

VERMIR SF.

RÁÐGJAFEVERKFRÆÐINGAR

REYKJAVÍK

ÁLITSGERÐ UM JARÐGUFUAFLSTÖÐVAR
MEÐ SÉRSTÖKU TILLITI TIL VIRKJUNAR
VIÐ NÁMAFJALL

eftir

Svein S. Einarsson

ÁLITSGERÐ UM JARÐGUFUAFLSTÖÐVAR
MEÐ SÉRSTÖKU TILLITI TIL VIRKJUNAR
VIÐ NÁMAFJALL

eftir

Svein S. Einarsson

<u>EFNISYFIRLIT</u>	BLS.
(0) AGRIP OG NIÐURSTÖÐUR	1
(1) INNGANGUR	4
(2) RAFORKUVINNSLA MEÐ JARÐGUFU	6
(2.1) Náverandi orkuver	6
(2.2) Reksturseyginleikar jarðgufuafstöðva	6
(2.3) Gerðir jarðgufuafstöðva	7
(3) VIRKJUN JARÐGUFU TIL RAFORKUVINNSLU VIÐ NÁMAFJALL	8
(3.1) Jarðhitasvæðið	8
(3.2) Vatns- og gufupörf aflstöðva	8
(3.3) Nauðsynlegur fjöldi borhola og gerð þeirra	9
(3.4) Lengd aðveituæða og borholubúnaðar	10
(3.5) Stöðvarhús	10
(3.6) Aflvélar	12
(3.7) Stjórnun	12
(3.8) Staðarval	12
(4) KOSTNAÐARAÆTLANIR	13
(4.1) Almenn atriði	13
(4.2) Forsendur stofnkostnaðaráætlana	14
(4.21) Borholur	14
(4.22) Borholubúnaður	14
(4.23) Gufuæðar	14
(4.24) Stöðvarhús	14
(4.25) Aflvélar og búnaður í stöð	14
(4.26) Vélaundirstöður, uppsetning o.fl.	15
(4.3) Áætlun stofnkostnaðar og fjárþarfar	15
(4.4) Óvissa einstakra kostnaðarliða og niðurstöðu áætlana	16
(4.41) Borholur	16
(4.42) Borholubúnaður	16

	BLS.
(4.43) Gufuæðar	16
(4.44) Stöðvarhús	16
(4.45) Aflvélar	16
(4.46) Vélaundirstöður, uppsetning véla o.fl.	18
(4.5) Arlegur reksturskostnaður, orkukostnaður	18
(4.51) Afskriftatímar	18
(4.52) Viðhald	20
(4.53) Stjórn, gæzla og almennur kostnaður	20
(4.54) Varasjóður og hitaréttindi	21
(5) NIDURSTÖÐUR	22
(6) HEIMILDASKRÁ	25
 TÖFLUR:	
Tafla (1) Aðrennslispörf á afleiningu.....	9
" (2) Nauðsynlegur fjöldi borhola	11
" (3) Aætlun um stofnkostnað og fjárpörf vegna byggingar útblásturs gufuaflstöðva	17
" (4) Arlegur reksturskostnaður og orkukostnaður útblásturs gufuaflstöðva, ársvextir 8%	19
" (5) Arlegur reksturskostnaður og orkukostnaður útblásturs gufuaflstöðva, ársvextir 6%	19
" (6) Stofnkostnaður á afleiningu í jarðgufuaflstöðvum við Námafjall	22
" (7) Orkukostnaður jarðgufuaflstöðva við Námafjall, ársvextir 8%	22
 MYNDIR:	
Mynd (1) Raforkuvinnsla með jarðgufu í Larderello 1948 - 66	28
" (2) Raforkuvinnsla með jarðgufu, nokkrir möguleikar	29
" (3) Útblásturs gufuaflstöðvar: Gufunotkun og verð túrbína við mismunandi gufuhita	30
" (4) Hiti við inntak túrbínu og fáanlegt afl í útblásturs túrbínunum við mismunandi botnhita í borholum	31
" (5) Jarðgufuaflstöð við Námafjall: Afstaða stöðvarhúss og borhola	32
" (6) Jarðgufuaflstöð við Námafjall: Breyting stofnkostnaðar eftir stöðvarstærð og botnhita borhola	33
" (7) Jarðgufuaflstöð við Námafjall: Samanburður orkukostnaðar frá 5, 10 og 15 MW jarðgufuaflstöðvum og 22.8 MW virkjun í Gljúfurveru	34
 <u>FYLGISKJAL (I):</u>	
Gunnar Böðvarsson, Rekstursöryggi jarðvarmavinnslu	26

ALITSGERÐ UM JARÐGUFUAFLSTÖÐVAR
MEÐ SÉRSTÖKU TILLITI TIL VIRKJUNAR
VIÐ NÁMAFJALL

(0) AGRIP OG NIÐURSTÖÐUR

Við boranir, sem nýlega voru gerðar á tveimur jarðgufusvæðum hérlendis, kom í ljós mun hærri botnhiti, en áður hafði fengizt eða um 260°C á Nesjavöllum í norðanverðum Hengli og 270 - 275°C í Bjarnarflagi við Námafjall.

Athuganir, sem höfundur þessarar skýrslu gerði á sl. vetri í samvinnu við raforkumálastjórnina, bentu til þess, að með þetta háum botnhita kynni jarðgufuvirkjun við Námafjall að verða hagkvæmari lausn á raforkumálum Norðurlandsins en vatnsaflsvirkjanir í Laxá eða Lagarfljóti.

Að ósk raforkumálastjóra fór undirritaður til Ítalíu í lok apríl mánadag og kynnti sér reynslu, sem þar hefur fengist af útblásturs túrbínustöðvum um árabil, og aflaði verðupplýsinga um vélar í slíkar stöðvar.

Eftirfarandi álitsgerð, sem samin er að tilhlutan raforkumálastjóra, er m.a. byggð á gögnum, sem aflað var í þessari ferð.

Talið er, varlega áætlað, að úr Námafjallssvæðinu megi vinna 7.000 - 10.000 MWára orku, eða sem svarar 70 - 100 MW í 100 ár.

Miðað við reynslu á öðrum jarðgufusvæðum hér á landi má ætla, að örugglega sé hægt að fá nægilegt vatnsaðrennsli í borholur þarna, en það þarf að vera 11,7 - 22,2 kg/sek/MW fyrir botnhita á bilinu 300 - 250°C.

Gerðar eru sundurliðaðar áætlanir um stofnkostnað jarðgufuaflstöðva af stærðunum 5, 6, 8, 10 og 15 MW, og reksturskostnað þeirra og orkukostnað miðað við mismunandi botnhita í borholum. Niðurstöður þessara áætlana eru sýndar í eftirfarandi töflum:

STOFNKOSTNAÐUR JARÐGUFUAFLSTÖÐVA

AFL STÖÐVAR	STOFNKOSTNAÐUR STÖÐVAR	
	MW	Mkr
5	22,0 - 27,5	4400 - 5500
6	22,8 - 28,2	3800 - 4700
8	29,6 - 35,2	3700 - 4400
10	30,0 - 36,0	3000 - 3600
15	39,0 - 51,0	2600 - 3400

Lægri tölurnar eiga við 290 - 300°C botnhita, en hinar hærri við 250 - 260°C. Talið er, að stofnkostnaður stöðva við Námafjall liggi þarna á milli.

Stofnkostnaður vatnsaflsstöðva við tiltölulega hagstæðar virkjunaraðstæður er naumast lægri en 8.000 kr/kW, og er þá ekki meðtalinn stofnkostnaður varaafis, sem á getur þurft að halda, vegna rennslistruflana í fallvötnum. Stofnkostnaður gufuaflstöðvanna á uppsetta afleiðingu virðist vera mjög sambærilegur við stofnkostnað gastúrbínustöðva.

ORKUKOSTNAÐUR JARÐGUFUAFLLSTÖÐVA

AFL STÖÐVAR	ORKUKOSTNAÐUR VIÐ ÁRLEGANN	
	NÝTINGARTÍMA MESTA AFLS	
MW	8000 klst/ár aur/kWst	8650 klst/ár aur/kWst
5	9,3 - 11,0	8,6 - 10,2
6	8,1 - 9,8	7,4 - 9,0
8	7,4 - 8,9	6,9 - 8,3
10	6,1 - 7,3	5,6 - 6,8
15	5,1 - 6,5	4,8 - 6,0

Reynslan erlendis hefur sýnt, að jarðgufuaflstöðvar geta nýtt mesta afl í 8.600 - 8.700 klst/ár. Orkukostnaðurinn í síðasta dálki töflunnar sýnir því lágmarks orkukostnað, sem fáanlegur er. Lægri tölurnar eiga við 290 - 300°C, en hærri tölurnar við 250 - 260°C botnhita.

Línuritið á mynd (7) sýnir samanburð á áætluðum orkukostnaði 5, 10 og 15 MW jarðgufuaflstöðva við Námafjall og 22,8 MW vatnsvirkjunar í Gljúfurveru við Laxá í Þingeyjarsýslu.

Orkukostnaður minni jarðgufuaflstöðvanna er sambærilegur við orkukostnað hagstæðustu stórvirkjana vatnsafls, en fyrir stærri stöðvarnar er hann mun lægri, og mun vandfundin nokkur önnur tegund aflstöðva, er hefur sambærilegan orkukostnað.

Jarðgufuaflstöð af þessum gerðum væri hægt að byggja á rúnum 2 árum frá því, að boranir hefjast. Væru boranir hafnar við Námafjall sumarið og haustið 1967, gæti stöðin verið tilbúin til notkunar haustið 1969.

Auk þess, sem jarðgufuaflstöðvar eru svo ódýrar í byggingu og hafa svo lágan orkukostnað, sem sýnt hefur verið í töflunum að framan, hafa þær aðra reksturseiginleika, sem eru sérlega hagkvæmir, ef um er að ræða orkuvinnslu, þar sem þörf er á stöðugu grunnafla árið um kring, svo sem fyrir orkufrekan iðnað. Má þar nefna óvenjulegt rekstursöryggi (stöðvarnar eru lítt háðar veðurfarstruflunum, frosti o.s.frv.), og möguleika á lengri nýtingartíma mesta afls, en hægt er að jafnaði að fá í vatnsaflsstöðvum með viðráðanlegum miðlunarmannvirkjum.

Þá er það ekki síður mikilvægt fyrir Íslendinga, að hægt er að fá svo

lágan orkukostnað í tiltölulega litlum stöðvum, sem hægt er að byggja að vild í hæfilegum áföngum í samræmi við vöxt hinnar almennu raforkunotkunar.

Með jarðgufuaflstöðvum er hægt að nýta orkuforðann í jarðgufusvæðum landsins, en þau eru talin geta staðið undir sambærilegri orkuvinnslu og möguleg er í öllum virkjanlegum vatnsföllum landsins.

Með tilliti til ákvarðana um raforkuvirkjanir í framtíðinni er því mjög áriðandi, að byggð verði jarðgufuaflstöð hér á landi hið fyrsta, svo reynsla fáist af rekstri slíkra stöðva við íslenzkar aðstæður.

(1) INNGANGUR

Eftirfarandi álitserð hefur verið samin að ósk raforkumálastjóra. Tildrög hennar eru þau, að á sl. vetri gerði undirritaður nokkrar lauslegar athuganir á möguleikum raforkuvinnslu með notkun jarðgufu í útblástursgufutúrbínunum, en niðurstöður þeirra urðu það jákvæðar, að ástæða þótti til að kanna málið til fullnustu.

Notkun útblásturstúrbína til raforkuvinnslu með jarðgufu hefur verið þekkt í um það bil áratug á Ítalíu. Í sambandi við virkjunarrannsóknir í Hveragerði á vegum Jarðhitadeildar raforkumálastjórnarinnar á árunum 1959 - 62, var þess óskað að ráðgjafaverkfræðingarnir Merz and McLellan í London gerðu áætlun um byggingu 10 MW gufuaflstöðvar með útblásturstúrbínu í Hveragerði, og skiluðu þeir skýrslu um málið [1]. Niðurstöðurnar voru neikvæðar. Megin ástæðurnar til þessa voru þær, að M & McL hugsuðu sér útblástursafstöðina sem fyrsta byggingarskref gufuaflstöðvar, er ynni með eimpéttingu. Með þessu móti varð útblástursstöðin alltof dýr. Þetta olli allmiklum vonbrigðum og varð til þess, að frekari athuganir féllu niður þá.

