



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Ólafur G. Flóvenz
Jens Tómasson
Grímur Björnsson

RANNSÓKNARBORANIR
VIÐ LAUGALAND Á ÞELAMÖRK 1989
Borun, mælingar og úrvinnsla gagna

OS-90014/JHD-02
Reykjavík, apríl 1990

Unnið fyrir
Hitaveitu Akureyrar



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Ólafur G. Flóvenz
Jens Tómasson
Grímur Björnsson**

RANNSÓKNARBORANIR

VIÐ LAUGALAND Á ÞELAMÖRK 1989

Borun, mælingar og úrvinnsla gagna

OS-90014/JHD-02
Reykjavík, apríl 1990

**Unnið fyrir
Hitaveitu Akureyrar**

ÁGRIP

Haustið 1989 voru boraðar fjórar 200 - 360 m djúpar rannsóknarholur, LPÝ-5 - LPÝ-8, við Laugaland á Pelamörk. Tilgangurinn var að leita uppstreymisrásar líðlega 90°C heits vatns, sem fyrri boranir hafa sýnt að er að finna á Laugalandi og undirbúa þannig staðsetningu djúprar könnunar- og vinnsluholu. Sú hola gæti skorið úr um hvort nægjanlega mikið vatn sé að hafa á Laugalandi til að það borgi sig að leiða það til Akureyrar.

Gengið var út frá því við staðsetningu holanna að uppstreymisrás jarðhitans væri tengd einhverri af þremur sprungum sem fundust með viðnámsniðsmælingum árin 1983 og 1984. Athyglinni var einkum beint að þeirri sprungu sem liggur samsíða syðri bakka Hörgár, enda voru laugar þar áður en boranir hófust.

Staðsetning holanna byggðist á að kanna tvo kosti sem líklegastir þóttu í ljósi niðurstaða rannsókna á árunum 1983 og 1984. Báðir þessir kostir gerðu ráð fyrir að uppstreymið væri tengt sprungu sem liggur meðfram syðri bakka Hörgár. Sá fyrri fól í sér að sprungunni hallaði talsvert til austurs og heita vatnið kæmi upp eftir henni, rétt við holu 2. Fyrsta holan (hola LPÝ-5) sýndi að svo er ekki.

Hinn kosturinn var sá að heita vatnið komi skáhallt upp eftir sprungufletinum úr suðri eða norðri. Beindust næstu holur að því að kanna það. Í ljós kom að líklegasti uppstreymisstaðurinn er milli hola LPÝ-5 og LPÝ-6. Halli sprunguflatarins er óþekktur en líklegt er að sprungunni halli inn undir syðri bakka Hörgár.

Ekki er þó með öllu óhugsandi að heita vatnið komi upp af miklu dýpi talsvert sunnan við núverandi borsvæði en leiti þaðan eftir millilögum á um 700 m dýpi að sprungunni við Hörgá og komi upp með henni síðasta spólinn til yfirborðs. Til greina kemur að kanna það nánar með viðnámsmælingum sunnan Laugalands.

Jarðlagagreiningar sýna að flestallar vatnsæðar í holum við Laugaland eru tengdar nær láréttum millilögum. Uppstreymisrásin sjálf er enn ófundin. Ennfremur hefur komið í ljós að 2-3 misgengi liggja um svæðið og hafa þau líklega talsverð áhrif á rennsli vatns á svæðinu. Berggangar, sem hafa fundist á svæðinu, sýnast þéttir nema við láréttu millilögin þar sem þeir hleypa vatni í gegnum sig, væntanlega um láréttar stuðlasprungur.

Vatnsborðsathuganir, sem gerðar voru meðan á borun stóð, sýna að lítil lekt er í efsta hluta jarðhitakerfisins við Laugaland. Gróflega metið virðast núverandi holur geta gefið um 10 l/s með um 70 m niðurdrætti. Vatnsborðshækkun, sem varð í borholum við að dæling var flutt úr holu 2 í holu LPÝ-5, styður þá niðurstöðu viðnámsmælinga að sprunga meðfram Hörgá stýri uppstreymi heita vatnsins.

Lagt er til að leit verði haldið áfram með borunum að afloknum hitamælingum í holum 2 og 3 og verði athyglinni beint að svæðinu milli hola LPÝ-5 og LPÝ-6.

EFNISYFIRLIT

| | |
|---|----|
| ÁGRIP | 2 |
| 1. INNGANGUR | 5 |
| 2. HOLA LPÝ-5 | 7 |
| 2.1 Staðsetning | 7 |
| 2.2 Borun | 7 |
| 2.3 Jarðlög | 9 |
| 2.4 Hitamælingar | 9 |
| 2.5 Vatnsæðar | 9 |
| 3. HOLA LPÝ-6 | 12 |
| 3.1 Staðsetning | 12 |
| 3.2 Borun | 12 |
| 3.3 Jarðlög | 12 |
| 3.4 Hitamælingar | 13 |
| 4. HOLA LPÝ-7 | 17 |
| 4.1 Staðsetning | 17 |
| 4.2 Borun holunnar | 17 |
| 4.3 Jarðlög | 17 |
| 4.4 Hitamælingar | 18 |
| 5. HOLA LPÝ-8 | 20 |
| 5.1 Staðsetning | 20 |
| 5.2 Borun | 20 |
| 5.3 Jarðlög | 20 |
| 5.4 Hitamælingar | 22 |
| 6. UMMYNDUN JARÐLAGA | 23 |
| 7. TENGING JARÐLAGA MILLI BORHOLA | 24 |
| 8. HITI Í JÖRÐU Á BORSVÆÐINU | 27 |
| 9. VATNAFRÆÐILEGT SAMBAND MILLI BORHOLA | 31 |
| 10. NIÐURSTÖÐUR | 36 |
| 11. TILLÖGUR | 37 |
| HEIMILDIR | 38 |

SKRÁ YFIR MYNDIR

| | Bls. |
|--|------|
| Mynd 1: Afstöðumynd og staðsetning borhola | 6 |
| Mynd 2: Jarðlagasnið og jarðlagamælingar í holu LPÝ-5 | 8 |
| Mynd 3: Hitamælingar í LPÝ-5 | 10 |
| Mynd 4: Hitamæling í LPÝ-5 frá 10. janúar 1990 | 11 |
| Mynd 5: Jarðlagasnið og jarðlagamælingar í holu LPÝ-6 | 14 |
| Mynd 6: Hitamælingar í holu LPÝ-6 | 15 |
| Mynd 7: Hitamæling í holu LPÝ-6 frá 10. janúar 1990 | 16 |
| Mynd 8: Jarðlagasnið og jarðlagamælingar í holu LPÝ-7 | 18 |
| Mynd 9: Hitamælingar í holu LPÝ-7 | 19 |
| Mynd 10: Jarðlagasnið og jarðlagamælingar í holu LPÝ-8 | 21 |
| Mynd 11: Hitamælingar í holu LPÝ-8 | 22 |
| Mynd 12: Kort af misgengjum, göngum og sprungum við Laugaland | 26 |
| Mynd 13: Hita og jarðlagasnið um holur 7,6,5,2 og 8 | 29 |
| Mynd 14: Samanburður á hitamælingum í mismunandi holum | 30 |
| Mynd 15: Vatnsborð í holu 2 við loftborun LPÝ-5 | 33 |
| Mynd 16: Jöfnun vatnsborðs í holu LPÝ-5 eftir loftborun | 33 |
| Mynd 17: Vatnsborð í holu LPÝ-5 við loftborun LPÝ-6 | 34 |
| Mynd 18: Vatnsborð í holu LPÝ-6 við loftborun LPÝ-8 | 34 |
| Mynd 19: Vatnsborð í holu LPÝ-5 við loftborun LPÝ-8 | 35 |
| Mynd 20: Hækkun vatnsborðs er vinnsla var flutt úr holu 2 í holu LPÝ-5 | 35 |

SKRÁ YFIR TÖFLUR

| | |
|--|----|
| Tafla 1: Yfirlit um borholur við Laugaland á Þelamörk | 7 |
| Tafla 2: Vatnsæðar í holu LPÝ-5 | 10 |
| Tafla 3: Vatnsæðar í holu LPÝ-6 | 12 |
| Tafla 4: Hæðarafstaða millilaga í borholum | 25 |
| Tafla 5: Niðurstöður dæluþrófana | 31 |
| Tafla 6: Vatnsborð hola fyrir og eftir tengingu holu LPÝ-5 | 32 |

1. INNGANGUR

Á tímabilinu 2. - 20. nóv. 1989 voru boraðar fjórar rannsóknarholur, LPÝ-5 - LPÝ-8, við Laugaland á Þelamörk. Tilgangur holanna var að leita að uppstreymisrás þess heita vatns, sem áður kom til yfirborðs á bökkum Hörgár, en fæst nú úr borholum.

