

JARÐHITABORUN í ÁRNESI, AÐALDAL

Kristján Sæmundsson  
Valgarður Stefánsson  
Stefán Arnórsson

ORKUSTOFNUN  
Járhítadeild

JÁRHÍTABORUN I ÁRNESI, AÐALDAL

Kristján Sæmundsson  
Valgarður Stefánsson  
Stefán Arnórsson

hestur varð upphaf  
á Þóðarheiði 10,5 m hær.  
af P. J. og Guðrún Sig.

## INNGANGUR

Fyrstu dagana í maí 1975 var lokið við að bora 1250 m djúpa holu í Árnesi í Aðaldal. Ekkert vatn fékkst úr holunni, en áhugi er á dýpkun ef líkur þykja benda til að vatn finnist neðar. Þessi skýrsla fjallar um borunina og niðurstöðu hennar og er reynt að meta hver líkindi séu á árangri með dýpkun.

### 1. BORUNIN (K.S.)

Vinna við borunina hófst þann 17.3.1976 og henni lauk 11.5. Holan er fóðruð með 14" rörum í 13 m og 8" í 121 m. Gangur borunarinnar er sýndur á 1. mynd. Þegar holan var orðin 1150 m hafði orðið vart við tap í 1032 m, sem hélzt síðan. Eftir upptekt og mælingar kom í ljós, að æð hafði opnast inn í holuna í 260 - 270 m dýpi ofan fasta bergsins. Mælingar bentu til, að hiti í þessari æð væri um  $30^{\circ}\text{C}$  og var dælt úr henni um 10 l/sek. Ef fullnægjandi árangur átti að verða af boruninni þurfti að loka þetta rennsli úti. Það var gert með því að fóðra með 7" kaflann frá 102 m niður í 296 m. Holan var síðan dýpkuð í 1250 m.

### 2. JARÐFRÆÐI OG JARDLAGASNIÐ (K.S.)

Þegar borunin var ákveðin í Árnesi var það sumpart gert á þeirri forsendu að berggrunnur þarna í kring væri mynd-aður snemma á ísöld og því hagstæður með tilliti til jarð-laga og þar væri hár hitastigull svo nærri gosbeltinu. Ísaldarmyndanir finnast ofarlega í Kinnarfjöllum í Fljóts-heiði og í heiðarbrúninni upp af Reykjahverfi. Undir þeim sjást í Kinnarfjöllum basaltsyrrpur þar sem beltótt dyngeju-hraun eru áberandi og má telja út frá gerð millilaga líklegt að þar sé um tertíer jarðlög að ræða. Sama gildir líklega um norðurodda Fljótsheiðar. Flestir, sem um jarðfræði S-Pingeyjarsýslu hafa fjallað telja, að mikil misgengi sé

í Bárðardal og liggi út með Köldukinn og sé ísaldarmynd-unum austar þannig fyrirkomið í sigdal. Þessi tilgáta verður þó að teljast mjög óviss og hún fær ekki stuðning af boruninni í Arnesi.

Borholan var staðsett á hrauni heima við bæ í Nesi rétt austan við gervigígaþyrpinguna miklu í miðjum dal milli Ness og Jarlsstaða. Hraunið með gervigígunum er það sama og Sigurður Þórarinsson kallar Laxárhraun eldra og áætlast út frá öskulagarannsóknum að vera kringum 4000 ára (sbr. Náttúrufræčinginn 1971). Jarðlagasnič af holunni er sýnt á 2. mynd. Hraunið nær niður í 39 m. Undir því var mór með lurkalögum og síðan sandlag 3 m þykkt. Gróðurleifarnar undir hrauninu eru næstum 25 m undir núverandi sjávarmáli og eru sennilega frá þeim tíma, er sjór stóð lægst við strendur landsins skömmu eftir ísaldarlok (sbr. Þjórsárhraunið í Flóanum).

