

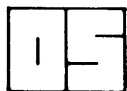


ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Hjörleifur Jakobsson
Jón Örn Bjarnason
Guðmundur Ingi Haraldsson

**NÝTING JARÐHITAVATNS
AÐ HÆÐARENDA, GRÍMSNESI**
Hindrun kalkútfellinga

OS-83108/JHD-20
Reykjavík, desember 1983



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Hjörleifur Jakobsson
Jón Örn Bjarnason
Guðmundur Ingi Haraldsson**

**NÝTING JARÐHITAVATNS
AÐ HÆÐARENDA, GRÍMSNESI
Hindrur kalkútfellinga**

OS-83108/JHD-20

Reykjavík, desember 1983

ÁGRIP

Skýrslan greinir frá rannsóknum sem gerðar voru til að athuga möguleika á nýtingu jarðhitavatns úr holu 2 að Hæðarenda í Grímsnesi. Vatnið er mjög koldíoxíðríkt og mikil hætta talin á kalkútfellingum. Helstu niðurstöður eru þær að hægt er að nýta vatnið með kælingu undir svo miklum þrýstingi að það afloftist ekki. Í skýrslunni eru gefnar ráðleggingar um vatnstöku úr holunni.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP	2
EFNISYFIRLIT	3
MYNDASKRÁ	3
TÖFLUSKRÁ	3
INNGANGUR	4
FORSAGA BORUNAR	4
BORUN HOLU 2	5
EFNAGREININGAR	5
AFKASTAMÆLINGAR	8
TILRAUNASTÖÐ OG FRAMTÍÐARNÝTING	9
HEIMILDIR	19

MYNDIR

1 Gangur borunar holu 2 að Hæðarenda í Grímsnesi	12
2 Hitamælingar á holu 2 að Hæðarenda í Grímsnesi	13
3 Hlutþrýstingur vatnsgufu og koldíoxíðs við mismunandi hitastig	14
4 Afkastamælingar á holu 2 að Hæðarenda í Grímsnesi	15
5 Tækjauppsetning við athugun að Hæðarenda í Grímsnesi	16
6 Tillaga um fyrirkomulag lagna að Hæðarenda í Grímsnesi ..	17
7 Frágangur lagna, tenging varmaskiptis og stýring	18

TÖFLUR

1 Hæðarendi í Grímsnesi, Styrkur efna í mg/kg	6
2 Hæðarendi í Grímsnesi, Samsetning gass, % rúmmáls	6
3 Lágmarks holutoppsprýstingur til að koma í veg fyrir útfellingar, við mismunandi holutoppshitastig	10

INNGANGUR

Þegar ljóst varð hversu slæmt vatnið úr holu 2 að Hæðarenda í Grímsnesi var til nýtingar, var ákveðið að Jarðhitadeild Orkustofnunar rannsakaði það með möguleika á nýtingu í huga. Þetta var m.a. gert til að auðvelda lausn svipaðra vandamála í framtíðinni. Í þessari skýrslu er þessum rannsóknum og borun holunnar lýst stuttlega.

FORSAGA BORUNAR

Neðan við gömlu fjárhúsin á Hæðarenda er volgra. Hún var ræst fram árið 1949 og mældist þá 17°C. Vorið 1981 reyndist hiti í henni 13,5°C. Lengi hafði verið áhugi á að bora eftir heitu vatni á Hæðarenda og um páskana 1963 var boruð þar hola nr. 1, með litlum kjarnabor. Vegna páskahretsins illræmda varð minna úr verki en skyldi og varð holan einungis rúmlega 30 m djúp.

Sumrin 1974 og 1976 voru gerðar viðnámsmælingar í Grímsnesi með það í huga að finna hita fyrir byggðina við Borg. Þá kom í ljós allstórt svæði með mjög lágu viðnámi, lægra en 10 ohmm, sem náði frá laugunum í landi Hallkelshóla og suðvestur fyrir Hæðarenda, og benti það til mjög hás hita (Valgarður Stefánsson & Kristján Sæmundsson 1973, Lúðvík S. Georgsson 1976).

Vorið 1981 ætluðu heimamenn að bora sjálfir með höggbor til að freista þess að fá heitt vatn. Voru þá gerðar nokkrar nánari athuganir á Hæðarenda, kortlagðar sprungur í gilinu austan bæjarins og hitamælt í jarðvegi umhverfis volgruna. Fannst þá í læknum austan við bæinn sprunga, sem úr rennur 7-8°C heitt vatn allt árið. Sprungunni hallar lítillega í norður og stefnir hún beint á volgruna við útihúsin. Þá var staðsett hola fáum metrum NV við volgruna og var hugmyndin að hún næði að skera sprunguna á u.þ.b. 100 m dýpi. Ljóst var að vart væri við nægilegum hita að búast í svo grunnri holu.

Haustið 1981 var grafið með traktorsgröfu í volgruna. Við það örvaðist rennslið og hitinn hækkaði. Hæstur hiti mældist 18,2°C. Sýni var tekið af vatninu til efnagreininga og bentu niðurstöður þeirra til a.m.k. 110°C hita djúpt í vatnskerfinu.

Haustið 1982 var ákveðið að fá jarðborinn Ými til þess að bora holu og var henni valinn staður nokkru fjær volgrunni en áður hafði verið gert, með það í huga að skera sprunguna á ca 250 m dýpi.

BORUN HOLU 2

Borun hófst um miðjan mars 1983 og tók 23 verkdaga. Borunin gekk mjög vel (mynd 1). Borað var með 8 1/2" krónu í 99 m, fóðrað með 6 5/8" í það dýpi og borað niður með 5 7/8" krónu. Ekki komu vatnsæðar í holuna á því dýpi sem áætlað var en hins vegar var sprungið berg í kringum 240 m dýpi og gæti þar verið komin sprungan sem sást á yfirborði. Samt var ákveðið að halda borun áfram, í von um að fá inn einhverjar æðar, þar eð hitinn hækkaði hratt eftir því sem neðar dró. Engar æðar komu þó fram fyrr en á 532 m dýpi að komið var í mjög öfluga æð sem gaus. Ekki var borað dýpra. Setja þurfti þyngda borleðju í holuna til að ná upp borstöngum, vegna hás þrýstings í æðinni.

