

JARDGUFAFLSTÖÐ

FRUMÁÆTLUN UM AFLSTÖÐ
MEÐ TILLITI TIL VIRKJUNAR
Í NÁMAFJALLI EÐA KRÖFLU

JÚNÍ 1972

JARDGUFLSTÖD

FRUMÁÆTLUN UM AFLSTÖÐ
MEÐ TILLITI TIL VIRKJUNAR
Í NÁMAFJALLI EÐA KRÖFLU

Skýrsla gerð af:

Jarðhitadeild Orkustofnunar
og
Verkfr.st. Guðm. og Kristjáns

JÚNÍ 1972

ÁGRIP OG NIÐURSTÖÐUR

Athugað hefur verið, með hverjum hætti yrði hagkvæmt að nýta jarðvarma Námafjalls/Kröflusvæðisins til raforkuframleiðslu með 8-16 Mw aflstöð.

Í ljós kemur, að tæknilega séð er ekkert því til fyrirstöðu, að slík jarðgufuaflstöð verði byggð. Jarðfræðilega eru bæði jarðhitasvæðin talin jafnvel fallin til virkjunar, en vegna mengunarhættu og viðkvæms umhverfis við Mývatn er Kröflusvæðið talið heppilegra. Tilraunir í El Salvador með fráveitu borholuvatns neðanjarðar, þ.e. niður í jörðina aftur eftir sérstökum borholum í útjaðri hitasvæðisins, lofa þó góðu, og er því ekki rétt að útiloka Námafjallssvæðið vegna mengunarhættu að svo komnu máli. Á það skal bent, að háspennulína frá Kröflusvæðinu yrði lengri en frá Námafjallssvæðinu og einnig yrði nauðsynlegt að leggja veg þangað.

Um þrjár megingerðir gufuaflstöðva er að velja, og má segja, að mismunur valkostanna sé fyrst og fremst fólginn í mismunandi nýtingu varmaorkunnar, og fer þá saman batnandi nýting, viðameiri útbúnaður og hækkandi stofnkostnaður.

Með tilliti til nýtingar á varmaorku var reiknað með þéttitúrbínu í stað mótprystitúrbínu, en ekki þótti rétt að reikna með nýtingu borholuvatns, þar sem lítil reynsla er enn fengin á þeirri gerð stöðva.

Stofnkostnaður er áætlaður 274 Mkr, 311 Mkr og 365 Mkr og árlegur reksturskostnaður 36 Mkr, 40 Mkr og 46 Mkr, miðað við 8 Mw, 12 Mw og 16 Mw stöðvarstærðir. Þetta svarar til þess, að stofnkostnaður á uppsett Kw sé fyrir 8 Mw stöðvarstærð kr. 34 000, fyrir 12 Mw stöðvarstærð kr. 26 000 og stofnkostnaður á úppsett Kw fyrir 16 Mw stöðvarstærð kr. 23 000.

Miðað við framleiðslutíma á fullum afköstum í 8000 klst á ári verður reksturskostnaður fyrir 8 Mw stöðvarstærð 0,60 kr/Kwh, fyrir 12 Mw stöðvarstærð 0,44 kr/Kwh og reksturskostnaður fyrir 16 Mw stöðvarstærð 0,38 kr/Kwh.

Af þessum tölum má ráða, að einingarverð raforkunnar fer lækkandi með stærð stöðvarinnar, en sú lækkun er hlutfallslega tvöfalt meiri frá 8 Mw í 12 Mw en frá 12 Mw í 16 Mw. Miðað við fulla nýtingu er talið, að 55 Mw gufuafilstöð sé hagkvæmasta stærðin, en þessi athugun nær ekki til þeirrar stöðvarstærðar, þar sem sú stærð er hlutfallslega stór hér á landi.

Um byggingartíma stöðvarinnar er það að segja, að frá því að ákvörðun hefur verið tekin um að stöðin skuli byggð, þangað til hún yrði tilbúin til framleiðslu, mundu líða um 43 mánuðir.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
Inngangur	1
1. Jarðhitasvæðin	3
1.1 Yfirlit yfir jarðfræði Námafjalls og Kröflu.	3
1.2 Borholur	7
1.2.1 Yfirlit yfir borholur í Námafjalli	7
1.2.2 Skolvatnstop, steypingar og fóðrun	10
1.2.3 Verklýsing á borun vinnsluholu	12
1.2.4 Afl borhola	14
1.3 Veðurfar	16
2. Aflstöðin	21
2.1 Tegund	21
2.2 Túrbína	24
2.2.1 Gufuprýstingur við inntaksloka túrbínu	25
2.2.2 Eimsvalaprýstingur	27
2.3 Eimsvali	27
2.4 Kælikerfi	29
2.5 Aðveitukerfi gufu	32
2.6 Rafkerfi	33
2.7 Stöðvarhús	34
2.8 Staðsetning	35
3. Tímaáætlun	36
4. Kostnaðaráætlun	37
4.1 Stofnkostnaður	37
4.2 Reksturskostnaður	44

MYNDASKRÁ

	Mynd nr.
Borhola 6, Námafjalli	1
Borhola 7, Námafjalli	2
Borhola 8, Námafjalli	3
Borhola 9, Námafjalli	4
Verkþættir holu 6, Námafjalli	5
Verkþættir holu 6, viðgerð	6
Verkþættir holu 7, Námafjalli	7
Verkþættir holu 8, Námafjalli	8
Verkþættir holu 9, Námafjalli	9
Kennilína borhola 4, 5 og 9, Námafjalli	10
Gufuaflstöð, kerfi 1, mótpórýstivél	11
Gufuaflstöð, kerfi 2, eimsvalavél	12
Gufuaflstöð, kerfi 3, eimsvalavél	13
Gufu- og afl-kennilínur	14
Gufuaflstöð, yfirliggjandi eimsvali	15
Gufuaflstöð, undirliggjandi eimsvali	16
Pendilsúlur og borholubúnaður	17
Einlinumynd rafkerfis	18
Tímaáætlun	19
Rýrnun gufumagns úr borholu með tíma	20
Raforkukostnaður	21

INNGANGUR

Tildróg þessarar skýrslu eru rannsóknir og athuganir á möguleikum raforkuvinnslu með jarðgufu, og eru þessar athuganir gerðar í beinu framhaldi af fyrri rannsóknum um þessi mál. Árið 1960 gerðu ráðgjafaverkfræðingar Merz and McLellan í London hagkvæmniathugun á raforkuvinnslu á jarðhitasvæðinu við Hveragerði. Niðurstöður skýrslu þeirra voru neikvæðar. Gufuaflestöðin virtist ekki samkeppnisfær við Búrfellsþirkjun, sem þá var í deiglunni, og réði þar miklu fremur lágt hitastig í borholum á Hveragerðissvæðinu.

Þessar niðurstöður urðu til þess, að frekari athuganir félju niður um tíma, en þegar borað var á Nesjavöllum og í Námafjalli á árunum 1965-1966, kom í ljós mun meiri botnhiti í borholum, $260-290^{\circ}\text{C}$, og ýtti þetta undir, að málid væri tekið til nýrrar könnunar.

Árið 1967 samdi verkfræðistofan Vermir sf. álitsgerð um raforkuvinnslu með mótpórystiturbínu í Námafjalli, og varð hún til þess, að ákveðið var að reisa 2,5 Mw gufuaflestöð í Námafjalli. Til stöðvarinnar var keypt notuð vélarsamstæða frá Englandi, komin nokkuð til ára sinna.

Stöðin var reynslukeyrð í maí 1969, og hefur stöðin starfað að mestu óslitið síðan.

Eins og búast mátti við, var við ýmsa byrjunarerfiðleika að etja, og er þar helzt að nefna kísilútfellingar úr gufunni í öryggisventla vélarinnar, en ráðin var bót á þessu á tiltölulega einfaldan hátt. Sumarið 1971 var skipt um túrbínhjólið, eins og upphaflega var áætlað, þar sem málmblandan í skóflum hjólsins var ekki talin henta í jarðgufu. Ekki hefur orðið vart við neina tæringu né rof (erosion) í útbúnaði stöðvarinnar.

Gufuöflunin tók nokkru lengri tíma en bygging stöðvarinnar, þar sem samtímis þurfti að afla aukinnar gufu til Kísiliðjunnar, en næg gufa var fengin árið 1971, og hefur stöðin síðan verið keyrð með fullum afköstum, sem eru um

3 Mw. Ekki verður annað sagt, en rekstur stöðvarinnar hafi gengið vel, og er eftirliti þannig háttar, að vél-stjórar Kísiliðjunnar gæta að stöðinni einu sinni á sólarhring.

Að fyrstu fjórum mánuðum þessa árs hefur raforkuframleiðsla stöðvarinnar verið um 8 milljónir kwst.

Í þessari skýrslu er gerð áætlun um gufuaflstöð, sem vinnur með eimpéttingu. Tekur áætlunin til þriggja stærða, 8 Mw, 12 Mw og 16 Mw. Sérstaklega eru höfð í huga jarðhitasvæðin í Námafjalli eða Kröflu. Koma bæði svæðin til greina, en aðstæður eru mismunandi. T.d. væri hagur að því að staðsetja rafstöðina í byggð við Námafjall, en hins vegar væri, vegna umhverfisverndar, álittegra að staðsetja stöðina á Kröflusvæðinu. Áætlunin ætti samt að vera fullgild, þótt höfð væru í huga önnur jarðhitasvæði sem staðarval.

Skýrsla þessi er unnin í samvinnu jarðhitadeildar Orku-stofnunar og Verkfræðistofu Guðmundar og Kristjáns, en aðalhofundar eru Karl Ragnars verkfræðingur á jarðhitadeild og Jónas Matthíasson verkfræðingur hjá Verkfræðistofu Guðmundar og Kristjáns. Þeim til ráðuneytis og aðstoðar voru prófessor Guðmundur Björnsson og Jóhann Indriðason rafmagnsverkfræðingur. Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen gerði frumáætlun um stöðvarhús og akveg að Kröflusvæðinu.

Kaflinn um jarðfræði jarðhitasvæðanna er skrifadur af Kristjáni Sæmundssyni jarðfræðingi hjá jarðhitadeild.

1. JARÐHITASVÆÐIN

1.1 Yfirlit yfir jarðfræði Námafjalls- og Kröflusvæðanna.

Háhitasvæðin á Íslandi eru öll í virku gosbeltunum. Þau eru tengd megineldstöðvum, sem einkennast auk háhitasvæðanna af súru gosbergi, örri upphleðslu og tíðum smágosum og stundum öskjumyndun. Gosbeltið á Norðurlandi vestan Jökulsár á Fjöllum er myndað af nokkrum stölluðum sprungusveimum með NNA-SSV stefnu. Nálægt hverjum sprungusveimi miðjum er megineldstöð með háhitasvæði. Jarðhitasvæðin í Námafjalli og við Kröflu liggja í sama sprungusveimi og eru því jarðfræðilega nátengd, þótt líklega séu vatnskerfi þeirra aðskilin. Kröflusvæðið er í samfelldu hálendi, sem er víðast hvar milli 500 og 600 m yfir sjó, en einstök fjöll ná yfir 800 m hæð. Námafjallssvæðið er láglendara eða milli 300 og 400 m yfir sjó. Eftir því miðju teygist lágor hæðarrani sunnan frá Kröfluhálendinu suður í Lúdent. Námafjall er hluti af þessum hæðarrana. Landslag er mótað fyrst og fremst af eldgosamynnum, sem hafa sakir margbreyleika síns orðið víðfrægar og "komist inn í vitund þjóðarinnar", eins og sagt er á tylliðögum. Einkum á þetta þó við umhverfi Námafjallssvæðisins. Umferð hefur alltaf verið lítil á Kröflusvæðinu, þar sem það er nokkuð afskekkt, og er það því minna þekkt. Þangað liggja vegarslóðar, sem eru færir 3-4 mánuði á sumrin.

Yfirborð landsins á Námafjalls- og Kröflusvæðinu er að miklu leyti þakið ungum hraunum, runnum frá gossprungum á tímabilinu frá því ísöld lauk fyrir a.m.k. 10.000 árum. Hraunin eru úr basalti að örfáum andesít-hraunum undanteknum, en þau finnast norðan við Lúdent og norðan við Hlíðarfjall. Að jökulskeiðinu frá því fyrir 30.000 árum þar til fyrir 10.000 árum myndaðist mestur hluti móbergsins, sem er önnur aðalbergtegundin á yfirborði. Móbergið hrúgaðist upp í hryggi yfir gossprungum (t.d. Námafjall og Dalfjall). Auk móbergsins, sem er basískt,

kom einnig upp súrt berg á þessum tíma, sem hrúgaðist upp í bratta gúla (t.d. Hlíðarfjall og Jörundur). Efnið í þeim er líparít, oft biksteins- og perlusteinskennt vegna snöggkælingar í jökulvatninu. Á hlýskeiði, sem stóð frá því fyrir 40.000 árum þar til fyrir 30.000 árum, runnu hraun á íslausu landi. Þá varð einnig stórgos á Kröflusvæðinu. Í því gosi myndaðist ignimbrítlag, sem enn þekur um 35 km² á yfirborði. Ignimbrít er afbrigði af súru bergi. Það verður til við öflug sprengigos og flæðir út frá upptökunum, sem gjóskuhlaup. Samhliða myndun ignimbrítsins varð ketilsig, sem að lögun og stærð líkist Öskju í Dyngjufjöllum. Slíkar öskjur eru algengar, þar sem miðja megineldstöðvar hefur sigið niður eftir stórgos. Í Hágöngum og á Grímsstaðaheiði finnst móberg og basalthraunlög frá enn eldra jökul-skeiði og hlýskeiði.

Brotahreyfingar á Námafjalls- og Kröflusvæðinu einkennast annars vegar af bogsprungum, sem eru nokkurn veginn samsíða útlínum öskjunnar. Ýmsar þeirra eru jafnframt gossprungur. Hins vegar eru brotlinur og gossprungur, sem liggja í stefnu sprungusveimsins frá NNA-SSV. Eftir endilöngum sveimnum miðjum eru mest sig og gosvirkni. Þetta belti liggar yfir öskjuna miðja.

Allur jarðhiti og ummyndun af völdum jarðhita á Kröflusvæðinu er innan takmarka öskjunnar. Virkur jarðhiti, þ.e. gufu augu og leirhverir, finnst á um 4 km² svæði milli Leirhnúks og Kröflu, austan til í öskjunni. Kulnud ummyndun nær hins vegar yfir miklu stærra svæði eða alls um 35 km², ef miðað er við yztu skellur. Volgt grunnvatn finnst á nokkrum stöðum sunnan við aðaljarðhitasvæðið. Segulllægð er yfir öllum suðurhluta öskjunnar á Kröflusvæðinu, þar sem jarðhitamerki eru útbreidd. Dýpst var þessi segulllægð syðst á virka jarðhitasvæðinu. Segulllægðin kemur fram vegna eyðingar magnetlíts við ummyndun af völdum jarðhita. Viðnámsmælingar sýna skörp skil á heitu svæði, sem fellur nákvæmlega saman við útbreiðslu hvera og yngstu ummyndunar.

Jarðhitinn á Námafjallssvæðinu nær yfir um 4 km² svæði. Hveravirkni er mun samfelldari en á Kröflusvæðinu og kulnaðar skellur finnast einungis mjög skammt utan við virkan jarðhita. Í hraununum suður og vestur frá jarðhitanum í Námafjalli er heitt grunnvatn útbreitt allt vestur að strönd Mývatns milli Reykjahlíðar og Voga. Jarðfræðilega liggur Námafjallssvæðið um 4 km sunnan við suðurjaðar öskjunnar á Kröflusvæðinu.

Viðnáms- og segulmælingar sýna mjög skarpt afmarkað hitasvæði í Námafjalli, sem fellur nákvæmlega að dreifingu jarðhita á yfirborði. Námafjallssvæðið er þannig skýrt afmarkað á smábletti í aðalsigbelti Námafjalls- og Kröflu-sprungusveimsins. Eðlilegt virðist að álykta út frá því, að það sé tengt staðbundnum varmagjafa (heitum innskotum) í rótum þess og sé þannig jarðhitalægla séð óháð Kröflusvæðinu.

Gunnar Böðvarsson hefur metið ýmis háhitasvæði með til-liti til varmataps gegnum yfirborð með grófum aðferðum. Samkvæmt mati Gunnars er náttúrulegt varmatap Kröflusvæðisins stærðargráðu minna en á Námafjallssvæðinu, eða $5-25 \times 10^6$ Mcal/sek á móti $25-125 \times 10^6$ Mcal/sek. Þessi áætlun var gerð áður en umfangsmiklar rannsóknir hófust á þessum svæðum eða öðrum háhitasvæðum. Sú niðurstaða, að svæði með virkan jarðhita sé jafnstórt á báðum stöðum, bendir frekar gegn því að stærðargráðumunur sé á svæðunum. Meira er þó um hveri og gufu við Námafjall.

Tengsl jarðhitans við sprungur og misgengi eru áberandi bæði á Námafjalls- og Kröflusvæðinu. Af lýsingu á upphafi Mývatnselda er ljóst, að miklar sprungumyndanir hafa átt sér stað í Námafjalls-Kröflu-sveimnum, allt frá Bláfjalli norður í Gjástykki. Þar sem sprungurnar lágu yfir virku jarðhitasvæðin, mynduðust nýir gufu- og leirhverir, svo sem í Bjarnarflagi og Leirhnúk. Af lýsingum verður ráðið, að í Leirhnúk hafi beinlínis myndazt gufusprengigígar (líkt og við holu 5 í Námafjalli fyrir fjórum árum). Algengt er að sjá skellur teygja sig eftir misgengjum á útjöðrum jarðhitasvæðanna. Sennilega eru þær orðnar til

á líkan hátt við sprunguhreyfingar, sem opnuðu heita vatninu leið skamma hríð utan aðaluppstreymissvæðisins.

Einkennandi fyrir Kröflusvæðið er urmull sprengigíga. Flestir eru þeir á jarðhitasvæðinu, eða í námunda við það. Yngst þessara sprengigíga er Víti, sem myndaðist við upphaf Mývatnselda árið 1724. Það gos byrjaði sem n.k. blandgos, þar sem upp kom basalt og líparít, samtímis. Líklega hefur basaltkvika brotzt inn í granófýrinnskot og brætt það upp að hluta. Í sjálfu gosinu þeyttust síðar upp molar af því sama granófýri, og eru þeir þekktir undir nafninu Kraflít. Lokastig Vítisgossins var gufusprengigos. Eftir að rás var komin í gegnum jarðhitasvæðið, hefur streymt að henni vatn og gufa úr nálægum jarðlöögum og orðið af feiknamikið gufugos, sem hreif með sér mikið efni úr gígrásarveggjunum. Gjóskudreifin frá Vítisgosinu hefur borizt suður, og gætir í henni aðallega bergmylsnu, sem er leirkennnd vegna jarðhitaummyndunar. Áhrif svo snöggrar úttæmingar af heitavatnsforða jarðhitasvæðisins hafa væntanlega orðið þau, að vatnsborð hefur lækkað mjög og svæðið kólnað niður um stundarsakir.

Hreinir gufusprengigígar eru sennilega einnig til á Kröflusvæðinu, og eitt dæmi er þekkt, þar sem gjallhlutann vantar alveg í gjóskuna. Tilvist sprengigíganna bendir til vel vatnsleiðandi jarðlaga undir þéttu yfirlagi. Við jarðskjálfta og sprungumyndanir, eða við gos upp í gegnum jarðhitasvæðið getur komið til uppstreymis vatns, sem leitt getur til yfirhitunar í lægra þrýstingsumhverfi, hliðstætt og gerðist við holu 5 í Námafjalli fyrir fjórum árum.

Út frá hlutfallinu CO_2/H_2 og H_2 innihaldi í hveragasi er unnt að áætla hita í bergi miðað við ca. 600-1200 m dýpi. Þessi efnahlutföll benda til, að Námafjallssvæðið sé heitast undir austanverðu Námafjalli $275-305^{\circ}\text{C}$. Að sama hátt fæst, að Kröflusvæðið er heitast neðst í gilinu, sem liggur norður á milli Kröflu og Vítis, $245-285^{\circ}\text{C}$.

Mikilvægt er að þekkja sem bezt hegðun og tíðni gosa í

námunda við staði, þar sem fyrirhugað er að reisa mannvirki innan virku gosbeltanna. Þetta hefur að nokkru verið rakið hér á undan, en að lokum skal getið um hið helzta, sem jarðfræðirannsóknir hafa leitt í ljós um tíðni gosa.

Sennilega hefur Námafjalls- og Kröflusvæðið verið orðið jökullaust fyrir um 12000 árum. Síðan hafa orðið lo sprungugos á Námafjallssvæðinu og í næsta nágrenni þess, síðast í Mývatnseldum 1728. Svarar þetta til, að gosið hafi á 1200 ára fresti. Þess ber hins vegar að gæta, að gosin dreifast ekki jafnt yfir þetta tímabil, heldur hafa þau komið í tveim hrynum. Fyrri hrynan var um garð gengin fyrir 7000 árum. Sú síðari hófst fyrir 2500 árum og nær yfir fjögur gos.

A Kröflusvæðinu hafa orðið 9-lo hraungos á tímabilinu frá því land varð íslaust, þar af eru tvö sameiginleg Námafjallssvæðinu, þar sem gossprungur náðu yfir bæði svæðin. Skipting í goshrynnur er ekki jafnljós og á Námafjallssvæðinu, en þó má fullyrða, að 3 hraungos eru yngri en 3000 ára. Auk hraungosanna hafa orðið sprengigos á jarðhitavæðinu í Kröflu og í næsta nágrenni þess. Óvist er um fjölda þess konar gosa, en líklega hafa þau orðið a.m.k. 3-5. Í Mývatnseldum fyrir tæpum 250 árum voru aðalgosin á Kröflusvæðinu. Þetta var allmikið gos og má e.t.v. álykta, að hlé verði á gosum um nokkrar aldir þar eftir.

1.2. Borholur.

1.2.1 Yfirlit yfir borholur í Námafjalli.

A árunum 1947-1953 voru boraðar nokkrar grunnar holur á Námafjallssvæðinu, aðallega austan fjallsins. Sumar þessara hola blésu þurri gufu, og þótt ekki væri hægt á þessum tíma að mæla hitastig í holunum, þá bentu þær til þess, að mikill hiti væri á svæðinu.

Tilgangur með borun þessara hola var að vinna brenni-

stein úr gufunni, en fljótlega varð það ljóst, að brennisteinsvinnsla gæti ekki verið arðbær framleiðsla ein sér. Þess vegna var leitað að öðrum vinnslumögu-leikum, þar sem nota mætti varmainnihald gufunnar, og verður þannig til hugmynd um að vinna kísilgúr úr Mý-vatni, sem þurrkaður skyldi með jarðhita í Námafjalli.

Tvær tilraunaholur, sem boraðar voru í þessu skyni, voru gerðar á árunum 1963-1965.