Annað berglag, e.t.v. hlýskeičshraun, tekur vič í 42 m og nær niður í 58 m. Síðan er leirsteinn og sandsteinn niður í 264 m, líklega sjávarset og vatnaframburčur.

Reyndist þykkt lausu laganna miklu meiri en ætlač var í upphafi, en þá var gizkað á 100-130 m. Jarðlagasnič var gert af basaltmynduninni neðan 264 m á grundvelli athugana í smásjá á svarfi og þunnsneičum.

Jarðög neðan setlagafyllingarinnar eru aðallega basalt með millilögum úr móbergskennnu efni auk raučalaga. Þykkar móbergsmýndanir fundust ekki. Frá 320 m niður í 520 m er ólivínbasalt ríkjandi, líklega beltóttar dyngju-syrpur með rauðalögum á milli laga. Frá 520 m niður í 790 m eru basaltlög með áberandi þykkum móbergskennendum millilögum. Borhraði á þessu bili er að jafnači minni en ofan og neðan vič, samt gætir ólivínbasalts nokkuć. Frá 790m niður í 940 m er borhraði aftur meiri og ólivínbasalt ríkjandi. Frá 940 m til botns eru hraunlög af hárčari gerðinni, þó kemur fyrir breksiulag um 60 m þykkt í kringum 1100 m. Ekki varð vart vič sprungur eða hrungjörn jarčlög

í holunni. Gerð berglaganna, sem borað var í gegnum, bendir til tertíers aldurs og gæti verið hallans vegna um sömu lög að ræða og mynda Kinnarfjöll. Basaltið er mjög holufyllt af zeólítum og nokkuð ummyndað í leirtegundir. Holufyllingin og ummyndunin var rannsökuð sérstaklega (3. mynd), en hvort tveggja gefur hugmynd um það hitaástand, sem ríkti í berгинu þegar ummyndunin skeði og þá jafnframt um vatnsgengd jarðlaganna. Vitað er vegna rannsókna annars staðar á landinu, að holufyllingar raða sér í belti og verður fjölbreytni í tegundum og magn þeirra í berгинu meira eftir því sem dýpra kemur í jarðlagastaflanum. Greiningu á holufyllingum og leir annaðist Hrefna Kristmanns Efsta holufyllingabeltið (kennt við kabasít og thomsónít) nær niður í ca. 400 m dýpi í holunni. Kemur það vel heim við litla holufyllingu í berglögum austan við Reykjahverfi. Analísimbeltið skilar sér í holufyllingum milli 400 og 600 m dýpis, og mesólít + skólesít beltið þaðan til botns. Á 600 m dýpi verður einnig breyting á ummyndun, þannig að ofan 600 m er venjulegur montmorillonít-leir ráðandi en neðan þess dýpis fer að bera á blandleir úr montmorilloníti og klóríti. Yfirleitt er það reynslan á blágrýtissvæðum, að jarðlög í analísí- og mesólít + skólesít beltunum eru lítt vatnsgeng nema á jarðhitasvæðum þar sem vatnsæðar fylgja lagmótum, berggöngum eða sprungum. Mörkin á milli analísí og mesólít + skólesítbeltisins í 600 m dýpi samsvara allt að 150 °C hita á þeim tíma er holufyllingin varð til í berгинu. Nú er berghiti á þessu dýpi um 50 °C.

### 3. Hiti og vatnsæðar (K.S.)

Hitamælingar voru gerðar í holunni öðru hvoru á meðan borun stóð yfir. Fékkst þannig vitneskja um vatnsæðar og berghita á því dýpi, sem borunin náiði til, en í botni er kæling ávallt minnst, þegar mælt er stuttu eftir að borun er stöðvuð. Áður var getið um vatnsæð, sem opnaðist í kringum 260 m dýpi, en hún var ofan fasta bergsins í lausum lögum og fóðruð af þar sem hún var í mesta lagi um 30 °C. Vatnsbærð

í holunni var í 8-9 m, þegar þessi að var opin en hækkaði eftir að hún var fóðruð af og rann eftir það úr holunni. Næsta vatnsæð fannst í 810-825 m. Hún var mjög lítil og varð ~~enki~~<sup>lítill</sup> vart við hana öðruvísí en

á hitamælingu. Nokkur þrýstingur var á æðinni og rann úr henni uppeftir holunni, eftir að hún opnaðist.