Við boranir í Hveragerði hafði ekki fengizt hærri hiti í borholu en 230°C, og flestar holurnar voru nokkru kaldari en þetta, eða 180 - 220°C. Við slíkar aðstæður eru útblásturstúrbínur óhagstæðari heldur en þar, sem völ er á hærri hita.

Á síðastliðnu ári fékkst við boranir á Nesjavöllum um 260°C og í Bjarnarflagi við Mývatn um 270 - 275°C hiti í borholum. Ýtti þetta undir, að málið væri tekið til nýrrar könnunar með tilliti til hinna breyttu viðhorfa.

Með bréfi, dags. 10.3.67, vöktum við athygli raforkumálastjóra á þessum nýju viðhorfum og bentum á, að bygging jarðgufuaflstöðvar með útblásturstúrbínunum á Námafjallssvæðinu kynni að vera hagkvæmari lausn á raforkumálum Norður- og Austurlands heldur en vatnsaflsvirkjanir í Laxá eða Lagarfljóti. Samkvæmt ósk raforkumálastjórnarinnar tókum við saman bráðabirgðaáætlun um stofnkostnað útblásturs túrbínustöðva og vinnslukostnað raforku í þeim, dags. 29.3.67. Niðurstaðan varð sú, að miðað við 8.000 klst nýtingu mesta afls á ári mætti vænta þess, að vinnslukostnaður færi ekki yfir 10,9 - 12,3 aur/kWst. Þessi áætlun var byggð á fremur ófullkomnum gögnum.

Í framhaldi af þessu fór undirritaður því að ósk raforkumálastjóra til

Ítalíu í lok apríl mánaðar til þess að kynnast reynslunni af rekstri út-
blásturs jarðgufuaflostöðva þar í landi, og til þess að fá áreiðanlegar
verðupplýsingar um vélar í þær. Skýrsla um ferðina var send raforkumála-
stjóra í bréfi, dags. 3.5.67.

A grundvelli þeirra gagna, sem fengust í ferðinni, og þeirrar reynslu,
sem fyrir liggur, er nú hægt að gera nægilega öruggar áætlanir um byggingar-
kostnað jarðgufuaflostöðva með útblásturstúrbínunum af ýmsum stærðum og vinnslu-
kostnað raforku í þeim, til þess að gera samanburð á slíkum stöðvum og
vatnsaflsstöðvum, og fara þær áætlanir hér á eftir.

(2) RAFORKUVINNSLA MEÐ JARÐGUFU

(2.1) Núverandi orkuver

Raforkuvinnsla með jarðgufu hófst í tilraunaskyni í Larderello á Ítalíu skömmu eftir síðustu aldamót, en vinnsla í stórum stíl hófst á 4. tug aldarinnar. Nú er uppsett afl í 9 stöðvum á Larderellosvæðinu alls 351.6 MW, og á Monte Amiatasvæðinu 17.5 MW eða alls 369.1 MW [2]. Línuritið á mynd (1) sýnir hvernig orkuvinnslan í Larderello hefur þróast á árunum 1948 - 1966 [3].

Á Nýja - Sjálandi var 69 MW jarðgufuaflstöð tekin í notkun í Wairakei árið 1958 og mun síðar hafa verið stækkuð í 180 - 200 MW.

Árið 1960 var jarðgufuaflstöð tekin í notkun í The Geysers Valley í Norður Kaliforníu. Hefur hún verið stækkuð tvisvar sinnum og áformað er, að hún verði að lokum um 100 MW.

Vitað er, að rannsóknir fara nú fram á jarðvarma með raforkuvinnslu fyrir augum í Rúslandi, Tyrklandi, Japan, Chile, El Salvador og víðar, og mun lítil jarðgufuaflstöð þegar hafa verið byggð í Japan.

Samanlagt vélaafl jarðgufuaflstöðvanna er nú rúmlega 500 MW og væntanlega er árleg raforkuvinnsla þeirra yfir 4.000 GWst/ár, þar eð þar eru yfirleitt notaðar sem grunnafllstöðvar.

(2.2) Rekstursegginleikar jarðgufuaflstöðva

Hvarvetna þar sem jarðvarmavinnsla fer fram í stórum mæli og við hinar ólíkustu jarðfræðilegar aðstæður, hefur jarðvarminn reynst sérlega örugg orkulind og hvergi brugðist. Auk reynslunar, sem fyrir liggur á hinum erlendu jarðhitasvæðum, sem nefnd voru að framan, má benda á reynsluna frá Reykjum í Mosfellssveit, en úr því svæði er búið að taka 300 - 350 Mtönn af vatni án þess að neinnar hitalækkunar verði vart.

Afl jarðhitasvæðanna er háð vatnsrennslinu, sem fáanlegt er gegnum þau. Reynslan sýnir, að það virðist mjög litlum sveiflum háð. Í því efni hefur jarðvarminn yfirburði yfir fallvötn, en rennsli þeirra er sem kunnugt er mjög háð úrkomu, auk þess sem frost getur valdið verulegum truflunum, svo sem alkunnugt er hér á landi.

Af þessum sökum er jafnan hægt að nýta vélaafl jarðgufuaflstöðva til fullnustu nema vélabilanir eða viðhald komi til.

Reynslan í Larderello sýnir, að stöðvarnar ganga yfirleitt með fullu álagi í 8.600 - 8.700 klst/ár, og gefið er upp að Larderello No. 3 (120 MW í einni stöð) hafi gengið með fullu álagi 99,1% af tímanum síðan hún var endurbyggð (eftir styrjaldartjón) fyrir 19 árum. Er væntanlega vandfundið nokkuð annað orkuver, er geti sýnt sambærilegt rekstursöryggi.

(2.3) Gerðir jarðgufuaflstöðva

Flestar jarðgufuaflstöðvar, sem byggðar hafa verið, nota túrbínur, er vinna með eimpéttingu við loftþynningu (vacuum) í þétti. Með þessum hætti er hægt að nýta varmann í gufunni niður í um það bil 40°C.

Á síðari árum hafa Ítalir byggt allmargar stöðvar (a.m.k. 6) með útblásturstúrbínum, en þær nýta varmann í gufunni aðeins niður í 100°C. Orkunýting þeirra er því mun lakari heldur en í túrbínum, er vinna með eimpéttingu. Hins vegar hefur það sýnt sig, að sökum þess hve byggingarkostnaður útblástursstöðvanna er lágur og jarðvarminn ódýr, hafa þessar stöðvar verulega lægri orkuvinnslukostnað heldur en hinar.

Hvorki eimpéttingarstöðvarnar né útblástursstöðvarnar nýta orkuna í heita vatninu, er fylgir gufunni frá borholunum. Hafa því komið fram til-
lögur um notkun freontúrbína í jarðvarmaafllstöðvum.

Er þá einkum um tvo möguleika að ræða af mörgum, eins og sýnt er á mynd (2).

- (1) Að nota allt vatn og gufu sem frá borholum kemur til þess að framleiða freon eim.
- (2) Að láta gufuna fara gegnum venjulega útblásturstúrbínu, en nota síðan útblástursgufunna frá henni og allt vatnið frá borholunum til þess að framleiða freon eim.

Hvor leiðin, sem farin er, leiðir til þess, að hægt ætti að vera að nýta varmann úr borholunum jafnvel allt niður að 40°C.

Þegar um vatnsinnstreymi í borholu er að ræða virðist fræðilega hægt að fá tvisvar sinnum meira afl úr hverri borholu með freontúrbínum en hægt er með venjulegum túrbínum og eimpéttingu, og enn fremur að þrefalda til fimmfalda aflíð, sem fæst með útblásturstúrbínum, ef freontúrbínu er bætt við. Þá er athyglisvert að hægt er að byggja slíkar stöðvar í áföngum, setja fyrst upp útblásturstúrbínu, en bæta freontúrbínu við síðar.

Orkuvinnslukostnaður í freontúrbínum verður væntanlega hærri en fánlegur er með útblásturstúrbínum einum, en að svo stöddu verður ekki um það dæmt, og væri æskilegt að sérstök rannsókn færi fram á því máli.

(3) VIRKJUN JARÐGUFU TIL RAFORKUVINNSLU VIÐ NÁMAFJALL

(3.1) Jarðhitasvæðið

Boranir í Bjarnarflagi vestan Námafjalls hafa leitt í ljós, að hægt er að fá mjög háan hita í borholum á þessu svæði, væntanlega a.m.k. 270°C og jafnvel allt að 300°C .

Talið er, að jarðhitasvæðið kunni að vera allt að 20 km frá norðri til suðurs og 5 - 8 km á breidd, þar sem það er breiðast, og að þykkt vatns-gengra berglaga á þessu svæði sé um 2000 m [4].

Miðað við þetta gæti flatarmál háhitasvæðisins verið 70 - 100 km² og hið heita berg, sem er geymir vinnanlegs varmaforða, verið af stærðinni 150 - 200 km³.

Gunnar Böðvarsson [5] hefur áætlað, að úr íslenskum háhitasvæðum megi vinna um 100 MWár/km², og ætti þá Námafjallssvæðið að geta gefið 7.000 - 10.000 MW/ár, þ.e. staðið undir 70 - 100 MW aflfi í 100 ár. Þessar áætlanir eru þó vafalítið mjög varlegar.

Því aðeins kemur umræddur varmaforði að gagni, að hægt sé að fá nægilegt vatnsaðrennsli. Jón Jónsson [4] hefur bent á, að umrætt hitasvæði liggja á sprungubelti, sem rekja megi innan frá jöklum og norður í haf, og telur hann hitasvæðið mjög vel sett í þessu efni.

Til viðbótar vísast um þetta efni til greinargerðar dr. Gunnars Böðvarssonar um rekstursöryggi jarðvarmavinnslu á fylgiskjali (I) með þessari skýrslu og ennfremur greinargerðar hans, þar sem rædd eru ýmis grundvallaratriði varðandi afl og orku jarðhitasvæða á Islandi [8].

Öll benda þessi gögn til þess, að lítil ástæða sé til þess að óttast, að bergið sé of þétt til þess að fá megi nægilegt vatn og gufu með borunum.

(3.2) Vatns- og gufubörf aflstöðva

Gufunotkun túrbínu á afleiningu er háð hitastigi (þrýstingi) gufunnar við inntak. Á mynd (3), efsta línuritinu, er gufunotkun útblásturstúrbína af ýmsum stærðum sýnd við hitastigin 160° , 180° og 200°C [6].

Hiti gufunnar við túrbínu inntak er háður botnhita borholanna og vali

á rekstursprýstingi þeirra. Eins og kunnugt er lækkar heildarrennsli borholanna með vaxandi mótpkýstingi, og gufumagnið, sem fánlegt er, lækkar enn hraðar með hækkanði prýstingi [7]. Á hinn bóginn er nýtanlegt varmafall í túrbínu þeim mun meira sem byrjunarprýstingurinn er hærri, en aflið stendur í beinu hlutfalli við margfeldið af gufustraum og nýtanlegu varmafalli í hverju kg af gufu.

Prýstingurinn er því valinn þannig, að hámarksafl fáiast.

Á mynd (4) er útreiknað línurit, er sýnir mesta afl í kW er fæst fyrir hver 100 kg/sek, er streyma inn í borholu við þann botnhita, sem sýndur er.

Á Námafjallssvæðinu liggur botnhiti væntanlega á milli 250°C og 300°C. Samkvæmt línuritinu mundi hitastig gufu við túrbínu inntak vera á bilinu 180 - 200°C.

Tafla (1) sýnir útreiknaða aðrennslispörf að borholu í kg/sek/MW, miðað við mismunandi botnhita.

TAFLA (1): AÐRENNSLISPÖRF A AFLEININGU

BOTNHITI °C	GUFUHITI °C	KG GUFU	GUFUNOTKUN	NAUÐS. AÐRENNSLI kg/kWh	kg/sek MW
		100 KG AÐ- RENNSLIS	TÚRBÍNU kg/kWst		
250	180	16.0	12.8	80	22.2
260	180	18.5	12.8	69	19.2
270	190	19.1	11.8	62	17.2
280	190	21.6	11.8	55	15.3
290	200	22.5	10.7	48	13.6
300	200	25.4	10.7	42	11.7

Þessi tafla sýnir ljóslega hve aðrennslispörfin er háð botnhita holanna, og er hún við 300°C nærri helmingi lægri en við 250°C. Þetta hefur að sjálf-sögðu mikil áhrif á kostnað við borun og virkjun holanna, og þar með stofn-kostnað aflstöðvar.

