



ORKUSTOFNUN

**Forsendur fyrir hönnun og staðsetningu holu
KJ-29**

**Ásgrímur Guðmundsson,
Sverrir Þórhallsson**

Greinargerð ÁsG-SP-97-02

Forsendur fyrir hönnun og staðsetningu holu KJ-29

Staðsetning

Holu KJ-29 hefur verið valinn staður austan skiljustöðvar í gömlu borplani, sem gert var haustið 1976. Staðsetningin er sýnd á mynd 1. Þar er 56,2 m djúp höggborshola fóðruð og steipt (nr. 58029 í gagnagrunni OS) ásamt steiptum kjallara. Holan var höggboruð á tímabilinu 18. - 30 ágúst 1976 með höggbor 3. Miðað við þá atburðarás sem átti sér stað á þeim árum var fallið frá því að bora dýpra niður á þessu svæði tímabundið að minnsta kosti. Þar réði fyrst og fremst áhrif kvikugasa sem breiddust út um jarðhitakerfið. Ennfremur hefur slælegur árangur í holu KJ-6, bæði hvað varðar afköst og gæði vökvans, haft þar mikil áhrif á.

Viðhorfsbreyting varð eftir að hola KJ-28 var boruð. Þá kom í ljós mjög gott þrýstisamband milli hennar og holu KJ-6 eins og sýnt er á mynd 2. Svörun vatnsborðsbreytinga í holu 6 var mjög sterk þegar einhverjar breytingar áttu sér stað í holu KJ-28. Aftur á móti var veikari svörun í nærliggjandi holum, norðan við holu KJ-28 (mynd 2).

Næsta hola við er hola KG-12 og eru upplýsingar og niðurstöður rannsókna við borun hennar lagðar til grundvallar við undirbúning borunar holu KJ-29.

Lýsing á staðháttum

Holan var staðsett austan til á Leirbotnasléttunni um það bil 100 m vestan við brekkurætumar. Jarðfræðileg einkenni í næsta nágrenni eru Hveragilssprungan sem hverfur á yfirborði undir Leirbotnanna og svo sprunga sem liggur við holur KW-1 og KG-12 og talið er að fæði holur KJ-9 og 28 á 1200 og 800 m dýpi. Báðar eru þessar sprungur áhugaverðar sem skotmark fyrir holuna, en vegna lítils halla þeirra er erfitt að segja til um nákvæmlega á hvaða dýpi holan kemur til með skera þær. Út frá afstöðu holunnar til sprungnanna má gera ráð fyrir að þær verði ekki skornar ofan 1000 m dýpis, öllu frekar á 1000 - 2000 m dýpi. Vægur halli sprungnanna (áætlaður 3-5° til vesturs) undir holuna og hugsanlega smá frávik væntanlegrar holu frá lóðréttu geta auðveldlega valdið verulegum skekkjum í útreikningum á skurðpunkti holu og sprungna.

Hola KG-12, sem hér er miðað við í öllum forsendum varðandi jarðlagastaflann og hita og þrýstiástand, er að öllum líkindum austan við ofangreindar sprungur og hefur þar af leiðandi ekki skorið þær. Holan var nokkuð þétt í borun eins og fram kemur á mynd 3. Þar er sýnt einfalt jarðlagsnið teiknað samhliða borhraða og skolvatnsmælingum meðan á borun stóð. Því miður voru ekki til gögn um dæluprýsting og dælingu ofan við vinnsluhlutann, en mælingar á skoltapi voru til úr allri holunni. Það kemur skýrt fram að holan lekur lítið sem ekkert í borun, aðeins á um 400 m dýpi er leki sem eitthvað kveður að. Gel var notað til skolunar við borun fyrir fóðringum.

Á mynd 4 er reiknaður berghiti og þrýstingur sýndir samhliða einfölduðu jarðlagsniði. Berghitinn sýnir að skilin milli efra- og neðrakerfis Leirbotna eru á 800 - 1000 m dýpi. Með öðrum orðum þá stigur hitinn all ört á þessu bili og hefur náð suðumarksferli á um 1000 m dýpi og fylgir honum niður eins og vitneskja er um.

Á mynd 5 er sýndur hiti á skolvatni niður og upp ásamt mismunahita. Þar er um að ræða upplýsingar sem þægilegt er að hafa til samanburðar við núverandi verk. Litill leki var í holunni og því eftirtektarverk hvað skolið hitnar hratt þegar dregið er úr dælingu. Ekki voru til gögn um skolhita úr efri hluta holunnar.

Til samanburðar við borun holu KJ-29 þá er höfð hér stutt lýsing af megindrattum jarðlaga eins og þau eru í holu KG-12 og sýnd eru á myndum 3 og 4:

Móbergsmýndun 80 - 250 m dýpi. Móbergstúff einkennir myndunina og er það mikið ummyndað og útfellingaríkt. Í neðstu 25 metrunum ber nokkuð á basaltbreksíu. Ofan á mynduninni grillir í lítið ummyndað basalt. Berg af þessu tagi veitir litla fyrirstöðu og er að jafnaði auðboranlegt. Nokkur hætta er á að það vaskist út í borun, en það hefur ekki reynst vera hrungjamt.

Hraunlagamýndun 250 - 440 m dýpi. Grágræn finkorna til meðalkorna basaltlög eru ráðandi á þessu dýptabili. Þykktin er mjög breytileg eða þetta 2 - 10 m. Einstök grófkorna basalt eða dólerítlög eru skorin. Á lagamótum eru útfellingar áberandi og hafa þétt hraunlagstaflann mikið til. Algengustu steindir sem sjást eru kalsít, kvars og pýrít auk leirsins. Klórít sést án blöndunar við aðrar leirsteindir frá 250 m niður á tæplega 400 m dýpi. Það gefur til kynna að þessi hluti basaltsins sé frekar þéttur. Neðan 400 m dýpi sést klórít með smektíti og blandlagsleirsteindum. Það eru greinileg merki um kólnun enda er vitað út frá ummyndun að svæðið hefur fylgt suðumarksferli líklega upp undir yfirborð en hefur síðan kólnað í efri hlutanum. Á um 400 m dýpi var mesta skoltapið í holunni, þ.e. við neðri mörk hraunlagamýndunarinnar og er það sambærilegt við aðrar Leirbotnaholur. Basaltið er mjög mishart og þar af leiðandi er borhraði breytilegur. Sprungið berg getur takmarkað borhraðann.

Móbergsmýndun 440 - 820 m dýpi. Ljósgrænt útfellingaríkt túff er ráðandi á þessu dýptarbili. Nokkur þunn basaltlög sjást. Basaltbreksía er áberandi frá 575 - 600 m dýpi. Basaltinnskot bæði fin og grófkorna gegnumstinga móbergið. Ummyndunarhiti er hærri heldur en mældur hiti, en kalsít er góður mælikvarði á yfirprentun í ummyndun og gefur þá til kynna kólnun og að hitinn er vel undir suðumarksferli. Um miðbik myndunarinnar sjást háhitasteindir eins og epidót og eru síðan ráðandi niður alla holuna. Það er ekki fyrr en kalsít hverfur að háhitasteindimar eru góð vísbinding um hita. Bergið er tiltölulega þétt vegna útfellinga en við innskot gætu verið lekastaðir. Miklar líkur eru á að leki komi fram við neðri mörk myndunarinnar, þegar borað er úr móbergi í basalhraunlög. Bergið er auðboranlegt en harðir eitlar koma inn, þar sem innskotin eru. Búast má við því að bergið geti vaskast út í borun.

Hraunlög og innskot 820 - 2222 m dýpi. Efst er komið í hraunlög græn af ummyndun, fin - meðalkorna og ná þau niður á rúmlega 900 m dýpi. Þar neðan við er komið í innskot, fyrst finkorna og ferskleg og síðan í grófkorna berg, sem teygir sig niður fyrir 1000 m dýpi. Þar fyrir neðan og niður að botni eru innskot ráðandi. Öðru hvoru er komið í ummyndað basalhraun eða þunnar breksíur og eykst borhraði iðulega í þeim köflum eins og sést á myndum 3 og 4. Vegna þess hve lega innskota er breytileg frá einum stað til annars, þá er ekki auðvelt að segja fyrir um á þessum kafla með góðu móti við hverju megi búast. Upplýsingar um hita og þrýsting eru aftur á móti sambærilegar og sýna að því leyti við hverju megi búast.

Forsendur fóðrunardýpis

Við hönnun háhitahola eru það einkum tvær meginforsendur sem ráða dýpi fóðringa:

Jarðfræðilegar forsendur ráða mestu um hönnun holunnar. Þá er ákveðið hve djúpt skuli borað og af hvaða

dýptarbili vinnslan skuli eiga sér stað (opni hluti holunnar).

