

KRAFLA



SKÝRSLA UM NIÐURSTÖÐUR
RANNSÓKNARBORANA 1974

ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Oddur Þóruson

K R A F L A

Skýrsla um niðurstöður rannsóknarborana 1974

Kristján Sæmundsson
Stefán Arnórsson
Karl Ragnars
Hrefna Kristmannsdóttir
Gestur Gíslason

Efnisyfirlit:

Agrip

Inngangur

Helztu niðurstöður jarðfræðirannsókna

Staðsetning hola og gangur borana

Jarðlög og ummyndun

Vatnsæðar og hiti

Efni í vatni og gufu

Vinnslueiginleikar svæðisins

Vinnslusvæði og staðsetning vinnsluhola

Hönnun vinnsluhola

Meðferð affallsvatns

Jarðgrunnsrannsóknir vegna mannvirkjagerðar

Byggingarefni

Myndaskrá:

Forsíðumynd. Leirbotnar og Krafla, ljósm. Sig. Harðarson

1. mynd. Kort af miðhluta jarðhitasvæðisins í Kröflu
2. mynd. Þverskurður af borholum 1 og 2 í Kröflu
3. mynd. Jarðlagasnið og dreifing ummyndunarsteinda
4. mynd. Hitamælingar í borholu 1 í Kröflu
5. mynd. Hitamælingar í borholu 1 í Kröflu
6. mynd. Hitamælingar í borholu 2 í Kröflu
7. mynd. Uppleysanleiki kvars og ópals á hitabilinu $100-370^{\circ}\text{C}$
8. mynd. Samband vatnshita áður en suða hefst og hita/prýstings ópalmettunar.
9. mynd. Ytri mörk á lögun vinnsluferla gufuhola.
10. mynd. Samband gufurennslis við skiljuþrýsting.
11. mynd. Vinnsluholur Kröflu. Vidd, fóðringar, holutoppur.
12. mynd. Leið affallsvatns, staðsetning stöðvarhúss og tillaga um vinnsluholur 1975.
13. mynd. Kort af lausum jarðlögum í Leirbotnum.

AGRIP

Í skýrslu þessari er greint frá niðurstöðum rannsóknarborana í Kröflu, sem gerðar voru seinni hluta árs 1974. Tilgangur þeirra borana og frumrannsókna, sem unnar voru á árunum 1970-1973 var að afmarka vinnslusvæði og afla upplýsinga um vinnslueiginleika Kröflusvæðisins með tilliti til þess, að þar yrði reist 50-60 MW gufuaflestöð. Slík stöð þarfnað um 470 tn/klst af gufu, sem samsvarar 650 kg/sek innrennsli í holur miðað við 260°C hita á djúpvatni og 8 ata skiljuprýsting, en þá er miðað við einþrýstiturbínu. Niðurstaða borana og annarra rannsókna á Kröflusvæðinu er sú, að það standi undir 50-60 MW gufuvirkjun og hugsanlegri stækjun síðar. Mælt er með því, að hafizt verði handa um að bora vinnsluholur í Kröflu þegar sumarið 1975.

Kröflusvæðið er fast að tífalt stærra að flatarmáli en Námafjallssvæðið og því líkur á, að það sé öruggara í vinnslu og standi undir verulegri stækjun síðar að því gefnu að vinnslueiginleikar beggja svæðanna séu líkir.

Lagt er til, að um 10 km^2 svæði, sem nær yfir Kröflu og Leirhnúk verði fyrst í stað afmarkað sem vinnslusvæði.

Rannsóknarholurnar eru 2, hola 1 1138 m djúp og hola 2 1204 m djúp. Hæðarmunur á holunum er 70 m og stendur hola 2 hærra, í 552 m hæð yfir sjó. Í holu 1 reyndist vera lítið af æðum. Hiti í henni var nálægt suðumarksferli allt til botns og mældist hæstur 298°C. Í holu 2 var hins vegar mikið af æðum neðan 325 m. Tiltölulega kalt vatn (190°C) rennur niður eftir holunni úr æðum í 325-350 m dýpi og fæst því ekki rétt mynd af hitaástandi í bergi neðan þess dýpis, en þar ofan við er hitinn við suðumarksferilinn. Búast mætti við, að vinnsluholur, sem boraðar yrðu nærri holu 1, myndu ekki lenda í verulegum

vatnsæðum ofan 1000 m dýpis, en ef borað yrði nærri holu 2 fengist líklega verulegt vatnsmagn úr vatnsæðum milli 700 og 1200 m. Ekki er ólíklegt að hitinn í jarðhitakerfinu fylgi suðumarksferlinum dýpra niður en rannsóknarholurnar ná, þannig að á 2000 m dýpi gæti orðið allt að 330° - 340°C hiti. Meðalhiti á því vatni, sem kæmi inn í borholun yrði lægri, sem næmi því vatnsmagni, sem streyndi inn í holurnar ofar.

Vegna æða ofarlega í holu 2 og vegna hins háa hita þarf að fóðra vinnsluholur með steyptri fóðringu niður í a.m.k. 600 m.

Bein reynsla liggur ekki fyrir um eiginleika 300°C heits vatns með tilliti til útfellinga í holutoppi og skiljum. Því er lagt til, að fyrstu vinnsluholur verði boraðar á svæðinu í kringum holu 2 þar sem vænta má vatns með meðalhita undir 300°C . En ein reynsluhola verði boruð nálægt holu 1, þar sem vænta má vatns með hærri meðalhita en 300°C .

Efnainnihald í vatni og gufu í holum 1 og 2 í Kröflu er svipað og í vinnsluholunum í Námafjalli og má því styðjast við reynslu þar hvað varðar tæringu og aðra eiginleika vatnsins. Heildargasmagn er þó nokkru meira í Kröflu eða nálægt 1% í gufu við 6-10 ata þrýsting.

Við ákvörðun á vinnsluþrýstingi á gufuskiljum er vert að hafa í huga mögulegar kísilútfellingar, sérstaklega vegna þess hve hár hiti hefur mælzt í holu 1.

Lagt er til að affallsvatni verði veitt í uppistöðulón í Þríhyrningadal í hálsinum vestan við Leirbotna, þar sem útfellingar yrðu við hæga kólnun og brennisteinsvetni ryki burt. Útfallið úr lóninu rynni síðan suður Hlíðardal að vesturjaðri Búrfellshrauns, og hyrfi í hraunin.

Á grundvelli jarðgrunnsrannsókna er lagt til, að stöðin verði reist á hrauni innst í Hlíðardal. Þaðan eru um 500-1500 m að væntanlegum vinnsluholum.

INNGANGUR

Í skýrslu Orkustofnunar "Áætlun um rannsókn háhitasvæða" frá 1969 var gerð allítarleg áætlun um það, hvernig skuli staðið að rannsókn háhitasvæða til þess að afmarka vinnslusvæði og dæma um vinnslueiginleika þeirra. Hefur þessari áætlun verið fylgt í öllum aðalatriðum varðandi rannsókn Námafjalls- og Kröflusvæðisins. Verkfræðileg áætlun um byggingu 55 MW gufuafilstöðvar í Námafjalli eða Kröflu var gerð árin 1972 og 1973 (skýrslur útgefnar af Orkustofnun júní 1972 og sept 1973). Í þessum skýrslum eru raktir ýmsir þættir frumrannsóknar á báðum jarðhitasvæðunum auk þess sem greint er frá niðurstöðum borana á Námafjallssvæðinu.

Yfirborðsrannsókn leiddi í ljós að stærðarmunur svæðanna er mikill og jarðfræðileg forsaga þeirra ólík. Boranir og rannsóknir á Námafjallsvæðinu benda til þess, að þar sé um hentugt vinnslusvæði að ræða, sem vafalaust stendur undir 50-60 MW stöð. Hinsvegar urðu ýmis önnur sjónarmið þess valdandi, að Kröflusvæðið var talið heppilegra fyrir virkjun. Ber það til (1) að Kröflusvæðið er margfalt stærra og því líkur á, að það sé öruggara í vinnslu og standi undir mikilli stækkun síðar að því gefnu, að hitaástand í jarðhitakerfi þess reyndist líkt og í Námafjalli. (2) Kröflusvæðið er fjarri alfaraleið og virkjun þar hefði síður áhrif á umferð og umgang ferðafólks. (3) Meðferð affallsvatns frá virkjun við Kröflu yrði minna vandamál en í Námafjalli.

Þrátt fyrir ítarlega yfirborðskönnun var mikil óvissa um hitaástand í jarðhitakerfi Kröflusvæðisins. Efnasamsetning í hveragasi benti þó til $250-280^{\circ}\text{C}$ hita á um 1000 m dýpi. Nauðsynlegt var að afla beinna upplýsinga um þetta atriði með borunum. Var því allt frá árinu 1972 lagt mikið kapp á það af hálfu Orkustofnunar að fá fé til rannsóknarborana þar. Af því varð loks á árinu 1974,

en síðari hluta þess árs voru boraðar í Kröflu þær tvær rannsóknarholur, sem þessi skýrsla greinir frá

Tilgangur rannsóknarboranna var annars vegar sá að afla nægilegra upplýsinga um vinnslueiginleika Kröflusvæðisins fyrir samanburð við Námafjallsvæðið. Hins vegar að reyna að afmarka væntanlegt vinnslusvæði. Talið var að tvær 1000 m djúpar holur í Kröflu hefðu hliðstætt upplýsingagildi og holurnar í Námafjalli. Við tillögur um borun tveggja rannsóknarhola var gert ráð fyrir þeim möguleika, að önnur holan gæti mistekizt vegna hrungjarnra berglagra, óþéttanlegra vatnsæða á litlu dýpi eða vegna óhappa við borun. Eins var hætta á rennsli milli vatnsæða þar sem ekki var vitað fyrir um nauðsynlegt fóðringardýpi, en slikt hefur stundum borið við í fyrstu holum, sem boraðar eru á áður ókunnu háhitasvæði. Eru dæmi um það frá Námafjalli, Reykjanesi og Nesjavöllum. Í reynd fór svo, að í holu 2 er innrennsli úr æðum rétt fyrir neðan fóðringarenda, sem heldur niðri dýpri æðum í holunni vegna niðurrennslis.

Borunum lauk fyrstu dagana í desember og tími til rannsókna á holunum hefur verið helzt til naumur, einkum hvað snertir seinni holuna. Engu að síður teljum við nægilega miklar upplýsingar liggja fyrir til að gefa jákvæða umsögn um Kröflusvæðið.

HELZTU NIÐURSTÖÐUR JARDFRÆÐIRANNSÓKNA

Jarðhitasvæðin í Námafjalli og Kröflu eru að ýmsu leyti ólík, þótt bæði séu í sama sprungusveimnum og stutt á milli þeirra. Allt bendir til að Námafjalls- og Kröflusvæðið séu sjálfstæð háhitasvæði og jarðhitakerfi þeirra óháð hvort öðru. Almennt séð eru háhitasvæðin á Íslandi í s.k. megineldstöðvum og/eða miðsvæðis í stórum sprungusveimum. Þau eru jarðsögulega fremur skammlíf fyrirbæri, vara e.t.v. í nokkur hundruð þúsund ár. Greina má nokkrar ólíkar gerðir háhitasvæða, eftir því hversu langt megineldstöðin hefur þróast, og eru Námafjalls- og Kröflusvæðið dæmi um það. Munur svæðanna kemur fram í eftirtöldum atriðum:

- 1) Í Kröflu er jarðhitasvæðið innan gamallar hálffylltrar öskju (hringlaga sigketils). Virkur jarðhiti finnst aðeins miðsvæðis í öskjunni en kulnaðar skellur víða nálægt öskjujaðrinum vestan og sunnan megin. Í Námafjalli er hins vegar um að ræða nokkurn veginn samfellt jarðhitasvæði alllangt sunnan við öskjuna.
- 2) Stærðarmunur er mikill á svæðunum. Kröflusvæðið er $30-35 \text{ km}^2$ að flatarmáli sé miðað við útbreiðslu ummyndunar, en Námafjallssvæðið um $3-4 \text{ km}^2$.
- 3) Þéttur sprungusveimur liggur yfir allt Námafjallssvæðið og það virðist vera mjög opíð fyrir uppstreymi til yfirborðs. Á Kröflusvæðinu er sprungusveimurinn einungis áberandi á vesturhelmingi jarðhitasvæðisins, einkum í Vítismó og Leirhnúk. Austurhelmingurinn, sem nær yfir Hveragilið, Víti og undirhlíðar Kröflu, er ekki á sprungnu svæði.
- 4) Enda þótt Námafjallssvæðið sé í miðjum sprungusveimi, eins og Krafla, ná nútíma gossprungur einungis inn á jaðra svæðisins. Þessu er ólíkt farið með Kröflusvæðið; þar sem margar gossprungur liggja yfir jarðhitasvæðið.

