ÚTLÁN
Bókasafn Orkustofnunar

RAFORKUMÁL

Skipulagning og áætlanagerð

Dagbók frá kynnisferð til Bandaríkja N.-Ameríku 2. október - 10. nóvember 1973 á vegum INDEPENDENCE FOUNDATION og EISENHOWER EXCHANGE FELLOWSHIPS INC.

Jakob Björnsson

Jóhann Már Maríusson

Sigmundur Freysteinsson

REYKJAVÍK

1974

MAÍ

E F N I

1. INNGANGUR

2. SKRÁ UM STOFNANIR OG FYRIRTÆKI SEM HEIMSÓTT VORU

3. DAGBÓK

Inngangur

Meðfylgjandi dagbók er frá ferð undirritaðra um Bandaríki N.Ameríku, sem farin var til að kynnast skipulagningu og áætlanagerð um raforkumál. Til ferðarinnar nutum við styrks frá bandarískum sjóði, Independence Foundation í Philadelphíu, en Eisenhower Exchange Fellowships stofnunin sá um skipulagningu dvalarinnar vestra.

Í þessum inngangi er stuttlega greint frá nokkrum atriðum um ferðina og raforkumál í U.S.A., sem okkur þóttu hvað athyglisverðust.

Vinnsla og dreifing raforku í U.S.A. mun vera mesti iðnaður í því landi. Aukning orkunotkunar er mikil og sem kunnugt er hafa verið uppi spádómar um þurrð orkulinda. Þurrð orkulinda er vafalaust mjög fjarlæg, en tímabundinn skortur (miðað við alsnægtir) eða svokölluð "orkukreppa" kann að verða um sinn.

Þróun í skipulagningu og áætlanagerð um raforkuvinnslu og dreifingu í U.S.A. er geysilega athyglisvert efni fyrir íslenzka raforkumenn. Þess ber þó að geta, að raforkuframleiðsla í U.S.A. er verulega frábrugðin því sem er og verður lengi á Íslandi.

Raforka í U.S.A. í heild er að mestu numin í varmaaflstöðvum, en á Íslandi í vatnsaflsstöðvum. Enn eru til raforkukerfi í U.S.A., sem byggja aðallega á vatnsafli en vegna samtenginga mun tæplega vera til þar kerfi, sem er sambærilegt við íslenzkar aðstæður.

Venjulega eru það fjölþættir hagsmunir aðrir en raforkuvinnsla (flóðavarnir, áveitur, signlingabætur, útilífsaðstaða) sem eru ákvarðandi um beizlun vatnsfalla í U.S.A. og

er oft litið á raforkuvinnslu við stíflur og uppistöður nánast sem aukagetu. Stofnkostnaði er dreift á hina ýmsu hagsmuni og verður raforkuverð frá vatnsaflsstöðum þá oft mjög lágt. Þetta gerir vitanlega áætlanagerð um byggingu og rekstur vatnsaflsstöðva gerólíka íslenzkum aðstæðum, þar sem ekki hefur verið talið að aðrir hagsmunir ættu samleið með raforkuvinnslu.

Enn er þess að geta, að raforkuiðnaður í U.S.A. er að mestu í einkaeign, en á Íslandi er næstum öll raforkuvinnsla og dreifing í höndum opinberra aðila.

Með hliðsjón af ofangreindum mismun á íslenzkum og bandarískum aðstæðum var námsdvölin mjög vel skipulögð. Það var ekki farið út í smáatriði í afmörkuðum verkefnum, en gefinn var kostur á kynningu á raforkumálum í U.S.A. almennt, með kynnisferð um ríkin þver og endilöng að kalla og viðræðum við forráðamenn fyrirtækja og stofnana með mismunandi tilgang og hagsmuni.

Eins og fyrr segir er raforkuvinnsla í U.S.A. að mestu í höndum einkafyrirtækja, sem flest ná yfir takmörkuð svæði. Samtenging og samrekstur eru þó nauðsynleg vegna öryggis og hagkvæmni. Samtenging raforkukerfa hefur aukizt mikið á undanförnum árum og fylgja þessu ýmis vandamál. Háþróuð reikni- og rafeindatækni er notuð við lausn tæknilegra mála í áætlanagerð og rekstri, en félagsleg eða pólitísk mál í þessu sambandi kunna þó að verða meira baráttuefni fyrir bandarískra raforkuskipuleggjendur.

Umhverfismál í víðum skilningi eru nú aðalatriði við allar meiriháttar framkvæmdir í U.S.A., ekki sízt við gerð orkuvinnslustöðva og orkudreifikerfa. Kröfur um umhverfisbreytingar vegna varmaorkuvera og kjarnorkuvera eru mjög strangar

og komu tiltölulega skyndilega og kann þetta að eiga sinn þátt í hinni svokölluðu orkukreppu. Það er athyglisvert, að umhverfismál eru óaðskiljanlegur hluti allrar áætlanagerðar um orkumannvirki í U.S.A., og það í svo miklum mæli að oftast stendur lengst á ákvörðunum um þau efni til að framkvæmdir geti hafizt.

Enda þótt orkuvinnslufyrirtæki í U.S.A. séu flest í einkaeign, þá er orkuverð háð opinberu eftirliti. Orkuverð hefur fengizt hækkað að undanförnu, en allir kvörtuðu um að hækkanir væru of litlar, enda þótt hækkanir vegna olíuverðs kæmu af sjálfu sér. Sem stendur virðist ekki lát á hækkun raforkuverðs hvarvetna í U.S.A.

Framtíð raforkuvinnslu í U.S.A., og reyndar víðar, er mikið íhugunarefni. Við heimsóttum stofnanir, sem vinna að rannsóknum á þessu sviði og í stuttu máli virðast niðurstöður þessar:

Búizt er við, að orkueftirspurn í U.S.A. muni halda áfram að aukast með sama hraða og hingað til alveg fram til næstu aldamóta. Líklegt er að orkuþörfinni verði fullnægt þannig:

1. Í næstu framtíð (10 ár eða svo) virðist skynsamlegast að örva framleiðslu á olíu og gasi innan Bandaríkjanna einkum á landgrunninu m.a. með verðhækkunum á gasi og olíu, og hvetja til betri nýtingar þeirrar orku sem nú er tiltæk.

2. Þegar litið er nokkru lengra fram í tímann virðist gösun á kolum og kynding með kolum í rafstöðvum vera vænlegasta úrlausnin, eftir að aðferðir hafa verið fundnar til að fjarlægja brennisteininn úr reyknum. Ennfremur að vinna olíu úr olíubergi (oil shale), en slík vinnsla er nú

marghátttuðum erfiðleikum bundin, efnahagslegum, og ekki hvað sízt umhverfislegum.

3. Í fjarlægri framtíð virðist sem jarðvarmi (þurr; frá heitu en óvatnsgengu bergi), sólarorka og samruna-kjarnorka (fusion) séu álitslegustu leiðirnar.

Margir telja nú, að hlaupið verði yfir útungunarkjarnaofna (breeder reactors) og farið beint yfir í samrunakjarnorku. Útungunarkjarnaofnum fylgja marghátttuð vandamál, þar sem frá þeim kemur mikið magn af plútóníum, sem auk þess að vera afskaplega eitrað og geislavirkt með margra alda helmingunartíma, er efni í kjarnorkusprengjur og gæti leitt af sér stórkostleg stjórnmálavandamál ef framleiðsla þess yrði mjög útbreidd.

Persónuleg kynni okkar af vandamálum og framtíðarhorfum raforkuiðnaðarins í Bandaríkjunum voru mjög lærdómsrík og áhugavekjandi og gerðu okkur ljósar en áður, hversu Ísland er vel sett um hagkvæmar orkulindir.

Íslendingar geta á margan hátt haft gagn af langri reynslu Bandaríkjamanna í raforkumálum, sem og umfangsmikilli rannsóknarstarfsemi sem einmitt nú fer fram á þessu sviði. Að okkar áliti eru umhverfismál og nýting jarðhita, bæði venjulegs og þurrahita, hvað athyglisverðast.

Við vonum, að íslenzkir og bandarískir vísindamenn og verkfræðingar muni fá tækifæri til aukinnar samvinnu um raforkumál í framtíðinni. Fordæmi um þetta er samningur milli U.S. Atomic Energy Comission og Orkustofnunar um samvinnu í jarðhitarannsóknum, sem undirritaður var 23. nóvember s.l.

Persónulegur ávinningur okkar af kynnisferðinni er fyrst og fremst sá, að skilningur okkar á vandamálum og framtíðaráformum Bandaríkjamanna í raforkumálum hefur aukizt, og gerir okkur kleift að skoða okkar eigin vandamál í nýju ljósi. Jafnframt gafst okkur einstætt tækifæri til að kynnast landi og þjóð, en þá reynslu teljum við mjög dýrmæta.

Að lokum viljum við þakka Independence Foundation fyrir ferðastyrkinn, Eisenhower Exchange Fellowships fyrir hina ágætu skipulagningu ferðarinnar og íslenzku úthlutunarnefndinni fyrir að velja okkur til þessarar farar. Síðast en ekki sízt viljum við þakka öllu því fólki, sem eyddi tíma sínum til viðræðna við okkur og greiddi götu okkar í hvívetna til þess að ferðin mætti verða sem árangursríkust.

Reykjavík, 18. maí 1974

Jakob Björnsson | Jóhann M. Maríusson | Sigmundur Freysteinsson

SKRÁ UM STOFNANIR OG FYRIRTÆKI SEM HEIMSÓTT VORU

Okt. 2, '73	Eisenhower Exchange Fellowships Inc., Philadelphia.
" 3-5, '73	Philadelphia Electric Co., Philadelphia, Valley Forge Pe., Conowingo Pe. og Peach Bottom.
" 9, '73	Federal Power Commission, Washington D.C.
" 10, '73	National Science Foundation, Washington D.C.
" 11, '73	U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Washington D.C.
" 11, '73	Resources for the Future Inc., Washington D.C.
" 12, '73	Environmental Protection Agency, Washington D.C.
" 12, '73	American Public Power Association, Washington D.C.
" 15, '73	Department of the Army, Corps of Engineers, Washington D.C.
" 16, '73	Atomic Energy Commission, Germantown, Maryland.
" 17, '73	Delmarva Power & Light Co., Wilmington, Delware.
" 18, '73	Neyrpic Inc., New York.
" 19, '73	Alden Research Laboratories, Holden, Massachusetts.
" 22, '73	Allis Chalmers, York, Pennsylvania.
Okt.23-24, '73	Tennessee Valley Authority, Knoxville, Fort Loudouin, Sequoyah og Chattanooga, Tennessee.
Okt.25, '73	Southwestern Power Administration, Tulsa, Oklahoma.
" 26, '73	Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
" 29, '73	Harza Engineering Company, Chicago, Illinois.
" 30, '73	Bonneville Power Administration, Portland, Oregon.
Nóv. 1-2, '73	Pacific Gas and Electric Co., San Francisco og The Geysers, California.
Nóv. 5, '73	Stanford University, Palo Alto, Cal.
" 6, '73	Bureau of Reclamation, Boulder City og Hoover Dam, Nevada.
Nóv. 7, '73	Union Oil Corporation, Los Angeles, California.
" 8, '73	Southern California Edison Co., Los Angeles.

3. október 1973

Heimsókn í Philadelphia Electric Company, áætlanadeild.
Viðræður allan daginn við

Emil Kasum, yfirverkfr., áætlanadeildar
Arthur D. Bertolett, aðst.yfirverkfr. áætlanadeildar
D.M. Hunt, yfirmann yfir dreifingarskor
P.R. Venuti, yfirmann yfir orkuspám og kostnaðaráætlunum
W.J. Claus, yfirmann orkuvinnslu- og orkuflutningsskorar

PEC er einkafyrirtæki (investor-owned), og sér Philadelphia og nágrenni fyrir raforku. Samanlagt uppsett afl rafala í eigu PEC er 6348 MW 1972 og mesta álag 5313 MW. Vöxtur heildarnotkunar á orkuveitusvæðinu hefur verið 6,5 - 7% árlega undanfarin ár. Hjá PEC starfa um 10.000 manns.

Af uppsettu afli er 1392 MW, eða 22% vatnsafl, þar af 880 í dælimiðlun, eða 14% uppsetts afls.

Heildarorkuvinnsla 1972 var 26,35 TWh, þar af

Gufuafl	77%
Kjarnorka	0-
Vatnsafl	9-
Dælimiðlun	5-

Notað til dælingar	-8%
Aðkeypt, netto	13-
Gastúrbínur	4-
	100%

PEC annast bæði vinnslu, flutning og dreifingu á raforku.

Söluverð raforku 1972 var sem hér segir:

Heimilisnotkun	32,5	mills/kWh	273	aur/kWh
Smærri iðnaður og smærri verzlanir	35,0	" "	293	" "
Stærri iðnaður og stærri verzlanir	16,2	" "	136	" "
Annað	25,7	" "	216	" "

(1 $ = 84 kr.)

Aflstuðull álagsins (cos φ) er um 0,9.

Framtíðarhorfur:

Reiknað er með svipuðum vexti orkuþarfarinnar næstu 10 árin eða svo. Þessi vöxtur er talinn hafa í för með sér um 600 M $ lán í fjárfestingu næstu 10 árin.

Af því verður væntanlega fjármagnað með eigin afrakstri um 20%.

Búist er við 8% vöxtum af skuldabréfum á næstunni, sem verða um 45% af heildarfjármögnuninni og 8,75% af nýjum hlutabréfum, sem verða 35% fjármögnunarinnar. Um helmingurinn af væntanlegum aflviðbótum verður kjarnorkustöðvar. Af eigin fjármagni (equity capital) er sem stendur reiknað með 10% vöxtum.

Sem stendur er olíuverð um 80 ¢ /milljón Btu eða 268 kr/Gcal (1 $ = 84 kr) eða 2680 kr/tonn af olíu.

Orkuspár:

Við orkuspár er heildarnotkuninni skipt upp í notkunarflokka (heimilisnotkun etc.). Stórir orkunotendur (sem eru um 50% af heildarnotkuninni) eru áætlaðir fyrir sig með því að ræða við hvern og einn. Afgangnum er skipt í notkun sem er háð veðri og notkun sem ekki er það. Spá um þennan hluta er gerð með hliðsjón af þjóðarframleiðslu (GNP) og almennu efnahagsástandi. Samhengi veðurs og þess hluta orkuþarfar sem er háður veðri, er fundið út frá reynslu undanfarinna ára. Orkuspáin er síðan gerð fyrir 50% líkur á veðri og líka fyrir 10%.

Söludeildin gerir kWh-spár á grundvelli þessarra atriða, en áætlanadeildin gerir aflspána á grundvelli álagsstuðla og samtímastuðla.

Aflþörfin er ákveðin út frá samtímalíkum á heitu veðri (sumartoppur) og vélabilunum.

Orku- og aflspár eru endurskoðaðar árlega.

Við ákvörðun eru 10% líkur á aflskorti taldar viðunandi. Ekki er tekið tillit til þess hve aflskorturinn er mikill eða hversu hann er langvarandi.

Ákvörðun á gjaldskrá

PEC verður að sækja um leyfi til yfirvalda til hækkunar á gjaldskrá. Leggja verður fram mjög ítarlega greinargerð með slíkum umsóknum, og að auki eru haldnar yfirheyrslur. Algengur tími fyrir afgreiðslu á slíkum beiðnum af hálfu yfirvalda er 15 mánuðir.

Samtengingar

PEC er tengt við kerfi raforkufyrirtækja í Pennsylvaníu, New Jersey og Maryland, sem sameiginlega mynda orkusamlag (power pool) sem nefnist PJM. PJM er undir sameiginlegri álagsstjórn, og álaginu er skipt þannig, að heildarkostnaður verði í lágmarki, þ.e. álagið er á hverjum tíma lagt á þær samstæður, sem ódýrastar eru í rekstri, án tillits til eignaraðildar. Uppgjör á vinnslukostnaði fer síðan fram með aðstoð tölvu, og sjálf álagsstjórnin er einnig framkvæmd með tölvu.

Rannsóknir

PEC fæst við rannsóknir. Einkum er fengizt við

- Jarðstrengi
- Mælaálestur gegnum síma
- Kjarnorku
- Líkan af stjórnkerfi gufukatla
- HVDC
- LNG (Liquid natural gas)

Um 30 manns starfa við rannsóknir.

Eldsneytishlaðar

PEC tekur þátt í tilraunum með eldsneytishlaða (fuel cells). Gert er ráð fyrir 2x26 MW einingum í þessari tilraun, og að þeir verði tilbúnir til orkuvinnslu í kringum 1980.

Fyrirferð einnar 26 MW einingar er 32 x 23 x 5,5 m.

Nýtnin er áætluð 40 - 45%.

4. október, fimmtudagur

Philadelphia Electric Co.

1. Skoðunarferð í tölvumiðstöð P.E.C. í skrifstofu þeirra við Market Street í fylgd með Mr. Bertolett.
Rætt við Mr. Einwechter og Mr. McMatrascek.

Hugmyndin með þessari tölvumiðstöð er að stjórna öllu kerfi PEC frá þessari stöð, sem er „on line" en til að byrja með verður fylgzt með og gefnar fyrirskipanir án fjarstýringar. Kerfið er ekki komið í rekstur, en prófanir í gangi. Stofnkostnaður er hár (M $15). Kerfinu fylgja skjáir (CRT) með einlínumynd alls kerfisins eins og hún er á hverjum tíma auk þess er hægt að kalla fram á sérstaka skjái í töflu-formi ýmsar upplýsingar úr minni vélarinnar er sýna t.d.

> ýmsar upplýsingar um breytingu á ástandi kerfisins á einstökum stöðum undanfarandi mínútur og tíma, hvaða rofar og línur voru inni, hvernig spenna og álag hefur breytzt; upplýsingar um veður o.þ.h.

Veðurspá er fengin frá tveimur óháðum aðilum og notuð til að spá um álag.

Álagsspár eru gerðar fjórum sinnum á dag og hagkvæmasta skipting álagsins á stöðvar PEC reiknuð út jafnoft. Varaafl í gangi (spinning reserve) er eins og stærsta vél eða 4% hvort heldur sem er stærra. Stöðugt er reiknað út hvað gerist ef meiriháttar línur eða stöðvar falla út og aðgætt hvort kerfishlutar verða yfirlastaðir af þeim sökum og ef svo er er breytt um vinnslu einstakra stöðva.- Tölva PEC er frá Burroughs. Henni er skipt í tvo hluta og er hvor sínum megin við eldtraustan vegg. Annar hlutinn getur a.n. leyti haldið áfram starfi tölvumiðstöðvarinnar, þótt hinn eyðileggist.