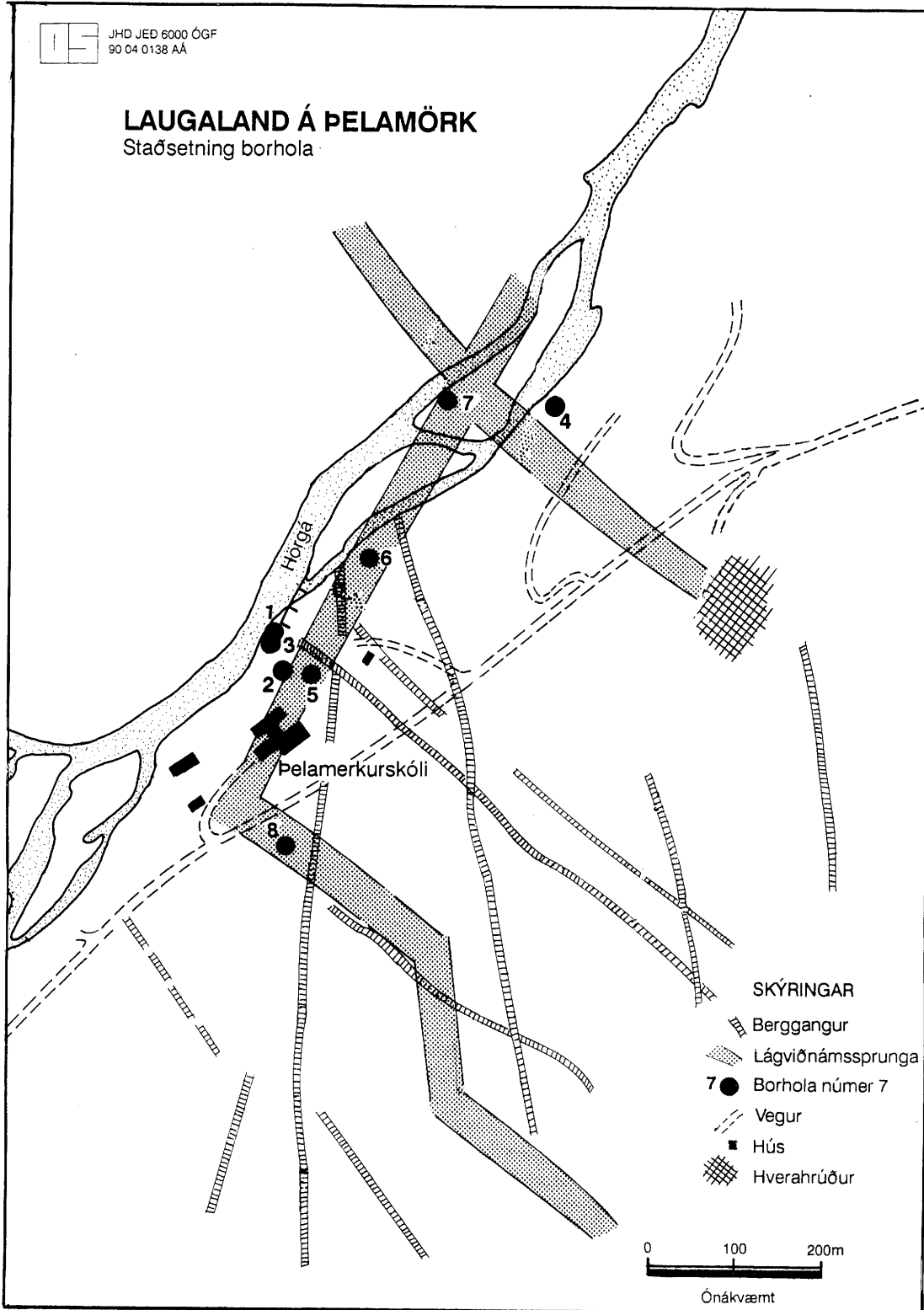
Áður en borað var höfðu farið fram ítarlegar yfirborðsrannsóknir og mælingar í þeim fjórum holum sem boraðar voru á tímabilinu 1941 til 1970. Þeim mælingum voru gerð skil í skýrslu til Hitaveitu Akureyrar árið 1984 (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1984). Mynd 1 sýnir kort af rannsóknarsvæðinu. Þar eru merktar sprungur sem fundust við viðnámssniðsmælingar og berggangar sem fundust við segulmælingar. Helstu niðurstöður skýrslunnar frá 1984 voru:

1. Suðvestan Þelamerkurskóla fannst sprunga með norðvestlæga stefnu sem virðist ná norður undir Hörgá. Önnur sprunga með svipaða stefnu fannst um 100 m suðvestan holu 4. Til suðurs nær hún að þeim stað þar sem hverahrúðursbreiður sjást í hlíðinni ofan núverandi þjóðvegur en til norðurs finnst hún greinilega norðan Hörgár svo langt sem mælingarnar ná. Þriðja sprungan hefur norðaustlæga stefnu og liggur meðfram Hörgá milli hinna tveggja. Jarðhitinn á Hörgárbökkum neðan Þelamerkurskóla virðist vera á þessari sprungu og holur 1, 2 og 3 eru boraðar rétt við hana (sjá mynd 1).
2. Þrjár berggangar fundust rétt við laugarnar á Hörgárbökkum en viðnámssniðsmælingar benda ekki til að umtalsverð lekt fylgi þeim.
3. Hitamælingar úr borholum sýna að 91,6°C heit vatnsæð er á tæplega 700 m dýpi í holu 2 en þar fyrir neðan kólnar holan samfelld niður á botn og er 83,9°C á 1020 m dýpi. Með hliðsjón af hitamælingum í holum 1 og 3 og með hjálp líkanreikninga af hita kringum vatnsæðar í jörðu, var dregin sú ályktun að annað hvort hlyti sprungunni með Hörgárbökkum að halla umtalsvert til austurs frá lóðréttu eða að æðarnar í holum 1-3 tengust láréttu rennsli eftir sprungunni á árbakkanum. Í því tilviki væri uppstreymisrás jarðhitans í nokkurri fjarlægð frá holum 1-3 og rennslið eftir sprungunni aðeins ofan 700 m dýpis.

Að þessum niðurstöðum fengnum var mælt með því að ráðist yrði í borun grunnra rannsóknarhola til að leita uppstreymisrásar jarðhitans. Þessi skýrsla fjallar um borun rannsóknarholanna og þær upplýsingar sem þær veita um jarðhitakerfið á Laugalandi.

Borverkið var boðið út í opnu útboði samkvæmt verk- og útboðslýsingu sem unnin var af Orkustofnun. Tvö tilboð bárust, frá Jarðborunum h.f. og Ísbor h.f. Tilboð Jarðborana reyndist verulega lægra og var því tekið og jarðborinn Ýmir notaður til verksins.

Alls hafa nú verið boraðar 8 holur í rannsóknarskyni á Laugalandi á Þelamörk. Í töflu 1 er yfirlit um þessar holur og staðsetning þeirra er sýnd á mynd 1.



MYND 1 Afstöðumynd og staðsetning borhola

TAFLA 1. Yfirlit um borholur við Laugaland á Þelamörk

| Hola nr. | Borár | Bor | x-hnit (m) | y-hnit (m) | Hæð m.y.s. | Dýpi (m) | Vidd holu " | Fóðring | |
|----------|---------|-----------------|-------------|------------|------------|----------|--|--|-----------------------|
| | | | | | | | | vídd (") | lengd (m) |
| 1 | 1941-44 | Haglabor | | | 19 | 375 | 4(?) | ? | ? |
| 2 | 1964-65 | Norður-landsbor | 19818.6019° | 6184.7689° | 29.51° | 1088m | 12 ¹ / ₄ í 19m 8 ³ / ₄ í 446m 6 ¹ / ₄ í 1088 | 13 ³ / ₈ 9 ⁵ / ₈ 8 ¹ / ₂ | 1.75 19.5 20.25 |
| 3 | 1969-70 | Norðurbor | | | 18 | 667 | 12 ¹ / ₂ í 85m 6 ¹ / ₂ í 667m | 13 ³ / ₈ | 9 |
| 4 | 1970 | Norðurbor | 20111.1808° | 6501.6907° | 21.38° | 711 | 15 í 9m 6 ¹ / ₄ í 711 | | |
| LPÝ-5 | 1989 | Ýmir | 19811.5775° | 6218.6661° | 33.42° | 239.1 | 6 ¹ / ₂ | 7 ⁵ / ₈ | 23 |
| LPÝ-6 | 1989 | Ýmir | 19954.1335° | 6302.3063° | 27.62° | 360.9 | 6 ¹ / ₂ | 7 ⁵ / ₈ | 20 |
| LPÝ-7 | 1889 | Ýmir | | | 16.52° | 208.4 | 6 ¹ / ₂ | 7 ⁵ / ₈ | 26 |
| LPÝ-8 | 1989 | Ýmir | | | 42.84° | 251.1 | 10 í 12m 6 ³ / ₄ | 14 8 ⁵ / ₈ | 6 12 |

Tölur merktar ° eru hnit í hnitakerfi Akureyrar mæld af starfsmönnum bæjarverkfræðings. Allar víddir eru gefnar í tommum.

