

**ORKUSTOFNUN**

**RANNSÓKNASVIÐ – Reykjavík, Akureyri**

## **Rannsóknarboranir við Laugaland á Þelamörk 1998 og 1999**

**Borun, mælingar og úrvinnsla gagna**



**Bjarni Gautason, Bjarni Richter og  
Ólafur G. Flóvenz**

**Unnið fyrir Norðurorku**

**2000**

**OS-2000/084**



**Bjarni Gautason**  
**Bjarni Richter**  
**Ólafur G. Flóvenz**

## **Rannsóknarboranir við Laugaland á Þelamörk 1998 og 1999**

**Borun, mælingar og úrvinnsla gagna**

**Unnið fyrir Norðurorku**

**OS-2000/084**

**Desember 2000**

ORKUSTOFNUN - RANNSÓKNASVIÐ


Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. - Sími 569 6000 - Fax 568 8896

Akureyri: Háskólanum á Akureyri, Sólborg v. Norðurslóð, 600 Ak.

Sími 463 0957 - Fax 463 0999

Netfang: [os@os.is](mailto:os@os.is) - Veffang: <http://www.os.is>



<b>Skýrsla nr:</b> OS-2000/084	<b>Dags:</b> Desember 2000	<b>Dreifing:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b> Rannsóknarboranir við Laugaland á Pelamörk 1998 og 1999. Borun, mælingar og úrvinnsla gagna	<b>Upplag:</b> 35	
	<b>Fjöldi síðna:</b> 35	
<b>Höfundar:</b> Bjarni Gautason Bjarni Richter Ólafur G. Flóvenz	<b>Verkefnisstjóri:</b> Ólafur G. Flóvenz	
<b>Gerð skýrslu / Verkstig:</b> Jarðhitaboranir, gagnaúrvinnsla	<b>Verknúmer:</b> 8-610606	
<b>Unnið fyrir:</b> Norðurorku		
<b>Samvinnuaðilar:</b>		
<b>Útdráttur:</b> Gerð er grein fyrir borun rannsóknarhola á Laugalandi á Pelamörk á árunum 1998 til 2000. Boraðar voru þrjár 300-400 m djúpar rannsóknarholur, LP-12, 13 og 16 í þeim tilgangi að afmarka betur en áður uppstreymið sem fæðir laugarnar við bakka Hörgár, og einnig holu LPN-11, vinnsluholuna á svæðinu. Í framhaldi af borun þessara 3ja holna var ákveðið að bora eina djúpa rannsóknarholu í viðbót, LP-17, og hefur þegar verið gerð grein fyrir borun hennar. Saga rannsókna á svæðinu er rakin stuttlega og raktir meginþættirnir í jarðfræði svæðisins. Helstu niðurstöður voru þær að meginuppstreymi heita vatnsins er líklega rétt norðan við holu LPN-11, en afla þyrfti frekari gagna um halla sprungunnar í jarðlögnum. Tenging jarðlaga bendir ákveðið til þess að engin umtalsverð misgengi séu á því svæði sem boranirnar ná yfir. Mikil lekt er með gangi A1V og vatn frá meginuppstreyminu rennur til norðurs eftir honum. Sprunguþéttleiki í ganginum minnkar þó áberandi til norðurs. Í kjölfar borunar LP-17 var ráðist í að dýpka holu LPN-10 og sveigja hana í stefnu VNV inn undir Hörgá. Sú borun bar góðan árangur sem greint verður frá í annarri skýrslu.		
<b>Lykilorð:</b> Lághitasævði, rannsóknarboranir, jarðlög, ummyndun, jarðlagamælingar, hitamælingar, Laugaland á Pelamörk	<b>ISBN-númer:</b>	
	<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b> 	
	<b>Yfirfarið af:</b> ÓGF	

## EFNISYFIRLIT

INNGANGUR.....	4
1.1.    Formáli.....	4
1.2.    Fyrri rannsóknir .....	4
1.3.    Jarðfræði svæðisins .....	5
2.    HOLA LÞ-12 .....	7
2.1.    Staðsetning.....	7
2.2.    Borun .....	7
2.3.    Jarðlagaskipan .....	7
2.4.    Jarðlagamælingar.....	8
2.5.    Hitamælingar .....	9
3.    HOLA LÞ-13 .....	10
3.1.    Staðsetning.....	10
3.2.    Borun .....	10
3.3.    Jarðlagaskipan .....	10
3.4.    Jarðlagamælingar.....	11
3.5.    Hitamælingar .....	11
4.    HOLUR LÞ-14 OG LÞ-15.....	11
4.1.    Staðsetning og borun .....	11
5.    HOLA LÞ-16 .....	12
5.1.    Staðsetning.....	12
5.2.    Borun .....	12
5.3.    Jarðlagaskipan .....	12
5.4.    Jarðlagamælingar.....	13
5.5.    Hitamælingar .....	14
6.    UMMYNDUN JARÐLAGA OG TENGINGAR MILLI HOLA .....	14
7.    HITAÁSTAND Í JÖRÐU Á BORSVÆÐINU .....	15
8.    NIÐURSTÖÐUR.....	18
9.    HEIMILDIR .....	19
VIÐAUKI A: JARÐLAGASNIÐ.....	20
VIÐAUKI B: HITAMÆLINGAR .....	24
VIÐAUKI C: BORSKÝRSLUR .....	32

## TÖFLUR

Tafla 1. Yfirlit um borholur sem skýrslan fjallar um.....	7
---	---

## MYNDIR

Mynd 1. Loftmynd af Laugalandi á Þelamörk.....	6
Mynd 2. Hitasnið í ganginum A1 .....	16
Mynd 3. Hitasnið milli holanna LPÝ-7 og LPÝ-8.....	17

## MYNDIR Í VIÐAUKA A

Mynd A-1. LP-12 jarðlagasnið .....	21
Mynd A-2. LP-13 jarðlagasnið .....	22
Mynd A-3. LP-16 Jarðlagasnið .....	23

## MYNDIR Í VIÐAUKA B

Mynd B-1. Hitamælingar í LP-12.....	25
Mynd B-2. Hitamælingar í LP-12.....	26
Mynd B-3. Hitamælingar í LP-13.....	27
Mynd B-4. Hitamælingar í LP-13.....	28
Mynd B-5. Hitamælingar í LP-14.....	29
Mynd B-6. Hitamælingar í LP-16.....	30
Mynd B-7. Hitamælingar í LP-16.....	31

## INNGANGUR

### 1.1. Formáli

Á árunum 1998-2000 var leitað að jarðhita í nágrenni við núverandi vinnslusvæði Hita- og vatnsveitu Akureyrar (Norðurorku) með það fyrir augum að tryggja veitunni meiri orku vegna vaxandi þarfa og til að losa hana undan því að hita vatn með raforku eða olíu. Hefur athyglin aðallega beinst að tveimur svæðum, annars vegar að landi bæjanna Grýtu og Sigtúns skammt sunnan við Syðra-Laugaland í Eyjafjarðarsveit og hins vegar svæðinu við Laugaland á Þelamörk norðan við Akureyri.

Borun þriggja rannsóknarholna við Laugaland á Þelamörk var boðin út í maí 1998 (OS-98018). Gert var ráð fyrir borun a.m.k. þriggja 300 til 400 m djúpra rannsóknarholna, á svæðinu og möguleika á að bæta við tveimur holum síðar. Í útboðinu var gert ráð fyrir að borun holnanna væri lokið fyrir árslok 1998.

Þessi skýrsla fjallar um boranir og rannsóknir sem fram fóru á árunum 1998 til 2000 fram að borun djúprar vinnsluholu. Á þessu tímabili voru boraðar 3 rannsóknarholur á svæðinu þ.e.a.s. LÞ-12, LÞ-13 og LÞ-16. Tilgangurinn með borun þessara rannsóknarholna var að afmarka betur uppstreymi það er hefur fætt laugarnar við bakka Hörgár og svo holu LÞN-11 sem hefur verið eina vinnsluholan á svæðinu til þessa. Þetta var gert með það fyrir augum, að staðsetja nákvæmlega nýja vinnsluholu sem gæti skorið uppstreymisrás jarðhitakerfisins á mun meira dýpi en LÞN-11 gerir.

Í framhaldi af borun þessara þriggja holna var ákveðið að bora eina rannsóknarholu í viðbót. Sú hola, LÞ-17, var staðsett skammt norðan við vinnsluholuna LÞN-11. Hefur þegar komið út skýrsla þar sem gerð er grein fyrir borun þeirrar holu og rannsóknnum tengdum henni (Bjarni Gautason og Steinunn Hauksdóttir, 2000). Í ljósi þeirra gagna sem aflað var í tengslum við þessar rannsóknarboranir var ákveðið að dýpka holu LÞ-10 og sveigja hana til norðvesturs. Sú borun fór fram í júlí og ágúst 2000 og tókst með henni að hitta á gjöfular æðar á tæplega 1700 m dýpi. Greint verður frá niðurstöðum þeirrar borunar í sérstakri skýrslu.

Til að átta sig á þankaganginum á bak við staðsetningu holnanna sem hér er fjallað um, er nauðsynlegt að rifja upp stuttlega rannsóknarsögu svæðisins og draga upp einfaldaða mynd af höfuðdráttunum í jarðfræði svæðisins.

### 1.2. Fyrri rannsóknir

Í skýrslu Orkustofnunar frá 1984 um Laugaland á Þelamörk er gerð ítarleg grein fyrir jarðfræðiathugunum á svæðinu allt frá dögum Eggerts og Bjarna (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1984). Ekki er ástæða til að endurtaka það hér. Segja má að ofanefnd skýrsla marki þáttaskil í rannsóknasögu svæðisins. Í henni var farið yfir öll gögn sem til voru um svæðið. Gerðar voru jarðlagamælingar í þeim borholum sem boraðar voru á tímabilinu 1941 til 1970 (holur H-1 til H-4), einnig var borsvarf úr þessum holum skoðað aftur. Samhliða þessum rannsóknnum var jarðlagastafllinn í næsta nágrenni Laugalands á Þelamörk kortlagður. Gerðar voru viðnámssniðsmælingar og jafnframt voru segulmælingar frá 1979 endurskoðaðar og túlkaðar. Niðurstöður þessara rannsókna

bentu til þess að á Laugalandi á Þelamörk mætti ná um 20 til 40 l/s af rúmlega 90°C heitu vatni (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1984).

Í framhaldi af ofangreindum rannsóknum var ráðist í að bora nokkrar grunnar rannsóknarholur til að afmarka uppstreymi jarðhitavökvans betur. Síðla árs 1989 voru boraðar 4 rannsóknarholur (LÞÝ-5 til LÞÝ-8) á svæðinu (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1990a). Hóla LÞÝ-9 var boruð í beinu framhaldi af þessum rannsóknum snemma árs 1990 (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1990b). Með þessum rannsóknarborunum og tengdum rannsóknum, fékkst skýrari mynd af jarðhitasvæðinu og var mælt með að næsta skref yrði borun djúprar rannsóknarholu (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1990b).

Sumarið 1992 var svo ráðist í borun 2 djúpra rannsóknarhóla á svæðinu (LÞN-10 og LÞN-11). Þegar LÞN-10 var rúmlega 900 m djúp þótti sýnt að hún mundi ekki hitta á aðaluppstreymisrás jarðhitasvæðisins. Hóla LÞN-11 lenti hins vegar fremur grunnt í gjöfulum vatnsæðum, eða á um 430 til 450 m dýpi. Algjört skoltap varð í holunni og eftir misheppnaða tilraun til sogborunar var afraðið að hætta borun til að koma í veg fyrir að borsvarfið stíflaði æðarnar. Eftir ítarlegar dæluþrófanir sem stóðu frá því í nóvember 1992 til ágúst 1993 var ákveðið að virkja jarðhitasvæðið við Laugaland á Þelamörk (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1994).