Hitamæling, sem gerð var 14.10.1975 (4. mynd) sýnir uppstreymið úr þessari að. Neðan við æðina er hitaferillinn nánast beinn nema hvað smáhlykkur er milli 1100 og 1200 m, sem gæti bent til að þar væri smávægileg vatnsæð. Hitamæling, sem gerð var í holunni síðustu dagana í júní 1975, sýndi ekki réttan hita þar sem smábilun var í mæli.

Hinsvegar komu æðarnar í 800-900 m og 1100-1200 m skýrt fram á þeirri mælingu. Neðan við 900 m hækkar hitinn nánast línulega til botns ef mælingin frá 14.10. '75 er skoðuð. Sé hitaferillinn framlengdur upp sker hann yfirborð við 4°C, sem er nálægt ársmeðalhita. Virðist því, að þarna sé um að ræða hitastigul, sem er lítið eða ekki truflaður af hringrás vatns eins og gerist í jarðhitakerfi. Nemur stigullinn 80°C/km. Þessi stigull er allmiklu lægri en búast mátti við í bergi mynduðu kringum upphaf ísaldar. Virðist sem aldur bergs og fjarlægð frá gosbelti sé ekki einhlítt til að spá fyrir um líklegan hitastigul.

Hingað til hefur ekki verið talin mikil von um að hitta á vatnsæðar í bergi þar sem hitastigull er lágor og að því er virðist lítið truflaður af vatnsrennsli. Verður út frá því að teljast ólíklegt að hitta á öflugar vatnsæðar dýpra, enda þótt hiti haldi áfram að vaxa línulega niður á meira dýpi. Hins vegar er það staðreynd að smáæðar eru í holunni svo engan veginn er útilickað að hitta á fleiri smáæðar á meira dýpi.

#### 4. PÖKKUN OG DÄLING (K.S.)

Í lok borunar var dælt úr holunni með lofti. Stangir voru settar niður í 65 m en holan þurrkaðist. Rennslið, sem náðist úr holunni á þennan hátt, áætluðu bormenn að væri innan við 1 l/sek. Á eftir var pakkað og pakkari festur í 562 m og dælt í samtals 20 klst, lengst af 10 l/sek við 65 kg/cm<sup>2</sup> þrýsting.

Um 1,5 l/sek rann til baka upp með pakkara en 8,5 l/sek fóru út í æðar í holunni. Hitamæling, sem gerð var í holunni eftir pökkun sýnir, að vatnið hefur svotil eingöngu farið út í æðina í 810 m. Kæling í kringum 1100 m dýpi bendir til, að þar sé smáæð, sem pökkunarvatn hafi leitað út í og ber því saman við niðurstöðu hitamælingar frá 14.10.1976. Í lok pökkunar var um stund dælt um 11 l/sek við um 80 kg/cm<sup>2</sup> þrýsting. Þar á eftir var bækþrýstingur mældur um 60 kg/cm<sup>2</sup>, en hann féll í 10 kg/cm<sup>2</sup> á 1 1/2 klst. Þessi þrýstiprófun gefur til kynna, að holan sé mjög þétt og árangur af pökkuninni í þá átt að auka innrennsli úr æðum holunnar nánast enginn. Eftir pökkunina var dælt úr holunni á ný með lofti, en rennsli reyndist ekki hafa aukist frá því sem var fyrir pökkun.

Vegna þess hve æðarnar eru smáar hefði þurft að beita allt að helmingi hærri þrýstingi og mun lengri pökkun ef von átti að vera um árangur. Borinn hafði hins vegar ekki yfir meiri dælukrafti að ráða.

