ORKUSTOFNUN

# Öflun gagna um jarðhitakerfi og afköst vegna forathugana fyrir Lishuiqiao og Yanqing hitaveiturnar í Beijing

**Guðni Axelsson**

**Greinargerð GAx-2001-01**

# Öflun gagna um jarðhitakerfi og afköst vegna forathugana fyrir Lishuiqiao og Yanqing hitaveiturnar í Beijing

Dagbók Guðna Axelssonar og aðrar upplýsingar úr Kínaferð með Einari Gunnlaugssyni og Þorleik Jóhannessyni 23. mars – 8. apríl 2001

Guðni Axelsson
Orkustofnun, GAx-2001/01
Reykjavík 16. apríl 2001

Innihald:

1. Samandregnar helstu niðurstöður
2. Dagbók Guðna Axelssonar
3. Listar yfir helstu upplýsingar, sem var aflað
4. Skipulag stuttrar dæluprófunar í Lishuiqiao
5. Skipulag vinnsluprófunar í Yanqing
6. Lokaorð okkar á lokafundum í Lishuqiao og Yanqing
7. Aðrar upplýsingar

# 1. Samandregnar helstu niðurstöður

Segja má að ferðin hafi tekist eftir atvikum vel, en það reyndist þó töluvert erfitt að afla upplýsinganna, sem við sóttumst eftir, þó ljóst væri að þær væru til. Ástæðan er fyrst og fremst sú að það er óravegur milli menningarheimanna tveggja, þeir skilja illa okkar þarfir og við botnum ekkert í kerfinu hjá þeim. Til samanburðar má nefna það að í Tanggu-verkefninu 1996 tók það hálft ár og tvær hálfsmánaðar-ferðir af afla tiltækra upplýsinga um jarðhitakerfið. Það er samt mín tilfinning að þeim sé mikil alvara með þessi verkefni og þáttöku Íslendinga í þeim.

Gagnaöflun gekk mjög mismunandi. Hún gekk tiltölulega vel í Yanqing þar sem við höfðum Liu Jiurong, fyrrverandi jarðhitaskólanema, okkur til aðstoðar, en hann skildi þarfir okkar mjög vel og þekkti auk þess kerfið. Þá gáfu yfirvöld bæjarins út fyrirmæli í upphafi til hinna ýmsu bæjarstofnana um afhendingu gagna. Gagnaöflunin gekk svo ekki eins vel í Lishuiqiao því þar var okkar aðstoðarfólk yngsta fólkið í fyrirtækinu, sem talaði sæmilega ensku. Það vantaði hins vegar skilning á þeim upplýsingunum, sem við vorum að biðja um, auk valda og kjarks til að afla þeirra. Þó stóð aðaltúlkurinn þeirra, Fei Weihong, sig mjög vel.

Í stuttu máli tókst að afla eftirfarandi gagna vegna jarðhitakerfanna og afkasta þeirra: (1) Almennra upplýsinga um jarðhitann og nýtingu hans á Stór-Beijing-svæðinu, aðallega með aðstoð Jiurongs. (2) Tiltækra upplýsinga um jarðfræðilega uppbyggingu beggja svæða. (3) Upplýsinga um þær fáu holur sem boraðar hafa verið í svæðin. (4) Gögn úr stuttum dæluprófunum holnanna tveggja. (5) Vinnslugagna holnanna tveggja (3-4 ár í Yanqing án þrýstingsbreytinga, 1 vetur í Lishuiqiao með þrýstingsbreytingum).

Fyrirætlanir okkar voru að gera a.m.k. eins mánaðar prófanir á báðum holum, en illa gekk að fá því framgengt. Í Yanqing settu þeir þó dælu í holuna og stefndu að því að hefja dæluprófun áður en við yfirgáfum svæðið. Í Lishuiqiao var dæla í holunni og ekkert því til fyrirstöðu að hefja prófun þar. Er líða tók á dvöl okkar kom í ljós að aðalfyrirstaðan var sú að erfitt var að fá leyfi til prófananna hjá yfirvöldum. Um miðja seinni vikuna áttum við mjög mikilvægan fund, m.a. með Chen Jianping sem er yfirmaður Geothermal Division hjá Bureau of Land Resources and Housing. Þar kom í ljós að hvorki má bora, prófa holur né nýta þær nema með leyfi hans deildar. Þeir eru með nákvæma staðla ("Beijing-standard") um hvernig dæluprófanir eiga að vera og brutu okkar tillögur algjörlega í bága við þá. Auk þess sögðu þeir að í mánaðarlangri prófun væri sóað allt of miklu vatni. Málamiðlunarniðurstaða var þó sú að þeir samþykktu prófun í Yanqing (e-ð styttri þó) en sögðu útilokað að samþykkja svo langa prófun í Lishuiqiao. Þetta er væntanlega vegna þess að Lishuiqiao er inni í Beijing, en minni hætta er á að það sjáist að verið er að brjóta standardinn uppi í Yanqing. Holan í Lishuiqiao verður þó prófuð í 2-3 daga.

Á sama fundi kom einnig fram að þeir ætla að bora nýja holu uppi í Yanqing nú í sumar, sem er afar mikilvægt. Þá var gert samkomulag (við þennan sama Chen) um að við munum fá allar upplýsingar úr annarri holu, sem verið er að bora í Lishuiqiao, auk upplýsinga úr svokallaðri "interference"-prófun milli holnanna tveggja, sem fram

fer í vor. Þetta er einnig mjög mikilvægt. Þá virðast þeir tilbúnir að bora nýja holu í Lishuiqiao, en tímasetning þess er ekki komin. Bíða jafnvel eftir okkar tillögum.

Daginn áður en við yfirgáfum svæðið var haldinn annar mjög mikilvægur fundur, þar sem Chen Jianping var einnig viðstaddur. Ljóst er að við hefðum þurft að funda með honum strax í upphafi dvalarinnar, því hann virðist hafa völdin og aðgengi að ýmsum upplýsingum. Á þessum fundi fengust m.a. upplýsingar um þær takmarkanir sem settar eru á jarðhitavinnslu í Beijing, en deild Chens virðist hafa vald til slíkra takmarkana. Hann sagði auk þess að ef af þessum verkefnum yrði og jarðhitinn yrði vel nýttur myndu þeir ekki setja takmarkanir á vinnsluna. Á fundinum kom líka fram að fjölda aðila hefur verið neitað um leyfi til borana, bæði í Lishuiqiao og Yanqing.