2. HOLA LPÝ-5

2.1 Staðsetning

Holunni var valinn staður í brekkunni 34 m upp af holu 2 og 40 m norður af norðurgafli neðstu álmu Þelamerkurskóla. Markmiðið með því að bora þarna var að kanna hvort aðfærsluæð lauganna við Hörgá gæti verið norðaustlæg, austurhallandi sprunga. Samkvæmt viðnámsniðsmælingum virtist skurðlína sprungunnar við yfirborð vera 10-30 m vestan við þessa holu.

2.2 Borun

Áður en Ýmir kom á staðinn hafði verið grafið niður um 6 m langt og 14" vítt rör. Niður úr því var síðan borað með ODEX búnaði en þá er fóðurrörið látið fylgja með borkrónunni í borun og holan þannig fóðruð jafnóðum. Fóðrað var með 7⁵/₈" röri niður á 23 m dýpi og rörið síðan steipt fast með því að dæla steypu niður í gegnum rörið og upp að utan.

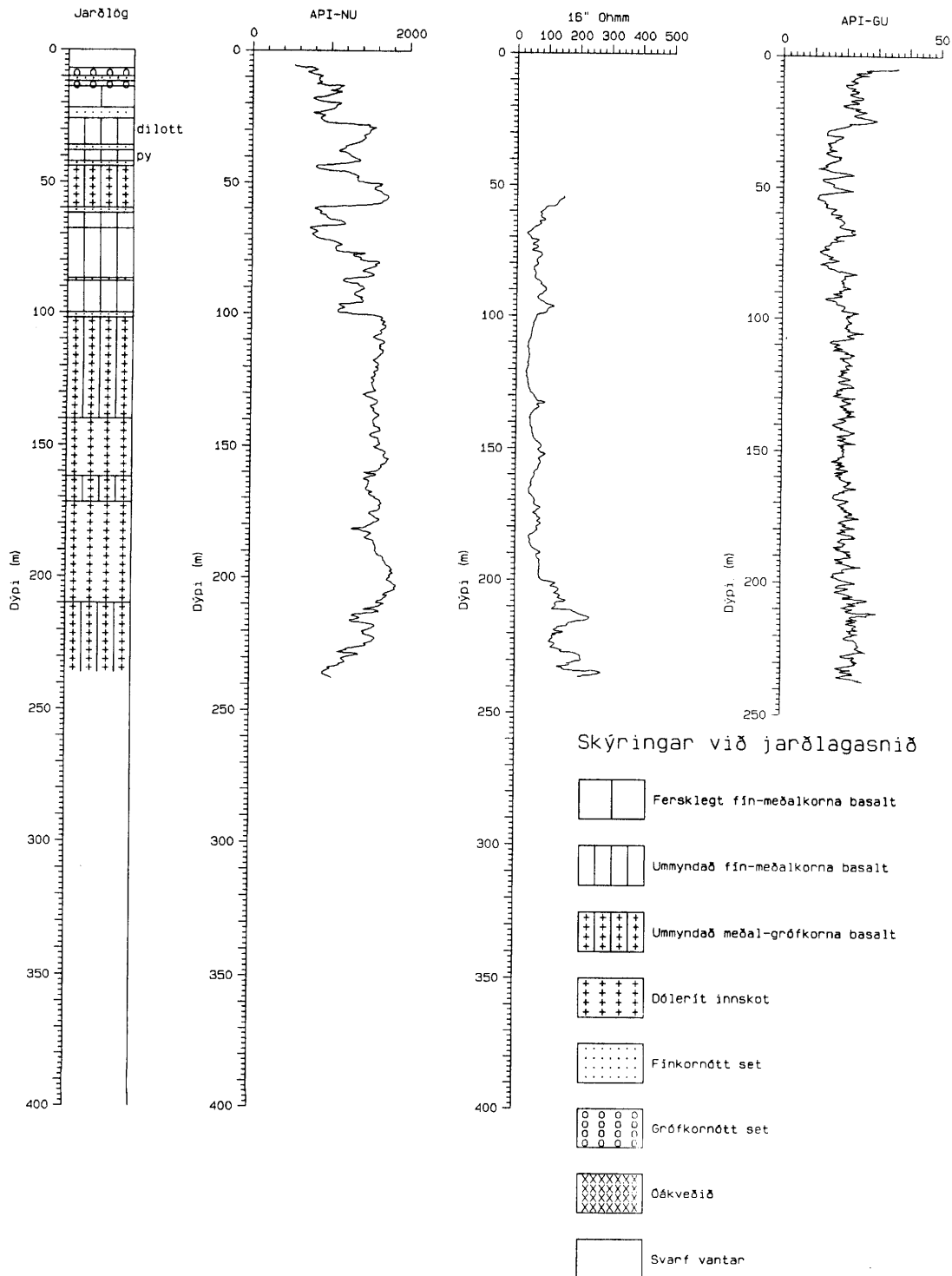
Þann 4. nóvember var hafist handa um að bora niður úr fóðringu. Á fyrsta degi var borað í 172 m. Vatn kom í holuna á nokkrum stöðum. Að kvöldi var holan loftdæld með stengur hangandi á tæplega 170 m dýpi. Komu þá upp um 16 l/s af 74,4°C vatni.

Hitamæling, sem gerð var að morgni 5. nóvember, sýndi nánast jafnan hitastigul frá um 40 m dýpi niður að æðinni á um 100 m dýpi þar sem hiti mældist um 78°C. Þaðan og niður að æð á um 160 m seig hitinn í um 76°C en kólnar síðan snögglega þar fyrir neðan. Sú kólnun ásamt jöfnum hitastigli efst þótti ótvírætt merki þess að verið væri að bora í nær lárétta vatnsæð en ekki í hallandi sprungu. Samt sem áður var ákveðið að bora áfram fram til kvölds til að fá betri upplýsingar um hitastigul neðan æðanna.

Borun holunnar lauk kl. 18:58 um kvöldið og var hún þá orðin 239,1 m djúp. Að borun lokinni var loftdælt úr holunni 13,9 l/s fram til kl. 19:10. Holan var hallamæld tvívegis, í 50 m og 98 m dýpi og reyndist lóðrétt í bæði skiptin.

JHD-JEL-6000 06F
90030101 t

Laugaland á Þelamörk
Höla LPÝ-5
Jarðlög og jarðlagamælingar



MYND 2 Jarðlagasnið og jarðlagamælingar í hólum LPÝ-5

2.3 Jarðlög

Borsvarf var greint til að fá upplýsingar um gerð jarðlaga, ummyndunarstig þeirra og til að finna út hvaða jarðlögum vatnsæðar fylgja. Á mynd 2 er sýnt jarðlagasnið úr holunni. Helstu jarðmyndarnir sem sjást eru:

- 0 - 7 m Vantar svarf.
- 7 - 14 m Svolítið misgróft, oft leirkennt set með stöku basaltkornum.
- 14 - 62 m Dífótt og fremur grófkristölluð basaltlög með allþykkum rauðum setlögum. Efsta lagið er þó dífalaust þóleiútbasaltlag.
- 62 -102 m Fínkristölluð fremur fersk basaltlög (þóleiútbasalt) með þunnum millilögum.
- 102-236 m Gangur, engin lagmót sjást en gangur virðist vera svolítið misgróft kristallaður. Ummyndun er talsverð en víðast eru engar holufyllingar nema í neðstu 25 m. Þar er talsvert af holufyllingum en einnig rauðleit ummyndun við sprungur.

2.4 Hitamælingar

Alls voru gerðar 6 hitamælingar í holu LPÝ-5 frá 5.11.1989 fram til 10.1.1990. Þær eru allar sýndar á mynd 3. Nýjasta mælingin er að auki sýnd sérstaklega á mynd 4 en búast má við að hitinn í holunni sé kominn í jafnvægi við bergið í kring. Þar sést vel að hitinn vex nær línulega úr 23°C á 10 m dýpi í 73° á 80 m dýpi. Þá dregur verulega úr hitastigli og í æðinni á 100 m dýpi mælist hitinn hæstur um 79°C. Frá æðinni í 100 m er jöfn og væg kólnun með dýpi í um 77°C á 160 m en þar var neðsta æð holunnar. Þar fyrir neðan snöggekólnar holan í 72°C á 170 m dýpi en hitnar síðan rólega í 73°C í botni holunnar á 239 m dýpi.