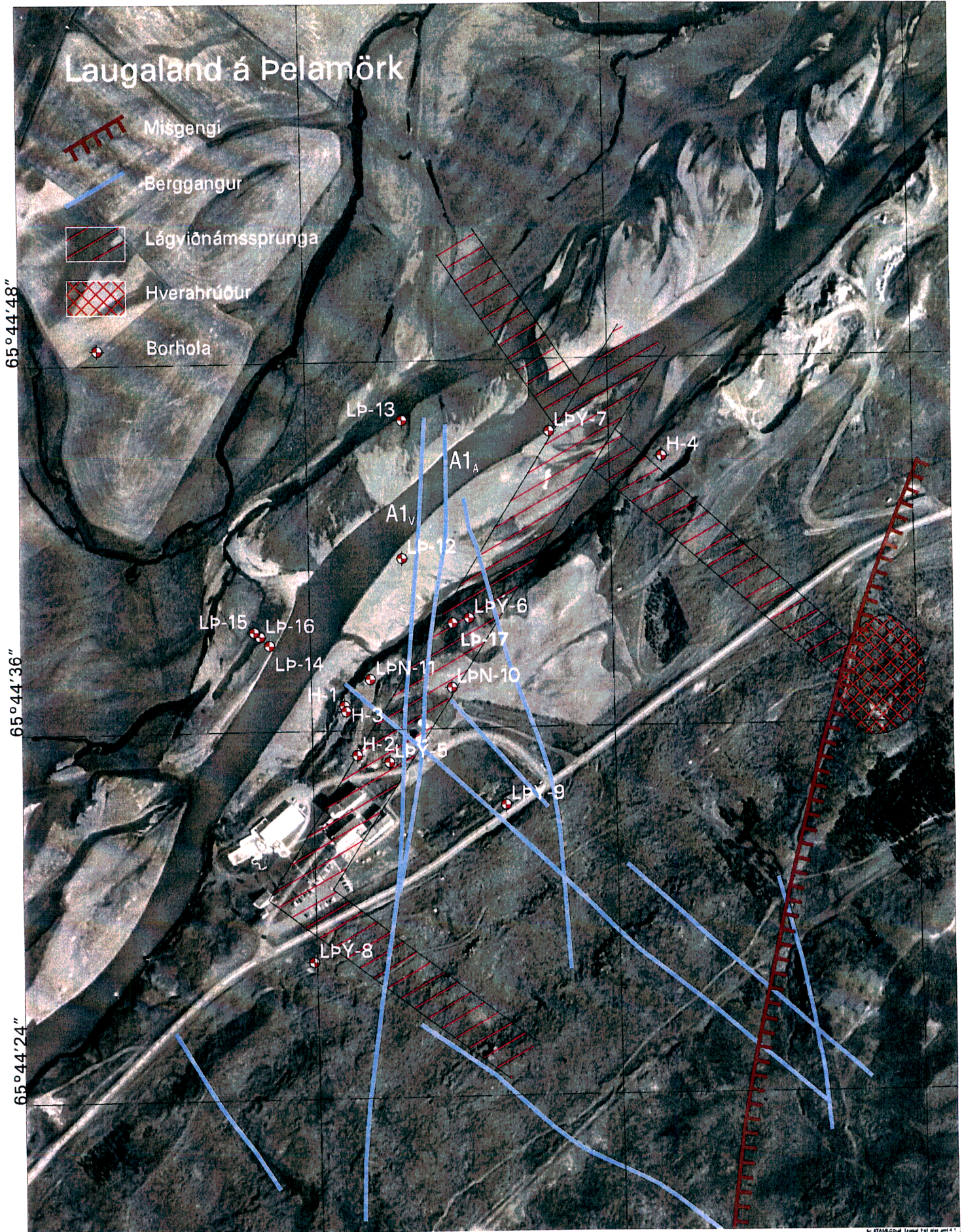
Næsta átak í rannsóknum á svæðinu hefst í lok tíunda áratugarins og er fyrsti hluti þessa átaks umfjöllunarefni þessarar skýrslu. Takmarkið með þessu átaki var, eins og áður sagði, að staðsetja aðra vinnsluhóla sem gæti numið (heitara) vatn af meira dýpi en LÞN-11 hefur gert og auka með því orkuvinnsluna á Laugalandi á Þelamörk. Í töflu 1 er yfirlit yfir þær rannsóknarholur sem boraðar voru í þessu átaki. Segja má að því hafi lokið síðla árs árið 2000 þegar hóla LÞN-10 var virkjuð.

### 1.3. Jarðfræði svæðisins

Á mynd 1 er öllum borholum á svæðinu varpað á loftmynd. Einnig eru helstu þættirnir í jarðfræði svæðisins sýndir á kortinu. Nokkrir gangar sem þekktir eru á svæðinu eru sýndir með ljósbláum lit. Gangurinn A1 hefur stefnu N6°A og er nyrðri hluti hans tvískiptur (A1<sub>A</sub> og A1<sub>V</sub>). Á svæðinu hafa þrjár lágviðnámsprungur verið kortlagðar, þær eru sýndar með rauðri skástrikun. Tvær eru með NV-SA-læga stefnu og sú sem norðar liggur er tengd hverahrúðursbreiðu sunnan og austan við þjóðveg 1. Þriðja lágviðnámsprungan hefur NA-læga stefnu og liggur samsíða ánni, hún tengir saman hinar tvær fyrrnefndu.

Þegar þetta rannsóknarátak hófst þótti líklegt að meginuppstreymið tengdist annað hvort ganginum A1 eða lágviðnámsprungunni meðfram ánni. Vitað var að ganginum hallaði til NV inn undir Hörgá og að hallinn væri rúmlega 6°. Halli sprungunnar var talin NV-lægur en ekki var vitað hve mikill hann væri. Ef gengið er út frá því að frumuppstreymið væri með ganginum A1 var hugsanlegt að það væri norðan við holu LÞN-11 og vatnið rynni síðan suður með göngunum og inn í holu LÞN-11 á um 450 m dýpi. Því var talið nauðsynlegt að afmarka jarðhitasvæðið betur til norðurs. Annar möguleiki var sá að uppstreymið fylgdi sprungunni eða skurðpunkti sprungunnar og gangsins. Hvar nákvæmlega ætti að staðsetja holu sem hitti á slíkt uppstreymi lá ekki fyrir enda halli sprungunnar óþekktur. Hins vegar þótti líklegt að til þess þyrfti að bora í eða mjög nærri farvegi Hörgár. Því var ljóst að afmarka þyrfti jarðhitasvæðið betur til norðvesturs.





Mynd 1. Loftmynd af Laugalandi á Pelamörk

1:5000

0.5 km

20000606 SV

0

**Tafla 1.** Yfirlit um borholur sem skýrslan fjallar um.

HOLA	BORÁR	BOR	Breidd <sup>1)</sup>		Lengd <sup>1)</sup>		Hæð <sup>1)</sup> m.y.s.	Dýpi m	Holu- vídd "	Fóðring vídd "	Fóðring lengd M
			N	W							
LÞ-12	1998	Máni	65,74513	18,27840	19,9	346	5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	6 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	21		
LÞ-13	1999	Máni	65,74638	18,27835	19,6	331	5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	6 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	30		
LÞ-14	1999	Máni	65,74444	18,28155	15,4	278	5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	6 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	24		
LÞ-15	1999	Blámi	65,74436	18,28135	17,3	Ónýt	-	-	-		
LÞ-16	1999	Blámi	65,74448	18,28168	11,5	406	5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	6 <sup>5</sup> / <sub>8</sub>	27		

1) Landfræðileg hnit borhola á Laugalandi mæld með GeoExplorer II (Trimble), truflanir fjarlægðar með mismunaleiðréttingu samkvæmt gögnum frá Siglingamálastofnun (Hjörsey viðmiðun). Skekkja á lengd og breidd er metinn <+/-5m.

## 2. HOLA LÞ-12

### 2.1. Staðsetning

HOLA LÞ-12 var staðsett ríflega 100 m norðaustur af holu LÞN-11 og um 30 m vestan við ganginn A1<sub>A</sub>. Hugmyndin var að hún skæri þennan gang A1<sub>A</sub> á um 300 m dýpi. Þegar hOLA LÞ-12 var boruð lá ekki ljóst fyrir hversu langt norður gangurinn A1<sub>V</sub> teygði sig. Samkvæmt segulmælingum virtist hann enda um 50 m sunnan við áætlaða staðsetningu holu LÞ-12. Ef hann hins vegar teygir sig eitthvað norðar, mátti búast við að hOLA skæri hann á um 100 til 150 m dýpi. Þar sem LÞ-12 er staðsett norðan við skurðpunkt sprungunnar sem liggur meðfram Hörgá og gangsins A1, fer hOLA í gegnum gangana áður en hún sker sprunguna. Hitamælingar í þessari holu gætu því gefið til kynna hvort uppstreymið í jarðhitakerfinu er fremur tengt sprungunni meðfram Hörgá eða ganginum A1.

### 2.2. Borun

Borun hófst 03.12. 1998. Borað var með rýmara (ODEX búnaði) niður úr um 18 m af árseti og 3 m niður í fast berg. Fóðringin var steipt í berg á 21 m dýpi. Síðan var borað með lofthamri niður á 346 m dýpi.

Vatns varð fyrst vart við á 175 m dýpi. Á 184 m dýpi var mældur hiti í blæstri um 53°C og rennsli 1 l/s. Vatnsmagnið hélst óbreytt til botns, en hiti hækkaði í 60°C. Borun lauk 09.12. 1998.

### 2.3. Jarðlagaskipan

Á mynd A-1 í viðauka A er sýnt jarðlaga snið úr holu LÞ-12 ásamt niðurstöðum jarðlagamælinga. Svartgreiningin sýnir eftirfarandi jarðlagaskipan.

0-18 m Svarf vantar

18-30 m Á þessum kafla vantar svarf frá 20 til 26 m dýpi að öðru leyti er á þessu dýpi syrpa af fin til meðalkorna plagióklasdílóttu-basalti nokkuð ummynduðu og oxuðu.

30 - 242 m Innskot. Fersklegt þétt meðal til grófkorna plagióklasdílótt basalt. Dökkgrænn leir er víða áberandi og virðist tengjast ummyndun á ólivíni. Míkrósprungur eru áberandi í kringum 180 m til 200 m dýpi. Stilbít og heulandít er algengt í sprungufyllingum. Aðrar ummyndunarsteindir eru mesólít/skólesít og pýrít. Pýrítið er oft tengt míkrósprungum. Svarf vantar á þremur stöðum í þessari syrpu fyrst frá 106 m til 114 m, svo frá 114 m til 116 m og loks á 182 m dýpi.

242 - 250 m Innskot. Hér verður breyting í kornastærð. Bergið er finna og þéttara og plagióklasdílum fækkar verulega frá 242 til 248 m. Á 248 til 250 eykst kornastærðin aftur og plagióklasdílur verða aftur áberandi. Einnig fer að bera á kornum með glerkápu. Það bendir til þess að komið sé að neðri mörkum (lagmótum) innskotsins við grannbergið.

250 - 256 m Millilag úr fingerðu seti. Setið er silt eða leir, svarfið er oft lagskipt þar sem skiptast á ljós og dökk lög. Í svarfinu er nokkur íblöndun af fínkorna, fersklegu og glerjuðu basalti. Útfellingar eru algengar, helstu steindir eru kalsít, heulandít, stilbít, pýrít og grænleitur leir.

256 - 264 m Hraunlag(lög). Meðal til grófkorna plagióklasdílótt basalt, svolítið blöðrótt og nokkuð ummyndað.

264 - 364 m Innskot. Meðal til grófkorna plagióklasdílótt basalt. Bergið er mjög þétt og lítið af "míkró"prungum. Afar lítið af útfellingum. Heulandít, stilbít, mesólít, pýrít og kalsítvottur á stöku stað. Bergið er afar einsleitt alla leið niður á holubotn. Ekkert svarf er frá 320 til 324 m dýpi.

## **2.4. Jarðlagamælingar**

Til að styrkja túlkun jarðlagagreininga og auðvelda tengingar milli borholna voru gerðar jarðlagamælingar í holum LÞ-12 og LÞ-13 þann 21. nóvember 1999, og síðan í holu LÞ-16 í 10. mars, 2000. Mæld var gammageislun og endurkast nifteinda í holum LÞ-12 og LÞ-13 en að auki var mælt viðnám í holu LÞ-16.

Mælingar á endurkasti nifteinda fara þannig fram að tæki sem inniheldur nifteindagjafa er rennt ofan í holuna. Á tækinu er einnig nifteindanemi sem skynjar endurkast nifteinda frá jarðlögunum í holuveggjunum og er endurkastið skráð sem fall af dýpi. Endurkast nifteinda minnkar með vaxandi vatnsinnihaldi jarðlaga. Þannig koma vatnsrík setlög fram sem lágt nifteindaendurkast, en þéttir gangar og hraunlög endurkasta vel og koma fram sem "toppar" í endurkastsferlinum.

Mælingar á náttúrulegri gammageislun bergsins fer þannig fram að nema, sem skynjar gammageislun, er rennt ofan í holuna og er geislunin skráð sem fall af dýpi. Að öllu jöfnu er geislun hærri í setlögum heldur en hraunlögum og innskotum. Í storkubergi (hraunlög, gangar, sillur og eitlar/hleifar) hækkar geislunin með hækkandi kísilsýruinnihaldi af því að styrkur ýmissa geislavirkra efna eykst með vaxandi kísilsýruinnihaldi. Þannig geta mælingar á gammageislun gefið vísbendingar um efnasamsetn-

ingu storkubergs. Viðnámsmælingar gefa svipaðar upplýsingar og nifteindamælingar en veita ekki eins nákvæmar upplýsingar um jarðlagagerð.

Nifteindamæling úr holu LP-12 er í samræmi við berggreiningu á svarfi. Útslag er nokkuð jafnt niður alla holuna, sem bendir eindregið til að hún liggi að mestu leyti í gangbergi. Til frekari áréttingar getur lesandinn borið þennan feril saman við nifteindaferilin úr holu LP-16 sem sýnir dæmigerða hraunlagasýrpu þar sem skiptast á hraunlög með háu útslagi og millilög með frekar lágu útslagi.