Að borun lokinni stóð holan lokuð. Hún var hitamæld 14. júní og var þá rúmlega 150°C í botni en tæplega 50°C við fóðringarenda á 99 m dýpi. Þann 19. september var holan aftur hitamæld og reyndist botnhiti þá 153°C og hitastig á 100 m dýpi um 80°C (sjá mynd 2).

EFNAGREININGAR

Þann 3. ágúst 1983 voru tekin tvö sýni til efnagreininga úr borholunni við Hæðarenda. Fyrri sýnið var tekið beint úr leiðslu frá holutoppi og var auk vatns safnað gasi. Hið síðara var tekið úr frárennsli frá varmaskipti og þá einungis safnað vatni. Sýni þessi eru númer 830195 og 830196. Við lok söfnunar fyrri sýnisins kom í ljós talsverð kalkútfelling í stút, sem notaður var við sýnatökuna.

Niðurstöður efnagreininga á vatninu fara hér á eftir.

TAFLA 1 Hæðarendi í Grímsnesi. Styrkur efna í mg/kg

	Hola 2 við topp	Hola 2 úr varmaskipti
Sýni nr.	830195	830196
Dags.	83-08-03	83-08-03
Sýrustig pH/°C	6,28/22,5	6,18/22,5
Eðlisviðnám Ohm-m/°C	4,0/20,5	3,80/20,4
SiO ₂	216,0	209,2
Na ⁺	638,5	639,6
K ⁺	36,7	36,4
Ca ⁺⁺	4,71	32,8
Mg ⁺⁺	3,19	3,92
CO ₂	1470,	1760,
SO ₄ ⁻⁻	134,7	142,6
H ₂ S	1,40	1,58
Cl ⁻	290,	290,8
F ⁻	1,44	1,50
Uppleyst efni	1824,3	1913,9

Niðurstöður greiningar á gasinu, sem safnað var með fyrra sýninu eru þessar:

TAFLA 2 Hæðarendi í Grímsnesi. Samsetning gass, % rúmmáls

Sýni nr.	830195
Dags.	83-08-03
CO ₂	99,31
H ₂ S	0,06
H ₂	0,00
N ₂	0,44
CH ₄	0,01
Ar og O ₂	0,18

Hér er m.ö.o. um nær hreint koldíoxíð að ræða. Með hverjum lítra vatns söfnuðust 0,56 l af gasi við 12 °C og einnar loftþyngdar þrýsting. Efnasamsetning sýnanna er hvorki dæmigerð fyrir háhita-

né lághitasvæði. Vatnið myndi tæplega dæmast drykkjarhæft samkvæmt kröfum Alþjóða heilbrigðisstofnunarinnar (World Health Organization 1971). Til þess er selta vatnsins (Na^+ og Cl^-) of há og heildarmagn uppleystra efna of mikið. Þá er flúor í efri mörkum þess sem leyfilegt er.

Efnainnihald jarðhitavatns gefur upplýsingar um hitastig djúpt í jörðu, þar sem vatnið var síðast í jafnvægi við berg. Slíkar upplýsingar eru einkum áhugaverðar ef frekari borun í svæðið er fyrirhuguð. Helst er styrkur kísils notaður sem efnahitamælir, en einnig hlutfall natríums og kalíums (Stefán Arnórsson ofl. 1983). Þegar kísilhitastig er reiknað, er jafnvægi við kvars notað þegar hitastig er hátt, en jafnvægi við kalsedón annars. Í ofanefndum sýnum reiknaðist kvarshitastig 185°C og 183°C , kalsedónhitastig 157°C og 155°C og natríum-kalíum hitastig 145°C og 144°C . Kalsedónhitastiginu ber vel saman við botnhitastig holunnar, 153°C , en við botn er aðalæð hennar að finna. Gætilega verður þó að túlka efnahitastig í þessu tilviki, vegna þess að á því hitastigsbili, sem hér um ræðir er talið óvíst hvort vatnið sé í jafnvægi við kvars eða kalsedón. Þá er Na/K hitamæli varlega treystandi í jafn söltu vatni.

Viss hætta er á, að kísill falli út úr vatninu þegar það kólnar. Nálægt 60°C nær vatnið að verða mettað með tilliti til ópals og hafa verður í huga, að selta vatnsins hraðar útfellingum. Þá er ekki hægt að útiloka útfellingar annarra silikata, einkum ál- og magnesíumsilkata, sem yrðu við ívið herra hitastig.

Það sem mesta athygli vekur er hið mikla magn koldíoxíðs í sýnunum. Ef koldíoxíð nær að rjúka úr vatninu má búast við miklum útfellingum kalks samkvæmt efnahvarfinu:



Þetta sást glöggt í stútnum, sem fyrra sýnið var tekið úr, en þar gat að líta talsverða kalkútfellingu eftir sýnatöku eins og áður er minnst á. Styrkur kalsíums og koldíoxíð er verulega minni í fyrra sýninu en því seinna og stafar það vafalaust af þessari útfellingu.

Við reikninga á yfirmettun kalsíts var samsetning gassins í fyrra sýninu lögð til grundvallar, en samsetning vatnsins í því seinna.

Var þetta gert vegna þess að seinna sýnið er talið gefa réttari mynd af efnainnihaldi borholuvökvans með því að engra útfellinga varð vart við töku þess. Þetta leiðir af sér að það kolsýrumagn, sem stuðst er við, er heldur í hærra lagi. Sú skekkja sem þetta gæti valdið er í þá átt að ofmeta kalsítútfellingahættu sem þó er varlegra en að vanmeta hana.

Reikningarnir sýna, að sé vatnið úr holunni látið sjóða og afloftast, verður það mjög yfirmettað með tilliti til kalsíts. T.d. reiknast jónamargfeldi kalsíts nærri 200 sinnum meira en leysnimargfeldið (Stefán Arnórsson ofl. 1982) ef soðið er við 100 °C, þannig að um mikla yfirmettun yrði að ræða við slíkar aðstæður. Talsverð ónákvæmni er að vísu ávallt í reikningum sem varða kalsítútfellingar. Talið er þó (Stefán Arnórsson 1973) að um marktæka yfirmettun sé að ræða ef hlutfall jónamargfeldis og leysnimargfeldis er stærra en u.þ.b. 2. Ekki leikur því nokkur vafi á að mikið kalk myndi falla út úr vatninu við suðu og afloftun.