- 5) Engir sprengigígar finnast á Námafjallssvæðinu, en fjöldamargir slíkir á Kröflusvæðinu. Sprengigígarnir benda til þéttra jarðlaða í efsta hluta jarðhitasvæðisins og er það í samræmi við minni hveravirkni og fáar sprungur og misgengi á Kröflusvæðinu.
- 6) Þyngdarmælingar sýna pósítíft þyngdarfrávik vfir öskjunni í Kröflu og mælingar á hljóðhraða í bergi gefa til kynna, að þar sé grynnra á lag 3 en utan öskjunnar. Bendir þetta til þéttra innskota í rótum hennar. Brot úr slíkum innskotum finnast bæði í ignimbríti (gabbró og granófýr) og í Vítisgjóskunni (granófýr). Ekkert þessu líkt finnst á Námafjallssvæðinu.
- 7) Kröflusvæðið á að baki langa þróun, svo sem megineldstöðin með öskjunni bendir til, en Námafjallssvæðið er jarðfræðilega mjög ungt.

Þyngdarfrávikið í Kröflu og hár hljóðhraði á litlu dýpi er túlkað þannig, að innskot séu ráðandi í rótum svæðisins. Þau hafa væntanlega myndast að hluta áður en askjan varð til (sbr. framandsteina úr djúpbergi í ignimbríti) og að hluta síðar í sambandi við fyllingu öskjunnar og gos á keilusprungum utan við hana. Varmagjafi Kröflusvæðisins eru þessi innskot, en á meðal þeirra eru bæði gabbró og granófýr. Á ca. 2,5-3,0 km dýpi eru þau orðin ráðandi og mynda botn öskjunnar.

Umhverfi Námafjallssvæðisins hefur síðastliðin 10.000 ár verið annar megin vettvangur eldgosa í sprungusveimnum, sem tengir það Kröflusvæðinu, en þar stendur háhitasvæðið sjálft uppúr eins og óbrinnishólmi. Í rótum þess eru einhverjar þær aðstæður, sem valda því, að bergkvika, sem leitar upp í gosum, nær ekki til yfirborðs gagnstætt því, sem gerist allt umhverfis, en myndar fremur innskot. Ætla má, að það sé varminn úr slíkum staðbundnum innskotum, sem heldur við jarðhitakerfinu.

Í lokin skal vikið stuttlega að hegðun svæðanna með

tilliti til eldgosa og hættu fyrir mannvirki af völdum hugsanlegs hraunrennslis.

Sennilega hefur Námafjalls- og Kröflusvæðið verið orðið jökullaust fyrir um 10000 árum. Síðan hafa orðið 10 sprungugos á Námafjallssvæðinu og í næsta nágrenni þess, síðast í Mývatnseldum 1728. Svarar þetta til, að gosið hafi á 1000 ára fresti. Þess ber hins vegar að gæta, að gosin dreifast ekki jafnt yfir þetta tímabil, heldur hafa þau komið í tveim hrinum. Fyrri hrinan var um garð gengin fyrir 7000 árum. Sú síðari hófst fyrir 2500 árum og nær yfir fjögur gos. Síðast gaus á Námafjallssvæðinu í Mývatnseldum fyrir tæpum 250 árum, og rann þá smáhraun, sem Kísil-íðjan stendur nú á. Gos á Námafjallssvæðinu hafa ávallt verið hraungos, ef undan er skilið Hverfjall, en þar gaus í vatni og varð af sprengigos. Allt sléttlendi beggja megin við Námafjall er þakið hraunum og er þar enginn staður öðrum öruggari fyrir hraunrennslu.

A Kröflusvæðinu hafa orðið álíka mörg hraungos frá því land varð íslaust og á Námafjallssvæðinu. Í nokkrum tilfellum náðu gossprungur yfir bæði svæðin. Skipting í goshrinur er ekki jafnljós og á Námafjallssvæðinu, en þó má fullyrða, að 3 hraungos eru yngri en 2500 ára. Á Kröflusvæðinu hafa hraunin aðallega komið upp í sprungusveimnum, sem liggar í gegnum svæðið og breiðst þaðan aðallega vestur eins og landinu hallar. Auk þess hafa hraun runnið þaðan niður dali og slakka, sem ganga upp í Kröfluhálendið, þ.á.m. niður eftir Hlíðardal.

Krafla og hæðardrögðin þar umhverfis standa það hátt, að þar skapast ekki veruleg hætta þótt hraungos verði einhvers staðar í grendinni. Jafnframt myndar þetta fjallendi varnargarð umhverfis Hlíðardal. Innst í honum eru þrjár gossprungur, sú yngsta ca. 2000 ára. Lagt er til, að stöðin verði byggð á hrauni, sem hefur runnið frá þeirri gossprungu. Veruleg hætta skapast varla fyrir stöðvarbygginguna af völdum hraunrennslis nema ef gos yrði að nýju innst í Hlíðardal.

Auk hraungosanna hafa orðið sprengigos á jarðhitasvæðinu í Kröflu og í næsta nágrenni þess. Slík gos hafa orðið 4 sinnum frá því svæðið varð jökullaust. Í sprengigosum er hættan fólgin í falli á gjóska og leðju, sem kastast upp úr gínum og berst undan vindi. Í upphafi Mývatnseldar (1724-1729) varð slikt sprengigos og myndaðist þá gígurinn Víti. Síðari þáttur Mývatnseldar var hraungos á Leirhnúksprungunni. Tiltölulega stutt er liðið frá þessu gosi og má e.t.v. álykta að hlé verði á gosum þarna um sinn.

STAÐSETNING HOLA OG GANGUR BORANA

Við staðsetningu rannsóknarholanna voru einkum tvö sjónarmið höfð í huga (1) að hafa holurnar misjafnlega hátt í landinu og (2) að dreifa þeim þannig, að upplýsingar fengjust bæði um Hveragilið og nágrenni þess og um sléttuna milli Vítis og Leirhnúks. Báðar holurnar voru forborðar með höggbor, hola 1 í 30 m, en hola 2 í 80 m dýpi. Síðan tók Wabcobor við og boraði holu 1 á tímabilinu 14.8.-13.10. niður í 1138 m dýpi og holu 2 á tímabilinu 14.10.-2.12. í 1204 m dýpi. Í áætlun var gert ráð fyrir, að borun með Wabcobor tæki 3 mánuði (ágúst-okt.), en pá miðað við 1000 m bordýpi í báðum holunum. Holurnar voru fóðraðar með steypum fóðringum í 300 m og þaðan með lausri 6" fóðringu til botns. Lausa fóðringin var raufuð á móts við vatnsæðar. Frágangur á holunum er sýndur á mynd 2. Hola 1 er í 482 m hæð framan við Hveragilið innst í Leirbotnum. Þar norður og austur af er hveravirkni mest á Kröflusvæðinu. Hola 2 er á sléttlendi í 552 m hæð skammt suðvestur frá Víti. Þar vestur af er víðáttumikið svæði þar sem yfirborðið er ummyndað í hveraleir, en virkir hverir ekki til. Hola 1 reyndist fremur auðveld í borun, en hola 2 vandasöm vegna mikilla vatnsæða ofarlega í holunni, sem ekki tókst að þétta. Skoltap var algjört í neðstu 500 m holunnar.

JARÐLÖG OG UMMYNDUN

Gerð jarðlaga er einn sá þáttur, sem mestu ræður um fóðrunardýpi og dreifingu og stærð vatnsæða. Jarðlagagreining eftir borsvarfi er ekki fullunnin. Að grundvelli þeirra athugana, sem gerðar hafa verið voru teiknuð einfölduð jarðlagasnið og merktar inn á þau þær upplýsingar, sem til eru um ummyndun og vatnsæðar (sjá mynd 3). Jarðlagasniðið á örugglega eftir að breytast eitthvað við frekari úrvinnslu og dreifing ummyndunarsteinda á eftir að koma betur fram.

Í báðum holunum eru mábergsbreksíur efst ásamt basaltíkum breksíum og túffkenndum lögum með þunnum basaltlögum á milli. Neðan 800 m dýpis í holu 1 er basalt svo ráðandi, en þunn breksíulög finnast á milli. Í holu 2 virðist basalt verða ráðandi neðan 600 m dýpis, en þar vantar mikið í svarfið. Sennilega eru gangar í basaltinu neðst í holu 1 en það þarf að athuga betur. Í holu 2 er svarfið alveg neðst líka þesslegt, að þar geti verið um ganga að ræða.

Ummyndun er allmikil í báðum holunum neðan 100 m dýpis, en þó nokkuð breytileg. Neðan 300 m dýpis finnst basalt, þar sem pyroxen- og ólivínsteindir eru horfnar og plagióklas umbreytt meðfram sprungum, en neðarlega í holunum finnst svo einnig lítið ummyndað basalt, hugsanlega úr göngum. Enn sem komið er hefur aðeins fengist ófullkomin mynd af dreifingu ummyndunarsteinda. Engin glögg zeólítabelti fengust fram við greiningu þeirra átta sýna, sem tekin hafa verið til röntgengreiningar úr holu 2. Dreif er af analísími á 170-360 m dýpi og mordenít og sennilega heulandít ofar í holunni. Í holu 1 finnast hins vegar zeólítar niður á 1000 m dýpi. Analísím finnst sem dreif frá 450 m dýpi og niður á 1000 m dýpi. Efst er mordenít algengt og þar finnst einnig heulandít og epistilbít. Laumontít er mjög algengt á 170-400 m dýpi. Mordenitið virðist hverfa á því dýpi, sem laumontít kemur inn. Magn laumontíts er mjög mikið og er sennilegt, að það myndi stórar fyllingar

eða rásir í berðinu, sérstaklega á u.p.b. 200 m dýpi. Phillipsít finnst á nokkrum stöðum í holunni. Benda fyrstu greiningar til, að það gæti jafnvel myndað samfellt belti, sem nær upp undir mitt laumontítbeltið og niður í 900 m dýpi. Wairakít hefur fundist neðarlega í holu 1. Kalsít finnst alls staðar i sniðinu í mismiklu magni. Kvarts finnst frá 100 m dýpi í holu 2 og er það vel kristallað (2-3 mm) frá 150 m. Í holu 1 finnst kvarts frá a.m.k. 300 m dýpi. Pyrit finnst í öllu sniðinu. Er það í mjög miklu magni í efstu 200 m í holu 2 og efstu 100 m í holu 1. Neðar í holunum finnst það í öllum prufum í minna magni og einnig í stöku rásum í allmiklu magni. Epidót finnst í holu 1 neðan við u.p.b. 590 m dýpi og er samfellt í botn frá 680 m. Ekki hefur enn verið greint epidót í svarfi úr holu 2. Prehnít fannst í þunnsneið í svipuðu dýpi og epidótbeltið byrjar. Leirsteindir hafa lítið verið athug- aðar enn. Fyrstu athuganir frá holu 2 sýna, að smektít er ráðandi aðeins í efstu 100 m, en finnst einnig neðar með öðrum leirsteindum. Vel afmarkaðar og reglulegar klórít/smektít blandlagssteindir hafa fundist í prufum neðan smektítbeltisins. Klórít virðist vera ráðandi á dýptarbilinu 430-600 m. Neðar finnast svo aftur smektít- steindir ásamt klóríti og blandlagssteindum.

Núverandi athugun á ummyndun í holum 1 og 2 er ekki svo ítarleg, að unnt sé að bera saman ummyndun á Kröflusvæð- inu við önnur háhitasvæði. Ljóst er, að mikil ummyndun hefur orðið í berðinu og virðist sem gerð hennar tilsvari að flestu leyti ríkjandi hita. Zeólítarnir finnast þó dýpra og við hærri hita en búast mætti við. Tilvera smektíts inni í klórítbelti (í holu 2) gæti staðið í sam- bandi við grófkristallað og lítið myndbreytt innskotsberg á þessu dýpi.

VATNSÆÐAR OG HITI

í holu 1 varð ekki vart við vatnsæðar fyrr en í rúmum 600 m (3 l/sek). Í 710 m tapaðist allt skolvatn (16 l/sek) um stund, en kom að hluta upp aftur.

Þessi leki var þettaður með spónum eins og oft er gert til að ná upp skolvatni og svarfi. Æðar fundust aftur í 1040 m, en þar töpuðust 5-6 l/sek og jókst skoltapið í 9 l/sek í 1070 m. Í hitamælingum gerðum áður en 6" fóðringin var sett niður, komu fram hita-sveiflur, sem gátu bent til minni háttar vatnsæða neðan 800 m dýpis. Í heild má segja, að vatnsæðar hafi verið mjög óverulegar í holu 1 og raunar mjög tilsvarandi við afl holunnar eins og það mældist í janúar 1975, eða um 14 kg/sek við 6-7 ata mótpþrýsting.

Hitamælingar voru gerðar í holu 1 eftir því sem færi gáfust á, meðan á borun stóð (mynd 4). Lítið varð ráðið af þeim mælingum, fyrr en komið var niður fyrir leka kaflann milli 600 og 800 m, en þá gætti tiltölulega lítillar kælingar í neðsta mælipunkti.