#### 5. EFNAINNIGHALD Í BORHOLUVATNINU (S.A.)

Vatnssýni tekin af mismunandi dýpi í holunni gefa til kynna, að efnainnihald vatnsins er hið sama á hvaða dýpi sem er. Hitamæling og niðurdæling kalds vatns í holuna sýna að í rúmlega 800 metra dýpi og mun það vatn, sem úr holunni rennur, komið úr þeirri æð, enda enginn munur á efnainnihaldi vatns í stút og á 800 metra dýpi. Kæling verður á vatninu úr 800 metra æðinni vegna lítils rennslis.

Heildarefnainnihald borholuvatnsins er eins og almennt gerist með 70-100 °C heitt vatn. Hitastigsmunur í 800 metra dýpi og 1160 m dýpi er varla nægilegur til þess að valda mun á efnainnihaldi vatnsins og því ekki treystandi á, að hið líka efnainnihald í holunni sé afleiðing að lóðréttu vatnsstreyymi í jarðlögnum. Væri slikt streymí til staðar, gæfi það nokkrá von um árangur með því að dýpka holuna frekar. Á hinnum böginn kemur ekkert fram í efnainnihaldi vatnsins, sem sýnir lagskipt rennsliskerfi með litlum eða engum lóðréttum samgangi.

TAFLA 1.

Efnainnihald í sýnum af mismunandi dýpi í borholu 1 í Arnesi, S-Þingeyjarsýslu. Styrkur efna í ppm.

Efni/Dýpi m	0	800	1160
hiti °C	11	74	97
kísilhiti °C	66	91	99
alkalíhiti °C	85	85	106
pH/°C	10, 12/21	9, 70/21	9, 65/21
Éclisvičnám Ωm	44.4	44.4	44.4
SiO <sub>2</sub>	107	109	122
Na <sup>+</sup>	54.0	51.1	51.2
K <sup>+</sup>	0.6	0.6	1.1
Ca <sup>++</sup>	2.4	2.2	2.8
Mg <sup>++</sup>	0.05	0.06	0.10
CO <sub>2</sub> (total)*	13.1	16.3	11.3
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	36.1	250	33.0
H <sub>2</sub> S(total)**	<0.1	0.3	<0.1
Cl <sup>-</sup>	10.0	9.9	11.9
F <sup>-</sup>	1.15	0.84	0.89
Uppl. efni	239	269	282

\* H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> + CO<sub>3</sub><sup>--</sup>

\*\* H<sub>2</sub>S + HS<sup>-</sup> + S<sup>--</sup>

## 6. VIÐNÁMSMÆLINGAR OG NIÐURSTÖÐUR BORUNAR (V.S.)

Ein af forsendum borunar við Arnes var sú, að mjög svipað eðlisviðnám (30-40 Ωm) væri neðan við 200 m dýpi á öllu svæðinu milli Hafralækjar og Ness. Við túlkun viðnámsferla með 30 Ωm botnviðnámi má áætla að skekkjumörk í ákvörðun botnviðnámsins sé ca. ± 5 Ωm. 10 Ωm munur á botnviðnámi er því ekki marktækur munur ef aðeins liggja fyrir tvær mælingar. Með því að gera fleiri mælingar á sama svæði fást betri upplýsingar um skiptingu eðlisviðnámsins. Ef mælingar eru nógu margar er jafnvel hægt að fá fram viðnámsbreytingar, sem eru minni en skekkjumörk hverrar mælingar.

Ef rýnt er nánar í þær viðnámsmælingar, sem gerðar voru 1974, sést, að í mælingu H1 og H4 er botnviðnám túlkað 30 Ωm, en í mælingu H2 er botnviðnám túlkað 40 Ωm. Mæling H2 var gerð mjög nálægt holustæði í Arnesi. Niðurstöður borunar í Arnesi má túlka þannig að smávægilegur munur sé á botnviðnámi við Arnes og Hafralæk. Þessi munur er af svipaðri stærð og skekkjumörk einstakrar mælingar.