Við samanburð hitamælinga úr holunni má sjá að á milli 100 og 160 m hefur holan verið heitust í mælingunum 7. og 9. nóvember en kólnar síðan jafnt og þétt með tíma á þessu dýptarbili. Í mælingunni frá 7. nóvember er holan heitust á 155 m dýpi, 81,3°C en við mælingu þann 10. jan. 1990 hafði hún kólnað í 77,2°C á sama dýpi. Þá kom í ljós við dælingu úr holunni, í um tvo sólarhringa í byrjun janúar 1990, að vatnið úr henni hitnaði smám saman og komst yfir 80°C. Ekki er ljóst hvað veldur þessu. Þó er hugsanlegt að holan dragi til sín heitara vatn frá holu 2 og þá um æðina á 160 m dýpi.

Af hitamælingunum í LPÝ-5 má draga eftirtaldar ályktanir:

1. Nær fastur hitastigull í efstu 80 m holu LPÝ-5 bendir til þess að um sé að ræða lárétt rennsli í allútbreiddu jarðlagi á um 100 m dýpi.
2. Kólnun neðan æðarinnar í 160 m útilokar nánast þann möguleika að heita vatnið komi djúpt úr jörðu eftir austurhallandi sprungu rétt við holu 2, heldur renni það lárétt eftir jarðlögum eða sprungu að holu 2 og laugunum.

Þá er athyglisvert að kólnun verður í holunni neðan æðarinnar á 160 m dýpi, þrátt fyrir að bor- að sé niður eftir gangi. Það þýðir að heita vatnið streymir ekki upp eftir ganginum; annað hvort rennur það lárétt eftir ganginum á bilinu 100-160 m eða að það kemur úr láréttum lögum sem liggja að ganginum.

2.5 Vatnsæðar

Í töflu 2 eru skráðar vatnsæðar, sem fundist hafa í holunni. Staðsetning þeirra er byggð á bor-skýrslum, hitamælingum í holunni og mælingum á rennsli og hita í borun. Þar er einnig sýnt hvaða jarðlög greindust í holunni við æðarnar. Þar sem neðri hluti holunnar er allur í berggangi er einnig sýnt hvaða jarðlög voru greind í svarfi á sama dýpi í holu 2.

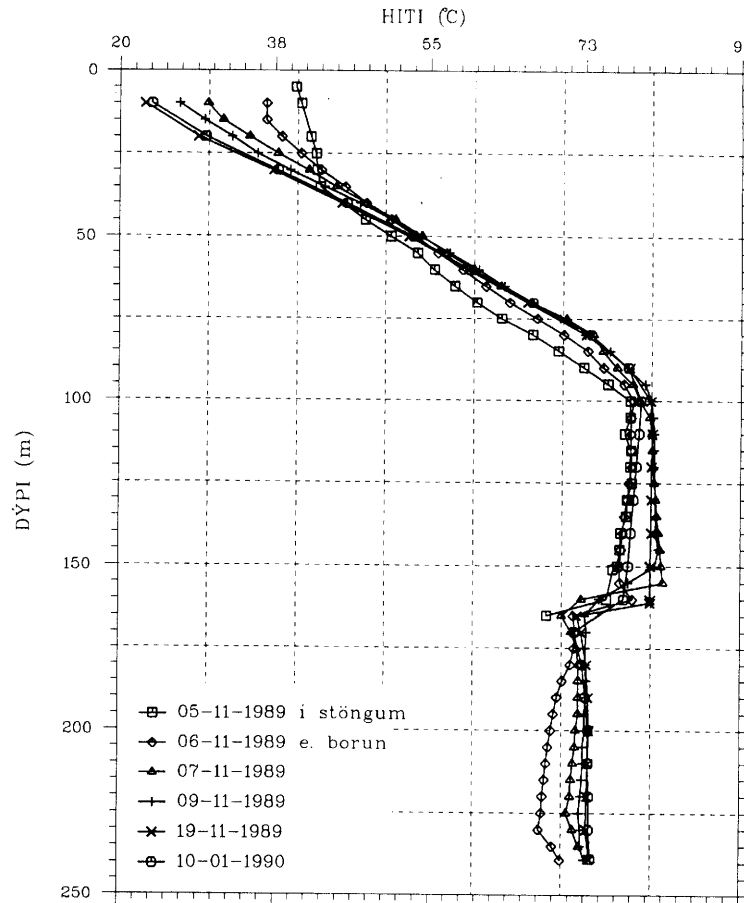
TAFLA 2. Vatnsæðar og jarðlög í holu LPÝ-5

| Dýpi á æð (m) | Gerð jarðlags | Jarðlag skv. holu 2 | Rennsli ^{*)} (l/s) í loftdælingu | Breyting í hita skolvatns (°C) |
|---------------|-------------------|---|---|--------------------------------|
| 80 | basaltlag | rautt setlag og basaltrík breksía | 0.5 | úr 21.5 í 26.1 |
| 100 | millilag við gang | rautt setlag og basaltrík breksía | 4.6 | smá hækkar í 44.8 |
| 159 | gangur | basaltlag, skammt frá rauðleitu setlagi | 16.0 | úr 44.8 í 63.0 |

^{*)} Heildarrennsli eftir að komið var í viðkomandi æð.

26 Mar 1990 ogf
L= 53905 Oracle

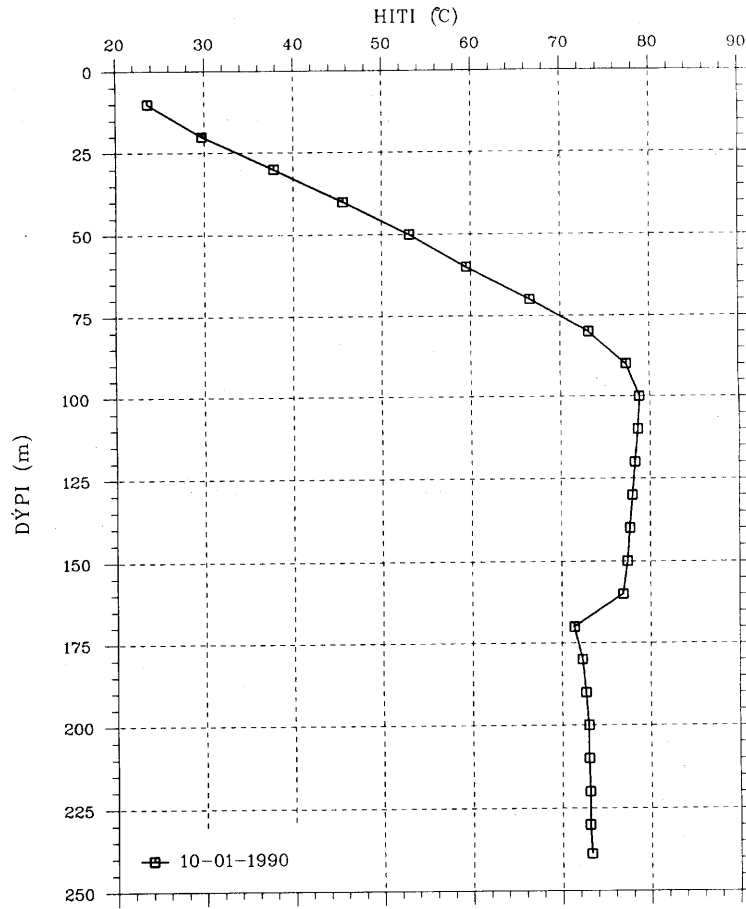
Laugaland á Pelamörk
Hitamælingar í holu LPÝ-5



MYND 3 Hitamælingar í LPÝ-5

□ 26 Mar 1990 ogf
L= 53905 Oracle

Laugaland á Belamörk
Hitamæling í holu LPÝ-5



MYND 4 Hitamælingar í LPÝ-5 frá 10. janúar 1990

3. HOLA LPÝ-6

3.1 Staðsetning

Eftir að ljóst þótti að vatnið rynni lárétt að holum 2 og 5, var afráðið að leita uppstreymis jarðhitans eftir sprungunni, sem fannst í viðnámsmælingunum, og liggur nær samsíða syðri bakka Hörgár (mynd 1). Með hliðsjón af hverahrúðurbreiðunum sem er á nyrðri hluta sprungukerfisins þótti rétt að leita fyrst til norðurs. Aðstæður eru fremur erfiðar til borunar á þessum slóðum vegna þykkra malarlaga á árbakkanum og mjög mikils bratta að ánni. Á einum stað er þó geil í malarhjallana þar sem hægt var að komast nægjanlega nærri sprungunni án þess að bora gegnum mjög þykk laus jarðlög. Þar var holu LPÝ-6 valinn staður.

3.2 Borun

Borunin hófst þann 6.11.1989. Var borað með ODEX búnaði niður í fast berg og fódrað með 7⁵/₈" röri niður á 20 m og rörið steyppt fast. Borun í föstu bergi hófst að morgni 7.11.1989 og var borað með 6¹/₂" lofthamri niður á 360,9 m dýpi á þremur dögum. Á 32,4 m dýpi kom smáæð í holuna (0,4 l/s í blæstri). Önnur æð kom á 147 m dýpi og rennsli jókst í 3,5 l/s. Á 152 m kom aðalvatnsæð holunnar og komu þá 12 l/s upp í loftboruninni. Ekki varð vart við fleiri æðar í holunni fyrr en á 278 m að rennsli í borun eykst úr tæpum 10 l/s í 12,7 l/s. Í töflu 3 er gefið yfirlit yfir vatnsæðar í holunni og hvaða jarðlögum þær tengjast.

