslu af notkun KUSTER mæla, einkum eftir að klukkum þaðan hefur verið breytt þannig að notað er svokallað "L-High temperature escapement". Þessar klukkur hafa nú verið í notkun í 2 ár. Valgarði sýndist þetta escapement líkjast því sem Amarada notar í sínar VHT klukkur. Eldri gerð hitamæla sem notað var á NZ er svokallað Geothermograph sem notar bimetalelement án klukku. Nákvæmni slíks mælis er ekki mikil og hefur nú verið hætt að nota þá.
2. Þau hitaelement sem nú eru í notkun á NZ eru bimetal element frá KUSTER. Þau spanna yfir 300°C hitasvið. Þessi element eru talin mun áreiðanlegri en bourdon element og eru NZ nú hættir að nota element af þeirri gerð.
3. Nýsjálendingar kvarða sjálfir sína mæla og hafa þeir fundið allt að 10°C mun á sínum kvörðunum og uppgefna kvarðanum frá KUSTER. Þeir gefa upp mælinákvæmni upp á ±2°C en telja að nákvæmnin sé yfirleitt ± 1°C.
4. Hita- og þrýstimælar eru kvarðaðir í olíubaði, þannig að sama baðið má nota bæði fyrir hita og þrýstimæla. Olían sem notuð er,

er Dow Coring 210 eða 210 H. Hægt er að kvarða upp að 300°C og við það hitastig hefur olían þanist út um 50%. Notaður er "dead weight tester" fyrir þrýstikvörðun. Viðmiðunarhitamælur eru nákvæmniskvikasilfurshitamælur. Bixley lét okkur í té nákvæma vinnuteikningu af kvörðunarbaði. Hitastig kvörðunarbaðs er stjórnað af 7 hitaelementum (1x2000 W, 2x1000 W, 2x500 W og 2x200 W). Kvörðun er gerð manúelt og tekur 2-3 daga að kvarða hitamæla en ca hálfan dag að kvarða þrýstimæla. Við kvörðun þrýstimæla er ekki gengið út frá "base line" heldur notuð 500 psi sem viðmiðunarþrýstingur. Þrýstimælur eru yfirleitt af bourdon gerð með filter í neðri enda sem passar á opna enda bourdon rörsins.

5. Kvörðun er teiknuð upp á A2-blað og teikning notuð til að ákvarða mældan hita og þrýsting. Kvörðun er gerð á ca 3 mánaða fresti. Yfirleitt eru mældar 3-4 holur á viku en alls eru um 300 holur sem þarf að líta eftir og mæla. Auk þess er viss mæliþjónusta við borun hola en yfirleitt er ekki byrjað að mæla holur fyrr en borun lýkur. Boraðar hafa verið ca 6 holu á ári á NZ. Tveir menn sjá um mælingar í borholum og mynda einn mæliflokk. Einn maður er á verkstæði og sér um viðhald og kvörðun mæla. Auk þess eru tveir mæliflokkar við að gera rennslismælingar og lektarprófanir. Mælingamenn sjá ekki um úrvinnslu mælinga, heldur sér Bixley og aðrir um það verk.
6. Við könnun á fódurrörum er notaður 32 arma kaliper frá Otis en hann skráir holuvídd á svipaðan hátt og Amarada og Kuster. Fyrsta aðgerð eftir fódrun er að kanna fódningu með þessum víddarmæli.
7. Í þróun er borholuhitamælur sem skráir hitastig á yfirborði. Notaður er platínuskynjari tengdur við brú á yfirborði. Mælikapall er 3/8" vír frá VECTOR með teflon eingangrun. Hannað hefur verið sérstakt mælihöfuð sem er fast á kapalenda og fyllt með silikonolíu DC - 210H. Mælihausinn er með bullu þannig að gert er ráð fyrir að alltaf sé yfirþrýstingur inni í mælihöfði og þannig geti ekki lekið inn í hann. Ennþá hefur þessi útbúanður ekki verið í notkun nema 6 mánuði og ekki mældur nema um 200°C á þennan hátt. Bixley taldi þó að hægt yrði að mæla hita upp í 250°C (við fyrri viðræður við Bolton taldi Bolton ekki vandkvæði á að mæla allt að 300°C á þennan hátt).

8. Prófanir á holum að borun lokinni eru eftirfarandi:

- a) Víddarmæling á fóðurrörri
- b) Dæla 7 l/s í 3 tíma til að fá stábilt vatnsborð og hitamæling gerð til að staðsetja vatnsæðar.
- c) Setja niður þrýstimæli nokkuð niður fyrir vatnsborð.
- d) Dæla 25 l/s í hálf tíma.
- e) Hætta dælingu og bíða 1 tíma.
- f) Láta þrýstimæli þar sem vatnsæð er talin vera.
- h) Dæla 7 l/s í hálf tíma (base line).
- j) Dæla 25 l/s í hálf tíma.
- k) Stoppa dælingu í 1-2 tíma.

Við athugun á þrýstibreytingum sem verða við ádælingu 25 l/s er notuð sú þumalputtaregla að ef þrýstingsaukning er $\Delta P < 1$ bar er holan góð ef $\Delta P \sim 4$ bar er um að ræða miðlungsholu en ef $\Delta P \geq 10$ bar er holan slæm. Síðan er holan látin hitna upp í ca 30 daga og gerðar hitamælingar til þess að fylgjast með upphitun. Þá er holan látin blása lóðrétt beint upp í loftið og mældur krítiskur þrýstingur. Holan er látin blása svona í ca 2-4 tíma. Eftir það er tekin ákvörðun á grundvelli afkasta holunnar um hvort setja skuli útblástursbúnað og hljóðdeyfi á holuna. Ef svo reynist vera, er komið með færanlegan útblástursútbúnað og hann tengdur við holuna. Þessi útbúnaður er mjög svipaður og nú er notaður í Kröflu, þ.e.a.s. krítiskur stútur blæs inn í hljóðdeyfi og vatn mælt í stokki með v-yfirfalli. Þá eru einnig gerðar hita- og þrýstimælingar í blæstri og auk þess mælt "shut in pressure build up". NZ telja ekki vandkvæði á að mæla holur í blæstri svo fremi sem rennslið sé minna en 50 kg/s. Þeir þyngja mælinn með ca 20 kg lóði og nota stýrirör niður fyrir útblástursté. Í mælingu í blæstri mæla þeir þunga vírsins og ef þunginn er minni en 15 kg er mælingu hætt til þess að forðast flækju í holunni.

Bixley lét okkur í té skýrslu um prófanir á einni holu sem lýsir nokkuð nánar hvernig að þessum málum er staðið.

Skóðaðar voru mælikerrur sem notaðar eru við mælingar í borholum. Eru þær einfaldar í uppbyggingu með beinni tengingu frá bensínmótor í mælitrommlu. Þvermál mælitrommlu var ótrúlega lítið. Kjarninn varla meira en 30 cm.

Farið var út á Rotokawa svæðið og skoðaður útblástursútbúnaður á holu þar. Var hann sem fyrr segir mjög áþekkur því sem er í Kröflu en þannig gerður að hann er boltaður saman og meðfærilegri í uppsetningu en útbúnaðurinn í Kröflu.

Holur á Rotokawa svæðinu voru boraðar vegna brennisteinsvinnslu þar, sem nú er hætt fyrir ca einu ári. Svæðið er mjög heitt (308°C) en holur frekar lélegar. Á svæðinu sáum við m.a. gufusprengigíg sem var mjög djúpur en ekki sambærilega víður. Á svæðinu sáum við einnig stóran trjából sem hafði grafist í ösku þar fyrir ca 2000 árum.

Í samtali við Basil Stilwell þennan dag, svo og í samræðum áður við R. Bolton og Tom Lumb sitt í hvoru lagi kom í ljós að NZ er nú í þann veginn að byrja mjög umfangsmikið jarðhitaprógram. Þar sem vatnsafl NZ er nú þegar virkjað að mjög miklu leyti þarf að taka ákvörðun um hvort NZ fer að framleiða raforku með kjarnorku eða hvort aðrar leiðir komi til greina. Eftir allmiklar umræður og athuganir var sú ákvörðun tekin að nýta jarðhitann áður en farið yrði út í notkun kjarnorku. Þessar aðstæður breyta mjög viðhorfi manna til jarðhita-notkunar. Þetta þýðir t.d. að í framtíðinni verður nýtt jarðhitasvæði að vera tilbúið til notkunar á fjögurra ára fresti. Þetta þýðir líka að við djúprannsókn jarðhitasvæðis með borunum er ekki tími til þess að bíða eftir niðurstöðum borana til þess að ákveða hver eða hvort borunum verður haldið áfram. Í nágrenni Auckland er nú verið að kanna hvort þar sé fyrir hendi nothæft jarðhitasvæði. Þar voru staðsettar 12 borholur í byrjun og verða þær allar boraðar. Að því loknu verða holur reyndar og síðan tekin ákvörðun um hvort ástæða sé til að halda áfram borunum á svæðinu. Þúist er við að svipaðar aðferðir verði notaðar við rannsókn annarra svæða. DSIR, sem er ráðgjafaraðili MW um staðsetningu hola, hefur gengist inn á þennan vinnumáta. Stærð þessa prógrams um nýtingu jarðhita sést t.d. á því að þúist er við að bora þurfi um 400 holur sem þurfa að framleiða um 2000 MW af raforku, þ.e.a.s. um 5 MW frá hverri holu. Nú bora NZ um 6 holur á ári en með því að kaupa tvo bora í viðbót stefna NZ að því að bora 16 holur á ári. Prógramið spannar því yfir næstu 25 árin. Að lokum er rétt að geta þess að allar holur verða hannaðar og boraðar sem vinnsluholur. Svo kallaðar rannsóknarholur eða "slim hole" eru NZ nú hættir að bora.

Fimmtudagur 16. febrúar 1978.

Dvalið hjá DSIR í Wairakei. Fyrst var rætt við Tony Mahon, Section Head fyrir Geothermal Section í Wairakei. Við lýstum fyrir honum kemiskum aðstæðum í Kröflu og ýmsum nýtingarvandamálum svo og kísil- og kalsítútfellingum, jární í vatni og miklu gasi. Hann fékk hjá okkur töflu um efnasamsetningu vatns og grein Gests og Trausta um efnafræði efra kerfis. Honum voru sýnd sýni af útfellingum. Hann hafði áhuga á að fá sýni og fékk hann hluta af þeim sýnum sem við vorum með. DSIR hefur nýlega gert tilraunir með uppleysanleika járn-súlfiða (sjá Stewart 1977) og kemur þar fram að ofan við 280°C eykst uppleysanleiki jármsins mjög ört. Einnig er uppleysanleikinn meiri við lægri pH gildi. Mælingar ná yfir uppleysanleika á pyriti og pyrhotite milli 160°-300°C. Tony ætlaði að athuga hvort tilraunir hefðu verið gerðar við hærri hitastig. Á NZ hefur komið í ljós að járn er hvati á kísilútfellingar (nucleation) en hvataáhrifin verða við oxiderandi skilyrði t.d. þegar jarðhitavatn kemur í snertingu við súrefni og hefur þessara áhrifa orðið vart þótt ekki sé nema 0.1-0.2 ppm Fe í vatninu. Svipuð verkun verður af antimonsúlfiði en magn af antimoni í jarðhitavatni á NZ er mjög hátt. Þar sem jarðhitavatn í Kröflu er reducerandi var Tony Mahon undrandi á járnkísil útfellingum. Í tilraun sem Mahon hefur gert með uppleysanleika kísils úr bergi við 300°C kom í ljós að vatnið gat uppleyst meiri kísil en samsvarar kvartsmettun og allt að uppleysanleika amorf kísils. Síðan féll kísillinn hratt út niður að kvartsmettun. Útfellingin var amorf kísill en ekki kvarts. Mahon benti á að svipaðar aðstæður og útfellingar væru á Matsukawa í Japan. Út frá þessu skaut hann fram þeirri hugmynd að e.t.v. væri hægt að skýra útfellingarnar vegna niðurstreymis kaldara vatns (210°C) niður í heita kerfið (320°C). Þessi skýring virðist þó ekki vera í samræmi við athuganir á holu KJ-11. Eftir hádegið tók Russel James einnig þátt í umræðunum og var þá farið að ræða hugmyndir manna um jarðhitakerfið í Kröflu og gátu þeir Mahon og James þá sagt frá reysnlu sinni við boranir í jarðhitasvæði á virkum eldstöðvum (Indonesia, Nicaragua, Hawaii). Hitastig á þessum svæðum er hátt, 346°C í Nicaragua. Russel James greindi frá blásturseiginleikum mjög heitra hola og aðferð sem hann hefur notað til að ákvarða botnhitastig úr frá maximum discharge pressure (hámarksvinnluprýstingur, ekki lokunarprýstingur).

T.ð. gaf R.J. upp að botnhitastig holu með MDP = 30 bar væri 264°C. Botnhitastig í holu KJ-9 við vinnslu hefur mælst 265°C. Reynsla R.J. á heitum svæðum með sprunguinnstreymi er að svæðin þorna með tímanum. Þetta kemur vel heim við holu KJ-7. Lýst var nokkuð hugmyndum okkar um framhald borana í Suðurhlíð Kröflu og frágangi hola.

Sverrir ræddi einnig við tvo sérfræðinga í málmtæringu þá T. Marshall og W.R. Braithwaite. Þeir vinna nú að mál- og málmtæringarrannsóknum vegna fyrirhugaðrar virkjunar Broadlands. Tilraunin hefur staðið yfir í 3 ár og er könnuð almenn tæring, spennutæring og þreytuprófanir. Samkvæmt athugunum þeirra á stáltegundum sem notaðar eru í fóðurrör er notkun "high strength steel" varhugaverð jafn vel þótt framleiðendur bjóði efni sem sulphate resistant stál. Sérstaklega ber að varast að gufa þéttist í slíkum törum og af þeirri ástæðu vara þeir við að lokað sé algjörlega fyrir borholur. M.a. af þessari ástæðu láta NZ alltaf blæða gufu um kæfingarstút þegar lokað er fyrir aðal-loka holu. Ennfremur var rætt um notagildi hrað tæringa-prófana með aðstoð Korrater og Korrosimeter. Þeir hafa slæma reynslu af Korrater en eru að reyna að próa aðferð til að nota Korrosimeter. Þeir munu afhenda greinar um prófanir á fóðurrörum og athugun sem gerðar hafa verið á tæringu í Wairakeirafstöðinni. Þar er túrbínuhjól enn í notkun eftir 15 ára keyrslu.

Föstudaginn 17. febrúar.

Dvöldum hjá DSIR allan daginn nema milli kl. 10-12 meðan stöðvarhúsin í Wairakei voru skoðuð. Rætt var við stöðvarstjórann J. GIRARDIN og kom þá fram að heildarstarfsmannafjöldi við Wairakeistöðina er um 150 manns. Í sjálfu stöðvarhúsinu eru 25 manns í vaktavinnu en auk þess eru 48 dagvinnumenn við viðhald. Um 25 manns vinna við eftirlit með gufuveitu og skiljum. Auk þess sér Wairakeistöðin um viðhald á 30 MW vatnsorkuverinu í Aratiatia. Búist er við að Wairakeistöðin sjái um fyrirhugaðan rekstur á Broadlandssvæðinu. Á þriggja ára fresti eru túrbínur teknar upp. Upphaflega var stöð A, byggð 1958, hönnuð fyrir 185 psi inntaksþrýsting á háþrýstiprepi en er nú rekin við 100 psi inntaksþrýsting vegna þess að þrýstingur á jarðhitasvæðinu hefur lækkað.

Stöð B, byggð 1963, var hins vegar hönnuð fyrir 50 psi inntaksþrýsting. Stöð B hefur 90 MW afl í þrem samstæðum en uppsett heildarafl beggja stöðvanna er 190 MW. Vegna þrýstifalls á háþrýstiprepi er heildaraflid nú um 160 MW. K. Wilson aðstoðarstöðvarstjóri sýndi okkur stöðina og lýsti helstu vandamálum í sambandi við viðhald. Kom þá m.a. í ljós að túrbínur væru látnar snúast hægt með gufu í tómagangi til þess að forðast tæringu þegar, þær eru ekki í notkun. Mjög mikilvægt er að hafa kondensatpotta á aðfærsluæðum að stöðvarhúsi. Fjarlægð milli potta er um 500 fet. Settir hafa verið gluggar á aðfærsluleiðslur og sést þá að kondensvatn rennur eftir botni leiðslanna. Gufuhraðinn er um 40 m/s og hámarksgufuhraði um 50 m/s. Engar sérstakar rakamælingar eru gerðar fyrir stöðina en á aðfærsluæðum eru tveir flotrofar annar fjærri sem gefur viðvörðun en hinn nálægt stöðinni og slær hann stöðinni út, ef potturinn fyllist af vatni. Flóknari viðvörðunarbúnaður var tengdur stöðinni í upphafi, en vegna rekstrartruflana sem hann olli var hann tekinn úr notkun. Eftirlitsbúnaður með gufuveitu er mjög fábrotinn í stöðvarhúsi, en farið er á hverja holu tvisvar á dag og er þá holuþrýstingur, skiljuþrýstingur og gufumagn skráð. Skoðuð var viðgerðaraðstaða í stöðinni og miðar hún að því að fullnægja allri viðgerðarþörf. M.a. er þar stærsti rennibekkur á NZ. Við hreinsanir á túrbínublöðum hefur áloxið (súrál) reynst

best við sandblástur. Að lokum sagði Wilson okkur að framleiðslukostnaður Wairakeistöðvarinnar væri 0.7 cent/kwh en í vatnsorkuverum væri kostnaðurinn 0.4 cent/kwh. Hins vegar er kostnaður kola- kyntra stöðva um 3 cent/kwh.

Russel James fræddi okkur um helstu vinnslutæknilitraunir sem gerðar hafa verið á síðustu árum á NZ vegna Broadlands. Tilraunir er verið að gera með eimsvala, kæliturna og eyðingu á gasi frá eimsvala með Stetford process. Einnig hafa verið gerðar tilraunir með kísilút- fellingar borholuvatns vegna niðurdælingar (reinjection). Í ljós hefur komið að útfellingar verða ekki nema vökvinn komist í snertingu við súrefni. Einnig má komast hjá útfellingu með því að sýra vatnið (sjá Rotbaum). Þriðja aðferðin er að láta kísil setjast til í af- fallslóni. Gerðar hafa verið tilraunir á gufulögnum með tveggja fasa streymi. Þrýstifall^{fall} og streymisgerð hefur verið könnuð og voru niður- stöður í samræmi við fyrir niðurstöður Lochart - Martinelli og Baker. Við hönnun á tveggja fasa lögnum hefur R.J. miðað við 30 m/s gufu- hraða. R.J. sagði okkur einnig frá snjallri aðferð til að mæla partialþrýsting gass í rennsli frá holu. En partialþrýstingur segir til um magn gass í gufunni. Aðferðin byggir á því að mæla mismunag- þrýsting milli þrýstings í gufuleiðslu og suðuþrýsting eimaðs vatns við sama hitastig og er í gufuleiðslunni. Einnig var rætt við R.J. um aflmælingar og hvaða áhrif gas hefði á þær aflmælingar sem hann er höfundur að og eru nú notaðar um allan heim, m.a. í Kröflu. Kom þá m.a. í ljós að ef gasmagn er minna en 10% af þunga gufu eru áhrif gassins innan við mörk mælinákvæmni. Annars þarf að draga partial- þrýsting gassins frá mældum krítiskum þrýstingi.