2. Heimsókn í rannsóknardeild P.E.C. ásamt Mr. Bertolett. Rætt við Mr. John Blose sem sér um að þróa aðferðir til fjarálesturs á mæla notenda (rafmagns-, gas-, gufu-, o.s.frv.). Aðferðin gengur út á, að lesa af öllum mælum í tilteknu hverfi frá einum stað í hverfinu. Upplýsingar frá einstökum mælum eru sendar um núlltaug kerfisins og jörð á aflestrarstaðinn. Á hverjum mæli er búnaður (shaft encoder) sem breytir mælistöðunni í „digital form". Í fyrstu er gert ráð fyrir að senda menn á álestrarstaði í hverju hverfi, en síðar meir kemur til greina að senda upplýsingar um síma eða aðrar fjarskiptaleiðir til höfuðstöðva P.E.C.

3. Heimsókn í stjórnmiðstöð PJM (Pennsylvania - New Jersey - Maryland Interconnection) ásamt E. Kasum. Leiðsögumaður um stjórnmiðstöðina var Robert Spencer. Stjórnmiðstöðin er í iðngörðum (industrial park) nálægt Valley Forge Pe. Þar starfa um 80 manns. Miðstöðin er búin stórri tölvusamstæðu, sem tengd er rekstrarmiðstöðvum aðildarfélaganna. Á 2ja sek. fresti yfirfer tölvan:

orkuvinnslu allra kerfa PJM;
aflstreymi um allar línur sem tengja PJM við nágrannafélög og orkusamlög;
stöðugleika 60 sek. tíðni.

á 5 mín. fresti yfirfer tölvan:

álag á einstökum línum

á 15 mín. fresti lítur tölvan eftir:

óvæntu brottfalli tiltekinna rafala og orkuflutningslína og reiknar út hvort slíkt leiðir til yfirálags og gefur viðvörun.

Tölvusamstæðunni er skipt í tvær eins tölvur og önnur reiknar en báðar taka við öllum upplýsingum, og niðurstöðum reikninga. Sérstakur búnaður sér um að tölvan sem ekki reiknar, getur tekið við reikningum hinnar fyrirvaralaust.-
Stjórnmiðstöð þessi er öll neðanjarðar og sprengjuheld.

5. október, föstudagur

Philadelphia Electric Co.

1. Heimsókn í Conowingo vatnsaflsstöðina í Susquehanna fljótinu. Stöðin er nú 512 MW en var upphaflega (1928) 253 MW. (7 x 36 + 4 x 65). Fallhæð 27 m.
Stærsta sögulegt flóð ca. 35000 m^3/s, minnsta rennsli 70 m^3/s.

Stöðin er rekin núna sem toppstöð. Eldri samstæður innanhúss, yngri utanhúss. Upphaflegar vatnsvélar í eldri samstæðum eru notaðar ennþá, vafningar í sumum rafölum hafa verið endurnýjaðir. Meiri „cavitation" er á nýju vatnsvélunum en þeim gömlu. Nýlega hefur verið settur búnaður til að fanga göngufisk (shad) til flutnings upp ána. Mikið er gert fyrir ferðamenn og veiðimenn við stöðina. Stöðin ber það með sér, að hún er orðin gömul og áhugi fyrir snyrtilegri umgengni virðist vera takmarkaður. Leiðsögumaður um stöðina var Mr. Jarman.

2. Heimsókn í Peach Bottom kjarnorkurafstöðina. Stöðin er við uppistöðulón Conowingorafstöðvarinnar við Susquehannafljótið. Stöðin er í tvennu lagi, annars vegar 40 MW tilraunstöð með HTGR ofni (reactor) með helíum sem kæli og grafít sem hægi og hins vegar stöð með BWR ofnum, sem í fyrsta áfanga verður 2 x 1065 MW; önnur samstæðan um það bil að komast í rekstur. Nýtni HTGR stöðvarinnar var 40% en BWR stöðvanna er áætluð 32%; þéttivatnið er kælt í kæliturnum með viftu. Spenna rafala 20 kV og spennt upp í 500 kV. Í sambandi við stöðina er upplýsingamiðstöð fyrir almenning um notkun kjarnorku til raforkuvinnslu, með líkönum o.þ.h., mjög smekklega úr garði gerð. Mælingar á geislavirkni og vistfræðilegar athuganir í nágrenni stöðvarinnar hófust 7 árum áður en tilraunastöðin fór í gang, engar breytingar eru enn merkjanlegar. Tilraunastöðin (40 MW) er eign PEC en var kostuð verulega af öðrum aðilum, þ.á.m. af AEC, gegn því að niðurstöður yrðu öðrum aðgengilegar. Nýja stöðin er byggð í sameiningu af aðildarfélögum PJM. Fylgdarmaður í Peach Bottom var Mr. Robert Brand.

9. október 1973

Heimsókn til Federal Power Commission í Washington D.C.
FPC er skipt í margar deildir en af þeim heimsóttum við aðeins eina, BUREAU OF POWER.

Mr. Savwoir tók á móti okkur, en hann er yfirmaður stjórnunarskorar (Administrative Section). Hann fylgdi okkur til yfirmanns BOP T.A. Philips.

Mr. Philips útskýrði fyrir okkur megin skipulag sinnar stofnunar. Starfsmannafjöldi er 329. Meginhlutverk BOP er sem hér segir:

1. Eftirlit með öllum atriðum raforkuiðnaðarins sem varða fleiri en eitt ríki (State).
2. Gefa út leyfi fyrir byggingu og rekstri vatnsaflsvirkjana í eigu annarra en stjórnar Bandaríkjanna.
3. Fara yfir áætlanir um stíflur sem byggðar eru á vegum Hermálaráðuneytisins og Innríkisráðuneytisins og annarra stofnanna Bandaríkjastjórnar og gefa ráðleggingar um byggingu vatnsvega og þesshátta til raforkuvinnslu.
4. Hafa eftirlit með verðlagningu frá tilteknum orkuverum í eigu Bandaríkjastjórnar og þeirra sem eru sameign Bandaríkjanna og annarra þjóða.

BOP er skipt í 5 deildir í skrifstofu FPC í Washington D.C. og 5 umdæmisskrifstofur í öðrum ríkjum Bandaríkjanna.

Rætt var við fulltrúa frá hverri deild í skrifstofu BOP í Washington.

I. Leyfadeild (Division of Licenced Projects).
Rætt var við: James I. Stout
Hall
Brown

Þessi deild rannsakar og gefur umsögn varðandi umsókn á leyfi til hönnunar og byggingar og reksturs vatnsorkuvera, sem snerta skipgengar ár, land í eigu Bandaríkjastjórnar eða eru tengdar orkuflutningslínum, sem ganga yfir landamæri einstakra

ríkja. Þetta snertir öll vatnsorkuver, sem ekki eru í eigu Bandaríkjastjórnar. Hvað varðar vatnsorkuver í eigu Bandaríkjastjórnar er hin formlega leyfisveiting talin innifalin í ákvörðun þingsins (Congress) um að reisa þau. Deildin er ábyrg fyrir umsjón með byggingu og rekstri mannvirkja sem FPC gefur leyfi fyrir.

Leyfi eru gefin út til 50 ára og að loknum þeim tíma eru leyfin annaðhvort endurnýjuð eða Bandaríkjastjórn yfirtekur mannvirkið á upprunalegu verði að frádregnum afskriftum.

Í umsögn BOP um leyfisumsóknir er m.a. fjallað um eftirtalin atriði:

a) Hvernig fellur mannvirkið inn í heildaráætlun um hagkvæmustu nýtingu vatnasviðsins.

b) Er mannvirkið gerlegt frá fjárhagslegu sjónarmiði.

c) Uppfyllir mannvirkið allar þær öryggiskröfur, sem til þess eru gerðar og hentar það vel þeim tilgangi sem því er ætlaður.

d) Er aðstaða til útilífs fullnægjandi.

Leyfisveiting er háð því skilyrði, að hönnum og rekstur mannvirkisins verði fullnægjandi að því er varðar, varðveizlu og eflingu hins náttúrulega umhverfis þar með talið fornminjar, sögulegar minjar og fagurt útlit.

Leyfissækjandi verður auk áætlana að leggja fram ítarlega umhverfismálaskýrslu (Environmental Impact Statement). BOP fer yfir slíkar skýrslur og semur einnig sjálfstæða umhverfismálaskýrslu. Framlögðum gögnum umsækjanda er dreift meðal allra sem ætla má að mannvirkið geti varðað og þeim gefinn kostur á að gera athugasemdir og í framhaldi af því eru stundum hafðar yfirheyrslur. Lágmarkstími til afgreiðslu umsókna er 9 - 15 mánuðir, ef málið þarf ekki að fara fyrir dómstóla.

Eigandi mannvirkisins greiðir árlegt gjald fyrir leyfið, sem skiptist í þrennt, stjórnunargjald, leigu fyrir land í eigu Bandaríkjastjórnar, og gjald fyrir ávinning sem eigandi kann að hafa af mannvirkjum í eigu annarra ofar við ána.

II. Vatnasviðadeild (Division of River Basins)
Rætt við Mr. Flynn.

Þessi deild gerir heildaráætlanir um nýtingu vatnsafls á einstökum vatnasviðum um öll Bandaríkin. Sérstök áherzla er lögð á góða nýtingu vatnsorkunnar. Þessi deild gefur umsögn um hvernig einstök mannvirki falla inn í heildaráætlanir (Master Plans). Deildin gefur umsagnir í sambandi við samþykktir FPC á söluverði orku frá tilteknum orkuverum í eigu Bandaríkjastjórnar. Einnig heldur deildin skrá um og gefur við og við út upplýsingar um virkjað og óvirkjað vatnsafl í Bandaríkjunum. Vatnsorkuver í eigu Bandaríkjastjórnar eru afskrifuð á 50 árum.

III. Gjaldskrárdeild (Division of Rates and Corporate Regulation)
Rætt við Mr. Garber.

Þessi deild gerir tæknilegar og fjárhagslegar athuganir, semur skýrslur og tillögur til FPC í sambandi við gjaldskrár og verðlagningu fyrir sölu á raforku frá orkuverum í eigu Bandaríkjastjórnar eða orku sem seld er milli ríkja (States). Hér er eingöngu átt við sölu á rafmagni í heildsölu, en þá átt við raforku sem er endurseld. Deildin fjallar einnig um samninga raforkufélaga sem eru sitt í hvoru ríki.

Þegar fjallað er um orkuverð sem gildir milli einstakra ríkja, hefur nefndin að leiðarljósi að ágóði hinna einstöku raforkufyrirtækja, sem selja úr einu ríki í annað sé innan hæfilegra marka.

Við fengum þær upplýsingar, að raforkufyrirtæki í Bandaríkjunum væru venjulegast fjármögnuð þannig:

Preferred stock	10%	
Common stock	35%	Common Equity
Bonds	55%	

Hæfilegir vextir af eigin fé (common equity) eru taldir 11%.

Hæfilegt er talið, að raforkufyrirtæki fjármagni ca 20% af nýjum framkvæmdum með eigin fé.

Ekki leyfir nefnd þessi, að eignir séu endurmetnar við ákvörðun gjaldskrárgrundvallar. Var okkur sagt, að slíkt væri talið verðbólguaukandi. Í gjaldskrárgrundvellinum er reiknað með öllum mannvirkjum fyrirtækisins gömlum og nýjum á upprunalegu verði, að frádregnum afskriftum (50 ár á vatnsorkuverum).

IV. Orkukönnunardeild (Division of Power Surveys and Analysis)
Rætt var við Mr. Charles Lines.

Helztu verkefni þessarar deildar eru:

a) Gefa út skýrslur og töflur um orkuvinnslu og uppsett afl og tiltekin önnur einkenni allra orkuvinnslustöðva Bandaríkjanna, eldsneytisnotkun - kostnað - og birgðir, álag á kerfi, byggingar og rekstrarkostnað. Ennfremur skýrslur um smásölugjaldskrár.

b) Kanna stöðugt stöðu raforkuiðnaðarins varðandi kostnað og tækni og breytingar á þessu, til notkunar fyrir FPC við stefnumörkun og tillögugerð um löggjöf.

Okkur var sagt, að núverandi vaxtarhraði raforkunotkunar myndi haldast næstu 10 - 12 árin að minnsta kosti. Þessi vaxtarhraði er talinn stafa af því, að nokkru leyti, að raforka kemur í stað annarra orkugjafa t.d. gas og olíu til eldunar og upphitunar. Sumir telja, að núverandi vaxtarhraði raforkunotkunar muni haldast óbreyttur til næstu aldamóta.

V. Orkuöflunar og traustleikadeild (Division of Power Supply and Reliability).
Rætt var við Mr. William Balet.

Þessi deild vakir yfir traustleika og þjónustu alls raforkukerfis Bandaríkjanna. Hún fylgist með áætlunum um aflþörf, aukningu á uppsettu afli, aukningu á flutningskerfinu og metur þær með tilliti til traustleika. Deildir endurskoðar staðla um traustleika kerfanna. Deildin beitir sér fyrir samrekstri og stofnun orkusamlaga (power pools). Hún kannar truflanir, sem verða á rekstri raforkukerfa sem skylt er að tilkynna henni skv. sérstökum fyrirmælum í lögum, og semur skýrslu um orsakir þeirra.

Deildin fylgist með eldsneytisbirgðum raforkuiðnaðarins og beitir sér fyrir því að reynt sé að draga úr áhrifum eldsneytisskorts á raforkuvinnsluna.

Okkur var sagt, að hæfilegt varaafl væri 15 - 20% af álaginu og þetta hlutfall hefði vaxið á síðustu árum vegna nýtilkominna risastórra vélasamstæða, sem hafa gjarnan hærri bilanatíðni í byrjun.

Viðhorf almennings gagnvart byggingu nýrra orkuvera þ.á m. kjarnorkuvera, hefur breytzt til batnaðar á síðustu árum og andstaða minnkað.

10. október 1973

Heimsókn í National Science Foundation, Washington D.C.

NSF er stjórnarstofnun, sem eflir og styður rannsóknir en framkvæmir engar sjálf. NSF er skipt í fjölmargar deildir og undirdeildir, en af þeim heimsóttum við aðeins eina, skrifstofu stefnumörkunar í orkurannsóknum (Office of Energy R & D Policy (OEP)). Öll NSF virðist vera í endurskipulagningu, og þessi skrifstofa var stofnuð 10. ágúst s.l. Hinn 1. júlí 1973 var Office of Science and Technology (OST) lögð niður, en hún var forseta Bandaríkjanna til ráðuneytis í tækni og vísindamálum og hlutverk hennar falið forstjóra NSF. Núverandi umskipulagning miðar sumpart að því að auðvelda forstjóra NSF að gegna áðurnefndu hlutverki.

Við ræddum við Dr. Glen Graves hjá OEP. Hann upplýsti okkur um, að fjárveitingar til NSF eru 600 M $ á næsta ári, þar af eru 25 M $ til orkurannsókna.

Dr. Graves ræddi við okkur í fjarveru yfirmanns OEP (Dr. Paul F. Donovan). Hann treysti sér ekki til þess að fara í einstökum atriðum út í verkefni OEP enda væri hún svo ný, að hún væri varla tekin til starfa.

Aðspurður, hvaða þætti orkurannsókna yrði helzt lögð áherzla á hjá OEP nefndi Dr. Graves jarðvarma, sólarorku og beina ummyndun sólarljóssorku í raforku. 10 manns munu vinna hjá OEP um næstu áramót.

Dr. Graves starfaði áður hjá Los Alamos Scientific Laboratory og þar sem hann var ekki vel heima í einstökum atriðum í störfum OEP eða NSF, skýrði hann okkur frá tillögum sem fram hafa komið í Los Alamos um nýstárlega nýtingu á jarðhita.

Aðferðin gengur út á að sprengja heitt en þétt berg (hot rock) með vatnsþrýstingi, hleypa vatni niður um borholu og fá það aftur upp heitt um aðra borholu. Bráðabirgðaathuganir benda til þess að hér geti verið um hagkvæma aðferð til orkuvinnslu að ræða. Reynslustöð af þessi tagi er ráðgerð fullbúin innan tveggja ára hjá Los Alamos.

11. október 1973

Heimsókn í Bureau of Reclamation í Innanríkisráðuneyti Bandaríkjanna, Washington D.C.

Rætt var við Mr. John D. Mack og Mr. E. Kent Bebb.

Meginhlutverk BR er að hanna, sjá um byggingu og rekstur á áveitumannvirkjum í vesturhluta Bandaríkjanna, í þeim hluta þar sem úrkoma er af skornum skammti. Viðbótarhlutverk BR er að reisa, í sambandi við áveitumannvirki, raforkuver, vatnsveitur, mannvirki til útivistar, eflingar á veiði í ám, og í samvinnu við aðra, mannvirki til flóðavarna.

Að auki hefur BR fengið það hlutverk að selja í heildsölu til rafveitna sveitarfélaga, samvinnurafveitna og rafveitna í Indíánabyggðum raforku frá vatnsorkuverum sínum á áðurnefndu svæði, að undanteknum ríkjunum Washington, Oregon og Idaho, en þar annast Bonneville Power Administration þetta hlutverk.

Við fengum þær upplýsingar, að meðalverð á fastaorku (tryggri orku) frá raforkuverum BR væri um 5 mills/kWh.

Aðspurður um hvað átt væri við með tryggðri orku kvaðst Mr. Mack ekki geta svarað því ótvírætt.

Við fengum ennfremur þær upplýsingar, að kostnaðarverð á toppafli frá Frying-pan-Arkansas toppaflsvirkjuninni, sem er 110 MW að stærð, væri 23 - 25 $/kW,ár. Er þá reiknað með 50 ára afskriftartíma og 3-4% vöxtum af stofnkostnaði.

Þegar vatnsrennsli er lítið kaupir BR orku að frá varmaafls-stöðvum til að geta staðið við orkusölusamninga sína. Fram á síðustu ár hefur BR getað keypt þessa orku (utantoppaorka) á 3 mills/kWh, en nú er verðið komið upp í 6 mills og í einstaka tilvikum í 9 mills/kWh vegna verðhækkunar á eldsneyti. Síðasta mánuðinn (sept. '73) var meðalverðið 5,64 mills, að mestu frá kolakynntum stöðvum.

BR hefur um 16.000 manns starfandi þegar mest er, þar af 200 á skrifstofunni í Washington.

Uppsett afl í stöðvum BR er samtals um 9 GW. Samanlögð lengd allra háspennulína í eigu BR með 115 kV spennu og hærri er um 26.000 km (16.000 mílur).

Orkusölusamningar BR (heildsölusamningar) eru um 450 að tölu.

Í hönnun á vatnsorkuverum hefur BR hliðsjón af nýtingu vatnasviðsins í heild, ekki aðeins að því er tekur til orkuvinnslu heldur einnig annarskonar nota vatnsins.

Að endingu var okkur sýnd kvikmynd sem gerð var á vegum BR og fleiri aðila. Þar kom fram, að búið væri að virkja 20% af virkjanlegu vatnsafli í Bandaríkjunum; hinsvegar kom ekki fram hve mikið þetta virkjanlega vatnsafl væri. Mr. Bebb taldi að nú þegar væri búið að virkja mestallt það vatnsafl sem búast mætti við að nokkru sinni yrði tekið til virkjunar.