Holu 1 var hleypt í gos þann 29.10. 1974 og hún látin blása í gegnum 8" mælistút í 2 sólarhringa. Holan var hitamæld bæði á undan og eftir. Fyrir blástur stóð vatnsborð í 20 m og hiti í botni mældist 263°C , en eftir blástur hrappaði vatnsborðið í 45 m og hitinn í botni mældist aðeins 181°C (mynd 5). Borholur á háhitasvæðum mælast ávallt nokkru kaldari neðan til fyrst eftir blástur, sem stafar af þrýstingsfalli við blásturinn og suðu niður eftir holunni og út í vatnsæðar. Hola 1 blés í gegnum 8" stút og var þrýstingur undir aðalloka 1,2 ata. Tregt innrennsli í holuna og vídd mælistúts skýrir til fullnustu hitastigslækkunina, sem varð í blæstri. Hola 1 var komin með þrýsting á ný þann 14. nóv. Hún var síðan látin standa lokuð fram til 22. nóv., er hún var mæld á ný. Sú mæling sýndi

298°C í 110 m (mynd 4). Mæling 10 dögum síðar (3.12) með öðrum mæli staðfesti fyrri mælingu fullkomlega. Holan var síðast mæld þann 30. jan. 1975 og hafði þá verið lokað í þrjár vikur. Engar umtalsverðar breyttingar höfðu orðið á hita í holunni í millitíðinni. Kísilhiti vatnsins úr holu 1 reyndist 255-260°C og bendir það til þess, að æðin í 700 m dýpi gefi aðallega inn í holuna, en dýpri æðar í minna mæli.

Hitaferillinn bendir til að ~~be~~ghiti fylgi suðumarksferlinum og má alveg eins búast við því, að svo verði niður á meira dýpi. Héldi þessi fylgni áfram niður á 2000 m dýpi, sem er væntanlegt dýpi vinnsluhola, yrði hitinn 330-340°C í botni. Meðalhiti á því vatni, sem kæmi inn í borholur yrði þó eiththað lægri svo fremi sem vatnsæðar skili sér inn i holuna á dýptarbili 1000-2000 m.

Fáar vatnsæðar, sem holan lenti í og lítið afl hennar getur ekki talizt neikvæð niðurstæða. Með samanburði við önnur svæði (Nesjavellir, Reykjanes, Svartsengi, Námafjall) er ekkert frekar að búast við miklum og stórum vatnsæðum í efstu 1000 m hāhitasvæða.

Hola 2 reyndist að ýmsu leyti ólík holu 1. Hún var þétt niður í 300 m en þar neðan við lenti hún í hverri vatnsæðinni á fætur annarri allt til botns. Fyrst varð vart við leka í 326 m dýpi og í 353 m dýpi hvarf skolvatn alveg, en kom að hluta upp aftur, þegar borinn snarist. Í 440 m tapaðist skolvatnið algjörlega. Var borað áfram niður í 550 m með algjöru tapi en þá hafizt handa um að þétta þessar æðar með steypu. Steypt var þrisvar í æðarnar, án þess að tækist að þétta þær fullkomlega. Skol kom upp aftur eftir þessa aðgerð en tapaðist á ný um stund í kringum 600 m. Skoltapið hélt áfram að aukast á bilinu frá 665-720 m og hvarf loks alveg í 764 m og kom ekki upp síðan. Bortæknilega séð fylgir því ávallt nokkur

áhætta að bora með algjöru skoltapi og fleyta svarfinu út í æðar í veggjum holunnar. Venjulega eru æðar þéttar með spónum þar til skolvatn fer aftur að skila sér upp úr holunni. Hættan er fólgin í því, að svarfið getur fallið til baka inn í holuna í miklu magni og sezt að borstöngum þannig að allt sitji fast. Ekki varð vart við innrennsli á svarfi í holu 2 fyrr en við lok borunar, en þá kom í ljós, að svarf hafði sezt í neðstu 25 m holunnar. Má sjá af því, hversu auðveldlega svarfið fleyttist út, að æðar neðan 700 m í holunni eru mjög stórar.

Hitamæling, sem gerð var í holu 2 strax að lokinni borun (mynd 6), sýndi mikla kælingu alveg niður í botn. Þessi kæling stafar af köldu vatni, sem hefur runnið út í æðar í holuveggjunum. Í boruninni var notað vatn, sem dælt var upp úr Víti. Alls hafa nálægt 40.000 tonn af köldu vatni farið út í æðar neðan við steyptu fóðringuna í 300 m. Síðari hitamælingar (mynd 6) sýna, að holan hefur hitnað á tímabilinu frá 5.12.'74 til 9.1.1975. Mestan hluta þessa tímabils eða frá 14.12.'74 var holan í blæstri. Fyrst blés hún í gegnum 8" stút en frá 28.12.'74 í gegnum 4" stút. Hitamælingin frá 9.1.'75 bendir til, að æðarnar í 325 og 350 m hafi brotzt inn í holuna og gjósi hún úr þeim einum. Þetta sannaðist betur, þegar hola 2 var hitameld síðast þann 30.1.1975, eftir að hafa staðið lokað síðan 10.1. Holan var enn undir þrýstingi (0,7 ata) og hiti hafði lítið breyst frá síðustu mælingu, var nánast jafn niður undir botn en þar hækkaði hann lítillega úr 188°C í 210°C . Hitaástandið í holunni gefur ekki rétta mynd af hitaástandi í berggrunninum þar sem vatn úr hinum tiltölulega köldu vatnsæðum (190°C) á 325-350 m dýpi, rennur einnig niður holuna og út í æðar neðan 700 m.

Kisilhiti vatnsins úr holu 2 er 220°C . Bendir hann til þess, að suða eigi sér stað í æðunum á 325-350 m dýpi utan holunnar. Sú suða veldur kólnun, þannig að hitinn á vatns/gufu blöndunninni verður 190°C . Á 80 m dýpi í

holu 2 mældist 157°C hiti hálfum mánuði eftir að höggborun lauk. Þessir tveir mælipunktar liggja á suðumarksferlinum, og þar sem þeir eru báðir ofan við æðina, sem gefur innrennslið í holuna, má búast við, að berghiti fylgi suðumarksferli niður á meira dýpi ef kælingar gætti ekki.

EFNI Í VATNI OG GUFU

Í fyrri áætlunum um gufuafilstöð í Kröflu var gert ráð fyrir því, að efnainnihald í vinnsluholum þar yrði sambærilegt við það, sem gerist í vinnsluholunum í Námafjalli. Af efnagreiningum úr holum 1 og 2 í Kröflu er nú ljóst, að þessar forsendur munu standast í öllum meginatriðum. Þó er gasmagn talsvert meira í holu 1 í Kröflu en í holunum í Námafjalli (tafla 1) eða 9.2% í ~~9.94%~~ djúpvatninu samanborið við um 9.94% í Námafjalli. Þýðir það, að innihald gass í gufu við 6-10 ata þrýsting verður nálægt 1% í Kröflu (miðað við þunga; um 0.5% miðað við rúmmál). Tiltölulega meira er af kolsýru í holunum í Kröflu, en innihald brennisteinsvetnis aftur á móti svipað (tafla 1).

Mikill munur er á gasinnihaldi í holunum í Kröflu, og er það miklu minna í holu 2. Á það einkum við um kolsýru. Eins og nefnt var fyrr í þessari skýrslu, fær hola 2 vatn úr æð á aðeins 350 metra dýpi, en hola 1 úr æðum á 700 metra og 1000-1100 metra dýpi, þó einkum 700 metra dýpi. Vatnið úr grunnu æðinni í holu 2 ber þess öll merki að hafa soðið og afgasast áður, (heldur) en það rennur inn í holuna. Brennisteinsvetni er verulega leysanlegra í vatni en kolsýra og skýrir það tiltölulega litla minnkun brennisteinsvetnis í þessu soðna vatni miðað við kolsýru. Ekki er við því að búast, að gasinnihald í vinnsluholum í Kröflu verði jafnlágt og það mældist í holu 2.

Styrkur órok gjarnra uppleystra efna í holum 1 og 2 í Kröflu er mjög svipaður og í holunum í Námafjalli nema hvað styrkur súlfats og kalsíums er nokkru meiri, en það skiptir ekki máli fyrir nýtingu gufunnar (tafla 2). Er talið, að hiklaust megi miða við reynslu í Námafjalli hvað varðar tæringu á gufuleiðslum og öðrum mannvirkjum, en hún er sem kunnugt er hverfandi. Þó er snögglega þéttuð gufa, þ.e. þéttivatn, verulega súrt (pH um 4)

og því tærandi. Holuvatn er hins vegar verulega basískt (pH um 9.5).

Þau atriði í efnasamsetningu vatns og gufu, sem skipta mestu máli fyrir nýtingu eru:

- 1) Gasinnihald í gufu
- 2) Kísilinnihald í holuvatni (sem er háð hita)
- 3) Innihald kalsíums og karbónats í holuvatni, sem getur leitt til kalsítútfellinga.

Mælingar í Námafjalli hafa sýnt, að gasinnihald í borholunum þar er verulega breytilegt og er hæst í heitustu holunum. Er því ljóst, að ekki er unnt að ganga út frá því sem vísu, að gasinnihald í vinnsluholum verði það sama og í holu 1 í Kröflu. Það hefur sýnt sig á öðrum jarðhitasvæðum eins og kemur fram í holu 1 í Kröflu, að gasinnihaldið er tiltölulega hæst fyrst, þegar holan er látin blása, en kemst niður í stöðugt gildi eftir nokkrar vikur. Virðist fremur líklegt, að gasinnihaldið í holu 1 í Kröflu, sé nú komið niður í stöðugt gildi.

Suða á djúpvatni í háhitasvæðum, hvort sem hún hefst í vatnsæð utan holu eða í holunni sjálfri, leiðir til þess, að verulegur hluti rokgjarnra efna fer úr vatninu og yfir í gufuna, sem myndast. Þær gastegundir, sem finnast í nokkrum styrk í djúpvatni háhitasvæða, eru kolsýra (CO_2), brennisteinsvetni (H_2S), vetni (H_2) og köfnunarefni (N_2). Efnajafnvægi, sem taka til uppleys-anleika þessara gastegunda í vatni annars vegar og gufu hins vegar ráða því ásamt gufumyndun, hversu stór hluti þeirra fer í gufuna og hversu stór hluti situr eftir í vatninu. Sú snögga suða, sem verður í gufuholum, leiðir þó til þess, að jafnvægi næst ekki endilega fyrir dreifingu gastegundanna í vatns- og gufufösunum og situr þá tiltölulega meira eftir í vatninu en jafnvægið mundi segja til. Athuganir á Wairakei á Nýja Sjálundi hafa sýnt að svo er. Nefndir jafnvægis-

stuðlar eru háðir hita og þrýstingi og gildir sú regla almennt, að tiltölulega meira leysist upp í gufunni við lægri hita og þrýsting. Útreiknað gas í gufu í holu 1 eins og það kemur fram í töflu 1, gerir ráð fyrir því, að allt gasið fari í gufufasann. Þessi gildi í töflu 1 eru því nokkru hærri en raunveruleg gildi. Þó má fullyrða, að vel yfir 90% af kolsýrunni mundi í raun leita yfir í gufuna, ef skiljuþrýstingur er 5-10 ata, en tæplega meira en 80% af brennisteinsvetninu. Við þéttingu gufu, eins og skeður í eimsvala væntanlegrar gufuaflstöðvar, leysist verulegur hluti kolsýrunnar og brennisteinsvetnisins upp í þéttivatninu, sem myndast. Tiltölulega meira leysist upp eftir því sem þéttivatnið er kaldara. Ekki er vitað hversu stór þessi hluti er, en gera má ráð fyrir því, að hann sé nálægt núll við 100°C og 1 ata, en ef til vill um 50% fyrir brennisteinsvetni við 20°C og 25-50% fyrir kolsýru við sama hita. Þó er þetta hlutfall verulega háð heildargasmagni. Uppleysing þessara gastegunda í þéttivatninu gerir það verulega súrt (pH um 4).

Styrkur kísils (SiO_2) í djúpvatni háhitavæða ákveðst af uppleysanleika steindarinnar kvars. Uppleysanleiki kvars eykst mikið með hita (mynd 7) og er því meiri kíssill í vatninu eftir því sem það er heitara. Við suðu og samfarandi kólnun verður vatnið yfirmettað af kísil með tilliti til uppleysanleika kvars. Gufutap eykur enn á yfirmettunina. Reynsla hefur þó sýnt, að kíssillinn fellur ekki úr sem kvars í gufuholum enda er sú útfelling mjög treg. Hins vegar getur orðið útfelling á kísil í formi ópals, ef kælingin vegna suðunnar og gufutapið leiða til þess, að mettun náist fyrir uppleysanleika ópals. Eins og sést af mynd 7 er ópal miklu leysanlegra en kvars. Á mynd 8 er sýnt samband milli innstreymishita í gufuholur og ópalmettunar (þ.e. neðri marka kísilútfellinga). Nokkur hliðrun verður á þessum ferli eftir efnasamsetningu vatnsins, en allar líkur eru á því, að þessi ferill muni passa

nokkuð vel fyrir Kröflu. Á honum sést, að vænta megi kísilútfellinga við 6 ata þrýsting, ef meðalinnstreymis-hiti í holu er nálægt 300°C . Ef innstreymishitinn væri hins vegar nálægt 320°C , hæfust kísilútfellingar við nálægt 9 ata þrýsting. Með hliðsjón af 298°C hita á 1100 m dýpi er full ástæða til þess að hafa í huga hugsanlegt vandamál kísilútfellinga. Í öllu falli yrðu útfellingar bundnar við allra efsta hluta holunnar og skilju á holutoppi. Slíkar útfellingar gætu haft truflandi áhrif á rekstur skilja. Sér í lagi væru þær bagalegar í aðalloka á holutoppi. Ekki er unnt að segja fyrir um hraða kísilútfellingar, verði þær á annað borð.