Efnarannsóknastofa var skoðuð í fylgd með Bruce Finlayson. Mæli- aðferðir eru mjög svipaðar og á Íslandi nema hvað atomic absorption tæki er notað við greiningu á fleiri efnun en nú tíðkast í Keldna- holti (til dæmis kísill og ál). Sérstakar leiðbeiningar um notkun NZ á atomic absorption tæki fékkst (sjá Goguel 1972). Almennar efna- greiningar eru gerðar í Wairakei en ísótópagreiningar og greiningar sporefna fer fram í Wellington. Verið er að innleiða greiningu á spor- efnun í Wairakei og var rætt við Goguel um framkvæmd þeirra. Þau spor- efni sem greina á eru kvikasílfur, beryllium, ál, tungsten, molybden,

blý, zink, kopar, cadmium og titan. Rætt var við hann um greiningu á áli í vatni og lagði hann til að aðferð Barnes 1977 yrði notuð en þó yrði að affjölliða kísilinn í 10 normal lút til að fá álið í upplausn. Rætt var við Finleyson um tölvureikninga á samsetningu djúpvatns sem svipar mjög til þeirra sem gerðir eru á OS en að auki hefur DSIR útbúið GEODATA program þar sem allar efnagreiningar eru geymdar. Auðvelt er að gera samanburð og teikna upp stærðir að vild, með notkun þess.

Rætt var við T.M. Hunt og Dowson hjá Geophysical Division. Hunt hefur mest fengist við þyngdarmælingar og notað þar m.a. til þess að ákvarða innstreymi á jarðhitasvæði. (Sjá Hunt 1977). Dowson fæst hins vegar við mælingar á rafleiðni en á NZ eru viðnámsmælingar talðar vera besta jarðeðlisfræðiaðferin við könnun jarðhitasvæða. Við fyrstu könnun er reynt að ákvarða útlínur svæðis með lengdarmælingum. Notaðar eru straumarmar 500, 750 og 1000 m. Í hverjum mæliflokki eru 2 menn. Tveir flokka eru við mælingar. Vanaleg afköst flokks eru 8 mælingar á dag. Aðrar aðferðir svo sem "rowing dipole" eru líka notaðar. Staðsetning dýptarmælinga er síðan gerð þannig að mælingarnar fari ekki yfir lóðrétt viðnámskil. Á Broadlandssvæðinu er áætlað að koma upp föstum mæliskautum og athuga hvort viðnámskillin færast til við vinnslu svæðisins.

Mánudagur 20. febrúar

Valgarður ræddi allítarlega við G.W. Hitchcock, scientist hjá M.W. Hitchcock hefur nú um langt skeið unnið að því að halda saman mælingum af Wairakei-svæðinu og reynt að finna út hvernig heppilegast væri að reka svæðið til langframa. Hann hefur auk þess athugað hvernig hagkvæmast sé að standa að upplýsingasöfnun um viðbrögð svæðisins við nýtingu með það markmið í huga að besta (optimisera) nýtinguna. Niðurstöður Hitchcock eru athyglisverðar og fylgja ekki troðnum slóðum. T.d. virðast gögnin frá Wairakei bera það með sér að það gefi betri upplýsingar að gera eina nákvæma mælingu á ári t.d. með því að mæla holu þrisvar sinnum samdægurs, heldur en að gera þrjár mælingar á ári á fjögurra mánaða fresti.

Svo sem kunnugt er, hefur magn gufu (einkum háþrýstigufu) farið minnkandi á Wairakeisvæðinu. Í byrjun nýtingar lækkaði þrýstingur á svæðinu vegna niðurdráttar en nú er svo komið að innrennsli á nýtingarsvæðið er nokkurn veginn jafn mikið (ca 90%) og rennsli frá borholum. Þrýstingslega séð er svæðið því nokkurn veginn í jafnvægi. Hins vegar minnkar gufumagnið jafnt og þétt. Skýringuna á þessu telur Hitchcock vera þá að vegna hins mikla niðurdráttar á svæðinu er efsti hluti svæðisins kominn í suðu og staðreynd er að a.m.k. tvær holur á svæðinu gefa hreina gufu og ekkert vatn. Við þannig vinnslu er varmi dreginn úr berginu ofarlega og bergmassinn kólnar. Þessarar áhrifa gætir ekki bara í þurr-gufuholunum heldur á svæðinu öllu. Þannig lækkar hitastig einnig í þeim holum sem taka inn bæði gufu ofarlega og vatn neðar í holu. Að mati Hitchcock er þessi hitastigslökkun meginorsök þess að gufu-framleiðsla svæðisins fer minnkandi, jafnvel þó svæðið sé í þrýstijafnvægi. Niðurstöður Hitchcoks eru því þær að sem langtímalausn sé heppilegast að loka þeim holum sem framleiða þurra gufu og bora í þeirra stað 3-4 holur sem hafa innstreymi á meira dýpi og þá í hreinum vatnsfasa. Með því móti telur Hitchcock mögulegt að halda innstreymishitastigi óbreyttu og lengja nýtingartíma svæðisins. Miðað við rekstur Wairakeistöðvarinnar næstu 5 árin virðast grófir útreikningar sýna að þessi aðferð gefi meiri arð en að halda áfram að nýta þurr-gufuholurnar. Í samtali við R. Bolton 22/2 kom í ljós að ráðleggingar Hitchcock hafa

ekki fengið mikinn hljómgrunn hjá rekstraraðilum jarðhitasvæðisins enda hafa þurrghufuholur ætíð verið taldar heppilegustu borholur til raforkuframleiðslu. Hins vegar gefa niðurstöður Hitchcock tilefni til umhugsunar hvaða leiðir skulu valdar þegar nýting jarðhitasvæðis fer að nálgast hámarksafköst og þar sem inntaksþrýstingur á túrbínur er til-
tölulega hár.

Valgarður ræddi einnig við þá T. Mahon og R.B.Glover hjá DSIR þennan dag. Umræður við Mahon voru nokkuð almenns eðlis um jarðhitarannsóknir og þá einkum notkun efnafræði við könnun og eftirlit með jarðhitasvæðum. Greindi Mahon t.d. frá því, að þau atriði jarðefnafræðinnar, sem mest áhersla hefði verið lögð á á síðustu árum á NZ væru: Notkun gastegunda til ákvörðunar á hitastigi, notkun isotopa í sama tilgangi og greining sporefna (trace element). Megin ástæðan fyrir því að meta hitastig með efnajafnvægi milli gastegunda frekar en að styðjast eingöngu við kísilinnihald er sú að efnajafnvægi gastegunda breytist hraðar en konsentration kísils. Þannig sjást breytingar á jarðhitasvæði fyrr í gassamsetningu en í kísilhita. Þetta atriði skiptir máli við eftirlit með jarðhitasvæðum. Notkun isotopa hefur gefið allgóða raun við ákvörðun á hitastigi og er nú almennt notuð samsíða öðrum aðferðum svo sem kísil, Na - K - Ca, gas. Notkun sporefna er enn í þróun og ekki fyllilega ljóst ennþá hversu mikil not eru af slíkum greiningum. Greint var lauslega frá þeim niðurstöðum sem fengist hafa í Kröflu með greiningu á Hg, As og Ra.

Glover greindi stuttlega frá þeim aðferðum sem notaðar eru við að nota gastegundir sem hitamæli. Tvær efnajöfnur eru notaðar. Annars vegar

$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ Ef gert er ráð fyrir að efnahvarfið sé í vatnsfasa gildir:

$$k_2 = \frac{P_{\text{CH}_4} \cdot P_{\text{W}}^2}{P_{\text{CO}_2} \cdot P_{\text{H}_2}^4} \quad \text{og} \quad k_2 = k_1 \cdot P_{\text{W}}^2 \cdot Q_A = \frac{X_{\text{CH}_4} \cdot X_{\text{W}}^2}{X_{\text{CO}_2} \cdot X_{\text{H}_2}}$$

Hitastig fæst þá úr jöfnunni $T_{\text{CH}_4} = 523 - 13.02 \log K_2$

Hitt efnajafnvægið sem er notað er $3 \text{H}_2 + \text{N}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$

og fæst þá svipuð hitastigs jafna $T_{\text{NH}_3} = 466 \cdot 18.31 \log k_2$

T er hitastig í °C. Nokkuð betri lausn fæst með því að nota

$$k_2 = 40,85 - 0,0843 T$$

Að lokum ræddi Valgarður stuttlega við L.E.Klyen hjá DSIR en hann hefur bæði hannað sýnatökutæki til að taka djúpsýni og einnig sýnatökuskilju til sýnatöku við holutopp. Var sýnatökutækið skoðað en helstu kostir þess eru að í því er ekki klukkuverk sem yfirleitt er háð hitastigi, heldur opnast tækið með því að rykkja skyndilega í mælivír. Klyen taldi ekki vandkvæði á að nota tækið í allt að 300°C hita og sagði hann að tækið hefði verið notað niður á allt að 2000 m dýpi. Sýnatökutækið er nú framleitt fyrir almennan markað.

Mánudagur, 20. febrúar.

Sigurður og Sverrir ræddu við E.L.D.Fooks investigation engineer (yfirborverkfraðingur) um bortaknileg atriði. NZ áforma að kaupa Halliburton eða Byron Jackson steypudælur og tilheyrandi steypubúnað. Þar á meðal verða keyptir tveir 50 t sementtankar fyrir laust sement og verður blásið úr þeim með loftþrýstingi. Búnaður þessi verður keyptur fyrir tvo nýja bora sem áformað er að kaupa og er áætlað að steypubúnaðurinn kosti um \$300.000 sem er um 10% af kaupverði nýs bors. Nú er unnið að útboðslýsingu á tveimur 7000 ft. borum (Gufuborsstærð) og er áætlað verð \$3-4 milljónir á bor. Nýbúið er að kaupa notaðan 15.000 ft. bor til oliuborana og kostaði hann \$4 milljónir.

Varðandi boranir var það helsta sem kom fram eftirfarandi:

- 1) Leðjuþyngd í borun er 70-75 lb/ft³. Steypuþyngd er 108 lb/ft³. Sement er tekið úr sementsgeymum (2x35 t) og er vog á geymunum.
- 2) Vatn er mælt inn á jet mixara (dæluslög, vatn í kerjum). Frá jet mixaranum fer sementsefjan í 400 gal. ker. Hrært er upp í kerinu með því að hluta af steypunni er hringdælt með steypudælunni. (by pass).
- 3) Þrýstingur í holu er yfirleitt hærri þegar verið er að bora með leðju en frá steypusúlunni við steypingu þrátt fyrir eðlisþyngdarmun.
- 4) Holur eru ekki þrýstiprófaðar fyrir steypingu, til að kanna þrýstistyrk holuveggja. Tap í borun fyrir steypingu er þétt með því að auka GEL styrk leðjunnar. Ef það dugar ekki er tapefnum dælt niður (sag, cellofan) og ef það dugar ekki er steyppt með pozzolan sementi. Fyrst er steypptur tappi neðan við lekann og síðan er steyppt upp að lekanum og þá þrýst ofan frá til að steypan gangi út í bergið (squeeze cementing)
- 5) Helstu ástæður fyrir leðjunotkun eru:
 - a. Til að koma í veg fyrir myndun skápa í borun (wash - out)
 - b. Til að halda holunni kæfðri í borun (leðja þyngri en vatn)
 - c. Til að halda holunni þéttri í borun fyrir steyptri fóðringu.
- 6) Leðjukerin taka um 1800 gal.

7) Samkvæmt upplýsingum frá Ian Innes er leðjunotkun í 3000 ft. holu eftirfarandi.

Bentonit	50-100 tonn
Tannin	1 "
Lignosulphonate	2 "
NaOH	1 "
CMC	1/4 "
Mica	1/4 "
Cellophane	1 "

8) Fyrir borun er gerð nákvæm verklýsing á framkvæmd borunarinnar og fódurröraprógrammi. Við fengum verklýsingu fyrir vinnsluholu og niðurdælingaholu. Einnig fengum við kostnaðarsundurliðun fyrir tvær holur. Holur á Broadlands kosta um 170 - 280 þús \$ og er kostnaður á hvern metra \$250 - 300.

9) Þegar liner er settur saman með múffum eru keyptar "special clearance" múffur, t.d. er í stað 7 5/8 normalmúffa á 7" liner notaðar 7 3/8 múffur. Liner er nú settur saman á Hydril gengjum. Allar fóðringar eru keyptar af framleiðanda með gengjum. Liner stendur yfirleitt á botni holunnar og er honum slakað niður á J - SLOT (BALL - ROSS) tengi. Slétti linerinn (Hydril) er notaður til að hægt sé að ná honum úr holunni til eftirlits en hann er tekinn upp með sérstöku tengistykki (spear).

10) Holufláns er skrúfaður á efsta fódurrör 13 3/7". Þar ofaná er flánsað millistykki (expansion spool piece) sem hvort tveggja er keypt tilbúið (Schaffer). Á millistykkinu er hafður einn flánsaður 2" kæfingarloki. Holulokar eru allir WKM framleiddir í Houston seria 900. Aðeins er einn aðalholuloki á hverri holu.

11) Ekki er borað í gegn um borloka nema á áður ókönnuðum svæðum. Aðeins er notast við öryggisloka borsins (Schaffer og Hydril).

12) Borkjallarar eru allir grunnir en borinn er settur á hækkaðar undirstöður. Ef hola kemur óvænt í gos er settur tappi (retrievable bridge plug) í fóðringuna á meðan verið er að koma fyrir holuloka. Skoðuðum við tappa af þessari gerð en þéttingin er úr Viton vegna hitaþols.

13) Holur eru hallamældar í borun á 200 ft bili og framkvæma bormenn mælinguna. Notaður er ein Monel álagsstöng (non-magnetic). Ef hola fer í spíral er það talið stafa af "drill string make-up" en ef holan skekkist í eina átt er það talið stafa af jarðlögum.

14) Borað er með 6 3/4" álagsstöngum með 8 1/2" krónu. Þeir setja ekkert í holuna sem ekki er hægt að bora utanyfir (wash-over) og fiska upp.

15) Afköst T-12 borsins er

Mastursstyrkur	180.000 lb
Hook load	120.000 "
Normal rating	2.500 ft
Mesta bordýpi	5.000 "
Oftast borað	3-4.000 "

Fóðringartími " 8 5/8" fóðringa, 2000 ft djúpra, er 7 tímar. Yfirleitt hefst fóðrun á miðnætti en síðan er steypt að morgni og eru 20 menn við það þegar sementið er sekkjað. Afköst eru þá 20 þokar á mín. Rætt var einnig við D.Wigley mechanical engineer.

1. Kæliturn er notaður við borun sem settur er ofaná kerin. Turninn er á hjörum að neðan og er lagður niður í kerid í flutningi. Stærð turnsins er: lengd 11'8" breidd 6'8" hæð 23'. Efst í turninum er vifta (afköst 50.000 CFM af lofti, þrýstifall 0,7" W.G. Notar 10 hö, snún. 1550 rpm). Leðjumagn sem dælt er um turninn er 300 gpm.

2. Gufulokar eru allir með Stellite harðsuðu yfirleitt 6/6 eða 6/12. Sjá nánar útboðslýsingu á holulokum sem Wigley hefur gert.

3. Skoðaðar voru teikningar af nálar - kverkplötuloka sem notaður er við að stilla vatnshæð á gufuskiljum. Lokinn er sérhannaður af Wigley og hefur gefist vel.

4. Inntakshraði í gufuskiljum er 20-50 m/sek. Á lágþrýstiskiljum hefur inntaki verið breytt frá tangential í ferkantað spiral inntak. Við það tvöfölduðust afköstin því hægt var að auka inntakshraðann úr 22 m/s í 45 m/s.

5. Wigley fékk okkur afrit af tilraunum sem hann hefur gert á tveggjafasa streymi sem byggir þrýstifallsútreikninga á venjulegum núningsstuðli. Roger Harris hefur nýlokið við doktorsritgerð um svipað efni við Háskólann í Auckland. Bolton ætlar að útvega afrit af greinunum.

Þriðjudagur 21. febrúar.

Lindsey Fooks investigation engineer hjá M.W. (yfirborverkfræðingur) fór með okkur í skoðunarferð til Rotorua og til Kawerau.

Í Rotorua var skoðuð sjálfvirk fræsivél sem notuð er við raufun fóðurröra á N.Z. Vélin er þróuð af verktaka (Les Branford ltd.) sem annast hefur raufun fóðurröra fyrir MW undanfarin 15 ár. Vélin var skoðuð í vinnslu og ljósmyndir teknar af henni. Stærð raufa er 2" x 3/4" og er hún fræst í tveimur umferðum til að raufarnar víkki inn í rörið. Skurðarhraði mældist 45 sek á fyrstu umferð, 30 sek á annari umferð og 15 sek í færslu á milli raufa. Mesti hraði í raufum er 65 sek á rauf. Samtímis vinna tvær 2 ha vélar við raufunina sem einn maður fylgist með. Hver rauf kostar 50 cent og er flutningur frá verkstæði til Wairakei (84 km) innifalinn. Fjöldi raufa er 16 á hvert fet. Ofangreindar upplýsingar um hraða og verð miða við J-55 stál eða K-55.

Skoðað var jarðhitasvæði við Rotorua (WHAKAREWAREWA). Þar eru kröftugir goshverir og undurfagrar kísilútfellingar. Nýting svæðisins er ekki fyrirhuguð enda fullnýtt til "tourisma".

Jarðhitasvæðið við Kawerau var skoðað en þar er jarðgufa notuð við pappírsverksmiðju (Tasman). Verksmiðjan og jarðhitasvæðið voru skoðuð í fylgd með (Albert Carter) verkfræðingi verksmiðjunnar, sem sér um jarðgufukerfið. Pappírsverksmiðjan framleiðir 380.000 tonn af dagblaða-pappír á ári auk 180.000 tonn af pappírskvoðu. Þar starfa 2050 manns. Um 20% af gufunotkun verksmiðjunnar kemur frá jarðhitasvæðinu. Gufan er ekki nýtt beint, heldur er hún leidd í varmaskipta sem framleiða vinnslugufu.

Þrýstingur jarðgufunnar er 100 psig en vinnslugufunnar 50 psig. Í notkun eru tveir láréttir og einn lóóréttur "gufugenerator". Háþrýst jarðgufa var notuð til framleiðslu á rafmagni í 10MW mótþrýstitúrbínu. Vegna gufuskorts hefur túrbínan ekki verið keyrð í rúmt ár. Nóg gufa er þó til á svæðinu úr holum sem boraðar hafa verið s.l. 2-3 ár. Þar eð samkomulag hefur ekki náðst milli MW og verksmiðjunnar um gufuverð hafa holurnar ekki verið tengdar. Nú borgar verksmiðjan 5 cent á tonnið af gufu en fyrri boranir og gufuveitu kostaði verksmiðjan sjálf.