Þrátt fyrir að þessar holur voru bortæknilega misheppn-aðar, var fyrsta vinnsluholan, hola 3, boruð árið 1966. Þessi hola var að ýmsu leyti misheppnuð, bæði vegna ófullkominna bortækja og lítillar þekkingar á jarðhita-svæðinu, og var rekstri holunnar hætt snemma á árinu 1969. Nú hafa verið boraðar til viðbótar þessum holum 6 vinnsluholur fyrir bæði Kíslíðjuna og rafstöð Laxárvirkjunar.

Holur 4 og 5 voru boraðar sumarið 1968, holur 6 og 7 á árinu 1969 og holur 8 og 9 sumarið 1970. Með borun og rekstri þessara hola má segja, að nokkur reynsla sé fengin á vinnslu jarðvarma, og er hún mikils virði fyrir framhaldið.

Frágangur borhola 6 til 9 er sýndur á myndum 1-4. Í öllum holum hefur höggbor forborað fyrir snúningsborinn. Höggborsholurnar eru um 30 m djúpar og fóðraðar með 16" yfirborðsfóðringu, en hún er steypt föst.

Í einu tilviki var notuð 13 3/8" öryggisfóðring, þ.e. í holu 7, en það var vegna óviðráðanlegs leka í jarðlögum á ca. 100 m dýpi. Sú fóðring er líka steypt föst. Að lokinni þessari byrjun, eru holurnar boraðar 12 1/4" víðar niður á 200 til 250 m dýpi og fóðraðar þangað með 9 5/8" festilfóðringu.

Festilfóðringin er sú fóðring holunnar, sem mest mæðir á, þar sem hún ber uppi holutoppinn og verður því fyrir mestu álagi vegna þrýstings í holunni. Það er mjög mikilvægt, að vel takist til með steypingu á festilfóðringu, að góð steypa sé samfelld með rörinu. Vinnslufóðring er

hengd á holutoppinn og nær niður á 500-600 m dýpi. Þá hafa verið notaðir 6" leiðarar í tveim tilfellum, í holur 6 og 9.

Það verður að segja, að hönnun og frágangur holanna er ekki eins góður og æskilegt væri á jarðhitasvæðinu í Námafjalli, en það má fyrst og fremst rekja til þess, að bortæki þau, sem notuð voru (Norðurbor), eru ekki nógu afkastamikil til svo viðra og djúpra hola sem þarna eru, en sjónarmið til sparnaðar eiga líka einhverja sök.

Höggborsholan er fóðruð með 16" yfirborðsfóðringu, sem er steypt föst, þar sem ekki er fyrirfram ákveðið, hvort notuð sé 13 3/8" öryggisfóðring, en ekki þykir óhætt að bora dýpra en um loo m, án þess að komið sé fyrir loka á holunni. Gert er ráð fyrir, að hægt sé að koma fyrir 13 3/8" öryggisfóðringu, þegar lekar og skoltöp í jarðögum eru svo miklir, að ekki er hægt að ábyrgjast góða steypingu á 9 5/8" festilfóðringu, en reynt er að komast hjá því að nota öryggisfóðringuna vegna kostnaðar. Lengd festilfóðringar er 200-250 m, og væri æskilegt, að hún væri nokkuð dýpri, en þar kemur til, að bortækjum var ekki treyst til að steypa fóðringuna niður á meira dýpi með góðu móti, en um það er fjallað hér á eftir, hve áríðandi það er, að frágangur steypinga sé vandaður. Einnig hefði verið eðlilegt að steypa vinnslufóðringu, en það kom ekki til greina með þeim tækjum, sem fyrir hendi voru.

Gert var ráð fyrir, að notaður skyldi 6" leiðari, sem hengdur yrði neðan í vinnslufóðringuna, ef um væri að ræða lin jarðög, þar sem hætta væri á hruni. Þessi leiðari var fyrst settur í holu 9, þar sem ekki þótti ástæða til að setja hann í hinar holurnar, en engin reynsla var fyrir því, hve lin jarðöginn máttu vera, og þegar hola 6 hafði verið í vinnslu í eitt ár, hrundi hún saman. Hún hefur nú verið boruð upp og fóðruð með leiðara.

A myndum 5 - 9 sást, hvernig verktíminn við borunina

deildist á einstaka verkþætti.

Af þessum töflum má sjá, að yfirleitt gengur borunin mun hægar efst í holunni, og fer mikill hluti verktímans til þess að tryggja holuna með því að steypa og þétta lek jarðlög, steypa til að halda uppi veggjum holunnar o.fl.

Hins vegar gengur borunin mun betur, eftir að komið er niður á nokkurt dýpi, og kostnaðarverð holu ykist ekki mikið við að bora holurnar dýpra, ef bortæki væri hæft til þess. Af töflunum má átta sig allvel á því, hvernig gera skuli verk- og kostnaðaráætlun fyrir næstu holur, og hve langan verktíma þurfi að áætla þeim.

1.2.2 Skolvatnstop, steypingar og fóðrun.

Þau atriði, sem eru erfiðust í framkvæmd við borun holu, eru vafalaust þau að þétta holuna og tryggja fyrir gððan frágang og fóðrun. Skolvatnstopin gengur oft mjög erfiðlega að þétta, en það er nauðsynlegt gagnvart öruggri borun og góðum frágangi fóðringa.

Vatnsgengar æðar í efri jarðögum geta orsakað millirennslí milli æða, þannig að yfirhitað vatn nái að renna að neðan og út í æðar, sem eru ofar í holunni. Vegna suðuprýstings yfirhitaða vatnsins getur þetta orðið til þess, að þrýstingur í holunni verði meiri en þrýstingur vegna vatnssúlunnar, sem hvílir á, og byrjar þá holan að gjósa.

Til þess að þétta lekana eru ýmsar aðferðir viðhafðar, en þær reynast misjafnlega vel, eftir því hvers eðlis lekinn er. Algengast er að dæla steypu út í gatið og reyna að þétta lekann þannig. Stundum er þetta gert hvað eftir annað, þegar lekinn kemur aftur og aftur, við að steypan er boruð úr holunni. Þá er einnig dælt niður tréspæni og sagi, stundum blandað í steypuna.

Það hefur gefizt vel í sumum tilvikum að blanda saman bentonite og hráolíu og dæla því niður. Við að koma í

hitann myndast úr því seigfljótandi hlaup.

Í því tilfelli að lekinn sé mikill, er bezt að dæla niður sem grófustu efni, en það er mjög takmarkað, hve grófu efni stimpildælurnar geta dælt. Til eru sérstakar dælur (grouting pumps), sem geta dælt allgrófu efni, og virðist full ástæða til þess að útvega þannig dælu til borana hér á landi, en þessar dælur eru ekki mjög dýrar og gætu sparað mikinn tíma og fyrirhöfn.

Auk þess að þetta skoltöp, er steypa notuð til að binda uppi veggi holunnar, þannig að þeir hrynnji ekki að bor-krónunni, og eins og fyrr greinir, eru fóðurrörin steypt í holuna. Það hefur borið nokkuð á því, að steypa hefur ekki harðnað niðri í holunum. Þetta atriði er hér á landi lítið rannsakað mál, en erlendis er þetta fyrirbrigði vel þekkt og stafar líklega af því, að við háan hita ganga efnabreytingar í Portland sementi ekki fyrir sig eins og ætlazt er til.

Ef hiti er ekki mjög hár eins og er í borstöngum, þegar steypu er dælt niður, þá styttist settíminn verulega, þannig að hætta er á að steypan stífni í stöngum og myndi svo mikla móttöðu, að ekki sé lengur hægt að dæla.

Tilraunir og reynsla erlendis hafa sýnt, að settími steypu er stytztur við ca. 110°C , en lengist aftur við hærri hita. Til þess að koma í veg fyrir þessa verkun, má setja efni (retarders) í sementið, sem seinka hörðun t.d. bentonite ásamt "plasticizer", sem mykir steypuna. Til að steypan geti harðnað við hátt hitastig, hefur það gefizt vel erlendis að blanda í sementið mulinn kísil (kísilgúr), allt að 30% af þunga. Eins og lesa má af ofanrituðu eru sementsmál í borholum lítið sem ekkert rannsókuð hér á landi, og er brýn þörf á að taka þau föstum tökum, þannig að tryggja megi góðan frágang á steyptum fóðringum.

1.2.3 Verklýsing á borun vinnsluholu í Námafjalli eða Kröflu.

Bortæki: Gufubor.

Fóðringar:

Yfirborðsfóðring	16"	55 lb/ft	Grade H40 ca.	30 m
Öryggisfóðring	13 3/8"	48 "	" " "	0-200 m
Vinnslufóðring	9 5/8"	36 "	" J55 "	300-400 m
Leiðari, gataður	7 5/8"	24 "	" " "	1600-1800 m

Höggborshola, 18" víð, er boruð niður á ca. 30 m dýpi og holan fóðruð með yfirborðsfóðringu. Fóðringin er steypt milli holuveggjar og rörs ofanfrá.

Borventill og gosvari eru settir á yfirborðsfóðringu. Borað er með 12 1/4" krónu niður á loo m dýpi. Skoltap, sem kann að koma við þessa borun, er þétt með sementi og öðrum tiltækum ráðum.

Þegar holan hefur verið boruð niður á loo m dýpi og allt skoltap verið þétt, er holan þrýstiprófuð. Gosvara er lokað utan um stangir og þrýstingi dælt á holuna. Þrýstingurinn ákvarðast af dýpi holunnar og skal hann vera $0,15 \times$ holudýpi (m) mælt í kg/cm^2 . Í loo m dýpi skal prófþrýstingur þá vera 15 kg/cm^2 . Þegar holan hefur verið þrýstiprófuð með fullnægjandi árangri á loo m dýpi, er borun haldið áfram með sömu krónuvídd og er þrýstiprófuð á sama hátt og að ofan greinir, með hæfilegu millibili niður á 200 m dýpi.

Þrýstiprófun er gerð í því skyni að fullvissa sig um, að holan springi ekki út, þegar fóðurrör er steypt.

Prófþrýstingur er samkvæmt líkingunni um 25% hærri á botni holunnar en tilsvarandi þrýstingur frá steypu væri. Prófþrýstingurinn er hinsvegar nokkru hærri ofar í holunni, en það gæti orðið til þess, að holuveggir springi út við þrýstiprófun, þótt þeir hafi haldið meðan holan var grynnri. Þessum ókosti mætti mæta með því að nota pakkara við þrýstiprófun, en hætt er við, að það yrði of seinlegt í framkvæmd.

Komi fram í borun niður á 200 m dýpi skoltap, sem óvið-ráðanlegt er að þétta, er mögulegt að opna holuna í 15" vídd með holuopnara, og fóðra holuna síðan með öryggis-fóðringu nokkuð niður fyrir þann stað, þar sem skoltapið er.

Við steypingu öryggisfóðringar er fyrst steypt niður um fóðurrör því magni, sem nægir vel utan með fóðringunni upp að gatinu. Þegar steypan telst vera komin upp að gati, er dæling steypunnar stöðvuð ca. 10 mínútur og þá dælt aftur og síðan koll af kolli, örlítið magn í einu, þar til þrýstingur fer að hækka. Gæta skal vel að því, að þrýstingur vaxi ekki svo mikil, að hætta sé á að holu-veggir springi út. Síðan er steypu dælt niður með rörinu ofan frá.

Þegar ástand holunnar hefur verið nægilega tryggt niður í 200 m dýpi, hvort heldur er með öryggisfóðringu eða ekki, er borun haldið áfram með 12 1/4" krónu og sérhver leki þéttur eftir því sem kostur er.

Eftir að komið er niður í 300 m dýpi, er borað niður að næsta leka, sem virðist óviðráðanlegt að þétta. Þó skal ekki borað dýpra en 400 m. Komi fram mikil skoltap, skal steypt í botn holunnar, þannig að öruggt sé, að hún sé þétt í botni. Þá er holan þrýstiprófuð, og skal reyna að gera sér vel grein fyrir skoltapi og staðsetningu skoltapsins.

Þegar nokkuð víst þykir, að það takist að steypa festil-fóðringu með samfelliðri steypu, sem dælt er niður rörið og upp með því að utan, þá er fóðrað með festilfóðringu, en eftir að henni hefur verið rennt í holuna, er vatni dælt um holuna dágóðan tíma til að kæla holuveggi. Festil-fóðring steypt, og leitazt er við að ná góðri samfelliðri steypu utan með rörinu. Er þetta atriði afar mikilvægt, þar sem slitrótt steypa utan með festilfóðringu getur haft í för með sér ófyrirsjáanlega skaða á holunni.

Magn steypu, sem dælt er niður fóðurrörið, skal vera svo mikil, að full vissa sé fyrir, að það sé nóg. Þótt nokkur

steypa kunni að fara til spillis (hámark 400 sk sement), er sá kostnaður hverfandi, sé miðað við þær afleiðingar, sem léleg steyping getur haft í för með sér.

Festilfóðring er skorin í sundur í hæfilegri hæð ofan við næsta flans (ca. 30 cm) og á rörendann er soðinn lo" ser. 600 flans. Flans á festilfóðringu er lokað og holan þrýstiprófuð með allt að 60 kg/cm² þrýstingi. Er þessi þrýstiprófun gerð sérstaklega með tilliti til flansins á festilfóðringunni. Endanlegur holutoppur settur á holuna, þ.e. millistykki og lo" ser. 600 renniloki.

Borað er með 8 3/4" krónu, og er nú ekki hirt um skoltöp í holunni, nema borsvarf gangi erfiðlega frá krónunni. Holan er boruð í ca. 1800 m dýpi, en endanlegt dýpi holunnar ræðst þó af getu borsins og vatnsgengd berglaga. Þegar holan hefur verið boruð í fulla dýpt, er hengdur í hana leiðari. Leiðarinn hangir í þar til gerðu hengistykki ca. 30 m uppi í festilfóðringu, og er hann með raufum þar sem ástæða þykir til, vegna vatnsgengdar í jarðlögunum. Ástæða er til þess að ætla, að leiðarinn nái niður undir botn holunnar.

1.2.4 Afl borhola.

Sá fjöldi borhola, sem þarf til að anna gufubörf rafstöðvarinnar, er að verulegu leyti háður varmamagni og gufuflæði úr holunum. Gufumagnið frá hverri holu er háð ýmsum aðstæðum á jarðhitasvæðinu, og er þar helzt að nefna hitastig vatnsins, sem streymir upp holuna og vatnsgengd berglaganna.

A svæðinu við Námafjall og Kröflu er borað niður að vatnsgengum berglögum, þar sem 260-290°C heitt vatn er. Þegar vatnið streymir upp holuna, minnkar þrýstingurinn, þannig að hluti vatnsins verður að gufu. Þar sem rúmtak gufunnar er margfalt rúmtak vatnsins, er aðalatriði að efri hluti holunnar sé sem víðastur.

Við áætlun á gufumagni úr borholum á svæðinu er stuðzt við

þá reynslu, sem fengizt hefur í Námafjalli. Í júlí 1968 var hola 3 afstmeld með útblástursaðferð, þ.e. holan er látin blása út um síðu af ákveðinni vídd og þrýstingur í útstreymisopi mældur. Niðurstöður þessarar mælingar voru, að holan gaf 6-8 tn/klst. af gufu við mótpþrýsting 11-6 ata. Holan hefur ekki verið í notkun síðan snemma á árinu 1969, og eftir að hafa staðið lokað í eitt ár, var hún látin blása í ársbyrjun 1971, og var þá afl hennar nánast ekkert. Minnkun á afli holunnar gæti stafað af því, að dýpri holur staðsettar nálægt holu 3 dragi vatn úr sömu vatnsæðum. Afl holu 5, sem er jafndjúp holu 3, hefur þó ekki minnkað. Í júlí 1969 var hola 4 afstmeld á sama hátt, og eru niðurstöður þeirrar mælingar, að holan gaf 25 til 30 tn/klst af gufu við ofangreindan mótpþrýsting.

Mælitækjum, sem mæla gufuflæði í pípum, var síðan komið fyrir, þannig að nú er stöðugt mælt gufurennslu bæði til gufuaflstöðvar Laxárvirkjunar og Kísiliðjunnar. Í febrúar 1971 voru gerðar mælingar á holum 4, 5 og 9 og gufumagn mælt við mismunandi mótpþrýsting á þeim stað, sem gufan er afhent til nýtingar. Fylgja kennilínur þessara borhola á mynd 10, en búast má við einhverri skekkju í kennilínunum, vegna þess að ef breyting verður á mótpþrýstingi borholu, getur það tekið holuna mjög langan tíma að komast í jafnvægi. Við langtíma mælingar gefa holur 4, 5 og 9 51 tn/klst við 7,8 ata mótpþrýsting á afhendingarstað. Holur 7 og 8 gefa á sama hátt 35 tn/klst við 10,5 ata mótpþrýsting. Samkvæmt kennilínum borhola 4, 5 og 9 minnkar afl þeirra um helming við að auka mótpþrýsting úr 7,8 ata upp í 10,5 ata. Í maí 1971 voru holur 4, 7, 8 og 9 allar leiddar til Kísiliðjunnar, og mældist þá magnið 35 tn/klst við 11 ata mótpþrýsting, en af því má sjá, að afl holanna fer ört minnkandi með auknum mótpþrýstingi.

Hola 9 er talin vera í norðurjaðri svæðisins, enda er hún ekki eins heit og afstmikil og hinari holurnar. Til grundvallar "meðalholu" eru hér lagðar holur 4 og 5, og

miðað við, að gufumagn þeirra sé það sem reikna megi með. Hér er varlega áætlað, þar sem þessar holur eru tiltölulega þróngar og grunnar, en gert er ráð fyrir í þessari áætlun, að holur séu boraðar mun dýpri og víðari.

1.3 Veðurfar.

Til þess að unnt sé að nýta orku jarðhitasvæðis til raforkuframleiðslu eins vel og mögulegt er með tiltækum vélakosti, er nauðsynlegt að ráða yfir miklu magni kælivatns, eða ca. fjörtíufaldri gufubörf stöðvarinnar.

Yfirborðsvatn er ekki fyrir hendi til þessara nota, og því ekki um aðra möguleika að ræða en lokað kælikerfi. Í lokuðu kælikerfi er kælivatninu hringrásáð milli þess eða þeirra staða, sem kælingar er þörf, þar sem hitastig þess hækkar, og kæliturns eða kælilóns, þar sem hitastig þess lækkar að sama skapi. Endurkæling í kæliturni eða kælilóni er háð veðurfari viðkomandi staðar, þ.e. lofthitastigi, loftrakastigi, vindhraða og vindátt. Veðurathuganir hafa ekki verið gerðar á þeim jarðhitasvæðum, sem hér er um að ræða, og verður því að styðjast við athuganir, sem gerðar hafa verið á öðrum veðurathugunarstöðvum. Í töflum 1 - 5 á síðum 18 til 20 er að finna úrdrátt úr skýrslum Veðurstofunnar frá árunum 1931-1960.

Hönnun kæliturns eða kælilóns verður að miðast við, að unnt sé að kæla tiltekið vatnsmagn niður í ákveðið hitastig, tiltölulega óháð veðurfarslegum aðstæðum. Stærð og þar með kostnaður kæliturns verður því meiri, því hærri sem hönunargildi lofthitastigs og loftrakastigs eru valin. Sama gildir fyrir kælilón að viðbættu hönnunargildi vindhraðans, en því lægra sem það er valið, þeim mun stærra og dýrara verður lónið.

Í töflu 1, síðu 18 kemur fram, að júlímánuður er að meðaltali heitasti mánuður ársins um land allt, með $8,9^{\circ}\text{C}$ -

11,2°C. Líklegt er, að meðalhitastig júlímánaðar á þessum jarðhitasvæðum sé svipað og í Reykjahlíð eða Grímsstöðum, þ.e. ca. 9,5°C. Upplýsingar um meðaltöl daglegra frávika frá umræddu meðalhitastigi júlímánaðar eru aðeins fáanlegar að því er varðar Reykjavík, og eru þau sýnd í töflu 2, síðu 19. Af töflu 1 og töflu 2 má ráða, að daglegur ferill hitastigsins er innan markanna 11,2° + 1,5°C og 11,2° - 1,9°C að meðaltali í Reykjavík. Líklegt er, að daglegar hitasveiflur aukist eftir því sem fjær dregur hafi, og hvað Mývatnssvæðin snertir er áætlað, að sá munur sé ca. - 1°C. Samkvæmt því ætti daglegur ferill hitastigsins á umræddum jarðhitasvæðum að liggja innan markanna 9,5° + 2,5°C = 12°C og 9,5° - 2,9°C í meðalári.

Til þess að aflstöðin geti skilað nægilega stöðugum afköstum, verður að hanna kælikerfið fyrir hærra hitastig en umræddar 12°C. Til þess að gefa hugmynd um, hve miklu hærra það hitastig á að vera, eru sýndar niðurstöður athugana á meðaltölum daglegra hámarka í töflu 3, síðu 19. Þar kemur í ljós, að meðaltal daglegra hámarka í júlí var í Reykjavík 14,7°C, eða 2°C hærra en áðurnefnt meðaltal. Sé gengið út frá sömu forsendum og áður, sem sé, að vænta megi meiri frávika frá meðaltalsgildum inn til landsins en út við ströndina, og að sá munur sé \pm 1°C, má gera ráð fyrir, að meðalhámark á jarðhitasvæðunum sé 12° + 3° = 15°C. Þessu til samanburðar skal tekið fram, að á árunum 1949-1953 reyndust um lo% allra hitamælinga í Reykjavík vera á bilinu 11° - 19°C, en aðeins 1% á bilinu 16° - 19°C. Með hliðssjón af þessu ætti aflstöðin að geta skilað tiltölulega stöðugum afköstum, óháð lofthitastigi að sumri til, ef miðað er við, að hönnunarhitastig kælikerfis sé 15°C.

Tafla 4, síðu 20 sýnir meðalrakastig í Reykjavík. Kemur þar fram, að meðalrakastig júlímánaðar á þeim tíma, sem vænta má hæsta lofthitastigs, er 73-79%. Sennilegt er, að rakastig lofts á jarðhitasvæðunum sé að meðaltali lægra en í Reykjavík, vegna fjarlægða þeirra frá hafinu.

Vegna þess að hér er um meðaltalsgildi að ræða, er þó talið rétt að reikna með, að hönnunarrakastig kælikerfis sé 80%.

Tafla 5, síðu 20 sýnir tíðni vindáttu og meðalvindhraða á Grímsstöðum. Þar má sjá, að meðalvindhraði júlíímánaðar er 2,3 m/s, en tíðni logns er að meðaltali 17%. Í logni er kælingargeta kælilóns svo að segja engin, og mun slikt því óhjákvæmilega leiða til minnkandi afkasta aflostöðvarinnar. Um þetta atriði verður nánar fjallað í kafla 2.4.

Tafla 1.

Meðalhiti 1931 - 1960, °C.