Svo virðist sem útfellingar kalsíts (CaCO_3) séu óalgengar í gufuholum hérlandis. Er ekki vitað um þær annars staðar en í Hveragerði. Með samanburði við Námafjall virðist heldur óliklegt, að slíkar útfellingar verði í borholum í Kröflu. Unnt er að segja fyrir um kalsítútfellingar út frá efnainnihaldi djúpvatnsins og eru reikningar þar að lútandi í undirbúningi fyrir Kröflu og fleiri svæði. Verði kalsítútfellingar á annað borð, hefjast þær um leið og suða hefst í holunni eða vatnsæðinni utan hennar. Gæti útfelling haldið áfram niður í 100°C eða hætt við hærri hita, allt eftir heildarefnasamsetningu vatns og gufu.

VINNSLUEIGINLEIKAR SVÆDISINS

Vinnslueiginleikar hvers háhitasvæðis ráða gerð vinnsluhola og nokkru um verð gufu eða vatns úr því svæði. Eftirtaldir þættir ráða mestu um vinnslueiginleika háhitasvæðis:

- (1) Stærð svæðis
- (2) Vatnsmagn í svæðinu
- (3) Innstrey mishiti í borholur
- (4) Gerð jarðlaga
- (5) Lega vatnsæða
- (6) Efni í vatni og gufu
- (7) Meðalafl vinnsluhola
- (8) Vinnsluferlar einstakra hola

Niðurstöður frumrannsóknar um stærð Kröflusvæðisins, hinn hái hiti í holu 1 og miklar vatnsæðar í holu 2 eru vissulega jákvæðar fyrir vinnslueiginleika svæðisins og einnig sú staðreynd, að holurnar kólnuðu ekki niður frá hita hámarki á nokkur hundruð m dýpi eins og oft vill verða á háhitasvæðum. Rannsóknarboranirnar leiddu í ljós tiltölulega opin jarðög í efstu 500 metrunum í holu 2 og hefur það í för með sér nokkru dýpri steypta fóðringu en upphaflega var áætlað eða um 600 metra. Hinn hái hiti útheimtir líka dýpri fóðrun en upphaflega var gert ráð fyrir. Boranirnar leiddu einnig í ljós, að fyrri forsendur um efnainnihald í vatni og gufu stóðust. Samt er það svo, eins og rannsóknir í Námafjalli hafa sýnt, að ekki er unnt að byggja a einni eða tveim holum, hvað varðar innihald gass í gufu. Gasmagn er breytilegt milli hola og virðist aukast með vaxandi innstrey mishita í holurnar.

Nokkur óvissa ríkti um stöðu hins heita grunnvatnsborðs á Kröflusvæðinu. Þar sem þetta svæði stendur hátt, var hugsanlegt, að vatnsborðið stæði lágt, en venjulega fylgir lega grunnvatnsborðs ekki landslagi með öllu, en er til-tölulega dýpra á það undir fjöllum. Boranirnar leiddu

það í ljós, að dýpi niður á grunnvatnsborð er sambærilegt við það sem gerist á öðrum háhitasvæðum, sem borað hefur verið í. Mjög lágt grunnvatnsborð mundi leiða til þess, að erfitt gæti reynst að ná holum í blástur og afl holanna yrði tiltölulega minna.

Í skýrslu Orkustofnunar "Jarðgufuafilstöð; frumáætlun með tilliti til virkjunar í Námafjalli eða Kröfli" sept. 1973, var gert ráð fyrir því, að meðalafl vinnsluholu yrði 40 kg/sek og innstreymishiti 260°C . A þessu stigi málsins er ekki unnt að bæta neinu við um þetta áætlaða afl. Þó er útlit fyrir, að hiti verði nokkru hærri og því tiltölulega meira gufumagn úr hverri holu.

Vinnsluferlar einstakra borhola sýna samband milli heildarrennslis úr holunni og þrýstings á holutoppi, hvort sem hann er miðaður við aðalskilju eða aðalloka. Að öllum jafnaði minnkar heildarrennsli úr holu eftir því sem þrýstingur á holutoppi vex. Auk þess minnkar hluti gufu í heildarrennslinu með vaxandi þrýstingi. Ekki er unnt að segja fyrir um lögun vinnsluferla fyrir einstakar holur. Getur verið línulegt samband milli heildarrennslis og afls eða engin aukning á afli með þrýstingsbreytingu á vissubili og allt þar á milli (mynd 9). Út úr mynd 10 má lesa gufustreymi úr borholu með heildarrennsli 40 kg/sek fyrir 5 til 10 ata skiljuprýsting og þau tvenns konar mörk á lögun vinnsluferla, sem nefnd voru hér að ofan.

Nýting gufu úr einstökum holum er fyrst og fremst háð nýtni gufuskilja. Orkustofnun hefur á undanförnum árum aflað allmikillar reynslu í sambandi við rekstur gufuskilja og vinnur nú að athugunum á því, hvernig hentugast er að hafa sjálfstýringu á gufuskiljum, þannig að þær skili fullri gufunýtingu.

Reynsla hefur sýnt það, að heildarrensli úr gufuholum fer minnkandi fyrst eftir að holurnar eru látnar blása.

Vitað er, að slík minnkun á heildarrennsli getur numið allt að 1/3 af upphaflegu rennsli úr holunni og tekur upp í 1-2 ár að ná stöðugu rennsli. Til þess að fá sem allra fyrst vitneskju um hegðun vinnsluhola í Kröflu hvað varðar pennan þátt, er stefnt að því, að láta holur blása stöðugt eins fljótt og hægt er, eftir að borun er lokið. Mikill hávaði er af blásandi gufuholum og ekki forsvaranlegt að láta þær blása meðan á borun stendur á svæðinu, nema hljóðdeyfar séu settir á holurnar. Af þessum ástæðum hefur Orkustofnun þegar hafist handa með athugun á hönnun hentugra hljóðdeyfa og miðar þá við fengna reynslu í Námfjalli, Nesjavöllum og á ýmsum jarðhitasvæðum erlendis.

VINNSLUSVÆÐI OG STAÐSETNING VINNSLUHOLA

A grundvelli þeirra niðurstaðna, sem fengizt hafa með rannsóknarborunum í Kröflu, leggjum við til, að allt svæðið, sem liggur innan 20 m jafnviðnámslinu (mynd 1) verði lýst væntanlegt vinnslusvæði. Innan þessa svæðis eru nokkrir staðir, sem sjálfsagt er að vernda óspillta bæði af sögulegum og náttúrufarslegum ástæðum. Hér er um að ræða Leirhnúksgígana, Víti og næsta umhverfi þess og neðsta hluta Hveragilsins. Sá hluti þessa svæðis, sem fyrst verður borað á eru (1) brekkurnar upp af Leirbotnum, (2) austurparturinn af Vítismó og (3) austurbrekkur og botn Hveragilsins. Sá möguleiki er fyrir hendi, að hentugt vinnslusvæði kunni að teygja sig út fyrir þessi mörk einkum til suðurs og vesturs, þannig að vinnslusvæðið fari verulega út fyrir mörkin, sem eru sett á þessu stigi við 20 m línumuna.

A mynd 12 er sýnd tillaga um staðsetningu fyrstu 5 vinnsluhanna í Kröflu. Fjarlægð á milli borhola fer eftir fjölda vatnsæða og afli hverrar holu. Þar sem um verulega vatnstöku úr svæðinu verður að ræða, er æskilegt að dreifa holunum nokkuð til að jafna niðurdrátt í því. Í byrjun þykir fjarlægð á milli borhola hæfilega áætluð 200 m eða þar yfir. Fyrstu holunni er valinn staður meðal annars með það fyrir augum, að þar væri auðvelt að hefjast handa snemma vors. Þrjár næstu holur eru uppi á fjallinu en sú síðasta verður sennilega neðst í brekkunum upp af Leirbotnum, þar sem aðstaða til borana er auðveldari þegar kemur fram á haust og vetur. Vegna þess að bein reynsla liggur ekki fyrir um eiginleika $> 300^{\circ}$ heits vatns með tilliti til útfellinga í holutoppi og skiljum er lagt til, að vinnsluholur verði fyrst í stað boraðar á svæðinu í kringum holu 2, nema ein reynsluhola, þ.e. fyrsta holan á sumrinu 1975.

VERKLÝSING Á BORUN VINNSLUHOLU í KRÖFLU

Fóðringar:

Yfirborðsfóðring, 470x11 mm, DIN 2448/1629,3 , St 35 30-40 m
Öryggisfóðring, 343x8 mm, DIN 2448/1629,3 , St 35 0-200 m
Vinnslufóðring, 244,5x8,8 mm, DIN 2448/1629,3, St 52 600-700 m
Leiðari gataður, 193,7x8 mm, DIN 2448/1629,3 ,St 52 1800-2000 m

Höggborshola, 22" víð, er boruð niður á 30-40 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 200 m dýpi. Skoltap, sem kann að koma við þessa borun, er pétt með sementi og öðrum tiltækum ráðum.

Þegar holan hefur verið boruð niður á 200 m dýpi og allt skoltap verið pétt, 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 200 m dýpi skal prófþrýstingur þá vera 30 kg/cm^2 . Þegar holan hefur verið þrýstiprófuð með fullnægjandi árangri á 200 m dýpi, er borun haldið áfram með sömu krónuvídd og er þrýstiprófuð á sama hátt og að ofan greinir, með hæfilegu millibili niður á 600-700 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.

Komi fram í borun niður á 200 m dýpi skoltap, sem óviðráðanlegt er að þétta, er mögulegt að opna holuna í 15" vídd með holuopnara, og fóðra holuna síðan með öryggisfóðringu 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 í 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 mikið, að hætta sé á að holuveggir 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 600 m dýpi, er borað niður að næsta leka, sem virðist óviðráðanlegt að þétta. Þó skal ekki borað dýpra en 700 m. Komi fram mikið 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 festilfóðringu með samfelldri 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. Festilfóðring steypt, og leitast er við að ná góðri samfelldri 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 fóðurrrörið, skal vera svo mikið, að full vissa sé fyrir, að það sé nóg. Þótt nokkur steypa kunni að fara til spillis (hámark 700 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 10" 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. Holutoppur er settur á holuna, þ.e. 10" borloki.

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. 1800-2000 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 láta leiðarann ná niður undir botn holunnar. Á mynd 11 er sýnd fullfrágengin vinnsluhola.

MEÐFERÐ AFFALLSVATNS

Í "Álitsgerð um mengunarhættu, vegna affallsvatns frá gufuvirkjun við Kröflu eða Hverarönd" (skýrsla Orkustofnunar nót 1974) er rætt um leiðir til að draga úr áhrifum affallsvatns á umhverfið. Þar er rætt um kosti þess að safna affallsvatninu í lón, þar sem útfellingar yrðu við hæga kólun og mikill hluti brennisteinsvetnis ryki burt. Á kröflusvæðinu eru af náttúrunnar hendi hin ákjósanlegustu skilyrði til að mynda slikt uppistöðulón. Það er í djúpri hvilft, Þríhyrningadal, uppi í hálsinum vestan við Leirbotna (mynd 12). Hálsinn er úr móbergi og ristur að endilöngu af misgengjum. Nokkur þeirra liggja eftir hvilftinni. Jarðfræðilega séð er Þríhyrningadalur móbergsgígur, sem hefur fengið lögun sína við sprengigos, líklega í grunnu vatni.

Dalurinn er lokaður á alla vegu. Botninn nær lægst í 482 m hæð yfir sjó, en lægsta skarðið fram úr honum er í 502 m hæð og snýr það að Leirbotnum á móts við fyrirhugað stöðvarhús. Affallsvatni frá skiljum mætti með auðveldu móti safna saman uppi á hásléttunni ofan Leirbotna og veita því ofan í Þríhyrningadal. Affallsvatn frá borholum neðst í brekkunum myndi þó renna beint í lækinn í Leirbotnum, a.m.k. fyrst í stað, en hugsanlega mætti láta borholurnar spýta því sjálfar upp á fjallið eftir leiðslu, þótt skiljurnar yrðu niðri líkt og gert er við holu 5 í Námafjalli. Rúmmál hvilftarinnar upp að yfirfallinu er um 2,0 milljónir m^3 en yfirborðsflatarmál vatnsins um $0,2 \text{ km}^2$. Affallsvatnið nemur tæpum 20 milljónum m^3 á ári, þannig að það tekur um 5 vikur að skipta um vatn í lóninu ef öllu affallsvatninu væri safnað þangað og ekkert læki niður úr því. Hins vegar má gera ráð fyrir, að verulegur hluti af vatninu hripi niður í sprungur og blandist í grunnvatnið. Liklegt er, að sprungurnar þéttist með tímanum af botnfalli og útfellingum. Útfallið úr vatninu rynni suður hraunið sunnan við væntan-

lega stöðvarbyggingu og væri þá orðið kalt þannig að gufu-mekkir yrðu ekki til baga. Jafnframt hefði það tapað miklu af uppleystum eftnum við útfellingu í vatninu. Þess er því að vænta, að það vatn, sem næði endanlega niður í Búrfells-hraun myndi hripa þar niður án teljandi stíflunar í svelgj-unum af völdum útfellinga.