Heimsókn í Resources for the Future Inc., (RfF), Washington D.C.

Rætt var við Mr. Hans Landsberg.

RfF er einkafyrirtæki, sem ekki er ætlað að skila arði (non-profit organization). Hún var stofnuð 1952, í samvinnu Ford Foundation, sem kostar rekstur hennar að mestu leyti.

Sérfræðingar í föstu starfi hjá RfF eru um 20.

Verksvið RfF er rannsóknir og fræðsla á sviði þróunar, varðveizlu og notkunar náttúruauðlinda, og endurbætur á umhverfinu.

Flestir sérfræðingar RfF eru menntaðir í hagfræði og öðrum félagsvísindum.

Stofnunin starfar að verulegu leyti á þann hátt að veita styrki til rannsókna á nánar tilteknum viðfangsefnum. Er af hálfu stofnunarinnar haft eftirlit með þessum rannsóknum meðan þær eru í gangi.

Ennfremur veitir stofnunin námsstyrki (fellowships) mönnum, sem vinna að doktorsritgerðum um viðfangsefni á starfssviði hennar.

Á sviði orkumála vinnur RfF nú að yfirlitskönnun á leiðum sem tiltækar eru þjóðarbúskap Bandaríkjanna til að sjá fyrir orkuþörfum sínum. Á næstunni er væntanleg skýrsla um þessa athugun, en niðurstöður hennar eru í stuttu máli þessar:

1. Í næstu framtíð (10 ár eða svo) virðist skynsamlegast að örva framleiðslu á olíu og gasi innan Bandaríkjanna einkum á landgrunninu m.a. með verðhækkunum á gasi og olíu, og hvetja til betri nýtingar þeirrar orku sem nú er tiltæk. (Sjálfur hefur Mr. Landsberg hækkað um 1,5°C stillinguna á loftkælikerfinu á skrifstofu sinni, og notar ekki lengur ljós um háþjartan daginn).

2. Þegar litið er nokkru lengra fram í tímann virðist gösun á kolum og kynding með kolum í rafstöðvum vera vænlegasta úrlausnin, eftir að aðferðir hafa verið fundnar til að fjarlægja brennisteininn úr reyknum. Ennfremur að vinna

olíu úr olíubergi(oil shale), en slík vinnsla er nú margháttuðum erfiðleikum bundin, efnahagslegum, og ekki hvað sízt umhverfislegum.

3. Í fjarlægri framtíð virðist sem jarðvarmi (þurr; frá heitu en óvatnsgengu bergi), sólarorka og samruna-kjarnorka (fusion) séu álitlegustu leiðirnar.

Mr. Landsberg lét þess getið, að margir teldu nú að hlaupið yrði yfir útungunar-kjarnorkuofna (breeder-reactor) og farið beint yfir í samruna-kjarnorku. Þessum ofni fylgdu margháttuð vandamál, m.a. það að frá honum kæmi mikið magn af plútóníum, sem auk þess að vera eitrað og geislavirkt, væri í eðli sínu efni í kjarnorkusprengjur, og væru þar af leiðandi stjórnmálaleg vandamál tengd því.

Að auki vinnur RfF að rannsóknum varðandi orkutækni og á félagslegum hliðum orkumála.

RfF lætur umhverfismálahlið orkuvinnslunnar og orkunotkunar mjög til sín taka í öllum athugunum sínum.

12. október 1973

Heimsókn í U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington D.C.

Rætt við Mr. Dick Livingstone, staff member, Energy Policy Committee, Policy Planning Division.

EPA sameinar undir einni stjórn aðgerðir Bandaríkjastjórnar til að hafa stjórn á loft og vatnsmengun, gæðum drykkjarvatns, sorpi, skordýraeitri, geislun og hávaða. Hluverk EPA er eingöngu að vernda og bæta umhverfið, en ekki stuðla að framförum í landbúnaði, iðnaði o.þ.h. Stofnunin skal standa fyrir rannsóknum og sýningum, semja staðla og framfylgja þeim, vaka yfir umhverfismengun og síðast en ekki sízt aðstoða stjórnir ríkja, borga og sveitarfélaga í þeirra eigin viðleitni í þessum málum. EPA er skipulagt með fimm aðstoðarforstjórum eftir verkefnum og verksviðum, sem hafa aðsetur í Washington D.C. Starfslið er um 8000, þar af um 2000 í Washington D.C. EPA rekur nú 31 rannsóknarstöð í 19 ríkjum. Til rekstursins hefur EPA á þessu ári um 450 M $ sem að fjórða hluta er notað til rannsókna og mengunareftirlits. EPA starfar á grundvelli umhverfismálalöggjafarinnar frá 1969 (National Environmental Policy Act, NEPA). Samkvæmt þessari löggjöf verða stofnanir Bandaríkjastjórnar að leggja fram umhverfismálaskýrslu (environmental impact statement) þar sem gerð er grein fyrir umhverfisáhrifum fyrirhugaðra framkvæmda ásamt lýsingu á skaðlegum umhverfisáhrifum sem ekki verður komizt hjá ef af framkvæmdinni verður; einnig verður að lýsa öðrum valkostum sem komið gætu í stað hinna umræddu framkvæmda. Sumir halda því fram, að raunverulegt mikilvægi NEPA sé að gera umhverfismál að óaðskiljanlegum hluta af ákvarðanatöku stjórnvalda. - Það er hluti af stefnu EPA að hvetja til þátttöku hins almenna borgara í að vernda og bæta umhverfið.

Varðandi loft- og vatnsmengun gefur EPA út tvenns konar staðla. Forgangsstaðla (primary standards), sem eru við það miðaðir að tryggja heilsu manna, og viðbótarstaðla, sem miðast við að tryggja viðgang og vöxt gróðurfars o.þ.h. Þessir staðlar eru

ekki ennþá nema að litlu leyti byggðir á raunverulegum rannsóknum á áhrifum mengunar á heilsufar, en slíkar rannsóknir eru í gangi.

Stöðlum EPA um loftmengun er skipt í tvennt, annarsvegar varðandi innihald andrúmsloftsins við jörð af mengunarefnum, hins vegar innihald slíkra efna á útblástursstað. Einstökum svæðum er heimilt að setja strangari staðla en EPA.

Meðal annarra rannsókna EPA má nefna rannsóknir á áhrifum varmamengunar á vistkerfi í vatni og áhrifum loftmengunar á vistkerfi á landi. Ennfremur eru gerðar athuganir á efnahagslegum aðgerðum til úrbóta. Til dæmis var okkur sagt, að lauslega áætlað myndi það kosta 20 G $ að setja kæliturna á allar varmaaflstöðvar í U.S.A., en í athugun er löggjöf um þetta efni. Ef úr þessu yrði myndi orkuverð hækka um á að gizka 5%. Talið er að stofnkostnaður kæliturna sé um 10 $/kW í nýjum stöðvum og um 20 $/kW í gömlum stöðvum.

EPA lætur áhrif vatnsorkuvera á umhverfið lítið til sín taka.

Heimsókn til American Public Power Association (APPA), Washington D.C.

Rætt var við Mr. Herbert I. Blinder, director of technical services.

APPA er þjónustustofnun fyrir meira en 1400 rafveitur í almenningseign í 47 ríkjum, Puerto Rico, Virgin Islands, Guam og Am. Samoa. Stofnunin var sett á fót 1940 til að efla samvinnu milli einstakra rafveitna í almenningseigu, til að standa vörð um hagsmuni þessara rafveitna og veita meðlimum sínum þjónustu á sviðum eins og stjórnun og rekstri, verkfræði og hönnun, byggingaframkvæmdum, rannsóknum, bókhaldi, lögfræði og almennum viðskiptum. APPA er stjórnað af 30 manna stjórn, sem kosin er af aðildarfélögunum. Starfslið er 23 menn. Meðlimir APPA fást allir við dreifingu og smásölu raforku og sumir eru að auki með raforkuvinnslu. Milli 12 og 14% af raforkunotkun U.S.A. er dreift af meðlimum APPA. Heildsöluverð er 40 -75% af smásöluverði. Í flestum ríkjum þurfa meðlimir APPA ekki að sækja um leyfi yfirvalda til gjaldskrárbreytinga þar eð þeir eru í opinberri eigu. Sum sveitarfélög sem eru eigendur að rafveitum innan APPA nota raforkuverðið meðfram til skattheimtu. Hingað til hafa aðildarfélög APPA ekki lagt mikið af mörkum til rannsókna en nú er stefnt að því að framlag þeirra til rannsókna verði 0,1 mill/kWh árið 1975. APPA heldur þing árlega og auk þess eru fastanefndir starfandi. Kostnaður við APPA er greiddur með árgjöldum aðildarfélagana, en þau eru ákveðin í hlutfalli við brúttótekjur af orkusölu.

15. október 1973

Heimsókn til Department of the Army, Corps of Engineers, Directorate of Civil Works, Washington D.C.

Við ræddum við menn á tveimur deildum, verkfræðideild (Engineering Division) og áætlanadeild (Planning Division).

ACE hefur það hlutverk meðal annars að gera mannvirki í ám og vötnum til þess að auðvelda skipaferðir og til varnar gegn flóðum. ACE reisir ekki orkuver nema í samhengi við mannvirki af áðurnefndu tagi, en á hinn bóginn hefur reynslan orðið sú, að orkuver hafa verið reist með flestum stíflum sem gerðar hafa verið á vegum ACE.

ACE starfar að flóðavörnum og siglingabótum um öll Bandaríkin.

Áætlanir um orkuver eru unnar í samvinnu við Federal Power Comm. (FPC) og ýmsar fleiri stofnanir Bandaríkjastjórnar.

30. júní 1972 var samanlagt afl allra vatnsorkuvera á vegum ACE um 13.0 GW og orkuvinnsla frá 1. júlí 1971 - 30. júní 1972 um 72,8 TWh. Meðalheildsöluverð frá öllum orkuverum ACE gömlum og nýjum var á þessu sama tímabili um 1.7 mills/kWh. Heildsöluverð er ákveðið á grundvelli 50 ára afskriftartíma og vaxta, sem Bandaríkjaþing ákveður fyrir hvert mannvirki fyrir sig. Þessir vextir voru til skamms tíma 3 - 3 1/4% er hafa nú hækkað verulega á allra síðustu árum. Svonefnt tryggt afl (dependable capacity) frá orkuverum er ákveðið á grundvelli þurrasta tímabils sem skýrslur ná yfir. Flest vatnsorkuver ACE eru hönnuð fyrir skamman nýtingartíma oftast með álagsstuðli 10 - 20% (plant factor) nema í ríkjunum Washington, Oregon og Idaho, þar sem álagsstuðullinn er allt upp í 80%.

Okkur var sagt, að áðurnefnt orkuverð sem er mjög lágt, ætti rætur sínar að rekja m.a. til eftirfarandi:

1. Afskriftir eru miðaðar við upphaflegan kostnað, en ekki endurmetinn kostnað.

2. Heildarkostnaði við mannvirki ACE er skipt niður eftir þeim mismunandi tilgangi sem mannvirkinu er ætlað að þjóna, þannig að orkuvinnsla er ekki látin bera nema hluta af heildarkostnaði mannvirkisins. Þannig er augljóst, að stofnkostnaður orkuversins verður lægri en vera myndi ef mannvirkið væri reist fyrir orkuvinnslu eingöngu.

Í mjög stuttu máli er áðurnefnd kostnaðarskipting gerð sem hér segir:

1. Ákveðinn er svonefndur skiptanlegur kostnaður (separable cost). Hann er skilgreindur sem mismunur á heildarkostnaði mannvirkisins með og án þess tilgangs sem um ræðir. Sá hlutur sem eftir verður eftir slíka aðgreiningu er nefndur sameiginlegur kostnaður (joint costs).

2. Fyrir hvern tilgang um sig er ákveðinn ávinningur (benefit) af mannvirkinu.

3. Frá ofangreindum ávinningi er dreginn skiptanlegur kostnaður. Afgangurinn er nefndur eftistöðvar ávinnings (remaining benefit) fyrir hvern tilgang um sig.

4. Sameiginlegum kostnaði er síðan skipt í beinu hlutfalli við eftirstöðvar ávinnings. Við þennan hluta er síðan bætt við skiptanlegum kostnaði og fæst þannig heildarkostnaður fyrir hvern tilgang um sig.

Tilgangur mannvirkja ACE er oftast sem hér segir:

a) Flóðavarnir
b) Siglingabætur
c) Orkuvinnsla
d) Bætt aðstaða til útilífs
e) Áveitur (Fyrst og fremst í vesturhluta Bandaríkjanna)
f) Öflun neyzluvatns

Auk þessa er tekið tillit til hugsanlegra endurbóta á umhverfi og þróun einstakra héraða.

Við útreikning á ávinningi af orkuvinnslu er reiknað með að þau orkuvinnslumannvirki, sem komið gætu í staðinn (oftast varmaaflsstöð) séu fjármögnuð með sömu vaxtakjörum og mannvirkið sem til athugunar er (Federal Financing).

Ávinningur af flóðavörnum er metinn samkvæmt sérstökum reglum sem hér verða ekki raktar nánar.

Ávinningur af bættri aðstöðu til útilífs er metinn með því að líkja eftir markaðsverði á slíkum hlutum, þ.e. reynt er að finna hvað fólk vill borga fyrir útilífsaðstöðu þar sem hún er seld (veiði, bátsferðir, tjaldstæði o.s.frv.).

Reiknað er með ákveðinni upphæð (0,75 - 2,25 $/dag) fyrir hvern gest á dag. Gestafjöldi og dvalartími er áætlaður út frá athugunum, sem gerðar hafa verið á sambærilegum svæðum. Athuganir hafa leitt í ljós, að 85% gesta koma frá svæðum sem liggja innan við 80 km fjarlægð frá þeim útilífsmannvirkjum sem um ræðir.

Á sama hátt er tekið tillit til hugsanlegra neikvæðra áhrifa á útilífsaðstöðu t.d. minnkaðrar stangaveiði.

Hjá ACE var rætt við eftirtalda menn:

Mr. Wilson P. Gill
Mr. Frank R. Pollock
Mr. A. Shwaiko
Mr. D. Gund
Mr. Duwayne A. Koch
Mr. Leverty.

16. október 1973

Heimsókn til Kjarnorkumálanefndar Bandaríkjanna (U.S. Atomic Energy Commission) í Germantown, Maryland, norðvestan við Washington D.C.

Rætt var við Mr. Burke, Dr. Werner, William L. Yeoman og Abraham S. Friedman.

AEC sjálf samanstendur af fimm meðlimum, en starfssemi hennar er skipt í tvo meginhluta, (1) rannsókna- og þróunarstarfssemi og (2) samninga reglugerða og eftirlit með framkvæmd þeirra. Hvor hluti um sig skiptist síðan í margar deildir og undirdeildir.

Dr. Werner, sem við ræddum mest við, er starfsmaður deildar sem heyrir til rannsóknar- og þróunarhlutanum, og nefnist deild hagnýttrar tækni (Division of Applied Technology). Yfirmaður þeirrar deildar er Mr. Gerald W. Johnson, en hann hefur verið á Íslandi m.a. til viðræðna við Iðnaðarráðuneytið og Orkustofnun um samvinnu á sviði nýtingar jarðhita. Aðstoðarforstjóri deildar þessarar er dr. Flemming, og með þeim starfar einnig Mr. Bresee.

Deild bessi fjallar fyrst og fremst um nýtingu annarra orkulinda en kjarnorku. Annars er skipulag AEC mjög í deiglunni um þessar mundir, vegna hugmynda sem uppi eru um að setja á laggirnar sérstaka stjórnarstofnun á vegum Bandaríkjanna til að fjalla um orkumál í heild.

Fyrst var rætt nokkuð um starfssemi AEC í heild. Fram kom m.a., að nú er nefndin að vinna að athugunum á umhverfisáhrifum allra þeirra kjarnorkustöðva, sem reistar verða í Bandaríkjunum á næstunni, skoðað sem ein heild, í stað þess að áður tíðkaðist að líta á áhrif hverrar einstakrar stöðvar fyrir sig. Ennfremur, að nú virðist helzt hallazt að því, að geyma úrgangsefni frá kjarnorkuverum í föstu formi í þar til gerðum byggingum fremur en að fleygja þeim á valda staði í náttúruna (hafdjúp o.þ.h.) Tæknin til að breyta úrgangsefnunum í fast form er nú þegar fyrir hendi. Breyting úrgangsefna í fast form hefur það í för með sér, að fyrirferð þeirra verður mörgum sinnum minni en í fljótandi formi.

Rætt var nokkuð um hættuna frá kjarnorkustöðvum. Fram kom, að hættan af venjulegum rekstri slíkra stöðva er ákaflega lítil, þar eð geislavirknin frá þeim er þá aðeins hverfandi lítið brot af náttúrulegri geislavirkni. Mjög erfitt er að mæla beint áhrif slíkrar lágrar geislavirkni á menn og aðrar lífverur, en reynt er að meta þessi áhrif með exstrapolation út frá mælanlegum áhrifum á ýmsar lífverur frá mörgum sinnum sterkari geislun.

Varðandi hugsanleg meiriháttar slys af völdum kjarnorkustöðva kom fram, að helzt er hallazt að því að viðhafa margfaldar öryggisráðstafanir (redundancy), þannig, að slíkir atburðir geti helzt ekki átt sér stað, fremur en að reikna með vissum líkum á slíkum slysum, þar eð nánast er ógerlegt að tileinka slíkum mjög sjaldgæfum atburðum ákveðnar líkur.

Þá var rætt um rannsóknir AEC á jarðhita. Áherzla er lögð á nýtingu jarðhitans í fleiri en einum tilgangi í þessum rannsóknum, svo sem til hitunar eða kælingar, auk raforkuvinnslu. Talið er, að um 1/3 ríkjanna í vesturhluta Bandaríkjanna ráði yfir jarðhitaorku í venjulegu formi (þ.e. þurr gufa eða heitt vatn). Ekki er búizt við, að jarðhiti finnist mjög víða sem þurr gufa, og því leggur AEC áherzlu á vatnskerfi í jarðhitarannsóknum sínum.

Fram kom, að könnun jarðhitasvæða í Bandaríkjunum er enn skammt á veg komin, þegar á heildina er litið, enda þótt einstök takmörkuð svæði séu nokkuð vel rannsökuð.

Búizt er við, að AEC hafi komið upp tilraunastöðvum (demonstrations plants) er nýta venjulegan jarðhita 1977 - 78. Stöðvar þessar verða ca. 10 MW að afli.