TAFLA 3. Vatnsæðar í holu LPÝ-6

| Dýpi á æð (m) | Gerð jarðlags | Rennsli (l/s) í loftborun | Breyting í hita skolvatns (°C) |
|-------------------|---------------|---------------------------|--------------------------------|
| 32.4 | millilag | 0.4 | 23.4 |
| 147-152 | millilag | 12 | úr 30.4 í 65.5 |
| 198 ¹⁾ | millilag | | |
| 278 | basaltlag | 12.7 | úr 64.2 í 65.0 |

¹⁾ Sést aðeins í hitamælingum

Halli holunar var mældur af og til og urðu niðurstöður sem hér segir:

| Dýpi (m) | Halli frá lóðréttu (°) |
|----------|------------------------|
| 48 | 0 |
| 104 | <1 |
| 170 | <1 |
| 220 | 0.8 |

3.3 Jarðlög

Á mynd 5 er sýnt jarðlagasnið úr holu LPÝ-6 samkvæmt greiningu borsvarfs. Helstu jarðmyndarnir sem sjást eru:

- 0 - 8 m Ekkert svarf.
- 8 - 16 m Misgróft set. Basaltdreifikorn bæði undir og yfir brotkornastærðinni. Bindiefnið leirkenndur massi.
- 16 - 64 m Dílótt basaltlög, fremur grófkristölluð með þunnum, rauðum millilögum. Lögin eru talsvert mikið ummynduð og töluvert af holufyllingum.

- 64 -102 m Fínkristölluð basaltlög misjafnlega blöðrótt, ummynduð með þunnum millilögum (þóleiðbasaltlög).
- 102-134 m Fínkristallað basalt sem verður grófara með dýpi. Basaltið er nokkuð ummyndað efst en ekkert blöðrótt, en ferskar bríkur finnast í þessu og þar eru engar holufyllingar. Þetta lag sést einnig greinilega í jarðlagamælingum í holum 2, 3, 7, og 8 og er því þykkt þóleiðbasaltlag fremur en gangur. Á 110 - 114 m í holu LPÝ-6 er lag þetta skorið af nokkuð óreglulegri sprungu sem er nær eingöngu fyllt zeólítum, mesólíti (90%), skólesíti og heulandíti.
- 134-208 m Fínkristölluð ummynduð basaltlög með rauðum millilögum nema efstu og neðstu lögin eru nokkru grófari og dílótt.
- 208-290 m Fínkristölluð basaltlög með rauðum þunnum millilögum, þykkt basaltlaganna getur farið yfir 20 m (þóleiðbasaltlög).
- 290-312 m Fínkristölluð basaltlög með þykkum rauðum setlögum.
- 312-360 m Fínkristölluð basaltlög nema efsta lagið sem er meðalgróft og dílótt. Millilögin eru þunn, rautt set eða túff.

Athyglisverðast við jarðlögin í þessari holu eru zeólítarnir sem komu fram á 110-114 m. Svarfið sem þarna kom upp var nær eingöngu úr zeólítum (geislasteinum). Þetta er trúlega sprungufylling og sýnir að þarna er um mjög víða sprungu að ræða. Í borholumælingum kemur glögglega fram að þetta er sprunga inni í allþykku hraunlagi.

3.4 Hitamælingar

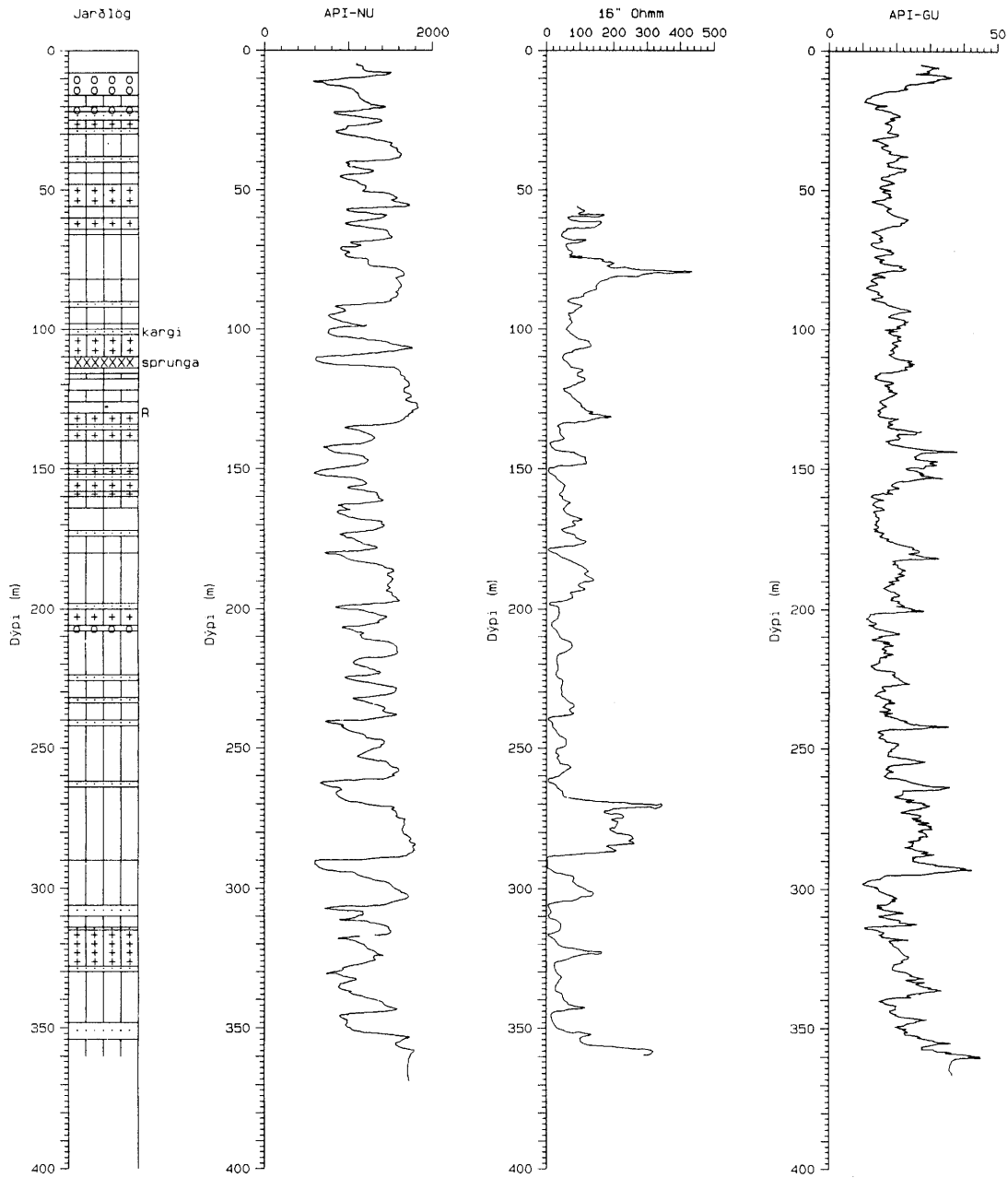
Alls hafa verið gerðar 6 mælingar í holu LPÝ-6 og eru þær sýndar á mynd 6. Að auki er nýjasta mælingin (frá 10.01.1990) sýnd á mynd 7. Hitamælingar sem gerðar voru í borun sýndu að hiti náði um 75°C í æðinni á 152 m dýpi, en lækkaði þar fyrir neðan. Var því augljóst að holan var nokkurn spöl frá meginuppstreyminu. Hitastigull neðan æðarinnar er hins vegar allhár sem bendir til þess að uppstreymisrásin sé ekki mjög langt undan.

Greinlegt er að holan fer hitnandi með tíma milli æðanna í 32 m og 152 m. Skýringin er væntanlega sú að örlítið rennur upp úr æðinni í 152 m og út í æðina á 32 m dýpi. Því er lítið unnt að segja um raunverulegan berghita á þessu dýpi nema hvað hann hlýtur að vera eitthvað lægri en fyrsta hitamælingin gefur til kynna.

Neðan æðarinnar í 198 m er allhár stigull í holunni. Ef sá stigull heldur áfram neðan 360 m næði hún þeim hita, sem virðist ríkja í vatnskerfinu, (92°C) á um 450 m dýpi. Því er líklegt að holan sé jafnnálægt eða nær uppstreymi jarðhitans en hola 2.