(3.3) Nauðsynlegur fjöldi borhola og gerð þeirra

Við áætlun nauðsynlegs borholufjölda verður að styðjast við reynslu, sem fengist hefur annars staðar.

Á árunum 1958 - 61 voru boraðar 8 gufuborholur við Hveragerði, og í öllum tilfellum fékkst árangur. Af sérstökum ástæðum voru 2 borholanna ekki afkastaprófaðar. Hinar 6 borholurnar gáfu samtals 438.5 kg/sek eða til jafnaðar 73 kg/sek/holu við 6 ata mótpkýsting [7]. Hér verður reiknað með því, að við Námafjall fáiast til jafnaðar 70 kg/sek/borholu, enda bendir bráðabirgða mæling á borholu No. III í Bjarnarflagi til þess, að aðstreymi

hennar sé sambærilegt við það, sem fékkst í Hveragerði.

Í töflu (2) er áætlaður nauðsynlegur borholufjöldi fyrir útblásturs gufuaflstöðvar á því botnhitasviði, er ætla má að sé við Námafjall. Eins og taflan ber með sér er í öllum tilfellum reiknað með einni holu til viðbótar því, sem beinar þarfir stöðvarinnar útheimta.

Með þessu móti ætti að vera sæmilega séð fyrir óvissu, sem jafnan er fyrir hendi, þegar boranir eru hafnar á nýju svæði. Taka verður þó fram, að þangað til holurnar hafa verið boraðar, er ekki hægt að útiloka þann möguleika, að óvæntir örðuleikar komi fram. Þetta á þó meira og minna við um alla mannvirkjagerð, og engar sérstakar ástæður eru til þess að óttast slíkt hér frekar en í öðrum tilvikum. Samkvæmt þeirri reynslu, er fyrir liggur, verður að gera ráð fyrir að borholur séu um 1.000 m djúpar og fódraðar með 225 - 250 mm viðri stálpípu niður í örugg berglög á um 750 m dýpi.

(3.4) Lengd aðveituæða og borholubúnaðar

Að svo stöddu verður að áætla lengd aðveituæða út frá líkum, og fara þær einkum eftir (1) fjarlægð milli borhola og (2) fjarlægð stöðvarhúss frá borholum. Æskilegt er, að borholur séu sem þéttast, en þó þarf að forðast, að þær taki vatn hver frá annarri. Samkvæmt reynslu í Hveragerði þykir ekki ráðlegt að áætla skemmri fjarlægð milli einstakra vinnsluhola en 200 m. Stöðvarhús útblásturs túrbínustöðva eru ekki meiri mannvirki en það, að litlum vandkvæðum er bundið að staðsetja þau sem næst að vild.

Hér verður gert ráð fyrir, að staðsetning borhola yrði skipulögð í líkingu við það, sem sýnt er á mynd (5).

Við hverja borholu yrði gufuskilja, er greinir vatnið frá gufunni. Fyrst um sinn yrði vatninu fleygt og aðeins gufan leidd að stöðinni. Hugsanlega þarf að leiða borholuvatnið á einn stað, ekki sízt til þess að draga úr hávaða, sem annars gæti verið samfara útblæstri þess.

(3.5) Stöðvarhús

Stöðvarhús væri hægt að byggja úr strengjasteypu plötum, og þarf það að hafa brautir fyrir krana, er gæti lyft 10 - 12 tonnum fyrir stöðvar af 6 - 10 MW stærð. Stærð hússins er sem næst hin sama fyrir þessa stærð af stöðvum, um 15 m að lengd, 6 - 7 m að breidd og 6 - 7 m að hæð. Stöðvarkrani getur verið einfaldur að gerð, og nægir að nota handknúða "krafttaliu" til lyftinga.

A stöðvarhúsgaflri þurfa að vera stórar dyr fyrir vélar og göngudyr.

Undirstöður aflvéla verða úr steinsteypu og mjög einfaldar að gerð.

TAFLA (2): NAUDSYNLEGUR FJÖLDI BORHOLA

BOTN- HITI	5 MW		6 MW		8 MW		10 MW		15 MW	
	ADRENNSLI kg/sek	HOLUFJÖLDI stk.	ADRENNSLI kg/sek	HOLUFJÖLDI stk.	ADRENNSLI kg/sek	HOLUFJÖLDI stk.	ADRENNSLI kg/sek	HOLUFJÖLDI stk.	ADRENNSLI kg/sek	HOLUFJÖLDI stk.
250	112	2+1=3	133	2+1=3	178	3+1=4	222	3+1=4	333	5+1=6
260	96	2+1=3	115	2+1=3	154	3+1=4	192	3+1=4	288	5+1=6
270	86	1+1=2	106	2+1=3	138	2+1=3	172	3+1=4	258	4+1=5
280	77	1+1=2	92	2+1=3	122	2+1=3	153	3+1=4	230	4+1=5
290	68	1+1=2	82	1+1=2	109	2+1=3	136	2+1=3	204	3+1=4
300	59	1+1=2	70	1+1=2	94	2+1=3	117	2+1=3	175	3+1=4

(3.6) Aflvélar

Útblásturstúrbínur með 4 MW afli eða minna mundu vera hraðgengar og tengdar rafal með tannhjólakassa (gear) og hafa einstreymi (single flow).

Ef túrbínur eru 5 MW eða stærri, mundu þær vera beint tengdar rafal og ganga með hraðanum 3.000 s/mín. Gufan yrði leidd að miðju vélarinnar og mundi streyma til beggja handa (double flow).

A mynd (3) eru sýnd verð á túrbínunum, og túrbínu + rafal, fob. meginlandshöfn, miðað við mismunandi afl og mismunandi gufuhita. Í þessu eru innifaldar allar hjálparvélar, svo sem olíudæla, olíukælir, mæla samstæður og töflur.

Allar hjálparvélar verða knúðar af aðalvél nema smáhreyflar, sem notaðir eru með fjarstýringu til þess að stilla gangráð og aðaloka fyrir gufu. Þeir yrðu knúðir frá rafhlöðum.

Til kælingar á smurolíu og rafal yrði notað loft, sem dregið væri inn með blásara eða spöðum á rafalöxli og fyrst látið fara gegnum olíukælirinn en síðan gegnum rafalinn. Með þessu móti er ekki um aðra eiginnotkun raforku að ræða í stöðinni en til ljósa.

Útblástursgufa frá túrbínunum yrði leidd í gufuháf, er stæði utan stöðvarbyggingarinnar. Hann yrði byggður úr stálplötum og þyrfti væntanlega að vera 10 - 12 m á hæð.

(3.7) Stjórnun

Útblástursgufuaflostöðvar þurfa ekki daglega gæzlu. Ætti skv. reynslu á Ítalíu að vera nægilegt að farið væri í eftirlitsferð til stöðvanna einu sinni til tvisvar í viku.

Stöðinni yrði að öðru leyti fjarstýrt, og væri hægt að koma stjórn-tækjum fyrir í vatnsaflstöðvum við Laxá eða annars staðar, þar sem hentugt þætti.

(3.8) Staðarval

Hætt er við að nokkur hávaði verði þar, sem vatni frá borholum er hleypt út, nema gerðar verði ráðstafanir til þess að deyfa hann. Af þessum sökum m.a. væri væntanlega æskilegast að velja stöðinni stað austan Námafjalls.

(4) KOSTNADARAETLANIR

(4.1) Almenn atriði

Hinn 29. marz sl. gerði undirritaður mjög lauslega áætlun um stofn- og reksturskostnað jarðgufuaflostöðva við Námafjall, og var þar miðað við 5 MW einingar. Athuganir þessar voru byggðar á ófullkomnum gögnum og þótti því ekki fært annað en hafa allar áætlanir mjög varlegar til þess að vekja ekki óréttmætar vonir.

Nú liggja hins vegar fyrir nýjar og áreiðanlegar upplýsingar um verð véla og flestra annarra mannvirkja, svo og nýjar heimildir um endingartíma og rekstursöryggi jarðgufuaflostöðva, er höfundur aflaði á Ítalíu í apríl lok. Er því nú hægt að gera miklu öruggari áætlanir og jafnframt að gera sér tölulega grein fyrir óvissunni, sem fylgir einstökum kostnaðarliðum, og þar með áætlunum í heild.

Þess ber sérstaklega að geta, að í fyrri áætlun var afskriftatími borhola miðaður við 10 ár. Að mati höfundar er þetta óþörf varkárni með tilliti til þeirrar reynslu, sem fyrir liggur, og er því hér miðað við 15 ára afskriftatíma. Afskriftir á 10 árum mundu hækka orkuvinnslu kostnaðinn um 6 - 7,5% eða 0,3 - 0,8 aur/kWst. Sömuleiðis virðist fullkomlega réttmætt að miða afskriftatíma annarra mannvirkja við 25 ár í stað 20 ára í fyrri áætlun.

Byggingarkostnaður gufuaflostöðva er háður bæði stærð stöðvanna og botnhita borholanna á svæðinu, sem notað er til gufuvinnslu.

Við Námafjall er þess vænst, að botnhiti liggi á bilinu 250 - 300°C, og ekki er vitað enn hvaða stærð af aflstöð hentar best eins og stendur. Hins vegar er hægt að velja stöðvarstærðina að vild miðað við væntanlegar álagsþarfir.

Með tilliti til þessa verða kostnaðaráætlanir miðaðar við 5 stærðir aflstöðva, 5, 6, 8, 10, og 15 MW, og mismunandi botnhita 250 - 260°C 270 - 280°C og 290 - 300°C.

(4.2) Forsendur stofnkostnaðaráætlana

Hér verður sýnt hvernig aðalliðir stofnkostnaðaráætlunar eru fundnir:

(4.21) Borholur

Borkostnaður 1.000 m á 2.000 kr/m	2.00 Mkr
Fóðring borholu ϕ 250 mm, 750 m á 550/-	0.41 "
Prófanir og mælingar	<u>0.09 "</u>
<u>SAMTALS</u>	<u>2.50 Mkr</u>

(4.22) Borholubúnaður

Gufuskilja uppsett (tilboðsverð)	0.20 Mkr
Búnaður vegna afgangsvatns	<u>0.20 "</u>
<u>SAMTALS</u>	<u>0.40 Mkr</u>

(4.23) Gufuæðar

Sjá mynd (5).

2 Borholur:	400 m ϕ 250 mm á 3.400 kr/m	=	<u>1.36 Mkr</u>
3 "	600 " " " " " " " "	=	<u>2.04 Mkr</u>
4 "	1.000 " " " " " " " "	=	<u>3.40 Mkr</u>
5 "	1.400 " " " " " " " "	=	<u>4.80 Mkr</u>
6 "	1.800 " " " " " " " "	=	<u>6.10 Mkr</u>

(4.24) Stöðvarhús

Verðupplýsingar eru m.a. frá Byggingariðjunni h/f.

Jarðvinna og grunnur	0.16 Mkr
Stöðvarhús uppsett	0.66 "
Stöðvarkrani	0.30 "
Frágangur lóðar, girðing o.fl.	<u>0.18 "</u>
<u>SAMTALS</u>	<u>1.30 Mkr</u>

(4.25) Aflvélar og búnaður í stöð

Verð (fob) á vélum (túrbínu, rafal, töflu, kælibúnaði og aðal-
lokum) skv. bréfi F. Tosi, 28.4.1967, nema 5 og 15 MW.

Aðflutningsgjöld á vélum eru ekki tekin með.