Auk venjulegs jarðhita var rætt um heitabergsjarðhita (hot rock geothermal energy), þ.e. á stöðum þar sem hár hiti er fyrir hendi en ekki vatn, annaðhvort vegna þess að bergið er í sjálfu sér ekki vatnsleiðið, eða umlokið af þéttu bergi. AEC vinnur að því að kanna möguleikana á því að sprengja slíkt berg með vatnsþrýstingi (hydrofracture) og að ná úr því varmanum með vatni á eftir. Áformað er að á næsta ári verði tilbúið

mannvirki til að reyna slíka varmaöflun. Þess er þó varla vænzt, að tilraunir með raforkuvinnslu með slíkum aðferðum verði gerðar fyrr en í kringum 1979.

Ennþá er með öllu ókannað, hversu mikil jarðhitaorka er fólgin í slíku heitu bergi í Bandaríkjunum. Margir álíta, að slík jarðhitaorka sé finnanleg á miklu víðáttumeiri svæðum en venjulegur jarðvarmi.

Fram kom, að AEC framkvæmir sjálf sumt af rannsóknum sínum í eigin rannsóknarstöðvum, sem reknar eru af háskólum eftir sérstökum rekstrarsamningum við AEC. Annar hluti rannsóknanna er unninn af ýmsum rannsóknarstofnunum og fyrirtækjum, eftir sérstökum rannsóknarsamningum. Þannig var skýrt frá því, að rannsóknir á heitabergsjarðhita á vegum AEC færu aðallega fram í rannsóknarstöðinni í Los Alamos; Lawrence rannsóknarstöðin mun fást við rannsóknir á venjulegum jarðhita með ósöltu vatni og Livermore rannsóknarstöðin í Kaliforníu við rannsóknir á heitu saltvatni (pækli).

Auk rannsókna á umhverfisáhrifum geislunar frá kjarnorkustöðvum fæst AEC m.a. einnig við rannsóknir á varmamengun.

Af hugsanlegum umhverfisáhrifum frá nýtingu jarðhita nefndi dr. Werner m.a. landsig vegna dælingar vatns úr jörðu, útlausn jarðskjálfta vegna endurinnspýtingar, loftmengun (aðallega H_2S); hávaða og loks sjónmengun (visual pollution).

Fram kom að endingu, að við vinnslu jarðhita væri almennt reiknað með endurinnspýtingu.

Spurt var um horfurnar á sviði samrunakjarnorku og sólarorku. Dr. Werner taldi, að nýting þessarra orkulinda ætti enn langt í land. Hann bjóst við, að sólarorka yrði fyrr notuð til beinnar hitunar og kælingar en til raforkuvinnslu.

17. október 1973

Heimsókn til Delmarva Power & Light Company, Wilmington, Delaware.

Delmarva framleiðir og dreifir raforku á skaganum milli Chesapeake flóa, Atlantshafsins og Delawareflóa. Auk þess dreifir það og selur gas á vissum svæðum. Á árinu 1972 seldi Delmarva 6,24 TWh til 227.816 notenda fyrir 131,34 M $ eða að meðaltali 21 mill/kWh (1,75 kr/kWh).

Orkunotkun og söluverð skiptist þannig:

	Orkusala TWh	Tekjur M$	Meðalverð Mills/kWh	kr/kWh ⊕
Heimilisnotkun	1,46	43,88	30	2,50
Verzlanir og skrifst.	1,23	31,81	26	2,15
Iðnaður	2,41	35,96	15	1,25
Annað	1,14	19,69	17	1,45

⊕ 1 $ = 83 kr.

Íbúar á orkuveitusvæði fyrirtækisins voru 833.200 1. jan. 1973. Meðalorkunotkun á íbúa var því 7500 kWh/ár. Mesta álag á allt kerfi Delmarva á árinu 1972 var 1262 MW. Samanlögð lengd orkuflutningskerfisins var 1710 km og orkudreifikerfisins 13.800 km.

Í árslok 1972 voru starfsmenn fyrirtækisins 2236 að tölu.

Mr. R.M. Farmer tók á móti okkur og skýrði okkur frá ýmsu varðandi fyrirtækið, m.a. eftirfarandi:

1) Delmarva leggur áherzlu á góð tengsl við almenning og hefur sérstaka deild fyrir þau mál; þar starfa 3 menn. Auk þess hefur það sérstaka auglýsingadeild með 4 mönnum.

2) Verið er að setja á stofn umhverfismáladeild, en þar eru nú 2 starfsmenn.

Orkunotkun hefur að undanförnu tvöfaldast á um það bil 7 árum. Því veldur meðal annars gasskortur og stóraukinn ferðamannaiðnaður við ströndina. Orkuver Delmarva eru olíu- og kolakyntar stöðvar og kjarnorkustöðvar. Auk orkuvera á eigin orkuveitusvæði á fyrirtækið m.a. hluti í orkuverum við námuop í Pennsylvaníu og í Peach Bottom kjarnorkustöðinni.

Delmarva er hlutafélag.

Í árslok 1972 var fjöldi almennra hlutabréfa 13.548.446 og forgangshlutabréfa 900.000. Samanlagt nafnverð almennra hlutabréfa er 45,7 M $ og forgangshlutabréfa 90 M $.

Mr. Farmer kynnti okkur fyrir Mr. O. Lloyd Shorter, sem er yfirmaður kerfisdeildar (system engineering) Delmarva. Þessi deild skiptist í þrjár undirdeildir: 1) kerfisáætlanir (system planning) 2) efnahagslegar athuganir (economic analysis); 3) tölvunotkun (computer applications).

Gerðar eru orkuspár til 5 ára. Á þeim eru byggðar áætlanir um aukningu kerfisins, kostnað við aukninguna svo og rekstur kerfisins og endurbætur, og hvernig þessi kostnaður skiptist milli ára. Áætlunin er ítarleg fyrir fyrsta árið af þessum fimm, en meira samandregin eftir því sem lengra líður fram í tímann. Þessar áætlanir eru allar unnar í höfuðstöðvum Delmarva í Wilmington, en við gerð þeirra eru notaðar upplýsingar frá héraðsskrifstofum á hinum ýmsu hlutum orkuveitusvæðisins. Þessar héraðsskrifstofur sjá um daglegt eftirlit og viðhald, reikningsútskrift og innheimtu o.þ.h. hver á sínu svæði.

Stór svæði í strjálbýli á orkuveitusvæði Delmarva hafa eigin dreifingarfyrirtæki í samvinnufélagsformi (rural coop) sem kaupa orku í heildsölu af Delmarva. Þessi fyrirtæki njóta sérstakrar fyrirgreiðslu sambandsstjórnarinnar í Washington D.C. á þann hátt, að hún útvegar þeim fjármagn með mjög lágum vöxtum.

Fram kom, að Delmarva notar örbylgjusamband til fjarskipta, mælinga og liðaverndar. Burðarbylgjusamband er líka notað að vissu marki.

Á svæði Delmarva er við að stríða ísingu á háspennulínum og eru þær hannaðar fyrir 3,8 cm þykka ískápu við ÷ 1.1°C og logn. Annað hönnunarskilyrði er 45 m/s vindhraði samtímis nokkrum ís (um 1 1/2 cm ískápu), en ekki fengum við nákvæmar upplýsingar um ísþykktina. - Delmarva notar 16 einangrunarskálar á 230 kV línum, enda er saltmengun algeng á orkuveitusvæðinu.

Delmarva hannar að nokkru leyti mannvirki sín með eigin starfsliði og kaupir jafnframt verkfræðiþjónustu að. Útboðslýsingar eru skrifaðar hjá fyrirtækinu sjálfu að svo miklu leyti sem hægt er tæknilega. Allur samanburður tilboða er unninn innan fyrirtækisins Unnið er að því að auka starfslið verkfræðideilda Delmarva til þess að sem mest af verkfræðilegum undirbúningi verði unnið innan fyrirtækisins. Eftirlit með framkvæmdum er á hendi starfsmanna fyrirtækisins. Þeir nota CPM og þess háttar hjálpartæki við eftirlitið.

Delmarva er meðlimur í PJM (sbr. dagbók 4. okt.). Álagsskiptingu á stöðvar fyrirtækisins er stjórnað frá stjórnmiðstöð PJM. Þar eð samtenging Delmarva við aðra hluta PJM er fremur veik, þykir nauðsynlegt að hafa varaafl í gangi á orkuveitusvæði fyrirtækisins 10% af álagi, sem er mun hærra en fyrir PJM í heild.

Delmarva er einnig þátttakandi í Middle Atlantic Area Coordination (MAAC), sem er samtök raforkufyrirtækja um að auka traustleika (reliability) raforkukerfa þátttakenda.

Þá kom fram, að Delaware Public Service Commission, sem hefur eftirlit með verðlagningu raforku í Delaware ríki, leyfir nú 8 - 8½% arðgjöf af brúttó eignum (gross assets). Hjá Delmarva samsvarar þetta 13% arði af eigin fé (almenn og forgangshlutabréf). Af þessum arði eru 60 - 65% greidd hluthöfum. Afgangurinn er notaður til að fjármagna nýbyggingar og sem stendur er þetta um 15% af fjármagnsþörfinni. Nýbyggingar eru fjármagnaðar þannig: 35% almenn hlutabréf, 15% forgangshlutabréf, 50% skuldabréf.

Hlutdeild eigin fjár í heildarfjármögnun hefur farið minnkandi á undanförnum árum. Leyfileg arðgjöf er reiknuð sem hlutfall af svonefndu sanngirnisvirði (fair value) eigna. Þetta sanngirnisvirði er metið af þeim stofnunum einstakra ríkja, sem hafa eftirlit með raforkuverði (NARUC). Það er nokkru hærra en upphaflegt verð en lægra en endurnýjunarverð eignanna.

Að lokum var okkur skýrt frá því að Delmarva hefði lagt 397.000 $ til rannsóknarstarfsemi á árinu 1972, eða sem samsvarar 0,25% af brúttótekjum.

Auk þeirra manna sem áður eru taldir ræddum við við Mr. G. Pinto rekstrarstjóra og Mr. E.R. Streed, yfirmann verkfræðideildar.

18. október 1973

Heimsókn til Neyrpic, Inc., í New York.

Rætt var við Mr. Chapus.

Neyrpic er þekkt franskt fyrirtæki, sem framleiðir m.a. vatnsvélar af öllum gerðum. Viðræður okkar snérust eingöngu um framleiðslu þeirra á sérstakri gerð af vatnsvélasamstæðu svonefndri belgvélasamstæðu (Bulb turbine). Þessar vélar eru eingöngu notaðar við mjög lágar fallhæðir. Fram kom, að slíkar vélar væru varla hagkvæmari en Kaplan vélar fyrir meiri fallhæð en 24 m. Milli 18 - 24 m fer það eftir staðháttum hvor gerðin er hagkvæmari, en neðan við 18 m fallhæð taldi Chapus að belgvélin væri örugglega hagkvæmari.

Í þessari vélasamstæðu er rafalinn inni í stálbelg en vatnið streymir umhverfis hann á allar hliðar og knýr Kaplan-skrúfu á öðrum enda belgsins. Meginkostur belgvélasamstæðunnar er sá, að ásinn er láréttur en við það sparast í byggingarmannvirkjum og falltöp minnka. Vatnsvélin er með hreyfanlegum blöðum og getur, þar sem það á við, verið notuð sem dæla.

Þessar vélar henta sérstaklega vel í sjávarfallavirkjunum.

Mr. Chapus sýndi okkur kvikmynd af byggingu LA RANCE sjávarfallastöðvarinnar í Bretagne í Frakklandi. Í þessari stöð eru 24 vélasamstæður hver upp á 13.600 hestöfl. Málfallhæð er 6,4 m. Snúningshraði 93,8 snúningar á mínútu og þvermál skrúfunnar 5,3 m. Stöðin var fullgerð árið 1966.

Mr. Chapus skýrði frá því að þessi stöð hefði reynst í alla staði vel. Til tæringarvarna vegna saltvatns var notað ryðfrítt stál í blöð vatnsvéla og hreyfanlegar leiðiskóflur en að öðru leyti var notað venjulegt stál sem var varið með málningu og bakskautsvernd (Catodic protection).

Fram til 1. janúar 1973 hefur fyrirtækið framleitt 83 vélasamstæður af ofangreindri gerð í samtals 19 virkjunum. Mr. Chapus sýndi okkur einnig kvikmynd af niðursetningu belgvélasamstæðna í Rhone fljóti í Frakklandi.

Mr. Chapus skýrði okkur frá því að Neyrpic hefði framleitt fimm Francis vélar í Churchill Falls virkjun í Kanada, hverja um sig 712.000 hö við um 300 m fallhæð. Annað fyrirtæki seldi einnig vélar í fyrsta áfanga þessarar virkjunar og eftir reynslutíma á einni vél frá hvoru fyrirtæki ákváðu eigendur að kaupa allar þær vélasamstæður sem eftir voru frá Neyrpic.

Að lokum skýrði Chapus frá því að fram á síðustu tíma hefði það ekki tíðkast í Bandaríkjunum að hafa verðhækkunarákvæði í útboðsgögnum, en nú væru þau að verða æ algengari.

19. október 1973

Heimsókn í Alden-rannsóknarstöðina í Holden nálægt Worchester um 80 km vestur af Boston í Massachusetts.

Þetta er straumfræði- rannsóknarstöð (hydraulic laboratory) í tengslum við tækniháskólann í Worcester (Worcester Polytechnic Institute).

Á móti okkur tók Mrs. Blake, sem kynnti okkur fyrir prófessor Hecker, sem er aðstoðarforstjóri rannsóknarstöðvarinnar. Einnig vorum við kynntir fyrir forstjóra stöðvarinnar, prófessor Neale. Hann þekkir vel þá Berge við Vassdragslaboratoriet í Þrándheimi og Angelin við straumfræðistöðina í Älvkarleby í Svíþjóð, enda er hér um hliðstæðar stofnanir að ræða.

Vegna anna prófessor Neale sá prófessor Hecker einn um móttöku okkar.

Prófessor Hecker skýrði okkur frá því, að enda þótt rannsóknarstöðin væri tengd tækniháskólanum í Worcester, þá væri hún samt sjálfstæð stofnun, og meginhlutinn af verkefnum hennar væru líkanarannsóknir fyrir ýmsa aðila, einkum raforkuiðnaðinn, gegn greiðslu. Fram kom, að stöð þessi er meðal stærstu og elztu straumfræðistöðva í Bandaríkjunum. Við stöðina starfa um 70 manns, þar af 15 verkfræðingar.

Auk starfsmanna starfa stúdentar í Worcester tækniháskólanum við stöðina, sumpart sem hluti af náminu; sumpart sem vinnukraftur að hagnýtum rannsóknarverkefnum.

Prófessor Hecker skýrði okkur frá nýstárlegri tilhögun á verkfræðinámi til bachelor-stigs, sem nú er verið að gera tilraun með við Worcester tækniháskólann. Bachelorsnám þar tekur ca. 4 ár. Tilhögun þessi er í stuttu máli á þá leið, að stúdentar eru látnir vinna miklu meira sjálfstætt en venja er til. T.d. fara þeir, meðan á námi stendur, út til fyrirtækja og stofnana

og starfa þar að einstökum verkefnum á sviði viðkomandi stofnana. Nám eftir að bachelorstigi er náð, er á hinn bóginn skipulagt meira eins og almennt tíðkast í verkfræðiháskólum.

Til bachelorsprófsins fá stúdentar ákveðið vandamál til meðferðar, t.d. titring í ákveðinni vél sem er í notkun, við vissan snúningshraða. Stúdentinn á síðan að afla sér allra tiltækra gagna um þetta vandamál, í bókum og hvarvetna sem þær eru tiltækar. Hann á síðan að gera grein fyrir skýringum sínum á fyrirbærinu og því, hvernig hann telur að leysa megi vandann. Þessi greinargerð er skrifleg, en að auki fara fram einskonar munnleg próf, þ.e. viðræður milli prófessors og stúdents, þar sem hann er spurður nánar um efni greinargerðarinnar og vandamálið rætt frekar. Einkunnagjöf fer ekki fyrst og fremst eftir því, hvort stúdentinn leysir vandamálið eða ekki, heldur eftir vinnubrögðum hans við meðhöndlun verkefnisins.

Þessi námstilhögun kemur fyrst til fullra framkvæmda haustið 1973, þannig að ennþá er ekki komin nein reynsla á hana.

Prófessor Hecker fylgdi okkur síðan um rannsóknarstöðina. Hún er geysistór og í mörgum byggingum. Flest líkönin sem við skoðuðum eru að því leyti ólík þeim sem algengust eru á straumfræðistöðvum, að þau eru gerð til þess að rannsaka hitamengun frá varmaorkuverum, ekki hvað sízt kjarnorkuverum. Í þessum líkönum er hitadreifingin í vatninu kortlögð í öllum þremur víddum. Er Alden-rannsóknarstöðin brautryðjandi á þessu sviði og byrjaði slíkar líkanarannsóknir fyrir um það bil 20 árum. Þörfin fyrir slík hitalíkön hefur vaxið mjög á síðari árum, eftir því sem kröfur á sviði umhverfismála hafa vaxið.

Þessi hitalíkön eru mörg í óbjöguðum mælikvarða (undistorted), og yfirleitt geysistór (algengur mælikvarði er 1:100).

Prófessor Hecker skýrði okkur frá því, að oft væri það erfiðleikum bundið að sannreyna mæliniðurstöður frá slíkum líkönum með samanburði við mælingar úti í náttúrunni, sökum örðugleika við

að gera nægilega umfangsmiklar mælingar úti í náttúrunni með fullnægjandi nákvæmni. Með slíkum líkönum má á hinn bóginn bera saman mismunandi tilhögun mannvirkja með tilliti til hitamengunar. Þetta er e.t.v. megingagn slíkra líkana.

Okkur var skýrt frá því, að kostnaður við að gera sjálf líkönin lægi oft á bilinu 50.000 - 75.000 dollarar. Oft kosta sjálfar tilraunirnar álíka upphæð. Iðulega hagar þannig til, að reisa verður sérstakt hús yfir líkön. Er þá kostnaður við þá byggingu, sem oft er 50.000 - 100.000 dollarar, talinn hluti af heildarkostnaði líkantilraunarinnar og hann greiddur af þeim, sem verkefnið er unnið fyrir.

Auk hitalíkananna voru okkur sýnd nokkur venjuleg straumfræðilíkön, og að auki fáein þar sem viðfangsefnið var efnisflutningur straumvatna. Meðal þeirra var líkan af Tarbela stíflunni í Pakistan.

Auk greiddra tilraunverkefna fyrir raforkuiðnaðinn og aðra vinnur Alden- rannsóknarstöðin nokkuð að hagnýtum rannsóknum á sviði sínu, einkum í tengslum við prófverkefni stúdenta.

22. október 1973

Heimsókn í Allis-Chalmers verksmiðjurnar í York, skammt sunnan við Harrisburg, höfuðborg Pennsylvaníu.

Mr. J. Hangeland, frá vatnsvéladeild A-C, tók á móti okkur á flugvellinum í Harrisburg og ók okkur til York, og til baka síðar um daginn.