Í holu LP-12 kemur fram lágt útslag á 245 m dýpi sem bendir til þess að vatnsinnihald sé mikið í berginu, líklega er þetta tengt millilaginu sem kemur fram í svarfinu á um 250 til 256 m dýpi. Dýptarmunur upp á 5 til 10 m er fullmikill til að unnt sé að skýra hann með taftíma á flutningi bergmylsnu til yfirborðs. Því var ekki farið út í það að “leiðréttá” jarðlagasúluna þannig að millilagið á rúmlega 250 m stæðist á við útslagið í nifteindamælingunni á 245 m.

Í mælingu á náttúrulegri gammageislun komu fram nokkrir toppar í efri hluta holunnar. Þessir toppar eru taldir stafa af sprungufyllingum í ganginum. Sprungur sem eru fylltar af ummyndunarsteindum, eins og stilbít, heulandít og mesólít, geta gefið hærra útslag en grannbergið, vegna þess að þær innihalda oft mun meira af geislavirkum utangarðsefnum, eins og kalíum, heldur en grannbergið. Bent er á að í berggreiningunni koma víða fram “míkrósprungur” á því dýptarbili sem topparnir í gammageisluninni koma fram, einnig má sjá óreglur í hitamælingunni sem tengjast æðum á þessum dýptarbili.

## 2.5. Hitamælingar

Hola LP-12 hefur verið hitamæld 7 sinnum. Niðurstöður mælinganna eru sýndar á myndum B-1 og B-2 í viðauka B. Í borun varð fyrst vart við vatn á 175 m dýpi, eins og áður er getið um. Sú æð er rétt rúmlega 70°C heit samkvæmt hitamælingum. Vatn hefur runnið úr þeirri æð niður holuna og út í aðra æð á 280 m dýpi. Þar fyrir neðan rís hitinn nokkuð skarpt á litlu dýptarbili og nær tæpum 80°C í botni. Á vormánuðum árið 2000 varð vart við hækkun á styrk Mg í vatni úr vinnsluholunni LPN-11 (Bjarni Gautason og Steinunn Hauksdóttir, 2000). Eftirgrennslan leiddi í ljós að kalt árvatn hafði að öllum líkindum runnið niður í holu LPÝ-7, en toppur hennar hafði laskast í leysingum í Hörgá fyrir um vorið. Síðasta hitamælingin úr LP-12 sýnir að kalt vatn hefur einnig runnið niður þá holu. Þegar hitamælingin er gerð hefur holan náð að jafna sig að einhverju leyti en greinilegt er að veruleg kæling hefur orðið í kringum æðina á 280 m og er bergið lengur að jafna sig en bergið fyrir ofan (þess ber að geta að hitamæling úr LPÝ-7 staðfesti einnig að verulegt niðurrennsli á köldu yfirborðsvatni hefði orðið í henni). Að lokinni hitamælingu var steypt í LP-12 til að fyrirbyggja frekari vandræði af völdum niðurrennslis.

### 3. HOLA LÞ-13

#### 3.1. Staðsetning

Holu LÞ-13 var valinn staður norðan og vestan við Hörgá. Hún er staðsett um 150 m norðan við holu LÞ-12 og um 140 m suðvestur af nyrðri lágviðnámsprungunni með NV-SA stefnu, það er, sú sem teygir sig upp að hverahrúðurs breiðunni í hlíðinni ofan við þjóðveginn. Ef báðar greinar gangsins A1 halda áfram til norðurs undir Hörgá ættu LÞ-13 að skera þá á svipuðu dýpi og LÞ-12. Með holu LÞ-13 átti enn fremur að fullvissa sig um það að jarðhitavökvinn streymdi ekki suður með gangi A1 á töluverðu dýpi og leitaði síðan til yfirborðs við Laugaland.

#### 3.2. Borun

Borun hófst 08.01. 1999. Borað var með rýmara í gegnum 27 m af lausum jarðlögum (mestmegnis árset) og síðan áfram 3 m niður í fast berg. Fóðringin var steipt föst á 30 m dýpi. Borað var með lofthamri niður á 331 m dýpi og tók borverkið alls 7 daga.

Fyrst varð vart við vatn á 82 m dýpi. Hiti og rennsli í blæstri var mælt á 100 m dýpi og reyndist 0,5 l/s og 20°C. Veruleg rennslisaukning varð á 133 m dýpi en þá mældist það 2,5 l/s og hiti 38°C. Næst var athugað á 226 m dýpi og var rennsli í blæstri þá komið í rúma 3 l/s en hiti svipaður. Í borskýrslu kemur fram að rennsli hafi líklega aukist enn frekar á 264 m dýpi en ekki reyndist unnt að mæla það.

#### 3.3. Jarðlagaskipan

Skipan jarðlaga í holu LÞ-13 er ákaflega svipuð og í holu LÞ-12. Jarðlagasnið er sýnt á mynd A-2 í viðauka A. Holan liggur að mestu leyti í göngum (gangi). Í efri hluta holunnar er bergið mjög ferskt yfirleitt grófkorna og ólivíndílótt. Á stöku stað verður vart við grannar holufylltar sprungur (míkrósprungur) í svarfinu. Þær eru fylltar af zeólítum eins og stilbít, mesólít/skólesít og heulandít. Í neðri hluta holunnar er gangbergið enn grófkorna og fersklegt en plagióklasdílur eru ráðandi. Einfölduð jarðlagaskipan byggð á svarfgreiningu er eftirfarandi.

0-30 m Svarf vantar

30-40 m Hugsanlega tvö eða fleiri hraunlög. Fín til meðalkorna basalt með stöku plagióklasdílum. Svartur leir fyllir porur. Aðrar ummyndunarsteindir eru heulandít, skólesít og pýrít að auki finnst vottur af kalsíti.

40-240 m Innskot. Grófkorna ólivíndílótt basalt. Míkrósprungur fylltar af zeólítum eins og stilbít, mesólít (eða skólesít) og heulandít. Dökkgrænn leir og pýrít til staðar á stöku stað. Einnig vottur af kalsíti á stöku stað.

240-328 m Innskot. Grófkorna plagióklasdílótt basalt. Bergið er þétt og lítið fer fyrir ummyndun. Míkrósprungur á stöku stað milli 280 og 295 m dýpi. Þær eru fylltar af sömu zeólítum og fundust ofar í holunni. Fyrir neðan 300 m eykst ummyndun lítilla, bergið er samt áfram þétt og lítið um útfellingar (dökkgrænn leir, pýrít og kalsít).

### 3.4. Jarðlagamælingar

Vatnsborð í LÞ-13 var á 61,5 m dýpi þegar jarðlagamælingar fóru fram 21.11.1999. Nifteindamæling úr holu LÞ-13 styður jarðlagagreininguna. Eins og í holu LÞ-12 er nifteindatalningin nokkuð stöðug niður alla holuna. Talningin (API-einingar) eykst jafnt og þétt niður holuna. Líklega endurspeglar það minnkandi holrými bergsins með dýpi, en þar sem vídd holunnar hefur ekki verið mæld er ekki hægt að staðfesta að svo sé. Nokkrar lægðir koma fram í nifteindatalningunni t.d. á 98 m og 110 m dýpi. Þessar lægðir tengjast líklega vatnsæðum í berginu en eins og sjá má fylgja þeim óreglur í hitamælingunni.

Mæling á náttúrulegri gammageislun gefur nokkuð jafnt útslag niður alla holuna. Athyglisvert er að toppar svipaðir þeim og sjást í gammamælingunni úr LÞ-12 er ekki að finna í LÞ-13. Líklega stafar þetta af því að mun minna er af sprungufyllingum í LÞ-13 en LÞ-12 eins og fram kom í jarðlagagreiningunni.

### 3.5. Hitamælingar

Hola LÞ-13 hefur verið hitamæld 6 sinnum, þrisvar á meðan á borun stóð og þrívégis eftir að henni lauk. Niðurstöður mælinganna eru sýndar á myndum B-3 og B-4 í viðauka B. Í borun varð fyrst vart við vatn á 82 m dýpi, og veruleg aukning varð á 113 m dýpi. Síðarnefnda æðin er rétt tæplega 50°C heit samkvæmt hitamælingum. Vatn hefur runnið úr henni niður holuna og út í aðra æð á rúmlega 260 m dýpi. Þar fyrir neðan rís hitinn nokkuð skarpt á litlu dýptarbili og nær rúmum 60°C í botni.

## 4. HOLUR LÞ-14 OG LÞ-15

### 4.1. Staðsetning og borun

Ákveðið var að næsta hola yrði einnig boruð norðan og vestan við Hörgá. Var nú athyglinni beint að svæðinu gegnt laugunum á árbakkanum og stefnt að því að bora holu sem lægi á línu er tengdi saman holur H-3 og LÞÝ-5. Megintilgangurinn var að fá skýrari myndi af hitaástandi í jarðlögum og með því að afmarka betur uppstreymið í jarðhitakerfinu.

Boraðili lenti í nokkrum erfiðleikum við borun á Hörgáreyrum. Fyrst var staðsett hola alveg við árbakkann (HOLA LÞ-14). Borun hennar gekk vel framan af en hún náði þó aldrei tilsettu dýpi þar sem suða við sigurnagla á bornum gaf sig með þeim afleiðingum að borkróna ásamt nokkrum tugum metra af borstreng féllu ofan í holuna. Eftir það var holan fóðruð með písa-röri og þétt meðfram því með sandi til að hindra hugsanlegt millirennslí.

Næst var reynt að bora á sömu línu en nú um 20 m norðvestan við LÞ-14. Borun holu LÞ-15 hófst 6. nóvember 1999. Borað var fyrst með rýmara niður á 30 m dýpi, þar af 3 m í föstu bergi. Fóðringin var steipt föst á 30 m dýpi þann 07.11. 1999. Bormenn greindu frá því að þegar byrjað var að bora með lofthamri næsta dag "kom steypan upp í sama ástandi og hún fór niður." Síðan fór að bera á rauðleitu en mjúku og setkenndu efni að sögn bormanna. Töldu þeir því að þeir höfðu borað í gegnum klapparhaft og

væru aftur komir í setlög. Ákváðu þeir því að hefja aftur borun með rýmara, með það fyrir augum að fódra dýpra og steypa aftur. Rýmarinn festist hins vegar af einhverjum orsökum innan í fódringunni og hefur líklega vafið henni utan um sig. Margítrekaðar tilraunir til að ná fódringunni og/eða borstöngum upp báru loks árangur á síðastliðnu sumri þegar hluti fódringar og stanga náðist upp. Engin ummerki eru nú á yfirborði um holu LÞ-15.

## 5. HOLA LÞ-16

### 5.1. Staðsetning

Hola LÞ-16 var staðsett á milli holna LÞ-14 og LÞ-15 um 15 m norðvestan við holu LÞ-14. Eins og áður sagði var megintilgangurinn að fá skýrari myndi af hitaástandi í jarðlögnum og með því afmarka betur uppstreymið í jarðhitakerfinu.

### 5.2. Borun

Borun fyrir fódringu hófst 20.11. 1999. Holan var 30 m djúp, þar af 3 m í klöpp, þegar fódringin var steipt föst 21.11. 1999. Að þessu sinni var beðið í rúman sólahring áður en borun hófst aftur til þess að steypan næði örugglega að harðna. Eftir þetta gekk borun vel fyrir sig og holan náði 406 m dýpi þann 26.11.1999. Engar teljanlegar æðar fundust í holunni í borun.

### 5.3. Jarðlagaskipan

Jarðlagastaflinn er áþekkur því sem kortlagður hefur verið í öðrum holum á svæðinu (sjá jarðlagasnið á Mynd A-3 í viðauka A). Meðal- til grófkorna basalt er meira áberandi í efri hluta holunnar, en fin til meðalkorna er ráðandi fyrir neðan 225 m dýpi. Á 88 til 116 m dýpi er bergið mjög fersklegt, þétt og frekar grófkornótt. Þegar berggreining fór fram þótti líklegt að um berggang væri að ræða. Þetta sama þykka lag kemur hinsvegar fram í flestum holum á svæðinu og hefur, vegna þykktar sinnar og einkennandi nifteindaútslags, verið notað til að tengja saman jarðlagastaflann milli borholna á svæðinu. Líklega er hér um þykkt hraunlag að ræða en ekki er loku fyrir það skotið að um laggang eða syllu (lárétt innskot) sé að ræða. Einfölduð mynd af jarðlagaskipan er annars eftirfarandi.

0-24 m Svarf vantar

24-28 m Meðal- til grófkornótt, smáblöðrótt basalt með dílum af ólivíni og klínópyroxen. Rauðleit oxun áberandi. Blágrænn leir í porum, aðrar ummyndunar-steindir eru mesól./skólesít, thomsónít og heulandít.

28 -30 m Millilag. Blanda af kargakornum og setkornum úr mjög fínkornóttu rauðleitu seti. Í setinu samanstanda stærri kornin oft af nokkrum samlímdum smærri kornum.

30 - 88 m Syrpa af hraunlögum þar sem fin- til meðalkornótt basalt er ráðandi (meðal til grófkorna milli 40 og 50 m). Blágrænn leir algengur í þorum í efri hlutanum en meira fer að bera á svörtum leir er neðar dregur. Ummyndunarsteindir skólesít og thomsónít eru ráðandi. Í millilagi á 52 m greindist einnig analsím og phillipsít (XRD). Merki um oxun á nokkrum stöðum en henni fylgja rauðleitar skellur, líklega af götít eða límonít.