Afl véla	MW	5	6	8	10	15
250/260°C:						
Fob verð	Mkr	8.01	8.75	9.75	10.55	12.90
Farmgjöld	"	0.10	0.10	0.11	0.12	0.15
Vátrygging	"	0.09	0.09	0.10	0.11	0.15
<u>SAMTALS</u>	<u>Mkr</u>	<u>8.20</u>	<u>8.94</u>	<u>9.96</u>	<u>10.78</u>	<u>13.20</u>
270/280°C:						
Fob verð	Mkr	7.71	8.48	9.45	10.20	12.50
Farmgjöld	"	0.10	0.10	0.11	0.12	0.15
Vátrygging	"	0.09	0.09	0.10	0.10	0.15
<u>SAMTALS</u>	<u>Mkr</u>	<u>7.90</u>	<u>8.67</u>	<u>9.66</u>	<u>10.42</u>	<u>12.80</u>
290/300°C:						
Fob verð	Mkr	7.50	8.20	9.15	9.85	12.08
Farmgjöld	"	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12
Vátrygging	"	0.07	0.08	0.09	0.10	0.10
<u>SAMTALS</u>	<u>Mkr</u>	<u>7.65</u>	<u>8.37</u>	<u>9.34</u>	<u>10.06</u>	<u>12.30</u>

Verð 5 og 15 MW vélasamstæðna eru áætluð með "extrapolation".

(4.26) Vélaundirstöður, uppsetning o.fl.

Afl stöðvar	MW	5	6	8	10	15
Vélaundirst.	Mkr	0.16	0.16	0.18	0.20	0.25
Uppsetning og prófanir	"	0.65	0.65	0.65	0.65	0.70
Gufuháfur	"	0.14	0.14	0.15	0.16	0.20
Fjarstýrikerfi	"	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
<u>SAMTALS</u>	<u>Mkr</u>	<u>1.20</u>	<u>1.20</u>	<u>1.23</u>	<u>1.26</u>	<u>1.40</u>

(4.3) Áætlun stofnkostnaðar og fjárþarfar

I töflu (3) hér á eftir er samandregin áætlun um stofnkostnað og fjárþörf jarðgufuaflostöðva af umræddum 5 stærðum og miðað við mismunandi botnhita á jarðhitasvæðinu.

Mismunur fjárþarfar og stofnkostnaðar er vaxtatap á byggingatíma, sem sett er 10%.

(4.4) Óvissa einstakra kostnaðarliða og niðurstöðu áætlanna

Hér er rétt að gera nánar grein fyrir óvissu, sem bundin kann að vera einstökum kostnaðarliðum.

(4.41) Borholur

Borkostnaðurinn er nálægt 30% af heildarkostnaðinum. Þessi kostnaðarliður er og óvissastur. Bæði getur borkostnaður verið nokkuð breytilegur frá holu til holu á sama svæði, og auk þess er sú hættja jafnan fyrir hendi fyrirfram, að holur verði þurrar. Hér ætti að vera nægilegt að gera ráð fyrir $\pm 25\%$ breytileika á borkostnaðinum, og ef marka má reynsluna frá öðrum jarðgufusvæðum, ætti að vera vel í lagt að reikna með einni þurri borholu á stöð. Þetta síðara hefur þegar verið gert við ákvörðun nauðsynlegs borholufjöldi sbr. töflu (2) að framan.

Óvissan á borkostnaði í áætlunum ætti því ekki að vera meiri en $\pm 25\%$.

(4.42) Borholubúnaður

Hér er, hvað smíði og uppsetningu gufuskilju áhrærir, notað nýtt tilboðsverð (maí 1967) á samskonar skiljubúnaði fyrir gufuveituna að Kísilgúrverksmiðjunni. Meðferð afgangsvatns er óvissari að svo stöddu, en eftir atvikum virðist nægilegt að reikna með $\pm 10\%$ óvissu á þessum lið.

(4.43) Gufuæðar

Hér er miðað við nýtt tilboð (maí 1967) í æðar af sömu vídd og gerð fyrir gufuveitu að Kísilgúrverksmiðju. Hæfilegt þykir að reikna með $\pm 10\%$ óvissu á þessum lið.

(4.44) Stöðvarhús

Hér er farið eftir áætlun fyrirtækis, er framleiðir og setur slík hús saman. Aðal óvissan hér ætti að varða jarðvinnu og grunn. Hæfilegt þykir að reikna með $\pm 10\%$ óvissu á heildarkostnaðinum.

(4.45) Aflvélar

Hér er einnig farið eftir nýjum verðupplýsingum vélaframleiðanda, er hefur smíðað margar slíkar vélar. Hér ætti að vera nægilegt að reikna með $\pm 5\%$ óvissu.

TAFLA (3): ÆTLUN UM STOFNKOSTNAÐ OG FJÁRÞÓRF VEGNA BYGGINGAR ÚTBLÁSTURS GUFUAFLESTÖÐVA

BOTNHITI	°C	250/260					270/280					290/300					
		MW	5	6	8	10	15	5	6	8	10	15	5	6	8	10	15
(1) Borholur	Mkr	7.50	7.50	10.00	10.00	15.00	5.00	7.50	7.50	10.00	12.50	5.00	5.00	7.50	7.50	10.00	10.00
(2) Borholubúnaður	"	1.20	1.20	1.60	1.60	2.40	0.80	1.20	1.20	1.60	2.00	0.80	0.80	1.20	1.20	1.60	1.60
(3) Gufuæðar	"	2.04	2.04	3.40	3.40	6.10	1.36	2.04	2.04	3.40	4.80	1.36	1.36	2.04	2.04	3.40	3.40
(4) Stöðvarhús	"	1.30	1.30	1.30	1.30	1.50	1.30	1.30	1.30	1.30	1.50	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.50
(5) Afl vélar	"	8.20	8.94	9.96	10.78	13.20	7.90	8.67	9.66	10.42	12.80	7.65	8.37	9.34	10.06	12.30	12.30
(6) Vélaundirstöður, uppsetn. o.fl.	"	1.20	1.20	1.23	1.26	1.40	1.20	1.20	1.23	1.26	1.40	1.20	1.20	1.23	1.26	1.40	1.40
GRUNNKOSTNAÐUR	Mkr	21.44	22.18	27.49	28.34	39.60	17.56	21.91	22.93	27.98	35.00	17.31	18.03	22.61	23.36	30.20	30.20
(7) Öfyrirséð um 18%	"	3.93	4.08	5.14	5.31	7.56	3.15	4.03	4.23	5.24	6.60	3.10	3.25	4.16	4.31	5.68	5.68
BEINN KOSTNAÐUR	Mkr	25.37	26.26	32.63	33.65	47.16	20.71	25.94	27.16	33.22	41.60	20.41	21.28	26.77	27.67	35.88	35.88
(8) Verkfr. & eftirlit 8%	"	2.03	2.11	2.61	2.69	3.77	1.66	2.08	2.17	2.66	3.33	1.64	1.70	2.14	2.22	2.87	2.87
STOFNKOSTNAÐUR	Mkr	27.40	28.37	35.24	36.34	50.93	22.37	28.02	29.33	35.88	44.93	22.05	22.98	28.91	29.89	38.75	38.75
(9) Vaxtatap í byggingu 10%	Mkr	2.74	2.84	3.52	3.63	5.09	2.24	2.80	2.93	3.59	4.49	2.21	2.30	2.89	2.99	3.88	3.88
FJÁRÞÓRF	Mkr	30.14	31.21	38.76	39.97	56.02	24.61	30.82	32.26	39.47	49.42	24.26	25.28	31.80	32.88	42.63	42.63
STOFNKOSTN. A AFLEININGU	kr/kW	5480	4720	4410	3630	3400	4470	4680	3670	3590	3000	4410	3830	3620	2990	2580	2580
FJÁRÞÓRF	"	6030	5200	4840	4000	3740	4930	5140	4040	3950	3290	4850	4220	3980	3290	2840	2840

(4.46) Vélaundirstöður, uppsetning véla o.fl.

Hér er að verulegu leyti um áætlunartölur að ræða, og þykir því rétt að reikna með ± 20% óvissu.

Samkvæmt framanrituðu mati ætti meðalskekkja é áætlun grunnkostnaðar í töflu (3) að vera þessi, ef miðað er t.d. við 8 MW stöð og 250/260°C botnhita:

$$\frac{\Delta K}{K} \cdot 100 = \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 + \dots}}{K} \cdot 100$$

$$= \frac{\frac{\Delta K}{K} \cdot 100}{\sqrt{(0,25 \cdot 10,0)^2 + (0,10 \cdot 1,6)^2 + (0,10 \cdot 5,4)^2 + (0,10 \cdot 1,3)^2 + (0,05 \cdot 9,96)^2 + (0,20 \cdot 1,23)^2}} \cdot 100$$
$$= \pm 9,0\%$$

Fyrir aðrar tilhaganir má reikna óvissuna á samsvarandi hátt.

Samkvæmt þessu virðast möguleikar skekkjur í áætlun eiga að liggja innan við ± 10%.

Þá er rétt að benda á það, að ætlað er um 18% fyrir ófyrirséðum kostnaði í áætluninni til frekara öryggis. Þetta álag er haft svo hátt, vegna þess að stöðvarstaði hefur ekki verið valið, og tilraunaboranir hafa enn ekki verið gerðar á byggingarstað.

Á mynd (6) er sýnt hvernig ætla má að stofnkostnaður útblástursstöðva og stofnkostnaður á afleiningu breytist eftir botnhita borholu og stöðvarstærð. Dreifing punktanna skv. töflu (3) er nokkur og stendur aðallega í sambandi við ákvörðun borholufjöldans.

(4.5) Árlegur reksturskostnaður, orkukostnaður

Í töflum (4) og (5) hér á eftir eru áætlanir um árlegann reksturskostnað stöðvanna og miðað við 8% og 6% ársvexti af fjármagni. Fjármagnskostnaður er miðaður við stofnkostnað í töflu (3).

Til skýringar á þeim sjónarmiðum, sem liggja til grundvallar reksturskostnaðar áætlunum, skal eftirfarandi tekið fram:

(4.51) Afskriftatímar

Í öllum tilfellum er miðað við "annuitets"afskriftir. Afskriftatími er ákvarðaður með hliðsjón af líklegum endingar tíma mannvirkja samkvæmt reynslu annars staðar.

Talið er að gufuborholur endist til vinnslu í 20 - 25 ár á Ítalíu. Í Kaliforníu eru í notkun gufuborholur, sem hafa blásið stöðugt

TAFLA (4): ÁRLEGUR REKSTURSKOSTNAÐUR OG ORKUKOSTNAÐUR ÚTBLÁSTURS GUFUAFLLSTÖÐVA, ÁRSVEXTIR 8%

AFL STÖÐVAR	MW	5	6	8	10	15										
BOTNHITI	°C	250/260	270/280	290/300	250/260	270/280	290/300	250/260	270/280	290/300						
(1) FJÁRMAGNSKOSTNAÐUR																
(1.1) Borholur, 8%, 15 ár 11,68% p.a.	Mkr/ár	1.02	0.76	0.76	1.02	0.76	1.02	1.51	1.02	1.02	1.51	1.70	2.04	2.95	2.67	2.42
(1.2) Önnur mannvirki 8%, 25 ár, 9,37% p.a.	"	1.65	1.49	1.46	1.84	1.82	1.55	2.09	1.93	1.89	2.15	1.98	2.19	2.95	2.67	2.42
(2) VIÐHALD																
(2.1) Borholur	"	0.30	0.20	0.20	0.30	0.30	0.20	0.40	0.30	0.30	0.40	0.30	0.40	0.60	0.50	0.40
(2.2) Önnur mannvirki 8%	"	0.53	0.48	0.47	0.59	0.58	0.50	0.67	0.62	0.61	0.70	0.63	0.70	0.95	0.86	0.77
(3) STJÖRN, EFTIRLIT OG ALMENNUR KOSTNAÐUR	"	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
(4) VARASJÓÐUR OG HITARETTINDI 10%	"	0.40	0.34	0.34	0.43	0.42	0.35	0.55	0.44	0.43	0.56	0.44	0.70	0.62	0.56	0.56
SAMTALS	Mkr/ár	4.40	3.77	3.73	4.68	4.64	3.86	5.72	4.81	4.75	5.86	4.87	7.74	6.85	6.16	6.16

ORKUVINNSLUKOSTNAÐUR :

NÝTINGARTÍMI MESTA AFLS

(1) 8000 kist/ár

(2) 8650 "

TAFLA (5): ÁRLEGUR REKSTURSKOSTNAÐUR OG ORKUKOSTNAÐUR ÚTBLÁSTURS GUFUAFLLSTÖÐVA, ÁRSVEXTIR 6%

AFL STÖÐVAR	MW	5	6	8	10	15										
BOTNHITI	°C	250/260	270/280	290/300	250/260	270/280	290/300	250/260	270/280	290/300						
(1) FJÁRMAGNSKOSTNAÐUR																
(1.1) Borholur, 6%, 15 ár 10,30% p.a.	Mkr/ár	0.98	0.65	0.65	0.98	0.98	0.73	1.46	0.98	0.98	1.46	0.98	1.96	1.63	1.30	1.30
(1.2) Önnur mannvirki 6%, 25 ár, 7,82% p.a.	"	1.38	1.24	1.22	1.53	1.52	1.30	1.74	1.61	1.58	1.83	1.65	2.46	2.23	2.02	2.02
(2) VIÐHALD																
(2.1) Borholur	"	0.30	0.20	0.20	0.30	0.30	0.20	0.40	0.30	0.30	0.40	0.30	0.40	0.60	0.50	0.40
(2.2) Önnur mannvirki	"	0.53	0.48	0.47	0.59	0.58	0.50	0.67	0.62	0.61	0.70	0.63	0.70	0.95	0.86	0.78
(3) STJÖRN, EFTIRLIT OG ALMENNUR KOSTNAÐUR	"	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
(4) VARASJÓÐUR OG HITARETTINDI 10%	"	0.37	0.31	0.30	0.39	0.39	0.32	0.51	0.40	0.40	0.52	0.41	0.65	0.57	0.50	0.50
SAMTALS	Mkr/ár	4.06	3.38	3.34	4.29	4.27	3.55	5.28	4.41	4.37	5.41	4.47	7.12	6.29	5.50	5.50

ORKUVINNSLUKOSTNAÐUR :

NÝTINGARTÍMI MESTA AFLS

(1) 8000 kist/ár

(2) 8650 "

í rúm 40 ár. Borholur, sem virkjaðar eru á Nýja-Sjálandi, hafa verið boraðar á síðustu 10 - 15 árum, og liggur þar ekki lengri reynsla fyrir, svo vitað sé.