Sumarið 1975 voru gerðar allmargar viðnámsmælingar í Aðal-dalshreppi. Niðurstöður þeirra mælinga styðja frekar ofangreinda skoðun en hitt. Hins vegar er rétt að taka þátt fram, að mælingar eru samt ekki nógu margar til þess að skera úr um þetta. Áætla má að það þurfi a.m.k. 10-15 mælingar á svæðinu milli Arness og Garðsnúps til þess að ákvarða 10 Ωm botnviðnámsmun. Því má bæta við, að þó þarna sé munur á botnviðnámi, og þó sú vitneskja hefði legið fyrir ácur en borun hófst, er mjög vafasamt að sú vitneskja hefði verið talin næg til þess að mæla á móti borun í Arnesi. Í mælingu H2 var hraunið (2000 Ωm viðnámslagið) túlkað 70 m þykkt. Í borun reyndist samanlöögð þykkt tveggja hrauna vera um 60 m, sem er ekki fjarri því sem áætlað hafði verið.

Undir hrauninu tók við sandur, leirsteinn og sandsteinn allt niður á 264 m dýpi. Í viðnámsmælingu sést ekki munur á eðlisviðnámi í þessum jarðögum og bergeninu fyrir neðan. Ekki hafði verið búist við svo þykkum, lausum jarðögum undir hrauninu.

Eins og sést í Töflu I mælist eðlisviðnámið í vatninu í borholunni í Árnesi 44 Ωm, eða mjög nálægt því það sama og eðlisviðnám bergsins mælist. Til samanburðar eru í Töflu II sýnd samsvarandi gildi frá Hafralæk og Hveravöllum.

#### Tafla II

Eðlisviðnám í vatni og bergi í Aðaldal.

staður	ρ	vatn við 20°C	Berg með vatni
		Ωm	Ωm
Árnes		44	40
Hafralækur		53	30
Hveravellir		40-45	20

Eðlisviðnám vatnsins er mælt við 20°C en viðnámsmælingar á yfirborði mæla við þann berghita, sem fyrir hendi er. Þar sem viðnám í þurru bergi er mjög hátt verður vatnið í bergeninu að hafa mun lægra eðlisviðnám en mælist í viðnámsmælingum. Ef gert er ráð fyrir að eðlisviðnám vatnsins lækki einungis vegna aukins hita, sést, að mun meiri hitastigull þarf að vera á Hafralæk og Hveravöllum en í Árnesi til þess að dæmið gangi upp. Ef einnig er tekið tillit til að eðlisviðnám bergs er mjög háð magninu af vatni, sem er í bergeninu (poruhluta) má gera ráð fyrir sama hitastigli á öllum þrem stöðunum, en þá verður að vera mun minna af vatni í bergeninu við Árnes (minni poruhluti) heldur en við Hafralæk og Hveravelli.

7. HELSTU NIÐURSTÖÐUR OG TILLÖGUR UM FREKARI AÐGERDIR (K.S., V.S.).

Ef bornar eru saman forsendur borunar við Árnes og niðurstöður borunar kemur eftirfarandi í ljós:

1. Jarðög berggrunnsins reyndust vera eldri og af annarri gerð en búist var við. Af því leiðir að minni líkur eru á vatnsgefandi lögum en ella.
2. Hitastigull reyndist minni en búist var við út frá nálægðinni við gosbeltið.
3. Dýpt niður á fast berg undir Aðaldalshrauni reyndist meiri en reiknað hafði verið með. Varð borholan af þeim sökum dýrari en ella.
4. Að öllum líkindum er munur á botnviðnámi við Árnes og Hafralæk, sem munar um 10 ðm (hærra við Árnes).
5. Ef tekið er bæði tillit til ečlisviðnáms vatnsins í berGINU og niðurstöðu viðnásmælinga verður hinn ófullnægjandi árangur borunarinnar skiljanlegur, en varla, eif aðeins er litið á annað hvort atriðið.
6. Smáæðar fundust í holunni neðan 800 m. Pökkun með 60-70 kg/cm<sup>2</sup> þrýstingi í 20 klst dugði ekki til að auka rennsli úr þeim.
7. Efnainnihald vatnsins breytist ekki með dýpi og er hið sama og búast má við í 70-100 °C heitu vatni. Munur á efnainnihaldi í vatni úr 800 og 1100 m æčunum er líttill og útilokar ekki lóðrétt rennsliskerfi.
8. Holan í Árnesi er boruð utan við eða í útjačar jarónitakerfisins undir Hafralæk en samband virðist ekki vera við Hveravallasvæðið.

I skýrslu Jarðhitadeildar OS JHD 7430 var bent á þrjár leiðir til öflunar heits vatns fyrir Nésbæi. Einnig var bent á að borun við Nesbæi væri áhættusamasti möguleikinn. Þar sem borun 1250 m djúprar holu við Árnes hefur ekki borið árangur má segja að enn séu þrír möguleikar fyrir hendi til öflunar heits vatns fyrir Neabæi, þeir eru 1) Auka rennsli

frá borholu við Hafralæk og nota það vatn. 2) Borun nýrrar holu við Hafralæk. 3) Dýpka holuna við Árnes. Fyrstu tveir kostirnir eru þeir sömu og bent var á í ofangreindri skýrslu Jarðhitadeildar, og verður ekki fjallað nánar um þá aftur.

A sama hátt og áður verður að telja mesta áhættu sambara dýpkun holu við Árnes.

Það sem mælir einkum á móti dýpkun holunnar er að holan er í péttum bergmyndunum, þar sem skilyrði fyrir lárétt rennsli eru slæm og ekki hefur orðið vart við neinar sprungur eða veilur svo sem ganga í berGINU, sem gætu gefið vatn. Hitaferill holunnar er næstum því beinn neðan við 850 m, og bendir stigullinn  $80^{\circ}\text{C}/\text{km}$  til að um sé að ræða eðliilegan stigul ótruflaðan af vatnskerfi.

Það sem mælir með dýpkun er að komið er í nægan berghita, þannig að öll viðbótarborun yrði í yfir  $100^{\circ}\text{C}$  heitu bergi. Smáæðar finnast í holunni á tveimur stöðum og ekki er útlokað að fleiri slíkar finnist, ef dýpra verður borað. Með öflugri pökkun á slíkar æðar eftir dýpkun er líklegt að takast megi að örva rennsli úr þeim. Einnig skiptir það málí varðandi dýpkun, að holan er vel frágengin hrein og hrunlaus, og því lítil hætta á að dýpkun eða pökkun misheppnist vegna ótraustra holuveggja.

Ef 3-5 l/sek af  $100^{\circ}\text{C}$  heitu vatni fengjust úr holunni mætti það teljast fullnægjandi árangur miðað við þá nýtingu sem fyrirhuguð er. Hér er um svo lítið vatnsmagn að ræða, að við viljum ekki útilcka alveg möguleikann á að það fáist með dýpkun og öflugri pökkun. Hér er einungis reynt að metá líkurnar á því hvort dýpkun beri árangur án tillits til kostnaðar.