88 - 124 m Þykkt hraunlag eða lárétt innskot að mestu leyti meðal til grófkorna basalt en þó finna í korninu á sumum stöðum. Yfirleitt stöku klínópyroxen eða plagíóklasdílur. Bergið er þétt og fersklegt. Svört leirskán í holuveggjum á stöku stað. Einnig svartur leir í grunnmassa og þá oft tengdur klínópyroxendílum. Massífar hvítar útfellingar á stöku stað líklega mordenít.

124 - 196 m Syrpa af hraunlögum þar sem fin til meðalkorna basalt er ráðandi. Nokkur millilög koma einnig fram. Af jarðlagamælingum má ráða að lögin séu frekar þunn. Efst í syrpu (124 til 134 m) eru tvö millilög sem virðast aðskilin af þunnu hraunlagi. Ummyndun þar er nokkuð áberandi og myndlaus kísill (ópall eða kalsedon) algengur. Þar fyrir neðan er svo þétt fersklegt hraunlag, meðal- til grófkorna, með stöku plagíóklasdílum. Þar fyrir neðan er syrpan nokkuð einsleit, fin- til meðalkorna basalt hraunlög ráðandi, sum hraunlaganna eru með stöku plagíóklasdílum en flest dílalaus. Ummyndunarsteindir eru skólesít, stílbít og mordenít. Mordenít virðist vera algengasta ummyndunarsteindin í þessari holu.

196 - 294 m Syrpa af hraunlögum þar sem fin til meðalkorna basalt er áfram ráðandi. Af jarðlagamælingunum má draga þá ályktun að hraunlögin í þessari syrpu séu heldur þykkari en í syrpu næst fyrir ofan. Efst er mjög fersklegt meðal- til grófkorna hraunlag (lög)

294 - 296 m Millilag.

296 - 407 m Syrpa af hraunlögum, fin- til meðalkorna basalt er ráðandi. Ummyndun töluverð frá 296 til 320 m dýpi. Á 300 til 310 m ber nokkuð á súrum og ísúrum túffkornum í svarfsýnunum. Líklega hefur verið farið í gegnum þunnt súrt eða ísúrt túfflag á um 300 m dýpi þó að það efni hafi ekki verið ráðandi í neinum sýnum. Þar fyrir neðan er ummyndun lítil ef frá er talin æð í millilagi á 392 til 396 m dýpi.

## **5.4. Jarðlagamælingar**

Jarðlagamælingar fóru fram 10.03.2000 og var vatnsborð í holunni þá 40 m. Í nifteindamælingunni kemur greinilega fram að borað er í jarðlagastafla þar sem á skiptast hraunlög sem gefa hátt útslag (endurkast) og millilög sem gefa lítið útslag. Ofarlega í holunni er mjög þykkt hraunlag sem hefur komið fram í mörgum holum á svæðinu (sjá hér fyrir neðan).

Jarðlagastaflanum má skipta í þrjár til fjórar meginsyrpur á grundvelli nifteindamælingarinnar, eins og nefnt var hér að ofan. Á 124 til 196 m er syrpa af tiltölulega þunnum hraunlögum. Frá 196 til 300 m dýpi er svo syrpa þar sem þykkari hraunlög eru ráðandi. Frá 300 og niður á botn holunnar (407 m) er svo aftur syrpa af tiltölulega þunnum hraunlögum.



## 5.5. Hitamælingar

Hola LÞ-16 hefur verið hitamæld 6 sinnum, tvisvar á meðan á borun stóð og fjórum sinnum eftir að henni lauk. Niðurstöður mælinganna eru sýndar á myndum B-5 og B-6 í viðauka B. Í borun varð ekki vart við teljandi vatnsæðar. Í hitamælingum má sjá að smá æð hefur komið í holuna á 180 m dýpi. Hún virðist hafa valdið einhverri kælingu þar fyrir neðan á meðan á borun stóð, en holan jafnaði sig fljótlega eftir að borun lauk. Síðasta hitamælingin (frá 10-03-2000) sýnir að hitinn rís hratt í efri hluta holunnar en stigullin virðist minnka nokkuð jafnt og þétt með dýpi.

## 6. UMMYNDUN JARÐLAGA OG TENGINGAR MILLI HOLNA

Það er mikilvægt að reyna að fá sem gleggsta mynd af jarðfræði jarðhitasvæða. Mikilvægur þáttur í því er að tengja saman jarðmyndanir sem koma fyrir í fleiri en einni borholu. Þannig er hægt að fá upplýsingar um höggun (hnik) jarðlagastaflans og einnig er hugsanlegt að draga megi fram einstök jarðlög eða myndanir sem leiða vatn og/eða útbreidd jarðlög eða jarðlagasyrpur sem nota má sem leiðarlög til að tengja saman milli borholna.

Fyrstu rannsóknir bentu til þess að nokkur misgengi lögju um jarðhitasvæðið við Laugaland á Þelamörk. Var þetta meðal annars byggt á tilraunum til að rekja saman setlög á milli borholna á svæðinu. Þegar borholum fjölgaði kom æ oftar í ljós mjög þykkt hraunlag ofarlega í mörgum borholum. Reyndist það oft gefa einkennandi útslag í nifteindamælingum, og því var hægt að nota það til þess að tengja saman jarðlög á milli flestra borhola á svæðinu. Með þessu var sýnt fram á að engin veruleg höggun hefur orðið á því svæði sem boranir náðu til.

Þetta þykka hraunlag kemur einnig fram í holu LÞ-16. Dýpið á þetta lag, norðan og vestan Hörgá er í samræmi við aðrar borholur á svæðin sé tillit tekið til halla og striks jarðlagastaflans. Þetta styður enn frekar þá ályktun að engin veruleg misgengi séu á vinnslusvæðinu við Laugaland á Þelamörk.

Tvær af þeim holum sem hér er um fjallað (þ.e. LÞ-12 og LÞ-13) skera ganga á löngu dýptarbili. Þau fáu hraunlög sem holurnar skera gefa ekki tilefni til að tengja við aðrar holur á svæðinu.

Ummyndunarsteindir eru þær sömu í þeim holum sem hér eru til umfjöllunar og áður hafa fundist. Mordenít er líklega algengasta ummyndunarsteindin í holu LÞ-16 eins og í holu LÞÝ-6. Heulandít og stilbít er einnig algengt. Af zeólítum eru heulandít og stilbít algengar ummyndunarsteindir í holum LÞ-12 og LÞ-13, en skólesít kemur einnig fyrir. Laumontít finnst ekki í þeim holum sem hér eru til umfjöllunar, en tilvist þess bendir til að hiti hafi einhvern tímann farið yfir 120°C. Svartur og blágrænn leir er algengur í öllum holunum og pýrít finnst á stöku stað. Samanburður á holum LÞ-12 og LÞ-13 bendir til þess að magn ummyndunarsteinda fari lækkandi eftir því sem norðar dregur í göngunum, einnig er áberandi að míkroprungum fækkar. Smásprungum í ganginum virðist því fjölga þegar nær dregur skurðlínu gangsins og sprungunnar með ánni.

## 7. HITÁÁSTAND Í JÖRÐU Á BORSVÆÐINU

Eins og fram hefur komið miðuðu þær boranir sem hér er um fjallað helst að því að afmarka betur frumuppstreymisrás heita vatnsins á Þelamörk. Hitaferillinn í holu 2 (H-2) er “viðsnúinn” sem bendir til þess að um lárétt innstreymi í holuna sé að ræða. Hóla LÞN-11 sem var vinnsluholan á þessu svæði frá 1994 til 2000, tók vatn á tiltölulega litlu dýpi úr göngum sem hún sker. Ekki var vitað með vissu hvort þessir gangar voru frumuppstreymisrásin eða hvort þeir veittu vatninu aðeins síðasta spölinn til yfirborðs. Annar möguleiki, sem þótti ekki síður líklegur, var að sprunga sú sem liggur meðfram ánni væri frumuppstreymisrásin.

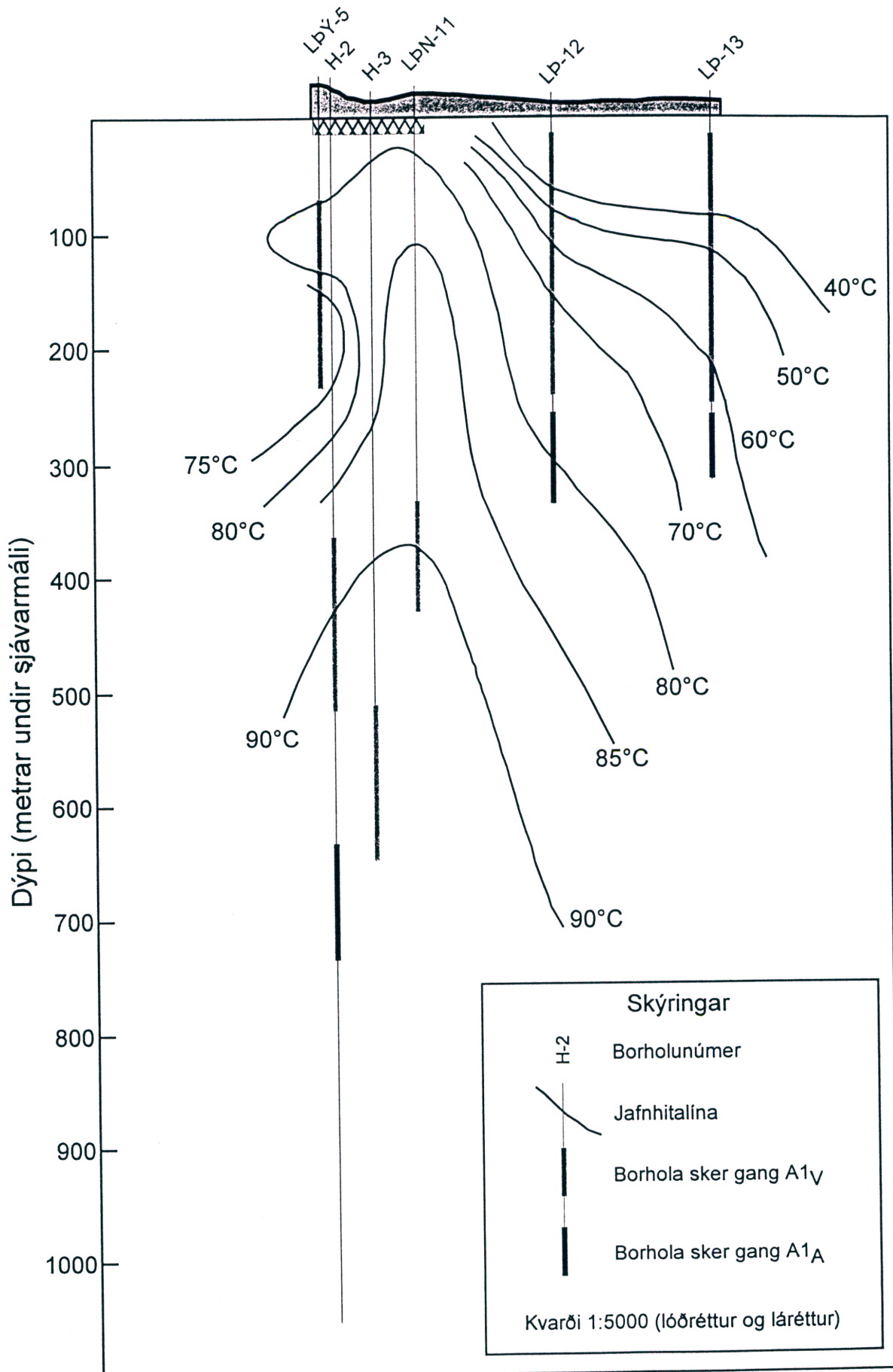
Hitamælingum úr holum LÞ-12, LÞ-13 og LÞ-16 var safnað saman ásamt eldri mælingum í öðrum holum. Hitamælingar voru túlkaðar og dregin tvívið snið til að kortleggja hitaástand berggrunnsins. Einnig voru rissaðar upp lárétt hitasnið á mismunandi dýpi í bergrunninum. Tvær þessara mynda eru sýndar hér.

Mynd 2 er hitasnið í ganginum A1. Veitið því athygli að holunum H-2, H-3, LÞÝ-5 og LÞN-11 er varpað hornrétt inn á sniðið. Af þessari mynd má draga þá ályktun að vatn leitar upp til yfirborðs að því er virðist í grennd við holu LÞN-11. Þaðan streymir hluti vökvans til suðurs og suðvesturs á litlu dýpi. Önnur grein virðist leita til norður með ganginum og í átt að yfirborði.