Í ráði er að gera tilraunir með affallsvatn nú í sumar (1975) og finna út, hversu það hreinsast af kísil og brennisteinsvetni í uppistöðulóni.

JARÐGRUNNSRANNSÓKNIR VEGNA MANNVIRKJAGERÐAR

Innsti hluti Leirbotna er sléttlendi pakið leirkenndum framburði lækjanna, sem renna ofan frá Kröflu. Framburðurinn er aðallega gjóska frá Vítisgosinu 1724, en hana bar í suður og lá ás mestu þykktar í gjóskugeiranum yfir Hveragilið og suður á Sandabotnafjall. Mikið af gjóskunni hefur síðan borist í lækina og safnast fyrir í Leirbotnum og á öðrum leirum neðar í Hlíðardal (Selleira og Dalleira). Farið var um Leirbotna með borróbor til að kanna dýpi á fast berg og boruð alls 31 hola. Svæðið næst brekkunum var kannað ítarlega þar sem bygging stöðvarhúss þar var álitin hagkvæm. Sléttan suðvestur að hrauninu vestast í Leirbotnum var könnuð með strjálum borunum. Dýpi á fast var yfirleitt um 3-5 m næst brekkunni en meira, þegar kom út á sléttuna. Aftur á móti er grunnt á fast næst hrauni, en það sjálft er bert og lítt gróið og ákjósanlegt til að byggja á, svo framarlega sem það er nógu þykkt. Undir leirnum og framburðinum er hraunklöpp og var þykkt hennar og undirlag kannað með kjarnabor. Reyndist þykkt hraunsins aðeins um 1-2 m, en undir því mjúkur hveraleir. Ekki vannst tími til þess að bora kjarnaholur í hraunið vestast í Leirbotnum til könnunar á þykkt þess. Hins vegar benda aðstæður til, að það sé um eða yfir 5 m á svæðinu næst gígunum. Nauðsynlegt er að rannsaka þetta með kjarnaborun áður en staður verður endanlega valinn.

Niðurstöður þessara athugana eru sýndar á mynd 13. Ef stöðin verður reist innst í Hlíðardal kemur vart annar staður til greina en hraunið. Sjálfar brekkurnar voru þó ekki kannaðar, en líklega er þar grynnra á fast berg en niðri á sléttunni. Hins vegar eru þar mikil snjóþyngsli og því ekki ráðlegt að velja stöðinni stað þar. Frá holu 1 eru um 600 m suður á hraunið, en um 1200 m frá holu 2.

Svæðið ofan við fjallsbrúnina var ekki kannað með borunum með tilliti til þess að finna hentugt byggingasvæði þar.

Hins vegar liggur nokkuð beint við að velja svæðið norðan við Rauðhól (mynd 12). Þar er heillegt hraun í yfirborði, en móbergs að vænta undir því. Hins vegar er þar komið inn í sprungubelti og stöðinni fremur hætta búin af jarðhræringum en niðri í dalnum.

BYGGINGAREFNI

Vegna stöðvarbyggingarinnar, borplana og lagna þarf mikið byggingarefni, þ.e. ofaníburð, fyllingarefni og steypu-efni. Miklar rauðamalarnámur eru við veginn skammt neðan við Leirbotna, þar var tekinn ofaníburður í vedi og borplón vegna rannsóknarboranna. Fyllingarefni má fá í grjótskriðum utan í Sandabotnafjalli beint á móti fyrirhugaðri stöðvarbyggingu. Efnið í þeim hefur fallið til úr bólstræbergi og móbergi og er fremur gróft. Svipað efni er í grjótskriðum utan í hálsinum vestan við Leirbotna. Norðan í Rauðhól uppi á fjallsbrúninni þar sem ekið er upp úr Leirbotnum er sambökuð gróf möl mjög móbergsblönduð. Hún var notuð í undirbyggingu vegar og borplans fyrir holu 2. Þarna er enn völ á miklu efni en þörf á sterkri ýtu með ripper til að losa það. Engin steypumöl hefur fundist á Kröflusvæðinu.

TAFLA 1

Gasinnihald í gufu úr rannsóknarholum í Kröflu.
Styrkur í ppm. Tölur í sviga sýna innihald í ppm miðað við rúmmáli.

Sýni nr.	0128 djúpvætn	0128 gufa 10 ata	0128 gufa 6 ata	0001 djúpvætn	0001 gufa 10 ata	0001 gufa 6 ata
Heildar gas- innihald	1727	10045(4622)	8231	2178	11853(5419)	9846(4500)
CO ₂	1442	18390(3432)	6874(2812)	1917	10434(4268)	86667(3546)
H ₂ S	2654	1544(817)	1265(670)	2378	1294(685)	1075(569)
H ₂	62	36(324)	30(270)	84	46(414)	38(342)
N ₂	123	72(46)	59(38)	141	77(50)	64(41)
CH ₄	06	3(3)	3(3)	04	2(2)	2(2)

Tafla 2.

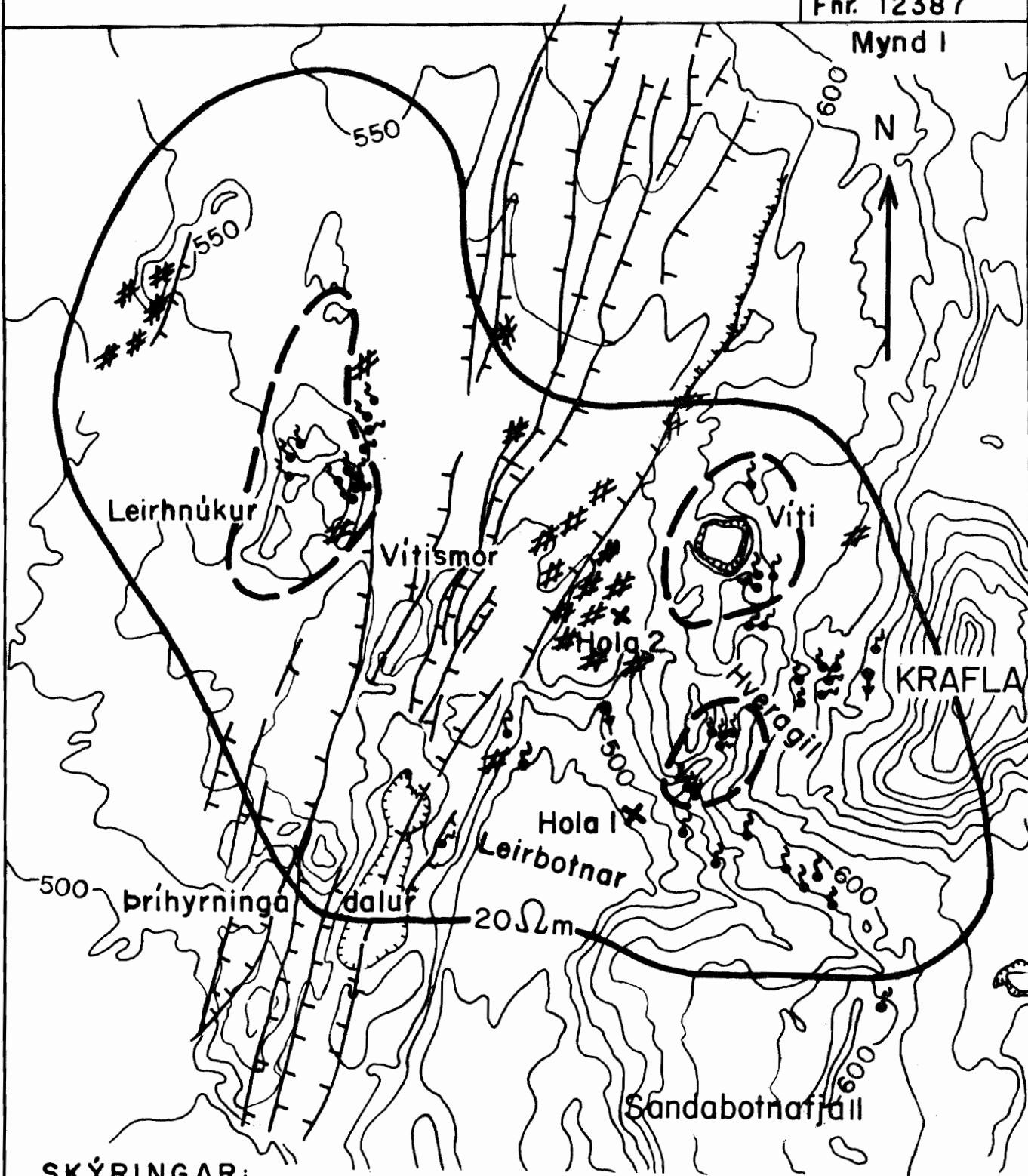
Efnasamsetning djúpvatns í rannsóknarholum í Kröflu. Styrkur í ppm.

Sýni nr	Hola 1				Hola 2	
	0102	0103	0127	0128	0001	0002
Kísilhiti	226	238	257	254	259	220
ph/ $^{\circ}$ C°						
SiO ₂	383	438	527	520	542	333
Na ⁺	169.8	160.3	143.3	146.7	137.6	157.1
K ⁺	29.2	27.8	26.3	27.2	26.5	14.2
Ca ⁺⁺	4.7	2.7	4.3	3.7	2.6	4.7
Mg ⁺⁺	0.27	0.07	0.12	0.03	0.09	0.10
CO ₂ (total)	3473	2820	1547	1442	1917	171.5
SO ₄ =	254.0	152.0	133.1	144.8	120.9	185.5
H ₂ S(total)	301.8	290.0	227.9	265.4	237.8	126.3
Cl	8.8	11.3	9.6	18.2	32.0	25.5
H ₂	9.1	11.3	4.3	6.2	8.4	0.5
N ₂				12.3	14.1	15.1
CH ₄	2.9	1.1	0.6	0.6	0.4	0.4
Uppl. efni	987	997				



Jarðhiti á Kröflusvæði

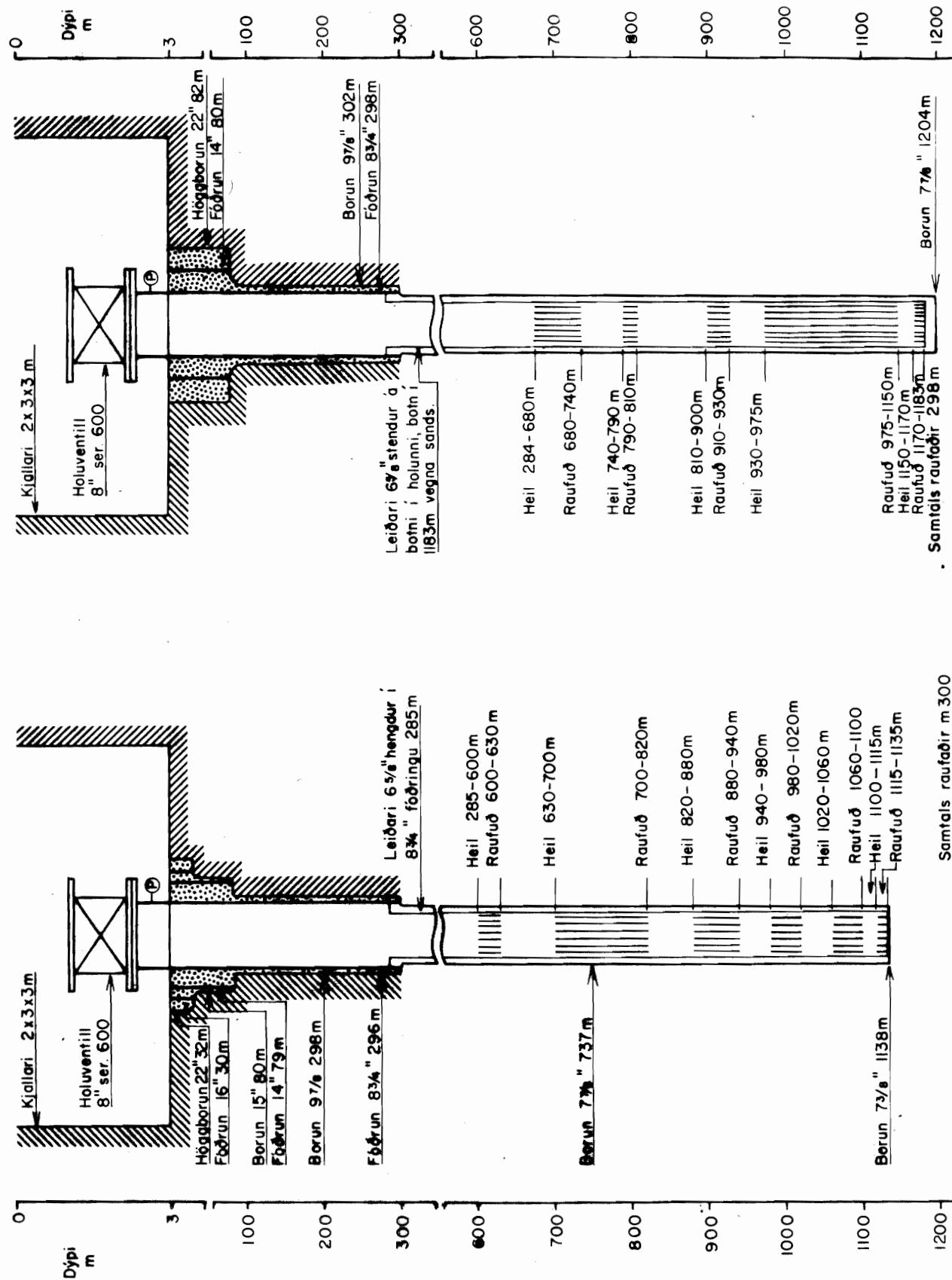
Mynd 1



- SKÝRINGAR:
- 20Ωm jafnviðnámslína
 - Gufu-eða leirhver
 - Vatnshver eða laug
 - # Kold ummyndun

