



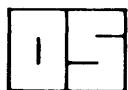
ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns hf.

FRUMDRÖG AÐ ÁÆTLUN UM JARÐGUFUAFLSTÖÐ Í HENGLI

OS82023/JHD02

Reykjavík, febrúar 1982



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

J. Johnsen

**Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns hf.
Laufásvegi 12, Reykjavík**

FRUMDRÖG AÐ ÁÆTLUN UM JARÐGUFLSTÖÐ Í HENGLI

**OS82023/JHD02
Reykjavík, febrúar 1982**

AGRIP OG NIÐURSTÖÐUR

Skýrsla þessi er samin í þeim tilgangi, að finna stofn- og reksturskostnað jarðgufuvirkjunar og sýna áhrif gufuöflunar og losun affallsvatns á heildarkostnað. Jafnframt er gerður kostnaðarsamanburður á tveimur stærðum virkjana, 2 x 30 MW (Kröfluvirkjun) og 2 x 50 MW og enn fremur á tveimur mismunandi kerfum, einþrýstikerfi og tvíþrýstikerfi (Kröfluvirkjun).

I kafla 1 er fjallað um áfangaskiptingu við undirbúning jarðgufuvirkjana. Reynsla af Kröfluframkvændum og að nokkru leyti einnig Svartsengisframkvændum sýnir ótvírátt, að mikil þörf er á vel afmörkuðum og skilgreindum áföngum, sem hverjumum sig ljúki með ákvörðun um, hvort ráðist skuli í næsta áfanga eða undibúningi hætt og virkjúnin lögð á hilluna eða annað svæði tekið fyrir.

I þessum kafla kemur fram, að þörf er á um 11 ára undirbúningstíma fyrir nýja jarðgufuvirkjun á áður óþekktu jarðhitasvæði. Jafnframt kemur fram, að framkvæmdakostnaður fyrstu 7 áranna er innan við 15% af heildarvirkjunarkostnaði. Það er með öðrum orðum tiltölulega ódýrt, að hafa virkjun sem þessa (60-100) MW tilbúna til gangsetningar með 4 ára fyrirvara.

Þegar litið er yfir undirbúningsrannsóknir Kröfluvirkjunar, sést að þær var farið mjög hratt yfir sögu og veigamiklum rannsóknaráföngum sleppt algerlega. Svartsengi stendur mun betur að vígi, þótt þær megi raunar ýmislegt fram telja, sem betur hefði mátt fara.

I kafla 2 er fjallað um forsendur þær, sem lagðar eru til grundvallar við áætlunargerðina. Fjallað er um hugsanleg hitastigog afköst gufuhola með hliðsjón af þeim holum, sem til eru í landinu. Reynt er að geta sér til um endingu hola, afkastagetu niðurdælingarhola (hola til að taka við frárennslisvatni stöðvarinnar) ásamt fjöldu misheppnaðra hola o.s.frv. Allt eru þetta atriði, sem hafa veruleg áhrif á heildarkostnað orkuvers. Auk þessa er fjallað um aðrar hönnunarforsendur eins og t.d. útihitastig og rakastig, en eftir því fer kostnaður kælikerfis að nokkru leyti sem og framleiðslueta stöðvarinnar yfir sumarmánuðina.

Helstu niðurstöður þessa kafla eru sem hér segir:

- 1) Aætlunin nær til gufuhola á afkastasviðinu 20-80 kg/s heildarrennsli og 270° C innstrey mishita (rennslisent halpia 1185 kJ/kg, háþrýstigufa 4.9-19.6 kg/s).
- 2) Gert er ráð fyrir losun frárennslisvatns um til þess gerðar borholur, sem skila því í jarðhitasvæði og, að eina slika holu þurfi fyrir hverjar 2,5 gufuborholur.
- 3) Aætlað er að bora þurfi 3 rannsóknarholur og 6 reynsluholur, áður en borun vinnsluhola hefst og, að engin þessarra hola nýtist sem vinnsluhola virkjunar. Jafnframt er gengið út frá, að 4 af hverjum 5 vinnsluholum heppnist og að meðaltalsrýrnun holuafkasta verði 15% á 5 árum. Þetta á við um gufuholur jafnt sem niðurdælingarholur.
- 4) Kælikerfi stöðvarinnar er miðað við 15° C hámarksúti hita og 80% raka, en það þýðir minniháttar afkastaminnkun í um 150 klst. í meðalári. Jafnframt er gert ráð fyrir, að gasinnihald jarðgufu sé ekki meira en 1% af heildarþunga háþrýstigufu.

I kafla 3 er fjallað um gerð aflstöðvar og fyrirkomulag.

Gerður er varmafræðilegur samanburður á einþrýstikerfi annars vegar og tvíþrýstikerfi hins vegar (Kröfluvirkjun). Komist er að þeirri niðurstöðu að orkunýting einþrýstikerfis sé 30-40% betri en tvíþrýstikerfis. Þetta á við, þegar gengið er út frá, að frárennslisvatni stöðvarinnar sé skilað í jarðhitasvæði um 150° C heitu frá einþrýstikerfi og 25° C frá tvíþrýstikerfi. Bent er á, að mun meiri vandkvæði eru á losun frárennslisvatns frá tvíþrýstikerfi vegna hættu á kísilútfellingum.

Með tilliti til þess, að fleiri gufuholur þarf að bora fyrir einþrýstikerfi, eru báðir valkostirnir teknir með í kostnaðarsamanburð.

Önnur atriði þessa kafla fjalla um einstaka hluta stöðvarinnar, fyrst og fremst til að gera grein fyrir þeim grundvelli, sem kostnaðartölur eru byggðar á.

Í kafla 4 er gerð grein fyrir einstökum hlutum gufuveitu. Fram kemur, að gufuholur í Kröflu kosta nú um 11,5Mkr. hver, (árslok 1981) en í Svartsengi um 7,0 Mkr. Af þessu má sjá, að bordýpi, jarðvegur, fóðringafrágangur, fjarlægð frá Reykjavík, bortæki o.fl. geta skipt mjög miklu um borkostnað.

Gert er ráð fyrir, að 200 m séu að jafnaði milli hola, og að niðurdælingarholur séu eins að gerð og gufuholur.

Gerður er samanburður á mismunandi safnæðakerfum og skiljustöövum. Vakin er athygli á hugsanlegri nauðsyn á síun og/eða efnaiblöndun í frárennslisvatn tvíþrýstistöövar.

Í kafla 5 er að finna kostnaðaráætlunar. Þær miðast við verðlag á síðasta ársfjórðungi 1981¹⁾. Eins og venja er um virkjanir, er reiknað með niðurfellingu aðflutningsgjál达 og söluskatts. Tekið er tillit til vaxtakostnaðar á byggingartíma, en ekki verðhækkaná á byggingartíma.

Öflun landréttinda er ekki verölögð, en á það bent hér, að eignaréttarmál á Hengilssvæðinu eru margslungin, vegna þess að í Hengladöllum koma saman afréttur og lönd marga aðila.

1) Visitala byggingarkostnaðar 909 (1. des. 1981)

Gengi:	1 US\$	-	8.200
	1 yen	-	0.0375
	1 DM	-	3.645

Niðurstöður áætlunar um stofnkostnað eru sem hér segir í milljónum nýkróna:

	Holuafkost 20 (4.9)	Holuafkost 40 (9.8)	Holuafkost 80 (19.6)
2 x 30 MW, einþrystikerfi	1111	787	628
2 x 30 MW, tvíþrystikerfi	1057	795	666
2 x 50 MW, einþrystikerfi	1681	1153	889
2 x 50 MW, tvíþrystikerfi	1547	1124	915

- 2) Hér er átt við heildarrennsli gufuhola (þ.e. gufa + vatn) með 1185 kJ/kg varmainnihaldi. Tölur í svigum eru magn háþrystigufu.

Niðurstöðutölur áætlunar um orkueiningarkostnað eru sem hér segir í aurum pr. kwst.:

	Holuafkost 20	Holuafkost 40	Holuafkost 80
2 x 30 MW, einþrystikerfi	39.5	26.9	20.8
2 x 30 MW, tvíþrystikerfi	37.0	26.9	21.9
2 x 50 MW, einþrystikerfi	36.3	24.0	17.8
2 x 50 MW, tvíþrystikerfi	32.8	23.0	18.2

(Afskriftir, vextir og framleiðsla, sjá kafla 5.2).

Af þessum tölum má draga eftirfarandi ályktanir:

- 1) Miðað við 40 kg/s holuafkost mundi 20 kg/s borárangur auka framleiðslukostnað um nálægt 40-50%, en 80 kg/s borárangur minnka framleiðslukostnað um nálægt 20-30%.

- 2) Mismunur á kostnaði einþrýsti- og tvíþrýstikerfis er óverulegur og nánast enginn við 40 kg/s borárangur. Á það skal bent, að ekki er þó tekið tillit til skemmti endingartíma svæðisins, ef tvíþrýstikerfi er notað, né hugsanlegs aukakostnaðar við meðhöndlun frárennslisvatns.
- 3) 2×30 MW stöðvarstærð skilar um 9-13% dýrarri orku en 2×50 MW, þegar borárangur er slakur, en nálægt 17-20% dýrarri orku, þegar borárangur er góður.
- 4) Niðurdælingarholur með tilheyrandi leiðslubúnaði auka framleiðslukostnað um 10-20% í samanburði við yfirborðsfrárennsli.
- 5) Vegna hinnar miklu hlutdeilda borrhola í heildarkostnaði gufuvirkjunar, er tiltölulega hagkvæmt að byggja slika virkjun í tveimur áföngum, eina vélasamstæðu í senn. Þetta er ólikt því, sem gerist með vatnsaflsvirkjanir.
- 6) Kostnaðarhlutdeild gufuöflunar og niðurdælingar vex með vaxandi stöðvarstærð (lengri leiðslur), þannig að búast má við, að 2×100 MW stöð yrði óverulega hagkvæmari en 2×50 MW.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
AGRIP OG NIÐURSTÖÐUR	3
EFNISYFIRLIT	9
TÖFLU- OG MYNDASKRÁ	10
INNGANGUR	11
1 ÁFANGASKIPTING VIRKJUNARAÉTLUNAR	15
1.1 Almennt	15
1.2 Saga Kröfluvirkjunar	17
1.3 Saga Svartsengis	18
1.4 Tímahörf og kostnaður	20
1.5 Núverandi staða rannsókna á Hengilssvæðinu	20
1.6 Hlutverk hessarar skýrslu	21
2 HÖNNUNARFORSENDUR	22
2.1 Afköst gufuborhola	22
2.2 Borárangur	23
2.3 Ending gufuborhola	23
2.4 Niðurdælingarholur	24
2.5 Aðrar hönnunarforsendur	26
3 AFLSTÖÐ, GERÐ OG FYRIRKOMULAG	27
3.1 Gerð aflstöðvar	27
3.2 Inntaks- og útblástursturshrystingur	29
3.3 Hverfill	29
3.4 Kælikerfi og gasdælur	31
3.5 Rafbúnaður	33
3.6 Byggingarmannvirki	33
4 BORHOLUR, GUFUVEITA, NIÐURDÆLING	34
4.1 Borholur	34
4.2 Gufuveita, skiljustöð	35
4.3 Niðurdælingarveita	36
5 KOSTNAÐARAÉTLUN	37
5.1 Stofnkostnaður	37
5.2 Árlegur rekstrarkostnaður	39

	Bls.
HEIMILDASKRÁ	41
ENGLISH SUMMARY	43
TÖFLUR	45
MYNDIR	51

TÖFLUSKRÁ

1 Gufuafköst borhola við 6-10 bar (abs.) móthrysting	46
2 Stofnkostnaður 2x30 MW jarðgufustöðvar	47
3 Stofnkostnaður 2x50 MW jarðgufustöðvar	48
4 Árlegur kostnaður 2x30 MW og 2x50 MW jarðgufustöðvar	49

MYNDASKRÁ

1 Áfangaskipting tímaáætlunar	52
2 Einhrýstikerfi	53
3 Tvíbrýstikerfi	53
4 Reksturskostnaður	54

INNGANGUR

Í nóvember 1975 kom út skýrsla, sem bar nafnið "Hengill, frumáætlun um jarðgufuaflstöð" (1). Skýrsla þessi var unnin fyrir Landsvirkjun og hafði að aðalmarkmiði, að áætla stofn- og reksturskostnað 50 MW aflstöðvar. Auk þess var fjallað um hugsanleg samrekstursform raf- og hitaveitu með tilliti til hugmynda Hitaveitu Reykjavíkur um virkjun Nesjavalla.