Til þess að koma í veg fyrir kalkútfellingar við nýtingu verður að halda þrýstingi nógu háum til þess að koldíoxíðið rjúki ekki úr því. Miðferillinn á mynd 3 sýnir reiknaðan hlutþrýsting koldíoxíðs. Efsti ferillinn er summa gufuprýstings og hlutþrýstings koldíoxíðs og sýnir því hver heildarþrýstingur verður að vera til þess að koldíoxíð tapist ekki. Eins og áður er sagt er mikil óvissa í þessum niðurstöðum.

AFKASTAMÆLINGAR

Þann 28. júlí 1983 var hola 2 að Hæðarenda afkastamæld. Mælt var vatnsrennsli í mælikari og einnig þrýstingur á holutoppi. Niðurstöður eru sýndar á mynd 4. Mesta melda rennsli var 17,5 l/s við 6 bar þrýsting. Þann 11. ágúst 1983 voru gerðar samskonar mælingar sem einnig eru sýndar á mynd 4. Mesta melda rennsli þá var um 21 l/s við 5,7 bar. Þessum mælingum ber vel saman. Rennsli úr holunni er þó meira en mynd 4 sýnir þar eð eitthvert magn fer út um gufuskilju í formi gufu. Gróft áætlað er gufuhlutfallið 7,5%. Ef vatnið er nýtt niður í 40 °C má því reikna með að holan gefi við mesta melda rennsli (21,5 l/s) um 10 MWth. Ekki er þó ráðlegt að taka svo mikið úr holunni þar eð þá mun þrýstingur lækka og hætta er á að vatnið sjóði og útfellingar myndist.

TILRAUNASTÖÐ OG FRAMTÍÐARNÝTING

Vegna hættu á kalkútfellingum við nýtingu á vatni úr holunni á Hæðarenda var ákveðið að gera tilraun með nýtingu vatnsins í þar til gerðum varmaskiptum. Ákveðið var að kæla jarðhitavatnið við fullan þrýsting frá holunni og hindra þannig suðu, sem veldur óæskilegum kalkútfellingum. Uppsetning tækja er sýnd á mynd 5.

Ferskvatn til kælingar fékkst með því að grafa gryfju í mýri skammt frá borholunni og dæla þaðan köldu mýrarvatni. Tilraunin hófst þann 28. júlí og stóð yfir til 18. ágúst með smávægilegum hléum vegna dælutruflana.

Fyrstu vikuna rann úr holunni bæði út um skilju (1 l/s) og varmaskipti (7-10 l/mín). Heita vatnið var kælt úr 120°C niður í 40°C. Þrýstingur á heita vatninu inn var 7,5 til 7,7 bar og þrýstifall í varmaskipti 0,3 til 0,4 bar. Við þessi varmaskipti hitnaði kalda vatnið (10 l/mín) úr 10°C í 60°C. Töluvert gas virtist vera í jarðhitavatninu.

Eftir þessa viku voru útfellingaplötur athugaðar og voru engar útfellingar sjáanlegar. Var þá lokað fyrir skiljuna og aðeins tekið jarðhitavatn gegnum varmaskiptinn. Við það að loka fyrir skiljuna lækkaði hitastig jarðhitavatnsins vegna minnkandi rennslis og kólnunar í fóðurrörinu. Við 10 l/mín streymi úr holunni hélst hitastig rúmlega 80°C og þrýstingur 5,2 bar. Var vatnið kælt niður í 50°C í varmaskiptinum. Stóð þessi seinni hluti tilraunarinnar yfir í tvær vikur. Á þeim tíma var áberandi meira gas í jarðhitavatninu en fyrstu vikuna. Líkleg skýring á þessu er að tiltölulega meira gas hafi farið þar út fyrstu vikuna vegna fyrirkomulags tengingar við skilju (hærri skiljustútur).

Eftir tvær vikur var lokað fyrir rennslid og varmaskiptirinn tekinn í sundur. Ekki voru neinar útfellingar sjáanlegar á jarðhitahlið varmaskiptisins en á kaldavatnshliðinni var rauðleit skán sem við greiningu virtist vera járn, hugsanlega úr mýrarvatninu (mýrarrauði). Á ryðfríum útfellingaplötum á jarðhitahliðinni var engin útfelling sjáanleg. Á járnplötum sem settar voru til að athuga tæringu mátti greina örlitla yfirborðstæringu.

Niðurstöður athugunarinnar að Hæðarenda verða að teljast jákvæðar. Við framtíðarnýtingu verður þó að fara að öllu með gát og taka ekki það mikið úr holunni að vatnið afloftist. Þetta krefst stöðugs eftirlits. Best er að framkvæma þetta eftirlit með því að fylgjast reglulega með hitastigi og þrýstingi á holutoppi.

TAFLA 3 Lágmarks holutoppsprýstingur til að koma í veg fyrir útfellingar, við mismunandi holutoppshitastig

Holutoppshitastig °C	Holutoppsprýstingur bar
60	1,3
70	1,9
75	2,1
80	2,4
85	2,7
90	3,0
95	3,4
100	3,7
110	4,5
120	5,4
130	6,4
140	7,6
145	8,2
153	9,3