- Tillaga um friðuð svæði innan vinnslusvæðis
- Sprungusveimur

0 0.5
km

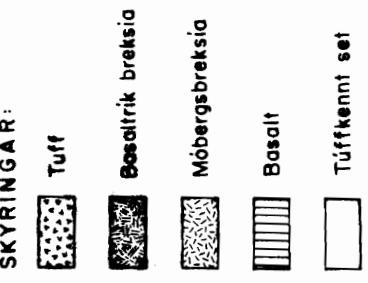


ORKUSTOFNUN

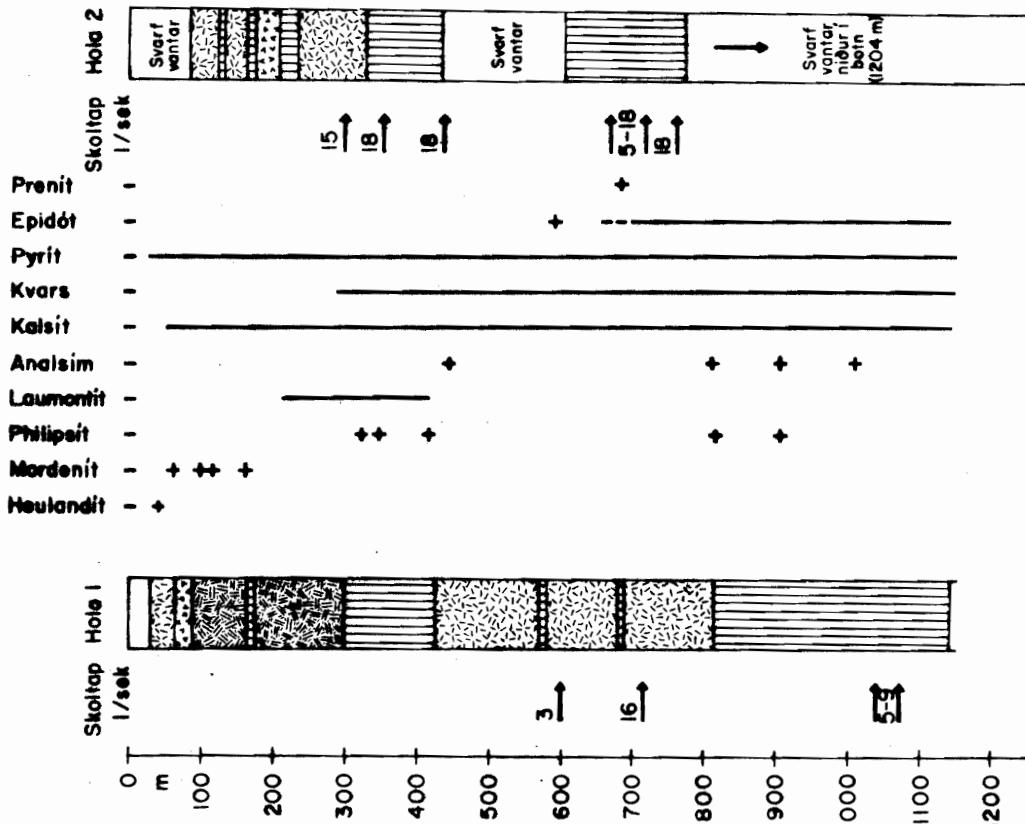
Einfaldar jarðlagasandir af holenum lang 2
í Kröflu, og eru tilgreind meðan breiðingar eru teknar

Fnr. 12308

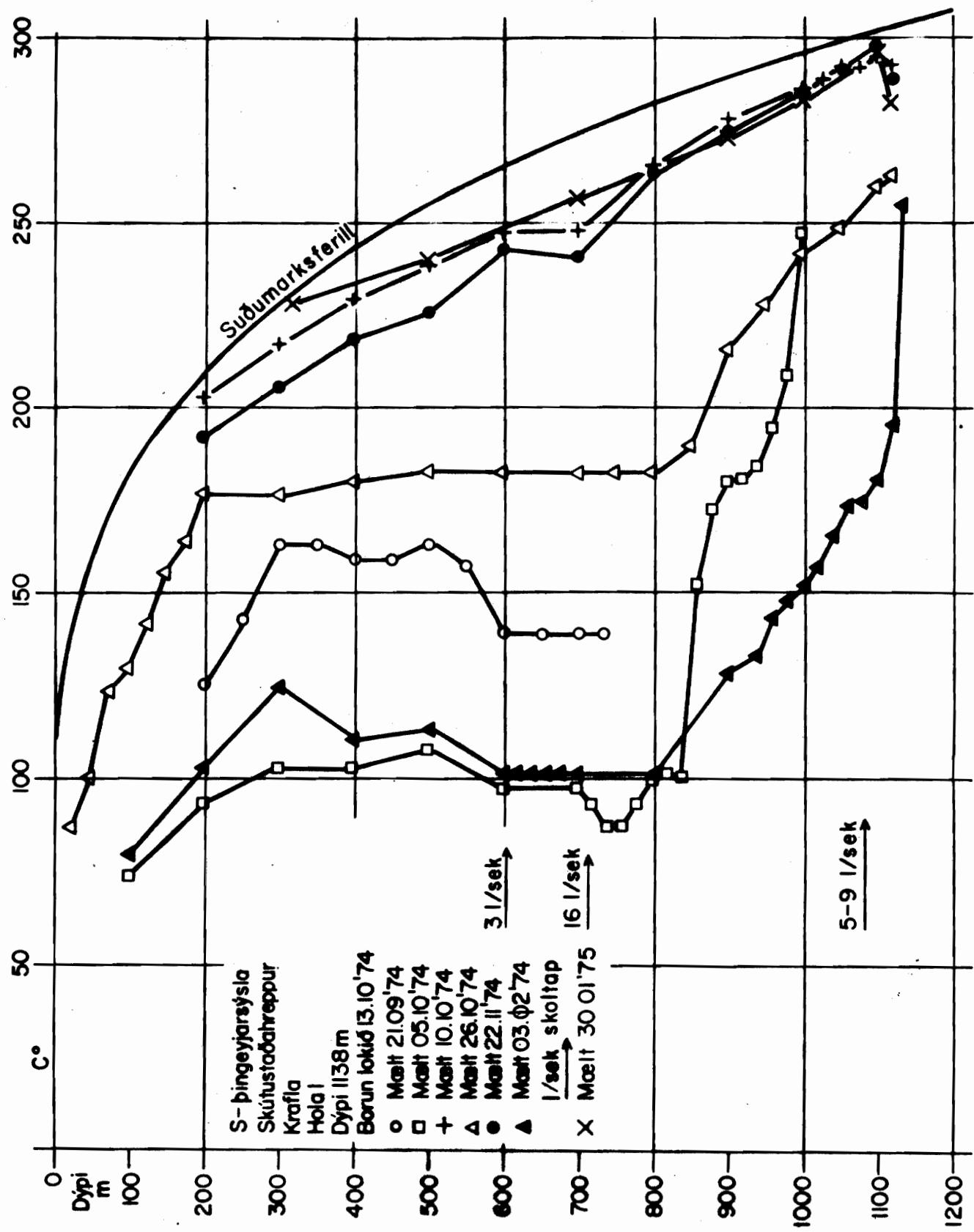
Mynd 3



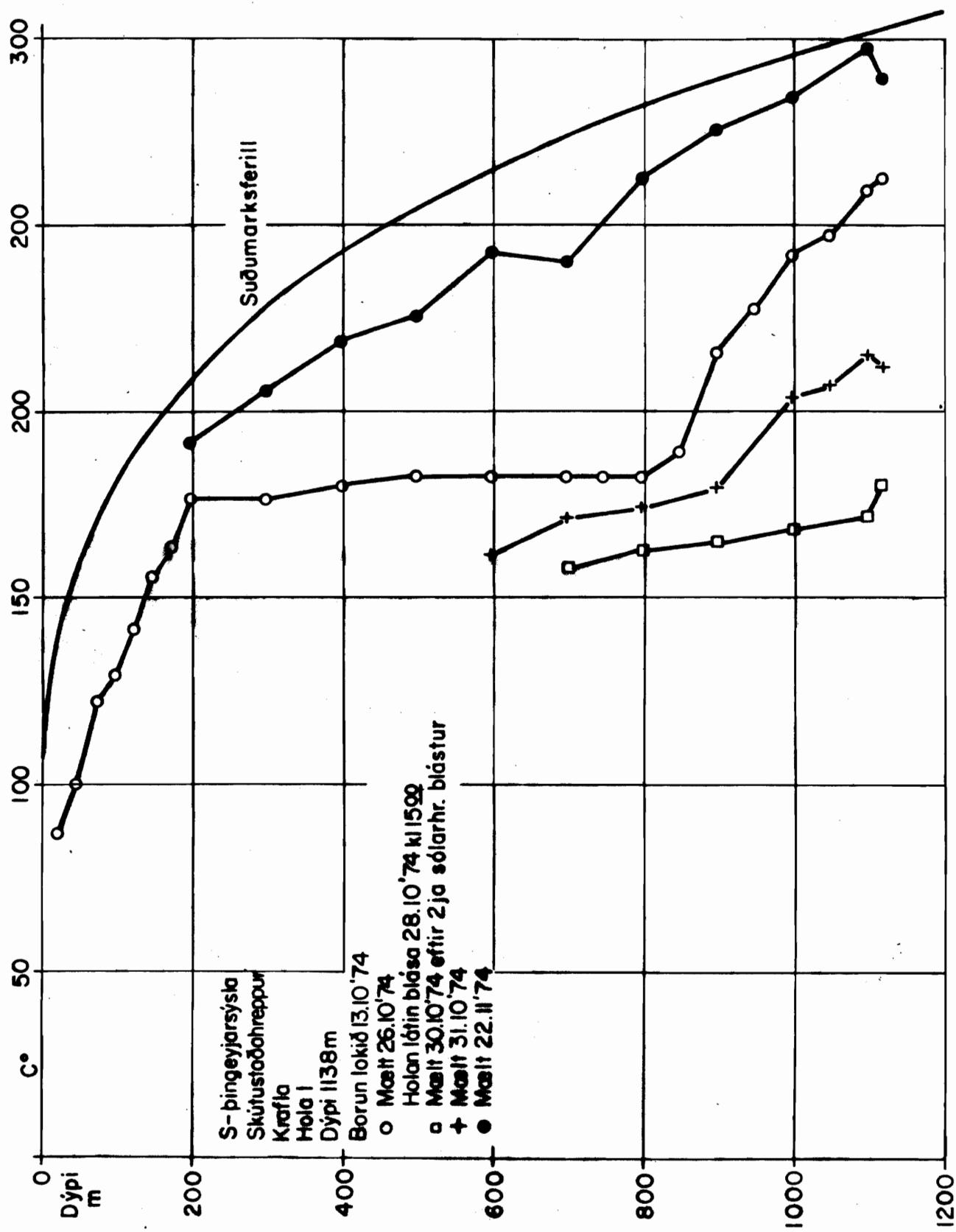
Klorit	-					
Blendlags steindir	-		+	-	-	+
Smektit	-	+	-	-	+	+
Pyrít	-					
Kvars	-	+				
Kalsít	-					
Analsim	-	+	+	+		
Mordenit	-	+				
Heulandít	-	++				