ORKUSTOFNUN

ÁRNES Í AÐALDAL  
Gangur borunar

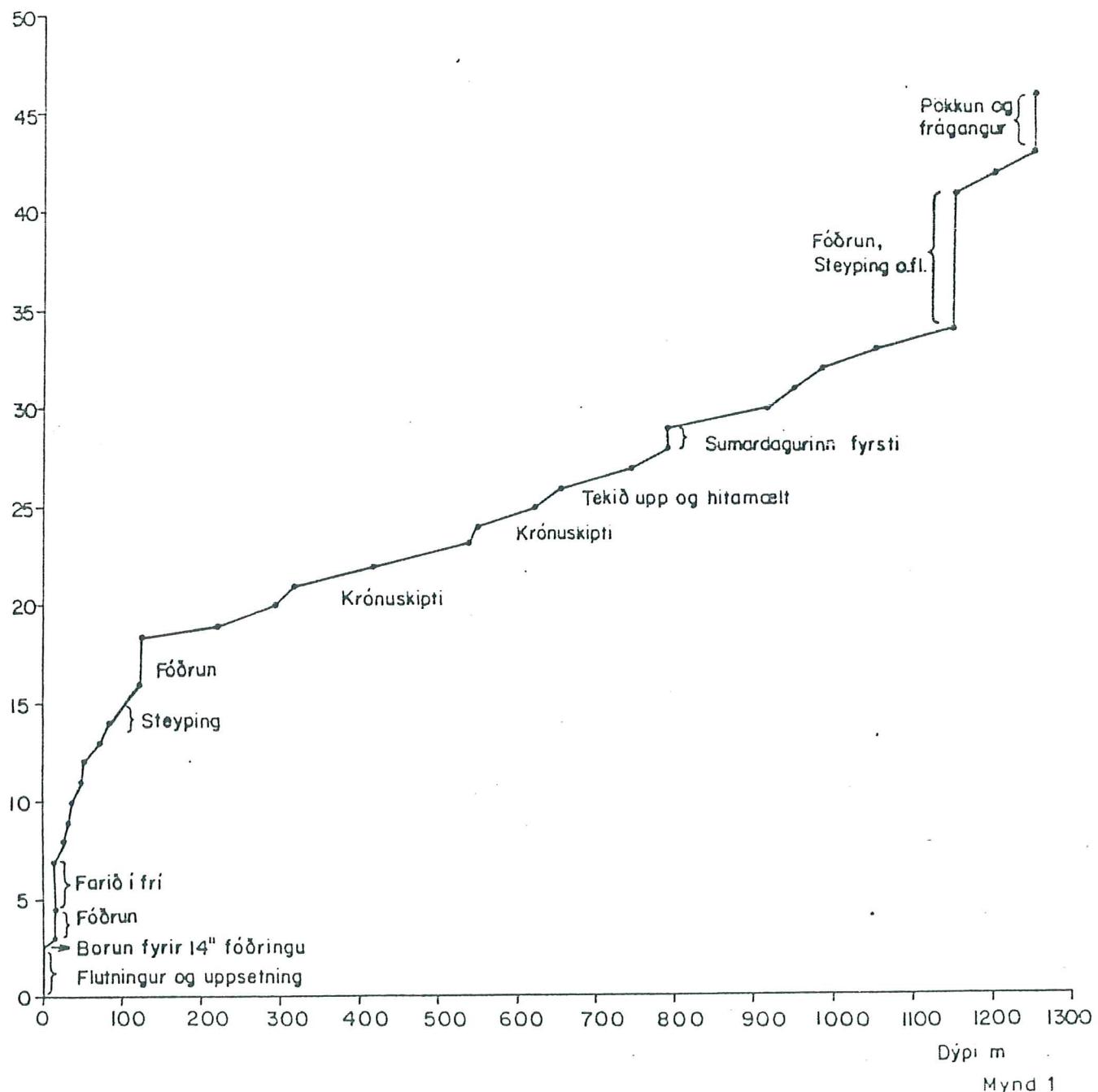
'76.02.19 HJ/AÁ

Tnr. 29 Tnr. 15

J-Aðald. J-Jarðb.

Fnr. 13943

Verkdagar.



HITAMÆLING ÁRNESÍ.

'760312 KS/AÁ

Tnr. 30 Tnr. 1623

J-Áðald. J-Hitam

Fnr. 13993