Mánuður: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Stöß:

Reykjav.-o,4 -o,1 1,5 3,1 6,9 9,5 11,2 1o,8 8,6 4,9 2,6 o,9
Húsavík -1,2 -1,3 o,o 1,5 5,7 8,6 1o,2 9,8 7,9 4,o 1,6 -o,2
Reykjahl-4,1 -4,2-2,4-o,3 4,7 8,2 1o,2 9,3 6,5 1,9-1,o -2,9
Grímsst.-4,8 -4,8-3,1-1,1 3,7 7,2 8,9 8,o 5,4 o,9-1,8 -3,6

Tafla 2.
Dagleg hitasveifla í Reykjavík 1956-1960, °C.

Mánuður	kl. 2	5	8	11	14	17	20	23
Janúar	-0,1	-0,1	-0,2	-0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Febrúar	-0,4	-0,3	-0,5	0,3	0,9	0,5	-0,2	-0,3
Marz	-0,8	-0,8	-0,8	0,6	1,3	1,0	0,0	-0,5
Apríl	-1,2	-1,5	-0,6	1,0	1,6	1,3	0,2	-0,8
Maí	-1,8	-1,9	-0,3	1,0	1,8	1,5	0,6	-0,9
Júní	-1,6	-1,5	-0,3	0,9	1,4	1,2	0,5	-0,6
Júlí	-1,6	-1,9	-0,3	0,9	1,5	1,4	0,6	-0,6
Ágúst	-1,7	-2,1	-0,6	1,0	1,9	1,7	0,7	-0,9
September	-1,1	-1,2	-0,7	0,9	1,6	1,3	0,0	-0,8
Október	-0,6	-0,7	-0,6	0,5	1,2	0,8	-0,2	-0,4
Nóvember	-0,2	-0,3	-0,1	0,3	0,6	0,0	-0,1	-0,2
Desember	0,0	0,0	-0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	-0,1

Tafla 3.
Daglegt meðallágmark og meðalhámark hitastigs 1931-1960, °C

Mánuður: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Stöð:

Reykja-	2,8	-2,8	-1,2	0,6	4,1	7,0	9,0	8,3	6,2	2,7	0,3	-1,6
vík	2,4	2,8	4,6	6,4	10,3	12,9	14,7	14,1	11,6	7,7	4,9	3,5
Akur-	-4,7	-4,7	-3,4	-1,3	2,9	6,0	7,9	7,4	4,9	0,9	-1,5	-3,4
eyri	1,8	1,5	3,1	5,3	10,2	12,8	14,3	13,9	11,2	6,7	4,1	2,6

Tafla 4.

Meðalrakastig í Reykjavík 1949 - 1953, % R.F.

Mánuður	kl.	2	5	8	11	14	17	20	23
Janúar		82	81	81	80	81	82	82	82
Febrúar		85	85	85	84	83	83	83	84
Marz		83	83	82	79	78	80	82	82
Apríl		81	81	79	76	74	74	79	81
Maí		83	82	75	71	69	70	75	81
Júní		84	83	75	70	69	70	74	80
Júlí		86	85	79	75	73	75	78	83
Ágúst		85	86	81	74	71	73	79	84
September		85	85	83	79	76	77	82	84
Október		83	82	83	81	78	80	82	83
Nóvember		81	82	83	81	79	81	81	81
Desember		83	83	82	81	81	81	82	81

Tafla 5.

Tíðni vindáttu og meðalveðurhæð á Grímsstöðum 1931 - 1960.

Mánuður	m/s	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Logn
Janúar	3,3	11	10	10	22	12	16	2	4	13
Febrúar	3,3	13	13	6	20	14	15	2	4	13
Marz	3,1	10	11	8	23	15	14	2	4	13
Apríl	3,1	15	11	8	17	13	13	3	7	13
Maí	2,8	19	9	10	20	14	12	2	4	10
Júní	2,5	25	9	8	14	12	11	1	5	15
Júlí	2,3	26	11	7	13	12	9	0	5	17
Ágúst	2,3	24	10	7	12	14	12	1	4	16
September	2,5	14	7	8	17	17	14	1	6	16
Október	2,6	13	7	5	22	19	12	1	5	16
Nóvember	2,8	11	9	6	21	17	12	2	5	17
Desember	3,1	11	11	8	23	14	14	1	4	14

2. AFLSTÖÐIN

2.1 Tegund.

Hagnýting jarðgufu til raforkuframleiðslu hófst á Ítalíu skömmu eftir aldamótin. Í dag mun samanlögð afkastageta jarðgufuaflstöðva í heiminum nema um 1200 MW, en ráðgert er að byggja nýjar stöðvar á komandi árum með um 1000 MW afkastagetu.

Sameiginlegt með öllum þessum stöðvum er, að gufutúrbínur eru notaðar til að knýja rafalana og hagnýting borholuorkunnar er samkvæmt einhverjum af eftirfarandi möguleikum:

Kerfi 1 Mótbryrstivél.

Kerfi 2 Eimsvalavél án nýtingar borholuvatns
(þar sem það er fyrir hendi).

Kerfi 3 Eimsvalavél með nýtingu borholuvatns
(þar sem það er fyrir hendi).

A mynd 11 er skýringarmynd af kerfi 1. Gufunni er veitt inn á túrbínuna við þrýstinginn P_1 og frá henni við um það bil 1 ata þrýsting, P_2 . Þar sem svo háttar til, að borholur skila bæði vatni og gufu í senn, eins og tilfellið er hérlendis, er vatnið skilið frá gufunni í sérstökum gufuskiljum og veitt burtu ónotuðu.

A mynd 12 er skýringarmynd af kerfi 2. Þetta kerfi er frábrugðið kerfi 1 að því leyti, að í stað þess að hleypa gufunni út við ca. 1 ata þrýsting, er hún þétt í eimsvala við mun lægri þrýsting, P_2 (ca. 0,1 ata), en við það nýtist varmainnihald hennar mun betur. Borholuvatni er veitt burtu ónotuðu eins og áður.

A mynd 13 er skýringarmynd af kerfi 3. Þetta kerfi er miðað við borholur, sem skila bæði vatni og gufu í senn. Borholugufan er notuð á sama hátt og í kerfi 2, við þrýstinginn P_1 , en borholuvatnið látið sjóða við lægri þrýsting P_3 , og við það fæst tiltekið gufustreymi, sem nýtt er til raforkuframleiðslu. A skýringarmyndinni er þetta sýnt þannig, að gert er ráð fyrir sérstakri túrbínusamstæðu,

sem nýtir þetta gufustreymi, en einnig er mögulegt að nota aðeins eina samstæðu, sem er þannig úr garði gerð, að túrbínan hefur tvö inntök, annað fyrir "háþrýstigufu", en hitt fyrir "lágþrýstigufu".

Nýting borholuorkunnar er mjög mismunandi, eftir því hvaða kerfi er um að ræða. Miðað við þá skilgreiningu, að nýting orkunnar teljist 100%, þegar öllu frárennslisvatni stöðvarinnar er veitt burtu við 45°C, þá er samsvarandi orkunýting, n_t umræddra kerfa eftirfarandi:

Kerfi	P_1	P_2	P_3	n_{is}	n_m	n_t
1	6.0	1.0		80	90	3
2	4.0	0.1		80	90	7
3	4.0	0.1	1.0	80	90	10

P_1 : gufuþrýstingur við aðalloka "háþrýstitúrbínu", ata.

P_2 : gufuþrýstingur við útstreymisop túrbínu, ata.

P_3 : gufuþrýstingur við aðalloka "lágþrýstitúrbínu", ata.

n_{is} : isentropisk nýtni túrbínu, %.

n_m : mekanisk nýtni túrbínu, %.

n_t : termodynamisk nýtni túrbínu, %.

Eins og sjá má, er nýting jarðvarmans mjög lág í öllum tilvikum, en sé miðað við kerfi 1, þá er n_t rúmlega tvöfalt hærri í kerfi 2 og rúmlega prefalt hærri í kerfi 3.

Aflstöð samkvæmt kerfi 1 er mjög einföld, þar sem ekki er þörf á eimsvala með tilheyrandi kælivatnskerfi. Stofnkostnaður véla er því tiltölulega lágur miðað við kerfi 2 eða 3, en gufunotkun aftur á móti mikil.

Aflstöð sem þessi væri hagkvæm, þar sem aflþörf er tiltölulega lítil (1000-1600 KW) og/eða ekki langvarandi (toppafl). T.d. væri hugsanlegt að nota slika samstæðu á jarðhitasvæðum, þar sem unnið er að rannsóknum, vegna þess að auðvelt er að flytja vélarnar úr stað, eftir því sem þurfa þykir.

Aflstöð samkvæmt kerfi 2 er talsvert viðamikil, þar sem þörf er á eimsvala með tilheyrandi kælibúnaði. Stofnkostnaður vélabúnaðar verður mun hærri við þessa tegund stöðvar en stöðvar samkvæmt kerfi 1, en með sömu gufunotkun fæst um það bil 130% meiri raforka. Þetta kerfi er algengast í stöðvum, sem framleiða raforku í samkeppni við aðrar tegundir raforkuvera, og má þar nefna Lardarello á Ítalíu, hluta af Wairakei á Nýja-Sjálandi, Geysers í Kaliforníu og Matsukawa í Japan.

Stærð hverrar túrbínusamstæðu er frá ca. 8 MW til 55 MW.

Aflstöð samkvæmt kerfi 3 má skoða sem eins konar viðbót við kerfi 2, sem fólgin er í gufusjóðara og "lágþrýstítúrbínu", ásamt tilheyrandi leiðslukerfi. Við slika viðbót mun afkastageta stöðvarinnar aukast um liðlega 40%, án þess að þörf sé á fleiri borholum. Eins og áður var getið, gat einnig komið til greina að nota eina "tvíþrýstítúrbínu" í stað tveggja "einþrýstítúrbína", og mundi sú aðferð vafalaust verða ódýrust, ef byggja ætti stöð upp samkvæmt kerfi 3 frá byrjun. Hluti af Wairakeistöðinni eru slíkar 30 MW samstæður, og ráðgert er að hefja byggingu samskonar 20 MW einingar í El Salvador á þessu ári.

Frumáætlun þessi miðast við 8-16 MW virkjunaráfanga, sem að öllum líkindum er of líttill til þess að kerfi 3 sé hagkvæmara en kerfi 2. Einnig verður að teljast óráðlegt að leggja í mjög dýra gufuafsvirkjun, þar sem ekki er fengin nægileg reynsla hérlendis af jarðhitasvæðunum sjálfum. Rétt er þó að taka fram, að í El Salvador er unnið að tilraunum með flutning vatns og gufu í sömu leiðslu, en ef þær reynast jákvæðar, mundi stofnkostnaður kerfis 3 minnka verulega, og því rétt að hafa þann möguleika í huga, ef af framkvæmdum verður.

Eins og áður var minnzt á, kemur naumast til greina, að 8-16 MW gufuafstöð verði byggð samkvæmt kerfi 1, þar eð gufupþörf slíkrar stöðvar gerði það að verkum, að reksturskostnaður yrði hærri en fyrir tilsvarandi stöð eftir kerfi 2, enda þótt stofnkostnaður sé aðeins um

60% af kostnaði slíkrar stöðvar.

Samkvæmt framansögðu verður þessi frumáætlun miðuð við aflstöð samkvæmt kerfi 2, og verður nú nánar vikið að helztu atriðunum, sem ákvarðandi eru fyrir stofn- og reksturskostnað slíkrar stöðvar.

2.2 Túrbína

Túrbínu, sem nota á í jarðgufuaflstöð, þarf að hanna með sérstöku tilliti til þess, að gufan er því sem næst mettuð, er við lágan þrýsting og inniheldur óþéttanleg gös og sölt. Í lágþrýstihluta vélarinnar er gufan orðin vot (lo-13%), og verður því að takmarka hraða túrbínblaðanna við ca. 275 m/s, til þess að minnka erosion í lágþrýstihlutanum. Slik hraðatakmörkun er einnig æskileg vegna klórinnihalds í gufunni, sem veldur spennutæringu, sérstaklega ef blaðhraðar eru miklir og togspennur þar af leiðandi háar.

Efni í túrbínublöðin verður að velja með sérstöku tilliti til þessara aðstæðna, og hefur 12-14% króm-stál í mjúku ástandi reynzt vel í Wairakei-vélunum. Til greina getur komið að hanna lágþrýstihlutann með sérstökum gufuskiljum, er fjarlægja hluta af vatnsinnihaldi gufunnar og minnka við það hættu á erosion. Einig getur hugsaðt, að æskilegt væri að útbúa erosionhlífar á síðustu blaðaröðina í sama tilgangi.

Að öðru jöfnu er reaktiontúrbína hentugri til þessara nota en aktiontúrbína, þar eð tærandi áhrif gufunnar á túrbínuásinn eru þá minni.

H_2S -innihald gufunnar gerir það að verkum, að koparblöndur eru ónothæfar í þettingar og yfirleitt allsstaðar þar sem gufan kemst að. Til þess að minnka H_2S -innihald í lofti stöðvarhússins, væri æskilegt, að túrbínan væri tvöföld (double flow), en þá er engin labyrinth-þetting í háþrýstihlutanum, og einnig verður þá auðveldara að fullnægja skilyrðum um lágan blaðhraða við 3000 sn/mín.

Til þess að koma í veg fyrir kísilútfellingar í þétt-
ingum, kemur til mála að láta hreina gufu, framleidda
í varmaskipti, streyma í gegnum þær. Af sömu orsökum
er æskilegt, að aðallokar á gufinntaki séu tvöfaldir,
þannig að unnt sé að hreyfa þá og halda þeim hreinum,
án þess að stöðva þurfi vélina.

Hugsanlegt er, að sá þrýstingur, sem valinn verður við
inntak í vélina, reynist ekki heppilegur af ýmsum ástæð-
um. Til greina kemur, að afkastageta borhola og þrýst-
ingur fari minnkandi, eftir því sem nýting jarðhita-
svæðisins eykst og borholum fjölgar, og því verði nauð-
synlegt að lækka inntaksþrýsting til samræmis við kenni-
linur borholanna (sjá kafla 2.2.1.). Einnig er hugsan-
legt, að hagkvæmt sé að auka inntaksþrýsting túrbína,
ef henta þykir að breyta kerfinu, þ.e. kerfi 2, í
kerfi 3.

Með þetta fyrir augum væri æskilegt, að hægt yrði að
taka út eða bæta við þrepum í háþrýstihluta vélarinnar,
án teljandi tilkostnaðar, sem gerði það að verkum, að
vélín gæti skilað fullum afköstum, þó að þrýstingur
yrði ca. 1 kp/cm² hærri eða lægri en hönnunarþrýstingur.

2.2.1 Gufuþrýstingur við inntaksloka túrbínu

Hér er átt við gufuþrýsting þann, sem á skýringarmynd
kerfis 2, mynd 12, er nefndur P_1 , en miðað er við, að
vélín skili fullum afköstum við pennan þrýsting.

Eins og rætt hefur verið um í kafla 1.2.4., voru fram-
kvæmdar mælingar á gufustreymi borhola nr. 4, 5 og 9
í Bjarnarflogi við Námafjall. Aflestur þrýstings og
magns fór fram í gufuflstöðinni, þannig að samkvæmt
skýringarmyndum kerfis 1 og 2, myndir 11 og 12, er um
að ræða mælingar á þrýstingnum P_1 , en ekki P_0 , eins og
venja er við slíkar mælingar. Afkastageta holu nr. 9
reyndist mun minni en afkastageta hola nr. 4 og 5, og
þangað til umfangsmeiri mælingar, sem byggja á fleiri
borholum og lengri tíma, hafa verið framkvæmdar, þótti

líklegt, að meðaltal gufustreymis hola nr. 4 og 5 væri nálægt því að vera "meðalborhola" jarðhitasvæðisins.

Innan þess þrýstingssviðs, sem mælingarnar voru framkvæmdar á, 6-ll ata, reyndust gufukennilínurnar nálægt því að vera beinar. Á þeim forsendum, að sama gildi í bilinu 2-6 ata, var umrædd "meðalkennilína" jarðhitasvæðisins framlengd niður í 2 ata.

Við gefin gildi á eimsvalaprýsting, P_2 (sjá skýringarmynd kerfis 2), isentropiskri og mekaniskri nýtni vélasamstæðunnar, er unnt að reikna heildarafkastagetu stöðvarinnar við mismunandi gildi á inntaksþrýsting, P_1 . Niðurstaða þeirra útreikninga, ásamt umræddri "meðalkennilínu", er sýnd á mynd 14. Eimsvalaprýstingur var valinn 0,07 og 0,10 ata og margfeldi isentropiskrar og mekaniskrar nýtni var valið 1,00 eða 100%, þ.e. taplaus vél. Ekki er líklegt, að isentropisk og/eða mekanisk nýtni vélarinnar sé háð þrýstingnum P_1 , og skiptir því ekki máli fyrir útlit ferilsins, hvaða gildi eru valin í þessu tilfelli. Eins og sjá má, nær orka borholunnar hámarki við ca. 3 ata, en það þýðir, að vinnuþrýstingur við borholu, P_0 , er ca. 4,5 - 5 ata, ef gert er ráð fyrir 1,5 til 2,0 kp/cm^2 þrýstítapi í pípum og skiljum.

Ef 3 ata yrði valinn sem inntaksþrýstingur túrbínu, yrði stofnkostnaður borhola að vísu í lágmarki, en sama gildir ekki um aðra hluta aflstöðvarinnar. Túrbína og eimsvali verða þeim mun fyrirferðarmeiri og dýrari, því lægri sem inntaksþrýstingurinn er valinn, þannig að við endanlegt val verður að finna lágmark heildarkostnaðar, túrbínu, eimsvala og borholukerfis.

Eins og áður var um getið, er grundvöllurinn fyrir ákvörðun "meðalborholunnar" mjög ótryggur, og auk þess er óvist, að aðveitukerfið verði samsvarandi kerfi gufuaflstöðvarinnar í Bjarnarflagi. Það er því augljóst, að ómögulegt er að framkvæma nákvæma kostnaðarútreikninga á þessu stigi málsins, þannig að réttlætanlegt er, að ágizkun sé beitt við ákvörðun þess inntaksþrýstings, sem kostnaðaráætlunin

verður miðuð við.

Talið er, að 4 ata sé við neðri mörk þess þrýstingsbils, sem endanlegur vinnuþrýstingur yrði valinn á, en það þýðir, að áætlaður stofnkostnaður véla verður sennilega í hærra lagi, en stofnkostnaður borhola og gufuverð í lægra lagi.

Ekki er unnt að reikna út heildarorku "meðalborholanna" miðað við kerfi 3, þar eð mælingar á vatnsstreymi borholanna hafa ekki verið gerðar. Öruggt er þó, að heildarorka verður í hámarki við hærri þrýsting en 3 ata, og ber að hafa það í huga, ef gera á ráð fyrir, að jarðhitavæðið verði nýtt samkvæmt því kerfi síðar meir.

2.2.2 Eimsvalaprýstingur.

Eins og fram kemur á mynd 14, hefur eimsvalaprýstingurinn, P_2 , mikil áhrif á afkastagetu túrbínusamstæðunnar. Þannig mundi 0.03 kp/cm^2 lækkun, úr 0.10 ata í 0.07 ata, hafa í för með sér um 10% afkastaaukningu, að öðru óbreyttu. Þess ber þó að gæta, að því lægri sem eimsvalaprýstingurinn er valinn, þeim mun stærra verður þvermál lágþrýstihluta túrbínunnar og þeim mun votari verður gufan í síðustu þrepunum. Þetta gerir það að verkum, að til þess að mögulegt sé að fullnægja áður gerðum kröfum um lágar spennur og öryggi gegn erosion, verður að takmarka eimsvalaprýstinginn við 0.10-0.07 ata.

Í kafla 1.3 voru veðurfarsleg hönnunargildi kælikerfis valin 15°C og 80% rakastig. Þetta val takmarkar að sjálfssögðu hitastig kælivatns og þar með einnig eimsvalaprýsting, eins og rætt er um í kafla 2.4.

2.3 Eimsvali.

Jarðgufuaflstöð er frábrugðin "venjulegri" gufuafilstöð að því leyti m.a., að ekki þarf að nota þéttivatnið aftur, og þess vegna er mögulegt að þétta gufuna með

beinni kælingu, þ.e. með því að úða kælivatnинu inn í gufustrauminn frá túrbínunni. Þetta er bæði bezta og ódýrasta lausnin, sem völ er á, vegna þess að ekki er þörf á varmaskiptafleti milli gufu og kælivatns, sem eykur hitamismun kælivatns og þéttivatns og gerir eimsvalann dýran í smíði og viðhaldi.

Til þess að viðhalda undirþrýstingi í eimsvalanum, er um tvo möguleika að ræða. Í fyrsta lagi með dælu og í öðru lagi með vatnssúlu ("barometriskur" eimsvali).

Fyrri möguleikinn hefur í för með sér þá áhættu, að vatn komist í túrbínuna, ef dælan bilar, en auk þess þarf að staðsetja dæluna talsvert neðan við frárennslisop eimsvalans til þess að koma í veg fyrir "kaviteringu".

Síðari möguleikinn hefur aftur á móti þann kost, að ekki er hætta á að vatn komist í túrbínuna. Fyrirkomulag eimsvalans getur verið með tvennu móti, annars vegar, að hann sé staðsettur undir túrbínunni, hins vegar, að hann sé staðsettur til hliðar og ofan við túrbínuna. Í fyrra tilfellinu þarf túrbínan að vera í um það bil 12-13 m hæð yfir stöðvarhúsgólf, en í því síðara 6-7 m, með tengipípu milli túrbínuúttaks og eimsvalainntaks. Rétt er að taka fram, að hér er miðað við láréttan húsgrunn, en séu verulegar mishæðir í landslagi, er mögulegt að staðsetja eimsvalann undir túrbínunni, án þess að stöðvarhúsið verði mjög hátt.

Enda þótt eimsvali með "barometriskri" pípu kunni að krefjast hærra og dýrara stöðvarhúss en eimsvali með dælu, þá er rekstraröryggi þess fyrrnefnda það mikilvægt atriði, að hin lausnin kemur naumast til greina. Hitt er aftur á móti álitamál, hvort sé heppilegra, að eimsvalinn sé undir eða ofan við túrbínuna. Helztu kostir fyrri lausnarinnar eru þeir, að eimsvalinn er innanhúss og þess vegna ekki hætta á ísmyndun í gasleiðslum. Þrýstítap milli túrbínuúttaks og eimsvala er hverfandi lítið og uppsetning er auðveld, þar eð mögulegt er að nota stöðvarhúskranann. Aðalókosturinn er sá, að fyrirkomulagið krefst þess, að stöðvarhúsið sé allhátt, 22-24 m.

Helzti kostur síðari lausnarinnar er lægra túrbínuhús, 16-17 m. Aðalókostirnir eru þeir, að þrýstítap í pípunni milli túrbínuúttaks og eimsvalainntaks veldur talsverðum mismun á eimsvalaprýstingi og úttaksprýstingi, þannig að til þess að fá sömu afköst túrbínu við yfirliggjandi eimsvala eins og undirliggjandi eimsvala, verður eimsvalaprýstingur þess fyrrnefnda að vera því lægri sem þessu þrýstítapi nemur. Einnig er örðugt að koma eimsvalanum fyrir, auk þess sem hætta getur verið á skemmdum af völdum frosts.