Öryggisforsendum þarf að fullnægja með því að setja nokkrar fõðringar í holuna, þannig að ávalt sé tryggt að síðasta fõðringin geti tekið á sig á hámarksþrýsting sem vænta má við borun næsta áfanga á eftir, fari holan óvænt í gos. Þessu er náð með því að setja þrjár fõðringar í háhitaholur:

1. Yfirborðsfõðringu	frá 0 til 15m/100 m
2. Öryggisfõðringu	frá 0 til 200m/600 m
3. Vinnslufõðringu	frá 0 til 600m/1200 m

Fõðringar þessar eru settar að lokinni borun hvers áfanga og eru steyptar fastar. Öryggiskrõfumar leiða til þess að fõðringamar skarast um 40 %.

Forsendur fyrir hámarksþrýstingi við fõðurrõrsendann, sem getur orðið við skyndigos í borun, byggjast á útreikningum á þrýstingi í holu í rennsli (neðanjarðargos). Lengd fõðringa þarf síðan að vera næg til að unnt sé að ná sama, eða hærri þrýstingi með því að setja þunga leðju í fõðringuna. Dæmi um neðanjarðargos var hola KG-4 í Krõflu (Sjálfskaparvíti), sem ekki varð hamin þar eð vinnslufõðringin var of stutt. Við mótun krafa við borun holu KJ-29 er tekið mið af hita- og þrýstimælingum sem gerðar voru í holu KG-12 og úttfrá því er áætlað að hiti í neðrihluta jarðhitakerfisins sé á suðumarksfærlu. Forsendur fyrir dýpi fõðringa í holu KJ-29 miðast við eftirfarandi:

- Hámarks hita, þ.e. suðumark á hverju dýpi (suðumarksfærell) í neðri hlutanum en 190 °C í þeim efri. Í þessu tilfelli er ekki tekið tillit til áhrifa vegna hlutþrýstings gastegunda á lækkun hitastigsins.
- Þrýstingur miðast við mældan þrýsting í holu KG-12.
- Æð komi inn í botni og streymi upp holuna og út rétt neðan við fõðringaskóinn (sbr. KG-4). Miðað við að ekkert þrýstifall verði við innrennsli í holuna frá jarðhitakerfinu.
- Þrýstifall í holunni vegna eðlisþyngdar og þrýstifalls. Samkvæmt mælingu í holu KG-4 reyndist það vera um 0,15 bar á 10 m þegar holan var í gosi. Fyrir holu KJ-29 eru tvær meginforsendur notaðar:
 1. Þrýstingur við fõðurrõrsendann er reiknaður út frá mesta þrýstingi í botni holu (suðuþrýstingi) að frádrægnum hydrostatiskum þrýstingi í holunni fylltri af gufu. Þetta gefur þrýstigræðient 0,06-0.1 bar/10 m (mynd 6, grænir ferlar) eftir því hver meðalþrýstingurinn er í holunni. Þessar forsendur eru notaðar í Nýsjálenskum staðli "Code of practice for deep geothermal wells. NZS 2403:1991".
 2. Þrýstingur er reiknaður út frá ætluðu meðal þrýstifalli í blásandi holu með tvífasarennsli. Í þessu tilviki er reiknað með 0,3 bar/10 m þrýstifalli (mynd 6, rauðir ferlar).

Reynsla af því að fást við óvænt gos ("blow-out") úr holum sem voru svipaðar að dýpt (Krafla KG-4, Sjálfskaparvíti og NJ-11 á Nesjavöllum) sýndu að þrýstingur gat orðið 100-120 bar við fõðurrõrsendann í gosi. Þetta eru í samræmi við forsendu 2 hér að ofan.

Ákvörðun á minnsta dýpi fõðringa

Þegar hámarksþrýstingur hefur verið ákvarðaður er það einkum tvennt sem ákvarðar minnsta dýpi fõðringanna. Annars vegar þarf jarðlagaprýstingurinn að vera nægur (miðað við eðlisþyngd jarðlaga um 2,4) til að þrýstingurinn sprengi ekki ofan af sér ofanáliggjandi jarðlög, líkt og gerðist við holu KG-3, þegar fõðring skemmdist grunnt í holunni. Hins vegar þarf borleðja með þyngdarefnum að geta upphafið mestan mögulegan þrýsting við fõðurrõrsendann (til að kæfa óvænt gos í holunni). Miðað er við baritbætta borleðju með eðlisþyngd 1,4 í holunni. Æskilegt er að ná nægum þrýstingi með vatni (eðlisþyngd 1), einkum þegar verið er að setja leiðarann í holuna í verklok..

Hola KG-29 er hönnuð sem 2100 m djúp háhitahola. Á mynd 6 er sýnt hvernig mismunandi forsendur hafa áhrif á dýpi fódninga. Samkvæmt því skal vinnslufóðringin ná niður á a.m.k. 920 m dýpi, öryggisfóðringin á 415 m dýpi og yfirborðsfóðringin á um 60 m. Hér er um að ræða ýtrustu kröfur, en verulegar upplýsingar liggja fyrir um Kröflusvæðið eftir umfangsmiklar boranir, m.a. frá holu KG-12 eins og getið hefur verið um hér að ofan. Þar tekur vinnslufóðringin mið af því að fæða af efra kerfið og nær niður í tæplega 1000 m dýpi, en öryggisfóðringin nær niður í tæplega 300 m dýpi. Ef tekið er mið af ýtrustu kröfum og þekkingu af nærliggjandi holum þá þarf öryggisfóðring að ná niður á 300 - 450 m dýpi og vinnslufóðring í allt að 1000 m dýpi en staðarjarðfræðingur mun taka um það ákvörðun í samráði við verkkaupa. Mynd 7 sýnir skematískt holuhönnun, sem er m.a. heimfærð upp á KJ-29.

Til að fullt öryggi sé tryggt þarf borinn að hafa aðgang að barit þyngdarefni til að laga borleðju með eðlisþyngd 1,4 en efnið notkunin á barium sulfati er þá um 525 kg í hvern rúmmetra af leðju eða alls um 20 tonn.

Öryggislokar við borun

Til þess að loka holunni meðan borstengur eru í holunni eru svonefndir öryggislokar "blow-out preventers" og eru þeir af fjórum gerðum. Á mynd 8 er sýnt hvernig þeim er komið fyrir á holunni og val þeirra við hvern áfanga.