Starfsemi A-C í York er þrískipt: framleiðsla á vatnsvélum o.þ.h., framleiðsla á hlutum í kjarnorkuvélar, aðallega fyrir bandaríska flotann; framleiðsla á lokum og búnaði fyrir vatnsveitur.

Undir leiðsögn Mr. Hangeland skoðuðum við þann hluta af starfsemi A-C í York sem snýst um vatnsvélar (hydraulic turbines). A-C er eini framleiðandi á stórum vatnsvélum í Bandaríkjunum. Í viðræðum við Mr. Hangeland komu m.a. fram eftirfarandi upplýsingar.

Enda þótt vatnsvélar séu háþróuð tæki, eru ennþá framfarir í gerð þeirra hvað varðar málmfræði, véltæknihönnun og straumfræði. T.d. notar A-C nú eingöngu melmi af gerðinni CA6NM (sérstakt króm-nikkelstál) í vatnsvélahjól (runners). Þetta melmi er bæði sterkt og auðvelt til rafsuðu. A-C hefur á síðari árum tekið upp mjög fullkomna rafreikniaðferð (finite element method) við styrkleikareikninga, sem gefur mjög ítarlegar upplýsingar um áraun á einstaka vélahluta.

Bezta nýtni á líkönum af Francisvélum er nú um 93% við hagkvæmusta eðlishraða (specific speed), (N_S = 45 í enskum einingum). Nýtni er verðlögð þannig í bandarískum útboðslýsingum, að 0,1% er metið á allt upp í 25000 $.

Hjá A-C er talið að bezta ákvörðun á nýtni vatnsvéla fáist með mælingum í líkönum. Nýtni vatnsvéla er meiri en líkana og er gert ráð fyrir því hjá A-C að reikna megi sambandið eftir Moody formúlu:

$$ep = 100 - (100 - e_m) \left(\frac{dp}{dm}\right) 1/5 \text{ , fyrir Francisvélar.}$$

Hér er e nýtni í % og d þvermál vatnsvélar; m á við líkan og p á við vatnsvélina sjálfa. Lítið er gert af því að mæla raunverulega nýtni vatnsvéla, enda er það varla tiltækilegt með betri nákvæmni er 2%. Aftur á móti er lögun nýtniferilsins ákveðin með svokallaðri vísitöluaðferð (index method). Hún byggist á því, að rennslið má ákvarða út frá þrýstingnum á tveimur stöðum í sniglinum ($Q = C \cdot \sqrt{dH}$., þar sem dH er þrýstingsmunur og C er fasti). Með því að gefa sér C við beztu nýtni, með hliðsjón af líkanatilraunum, má ákvarða lögun nýtniferilsins og bera saman við nýtniferil líkansins. Ef allt er með felldu eiga nýtniferlarnir að vera samsíða.

Stálverð í U.S.A. til smíði á vatnsvélum liggur á bilinu 30 - 38 kr./kg (1 $ = 83 kr). En verð á vatnsvélum má mjög lauslega reikna 310 - 370 kr./kg við verksmiðjudyr. Líkanatilraunir kosta 2 - 8 Mkr.

Algengur afgreiðslutími á vatnsvélum frá því að samningar eru undirritaðir er 2 - 3 ár.

Mr. Hangeland sýndi okkur vatnsvélaverksmiðjurnar og tilraunastöðvar fyrir vatnsvélalíkön, þ.á.m. nýja tilraunstöð sem er í byggingu. Auk Mr. Hangelands hittum við Mr. G.F. Wachter.

23. október 1973

Heimsókn til Tennessee Valley Authority, Knoxville, Tennessee.

Frú Mary Longmire tók á móti okkur og byrjaði á að sýna okkur kvikmyndir um uppbyggingu og þróun TVA.

TVA var stofnað með sérstökum lögum á þingi Bandaríkjanna árið 1933. Tilgangur þess var að hjálpa íbúum Tennessee-dals til þess að sigrast á fátækt og vanþróun, efnahagslegri og menntunarlegri, með því að nýta náttúrulegar auðlindir héraðsins með alhliða samræmdum hætti.

Þegar TVA var stofnað var Tennessee héraðið meðal fátækustu svæða í Bandaríkjunum, en nú er svo komið að meðaltekjur á mann nema þar um 75% af meðaltekjum í USA í heild.

TVA er óháð fyrirtæki í eigu Bandaríkjastjórnar. Því er stjórnað af þriggja manna stjórn, sem er skipuð af Bandaríkjaforseta í samráði við og með samþykki öldungaráðsins til níu ára í senn. Stjórnarmenn ganga úr stjórninni á mismunandi tímum. Stjórnin hefur aðsetur í Knoxville. Seta í stjórninni er fullt starf. Stjórnarmenn eru þeir einu hjá TVA, sem ráðnir eru á pólítískan hátt. Daglega stjórn TVA annast framkvæmdastjóri. Undir hann heyra beint samtals 16 deildir sem hver um sig annast sérstök verkefni á starfssviði TVA.

Af áðurnefndum deildum ræddum við einungis við aðila frá einni deild, Verkfræði- og byggingadeild (Office of Engineering Design and Construction), Mr. R.B. Connelly.

Mr. Connelly skýrði okkur frá því að TVA annast sjálft hönnun og byggingu allra sinna mannvirkja nema á einstaka sérhæfðum sviðum. Verkfræði- og byggingadeild annast hönnun og framkvæmdir við flest verk, sem unnin eru á vegum TVA en afhendir þau að því loknu öðrum deildum TVA til rekstrar, nema siglingamannvirki sem afhent eru Corps of Engineers. Starfsmannafjöldi TVA í heild er nú um 24.000 manns, þar af um 9.600 hjá Verkfræði- og byggingadeild. Af þeim eru um 8.000 starfandi við byggingaframkvæmdir og um 1400 við hönnun og um 40 á skrifstofu deildarstjóra.

Fjármagn sitt fær TVA sem fjárveitingu frá Bandaríkjaþingi, sem tekjur af sölu áburðar frá tilraunaverksmiðjum, sem tekjur af orkusölu og með sölu skuldabréfa. Tekjur af orkusölu og andvirði skuldabréfasölu eru eingöngu notaðar til að reisa orkumannvirki.

Upplýst var, að TVA tekur eignarnámi land, sem það þarf á að halda. Venjan er að bjóða landeigendum greiðslu fyrir landið, sem TVA telur oftast nær ríflega. Ef landeigandi er ekki ánægður með þetta boð, getur hann snúið sér til dómstóla. TVA veitir einnig landeigendum aðstoð við að flytjast búferlum ef nauðsyn ber til. Mr. Connelly upplýsti, að um 97% þeirra sem þetta hefur snert hafi þegið boð TVA.

Okkur var skýrt frá því að TVA greiðir ekki skatta, að undanskildum sköttum til einstakra ríkja af landi, sem sett hefur verið undir vatn.

Síðan á miðjum sjöunda áratug hefur TVA metið ávinning af bættri útivistaraðstöðu til peninga (ca 42 kr. gestadag, (1$ = 83.00 Ikr)).

Nú orðið rennur ekkert af fjárveitingum Bandaríkjaþings til TVA til orkumannvirkja.

Á fjárhagsárinu 1.7.72 - 30.6.73 var um 21% af orku TVA unnin í vatnsorkuverum fyrirtækisins.

Nú er talið að vatnsorka sé að mestu fullnýtt. Frekari vatnsorkuver verða fyrst og fremst dælimiðlunarstöðvar (pumped storage).

Viðræður við Mr. Connelly voru styttri en æskilegt hefði verið vegna þess að við vorum sendir í skoðunarferð til Fort Loudouin stíflunnar í Tennessee-ánni og Melton Hill stíflunnar í Clinch-á. Í ferðinni fórum við framhjá Oak Ridge rannsóknarstöðinni, en þar er meðal annars fengist við kjarnorkurannsóknir. (Union Carbide Corporation rekur þessa rannsóknarstöð fyrir kjarnorkumálanefnd Bandaríkjanna, AEC). Einnig sáum við tilsýndar kolakynnt orkuver, Bull Run, (950 MW í einni vélasamstæðu).

Stöðvarstjóri orkuversins í Fort Loudouin sýndi okkur stöðina.

Í henni eru fjórar Kaplan vélasamstæður, samtals 135,6 MW. Nýlega var afl stöðvarinnar aukið úr 131,2 MW með því að skipta um vöf í rafölum. Mannfjöldi við stöðina var 26 manns. Tveir menn eru að jafnaði á vöktum. Frá þessari stöð er fjarstýrt stöðinni við Melton Hill og Fontana. Fjarskipti fara að mestu fram með burðarbylgju (Carrier Current) á bæði orkuvírum og einangruðum jarðvírum. Stöðvarstjóri gat þess að hann teldi örbylgjukerfi vera æskilegra í þessu sambandi.

24. október 1973

Heimsókn til TVA í Chattanooga, Tennessee.

Um morguninn ók Mr. Parks E. Standridge okkur frá Chattanooga út á byggingarstað Sequoyah kjarnorkustöðvarinnar, sem nú er í byggingu. Þar kynnti hann okkur fyrir Mr. Gerald G. Stack, byggingarstjóra (project manager) fyrir byggingaframkvæmdum við stöð þessa.

Stærð þessarar stöðvar verður 2441 MW í tveimur jafnstórum vélasamstæðum. Kjarnorkuofnarnir eru af þrýstivatnsgerð (PWR). Gert er ráð fyrir að hún taki til starfa 1975. Framkvæmdir hófust 1969. Margháttaðar tafir hafa orðið á framkvæmdunum, einkum vegna ítrekaðra breytinga á hönnun, sem gerðar voru eftir að framkvæmdir hófust. Okkur virtist sem mikil óvissa ríkti ennþá í hönnun slíkra stöðva, og virðist hún um margt ennþá vera á þróunarstigi. Þannig var okkur skýrt frá því, að eftir að framkvæmdir hófust var ákveðið að hafa við stöðina sérstakan búnað til neyðarkælingar á kjarna ofnanna ef kælikerfi þeirra skyldi bila. Þessi búnaður er í formi vatnsgeyma, þar sem vatn er geymt undir 105 kg/cm^2 þrýstingi. Bili kælikerfið kaffærast ofnkjarnarnir á sjálfvirkan hátt frá geymum þessum.

Vegna hugsanlegrar varmamengunar frá stöðinni var einnig ákveðið að eftir/framkvæmdir hófust að reisa kæliturna við stöðina, er komið gætu í stað beinnar kælingar (once through cooling) sem upprunalega var gert ráð fyrir. Þeirri kæliaðferð er þó jafnframt haldið, þannig að nota má hvora aðferðina sem er, eða þær báðar í sameiningu.

Stöðin er reist á strönd uppistöðulóns í Tennesseeánni, ofan við Chickamauga stífluna. Kælivatn er tekið úr lóni þessu og hleypt út í það aftur í gegnum sérstaka dreifara (gataðar pípur) á botni þess. Til að vera viðbúinn því ólíklega tilviki að betta kælivatn þverri, t.d. vegna þess að stíflan brestur, var komið fyrir sérstökum kæliturnum ásamt vatnsgeymum með nægilegu vatni til kælingar meðan stöðin er stöðvuð í slíku tilviki, þannig að ofnkjarnarnir eyðileggist ekki. Einnig var þessi búnaður ákveðinn eftir að bygging stöðvarinnar hófst.

Mjög nákvæmt eftirlit er haft með öllu því efni sem til stöðvarinnar fer; miklum mun strangara en tíðkast um aðrar framkvæmdir við orkuver.

TVA annast með eigin starfsliði alla hönnun stöðvarinnar, að frátalinni hönnun kjarnorkuofna, eimala (steam generators), eimhverfils, rafala og annarra meiriháttar stöðvarhluta, sem keyptir eru fullsmíðaðir. TVA annast líka með eigin starfsliði sjálfar byggingarframkvæmdir og eftirlit með þeim. Mjög sérhæfð verkefni eru þó oft falin sérstökum verktökum.

Mr. Stack upplýsti, að til sjálfra byggingarframkvæmdanna á staðnum væri áætlað að þyrfti um 15 milljónir mannstunda, þar með talin niðursetning véla.

Hann skýrði ennfremur frá því, að í Bandaríkjunum töpuðust að meðaltali vegna vinnuslysa 1700 manndagar á hverja 1 milljón mannstunda. Hjá TVA væri tilsvarandi tala hinsvegar um 500 manndagar á milljón mannstunda, þegar á heildina er litið, og af verkum TVA eru framkvæmdirnar við Sequoyah meðal þeirra þar sem þetta hlutfall er lægst. Ekkert banaslys hefur orðið við þær. Okkur virtist sem öryggisbúnaður á vinnustað, og umgengni öll væri til fyrirmyndar.

Gert er ráð fyrir, að um 2000 manns vinni við framkvæmdir þessar þegar flest er.

Síðdegis þennan sama dag heimsóttum við raforkuskrifstofu TVA (Office of Power) í Chattanooga. Skrifstofa þessi fæst við áætlanir um raforkukerfi TVA og rekstur þess. Við ræddum við Mr. Lopez á skrifstofu þessari.

Á fjárhagsárinu 1973 (1.7.72 - 30.6.73) nam orkuvinnsla TVA alls 109,1 TWh og uppsett afl í stöðvum þess nam í lok fjárhagsársins 21,9 GW. Hlutfallsleg skipting eftir orkugjöfum var þannig

	Uppsett afl %	Orkuvinnsla %
Vatnsafl	20,0	22,5
Gufuafl	75,0	77,3
Gashverflar	5,0	0,2

Orkusala TVA nam á fjárhagsárinu 103,5 TWh og tekjur af henni 749,3 M $ eða sem svarar 7,15 mills/kWh eða 59,5 aur/kWh (1$ = 83,0 kr.). Meðalverð á orku til heimilisnotkunar var á sama ári 13 mills/kWh eða 108 aur/kWh (1$ = 83.0 kr.).

Upplýst var, að vinnslukostnaður TVA á kílówattstund á fjárhagsárinu 1973 var sem hér segir:

Eldsneyti og aðkeypt orka	38%
Rekstur og viðhald	27%
Greiðslur í stað skatta	4%
Afborganir og vextir	20%
Greitt ríkissjóði	11%

Meðalvinnslukostnaðurinn varð ca. 6,7 mills/kWh eða ca. 55 aur/kWh (1$ = 83.0 kr.).

Mr. Lopez skýrði frá því, að TVA gerði orkuspár eftir landssvæðum (álagsþungamiðjum) og tegundum notenda. Ennfremur skýrði hann frá því, að gjaldskrár TVA hafi hækkað um 60% á síðastliðnum fimm árum, og búizt sé við því að þær ættu enn eftir að hækka í næstu framtíð.

TVA þarf ekki skv. lögum sínum að fá samþykki yfirvalda í hverju ríki, né heldur samþykki Federal Power Commission í Washington fyrir gjaldskrárbreytingum.

TVA gerir orkusölusamninga til langs tíma við viðskiptavini sína, þar á meðal iðnfyrirtæki sem kaupa beint af TVA. Fyrr meir voru í slíkum samningum ákvæði um verðbreytingar (escalation formulas), en í nýrri samningum eru slík ákvæði ekki.

Gjaldskrár TVA eru nú endurskoðaðar á þriggja mánaða fresti. Kaupendur taka þátt í þeirri endurskoðun, en ákvarðanir um gjaldskrárbreytingar eru þó einhliða teknar af stjórn TVA. Séu kaupendur óánægðir með slíkar ákvarðanir geta þeir snúið sér til Bandaríkjaþings.

Engir sölusamningar eru gerðir með föstu verði.

Fram kom, að heildartöp í kerfi TVA og kerfum dreifiaðila er kaupa af þeim eru um 9% af vinnslu. Þar af eru flutningstöp um 3%.

Lopez skýrði ennfremur frá því, að sem stendur gæti TVA sjálft lagt fram upp í kostnað af nýjum orkumannvirkjum sem svarar 7% af brúttótekjum af raforkusölu. Þetta nægir sem stendur fyrir nál. 20% af stofnkostnaði nýrra orkumannvirkja. Samkvæmt lögum fer ekkert af fjárveitingum Bandaríkjaþings til TVA til nýrra orkumannvirkja. Hinsvegar selur TVA skuldabréf í þessu skyni á almennum markaði skv. heimild í lögum. Þessi heimild takmarkar þó skuldabréfasölu TVA við 5000 M$. Hinn 30.6.73 nam skuldabréfasalan alls um 2300 M$. Innan þessa ramma getur stjórnin ákveðið útgáfu skuldabréfa, en verður að skýra Bandaríkjaþingi og - forseta frá ákvörðun sinni. Forsetinn og þingið hafa neitunarvald um ákvarðanir stjórnar TVA í þessum efnum.

Samkvæmt núgildandi lögum um TVA er til þess ætlazt að það endurgreiði ríkissjóði fé það, sem ríkissjóður upphaflega lagði í vatnsorkuver TVA, skv. eldri lögum, og að auki 6% arð af eftirstöðvum. Þetta ákvæði kom til framkvæmda þegar TVA fékk leyfi til að gefa út skuldabréf.

Mr. Lopez skýrði frá því, að nú orðið hefði TVA vetrartopp vegna rafhitunar húsa, sem hefur mjög aukizt á síðari árum. Áður fyrr var mesta álag að sumrinu, vegna loftreiðslu (air conditioning). Hann skýrði ennfremur frá því, að dreifiveitur á svæði TVA selji raforku til hitunar á almennri gjaldskrá (sem er blokkagjaldskrá).

Meðalnotkun raforku í rafhituðum heimilum er um 22.000 kWh/ári, en um 15.000 kWh/ári á öllum heimilum á svæði TVA.

Mr. Lopez gat þess að TVA stefni að því að gera orkukerfið það áreiðanlegt að ekki komi til rafmagnsleysis nema sem svarar einum degi á 10 árum til jafnaðar. Áformað er, að miða varaaflið við þessa kröfu. Sem stendur nemur varaaflið um 20% af álaginu.

25. október 1973

Heimsókn til Southwestern Power Administration í Tulsa, Oklahoma.

Mr. E. Reagan og Mr. B. Krahn frá SWPA komu til móts við okkur á hótelið, þar sem við gistum og fylgdu okkur í aðalskrifstofu stofnunarinnar. Þar var síðan þingað til hádegis og auk framangreindra tóku þátt í þeim viðræðum:

Mr. King,
Mr. Stanislaus,
Mr. O. Hembree,
Mr. J. M´Clanahan,
Mr. B. Wards,
Mr. E. Riggin.