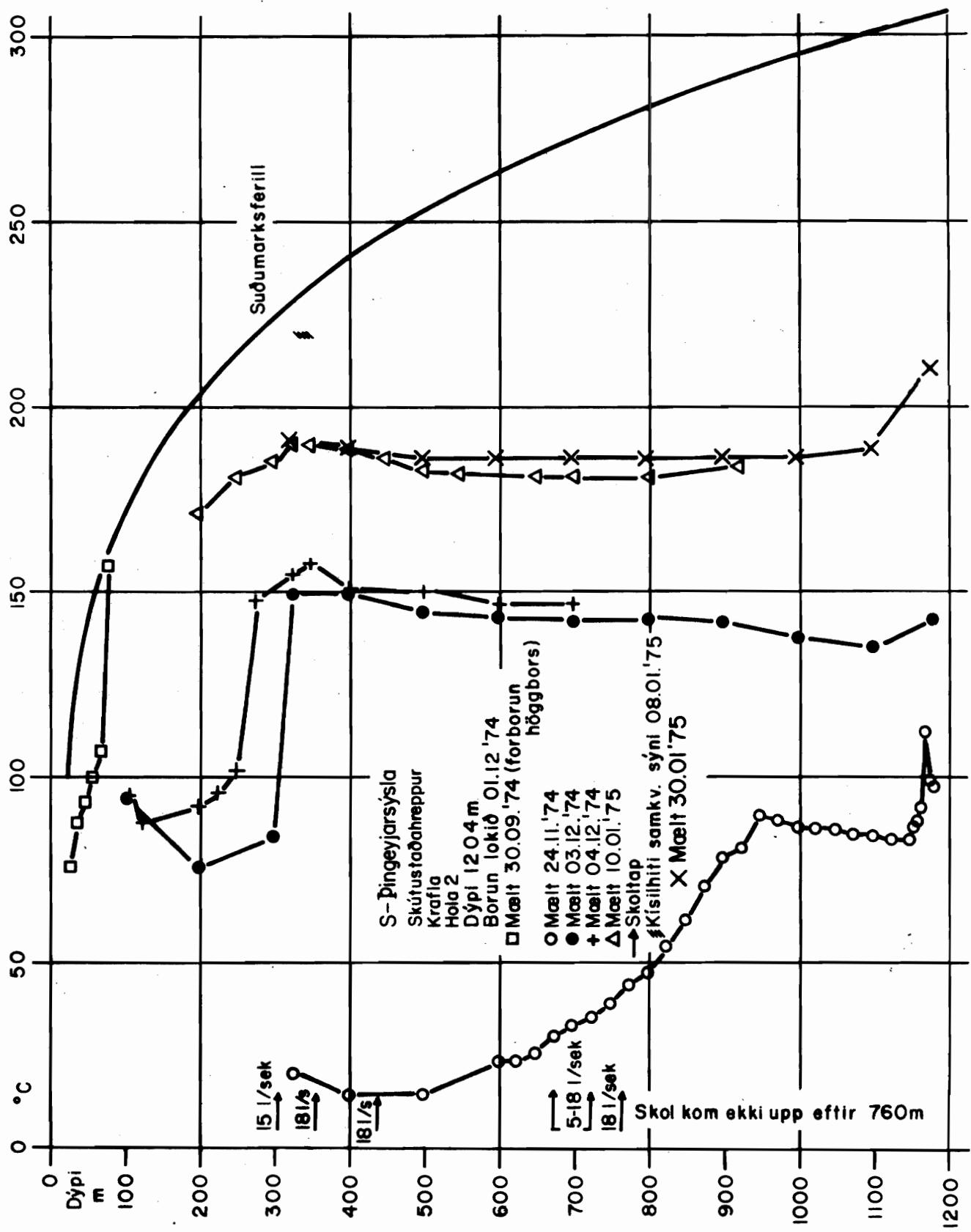


Mynd 4



Mynd 5





ORKUSTOFNUN

Upplysonleiki kvors og ópols

Mynd 7

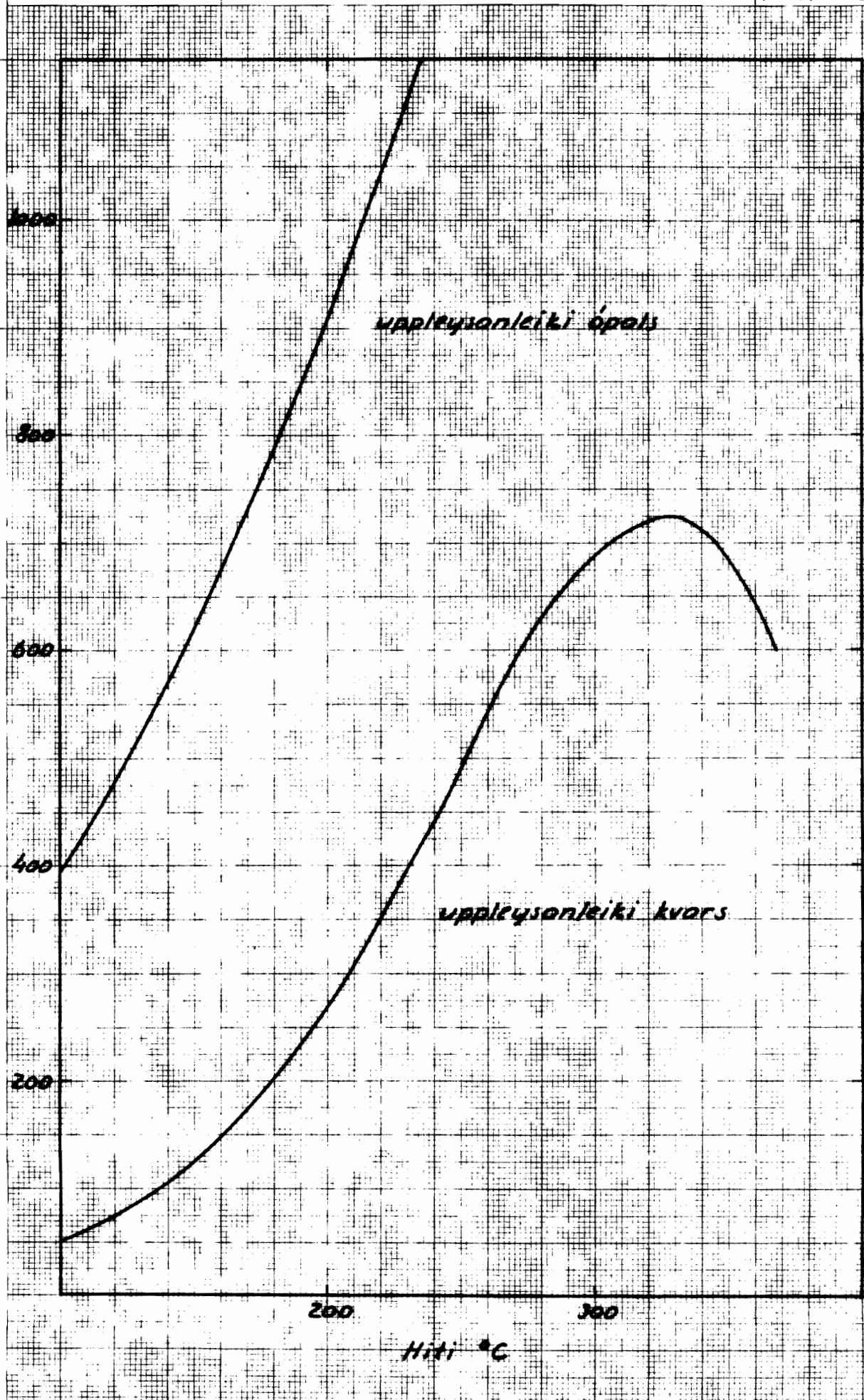
á hitobilinu 100-370 °C

5.2.75 St. A/

Tnr 18 Tnr 132

J-Krofta J-Jord

Fnr. 12414



ORKUSTOFNUN

Mynd 8

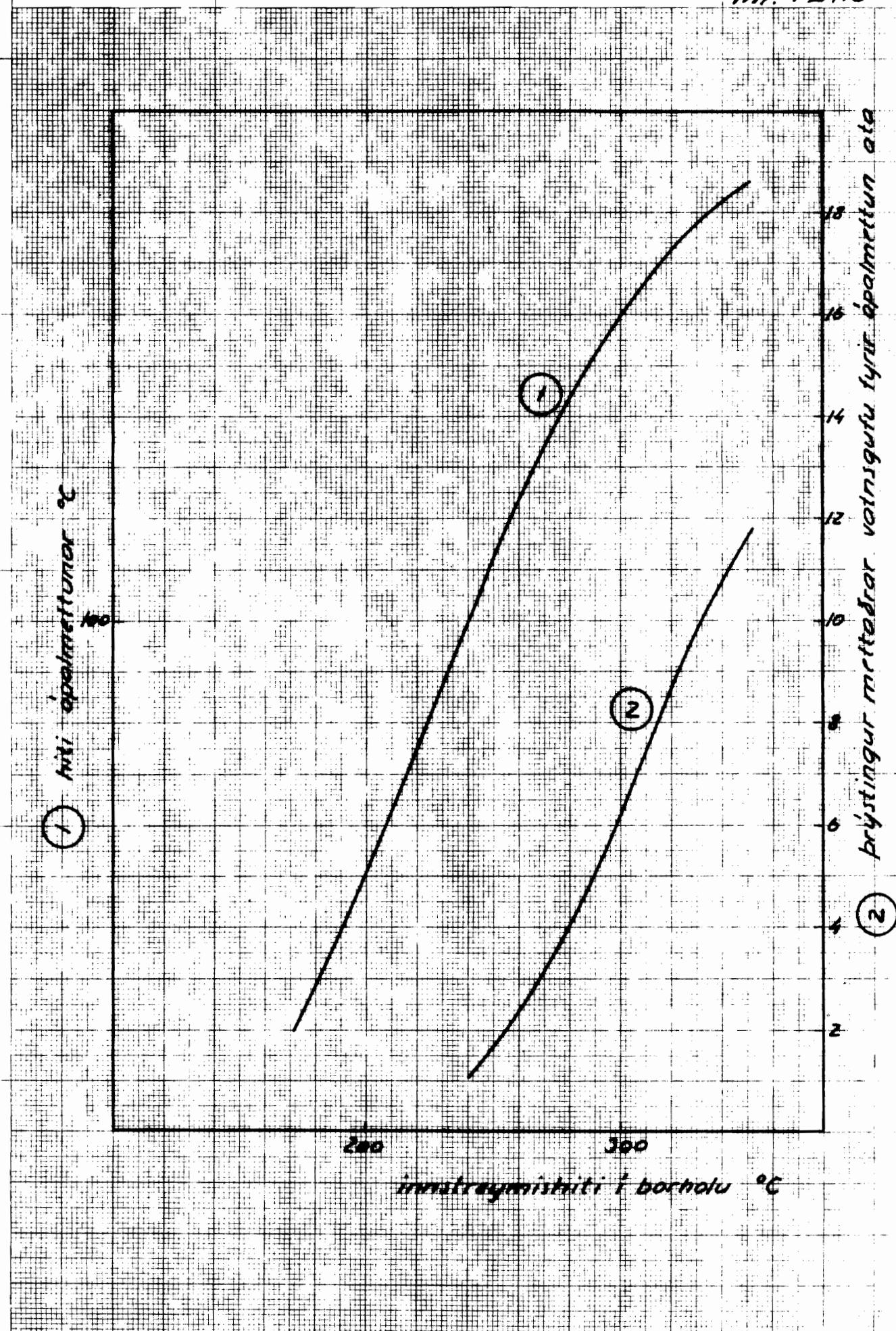
Samband votnshito áður en súða hefst
og hita/prýstings ópalmettunor
máður við (H^+) $10^{0.3}$ lagar en $K_{H_4SiO_4}$