JHD-JEL-6000 06F
90030102 t

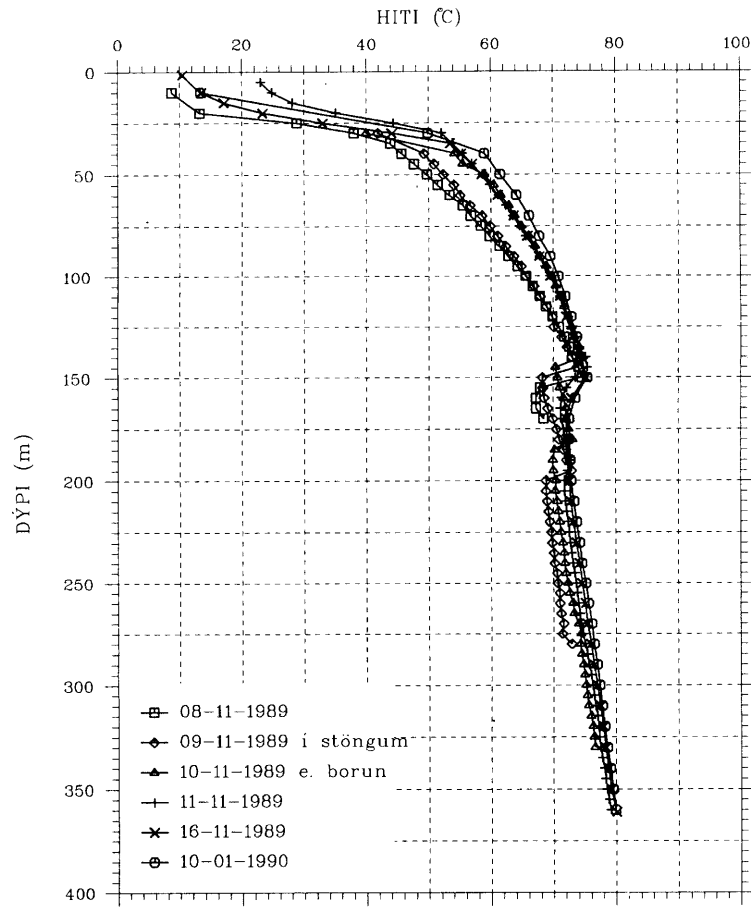
Laugaland á belamörk
Höla LPÝ-6
Jarðlög og jarðlagamælingar



MYND 5 Jarðlagasnið og jarðlagamælingar í holu LPÝ-6

☐ 26 Mar 1990 ogf
L= 53906 Oracle

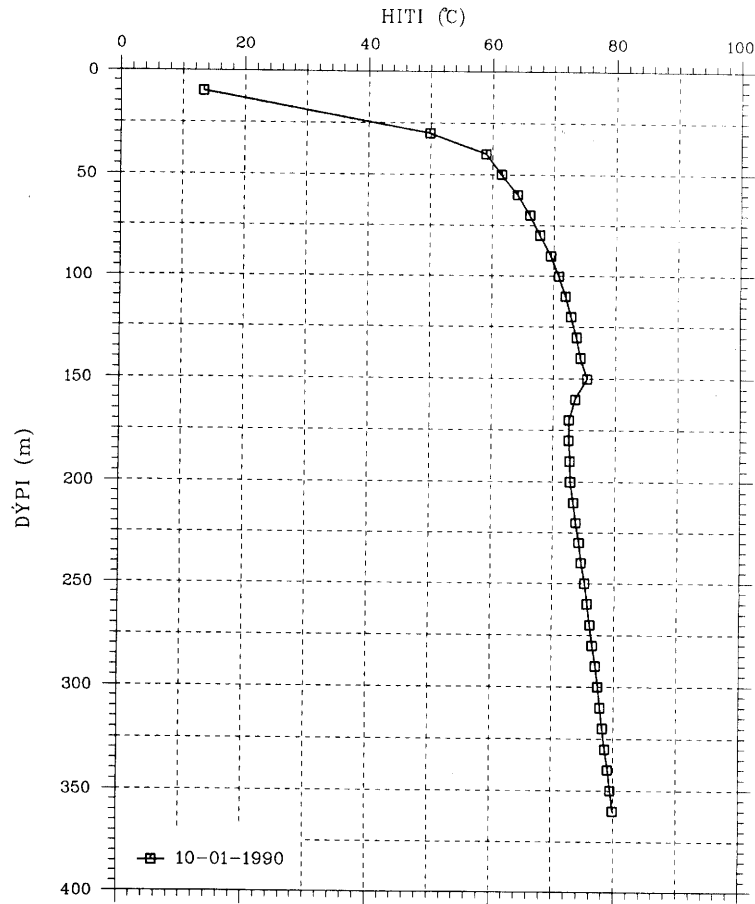
Laugaland á Þelamörk
Hitamælingar í holu LPÝ-6



MYND 6 Hitamælingar í holu LPÝ-6

05 26 Mar 1990 ogf
L= 53906 Oracle

Laugaland á Þelamörk
Hitamæling í holu LPÝ-6



MYND 7 Hitamæling í holu LPÝ-6 frá 10. janúar 1990

4. HOLA LPÝ-7

4.1 Staðsetning

Að lokinni borun holu LPÝ-6 var afráðið að leita enn frekar til norðausturs eftir sprungunni með bakka Hörgár. Var holu LPÝ-7 valinn staður á eyri í ánni, nærri þeim stað þar sem sprungan mætir meintri norðvestur sprungu sem stefnir að fornri hverahrúðursbreiðu í hlíðinni suðaustan Laugalands (mynd 1).

4.2 Borun holunnar

Borun hófst 14.11. 1989 að afloknu helgarfrú bormanna. Var bornum komið fyrir á borstað og borað með ODEX búnaði niður í gegnum 4-5 m lag af mól og grjóti en þar fyrir neðan tók við leir. Daginn eftir var borað gegnum leir og mól niður á 15 m dýpi en þar tók við lagskipt berg. Svólítið af 10-11°C heitu vatni kom upp eftir að komið var í bergið. Borað var í bergi niður á 26 m og fóðrað með 7⁵/₈" rörum sem steipt voru föst. Hinn 16. nóvember hófst síðan loftborun og var borað niður á 208,4 m dýpi áður en degi lauk.

Á 69 m dýpi varð vart vatnsæðar í borun. Komu þá 5,5 l/s af liðlega 23°C heitu vatni í holuna. Ekki varð vart fleiri æða í borun en af hitamælingum má ráða að önnur æð er á milli 150 og 160 m dýpis.

Halli holunnar var mældur á 56 m, 104 m, og 156 m og reyndist hann í öllum tilvikum 0,8°.

4.3 Jarðlög

Á mynd 8 er sýnt jarðlagasnið úr holu LPÝ-7 ásamt jarðlagamælingum. Svarfgreiningin sýnir eftirfarandi jarðlagaskipan.

- 0 - 12 m Leirkennt set með mismunandi magni af basaltkornum. Leirinn þvæst að miklu leyti burtu við svarfþvott, en setið er misgróft.
- 12 - 48 m Dílótt og fremur grófkristölluð basaltlög (þó ekki ólívínþóleiðlög) með allþykkum rauðum millilögum, kargi og set.
- 48 - 68 m Fínkristallað basalt þar sem efstu 4 m eru mjög ummyndað basalt. Þar fyrir neðan er lagið nærri ferskt og án holufyllinga.
- 68 -108 m Samfelld basaltlag nema efst eru þrjú þunn lög (2 m), rautt set, rauðírótt fínt basalt og síðan rauður kargi. Basaltlagið er misjafnlega grófkristallað, efst er fremur grófkristallað basalt og kemur snögglega í finna basalt og ferskara án nokkurra merkja um milli- eða kargalag, síðan verður basaltið grófara með dýpi. Basaltlagið er dílótt en dílarnir eru fremur dreifðir. Holufyllingar eru nær engar fyrir neðan 80 m dýpi. Þetta er sama hraunlagið og sprungan í holu LPÝ-6 var í.
- 108-140 m Meðalgróf- til grófkristölluð rauðírótt og blöðrótt basaltlög með túffkenndum millilögum, mjög ummynduð og holufyllt. Efsta lagið er mjög stórdílótt. Mesólít er helsta holufyllingarsteindin.
- 140-208 m Að mestu leyti fínkristölluð basaltlög með rautt set og karga sem millilög. Fínkristölluðu lögin eru allumyndað og holufyllt efst en með ferskari kjarna og þar eru engar holufyllingar. Meðalgrófa basaltið er mjög ummyndað, oftast rauðírótt og mjög holufyllt.