Rétt þykir, að gert sé ráð fyrir, að báðir þessir möguleikar geti komið til greina. Á myndum 15 og 16 eru sýndar grunnmyndir og þverskurðir stöðvarhúss, þar sem þessi mismunur eimsvalastaðsetningar kemur í ljós, og kostnaðaráætlun er gerð fyrir báða möguleika.

Gufan inniheldur um 2 l/kg af ópéttanlegum gösum (20°C , 760 mm H_g), sem fjarlægja þarf úr eimsvalanum. Gasinnihaldið er ekki það mikið, að nauðsynlegt sé að nota sogdælur ("turbokompréssora"), þannig að gufu- eða vatns- ejektorar munu nægja. Gufuejektorar eru ódýrarí í rekstri og algengari framleiðsluvara, en tæringarhætta á millikælum gerir það að verkum, að sérstakrar aðgæzlu er þörf við efnisval og viðhald, þannig að rétt er að gera ráð fyrir báðum möguleikum. Í kostnaðaráætluninni er gert ráð fyrir tveggja prepa gufuejektorum. Reynsla erlendis hefur leitt í ljós, að gasinnihald jarðgufu er breytilagt, þannig að það getur bæði aukizt og minnkað, og er því gert ráð fyrir, að gufuejektorarnir geti annað helmingi meira gasi en mælzt hefur til þessa.

2.4. Kælikerfi.

Það eru einkum tvær aðferðir, sem koma til greina við kælingu kælivatns:

- a) Kælilón
- b) Kæliturnar

Kæling í kælilóni á sér stað með þeim hætti, að heitu vatni frá eimsvalanum er úðað í loft upp yfir uppistöðulóni og við það gufar hluti þess upp, en megnið af vatninu fellur niður í lónið aftur og hefur þá kólnað vegna uppgufunar og "konvektionar". Til þess að varmaflutningur geti átt sér stað, verður loftið að vera í þannig ástandi, að það geti tekið í sig raka og varma, þ.e. því lægra sem raka- og hitastig loftsins er, þeim mun kröftugri er kælingin. Það er því augljóst, að hreyfing verður að vera á loftinu yfir kælilóninu, þannig að þurrara og kaldara loft komi í stað rakamettaðs lofts. Eins og um var getið í kafla 1.3, reyndist meðalvindhraði í júlí á Grímsstöðum vera $2,3 \text{ m/s}$, og hönnunargildi lofthita og loftraka voru 15°C og 80%. Útreikningar leiða í ljós, að flatarmál kælilóns verður ca. $800\text{-}1000 \text{ m}^2/\text{MW}$. Ef logn verður, mun hitastig kælilóns hækka um ca. $2\text{-}3^{\circ}\text{C}$ pr. klst, miðað við 1.5 m djúpt lón. Sem dæmi má nefna, að logn í 3 klst. veldur ca. 10% afkastarýrnun aflstöðvarinnar. Lognprósentan á Grímsstöðum reyndist um 17% í júlimánuði, og er því augljóst, að ekki verður komið hjá nokkrum sveiflum á afli stöðvarinnar, ef kælilón er notað eingöngu.

Kæliturnar vinna á sama hátt og kælilón að öðru leyti en því, að þeir eru að mestu óháðir vindhraða á staðnum. Til eru tvær aðalgerðir, sjálfdrægniturnar og blásaraturnar. Sjálfdrægniturnar eru fyrirferðarmiklir, vegna þess að loftstreymi gegnum turninn viðhelzt vegna skorsteinsverkunar, en eru aftur á móti ódýrari í rekstri. Í miklum frostum er hætta á ísingu í loftinntaki turnsins, sem hæglega gæti valdið tilfinnanlegum truflunum á rekstri stöðvarinnar.

Loftstreymi gegnum blásaraturn er viðhaldið með axial-blásurum og er fyrirferð því ekki eins mikil, en rekstrar-kostnaður blásara er aftur á móti talsverður. Ef ísing verður í loftinntaki turnsins, er unnt að breyta snúningi blásarans þannig, að loftstreymi verði öfugt og þíði inn-taksopin.

Undir venjulegum kringumstæðum, þar sem vel háttar til með gerð kælilóns, mundi sú lausn vera ódýrust, en blásarakæliturnar aftur á móti dýrasta lausnin. Með til-liti til þess, að kælilón er háð vindhraða og að hætt er við krapmyndun að vetrarlagi, þykir ekki ráðlegt að velja þessa lausn, þótt hún kunni að vera ódýrust.

Umræddir kostir blásarakæliturna umfram sjálfdrægniturna að vetrarlagi gera það að verkum, að þeir eru eina lausn-in, sem til greina getur komið í lokuðu kælikerfi, og verður kostnaðaráætlun miðuð við þessa kæliaðferð.

Til þess að unnt sé að þétta gufuna við ca. 0.07 ata í eimsvalanum, er nauðsynlegt, að hitastig frárennslisvatns eimsvalans, sem jafnframt er aðrennslishitastig kæliturns-ins, sé um 4°C lægra en suðumark vatns við 0.07 ata, þ.e. 34°C . "Vothitastig" loftsins við 15°C og 80% rakastig er 13°C . Stærð og kostnaður kæliturns vex með minnkandi mis-mun hitastiga frárennslisvatns turnsins, sem jafnframt er aðrennslishitastig eimsvalans, og "vothitastigs" loftsins. Venja er að miða kæliturn við ca. $5^{\circ} - 10^{\circ}\text{C}$ mismun, og verður frárennslishitastig kæliturnsins þá $18^{\circ} - 23^{\circ}\text{C}$, og kælivatnspörf eimsvalans 260 - 380 m³/Mwh.

Í kæliturninum tapast vatn vegna uppgufunar og úðamynd-unar. Undir venjulegum kringumstæðum tapast um 2% af vatnsstreyminu, en þar eð gufupéttинг í eimsvalanum er um 2.5% af vatnsstreyminu, þarf að veita ca. 0.5% burtu úr kerfinu. Péttivatnið er súrt og inniheldur eitthvað af steinefnum, en ekki hefur verið rannsakað, hvort kemisk meðhöndlun kælivatnsins sé nauðsynleg, og er ekki tekið tillit til neins þess háttar í kostnaðaráætluninni. Ljóst er þó, að sérstakra ráðstafana er þörf við efnis-val kælikerfis. Nauðsynlegt er, að kæliturn verði varinn gegn tæringu með t.d. epoxy-húðun, og fyllingaruppistöður þurfa að vera úr ryðfriu stáli.

Ef mögulegt reynist að staðsetja kæliturn þannig, að vatnsborð í honum sé um það bil 3.5 m undir kælivatns-inntaki í eimsvala, þarf aðeins eitt sett af dælum, sem

dæla kælivatninu frá útstreymisbrunni "barometrisku" pípunnar upp í kæliturnsúðarana. Af öryggisástæðum er gert ráð fyrir, að dælurnar verði tvær, hvor um sig fær um að dæla 100% af heildarvatnsmagninu.

Staðsetning og gerð dæla getur verið með ýmsu móti og fer það eftir staðháttum á byggingarstað, hvaða lausn verður fyrir valinu. Í kostnaðaráætluninni er gert ráð fyrir staðsetningu utan stöðvarhússins í sérstöku dæluhúsi.

2.5 Aðveitukerfi gufu.

Vegna staðsetningar jarðhitasvæðanna við Kröflu og Námafjall verður að hafa í huga, að stórhriðar og mikil frost eru algeng á veturna, og taka verður tillit til þess við hönnun borholuútbúnaða og gufuæða.

Mynd 17 sýnir fyrirkomulag gufuskiljunnar. Þar sem blanda af vatni, gufu og lítilsháttar sandi koma upp úr holunum, er komið fyrir við holuna svokallaðri forskilju, þ.e. U beygju eins og myndin sýnir.

Í forskiljunni skilst frá gufunni sandurinn og allt að 80% af því vatni, sem fylgir gufunni, en gufan og nokkuð af vatni fer um gufupípuna til aðalskiljunnar, en þar kemur blandan inn í belginn með snertilínu, og skilst að vegna miðflóttaaflsins. Vatnið frá skiljunni rennur um svokallaðan flotloka, en honum er stjórnað með flotholti í vatnshæðartönkunum. Þessi flotloki er sérstaklega hann-aður með tilliti til þess, að gufunotkun Kísiliðjunnar getur verið ójöfn, en þess vegna hækkar og lækkar gufu-prýstingur í skiljunni, þannig að vatnsmagnið, sem renna þarf út, verður mismikið.

Reynslan hefur hins vegar sýnt, að allir hreyfanlegir fletir inni í skiljunni endast illa, og viðhald flotlokanna er mikið, og er nú ráðgert að hætta notkun þeirra, en taka upp ventlakistur, þannig að stilla megi vatnsrennslið með föstum stillingum.

Hámarksþrýstingi gufuskiljunnar og gufukerfisins er stjórn-

að með tveim öryggislokum, sem tengdir eru gufukerfinu, þar sem gufan streymir frá skiljunni út í gufuæðina. Öryggislokarnir opnast við gufuþrýsting, sem er litlu hærri en vinnsluþrýstingur kerfisins.

Upphoflega var borholubúnaðurinn undir beru lofti, en reynslan sýndi, að byggja þurfti skýli, enda hefur það talsvert einangrunargildi í vondum veðrum.

Gufuæðarnar eru byggðar ofanjarðar í 2 m lofthæð frá jörðu, til að fyrirbyggja, að snjóré hlaðist að þeim og til þess að forðast leysingarvatn.

Hitastig gufunnar í pípunum er allt að 180°C og þar sem útihitastig getur farið niður í $+35^{\circ}\text{C}$, þarf að gera ráð fyrir hitapenslu, sem getur orðið 0,25 - 0,26 m/loo m. Undirstöður gufuæðanna eru þannig, að með loo - 200 m millibili eru steinsteyptir festlar, en milli þeirra hvílir pípan á "pendilsúlum", sem stagaðar eru til hliðanna, sjá mynd 17. Hitapenslan er tekin með sveifarþönum, sem staðsettir eru við festlana.

Pípurnar eru einangraðar með $1\frac{1}{2}$ " þykki glerull, og er hún klædd að utan með álþynnu, þannig að raki kemst ekki í einangrunina.

2.6. Rafkerfi.

Á mynd 18 er sýnd einlínemynd rafkerfisins. Hún er í öllum aðalatriðum eins og um venjulega vatnsaflstöð væri að ræða; munurinn er einkum fólginn í hlutfallslega stórum stöðvarhússpenni.

Gert er ráð fyrir, að lögð verði 66 kV háspennulína frá stöðinni til Mývatns og þaðan niður að spennistöð við Laxá. Dieselrafstöð, tengd 300 kVA stöðvarhússpenni, mun sjá stöðinni fyrir varaafli.

H_2S -innihald í andrúmslofti jarðhitasvæða krefst sérstakra ráðstafana til verndar gegn tæringu. Þessar ráðstafanir eru einkum fólgunar í réttu efnisvali og frágangi. Sem dæmi má nefna málmhúðun viðkvæmra rofa, verndun með olíu-

baði og loftþéttum frágangi. Ennfremur er hugsanlegt, að halda megi H₂S-innihaldi loftsins, innan veggja stöðvarhússins, í skefjum með viðeigandi loftræstikerfi. T.d. er gert ráð fyrir lokaðri loftkælihringrás í rafala.

2.7. Stöðvarhús.

Við frumhönnun stöðvarhúss var lögð áherzla á framtíðar stækjunarmöguleika stöðvarinnar og einfalt og ódýrt byggingsarf, sem auðvelt væri að aðlaga ýmsum mismunandi staðháttum á byggingarstað.

Húsið skiptist í two aðalhluta, túrbínuhús og stjórn- og verkstæðishús.

Túrbínusamstæðunum er komið fyrir þvert á lengdarstefnu túrbínuhússins, en það er eðlileg staðsetning miðað við, að tengivirki sé samhliða langhlið stjórn- og verkstæðis-húss, en kæliturnar og dæluhús ásamt gufuskiljum séu samhliða langhlið túrbínuhúss. Í enda túrbínuhúss er aðstaða til þess að leggja stærstu hluta vélasamstæðanna, þegar á viðgerð eða eftirliti stendur, og á milli hverra samstæða er rými fyrir gufuejktora.

Í stjórn- og verkstæðishúsi verður rými fyrir stjórn-töflur, rafbúnað og aðstaða fyrir starfsfólk, ásamt verkstæði, sem ætlað er fyrir viðgerðir innan stöðvar og einnig til viðgerða á borholubúnaði, leiðslum og borbúnaði.

Stækjun stöðvarinnar um eina vélasamstæðu er möguleg, án þess að stjórn- og verkstæðisbygging verði lengd.

Eins og áður var getið, er kostnaðaráætlunin tvískipt, eftir því hvort um er að ræða undir- eða yfirliggjandi eimsvala. Venja er, að stjórntöflur séu staðsettar í sömu hæð og túrbínusamstæðan, en þegar eimsvallinn er undirliggjandi, verður mjög og óþarflega hátt til lofts á neðri hæð stjórn- og verkstæðisbyggingar. Ekki er talin brýn nauðsyn á, að stjórnherbergi sé á sömu hæð og túrbínupallur, og er því gert ráð fyrir, að stjórn- og verkstæðisbygging verði jafnhá, hvort heldur um er að ræða undir- eða yfir-

liggjandi eimsvala.

Verkfræðiskrifstofa Sigurðar Thoroddsen sf. sá um frumhönnun stöðvarhúss, og frekari upplýsingar því viðvíkjandi er að finna í sérstakri greinargerð verkfræðistofunnar: "Gufuaflstöð við Kröflu; Frumáætlun um stöðvarhús". Tekið skal fram, að kostnaðaráætlun Verkfræðistofu Sig. Thoroddsen sf. miðast við, að stjórnherbergi sé í sömu hæð og túrbínupallur, hvort heldur um er að ræða undir- eða yfirliggjandi eimsvala, en í þeiri kostnaðaráætlun, sem hér fer á eftir, var þessu breytt til samræmis við það, sem áður hefur verið sagt. Einnig er nú gert ráð fyrir, að öll byggingin verði einangruð, en ekki einungis efri hæð stjórn- og verkstæðisbyggingar, eins og áður var reiknað með.

2.8. Staðsetning.

Í þessari áætlun er ekki gert ráð fyrir neinum sérstökum stað fyrir aflstöðina, að öðru leyti en því, að miðað er við Námafjalls- og Kröflusvæðin.

Minnzt hefur verið á, að mishæðótt landslag væri hentugt fyrir gufuafilstöð, þar eð stöðvarhús yrði lægra og kælikerfi einfaldara. Slíkar aðstæður eru fyrir hendi á fyrr greindum jarðhitasvæðum, og eru teikningar stöðvar- og dæluhúsa því miðaðar við að svo sé.

Augljóst er, að nákvæma kostnaðaráætlun byggingarmannvirkja er ekki hægt að gera, nema því aðeins að staðsetning þeirra sé ákveðin og undirstöðujarðvegur kannaður til hlítar, og má því ekki taka kostnaðaráætlun bygginga bókstaflegar en efni standa til.

Þegar metið er, hvort hentugra sé að staðsetja stöðina við Námafjall eða við Kröflu, eru ýmis atriði, sem taka þarf tillit til.

Ef gert er ráð fyrir, að jarðhitasvæðin sem slík séu bæði álíka vel fallin til þessara framkvæmda, er kostur Kröflusvæðisins einkum fólginn í því, að ólíklegt er að mengunar-

hætta verði vegna frárennslisvatns stöðvarinnar. Ókostir eru aftur á móti þeir, að leggja þarf veg úr byggð til Kröflusvæðisins, sbr. skýrslu Verkfræðistofu Sig. Thoroddson sf.: "Vegur til Vítis". Ennfremur verður háspennulinan lengri, og að sjálfsögðu er staðsetning í óbyggðum ýmsum annmörkum háð.

3. TÍMAÁÆTLUN

Frá því að ákvörðun hefur verið tekin um að byggja skuli gufuafilstöð, og þar til hún verður tekin endanlega í notkun, er áætlað að líði um það bil 43 mánuðir.

Afgerandi fyrir þessa tímalengd er hönnun og smíði túrbíunnar, en tímaáætlun fyrir hana er sýnd á mynd 19.

Eins og sjá má, þarf að taka ýmsar ákvarðanir og gera athuganir, áður en gerð útboðsgagna getur hafizt. Fyrst og fremst þarf að staðsetja stöðina, til þess að endanlega sé hægt að velja á milli yfir-eða undirliggjandi eimsvala. Staðsetja þarf borholur, til þess að hægt sé að ákveða vinnuþrýsting við inntaksloka túrbínu, og jafnframt þarf að velja, eftir hvaða kerfi stöðin skuli byggð, sbr. 2.1. Kælikerfið þarf að athuga með sérstöku tilliti til kemiskra eiginleika kælivatnsins, og fráveitukerfi borholuvatns þarf að skipuleggja gaumgæfilega með tilliti til mengunarhættu og möguleika á því að veita því til baka niður í jarðhitasvæðið gegnum sérstakar borholur (reinjection).

Þegar þessu er lokið, er endanlega hægt að ganga frá gerð útboðsgagna. Eins og fram kemur í mynd 19, tekur hönnun og smíði túrbíunnar rúmlega helming alls byggingartíma stöðvarinnar, eða 22 mánuði, flutningur og uppsetning um 8 mánuði, og afhending og afkastaprófanir um 3 mánuði.

Ljóst er, að ekki er hægt að taka ákvörðun um byggingu aflstöðvar, fyrr en nauðsynlegum undirbúningsrannsóknum er lokið. Á þetta sérstaklega við um Kröflusvæðið, og er

nauðsynlegt, að minnst ein eða tvær reynsluholur séu boraðar og prófaðar. Einnig væri æskilegt, að gerðar yrðu tilraunir með efni þau, er helzt koma til greina við smíði ýmissa vélhluta aflstöðvarinnar, sem miða að því að kanna áhrif gufunnar og þéttivatnsins með tilliti til tæringar, útfellingar og styrkleika.

Þegar haft er í huga, að borun hola og rannsóknir á víðavangi verða, veðurs vegna, að fara fram að sumri til, þykir ólíklegt að grundvöllur fyrir ákvörðunartöku um byggingu aflstöðvar fáist, fyrr en ári eftir að áður nefndar rannsóknir og boranir hefðust, og sennilega enn seinna, ef Kröflusvæðið yrði fyrir valinu.

4. KOSTNAÐARAÆTLUN

4.1. Stofnkostnaður.

Í kostnaðaráætlun þeirri, sem hér fer á eftir, er miðað við verðlag efnis og vinnu í ársbyrjun 1972.

Gert er ráð fyrir, að innflutt efni sé undanþegið tollum og söluskatti, og að vinnuafli sé undanþegið söluskatti.

Ekki er tekið tillit til eftirfarandi:

- 1) Kostnaðar við öflun landréttinda.
- 2) Vaxta á byggingartíma.
- 3) Verðhækkaná á byggingartíma.

Í töflum 6 og 7, síðum 41 og 42 er stofnkostnaður aflstöðvarinnar sundurliðaður, og hér á eftir verður rætt stuttlega um einstaka liði, eftir því sem ástæða þykir til.

Liðir 1 og 2, borholur og aðveitukerfi gufu:

Gert er ráð fyrir 1800 m djúpum borholum. Holurnar verði fóðraðar með 9 5/8" vinnslufóðringu og 7 5/8" leiðara, raufuðum, og nái sú fóðring til botns.

Við borun holanna er gert ráð fyrir að nota Gufubor ríkis-

ins og Reykjavíkurborgar, og er kostnaðaráætlun miðuð við það.

Áætlaður flutningskostnaður bortækja frá Reykjavík til jarðhitasvæðanna og til baka er 2 Mkr. Áætlað kostnaðarverð hverrar borholu er, samkvæmt töflu 8, síðu 43 um 11,5 Mkr.

Áætlaður kostnaður við smíði og uppsetningu gufuskilju við hverja borholu, skýlis og dempara fyrir vatnsfrárennsli, er 1,6 Mkr.

Þá er gert ráð fyrir gufuskilju við rafstöðina, en kostnaður við hana er talinn 1,0 Mkr. Áætlað er, að fjarlægð milli borhola sé um 100 m, og að lengd aðfærslugufuæðar til stöðvarinnar sé um 200 m. Einingarverð uppsettra gufuæða er mismunandi eftir víddinni og er áætlað:

8"	-	6500	kr/m
10"	-	7500	-
12"	-	8500	-
14"	-	9500	-

Liður 3, túrbína, rafall, eimsvali:

A grundvelli þeirra niðurstaða, sem fram koma í 2., var leitað eftir tilboðum í þrjár stærðir vélasamstæðna, 8, 12 og 16 MW með undir- og yfirliggjandi eimsvala.

Lægsta tilboð var svohljóðandi:

	Undirliggjandi eimsvali	Yfirliggjandi eimsvali
8 MW	53 Mkr.	55 Mkr.
12 MW	66 -	69 -
16 MW	76 -	79 -

Hér er um að ræða f.o.b. verð, og bætist því við flutningskostnaður, tryggingar og uppsetningarkostnaður. Tekið skal fram, að tilboðsupphæðir þær, sem að ofan greinir, gætu breytzt eitthvað, ef til útboðs kæmi, þar eð útboðsskilmálar allir yrðu mun ítarlegri og framleiðendur öruggari um viðfangsefni sitt en áður.

Liður 4, kæliturn, dælur, kælivatnslagnir:

A grundvelli þeirra niðurstaða, sem um er getið í 1.2 og 2.4, var aflað tilboða í kæliturn og dælur. Sérstakt tillit var tekið til tæringaráhrifa við efnisval. Tilboðsupphæðir eru f.o.b. verð:

	Kæliturn	Dælur
8 MW	8.4 Mkr.	2.2 Mkr.
12 MW	11.0 -	3.0 -
16 MW	14.9 -	3.7 -

Liður 5, rafkerfi:

Skipulag og kostnaðaráætlun rafkerfis var unnin í sáráði við Jóhann Indriðason rafmagnsverkfræðing, og eru kostnaðartölur rafkerfis samkvæmt upplýsingum frá honum.

Tekið skal fram, að kostnaðaráætlunin felur ekki í sér háspennulínuna, heldur eingöngu þá hluta rafkerfisins, sem eru innan stöðvarhúss og tengivirkis.

Liður 6, stöðvarhús, dæluhús:

Kostnaðaráætlun stöðvarhúss var unnin á Verkfræðistofu Sig. Thoroddsen sf., og er frekari upplýsinga að leita í sérstakri greinargerð, sem áður hefur verið minnzt á. Eins og getið var um í 2.7, var fyrirkomulagi hússins breytt og einangrun aukin, einnig er bætt við kostnaði vegna holræsa o.fl., þannig að kostnaðartölur þessa liðs eru ekki að öllu leyti sambærilegar við áðurnefnda greinargerð. Ennfremur er bætt við kostnaðaráætlun dæluhúss, sem grundvallast á einingarverðum stöðvarhússins.