Hér á landi eru tvær gufuborholur, sem blásið hafa um eða yfir 20 ár, í Reykjakoti við Hveragerði og í Krísuvík.

Með tilliti til þessa þykir nú fullkomlega verjanlegt að miða við 15 ára afskriftatíma, enda þótt miðað hafi verið við 10 ár í fyrri áætlunum.

Lengsta reynsla á endingu jarðgufuleiðsla og jarðgufutúrbína er á Ítalíu, og eru aðstæður þar hvað snertir tæringu fremur örðugar miðað við það, sem annars staðar þekkist. Í notkun munu vera 20 - 30 ára gamlar gufuleiðslur, og í aflstöðvunum hafa margar vélanna þegar verið í notkun í tæp 20 ár. Talið er, að þessar vélar geti gengið 20 - 30 ár ennþá [2] nema sérstök slys komi fyrir.

Miðað við þetta er talið réttmætt að reikna hér með 25 ára afskriftatíma á öðrum mannvirkjum en borholum.

(4.52) Viðhald

Viðhald borhola í venjulegum skilningi tekur aðeins til þeirra mannvirkja, er ná upp úr jörðu, þ.e. efsta hluta fóðringar og aðalloka.

Hins vegar hefur reynsla sýnt, að í sumum borholum hér á landi á sér stað kalkútfelling í efstu 100 m holanna. Þetta kemur þó ekki fyrir í öllum borholum. Til dæmis hefur hola No. I í Bjarnarflagi við Námafjall blásið stöðugt í um 4 ár án þess að stíflun hafi átt sér stað.

Þessar útfellingar geta valdið stíflum, en mjög auðvelt er að hreinsa þær burt. Borholur Hitaveitu Hveragerðis t.d. eru hreinsaðar af þessum sökum 1 - 2 sinnum á ári, og kostar hver hreinsun 20 - 30 þús. kr.

Hér er reiknað með, að árlegt viðhald kosti 100 þús kr/borholu/ár, og ætti þar að vera vel í lagt.

Hvað snertir önnur mannvirki, þá er venjulegt að reikna viðhaldskostnað af vélum og pípulögnum 2% á ári. Þess er að vænta, að viðhaldskostnaður mannvirkja undir beru lofti á jarðhitasvæði verði nokkru hærri. Þykir því hæfilegt að áætla árlegann viðhaldskostnað annarra mannvirkja en borholanna 3% á ári.

(4.53) Stjórn, gæzla og almennur kostnaður

Hér er í öllum tilfellum reiknað með 0,5 Mkr/ári. Er talið, að þetta sé nægilegt sökum þess, að útblástursstöðvarnar þurfa mjög litla gæzlu, eins og fram hefur komið hér að framan.

(4.54) Varasjóður og hitaréttindi

Eins og vatnsaflstöðvar þurfa að jafnaði að greiða fyrir vatnsréttindi á einhvern hátt, þykir eðlilegt að sambærilegrar greiðslu sé að vænta fyrir afnot hitaréttinda. Hér er ekki gerð tilraun til þess að meta hitaréttindin, heldur reiknað með framlagi vegna varasjóðs og hitaréttinda, er nemi um 10% af öðrum reksturskostnaði. Um hæð þessa framlags má auðvitað deila.

Línuritín á mynd (7) sýna, hvernig orkukostnaður 5, 10 og 15 MW jarðgufuaflstöðva breytist eftir árlegum nýtingartíma mesta afls á því botnhitasviði, sem vænst er að fáist á Námafjallssvæðinu. Til samanburðar er sýndur áætlaður orkukostnaður frá 22.8 MW vatnsaflsvirkjun í Gljúfurverri í Laxá í Þingeyjarsýslu.

(5) NIDURSTÖÐUR

Aætlanirnar í kafla (4) leiða í ljós, að stofnkostnaður útblásturs jarðgufuaflstöðva við þær aðstæður, sem vænta má við Námafjall, er sérlega hagstæður. Stofnkostnaður á afleiningu virðist verða eins og sýnt er í töflu (6).

TAFLA (6): STOFNKOSTNAÐUR Á AFLEININGU Í JARÐGUFUAFLSTÖÐVUM VIÐ NÁMAFJALL

AFL STÖÐVAR	STOFNKOSTNAÐUR
MW	kr/kW
5	4400 - 5500
6	3800 - 4700
8	3700 - 4400
10	3000 - 3600
15	2600 - 3400

Stofnkostnaður á afleiningu er miklu hærri en þetta í vatnsaflstöðvum, væntanlega ekki undir 8.000 kr/kW við hagstæðustu virkjunar aðstæður í stórvirkjunum. Gastúrbínustöðvar eru væntanlega einu aflstöðvarnar, sem hafa samþærilegann stofnkostnað við jarðgufuaflstöðvarnar.

Orkukostnaður jarðgufuaflstöðvanna er einnig alveg óvenjulega lágur, eins og sýnt er í töflu (7).

TAFLA (7): ORKUKOSTNAÐUR JARÐGUFUAFLSTÖÐVA VIÐ NÁMAFJALL, 8% ÁRSVEXTIR

AFL STÖÐVAR	ORKUKOSTNAÐUR VIÐ	
	ÁRLEGANN NÝTINGARTÍMA:	
MW	8000 klst aur/kWst	8650 klst aur/kWst
5	9,3 - 11,0	8,6 - 10,2
6	8,1 - 9,8	7,4 - 9,0
8	7,4 - 8,9	6,9 - 8,3
10	6,1 - 7,3	5,6 - 6,8
15	5,1 - 6,5	4,8 - 6,0

Aðeins hagstæðar vatnsaflsvirkjanir hafa sambærilegan orkukostnað við minni jarðgufuaflstöðvarnar, og mun vandfundin nokkur önnur tegund aflstöðva, er hefur sambærilegan orkukostnað við stærri stöðvarnar.

Miðað við reynslu annars staðar eiga jarðgufuaflstöðvar að geta nýtt mesta afl í um 8600 - 8700 klst/ár. Svo háum nýtingartíma mun erfitt að ná í vatnsaflsstöðvum með viðráðanlegum vatnsmiðlunar mannvirkjum.

Eigi að fullnægja þörfum notenda, er þurfa á mikilli og stöðugri orku að halda, - eins og orkufrekur iðnaður (sbr. t.d. álbræðsla) -, þá verður naumast komizt hjá að sjá vatnsaflsstöðvum fyrir varaafli á annan hátt. Þegar borin er saman stofnkostnaður vatnsaflstöðva og jarðgufuaflstöðva, þarf að hafa þetta í huga.

Framangreindar niðurstöður benda til þess, að virkjun jarðgufu sé í flestum tilfellum hagkvæmari en virkjun vatnsafls, sé hægt að ná 250°C eða hærri botnhita á jarðgufusvæðunum.

Rekstursöryggi jarðgufuaflstöðva, hinn langi árlegi nýtingartími mesta afls, sem þær gera mögulegann, og hið óvenjulega lága orkuverð, sem fánlegt er í 10 - 15 MW stöðvum, býður alveg óvenjuleg skilyrði hér á landi til þess að framleiða raforku fyrir orkufrekann iðnað. Á hinn bóginn henta jarðgufuaflstöðvarnar mjög vel til þess að fullnægja hinni almennu orkuþörf landsmanna, þar sem hægt er að byggja þær í áföngum, sem sniðnir eru eftir álagsvextinum, með lágmarks fjárfestingu og lágum orkukostnaði.

Þegar á þetta er litið verður að teljast æskilegt að byggja jarðgufuaflstöð hér á landi við fyrresta tækifæri, til þess að fá reynslu af rekstri hennar við innlendar aðstæður, er hægt sé að styðjast við, þegar ákvarðanir verða teknar um virkjanir í framtíðinni.

Þar sem nú stendur til að byggja orkuver fyrir Norður- og Austurland, kemur virkjun jarðgufu við Námafjall því mjög til greina, og hafa áætlanirnar að framan verið miðaðar við það.

Byggingartími jarðgufuaflstöðvar fer aðallega eftir tvennu, tímanum, sem boranir og prófanir borhola taka, og afhendingartíma aflvélasamstæða. Afhendingartími fyrir túrbínu-rafal samstæðu er nú um 18 mánuðir, skv. upplýsingum framleiðanda.

Ef boranir væru gerðar við Námafjall sumarið og haustið 1967, ætti nægileg vitneskja að liggja fyrir, til þess að hægt væri að taka ákvörðun um virkjun fyrir áramót 1967/1968, og væru samningar um kaup aðalvéla gerðir í ársbyrjun 1968, gæti stöðin verið tilbúin til notkunar haustið 1969.

Þessi framkvæmdáætlun er háð því, að a.m.k. 2 borholur væru gerðar á þessu sumri. Boranir geta ekki farið fram þarna nema að sumri og fram eftir

(6) HEIMILDASKRÁ

- [1] Merz and McLellan: Supplementary Report on 10 MW Non-Condensing Geothermal Power Station at Hveragerði, London, Dec. 1961.
- [2] Vermir s/f: Bréf til raforkumálastjóra, dags. 3.5.1967.
- [3] Power from the Earth, C. E. G., Rome, og eigin athugun höfundar.
- [4] Sveinn S. Einarsson og Jón Jónsson: Rekstursöryggi jarðgufuaflstöðva, Raforkumálastjóri, apríl 1967.
- [5] Gunnar Böðvarsson: An Appraisal of the Potentialities of Geothermal Resources in Iceland, Sixth World Power Conference, Melbourne 1962, TVFI No. 5, 1963.
- [6] Bréf Franco Tosi S.p.a. 28.4.67 til Vermis s/f.
- [7] Sveinn S. Einarsson: Proposed 15 MW Geothermal Power Station at Hveragerði, Iceland, U. N. Conference on New Sources of Energy, Rome 1961.
- [8] Gunnar Böðvarsson: A Memorandum on the Natural Heat Resources in the Hengill Thermal Area (óprentuð skýrsla í vörslu Vermis s/f).

REKSTRARÖRYGGI JARÐVARMVINNSLU

I hjálagðri greinargerð [8], sem tekin var saman fyrir norræna samvinnunefnd um vinnslu þungs vatns á Hengilsvæðinu, er rætt nokkuð um þau grundvallarsjónarmið, sem undirritaður telur máli skipta við áætlanir um afl og orku jarðhitasvæða. Til viðbótar þessari greinargerð skal eftirfarandi tekið fram:

(1) Orkumagn háhitasvæða virðist nægilegt til reksturs þeirra mannvirkja, sem yfirleitt kemur til mála að reka með jarðvarma. Orkan er því ekki takmarkandi atriði.