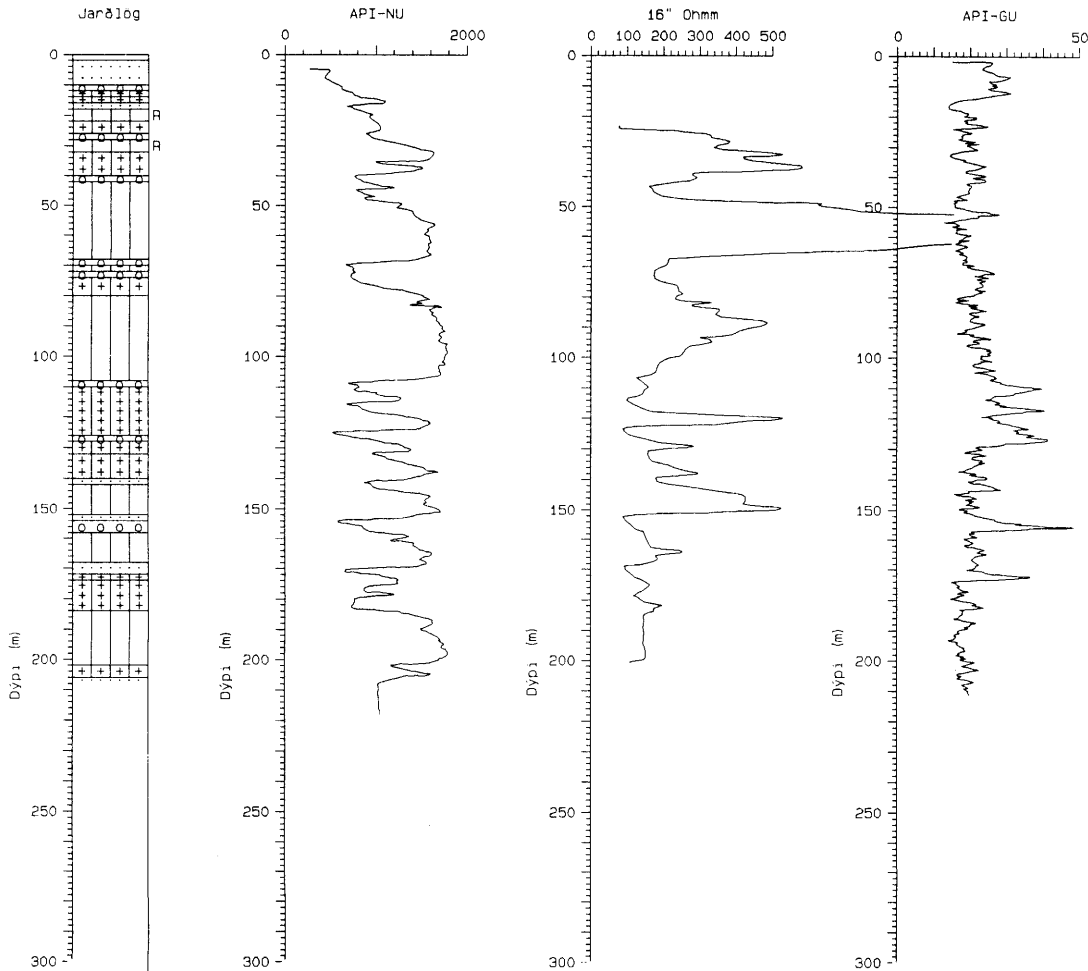
4.4 Hitamælingar

Þrjár hitamælingar hafa verið gerðar í holu LPÝ-7 og eru þær sýndar á mynd 9. Fyrstu tvær mælingarnar voru gerðar morguninn eftir að borun lauk, sú fyrri í stöngum en sú síðari strax eftir að upptekt lauk. Hún sýnir greinilega tvær æðar í holunni á um 70 m dýpi og milli 150 og 160 m dýpis. Hiti í þessari holu er hins vegar mun lægri en í holu LPÝ-6 þannig að líklegt var talið að þessi hola væri í útjaðri svæðisins og því ekki ástæða til að bora dýpra.

Þriðja hitamælingin sem mæld var 10. jan. 1900 segir svipaða sögu nema hvað örlítið rennsli er úr holunni sem veldur því að hitaferillinn ofan æðarinnar í 70 m sýnir ekki raunverulegan berghita.

JHD-JEL-6000 06F
90030103 t

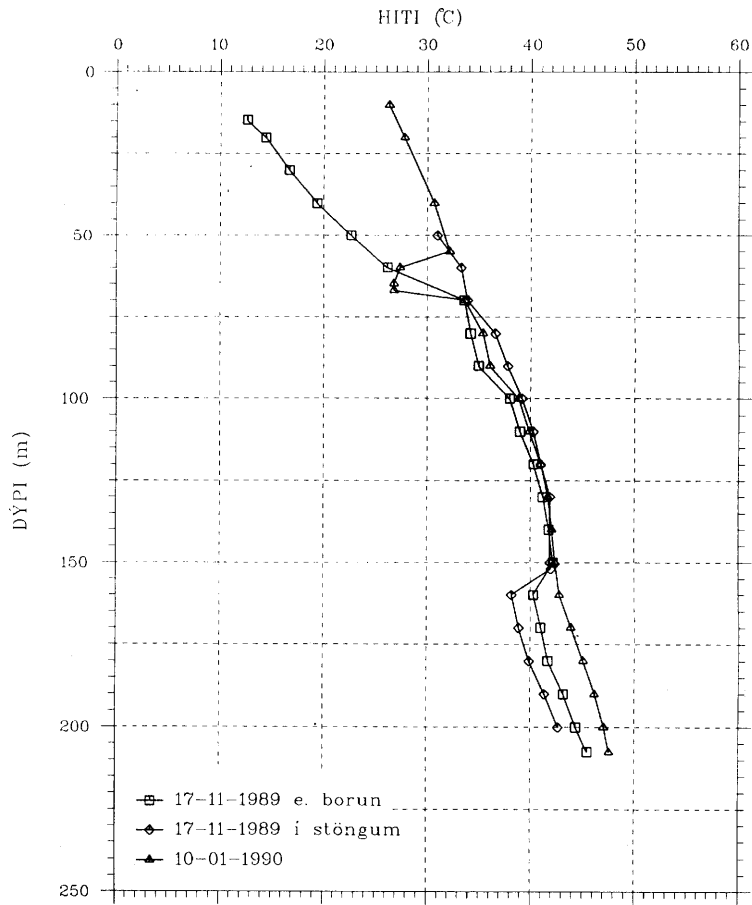
Laugaland á þelamörk HOLA LPÝ-7 Jarðlög og jarðlagamælingar



MYND 8 Jarðlagasnið og jarðlagamælingar í holu LPÝ-7

□ 24 Apr 1990 ogf
L= 53907 Oracle

Laugaland á Pelamörk
Hitamælingar í holu LPÝ-7



MYND 9 Hitamælingar í holu LPÝ-7

5. HOLA LPÝ-8

5.1 Staðsetning

Að lokinni borun holu LPÝ-7 þótti einsýnt að ekki næðust fullnægjandi upplýsingar um legu uppstreymisrásarinnar með þeim 4 holum sem fyrirhugað var að bora að þessu sinni. Í stað þess að setja niður síðustu holuna í grennd við holu LPÝ-6 var afráðið að bora holu suðvestan við skólann til að ganga úr skugga um að heita vatnið kæmi ekki upp á þeim slóðum og rynni þaðan lárétt að hitasvæðinu neðan skólans.

Holu LPÝ-8 var valinn staður skammt ofan við þjóðveginn upp af skólastjórabústaðnum en á þeim slóðum benda viðnámsmælingar til sprungu í jörðu. Holan var jafnframt þannig staðsett að hún var nærri gangi þeim sem liggur um laugasvæðið og holur 2 og LPÝ-5 eru boraðar í.

5.2 Borun

Borun holunnar hófst 18. nóv. 1989. Í fyrstu var 14" rör grafið niður á 6 m dýpi og síðan borað niður úr því með 10" lofthamri að 12 m dýpi. Fast berg virtist koma á 6,6-7,0 m dýpi. Holan var síðan fóðruð með 8⁵/₈" röri.

Daginn eftir var borað með 6 1/2" lofthamri sem bilaði á um 28 m dýpi. Var þá holan rýmuð með 7⁷/₈ krónu og síðan borað áfram með 6³/₄" krónu. Á 31 m dýpi varð smávatnsæðar vart og var hiti þess leka sem upp kom 14,4°C. Á 114 m dýpi brotnaði loki í krónunni svo taka þurfti upp.

Á þriðja degi var síðan borað áfram niður á 251,1 m dýpi og hætt þar. Vatnsæð fannst á 247,5 m dýpi og komu 5,3 l/s upp í blæstrinum. Við það dró stórum úr borhraða.

Halli holunnar var mældur á 55 m, 105 m og 250 m dýpi og reyndist hann á bilinu 0,6 - 1,0°.