Almennt má segja um jarðhitakerfin tvö að upplýsingar, sem nýta má til að meta vinnslugetu þeirra, eru takmarkaðar enda lítið verið borað í kerfin. Því verður mikilvægt að nýtingin verði aukin í skrefum og vinnslugetan endurmetin í hverju skrefi áður en framhaldið verður ákveðið. Yanqing-svæðið er nokkuð stórt (nálægt 100 $km^2$) og alveg afmarkað. Lishuiqiao-svæðið er minna, en þar er von á e-ð hærri hita. Lishuiqiao svæðið er líka umlukið öðrum jarðhitasvæðum, þó áhrif frá þeim virðist lítil (ennþá sjálfrennsli). Þá mun þetta verkefni aðeins hafa leyfi til að nýta hluta (19 $km^2$) svæðisins og verða háð vinnslu annarra í kring. Einnig er ljóst að niðurdæling verður lykilatriði í nýtingu beggja þessara svæða, fyrst og fremst til að auka afkastagetu svæðanna, en einnig af umhverfisástæðum.

Í ferðinni fengum við einnig upplýsingar um jarðhitanýtingu í Tianjin, en þar virðast þeir komnir lengra í jarðhitanýtingu en í Beijing (stefnuborun og niðurdæling. Einnig fengum við upplýsingar um tvö önnur jarðhitaverkefni, þar sem áhugi virðist á þáttöku Íslendinga. Það eru Dongli Lake verkefnið í Tianjin, sem virðist áhugavert, auk svæðis í Hebei-fylki.

# 2. Dagbók Guðna Axelssonar

Föstudagur 23. mars: Lagt af stað að heiman um kl. 6 og í loftið frá Keflavík kl. rúmlega 8. Er við komum til Kastrup kom í ljós að SAS-flugið til Beijing hafði verið fell niður. Fengum far með China Air, sem fór af stað rúmlega 17, en millilenti í Stokkhólmi.

Laugardagur 24. mars: Það reyndist ágætt að fljúga með China Air og lentum við í Beijing kl. rúmlega 11, en um klst. tók að fara í gegnum vegabréfaskoðun í glænýrri flugstöðinni. Þar beið heilmikil sendinefnd eftir okkur (Pétur Yang Li frá sendiráðinu, Wei Jiangfei og Fei Weihong frá Beijing Geological Technical Survey Institute auk Liu Xing frá Badaling Geothermal Development Co.). Óku okkur niður á Landmark Hotel, sem er rétt við íslenska sendiráðið í ANA-hluta Beijing við þriðja hringveginn. Þá hafði ferðin tekið alls 22 klst. Hvíldum okkur aðeins, en vorum sóttir á upphafsfund vegna Lishuiqiao kl. rúmlega 15. Þar voru okkur kynntar þær upplýsingar sem þeir höfðu safnað og rætt aðeins um þær og framhald vinnunnar. Töluvert af almennum gögnum, en lítið sem má nýta til þess að meta afköst svæðisins. Eru að reyna að sleppa við langa dæluprófun. Munum reyna að halda henni til streitu. Um kl. 18 var svo farið með okkur í kvöldverðarboð í boði Beijing Municipal Administrative Bureau of Land Resources and Housing.

Sunnudagur 25. mars: Sóttir kl. 8 og tók innan við hálftíma að aka uppeftir, enda "lítil" umferð. Strax farið að vinna við gagnayfirferð/öflun. Byrjað á að yfirfara gögn um dæluprófanir holu Sha-Re-6, eina frá í borlok (marsbyrjun 2000) og hina sem þeir höfðu gert stuttu seinna. Takmörkuð gögn (nokkrir dagar) þó prófanirnar hafi verið gerðar eftir nákvæmum "standard". Reyndi svo að sannfæra þá um mikilvægi raunverulegrar dæluprófanar (1-2 mánuðir). Skoðuðum svo gögn um vinnslu og viðbrögð holunnar, sem þeir hafa nýtt í vetur. Ætti að vera hægt að nota þau gögn eitthvað. Síðan kom í ljós að þeir áttu vatnsborðsgögn úr eftirlitsholu (jarðskjálftaforboða) um 1,5 km norðar. Þetta eru sjálfvirkt skráð gögn, sem gætu orðið mjög gagnleg. Farið svo í gegnum e-ð af gögnum um jarðfræðina (sprungur og takmörk) og jarðhitanýtingu í Beijing. Hún er aðallega á tveimur svæðum, öðru rétt norðan Lishuiqiao, Xiaotanshan að nafni (nýtt frá ~1975, ath. gamla grein með GBö), hitt rétt SV borgarmiðjunnar. Í allt nálægt 200 holur á þessum tveimur svæðum. Vinnsla óveruleg annars staðar. Ætla að útvega mér yfirlitsgögn um þetta. Eftir hádegi fórum við Einar á Beijing Institute of Geological Engineering og hittum þar Liu Jiurong ásamt yfirmanni efnarannsóknarstofunnar, sem við skoðuðum.

Mánudagur 26. mars: Mættir upp á Lishuiqiao-skrifstofuna kl 9:30. Haldið áfram gagnaöflun og gagnaumræðu. Prentaði út lista yfir þau gögn sem þeir ættu að geta útvegað. Síðan var holan skoðuð, en þeir höfðu sett dæluna í gang til að sýna okkur. Frágangur virðist með skárra móti (okkur leist illa á rennslismælinn). Rökrætt um mikilvægi langtíma-prófunar. Þurfum að færa frekari rök fyrir því (ath. not fyrir alla þættina; forðafræði, efnafræði og verkfræði). Við Einar fórum og kíktum á holuna sem er verið að bora hér nokkra km fyrir sunnan. Hún er boruð af einhverju "real-estate company", en innan svæðis þeirra því leyfi til borana fékkst áður en þeir fengu

úthlutað svæðinu. *Einar með upplýsingar um holuna.* Eftir hádegi byrjaði ég að fara yfir listann með þeim og fékk nokkuð af gögnum til viðbótar, sum tölvutæk en önnur á pappír.

Þriðjudagur 27. mars: Sama dagskrá í upphafi dags og venjulega, nema hvað við pökkuðum niður og tékkuðum út (hluti farangurs geymdur á hótelinu). Breyttum planinu aðeins fyrir næstu viku, til þess að draga úr flakkinu milli Yanqing og Beijing. Byrjað á að ganga frá og leggja fram áætlun okkar um mánaðarlanga dæluprófun. Fyrst var þó rætt um kortin sem við þurfum og kom þá í ljós að þeir hafa ekki leyfi til að láta okkur hafa ágæt kort sem við höfum verið að skoða. Í framhaldinu ræddum við um dæluprófun, sem þeir eru mjög tregir að byrja, lögð áhersla á mikilvægi hennar vegna (1) afkastamats, (2) þáttöku íslendinga og (3) þáttöku lánastofnana. Þeir bera ýmist við að ekki þurfi dæluprófun, eða það vanti "observation" holu, eða það þurfi að bíða eftir að borun nýju holunnar ljúki, eða þá að þeir þurfi leyfi yfirvalda (sienna kom í ljós að þetta var aðalatriðið). Höldum áfram að reyna, áttum m.a. að hitta einhvern "official", en ekki bólar á honum. Eftir hádegi ræddi ég við Zhang Dao Fu (eldri maður á eftirlaunum, ráðgjafi stofnunarinnar) sem reyndi að fræða mig almennt um jarðhitanýtingu í Beijing. Vantaði þó ýmsar nýlegar upplýsingar. Lítið bættist við af upplýsingum og hvorki sást þessi "official" né ræddu þeir frekar um dæluprófunina. Liu Jiurong og Pan Xiaoping mættu hér kl. 15:30 til þess að fara með okkur uppeftir. Lagt af stað upp úr 16 og komið upp til Yanqing kl. 17:30 c.a.