Helstu niðurstöður þessarar skýrslu voru þær, að 50 MW rafaflstöð kostaði um 3800 Mkr. (Gkr. 1975), án tengsla við hitaveitu. 70 MW rafaflstöð í tengslum við hitaveitu kostaði svipað, eða 3900 Mkr. Hagkvænni samreksturs er þannig ótvírað. Á verðlagi í árslok 1981 svarar þetta til 350 Mkr. (35.000 Mkr.). Hvað varðar staðsetningu slikrar virkjunar, er komist að þeirri niðurstöðu, að Hengladalir séu betri en Nesjavellir af ýmsum ástæðum. Það sem helst var talið mæla með Hengladölum, var nálagð við miðju svæðisins og þar með meiri og betri aðgangur að orkunni, margfalt meira landrými, náttúruverndarsjónarmið varðandi losun frárennslisvatns, nálægð við Reykjavík, við háspennulínur og við þjóðbraut. Af framtöldum ókostum má aftur á móti nefna flókin eignarréttarmál, auk þess sem talsvert meiri vitneskja liggur fyrir um Nesjavallasvæðið, vegna þess að þar hefur verið borað. Í Hengladölum hefur engin hola verið boruð, sem hægt er að nefna því nafni.

Með bréfi dags. 3. sept. 1979 óskaði Orkustofnun eftir, að áóurnefnd skýrsla um jarðgufuaflstöð i Hengli yrði tekin til endurskoðunar og þá stuðst við aukna reynslu frá því að skýrslan var samnin.

Jafnframt var ákveðið í samráði við OS, að skýrslan tæki til 2×30 MW og 2×50 MW stöðvarstærða, beggja án tengsla við hitaveitu. Sérstaklega var þess óskað, að sýnd yrðu áhrif borholuafkasta á hagkvænni virkjunar.

Aður en lengra er haldið, verður aðeins vikið að undirbúningsrannsóknum og ákvarðanatöku um mannvirkjagerð, enda þótt þessi atriði séu annars ekki til meðferðar í þessari skýrslu, nema að því er varðar tíma- og kostnaðaráætlunar.

A þeim fimm árum, sem liðin eru frá útkomu áóurnefndrar Hengil-skýrslu hefur rannsóknum Hengilssvæðisins miðað fremur hægt. Unnið hefur verið að endurtulkun viðnámsmælinga, meðal annars í ljósi áunninar reynslu frá Kröflu. Einnig hafa verið framkvændar segulsviðsmælingar og "magnetotelluric" mælingar og unnið er að smáskjálftamælingum. Fyrirhugaðar eru þyngdarmælingar og efnafræðirannsóknir á þessu ári (1982) og síðan rannsóknarboranir í framhaldi af því.

I stuttu máli má segja, að mynd sérfræðinga af svæðinu nú sýni um 120 km^2 jarðhitasvæði. Innan þessa svæðis, umhverfis Hengil sjálfan og þaðan til suðurs, sé svo um 50 km^2 svæði, sem sé heitasti hluti svæðisins, en neðan ákveðins dýpi á því svæði ($500\text{--}700$ m u.s.) fari eðlisviðnám þó vaxandi með dýpi. Það, að eðlisviðnám vaxi með dýpi, er túlkað sem samspil lægri vatnsleiðni og hækandi hitastigs, jafnvel yfir 400°C , (2). Sé þetta rétt, má ætla, að vænlegra sé að bora eftir gufu utan þessa heitasta hluta svæðisins, t.d. í sprungusveiminum, sem liggar frá suðvestri til norðausturs gegnum Hveradali, rétt vestan við Hengil og Nesjavelli. Það er augljóst, að nú er meira en tímabært orðið, að hafist sé handa um borun rannsóknarhola vitt og breitt um Hengilssvæðið. Fyrr en þeim er lokið

og árangur metinn, eru af skiljanlegum ástæðum engar forsendur fyrir raunhæfum virkjunaráætlunum.

A umræddu fimm ára tímabili hefur þeim mun meira gerst á öðrum jarðhitasvæðum hérlendis, en þar er átt við Kröflu annars vegar og Svartsengi hins vegar.

Öflun gufu til Kröfluvirkjunar hefur gengið frémur illa eins og kunnugt er. Stafar það af óheppilegum eiginleikum jarðhitasvæðisins og einnig af þeim eldsumbrotum, sem hófust í des. 1975 og enn eru ekki um garð gengin. Hvað svo sem segja má um eldsumbrotin og áhrif þeirra á stöðu gufuöflunar fyrir virkjunina, verður því ekki á móti mælt, að rannsóknir á Kröflusvæðinu voru fjarri því það langt á veg komnar í ársbyrjun 1975, að sámeilega tryggar forsendur væru fyrir ákvörðunar-töku um virkjuna (3). Nægir þar að benda á þá staðreynd, að rannsóknarholur voru einungis tvær, báðar grunnar (1100-1200 m), og gáfu litla gufu. Þar að auki gáfu þær til kynna hitastig um eða yfir 300°C og að bora þyrfti dýpra í svæðið.

"Geigvænlegur orkuskortur á Norðurlandi" eins og það var orðað af talsmönnum virkjunarinnar kom þó í veg fyrir að beðið væri eftir vinnsluholum, áður en ákvörðun yrði tekin um virkjuna. Þessi orkuskortur fylgdi í kjölfar pólitískrar ákvörðunar um að hætta við allar frekari virkjanir í Laxá, en áður hafði verið ráðgert að þær gætu séð austanverðu Norðurlandi fyrir raforku fram yfir 1990. Úr þeim orkuskorti hefði mátt bæta með sam tengingu Norðurlands og Suðurlands, en fyrir þeirri lausn var þá enn ekki pólitískur vilji. Annað, sem e.t.v. hefur átt stóran þátt í, að ekki varð af frekari rannsóknum, áður en virkjunin var ákveðin, er nálægð Kröflusvæðisins við Námafjall (Bjarnarflag). Í Bjarnarflagi eru borholur Kísiliðjunnar og gufustöðvar Laxárvirkjunar, en þar gekk gufuöflun og rekstur mjög vel, þótt eldsumbrotin ættu síðar eftir að valda tjóni á holum og mannvirkjum.

Í Svartsengi hefur gufuöflun gengið mjög þokkalega. Borun gengur greiðlega, og eru holur því mun ódýrari en holur í Kröflu og afköst með því besta, sem um getur í heiminum (allt að 10-12 MW pr. holu). Þegar ákvörðun um hitaveitu frá Svartsengi var tekin 1975 höfðu verið boraðar fjórar holur, tvær grunnar og tvær djúpar. Almennt má segja að mun betri tími hafi gefist til rannsókna á jarðhitasvæðinu í Svartsengi en Kröflu, þótt blásturstími djúpu holanna hafi verið of

stuttur, en það er þó aðeins önnur af aðalundirstöðum virkjunarinnar. Hin meginstoðin er ferskvatn, sem fleyta þarf ofan af sjó. Þessum þætti hafði miklu minni gaumur verið gefinn, og ríkti á tímabili talsverð óvissa um vatnsöflun, ekki hvað síst að því er kostnað varðaði. Einnig er rétt að geta þess, að þrýstilækkun í jarðhitasvæðinu er nokkuð ör, 2-3 bar/ári, og trúlegt, að þörf verði á niðurdælingu í svæðið í framtíðinni. Sem stendur er ekki ljóst, hvernig slikri niðurdælingu skuli hagað né hver kostnaður verði, þannig að hér þurfa rannsóknir að koma til á nýjan leik. Sú reynsla, sem fengist hefur í Kröflu og Svartsengi gefur tilefni til eftirfarandi ályktunar:

Heildarskipulagning frá upphafi rannsókna til loka framkvæmda þarf að vera markviss. Undirbúningi og framkvæmdum þarf að skipta niður í vel afmarkaða áfanga, sem hver fyrir sig er ákveðinn á grundvelli árangurs þess næsta á undan. Með árangri er hér átt við samanburð á áætlun og reynd, að því er varðar fræðilegar og tæknilegar forsendur, svo og fjármagns- og tímabörf. Í þessu sambandi má heldur ekki gleyma hinum þjóðfélagslegu forsendum, sem að baki hverri framkvæmd liggur, t.d. þörfinni fyrir framkvæmdina, hvenær þarf á henni að halda, hvað má hún kosta og hvaða aðrir valkostir eru fyrir hendi. Að síðustu skal á það lögð áhersla, að nauðsynlegt er að fylgjast náið með viðbrögðum jarðhitasvæða við nýtingu, einkum fyrstu árin. Skipulagning slikrar vöktunar þarf að liggja fyrir þegar í upphafi, til þess að fullur árangur náist.

Sú skýrsla, sem hér fer á eftir gæti með smátilfæringum átt við hvaða jarðhitasvæði sem er, vegna þess að hún er skrifuð um nánast óþekkt jarðhitasvæði. Hún hefur einnig almennt gildi, þar eð í henni er leitast við að draga fram reynsluatriði frá Kröflu og Svartsengi, sem ættu að vera þess virði, að þau séu höfð til hliðsjónar, þegar önnur jarðhitasvæði eiga í hlut og, þegar um annarskonar nýtingu en raforkuframleiðslu eða hitaveituframleiðslu er að ræða.

1 AFANGASKIPTING VIRKJUNARÆTLUNAR

1.1 Almennt

Við hönnunarundirbúning vatnsafslsvirkjana hefur þróast nokkuð fastmótuð hefð í skilgreiningu og skiptingu í undirbúningsáfanga. Fjárveitingavaldið og aðrir þeir, sem ákvarðanir taka, sjá af nöfnum skýrslna einum saman, hversu langt undirbúningi viðkomandi virkjunar er komið. Þessi hefð er ekki fyrir hendi að því er varðar jarðvarma-virkjanir. Mynd 1, aftast í skýrslunni, sýnir tillögu að slikri áfangaskiptingu, en þar er stuðst við hugmyndir, sem áður hafa komið fram (4).

Hér á eftir verður hverjum þessarra höfuðáfanga gerð nokkur skil:

I fyrsta áfanga er jarðhitasvæðið í heild kannað með tilliti til jarðfræði, vatnafræði, efnafraði og að einhverju leyti jarðeölis-fræði einnig. Markmið þessa áfanga er að kanna líkur á háhita og að benda á þann eða þá staði, sem helst koma til greina við frekari rannsóknir. Ef um fleiri en einn stað er að ræða innan sama jarðhitasvæðis, greinist framhald rannsóknanna í jafn margar greinar, sem unnar eru samhliða eða út frá fyrirfram gerðri forgangs-röð. Mynd 1, frá og með 2.1, sýnir framkvæmdir við einnir virkjunarstað innan svæðisins.

I öðrum áfanga er lögð áhersla á jarðeölisfræðilegar mælingar og áframhaldandi jarðfræði-, vatnafræði- og efnafraðirannsóknir. Markmið þessa þáttar er að kanna nánar stærð svæðisins, líkleg hita-stig í jarðlögum, efnasamsetningu og streymi jarðhitavökvans. Þegar unnið er að þessum áfanga, þarf einnig að huga að umhverfis-málum, sem aftur eru háð nýtingaráformum, þ.e. til hvers á að nota jarðvarmaorkuna og í hve ríkum mæli.

Priðji áfangi er borun og rannsókn tilraunahola. Með þeim fæst staðfesting á, hvort niðurstöður yfirborðsrannsókna hafi haft við rök að styðjast. Hiti og þrýstingur er mældur á mismunandi dýpi, tekin eru vatnssýni og gassýni til efnagreiningar og jarðlagasnið eru skoðuð. Einnig fást nú fyrstu hugmyndir um legu vatnsæða og vatnsgæfni. Niðurstaða þessa þáttar er í stórum dráttum, hvort svæðið sé tæknilega virkjanlegt eða ekki. Nú fæst fyrsta visbending um byrjunarafl borhola á svæðinu og kostnað við gerð þeirra. Samtima rannsóknarborunum eru einnig gerðar aðrar mælingar og athuganir, sem varða t.d. mengunarmál, úrkому, lofthita, vindhraða og vindáttir, snjóalög, jarðveg og annað, sem máli kann að skipta fyrir þau áform, sem uppi eru um mannvirkjagerð. Í lok þessa áfanga er fyrst raunhæft að gera "Drög að áætlun um virkjun".