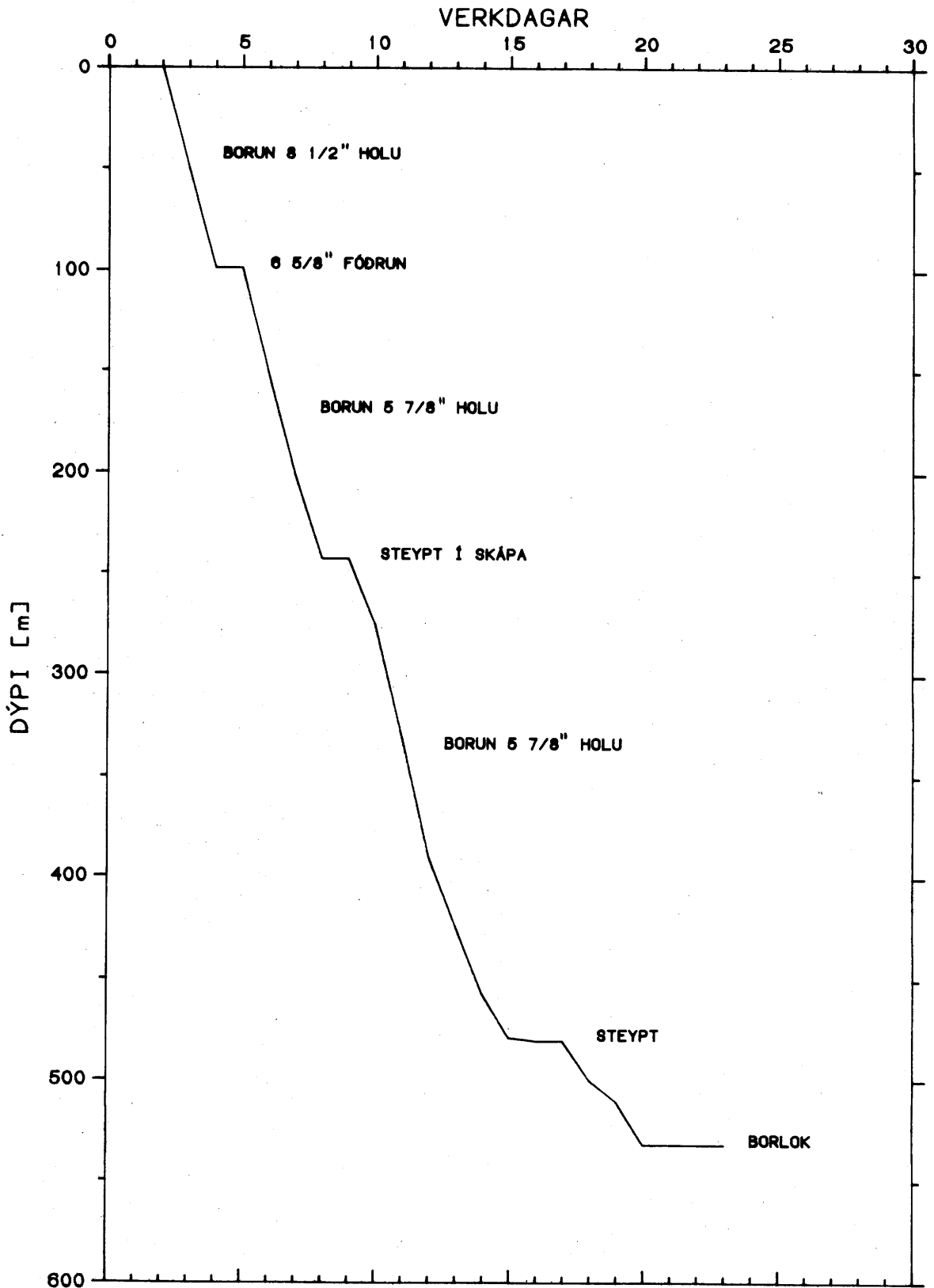
Í töflu 3 er sýndur, sem fall af holutoppshitastigi lágmarks holutoppsprýstingur til að koma í veg fyrir útfellingar. Til dæmis má holutoppsprýstingur ekki fara niður fyrir 2,4 bar ef hitastig við holutopp er 80°C. Þótt slíkum lágmarksskilyrðum sé fullnægt er alltaf hættu á að kalk falli út í ventli þeim er hleypir vatninu út. Þessari hættu má halda í lágmarki með því að kæla vatnið niður eins og hægt er áður en það fer út um ventilinn, þar eð leysni kalks í vatni eykst með lækkandi hitastigi.

Eins og áður hefur komið fram hefur holan verið afkastamæld tvisvar. Í bæði skiptin hækkaði hitastig á holutoppi fljótlega í 140°C, við mikla og stöðuga vatnstöku. Samkvæmt töflu 3, verður þrýstingur á holutoppi að vera a.m.k. 7,6 bar til þess að vatnið afloftist ekki og til útfellinga komi við þetta hitastig. Samkvæmt því og afkastamælingunum má ekki taka meira úr holunni en 13,5 l/s við núverandi aðstæður. Þetta þýðir þó ekki að svo mikið megi taka úr holunni til langframa því að með tíma er algengt að þrýstingur á holum falli og því fyrr sem meira er tekið.

Á myndum 6 og 7 eru sýndar tillögur um nýtingu jarðhitans til upphitunar á húsnæði og verkfærageymslu.