Síðari boranir hefur MW kostað og framkvæmt og þar á meðal er hola 21 sem er með heildarflæði 200 kg/s og enthalpynálægt 260 kcal/kg. Í rafmagnsframleiðslu myndi þetta samsvara meira en 20 MW úr einni holu. Á Kawerau svæðinu þarf að hreinsa holur tiltölulega oft, vegna kalkútfellinga. Þannig er t.d. hola 8 hreinsuð fjórum sinnum á ári með Failing 2500 en útfellingin myndast á dýptarbilinu 1400 - 1800 ft og einnig við innstreymisæðar og þarf að nota stærri bor (T-12) við hreinsunina sem gerð er á 1,5 - 2 ára fresti. Holu 3 og nokkrar aðrar holur á svæðinu þarf ekki að hreinsa.

Eftir að verksmiðjan var reist hefur komið í ljós að hún stendur á miðju jarðhitasvæðinu og vegna hættu á landsigi getur það takmarkað nýtingu svæðisins.

Heilsað var upp á James Healey jarðfræðing í Rotorua. Lýst var nokkuð síðustu viðburðum á Kröflusvæðinu, en hann var þar á ferð 1976. James Healey gaf okkur ýmsar upplýsingar um fyrirhugaðan jarðhitaskóla við Univercity of Auckland N.Z. sem fyrirhugaður er í samvinnu við UNDP.

James Healey vann að undirbúningi þessa mál og heimsótti í því tilefni mikinn fjölda þróunarlanda til að kanna þörf slíkrar kennslu. Hann lét okkur í té skýrslu um árangur ferðarinnar.

Miðvikudagur 22. febrúar.

Um morguninn var flogið frá Taupo (Wairakei) til Wellington. Eftir hádegi var rætt við Bolton um fyrirhugaða ferð hans til Íslands. Kom þá í ljós að NZ óska eftir að formleg beiðni komi í bréfsformi til Commissioner of Works (ráðuneytisstjóra) (frá P.F.? G.P.? J.B.? E.T.? (KN + OS) ?) Kostnaður af ferð Boltons yrði ferða og uppihaldskostnaður en óvíst um aðrar greiðslur.

Síðan var rætt nokkuð um bortaknileg atriði einkum um notkun leðju við boranir og heppilega samsetningu á henni. Í sambandi við það fengum við upplýsingapésa um meðhöndlun leðju og blöndunarefna gerðan fyrir bormenn en þar eð upplýsingarnar eru miðaðar við notkun á NZ leir er ekki hægt að nota þær beint. Næst var rætt um steypingar á borholum og útskýrt hvernig steypingar á borholum hefðu verið framkvæmdar og hvernig þær hefðu tekist (eða mistekist). Í framhaldi af því var rætt um skemmdir í borholum og skemmdir í einstökum holum teknar fyrir í smáatriðum.

Um holu KJ - 7 voru menn sammála um að skemmdir gætu stafað af lélegum steypingum, þar sem vitað er um steypuskil, bæði við steypingu á ytri og innri fóðringu á því dýpi, sem skemmdin varð.

Um KG - 5 og KG - 3 virðist málið ekki eins einfalt, en þar sem skemmdir í báðum holum eru á svipuðu dýpi er líklegast að um jarðskrið eða lárétta hreyfingu jarðlaga sé að ræða. Bolton taldi æskilegt og nauðsynlegt að fylgjast nákvæmlega með bæði láréttum og lóðréttum hreyfingum á öllu vinnslusvæðinu með landmælingum. Á NZ eru slíkar mælingar stundaðar og notaðar til að segja til um hvort nauðsynlegt sé að breyta lögnum á svæðinu. Við nýtingu jarðhitasvæða á NZ hafa mælst breytingar bæði í lárétta og lóðréttu stefnu, sem skifta metrum. Þar sem allar skemmdir hafa verið á litlu og svipuðu dýpi í Kröflu, varpaði Bolton fram þeirri spurningu hvort um gæti verið að ræða flotkontakt milli jarðlaga. Í því sambandi spurði Bolton um jarðlagasnið efst í holunum. Kom þá fram sú spurning hvort ekki væri ráðlegt að kanna efstu jarðlög borstæða með kjarnabor.

Fimmtudagur 23. febrúar.

Í dag var haldið áfram viðræðum við Bolton um vandamál í Kröflu. Í framhaldi af umræðum í gær var Bolton afhent jarðlagasnið og borhraðadiagram yfir holur 1 - 11 í Kröflu. Út frá borhraðadiagrami taldi Bolton mjög sennilegt að halli í holu 7 (yfir 10°) sem hefst á 200 m dýpi hafi gerst í borun. Hægt væri að bæta úr þessu með því að halla-mæla holurnar á meðan á borun stendur.

Rakið var í smáatriðum hvernig tekist hafi til við steypingu einstakra fóðringa. Í því sambandi var rætt um val á skotum og tækjum (perforating gun) til götunar á fóðringum við steypuskil. Bolton mælti gegn notkun "mechanical perforator" en með notkun "jet perforator" (shaped charge?) Rætt var um nýtingu úr blönduðum holum og var Bolton þeirrar skoðunar að loka þyrfti af efra kerfið. Stakk hann upp á að settur yrði tappi í leiðarann og efra kerfið síðan stept af.

Til að athuga lögun útfellinga í borholum, er á NZ, borað fyrst með mjórri krónu og síðan með stærri krónum.

Við könnun á fóðurrörskemmdum hafa NZ notað blýhnall sem þrýst er niður á skemmdirnar. Blýhnallurinn er þannig gerður að fyrst eru uggar soðnir utan á "subb", síðan er blý stept utan um "subbinn" og gat haft í miðjunni til að hægt sé að hringdæla. Hnallurinn er renndur sléttur að neðan, síðan settur niður í holuna með borstöngum og þrykki-mynd náð með álagi frá borstöngum.

Þegar Bolton var spurður að því hvort hann gæti á þessu stigi komið með ábendingu eða umsögn um vandamál í Kröflu út frá þeim viðræðum sem fram hefðu farið, fannst honum það ekki tímabært að gera það nú. Hinsvegar sýndist honum að vandamálin væru tæknilegs eðlis og yfir-stíganleg.

Föstudagur 24. febrúar.

Haldið var áfram viðræðum við R. Bolton. Rætt var um sprungumyndunar-
prófanir (Delayed fracture) á fóðringarstáli sem gerð hefur verið á
NZ. Niðurstöður bentu til að heppilegast væri að nota J - 55 eða K - 55.
Þeir hafa einnig notað í litlum mæli N 80 fóðringar, þegar þær hafa
fengist á lágu verði. En C - 75 er ekki notað vegna borthættu.
Áform eru um að reyna "hydrofracturing" tækni þegar nógu öflugar
dælur verða fengnar. Einkum beinast augu þeirra að Broadlandssvæðinu.
Þeir áætla einnig að bora skáholur með Wihpstock í átt að sprungunum sem
kortlagðar eru á yfirborði. Rætt var um vídd borhola og taldi Bolton
við borun 8 1/2" holu væri hámarksþvermál álagsstanga 6 3/4". Ástæðan
fyrir þessu er m.a. sú að nauðsynlegt er að geta borað utan yfir álags-
stengur í festu. Ef nota ætti sverari álagsstengur þarf að bora víðari
holur. Að áliti Boltons er best að nota raufuð fóðurrör af eftirfar-
andi gerð:

- 1) Slétt rör að utan og innan með hydril gengjum.
- 2) Flush joint liner
- 3) Extreme line casing.

Þessar gerðir gera það mögulegt að draga upp liner úr borholum.

Nokkuð var rætt um borkostnað en borkostnaður er áætlaður 250 - 300 \$
á hvern metra. Kostnaður við borun skiptist á eftirfarandi hátt:

- a) Borleiga fyrir T 12 500.000 \$ á ári (55 \$/h) í þessu eru innifaldir
varahlutir og viðgerðarkostnaður.
- b) Launakostnaður 1.593.000 \$ á ári (11,8 \$/mh). Þetta er launakost-
naður fyrir 32 bormenn og 8 verkfræðinga.

Áætlað er að borleiga sé reiknuð fyrir 5000 h á ári og þessum rekstri
fyrir 13500 manntímar á ári. Áætlaður kostnaður MW á jarðhitasvæðum
á þessu ári skiptist þannig:

- a) 1.18 M\$ fyrir plant (bor + verkstæði + jarðvinna)
- b) 1.84 M\$ vinnulaun
- c) 7.28 M\$ efniskostnaður
- d) 2.97 M\$ annað.

Þetta felur í sér rekstur á tveim T12 borum og einum Failing bor.

Áætlaður kostnaður við rannsóknarholur (hannaðar sem vinnsluholur) er:

- a) 1.14 M\$ plant
- b) 1.31 M\$ launakostnaður
- c) 2.44 M\$ efniskostnaður
- d) 2.4 M\$ annað (verktakar o.fl.)

eða 7.30 M\$ samtals fyrir 13 T12 borholur sem gerir um 561.000 \$ á holu.

Áætlunin er e.t.v. í hærra lagi að áliti Boltons.

Á Kawerau svæðinu hefur Tasman látið bora 22 holur en MW 6 holur.

En ríkið á yfir 50% af hlutafé í Tasman. Nú standa yfir viðræður um gufuverð eins og áður hefur verið getið.

Á NZ er verið að bræða saman langtíma stefnu í orkumálum. Felur hún í sér að sem flestar innlendar orkulindir verði nýttar áður en farið verður að nýta kjarnorku til orkuframleiðslu. Stefnt er m.a. að því að virkja jarðhita, gas, kol og vatnsorku en vegna þess að nú er þegar búið að nýta mikinn hluta af vatnsorkunni verður um að ræða tiltölulega litlar stöðvar (10 - 30 MW). Markmið NZ eða MW er að virkja 2000 MW af jarðvarma á næstu 25 árum. Helsta hindrun í framgangi orkumála kemur nú frá náttúruverndarmönnum en enginn meiriháttar ágreiningur er milli pólitísku flokkanna.

Gögn fengin: 1) Lost Circulation pappír

2) Standard Field Procedure Testing Drilling Fluid.

Litið var inn hjá Blackeley aðalframkvæmdastjóra New Zealand Electricity en hann var á Íslandi 1977 til að kynna sér sölu á rafmagni til stóriðju. NZ bjuggu við mjög óhagstæðan samning við álver á Southern Island. Nýlega hefur raforkuverð til álversins verið hækkað þrátt fyrir samningsákvæði um fast raforkuverð til 99 ára.

Mánudagur 27. febrúar.

Valgarður heimsótti Geophysical Division hjá DSIR. Um morguninn var einkum rætt við Peter McDonald um jarðeðlisfræðimælingar og jarðhitaleit. P. McDonald var þeirrar skoðunar að það sem mestu máli skipti við jarðhitaleit á NZ væri að ákvarða útlínur svæðisins með viðnámsmælingum. Þetta er einkum gert með sérstökum lengdarmælingum, þar sem rafskaut eru sett niður með 500 m millibili og uppröðun gerð þannig að Schlunbergermæling er gerð með 500, 750 og 1000 m straumarmi á hverja mælistöð. Verið er að gera tvípólmælingar á öllu Taupo - gosbeltinu og fæst þá viðnámsmynd af svæðinu á 5-10 km dýpi. Greinileg fylgni er milli (sýndar-) viðnáms og útlína gosbeltisins. VS. lýsti nokkuð aðstæðum á Kröflusvæðinu og hafði McDonald mikinn áhuga á að fá vitneskju um viðnám í bráðinni kviku. Þær niðurstöður liggja ekki fyrir. Rætt var nokkuð um mælingar í borholum og taldi McDonald að t.d. viðnámsmælingar í borholum gæfu ekki þær upplýsingar í jarðhitaholum að það svaraði kostnaði að framkvæma þær.

Seinna um daginn var rætt við þá Malcom Grant og McNabb hjá Division of Applied Mathematics. Þessir aðilar sjá að mestu um úrvinnslu vatnafræðilegra upplýsinga á NZ. Malcom Grant hefur einnig fengist við modelreikninga á Broadlands - svæðinu. Rætt var almennt um reservoir-tækni og útreikninga á jarðhitalíkunum. Þau model sem Grant hefur fengist við eru mjög einfölduð og krefjast ekki mikilla tölfræðilegra reikninga. Enda hefur Grant þá skoðun að nauðsynlegt sé að byrja á mjög einföldum módelum áður en farið er út í flókna útreikninga. Í samræðum um "well - testing" kom í ljós að Grant hefur (á sama hátt og VS) rekið sig á að lektarprófanir gerðar með ádælingu með köldu vatni gefa ekki sömu niðurstöður og "recovery test" gert í fullheitri holu. Þannig er lektin í kaldri holu mun meiri en í heitri holu ef leiðrétt er fyrir seigju vatnsins við mismunandi hitastig. Hins vegar eru lektargildin mjög áþekk ef ekki er leiðrétt fyrir seigjunni. Malcom Grant sér að mestu um vatnafræðilega útreikninga á gögnum sem mælinga-deild MW (Bixley) safnar. Model Grants af Broadlandssvæðinu gerir ráð fyrir að byrjunarhitastig sé 310°C og gasmagn 3-6% af þunga. Reikningarnir byrja í vatnsfasa en á leið sinni upp byrjar vatnið að sjóða og tveggja fasa kerfi er fyrir hendi á því dýpi sem vinnsla fer fram.

Þriðjudagur 28. febrúar.

Valgarður ræddi um morguninn við Frank Studt, geothermal coordinator hjá DSIR. VS reifaði þá hugmynd að það gæti verið áhugavert fyrir báða aðila (NZ og Ísland) að gerðar væru isotópaathuganir á vökva frá borholum í Kröflu. Í stórum dráttum er hugmyndin sú að við ákvörðun á hitastigi út frá isotópajafnvægjum á Wairakei svæðinu hef-
ur komið í ljós að þau jafnvægi sem hafa langan tímakonstant 2-5 ár, sýna um 350°C jafnvægishita en þau jafnvægi sem hafa stuttan tíma-
konstant (minna en eitt ár) gefa jafnvægishitann 280°C sem er mjög í samræmi við mældan hita og hita ákvarðaðan með öðrum efnajafnvægjum. Sú hugmynd kom þá fram meðan við dvöldum á NZ að það kerfi sem fæðir
vinnslukerfið í Wairakei sé mun heitara eða um 350°C og þau isotopa-
jafnvægi sem hafa langan tímakonstant "muni" eftir þessu hitastigi. Í Kröflu eru tvö kerfi, annað 220°C en hitt 320-360°C. Með því að
gera mismunandi isotopagreiningar á vökva frá báðum þessum kerfum væri möguleiki á að fá vitneskju um hvort eða hvernig Kröflukerfin
eru tengd. Þessar mælingar gætu einnig haft þýðingu fyrir NZ til þess
að skilja betur þau jarðhitakerfi sem þar eru.

Þessi atriði voru lögð fyrir Studt og hann spurður álit hvort NZ hefði
áhuga á samvinnu á þessu sviði. Tók hann mjög jákvætt í þetta mál og
var ákveðið að VS ræddi þessi mál nánar við Hultson hjá INS:

Auk þessa var rætt almennt við Studt um upplýsingamiðlun milli NZ
og Íslands í jarðhitamálum. VS bar fram þá ósk að okkur yrðu send
"geothermal circular" og tók Studt því ekki illa, en benti á að þessar
upplýsingar væru yfirleitt "innan húss umræður" sem oft breyttust
mikið í meðförum og væru oft tóm vitleysa. Ég taldi að okkur væri
það ljóst en hélt því hins vegar fram að með því að fá að fylgjast
með innan hússumræðum á NZ kæmust upplýsingar mun hraðar en með núver-
andi fyrirkomulagi þar sem bíða þyrfti eftir birtingu á niðurstöðum
oft svo árum skipti. Ég benti Studt á að mér vitanlega væri Jökull
ekki fyrir hendi hjá DSIR og ræddum við um möguleika á að skiptast á
tímaritum, þannig að við fengjum t.d. Journal of Science í skiptum
fyrir Jökul.

Þar sem undirtektir Studts um samvinnu í isótóparannsóknnum voru mjög jákvæðar fór ég beint á fund Hulston hjá INS í Gracefield. Hulston sér um þær isótóparannsóknir sem snúa að jarðhitafræðum. Hulston leist vel á þessa hugmynd og ákváðum við að þetta verkefni skyldi framkvæmt á jafnréttisgrundvelli, þannig að við önnuðumst sýnatöku og sendum þau til NZ en INZ annaðist greiningu í rannsóknarstofu. Ef niðurstöður yrðu birtar skyldi það gert undir sameiginlegu nafni OS og INA (þ.e.a.s. höfundar yrðu frá báðum þessum stofnunum).

Að lokum var svo haldið aftur til Wellington og rætt að skilnaði við R.Bolton. Voru þær umræður nokkuð almenns eðlis en ég tindi m.a. til allar töflur um efnagreiningar á útfellingum í holum KJ-7 KJ-9 og KG-10. En svo sem áður hafði komið fram í viðræðum við jarðefnafræðinga í Taupo eru útfellingar í Kröflu mjög frábrugðnar því sem Nýsjálendingar hafa séð áður á jarðhitasvæðum.

B. Dagbók Valgarðs frá Hawaii dagana 1. Mars - 4. Mars 1978.

Miðvikudagur 1. mars.

Valgarður fór síðdegis frá Wellington áleiðis til Hawaii og kom þangað snemma morguns sama dag, eftir 14 tíma ferðalag.

Um morguninn var rætt við Augustine Furumoto prófessor í jarðeðlisfræði við University of Hawaii um jarðhitaramsóknir á Hawaii. Hawaii Geothermal Project er nú í þann mund að ljúka, eftir að tekist hefur að sýna fram á með borunum að nýtanlegur jarðhiti er fyrir hendi á eyjunni Hawaii (Big Island). Ein hola HGP-A hefur gefið jákvæðan árangur og fékk ég ýmsar upplýsingar um þá holu. Einnig skýrði Furumoto það jarðeðlisfræðilega model sem hann vill skýra tilveru jarðhitakerfisins með. Það líkan gengur út á að varmagjafinn sé innskotamyndun eða gangasveimurinn á eystra gliðunarbeltinu út frá Kilauea, en vatnsgengdin sem skapar jarðhitakerfið sé í sprungnu bólstrabergi undir sjávarmáli. Vinnslueiginleikar HGP-A svipar að mörgu leyti til hola KJ-6 og KJ-7 í Kröflu. Massastreymi er frekar lítið, ca 12 kg/s en entalpia mjög há. Gufuhlutfall um 0,7. Síðdegis hélt R. Decker fyrirlestur við háskólann sem hét "Rifting in Iceland". Var ég viðstaddur fyrirlesturinn og tók þátt í umræðum þar. Greindi ég þar einnig frá síðustu viðburðum á Kröflusvæðinu.

Fimmtudagur 2. mars.

Haldið var áfram umræðum við A. Furumoto um jarðhitakerfi á Hawaii. Ég lagði fram ýmsar spurningar um HGP-A en svör við þeim hafði Furumoto ekki á reiðum höndum. Ekki var t.d. fyrir hendi fullkomin efnagreining á borholuvökva. Seinna hélt ég svo fyrirlestur um jarðhita í Kröflu og benti þar á ýmis sameiginleg einkenni á jarðhita á Hawaii og í Kröflu. Ég reyndi einnig að benda á ýmis óljós atriði í túlkun gagna frá HGP-A. Þannig vildi ég halda fram að einu marktæku niðurstöður hitamælinga úr HGP-A væri að hitastig á 4000 feta dýpi væri um 300°C. Ég taldi einnig mjög sennilegt að á Hawaii væri suða í bergi (two phase flow in formation). Því miður var ekki þarna í Honolulu fólk fyrir hendi sem hafði næga þekkingu til að ræða málin á þessum grundvelli.