Liður 8, íbúðir starfsfólks:

Gert er ráð fyrir, að byggðar verði 5 íbúðir handa föstu starfsfólki. Kostnaðaráætlunin er byggð á markaðsverði á Reykjavíkurkvæðinu, og má því vænta einhverra frávika, ef til framkvæmda kæmi.

Liðir lo og ll, ófyrirsjáanlegur kostnaður, verkfræði-
þjónusta og umsjón:

Þar sem hér er um að ræða mannvirkjagerð, sem ekki á sér hliðstæðu hérlendis, þykir rétt, að þessir liðir séu áætlaðir riflega, þ.e. ófyrirsjáanlegur kostnaður er áætl-aður 15% af grunnkostnaði, en verkfræðiþjónusta og umsjón lo% af beinum kostnaði.

Liður 9, vegir:

Eins og um var rætt í 2.8, yrði nauðsynlegt að leggja veg úr byggð að jarðhitasvæðinu við Kröflu, ef það svæði yrði fyrir valinu. Í kostnaðaráætluninni er gert ráð fyrir, að ódýrasta leiðin, leið l (sjá greinargerð Verkfræðistofu Sig.Thoroddsen sf., "Vegur til Vítis"), yrði heppilegust.

Tafla 6.

Stofnkostnaður.

Gufuaflstöð á Kröflu-/Námafjallssvæðinu.

Yfirliggjandi eimsvali

<u>Liðir</u>	8 MW Mkr	12 MW Mkr	16 MW Mkr
1. Borholur (4-4-5 stk)	48.0	48.0	59.5
2. Aðveitukerfi gufu	14.2	14.2	16.6
3. Túrbína, rafall, eimsvali	67.7	85.0	98.0
4. Kæliturn, dælur, kælivatnsagnir	19.8	26.1	34.2
5. Rafkerfi	19.8	21.5	23.6
6. Stöðvarhús, dæluhús	25.4	29.1	32.8
7. Stöðvarhúskranar, dæluhúskrani	5.2	5.7	6.2
8. Íbúðir starfsfólks	9.6	9.6	9.6
9. Vegir	7.0	7.0	7.0
Grunnkostnaður	216.7	246.2	287.5
10. Ófyrirsjáanlegur kostnaður 15%	<u>32.5</u>	<u>36.9</u>	<u>43.1</u>
Beinn kostnaður	249.2	283.1	330.6
11. Verkfræðipjónusta og umsjón 10%	<u>24.9</u>	<u>28.3</u>	<u>33.0</u>
Stofnkostnaður	274.1	311.4	363.6

Tafla 7.

Stofnkostnaður.

Gufuaflstöð á Kröflu-/Námafjallssvæðinu.

Undirliggjandi eimsvali

Tafla 8.

Kostnaðarverð borholu

		Ein.v.	Verð kkr	Verð alls kkr
1.	Efni			4560
(1.1)	Fóðurrror 16"	30 m	4000	120
(1.2)	" 13 3/8"	100 m	2760	276
(1.3)	" 9 5/8"	300 m	1920	576
(1.4)	" 7 5/8"	1300 m	1345	1748
(1.5)	" 7 5/8"	200 m	2400	480
(1.6)	Fóðringarskór			15
(1.7)	Hengistykki			90
(1.8)	Borkrónur			560
(1.9)	Holutoppur			350
(1.10)	Sement	2000 sk	135	270
(1.11)	Bentonite	75 stk	1000	75
2.	Aðkeypt þjónusta			820
(2.1)	Flutningur			250
(2.2)	Rafsuða og verkstæði			300
(2.3)	Flutningur bortækja að holu			200
(2.4)	Ymislegt			70
3.	Borplan			400
(3.1)	Kjallari			150
(3.2)	Jarðvinna			250
4.	Tímakostnaður borsins			5360
(4.1)	Borleiga kr/dag		89000	
(4.2)	Vinnulaun "		28000	
(4.3)	Bílar á borstað kr/dag		5000	
(4.4)	Uppihald áhafnar "		12000	
	40 verkd. "		134000	
5.	Höggborshola			300
		Alls kkr.		11440

4.2. Reksturskostnaður.

Í töflum 9 og lo, síðum 49 og 50 er reksturskostnaður aflostöðvarinnar sundurliðaður, og hér á eftir verður rætt um einstaka liði, eftir því sem þurfa þykir. Á mynd 21 er sýndur orkukostnaður sem afleiða nýtingartíma og stöðvarstærðar.

Liðir 1, 2 og lo, borholur og aðveitukerfi gufu.

Það hefur verið nokkuð á reiki, hvernig endurheimta skuli fjármagn það, sem lagt er í gufuborholur.

Algengasta aðferðin, sem notuð hefur verið hér á landi, og reyndar einnig erlendis, er að afskrifa þær á lo árum og meðhöndla fjármagnskostnað samkvæmt því, á grundvelli jafnra árgjálða.

Pessi aðferð getur verið nokkuð villandi, og segir í rauninni lítið, þar sem borholur sem að gefandi mannvirkihaga sér nokkuð á annan hátt en þau, sem hafa einhverja ákveðna lífslengd, og eru þá annaðhvort ónýt eða að fullu afskrifuð.

Það verður að gera ráð fyrir, að afköst borholunnar í gufumagni fari sífellt minnkandi með tímanum. Af því leiðir, að ef stofnað er til gufuöflunar, þar sem þörf neytandans fyrir gufu er óbreytt með tímanum, þá verður að bora holur til viðhalds upphaflegu gufumagni, með vissu millibili.

Vegna þess, að mjög stutt reynsla er af vinnslu jarðgufu á Íslandi, liggja ekki enn neinar tölur fyrir um það, hvernig gufumagn úr holu rýrnar með tímanum, og erfitt hefur verið að afla upplýsinga erlendis frá, er helzt styðjast við ágizkanir. Einu erlendu upplýsingarnar, sem fyrir liggja, eru þær, að á Nýja-Sjálandi eru ætluð 3% á ári af stofnkostnaði borhola til aukningar á borholum, svo að gufumagn frá kerfinu haldist óbreytt.

A Ítalíu er hins vegar áætlað, að borhola gefi af sér 40% af upphaflegu gufumagni að lo árum liðnum, en pessi

tala er varla samanburðarhæf við íslenzkar aðstæður, þar sem þar er um að ræða holur, sem gefa þurra gufu.

Er hér gerð um það ágizkun, hvernig rýrnun afkastagetu borhola á sér stað með tímanum, en ágizkunin er gerð á fjóra mismunandi vegu, sjá mynd 2o, og stuðullinn b í líkingu (2.1) hér á eftir valinn í samræmi við það. Ef reiknað er með, að til gufuöflunar sé stofnað með fjórum borholum, og að endurheimtutími fjármagnsins sé settur 25 ár í samræmi við önnur mannvirki, þá má reikna út frá ferlunum, með hve löngu millibili þurfi að bora eina holu til að viðhalda óbreyttu gufumagni, og þá hve mikinn hluta af stofnkostnaði fyrstu fjögurra holanna á ári þurfi að ætla til viðhaldshola. Einnig er hægt að reikna, hvaða árafjöldi þetta jafngildir í afskriftum á fyrstu fjórum holunum, þ.e. það hugtak, sem venja hefur verið að miða við, eins og að ofan getur. Það verður að hafa í huga, að þegar dæmið er meðhöndlæð á þennan hátt, er ekki reiknað með, að viðhaldsholur séu eignaukning, heldur viðhald til þess að afköst gufuveitunnar haldist óbreytt.

Stærðfræðileg líking fyrir gufurýrnuninni skv. mynd 2o er:

$$(2.1) \quad M_t = M_0 e^{-bt}$$

Hér er:

- | | | |
|-------|---|--|
| M_t | : | Gufumagn eftir t ár |
| M_0 | : | Gufumagn í ónotaðri holu |
| e | : | 2.718 |
| b | : | stuðull 0.0958; 0.0719; 0.0575 og 0.0479 |
| t | : | tími í árum |

Þau gildi, sem hér eru valin á stuðulinn b, leiða af sér, að bora þarf eina viðhaldsholu með 3ja, 4ra, 5 og 6 ára millibili.

Að fengnum þessum upplýsingum má reikna, hve mikinn hluta stofnkostnaðar fjögurra fyrstu holanna þarf að ætla til

viðhalds gufumagninu á ári með viðbótarborunum, og jafnframt er hægt að gera sér grein fyrir, hvaða árafjölda það jafngildir í afskrift á fjórum upphaflegu holunum.

Þetta er gert á eftirfarandi hátt:

$$(2.2) \text{Núg.} = 4A + A(1+r)^{-a} + A(1+r)^{-2a} \dots + A(1+r)^{-an}$$

Hér er:

Núg.: Núgildi alls kostnaðar

A : Kostnaðar verð hverrar holu

r : Vaxtafótur 0,08

a : áramillibil milli viðhaldsborana

n : 1,2,3.....

a : afskriftartími stofn- og viðhaldshola 25 ár

Af líkingu 2.2 má leiða:

$$(2.3) \text{Núg.} = 4A + A \frac{(1+r)^{-a}((1+r)^{-an} + 1)}{(1+r)^{-a} + 1}$$

Af þessari líkingu má finna núgildi þeirrar fjárfestingar, sem fer til borunar stofn- og viðhaldshola á næstu 25 árum. Þá er næst að finna, hvaða árgjald þetta núgildi hefur á næstu 25 árum.

Þetta árgjald er fundið samkvæmt líkingunni:

$$(2.4) \text{Árgj.} = \text{Núg.} \frac{r}{(1 + (1+r)^{-an})}$$

Þessu árgjaldið má skipta í tvennt, þ.e. annars vegar það árgjald, sem tilheyrir endurheimtu fjármagns stofnholanna á 25 árum, og hins vegar það árgjald, sem tilheyrir endurheimtu þess fjármagns, sem fer til borunar á viðhaldsholum.

Síðarnefnda árgjaldið er sú upphæð, sem ætla þarf á hverju ári til borunar á viðhaldsholum.

Nú má einnig finna, hve mörg ár tekur að endurheimta

stofnkostnað fyrstu fjögurra holanna með ofangreindu árgjaldi, þ.e. því árgjaldi, sem endurheimtir stofnkostnað stofnholanna og viðhaldsholanna á 25 árum.

Þetta er gert samkv. líkingunni:

$$(2.5) \quad 4A = \text{Argj.} \cdot \frac{1}{r} (1 - (1+r)^{-c})$$

Hér er stærðin c sú eina óþekkta, og á hún við þann árafjölda, sem stofnkostnaðurinn 4A endurheimtist á. Þessi árafjöldi er sá, sem venja hefur verið að miða við.

Niðurstöður útreikninganna eru settar upp í töflu hér fyrir neðan:

Stofnholur 4. Afskriftartími stofnhola 25 ár.

Viðhaldsholufjöldi	Hluti stofnkostn. sem leggja þarf til á hverju ári til borunar viðhalds-hola	Jafngildi ára í endurheimtu stofnkostnaðar
1 hola með 3 ja ára millibili	7,7%	9 ár
1 " " 4 " "	5,5%	10 ár
1 " " 5 " "	4,2%	11 ár
1 " " 6 " "	3,4%	13 ár

Af þessari töflu og mynd 2o má sjá, að niðurstöðurnar eru innan þeirra marka, sem erlendar niðurstöður segja til um, eins og fyrr er nefnt.

Í þessari skýrslu er fjármagnskostnaður borhola miðaður við að bora þurfi eina viðhaldsholu með fjögurra ára millibili, þ.e. fyrstu fjórar holurnar eru afskrifaðar á 25 árum, en til borunar viðhaldshola eru ætluð 5,5% á ári af stofnkostnaði fyrstu fjögurra holanna.

Þessi aðferð gefur sömu niðurstöður í fjármagnskostnaði og sú aðferð, sem venja hefur verið að nota, þ.e. að afskrifa borholur á lo árum.

Viðhaldskostnaður.

Viðhald borhola í venjulegum skilningi tekur aðeins til þeirra mannvirkja, sem ná upp úr jörðu, þ.e. efsta hluta fóðringar og aðalloka. Reynslan í Námafjalli hefur sýnt, að ekki þarf að búast við kísilútfellingum í holunum, þannig að ekki þarf að gera ráð fyrir hreinsun holanna.

Helztu hlutir í skiljum og gufuæðum, sem þurfa viðhald, eru ventlar, öryggisventlar og þenslustykki. Þykir hæfilegt að áætla viðhald borhola 1% af stofnkostnaði þeirra og viðhald gufuskilja og gufuæða 2% af stofnkostnaði.

Liðir 3-8:

Gert er ráð fyrir, að endurheimtutími stofnkostnaðar sé 25 ár. Þetta er mun stytti tími en venja er að miða við, þegar um er að ræða vatnsaflstöðvar. Þess ber þó að gæta, að aðstæður eru talsvert aðrar, og ber þar hæst tæringaráhrif brennisteinsmengaðrar jarðgufu á vélhluta og byggingu, svo réttlætanlegt er að gera ráð fyrir stytti endingartíma mannvirkja. Viðhaldskostnaður er áætlaður ákveðinn hundraðshluti af stofnkostnaði viðkomandi mannvirkishluta. Þar er sömu sögu að segja og áður; hundraðshlutinn er að jafnaði hærri en venja er að áætla fyrir vatnsaflstöðvar, og eru ástæðurnar fyrir því þær sömu og áður getur.

Starfsmannakostnaður.

Gert er ráð fyrir, að aflstöðin verði mannlaus að næturlagi, þannig að vinna við gæzlu og viðhald fari fram á tveimur dagvöktum. Til þessara starfa þarf eftirfarandi starfslið:

- 1 stöðvarstjóri
- 2 vélgæzlumenn
- 1 vélvirki
- 1 rafvirki

Tafla 9.

Arlegur reksturskostnaður.

Gufuaflstöð á Kröflu-/Námafjallssvæðinu.

Undirliggjandi eimsvali

<u>Liðir</u>	<u>8 MW Mkr</u>	<u>12 MW Mkr</u>	<u>16 MW Mkr</u>
--------------	---------------------	----------------------	----------------------

Fjármagnskostnaður (25 ár, 8%):

1. Borholur	5,7	5,7	7,0
2. Aðveitukerfi gufu	1,6	1,6	1,9
3. Túrbína, rafall, eimsvali	7,6	9,5	11,1
4. Kæliturn, dælur, kælivatnslagnir	2,4	3,0	4,0
5. Rafkerfi	2,4	2,5	2,7
6. Stöðvarhús, dæluhús	3,4	3,9	4,5
7. Stöðvarhúskranar, dæluhúskrani	0,6	0,6	0,7
8. Íbúðir starfsfólks	1,1	1,1	1,1
9. Vegir	0,7	0,7	0,7

Viðhaldskostnaður:

1. Borholur (1% stofnkostn.)	0,6	0,6	0,7
2. Aðveitukerfi gufu (2% stofnkostn.)	0,3	0,3	0,4
3. Túrbína, rafall, eimsvali (1.5% stofnkostn.)	1,2	1,5	1,7
4. Kæliturn, dælur (1.5% stofnkostn.)	0,4	0,5	0,6
5. Rafkerfi (1.5% stofnkostn.)	0,4	0,4	0,5
6. Stöðvarhús, dæluhús (0.14% stofnkostn.)	0,1	0,1	0,1
7. Stöðvarhúskranar, dæluhúskrani	0,1	0,1	0,1
8. Íbúðir starfsfólks (0.14% stofnkostn.)	0,1	0,1	0,1
9. Vegir (3% stofnkostn.)	0,2	0,2	0,2
10. Viðhaldsborholur (5.5% stofnkostn.)	3,1	3,1	3,9

Annar kostnaður:

Starfsmannakostnaður	3,0	3,0	3,0
Stjórnunarkostnaður	0,5	0,5	0,5
Varasjóður	0,4	0,5	0,6
Reksturskostnaður	35,9	39,5	46,1

Tafla lo.

Arlegur reksturskostnaður.

Gufuaflstöð á Kröflu-/Námafjallssvæðinu.

Yfirliggjandi eimsvali

<u>Liðir</u>	8 MW Mkr	12 MW Mkr	16 MW Mkr
--------------	-------------	--------------	--------------

Fjármagnskostnaður (25 ár, 8%):

1. Borholur	5,7	5,7	7,0
2. Aðveitukerfi gufu	1,6	1,6	1,9
3. Túrbína, rafall, eimsvali	8,0	10,1	11,6
4. Kæliturn, dælur, kælivatnslagnir	2,4	3,0	4,0
5. Rafkerfi	2,4	2,5	2,7
6. Stöðvarhús, dæluhús	3,0	3,4	3,8
7. Stöðvarhúskrani, dæluhúskrani	0,6	0,6	0,7
8. Íbúðir starfsfólks	1,1	1,1	1,1
9. Vegir	0,7	0,7	0,7

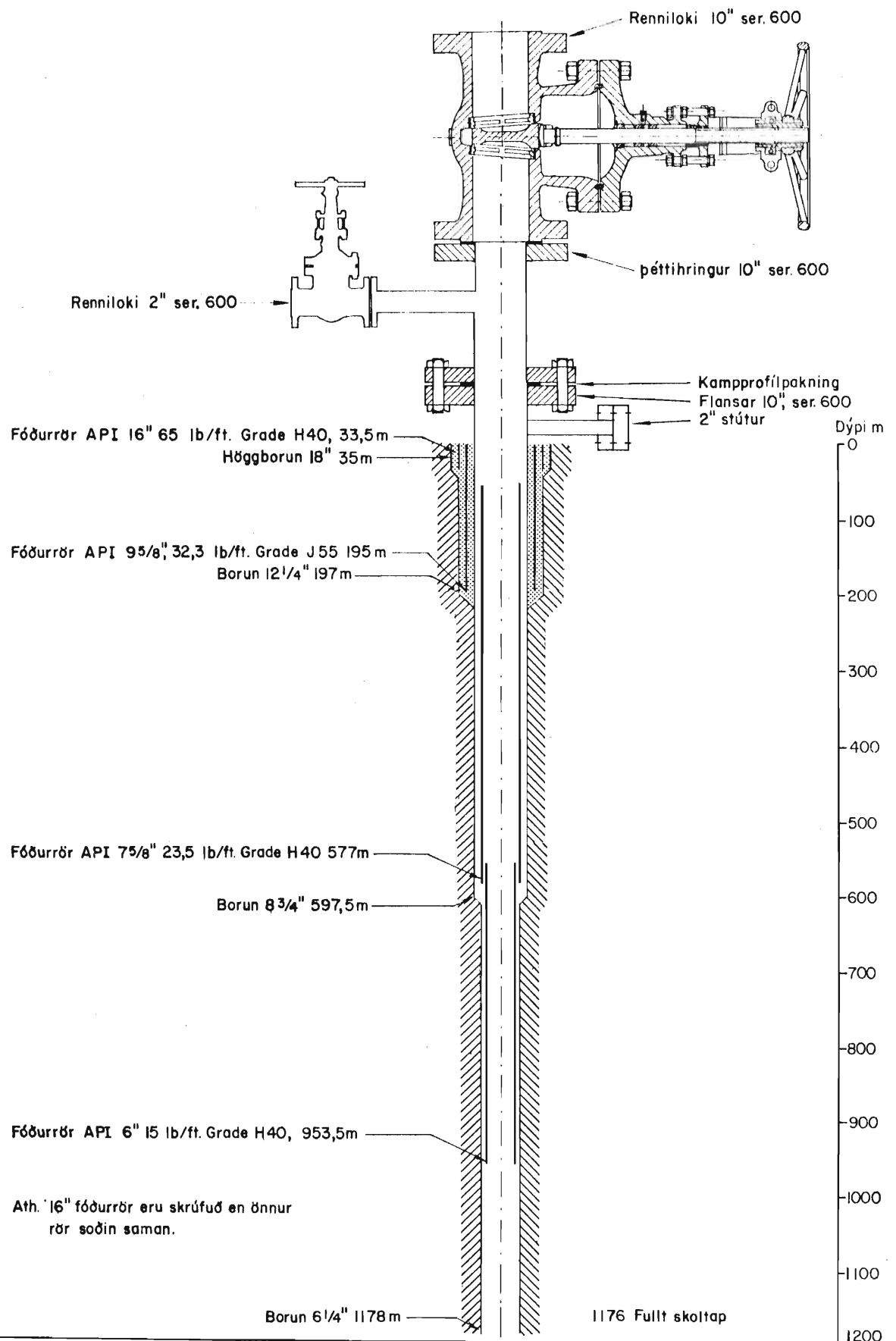
Viðhaldskostnaður:

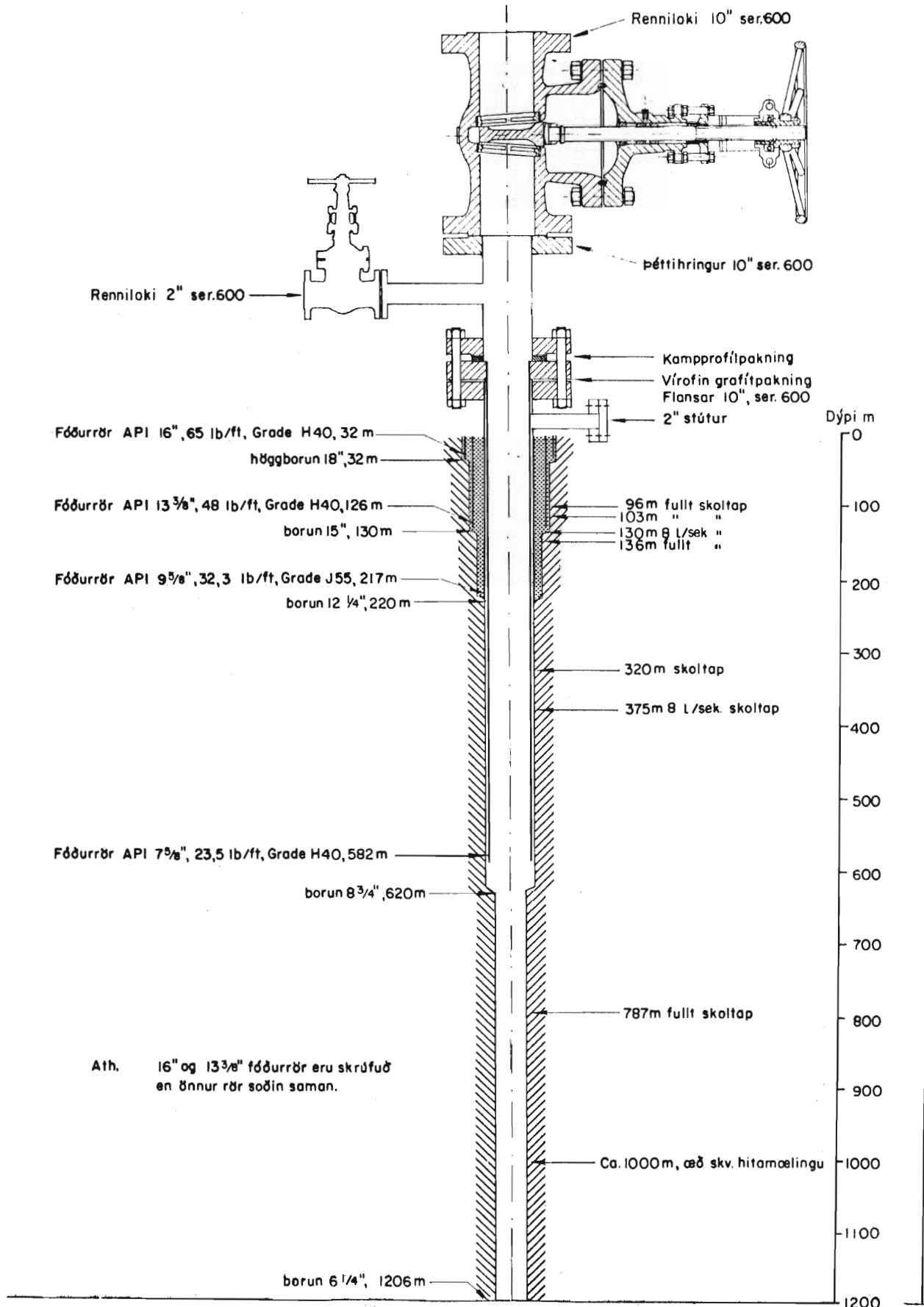
1. Borholur (1% stofnkostn.)	0,6	0,6	0,7
2. Aðveitukerfi gufu (2% stofnkostn.)	0,3	0,3	0,4
3. Túrbína, rafall, eimsvali (1.5% stofnkostn.)	1,3	1,6	1,8
4. Kæliturn, dælur (1.5% stofnkostn.)	0,4	0,5	0,6
5. Rafkerfi (1.5% stofnkostn.)	0,4	0,4	0,5
6. Stöðvarhús, dæluhús (0.14% stofnk.)	0,1	0,1	0,1
7. Stöðvarhúskranar, dæluhúskranar (1.5% stofnk.)	0,1	0,1	0,1
8. Íbúðir starfsfólks (0.14% stofnk.)	0,1	0,1	0,1
9. Vegir (3% stofnk.)	0,2	0,2	0,2
10. Viðhaldskostnaður (5.5% stofnk.)	3,1	3,1	3,9

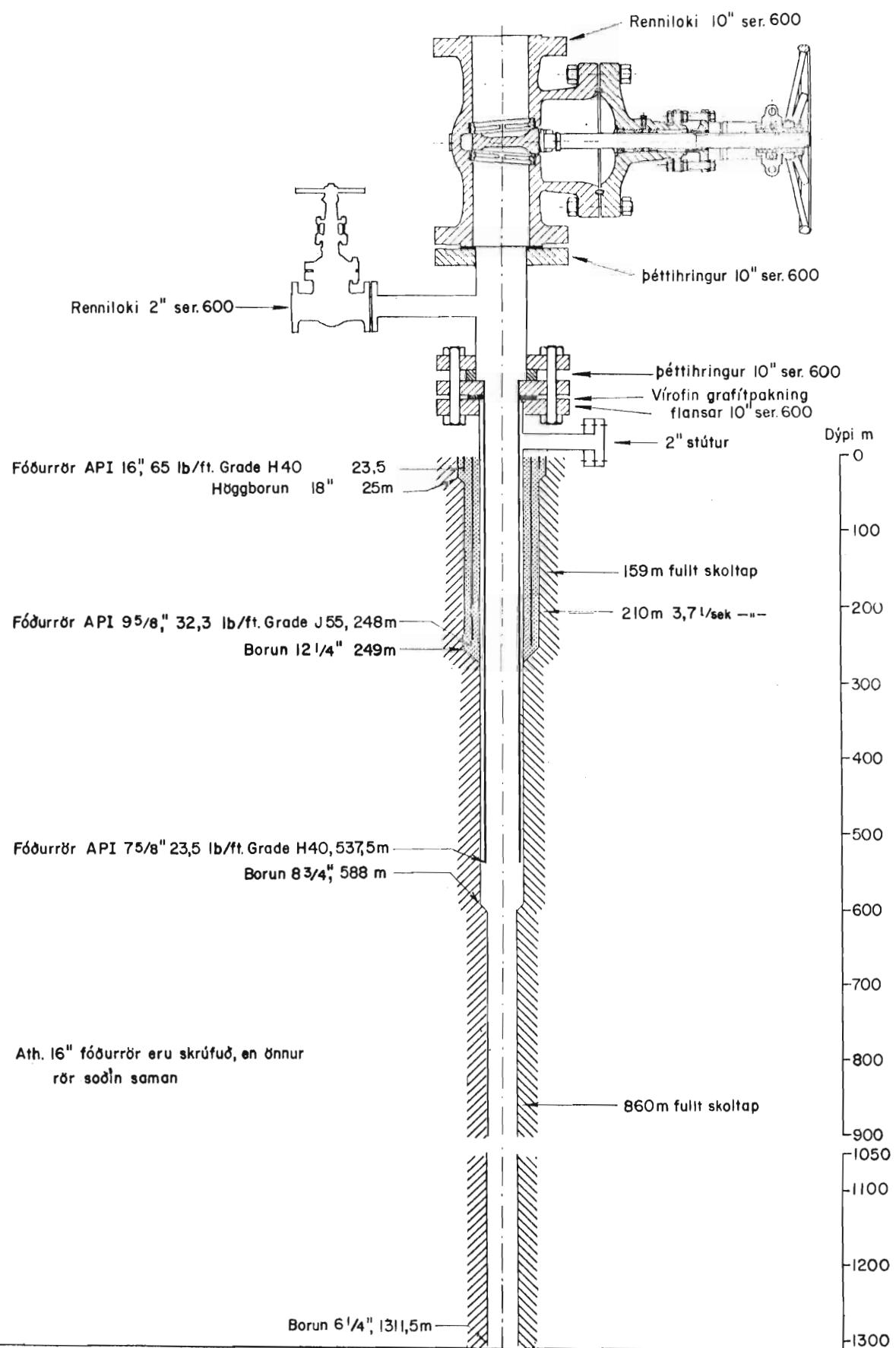
Annar kostnaður:

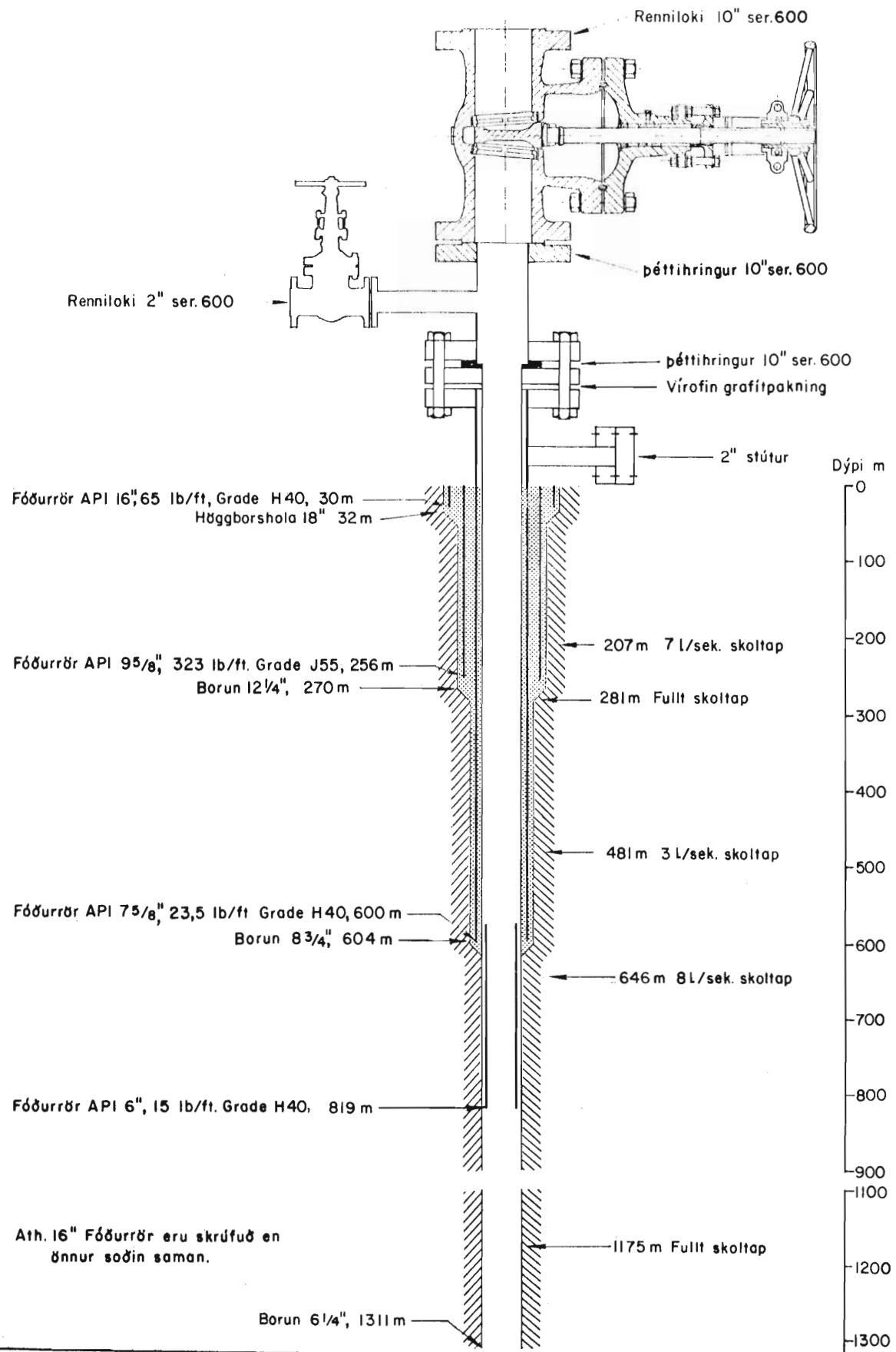
Starfsmannakostnaður	3,0	3,0	3,0
Stjórnunarkostnaður	0,5	0,5	0,5
Varasjóður	0,4	0,5	0,6

Reksturskostnaður 36,0 39,7 46,0







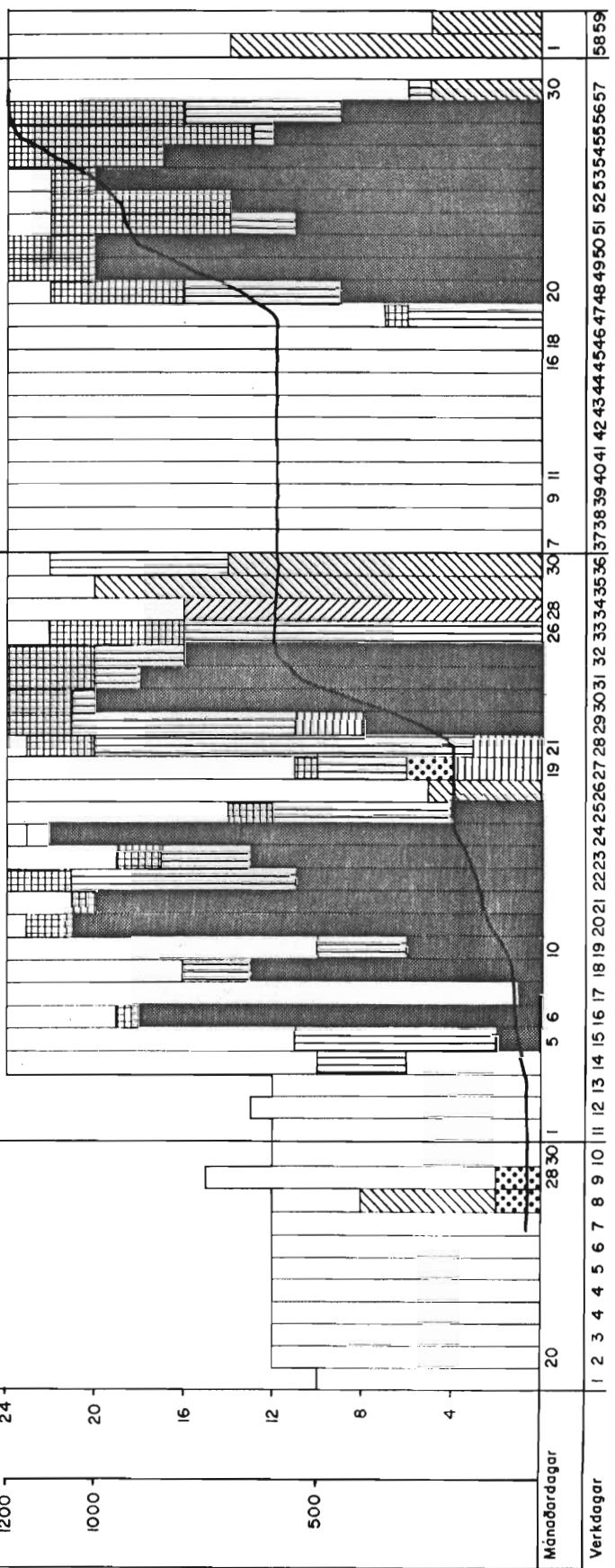


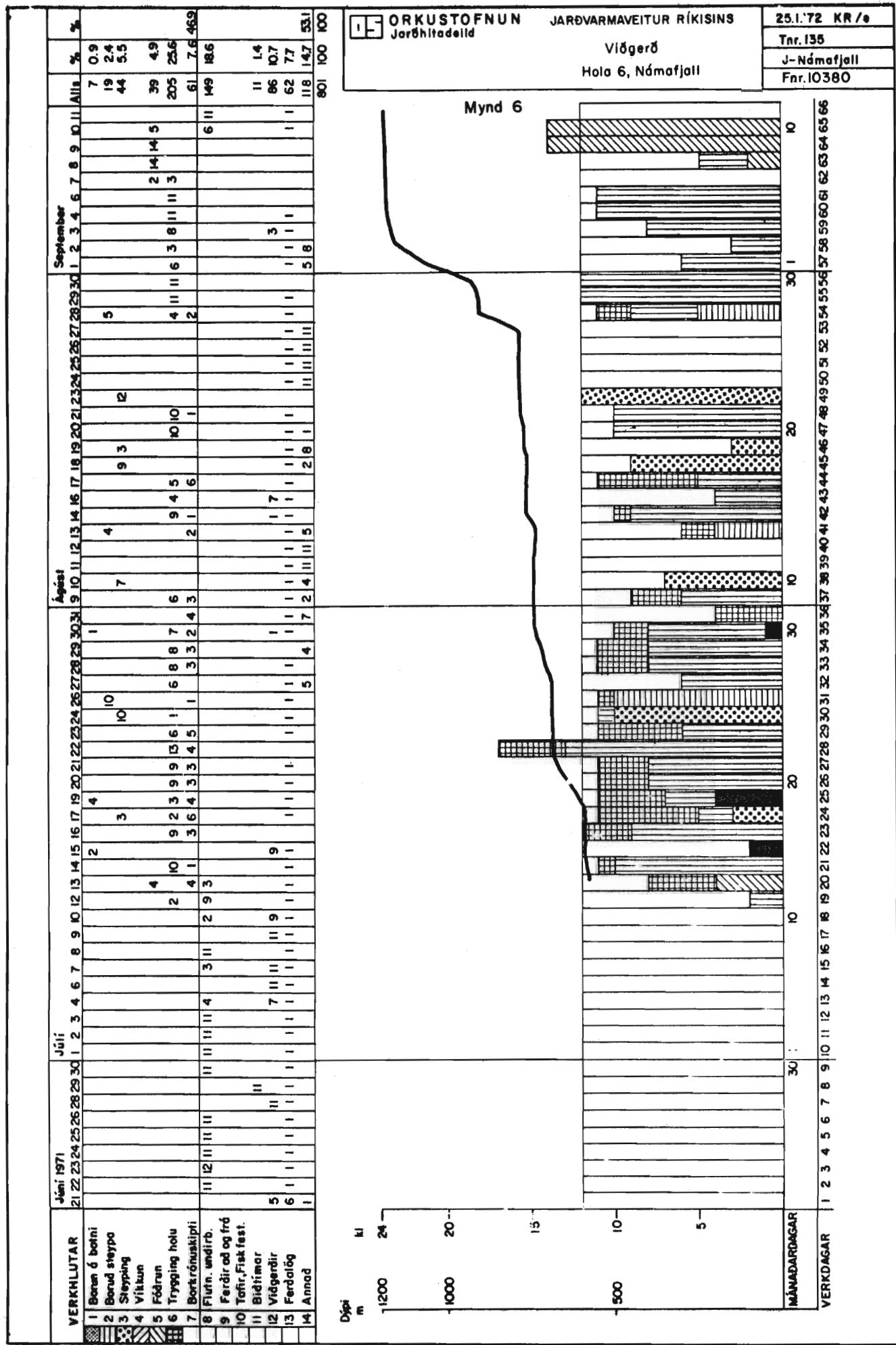
	Júní 1969												Júlí 1969												Ágúst 1969																			
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1. Borun á boini																																												
2. Boruð steypu																																												
3. Steyping																																												
4. Víkkun																																												
5. Födrun																																												
6. Trygging Holu																																												
7. Borkrónuskipi																																												
8. Flum undirbún.	10	12	5	12	6	4	4	2	7	10	9	10	6																															
9. Ferðir, að og frá																																												
10. Tofir, Fisk.																																												
II. Bláðimar																																												
12. Víðgeðir																																												
13. Ferdalög																																												
14. Annað																																												

ORKUSTOFNUN
Jorðhitadeild
JARÐVARMAVEITUR RÍKISINS
BORUN NORDURBORS
Hóla 6, Námafjall
Fnr. 10379

II.2.'72 BE /eó
Tnr. 134
J-Námafjall
Fnr. 10379

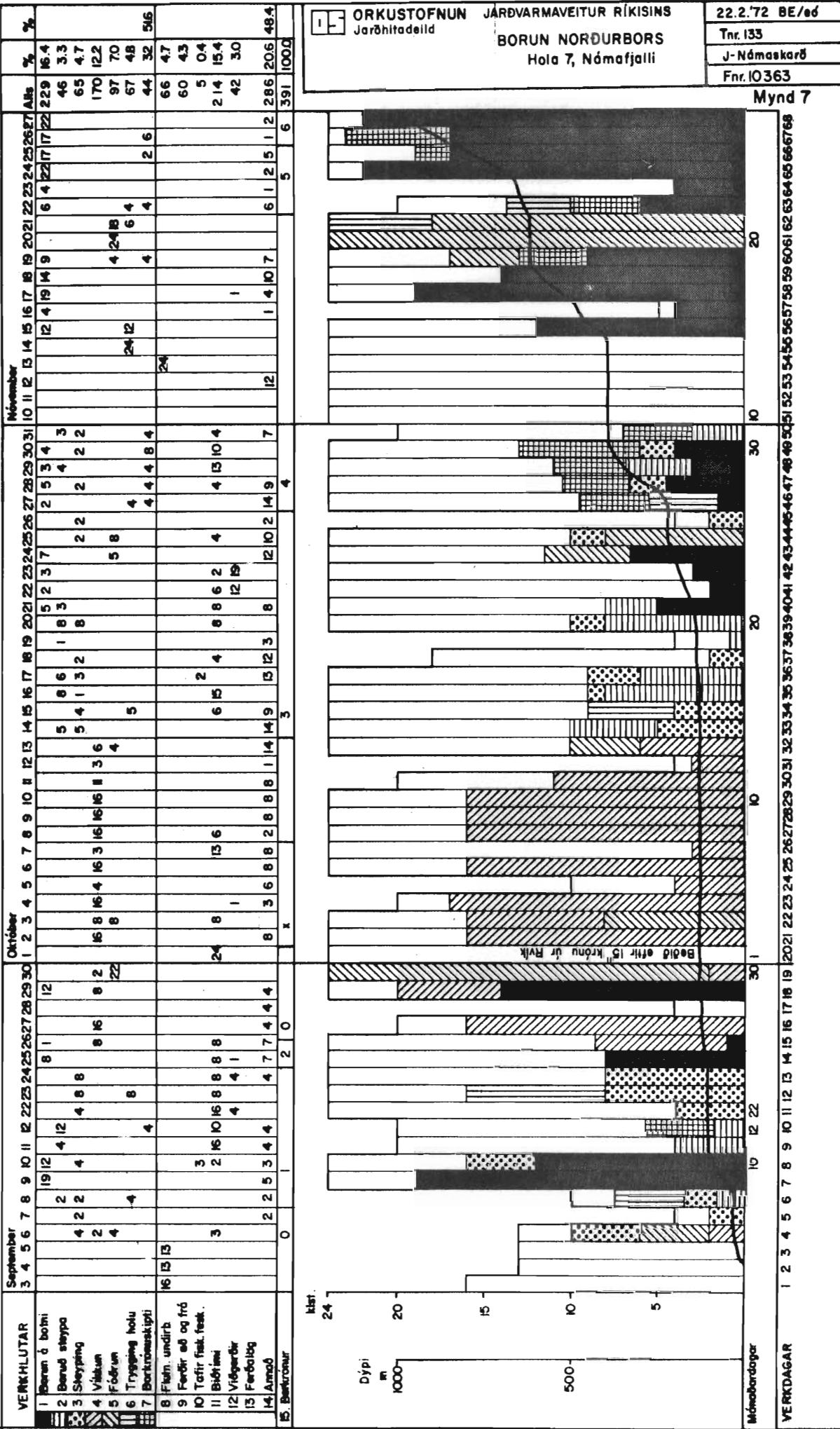
Mynd 5





ORKUSTOFNUN JÁRDVARMAVEITUR RÍKISINS
Jarðhitaðeld BORUN NORDURBORS
Hola 7, Námafjall