(2) Vatnsleiðni berglaga og tiltækt vatnsrennsli ræður afli jarðhitasvæða. Það er öllu erfiðara að gera áætlanir um tiltækt rennsli, og segja má, að reynslan ein geti hér skorið úr. Gera verður því nægar tilraunaboranir til þess að kanna aflhvers svæðis. Þetta hefur verið grundvallarregla.

(3) Reynsla af virkjuðum jarðhitasvæðum um allan heim hefur yfirleitt verið ágæt. Hvergi hefur rýrmun borhola eða vatnspurrð valdið neinum vanda. Skal hér á það bent, að Ítalir hafa nú rekið aflstöðvar með um og yfir 300 MW afli á jarðhitasvæðum í Toscana í áratugi. Þeir hafa ekki orðið fyrir neinum skakkaföllum. Úrkoma í Toscana er öllu minni en á Islandi, og berg þar yfirleitt þéttara en hér gerizt. Sama má segja um svæðin í norðurhluta Kalíformíuríkis í Bandaríkjunum. Reynslan á Nýja-Sjálandi hefur og verið ágæt, en aðstæður eru þar tiltölulega hagstæðar. Úrkoma þar er litlu meiri en hér á landi, en vafamál hvort grunnberg þar sé vatnsgengara en hér gerist.

Þá ber að sjálfsögðu að benda á reynslu Hitaveitu Reykjavíkur, og er óþarft að ræða hana. Reykjasvæðið hefur nú verið í notkun í nær 25 ár.

(4) Af ýmsum tæknilegum ástæðum er ekki hægt að taka undir þá tilgátu, að vatnsaðrennsli að háhitasvæðum á Islandi sé tregt. Í fyrsta lagi skal á það bent, að það er meginregla á Islandi, að hverir eru því vatnsmeiri sem þeir eru heitari. Þetta stingur algerlega í stúf við umrædda tilgátu. Frá þessu er greint í grein, sem undirritaður ritaði í TVFÍ 1948. (Greinin er rituð með þeim Jakobi Gíslasyni, raforkumálastjóra, og Steingrími Jónssyni, rafmagnsstjóra). Þá skal sérstaklega á það bent, að verulegar boranir eftir jarðgufu hafa aðeins verið gerðar á einu háhitasvæði á Islandi, þ.e. á Hengilsvæðinu. Á Ölfusdal eru nú um 8 gufuholur, sem allar gefa gufu, og virðist vatnsleiðni berglaga þar meiri en á öðrum jarðhitasvæðum. Samanlagt

rennsli þessara hola mun vera um eða yfir 400 l/sek af 210 - 220°C heitu vatni, og eru þetta meiri afköst á hverja holu en þekkt eru á öðrum svæðum. Tilgátan um tregt aðrennsli á sér enga stoð á þessu svæði, og má ætla, að aðstæður á öðrum háhitasvæðum séu engu lakari.

(5) Helztu öryggisvandamál koma fram vegna efnissöfnunar í æðum næst borholun, og einnig getur hæð vatnsborðs skipt nokkru máli. Háhitasvæðin eru nokkuð mismunandi að þessu leyti. Efnissöfnun rýrir ekki megináðrennsli, en getur hins vegar valdið því að gera verði öryggisholur, og veldur þannig hækkuðum borkostnaði. Við áætlunargerð er rétt að hafa þetta atriði í huga, einkum ef fyrstu borholur gefa merki um efnissöfnun.

Corvallis, 17.5.67

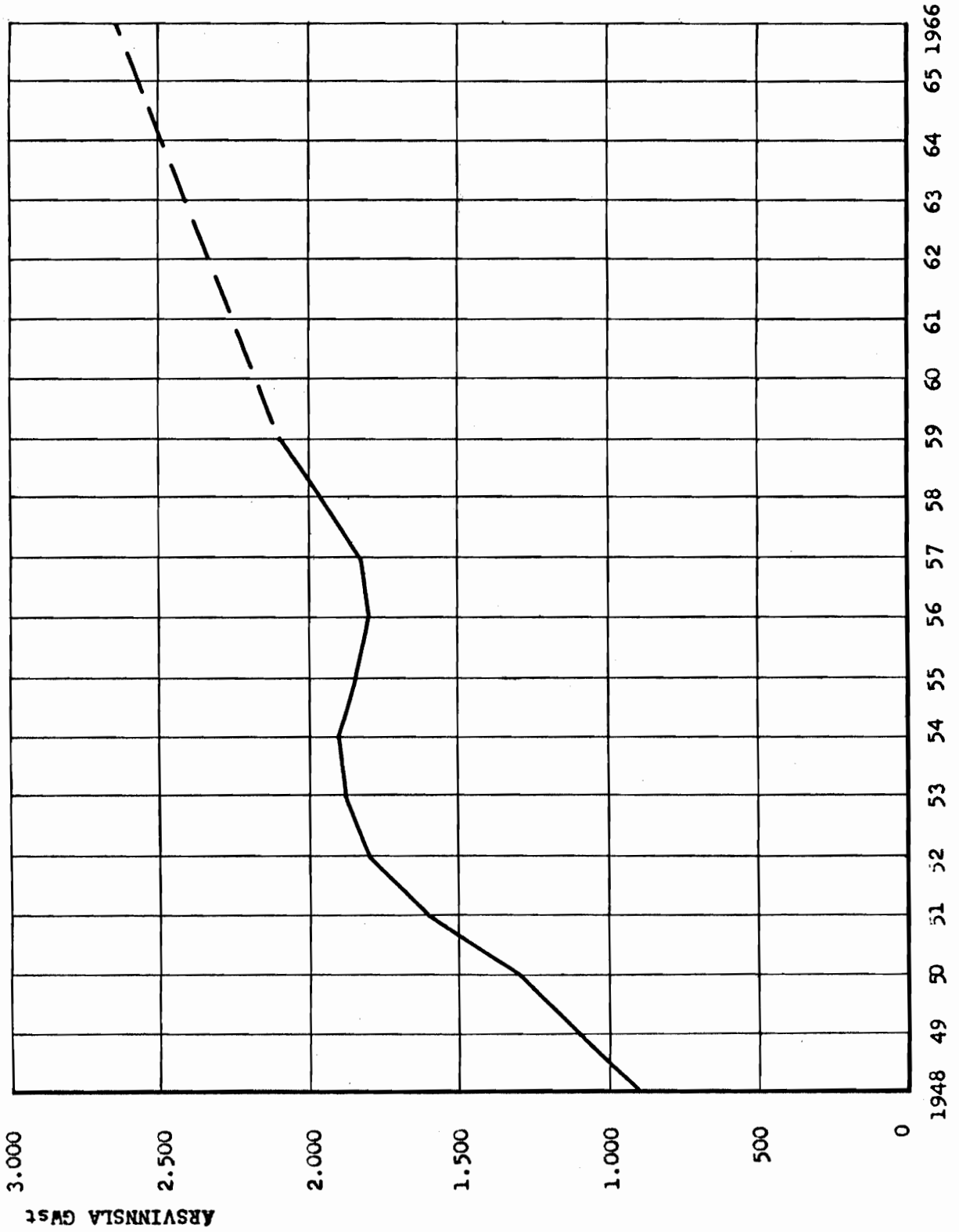
Gunnar Böðvarsson.

VERMIR SF

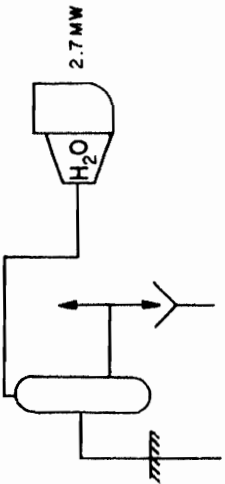
RAFORKUVINNSLA MEÐ JARÐGUFU
I LARÐERELLO 1948 - 66

22.5.67 SSE/AM

MYND (1)