JHD-VT-8713-HJ
83.09.1062-T

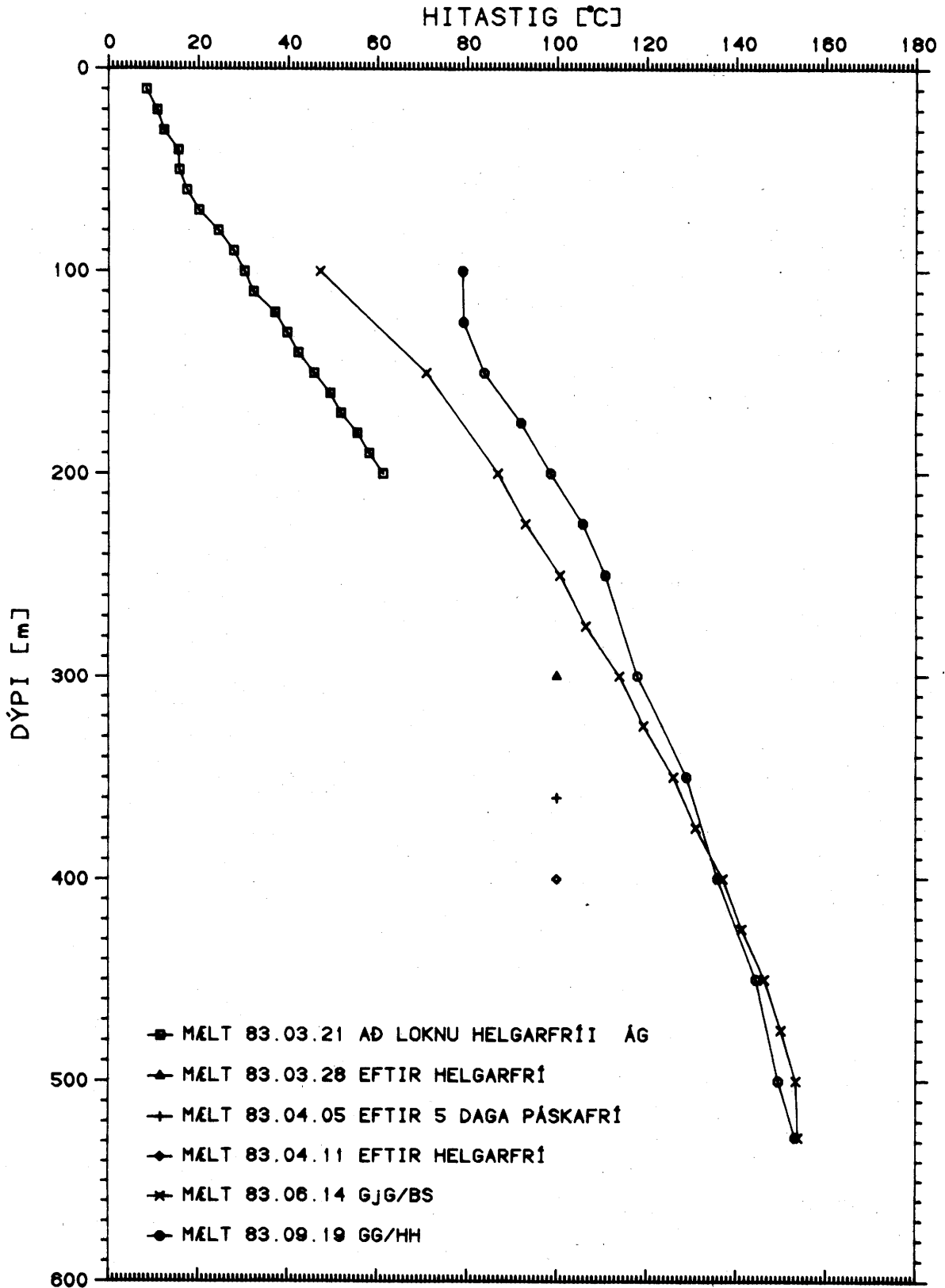
HOLA 2 HÆÐARENDI GRÍMSNESI GANGUR BORUNAR



Mynd 1 Gangur borunar holu 2 að Hæðarenda í Grímsnesi

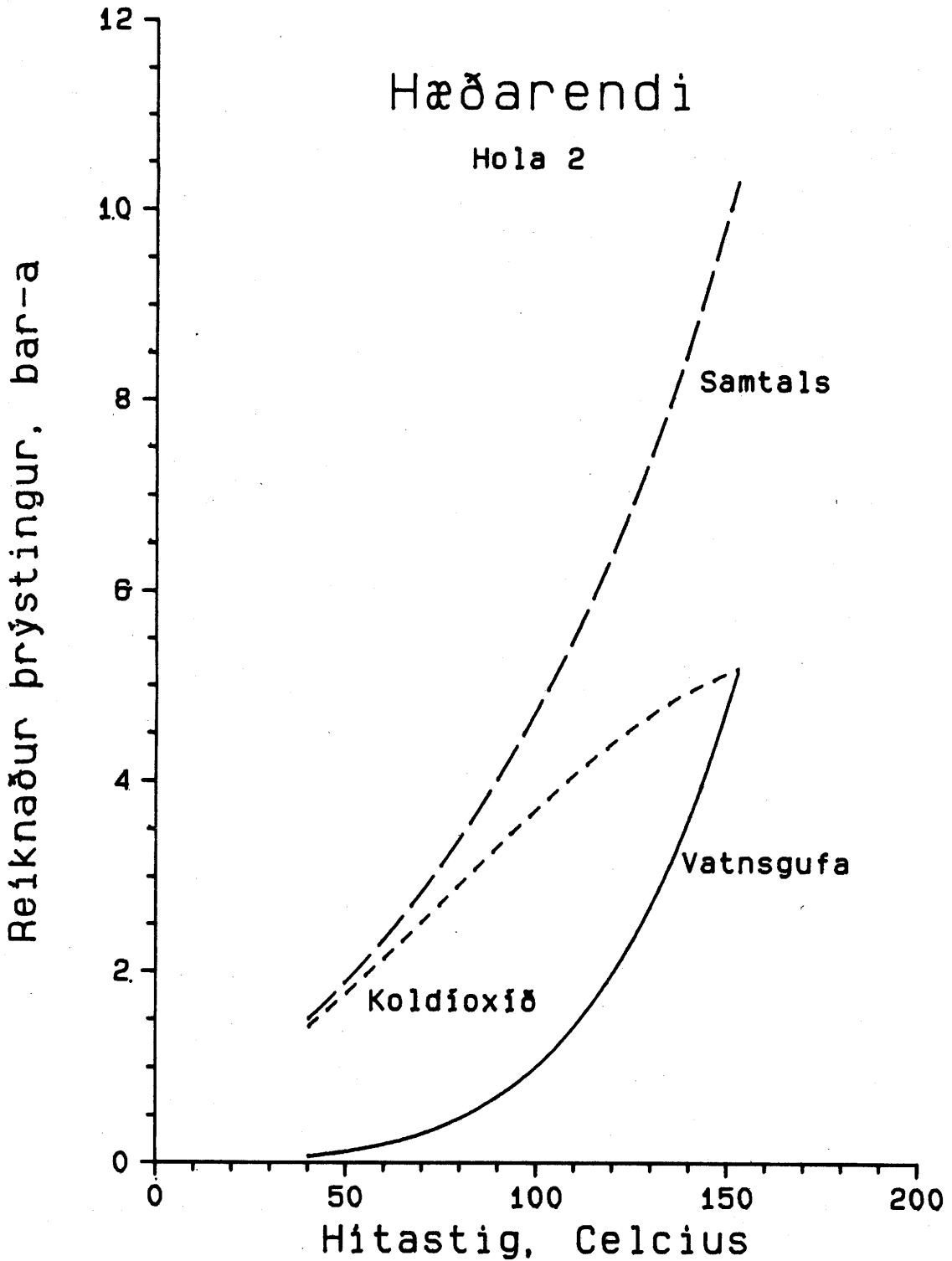
JHD-VT-8713.HJ.
83.09.106I. T