Fjórði áfangi er borun og prófun reynsluhola. Með þeim áfanga er aflað nánari upplýsinga um meðalbyrjunarrafköst borhola á því svæði, sem þarf fyrir viðkomandi virkjunarstærð. Einnig er leitað eftir vitneskju um vinnslueiginleika og vinnslugetu, þegar til lengri tíma er litið, svo og hugsanlegra áhrifa hola hverja á aðra. Í þessum áfanga er einnig tímabært að huga að niðurdælingu affallsvatns í jarðhitasvæðið sjálft sem og málmtæringar- og skeljunarrannsóknum. Niðurdælingar getur orðið þörf, annaðhvort af mengunar-ástæðum eða til að draga úr vatnstæmingu svæðisins sjálfs (sbr. Svartsengi), nema hvort tveggja sé. Niðurdæling er afar mikilvægt atriði, þegar velja skal um hinar hefbundnu gerðir jarðgufu-aflstöðva, einþrýsti- og tvíþrýstigerð, eins og nánar verður vikið að síðar. Fjórða áfanga lýkur með gerð "Frumáætlunar um virkjun" en á grundvelli þeirrar áætlunar er tekin ákvörðun um, hvort að virkjun skuli stefnt eða ekki. Ef ákvörðun er tekin um virkjun, væri varlegra að taka þá ákvörðun í tvennu lagi, eins og fram kemur í þeim tveimur áföngum, sem eftir eru.

Fimmti áfangi er borun vinnsluhola og prófun þeirra ásamt forhönnun virkjunar. Á þessu tímabili eru allar forsendur virkjunarinnar ákveðnar, nýjustu upplýsingar frá jarðhitasvæðinu endurmætnar og framkvænd virkjunarinnar skipulögð með tilliti til áfangaskiptingar, útboðsfyrirkomulags o.s.frv. Til að flýta fyrir, verður einnig hafist handa um gerð útboðslýsinga fyrir einstaka hluta virkjunarinnar, sem lengstan tíma taka í útvegun. Áfanganum lýkur með gerð "Hönnunaráætlunar um virkjun". Sérstaklega skal á það bent hér, að samkvæmt mynd 1 er vinnsluborunum ekki lokið, þegar fimmata áfanga lýkur og endanleg ákvörðun um virkjunarframkvæmdir er tekin. Ástæða fyrir þessu er sú, að höfð er í huga jarðgufuafilstöð með tveimur samstæðum (2×30 MW eða 2×50 MW), en útboði yrði þannig háttar, að seinni vélin yrði boðin út með forkaupsrétti. Það þarf með öðrum orðum ekki að vera búið að afla gufu fyrir báðar samstæðurnar, þegar útboð er ákveðið. Um það má að sjálfsögðu deila, hversu mikil gufa skuli vera til reiðu, þegar ákveðið er að byggja orkuverið. Með tilliti til reynslunnar í Kröflu verður að álykta, að nauðsynlegt sé að hafa aflað gufu fyrir aðra vefsamstæðuna og riflega það.

Sjötti áfangi, útboð, efniskaup, byggingar og uppsetning, þarfnað út af fyrir sig engra skýringa.

1.2 Saga Kröfluvirkjunar

Rannsóknir hófust á Kröflusvæðinu 1969.

Á tímabilinu 1969-1970 var unnið að rannsóknum, sem flokkast undir fyrsta og annan áfanga (sbr. mynd 1). Síðan gerðist lítið fram til 1974, að boraðar voru tvær rannsóknarholur og áframhald varð á yfirborðsrannsóknum. Í árslok 1974 er staða rannsókna við lok þriðja áfanga og þó raunar tæplega það, því lítil sem engin gufa var fengin þá.

Segja má að ákvörðun um byggingu Kröfluvirkjunar hafi að nokkru leyti verið tekin í júní 1974, með skipun Kröflunefndar, en endanlega þó í febrúar 1975, þegar hverfilkaup voru ákveðin, en síðan rak hver samningurinn annan. Fyrri vélasamstæðan var tilbúin til reksturs á miðju ári 1977.

Í Kröfluframkvændinni var hlaupið yfir þriðja áfanga að nokkru leyti og fjórða áfanga að öllu leyti. Einnig var fimmta og sjötta áfanga slegið saman, þannig að ákvörðun um framkvæmdir er tekin, án þess að nokkrar vinnsluborar nái hafi farið fram.

1.3 Saga Svartsengis

Í Svartsengi hófust rannsóknir að ráði 1969 (áður hafði Jón Jónsson þó kannað jarðfræði svæðisins). 1971 og 1972 voru boraðar tvær tilraunaholur. Á næstu árum var unnið að frekari viðnámsmælingum og 1974 voru boraðar tvær holur til viðbótar, sem ef til vill mætti flokka undir reynsluholur. 1974 var rekin tilraunastöð til að finna hentuga varmaskiptaaðferð. 1976 hófst rekstur svokallaðrar bráðabirgðarstöðvar og 1977 hófst rekstur fyrsta áfanga orkuvers.

Af tímamótamarkandi skýrslum má nefna skýrslu Jóns Jónssonar 1970, sem ef til vill mætti kalla "Rannsóknarskýrslu 1", greinargerð Guðmundar Guðmundssonar 1971, sem kalla mætti "Rannsóknarskýrslu 2", skýrslu Stefáns Arnórssonar 1972, sem kalla mætti "Rannsóknarskýrslu 3", skýrslu Karls Ragnars og Sveinbjörns Björnssonar 1973, sem nefna mætti "Drög að áætlun um virkjun" og skýrslur Fjarhitunar hf. 1975, og Stefáns Arnórssonar sama ár, sem nefna mætti "Frumáætlun um virkjun". Loks má nefna skýrslu Fjarhitunar hf. o.fl. 1976, sem kemst einna næst því að kallast "Hönnunaráætlun um virkjun". Ofangreindar rannsóknir og skýrslugerð varða svo til eingöngu jarðgufupáttinn og varmaskiptastöðina að viðbættum dreifikerfum. Minni áhersla er lögð á ferskvatnsþáttinn og nánast engin á losun affallsvatns.

Við nánari athugun fyrrgreindra skýrslna kemur eftirfarandi í ljós:

- 1) Varmaskiptatilraunir voru gerðar með gufu frá annarri rannsóknarholunni. Þessi hola er gassnauðari en gufa úr reynsluholunum, vegna þess hve grunn hún er. Hið aukna gasmagn varð til þess, að hverfa varð frá áformum um beina hitun á síðustu stundu, en það hafði veruleg áhrif á kostnað.
- 2) Blástursprófanir reynsluholanna voru mjög stuttar og því varð ekki vart við þær kalkútfellingar, sem síðar komu í ljós í fóðringum vinnsluhola. Þessar útfellingar hafa sem betur fer ekki reynst ýkja erfiðar að hreinsa, en óbeinar afleiðingar þeirra eru þó þær, að önnur reynsluholan (H-4) er ónýt og hin (H-5) löskuð. Með því að láta holur blása eins lengi og kostur er, hefði þetta komið í ljós, áður en virkjunin var orðin að veruleika. Sömuleiðis hefðu langtíma blástursprófanir reynsluholanna strax leitt í ljós hinn tiltölulega hraða niðurdrátt á svæðinu, sömuleiðis áður en út í virkjun var komið, ef því hefði verið gaumur gefinn í upphafi.

Ofangreind atriði sýna ótvírett, að ekki er nóg að finna gufu. Það verður einnig að kanna fyrstu viðbrögð svæðisins við vinnslu, áður en virkjunarákvarðanir eru teknar, en til þess þarf hæfilega margar holur og hæfilegan tíma. Í þessu tilfelli var tíminn raunverulega fyrir hendi og holurnar raunar líka.

Rannsóknir á ferskvatni munu hafa byrjað 1974, en hófust ekki að marki, fyrr en 1976 (sama ár og framleiðsla hitaveituvatns hefst). Rannsóknir á losun affallsvatns má segja að hafi hafist 1978 með útfellingar- og fjölliðunartilraunum, en í reynd hefur lítil sem engin áhersla verið lögð á þetta atriði. Samkvæmt framansögðu er ljóst, að Svartsengisframkvæmdir nálgast mun betur áfangaskiptingu þá, sem sýnd er á mynd 1 en Kröfluframkvæmdir, enda þótt talsvert skorti þó á að fullt samræmi sé.

1.4 Tímaþörf og kostnaður

Tímaþörf og kostnaðarhlutdeild hvers áfanga fyrir sig er sýnd sérstaklega á mynd 1. Kostnaðarskiptingin er að sjálfsögðu háð stöðvarstærð og borárangri svo og því, hvort umrædd virkjun á að bera allan rannsóknarkostnaðinn ein. Kostnaðarskiptingin, eins og hún er sýnd á mynd 1, miðast við 2×30 MW einþrýstistöð með 40 kg/s borárangri og er hún látin bera allan rannsóknarkostnaðinn (í kostnaðaráætlun síðar í skýrslunni er rannsóknarkostnaði skipt á þrjár fyrstu virkjanir svæðisins, þannig að 33 1/3% kemur á hlut hverrar fyrir sig).

Það sem fyrst og fremst vekur athygli á mynd 1 er, hve undirbúningstími er langur í heild. Hitt er ekki síður athyglisvert, að það kostar tiltölulega lítið, að framkvæma fyrstu þrjá áfangana og stytta þar með undirbúningstíma nýrrar virkjunar um rúm 60%, úr 11 í 4 ár. Hvað tímaþörfina áhrærir eru flestir sjálfsagt sammála um, að við Kröflu hafi verið farið of hratt.

Í Svartsengi má segja, að allt komi til álita, vegna þess að ekki var lögð jöfn áhersla á alla meginþætti virkjunarinnar. Hvað jarðhitapáttinn varðar hefur áreiðanlega ekki veitt af þeim tíma, sem notaður var, en hann hefði þó mátt nýta betur eins og getið hefur verið um hér að framan.

Ef miðað er við endanlega ákvörðun um virkjun, þ.e. upphaf sjötta áfanga, þá er hún tekin eftir 4-5 ár við Kröflu (eða varla það miðað við hlé '71-'73) og eftir 6-7 ár í Svartsengi, hvort tveggja miðað við upphaf yfirborðsrannsókna.

1.5 Núverandi staða rannsókna á Hengilssvæðinu

Með Hengilssvæðinu er hér fyrst og fremst átt við Hengladali. Hveragerðissvæðið og Nesjavallasvæðið tilheyra vissulega jarðhitasvæði því, sem kennt er við Hengil, en koma tæplega til álita

þegar um stóra jarðgufuaflstöð er að ræða, auk þess sem þar eru uppi hugmyndir um annarskonar nýtingu jarðgufunnar (hitaveita, yl-rækt, sykurframleiðsla o.fl.).

Ef gengið er út frá þessum forsendum, má segja, að komið sé nokkuð nálægt lokum annars áfanga, ef undan eru skildar efna-fræðirannsóknir, þ.e. að næsti áfangi sé borun rannsóknarhola.

Það skal þó tekið fram (sbr. inngang þessarar skýrslu), að eftir reynslu manna af Kröflusvæðinu, munu hugmyndir hafa breyst að því er varðar Hengilssvæðið og kann það að breyta einhverju um stöðu rannsókna. Vera má, að til þurfi að koma endurmat að einhverju leyti og jafnvel frekari rannsóknir, sem yrðu undanfari rannsóknarborana. Það er með öðrum orðum a.m.k. ein niu ár, þangað til Hengilssvæðið getur farið að framleiða rafmagn.

1.6 Hlutverk þessarar skýrslu .

Sú spurning vaknar að vonum, hvert sé hlutverk þessarar skýrslu, því henni er enginn staður ætlaður í áfangaskiptingunni á mynd 1. Skýrslunni hefur verið valið heitið "Frumdrög að áætlun um jarðgufu-aflstöð í Hengli", m.a. til að koma í veg fyrir að á hana verði litið sem "Drög um áætlun um virkjun" hvað þá heldur "Frumáætlun um virkjun". Höfuðhlutverk skýrslunnar er að svara þeirri spurningu, hvað 2 x 30 MW og 2 x 50 MW jarðgufuaflstöðvar í Hengli muni kosta miðað við gefnar forsendur.

2 HÖNNUNARFORSENDUR

Með hliðsjón af því, sem fram kom í köflum 1.5 og 1.6 hér á undan, er ekki um annað að ræða en að gefa sér allar grundvallarforsendur virkjunarinnar, að svo miklu leyti, sem þær geta haft áhrif á virkjunarkostnað.