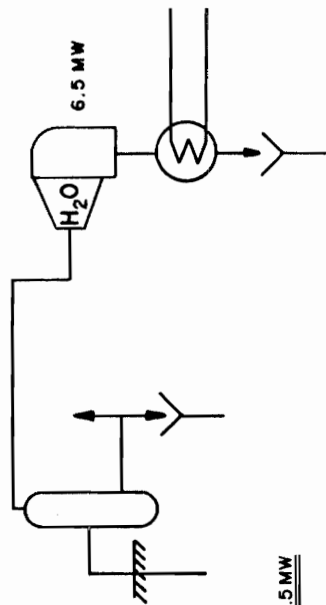


MYND 1: MÓTPRÝSTIGUFUTÚRBINA



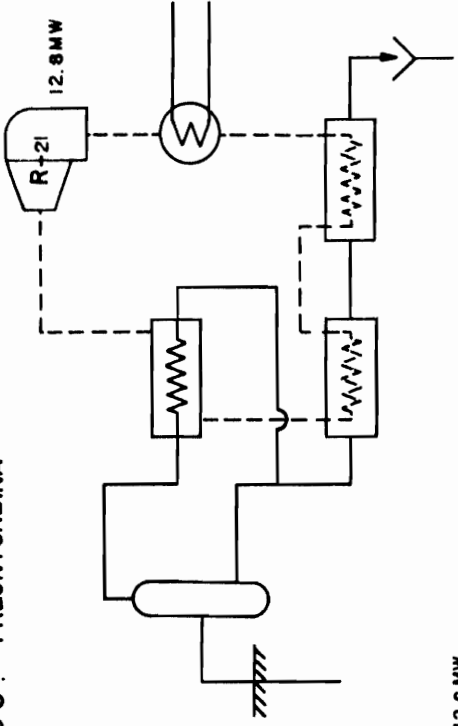
2.7 MW

MYND 2: GUFUTÚRBINA MED PÉTTINGU



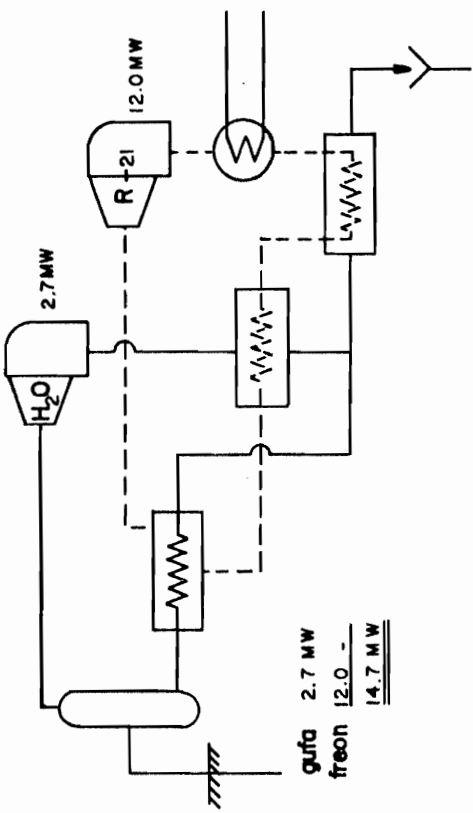
6.5 MW

MYND 3: FREONTÚRBINA



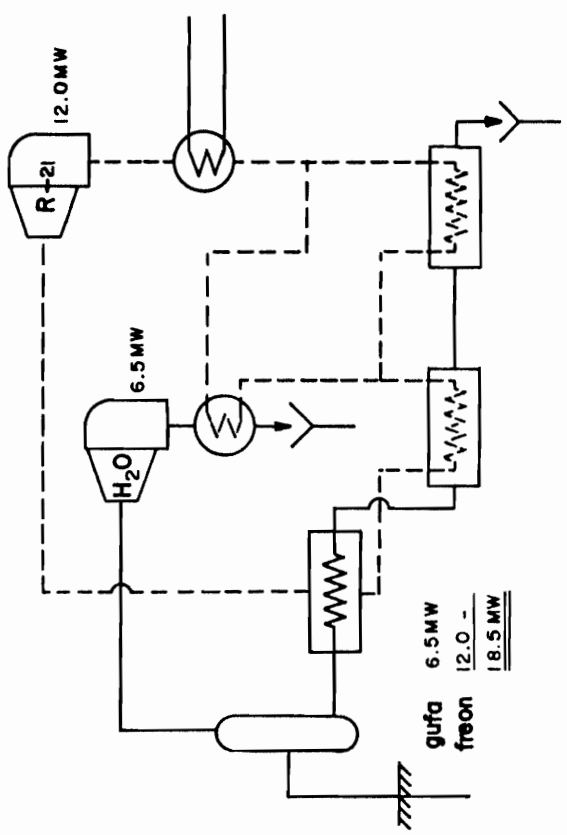
12.8 MW

MYND 4: MÓTPRÝSTIGUFUTÚRBINA + FREONTÚRBINA



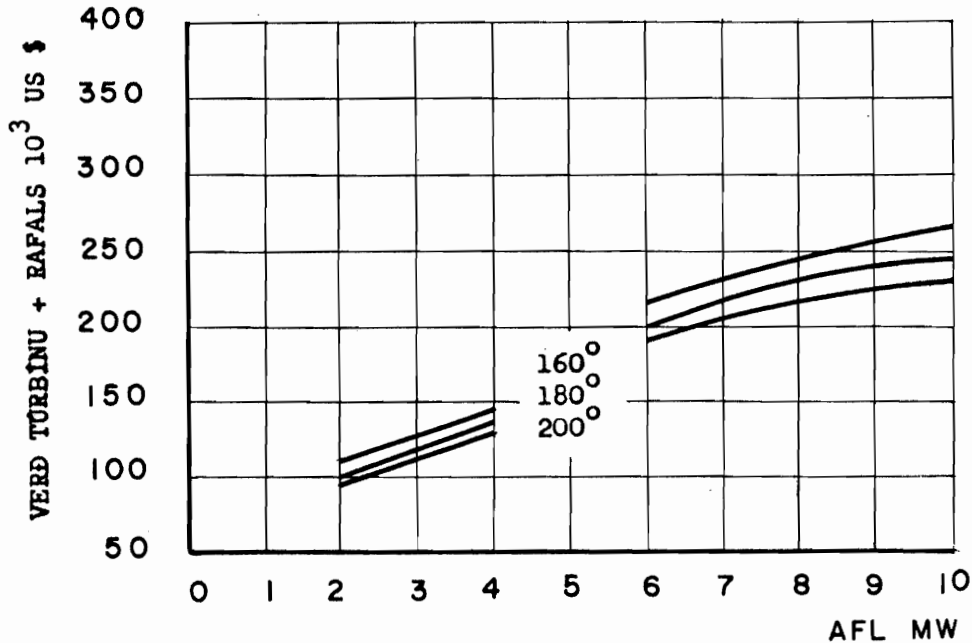
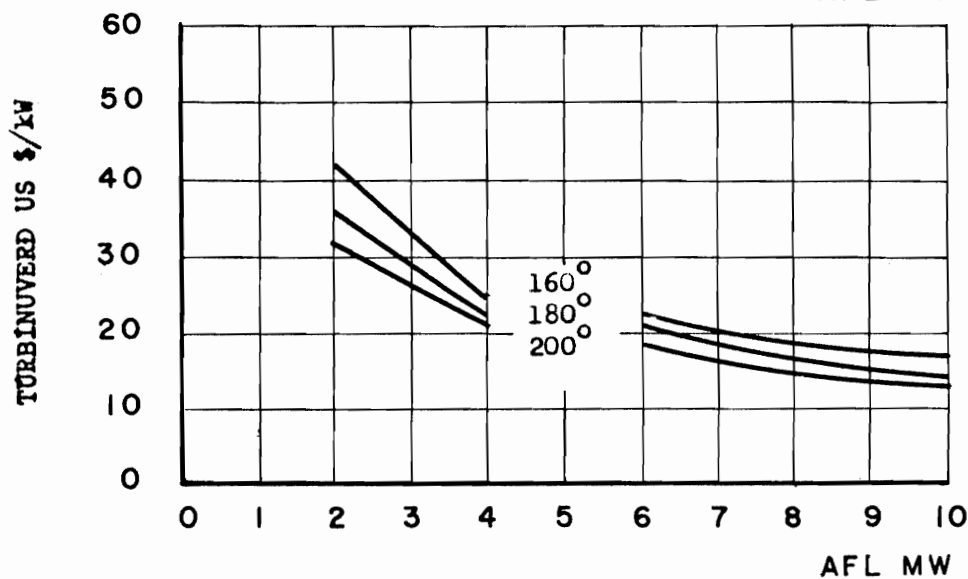
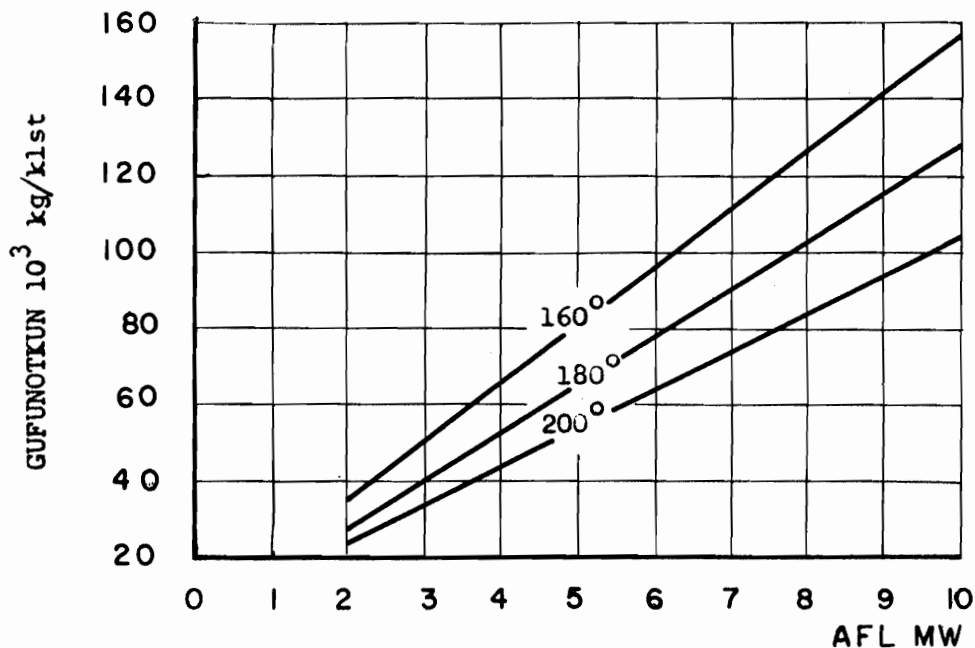
gufa 2.7 MW
 freon 12.0 -
14.7 MW

MYND 5: GUFUTÚRBINA MED PÉTTINGU + FREONTÚRBINA

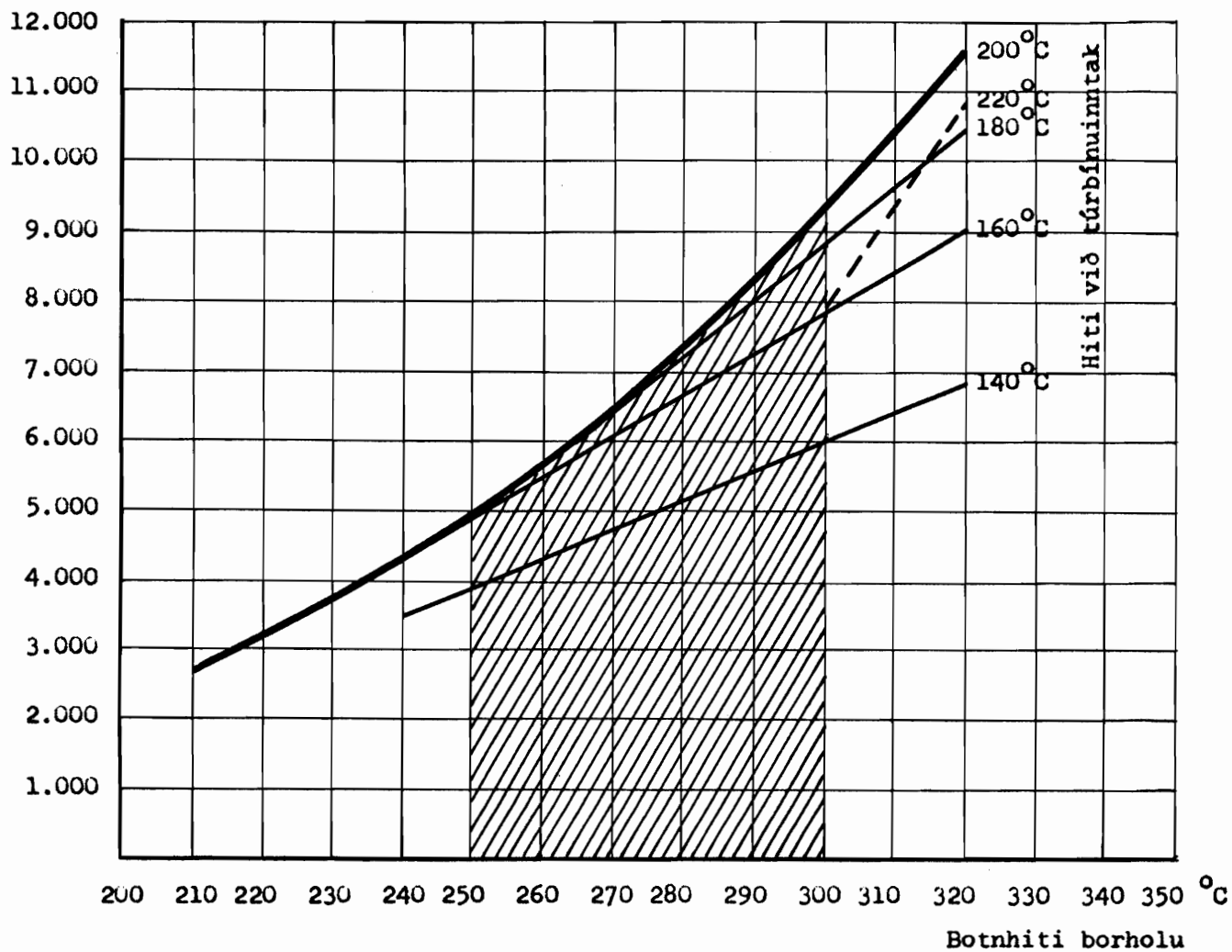


gufa 6.5 MW
 freon 12.0 -
18.5 MW

AFÞVÖR Á ÞESSUM MYNDUM ERU MÍÐALAR VIÐ BORIÐLÍM MEÐ
 AÐRENNSLI 100 KO/SEK, OG BOTNIÐLÍ 212°C (GUFUBORHOLA
 NO. 8, HVAÐAGERÐI). VIÐ ANNAN BOTNIÐLÍ BREYTTAST AFT-
 TÖLURNAR FRÁ ÞVI SEM SÝNT ER.