Föstudagur 3. mars.

Valgarður flaug um morguninn til Hilo á eyjunni Hawaii. Byrjaði á að leita uppi Dr. Bill Chen en hann er Associate Professor of Engineering við University of Hawaii at Hilo og Reservoir Engineer við Hawaii Geothermal Project. Ræddum við saman til hádegis og komu þá fram svör við öllum þeim spurningum sem ég hafði ekki fengið svör við daginn áður í Honolulu. Mælingar á holunni hafa verið gerðar með sömu aðferð og notuð er á Nýja Sjálandi, þannig að vatnsrennsli og krítiskur þrýstingur er mældur. Í ljós kom einnig að Chen var mjög sammála um túlkun mæliniðurstaða og var honum vel ljóst að það hlyti að vera gufa í berginu en hann vildi ekki útiloka þann möguleika að um gæti verið að ræða blöndun af hreinu vatnsinnstreymi á einum stað í holunni og hreinni gufu annars staðar. Í samræðum við Chen kom einnig í ljós að veikasta atriðið í mælingum á holunni eru efnagreiningar og túlkun þeirra. Má það teljast með ólíkindum þar sem mjög mikil og góð þekking á jarðefnafræði er fyrir hendi í Bandaríkjunum í Menlo Park í Californíu. Hins vegar hefur Hawaii Geothermal Project að mestu verið unnið af sérfræðingum á Hawaii og virðist svo sem USGS hafi ekki verið með í ráðum.

Í ljós kom að menn hafa átt í erfiðleikum með hávaða frá blástursútbúnaði á HGP-A. Stafar það líklega af því að blástursstút er beint inn í mjög vítt rör áfast Nýsjálenskum (twin) hljóðdeyfum. Ég benti Chen á að líklega mætti minnka hávaða verulega með því að beina blæstrinum inn í trektlaga rör sem væri áfast hljóðdeyfi. Blástursútbúnaðurinn á Hawaii er nákvæm kopia af Nýsjálenskum blástursútbúnaði.

Síðan var haldið til Hawaii Volcano Observatory sem stendur á rima Kilauea kalderunnar. Rætt var við Gordon Eaton forstöðumann stöðvarinnar og farið í kynnisferð um eldstöðvarnar. Mjög sláandi er hversu lík hraunin þarna eru því sem upp kemur innan Kröfluöskjunnar. Hegðun þessarar tveggja eldfjalla Kilauea og Kröflu er einnig mjög lík. Gordon Eaton sagði einnig frá hvaða mæliaðferðir notaðar eru til þess að fylgjast með eldfjöllunum á Hawaii og svipar þeim mjög til þeirra aðferða sem notaðar eru við Kröflu. Meginmunurinn er þó sá að eldfjallarann-

sóknir og athuganir hafa verið í gangi á Kilauea (og Mona Loa) síðan 1916 en í Kröflu aðeins um tveggja ára skeið. Yfirleitt er því haldið fram að Kilauea sé best þekkt eldfjall í heimi. Ef svo er, má búast við að Krafla sé í öðru eða þriðja sæti.

Laugardagur 4. mars.

Um morguninn var haldið áfram viðræðum við G. Eaton um eldfjallarannsóknir. Var m.a. um það rætt hvort ekki væri æskilegt að koma upp samvinnu milli Hawaii og Íslands, þannig að skiptst væri á sérfræðingum í vissan tíma. Slíkt skiptiprógram kæmi báðum aðilum vel og þar sem Krafla og Kilauea eru svo nauðalík í hegðun, væri um að ræða mjög áhugavert rannsóknarverkefni. Rætt var um að 2-3 mánaða dvöl væri heppilegur tími á hvorum stað. Nokkuð var um það rætt hvaða aðili íslenskur ætti að standa að þessarri samvinnu og taldi ég eðlilegast að það væri Norræna Eldfjallastöðin. (Ég ræddi þetta mál síðan við Guðmund Sigvaldason á leiðinni milli New York og Reykjavíkur, tók hann þessu máli vel, þannig að nú er fyrir hendi viljayfirlýsing frá báðum aðilum).

Síðdegis hittu ég svo Bill Chen aftur við holuna HGP-A. Var útblástursbúnaður þá skoðaður og rætt frekar um holuna. Það vakti athygli mína að kísilútfellingar við frærensli voru mjög dökkleitar. Þó ekki eins svartar og við KJ-6 og KJ-7. Ég tók sýni af þessum útfellingum og ráðgert er að greina sýnin á Íslandi til þess að athuga hvort ekki sé járn í þeim. (Efnagreiningar hafa sýnt að um 3,5% af útfellingum er járn).

Síðan voru helstu ummerki jarðelda á Eastern Rift Zone skoðuð og haldið til Honolulu um kvöldið.

Dagbók Sigurðar og Sverris frá Filipseyjum og Mexico dagana

26. febrúar til 8. mars 1978.

Sunnudagur 26. feb.

Flogið frá Auclandi yfir Brisbane til Manila. Þar tók Commissioner af Volcanology Gregario Andal ásamt frú og fylgisveinum á móti okkur og óku okkur á hótél Hyatt Regency og buðu okkur síðan í mat.

Commission of Volcanology sá um jarðhitaleit ásamt Bureau of Mines en nú hefur þetta verið sameinað ásamt öðrum orkuframkvæmdum undir sér ráðuneyti, Department of Energy en jarðhitadeildin er hluti í Philippine National Oil Company - (PNOC - Energy Development Corporation Geothermal Division). Andal sagði að nú hljóðuðu áætlanir um að virkja 100 MW árlega í jarðgufustöðvum.

Vinnsluboranir og virkjunarframkvæmdir eru þegar hafnar á þremur stöðum Andal hefur gert mjög nákvæma áætlun um heimsókn okkar hingað sem gerir ráð fyrir heimsóknum í stofnanir og á tvö jarðhitasvæði.

Mánudagur 27. feb.

Ernesto B. Villalva jarðfræðingur hjá Commission on Volcanology NSDB, fór með okkur til PNOC Geothermal Division en þar hittum við Arturo P. Alcaraz (ráðgjafi hjá PNOC - EDC (GD) en hann kom til Íslands 1975 og yfirmann Geothermal Division (GD) Nasario Vaskes, sem áður var jarðfræðingur hjá Com Volm og Ronald Amores sem er Project Engineer. Var rætt við þá og kom m.a. fram að á Tiwi svæðinu er unnið að virkjun 4x55 MW og áætlað er að fyrsta samstæðan verði tekin í notkun í júlí 1978. Þar er búið að bora 27 holur og af þeim hafa þrjár reynst þurrar. Á Tiwi svæðinu er hitastigið 270°C og holurnar að jafnaði um 6000 feta djúpar. Þar hafa orðið skemmdir mest á 7" leiðurum vegna collaps nærri botni vegna þunga röranna sem eru látin standa á botni (7"-26 lb/ft) einnig hafa fóðurrör sprungið út frá logskornum raufum. Þá var farið að fræsa raufar en vegna collaps vandræða er leiðari nú gataður (boruð göt) 3/4" í þvermál, 4 á umfangi, 16 göt á fetið. Afköst hola á svæðinu hafa mælst 4-15 MW en mest mæld afköst eru 1.2 milljón lb/tímann total, við 120-150 psi þrýsting. Annað svæði er rétt sunnan Manila við Los Banios eða eins og nú er kallað Mak-Ban (á við fjöllin Makling-Banhaw). Þar hafa verið boraðar 22 holur og fyrirhugað er að virkja þar 4x55 MW og er byrjað að reisa stöðina sem á að fara í gang í jan. 1979 (fyrsti áfangi).

Á Mak-Ban svæðinu hefur mælst yfir 320°C en dýpt hola er 4500 til 6000 fet. Dýpsta hola er þó 8000 fet en gefur reyndar lítið. Boranir á ofangreindum svæðum eru framkvæmdar samkvæmt samningi við Philippine Geothermal, Inc. (Union Oil, U.S.A.).

Á Leite eyju hafa Nýsjálendingar annast boranir og er þegar lokið við borun 7 hola. 20. júlí 1977 hófst starfræksla 3 MW Mitsubishi mótþrýsti túrbínu. Inntaksþrýstingur er 115 PSI en hún nýtir eina holu sem er í 250 m fjarlægð. Skiljunýtni þar hefur reynst léleg (90%) og hefur það valdið skeljun í túrbínu og rekstrarörðugleikum af þeim sökum (of lítil skilja?). Inntak skilju er 14". Þar er fyrirhugað að virkja 3x30 til 35 MW og er áætlað að sú stöð taki til starfa í apríl 1980.

Áætlanir Filipseyinga hljóða upp á virkjun 1320 MW fyrir 1985 sem á þessu stigi virðist vera bjartsýnis áætlun. Á Negroseyju hafa verið boraðar 4 holur og hefur PNOC annast þær boranir en þeir eru að kaupa viðbótar bora og hafa í hyggju að annast boranir eftir jarðhita með eigin starfsliði í framtíðinni. Þeir sýndu okkur yfirlitskort yfir jarðhitasvæði á Filipseyjum þar sem sýnt var hvar unnið er að borunum og hver staða jarðhitaleitarinnar var. Jarðhitasvæði ná um endilangar Filipseyjar og fylgja andesit línunni. Túrbínukaup, 400 MW frá Toshiba og Mitsubishi, voru ákveðin samtímis 1975 (8x55 MW) og er miðað við 85 psi háþrýstigufu og 25 psi á lágþrýstigufu í báðum tilfellum. Þegar túrbínukaupin voru ákveðin höfðu 9 holur verið boraðar í Tiwi (2 þurrar þar af) og 2 á Los Banios svæðinu. Gengið var út frá því að Los Banios svæðið væri svipað Tiwi svæðinu hvað hita (270°C) og gas snerti. Á Tiwi er um 5% gas í gufu en um 1% í Mak-Ban (Banios) og hitastigið mun herra.

Eftirlit með framkvæmdum PGI (Union Oil) er í höndum Alcaraz og fær hann öll gögn um árangur borana en helst var að skilja á mönnum að lítið væri gert með gögnin af hálfu PNOC.

Um kl. 11 var farið með okkur til aðalskrifstofu Philippine Geothermal Inc. til fundar við Chester Budd aðalframkvæmdarstjóra fyrirtækisins en þar sem hann var ekki við tók Jack Du Ree manager of operations á móti okkur. Eins og áður hefur komið fram sjá þeir um gufuöflun og gufuveitu og munu selja orkuverum gufu.

Filipseyingar gerðu samning við þá 1972 um gufusölu til virkjana í Tiwi og Mak-Ban en sá samningur var endurskoðaður 1975 með tilliti til olíuhækkana og byggir núverandi samningur á ákveðnu verði fyrir hverja framleidda KW stund í orkuverunum. GPI tilkynnir síðan NPC fyrirhugaða áfanga í gufuöflun. Eftir endurskoðun samningsins 1975 hafa 8-11 holur verið boraðar árlega á hvoru svæði fyrir sig en boranirnar eru framkvæmdar af Áströlskum "drilling contractors" Roberts Drilling PTY. Borholurnar eru fóðraðar með 9 5/8" 47 lb/ft J-55 í 1500 til 3000 ft og borað þar til leðjuhiti er kominn í 75°C. Í holurnar er settur 7" liner 26 lb/ft. Holurnar eru yfirleitt 4500 til 5000 ft djúpar.

Miðað er við 40 ekru vinnslusvæði á holu og að fjarlægð milli borstaða sé ekki minni en 400 m. Fyrirhugað er að bora tvær holur af hverju borplani og verður önnur þeirra boruð á ská. Skáholan verður byrjuð með Dyna drill og miðað við að fara ekki yfir 2° á 100 ft. Holunum er hleypt upp með ádælingu með lofti til að flýta fyrir svo árangur sjáist fyrr af boruninni. Algengast er að holur séu reyndar í 60 daga en á Tiwi svæðinu hafa holur verið reyndar í allt að 15 mán. til að kanna hegðun svæðisins.

Á Tiwi svæðinu hafa orðið kalkútfellingar á leiðurum í sumum holum (tvær) en ekki öðrum. Annarra útfellinga hefur ekki orðið vart í holum.

Á Tiwi svæðinu er 2x55 MW stöð á lokabyggingarstigi og verða 15 holur tengdar stöðinni í upphafi en þeim verður fjölgað í 20 holur síðar. Byggingarframkvæmdir við stöð tvö á svæðinu eru þegar hafnar (önnur 2x55 MW frá MB) GR PGI sendi okkur út á borsvæðið við Mak-Ban þar sem við skoðuðum framkvæmdir á svæðinu undir leiðsögn Patrik S. Dobrocke, Field Superintendent. Unnið var að aflmælingum á tveim holum (No 8 og No 20) en mælingar eru gerðar gegnum gufuskilju og er gufu og vatnsmagn mælt með kverkplötum (orifice plötum). Frá gufuskiljum fer vatn og gufa í H laga dreifigreiðu sem er alsett götum ofantil og látin hvíla á botni í niðurgrafinni þró. Hlóðdeyting er mjög góð. Mælingarbúnaður er "skid mounted" og settur á jörðina án nokkurra festla eða undirstöðu.

Ljósmyndir voru teknar af þessu fyrirkomulagi. Úr holu No 8 kom greinilega lítið vatn en úr holu No 20 mun meira vatn. Að sögn var varma-innihald í holu No 28 um 550-600 btu en í holu No 8 um 1000 btu. Frárennsli frá holunum var mjög mjólkurlitað (hvítt). Það rennur úr þrónni í kælilón en öllu vatni frá borholum er dælt niður í eina holu (No 2) sem var léleg vinnsluhola en tekur greinilega greiðlega við vatninu (undir sögi). Útfellingar í kælilóni eru hvítar og nokkuð lausar í sér en útfellingar í affallslögnum (allt að 6 km löngum) og í holu No 2 eru litlar. Frá einni holu hefur komið grænt vatn og svart vatn úr tveimur.

Dobroke tók sýni af svarta vatninu og fór með það til Manila í flösku til að sýna yfirmönnum sínum en þegar þeir litu á flöskuna var vatnið í henni tært, allur litur horfinn, Dobroke gat ekki gefið frekari skýringu á fyrirbrigðinu en University of the Philippines annast efnagreiningar fyrir PGI.

Holutoppar hafa aðalventil á 9 5/8" fóðringu en á síðari holum er notuð expansionspoolpiece fyrir 14" þenslu og þenslustykkið sett á 13 3/8" fóðringuna. Á öllum holum eru tveir lokar og tveir kæfingastútar hvor á móti öðrum. Tveir aðallokar eru hafðir vegna skemmda sem gæti orðið við opnun holu vegna grjótflogu etc. Holutoppurinn er allur framleiddur af WKM ser 900. Holutoppsþrýstingur hefur farið upp í 1000 psi. Þar sem sást til var þensla á 9 5/8" fóðringum um 6" en að sögn hefur mest þensla mælst 12". Mastur er byggt við holutoppa til að hífa upp mælitæki sem sett eru í holurnar. Borarnir eru hækkaðir upp þannig að 18 fet eru frá jörð upp í rotary og kjallarar því grunnir eða um 3 fet. Kjallarar eru grafnir niður með gröfu og niður úr þeim er grafið með skóflum 22" rör ca 13 til 26 feta djúpt og steypit fast.

Ástralskur bor (national 800) sem getur borað í 12000 ft var notaður við borun á svæðinu. Honum er stjórnað af Ástralíumönnum sem leggja til yfirmenn þ.e. verkstjóra, bormann og mastursmann en 6 innfæddir voru við önnur borstörf. Rætt var við eftirlitsmann verkkaupa (PGI).

9 5/8" fóðringar eru steypar í einu lagi án retarders með klass G Pozzolan sementi, SSA-1 og bentonnt án þess að nota þrepasteypustykki. BJ sér um steypingar og leggur til tæki til þeirra en Halliburton annaðist þær þar til fyrir ári síðan. Þeir nota 150% af annulus. Við víðar fóðringar er notuð inner string aðferð. Ef ekki steypist upp er notað gravel pack (fínn sandur). Notaðar eru 6 1/2" álagsstengur 12 stk við borunina, journal bearing carbit borkrónur og blade stabilizer 60 fet

fyrir ofan krónu. Álag er 20 til 30 þús pund og ræðst af hattu á skekkju í borun. Mældur er halli í borun með 500 feta bili. Ekki er leyft að halli holu fari yfir 5° vegna hattu á key-holu. Borað þar til komið er a.m.k. 20 barrel/min (60 l/s) skoltap eða meira.

Við borun eru notaðir öryggislokar borsins ásamt roterandi gosvara (enginn borloki), tveir kæfingarstútar. Kæliturn fyrir leðju er notaður án viftu, tveggja þrepa sandskiljum, þrjár millifærsludælur. Afköst leðjuturns eru 1000 gqm. Á fóðringar eru notaðar gúmmíhlífar fyrir skrufgang sem fljótlegt er að losa af (allar hlífðarmúffur fjarlægðar). Þeir fóðra 12-14 rör á tímann. Borun hverrar holu tekur um 30 daga. Borunin kostar um 10.000\$ á dag með öllu að sögn. Hallamæling gerð með Totco. Driller (borarinn) er alltaf á bremsunni og kemur þar enginn annar nærri, ekki notað neitt automat, toolpusher fylgist nákvæmlega með og gefur fyrirmæli til borara. Borinn virðist mun fyrirferðameiri en Jötunn og hefur fleiri ker, tvö í notkun fyrir skolvatn.

Skoðað var stöðvarhúsið fyrir 2x55 MW stöðina sem var í byggingu og tók Sverrir myndir af því. Skoðaðar voru vatnsöflunarholur (dælur) og gataðar 7" fóðringar og tekin mynd af þeim.

Svæðið er þakið pálmun og um allt svæðið býr fólk í hreysum (share-croppers) með fimm til átta krakka á hælunum (fólksfjölgun mikil þar sem hún er um 3% á ári).

PGI er með verkstæði, flutningatæki, vinnuvélar og vinnubúðir á svæðinu. Mikið af starfsmönnum koma úr skóginum í kring og eru hreinir skógarmenn t.d. var einn gataður svo hressilega við holu No 8 að hann var naumast þekkjanlegur á eftir, en tekið skal fram að hann var "báð man". Þetta gerðist tveimur dögum áður en við komum á staðinn.

Við borun er notuð leðja undir 80 lb/cu.ft við borun fyrir fóðringu en vatn við borun neðri hluta holunnar. Borað er áfram þó sé komið skoltap. Linerar eru gataðir neðst í holunni og hengdir á hengistykkjum í seinni holum vegna collaps þegar þeir standa á botni. Notaðar eru venjulegar múffur á liner.