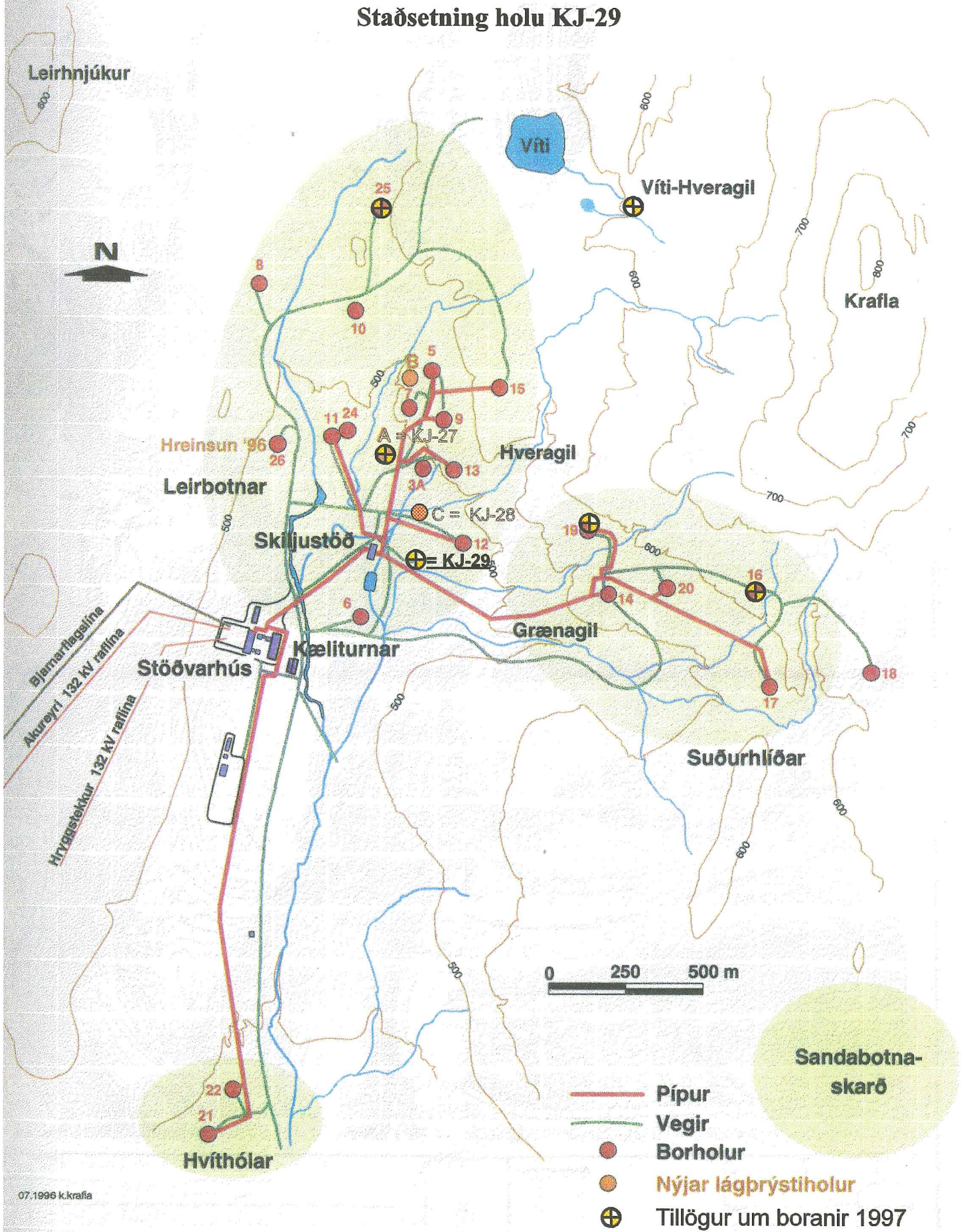
- **Belggosvarar** (Shafer og Hydril) loka að borstöngum, álagsstöngum og fódningum. Er þá gúmmipétting þrýst saman og lokar hún þá holunni. Hitapól þessara loka er takmarkað. Gert er ráð fyrir að belggosvarar verði hafðir á holunni við borun allra áfanga holunnar.
- **Öryggisloki** sem lokar að stöngum er með stáltungu og gúmmipéttingu (Cameron). Lokinn getur aðeins þétt við borstengur og takmarkar það notkunarvið hans. Loki af þessari gerð er notaður við áfanga 2 og 3.
- **Pakkdós** (Grant) er höfð ofst á öryggisventlunum til að beina því sem úr holunni kemur út um hliðarstút og vernda þar með starfsmenn borsins gegn gufugosi. Í pakkdósinni er gúmmipétting sem snýst með stöngunum.
- **Holulokar** sem geta fulllokað þegar tæki eru ekki í holunni verða hafðir í áfanga 2 og 3 og er endanlegur aðalloki holunnar reyndar hafður á henni við áfanga 3.
- **Kæfingarlokar** eru hafðir til að hægt sé að dæla vatni eða þungri leðju í holuna eftir að öryggislokum hefur verið lokað til að "kæfa" holuna. Dæla borsins er fasttengd kæfingarlokunum (3") um stálleiðslu eða sambærilegri lögn.

Niðurlag

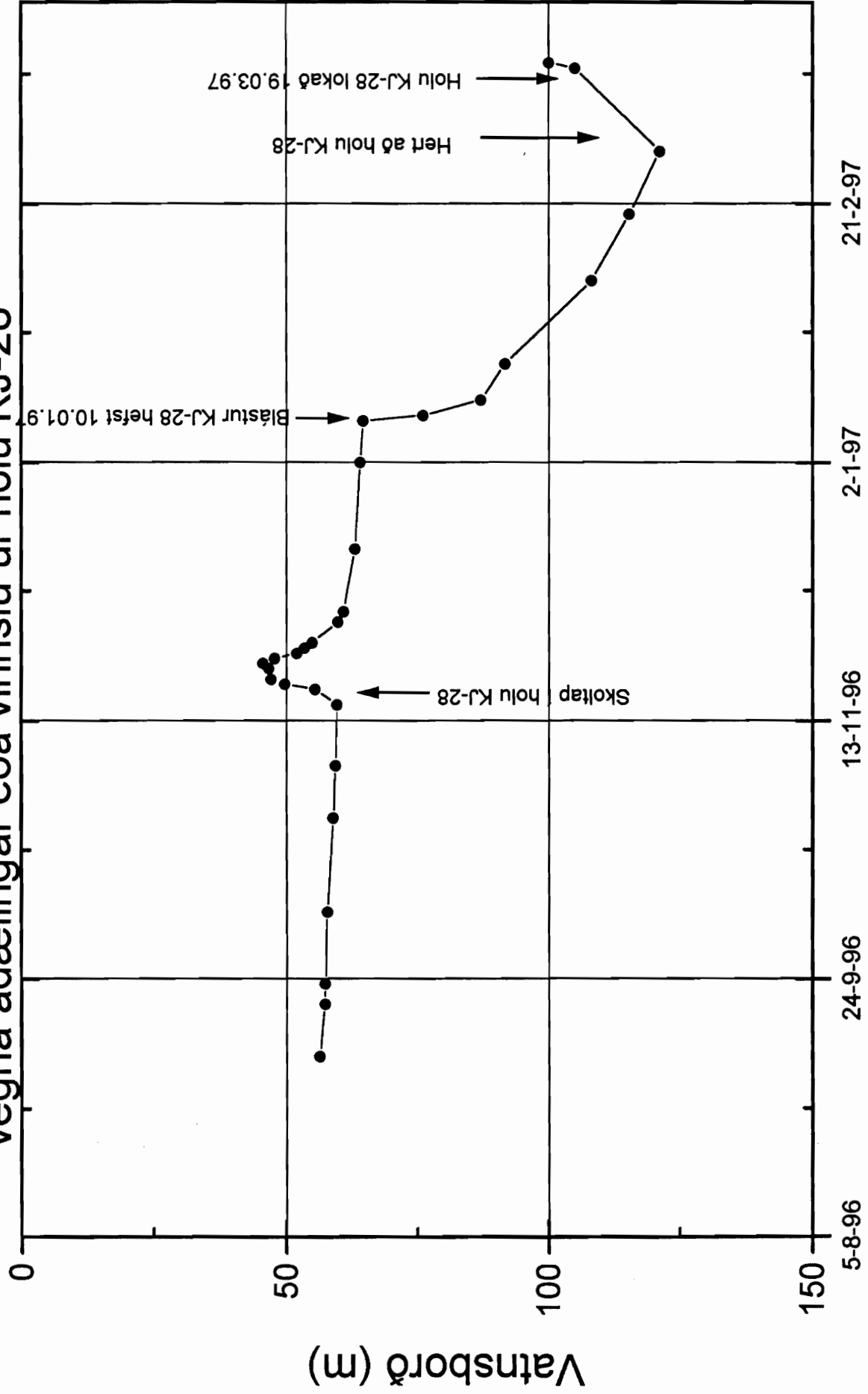
Greinargerð þessi kemur sem viðbót við verksamning, KRA-08, milli Landsvirkjunar og Jarðborana hf. Hér er kveðið nánar á um hvernig hönnun holu KJ-29 á að vera auk þess sem lagðar eru til upplýsingar frá nærliggjandi holu, sem gætu reynst gagnlegar við framkvæmd verksins. Auk þess fylgir með í viðauka hitamælingar úr holu KG-12 frá þeim tíma er hún var boruð.

Krafla 30+30 MW

Staðsetning holu KJ-29



Mynd XX: Vatnsborðsbreytingar í holu KJ-6 vegna áðælingar eða vinnslu úr holu KJ-28