22.2.72 BE/ed
Tnr. 133
J-Námaskarð
Fnr. 10363

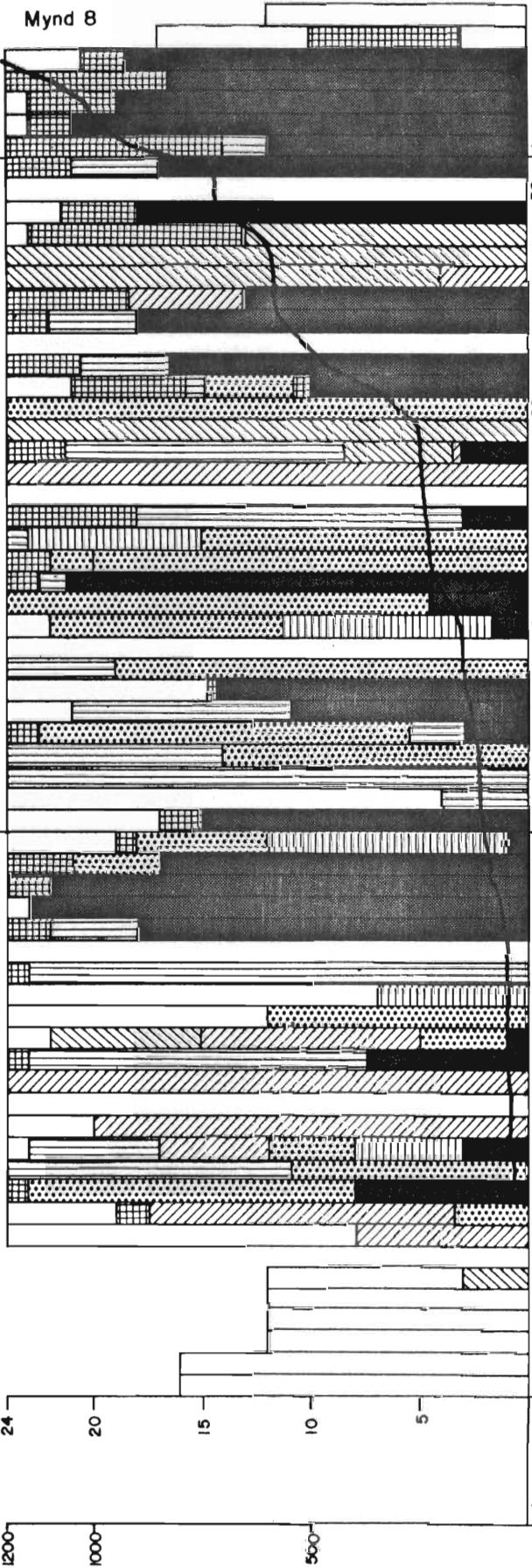


VERKHUTAR	AUGUSTI 1970												SEPTEMBER												OKTOBER															
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	Allt.	%					
1 Borun á boðni																																								
2 Berud steypa																																								
3 Steyping																																								
4 Víkjun																																								
5 Förun																																								
6 Trygging holu																																								
7 Berkr. skipti																																								
8 Flum.-undirb.																																								
9 Ferlin áb og frá																																								
10 Tarif, Fisk. fest																																								
11 Bréfimur																																								
12 Viðgerðir																																								
13 Ferðalög																																								
14 Annat																																								

ORKUSTOFNUN
JÁÐVARMAVEITUR RÍKISINS
BORG NORDURBORG
Hóla B. Námafjall

5.12.'71 KR/66
Tnr. 131
J-Námafjall
Fn. 10338

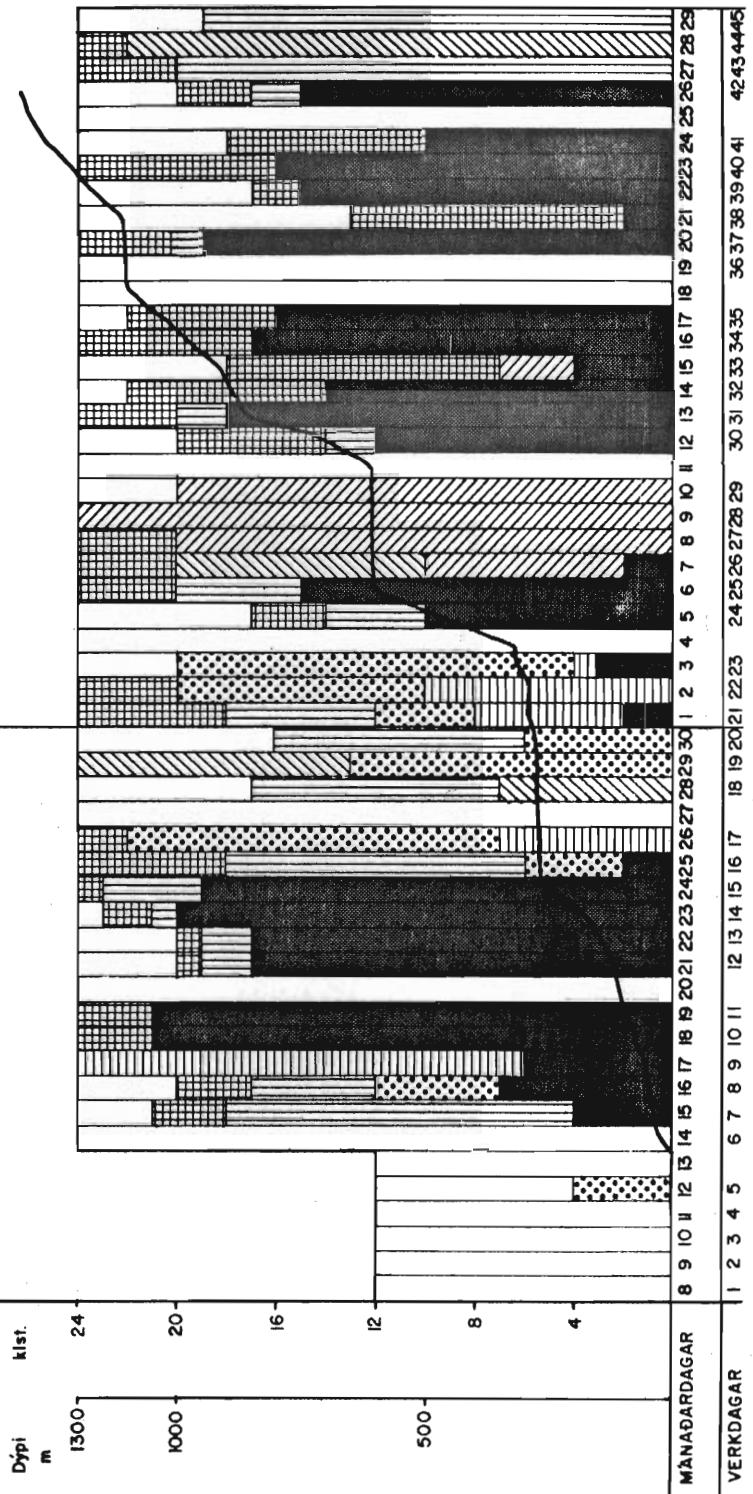
Mynd 8



VERKDAÐAGAR	AUGUSTI	SEPT.	OCTOBER
1	2	3	4
2	5	6	7
3	8	9	10
4	11	12	13
5	14	15	16
6	17	18	19
7	20	21	22
8	23	24	25
9	26	27	28
10	29	30	31
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			

Mynd 9

VERKLUTAR	Október 1970																				September												1020	1000	%
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	Alls												
1 Borun á Botni	4	7	6	2	21	17	17	20	19	2	7	2	3	10	15	2	12	18	14	17	16	15	15	324	31,8										
2 Boruð steypa	4	5										6	10	1										42	4,1										
3 Steyping												13	6	4	10	16								77	7,5										
4 Víkjun																								1	1,1										
5 Föðrun																									1,1										
6 Trøggang holu																									1,2										
7 Borkránskipti																									1,2										
8 Flutn. undir b.	12	12	12	8	24							7	8	4	7										133	130	80,7								
9 Tafir Fisk.																									6	6,1									
10 Birkimar																									6	0,6									
11 Viðgerðir																									6	0,6									
12 Földir að og frá																									6	0,6									
13 Ferðalög																									6	0,6									
14 Annað																									6	0,6									



60

m

kst.

Mynd 10

Gufumagn úr borholum við breytilegan
þrýsting í gufuleiðslum.

50

40

30

20

10

60

7,0

8,0

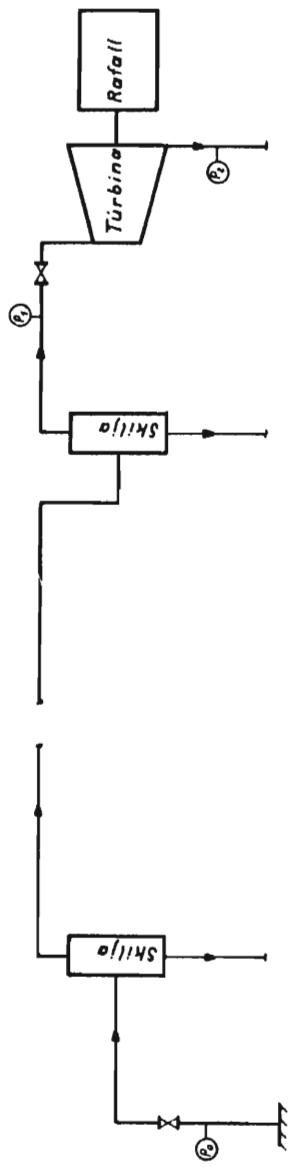
9,0 atg.

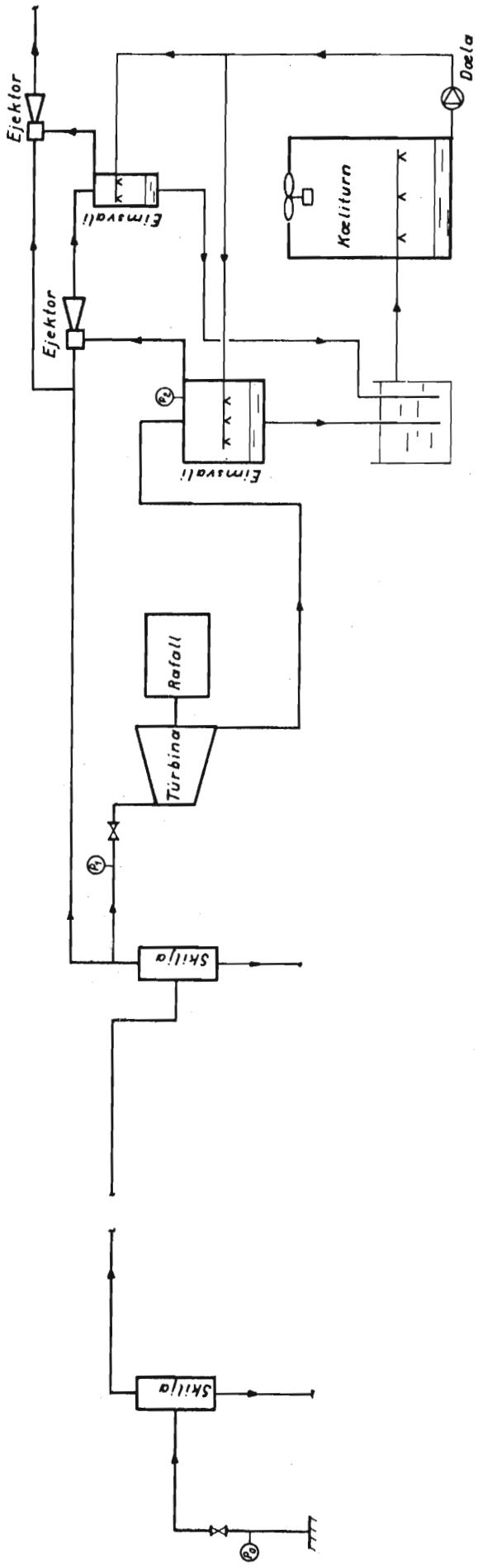
Hola 4

Holur 4 og 5

Holur 4,5 og 9

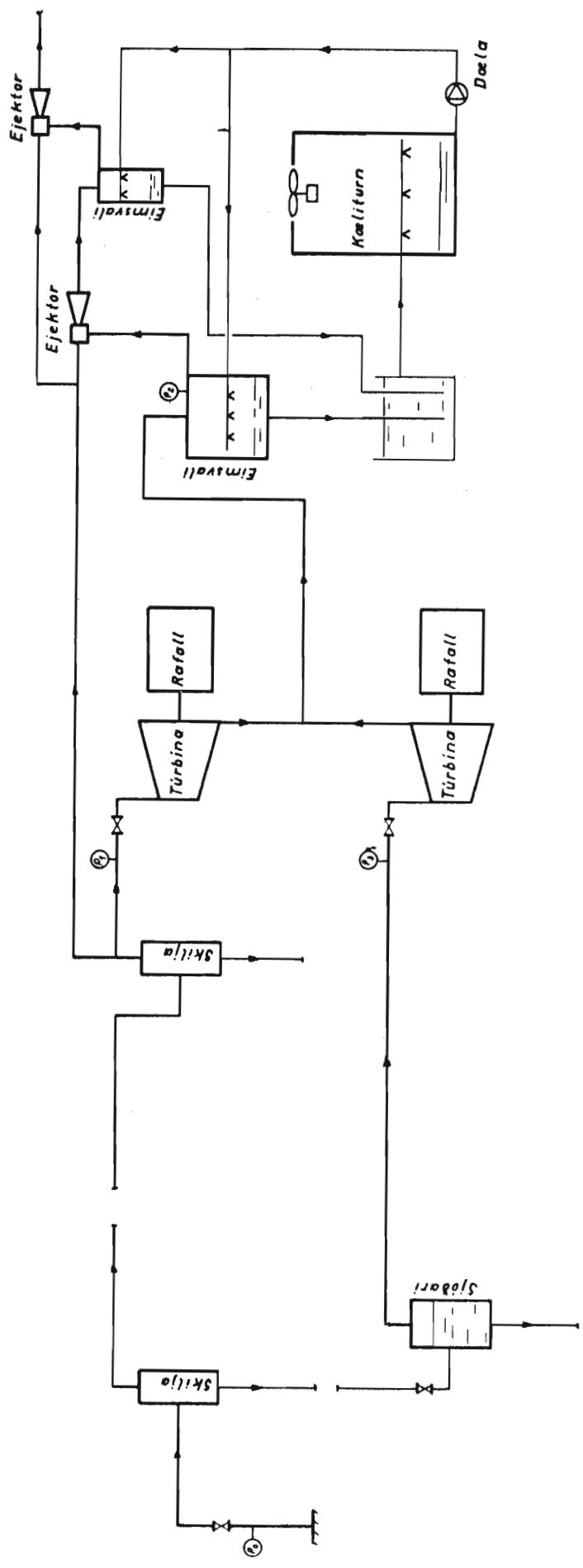
Mynd 11





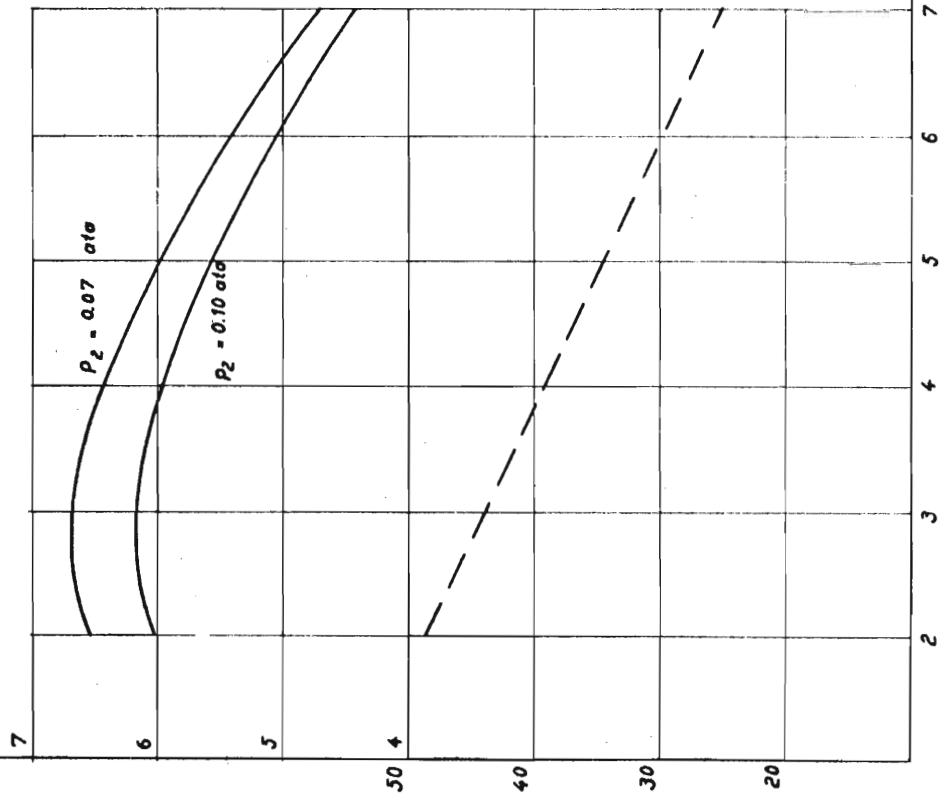
Mynd 12

Fj.	Heiti Leitleitung	Hl.nr. Dwg.	Tekn. nr. Leitleitung	Efai	Afhz.
	Breyting				
VERKFIÆDISTOFA GUÐMUNDAR & KRISTJÁNS Skólovörðustig 3a Sími 14425				M.kr.	Verkef. 4.71/2
				Tei.n.	
				YH.d.	
				Semph.	
Örfuskostofnum Gufuafliðið við Kröflu Kerfi 2. Eimsvalarové Barholuvattn ónotarð				Dagstíð m.	TEKNING NR.
					K - 2 - 13
					Virk. blab af



Mynd 13

$(t/h) [MW]$



Orka borholu við iscentrop
varmefall i turbinu.

Gufustreymi úr meðalborholu.

Gufuprýsingur við adalloka turbinu.

Eimsvæðaprýsingur.

P_1

P_2

Mynd 14

Fj.	Heili Daga	Leðréttung	Hlj. nr.	Taíkn. nr.	Efn.	Ath.
			Daga	Leðréttung	Breyfing	Samp.

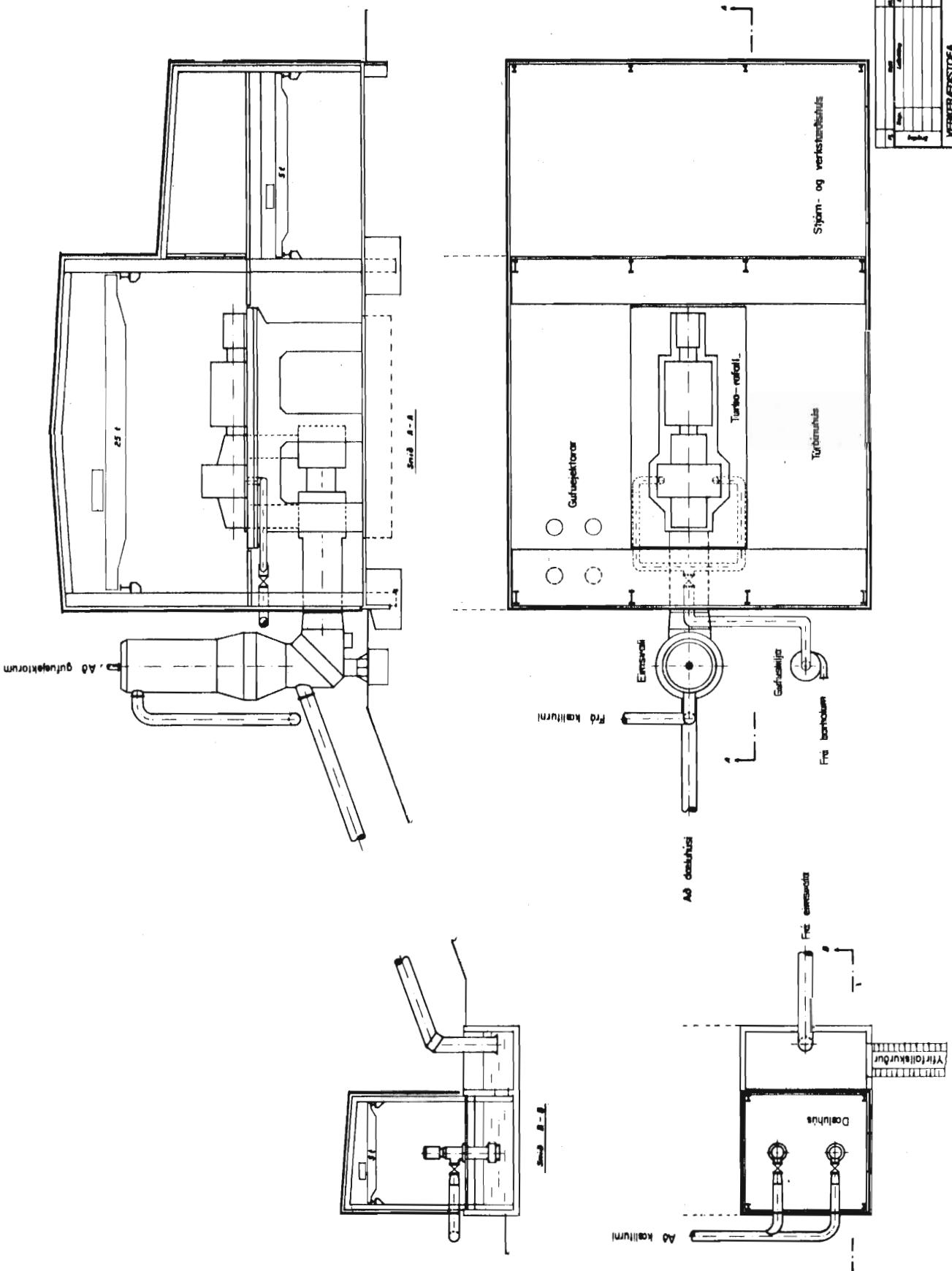
VERKFÆDISTOFA GUÐMUNDAR & KRISTJÁNS
Síðlaðarþáttur 3 a
Síðu 14-25

ORKUSTOFNUN
Gufuprýsing við Kröflu
Gufu- og óflkennilinur

Mynd 4.71 Jæ	Mhr.	Vær.
Taíkn.		
Tíff.		
Samp.		
Dagkvægt nr.		
TEKKNING NR.		
K - 2 - 11		
Verk nr.		