Miðvikudagur 28. mars: Í gærkvöldi var aðeins farið yfir stöðuna í upphafi vinnunnar og virðast þeir vel undirbúnir. Þeir eru tilbúnir í dæluprófun, en ekki sannfærðir um þörfina á eins langi prófun og við viljum. Hér þarf líka leyfi Beijing-yfirvalda, en við höfum Liu Jiurong á okkar bandi hér (hann skilur þörfina vel, öfugt við Lishuiqiao-menn). Upphafsfundur með flestum málsmetandi mönnum bæjarins/hreppsins. Þar var farið yfir dagskrána framundan, en síðan haldið út að holunni. Áður var þó farið almennt yfir jarðhitann í Beijing og virðast þeir (Liu Jiurong og Bin Dezhi, sem er eldri maður á eftirlaunum, en ráðgjafi verkefnisins) hafa mun betri upplýsingar en þeir í Lishuqiao. Reyni að fá þessar upplýsingar gegnum þá. Verið að undirbúa dæluprófun holunnar, hún stoppuð og toppþrýstingur lesinn (0,215MPa). Gagnaöflun hófst svo fyrir alvöru eftir hádegi með útprentun gagnaóskalista, sem ég fór yfir með Jiurong. Hann er eiginlega sá fyrsti sem skilur almennilega það sem við viljum. Bættum m.a. ýmsu á listann. Borkjarna-gögn eru ekki til, en einhver "well-log", sem ég fæ afrit af. Á svæðinu er ein c.a. 500 m jarðskjálftaeftirlitshola, en engin gögn úr henni. Við munum samt fara að skoða holuna og heita laug hér uppi í fjöllunum. Einnig ætlar hann að sýna mér gögn um vatnsborðsbreytingar í Beijing. Hann gaf mér þær upplýsingar að í Beijing væri eitthvert landsig, en ekki vegna jarðhitavinnslunnar. Eftir kvöldmat fórum við þrír í sund í jarðhitalauginni þeirra, nokkuð skemmtileg þó allur frágangur sé bágborinn.

Fimmtudagur 29. mars: Byrjað að vinna upp úr 8:30. Rólegur morgun, beðið eftir gögnum um vinnslusögu og Jiurong, sem er eini almennilegi túlkurinn og því mjög eftirsóttur. Tíminn notaður til að reyna að plana næstu viku (ferð að holu Q-2, lauginni, og á Kínamúrinn á mánudag/þriðjudag auk heimsóknar á stofnun Jiurongs og Pans e.h. á fimmtudag). Setti auk þess á blað almennan minnislista og óskalista vegna Tianjin-heimsóknar. Eftir hádegi fóru að safnast inn ýmsar upplýsingar fyrir tilstilli Jiurongs; dæluprófun, vinnslusaga, upplýsingar um jarðhitanýtingu í Beijing og smá skrif um landsig í borginni.

Föstudagur 30. mars: Lagt af stað til Beijing um 8:15. Mættir í sendiráðið kl 9:45, en þá var sendiherrann ekki mættur. Hittum þar Eddu sendiráðsritara, eftirmann Ragnars Baldursonar, og tvær aðrar konur (önnur íslensk, en hin kínverksk). Ólafur mætti svo upp úr 10 og var hann ágætlega viðræðugóður. Ræddum vítt og breytt um verkefnin og Kína, en við komum að tregðu Lishuiqiao-manna við að dæluprófa. Þau ætla að fá Pétur til þess að hringja í Beijing Bureau of Land Resources and Housing til þess að reyna að liðka fyrir málinu. Dong Zhilin mætti svo stundvíslega kl. 11 til þess að fara með okkur til Tanggu og Tianjin. Lögðum af stað um 11:45 og vorum komnir til tanggu upp úr 13:30. Ræddi heilmikið við Dong á leiðinni og fékk ýmsar fréttir. Fræddi okkur m.a. um Dongli-lake svæðið, en þar er hugsanlegt að koma á koppinn jarðhitavirkjunar-verkefni. Skrifstofur TGO eru við holu TR-22 ásamt, sundlauginni, almennings-baðhúsi og ýmis konar dægradvöl. Á skrifstofunni hittum við Hr. Chao, sem er enn með puttana í þessu, þó hann sé kominn á eftirlaun fyrir löngu. Fengum þar ýmsar upplýsingar um reksturinn, sem virðist ganga nokkuð vel. M.a. að vinnslan hafi lítið aukist síðustu árin og var hún um 5 $Mm^3$ á síðasta ári. Er það vegna þess að yfirvöld í Tianjin takmarka vinnsluna (ótti við ofnýtingu og landsig). Samt hefur tekist að auka hitað rými með bættri orkunýtingu, m.a. hraðastýrðum dælum. Er það nú um 900.000 $m^2$. Vatnsborð lækkar hægt, eða um c.a. 3 m/ári. Jarðhitaholurnar í Tanggu eru víst 32, þar af 4 grunnar, og rekur TGO 6 af þessum holum auk þess að hafa það hlutverk að fylgjast með jarðhitavinnslunni á svæðinu. Fjórar holur virðast hafa bæst við á svæðinu og skildist okkur að þær væru í útjöðrum Tanggu. Þá hefur TGO verið viðriðið virkjun jarðhita í nágrenni Xian og á olíusvæðinu í NA-Kína. Skoðum svo holuna og dælustöðina áður en við lögðum af stað til Tianjin kl. tæplega 17.

Laugardagur 31. mars: Zhang Baiming, Wang Kun og Dong komu og náðu í okkur upp úr 9 og fórum við að skoða tvö holupör (vinnsluhola ásamt niðurdælingarholu) og tilheyrandi dælustöðvar (annað það elsta í Tianjin, og þar með Kína). Tolli og Einar fengu heilmiklar upplýsingar á sínum áhugasviðum og ég notaði tímann til að fá upplýsingar um jarðhitakerfin og nýtingu þeirra (sjá kafla 7 hér á eftir: Aðrar upplýsingar). Tianjin yfirgefin á bíl stofnunar þeirra Zhang og Wang Kun kl. c.a. 15:30, komið á Landmark í Beijing um kl. 17.

Sunnudagur 1. apríl: Frí í Beijing, en Lishuiqiao-menn sáu um að aka okkur og sýna Tiananmen-torg, Keisarahallirnar og Behei-garðinn norðvestan hallanna.