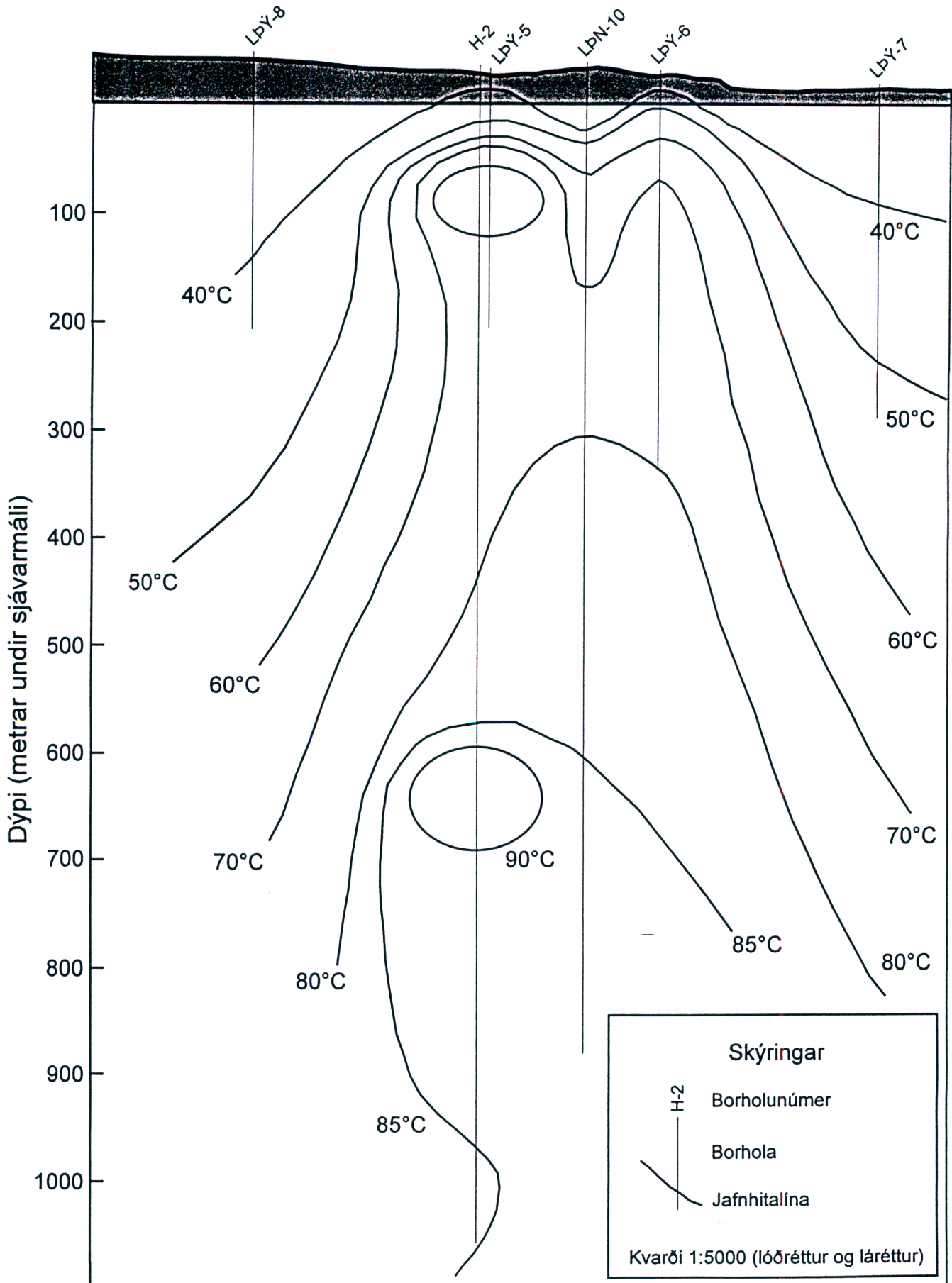
Mynd 3 sýnir hitasnið milli holanna LÞÝ-7 og LÞÝ-8. Sniðið er nærri því samsíða lágviðnámsprungunni meðfram Hörgánni. Það kemur á óvart hve flókin myndin af hitaástandinu er við fyrstu sýn. Eins og við er að búast hækkar hiti frá holum LÞÝ-7 og LÞÝ-8 í átt að miðju sniðsins. Við holur H-2 og LÞÝ-5 má sjá merki um lárétt rennsli á tæplega 100 m dýpi og milli 600 og 700 m dýpi, en 75°C og 90°C jafnhitaferlarnir benda til rennslis inn eða út úr myndfletinum. Við holu LÞN-10 er lægð í flestum hitaferlunum en hún er kaldari en næstu holur norðan og sunnan við þ.e.a.s. holur LÞÝ-6 og LÞÝ-5.

Þetta er hægt að skýra ef gert er ráð fyrir því að sprunga, með NV-lægum halla, sem kemur uppundir yfirborð á miðju lágviðnámsfrávikinu sé ein aðalflutningsleið heita vatnsins í efstu jarðlögum (<1 km). Hóla LÞN-10 er eina holan sunnan og austan við sniðið og því sú eina sem fjarlægist uppsprettu heita vatnsins með vaxandi dýpi. Í efstu jarðlögum er hola LÞÝ-6 hins vegar nær lágviðnámsprungunni en LÞN-10. Í þessu sambandi er athyglisvert að hitastig lækkar skyndilega á um 120 m dýpi í holu LÞÝ-6. Í þessari holu varð vart við þykka sprungu fyllta ummyndunarsteindum á 110 til 114 m dýpi. Ekki er ólíklegt að þessi sprunga sé einmitt hluti af lágviðnámsprungunni sem kemur fram í viðnámsmælingum. Sé sú skýring rétt þá liggur hola LÞÝ-6 í eða alveg við sprunguna í efstu 200 til 400 metrum jarðlagastaflans. En hitalægðin í kringum holu LÞN-10 endurspeglar þá staðreynd að hola LÞN-10 liggur sunnan og austan við sprunguna og er varpað inn á sniðið

Ekki er með óbyggjandi hætti hægt að ákvarða hvort meginuppstreymið liggur með göngunum eða lágviðnámsprungunni. Ekki þykir ósennilegt að uppstreymið fylgi skurðlínu sprungu og gangs og að vatn leiti síðan til norðurs og suðurs með ganginum A1 og lágviðnámsprungunni á tiltölulega litlu dýpi. Nauðsynlegt er að afla frekari gagna um halla sprungunnar í efstu jarðlögum svo rissa megi upp legu skurðlínunnar milli gangsins og sprungunnar sem fall af dýpi.



Mynd 2. Hitasnið í ganginum A1.



Mynd 3. Hitasnið milli holanna LpÝ-7 og LpÝ-8

## 8. NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður þessara rannsóknarborana voru

1. Meginsuppstreymið er líklega rétt norðan við vinnsluholuna LÞN-11 hugsanlega nálægt skurðlínu sprungunnar og ganganna. Nauðsynlegt væri að afla frekri gagna um halla sprungunnar í jarðlögunum.
2. Auðvelt er að tengja saman jarðlög úr holu LÞ-16 við aðrar holur á svæðinu. Það styrkir þá mynd að ekki séu nein umtalsverð misgengi á því svæði sem boranir ná yfir.
3. Gangarnir  $A1_v$  og  $A1_a$  ná a.m. k. eins langt norður og hola LÞ-13. Mikil lekt er með gangi  $A1_v$  og rennur vatn frá meginuppstreyminu til norðurs eftir honum. Sprunguþéttleiki í ganginum minnkar þó áberandi til norðurs.

Á grundvelli þeirra upplýsinga sem aflað var í framhaldi af borun og rannsóknum á holunum sem hér hefur verið um rætt var ráðist í að bora skáholu (LÞ-17) skammt norðan við holu LÞN-11 (Bjarni Gautason og Steinunn Hauksdóttir, 2000). Í kjölfar borunar holu LÞ-17 var svo ráðist í að dýpka holu LÞN-10 og sveigja hana í stefnu VNV inn undir Hörgá. Eins og áður er um getið gaf sú borun góðan árangur sem greint verður frá í annarri skýrslu.

## 9. HEIMILDIR

Bjarni Gautason og Steinunn Hauksdóttir, 2000: Laugaland á Þelamörk. Borun holu LÞ-17 og aðgerðir vegna niðurrennsli í holum LÞ-17 og LÞÝ-7 á Hörgáreyrum. Orkustofnun, OS-2000/046, 42 bls.

Ólafur G. Flóvenz, Guðni Axelsson, Grímur Björnsson, Jens Tómasson, Guðrún Sverrisdóttir, Hilmar Sigvaldason og Sigurður Benediktsson (1994): Laugaland á Þelamörk. Boranir og vinnsluprófun 1992 - 1993. Orkustofnun, OS-94032/JHD-07, 121 s.

Orkustofnun, Rannsóknasvið, 1998. Borun rannsóknarholna við Laugaland á Þelamörk 1998. Útboðslýsing – Tilboðsform. Orkustofnun, OS-98018, (42).

Ólafur G. Flóvenz, Jens Tómasson og Grímur Björnsson, 1990a: Rannsóknarboranir við Laugaland á Þelamörk 1989. Orkustofnun, OS-90014/JHD-02, 38 s.

Ólafur G. Flóvenz, Jens Tómasson og Grímur Björnsson, 1990b: Laugaland á Þelamörk. Hóla LÞÝ-9. Orkustofnun, OS-90040/JHD-21, 12 s.

Ólafur G. Flóvenz, Margrét Kjartansdóttir, Sigmundur Einarsson, Hjálmar Eysteinnsson og Steinar Þór Guðlaugsson, 1984: Laugaland á Þelamörk. Jarðhitarannsóknir 1983-1984. Orkustofnun, OS-84095/JHD-17, 88 s.

## **VIÐAUKI A: JARÐLAGASNIÐ**

ATH. Örvarnar sem sýna æðar tákna fyllingar í sprungum sem eitt sinn voru lekar.