SWPA er stofnun sem heyrir undir innanríkisráðuneyti Bandaríkjanna og sér um sölu raforku frá orkuverum Corps of Engineers í Oklahoma-fylki og nágrannafylkjum (south central U.S.A.). Auk þess sér það um orkuflutning og hannar og byggir háspennulínur að vissu marki. SWPA selur eingöngu raforku í heildsölu til sveitarfélaga, samvinnufélaga (til dreifingar í strjálbýli), stofnana Bandaríkjastjórnar og eins iðnfyrirtækis (Reynolds Aluminium). Sala til Reynolds Aluminium hófst 1954, samningur var gerður til 30 ára um sölu á 30 GWh/mán., en heildarálag á verksmiðjuna er 150 MW. Afganginn af orkuþörf sinni kaupir verksmiðjan frá öðrum. Upprunalegt söluverð til Reynolds Aluminium, 1954, var 6 mills/kWh. Í samningnum eru ákvæði um verðhækkun þannig að á 5 ára fresti getur verðið hækkað um allt að 5% og er nú 7,3 mills/kWh. Fulltrúar SWPA töldu æskilegra að söluverð til Reynolds Aluminium hefði verið tengt verðlagi á raforku til annarra viðskiptavina.

SWPA selur nú raforku frá 21 orkuveri að nafnafli samtals 1817 MW, en það verður fljótlega rúmlega 1900 MW. Álagstoppur var s.l. sumar 1858 MW. Háspennulínur fyrirtækisins eru 2700 km að lengd að mestu 161 kV línur en nokkrar 138 kV. Þær eru allar á tréstaurum H-gerð, 20-22 m að hæð. Á 161 kV línunum eru 11-12 einangrunarskálar. Ísing er algeng og eru línurnar hannaðar eftir reglum NESC (National Electric Safety Code), (heavy loading). Helzta vandamál í viðhaldi línanna eru spætur sem hola staurana innan.

Miðlunarmöguleikar í kerfi SWPA eru takmarkaðir (3 mánaða miðlun). Megintilgangur stíflanna, sem orkuverin eru við, er flóðavarnir og siglingabætur og ræður það miklu um reksturinn. Fallhæð er yfirleitt það lítil að niðurdráttur í lónum hefur veruleg áhrif á afl rafstöðva. Stöðvar eru til jafnaðar hannaðar þannig að við fullt orkulón er afl um 115% af nafnafli og jafnt nafnafli þegar orkuinnihald nýtilegs lónrýmis er 35% af fullu orkulóni. (Auk orkulónrýmis er gert ráð fyrir lónrými vegna flóðavarna með hærra vatnsborði). Hlutverk þessara vatnsaflsstöðva færist sífellt meira í þá átt að vinna topporku og sem stendur er nýtingartími þeirra til jafnaðar um 1200 stundir á ári, og mánaðarlegur nýtingartími er 60-200 stundir. Álagsþyngstu mánuðir eru júní, júlí, ágúst og september. Vetrarálag fer vaxandi. Varaafl í gangi (spinning reserve) er 12-15%. Nú orðið er lögð megináherzla á að hafa tiltækt afl vatnsaflsstöðvanna sem mest, þ.e.a.s. að halda háu vatnsborði í lónum, fremur en að vinna sem mesta orku úr vatninu. - Álagsstjórn fyrir svæði SWPA er í Springfield í Missouri. Auk þess eru undirstöðvar í einstökum hlutum svæðisins. Áætlanir um álag eru gerðar fyrir 24 stundir í senn og síðan endurskoðaðar á 1 klst. fresti. Samningar um sölu á fastaorku (firm energy), eru miðaðir við þurrasta vatnsár sem skýrslur ná til (42 ár eða meira), með ákvæðum um sölu á meiri orku í betri vatnsárum. Sem stendur selst mestöll umframorka á næstum sama verði og fastaorka.

Verðlagning á raforku frá SWPA er í grundvallaratriðum byggð á því að endurgreiða stofnkostnað mannvirkja með vöxtum, sem eru ákveðnir af Bandaríkjaþingi. Þessir vextir voru til skamms tíma mjög lágir og eru nú að meðaltali rúmlega 3% þegar á heildina er litið. Fyrir orkumannvirki, sem nú eru í byggingu eru þeir 5 3/4%, en í áætlunum er nú gert ráð fyrir 7%. Verð á topporku frá SWPA er sem stendur 14 mills/kWh. (Eins og fyrir segir eru orkuverin í stíflum sem þjóna margháttuðum tilgangi).

Í aðalstöðvum SWPA í Tulsa eru gerðar áætlanir um raforkukerfið, og í því sambandi aflstreymisreikningar og bilanareikningar. Þessar athuganir eru gerðar í samvinnu við önnur orkufélög á svæðinu (Southwest Power Pool). Gerðir eru tölvureikningar á aðstæðum við áætlaða álagstoppa, sumar og vetur, 10 ár fram í tímann. Með tölvuskriftinni sem notuð er má meðhöndla kerfi með 3000 safnteinum og 4000 línum. Útreikningar eru gerðir með tölvu í Dallas, Texas, og hver umferð reikninga tekur 5 mínútur. Minniháttar athuganir á eigin kerfi eru gerðar með minni tölvu. Áður fyrr notaði SWPA riðstraumskerfislíkan (AC network analyzer). Þetta líkan gat meðhöndlað 48 rafala, 144 álagsteina og 20 línur. Líkanið hefur verið ónotað árum saman og virtust vera möguleikar á því að fá það til Íslands ef áhugi væri fyrir hendi.

Eftir hádegið fóru Mr. Krahn og Mr. M´Clanahan með okkur í skoðunarferð að Keystone stíflunni í Arkansas ánni. Stöðvarstjórinn, Mr. J.F. Wilson, sýndi okkur stífluna og rafstöð sem þar er. Uppsett afl í rafstöðinni er 70 MW í tveimur vélasamstæðum. Vatnsvélar eru skrúfuvélar (propeller) og var eina vandamálið við rekstur stöðvarinnar undirþrýstingstæring (kavitation) í vatnsvélunum. (Fallhæð er breytileg). Leki meðfram að fallpípum hafði verið töluverður í upphafi en með ídælingu tókst/þétta þetta fullkomlega. Umgengni um stöðina var mjög til fyrirmyndar.

26. október 1973

Heimsókn til Bureau of Reclamation í Denver, Colorado fylki. Á móti okkur tók Mr. M.A. Howard.

BOR í Denver er skipt í fjórar megindeildir, stjórnunardeild, áætlunardeild um nýtingu auðlinda, virkjunardeild auðlinda og auðlindastjórnunardeild. Af þessum deildum heimsóttum við þær þrjár síðastnefndu.

Í áætlunardeild um nýtingu auðlinda hittum við þessa menn:

Mr. G. Talbott
Mr. M.H. Logan
Mr. Florey
Mr. Bessles

Þessir menn eru úr ýmsum deildum og mynda vinnuhóp, sem fæst við athuganir á jarðhita í Imperial Valley í Californíu, en BOR vinnur að könnun á því að vinna ferskt vatn úr heitum pækli sem þarna fæst úr borholum í því skyni að bæta vatn Colorado-árinnar áður en hún yfirgefur Bandaríkin. Þetta er gert til þess að standa við ákvæði um vatnsgæði í Colorado-fljóti í sérstökum samningi þar um milli Mexico og Bandaríkjanna.

Sökum víðtækrar notkunar Colorado-fljóts til áveitu í suðvesturhluta Bandaríkjanna, er vatn árinnar orðið mjög salt þegar kemur að landamærum við Mexico, og því nauðsynlegt að bæta gæði þess. Auk þessa er þörf á meiru af fersku vatni til áveituframkvæmda á þessu svæði í Bandaríkjunum en Colorado-fljót getur gefið.

Gert er ráð fyrir, að vinna jafnframt orku úr áðurnefndum borholum en orkuvinnsla yrði nánast aukageta sem falin yrði öðrum aðilum.

BOR virtist hafa mikinn áhuga á jarðvarmavinnslu á Íslandi og var þeim skýrt lauslega frá þeim málum.

Tilraunastöð til afsöltunar sem afkastar ca 4 l/sek hefur þegar verið reist í Imperial Valley.

Talið er að jarðhitasvæðið í Imperial Valley geti, auk fersks vatns, gefið átta sinnum meira rafafl en Hoover virkjun en hún er 1345 MW. Auk þessa er hugsanlegt að vinna megi verðmæt efni úr saltleginum, sem afgangs verður við ferskvatnsvinnsluna og annars yrði að fleygja.

Á grundvelli bráðabirgða athugana í Imperial Valley voru boraðar tvær tilraunborholur þar sumarið 1972.

Borun hverrar holu um sig ásamt fóðrun og frágangi á lokum tók um tvo mánuði. Önnur holan er um 2440 m. Hún er fóðruð með 9 5/8" fóðurröri niður í 2200 m, en þar fyrir neðan var 7" fóðurrör niður í holubotn. Allra efsti hluti holunnar var 28" víður. Neðra fóðurrörið var raufað á 130 m kafla með 6,4 mm breiðum raufum. Botnhiti er um 204° C og þrýstingurinn við lokaða holu um 21.8 ata. Þegar holan er opin er hiti við holuop 107°C og þrýstingurinn 0.7 ata og vökvastreymið er þá 126 l/sek., mælt á yfirfalli. Saltinnihald vökvans er 20 o/oo. Upplýst var, að kostnaður við borun og fullnaðarfrágang þessarar holu var um 250.000 $ eða 20.8 M.kr. (1$ = 83.00 ísl.kr.), eða sem svarar 8500 kr/m. Hin holan var boruð niður í 1830 m dýpi hún var fóðruð með 7 5/8" fóðurröri niður í 1820 m dýpi. Neðstu 150 m af fóðurrörinu voru gataðir. Botnhiti þessarar holu mældist 187°C og hiti við holuop 143°C við 3.1 ata þrýsting. Mesta vökvastreymi er reiknað heldur hærra en úr fyrri holunni við sambærileg rekstrarskilyrði. Saltinnihald vökvans eftir uppgufun (flashing) er 4 o/oo.

Framkvæmd borana fyrir BOR annast sérstakir borverktakar samkvæmt útboðslýsingum, sem gerðar hafa verið af BOR. Mr. Logan hélt því fram, að þessar tvær holur væru einu fyrirfram hönnuðu holurnar sem fyrirfyndust í heiminum, samkvæmt upplýsingum sem þeir hefðu aflað sér um jarðhitaboranir víðsvegar um heim. Hann hélt því einnig fram eftir sömu upplýsingum, að hönnun jarðhitaborhola stæði á lágu stigi (State of the Art low). Við jarðhitarannsóknir sínar notar BOR ýmiskonar jarðeðlisfræðilegar mælingar og létu

þeir þess getið að í háhitaholum hefði einangrun á mælistrengjum verið mikið vandamál.

Að lokum kom fram, að verið er að athuga nýja gerð aflvéla til raforkuvinnslu með jarðhita (Rotary expanding turbine).

Megintilgangur með stíflumannvirkjum BOR eru áveitur og öflun neyzluvatns, en á raforkuvinnslu er litið nánast sem aukagetu. BOR selur raforku sína í heildsölu, reisir og rekur háspennulínur ásamt spennistöðvum. Um þessa starfsemi BOR sér Auðlindastjórnunardeild. Þar hittum við Mr. J.E. Skuderna, sem skýrði okkur frá m.a. að orkuver BOR væru samtengd að mestum hluta. Á samtengda hlutanum eru 4 álags stjórnstöðvar og 3 utan hans. Þær hafa samband sín á milli daglega og jafnvel á klukkustundarfresti um reksturinn. BOR selur einnig raforku frá stöðvum í eigu Army Corps of Engineers. Deild J.E. Skuderna fæst við kerfisathuganir ýmiskonar, svo sem aflstreymisreikninga, staðfestuathuganir og fleira þess háttar.

Skuldbindingar BOR um fasta orkusölu eru byggðar á lægsta gildi tíu ára hlaupandi meðalrennslis. Ef ekki tekst að standa við skuldbindingar er oft gert samkomulag við nálæg orkuvinnslufyrirtæki um að afhenda það sem á vantar gegn afhendingu jafnmikillar orku síðar. Orkusölusamningar eru byggðir á 60% ársálagsstuðli.

Meðalverð BOR á fastri orku (firm) er nú um 6,3 mills/kWh eða 52 aurar/kWh (1$=83.00 ísl.kr.). Það kom fram, að ekki er unnt að haga rekstri miðlunarlóna á þann hátt að orkuvinnsla verði sem mest vegna annarra þarfa sem hafa forgang.

BOR fæst við rennslisspár, sem að mestu eru byggðar á snjómælingum. Nú er í athugun að nota gerfitungl við slíkar mælingar. Þær mælingar eru framkvæmdar af öðrum aðila (Conservation and Park Service). Einnig fæst BOR við að framkalla úrkomu með því að sá í ský í samvinnu við aðrar stjórnarstofnanir. Um sjálfa sáninguna sjá að nokkru leyti verktakar. Kostnaður við að

framkalla slíka úrkomu nemur (5 - 15 $ pr. acre foot) 34-100 aurum pr. m^3. Samsvarandi kostnaður við afsöltun salts vatns er um tuttugu sinnum dýrari. Upplýst var, að sáning í ský hefur valdið talsverðum deilum bæði er tekur til gagnsemi slíkrar starfsemi og einnig hugsanlegra skaðsemisáhrifa.

Við ræddum við Mr. Tom Logan og Phil Burgi um ísvandamál við Búrfell, en um þau höfðu þessir menn lesið í skýrslu frá IAHR ráðstefnu í Reykjavík 1970. Þeir virtust áhugasamir um, hvernig ísskolunarmannvirki við Búrfell hefðu reynst, og hvernig útreikn. á ísmagni kæmu heim við raunveruleikann. BOR hefur á síðastliðnum þremur árum hafizt handa um að gera heildarathuganir á ísvandamálum á svæði BOR. Fram að þessu hefur hér að langmestu leyti verið um gagnasöfnun og heimildakönnun að ræða.

Að loknum viðræðum við ísamenn vorum við teknir í skoðunarferð um rannsóknarstofur BOR í Denver. Þeir hafa víðtæka rannsóknarstarfsemi með höndum í sambandi við vatnsmannvirkjagerð svo sem straumfræðirannsóknir, byggingarefnarannsóknir o.fl. M.a. sáum við útbúnað sem er til þess að rannsaka steinsteypu við háan hita, sem gerðar eru til þess að athuga hentugleika þessa efnis í kjarnorkuverum og mjög heitum borholum.

29. október 1973

Heimsókn til Harza Engineering Company í Chicago.

Haldinn var fundur þar sem eftirtaldir menn voru viðstaddir auk okkar.

Rögnvaldur Þorláksson, Landsvirkjun
Mr. C.K. Willey
Mr. E. Beck
Mr. K. Leonardson
Mr. R. Meagher
Mr. J.A. Veltrop

Rætt var um virkjanamál á Íslandi í næstu framtíð, einkum næstu virkjanir á svæði Landsvirkjunar. Um viðræður á þessum fundi vísast til væntanlegrar fundargerðar frá Harza.

30. október 1973

Heimsókn til Bonneville Power Administration, Portland, Oregon.

Bonneville Power Administration, BPA, er fyrirtæki í eigu Bandaríkjastjórnar, sem hefur það hlutverk að koma á markað raforku frá orkuverum í eigu stjórnarinnar á vatnsviði Columbía-árinnar. Fyrirtækið á ekki sjálft orkuver, en hinsvegar orkuflutningslínur og aðalspennistöðvar. Það selur raforku í heildsölu til dreifiveitna, og að auki til einstakra stórra iðnaðarnotenda.

Fyrirtækið hefur aðalaðsetur sitt í Portland, Oregon, en rekur sérstaka skrifstofu í Washington D.C., sem annast erindisrekstur og milligöngur við þing og stjórn. Að auki eru svæðaskrifstofur á ýmsum stöðum innan orkuveitusvæðis BPA, en það nær yfir ríkin Washington og Oregon, og hluta af ríkjunum Idaho, Montana og Wyoming.

BPA er skipt í fjórar megindeildir, sem hverri um sig er skipt í fjölmargar undirdeildir. Þessar fjórar megindeildir eru

1. Verkfræði- og byggingadeild (Div. of engineering & construction)
2. Rekstrar- og viðhaldsdeild (Div. of operation & maintenance)
3. Orkustjórnunardeild (Div. of Power Management)
4. Stjórnunarþjónustudeild (Div. of management services.)

Rætt var við menn úr þremur fyrstu deildunum, og frá starfsliði aðstoðarforstjóra BPA.

Fyrst var rætt við Mr. Dan Schausten úr starfsliði aðstoðarforstjóra, sem sýndi okkur kvikmynd um þróun og hlutverk BPA. Hann skýrði okkur frá því að starfslið BPA væri um 3400 manns. Samanlögð lengd háspennulína er um 19.000 km. Þær eru flestar 115 - 500 kV. Fjöldi aðalspennistöðva 325. 108 dreifiveitur kaupa raforku frá BPA og 24 stóriðjufyrirtæki. Háspennukerfi BPA er tengt við kerfi annarra fyrirtækja bæði innan og utan orkuveitusvæðis þess, þar á meðal við Kalifornía með tveimur 800 kV rakstraumslínum (HVDC).

Uppsett afl í stöðvum Bandaríkjastjórnar á svæði BPA var hinn 31.12.72 - 9953 MW í vatnsafli, og í byggingu voru þá samtals 7196 MW í vatnsafli. Talið er, að á vatnasviði Columbra árinnar sé hagkvæmt að virkja samtals 27.059 MW í vatnsafli. Á orkuveitusvæði BPA er nú sem stendur 1426 MW í varmaafli í eigu annarra raforkufyrirtækja.

Mesta álag á svæði BPA varð 11623 MW kl. 18:00 hinn 13. desember 1972, á tíma þegar útihiti var 11-17°C (20-30°F) neðan við meðallag. Til þess að halda álaginu innan þeirra marka sem kerfið ræður við og halda jafnframt hæfilegu varaafli tiltæku, þurfti BPA að rjúfa álag hjá iðnaðarnotendum á toppálagstíma vikuna 4. - 13. desember.

Mr. Schausten skýrði frá því, að aluminiumfyrirtæki keyptu um 75% af orkuþörf sinni sem svonefnda "nokkurn veginn tryggða orku" (modified firm energy) og 25% sem rjúfanlega orku (interruptable energy). "Nokkurn veginn trygg orka" er skilgreind þannig, að hún sé ávallt tiltæk nema ef meiriháttar bilanir verða í rafstöðvum eða flutningskerfi. Óvenjulega lágt vatnsrennsli gefur ekki tilefni til að takmarka orkuafhendingu skv. þessari skilgreiningu. Samkvæmt orkusölusamningum má slík takmörkun vegna kerfisbilana aldrei verða meiri en sem nemur 25% af samningsbundnu afli (contract demand) og takmörkun á orkuafhendingu talið í kWh á heilu almanaksári ekki vera meiri en 500 sinnum samningsbundið afl.

„Rjúfanleg orka" er skilgreind sem orka er seljandi fellst á að láta í té gegn umsömdu gjaldi, eftir ósk kaupanda að uppfylltum eftirfarandi skilyrðum:

1. Seljandi má draga úr afhendingu á rjúfanlegri orku að fullu eða að hluta hvenær sem er. Hann gerir seljanda aðvart um slíkan samdrátt í orkuafhendingu með eins löngum fyrirvara og við verður komið.