Stærð jarðhitasvæðisins var áætlað 7500 ekrur. Holurnar boraðar þannig að könnuð er stærð svæðisins. Lengd svæðisins er ca 6 km. Borað er í hliðum Makling fjallsins. Við borun er allt mögulegt efni notað til þéttinga m.a. hrísgrjón en allir lekar þéttir með steypingu ef ekki dugar annað.

Þriðjudagur 28. febrúar

Flógið til Legaspi í fylgd með Ernesto B. Villalva jarðfræðingi frá Com. Vol. Þar tóku menn frá Com. Vol. á móti okkur. Ekið var á jeppum upp í hliðar Mayon eldfjalls en þar er Com. Vol. með eldfjallarannsóknarstöð. Þar er hallamælir og skjálftamælar. Fjallið er þjóðgarður og í eldfjallastöðinni eru skýringamyndir úr eldsumbrotasögu fjallsins og nágrannafjalla en fjallið gýs á ca 10 ára fresti og gaus síðast 1968, gýs nokkra daga í einu. Fjallið er mjög regluleg eldkeila og um 8000 ft á hæð. Þegar til gýgsins sést rýkur að staðaldri úr honum. Nýlega sást glóð að kvöldi til í skýjum en ekki varð meira úr. Þar mælast þó að jafnaði sex skjálftar á dag (Mayon kvenmannsnafn, Legaspi kvenmannsnafn). Þaðan var ekið til Tiwi (grasslétta) að tilraunasatlverksmiðju sem Com. Vol. og NSDB (National Science Development Board) reistu í sameiningu. Þar er ein 640 feta borhola. Gufu frá henni er notuð til framleiðslu á rafmagni í smá túrbínu 2,5 KW. Ennfremur er gufan notuð til saltvinnslu. Tilraunir hófust í smáum stíl 1968 en 1972 var hafin tilraunaframleiðsla í stærri stíl í verksmiðju sem síðan hefur framleitt um 1-2 tonn af salti á sólarhring. Fyrirhugað er að stækka verksmiðjuna í 3000 tonn á ári en einnig er rætt um að endanleg stærð verði 60 þús tonn á ári. Verksmiðjan sem tók til starfa 1972 var hönnuð af sjóher Filipseyja og svipar henni mjög til þeirrar tilraunaverksmiðju sem Undirbúningsfélag saltvinnslu á Reykjanesi hyggst byggja, að öðru leyti en því, að hér er notaður sjór úr Kyrrahafinu og honum dælt um 3 km leið að verksmiðjunni. Vinnslan fer fram með því að sjórinn fer fyrst í þró sem hituð er með þéttivatni frá verksmiðjunni. Þaðan er upphituðum sjónum dælt í eymingartæki (þrjú) sem eru um 1,5 m í þvermál og ca 5 m á hæð. Í tækinu eru 155 stk. 2" Ø rör úr rýðfríu stáli (304). Gufuþrýstingur er 10 psi en eymingin fer fram við atm. þrýsting þar til eðlisþyngd er orðin Be=6.

Þaðan fer þekillinn í uppgufunarpönnur sem eru hitaðar með gufurörum sem liggja ofan í þeklinum og er þrýstingur gufu þar 15 til 20 psi. Fyrsta eymingarpannan er til að fjarlægja CaSO_4 og er þekillinn eymaður þar í $\text{Be}=10$. Þaðan fer þekillinn um þrjár raðtengdar uppgufunarpönnur, gufuþrýstingur 15 til 20 psi og er þekillinn eymaður í $\text{Be}=23$. Lokaeyming fer fram í pönnu (crystaliser) sem er 2 fet x 20 fet að stærð en í botni hennar eru 16 stk. 1 1/2" ryðfrí rör. Gufuþrýstingur er 25 psi og við það fæst krystalstærð sem hentar sem gróft matarsalt en ef vinna á stærri krystalla er gufuþrýstingur hafður 10 til 15 psi. Botnskafa sem dregin er af handdrifinni tromlu er notuð til að krefsa saltið upp úr pönnunni. Síðan er saltið sett á gólf í þurrkhúsi og látið þorna þar í viku, en saltið er síðan þurrkað niður 8% raka í lofthituðum snúnigspurrkara. Saltið er loks harpað og joðbætt og sett í neytendaumbúðir (125 gr til 1 kg). (Söluverð er 1,5 pesos kg af joðbættu salti en einn pesos fyrir venjulegt salt). Við framleiðslu er unnið á þrískiptum vöktum allan sólarhringinn og eru 17 menn á hverri vakt. Daglaun verkamanna eru 10 til 15 pesosar (8 pesosar ca. 1\$ ca. 255 kr). Rekstur verksmiðjunnar hefur gengið vel en hreinsa þarf rör í eymingartækjum tvisvar á ári. Við skoðun sýndist okkur einnig tæring á járnörum allmikil. Gufuskilja frá holu að túrbínu fannst okkur vera í minna lagi og ekki að furða þótt þurft hafi að hreinsa gufutúrbínuna minnst tvisvar á ári.

Verksmiðjan var ekki í gangi þegar við skoðuðum hana en í vinnslu er gufumyndun frá uppgufunarpönnunum það mikil að sögn að ekki sést milli manna. Vel virðist staðið að rekstri tilraunastöðvarinnar og er þar meðal annars efnarannsóknarstofa, en NSDB annast rekstur verksmiðjunnar. Í saltverksmiðjunni fengum við saltsýnishorn í neytendaumbúðum. Ljósmyndir voru teknar af stöðinni. Um kvöldið var farið í starfsmannabústað skjálftavaktar (observatorim) á hverasvæðinu í Tiwi en stöðin heitir Naglabong Station Tiwi Geothermal Reasearch Project. (Naglabong = hljóð sem myndast í sjóðandi hverum). Það er í húsi með strápaki sem gert er eingöngu til að halda rigningu frá en hífýli manna hér um slóðir eru í einfaldara lagi enda veðráttu samkvæmt því. Í kvöldverð var farið á veitingastað í Tiwi og leið ekki á löngu þar til ljósin slokknuðu og gerðist það í sífellu þar sem dieselstöð staðarins var alltaf að slá út. Ekki að furða þó hraðað sé byggingu jarðgufustöðvarinnar.

Miðvikudagur 1. mars

Í bækistöð Philippine Geothermal Inc. hittum við Wendell T. Howard Tiwi Field Manager. Hann útskýrði á korti fyrirkomulag gufuveitu, staðsetningu hola og stöðvarhúss. Borsvæðið er ca. 2x3 km að stærð og eru flestar holurnar nærri jaðri svæðisins. Þegar hafa verið boraðar 27 holur og þar af voru tvær þurrar en þær voru í austurjaðri svæðisins. Holudýpi er 5500-9500 ft. Fóðrunardýpi fer eftir hitastigi leðu í borun. Sex meiri háttar sprungur fara í gegnum svæðið samsíða hlíðum fjallsins Malinao. Ráðgert er að hver hola vinni af svæði sem er 40 ekrur að stærð. Boraðar eru tvær og upp í 5 holur afhverjúplani og er "dynadrill" notað við að sveigja holuna. Í 6000 ft holu er frávik frá lóðlínu allt að 1200 m. Á borplani þar sem 5 holur verða boraðar er þegar búið að bora 3 holur, stendur planið nokkuð hátt í hlíðum fjallsins og er viðbótarholum ætlað að fara innundir fjallið. Ein bórholan á Tiwi svæðinu afkastar 1.200.000 lb/h. og hinar nokkru minna magni. Tvífasalagnir frá þessum holum tengjast skiljustöð (satelite) sem er í 1100 m fjarlægð. Algengast er að skiljustöðvar séu í 500-600 m fjarlægð og eru 5 holur tengdar hverri skilju samstæðu (1 H.P. + L.P.). Tvífasalagnir liggja niður á við (nema í eina samstæðu) og eru 12" að þvermáli en frá afkastamestu holum 16".

Skiljuþrýstingur er 140 psi og 25 psi. Frá satelite stöðvum er H.P og L.P. gufa leidd í lokaskiljur nærri stöðvarhúsi. H.P. og L.P. skiljur eru smíðaðar í Singapore og hannaðar af Parsons sem er ráðgjafarfyriretaki með útibú í Manila og hefur hannað gufuveituna. Lokaskiljur eru Amerískar (Combustion Engineering) með innbyggðum stýriblöðum. Vatnshæðarstýring er á skiljum (Fisher Govener V-BALL). Stjórnbúnaður er við skiljustöðina allt án fjarstýringa úr stöðvarhúsi. Viðvörunarljós um vatnshæð í skiljum kemur fram í sérstakri stjórnstöð gufuveitu sem er við lokaskiljustöðina. Skiljurnar virðast af gamaldags gerð, enda er nýtni ekki nema 98% á loka-skilju. Tengingu hola (15 stk) var lokið og unnið var að einangrun og frágangi. Sprengidiskar eru á toppi skilju en ekki á gufulögnum. Lokar sem vatn og gufa fer um eru frá WKM Pow-R-leal, en venjulegir rennilokar á gufukerfi. Frá skilju fer vatnið í steypa þró sem virkar svipað og hljóðdeyfar, sem áður hefur verið lýst og notaðir eru bæði í Tiwi og í Mak-Ban. Frá hljóðdeyfum er vatnið leitt í steypum skurði til sjávar um 3 km á lengd.

Stöðvarhús er í byggingu og er annar helmingur uppsteyptur og þak komið á en unnið er að byggingu hins hlutans. Lokið er við að steypa þrær undir kæliturna. Stöðvarhúsið var hannað af NPC. Þegar grunnur undir stöðvarhúsið var kannaður var borað niður á fast en þegar hafin var bygging stöðvarhússins kom í ljós að fasta bergið voru stórir steinar í mýrinni. Þeir hafa því orðið að grafa niður 32 sívalninga 9 ft í þvermál 60 ft á dýpt, sem hafa verið fylltir af steypu til að styrkja undirstöður hússins. Einnig kom fram mikill vatnsagi í grunninum og varð að ræsa byggingarsvæðið fram. Allt þetta hefur orðið til að tefja byggingu stöðvarinnar sem átti að vera tilbúin til starfsrækslu í júlí 1978 en Howard giskaði á að þeir væru ári á eftir áætlun, því vélaniðursetning hefst ekki fyrr en í sumar. Vélar stöðvarinnar eru frá Toshiba og eru að einhverju leyti þáttur í aðstoða Japana við Filipseyjar (aid).

Holutoppar eru svipaðir og áður var lýst á Mak-Ban svæðinu. Þegar holan er virkjuð er einn WKM ser. 600 settur á holuna, en á hann kemur kross og eru tvær lagnir teknar frá holunni til að minnka hraða og þar með slit í beygjum. Á nýlegum holum er WKM holutoppar með "expansion spool-piece". Flans er settur á 13 3/8" fóðringu og er hann soðinn á fóðringuna að innan og utan (langur kragi er á flansinum sem gengur utanyfir rörið). Tveir kæfingarlokar eru á 9 5/8" fóðringu í borun og einnig eru 2 lokar hafðir á 13 3/8" og er opnað fyrir þá áður en holum er hleypt upp til að koma í veg fyrir yfirþrýsting.

Steypt fóðring nær í 6000 feta dýpi og er steypit í einu lagi. Steypu árangur hefur verið misjafn og ef steypa kemur ekki upp er annaðhvort þrýst ofan frá utan með eða göt skotin í fóðringuna og steypit gegnum þau. Framan af voru linerar ýmist hengdir eða látnir standa á botni en vegna útfellinga við hengistykki og erfiðleika við að hengja linera var fallið frá því og linerar látnir standa á botni hola. Kalkútfelling hefur orðið í tveim holum á svæðinu og stíflast þær á 60 dögum. Kalkið er hreinsað út með "turbodrill" sem snýst 700 RPM og er sett niður á 5" borstöngum og borað út í blæstri, ef hægt er með GRANT róterandi gosvara. Borkróna er venjulega með "insert bit" og er borhraði mikill eða allt að 10 m á mínútu. Lengd kaltappans er 90-120 m. Ofangreindar upplýsingar eru hafðar eftir Howard en virðast nokkuð mótsagnakenndar.

Við fórum að holu No 1 sem boruð var fyrir 7 árum síðan og verið var að hreinsa í annað sinn. Lokið var við að hreinsa holuna en í uppborun varð vart við skemmdir á liner og var hann því dreginn upp úr holunni.

Linerinn var allur sundursprunginn og lágu sprungur á milli raufa. Raufarnar höfðu verið skornar með gasi 4" langar og 4" bil á milli. (sama og í Kröflu) og telja þeir það ástæðuna fyrir skemmdunum. Nýlegar holur eru allar með 3/4" götum ca. 16 göt á fetið. Linerinn sem dreginn var upp var skrúfaður saman á Round thread gengjum og þurfti að brenna sundur við margar múffur. Fjöldi röra var 57 en skemmdir voru við æðar í liner og var mest skemmt við miðjan linerinn. Einnig fannst skemmd á 120 m dýpi (9 5/8" fóðring) og var nýbúið að steypa í þá skemmd. Líklegast þótti þeim að skemmdin stafaði af slitum frá borstöngum við borun holunnar, en skekkjan mældist í holunni.

Við boranir er notaður um 30 ára gamall bor sem getur farið niður á 12000 ft. Borverktaki er Richter Drilling International frá Ástralíu en þeir annast einnig borframkvæmdir fyrir PGI á Mak-Ban svæðinu. Borun holu tekur um 45 daga.

Við skoðuðum mjög fullkomið vélaverkstæði hjá PGI, efnarannsóknastofu og verkstæði fyrir holumæla. Aðbúnaður var mjög fullkominn og snyrtimennska ráðandi. Holur eru hita- og þrýstimældar, þreifaðar og djúpsýni tekin.

Vatnsborð í hverum við Naglabong hafði lækkað um 5 fet við blástur hola en hækkaði aftur þegar holun var lokað. Búast má við lækkun þegar vinnsla hefst á svæðinu og að þá hverfi allir hverir við Naglabong hvað sem Filipseyingar segja um nálægð við ströndina.

Fimmtudagur 2. mars.

Rætt við eftirfarandi starfsmenn PNOC:

P.V. Malixi, Vice, President,
Arturo P. Alcaraz, Consulant,
Alberto U. Filart, General Manager,
Bernardo S. Tolentino, Supervisor, Exploration & Investigation,
Nazario C. Vasquez, Manager, Project Management,
Ernie B. Patanao, Project Manager Leyte Geothermal Project,
Emmanuel J Galia, Geochemist,
Wilfred S. Loo, Geologist,
Romero C. Rodriguez, Geologist,
Celso M. Ilaog, Maintenance Engineer.

Að ósk Filipseyinga lýstum við borframkvæmdum og árangri borana í Kröflu. Sem stendur annast Union Oil boranir á Mak-Ban og Tiwi svæðunum á Lusoneyju eins og áður hefur verið lýst en Filipseyingar hafa þegar hafið boranir með einum bor á Negros eyju og hugsa sér að annast sjálfir jarðhitaboranir í framtíðinni á Filipseyjum en PNOC áætla að lokið verði virkjun 1320 MW fyrir árið 1982.

Alcaraz óskaði eftir að allar fyrirspurnir varðandi jarðhitamál á Filipseyjum bærust til PNOC en ekki til Com-Vol. sem ekki annast lengur jarðhitamál þar. PNOC óskaði eftir að fá upplýsingar og reynslu okkar varðandi boranir og hreinsanir á kalktöppum í holum í blæstri, hitamælingum í borholum og fleira sem að gagni mætti verða fyrir þá. Aðalstöðvar PNOC í Manila eru innan þrefaldra virkismúra Fort Bonifacio í Metro Manila. Að lokum var okkur boðið í hádegisverð í golfklúbb Herstöðvarinnar. Síðdegis flugum við síðan til Honolulu á leið til Mexico.

Mánudagur 6. mars.

Rætt við Hector Alonzo, Coordinator Ejecutivo sem er yfirmaður allra framkvæmda í Cerro Prieto í Mexico. Hann bauð fram allar upplýsingar og aðstoð sem okkur kæmi að gagni og harmaði hve lítinn tíma við hefðum til að afla þeirra (tvo og hálfan dag).

Við settum síðan fram óskalista í sjö atriðum um það sem við vildum helst kynna okkur svo þeir gætu betur skipulagt dvölina. Fyrst var rætt við Franco Vital Blanco, verkfræðing Superintendente General de Mantenimiento en hann hefur yfirumsjón með viðhaldi borhola og gufuveitu og sér um afhendingu gufu til orkuversins. Sér til aðstoðar hefur hann einn verkfræðing og fjóra starfsmenn við rekstur svæðisins. Auk þess eru tveir borar sem annast uppboranir og viðgerðir í holum, hver bor er með fimm manna áhöfn og vinnur á tveim átta tíma vöktum (2x2x5 m). Auk þess annast einn verkfræðingur ásamt tveim aðstoðarmönnum mælingar í borholum og einn verkfræðingur með 3x3 manna liði viðhald og hreinsanir á gufuveitu og skiljum. Hreinsanir á skiljum eru framkvæmdar þegar túrbínur eru teknar til athugunar u.þ.b. annað hvert ár. Aðallega var rætt við Vital um hreinsanir og viðgerðir á borholum.

Eftirfarandi kom fram:

- 1) 16 holur eru tengdar gufuveitu fyrir orkuver No 1 sem framleiðir 75 MW. Af þeim hefur þurft að gera við fóðringar í 12 holum og hreinsa eina á 3ja mánaða fresti og tvær á eins til tveggja ára fresti. Að jafnaði eru hreinsaðar 4-5 holur á ári og tekur hreinsunin 8 daga með flutningi og uppstillingu bors.
- 2) Skemmdum á fóðurrörum hefur áður verið lýst í grein eftir Vital og Dominiques (San Fransisco 1974) en þær urðu til þess að aukin áhersla var lögð á góða steypu og fóðringarprogrammi var breytt. Síðan verður rætt við Dominiques um fóðringarprogram.
- 3) Útfellingar eru kísill og kalsit auk járnsulfids (sjá grein eftir Mercado og Guiza, San Diego 1976). Útfellingar koma fram á nokkrum stöðum í fóðringum en þær verða gjarnan þar sem fóðurrör eru stölluð en það varð til þess að nú er leiðari (raufaður) og vinnslufóðring (7 5/8") heil uppúr. Útfellinga verður síður vart í þeim holum sem þannig eru hannaðar. Af þeim holum sem fellur út í er aðeins í tveim holum útfelling í raufaða linernum. Útfellingar ná niður á allt að 1300 m dýpi en dýpi útfellinga fer eftir botnhita holu þ.e. hvarð suða hefst í holunum. Reynslan hefur sýnt að æðar í vissum jarðlögum gefa meiri útfellingar en aðrar (eru auk þess gasríkar) en m.a. af þeirri ástæðu er fyrirhugað að lengd raufaðs kafla á liner verði aðeins 150 m.

- 4) Hreinsun borhola er gerð með 6 1/2" "tricone bit" fyrir harða "formation" og borað er án "colla". Notuð er leðja (pH, 10) við uppborunina, aðallega til að halda holum niðri. Leðjan skolar svarfi yfirleitt upp og leðju notkun er um tvöfalt rúmtak fóðringar. Við uppborun á 1300 metrum notast t.d. um 100 M³ af leðju.

- 5) Uppborun er yfirleitt framkvæmd á káfum holum. Öryggisbúnaður er: Holuloki, Shaffer öryggisloki og Shaffer rotating head. Yfirleitt nægir að loka holum til að kæfa þær.