HOLA 2 HÆÐARENDI GRÍMSNESI HITAMÆLINGAR



Mynd 2 Hitamælingar á holu 2 að Hæðarenda í Grímsnesi

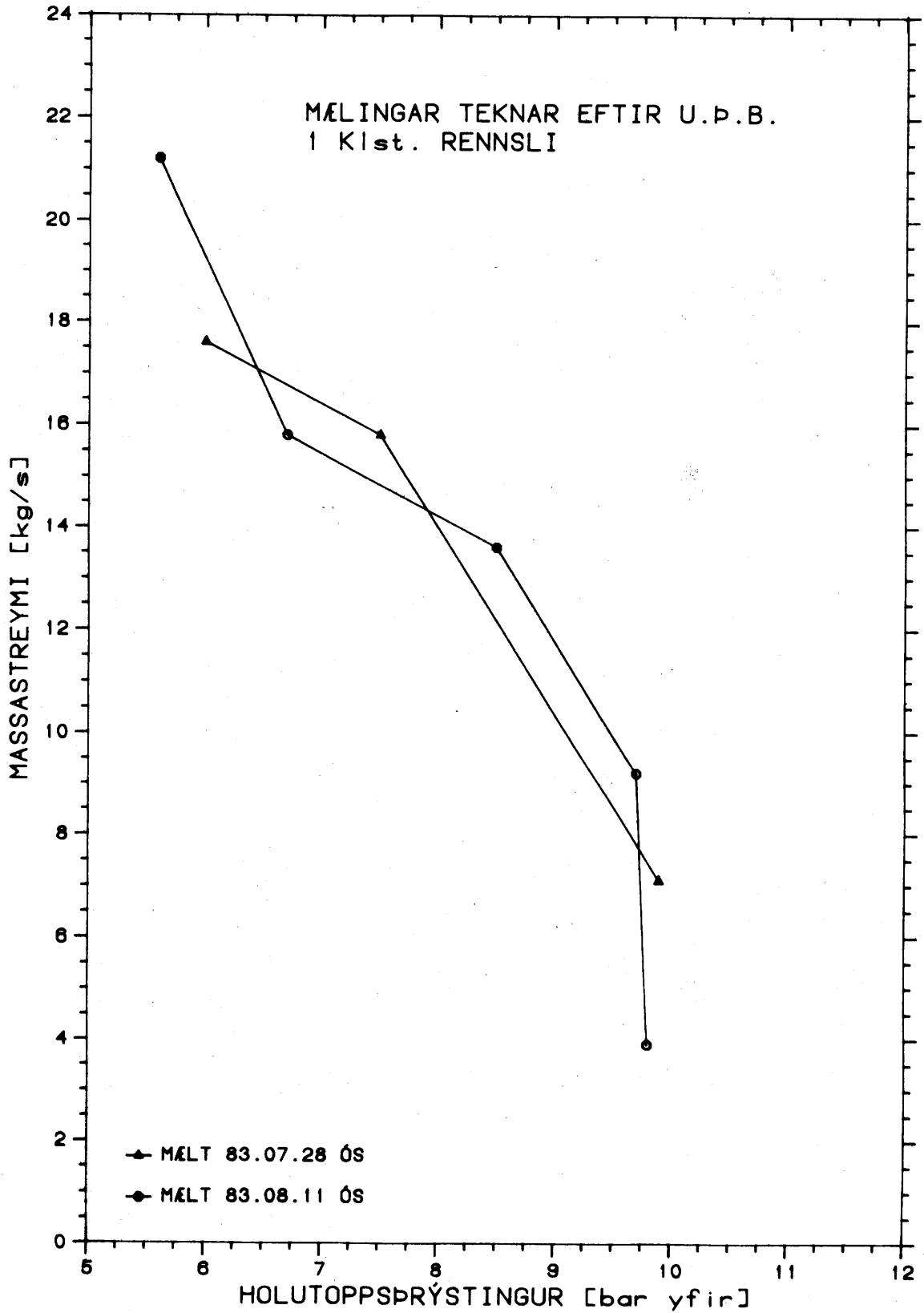
JHD·JEF·8713·JOB
83.11.1567 T



Mynd 3 Hlutþrýstingur vatnsgufu og kolsýru við mismunandi hitastig