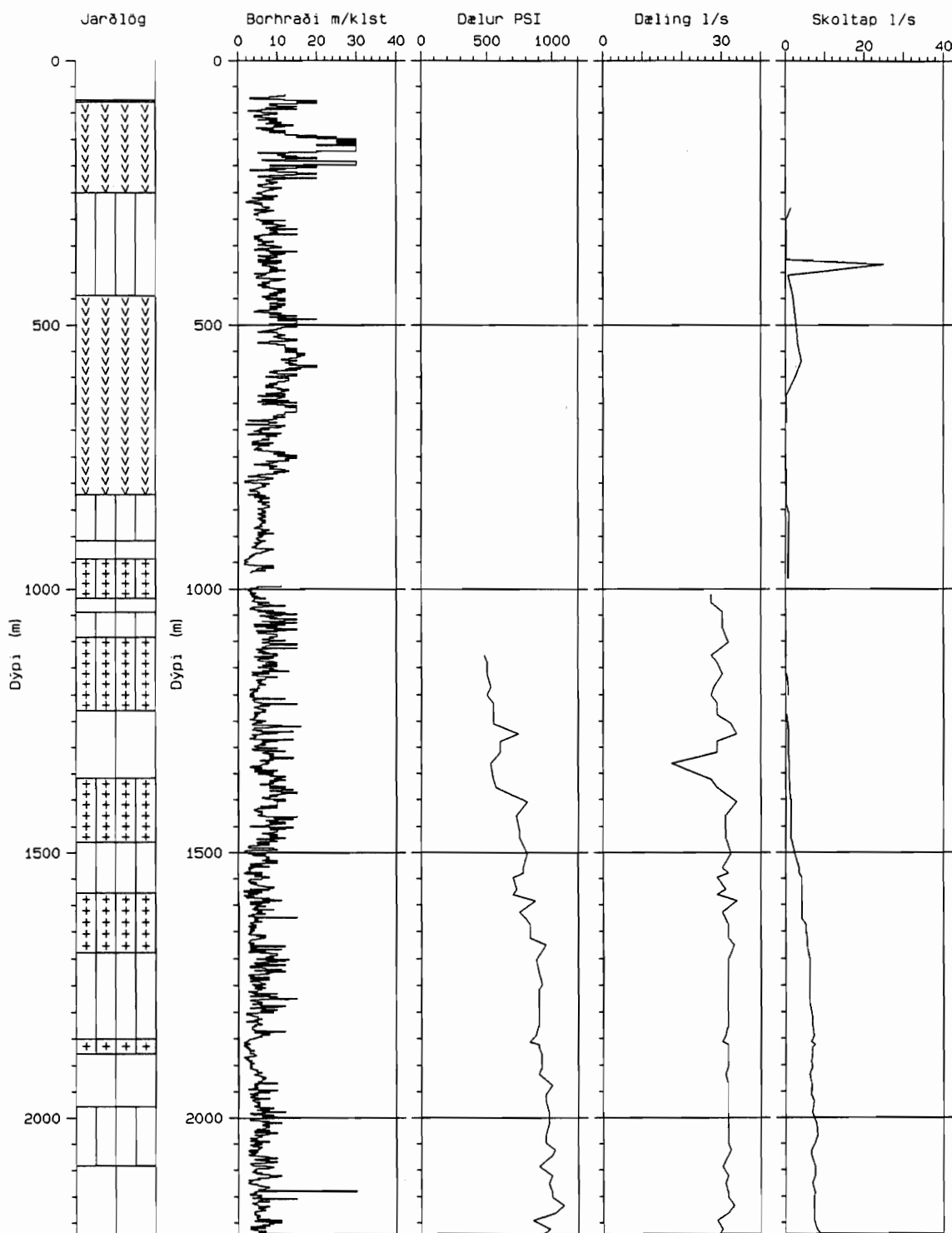


Mynd 2



KRAFLA HOLA KG-12

Einfaldað jarðlagasnið, borhraði og mælingar á skolvatni



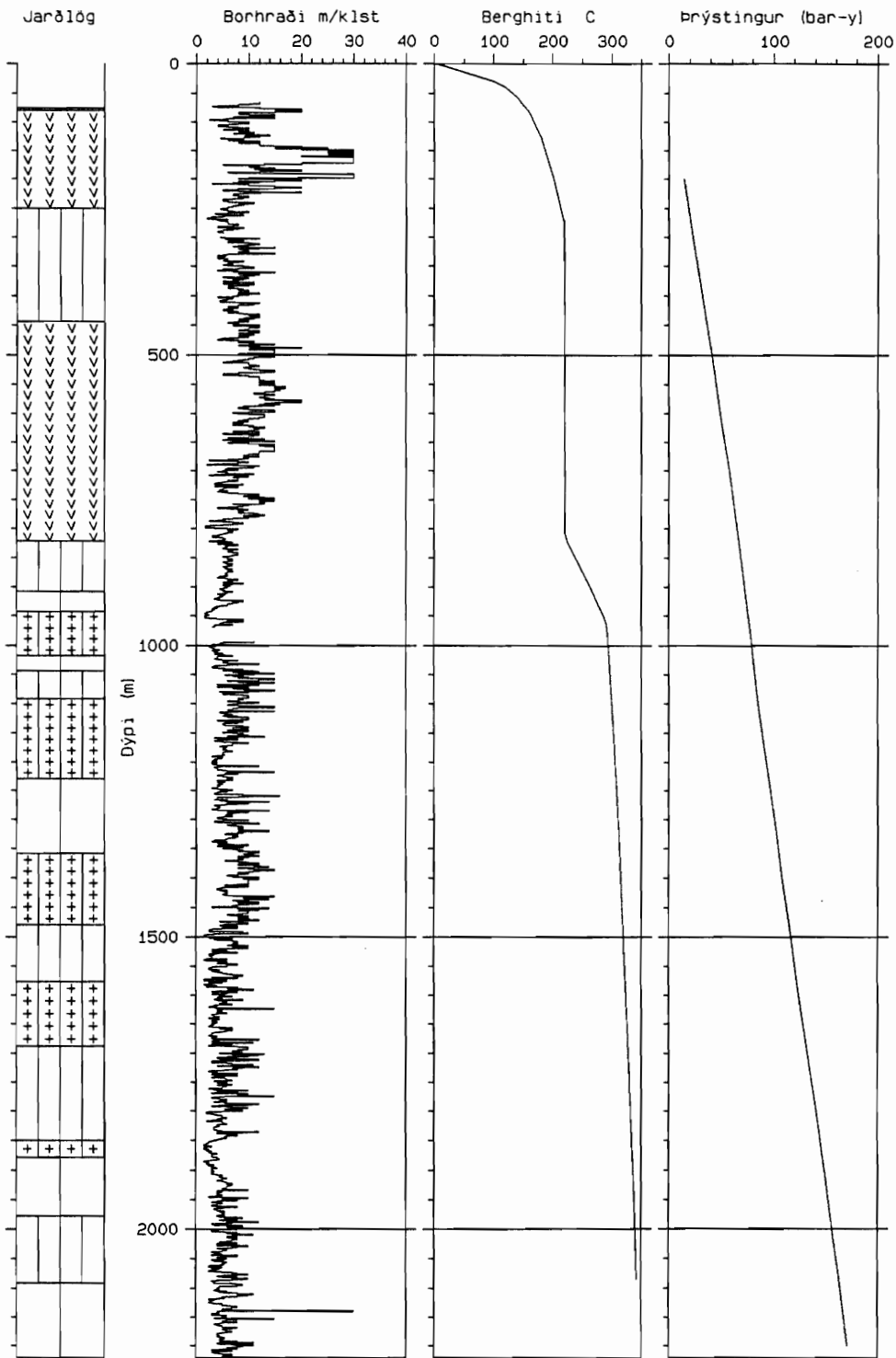
Skýringar við jarðlagasnið

- Fersklegt fín-meðalkorna basalt
- Ummyndað meðal-grófkorna basalt
- Túff
- Ummyndað fín-meðalkorna basalt