- 6) Einu sinni hefur verið reynt að nota Shaffer rotating head við hreinsun á holu í blæstri (um 100 psi) en tókst ekki vegna leka með Kellystöng. Í næsta mánuði er fyrirhugað að reyna uppborun með hammerdrill frá Mission, með 250 psi loftþrýstingi og loftinu dælt um 2 3/8" "tubing". Með þessu hyggjast þeir hreinsa niður í 1300 m dýpi en okkur sýnist að þrýstingur í holu geti gert strik í þann reikning (Missionmenn eru kaldir karlar).

- 7) Rætt var um þau tæki sem notuð eru við könnun fódurröra og skemmda í þeim.
 - a) Cement bond logging hefur verið framkvæmt af Schlumberger en vegna erfiðleika á túlkun og að fá eitthvað marktækt út úr þeim mælingum, telur Vital þær gagnslausar að mestu en notar þess í stað teygju á rörum til að finna hvar þau eru steypt föst.
 - b) Casing inspection log gert með tækjum af Mc Cullough gerð. Það er CCL (GSC) sem finnur tengi m.a. og Electronic casing caliper. Af CCL línuriti hefur yfirleitt mátt ráða skemmdir í fódurrörum. Notað hefur verið Otis margarma caliper til að finna skemmdir og tæringu í fódurrörum en tækið er nú upptekið á Hawaii.
 - c) Þrykkimynd (impression) er tekin af skemmdum á fódurrörum með gúmmíbelg sem þaninn er út í fóðringuna. Impression pakkarinn (Lines) er 9 m langur og er þaninn með 2000 psi og þolir um 100°C. Við Sáum gúmmí, þar sem greinilega mátti sjá skemmdir (collaps) og einnig sprungur svipaðar og við Sáum í fódurrörum á Filipseyjum (Tiwi). Sprungur sem þessar hafa fundist í fimm holum.

8) Rætt var um tappa (plug) sem notaðir eru við þrýstiprófanir á holum og við steypingar (svonefndar brigde plug). Við þrýstiprófanir og viðgerðir á holutoppum er notaður Baker C retrievable bridge plug sem þolir 500°F. Við steypingar á fóðringum sem hylja viðgerðar skemmdir er notaður Baker K eða N drillable bridge plug. Steypt er ofaná tappann ca. 20 m steyputappi áður en fóðring er steypt upp.

Samkvæmt upplýsingum frá Vital hefur þrýstingur lækkað á svæðinu í Cerro Prieto við vinnslu og á þeim fimm árum sem svæðið hefur verið í vinnslu hefur vatnsborð í einni holunni lækkað úr 20 m í 200 m dýpi.

Þriðjudagur 7. mars.

Skoðaður var bor- og efnislager og sérstaklega tæki sem notuð eru við viðgerðir og hreinsanir á holum (casing rollers, milling bit, casing scraper). Einnig voru okkur sýndir holutoppar sem voru í upptekt, raufuð fóðurrör (Hydril 7 5/8) og þrepasteypingatæki (Baker). Síðan var ekið um svæðið í fylgd með Vital og fyrst farið að vinnsluholum og síðan að tveimur borum sem eru við viðgerðir. Annar var að undirbúa að steypa upp fóðringu þar sem steypuborð var í 900 m og þar átti að skjóta göt á fóðringuna. Borinn var af Ideco gerð og tók við af bornum sem boraði holuna. Ideco H-33 borinn hafði 250.000 lb masturs styrk og tekur um 8 tíma að stilla bornum upp. Öryggisloki var af Shaffer gerð (fyrir borstengur aðeins) og róterandi pakkdós einnig frá Shaffer.

Hinn borinn vann að viðgerð á holu M-33 en það er heitasta holan á svæðinu (348°C). Þar var skemmd á tveimur stöðum bæði collapse og brotin fóðring sbr. ljósmynd af "impression pakkara". Unnið hefur verið að viðgerð á holunni í tvo mánuði og átti að fóðra skemmdina af með 5" Hydril fóðringu. Við þessa viðgerð var aðeins notaður einn Hydril gosvari en gúmmíið í honum þolir 600°F.

Því næst var farið á fjóra bora sem nú eru við vinnsluboranir á svæði austan núverandi orkuvers og er þar verið að bora fyrir nýtt 220 MW orkuver, en borun vegna 75 MW stækkunar sem nú er unnið að, er lokið.

Holur á þessu svæði eru yfir 300°C heitar og boraðar í 2000-3000 m dýpi en raufaður hluti linera er innan við 300 m á lengd. Nýr bor var skoðaður en hann var að hefja borun holu M-103 hann er af gerðinni Continental Emsco GB-800 og getur borað niður á 15.000 ft og kostar 8 millj \$. Með þessum bor verður boruð ný gerð af holum sem verður lýst síðar (þ.e. 9 5/8 liner í botn, dýpt holu 3.000 m). Á einum bornum var verið að fiska í 2500 m dýpi stöng sem hafði brotnað og var búið að eyða 3 vikum í fiskunina.

Ljósmyndir voru teknar af gufulögnum, skiljum, útfellingum í hljóðdeyfum og bortækjum.

Rætt var við ing. Catarino Cortez um eftirlit með svæðinu og mælingar sem eru gerðar, bæði á afköstum hola og hita og þrýsting í holum. Hann fékk okkur línurit þar sem kemur fram, afkastarýrnun allra hola sem nýttar eru og einnig hita og þrýstimælingu af holu M-53. Þar kemur fram að afköst hola sem nýttar hafa verið í 5 ár hefur rýrnað um ~ 40% og virðist sú rýrnun halda áfram. Afköst hola voru í upphafi 1-2 MW. Mánaðarlega er vatns og gufurennisli frá hverri holu mælt. Síriti er við hverja holu þar sem skráður er á pappír þrýstingur á holutopp og í gufuskilju. Holur eru hita og þrýstimældar þegar því verður við komið og í ár hafa verið gerðar mælingar í holum og könnuð áhrif á milli þeirra, en mælingarnar eru unnar sem hluti af samvinnuverkefni við Lawrence Berkley Laboratory og miðar að könnun á vatnafræði svæðisins. Afköst á gufuskiljum, sem eru 54" í þvermál, eru 70 t/h af gufu við 100 psig og 99.5% þurra gufu. Eftir nokkurra ára rekstur komust þeir að því að auka mátti nýtni skilja með því að hækka miðjurörið innan í skiljunni (gufu úttak).

Útfellingar setjast í skiljurnar um 1/2" á 2 ári en þær eru hreinsaðar með háþrýstidælum og er jafnvel sandi bætt í vatnið. Hreinsitæki af þessari gerð er einnig notað við upptekt á holulokum og við ryðhreinsun.

Rætt var við aðstoðarmann Dominiques, ing. Rene De Leon Botella borverkfræðing um borun og gerð hola, frekar verður fjallað um þetta á morgun. Rætt var við efnafræðinga á rannsóknarstofu og aðstaða þeirra skoðuð. Nýleg skýrsla um efnafræði svæðisins fengum við "Extensive Geochemical Studies in the Geothermal Field of Cerro Prieto". (A. Mañon Mercado en hann er yfirmaður rannsóknarstarfseminnar (Superintendente General de Estudios). Upplýsti hann að á svæðinu verður ör útfelling í grunnum holum (kalsít) sem eru um 250°C heitar en kísil útfelling í dýpri holum og þarf að hreinsa þær á 2-6 ára fresti.

Svæðið hefur nú verið í rekstri í 5 ár og á þeim tíma hefur gasinnihald gufunnar lækkað úr 5.0% í 2.2%. Gufunotkun jektora er um 10% af gufuþörf orkuversins. Í holum, sem hafa liner með 300 m löngum raufuðum kafla hafa komið fram tvö kerfi, sem trufla hvert annað og er nú stefnt að raufun skemmri kafla og að nýta aðeins eitt kerfi í hverri holu. Skýrsla um útfellingu í borholum fékkst, og skýrsla um isotopa athuganir og um streymi í svæðinu. Ennfremur benti Mercado á að S. Mercado í Mexico City gæti útvegað skýrslur um rannsókn sem

gerð hefur verið á útfellingum í hljóðdeyfum og affallsvatni (1977) og einnig um könnun á gerð gufuskilju til nýtingar á lágþrýstigufu (vertical og horizontal skiljur).

Skýrslur þessar voru unnar af Instituta De Investigaciones Electricas og var rætt við Rabents sem annaðist þær en hann er nú að kanna efnavinnslu úr affallsvatni (saltvinnsla) og möguleika á niðurdælingu affallsvatns. Ef ekki verður af niðurdælingu er áformað að veita affallsvatninu til sjávar í steiptum skurði 80 km veg, þegar vinnslan eykst í 400 MW. Smakvæmt upplýsingum kostar orkuver sem nú er í byggingu, 75 MW, 50 millj \$ með holum og er áætlað orkuverð 9 mill en í næsta áfanga er reiknað með að rafmagnið kosti 16 mill á kWh.

Rætt var við mælingamenn sem gera viðnámsmælingar í borholum og reyna að tengja saman jarðlög með þeim.

Skoðað var orkuverið og stækkunin sem nú er unnið að. Lokið var við að reisa stálgrindarhús og niðursetning véla að hefjast. Vélar eru frá Toshiba. Vakti athygli gífurleg stærð ejectora en þeir voru gerðir fyrir 4% gas í gufu. Einnig eru kæliturnar mun fjær stöðinni en áður. Glertrefja háfar leiða gas frá eimpéttum 20 m upp fyrir þak stöðvar til að dreifa gasinu betur. Nýtingartími stöðvar var upphaflega um 50%, en er nú um 70% frá því að rekstur stöðvar hófst. Nú er nýtingartími (gangtími) stöðvarinnar yfir 80%.

Miðvikudagur 8. mars.

Rætt við yfirborverkfræðing Bernardo Dominquez. Þeir eru að prófa nýjar aðferðir við að þétta holur í borun án þess að taka upp borkrónu, með efnum, sem Halliburton hefur prófað fyrir jarðhitaboranir og fengist góð reynsla af á Geysissvæðinu.

- Aðferðin er:
- 1) Dælt niður á fersku vatni (3000 gal)
 - 2) Dælt niður CaCl upplausn (3000 gal)
 - 3) Dælt niður ferskvatnspúða (spacer) (100 gal)
 - 4) Dælt niður Flowcheck (Halliburton) (3000 gal)
 - 5) Dælt niður vatni.
 - 6) Dælt niður leðju til áframhaldandi borunar.

Við fengum skýrslu frá Halliburton um efni og notkun þeirra, eins og þeir ráðleggja. Mexicanar hafa prófað þessa aðferð á einni holu með góðum árangri.

Um steypingar segja þeir:

- 1) Halliburton annast allar steypingar og leggur til dætur.
- 2) Allt efni, sement og annað, er keypt af Halliburton.
- 3) Ekki þýðir að steypa ef tap fyrir steypingu er meira en 10-20% af leðjusirculation (skolmagni)
- 4) Ef þrýstingur í sementssúlu fer yfir 1200 psi lekur sementið út. Steypa ekki lengri kafla en sem samsvarar 400 til 600 psig yfirþrýstingi í sementssúlu, sem samsvarar um 400 til 600 lengd í holu.
- 5) Notað þrepasteypuþæki til að halda steypuþrýstingi innan við 600 psi, helst 400 psi.
- 6) Notað málmkölfur neðst á fóðurröri ofan raufaða kaflans á liner. Einnig neðan við þrepastykki.
- 7) Stoppa aldrei dælingu steypunnar fyrr en henni er lokið því það er ekki hægt að koma henni af stað er stoppað er.
- 8) Notað tafefni í steypu, magn fer eftir hitastigi. Þetta getur orðið til þess að steypa verður óhæfilega lengi að harðna ofan til í holu og að steypuborð sígur niður.
- 9) Ef steypist upp í milli fóðurröra eða steypuborð sígur niður er:
 - a) fyllt upp með sandi.
 - b) skotin göt á fóðringu og steypst upp.
 - c) fóðring skorin sundur, tekin upp, fóðrað aftur niður að skurðstað og sú fóðring steypst upp (bridge-plug í neðri fóðringu (drillable)).
 - d) aldrei steypst ofaná í milli fóðringa.
- 10) Hafa meira magn af perlit í fyrstu steypu svo perlit er mest efst í holunni. Perlitsteypan er veikari en það velja þeir ofan til í holunum
- 11) Gæta þarf vel að því að hafa hvorki of mikið né lítið vatn í steypunni vegna hættu á vatnspokamyndun eða dehydration (við notkun perlits). Þeir nota reyndar "water loss" bæti-efni til að koma í veg fyrir það.

- 12) Sementmagn áætlað eftir rýmd holu og leka fyrir steypingu. Magnið er 20 til 30% umfram teoretískt stundum 50% vegna leka.
- 13) Átla að fara út í margra þrepa steypingu með Fo-pakkers (Halliburton).
- 14) Ef ekki steypist upp (9) er stundum sett slíf ofan frá yfir endann á fóðringunni og fóðring látin vera ósteyppt. Fóðringin þenur sig upp í skífina þá er hvorki sandur né sement sett utan með fóðurröri.
- 15) Þeir nota heila fóðringu, raufaða neðst: a) til að minnka útfellingar sem verða við breytilegt þversnið á fóðringum b) auðvelda að hreinsa útfellingar með borun. Ef ekki er hægt að nota heilt rör upp er hengdur liner í holuna.
- 16) Þeir nota tafefni í sement fyrir steypingu og fara eftir ráðleggingum Halliburton. Tafefni eftir borhitastigi sem getur orðið til þess að sementið sé of tafið fyrir hitastig ofan til í holunni. Það getur þá tekið fleiri daga fyrir sementið að setjast til. Sementið vill þá síga niður í milli fóðringa. Hafa mesta trú á að fylla þá upp með sandi utan með. Hafa ekki fengið neinar nothæfar niðurstöður við notkun á "sement-bond logging" mælingum, teygja því á fóðringu til að finna steypuborð, síðan aðferðir samkv. 9 að ofan.
- 17) Hafa orðið varir við tæringu innan í fóðringum.
 - a) Vegna turbulens við samskeyti röra.
 - b) Galvanisekra áhrifa innan í rörum, vegna jarðlagaáhrifa. (tærist innan á einum stað og e.t.v. að utan annarsstaðar.
 - c) Óttast tæringu á buttersgengjum eins og kemur fram í olíuborunum (sulfuric acid corrosion).
- 18) Þeir átla því að fara að mæla tæringu innan í fóðringum með margfingra þreifara (caliper).
- 19) Vegna tæringaráhrifa, sem verða við samskeyti fóðringa, átla þeir að nota Hydrill samsetningu á vinnslufóðringum (raufaðar neðst)
 - a) Hydrill HCS, 110% styrkur, bestu gengjumar.
 - b) Hydrill Super Eu 3 100% styrkur, ef HCS fást ekki.Öll rör eru keypt með árenndum skrófgangi eins og á öllum öðrum stöðum sem við höfum komið á.
- 20) Vegna tæringar við lágt hitastig er best að halda holum alltaf

heitum - láta þær helst vinna á fullum afköstum allan tímann.

- 21) Þeir hafa notað ýmsar sementsblöndur.
 - a) Sement A, hafur orðið collaps, minni þensla (við upphitun).
 - b) Sement G, minna collapse meiri þensla.
 - c) Sement G+SSA 1 + gel hefur reynst best mest þensla.
 - d) Sement G+SSA 1 + perlit + gel veikara, notað með mestu perliti efst í holunni, minna neðst.
 - e) Sement G+Possolan, meiri þensla.
 - f) Með notkun SSA-1 fæst minna bond?
- 22) Nota exspansion spoon-piece, soðin slip on topp flans á 13 3/8", því þeir hafa misst topp af einni holu sem var skrúfaður á.
- 23) Efni í fóðringum er K-55, ekki N-80 vegna tæringarhættu eða C-75 sem er minna tæringarhætt, heldur L-80 ef auka þarf styrk fóðringa.
- 24) Nota mjög þykkar fóðringar, t.d. er notaður 7 5/8" liner, sem er 45,3 lb/fet, í Kröflu var hann 24 lb/fet.

Fengið fóðringarprogram fyrir nokkrar holugerðir. Rætt við Mercado og jarðfræðing hjá honum um útfellingar og jarðfræði jarðhitasvæðisins í Cerro Prieto.

- 1) Jarðhiti bundinn sprungukerfi sem gengur gegnum svæðið - stóra sprungan, sem gengur til hliðar við svæðið, er framhald af San Andreas sprungunni.
Sprungukerfi liggur bæði langs og þvers gegnum svæðið samkvæmt þversniðsmynd jarðfræðingsins.
- 2) Sverrir tók mynd af þeim með bakgrunn af Mexico sem sýnir 12 jarðhitasvæði í Mexico.
- 3) Útfellingar í borholum eru kalk.

Hreinsa þarf eina holu á 3ja mánaða fresti, tvær á 2ja til 3ja ára fresti enn aðrar á 5-6 ára fresti, í hæsta lagi. Útfellingar eru því ekki vandamál hjá þeim. Hins vegar fellur mikið út í hljóðdeyfum og frárennslisskurðum á yfirborði. Þessar útfellingar eru hreinsaðar reglulega með því að moka þeim upp. Útfellingar þessar eru linar og lausar í sér eins og þurrt skyr.

Um hádegi var lagt af stað frá Mexico til San Fransisco og komið þangað að kvöldi miðvikudags, þar sem við hittum Valgarð aftur.

- D. Dagbók Valgarðs frá Menlo Park, Stanford og Berkley
dagana 6-9 mars 1978.

Mánudagur 6. mars.

Valgarður heimsótti U.S.G.S. í Menlo Park, Gestgjafi var Dr. Patric Muffler jarðfræðingur. Árdegis var rætt við Donald White, Bob Fournier og Al Truesdell um útfellingar í Kröflu. Í ljós kom að þekking manna í jarðefnafræði ofan við 300°C er af mjög skornum skammti. Einu útfellingarnar sem eitthvað gætu líkst því sem fyrir hendi er í neðra kerfinu í Kröflu eru þær útfellingar sem komið hafa fram við Salton Sea í Imperial Valley. Þær útfellingar eru kolsvartar og innihalda ýmsa málma svo sem kopar og járn. Aðalmunurinn á þessum útfellingum er þó sá að við Salton Sea verða þær á yfirborði en ekki í holunum eins og í Kröflu.

Um miðjan dag hélt svo VS fyrirlestur um jarðhita í Axarfirði og samband hans við eldvirkni í Kröflu. Var sú niðurstaða dregin í fyrirlesturinum að háhitasvæði væri í Axarfirði. Truesdell benti á að alkalihiiti gæti verið varasamur ef grunur væri um að sjór væri í kerfinu en taldi að gögnin um kísilinnihald vatnsins tækju af allan vafa um að háhitasvæði væri í Axarfirði.