JHD-VT-8713-HJ
83.09.1063 T

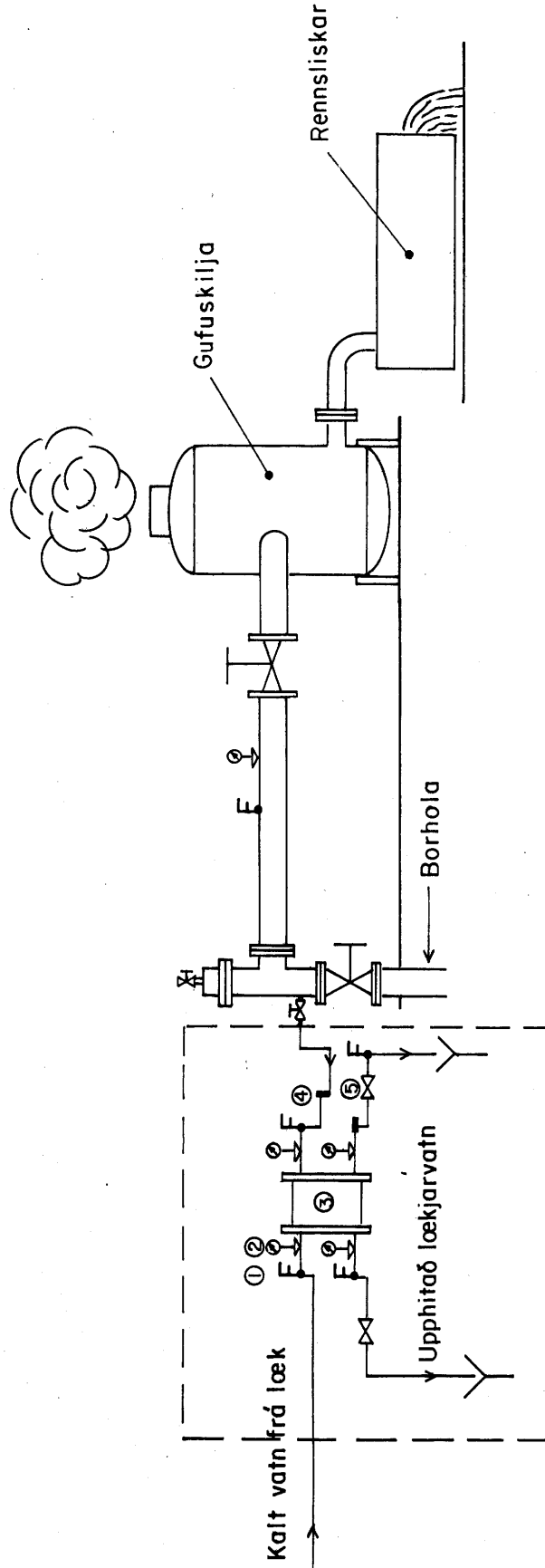
HOLA 2 HÆÐARENDI GRÍMSNESI AFKASTAMÆLINGAR



Mynd 4 Afkastamælingar á holu 2 að Hæðarenda í Grímsnesi

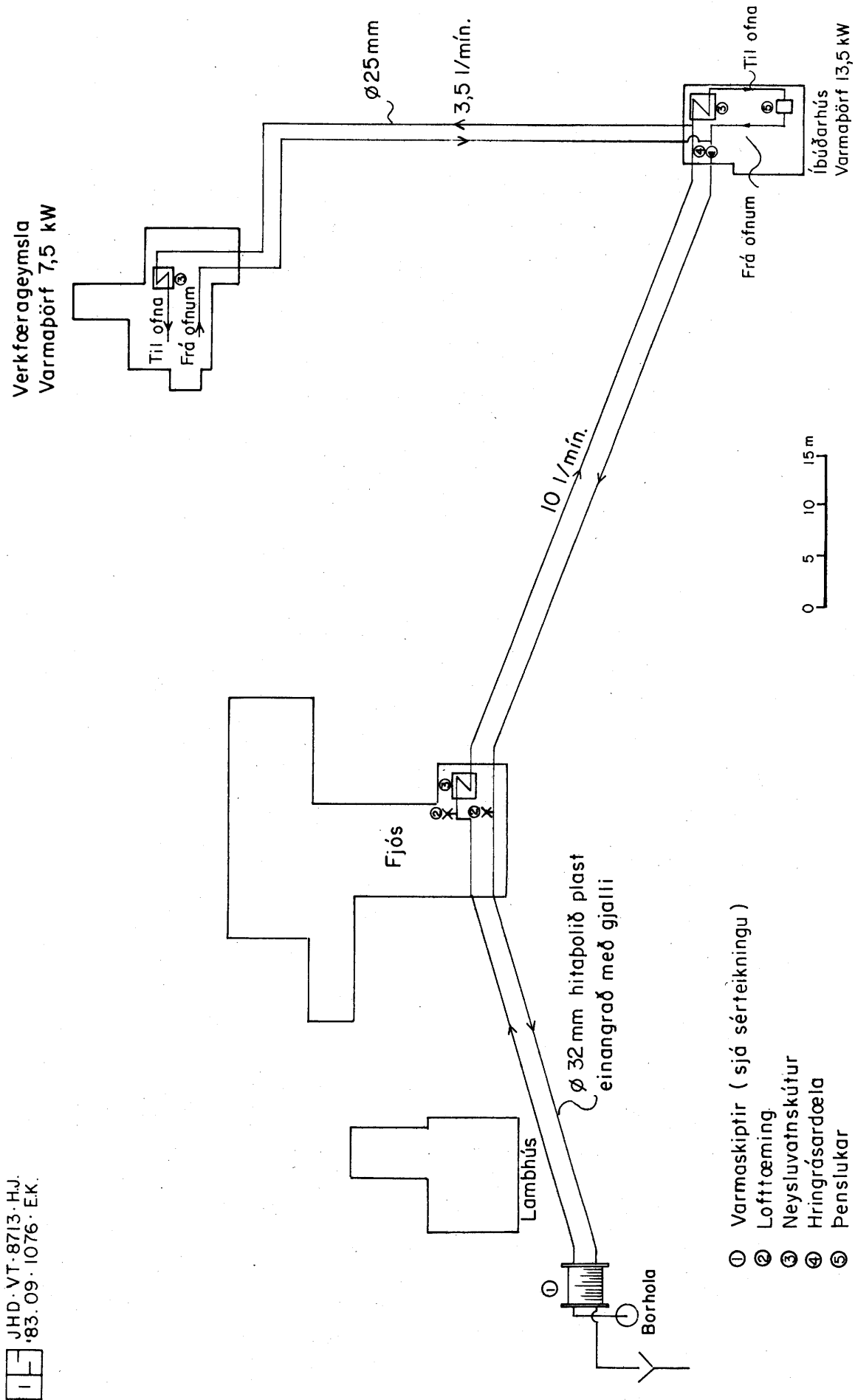
JHD-VT-8713-HJ.
'83.09.1075-E.K.