Mánudagur 2. apríl: Yanqing menn sóttu okkur upp úr 7:30. Ókum first yfir á "Geological Engineering Institute" með Einar, en þaðan fórum við Tolli beint upp til Yanqing, þangað sem við komum kl. 10. Farið beint að holunni þar sem Pan Xiaoping var ásamt fjölda manns sem voru að reyna að opna holuna. Rætt hefur verið um að dæla á holuna köldu vatni til að stöðva sjálfrennsli (toppþrýstingur ~2,2 bör, sjálfrennsli yfir 20 l/s) og voru þeir langt komnir með að undirbúa það. Fórum með Pan á "skrifstofuna" á hótelinu þar sem við fórum yfir þær aðgerðir sem voru mögulegar til þess að ráða við holuna og koma dæluna niður. Hann spurði hvort ekki væri nóg að prófa holuna með sjálfrennsli (hef oft verið spurður að því, vilja greinilega komast hjá þessu veseni), en ég sagði honum að raunveruleg dæluprófun væri lykilatriði. Ég reiknaði að það þyrfti að að kæla holuna niður á 1550 m dýpi (byggt á 55-60°C hita og 986-983 $kg/m^3$ eðlisþyngd heitrar súlunnar auk 15°C hita og 999 $kg/m^3$ eðlisþyngdar kaldrar súlu). Samkvæmt því dýpi og 0,18 m meðalvídd holunnar þyrfti að lágmarki 40 $m^3$ af vatni. Það átti að vera o.k. því kaldavatnsdælan

sem þeir voru með átti að afkasta 50 $m^3$/klst. við 3 bör. Þá sýndi Tolli honum fram á að ef þeir festu um 1 – 1,5 m háan rörstubb, með 150 mm víðu hliðarröri myndi vatnið streyma út um hliðarrörið. Honum leist vel á þetta hvoru tveggja. Fórum seinna út að holunni og kom þá í ljós að þeir höfðu hætt við að kæla holuna og ætluðu bara að nota rörstubb, sem þeir höfðu smíðað, en hann var mun styttri en Tolli hafði sá sem Tolli hafði "hannað". Því var holan einfaldlega opnuð með vatnið flæðandi um allt. Tók þá óratíma að losa toppinn af holunni, því hann var skrúfaður í, en dælan byrjaði að fara niður um kl. 15. Ánægjulegt að það skyldi takast. Ræddi við Jiurong um mælingarnar, sem þarf að undirbúa vel, en einnig um það hvernig þeim myndi ganga að fá leyfi til mánaðarlangrar prófunar. Hann taldi að ekkert yrði henni til fyrirstöðu, ekki þyrfti að fá leyfi, einfaldlega best að segja engum frá! Í lok dagsins fórum við aðeins yfir stöðu gagnaöflunarinnar og sýndi Jiurong mér einfaldað jarðfræðikort af Yanqing, auk þversniðs, sem hann átti bara eftir að þýða af Kínversku. Eftir kvöldmatinn ræddum við aðeins við hann vítt og breitt, m.a. um framhald verkefnisins. Hann taldi að það þyrfti að fara í aðra gagnasöfnunarferð ("mission") fljótlega því nú áttuðu Kínverjarnir sig aðeins betur á því hvaða gögn þyrfti. Þetta á þó aðallega við um verkfræðihlutann. Einnig var rætt um hugsanlegt fyrirkomulag "fyrirtækisins" og hvaða stofnanir og fyrirtæki kæmu hugsanlega að því af hálfu Kínverja, en það er óljóst hér í Yanqing. Hann sagði okkur einnig í óspurðum fréttum að yfirmaður hans stofnunar hefði sagt honum að hann myndi verða settur yfirverkfræðingur eftir að hann kom heim frá Kenýa (hann var þar í 10 mánuði 1998 vegna þróunaraðstoðar Kínverja við Kenýamenn), en ekkert hafi orðið úr því, e.t.v. vegna þess að hann hafi ekki mútað yfirmanninum.

Þriðjudagur 3. apríl: Byrjað að vinna kl. 8:30 við gagnaöflun og undirbúning prófunar holunnar. Fékk áðurnefnt kort og þversnið af Yanqing-jarðhitakerfinu. Endurbætti áætlunina fyrir prófunina og bætti inn smá inngangi. Jiurong vildi meina að við ættum ekki að kalla þetta "well-test" svo prófuninni væri ekki blandað saman við "standard well test". Við ættum frekar að leggja áherslu á að prófunin væri hluta af "reservoir evaluation" fyrir kerfið. Þetta er sennilega alveg rétt hjá honum! Talaði við Pétur Yang Li í sendiráðinu um stöðu mála. Hann mun tala við yfirmann Beijing Municipal Bureau of Land Resources and Housing, bað hann að lýsa fyrst ánægju sinni með gang mála og samvinnuna, en athuga svo hvort þeir gætu ekki liðkað fyrir leyfi til dæluprófunar og aflað betri kort og leyfa fyrir okkur að nota þau. Pétur gerði þetta og hans niðurstaða var sú að málið strandaði hjá þeirra "Geothermal Division". Annars vegar vegna þess að þetta bryti á bága við þeirra staðla ("well-test standard", sjá hér að ofan), en hins vegar vegna þess að þetta valdi mikilli sóun á jarðhitavatni. Lagt af stað í skoðunaferð kl. 12. Fyrst farið að skoða jarðhitaeftirlitsholuna Q-3, sem er í sérbyggðu húsi úti á víðáttumiklu akursvæði um 3 km frá NY-1. Úr henni renna nokkrir l/s (810 $m^3$/dag skv þeim, eða 9 l/s, við töldum rennslið ekki svo mikið) af ~35°C vatni. Holan er 533 m djúp og rétt nær niður í "Wumishan-formation". Þarna er haft eftirlit með vatnsborði (þ.e. þrýstingi), sennilega radoni og fleiri þáttum, vegna jarðskjálftafyrirboða. Yfir holuna hefur verið byggt nokkuð stórt hús með stóru loftneti og um það eru gögnin send til Beijing. Héldum svo upp í djúpan dal inn í fjöllin norðvestan Yanqing, en þar eru nokkrar heitar uppsprettur. Skoðuðum hótel/baðhús sem nýtir vatnið úr einhverjum lauganna og borholu. Borholan er frá 1995, 206 m djúp, sjálfrennsli um 600 $m^3$/dag (gaf 1900 $m^3$/dag í dæluprófun) af 44°C vatni. Þarna er m.a. ein uppsprettan með umgjörð frá Xing-keisaradæminu (fyrir 200-300 árum). Vatnið er notað til baða, lækninga og einhverrar upphitunar. Svo var ekið aftur í gegnum Yanqing til Badaling til þess að skoða Kínamúrinn.