Síðdegis var farið til Stanford University og rætt við prófessorana Frank Miller, William Brighan og Henry Ramey. Rætt var almennt um reservoir engineering og skoðuð sú tilraunastarfsemi sem þar er í gangi. Starfsemin á Stanford beinist mjög að praktiskum lausnum og tilraunum í rannsóknarstofum með mjög einföld módel. Viðhorf þeirra í Stanford er það að ef ekki sé hægt að fá einföld módel að vinna nákvæmlega eins og teorian segir til um þýðir lítið að nota flókin líkön þar sem ekkert er vitað um notagildi þeirra (svo sem síðar verður vikið að er viðhorfið á Lawrence Berkeley Laboratory allt annað).

Þriðjudagur 7. mars.

Valgarður dvaldi í Menlo Park hjá U.S.G.S. Átti viðræður við Robert Potter II um járn og kísilútfellingar. Hann hefur gert ýmsar tilraunir með kísilútfellingar. Hann taldi það hafa verið sannað að útfellingar kísils væru háðar því í hvaða umhverfi kísillinn væri. Þannig væru útfellingar kísils mjög frábrugðnar í nærveru málms en í hreinni upplausn.

Hann mun senda nánari upplýsingar í pósti. Hann benti á að John L. Haas í Reston gæti haft upplýsingar um uppleysanleika og útfellingar kísils við hitastig yfir 300°C. Síðan var rætt við Bob Burford um mælingar á St. Andreas sprungunni í Californíu. Svipar þeim mælingum nokkuð til gliðnunarmælinga í Kröflu. Notaðar eru bæði landmælingar og gliðnunarmælar. En sökum þess að hreyfingin á St. Andreas er samsíða sprungunni eru "gliðnunarmælar" settir upp með 30 - 50° horni miðað við sprunguna. Notaðir eru invar þræðir og hreyfingin skráð á trommlu svipað og notað er í siritandi vatnsborðsmælum.

Átti síðan viðræður við Jan Natanson um reservoír reikninga og suðu í borholum. Að lokum sögðu þeir Graig Weaver og Felix Kleim nokkuð frá notkun jarðsveiflumælinga við jarðhitarannsóknir. Sú tækni sem verið hefur í þróun um uppsetningu og upptöku jarðsveiflna á jarðhitasvæðum verður á næstunni notuð á Hawaii til þess að freista þess að mæla kvikuþróun undir Kilauea.

Miðvikudagur 8. mars.

Valgarður heimsótti Reservoir Engineering Group við Lawrence Berkeley Laboratorium og hélt þar fyrirlestur um jarðhitakerfi í Kröflu. Gestgjafi var Jack Howard en Valdimar Jónsson sá að öðru leyti um þessa heimsókn. Undirtektir heimamanna í Berkley voru góðar og töldu menn túlkun Kröfluganga mjög athyglisverða og voru sammála um að hér væri um að ræða flóknara jarðhitakerfi en þeir höfðu áður séð.

Meginsjónarmið Reservoir Grúppunnar við LBL er að simulera hegðun jarðhitakerfa með flóknum tölvuprógrömmum. Hafa í þeim tilgangi verið gerð mörg og stór prógrömm sem eiga að geta reiknað alla mögulega og ómögulega hluti. Nokkuð er samt gert af mælingum á borholum en sú starfsemi virðist hverfandi miðað við reikningsgleðina.

Rætt var sérstaklega við C.F. Tsang og M. Lippman um well-testing og ýmsar nýrri rannsóknarniðurstöður á LBL. Einnig var rætt við jarðefnafræðingana Robert Silva og Oleh Weres um útfellingar. Yfirmaður jarðefnafræðihópsins John A. Apps sýndi málinu einnig mikinn áhuga og ræddi lengi um hugsanlegar skýringar á málinu. Hann ræddi einnig um það tölvuprógramm sem notað er á LBL til útreikninga á jarðhitavökva.

Byggir það að miklu á verkum Helgeson. Apps taldi ekkert því til fyrirstöður að íslenskur jarðefnafræðingur kæmi til 3ja vikna dvalar við LBL og kynnti sér notkun programmsins og fengi það síðan með sér til notkunar á Íslandi. Nokkur járnambönd eru tekin til meðferðar á programminu og fékkst afrit af databasis til hliðsjónar fyrir Stefán Arnórsson. Einnig var samþykkt að fela Stefáni að skera úr um hvort ástæða væri á að senda menn til LBL til þess að komast yfir þetta program.

E. Dagbók frá San Francisco dagana 9 og 10 mars 1978,

Fimmtudagur 9. mars.

Heimsóttum allir þrír Thermal Power Company í fylgd með James Kuwada frá Rogers Engineering og Valdimar Jónssyni. Rætt var við W.L.D. Oliver, Vice President, Geothermal Operations, B.R. Bodwen Drilling Supervisor, Rodcil vélaverkfræðing og K. Davis jarðfræðing. Thermal Power sér um 25% af gufusölu á Geyserssvæðinu. Thermal Power greindi frá reynslu sinni af borunum á Geyserssvæðinu og á Rooseweltsvæðinu í Utah. Svæði þessi eru mjög ólík þar sem Geyserssvæðið er þurr gufusvæði en Roosewelthreintheitavantssvæði. Á Geyserssvæðinu er borað með lofti eftir að búíð er að steypa fóðringu niður í greywacki jarðmyndunina (100-200 fet) en fyrir fóðurrörum er borað með vatni eða leðju. Á Roosewelt svæðinu er hins vegar borað bæði með leðju (14 lbs/cu ft) og með vatni. Á Geyserssvæðinu eru ekki notuð rauðfuð fóðurrör (barefoot) og holuloki er festur á vinnslufóðringu 9 5/8" eða 10 3/4". Gufuverð á Geyserssvæðinu sem Union Oil, Thermal Power og Magma Power fá frá Pacific Gas and Electric er háð eldsneytisverði og er núna (1978) 16,02 mill á hverja framleidda kwh af raforku. Gufuverð hefur hækkað ört undanfarið ár, var t.d. 1975 7.39 mill. og 11.35 mill. 1976 á hverja kwh. Framleiðsluverð rafmagns á Geyserssvæðinu er nú talið vera 22-24 mill á kwh. Gufunotkun er talin vera 20 lbs á kwh. Í sambandi við boranir á Rooseweltsvæðinu var lýst fyrir okkur notkun á cement bond log (Schlumberger) til að ákvarða um gæði steypinga. Kom þar vel í ljós að þessi tæki geta gefið haldgóðar upplýsingar. M.a. kom fram á Rooseweltsvæðinu "blow out" vegna lélegrar steypingar. Einnig var lýst fyrir okkur hvernig komist var fyrir þennan leka með því að bora skáholur (200-300 fet) inn að holunni og dæla niður cementsgraut. Í fimmtu tilraun tókst að komast fyrir lekann. Lagðar voru fram teikningar af hönnun borhola og kom þar m.a. fram að holur á Rooseweltsvæðinu eru einnig án raufaðra fóðringa en vinnslukaflar holanna eru í graníti. Tvær holanna eru þurrar en ein hola gaf 160 kg/s af 230°C vökva. Holan er undir hydrostatiskum þrýstingu. Afköst holu vor mæld með því að mæla þrýstifall yfir blendu og kritiskan þrýsting. Aðeins var hægt að mæla í 22 tíma í senn vegna erfiðleika að losna við affallsvatn.

Kuwada ræddi nokkuð um raufun fósturröra og taldi hann að út frá sínum útreikningum að núverandi gerð raufaðra fósturröra í Kröflu mundi orsaka "chocking" í raufum. Taldi hann æskilegt að hafa annað hvort mun meiri raufun eða hafa holur án raufaðra fósturröra. Einnig ræddi Kuwada um að nauðsynlegt væri að hafa holur það djúpar að þær næðu niður í hreinan vatnsfasa og nauðsynlegt væri að fóstura af allt tveggja fasa streymi þar fyrir ofan. Valgarður og Rodeil voru ekki sammála Kuwada um að þetta væri alltaf mögulegt heldur færi það eftir gerð jarðhitakerfisins. Ef um er að ræða einfalda konvektion í hreinum vatnsfasa er eflaust betra að fá innstreymi í holur í vatnsfasa, frekar en blöndu af vatni og gufu. Hins vegar eru sum jarðhitakerfi í suðu, þannig að ekki er mögulegt að fá inn hreinan vatnsfasa í borholur. Meira að segja er nægilegt að hitastig jarðhitasvæða fylgi suðumarksferli áður en vinnsla hefst til þess að innstreymi í holur sé blanda af vatni og gufu.

Thermal Power ræddi nokkuð um reynslu sína af notkun leðju við boranir og kom þar fram að nágöbar er komið fram með sérstaka leðju sem ætluð er til jarðhitaborana (þolir herra hitastig).

Föstudag 10. mars.

Héldum fund með L. Owen og G. Tardiff frá Lawrence Livermore Laboratory á skrifstofu Rogers Engineering í San Fransisco. Fundinn sátu einnig Valdimar Kr. Jónsson og J. Kuwada frá Rogers Engineering.

Lawrence Livermore Laboratory hefur unnið að vinnslutæknirannsóknum á jarðhitasvæðinu í Imperial Valley, Calif. Jarðhitavökvi þar er mjög saltur og nýtingarvandamál mikil vegna útfellinga.

Valgarður lýsti jarðhitakerfum í Kröflu og þeim útfellingum sem þar hafa komið fram. Kom þeim Owen og Tardiff mjög á óvart að kísill félli út í borholum þar sem styrkur kísils er ekki nema 350-520 ppm í holu KG-10.

Þeir fengu sýni af útfellingum úr holu KG-10 og bentu á að augljóslega væri magnetit í sýninu. Þeir hafa þróað tölvuútreikninga sem segja til um hvaða efni geta fallið út (reiknað fyrir 39 efnasambönd) við mismunandi aðstæður. Þeir buðust til að gera frumathugun og útreikninga til að kanna hvort tölvuútreikningar þeirra gætu komið að gagni við rannsókn á útfellingum í Kröflu. Til þess að það megi verða þarf að senda þeim yfirlit um efnagreiningar útfellinga (t.d. KG-10) í Kröflu. Tilraunir þeirra hafa miðast við að nýta útreikninga til að kanna áhrif pH, málmjóna og fl. á útfellingar. Þessar upplýsingar eru notaðar til þess að kanna áhrif sýrublöndunar (HCl), oxunarstigs og "kelating" efna til að koma í yeg fyrir útfellingar. Þegar hefur komið í ljós að hindra má kísilútfellingar með þessum hætti. Við fengum afhentar skýrsur um niðurstöður tilrauna þeirra.

Í Imperial Valley hafa ekki orðið útfellingar í borholum svo vitað sé en holutoppsbrýstingur er ávallt hafður ofan útfellingamarka amorfs kísils. Hins vegar eru örar útfellingar í tækjum og lögnum á yfirborði.

Fyrirhugað er að láta kísil í affallsvatni falla út í kælilónum og að sá kísill sem ekki fellur til botns verði síaður úr (pressure

filter) affallsvatninu áður en því er dælt niður. Tilraunir hafa sýnt að auðvelt er að sía kísilagnir úr affallsvatni.

Síðla dags var farið í heimsókn til Lawrence Berkeley Laboratory en þar var Paul Witherspoon að taka í notkun nýtt skrifstofuhúsnæði fyrir starfslið Reservoir Group. Gafst þar tækifæri að ræða við Witherspoon stutta stund.

Valdimar Kr. Jónsson bauð síðan til kvöldverðar með meiru að skilnaði.

VIÐAUKI 2

Heimildir

1. Chemistry Division, 1974 Handbook
NZ DSIR information Series Nr. 98
2. Chemistry Division, 1976, Handbook
NZ DSIR info Series No. 119.
3. DSIR Research 1977
DSIR info SER. No. 128.
4. Waiotapu Geothermal Field
NZ DSIR Maps to accompany Bulletin 155
5. Waiotapu Geothermal Field
NZ DSIR Bulletin 155
6. The Geology, Structure and Exploitation of the Wairakei
Geothermal Field, Taupo New Zealand.
7. A. Steiner
Hydrothermal Alteration as an aid in Investigation Geothermal Fields.
Geothermics (1970) Pisa 1970. Vol. 2. Part 1.
9. P.R.L. Browne and A.J. Ellis. The Ohaki-Broadlands Hydrothermal
Area New Zealand. Mineralogy and related Geochemistry
American Journal of Science, summer 1970.
10. P.R.L. Browne
Mineralisation in the Broadlands Geothermal Field,
Taupo Volcanic Zone, New Zealand.
11. P.R.L. Browne
Aragonite Deposited from Broadlands Geothermal Drillhole Water
N.Z Geological Survey, DSIR NZ J. of Geol. Vol/6 1973.
12. George W. Grindley, Patrick R.L. Browne
Structural and Hydrological Factors Controlling the Permeability
of Some Hot-Water Geothermal Fields.
Proceedings 2nd U.N. Symp. San Francisco 1975.

13. P.R.L. Browne, Edwin Poedder, Antoni Qodzick Comparison of Past and Present Geothermal Waters, from a Study of Fluid Inclusions, Broadlands Field, New Zealand. Proc. INT. Symp. Water-Rock Interaction, Prague Pub. 1976
14. P.R.L. Browne
Hydrothermal Alteration in Active Geothermal Fields
NZ Geological Survey - Aug. 1977
NZGS Unpublished Report N 58
15. J.R. Hulston
Isotope Work Applied to Geothermal Systems at the Institute of Nuclear Science New Zealand
I.N.S. Contribution No. 777 Geothermics Vol. 5 pp 89-96
16. A. Steiner
Genesis of hydrothermal K. feldspar (adularia) in an active geothermal environment at Wairakey N.Z.
Mineralogical Magazine, Dec. 1970, Vol. 37 No. 292
17. N.K Stewart
Stable Isotopes in Waters from the Wairakey Geothermal Area, N.Z.
INS contribution No. 776. DSIR Special Bulletin, 1977.
18. H.P. Rothbaum, D.H. Buisson
Removal and Potential Recovery of Arsenic from Geothermal Discharge Waters after Absorption or Iron-Floc
DSIR - 1977 Rep. No. C.P. 2252
19. Geochemistry 1977, NZ Department of Scientific and Industrial Research Bulletin 218, Wellington, 1977
20. R.L. Goguel, Methods for the Determination of Some Components of Thermal Waters by Atomic Absorption Spectroscopy. Report No C.P. 2151 DSIR 1972.
21. A.S. Ellis, W.A.J. Mahon and J.A. Ritshid, Methods of Collection and Analysis of Geothermal Fluids (2nd Edition) Report C.D. No 2103 DSIR 1968
22. W.H.H. Mahon, Geochemistry of the Broadlands Geothermal Area
(handrit)

23. Ministry of Works and Development, Broadlands Geothermal Field Investigation Report 1977.
24. G.R. McKenzie and J.H. Smith, Progress of Geothermal Energy Development in New Zealand, VII world Power Conference 1968.
25. T.G.N. Haldane and H.C.H. Armstead, The Geothermal Power Development of Wairakei New Zealand. Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol 176, No 23, 1962.
26. B.E. Smith and G.R. McKenzie, Economic Factors of Development and Operation - Wairakei Power Station, New Zealand. U.N. Geothermal Symposium - Pisa 1970.
27. J.H. Smith, Power from Geothermal Steam at Wairakei New Zealand, Sixth World Power Conference Melbourne 1962.
28. R.S. Bolton and F.E. Studt, Investigation and Development of New Zealand's Geothermal Resources, Tenth World Energy Conference, Istanbul 1977.
29. Ministry of Works and Development, Broadlands Geothermal Power Scheme - Report on the Disposal of Waste Field, Wellington 1977.
30. New Zealand Electricity, Environmental Impact Report for the Broadlands Geothermal Power Development, Wellington 1977.
31. Geological Map of New Zealand Sheet 8, Taupo, DSIR 1960.
32. Geological Map of New Zealand Sheet 5, Rotorua, DSIR 1964.
33. L.E. Klyen, A Vessel for Collecting Subsurface Water Samples from Geothermal Drillholes. Geothermics Vol 2, No 2, 1973.

34. New Zealand Geothermal Development, upplýsingabæklingur frá Ministry of Works and Development 1974.
35. Steam Supply 1st. Quarter 1975 Wairakei. Teikning.
36. Wairakei Power Station, upplýsingabæklingur frá New Zealand Electricity 1975.
37. Wairakei, upplýsingarit 1974.
38. Reprinted Act (with Amendments Incorporated) Geothermal Energy. Reprinted as on 1 January 1976.
39. The Geothermal Energy Regulations 1961.
40. Geothermal Energy Amendment 1977.
41. D.M. Wigley, Two Phase Flow Pressure Drop (handrit).
42. P.K. Foster and A. Tombs, Corrosion by Hydrothermal Fluids, NZ Journal of Science Vol.5, No. 1, 1962.
43. P.K. Foster, Some Aspects of Hydrogen Infusion into Steels Exposed to Hydrothermal Media. Australasian Corrosion Engineering. Vol. 6, No. 10, 1962.
44. T. Marshall and A. Tombs, Delayed Fracture of Geothermal Bore Casing Steels, Ninth Annual Conference of the Australasian Corrosion Association, Aucland 1968.
45. T.M. Hunt, Recharge of Water in Wairakei Geothermal Field Determined from Repeat Gravity Measurements, NZ Journal of Geology and Geophysics, Vol. 20, No. 2, pp 303-17, 1977.
46. The Scientists at Wairakei, upplýsingabæklingur frá DSIR 1970.

47. E.F. Lloyd, Geology of Whakarewaewa Hot Springs DSIR, Rotorua 1975.
48. J. Healy, Preparatory Mission on Training in the Development of Geothermal Energy. Skýrsla til ríkisstjórnar Nýja Sjálnds.
49. G.W. Hitchcoch, Report on the Wairakei Geothermal Reservoir (handrit).
50. High Temperature Calibrator for K.P.G. Instruments. (vinnuteikning).
51. F. Scarf and W. Christie, Measurements Manual, handrit Mai 1966.
52. P.F. Bixley, Kawerau Geothermal Investigations well KA22, Report on Measurements June-July 1977.
53. Tasman Pulp and Paper Company Limited, Tafla um borholur Tasman í Kawerau.
54. Upplýsingablað um Orakei Korako Geyserland.
55. C.M. Whiteford, Magnetic Anomaly Map of the Central Volcano Region, Report No. 101, Geophysics Division DSIR 1976.
56. H.M. Bibby and G.F. Risk, Intepretation of Dipole - Dipole Resistivity Surveys using a Hemispheroidal Model Geophysics Vol. 38, No. 4, p. 719-736, 1973.
57. G.F. Risk, W.J.P. Macdonald and G.B. Dawson, DC Resistivity surveys of the Broadlands Geothermal Region, New Zealand Geothermics, Special Issue 2, p. 287-294, 1970.
58. T.M. Hunt and S.R. Hicks, Repeat Gravity Measurements of Broadlands Geothermal Field 1967-1974, Report No. 113, Geophysics Division DSIR 1975.