VERKFERDSTØFA		GUDMUNDAR & KRISTJANS	
Dr. handtak	Dr. handtak	Dr. handtak	Dr. handtak
Dr. handtak	Dr. handtak	Dr. handtak	Dr. handtak
driv - Styring armaturer	driv - Styring armaturer	driv - Styring armaturer	driv - Styring armaturer
driv - Styring armaturer	driv - Styring armaturer	driv - Styring armaturer	driv - Styring armaturer

Mynd 15



Mynd 16

VERKFREESTOFA		GLUDMUNDAR & KRISTJANS	
Orkuálfraðun	100	Verksmála	100
Jarðurkverfisíða	100	Verksmála	100
& MVR - Undirþengandi orkuverf	100	Verksmála	100
Granningsmála og anna	100	Verksmála	100

100% 100% 100% 100%

Sjóum - og verkstæðishús

Turbínhus

Friti þorðukum

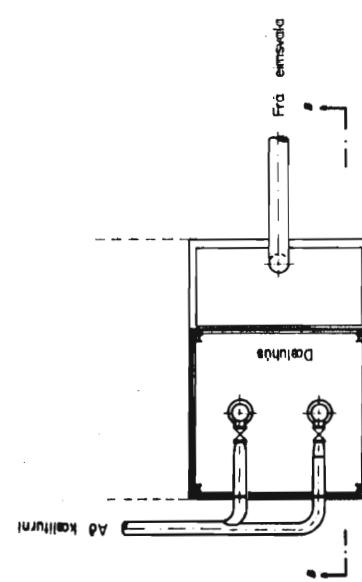
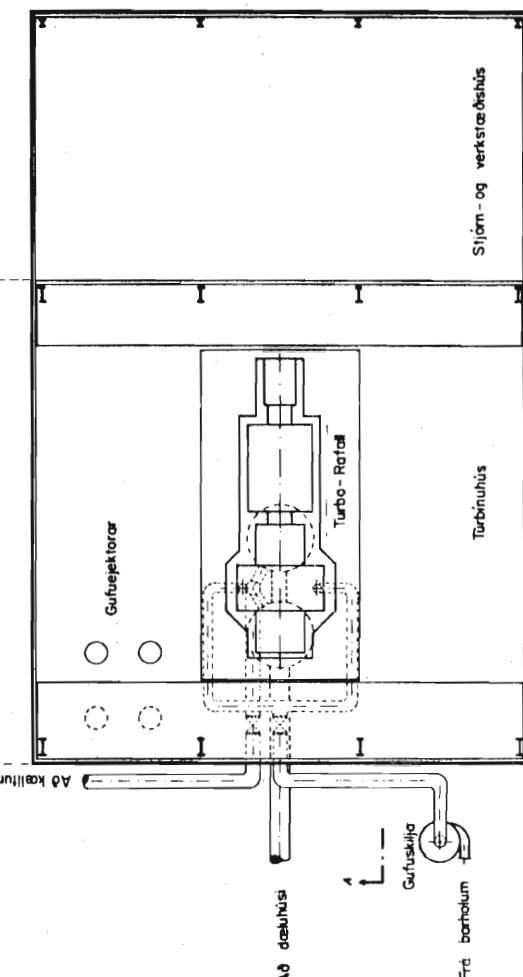
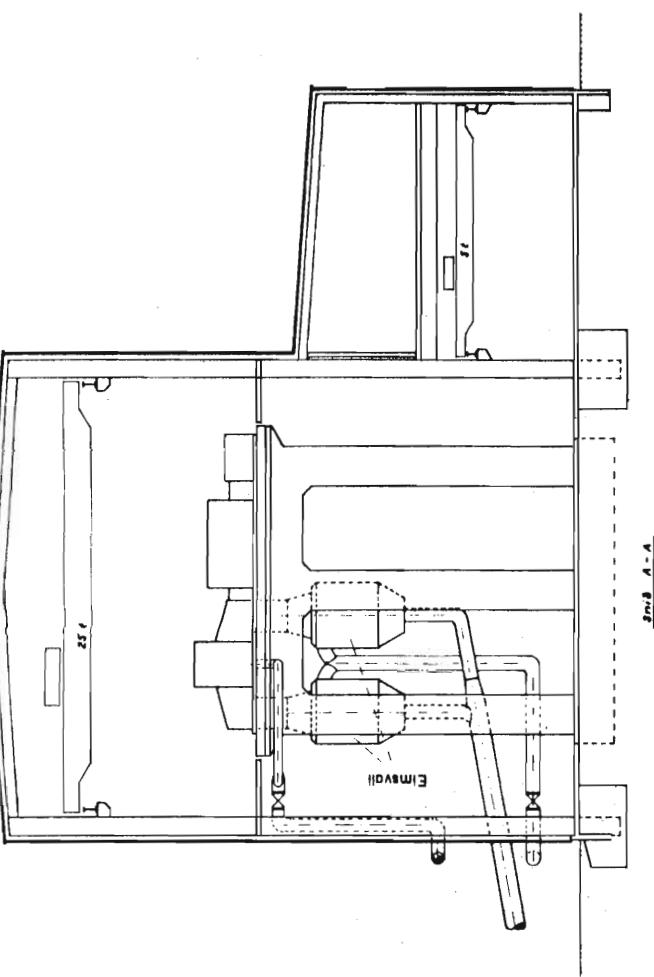
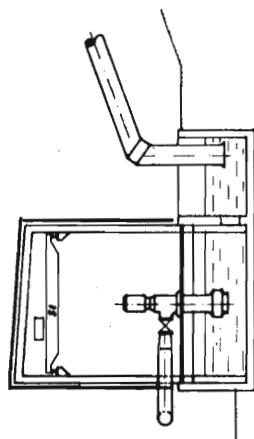
Fra í emseldi

Deguhús

Yfir töldukurður

Að kalllitrin

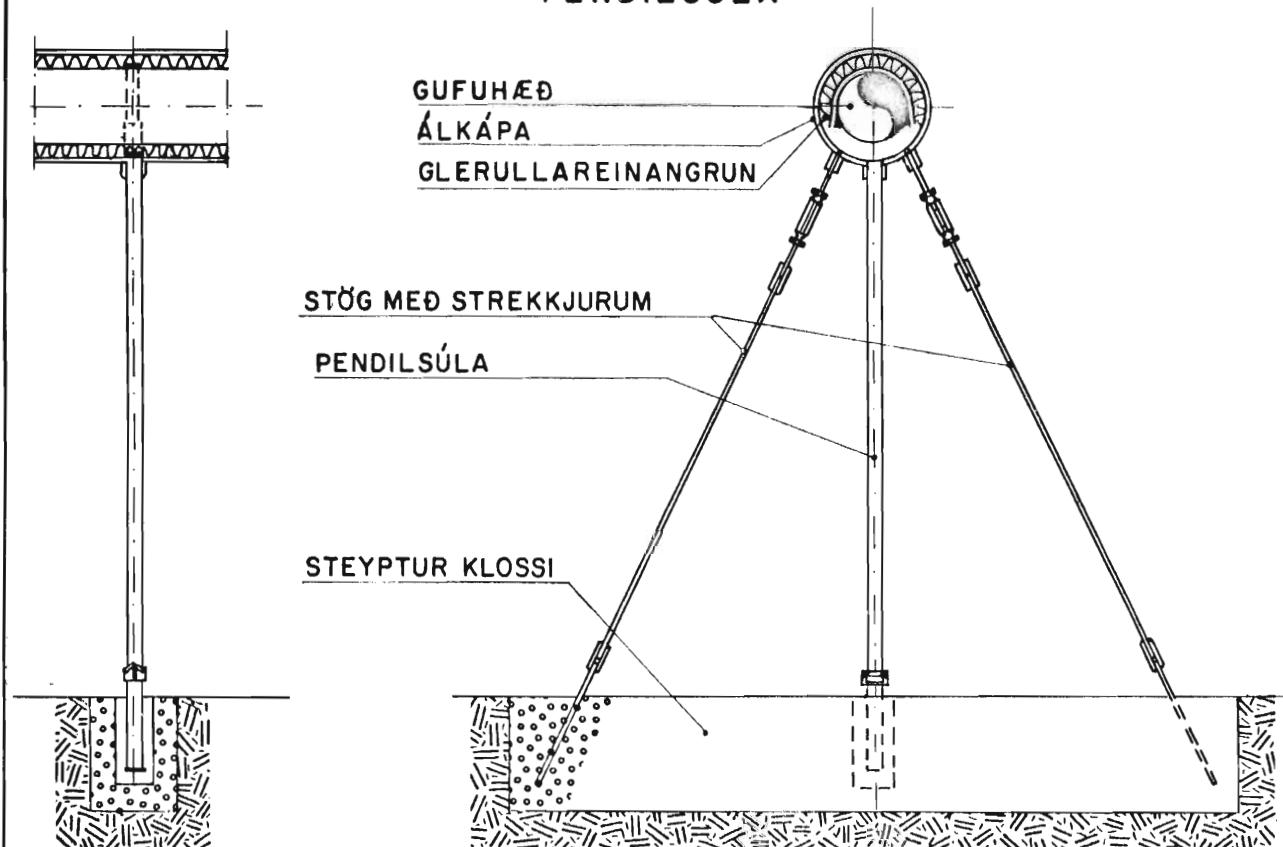
Að kalllitrin



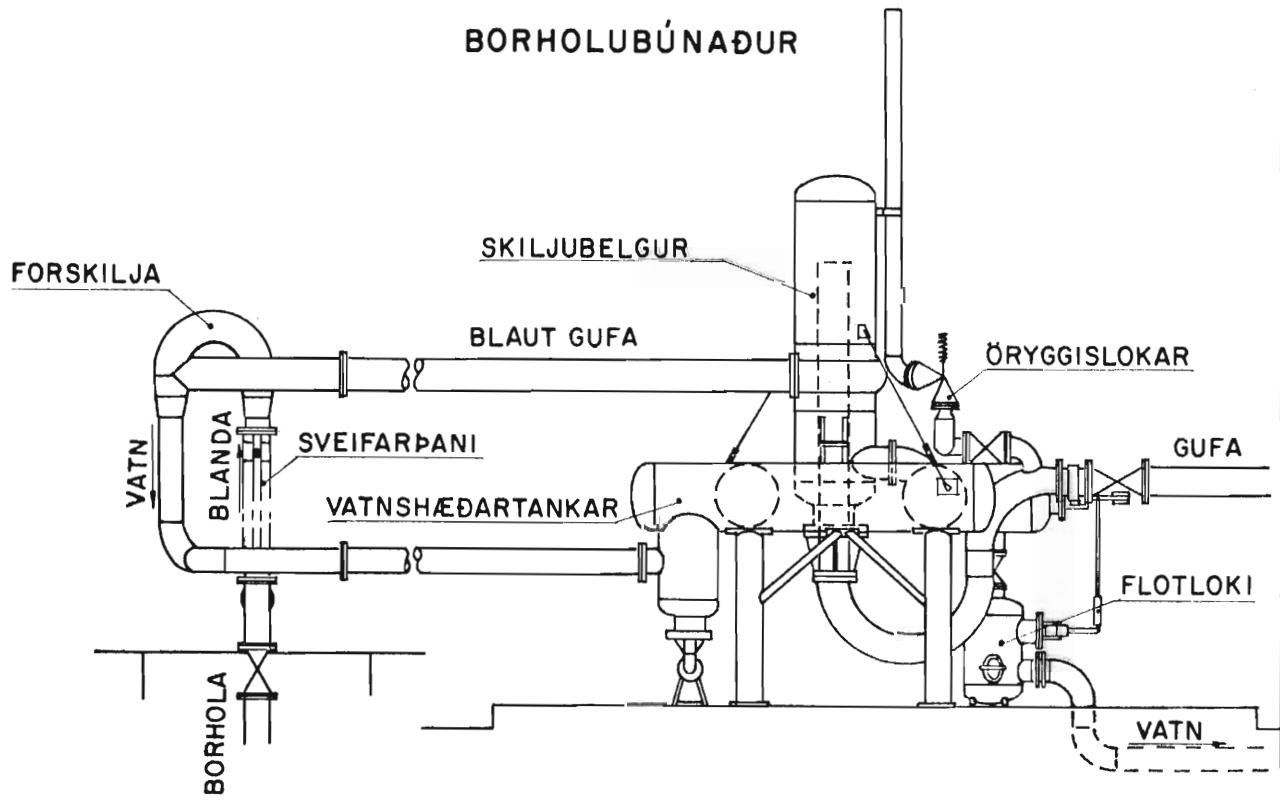


Mynd 17

PENDILSÚLA



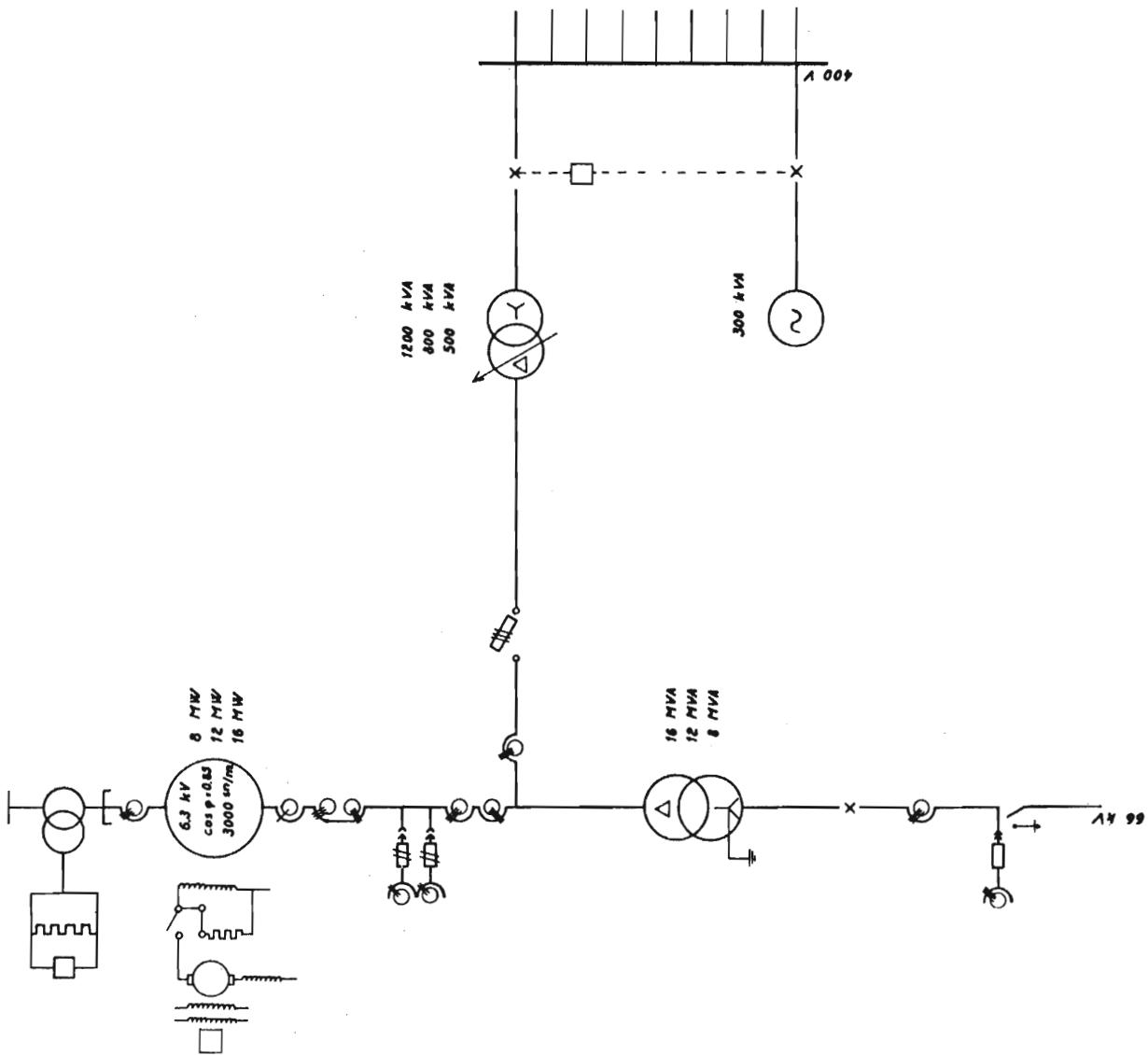
BORHOLUBÚNAÐUR

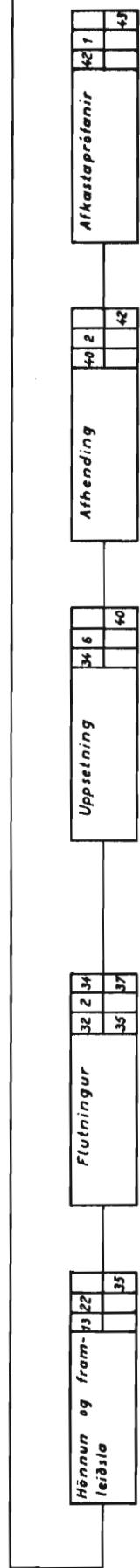
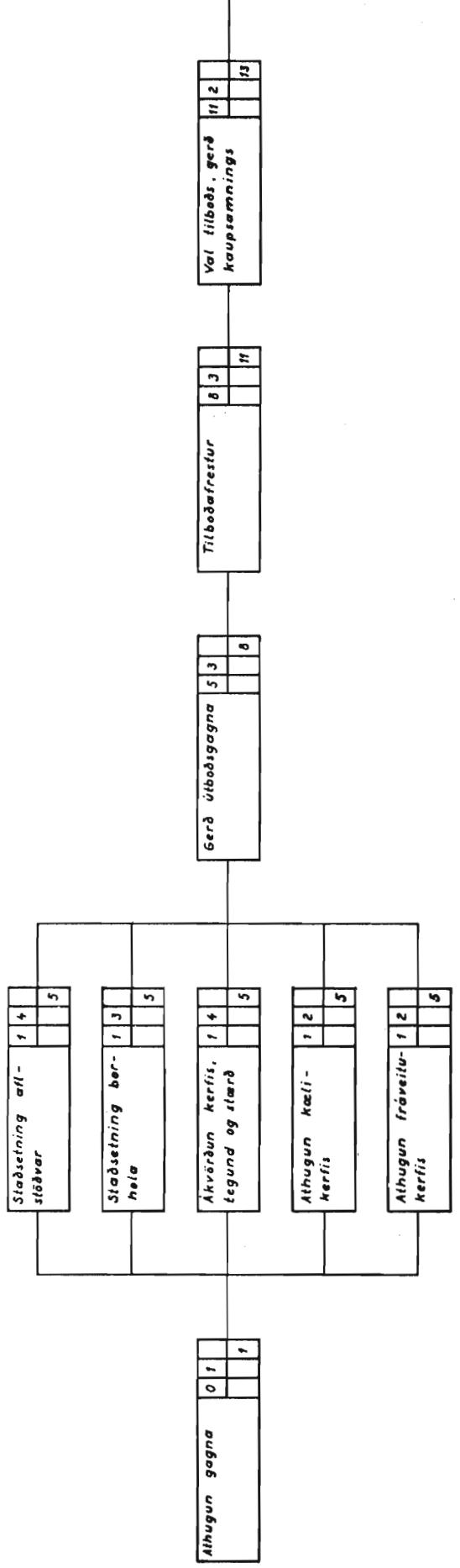


Mynd 18

	Fl.	Arbeid	Nær.	Tidslinje	Elev.	Aktør.
		Oppgave				
		Løftetegning				
		Oppgave				
		Beskrivelse				

VERKFRÆDISTOFA A	Flor.	Verd.
GUDMUNDAR & KRISTJANS	Foto:	
Løftetegning 10	Foto:	
Arkustofnum.	Foto:	
Teckning nr.	Foto:	
Einliniumynd referens	Foto:	





Mynd 19

Fj.	Heim	Reit	Ulfar	Ela	A.H.
Opnun	Lokun	Dagur			
Breyting					
VERNFREÐISTOFÁ GUÐMUNDAR & KRISTJÁNS	2				
Lokunnum 18	Þundi 14.4.26				
Orkustofnun - Þordgufusafnistöð					
Timadæltun Turba - Rata	26 - 7 - 03				
	Yard. nr.				
	Yard. nr.				

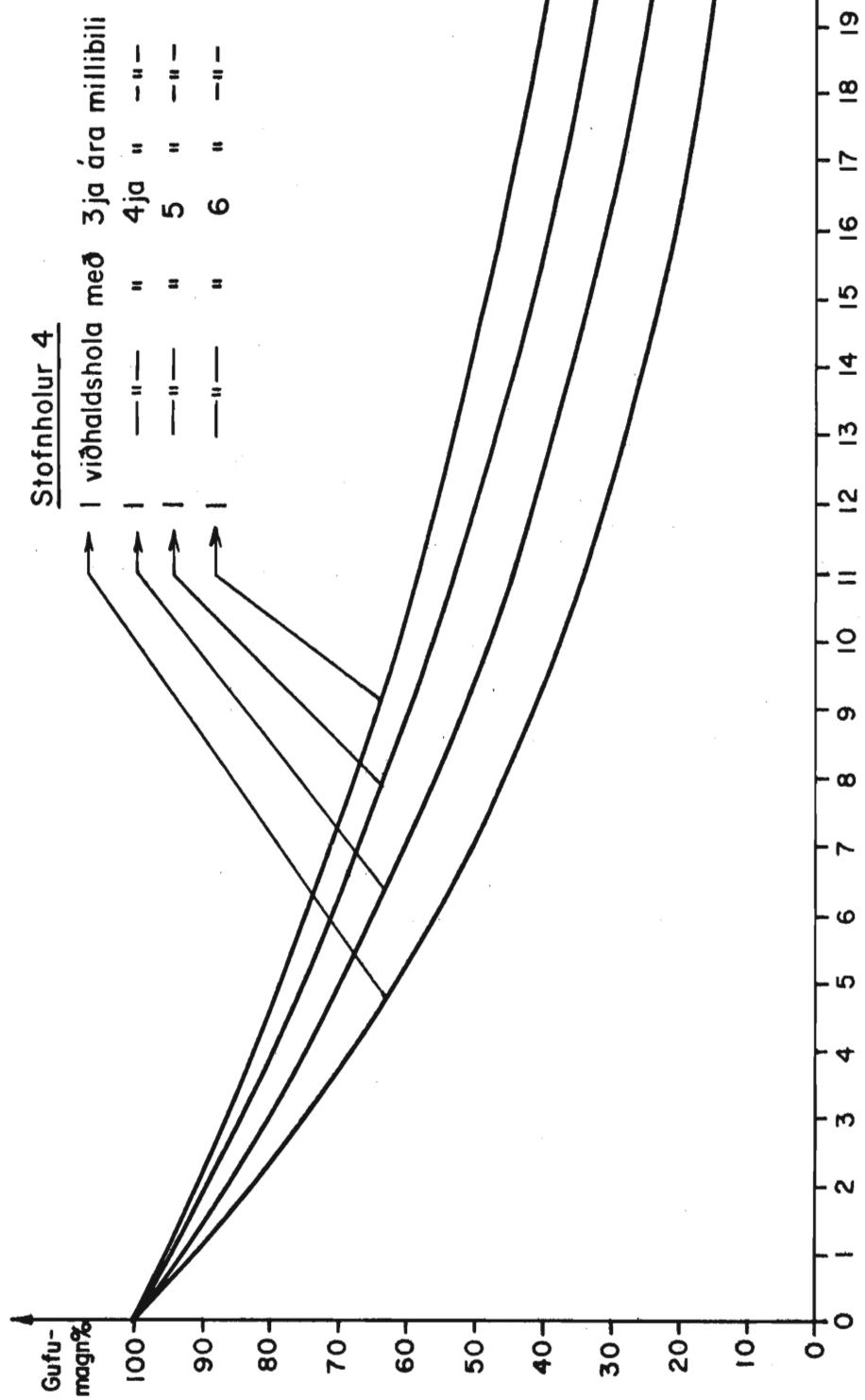
Skyringar:

Verkþáttir	Byrjað snemma	Varir snemma	Endað seint

(Tími í mánuðum)



Mynd 20



ORKUSTOFNUN

Raforkukostnaður,
undir / yfirliggjandi eimsvali

02.05.72 KR/P

Tnr. 329

J- Ým

Fnr. 10539

Mynd 21