TÆKJAUPPSETNING VIÐ ATHUGANIR AÐ HÆÐARENDA



- ① Kvikasilfurs hitamælir í vasa
- ② Þrýstingsmælir
- ③ Plötuhitari
- ④ Tæringa og útfellingapiötur
- ⑤ Kúluloki

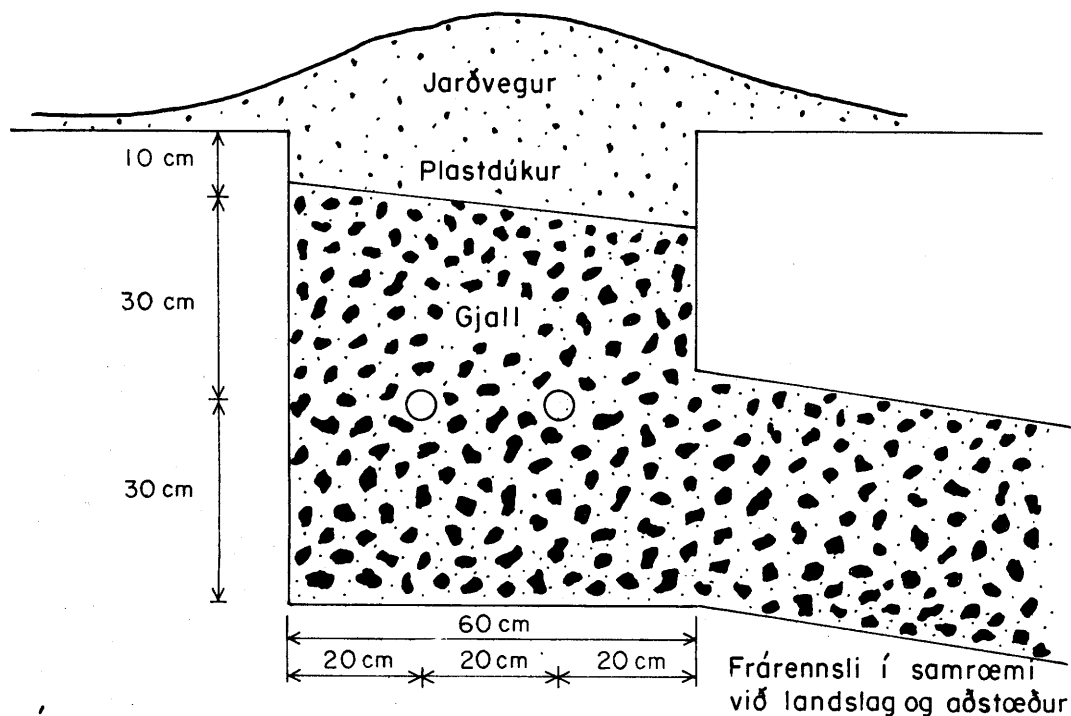
Mynd 5 Tækjauppsetning við athugun að Hæðarenda í Grímsnesi



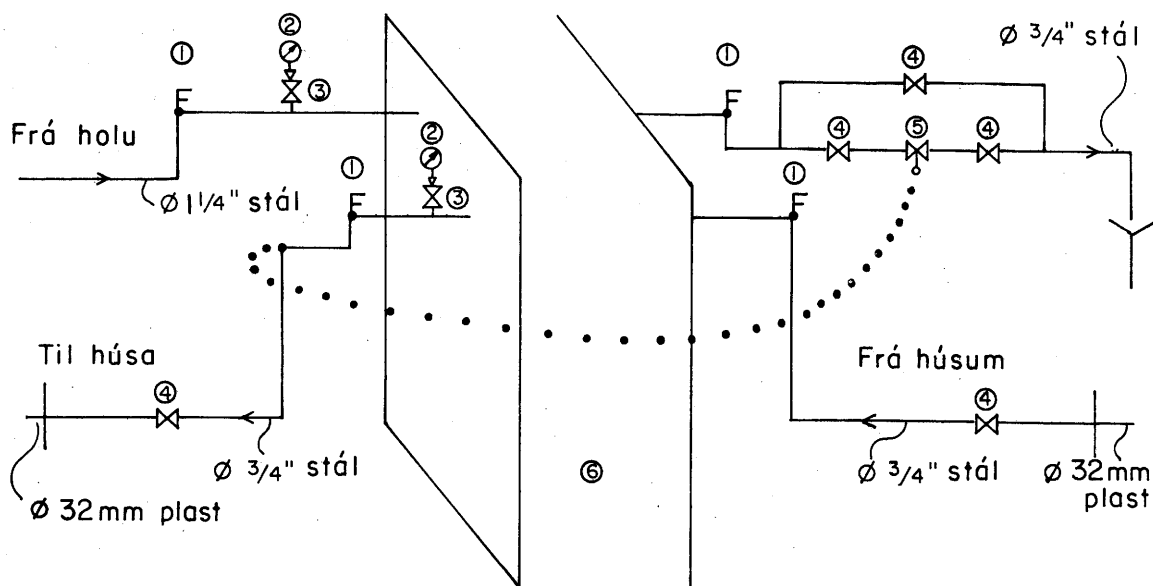
JHD·VT·8713·H.J.
.83.09.1076·EK.

Mynd 6 Tillaga um fyrirkomulag lagna að Hæðarenda í Grimsnesi

JHD-VT-8713-HJ.
'83.09.1077-EK.



FRÁGANGUR LAGNA



- ① Kvikasilfurs hitamælir í vasa
- ② Vökvafylltur þrýstingsmælir (0-16 bar)
- ③ 1/4\" kúluloki.
- ④ 1/2\" kúluloki
- ⑤ AVTB 15 (50-90 °C). Ath. þreifari þarf að vera í 1\" röri og rauða röndin snýr upp.
- ⑥ Plötuhitari

TENGING VARMASKIPTIS OG STÝRING

HEIMILDIR

Lúðvík S. Georgsson 1976: Heitavatnsöflun fyrir Hallkelshóla, Klausturshóla og Borg í Grímsnesi. Orkustofnun, OSJHD7652.

Stefán Arnórsson 1973: Uppleyst efni í heitu vatni. Orkustofnun, OSJHD7317

Stefán Arnórsson, Sven Sigurðsson og Hörður Svavarsson 1982: The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland. I. Calculation of Aqueous Speciation from 0 to 370 C. Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol 46, No. 9, 1513-1532.

Stefán Arnórsson, Einar Gunnlaugsson og Hörður Svavarsson 1983: The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland. III. Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations. Geochimica et. Cosmochimica Acta, Vol 47, No. 3, 567-577.

Valgarður Stefánsson og Kristján Sæmundsson 1975: Yfirborðsrannsókn á jarðhita í Grímsnesi. Orkustofnun, OSJHD7544.

World Health Organization 1971: International Standards for Drinking-water.