kW/100 kg/s af vatni

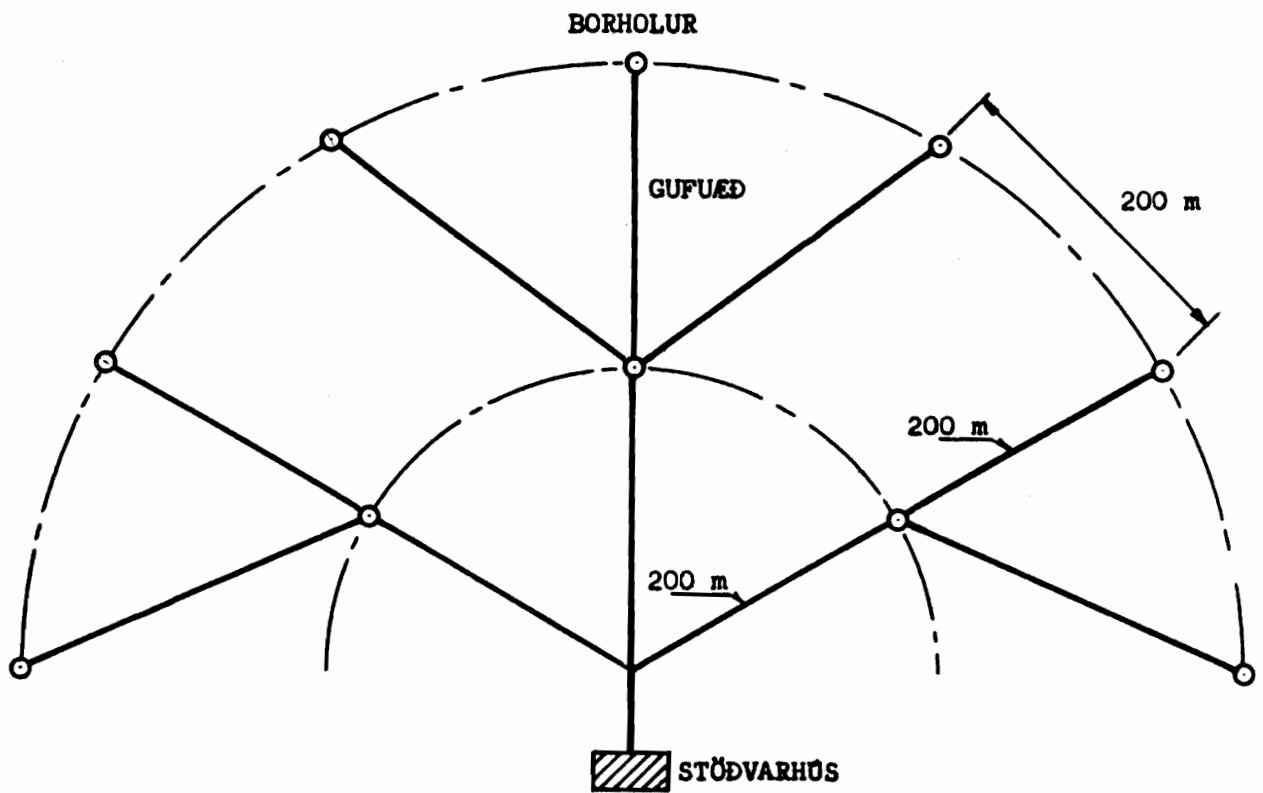


VERMIR SF

JARÐGUFUAFLLSTÖÐ VÍÐ NÁMAFJALL
AFSTADA STÖÐVARHÜSS OG BORHOLA

3.6.67 SSE/MM

MYND (5)

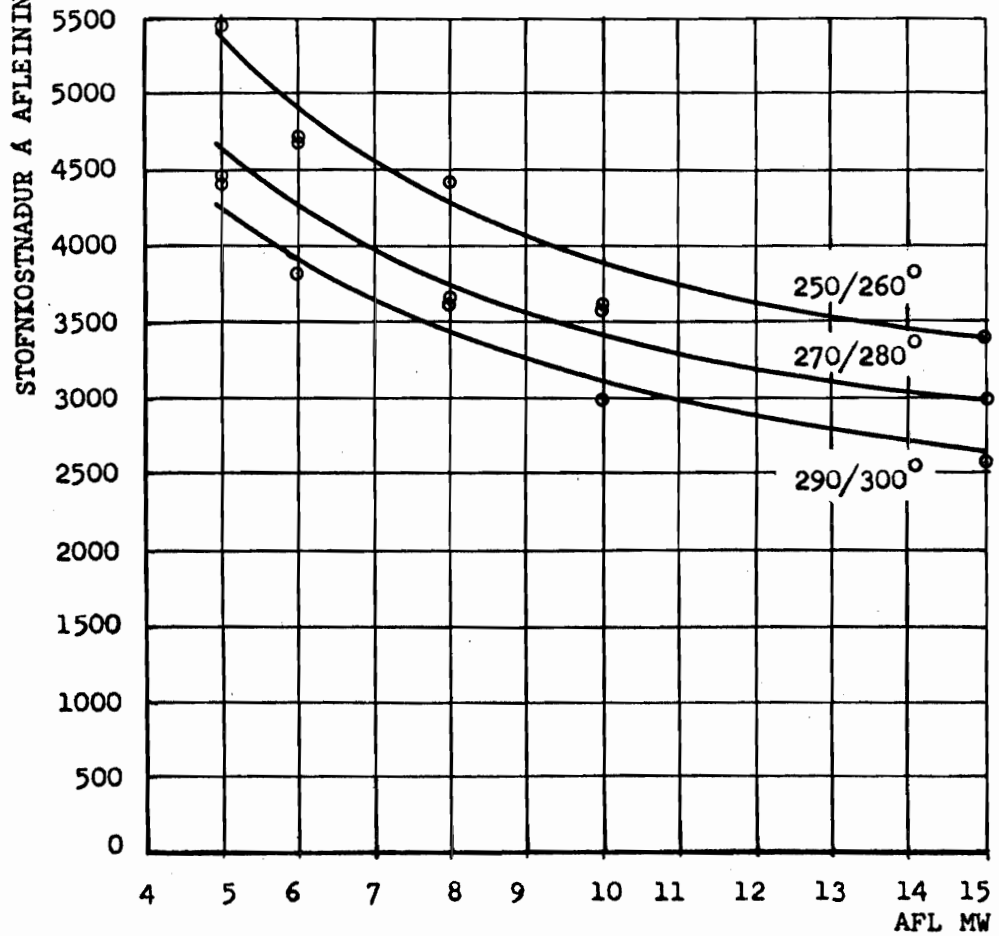
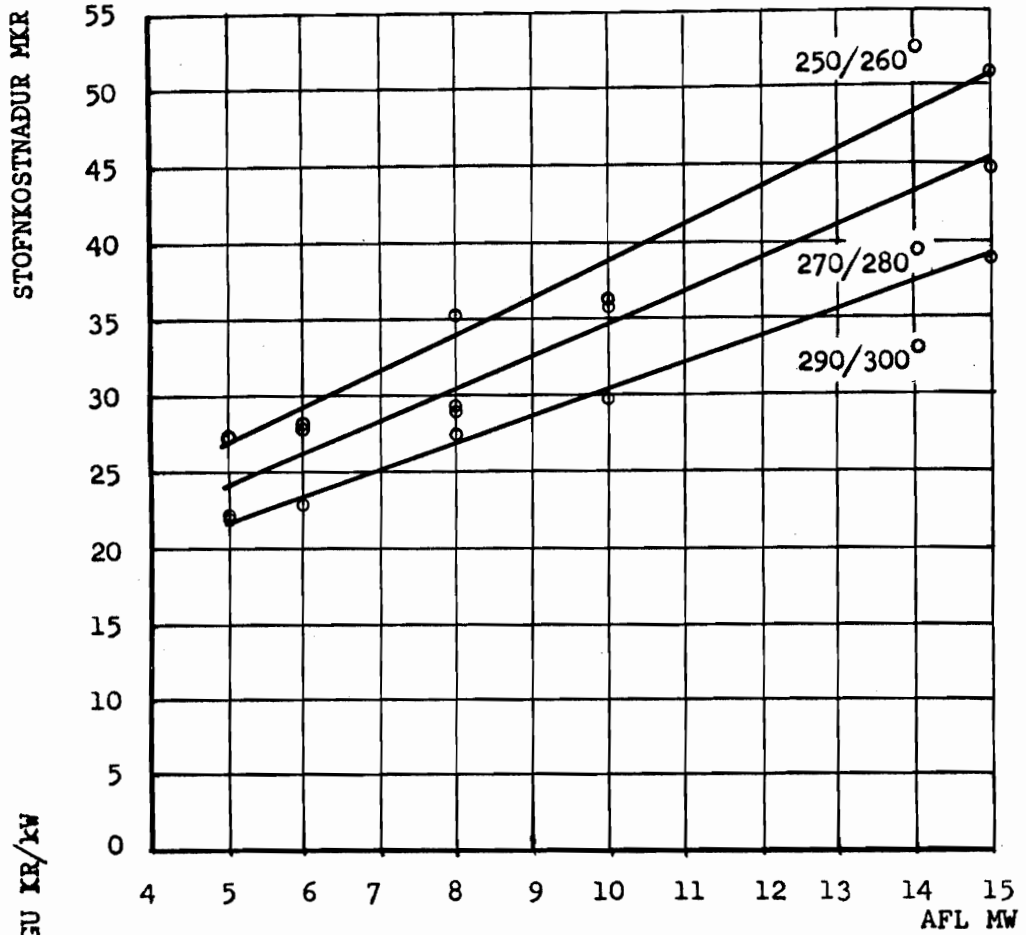


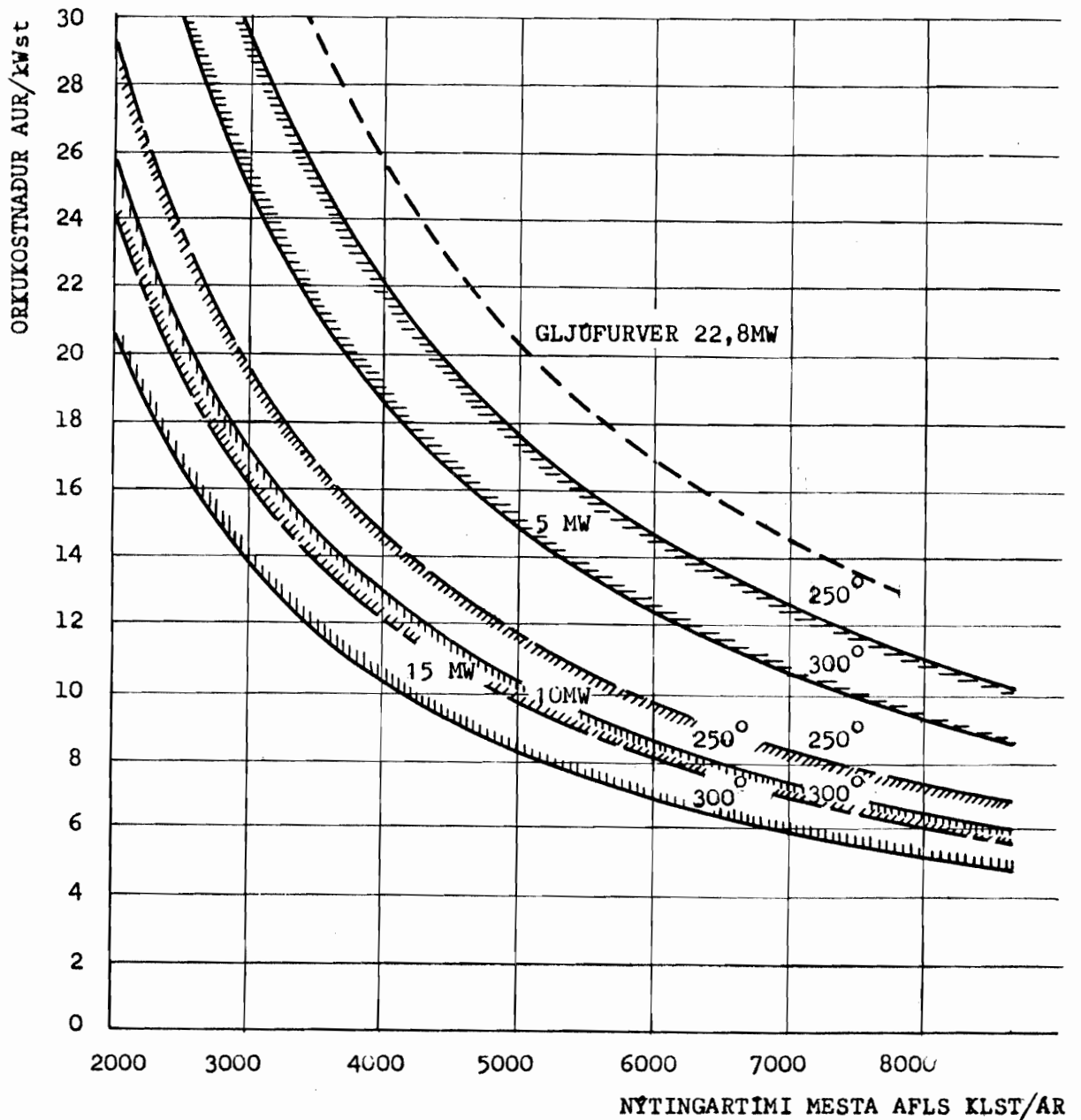
VERMIR SF

JARÐGUFUAFLLSTÖÐ VID NÁMAFJALL
BREYTING STOFNKOSTNADAR EFTIR
STÖÐVARSTÆRÐ OG BOTNHITA BORHOLA

3.6.67 SSE/MM

MYND (6)





MIDAD ER VIÐ 8% ARSVEXTI

AFSKRIFTATÍMAR:

JARÐGUFUAFLESTÖÐVAR: BORHOLUR 15 ÁR, ANNAD 25 ÁR

GLJUFURVER: 40 ÁR