KRAFLA HOLA KG-12

Einfaldað jarðlagasnið, berghiti og þrýstingur



Skýringar við jarðlagasnið

- | | |
|--|--|
| | |
| | |

 Fersklegt fin-meðalkorna basalt

+	+	+	+	+
+	+	+	+	+

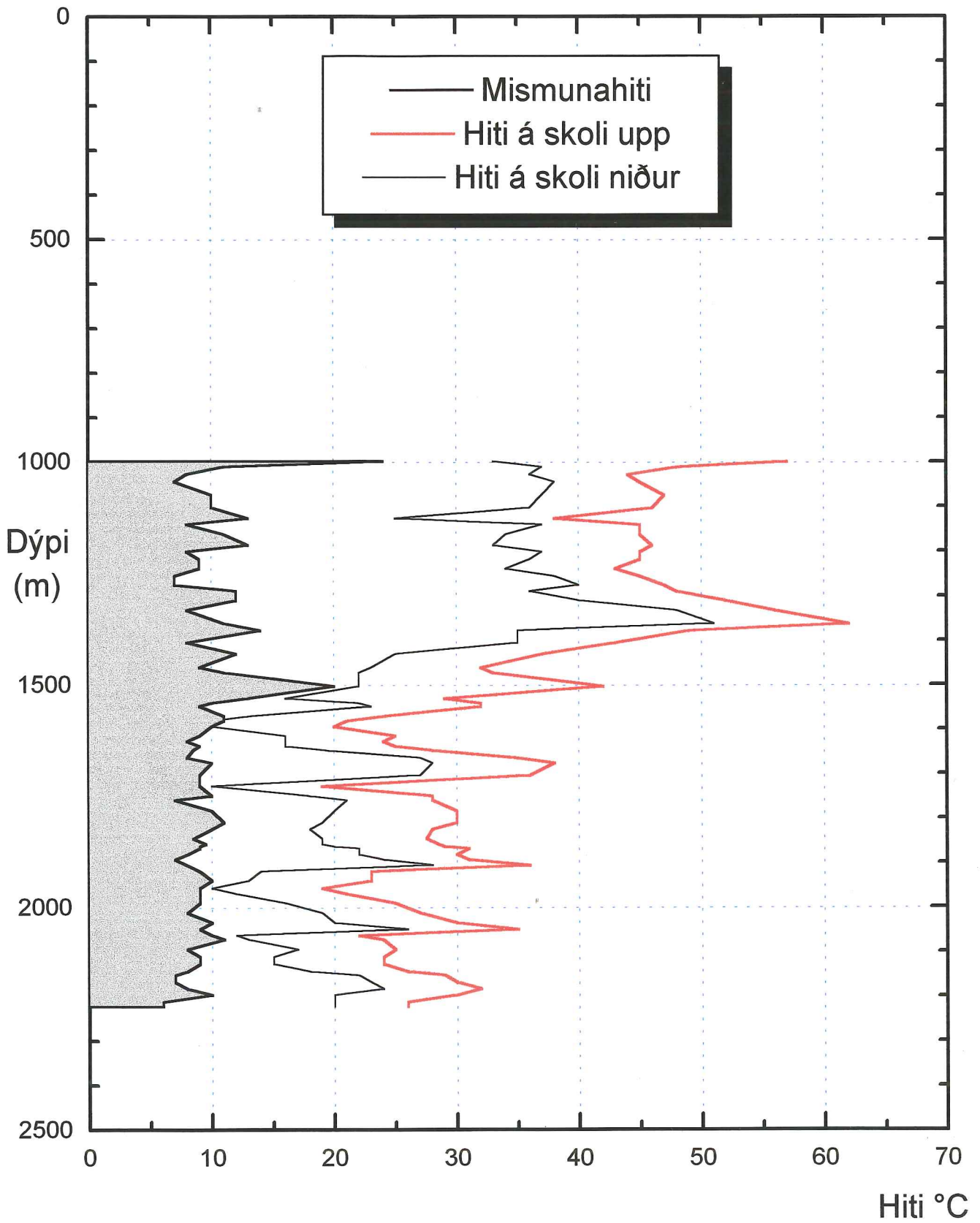
 Ummyndað meðal-grófkorna basalt

v	v	v	v
v	v	v	v
v	v	v	v

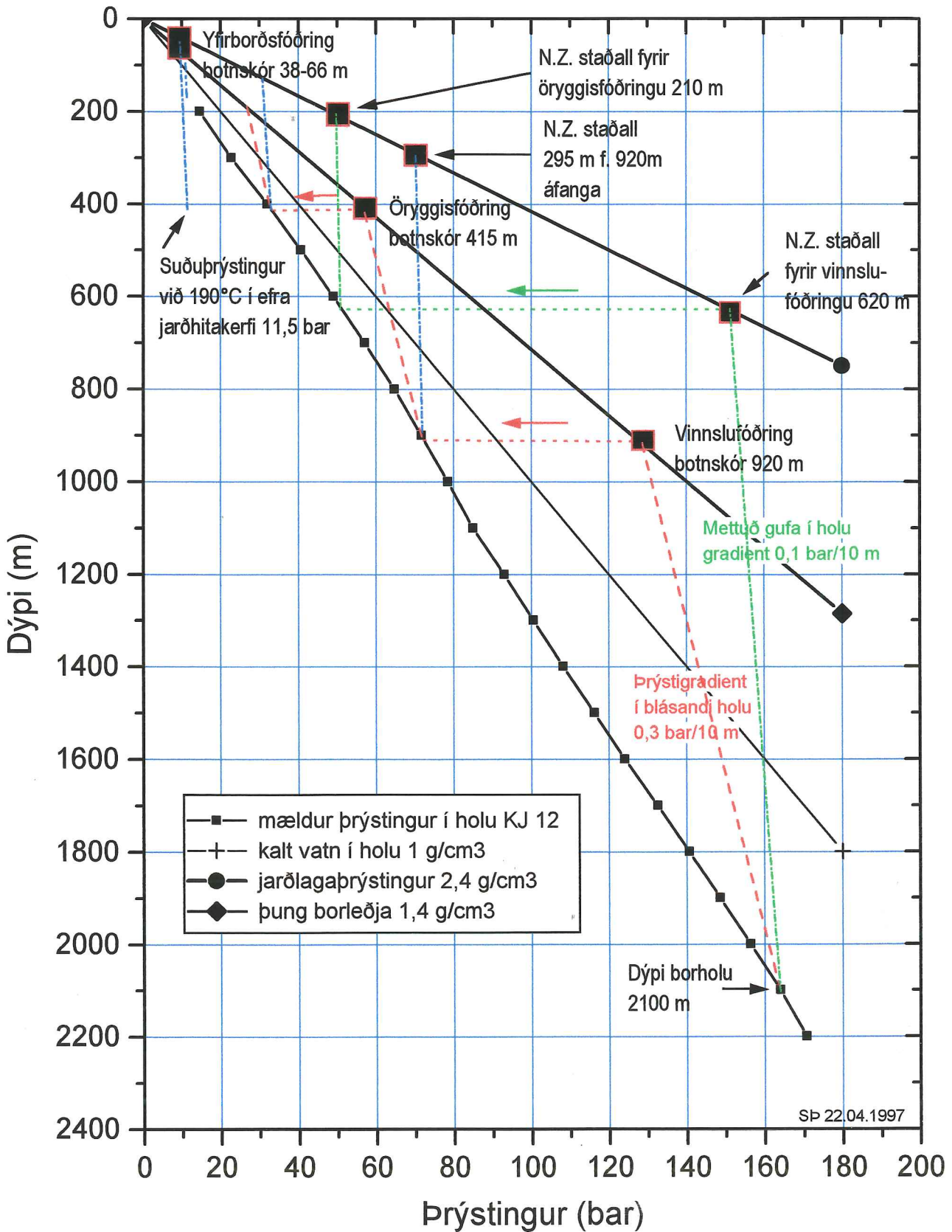
 Túff
- | | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
| | | | |