52°75 St. Arn/

Tær. 19 Tær. 183

J-Krolla J-Jardbæ

Far. 12415



Mynd 9

Ytri mörk á lögum viðslutesta gutfuhóla

5.2.75 S/Ann/

Tr. 20 Tr. 134

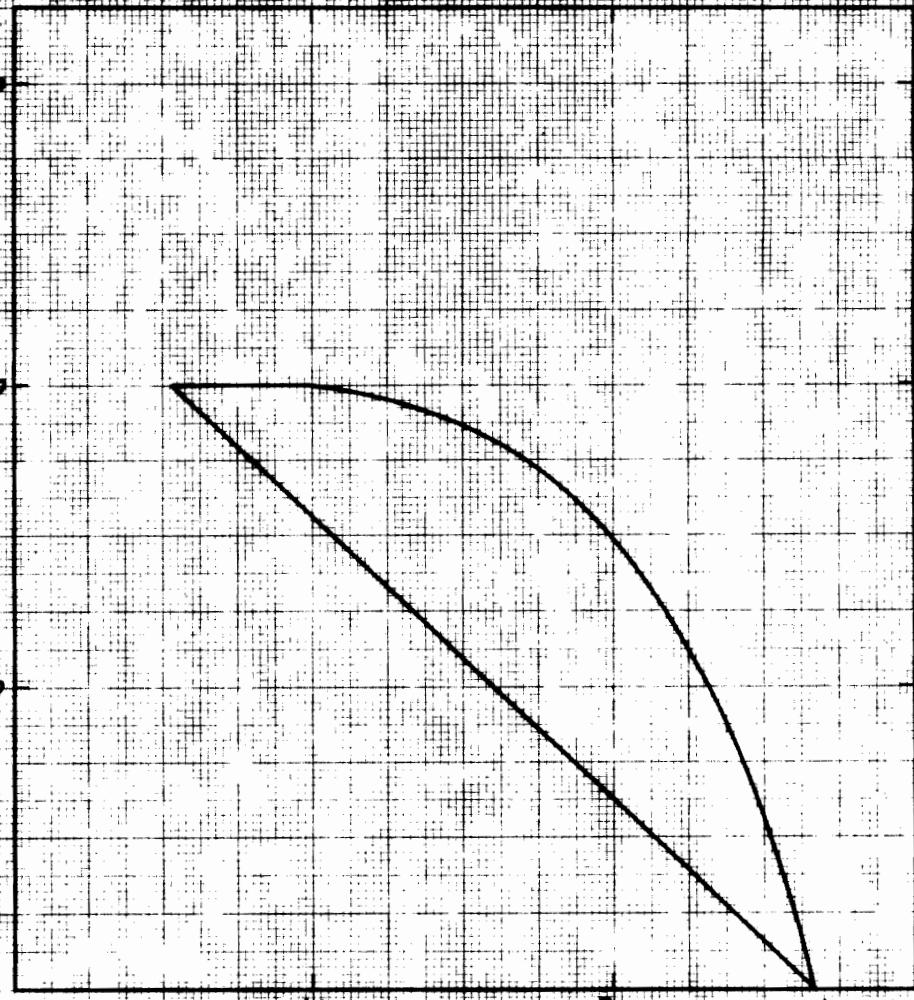
J. Kratt J. Jardé

Fn. 12416

*AB1 (acildarrennsi spjalt.)*40
20

10

20

*R (vinnsháþreyf. aða)**lokunorþrist.*

Sambond gutfurennslis við skiljuprýsing

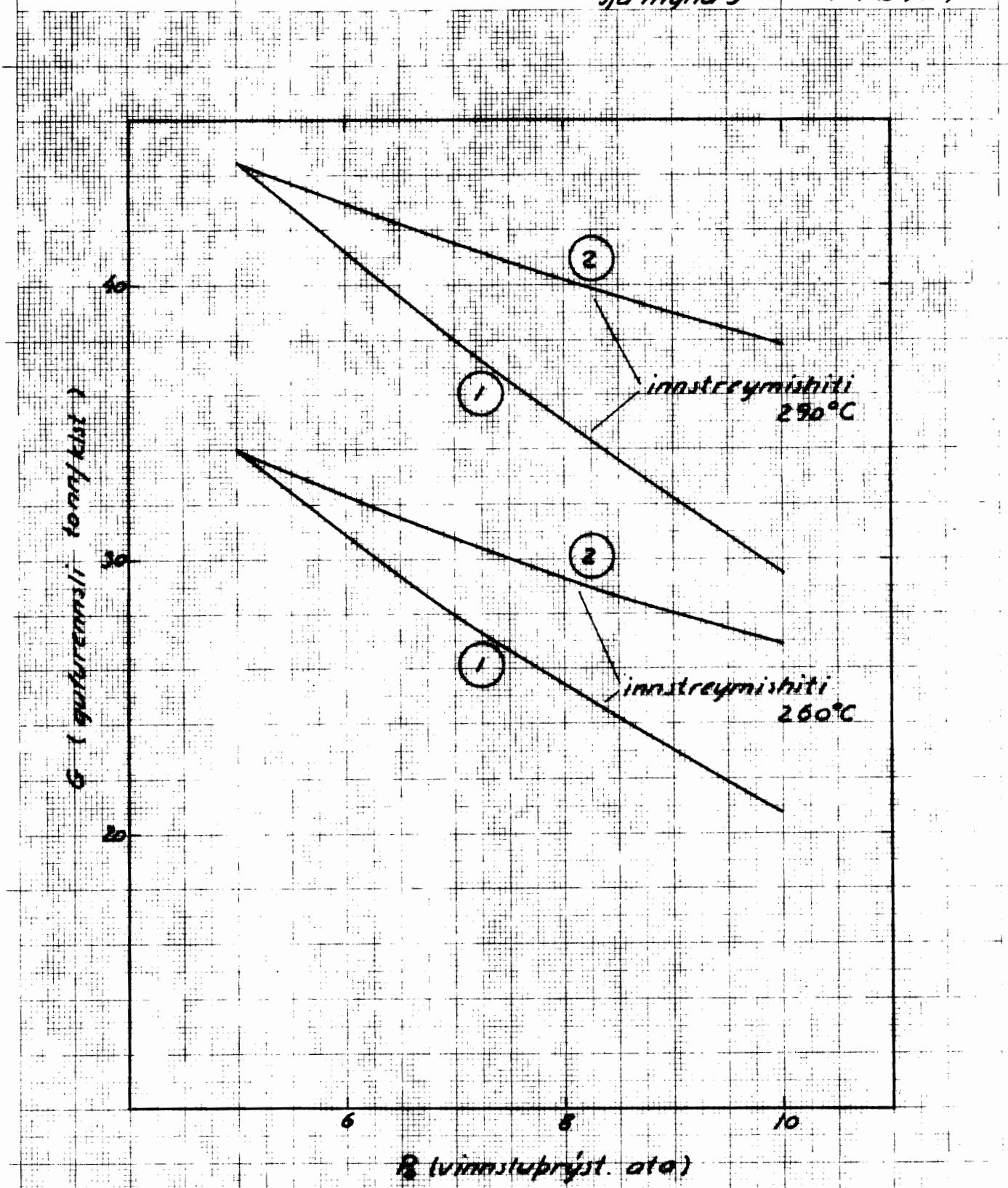
Tir. 21 T. 195

Mynd 10

fyrir ytri mörk á lögum vinnsluferla
sjá mynd 9

J-Krafla J-Sjóð.

Fn. 12417



B (vinnstuprýst. óta)

Gutfurennslí er miðat við:

- 1) heildarrennisti = 40 kg/fisk við 5 óta og línulega minnkun rennslis með vaxandi prýsingi. Lokunarprýst. 27 óta
- 2) heildarrennisti = 40 kg/fisk á línuw 5-10 óta

Boltar ISO 8·8 M30. Fínar gengjurFlansar og þettingar ASA 600Höggborun 22"-24" ca 30mFóðurrör 18 $\frac{5}{8}$ " st 35 E.P 11m/m
Din 2448/1629 í ca 30 mBorun 17 $\frac{1}{2}$ " í 120mFóðurrör 13 $\frac{5}{8}$ " st 35 E.P 8m/m
Din 2448/1629 í 120 mBorun 12 $\frac{1}{4}$ " í 600-700 mFóðurrör 9 $\frac{5}{8}$ " st 52 E.P 8,8m/m
Din 2448/1629Hengistykki 9 $\frac{5}{8}$ " - 7 $\frac{5}{8}$ "Borun 8 $\frac{3}{4}$ " í 1800-2000 mRaufaður leiðari 7 $\frac{5}{8}$ " st 52 E.P 8m/m
Din 2448/1629 í 1800-2000 m

Renniloki 8" DIN 64

Mynd II.

Dýpi m

0

200

400

600

800

1000

1200

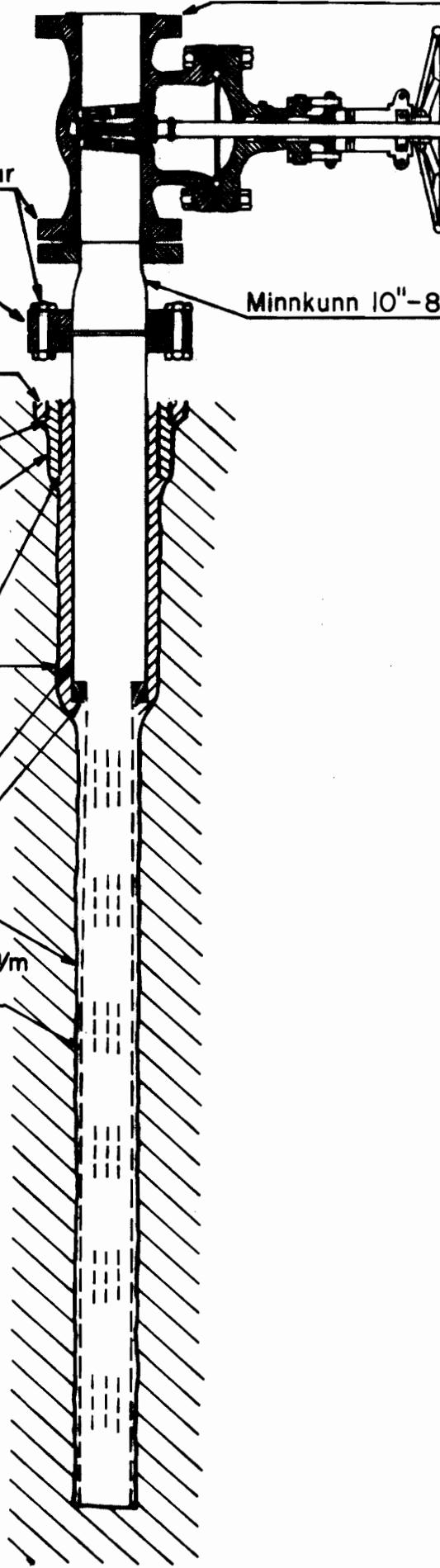
1400

1600

1800

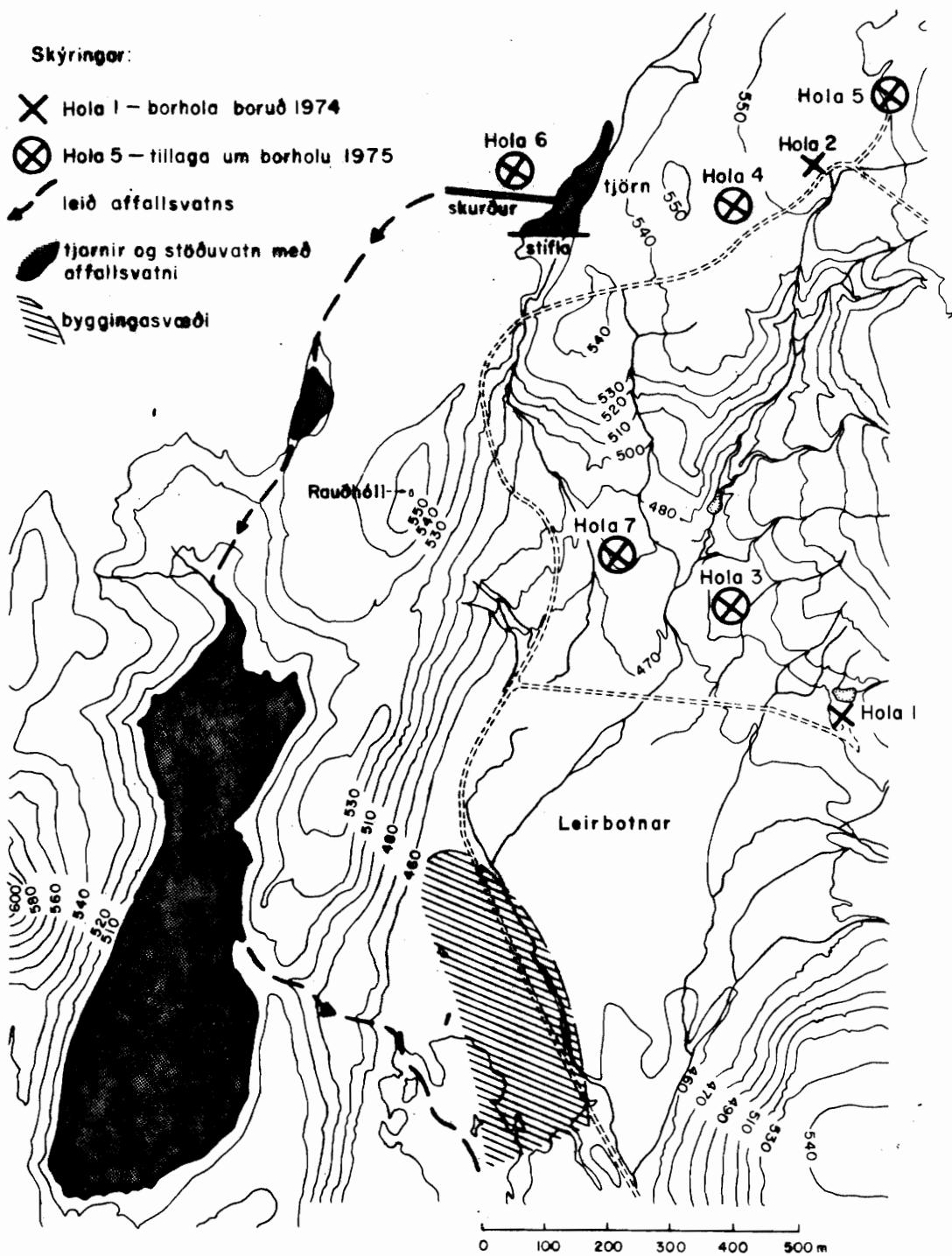
2000

2200



Skýringar:

- ✗ Hola 1 - borhola boruð 1974
- ✗ Hola 5 - tillaga um borholu 1975
- leið affallsvatns
- tjarnir og stöðuvatn með
affallsvatni
- ~~~~ byggingasvæði



Mynd 12

ORKUSTOFNUN

Leið affallsvatna, staðsettning stöðvarhúss,
tillaga um vinnsluhólar 1975 í Kröflu

GLI/75 K.S/DR/AB

Tnr. 16

J-Krefla

Fnr. 12403



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Kort af lausum jarðlögum
i Leirbotnum

31.1 '75 KS/JB

Tnr. 12

J-Krafla

Fnr. 12385

Mynd 13