Miðvikudagur 4. apríl: Byrjuðum að vinna kl 8:30 og undirbjó ég lokafundinn fyrir Yanqing með því að setja smá framsögu á blað (sjá kafla 6), sem Jiurong mun fá og geta notað til þess að túlka. Dælan í holunni var gangsett í 1-2 klukkutíma e.h. til þess að Einar gæti tekið sýni, sem hann og gerði. Við Tolli forum og litum á, en *Einar hafði auk þess skráð hjá sér upplýsingar um rennsli og vatnsborð*. Ekki útlit fyrir að prófunin sjálf hefjist fyrr en á föstudag. Að því loknu mættum við á lokafundinn ásamt bæjarstjórnendunum og þeim sem aðallega hafa komið að verkefninu. Þar flutti ég textann, sem við höfðum undirbúið, og varabæjarstjórinn sagði nokkur þakkarorð. Hann nefndi að nú væri Yanqing-verkefnið formlega hafið og byrjunin lofaði góðu. Hann þakkaði okkur, óskaði til hamingju og nefndi að við værum vinnuþjarkar og tækjum verkefnið greinilega mjög alvarlega. Þá nefndi hann að góð hagkvæmniathugun væri auðvitað lykilatriði og að grunnur hennar væri ítarleg skoðun tæknilegra og hagrænna þátta. Okkar "mission" væri góður grunnur, en e.t.v. vantaði enn einhver gögn. Það væri ekkert vandamál, þeir myndu gera sitt besta til að útvega þau. Síðan þakkaði hann okkur enn einu sinni og nefndi að nú skildu þeir okkar aðferðir miklu betur en áður. Fundurinn var frekar stuttur, en á eftir var hefðbundinn kvöldverður í boði bæjarins þar sem varabæjarstjórinn þakkaði áfram fyrir og við skáluðum fyrir framhaldinu. Eftir kvöldmatinn sátum við dálitla stund á barnum, ræddum m.a. við Jiurong um jarðhitaréttindi, borleyfi og það hvernig megi forðast að einhver steli niðurstöðum hagkvæmniskýrslunnar.

Fimmtudagur 5. apríl: Lagt af stað til Beijing kl. 8.30 og komum við til Lishuiqiao rétt fyrir 10. Virðist okkur lítið hafa gerst í gagnaöflun frá því við fórum. Greinilegt að þessi krakkagrei sem hafa verið að túlka fyrir okkur hafa hvorki aðgang að þessum gögnum né næg áhrif eða þekkingu. Ég fór aftur yfir listann, sem ég skyldi eftir, um þau gögn sem mig vantar en það var eins og litli gaurinn, sem aðallega hefur túlkað fyrir mig, væri að heyra þetta í fyrsta sinn. Þeir báðu þó um réttlætingu frá mér fyrir mánaðarlangri dæluprófun. Ég lét þau fá plagg sem ég hafði skrifað og verður það túlkað fyrir yfirmanninn, Ji Xiaoping, og síðan rætt frekar. Hann bað líka um upplýsingar um niðurdælingu, sem ég lagði til að við ræddum sérstaklega í fyrramálið. Hingað var mætt Li Hongying úr jarðhitaskólanum í fyrra til þess að ræða möguleika á jarðhitasamvinnu í sínu heimahéraði (Baoding/Hebei). Vildi helst að við kæmum í heimsókn (1-2 klst. akstur) en það gekk auðvitað ekki. Haldið áfram að toga gögn upp úr þeim, en greinilegt að þessi krakkagrey sem hafa verið að túlka fyrir okkur hafa hvorki aðgang að þessum gögnum né næg áhrif eða þekkingu, gengur því illa. Fundur kl. 16 hjá Beijing Institute of Geological Engineering, sem ég hafði skilið sem kurteisisheimsókn á stofnunina. Reyndin var önnur því á fundinum voru tveir menn frá Beijing Bureau of Land, Resources and Housing, Li Shuxiang Chief Engineer og Chen Jianping Chief of Geothermal Division. Sá síðarnefndi gefur út leyfi til jarðhitaborana og nýtingar og auk þess leyfi til allra prófana. Þetta eru þeir sem ráða og hefðum við þurft að hitta þá miklu fyrr. Á fundinum var líka yfirmaður Beijing Institute of Geological Engineering, Wei Lianwei. Ég kynnti stuttlega niðurstöður okkar varðandi Yanqing, stytta útgáfu frá deginum áður. Síðan var farið að ræða leyfi til prófana á báðum stöðum okkur að óvörum og varð úr því töluvert þref. Þeir vilja minnka umsvif prófunarinnar í Yanqing og segjast alls ekki geta leyft prófun í Lishuiqiao. Þeir spurðu hvort ekki væru til næg gögn, en rökin geng prófununum tengjast annars vegar því að þeir séu með staðla, sem erfitt sé að víkja frá, og hins vegar því að svona prófun valid mikilli orkusóun. Ég reyndi að leggja fram gagnrök eftir mætti og þeir lögðu til að við reyndum að finna málamiðlun. Eftir nokkuð prútt var niðurstaðan sú að holan í Yanqing verður prófuð í hálfan mánuð á

sömu afköstum og við höfðum reiknað með (þeir vildu minnka þau). Ef vatnsborð verður þá ennþá lækkandi er möguleiki á því að haldið verði eitthvað áfram. Á móti þessu kemur að þeir ætla að bora aðra holu í Yanqing í sumar, og voru það góðar fréttir. Verra var að þeir þvertaka fyrir svona langa prófun í Lishuiqiao. Reyndar lofa þeir að afla upplýsinga um nýju holuna, sem verið er að bora hér fyrir sunnan. Auka þess ætla þeir að gera "interference"-prófun milli hennar og Sha-Re-6 með minna rennsli en við höfðum gert ráð fyrir (þar með hafa þeir samþykkt lengri prófun, óbeint). Síðan var okkur haldin veisla af yfirmanninum (Wei) á veitingastað hinum megin við götuna.

Föstudagur 6. apríl: Sóttir á Landmark kl. 8 og streðinu í Lishuiqiao haldið áfram. Eftir hádegi fóru Einar og Tolli sinn í hvorn leiðangurinn en ég hélt áfram að vinna. Hafði Fei alveg fyrir mig og náði því aðeins meiri árangri. Haldið áfram að reyna að toga upp úr þeim þau gögn sem vantar, jarðfræðikort og snið auk gagna úr eldri prófunum. Það fór aðallega í gegnum Fei. Ræddi töluvert við Xing Hongju, sem er titlaður "vice manager". Hann spurði ýmislegt um jarðhitanýtingu og boranir á Íslandi, sem ég (og Einar) reyndum að fræða hann um. Síðan ræddum við töluvert um niðurdælingu. Þeir virðast hafa gert tilraun fyrir tveimur áratugum eða svo, sem var túlkuð svo að hún hefði mistekist (vegna minnkandi "injectivity"?). Mér er ekki ljóst af hverju, því niðurdæling í "limestone/dolomite" gengur yfirleitt vel annars staðar, kannske vegna þess að þrýsting hefur vantað til að reka vatnið niður (lítill niðurdráttur á þeim tíma). Undir lok dagsins fékk ég gögnin úr dæluprófununum tveimur á tölvutæku formi, einfaldað "jarðfræðikort" af Beijing í Corel-Draw auk þess sem ég vann að lokatölunni.