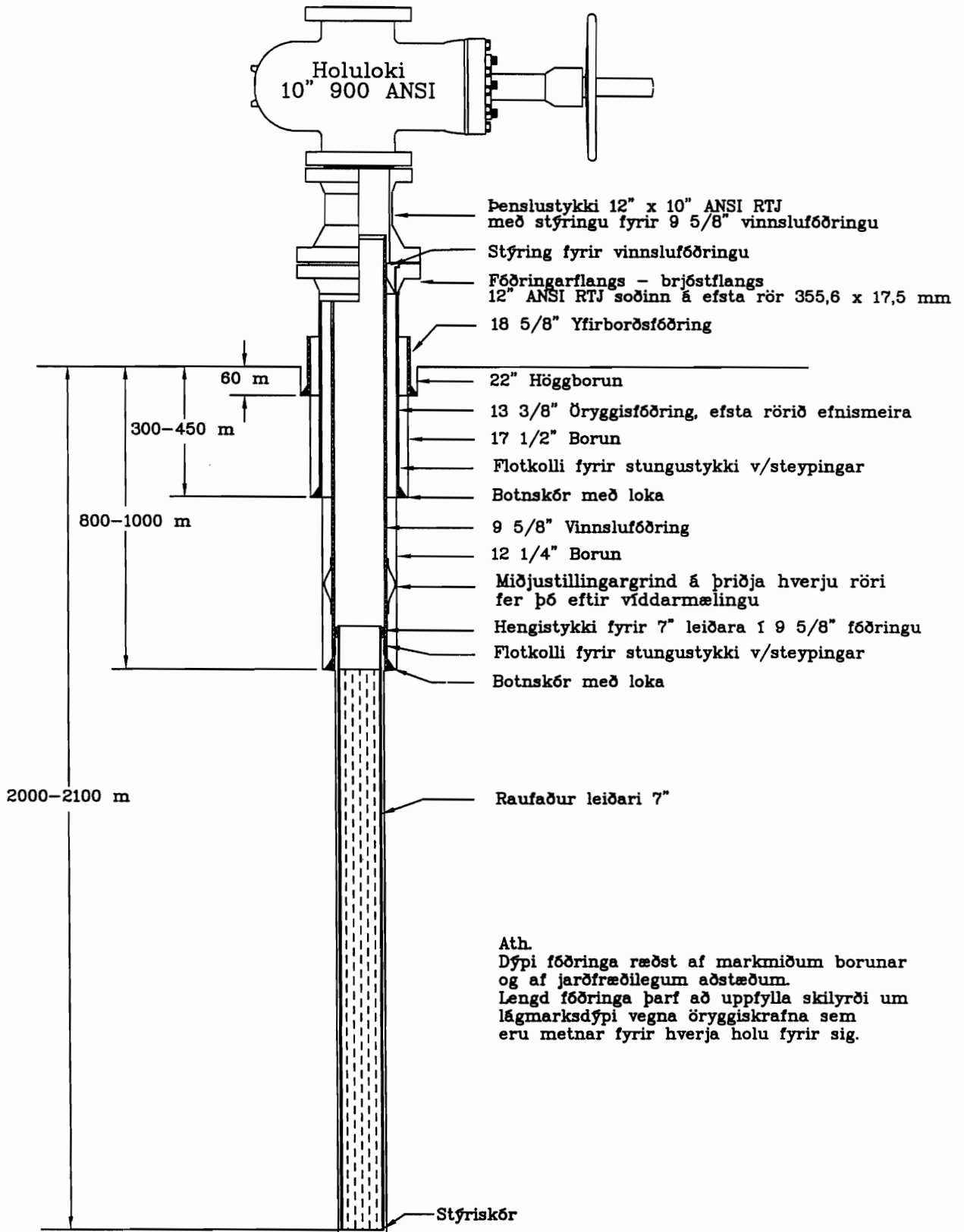
 Ummyndað fin-meðalkorna basalt

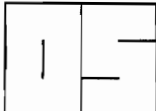
Mimmi 4



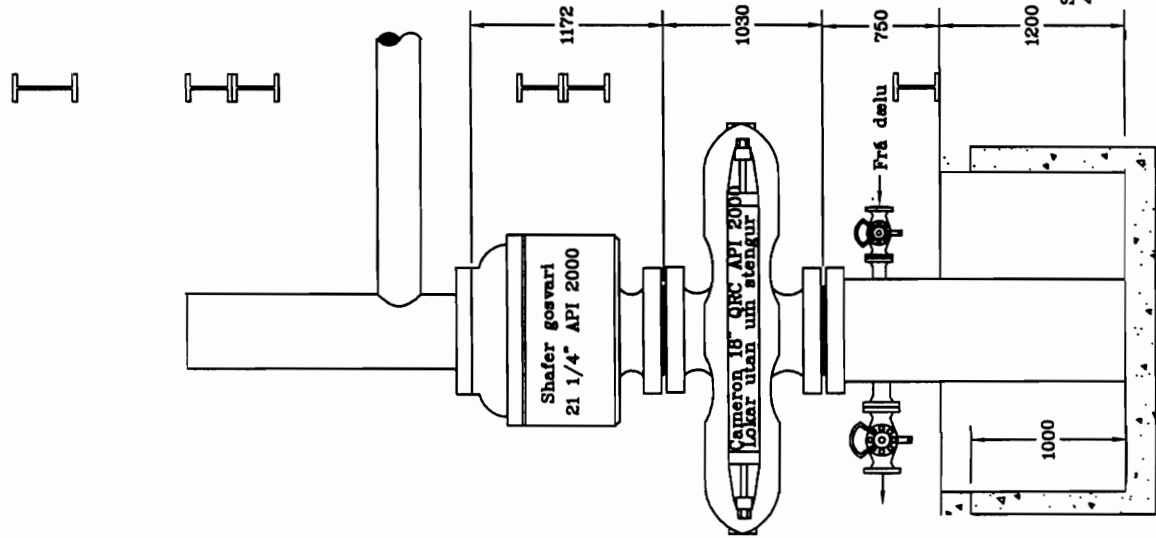
Lágmarks dýpi fóðringa fyrir 2100 m holu



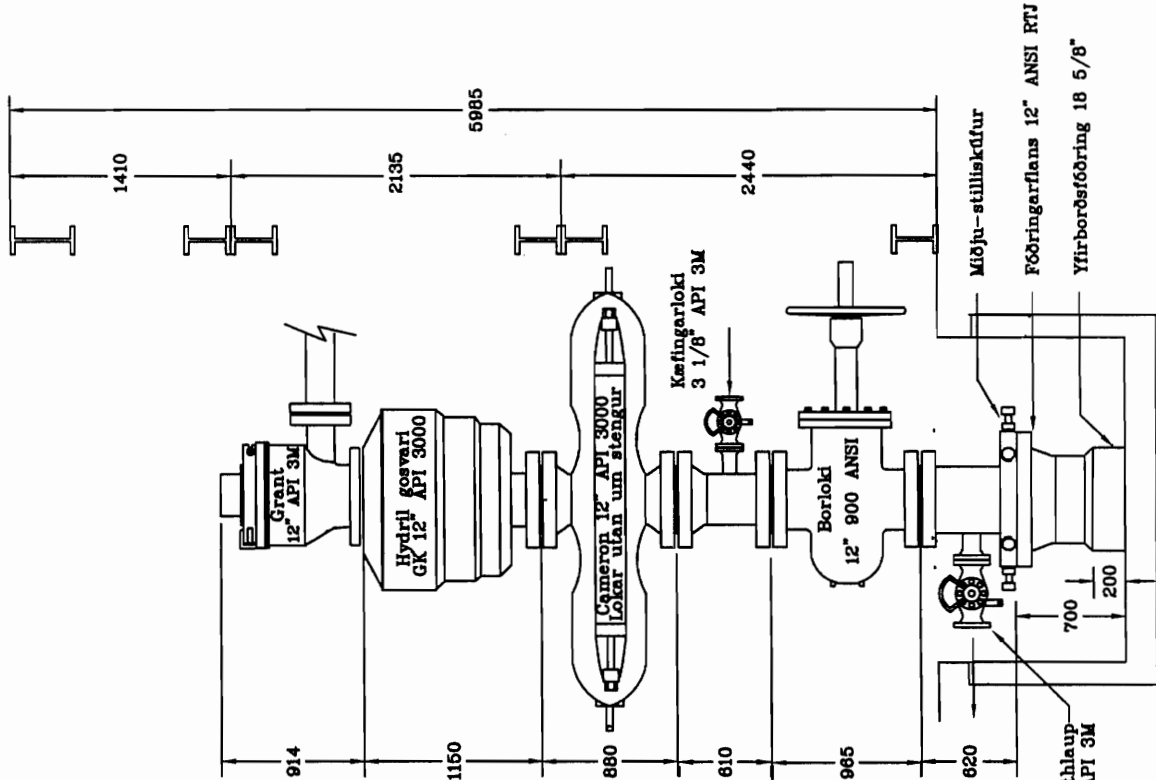


	ORKUSTOFNUN Grensásvegi 9 IS-108 Reykjavík Sími: 5696000		Landsvirkjun Kröflustöð	
	Snið 2000-2100 m háhitaholu Fóðringar og holutoppur			
Mkv.:	Hannað: SP/SLJ	Dags.: 10.02.1994	Teikning nr.: JHD-VFR-8715 breytt 22.04.1997, kra97_1d	Blað nr.: Mynd 7

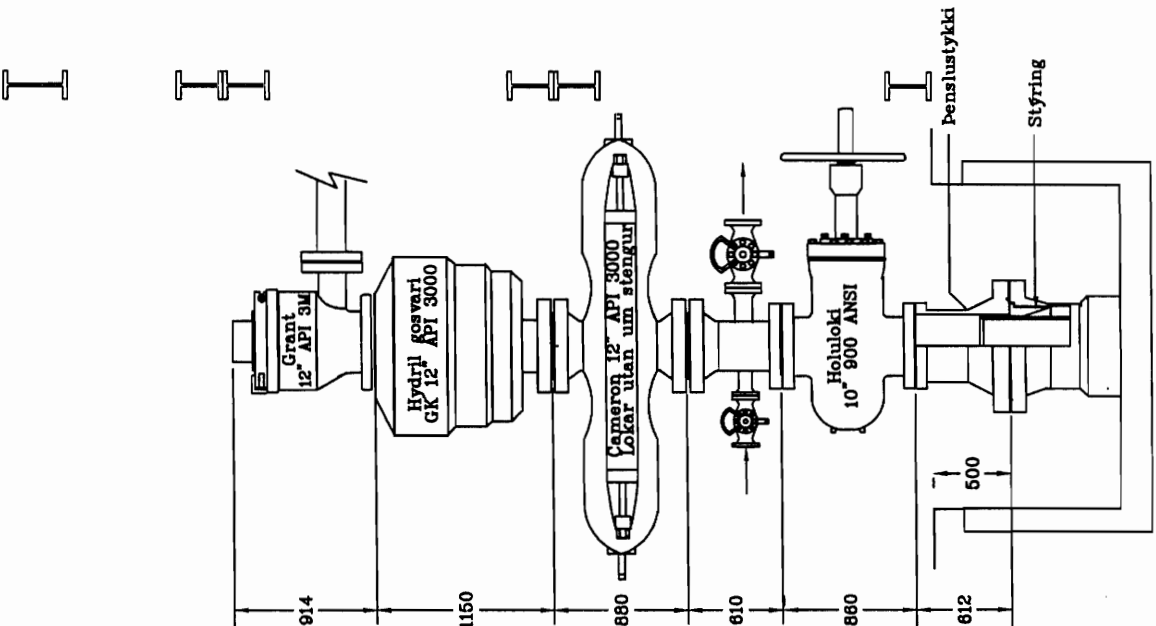
1. Afang: Borun með 17 1/2" krónu í 300-450 m dýpi