2. Kaupandi má draga úr kaupum á rjúfanlegri orku við lok hvers reikningsmánaðar (billing month). Að fengnu samþykki seljanda fyrirfram má kaupandi auka eða minnka kaup sín á rjúfanlegri orku á meðan reikningsmánuður stendur yfir.

Við ræddum þessu næst við þá Mr. Ralph S. Gens og Edward F. Weitzel, frá verkfræði- og byggingardeild. Undirdeild sú, sem þeir eru í, nefnist kerfisdeild (Branch of system engineering) og fæst einkum við áætlanagerð um háspennulínukerfið. Gerðar eru yfirlitskostnaðaráætlanir til 10 ára í senn, og að auki ítarlegri áætlanir fyrir næsta ár. Meiriháttar háspennulínur í kerfi BPA eru 230 kV og 500 kV. Auk þess er í athugun 800 og 1200 kV kerfi. Fram kom, að 1200 kV kerfi er ennþá mikilli óvissu undirorpið, bæði tæknilega og kostnaðarlega, en 800 kV virki eru talin tæknilega nægilega þróuð til að taka þau í rekstur.

230 kV línurnar eru yfirleitt með einn vír á fasa, en 500 kV línurnar með þrjá. Ísing á vírum er vandamál á sumum línum BPA, og til skamms tíma var venja að nota aðeins einn vír á fasa, jafnvel á 500 kV línunum, á stöðum þar sem mikil hætta var á ísingu. Nú er hinsvegar farið að nota fjölleiðara (bundle conductors) einnig á slíkum stöðum.

Til þess að koma í veg fyrir ísmyndun á 230 kV línum var oft gripið til þess að lesta línurnar upp í 130 - 140 MW, þegar hætta var á ísingu. Á 500 kV línum er þetta hinsvegar ekki gerlegt.

Hönnun á háspennulínum BPA er gerð fyrir 12,7 mm ískápuþykkt samfara 39 kg/m^2 vindþrýstingi við ÷ 18^{o}C (0^{o}F). Á stöðum þar sem ísingarhætta er mikil er reiknað með 25,4 mm ískápuþykkt og sama vindþrýstingi, einnig við -18^{o}C. Auk þess er reiknað með 45 m/s vindhviðuhraða við auðan vír við styrkleikaútreikning á vírum, að spennustuðli (span factor) 0,7, og með 54 m/s vindhviðuhraða án íss við reikninga á möstrum.

Fyrir línur með 230 kV spennu og lægri eru gjarnan notaðir tréstólpar, 21 - 30 metra háir ef vírinn er 400 mm^2 eða grennri (795 MCM). Í slíkum tilvikum eru tréstólpar taldir hagkvæmari en stálturnar. Fyrir 646 mm^2 vír (1272 MCM) þykja tréstólpar ekki koma til greina.

Fram kom, að stagaðir turnar hafa verið notaðir hjá BPA, nema á svæðum þar sem ísingarhætta er mikil, en þar hafa þeir ekki þótt henta. Reynslan virðist vera sú, að stagaðir turnar séu ekki ódýrari en venjuleg stálgrindamöstur.

Meiriháttar flutningslínur BPA eru tvírása línur á 500 kV spennu.

Kostnaður á 500 kV línum reyndist um 8,3 Mkr/km árið 1972 (1$ = 83 kr), sem skiptist nokkurnveginn þannig:

Land	11%
Bygging	31%
Efni	45%
Mæling, hönnun og ruðning skógar	13%

Þessu næst var rætt við Mr. Harry W, Gerretson í orkustjórnunardeild

BPA gerir nú orðið samninga við iðnaðarnotendur, sem leyfa rof á helmingi álagsins í tvær stundir á dag á mesta álagstíma. Í samningum við dreifiveitur eru aftur á móti ekki heimildir til álagslækkunar, hvorki í formi svonefndrar rjúfanlegrar orku né heldur sem ofangreind heimild til tveggja stunda rofs. Eina heimildin til álagstakmörkunar í samningum við dreifiveitur er í neyðartilvikum.

Sem stendur er fastaorkugeta kerfisins ákvörðuð á grundvelli 19 $\frac{1}{2}$ mánaða lágrennslistímabils á árunum 1943-44 og 1944-45. Við ákvörðun fastaorkugetunnar eru rennslisskýrslur leiðréttar fyrir vatnsnotkun til áveitna, iðnaðar og neyzlu. Þegar lokið er gerð miðlunarvirkja í Columbía ánni í Kanada, sem nú er unnið að, verður lágrennslistímabil það, sem fastaorkan er ákvörðuð út frá, lengt í 42 mánuði. Aðspurður hvort líkindareikningur sé að einhverju leyti notaður við ákvörðun fastaorkugetu kerfisins, svaraði Mr. Garretson því, að það væri grundvallarregla hjá BPA að taka ekki áhættu í skuldbindingum sínum um sölu fastaorku.

Mr. Garretson útskýrði einnig hugtakið bráðabirgðaorka. Með því er átt við, að notandi sem kaupir rjúfanlega orku og er tilkynnt um væntanlega takmörkun á afhendingu þeirrar orku, á þess kost, að dregið verði úr þeirri takmörkun, eða hún felld niður, gegn því, að hann skili aftur orku sem því nemur margfaldað með leiðréttingarstuðli sem er stærri en einn, þegar seljandi telur þess þörf til að geta staðið við skuldbindingar sínar. Slík endurskil kaupanda á orku geta verið með þeim hætti, að hann dragi úr orkunotkun sinni frá því sem samningsbundið er, eða með því að kaupa orku utan að, frá öðrum en BPA.

Upplýst var, að um 90% af orku þeirri er BPA selur kemur frá vatnsaflsstöðvum. Ennfremur, að auk vatnsaflsstöðva í eigu Bandaríkjastjórnar á svæði BPA eru þar einnig vatnsaflsstöðvar í eigu annarra um 11000 MW að afli.

Þá kom fram, að unnt er að selja orku frá vatnsaflsstöðvunum umfram fastaorku og samningsbundna rjúfanlega orku fyrir verð, sem ekki er miklu lægra en fastaorkuverðið. Þessi sala er aðallega til raforkufyrirtækja utan svæðis BPA, sem vinna orku sína að mestu í varmaaflsstöðvum.

Meðalverð á seldri orku frá BPA á fjárhagsárinu 1972 (1.7.71 - 30.6.72) var 2,5 mills/kWh eða 21 aur/kWh (1$ = 83 kr.).

Verð á raforkunotanda er lægra í norðvesturhluta Bandaríkjanna, en í öðrum landshlutum. Væntanleg er 25-30% hækkun verðlags raforku í lok 1974, þegar varmaaflsstöðvar koma í notkun á svæði BPA, svo og vegna vaxtahækkunar. Vextir voru 3,5 - 5,5% til skamms tíma. Nú sem stendur er reiknað með 6 7/8% í fjárhagslegum athugunum á nýjum mannvirkjum.

Þessu næst vorum við kynntir fyrir Mr. Bruce Rogers, Jack Jones og Bill Bosshart á rekstrar- og viðhaldsdeild (div. of operation and maintenance).

Tilheyrandi rekstrar- og viðhaldsdeild eru fimm svæðaskrifstofur, sem sjá um rekstur og viðhald hver á sínu svæði. Á hverri þeirra er nokkur verkfræðiþjónusta, 3-5 menn, og að auki sjá þær um þjónustu við kaupendur og rekstur og viðhald.

Starfsemi rekstrar- og viðhaldsdeildar skiptist í fjóra meginþætti:

Viðhald - flutningsmannvirkja
" - aðalspennistöðva
" - verndarbúnaðar (liðar o.s.frv.)
" - fjarskiptabúnaðar

Um reksturinn eru gerðar tímaáætlanir fyrir 24 stundir í senn, þar sem áætlað er álag, vatnsrennsli og veðurfar. Veðurfar er tekið samkvæmt veðurspám sem BPA gerir sjálf, og eru þær spár notaðar við að áætla álagið. Áætlanir þessar eru gerðar á tölvu. Í áætlunum þessum er tiltekið, hvernig álagið skuli skiptast á einstakar stöðvar, en hinsvegar ekki skiptingin á vélar innan sömu stöðvar. Uppgjör á framlagi hverrar stöðvar er skv. áætluninni, og frávik raunverulegs álags frá áætluðu skrásett.

Gangandi varaafl er ákveðið út frá mesta afltapi sem leitt getur af bilun í einstökum kerfishluta. Til dæmis ákveðst gangandi varaafl nú út frá því, að kjarnorkuofninn í orkuverinu í Hanford bili, en hann sér tveimur 420 MW hverfilsamstæðum fyrir gufu. Varaaflið miðast þannig við að 840 MW tapist úr rekstri, en það samsvarar um það bil 8% uppsetts afls í stöðvum á svæðinu í eigu Bandaríkjastjórnar. Aðrir eigendur orkuvera á svæðinu verða einnig að sjá fyrir varaafli að sínum hluta.

Gangandi varaafl þarf þó aðeins að sjá fyrir helmingi þess mesta afls sem fallið getur út við bilun í einstökum kerfishluta. Fyrir hinum helmingnum er séð með því að lækka álagið hjá stóriðjufyrirtækjum sem kaupa af BPA.

Hinn 1. október 1973 var samanlagt uppsett afl véla í Columbíakerfinu 10318 MW, og mesta meðalálag klukkustundar 11623 MW; orkuvinnsla mesta dags 248,68 GWh. Samanlögð lengd háspennulína var um 19,000 km og fjöldi aðalspennistöðva 329.

Þá fórum við undir leiðsögn Mr. Helm í skoðunarferð um nýja álagsstjórnstöð fyrir kerfi BPA, sem nú er í byggingu. Stöð þessi er í Vancouver í Washingtonríki rétt norðan við Columbía-ána. Í stöð þessari verður, auk álagsstjórnar, fylgst með ástandi kerfisins að staðaldri, á svipaðan hátt og gert er hjá PJM, og lýst er í dagbók frá 4. október. Stöðin verður búin tveimur tölvusamstæðum. Þar af er önnur „on line" á hverjum tíma. Skipting frá einni til annarrar er handvirk en ekki sjálfvirk. Stjórnstöðinni fylgir örbylgjukerfi er myndar þrjár lokaðar lykkjur, er flytja upplýsingar utan úr kerfinu inn í stjórnstöðina, og stjórnboð frá henni út í kerfið.

Áætlað er, að stjórnstöð þessi kosti um 1660 Mkr (20 M$; 1$ = 83 kr.), þar af 1245 Mkr (15 M$) í tækjabúnað. Stöðin hefur verið fimm ár í byggingu. Reiknað er með, að hún taki til starfa snemma á næsta ári.

Loks skoðuðum við tilraunastöðvar BPA á sama stað og stjórnstöðin undir leiðsögn Mr. H.L. Hill, Mr. Bruce og Mr. Jack Brown. Tilraunastöðvar þessar gegna því hlutverki að styrkleikaprófa ýmsa hluta í háspennulínur og spennistöðvar, og rannsaka rafmagnslega eiginleika þeirra, svo sem útvarpstruflanir, hávaða, kórónutöp, einangrunarþol o.fl. Háspennuhluti þessarar tilraunastöðvar er jafnframt notaður til að þróa ýmisskonar búnað í UHV háspennulínur (1000 kV og spenna þar yfir).

1. nóvember 1973

Heimsókn til Pacific Gas and Electric Company, San Francisco, Californía, (PGE).

PGE er einkafyrirtæki (investor owned) sem vinnur og selur raforku, bæði í heildsölu og smásölu, um norður- og miðhluta Californíu, á alls um 240.000 km^2 svæði með um 8 milljón íbúum. Fyrirtækið dreifir einnig gasi til sölu, en vinnur það ekki. PGE á 65 vatnsaflsstöðvar, samtals 2529 MW. Að auki eiga þeira 12 varmaaflsstöðvar, samtals 7888 MW. Af því eru 290 MW í jarðgufustöðvum og 80 MW í kjarnorkustöðvum. Uppsett afl í kerfi PGE er 12780 MW, þar af á PGE 10417 MW. Háspennulínur PGE eru 21.000 km að lengd og dreifilínur um 120.000 km. Sala raforku til notenda á árinu 1972 nam 48,4 TWh. Söluverð til jafnaðar 17,8 mills/kWh eða 1,47 kr/kWh, (1$ = 83 kr.). Mesta álag á árinu varð 10470 MW (14. júlí 1972). Álagsstuðull ársins var 64,3%. Meðalheimilisnotkun var 6213 kWh á hvert heimili á árinu 1972. Á tímabilinu 1973-77 gerir PGE ráð fyrir, að bæta við samtals 3001 MW í nýjum orkuverum, þar af 2120 MW í kjarnorkuverum, 208 MW í eldsneytisverum og 673 MW í jarðgufustöðvum. Fjöldi starfsmanna PGE var 25661 í árslok 1972 og hafði aukizt um 1% á árinu. Eldsneytisorkuver PGE brenna öll gasi, en verða væntanlega olíukynnt í náinni framtíð.

Hjá PGE ræddum við fyrst við:

Mr. H.R. Daniels
Mr. C.P. McGough
Mr. J.E. Bussi
Mr. R. Plummer.

Rætt var um ýmis málefni, einkum varðandi vatnsorkuver. M.a. kom fram að leyfi frá FPC fyrir vatnsorkuverum er háð því skilyrði, að virkjunin falli inn í heildaráætlun fyrir viðkomandi vatnasvið. Með leyfisumsókn þarf m.a. að fylgja frumhönnun og umhverfismálagreinargerð. Eitt skilyrði fyrir leyfisveitingu er, að séð verði fyrir útivistaraðstöðu við uppistöður sem eru á landi Bandaríkjastjórnar. Ef virkjunin hefur áhrif á fiskigengd skal setja

fiskvegi eða klakstöðvar eftir því sem við á. PGE hefur leyfi til að selja aðgang að útivistaraðstöðu fyrir allt að 2 $ á dag, en hinsvegar er sala á veiðileyfum á vegum stjórnarvalda ríkisins. Lágmarkstími á afgreiðslu leyfisumsókna um vatnsaflsvirkjanir er $1\frac{1}{2}$ - 2 ár.

Hagkvæmt vatnsafl á svæði PGE er nú talið að mestu fullnýtt að undanteknum dælumiðlunarstöðvum.

PGE hefur haft áform um að reisa kjarnorkuver á Kyrrahafsströndinni, en vegna jarðskjálftahættu hafa slíkar stöðvar verið bannaðar þar næstu 5 ár, eða þar til nánara mat á jarðskjálftahættunni hefur verið gert.

Orkuflutningslínur PGE eru 500 kV og 230 kV, en minniháttar línur með 115 kV spennu og lægri. Flestar línurnar eru á stálgrindamöstrum, nokkrar línur með 230 kV spennu og lægri eru á trémöstrum. Stöguð stálmöstur eru notuð á 500 kV línum, þar sem land er ekki mjög verðmætt, þó ekki þar sem ísingarhætta er mikil.

Rætt var um jarðskjálftahættu í sambandi við staðsetningu eldsneytisstöðva og virtist PGE ekki þurfa að taka tillit til hennar að öðru leyti en í hönnun. PGE virðist þannig ekki hafa áhyggjur af, að meirihluti slíkra orkuvera eyðileggist í einum jarðskjálfta, enda dregur hin eðlilega dreifing slíkra stöðva mjög úr þessari hættu.

Á þessu ári (1973) hafa gjaldskrár PGE hækkað sex sinnum vegna hækkaðs eldsneytisverðs. Aðrar hækkanir á gjaldskrám, en vegna hækkana á eldsneyti eru háðar samþykki ríkisyfirvalda og tekur það 6 - 8 mánuði að fá afgreiðslu á beiðni um gjaldskrárbreytingu.

PGE hefur áhyggjur af aflskorti og hefur uppi áætlanir um sjálfvirkt álagsrof á rjúfanlegri orku ásamt áveitudælum o.þ.h. Þessum sjálfvirka búnaði er stjórnað af tíðniliðum með tímaseinkun.

Eftir framangreindar viðræður hittum við eftirtalda menn í hönnunardeild fyrirtækisins:

Mr. D. Green
Mr. G.A. Meeks
Mr. Lambert.

Þeir eru að hanna dælumiðlunarstöð, Helms Pumped Storage Project, 1050 MW í þremur vélasamstæðum. Fallhæð er 520 m og lengd vatnsvega 5 km. Þetta er neðanjarðarstöð milli tveggja miðlunarlóna sem þegar hafa verið stífluð. Vatnsvegir eru jarðgöng, ca. 130 m^2, í mjög góðu graníti að því er talið er. Gert er ráð fyrir, að hafa göngin ófóðruð með steyptum botni. Yfirleitt eru ófóðruð göng hjá PGE hönnuð með 1,5 m/s meðalstraumhraða en hér er reiknað með 2,3 m/sek. Við hönnun þessara ganga er notuð Manningtala 36, en í göngum án steypts botns hafa þeir notað 33. Verð á gangaspreningum þarna er nú lauslega áætlað 12 - 40 $/cu.yard eða 1300 - 5000 kr/m^3.

2. nóvember 1973

Skoðunarferð að jarðvarmaorkuverum PG&E við The Geysers í Sonoma-sýslu um 140 km fyrir norðan San Franciso. Leiðsögumaður var Mr. Larry R. Krumland.

The Geysers er víðáttumikið jarðhitasvæði þar sem ýmis einka-fyrirtæki, einkum olíufélög, bora eftir jarðgufu og selja hana PG&E til raforkuframleiðslu.

Jarðgufan sem hér um ræðir er þurr og svolítið yfirhituð.

Virkjun jarðgufu á þessu svæði hófst um 1960 en vitað hefur verið um þetta jarðhitasvæði síðan 1847. Í árslok 1972 höfðu verið settar upp 8 vélasamstæður samtals 290 MW (netto) að afli og fram til ársloka 1975 eru ráðgerðar 4 vélasamstæður í viðbót samtals 318 MW (netto). Stærstu vélasamstæður hingað til eru 55 MW brúttó (53 MW netto) en nú er ráðgert að setja upp helmingi stærri vélasamstæður á næstunni.

Við skoðuðum vélasamstæður nr. 5 og 6 sem eru 55 MW brúttó. Þær eru framleiddar af Toshiba í Japan árið 1970. Snúningshraði er 3600 sn./mín., inngangshiti gufu er 180°C og þrýstingur 7 aty, bakþrýstingur er 0,13 ata. Kælivatnið er kælt í kæliturnum með blásurum. Hluti af þéttivatninu fer til þess að vega upp vatnstap í kælivatni vegna uppgufunar í kæliturnunum, en því sem eftir verður er dælt niður í borholur.