2.1 Afköst gufuborhola

Afköst gufuborhola hér á landi eru mjög mismunandi. Í töflu 1 er reynt að gera grein fyrir gufuafköstum hola við 5-10 bar þrýsting á holutoppi, en á því bili eru flestar jarðvarmavirkjanir reknar. Það skal tekið fram, að tölur þessar eru alls ekki nákvæmar. Sumar holurnar gáfu meiri afköst á tímabili, en aðrar gefa ekkert, þegar þetta er skriffað. Ef undan eru skildar holur 7-11 í Svartsengi, sem eru með afbrigðilega fóðringavídd (13 3/8" í stað 9 5/8"), gefur meðalholu um 8 kg/s af háþrýstigufu.

A Nesjavöllum er innstrey mishiti í holu 8 um 260°C og í Ölfusdal (Hveragerði) er innstrey mishiti í holur 6,7 og 8 um 210°C.

Talið er að Nesjavellir og Ölfusdalur séu í útjöörum svæðisins og að búast megi við hærri hitastigum, þegar nær dregur miðju eða allt að 280-290°C, eða jafnvel enn hærra. Í þessari áætlun verður reiknað með 1185 kJ/kg innstreymisenthalpiú, sem svarar til 270°C meðalinnstreymis hita. Ennfremur verður reiknað með heildarrennsli úr holum á bilinu 20-80 kg/s, sem svarar til 4,9-19,6 kg/s af gufu, en innan þessa sviðs eru flestallar holur hérlandis, ef undan eru skildar lélegustu holurnar í Kröflu (2-4 kg/s) og afkastamestu holurnar í Svartsengi og Bjarnarflagi (20-30 kg/s). Sé miðað við einþrýstikerfi, svarar þetta gufurennslu til 2-8 MW pr. holu, en innan þessa bils eru gufuholur á velflestum jarðhitasvæðum erlendis, þó þar megi finna undantekningar.

Hér að framan er átt við gufuholur, sem "heppnast".

2.2 Borárangur

Með borárangri er hér átt við hlutfall milli nothæftra hola og heildarfjölda boraðra hola.

Nothæfar holur eru hér skilgreindar sem holur er gefa a.m.k.

2 kg/s af háþrýstigufu, svarandi til 1 MW. Lausleg athugun leiðir í ljós, að ef frá eru dregnar rannsóknarholur, hafa um ein af hverjum 4 - 5 holum ekki skilað lágmarksárangri. Krafla á mesta sök á þessari útkomu, en þar er staðan sú, að þriðja hver hola er misheppnuð.

Í þessari áætlun verður reiknað með, að 4 af hverjum 5 vinnsluholum "heppnist".

2.3 Ending gufuborhola

Með endingu gufuborhola er hér átt við rýrnun afkasta á löngum tíma, sem stafar af lækkandi þrýstingi í svæðinu. Um þetta er í raun og veru ógerlegt að spá. Ef gengið er út frá því, að jarðhitasvæðið sé örugglega það stórt, að það geti borið nokkrar aflstöðvar af þeirri stærð, sem fyrst á að byggja í nokkra áratugi (25-50 ár), þá er rýrnun afkasta breytistærð, sem menn geta ráðið sjálfir, með því að velja fjarlægð milli hola og fjölda aflstöðva af tiltekinni stærð.

Reynsla frá Nýja-Sjálundi er á þá leið, að á tímabilinu 1962-1969 varð afkastarýrnun 24% (ca. 15% á 5 árum). Á þessu svæði voru um 50 holur/km². Ef holur hefðu verið um 12-15 á km², hefði afkastarýrnun orðið mun minni, eða sem svarar 9% á fimm árum.

Mælingar í Svartsengi á þrýstingslækkun með vinnslu benda til, að afkastarýrnun hola verði 40-70% á tuttugu árum (holur með 9 5/8" fóðringu). Ef ekki er framleitt meira rafmagn, en sem svarar gufubörf hitaveitunnar, eiga 40% við (12% á 5 árum), en ef raforkuframleiðslan er látin ráða, (8000 klst/ári nýtingartími raforkuframleiðslu), eiga 70% við (26% á 5 árum).

Í Svartsengi skiptir fjarlægð milli hola litlu málí vegna mikillar lektar, en vegna takmörkunar svæðisins skiptir heildarvinnslan meginmáli, þ.e. tonn af jarðsjó á ári. Það er því augljóst mál, að með því að dæla affallsvatni niður í svæðið aftur, má gjörbreyta niðurdrætti og þar með draga verulega úr afkastarýrnun gufuhola. Reynsla af blæstri reynsluhola ætti að gefa fyrstu visbendingu um væntanlega afkastarýrnun hola.

Í þessari áætlun verður reiknað með, að afköst hola minnki um 15% á hverjum 5 árum, þ.e. að afköst stofnholanna verði komin í 85% eftir fyrstu 5 árin, í 72% eftir fyrstu 10 árin o.s.frv. Ennfremur verður gert ráð fyrir, að fjarlægð milli hola verði ekki minni en 200 m, (25 holur/km²).

2.4 Niðurdælingarholur

Niðurdælingarholum er ætlað það hlutverk að veita affallsvatni niður í jarðhitageyminn aftur.

Þetta þjónar tvennum tilgangi:

- 1) Koma í veg fyrir efna- og varmamengun á yfirborðinu.
- 2) Draga úr þrýstingslækkun í svæðinu, en þar með lengist liftimi þess.

Niðurdæling á sér ekki langa sögu og hefur ekki verið reynd að ráði mjög víða.

Í El Salvador er fengin þó nokkur reynsla af niðurdælingu en hún hófst 1975.

Til að framleiða 60 MW þarf þarf 127 kg/s af háþrýstigufu, sem fæst úr 10 holum. Þessari gufu fylgir um 840 kg/s af vatni. Hluta þessa vatns er veitt burtu um stokk á yfirborði jarðar.

Hluti gufar upp, en um 370 kg/s er veitt niður í niðurdælingarholur undir háþrýstiskiljuþrýstingi. Niðurdælingarholur eru 4 talsins og taka því við um 92 kg/s að meðaltali, en það er svipuð tala og heildarrennsli meðalgufhólu á þessu svæði.

Við tilraunir Sveins Einarssonar 1975 kom fram, að tilraunahola tók við 164 kg/s og gat tekið við mun meira vatni, hefði það verið til reiðu. Ef gert er ráð fyrir, að meðalniðurdælingarholu geti tekið við 200 kg/s, þyrfti um 4 niðurdælingarholur fyrir 10 gufuhólar eða 1 niðurdælingarholu á hverjar 2,5 gufuhólar. Það skal tekið fram strax, að hér er um að ræða "niðurdælingu" beint úr háþrýstiskiljum við um 5,5 bar abs., og er þá ekki þörf á dælingu í þeim skilningi (ef niðurdælingarholur eru a.m.k. ekki hærra í landinu en skiljurnar). Einnig er vatnið það heitt (155°C), að það er ofan við útfellingarmörk kísils og verða því engar útfellingar í pípum eða holufóðringum. Þessi háttur yrði hafður á, ef um einþrýstikerfi yrði að ræða (sbr. kafla 3.1.).

Í Japan hefur niðurdæling verið reynd á flestum svæðum og þá jafnan við hitastig vel neðan útfellingarmarka. Útkoman hefur verið heldur slök. Holurnar vilja stiflast og því sífellt orðið að bora fleiri holur og einnig hefur niðurdælingin orðið til þess að kæla svæðin. Frárennslisvatn tvíþrýstikerfis (sbr. kafla 3.1) er neðan útfellingarmarka kísils og því allar líkur á að niðurdæling verði ekki eða illframkvæmanleg, nema með siun eða efnameðlönlun, sem fjarlægir eða minnkar kísil í vatninu.

Með tilliti til annarra óvissupáttu við niðurdælingu, þykir ekki rétt að mismuna ein- og tvíþrýstikerfi, hvað varðar niðurdælingu, að svo stöddu, heldur gert ráð fyrir, að fyrir hverja 2 1/2 gufuhólar þurfi 1 niðurdælingarholu í báðum tilvikum. Engu að síður er rétt að hafa þetta atriði sérstaklega í huga, þegar valið skal á milli ein- og tvíþrýstikerfis (sjá einnig kafla 3.1).

Ennfremur verður gert ráð fyrir sama borárangri og sömu endingu niðurdælingarhola og tilgreint var í köflum 2.2 og 2.3 fyrir gufuholurnar og jafnframt, að þessar holur séu eins að allri gerð og gufuholurnar, þ.e. jafndjúpar og fóðraðar á sama hátt.

Einhverjum kann að finnast, að hér sé gert ráð fyrir færri niðurdælingarholum en efni standa til, og má það til sanns vegar færa. Á hinnum bóginn ber á það að líta, að oft eru misheppnaðar gufuholur vel nothæfar sem niðurdælingarholur, og auk þess má gera niðurdælingarholur á ódýrari hátt (sleppa leiðaráfóðringu o.s.frv.), þannig að kostnaðarlega er ekki fráleitt að reikna með ofangreindum fjölda sérboraðra niðurdælingarhola.

Síðast en ekki síst má ekki gleyma því, að hugsanlega þarf ekki á niðurdælingarholum að halda, t.d. fyrstu rekstrarárin, ef yfirborðslosun frárennslisvatns yrði heimiluð, en þannig er þessu einmitt háttar að öllum okkar jarðhitasvæðum, enn sem komið er.

2.5 Aðrar hönnunarforsendur

Af öðrum forsendum, sem máli skipta fyrir kostnað, er rétt að taka eftirfarandi fram:

- 1) Að gufa og vatn sé ekki meira tærandi en gengur og gerist á jarðhitasvæðum almennt.
- 2) Að gas í háþrýstigufu sé innan við 1% af þunga.
- 3) Að hönnunarforsendur kæliturna séu 15°C , 80% raki, en það þýðir minni háttar afkastarýrnun í um 150 klst. á ári að jafnaði, þegar heitast er í veðri.
- 4) Að framleiðsluspenna rafala sé 10-14 kv og frá aðalspenni 132 kv.

3 AFLSTÖÐ, GERÐ OG FYRIRKOMULAG

Með tilliti til þess, sem að framan greinir um stöðu rannsókna á Hengilssvæðinu, er mörgum spurningum ósvarað hvað aflstöðina varðar. Um staðsetningu hola er ekkert vitað, sömuleiðis lögun aflferla gufuhola, gas í gufu, skeljunarmörk kísils, tæringaráhrif gufu o.s.frv. Ennfremur hafa ekki farið fram beinar mælingar á tíðni vindátta, hita- og rakastigs.

Af þessum sökum er út í hött að gera tilraun til að framkvæma bestunarreikninga á gufubrýstingi framan og aftan við hverfil, en inn í það dæmi koma m.a. aflferlar hola, fjarlægð hola frá stöðvarhúsi, gasinnihald gufu, lofthiti og loftraki. Það þjónar augljóslega heldur engum tilgangi að staðsetja stöðvarhús á landakortinu.

Á hinn bóginn má fullyrða, að ofannefnt sé ekki líklegt til að hafa stórvægileg áhrif á stofn- og/eða reksturskostnað aflstöðvarinnar sjálfrar og að þau séu trúlega stærðargráðu minni en áhrifin af rennslissviði gufuhola með 20-80 kg/s heildarrennsli.

3.1 Gerð aflstöðvar

Miðað við innstrey mishita í holur í námunda við 270°C og venjulegt gasinnihald (minna en 1-2%), koma tvenns konar kerfi til álita:

- a) Einþrýstikerfi
- b) Tvíþrýstikerfi

Myndir 2 og 3 sýna þessi kerfi hvort fyrir sig (30 MW).

Við val milli þessarra tveggja kerfa, ber að hafa eftirfarandi í huga:

- 1) Það þarf um 22% fleiri gufuborholur fyrir einþrýstikerfið, sem þýðir um 7-16% dýrari gufuöflun (gufuholur, safnæðar, skiljustöð), háð afköstum borhola.
- 2) Hús, vél- og rafbúnaður tvíþrýstikerfis er um 8% dýrari en samsvarandi fyrir einþrýstikerfi.
- 3) Losun frárennslisvatns með niðurdælingu er mun auðveldari í einþrýstikerfi en tvíþrýstikerfi (hitastig er ofan skeljunarmarka og skiljuþrýstingur hjálpar til við niðurdælinguna (sbr. kafla 2.4)).
- 4) Ef í upphafi er ákveðið að dæla niður, og ef varmainnihald affallsvatns skilar sér í jarðhitageyminn, þá er nýting jarðvarmaorkunnar betri í einþrýstikerfi. Niðurdæling frá tvíþrýstikerfi er ef til vill ekki möguleg (vegna kísilútfellinga), nema að áður undangenginni geymslu og kólnun affallsvatnsins, að viðbættri síun og/eða efnaíblöndun.