2. Afang: Borun með 12 1/4" krónu í 800-1000 m dýpi



3. Afang: Borun með 8 1/2" krónu í 2000-2100 m dýpi



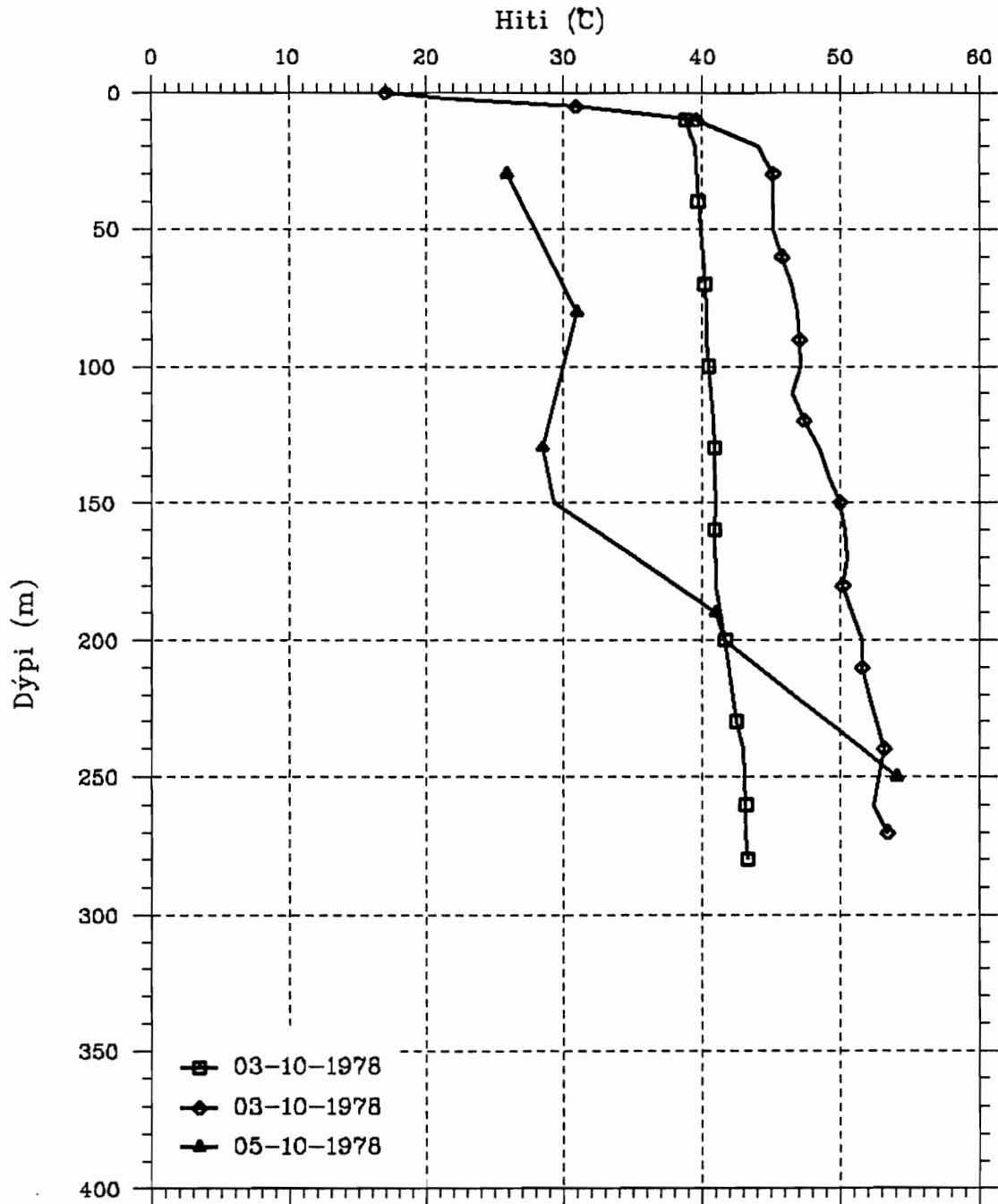
Ath.
 - Á hverri uppstillingu er 4" loki til útstreymis hólulökva eða steypu
 - Á hverri uppstillingu er 3" kæfingarioki fasttengdur dælu
 - Málsetningar á tækjum borsins á eftir að staðfesta

	ORKUSTOFNUNIN	Landsvirkjun Kröfnustöð
	Greiðslegi 9 IS-106 Sími: 5686000	Öryggisbúnaður við borun um 2000 m háttaholu
Mér: 1:50	Húsnúmer: SP/SLJ 21.02.1984 Dæmi:	Tölkning nr. JVP-VPS-975 breytt 21.04.1997, kræf. 23
		Blað nr.: Mynd 8