Rafalaspenna á þessum vélum er 13800 kV og tvær vélasamstæður eru saman um einn spenni, þar sem spennan er hækkuð í 115 kV. Rafallinn er hannaður fyrir 45°C hitastigshækkun í sáturvöfum (armature temperature rise),einangrun er í flokki B.

Árið 1975 er reiknað með að alls tólf vélasamstæður verði komnar í rekstur á þessum stað samtals 608 MW (netto). Þá er talið, að um 5000 tonn á klst af gufu þurfi til þess að reka allar vélasam-stæðurnar á fullum afköstum, eða sem svarar 8,2 kg/kWh í nettó vinnslu.

Jarðhitaréttindin eru í eigu landeigenda, sem flestir eru einkaaðilar. Þeir leigja réttinn til borunar. Algeng leiga er um 2000 kr. á ha í eitt skipti fyrir öll, að viðbættum 15% af tekjum gufuvinnslu fyrirtækisins af gufusölunni (1 US$ = 83 kr.).

Reiknað er með, að meðalkostnaður við að bora og ganga frá gufuvinnsluholu sé 22,8 Mkr. Meðalkostnaður við þurra holu er 18,6 Mkr. og reiknað er með að 1/10 hluti holanna sem boraðar eru séu þurrar. Ennfremur er reiknað með, að hver hola gefi að meðaltali 90 tonn af gufu á klst. og úr þeirri gufu megi vinna 10.000 kWh. Árlegur rekstrarkostnaður er áætlaður 500.000 kr. á holu.

Gufan er seld fyrir ákveðið verð pr. kWh frá rafstöð (nettó) og í áætlunum borfyrirtækisins er reiknað með að gufuverðið sé 2,5 mills/kWh eða 20,8 aurar/kWh og að ársálagsstuðull sé 0,9 (1 US$ = 83.00 ísl.kr.). Upplýst var, að stofnkostnaður kæliturna væri um 20 - 30 $ á kW eða 1650 - 2500 kr/kW.

Reynsla af rekstri stöðvanna á tímabilinu 1961 - 1972 hefur verið þannig:

I	Meðalársálagsstuðull	=	77.5%
II	Tiltækileikastuðull	=	82.2%
III	Bilanastuðull	=	8.8%
IV	Viðhaldsstuðull	=	9.0%

$$I : \frac{\text{Ársorkuvinnsla í kWh x 100}}{\text{8760 x uppsett afl}}$$

$$II : \frac{\text{Árlegur gangtími x 100}}{\text{8760}}$$

$$III : \frac{\text{Bilunartími á ári x 100}}{\text{8760}}$$

$$IV : \frac{\text{Árlegur viðhaldstími x 100}}{\text{8760}}$$

Reiknað er með, að viðhaldi 55 MW vélanna verði þannig háttað að þær verði teknar úr rekstri í sex vikur annað hvert ár. Reynsla takmörkuð ennþá.

5. nóvember 1973

Heimsókn til Stanford University Department of Petroleum Engineering í Palo Alto ca. 100 km fyrir sunnan San Francisco.

Þar hittum við Dr. S.S. Marsden og Dr. W. Brigham. Báðir þessir menn fást við rannsóknir á jarðhita. Stanford háskóla hefur nýlega verið falið rannsóknarverkefni í jarðhitafræðum af National Science Foundation. Þessar rannsóknir eru aðallega jarðfræðilegar athuganir á nýtingu kjarnorkusprenginga til myndunar neðanjarðar vatnsgeyma og sprungumyndunar í heitu bergi og hitaleiðni, rennsli og gufumyndun í ýmisskonar jarðefnum. Hvað varðar kjarnorkusprengingarnar hefur enn ekki verið hafizt handa, en þeir hjá Stanford eru í þann veginn að hefja tilraunir með hitaleiðni-rennsli og gufumyndun í ýmisskonar jarðefnum í þar til gerðum tilraunatækjum sem nýbúið er að koma upp.

Ástæðan til þess að olíudeild háskólans hefur verið falið þetta rannsóknarverkefni er sú, að jarðvarmavinnsla er tengd olíuvinnslu. T.d. var okkur skýrt frá því að til þess að ná þykkfljótandi olíu upp úr jörðunni er gjarnan notuð gufa sem þrýst er niður í olíujarðlögin bæði til þess að hita upp olíuna og gera hana þannig þynnra fljótandi og eins til að þrýsta henni upp á yfirborðið.

Dr. Marsden sagði okkur frá því, að hann hefði mikinn áhuga á bortækni og skýrði okkur m.a. frá því að víða hefði froða (þ.e. vatn blandað með froðumyndandi efnum) verið notuð með góðum árangri við boranir í stað venjulegrar borleðju. Marsden taldi þessa aðferð mun ódýrari en þá sem venjulega er notuð og væri ótrúlegt hversu vel froðan bæri borsallann upp á yfirborðið, hann sagði þó að hingað til hefði ekki verið búin til froða sem þyldi hærra hitastig en um 175°C. Aðspurður sagði Marsden, að froðan væri laus við öll eiturefni og umhverfisvandamál við þessa aðferð mjög lítil, þar sem hægt væri að búa þannig um hnútana að froðan brotnaði niður, lífrænt, á minna en 24 tímum.

Okkur var skýrt frá því að við Stanford háskóla hefði verið komið á fót orkustofnun (Energy Resource Institute). Þar geta nemendur fengið mjög breiða menntun í orkumálum með því að þeir eru látnir

sækja fyrirlestra í hinum ýmsu deildum háskólans svo sem lögfræði-deild, viðskiptadeild, verkfræðideild, hagfræðideild o.s.frv.

Mr. Brigham tók okkur í skoðunarferð um rannsóknarstofu þá, þar sem áðurnefndar tilraunir um hitaleiðni og fleira fara fram. Þar kom í ljós, að þeir eru búnir að búa til bergtegund úr sandi og sementi sem þeir ætla að nota í fyrstu við tilraunirnar. Þetta gera þeir til þess að útiloka truflanir frá frávikum í gerð bergsins eins og alltaf er eitthvað um í náttúrulegu bergi, og einnig til þess að koma fyrir mælitækjum innan í sýnishorninu. Gert er ráð fyrir, að í tilraunatækjunum verði hægt að rannsaka m.a. tveggja fasa rennsli í berginu (Two phase flow,water, steam) og hitaleiðni. Þessar rannsóknir munu haldast í hendur við stærðfræðilegar rannsóknir á þessum fyrirbærum og munu niðurstöður verða birtar jafnóðum og þær liggja fyrir.

6. nóvember 1973

Heimsókn í svæðisskrifstofu Bureau of Reclamation, Boulder City, Nevada.

Þessi svæðisskrifstofa BOR sér um byggingu og rekstur áveitna í syðsta hluta Californíu, hluta af Nevada og Utah og meginhluta Arizona. Í sambandi við nokkrar stíflur BOR á svæðinu eru virkjanir. Þekktastar af þeim eru Hoover stíflan með 1345 MW virkjun, Davis stíflan með 225 MW virkjun og Parker stíflan með 120 MW virkjun. Þessar virkjanir eru allar í neðri hluta Colorado-fljótsins. Ofar í fljótinu er Glen Canyon virkjunin, 900 MW, sem er samtengd áðurnefndum virkjunum. Stíflurnar eru áveitumannvirki og vatnsveituvirki fyrst og fremst og rennsli um virkjanirnar ákveðst eingöngu af þörfum til slíkra nota. Í uppistöðunni við Hoover stífluna, Lake Mead, er mesta vatnsmiðlun í Vesturálfu, um 24.000 Gl, sem er meira en tvöfalt meðalársrennsli fljótsins á þessum stað. Með þessari miðlun og fleiri miðlunum í ánni er rennslinu stjórnað þannig að ekkert vatn fer til spillis.

Vegna hinna miklu áveitna er vatn Colorado fljótsins orðið tiltölulega lítið og mjög salt þegar kemur niður til Mexico. Þess vegna hefur verið gerður samningur milli stjórna Bandaríkjanna og Mexico um, að Bandaríkin bæti fersku vatni í fljótið. Einn möguleiki til að fá þetta vatn er að vinna það úr heitum jarðsjó í Imperial Valley,(sbr. dagbók 26. október 1973.) Annar möguleiki, sem er í rannsókn er skýsáning, en sem stendur er vatnsvinnslan í Imperial Valley talin raunhæfari lausn. Einn af viðmælendum okkar í Boulder City, Mr. M.K. Fulcher (Reg. Planning Officer), sem hefur með boranir í Imperial Valley að gera, lýsti áhuga sínum á samvinnu við Íslendinga um jarðhitarannsóknir, enda hafði hann haft samband við Orkustofnun (Karl Ragnars). Mr. Fulcher hafði mikinn hug á raforkuvinnslu í sambandi við nýtingu jarðsjávarsins. Í Imperial Valley er vonazt til að vinna allt að 2000 Gl á ári af fersku vatni. Talið er að vatnsvinnslan geti valdið landsigi og eru uppi áætlanir um að dæla sjó allt frá Kyrrahafinu eða Kaliforníuflóa til endurinnspýtingar til að hindra slíkt.

Orkuverð frá orkuverum BOR á neðra Coloradosvæðinu var á fjárhagsárinu 1970 að meðaltali 2,9 mills/kWh eða 24 aurar/kWh. Vextir sem BOR greiðir af stofnkostnaði eldri virkjana eru 3%. Frá Davis orkuverinu sem lokið var 1951 er orkuverðið 6 mills/kWh. Orkuverð frá Glen Canyon, sem lokið var 1964 er líka 6 mills/kWh. Á fjárhagsárinu 1973 (1.7.72 - 31.6.73) nam reksturs- og viðhaldskostnaður á virkjunum, háspennulínum og spennistöðvum um 50% af heildartekjum af orkusölu, en þær voru um 9 M$. Háspennulínur BOR á svæðinu eru 2.600 km að lengd og hæsta spenna er 345 kV. 230 kV línur eru allar á stálmöstrum en 160 kV línur eru allar á trémöstrum. Við rannsóknir á línustöðum eru m.a. gerðar fornleifafræðiathuganir sem BOR felur ýmsum háskólum og segja þeir, að þetta hafi gefizt vel. Samþykki um línustæði vegna fornleifa er gefið af Þjóðgarðastofnun Bandaríkjanna (National Park Service).

Fjarskiptasamband á þessu svæði BOR er um síma, háspennulínur og örbylgjusamband. Þeir töldu örbylgjusambandið bezt.

Undanfarandi upplýsingar komu fram í viðræðum á skrifstofu BOR í Boulder City. Auk okkar tóku þátt í viðræðunum:

Mr. W.J. Williams
Mr. M.K. Fulcher
Mr. R.A. Olson
Mr. J.S. Forman
Mr. B.R. Radecki
Mr. Larsgaard.

Eftir hádegið var okkur boðið að skoða Hoover stífluna undir leiðsögn D. Sullivan. Ekki verður farið út í lýsingu á þessu fræga mannvirki hér. Þó má geta þess að fyrirkomulag í vatnsaflsstöðinni er óvenjulegt, að því leyti að sérstakur salur er undir rafölum þannig að unnt er að taka vatnsvélar upp án þess að hreyfa rafala. Framhjárennslivirki hafa ekki verið notuð árum saman.

7. nóvember 1973

Heimsókn til Union Oil Corporation, Geothermal Division í Los Angeles.

Við töluðum við Mr. John E. Kilkenny jarðfræðing á skrifstofu Dr. Ott, sem upphaflega var áætlað að við hittum.

Union Oil Cor. hefur umfangsmikla boranastarfsemi á Geysers jarðhitasvæðinu. Við ræddum um starfsemi fyrirtækisins á þessu svæði og komu m.a. eftirfarandi upplýsingar í ljós.

Þeir reikna með ca. 0.16 km^2 á hverja holu á þessu svæði, þá er átt við holur sem eru uppundir 3 km á dýpt en dýpri holur en það kvað Kilkenny ekki hagkvæmt að gera vegna tæknilegra vandamála, sem verða mjög erfið viðfangs þegar gufustreymið er komið upp í 90.000 kg á klst. Á hvert 110 MW orkuver, reiknar Union Oil með að þurfi landsvæði sem er um 3,5 km^2. Mr. Kilkenny var þeirrar skoðunar, að Geysers-jarðhitasvæðið væri einstakt í sinni röð í heiminum og væri honum ekki kunnugt um önnur svæði þar sem orkuvinnsla væri hagkvæmari. Aðspurður um boraðferðir Union Oil sagði Kilkenny, að borun með þrýstilofti væri töluvert notuð á Geysers-svæðinu, en með slíkum hætti má koma í veg fyrir að borleðja, sem annars þyrfti að hafa,þétti sprungur í því bergi sem gufan fæst úr. Kilkenny sagði, að borun með lofti væri betri en borun með froðu í mjög heitum holum. Holur Union Oil á Geysers-svæðinu eru af ýmsum dýptum, sú dýpsta um 3 km á dýpt. Vídd holanna er þannig fyrstu 30 m eru 50 cm víðir, næstu 600 m eru um 35 cm, þar næstu 600 m eru um 25 cm og úr því 20 cm.

Það var upplýst, að Union Oil Corp. hefur með jarðgufuvinnslu að gera á fleiri stöðum en á Geysers-svæðinu t.d. á Filipseyjum og í New Mexico. Áður var Union Oil aðili að borunum í Imperial Valley (Buttes field) en þeim borunum var hætt þar sem fyrirtækið taldi vankantana á því að vinna nýtanlega gufu úr pæklinum þar (10 sinnum saltari en sjór) svo mikla að ekki borgaði sig að halda framkvæmdum áfram.

Mr. Kilkenny staðfesti það sem annarsstaðar hefur komið fram, að Union Oil Corp. leggur litla áherzlu á að bora eftir gasi, þar sem verðlagning á gasi hefur fram að þessu verið of lág samkvæmt mati fyrirtækisins, en verðlagningin er háð samþykki Bandaríkjastjórnar.

Union Oil Corp. fæst nú við rannsóknir á vinnslu olíu úr olíubergi (oil shale) en framgangi í rannsóknum þessum er haldið leyndum.

Aðspurður um nýjungar í borkrónugerð kvað Kilkenny fyrirtækið Howard Hughes vera eitt um rannsóknir á því sviði í USA og væri sér ekki kunnugt um neitt sérstakt í þeim efnum.

8. nóvember 1973

Heimsókn til Southern California Edison Company (SCE), Los Angeles.

SCE er hlutafélag í einkaeign, sem vinnur og selur raforku á stóru landsvæði í suðurhluta Californíu, þ.á.m. Los Angeles. Í júlí 1972 var uppsett afl í kerfi SCE um 12000 MW og orkuvinnsla á fjárhagsárinu 1972 var um 56 TWh, þar af voru um 87% unnin í varmastöðvum, um 7% í vatnsaflsstöðvum og um 6% aðkeypt. Meðalneyzla á heimili á þessu fjárhagsári reyndist vera um 5800 kWh og álagstoppur var 9815 MW. Í lok ársins var starfslið fyrirtækisins um 13000 manns. Tekjur af raforkusölu á fjárhagsárinu 1972 (52 TWh) námu um 931.000 $, sem samsvarar 17,8 mills/kWh eða 1,48 aur/kWh (1 US$ = 83 kr) til jafnaðar. Síðan 1970 hafði orkuverðið hækkað um 15% og búizt er við miklum hækkunum í framtíðinni vegna verðbólgu, vaxtahækkana og fjárútláta til umhverfisverndar. Í lok fjárhagsársins 1972 var fjármagnsuppbygging (capital structure) SCE þannig, að 52,4% voru langtíma lán, 12,8% voru forgangshlutabréf og 34,8% almenn hlutabréf.

Hjá SCE ræddum við fyrst við W.J. Powell um almenn atriði varðandi fyrirtækið, en síðan vorum við boðnir til fundar með R. Cedillo, D.L. Hodgson og R. Lee Roberts, þar sem okkur var skýrt frá jarðhitarannsóknum SCE í Imperial Valley í Californíu.

SCE hefur lengi verið viðriðið rannsóknir í Imperial Valley en á árinu 1972 tókst samvinna með SCE, Phillips Petroleum Company og Southern Pacific Land Company um rannsóknaráætlun til að ákveða möguleika á að nýta jarðvarma þarna til raforkuvinnslu með heitu vatni eða hreinni gufu, og ákveða hagkvæmni þess að vinna verðmæt efni úr jarðhitalindum. Rannsóknir hófust í marz 1973 og eru stutt á veg komnar. Jarðhitavatnið á svæði því sem er til athugunar, Salton Sea svæðinu, er ákaflega salt, eða saltmagn um 30% og er komið í ljós, að útfellingar í pípum verða mikið vandamál. Til lausnar á þessu hefur m.a. komið til tals að blanda uppleysandi efnum í vatnið eða blanda vatnið með leðju til að skrapa pípurnar. Rannsóknir á gufu til orkuvinnslu munu væntanlega hefjast í febrúar n.k. Tvær aðferðir eru taldar koma til greina við raforkuvinnslu á Salton Sea svæðinu:

a) Vatnið (pækillinn), er látið fara gegnum gufuskilju og gufan síðan gegnum síur og beint inn á hverfil. Pæklinum sem úr skilst er dælt aftur niður í jörðina. Útstreymisgufan er þétt í þétti (barometric condenser), vatnið síðan kælt í kæliturni og notað sem kælivatn. Gastegundir sem ekki þéttast fara út í andrúmsloftið ef magnið er innan leyfilegra marka. Reiknað er með, að 55 MW orkuver með 85% ársálagsstuðli (capacity factor) þurfi 2100 tonn/klst. af pækli (215 PSIA, 405°F) til að ala hverfilinn á um 400 tonnum á klst. af gufu (360°F, 115 PSIA). Nettóafl verður um 50 MW. Um 14% af hitaorkunni í pæklinum er þannig nýtt. Kælivatnið úr gufunni nægir ekki fyrir kælivatnsþörf stöðvarinnar vegna uppgufunar í kæliturnum.

b) Þessi aðferð byggist á því að pæklinum er haldið undir þrýstingi í lokuðu kerfi til að hindra gufumyndun og hann notaður til að hita og yfirhita annað efni, í þessu tilfelli isobutane (Magnamax process), sem fer í gegnum hverfilinn og er síðan þétt með lokuðu kælivatnskerfi og síðan dælt aftur í hitarana. Pæklinum er dælt beint niður í jörðina aftur. Með samskonar orkuveri og áður þarf 1500 tonn/klst af pækli (405°F, 225 PSIA) til að fæða hverfilinn með 2300 tonn/klst af isobutan (370°F, 20 PSIA) til að fá nettóafl 52 MW. Þannig fæst hér 16% nýting á hitaorku pækilsins. Kælivatnið verður hér að koma annars staðar frá, þar sem ekki er um neina vatnsgufumyndun að ræða.

Í Imperial Valley er fjöldi annarra einkafyrirtækja við jarðhitarannsóknir auk Bureau of Reclamation. Einkafyrirtækin halda yfirleitt öllum hagnýtum upplýsingum leyndum.