Séu útreikningar byggðir á, að 25°C vatn innihaldi ekki nýtanlegan varma, sést að nýtingarstuðull tvíþrýstikerfis er $0,118$ með 25°C niðurdælingu (úr kælilóni) og $0,153$ með 111°C niðurdælingu (beint úr lágþrýstiskilju), en nýtingarstuðull einþrýstikerfis er $0,161$ (niðurdæling beint úr háþrýstiskilju). Sé gengið út frá takmörkuðum varmageymi, er ljóst, að tvíþrýstikerfið veldur hraðari kólnun en einþrýstikerfið, en slikt styttir endingatíma og minnkar orkuvinnslugetu svæðisins.

Af framansögðu er ljóst, að tvíþrýstikerfi er ekki endilega ódýrara í stofnkostnaði. Lítill vafi er á, að það er erfiðara í rekstri, vegna kísilútfellinga í skiljum og niðurdælingarholum, auk þess sem nýting jarðhitasvæðisins er verri. Tvíþrýstikerfi getur hins vegar komið til álita, ef svo háttar til, að talsvert sé um þrýstingslitlar gufuholur, þ.e. að talsvert sé um holur, sem gefa litla gufu við 6-8 bar abs., en þó nokkuð við 2-4 bar abs.

Með tilliti til framangreindra atriða verða bæði kerfin tekin með í kostnaðaráætlunar hér á eftir.

3.2 Inntaks- og útblástursþrýstingur

Gengið er út frá, að aflferlar gufuhola séu tiltölulega flatir á þrýstingsbilinu 4-8 bar abs., þ.e. að heildarrennsli sé sem næst óháð holutoppþrýstingi á þessu bili. Ennfremur er líklegt að hagkvænnireikningar leiði til útblástursþrýstings í námunda við 0,1 bar abs. Að þessum forsendum gefnum, er framleiðslugeta hola í hámarki við 6-7 bar abs. fyrir einþrýstikerfi og 7-8 bar abs. fyrir tvíþrýstikerfi. Verð gufuhverfla er svo til óháð inntaksþrýstingi, þegar um er að ræða þrýstingsbilið 5-8 bar abs., og skiptir því ekki meginmáli hvað valið er til áætlunar.

Með tilliti til hugsanlegra útfellingarmarka kísils, er hér valið að miða við 6 bar abs. fyrir einþrýstivél og þá 7 bar abs. fyrir tvíþrýstivél. Lágþrýstiskiljuþrýstingur á bilinu 1-2 bar abs. gefur hámarksafköst. Hér er valinn 1,5 bar abs. inntaksþrýstingur á vél.

3.3 Hverfill

30-50 MW hverfill fyrir jarðgufu er það stór, að gufuflæðinu yrði skipt til helminga milli tveggja "hverfla" á sama ási (single cylinder, double flow).

Við hönnun hverfilsins þarf að taka sérstakt tillit til eftirfarandi:

- 1) Tæringar
- 2) Slits (erosion)
- 3) Kísilútfellinga
- 4) Þarf fyrir breytingar á inntaksþrýstingi samfara nýtingu svæðisins.

Hvað tæringu áhrærir, ber fyrst og fremst að taka tillit til lækkunar á brotþreytumörkum stáls í jarðgufu, en þau eru um það bil 25-30% af því, sem reiknað er með í hreinni gufu (á einkum við um skóflublöð á ási). Þetta stafar ekki hvað sist af pyttatæringu vegna íblöndunar lofts í gufu, þegar vél er gangsett og stöðvuð, en einnig vegna pyttatæringa undir kísilútfellingum. Það þarf með öðrum orðum efnismeiri vélhluta. Annað tæringarform er spennutæring, sem sérstök hætta er á í hverfilblöðum úr sterku efni og/eða með háum spennum. Blaðgjarðir eru oft hnoðaðar við blaðenda og verður þá ekki hjá því komist, að spennutoppar verði í hnoðsamskeytunum, sem aftur geta valdið þreytu- og/eða spennutæringarbroti. Það er því best að komast hjá hnoðum með því að smiða blöð og blaðgjarðahluta úr heilu efni (integral shroud). Þetta hefur auk þess þann stóra kost, að skipta má um einstök blöð í þepi, t.d. ef það brotnar eða aflagast, án þess að skipta um öll blöðin í þepinu.

Áspéttigar er annar vélhluti, sem sérstaklega þarf að huga að. Þar blandast saman jarðgufa og loft að staðaldri (meðan vélin gengur) og tæring er óhjákvæmileg, nema gripið sé til sérstakra aðgerða. Áhrifaríkast er, að framleiða súrefnissnauða gufu úr vatni og hleypa inn í áspéttigar til að útiloka jarðgufu.

Slit (erosion) stafar af bleytu í gufunni, en hún fer vaxandi á leið gufunnar gegnum vélina. Venjulega er sliti af þessu tagi haldið í skefjum með lágum blaðhraða og/eða stellithlífum á frambrún ásblaða á tveimur síðustu þrepum vélarinnar.

Annars konar slit getur átt sér stað, ef óhreinindi eru í gufunni t.d. ryð eða sandur. Slikt verður að útiloka með siun og hreinsiblæstri gufuveitu.

Útfellingar í hverflum stafa af meðburði vatns með gufu úr skiljum. Vatnsdropar í gufunni innihalda steinefni og þorna upp (gufa upp) við þrýstilækkun í hverfilþrepnum, en eftir sitja steinefnin sem harðar útfellingar. Við hönnun hverfilsins verður að sjá svo um að rými sé fyrir útfellingar og að auðvelt sé að fylgjast með þessum útfellingum, án þess að opna vélina (boroscope, titringsmælingar).

Einnig verður að vera auðvelt að komast að við hreinsun (skrúfaðir gufustútahaldarar o.s.frv.). Umfram allt verður þó að leggja sérstaka áherslu á, að gufan sé sem hreinust, með því að nota t.d. dropasiur í gufuskiljum og góðar aftæmingar á gufulögnum að hverfli.

Í kafla 2.3 er rætt um þrýstingsslækkun í jarðhitasvæðinu samfara nýtingu. Slik þrýstingsslækkun breytir aflferli gufuhola á þann veg, að hámarksafköst rafmagnsframleiðslu fást við sílækkandi skiljuþrýsting. Auk þess þarf meira gufumagn á hverja orkueiningu (tonn af gufu pr. kwst.). Möguleikar á slíkri aðlögun með sérhönnun hverfilsins eru miðmunandi eftir því, hvort um hreina "reaktions"-vél er að ræða eða blöndu af "impuls"- og "reaktions"-vél. Sú síðari hefur betri aðlögunareiginleika og ýmsa aðra kosti, sem ekki er ástæða að telja upp hér.

Kostnaðaráætlun tekur tillit til ofangreindra atriða og innifelur auk þess einn varaás, sameiginlegan fyrir tvær vélasamstæður.

3.4 Kælikerfi og gasdælur

Enda þótt vissir teknilegir möguleikar séu til nýtingar á Hengladalsá til eimþettingar, þá er með öllu óvist, að slikt yrði leyft vegna varmamengunar.

Af þessum sökum, er hér gert ráð fyrir samsvarandi kælikerfi og við Kröflu, þ.e. kæliturnum, blöndunareimsvölum og tilheyrandi kælivatnsdælum.

Ýmislegt mætti segja um kæliturna, gerð þeirra og fyrirkomulag. Hér er látið nægja að geta þess, að i kostnaðaráætlun er gert ráð fyrir véldrifnum kæliturni líkt og við Kröflu.

Með tilliti til góðrar reynslu af rekstursöryggi aðalkælivatnsdæla annars vegar og kostnaðar hins vegar, er gert ráð fyrir 2 dælum með 50% afköstum hvorri (þ.e. engin varadæla). Samt sem áður er þó gert ráð fyrir einum varamótor og að sjálfsögðu venjulegum slithlutum í dælurnar sjálfar. Aukadælur (fyrir rafala- og oliukælingu) eru miklu minni og ódýrari og er þar gert ráð fyrir 2 dælum með 100% afköstum hvorri.

Til útsogs á óbéttanlegum gösum eru venjulega notaðar tveggja þreppa gufusogsdælur (gufuejktorar).

Tæki þessi eru einföld í smiði og þurfa lítils viðhalds við, en hafa þann ókost að nota um 5% af jarðgufunni (miðað við 0,5% gasinnihald). Í 30 MW samstæðu svarar þetta til 1500 kW framleiðslutaps. Með því að nota véldrifnar gasdælur mundi gufunotkunin að sjálfsögðu hverfa, en í staðinn kæmi raforkunotkun auk viðhaldskostnaðar og hærri stofnkostnaðar. Í þriðja lagi kæmi til greina að nota t.d. gufudrifna sogdælu í fyrra þrepið og véldrifna sogdælu í það seinna. Hér er sem sé um hagkvænniathugun að ræða, sem fyrst og fremst ræðst af raunverulegu gasinnihaldi gufunnar. Í þessari áætlun er valinn sá kostur að reikna með tveimur pörum af tveggja þreppa gufudrifnum sogdælum, hvorri um sig með 100% afköstum miðað við 0,5% þungainnihald af gasi í gufu.

Til að fyrirbyggja hugsanlegan misskilning er rétt að taka fram, að tölur um fjölda hjálpartækja hér að framan eiga að sjálfsögðu við hvora vélasamstæðu fyrir sig.

3.5 Rafbúnaður

Við kostnaðaráætlun er stuðst við rauntölur Kröfluvirkjunar (5) annars végar og fyrri áætlun um Hengilsvirkjun (1) hins végar. Jafnframt var höfð hliðsjón af samsvarandi búnaði fyrir 2 x 15 MW virkjun í Olkaria, Kenya (6).

Rafbúnaður sá, sem hér er gert ráð fyrir, er að flestu leyti hliðstæður þeim, sem settur var upp við Kröflu, en með nokkrum undantekningum þó, sem ekki skipta meginmáli.

Það skal tekið fram strax, að kostnaðaráætlun rafbúnaðar tekur til alls búnaðar til og með 132 kV aflrofa. Téinrofavirki og háspennulína er því ekki meðtalið. Gert er ráð fyrir, að rafmagn verði fáanlegt frá landskérfinu, til þess að gangsetja stöðina, og þurfi því ekki á dísilrafstöð og kælivatnsdæluhverfli að halda.

3.6 Byggingarmannvirki

Gert er ráð fyrir svipaðri hússtærð fyrir 2 x 30 MW stöð og við Kröflu. Með tilliti til þess, að stöðvarhús Kröfluvirkjunar er steinhús, einangrað að utan, og síðan álklætt, er nokkuð víst, að spara mætti með því að byggja heldur húsgrind úr steinsteypu eða stáli, sem svo yrði einangruð og álklædd. Af þessum sökum er kostnaðaráætlun stöðvarhúss nokkuð lægri en umreiknaður raunkostnaður Kröflustöðvarhússins.

Auk stöðvarhússins sjálfs, er gert ráð fyrir geymslu/verkstæðishúsi og starfsmannahúsi, en ekki starfsmannabústöðum. Starfsmannabústaðir eru ekki taldir nauðsynlegir vegna nálægðar við Stóreykjavík (í Svartsengi eru t.d. engir starfsmannabústaðir). Einnig er gert ráð fyrir byggingu vinnubúða og mötuneytis (afskrifnað um 50% á byggingartímanum).

4. BORHOLUR, GUFUVEITA, NIÐURDÆLING

Það er augljóst, að ekki verður um mikla nákvæmni að ræða, þegar gera skal kostnaðaráætlun fyrir gufuveitu og niðurdælingarveitu. Fyrirfram er ógerningur að gera sér í hugarlund, hvar vinnsluholur verða boraðar og hvar niðurdælingarholur. Hér er valin sú leið, að velja einfalda mynd, þ.e. reglubundið mynstur vinnsluhola og niðurdælingarhola. Þetta verður að teljast réttlætanlegt í áætlun sem þessari, þegar haft er í huga, að kostnaður gufuveitukerfisins sjálfs (greiniæða og safnæða) er innan við 20% af kostnaði gufuhola miðað við meðalborárangur (40 kg/s, heildarrennsli).