Viðauki

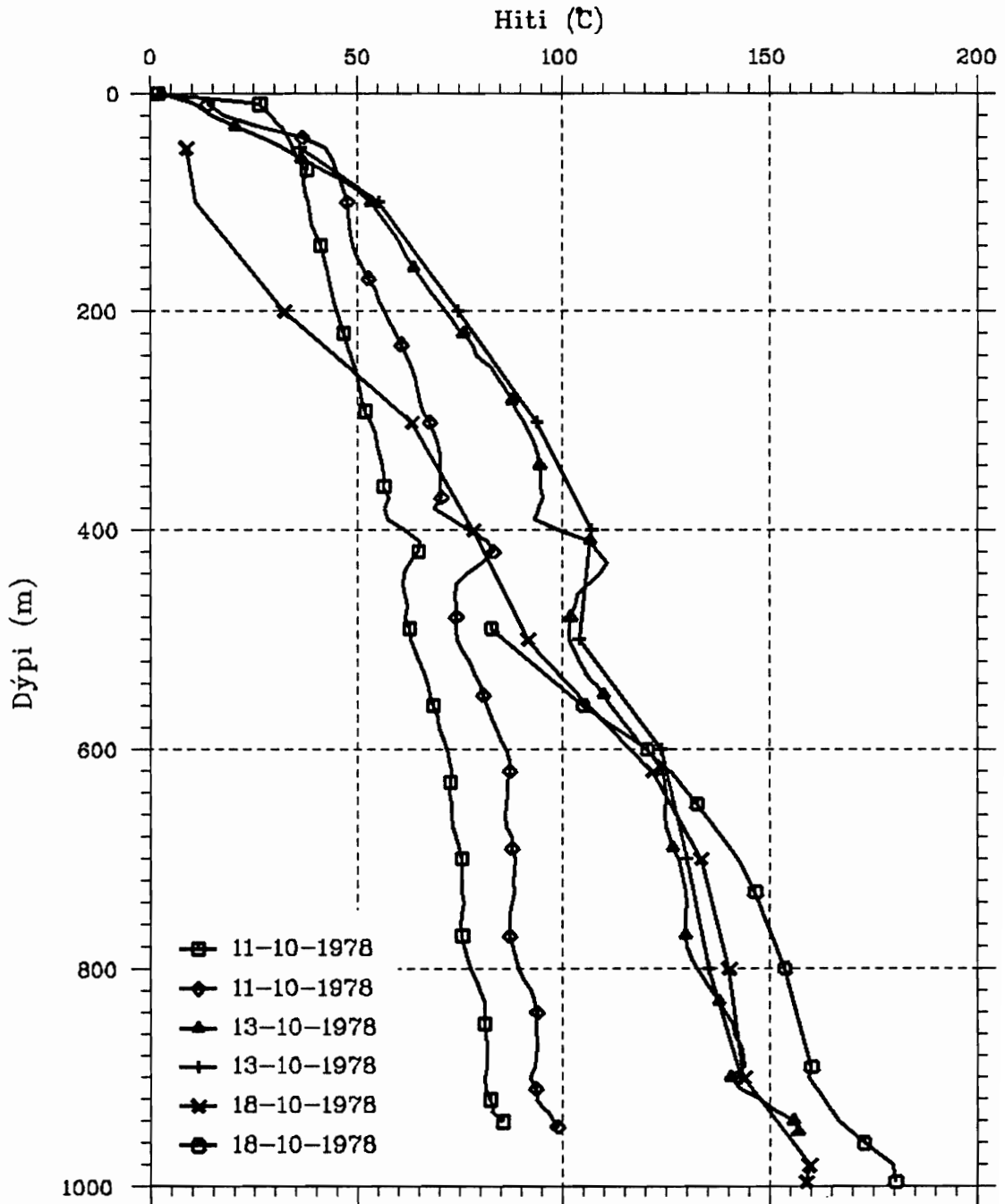
16 Apr 1997 asg
L= 58012 Oracle

Krafla hola KG-12 Hitamælingar fyrir öryggisfóðingu



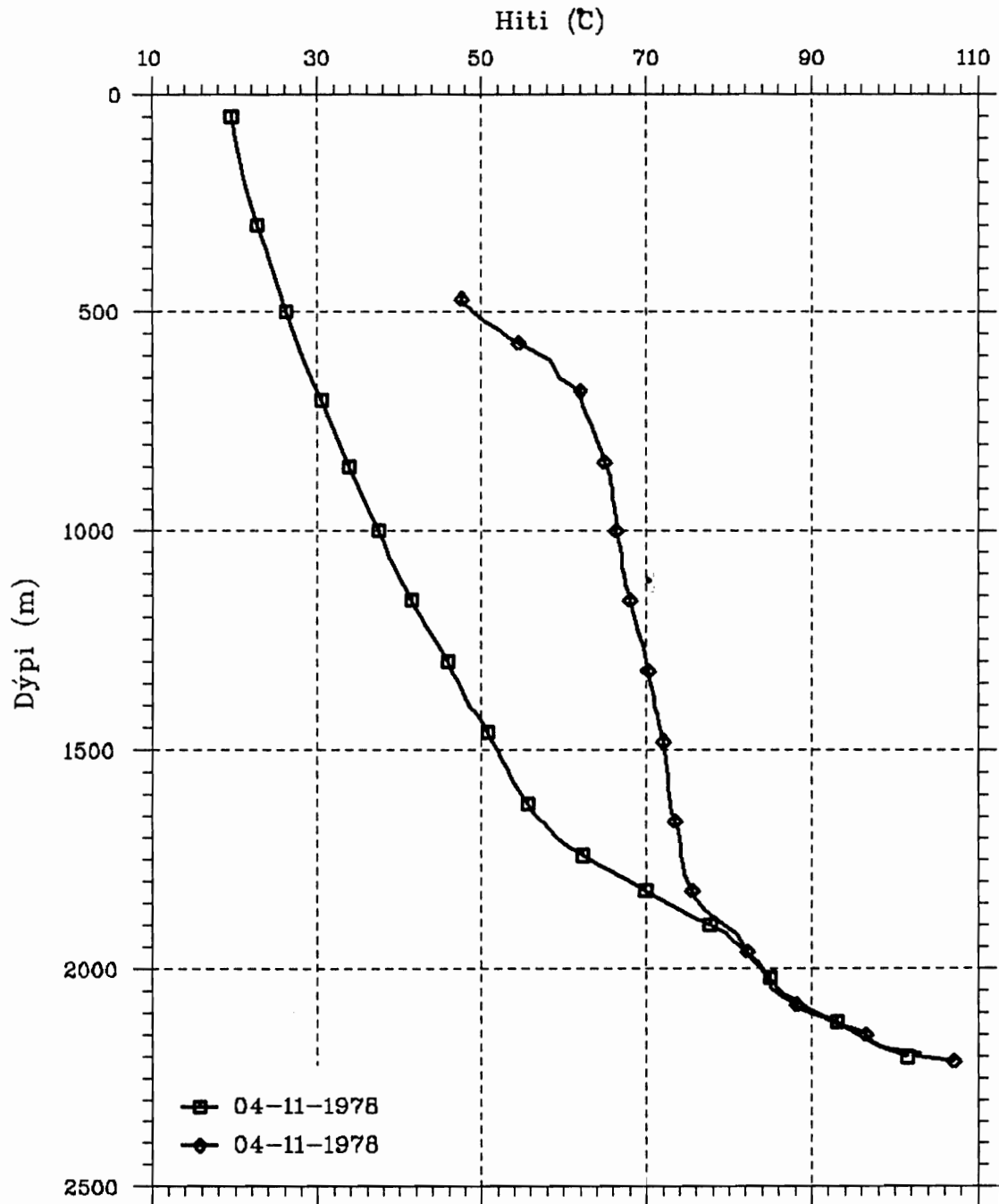
16 Apr 1997 asg
L= 58012 Oracle

Krafla hola KG-12 Hitamælingar fyrir vinnslufóðringu



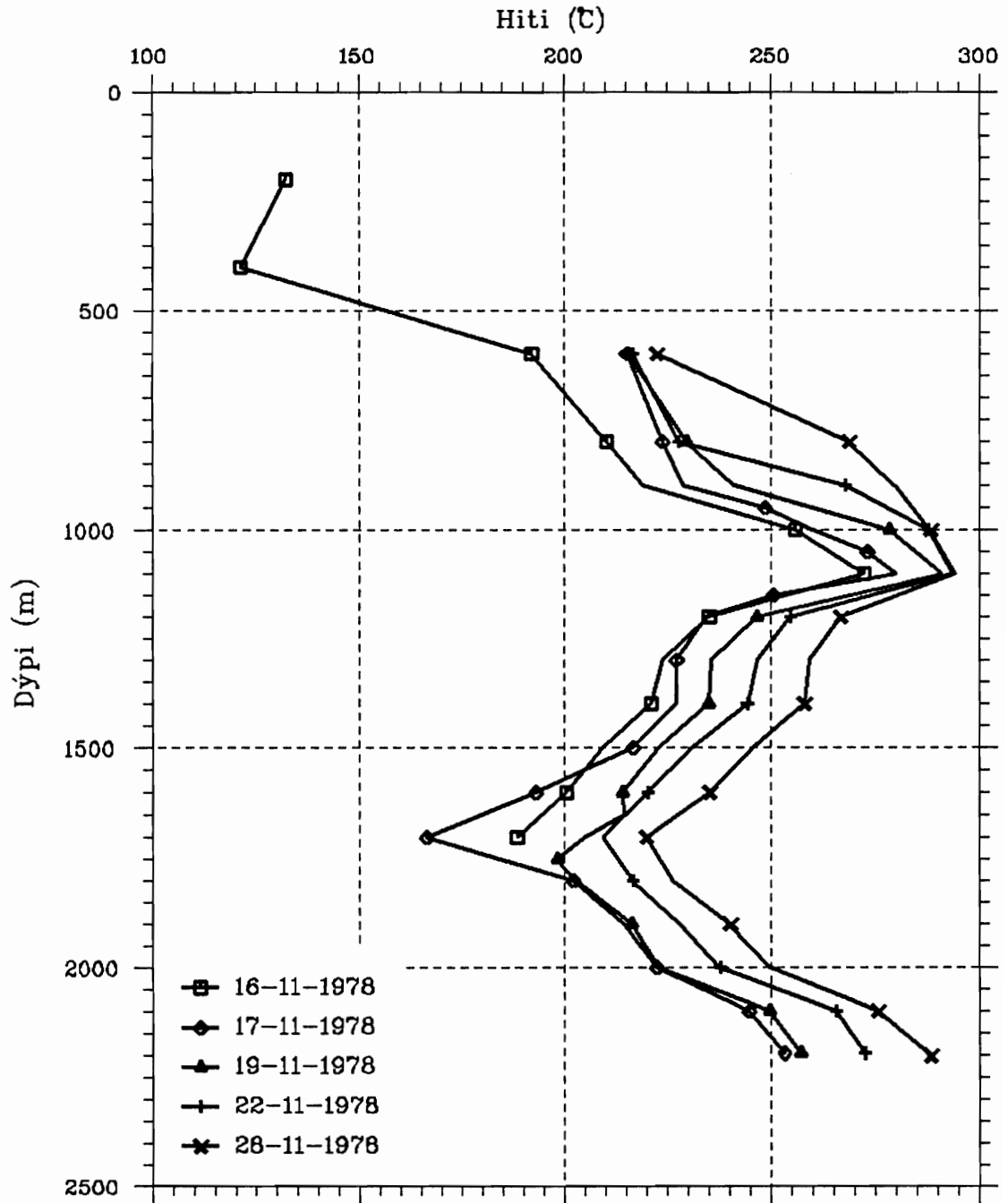
16 Apr 1997 asg
L= 58012 Oracle

Krafla hola KG-12 Hitamælingar í vinnsluhluta í borlok



16 Apr 1997 asg
L= 58012 Oracle

Krafla hola KG-12 Upphitunarmælingar eftir borun



1 Apr 1987 asg
L= 58012 Oracle

Krafla hola KG-12 Þrýstimælingar