Laugardagur 7. apríl: Sóttir kl. 8 til þess að mæta á lokafund, sem hófst kl. rúmlega 10. Þar voru mættir nokkrir framámenn fyrirtækisins (m.a. Ran Weiyan, Chief Engineer og Wei Jiangfei, Senior Engineer og "contact person"), litla aðstoðarfólkið okkar og Chen Jianping frá Bureau of Land Resources and Housing. Þetta var mjög upplýsandi fundur, líkt og fundurinn s.l. fimmtudag. Ran byrjaði á að segja nokkur orð þar sem hann m.a. þakkaði okkur vel unnin störf, en baðst afsökunar á því að þeir hefðu ekki verið nógu duglegir að útvega okkur gögn. Hann þakkaði líka fyrir það tækifæri sem við hefðum veitt unga fólkinu til að þjálfa sig í ensku. Síðan flutti ég okkar tölu (sjá kafla 6), en að lokum voru almennar umræður. Í fyrstu rætt um kort og annað sem Tolla vantar og sagðist Chen mundu sjá til þess að hann fengi skipulagsuppdrætti. Einnig rætt um uppbyggingu svæðisins og hverjir yrðu kaupendur orkunnar. Það virðist sem þeir telji lykilatriðið að meta afkastagetu jarðhitakerfisins, hinir þættirnir séu minna mál. Þá spurði ég Chen hvaða takmarkanir þeir settu á jarðhitavinnslu hinna ýmsu aðila, en hann staðfesti að stofnun hans eigi að stjórna henni og takmarka (sjá um "Beijing Geothermal Policy"). Þetta eru upplýsingar, sem ég hef verið að reyna að afla síðustu vikurnar, en fengið afar takmörkuð svör, jafnvel hjá Jiurong. Hann nefndi fimm atriði í því sambandi: (1) stærð auðlindarinnar ("resource"), (2) hvernig orkan er notuð, þ.e. til hvers og orkunýtni, (3) niðurstöður vinnslueftirlits ("monitoring"), (4) stefna yfirvalda, m.a. til að draga úr mengun, þess vegna lögð áhersla á upphitun og (5) hærra þak sett á vinnsluna ef um "cascaded use" er að ræða. Áherslan er greinilega á að hámarka orkunýtnina, alla vega í orði. Þá fullyrti hann að ef nýting orkunnar yrði góð í Lishuiqiao-verkefninu yrði ekki þörf á takmörkunum frá honum. Hann var sammála minni skoðun að rétt væri að "virkja" í áföngum og meta þannig "stærð auðlindarinnar". Í tengslum við vinnsluprófunina þá var það ítrekað að þeir myndu

útvega gögn úr nýju holunni og væntanlegri "interference"-prófun. Að lokum kom fram að þeir virðast tilbúnir að bora nýja holu í Lishuiqiao, en tímasetning þess er ekki komin. Bíða jafnvel eftir okkar tillögum. Fundinum lauk ekki fyrr en um 12:30, en þá var farið með okkur í hádegismat í veitingahús í nágrenninu. Í restina kom Liu Changlin, yfirmaður stofnunarinnar, til að kveðja okkur. Jiurong sendi umslag á hótelið, í því var margumbeðið kort af Beijing (sprungur og jarðhitasvæði), sem hann sagði að væri eingöngu fyrir mín einkaafnot (hafði ekki tíma til að fá leyfi). Líka tvær myndir sem sýndu vinnslu- og vatnsborðssögu "Urban"-jarðhitasvæðisins, sem þeir kalla svo. Um kvöldið fór Ragnar Baldursson með okkur, ásamt fleira fólki, út að borða og út á næturlífið.

Sunnudagur 8. apríl: Sóttir undir 10:30 á tveim bílum, Wei Jiangfeng, tveimur öðrum og bílstjóra. Komnir út á flugvöll um tveim klukkustundum fyrir brottför. Síðan gekk allt nákvæmlega samkvæmt áætlun, nema hvað við þurftum að borga fyrir um 40 kg af yfirvigt (8200¥). Flugið til Köben tók um 9 klst. Kominn heim um kl. 23, þ.e. 21 klst. eftir að ferðin hófst.

# 3. Listar yfir helstu upplýsingar, sem aflað var

## Lishuiqiao

1. Simplified map(s) showing wells, faults/fractures (CorelDraw + paper copies).
2. Information on future drilling area.
3. Two geological cross-sections, N-S and E-W (computerized).
4. Temperature-profiles from wells, *not available yet.*
5. Information on their conceptual model, i.e. ideas on flow-paths in reservoir, water recharge, water origin, water age etc.
6. Well-design information for well Sha-Re-6 (also for a few other near-by wells).
7. Data from two short well tests (Excel).
8. Information on Chinese potential estimate, which is volumetric.
9. Data on production, wellhead pressure and water temperature for the winter of 2000/2001 (Excel).
10. Data (interference) from earthquake observation well north of Sha-Re-6 for 1999-2001 (Excel).
11. General information (number of wells, well depths, reservoir rocks, water temperatures, total yearly production, water-level draw-down, etc.) for other geothermal fields in Beijing. Also information on success rate. *More detailed information acquired through Yanqing project.*
12. Information on regulations/restrictions on geothermal drilling and utilization in Beijing (*from Chen Jianping*).
13. Limited information on old reinjection tests in Beijing.

## Yanqing

1. Map showing wells, general geology and faults/fractures.
2. Some geophysical logging data from well NY-1.
3. Two geological cross-sections, N-S and E-W.
4. Temperature-profiles from well NY-1.
5. Available information on their conceptual model, i.e. ideas on flow-paths in reservoir, water recharge, water origin, water age etc.
6. Well-design information for well NY-1
7. Very limited information on porosity and permeability (check porosity info for Wumishan formation).
8. Well test data for NY-1.
9. Chinese volumetric potential estimate.
10. Data on production, (well-head pressure) and water temperature since production started (Excel).
11. General information (number of wells, well depths, success rate, reservoir rocks, water temperatures, total yearly production, water-level draw-down, etc.) for other geothermal fields in Beijing.
12. Copy of geological review map of Greater Beijing Area (for my private use).
13. Information on old reinjection tests in Beijing
14. Information on subsidence in Beijing
15. Information on water-level changes in main geothermal fields in Beijing.

# 4. Skipulag stuttrar dæluprófunar í Lishuiqiao

**Plan for a short well-test of well Sha-Re-6 in Lishuiqiao April 2001**

The purpose of such a well test would be to provide information on the properties of the well and the reservoir next to the well, and compare it with the results of earlier well test(s). During this test emphasis will be put on accurate and frequent water-level measurements, which will enable an accurate estimate of the reservoir properties.