Reglubundið, einfalt lagnakerfi er að sjálfsögðu hagkvæmt hvað kostnað snertir, og við slíkum aðstæðum er ekki að búast í raunverulegri virkjun. Þess vegna er valin sú leið, að staðsetja stöðvarhús rúmlega 1 km frá útjaðri borsvæðis, til þess að auka kostnað veitunnar og komast þannig nær því, sem búast má við í reynd.

4.1 Borholur

Í kafla 2 er fjallað um afköst, hita og endingu hola. Til þess að mögulegt sé að gera viðmiðunarhæfa kostnaðaráætlun, verður einnig að áætla bordýpt og fóðringar. Til þess að gefa hugmynd um, hversu mismunandi holukostnaður er hérlendist, má bera saman Kröflu og Svartsengi.

Í Kröflu er borað niður á um 2000 m dýpi og kostnaður með Jötni er nálægt 11,5 Mkr (verðlag í desember 1981). Í Svartsengi er borað niður á um 1800 m dýpi og kostnaður með Dofra er um 7,0 Mkr. (sömuleiðis á verðlagi í desember 1981).

Hærrí borkostnaður í Kröflu stafar af lengri bortíma vegna dýpis (45 dagar á móti 30 dögum í Svartsengi), dýrari bors (Jötunhola er um 15% dýrari en Dofrahola), meiri fjarlægð er frá Reykjavík (flutningur manna og tækja), og dýrari fóðurrör (lengri fóðrun,

efnissterkari rör).

Í þessari áætlun þykir hæfilegt að fara bil beggja. Holudýpi er áætlað 2000 m, 9 5/8" fóðrun niður á 700 m og 7" leiðari til botns. Gert er ráð fyrir 40 daga borun með Jötni og kostnaður um 8,5 Mkr.

Ekki er gerður greinarmunur á rannsóknarholum, reynsluholum, vinnsluholum og niðurdælingarholum, heldur er gengið út frá sama dýpi og sömu fóðrun. Þetta kann að orka tvímælis, einkum að því er varðar niðurdælingarholur, eins og vikið er að í kafla 2.3. Sumir telja einnig, að þær eigi að vera dýpri en vinnsluholurnar, aðrir að þær eigi að vera grynnri.

4.2 Gufuveita, skiljustöð

Í kafla 2.3 er gengið út frá 200 m fjarlægð milli vinnsluhola. Heildarmynd af þeirrigufuveitu, sem hér er lögð til grundvallar fyrir hvora vélasamstæðu um sig, má þá fá með því að hugsa sér ferningslag borsvæði með holum á 200 m möskvum, þverliggjandi greiniæðum frá einstökum holum að langliggjandi safnæð, sem liggur gegnum miðju borsvæðisins í átt að skiljustöð, um 700 m vegalengd frá útjaðri borsvæðisins. Frá skiljustöð liggur svo gufulögn (tvær fyrir tvíþrýstistöðina) að stöðvarhúsi, um 500 m vegalengd.

Við kostnaðarsamanburð kemur í ljós, að tvifasalagnir (gufa + vatn í sömu pipu) frá borholum að skiljustöð kosta um 70-80% af einfaselögnum (aðskildar lagnir fyrir gufu og vatn). Reynsla af rekstri tvifasalagna hérlandis er mjög góð og því engin áhöld um, að þær á að nota svo fremi, að landslag leyfi (sæmilega sléttlent). Ennfremur er ljóst, að verulega er ódýrara að safna grenilögnum saman í eina safnæð heldur en að leggja hverja grenilögn fyrir sig alla leið að skiljustöð. Með tilliti til þessa liggur beint við að nota einungis eina stóra háþrýstiskilju fyrir hvora vélasamstæðu, til þess að komast hjá að skipta tvifasastreymi milli fleiri smærri skilja. Athugun á þessu sýndi þó, að kostnaður einskiljustöðvar er mjög svipaður og margskiljustöðvar.

Við tvíþrýstikerfi er á sama hátt miðað við eina lágþrýstiskilju fyrir hvora vél um sig, en þriðju skiljunni til vara fyrir báðar vélarnar. Þetta verður að teljast nauðsynlegt, vegna kísilútfellingar í lágþrýstiskiljum, sem hreinsa þarf, án þess að til stöðvunar komi.

4.3 Niðurdælingarveita

Forsendur kostnaðaráætlunar eru þær, að eina niðurdælingarholu þurfi fyrir hverjar 2,5 vinnsluholur. Einnig er gert ráð fyrir, að niðurrennslu verði beint úr háþrýstiskilju einþrýstikerfis, án dælingar, eða beint úr kælilóni tvíþrýstikerfis, sámuleiðis án dælingar.

Til þess að þetta sé raunhæft, verða niðurdælingarholur að standa lægra í landinu en vatnsborð skilju eða láns. Einnig er áætlað, að niðurdælingarholur myndi ferningslaga svæði með 200 m á milli hola og pípukerfi sé með sama sniði og lýst var fyrir gufuveitu.

Kælilón er hér áætlað svipað að stærð og þau tvö, sem ráðgerð voru í Hlíðardal fyrir Kröfluvirkjun ($2 \times 30 \text{ MW}$) eða um 125.000 m^2 , sem svarar til 4-5 daga viðstöðu og kælingar niður undir 25°C . Við þessi skilyrði mun uppleystur kísill ná jafnvægisástandi. Afgangur fellur út og/eða fjölliðast. Að það skal lögð áhersla hér, að harðar kísilútfellingar geta átt sér stað, eftir að þessu jafnvægisástandi er náð (sbr. Broadlands í Nýja-Sjállandi), og fjölliðaður kísill, sem ekki botnfellur, getur einnig stíflað pípur og niðurdælingarholur. Það er með öðrum orðum engan veginn vist, að niðurdæling úr láni sem þessu verði vandræðalaus. Eins og vikið er að í kafla 2.4, getur þurft að sía vatnið og/eða lækka sýrustig með sýruíblöndun, sem að sjálfsögðu kostar peninga, en með þessu er þó ekki reiknað hér.

5. KOSTNAÐARÁÆTLANIR

Kostnaðaráætlun sú, sem hér fer á eftir miðast við verðlag í árslok 1981:

Vísalala byggingarkostnaðar 909 (1. des. 1981)

Gengi 1 US\$ - 8.200

1 Yen - 0.0375

1 DM - 3.645

Gert er ráð fyrir, að tollar og söluskattur af efni og vinnu verði felldir niður svo sem venja er um virkjunarframkvæmdir hérlendis.

Vaxtakostnaður á byggingartíma er innifalinn í áætluninni, en ekki verðhækkanir á byggingartíma.

Að lokum skal á það bent, að kostnaður við öflun landréttinda er ekki meðtalinn.

5.1 Stofnkostnaður

Stofnkostnaðartölur eru að finna í töflum 2 og 3 hér á eftir.

Þessar tölur þurfa ekki frekari skýringar við, nema rannsóknarkostnaðarliðurinn. Hann er þannig fenginn, að áætlað er, að boraðar séu 3 rannsóknarholur og 6 reynsluholur, sem hver um sig kosti 8,5 Mkr. Auk þess er reiknað með öðrum rannsóknarkostnaði að upphæð 10 Mkr. Af þessum heildarrannsóknarkostnaði er þessi stöð (2 x 30 MW eða 2 x 50 MW) látin bera 1/3 á þeim forsendum, að fleiri slikar stöðvar (3 eða fleiri) verði á svæðinu, sem allar nytu góðs af rannsóknunum sem slikum. Ekki er gert ráð fyrir, að nein af þessum borholum nýtist sem gufu- eða niðurdælingarhola fyrir fyrsta virkjunaráfanga. Ófyrirséður kostnaður er reiknaður 13% af verktakakostnaði, samsvarandi og gert er við áætlanir um vatnsafslsvirkjanir. Sama er að segja um vexti á byggingartíma, 19%. Hönnun og umsjón er aftur á móti áætluð lægri, eða 13% með tilliti til þess að hér er um tvær eins vélasamstæður að ræða og kostnaðarhlutdeild véla- og raffbúnaðar mjög há sbr. við vatnsafl, en þar er venja að reikna með 15%.

Við gerð kostnaðaráætlunar var eftirfarandi aðferðum beitt:

- 1) Raunkostnaður einstakra hluta Kröfluvirkjunar var umreiknaður með tilliti til breytinga á verðlagi.
Þetta á einkum við um vélhluta, rafbúnað og stöðvarhúsbyggingu.
- 2) Leitað var eftir áætlunartölum til samanburðar við lið 1) frá tveimur erlendum framleiðendum, sem mest hafa komið við sögu jarðvarmavirkjana á síðustu árum. Áætlunartölur fengust fyrir allan vél- og rafbúnað einþrýsti og tvíþrýstistöðvar, 30MW og 50 MW, og voru þær á f.o.b. grundvelli. Við þetta var svo bætt áætluðum flutnings- og uppsetningarkostnaði.
- 3) Kostnaðaráætlun fyrir borholur og veitu var unnin á grundvelli þekktra einingarverða borhola og pipa.

Með tilliti til þess, að Kröfluvirkjun er búin 2×30 MW tvíþrýsti-vélum, er ekki að efa, að kostnaðaráætlunin er nákvæmust fyrir þá stærð og gerð. Kostnaðaráætlun 2×30 MW einþrýstistöðvar er til-tölulega nákvæm einnig, þar eð búnaður er mikið til sá sami og í 2×30 MW tvíþrýstistöð.

Kostnaðaráætlun fyrir 2×50 MW stöð verður að taka með heldur meiri fyrirvara.

Miðað við gefnar forsendur má ætla, að kostnaðaráætlun fyrir 2×30 MW stöðvar séu unnar með ± 15 til 20% nákvænni og 2×50 MW með um ± 20 til 25% nákvænni.

Við skoðun kostnaðartalna er eftirfarandi athyglisvert:

- 1) Einþrýstikerfi er heldur dýrara, ef holur gefa lítið (20 kg/s), en ódýrara, ef holur eru gjöfular (80 kg/s). Við meðalborárangur er enginn teljandi mismunur á kostnaði ein- og tvíþrýstikerfis.

- 2) Losun affallsvatns nemur um 7-15% heildarkostnaðar, vaxandi með minnkandi borárangri og gæti orðið mun hærri fyrir tvíþrýstistöð, ef þörf yrði á efnameðhöndlun vatnsins og/eða siun.
- 3) Kostnaðarhlutdeild gufuöflunar og niðurdælingar vex með vaxandi stöðvarstærð, en 2×50 MW stöð er samt hlutfallslega ódýrari (í Mkr./MW) en 2×30 MW. Með tilliti til þessa má búast við, að 2×100 MW verði einungis óverulega hagkvæmari en 2×50 MW og við enn stærri stöðvar fari kostnaður pr. MW jafnvel vaxandi.

5.2 Árlegur kostnaður

Niðurstöður eru sýndar í töflu 4 og á mynd 4 í formi framleiðsluverðs pr. kWst. sem fall af borárangri. Miðað við 8% ársvexti og 6600 klst. nýtingartíma (75% stöðvarstuðul) á 95% af uppsettum afli (5% eiginnotkun). Ef reikna á út reksturskostnað við annan nýtingartíma, má gera ráð fyrir óbreyttum árskostnaði, þ.e. að orkuverð sé í öfugu hlutfalli við nýtingartímann, vegna þess að fjármagnskostnaður, viðhald, starfsmannahald og önnur umsjón er óháð árlegri framleiðslu (gufuholur blása væntanlega allt árið). Ekki er raunhæft að reikna með hærri nýtingartíma en 7500 klst. vegna árlegs viðhalds og tilfallandi bilana.

Venja er að reikna afskriftartíma jarðgufuafslsstöðva 25 ár, og verður þeirri venju fylgt hér.

Að sjálfsögðu þarf að bora gufu- og niðurdælingarholur, til þess að vega á móti rýrnandi holuafköstum með tíma, og á þann kostnað ber fremur að líta sem hluta af viðhaldskostnaði en fjármagnskostnað. Sé gengið út frá 15% rýrnun hola á 5 árum (sbr. kafla 2.3), svarar það til, að um það bil 3% af upphaflegum stofnkostnaði gufu- og niðurdælingarhola sé varið til árlegra viðhaldsborana. Gera verður ráð fyrir, að nýjar lagnir þurfi til að tengja holurnar, þannig að

reiknað verður með 3% af liðum 1 og 2 í töflum 2 og 3, en þó að frádregnum skiljustöövar- og kælilónskostnaði. Annar viðhaldskostnaður er áætlaður 1% af heildarstofnkostnaði.