ORKUSTOFNUN

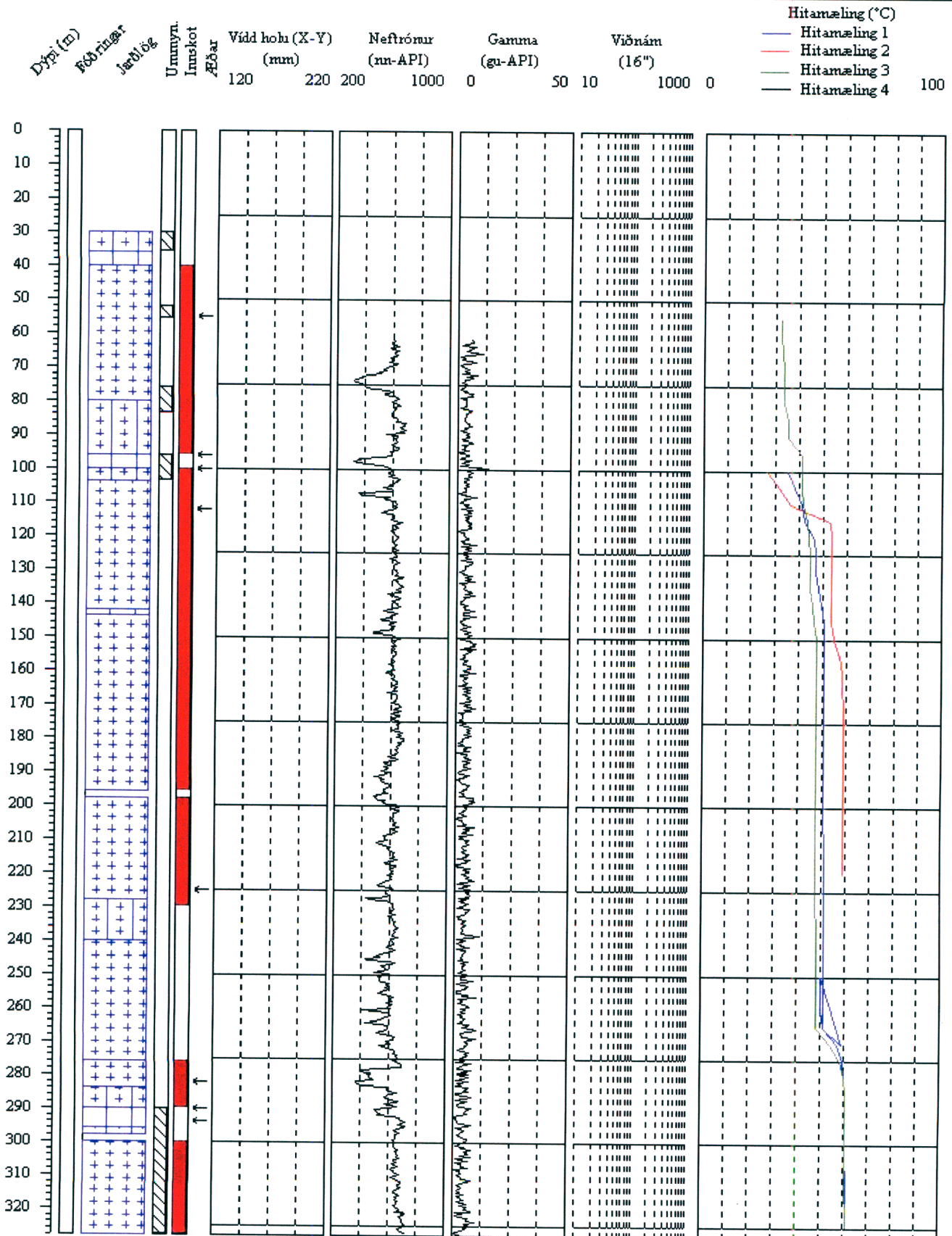
Rannsóknasvið

# Jarðlagamælingar

Staður: Laugaland, Þelamörk Boraðili: Alvar  
Holunafn: LP-13 Verkkaupi: HVA

Dýpi: 0-328 m  
Skolun: Loftborun

Staðarnúmer: 53913  
Starfsmenn: BG/BR/OGF/ARH/GH



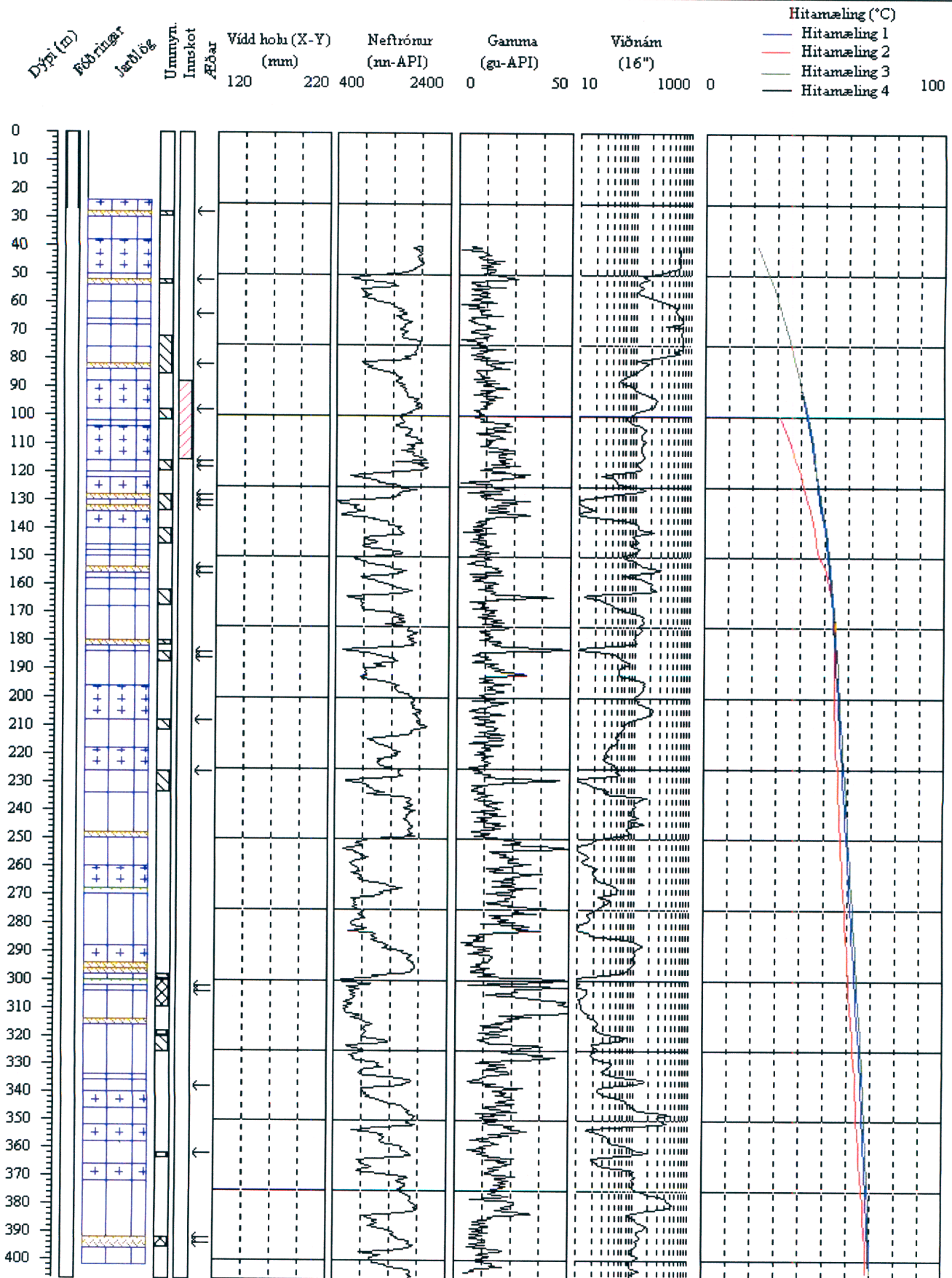




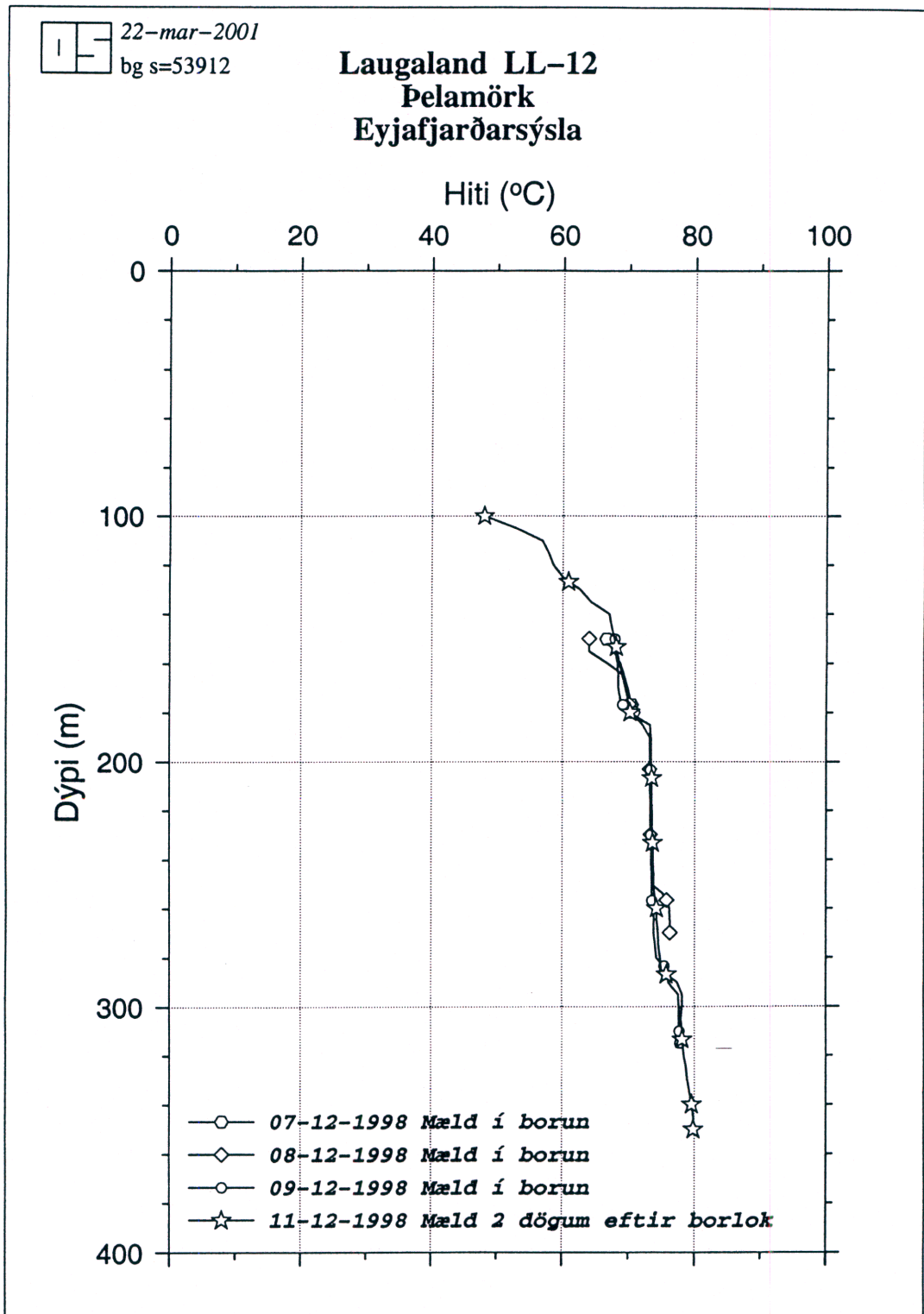
Staður: Laugaland, Þelamörk Boraðili: Alvarr  
Holunafn: LP16 Verkkaupi: HVA