A general plan for the well test of well Sha-Re-6 is outlined below:

1. Production should be mostly stable for some time (1-2 days) before test starts, measure flow-rate and wellhead pressure several times.
2. Constant production at ~120 $m^3$/hr for about 2 days.
3. Measure production ($m^3$/hr), cumulative production ($m^3$) and water temperature (°C) as follows: (i) every half hour during first 6 hours and (2) every hour during rest of test.
4. Measure water level as follows: (i) every minute during first hour, (2) every 10 minutes during next 5 hours and (3) every hour during rest of test.
5. Step-rate test at end of well test: (a) 6 hrs. at ~200 $m^3$/hr, (b) 6 hrs. at ~120 $m^3$/hr and (c) 6 hrs. at ~60 $m^3$/hr.
6. Collect water samples according to instructions from Einar Gunnlaugsson (one per day).

Send data by e-mail to Iceland (Gudni Axelsson, gax@os.is).

# 5. Skipulag vinnsluprófunar í Yanqing

## Long-term production testing of well NY-1 April 2001

The purpose of the long-term production test of well NY-1 is to collect information, which may be used to estimate the properties (permeability, storativity, closed/constant-pressure boundaries, size) of the Yanqing geothermal reservoir. These properties, along with older well-test data and production history since the middle of 1998, will be used to *estimate the production potential of the Yanqing reservoir*, which will consequently form an essential input to the Yanqing feasibility study. This includes calculating the long-term changes due to production for the next decades (water-level decline, temperature) and the interference between proposed production wells. The effect of reinjection will be included in these calculations. One or more different computer models will be set up for this purpose. The models will also take into account the current conceptual model of the system, which relies on available geological data.

It should be emphasized that this test constitutes a *reservoir production test*, but not in fact a well test, which only provides information on the properties of the well and the reservoir next to the well. It must also be emphasized that this long-term production test and the consequent potential calculations will be essential to convince Icelandic companies, as well as Icelandic and international financial institutions, about the existence of a geothermal resource worthy of investing time and money in. Even though it involves some waste of precious hot water, a month's production test is a minor sacrifice compared to a successful utilization period of at least several decades.

A general plan for the long-term test of well NY-1 is outlined below:

1. Production should be mostly stable for some time (1-2 days) before test starts, measure flow-rate and wellhead pressure several times.
2. Constant production at ~110 $m^3$/hr for at least 1 month.
3. Measure production ($m^3$/hr), cumulative production ($m^3$), water level (m) or well-head pressure (MPa) and water temperature (°C) as follows: (i) very frequently during first few hours, (2) approximately every 2 hours during rest of the test.

4. Step-rate test at end of well test: (a) 1 day at ~120 $m^3$/hr, (b) 1 day at ~100 $m^3$/hr, (c) 1 day at ~60 $m^3$/hr and (d) back to ~100 $m^3$/hr for a few days.
5. Close well at end of test and measure water-level recovery, later wellhead pressure recovery, as frequently as possible.
6. Collect water samples according to instructions from Einar Gunnlaugsson (one per week).
7. Test materials for scaling and corrosion according to instructions from Thorleikur Johannesson.
8. Send data by e-mail to Iceland (Gudni Axelsson, gax@os.is) every week, approximately.
9. If water level is still declining at end of test (1 month) test should be continued for 2 – 4 more weeks.

Check whether we can get pressure record from the earthquake observation well Q-3, for the well-test period. This would be *very useful* (information on storativity of reservoir).

# 6. Lokaorð okkar á lokafundum í Lishuqiao og Yanqing

## A few words on the results of the mission of Icelandic experts to Lishuiqiao, Beijing, in March/April 2001

First we'd like to express our gratitude to the staff of The Beijing Geological Survey Technical Institute for their co-operation and hospitality during the days we've been here working together. In addition we'd like to acknowledge the support of the Beijing Administrative Bureau of Land Resources and Housing. We can't name everyone who has been involved, but we'd especially like to thank our young interpreters and helpers who have constantly attended to all our needs. Furthermore, we shouldn't forget all the excellent Chinese food we've consumed.

We've been able to collect a lot of information, which will be essential for the feasibility report for the Lishuiqiao project. We've also learned a lot about the way things are organized here in China and about laws, regulations and standards of the country. The information collected includes data on the geology of the Lishuiqiao geothermal reservoir as well as information on the geothermal well and it's production history since it's use started in late 2000. We've also collected relevant information on the chemical content of the water, which is essential for designing solutions to possible utilization problems like scaling and corrosion. Finally, we've collected important information needed for the surface engineering and economical aspects of the project.

Our suggestion was to carry out a long-term reservoir production test through using the down-hole pump in the well. The purpose of such a test would be to collect information, which could be used to estimate the properties of the Lishuiqiao reservoir. These properties would in turn be used to estimate the production potential of the reservoir through reservoir modelling. Unfortunately this idea had to be abandoned because of Chinese standards and regulations, which we fully respect.

Therefore, we suggest that a much shorter well test be carried out. The data from this test, along with older well-test data and production history since the middle of 2000, will be used to estimate the production potential. The available geological data will also be used to reach this estimate. The potential estimate will consequently form an essential input to the Lishuiqiao feasibility study. The effect of reinjection will be included in these calculations. We'd like to emphasize that accurate potential calculations will be essential to convince Icelandic companies, as well as Icelandic and international financial institutions, about the existence of a resource worthy of investing time and money in.

We have received chemical data from the Lishuiqiao well and from some other wells in the vicinity as well as cold water data. These provides essential information for further evaluation. The methods used for collecting the data, i.e. both the sampling technique, and analytical methods, have been discussed with the people

at the Chemical Laboratory in Beijing. A minor modification of the method of sampling has been recommended in order to obtain more reliable date on the concentration of some elements, which changes during storage. During the following weeks samples will be collected and analyzed at the Beijing Laboratory. The result of the analysis will be the main data used for evaluation of the possible scaling potential as well as other factors used by the engineers involved in designing the district heating system.

Finally we've received data for the engineering- and financial part of the feasibility study. It would take too long to list this information, but we can mention a very good 10-year record of weather data and good information on other energy sources and prices. Some important information is still missing, however, such as master plans for the future district heating area and information on land use, building area and population density. We also need more information, in particular engineering drawings, on present and planned buildings, radiator systems, etc. Finally, information on the existing heat central and distribution system in the newly constructed Tian Tong Yuan area north of here.

We'd like to end this by describing the next steps in our co-operation as we see them, which, of course, will be decided in co-operation with you. The data collected will now form the basis of our work on the feasibility report for the Lishuiqiao project, which we plan to complete this summer. A draft of the feasibility report should be ready sometime in May and it will be sent to you in China for your input and review. More information is of course needed, which will be delivered through e-mail and fax correspondence. It is not clear at this stage whether a second fact-finding mission will be required to complete the feasibility report this summer. This will be decided once we're back in Iceland and have reviewed the information we've collected. Finally the outcome of the feasibility study will determine the next step of the overall co-operation between Iceland and Lishuiqiao.

Let us thank you again for your help, co-operation and hospitality, and if you have any questions or comments we'd be happy to address them.