Starfsmannahald, tryggingar og umsjón er áætluð 1,2% af heildarcostnaði. Þessi tala er nálægt raunkostnaði við Kröfluvirkjun, að svo miklu leyti sem hann liggur fyrir tölulega sundurgreindur frá t.d. viðhaldspáttum og/eða nýframkvændum. Það orkar nokkuð tvímælis, hvort starfsmannahald yrði í raun og veru dýrara í $2 \times 50 \text{ MW}$ stöð en $2 \times 30 \text{ MW}$. Það þyrfti vafalaust svipaðan fjölda vélgæslumanna í báðum tilvikum, en ef til vill þyrfti fleiri menn til viðhalds og gæslu við gufuveitu stærri stöðvar.

HEIMILDASKRA

- (1) Verkfræðistofa Guðmundar & Kristjáns h/f 1975:
Frumáætlun um Jarðgufuafilstöð. Landsvirkjun.
- (2) Axel Björnsson & Gylfi P. Hersir 1981:
Geophysical Reconnaissance Study of the Hengill High-Temperature Area, SW-Iceland.
Geothermal Resources Council 1981 Annual Meeting.
- (3) Orkustofnun 1975:
Krafla, skýrsla um niðurstöður rannsóknarborana 1974.
Orkustofnun, OSJHD-7506.
- (4) Sveinbjörn Björnsson, 1971:
Afangaskipting áætlana um virkjun háhita.
Fréttabréf Verkfræðingafélags Íslands, sept 1979.
- (5) Iðnaðarráðuneytið 1978:
Kröfluvirkjun, skýrsla iðnaðaráðherra til Alþingis.
- (6) Kenya Power Company 1979:
Olkaria Geothermal Project, Contract OG-01 with Mitsubishi Corporation.

ENGLISH SUMMARY:HENGILL GEOTHERMAL POWER PLANT
ECONOMICAL SCREENING STUDYObject:

To establish capital and unit operation costs of 2x30 MW and 2x50 MW geothermal power plants in the Hengill geothermal area in SW-Iceland with special regard to probable range in production well output as well as the chosen method of effluent disposal.

Assumptions:

Reservoir type and temperature: Water dominated, 270°C.

Well output: 20 - 80 kg/sec. per well, total flow (4.9 - 19.6 kg/sec

Well depth: 1800 - 2000 m. steam)

Drilling success: 4 out of 5 wells productive.

Decline in output: 15% in 5 years.

Ratio of production wells to reinjection wells: 2.5

Well spacing: 200 m.

Turbine inlet/outlet pressure: 6-7/0.1 bars abs.

Methodology:

Two recent geothermal projects in Iceland, Krafla Geothermal Power Plant and Svartsengi Geothermal Power Plant were analysed as regards costs of drilling, civilworks and equipment. Additional cost information was obtained from geothermal vendors of turbine generators, condensers, cooling towers e.t.c. All prices were escalated to 1. Dec. 1981 price level and do include for 8% pr. annum interest rate on capital expenditure during construction. Price escalation (inflation) is not included.

Results:

Capital costs versus production well output are presented in the table below: (in millions of Icelandic Krona)

Plant size.	type	well total flow (kg/sec.)		
		20	40	80
2x30 MW ,	single flash	1111	787	628
2x30 MW ,	double flash	1057	795	666
2x50 MW ,	single flash	1681	1153	888
2x50 MW ,	double flash	1547	1124	915

(US dollar exchange rate is 8.20 kr./\$)

Unit operation costs were based on annual production at rated output for 6600 hours (75% plant factor) which corresponds to 376.2 GWh for 2x30 MW and 627.0 for 2x50 MW after deduction of 5% for in-plant consumption. Depreciation time is 25 years, interest 8% p.a., annual cost of replacement wells is assumed 3% of field investment and annual operating and maintenance costs 2.2% of total capital expenditure. Unit operation costs are presented in the table below (in Icelandic Krona/KWh).

Plant size,	type	well total flow (kg/sec.)		
		20	40	80
2x30 MW ,	single flash	0.395	0.269	0.208
2x30 MW ,	double flash	0.370	0.269	0.219
2x50 MW ,	single flash	0.363	0.240	0.178
2x50 MW ,	double flash	0.328	0.230	0.182

Effluent water disposal by reinjection included in above figures adds some 7-15% to capital cost and 10-20% to unit production cost when compared with simple surface discharge to nearby river after storage in conditioning pond for silica reduction.

The study does not take into consideration the possible extra costs associated with effluent water treatment prior to reinjection which might become substantial, especially for double flash plant, where the temperature in the second flash separators is well below the silica precipitation level.

TÖFLUR

GUFUAFKÖST BORHOLAVIÐ 6-10 BAR (ABS.) MÓTPRÝSTING

STADUR	HOLA NR	MÆLT	GUFA (kg/s)
Nesjavellir	5	72	9
"	5	80	7
Hveragerði	6	80	5
"	7	80	4
"	8	68	8
Svartsengi	2	72	4
"	3	72	9
"	4	74	12
"	5	79	12
"	6	79	10
"	7	80	25-30
"	8	80	25-30
"	9	80	25-30
"	10	80	20-25
"	11	80	25-30
Reykjanes	8	80	14
Krafla	6	81	2
" "	7	81	3
" "	9	81	6
" "	11	81	4
" "	12	80	6
" "	13	80	3
" "	14	80	16
" "	15	80	4
Bjarnarflag	4	71	5
"	5	71	5
"	9	71	3
"	10	77	20
"	11	80	23
"	12	80	16

STOFNKOSTNAÐUR (Mkr)2 x 30 MW

	Borholuafkost (kg/s) (Heildarrennslí)	20	40	80	20	40	80	2 x 30 MW Einþrýstikerfi	2 x 30 MW Tvíþrýstikerfi
1.	Vinnsluholur, safnaðar, skiljustöð	349	187	108	302	171	106		
2.	Niðurdælingarholur, kælilón (tvíþrýstikerfi), niðurdælingarveita	126	65	34	113	63	40		
3.	Stöðvarhús, kæliturnalþrær, vélaundirstöður, kranar	48	48	48	54	54	54		
4.	Hverfilsamstaður, eimsvalar, gasdælur	77	77	77	83	83	83		
5.	Kæliturnar, kælivatnsdælur, laqnir	33	33	33	36	36	36		
6.	Spennar, rofar	15	15	15	16	16	16		
7.	Stjórbúnaður, strengir, loftpressur	19	19	19	20	20	20		
8.	Varahlutir	9	9	9	11	11	11		
9.	Uppsetning vélbúnaðar (liðir 4,5)	30	30	30	33	33	33		
10.	Uppsetning rafþbúnaðar (liðir 6,7)	13	13	13	14	14	14		
11.	Verkstæði, starfsmannaðstaða	9	9	9	9	9	9		
12.	Vinnubúðir, móttuneyti	17	17	17	17	17	17		
	Verktakakostnaður	745	522	412	708	527	439		
13.	Ymislegt ófyrirséð	97	68	54	92	69	57		
14.	Hönnun, umsjón, eftirlit	97	68	54	92	69	57		
15.	Ramsóknir, undirbúnir	30	30	30	30	30	30		
16.	Vextir á byggingartíma	142	99	78	135	100	83		
	Stofnkostnaður	1111	787	628	1057	795	666		

STOFNKOSTNADUR (Mkr.)2 x 50 MW

	Borholuafköst (kq/s) (Heildarrennsli)	2 x 50 MW Einþrýstikerfi	2 x 50 MW Tvíþrýstikerfi
1.	Vinnsluholur, safnaðar, skiljustöð	570	307
2.	Niðurdælingarholur, kælilon (tvípr.kerfi), niðurðælingarveita	208	106
3.	Stöðvarhús, kæliturnaprær, vélaundirstöður, kranar	68	68
4.	Hverfilssamstæður, eimsvalar, qasdaelur	108	108
5.	Kæliturnar, kælivatnssdælur, lagnir	48	48
6.	Spennar, rofar	17	17
7.	Stjórbúnaður, strengir, loftpressur	21	21
8.	Varahlutir	11	11
9.	Uppsetning vélþúnaðar (liðir 4,5)	41	41
10.	Uppsetning rafþúnaðar (liðir 6,7)	16	16
11.	Verkstaði, starfsmannaaðstaða	9	9
12.	Vinnubúðir, móttuneyti	22	22
	Verktakakostnaður	1139	774
		592	1046
		755	611
13.	Ýmislegt ófyrirséð	148	101
14.	Hönnun, umsjón, eftirlit	148	101
15.	Rannsóknir	30	30
16.	Vextir á byggingartíma	216	147
	Stofnkostnaður	1681	1153
		888	1547
		1124	915

Ath. Verðlag: Visitala bygginqarkostnaðar 909 (1. des. 1981)

Gengi US\$ - 8,200 Yen - 0,0375 DM - 3,645

Tafla 4

	2 x 30 MW	2 x 30 MW	2 x 30 MW	2 x 50 MW	2 x 50 MW
Einþrýstikerfi	Einþrýstikerfi	Einþrýstikerfi	Einþrýstikerfi	Einþrýstikerfi	Einþrýstikerfi
Borholuremnsli (kg/s)	20	40	80	20	40
Fjármagnskostnaður (9,37%)	104,1	73,7	58,8	99,0	74,5
Viðhaldsholukostnaður (3%)	20,0	10,3	5,6	16,8	9,0
Viðhaldskostnaður (1%)	11,1	7,9	6,3	10,6	8,0
Starfsm.hald, umsjón (1,2%)	13,3	9,5	7,6	12,7	9,6
Arlegur kostnaður	148,5	101,4	78,3	139,1	101,1
Orkukostnaður (aurar/kwst)	39,5	26,9	20,8	37,0	26,9
Ath.					

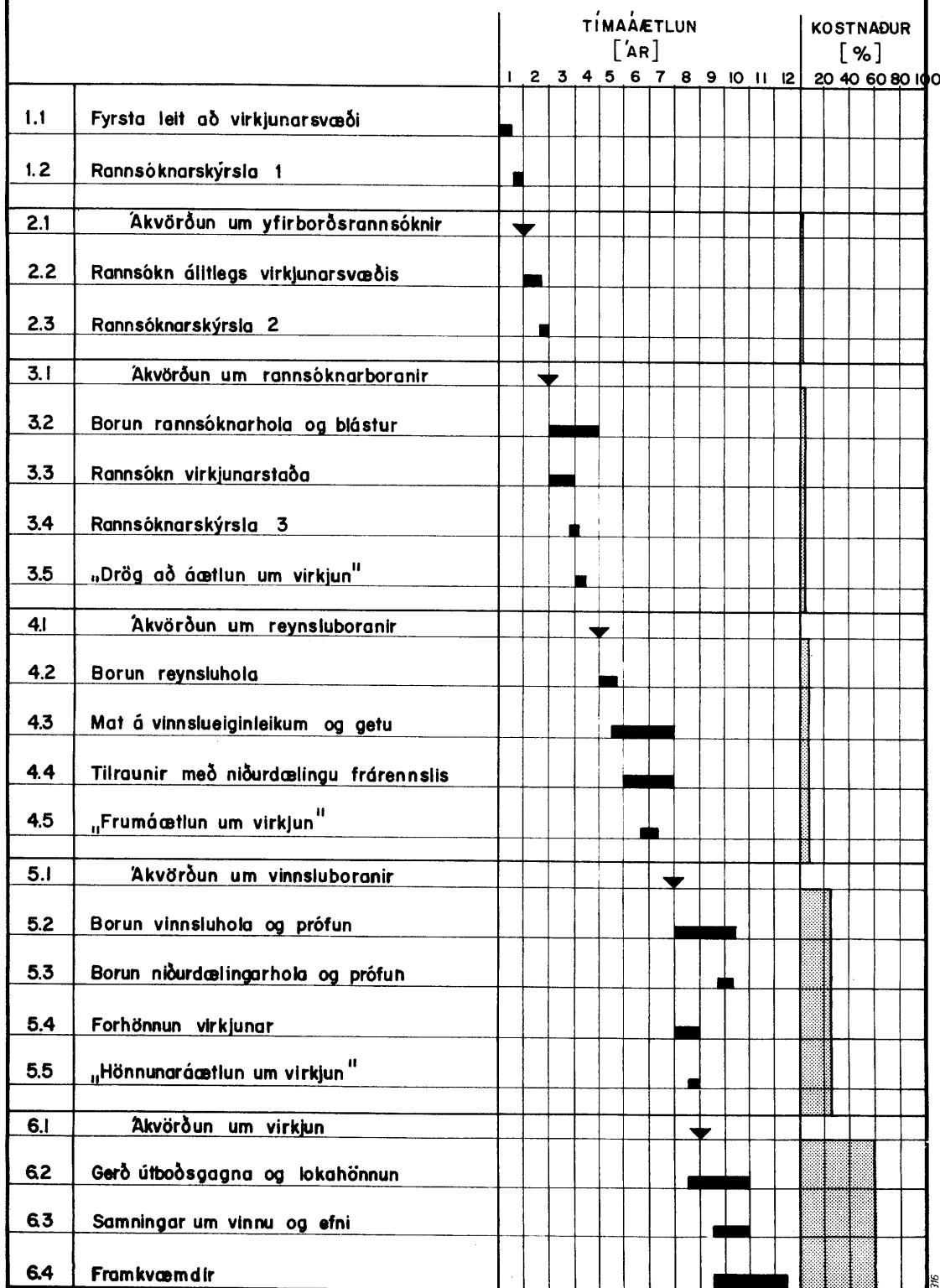
ARLEGUR KOSTNAÐUR (MKR/ÁR)2 x 30 MW og 2 x 50 MW