59. G.E.K. Thompson, Birth and Death of "The Rogue", A history of Drillhole 204 Wairakei, Report No. 117, Geophysics Division DSIR 1976.
60. M.J. Groth, Equipment for Field Measurements of Electrical Resistivity, Technical Note No. 79, Geophysics Divisionm DSIR 1977.
61. W.J.P. Macdonald, G.B. Dawson, H.H. Rayner and C.A.Y. Hewson, Geophysical Investigations of the Ngawha Geothermal Area, Report No. 130, Geophysics Division, DSIR 1977.
62. D.J. Dickinson, The National Heat Output of the Tikitere Thermal Area, Report No. 75, Geophysics Division, DSIR 1972.
63. DSIR Publications List 1972.
64. Amendments to publications list 1972, Nov 1973.
65. M.A. Grant, Broadland, A Gas-Dominates Field, Technical Report No. 46, Appl. Math. Division DSIR 1976.
66. M.A. Grant, Broadlands Simulations, Technical Report No. 71, Appl. Math. Division, DSIR 1977.
67. M.A. Grant, Permeability Reduction Factors at Wairakei AIChE - ASME Heat Transfer Conference, Salt Lake City Utah, August 15-17 1977.
68. I.G. Donaldson and M.A. Grant, An Estimate of the Resource Potential of New Zealand, Geothermal Fields for Power Generation, Proceedings of the Larderello Workshop on Geothermal Resource Assessment and Reservoir Engineering, Sept 12-16, 1977, pp. 414-428 ENEL, Studi e Ricerche 1978.
69. M.A. Grant, Two Phase Linear Geothermal Pressure Transients, A Compararasion with Single-Phase Transients (handrit).

70. M.A. Grant, Pressure Responce, Interference Tests between BR23 and BR19 (handrit).
71. M.A. Grant, Report on KA24, Pressure and Temperature Responce (handrit).
72. M.A. Grant, Pressure Responce - BR-7 (handrit).
73. M.A. Grant, Pressure Responce - Interference Test Between BR33 and BR8. (handrit).
74. M.A. Grant, Pressure Responce - Interference Tests Between BR33 and BR11 (handrit).
75. M.A. Grant, Pressure Responce KA24 (handrit).
76. Geothermal Circular Number MAG 13 Output Tests on Ngawha Hole N1.
77. Geothermal Circular Number MAG 15 Gas Content in Broadlands Deep Water.
78. Geothermal Circular Number MAG 16 Temperature Patterns and Changes at Kaweran.
79. Geothermal Circular Number MAG 17 Reinjection at Broadlands.
80. Estimation of Enthalphy and Gas Content from P-T Measurements on Discharging Bores (handrit).
81. A.S. Furumoto, G.A. Macdonald, M. Druecker and P.F. Fan, Preliminary Studies for Geothermal Exploration in Hawaii 1973-1975, HIG-75-5, Dec. 1977.
82. D.P. Klein and J.P. Kauahikana, Geoelectric - Geothermal Exploration on Hawaii Islands; Preliminary Results. HIG-75-6, Jan. 1975.

83. G.V. Keller, C.K. Skokan, J.J. Skokan, J. Daniels, J.P. Kanahikana, D.P. Klein, and C.J. Zablocki, Geoelectric Studies on the East Rift, Kilauea Volcano, Hawaii Island, HIG-77-15, Dec. 1977.
84. Hawaii Geothermal Project, Summary, Geothermal Energy in Hawaii, Jan. 1978.
85. The Hawaii Geothermal Project, Phase III - Well testing and Analysis, July 1., 1977.
86. The Hawaii Geothermal Project Phase III - Well Testing and Analysis, April 1. 1977.
87. USGS - Hawaiian Volcano Observatory Report, July 1977.
88. USGS - HVO report, August 1977.
89. USGU - HVO Report, September 1977.
90. USGS - HVO Report, October 1977.
91. USGS - HVO Report, November 1977.
92. USGU - HVO Report, December 1977.
93. USGU - HVO Report, January 1978.
94. Gordon A. Macdonald, Geologic Map of the Mauna Loa Quadrangle Hawaii, U.S.G.S. 1971.
95. G.B. Dalrymple, e.a. Silver and E.D. Jackson, Origin of the Hawaiian Islands, American Scientist, Vol. 61, NO. 3, pp. 294-308, 1973.
96. G.A. Macdonald and D.H. Hubbard, Volcanoes of National Parks in Hawaii, Hawaii 1975.

97. L.R. McBride, About Hawaii's Volcanoes, Hilo 1977.
98. R.I. Tilling, R.Y. Kayangi, P.W. Lipman, J.P. Lockwood, J.G. Moor and D.A. Swanson, Earthquake and Related Catastrophic Events, Island of Hawaii, November 29. 1975: A Preliminary Report USGS circular 740, 1976.
99. National Hazards on the Island of Hawaii, USGS INF-75-18.
100. Hawaii Volcanoes National Park, Upplýsingabæklingur.
101. Hawaii Institute of Geophysics Publications 1977.
102. USGS - Geothermal Research Program, Fiscal Year 1978.
103. Geothermal Publications USGS, January 1978.
104. G.R. Helz, Hydrothermal Solubility of Magnetite Thesis, Pennsylvania State University 1971.
105. A.H. Truesdell and R.A. Fournier, Conditions in the Deeper Parts of the Hot Spring Systems of Yellowstone National Park, Wyoming, USGS Open - file report 76-428.
106. A.H. Truesdell and R.O. Fournier, Calculation of Deep Temperatures in Geothermal Systems from the Chemistry of Boiling Spring Waters of Mixed Origin Proc. 2nd U.N. Symposium, Vol.1, pp. 837-844.
107. A.H. Truesdell, Summary of Section III, Geochemical Techniques in Exploration, Proc. 2nd, U.N. Symposium Vol.1, Iiii-Ixxix.
108. A.H. Truesdell, M. Nathenson and R.O. Rye, The Effects of Subsurface Boiling and Dilution on the Isotopic Composition of Yellowstone Thermal Waters, Journal of Geophysical Research, Vol. 82, No. 26, pp. 3694-, 1977.

109. N.L. Nehring, P.A. Bowen and A.H. Truesdell, Techniques for the Conversion to Carbon Dioxide of Oxygen from Dissolved Sulfate in Thermal Waters, *Geothermics* Vol. 5 pp 63-66, 1977
110. W.F. McKenzie and A.H. Truesdell, Geothermal Reservoir Temperatures Estimated from the Oxygen Isotope Compositions of Dissolved Sulfate and Water from Hot Springs and Shallow Drillholes, *Geothermics* Vol. 5 pp 51-61, 1977
111. Manuel Nathenson, Physical Factors Determining the Fraction of Stored Energy Recoverable from Hydrothermal Convection Systems and Conduction-Dominated Areas. USGS Open-File Report 75-525
112. M.Nathenson, Some Reservoir Engineering Calculations for the Vapor-Dominated System at Larderello, Italy, USGS Open File Report 75-142
113. M. Nathenson, Flashing Flow in Hot Water Geothermal Wells: Computer Program, USGS-GD 74-021
114. M. Nathenson, Flashing Flow in Hot Water Geothermal Wells, *Jour. Research U.S.G.S.* Vol. 2 No. 6 pp 734-751, 1974
115. S.T. Crough and R.O. Burford, Empirical Law for Fault-Creep Events, *Tectonophysics* 42 (1977) T53-T59
116. R.O. Burford, Bimodal Distribution of Creep Event Amplitudes on the San Andreas Fault, California, *Nature* Vol. 268, No. 5619 pp 424-426, 1977
117. W.A. Duffield and R.O. Burford, An Accurate Invar-wire Extensometer, *Jour. Res. USGS.* Vol. 1 No. 5 pp 569-577, 1973
118. C.G Bufe, P.W. Harsh, and R.O. Burford, Steady-State Seismic Slip - A Precise Recurrence Model, *Geophys. Res. Lett.* Vol. 4 No. 2 pp 91-94, 1977

119. Natomas Company, 1976 Annual Report
120. C.F. Tsang, D.G. McEdwards, T.N. Narasumhan, and P.A. Witherspoon, Soc. of Petr. Eng. paper No. SPE 6547
121. Tafla um efnainnihald í borholum á Fillipseyjum
122. Summaries Second Workshop Geothermal Reservoir Engineering December 1-3, 1976
123. J.E. Noble, A.Mañón, M. Marcelo, J. Lippman, and P. Witherspoon, A Study of the Structural Control of Fluid Flow within the Cerro Prieto Geothermal Field, Baja California, Mexico, SPE 6763
124. A. Mañón, Corrosion Problems of the Cerro Prieto Geothermal Project (handrit)
125. Hitamæling í holu M-53 í Cerro Prieto
126. Töflur og myndir af hitamælingum í Cerro Prieto
127. Hita og þrýstimæling í blæstri. Hóla M-34, Cerro Prieto,
128. Teikningar af fóðurrörsskemmdum og útfellingum í Cerro Prieto
129. Auglýsing frá Magobar um leðju til háhitaborana
130. Útblástursbúnaður á holu 72-16 hjá Thermal Power Co.
131. J.E. Harrar, C.H. Otto, Jr, J.H. Hill, C.J. Morris, R.Lim, and S.B. Deutsher Determination of the Rate of Formation of Solids from Hypersaline Geothermal Brine as Function of pH UCID-17596
132. Wairakei Geothermal Power Project - Drilling Mud Guide
133. Samsetning borleðju

134. S.M. Barnett, Ngawha Geothermal Investigations, NG 2 Drilling Programme
135. I.A Innes, Bore 88, Drilling Programme
136. D.M. Wigley, Wairakei Geothermal Power Project, Specifications WGS 115, May, 1976
137. Wairakei Geothermal Power Project, Standard Field Procedure for Testing Drilling Fluid
138. Lost Circulation. Ódagsett handrit
139. Wairakei Geothermal Power Project, Lost Circulation. Handrit frá August, 1957
140. Broadlands Geothermal Project. Sundurliðaður kostnaður fyrir Borholur 31 og 32
141. Teikningar af borholum í Cerro Prieto
142. Teikningar af holutopp og Borholum í Cerro Prieto
143. Upplýsingar um steypu körfur og miðjustilla frá Bond W.
144. Upplýsingar og verðtilboð frá Halibarton um þrepasteyputæki.
145. Cerro Prieto, Underground Power. Upplýsingabæklingur frá Comisión Federal de Electricidad
146. Hita og þrýstimælingar í borholum í Cerro Prieto
147. Teikningar, útblástursbúnaður í Cerro Prieto
148. Borholulínurit frá McCullough Casing Inspection Log and Electronic Casing Caliper Log. Hola: Pozo M-53, Maxicali - Mexico

149. A. Mañon, E. Mazor, M. Jimenez, A. Sanchez, J. Fansto and C. Zenizo, Extensive Geothermal Studies in the Geothermal Field of Cerro Prieto. Mexico. Des., 1977 LBL-7019, UC-66. TID-4500-R66
150. W.A. Elders, R.E. Olson, J.R. Hoagland, C.E. Baker, P.D Johnson and P. Collier, A. Comprehensive Study of Samples from Geothermal Reservoirs: Petrology and Light Stable Isotope Geochemistry of Wells M48, M84, M90, M91, M92, and Prian no 1 in the Cerro Prieto Geothermal Filed. Baja California, Mexico. Des., 1977 UCR/IGPP - 77/37
151. Thermal Power Company. Well Summary Report. Well Utah State 14-2, ML-27536
152. Teikningar. Kæfing.. Thermal Power Comapny, Well 72-16
153. Teikningar, holutoppur og blástursbúnaður. Thermal Power Company
154. Thermal Power Company, Well: Utah State 72-16 ML-25128, Roosvelt Field. Daily Record of Grouting Operations.
155. Thermal Power Company Well: Utah State 72-16. ML-25128 Rossvelt Field, Report of Grouting Operations
156. Thermal Power Company Well: Utah State 72-16 ML-25128 Geothermal Resources Well Summary Report. Jan., 1977
157. Thermal Power Company. Staðsetningarkort borhola, Roosvelt Area
158. Geothermal Energy: The Philippines Today and Tomorrow. Paper prepared on The Survival of Humankind: The Philippine Experiment by The Sectoral Committee on Geothermal Energy
159. PNOC-ENERGY DEV. CORP. Production Drilling Programme
160. Tafla. Well Data. Tiwi and Makling-Banahaw Geothermal Fields

161. C.F.E.
Coordinadora General Ejecutiva de Cerro Prieto (upplýsingabæklingur)
162. A.L. Austin, A.W. Lundberg, L.B. Owen, G.E. Tardiff: The LLL
Geothermal Energy Program Status Report January 1976-January 1977
UCR:-50046-76
163. The Lawrence Livermore Laboratory. Upplýsingabæklingur
164. J.H. Hill and C.H. Otto Jr., Sampling and Characterization of
Suspended Solids in Brine from Magmamax # 1 Well
Preprint UCRL-79007
165. A. Goldberg and L.B. Owen Pitting Corrosion and Scaling of Carbon
Steels in Geothermal Brine . Preprint UCRL-79508
166. G.E. Tardiff. Using Salton Sea Geothermal Brines for Electrical
Power: A Review of Progress in Chemistry and Materials Techno-
logy- 1976 Status
Preprint UCRL - 79468
167. Energy and Technology. Review. May, 1977. UCRL - 52000-77-5
168. Energy and Technology Review. July, 1977. UCRL -52000-77-7
169. R.F. Steidel, Jr., H. Weiss, and J.E. Flower, Performance
Characteristics of the Lysholm Engine as Tested for Geothermal
Power Application in the Imperial Valley. Preprint UCRL-80151
170. J.E. Harrar, R.D. McCright, and A. Goldberg, Field Electro-
chemical Measurements of Corrosion Characteristics of Materials
in Hypersaline Geothermal Brine. UCRL -52376
171. C.T. Crowe and H. Weiss Metering Low-Quality Steam-Water Flows
UCRL -52271

172. R. Quong, Scaling Characteristics in the Geothermal Loop Experimental Facility of Niland, California, UCRL - 52162.
173. P.A. House, Helical-Rotor Expander Applications for Geothermal Energy Conversion. UCRL - 52043
174. G.E. Tardiff, LLL Total Flow Geothermal Program: Summary of Two-Phase Nozzle Tests for Scale Control and Materials Performance. UCID - 17636.

Viðauki 3.

Nafnaskrá.

Á ferðinni var rætt við eftirfarandi aðila:

Ministry of Works and Development

P.O. Box 12041

Wellington North, New Zealand.

Richard S. Bolton,

Chief Geothermal Engineer.

Jack Chesterman,

Chief Power Engineer.

Jan A. Innes,

Geothermal Engineer.

Department of Science and Industrial Research

Private Bag,

Wellington 1

Frank E. Studt

Geothermal Coordinator

Tom Lumb

N.Z. Geological Survey DSIR

P.O. Box 30368

Lower Hutt, New Zealand

G.W. Grindley

Project Geolog

P.R.L. Browne

Geolog

P. Wood

Geolog

Institute of Nuclear Sciences, DSIR,
Private Bag
Lower Hutt, NZ.

J.R. Hulston,
N.K. Stewart,
G.L. Lyon,

Chemistry Division, DSIR
Private Bag, Petone, NZ.

A.J. Ellis, Director.
T. Marshall,
H.P. Rothbaum,
S.K. Fellows,
W.R. Braithawaite.

Ministry of Works and Development,
Private Bag, Tampo, NZ.

B.N. Denton, Projects Engineer (nýskipaður),
W.B. Stillwell, Projects Engineer,
D. Wigley, Mechanical Engineer,
E.L.D. Fooks, Investigation Engineer,
P.F. Bixley, Measurement Scientist,
G.W. Hitshcock, Measurement Scientist.

Department of Science and Industrial Research,
Private Bag, Tampo, NZ.

W.A.J. Mahon, Section Leader,
Russel James,
Bruce Finlayson,
R.L. Goguel,
Lewis E. Klyen,

R.B. Glover,

T.M. Hunt,

G.B. Dawson.

New Zealand Electricity,
Wairakei.

J. Girardin, stöðvarstjóri,

K. Wilson, aðstoðarstöðvarstjóri,

Tasman Pulp and Paper Company,

Albert Corter, verkfræðingur.

NZ Geological Survey,
Rotoroa.

James Healey, jarðfræðingur.

DSIR - Geophysical Division,
P.O. Box 1320,
Wellington.

Peter Macdonald,

W.I. Reilly.

DSIR - Applied Mathematics Division
Wellington.

Malcom A. Grant,

A. McNabb,

F.M. Sutton.

University of Hawaii at Oahu,
Institute for Geophysics,
Honolulu.

Augustinó Furomato,

Robert Decker.

University of Hawaii at Hilo,
P.O.Box 1357,
Hilo, Hawaii 96720.

William Chen.

Hawaii Volcano Observatry,

Gordon Eaton.

Comission on Volcanology,
IKA-5 na Palapag, Gusaling Hizon,
Quezon Blvd. Ext., Lungsod Quezon.

Gregario Andal, commissioner of Volc.

Ernesto B. Villalva, Geologist

PNOC - Energy Development Corporation, Geothermal Division,
PNPC Compoand, Fort Bonifacio,
Metro Manila.

P.V. Malixi, vice president

Arturo P. Alcaraz, consultant

Alberto U. Filart, Gen. Mgr. Geothermal Div.

Nasario Vasquez, Mgr. Proj. Management

Bernardo S. Tolentino, Sup. Explorataion and Investigation

Ronald Amores,

Ernie B. Patano, Proj. Mgr. Leyte

Emanuel J. Galia, Geochemist

Wilfres S. Loo, Geologist

Romero C. Rodriquez, Geologist

Celso M. Ilad. Maint. Ing.

Philippine Geothermal Inc.
P.O.Box 7336, Airport,
Phillippines.

Chester Budd, President

Jack Du Ree, Mgr. Operations

Patrik S. Dobrocke, Field Sup. Mark-Ban

Wendell T. Haward, Field Sup. Tiwi

Comission Federal de Electricidad Coordinadora Ejecativa de Cerro Prieto,
Aparto de Postal 636
Mexicali,
Baja California, Mexico.

Hector Alonzo, Coordinator Ejecutivo

Alfredo Mañon Mercado, superintendente, General de Estudios, Rabents,

Franco Vital Blanco, Superintendente, General de Mantenimiento,

Bernardo Domingues, Yfirborverkfræðingur,

Catarino Cortez, Ing.

Rene De Leon Botello, Ing.

Ignacio Puente Cruz, Ing. Geologo.

Instituto de Investigaciones Electricas,
Estación Experimental Mexicali,
Justo Sierra Y,
Herreros Sur 2098,
Mexicali B.C.

Roberto Hurtado J, Coordinator Local.

U.S. Geological Survey,
345 Middelssfield Road
Menlo Park, California 94025

Patric Muffer,

Donald White,

Robert Fournier

Albert Truesdell,
Robert Potter II,
Bob Burford,
Jan Natanson,
Wendell A. Duffield,
Graig Weaver,
Felix Klein,

Stanford University,
Petroleum Engineering Dep.,
Stanford, Calif. 94305.

Frank Miller,
William Brigham,
Henry Ramey.

Lawrence Berkeley Laboratory,
University of California,
Berkeley California 94720.

Jack Howard,
C.F. Tsang,
M. Lippman,
Robert Silva,
Oleh Werws,
John A. Apps,
Paul Witherspoon,

Thermal Power Company,
601 California Street,
San Francisco, California 94108.

W.L.D. Olier,
R. Bowden,
K. Davis,
Rodcil.

Rogers Engineering.

James T. Kuwada.

Lawrence Livermore Laboratory,
University of California,
P.O.Box 808,
Livermore, California 94550.

L.B. Owen,

G. Tardiff.