Dýpi: 0-407  
Skolun: Loftborun

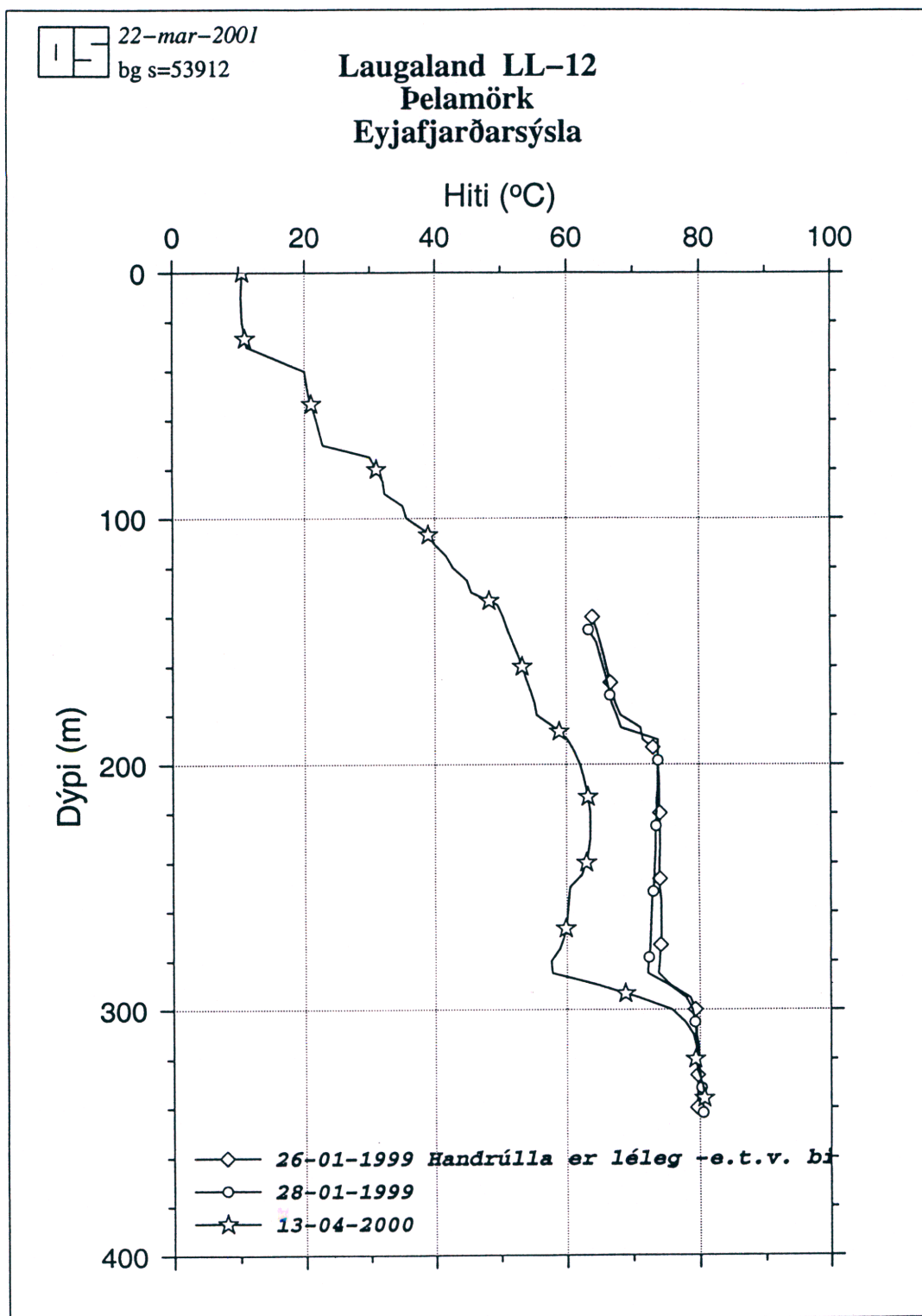
Staðarnúmer: 53916  
Starfsmenn: BG



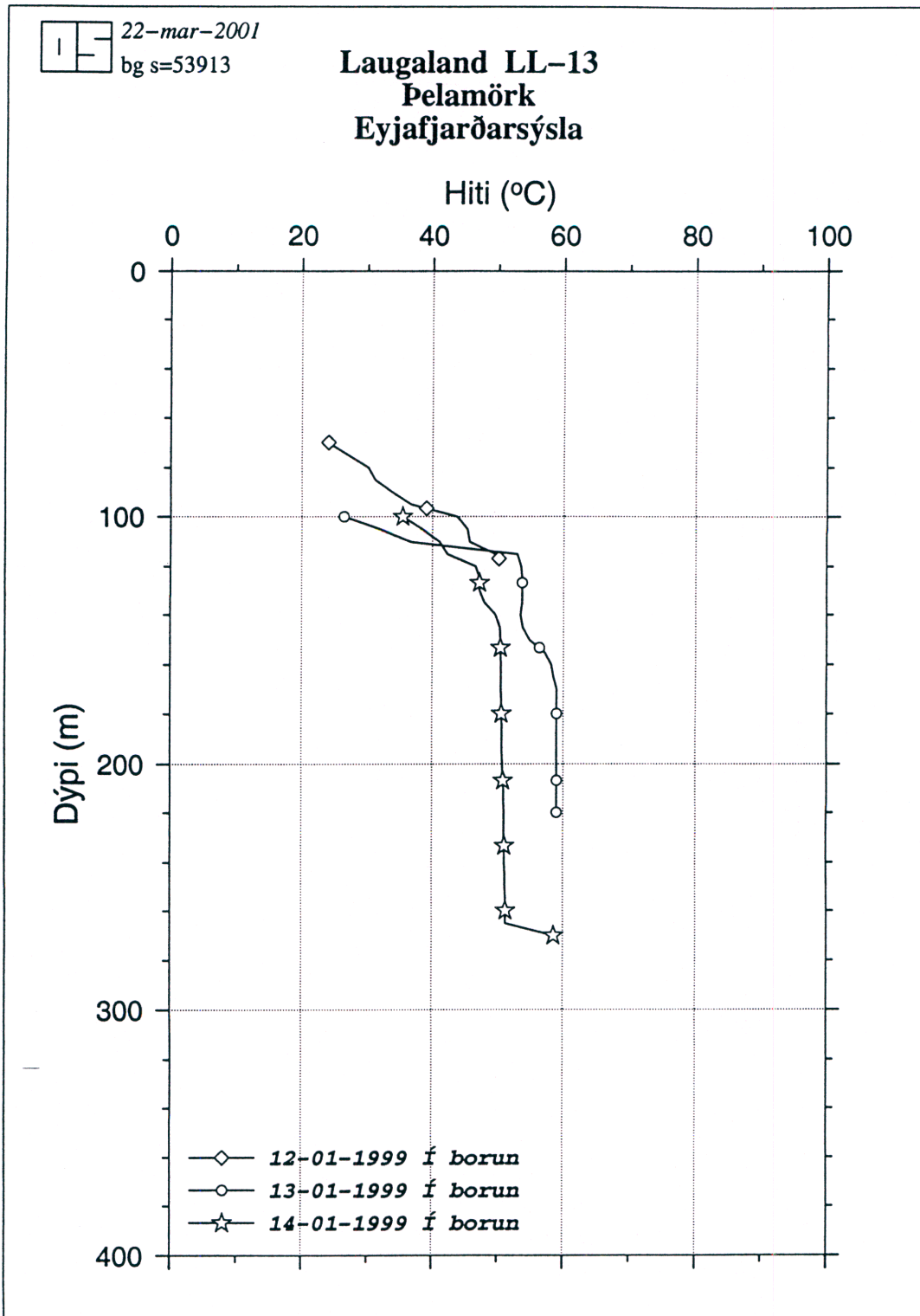
**VIÐAUKI B: HITAMÆLINGAR**



Mynd B-1. Hitamælingar í LP-12.

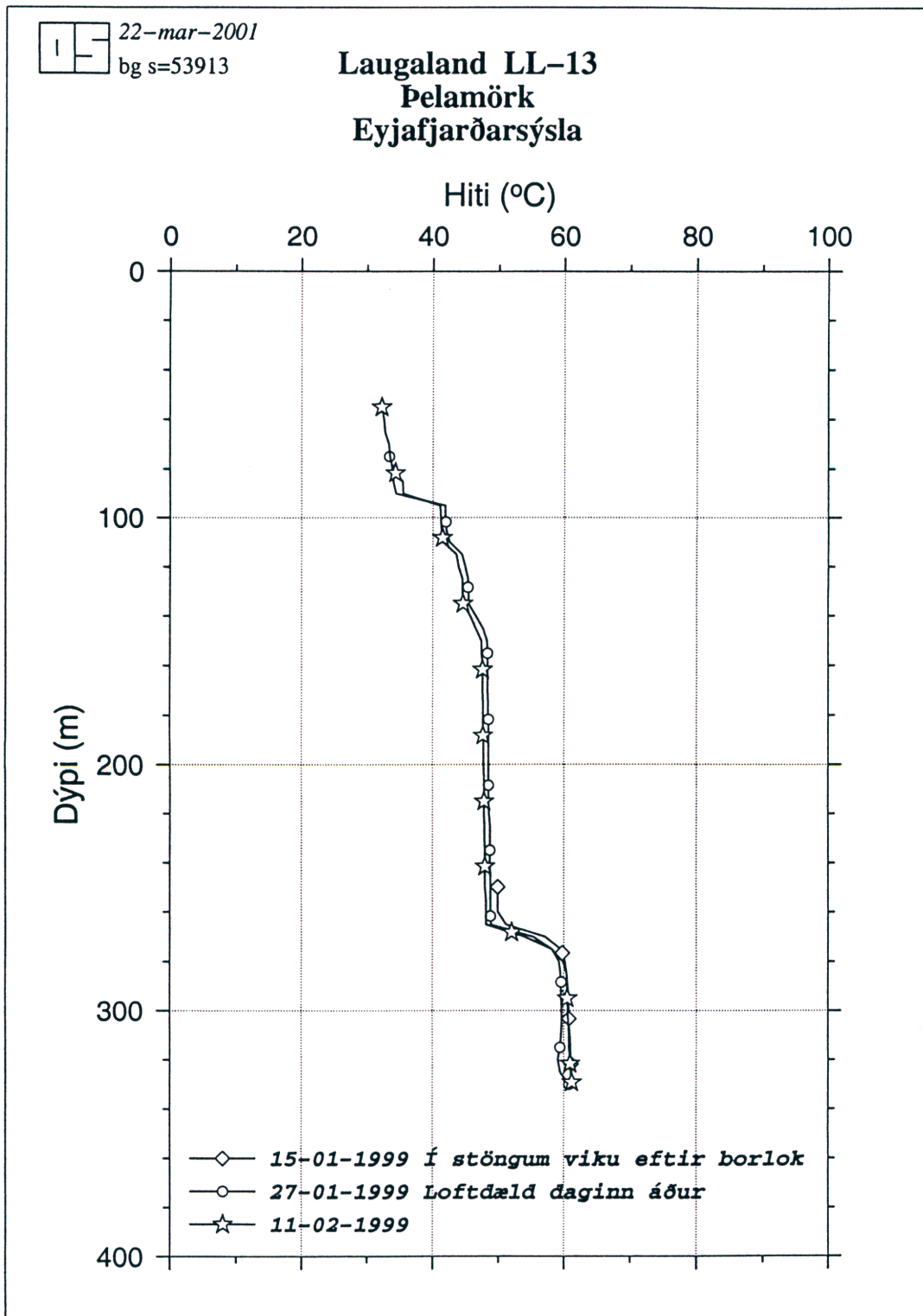


Mynd B-2. Hitamælingar í LP-12.

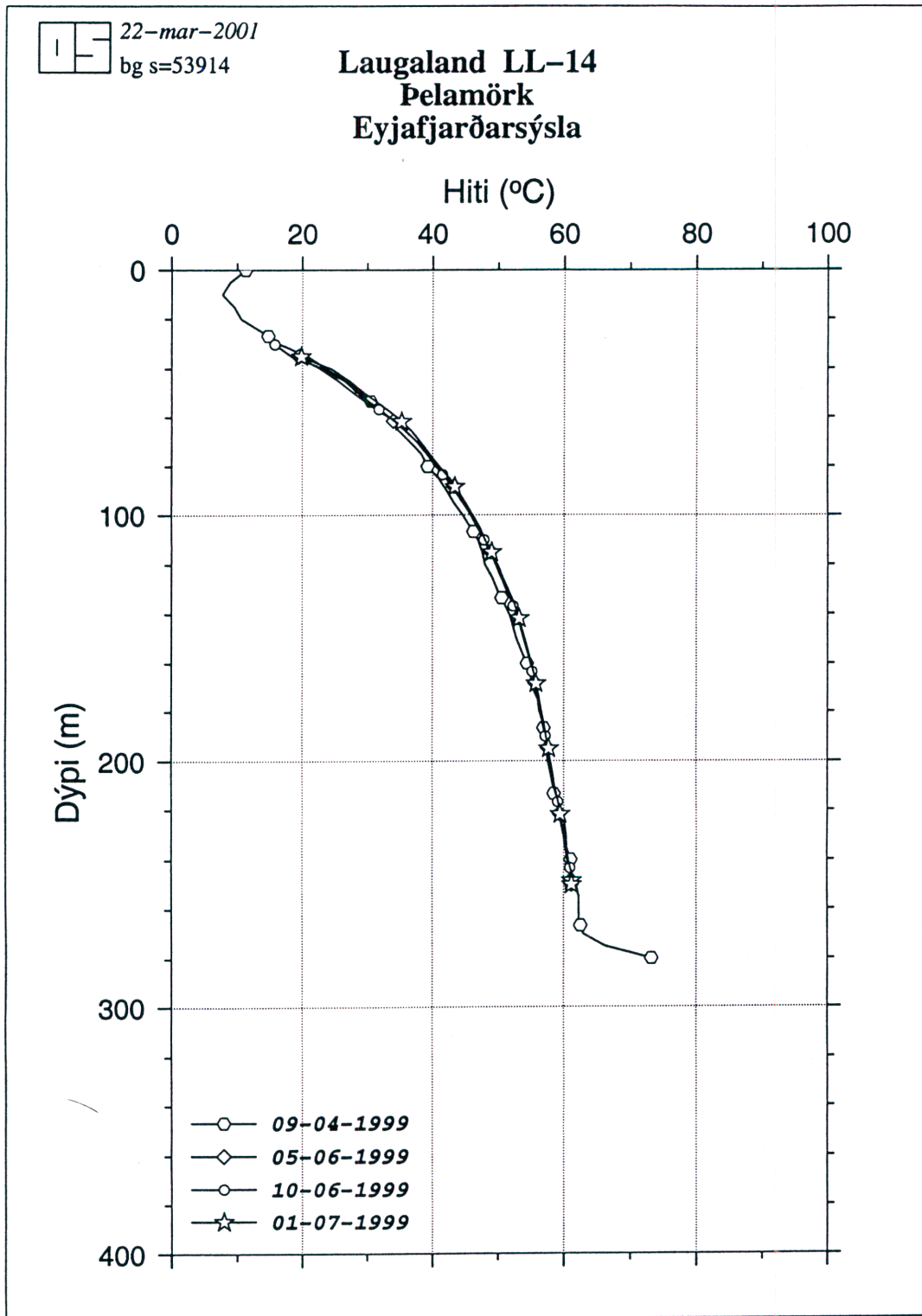


Mynd B-3. Hitamælingar í LP-13.