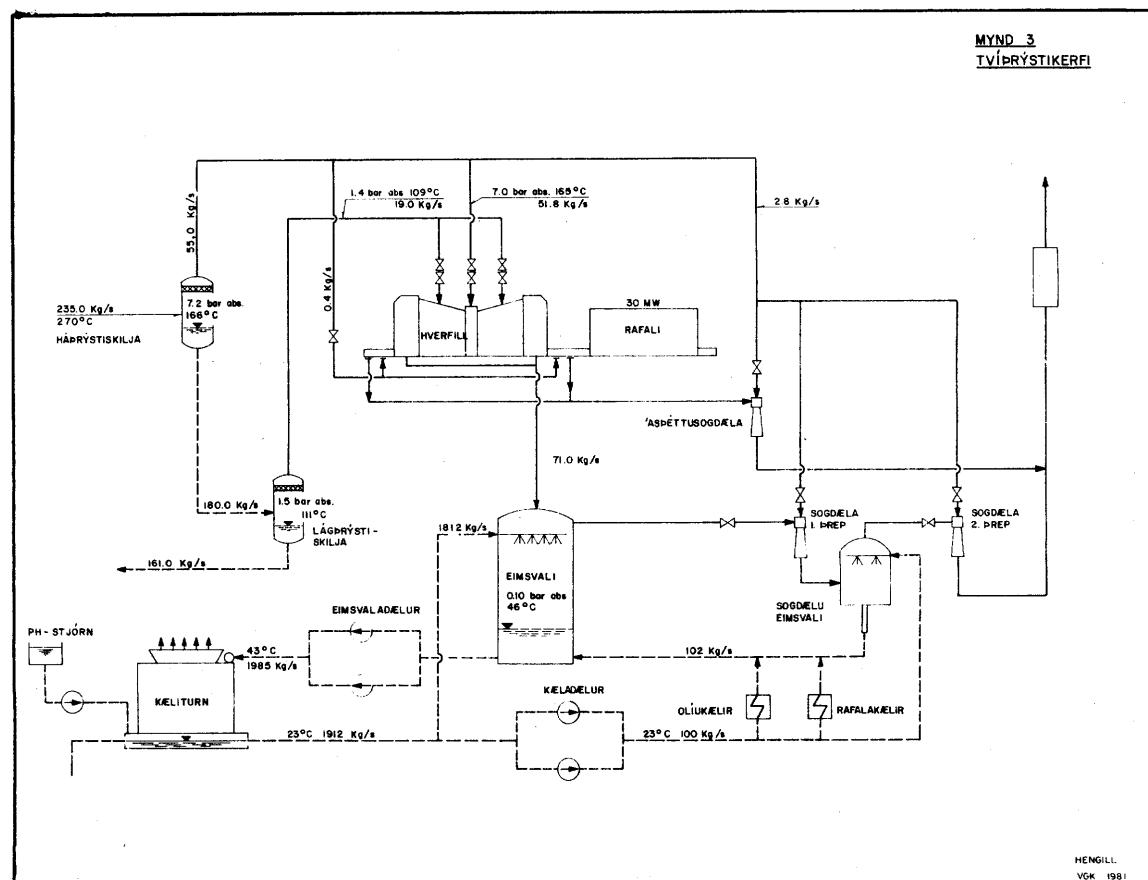
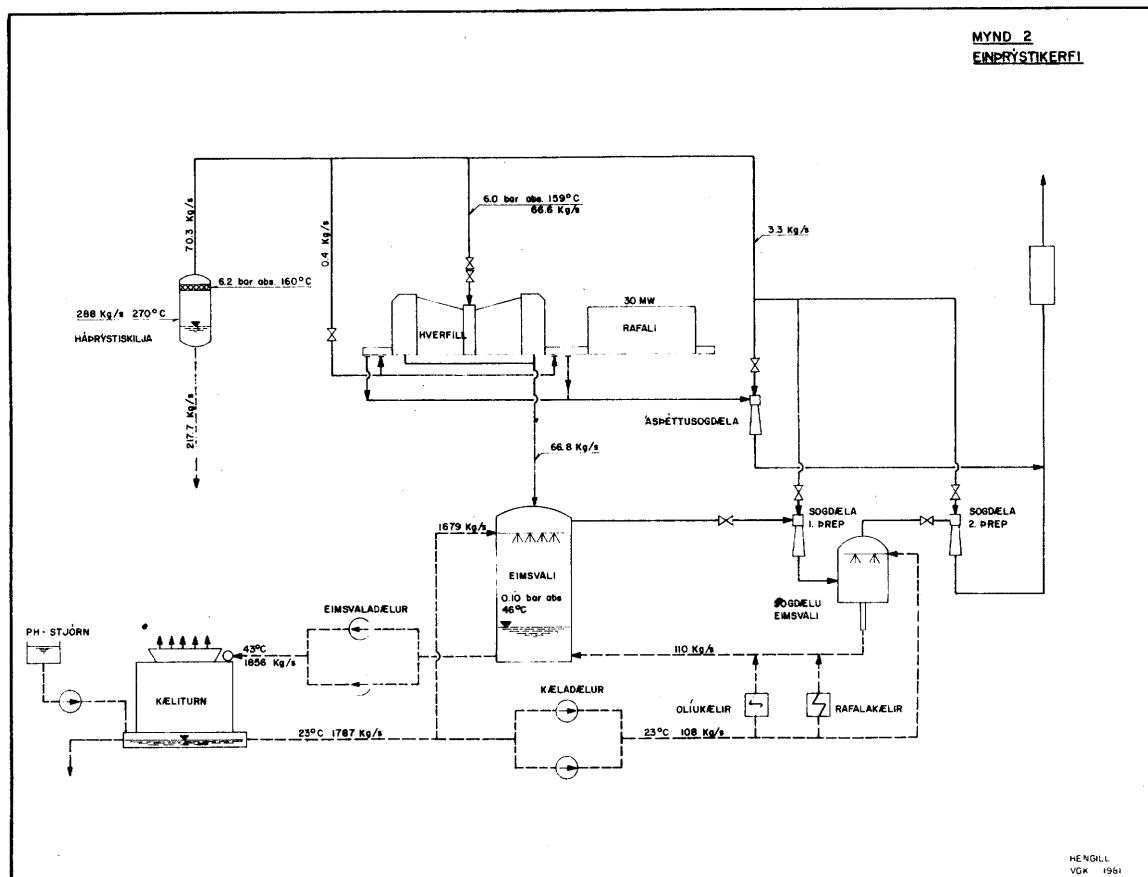
Arsvextir 8%
 Arsframleiðsla:
 2 x 30 MW - 376,2 Gwst.
 2 x 50 MW - 627,0 Gwst.

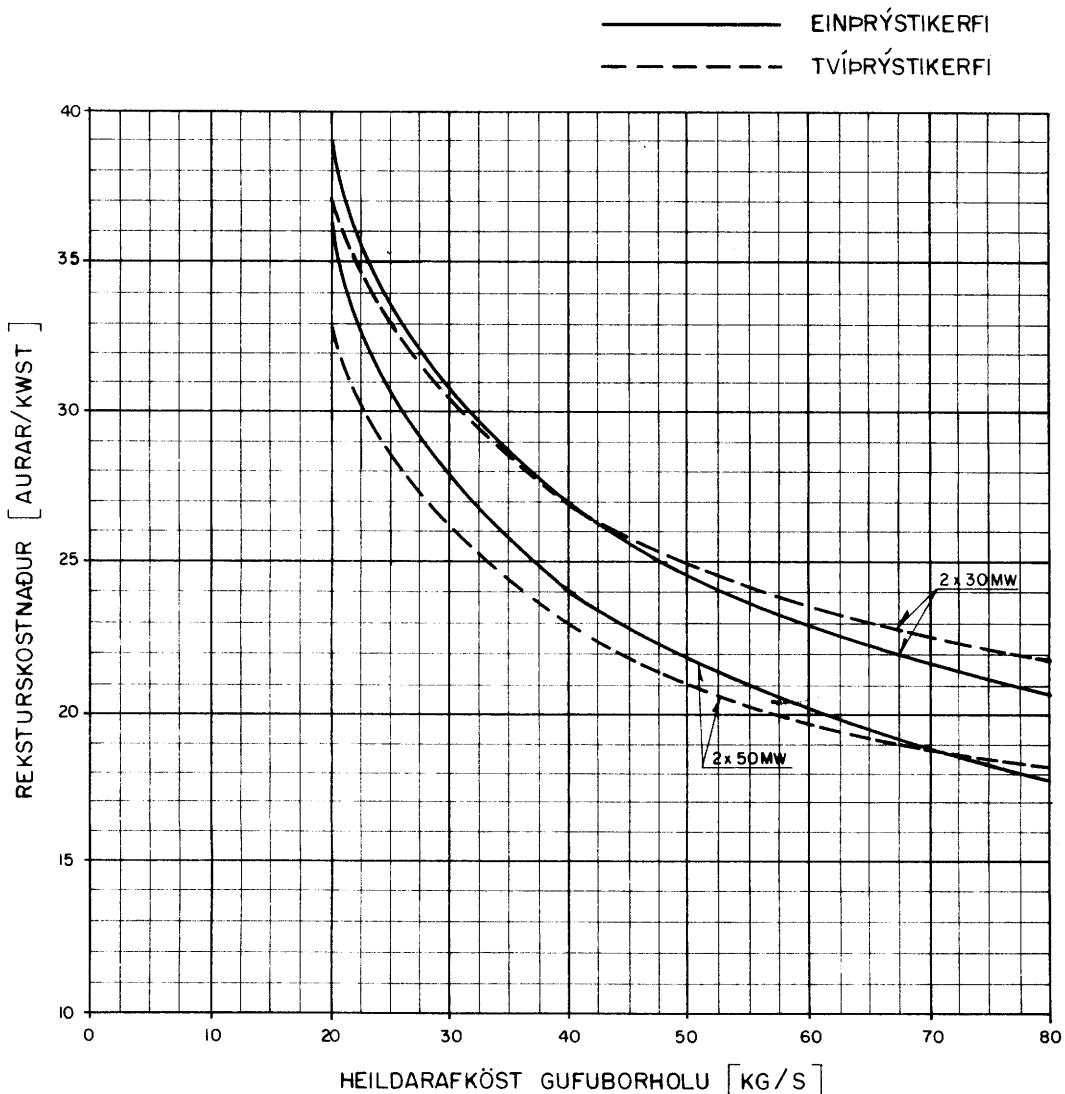
MYNDIR

MYND I

ÁFANGASKIPTING TÍMAÁÆTLUNAR





REKSTURSKOSTNAÐUR

ATH. ÁRSVEXTIR 8% VERÐLAG 1. DES. '81

ÁRSFRAMLEIÐSLA:

2x 30 MW - 376.2 GWST.

2x 50 MW - 627.0 GWST.