Beijing, P.R. of China, April 7th, 2001

*Gudni Axelsson*
*Einar Gunnlaugsson*
*Thorleikur (Tolli) Johannesson*

# A few words on the results of the mission of Icelandic experts to Yanqing in March/April 2001

First we'd like to express our gratitude to the people of Yanqing for their excellent hospitality and very good co-operation during the days we've been here working together. We can't name everyone who has been involved, but we'd especially like to mention Mr. Liu Xing of the Badaling Great Wall Geothermal Development Center who has done everything possible to make our co-operation a success and also to make our stay here very pleasant. This includes all the excellent Chinese food we've consumed. We'd also like to mention Mr. Gao Jianli of the Yanqing Land Resources Bureau for organizing the information transfer from all the relevant institutions involved. Then we like to mention our old student Mr. Liu Jiurong from the Beijing Institute of Geological Engineering who has provided extremely efficient interpretation and excellent assistance. Mr. Liu Jiurong understands our needs exactly and has acted like a bridge between our Western way of thinking and the Chinese way of operating. Another former student Mr. Pan Xiaoping from the Beijing Institute of Geological Engineering also provided essential and efficient assistance.

We've been able to collect a lot of information, which will be essential for the feasibility report for the Yanqing project. We've also learned a lot about the way things are organized here in China and about laws, regulations and standards. The information includes all available data on the geology of the Yanqing geothermal reservoir as well as information on the geothermal well and it's production history since it's use started in 1998. We've also collected relevant information on the chemical content of the water, which is essential to prepare for possible utilization problems like scaling and corrosion. Finally, we've collected vast amounts of information needed for the surface engineering and economical aspects of the project.

During our stay the Chinese counterparts have been working extremely hard for long hours to prepare the long-term production test of the geothermal well, by installing a down-hole pump in the well. The plan is to start the test before the end of this week. The purpose of this long-term production test is to collect information, which may be used to estimate the properties of the Yanqing reservoir. These properties, along with older well-test data and production history since the middle of 1998, will be used to estimate the production potential of the Yanqing reservoir through reservoir modelling. This will consequently form an essential input to the Yanqing feasibility study. The effect of reinjection will be included in these calculations.

We'd like to emphasize that this long-term production test and the consequent potential calculations will be essential to convince Icelandic companies, as well as Icelandic and international financial institutions, about the existence of a resource worthy of investing time and money in.

We have received chemical data from the well in Yanqing and from the other wells in the vicinity of Yanqing as well as from the hot springs in the mountains to the northwest. This provides essential information for further evaluation. The methods used for collecting the data, i.e. both the sampling technique, and analytical methods, have been discussed with the people at the Chemical Laboratory in Beijing. A minor modification of the method of sampling has been recommended in order to obtain

more reliable date on the concentration of some elements, which changes during storage. During the reservoir production test some samples will be collected and analyzed at the Beijing Laboratory. The result of the analysis will be the main data used for evaluation of the possible scaling potential as well as other factors used by the engineers involved in designing the district heating system.

Finally we've received a lot of data essential for the engineering- and financial part of the feasibility study. It would take too long to list all of this information, but we can mention master-plans and other maps, which are essential for this kind of work, also weather data, detailed information on present district heating and energy use, building standards concerning heat-load and much more. We've also received important financial data, such as present energy prices, as well as a lot of institutional information, which is necessary for understanding the Chinese system.

We'd like to end this by describing the next steps in our co-operation as seen by us. These will, of course, be decided in co-operation with all of you. The data collected by us will now form the basis of our work on the feasibility report for the Yanqing project, which we plan to complete this summer. A draft of the feasibility report should be ready sometime in May. This will be sent to you in China for your input and review. More information is of course needed, which will be sent back and forth through e-mail and fax correspondence. It is not clear at this stage whether a second fact-finding mission will be required to complete the feasibility report this summer. This will be decided once we're back in Iceland and we've have reviewed all the information we've collected. Finally the outcome of the feasibility study will determine the next step of the overall co-operation between Iceland and Yanqing.

Let us thank you again for your efficient help, co-operation and great hospitality, and if you have any questions or comments we'd be happy to address them.

Yanqing, P.R. of China, April 4th, 2001

*Gudni Axelsson*
*Einar Gunnlaugsson*
*Thorleikur (Tolli) Johannesson*

# 7. Aðrar upplýsingar

## General information on geothermal utilization in Tianjin:

1. Geology; formation rocks, fractures, etc.:

   *Mostly Wumishan-formation, they call it "Basement reservoir", fractures play a major role, two main N-S faults channels for hot up-flow, high reservoir temperatures at shallow depth near one (or both?) of the faults.*

2. Conceptual model:

   *See above.*

3. Stored heat estimates:

   *Information not available.*

4. Wells (number, depth, design):

   *70-75 wells down to "Basement reservoir", numerous abandoned "Tertiary reservoir wells". Well depth 1000 – 3000 m, deep casings.*

5. Is directional drilling used?

   *Yes, in recent years when production/reinjection well-pairs are drilled (bottom spacing 800 – 1000 m).*

6. What is the "success rate"?

   *Information not available, most likely high (~90%).*

7. Yield of wells:

   *100 – 200 $m^3$/hr, wells close to main faults have even higher yield (300 $m^3$/hr).*

8. Reservoir- and discharge temperature:

   *60 – 95°C in "basement reservoir".*

9. Porosity and permeability:

   *Porosity is 3.5 – 7(8)% according to Wang Kun, information on permeability not available (check paper by Wang Kun).*

10. Production history:

    *2000: production from basement reservoir ($J_{xw}$) 14,000,000 $m^3$ (12,000,000 $m^3$ according to paper by Wang Kun).*

11. Draw-down history:

    *Information not clear, water level most likely reached 80 – 90 m depth in production wells during winter of 2000/2001. Near well and turbulence pressure drop probably corresponds to about 20 m of the pressure drop. Average water level decline about 4 – 5 m/year.*

12. Model calculations:

*AQUA-3D modelling of whole system by Wang Kun, is now starting to model using TOUGH2/PC. See paper in proceedings for Stanford-workshop in 2001.*

13. Reinjection tests (esp. tracer tests):

    *First well pair, which was drilled in 1995, tested in 1996 and 1998. One-month interference test in 1996, no clear interference (information lacking on whether both wells were active, which may have masked interference). Four-month tracer test in 1998, 10 kg of iodine injected but no tracer recovered.*

14. Reinjection as part of management:

    *Started winter of 1998/1999, initially 5 wells now 9 reinjection wells, spacing between well bottoms usually 800 – 1000 m, reinjection in 2000: 100,000 $m^3$.*

15. Subsidence:

    *Considerable, but mostly due to shallow ground-water production.*

16. Constrictive regulations:

    *Some, not clear, Tianjin government institution probably limits production and requires one injection well to be drilled for each production well.*

17. Other information:

    *Two well pairs visited on March 31$^{st}$ 2001.*