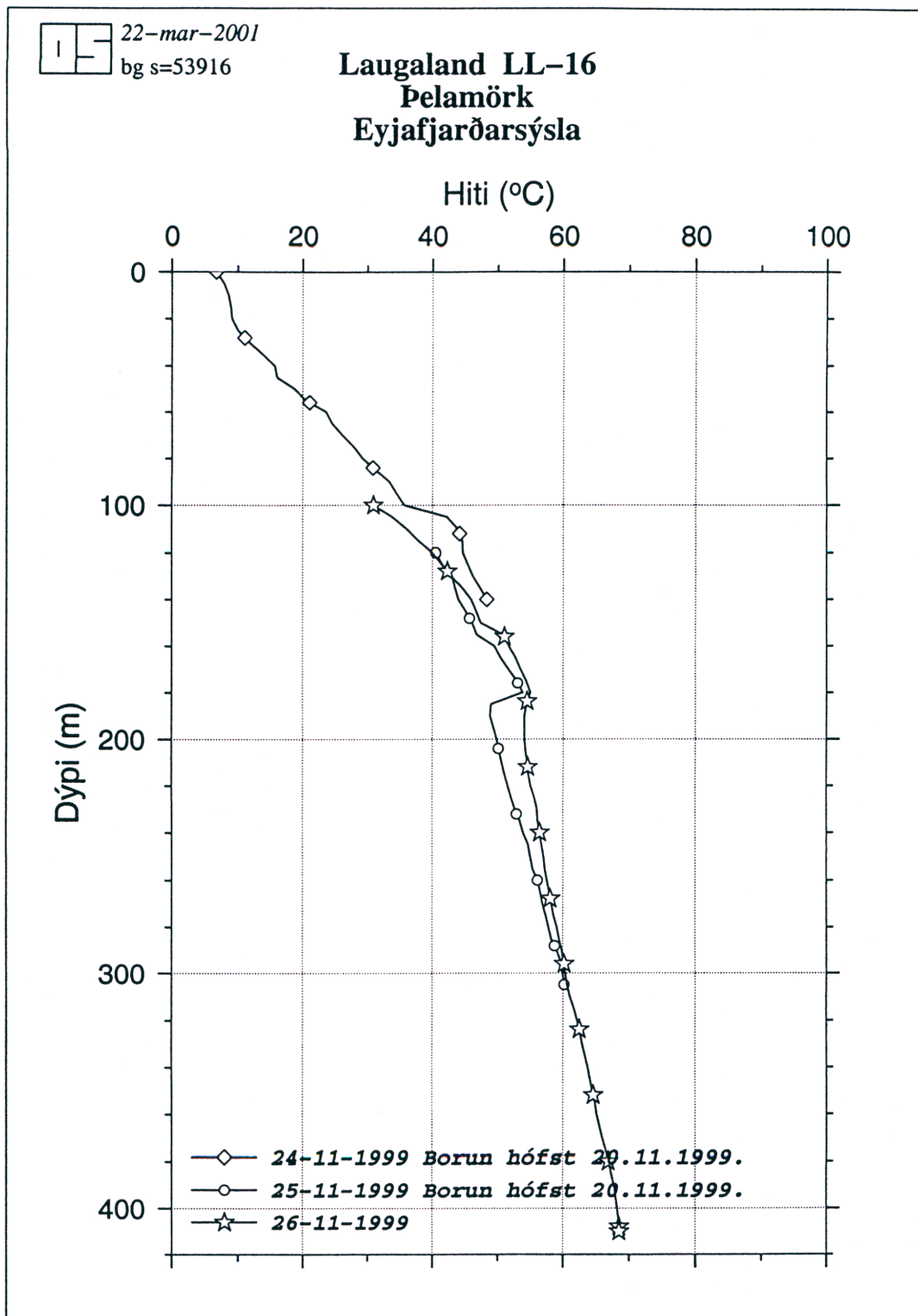




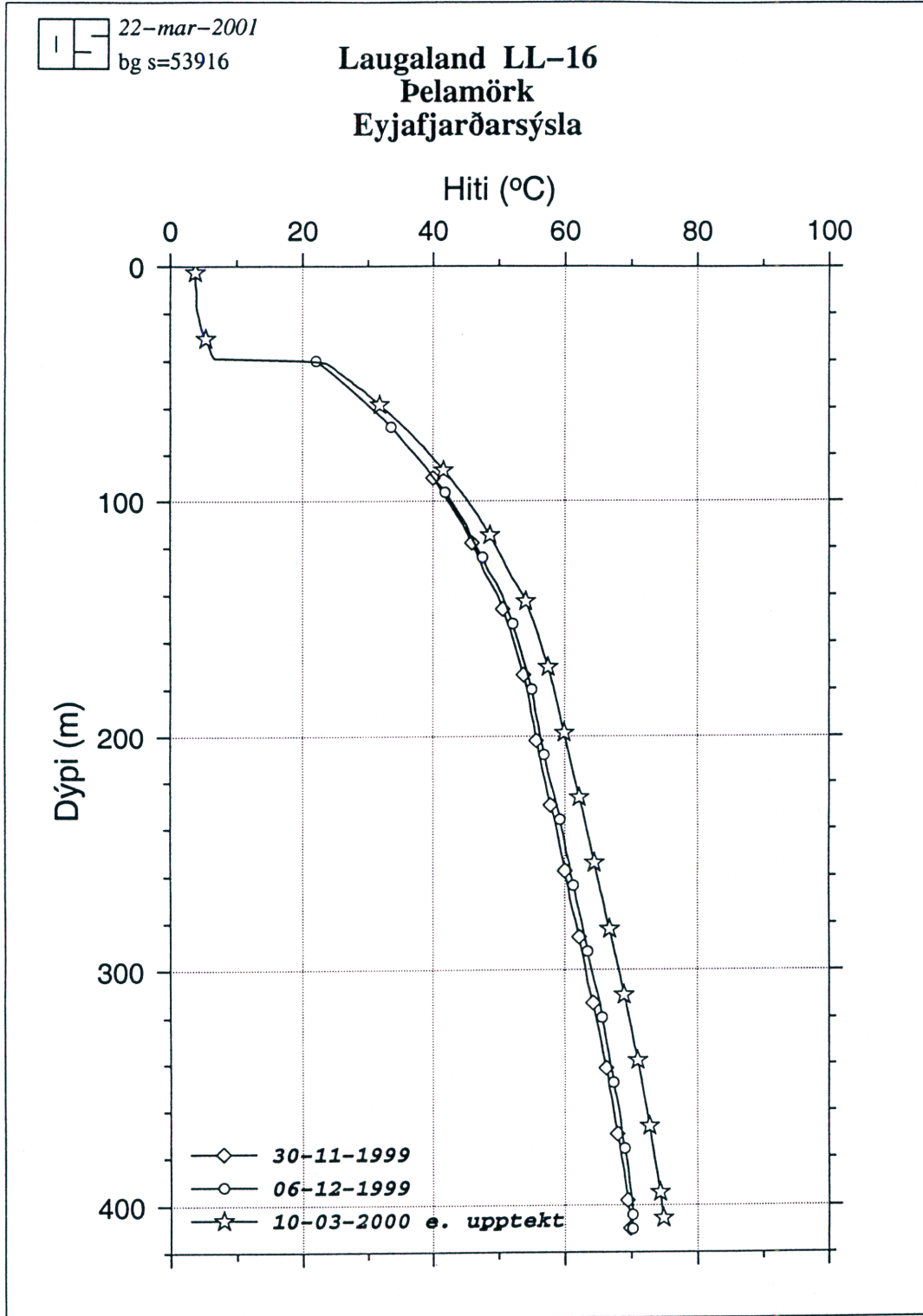
Mynd B-4. Hitamælingar í LP-13.



Mynd B-5. Hitamælingar í LP-14.



Mynd B-6. Hitamælingar í LP-16.



Mynd B-7. Hitamælingar í LP-16.

**VIÐAUKI C: BORSKÝRSLUR**



### Borskýrsla

Verkkaup: **ITA OG VATNSVEITA AKUREYRI, LAUGALAND** Staður: **ÞELANÖRK** Dags: **03-09/12 '98**  
 Heimilisfang: **Þp.12** Auk. höl: **Þp.12** Verkt.: **Verkt.:**

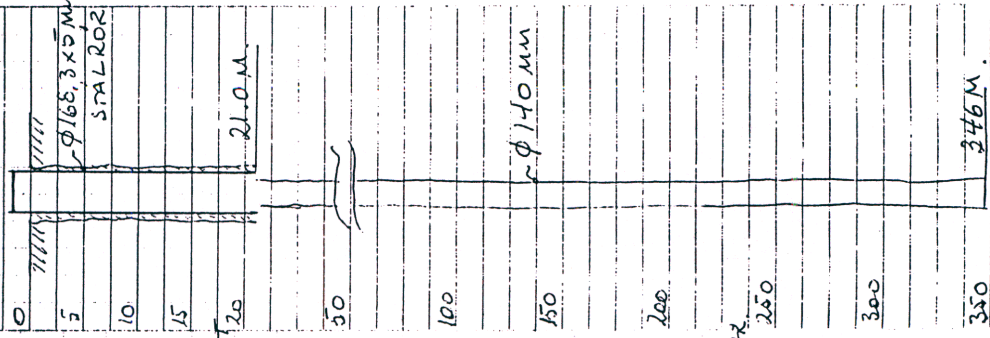
**JARÐLÖG:**

- 0 - 18 M. ÁREYRI, SAND OG LEIRBORUN
- 18 - 182 M. KLÖPP, GRÁLEIT
- 182 - 184 M. SPRUNGIÐ, VATNSAUKNING
- 184 - 250 M. KLÖPP, SKOL MÓLEIT
- 250 - 252 M. MILLIAG, RAUTT OG MÓLEIT
- 252 - 340 M. KLÖPP, SKOL MÓLEIT.

Fyrst varit við vatn á um 175 M.  
 Hitin í blæstri  $\approx 53^\circ\text{C}$  og magnið  $\approx 1\frac{1}{2}$  sek. (Þetta var mælt á 184 M.)  
 Vatnsmagnið hélt öðr. til botns, hiti  $\approx 60^\circ\text{C}$ .

Föring var steypt ríekilega úr 800 kg sementi + vatni og hjálparæfnum, eftirðneling ca 150 l, þrýst fór upp í 20 bar.

Érfilega gekk að ná sýnum af vatni á rúmlega 100 M. Þar stíflaðist holan og ekkert smáf kom upp nema í gusum þegar þú þ var að hella vatni í stenkur.



Friðj. K. Þó.



### Borskýrsla

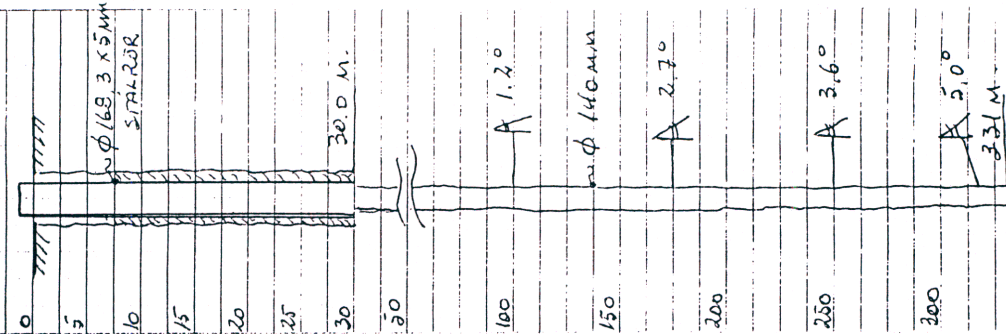
Verkkaup: **ITA OG VATNSV. AKUREYRAR LAUGALAND** Staður: **ÞELANÖRK** Dags: **08-15/01 99**  
 Heimilisfang: **Þp.13** Auk. höl: **Þp.13** Verkt.: **Verkt.:**

**JARÐLÖG:**

- 0 - 25 M. ÁREYRI, SANDUR OG MÖL
- 25 - 27 M. GRÓFARA, ERTJÖT
- 27 - 49 M. ÞÉTT KLÖPP
- 49 - 60 M. MJÚKT, FLJÓTNORAB
- 60 - 82 M. STINNARA
- 82 - 113 M. MJÚKT FLJÓTNORAB
- 113 - 114 M. SPRUNGIÐ
- 121 - 264 M. SEIGLINGSKLÖPP
- 264 - 265 M. SPRUNGIÐ
- 265 - 321 M. KLÖPP.

Fyrst varit við vatn á 82 M. ca  $1\frac{1}{2}$  s og hitin um  $20^\circ\text{C}$  þegar þetta var ath. á 100 M.

Veruleg möbbót á 113 M. Heildarmagn  $\approx 150\frac{1}{2}$  min og hitin  $\approx 38^\circ\text{C}$ .  
 Næst var stoppað við á 226 M. Þá var  $Q = 200\frac{1}{2}$  min og hitin svipaður. Líklega bætti ofurlitib í eftir þetta á 264 - 265 M. En erfiitt réynoist þó mæla það nákvæmlega í fiskikerinu. Föring steypt úr 800 kg af sementi og 350 l vatni. Steyrubora á 18 M. Eftir hörðun.



Friðj. K. Þó.

### Borskýrsla

Verkaupa	Staður	Dags
LAUGALAND	ÞELAMÖRK	APRIL '99
Hæmilsfang	Aukn. höll	Verk
	Þp-14	

Þp-14 NÁÐI EKKI ÞVI DÝPI SEM  
AÐ VAR STÉFNT VEGNA ÓHAPPS SEM  
VARÐ ÞEGAR BORSRENGUR SLIÐNAÐI  
OG HAMAR FÉSTIÐ.

HOLA Þp-16 VAR ÞVI BORUÐ VIÐ  
HLIÐINA Á Þp-14; CA 10 M FRÁ.  
NIÐUR Á 406 M. DÝPI.

SANKV. UPPLYSINGUM FRÁ ÖRKU-  
STOFNUM HEFUR HOLAÐ EKKERT.  
UPPLÝSINGALEGT GILDI FYRIR  
HVA, OG FÉKST EKKERT FYRIR  
HANA GREITT.

EIGANDI Þp-14 ER ALVARR EHF.

Frétt.

### Borskýrsla

Verkaupa	Staður	Dags
HITA OG VATNSV. AKUREYRAR	ÞELAMÖRK	20-26/11 99
Hæmilsfang	Aukn. höll	Verk
	Þp-16	

JARÐLÖG:

- 0 - 23 M. FINEFNI, SANDUR
- 23 - 24 M. MALARBLANDAÐUR SANDUR
- 24 - 25 M. MÓHELLA OG KLÖPP
- 25 - 37 M. KLÖPP, MÓLEIT
- 37 - 51 M. KLÖPP
- 51 - 55 M. RAUT, VATNSRAKI
- 55 - 81 M. KLÖPP, GRÁ
- 81 - 83 M. RAUT
- 83 - 89 M. KLÖPP MÚK
- 89 - 116 M. KLÖPP
- 116 - 120 M. DÖLET, FLJÓTBORÐ
- 120 - 127 M. KLÖPP
- 127 - 132 M. RAUT OG MÓLEIT
- 132 - 138 M. GRÁ MÓLEIT
- 138 - 142 M. RAUÐLEIT, STUNT
- 142 - 145 M. GRÁTT, MÚK
- 145 - 179 M. LAGSEIPT, GRÁTT
- 179 - 181 M. RAUT
- 181 - 200 M. SEIGLINGSKLÖPP
- 200 - 232 M. MÚK, MÓLEIT
- 232 - 244 M. ÞÉTT KLÖPP
- 244 - 360 M. MÚK, LAGSEIPT
- 360 - 377 M. ÞÉTT, GRÁTT
- 377 - 406 M. MÚK, RAUÐMÓLEIT.