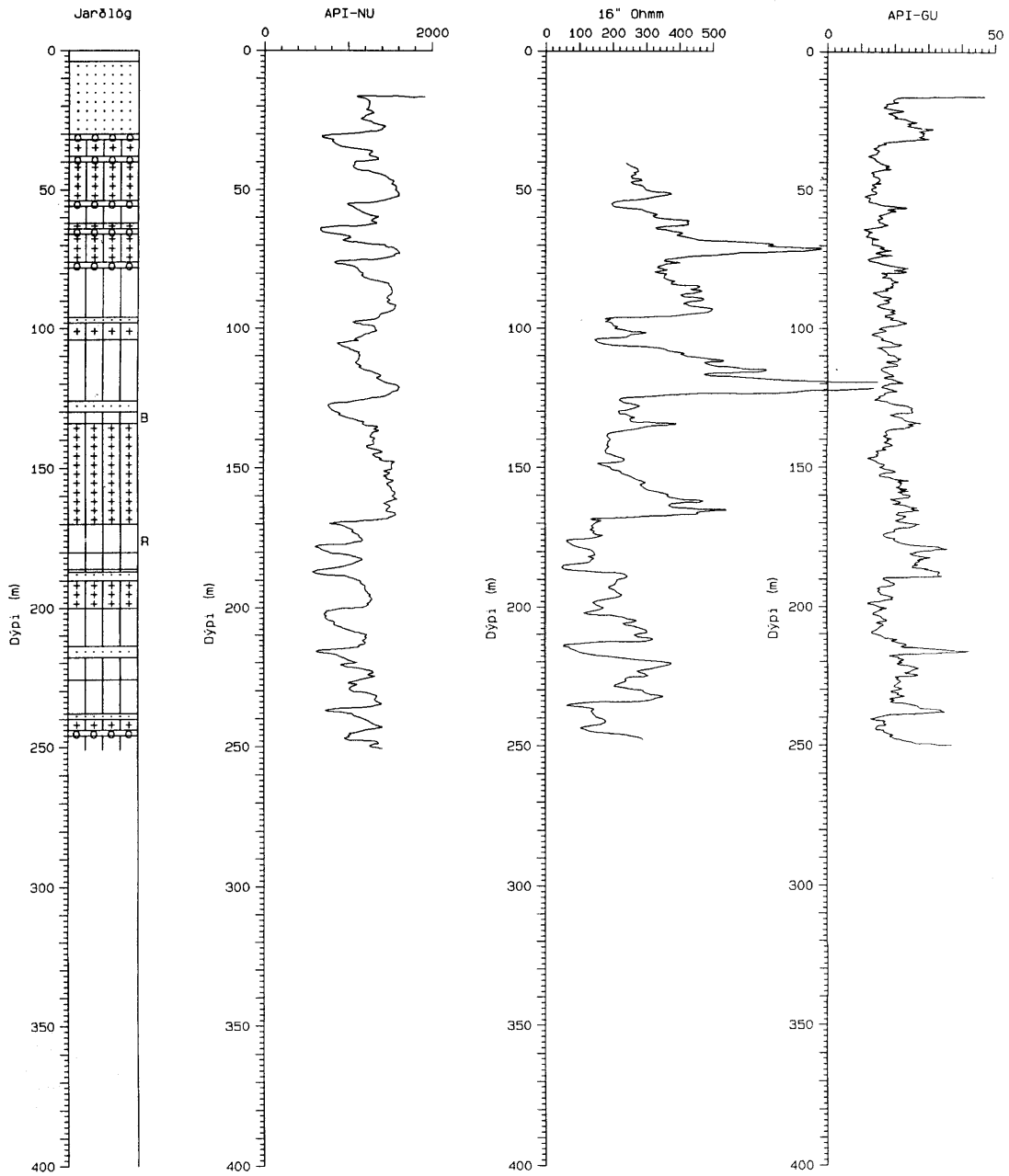
5.3 Jarðlög

Á mynd 10 er sýnt jarðlagasnið úr holunni eins og það er samkvæmt greiningu borsvarfs. Þar eru einnig sýndar jarðlagamælingar úr holunni. Samkvæmt greiningu borsvarfs er gerð jarðlaga sem hér segir:

- 0 - 30 m Kvartert set, misgróft basalt og leir.
- 30 - 76 m Meira og minna dílótt basaltlög, misgróf með rauðum millilögum. Lögin eru ummynduð og holufyllt, oft rauðírótt.
- 76 -134 m Mismunandi ummynduð fínkristölluð basaltlög, þóleiðbasalt með rauðum millilögum nema eitt dílótt sem er meðalgróft. Efsta lagið er grænt fremur ferskt, en hin eru rauðírótt mjög ummynduð og holufyllt, einnig dílótta lagið. Skólesít er algengasta holufyllingin.
- 134-170 m Þetta basalt er fremur grófkristallað en fínast efst og neðst. Basaltið er fremur ferskt og nær engar holufyllingar finnast í þessu lagi. Þetta er sama hraunlagið og sprungan í holu LPÝ-6 fannst í.
- 170-256 m Fínkristölluð basaltlög, þóleiðbasalt, nema tvö meðalgrófkristölluð ólivínþóleið lög með rauðum millilögum, mest setlögum. Þóleiðbasaltið er mjög mismunandi ummyndað og er blöðrótti hluti basaltlaganna mjög ummyndaður og holufylltur, en oft finnst þéttari kjarni sem er ferskari og minna holufylltur. En það finnast einnig rauðýrótt lög sem eru mjög ummynduð, ólivínþóleiðið er mjög ummyndað og rauðýrótt.

JHD-JEL-6000 OGF
90030104 t

Laugaland á Þelamörk
Hóla LPÝ-8
Jarðlög og jarðlagamælingar



MYND 10 Jarðlagasnið og jarðlagamælingar í hólum LPÝ-8

5.4 Hitamælingar

Alls hafa verið gerðar 5 hitamælingar í holu LPÝ-8 og eru þær sýndar á mynd 11. Auk þeirra æða sem fram komu í borun sjást smáæðar á 63 m og 106 m dýpi. Athyglisverður mismunur er á mælingunum frá 20.11.1989, 21.11.1989 og frá 9.1.1990. Sú fyrsta sem mæld er sama kvöld og borun lauk sýnir að það rennur upp úr æðinni á 106 m dýpi og út í æð á 63 m dýpi. Af þessari mælingu og þeirri næstu á undan má álykta að hitinn í æðinni á 106 m sé tæpar 25°C.

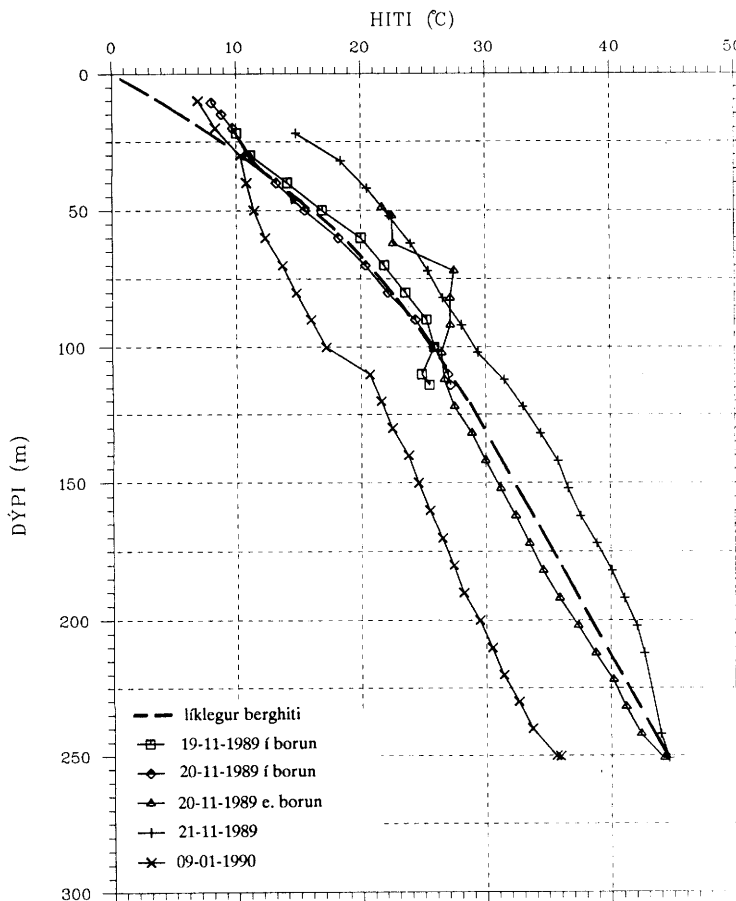
Mælingin frá 21.11. sýnir greinilega seytl upp úr æðinni á 247 m. Á 106 m dýpi seytlar enn eitt-hvað inn í holuna og áfram upp og loks út í æðina á 31 m dýpi.

Í mælingunni frá 9.1.1990 hefur rennslið í holunni greinilega snúist við. Nú rennur um 10°C heitt vatn úr æðinni á 31 m dýpi og niður holuna og út í æðina á 247 m. Við æðina á 106 m dýpi bætist eithvað í þetta niðurrennsli.

Vegna þessa millirennslis í holunni er í raun aðeins hægt að ákvarða raunverulegan berghita á þremur stöðum, í æðinni á 31 m, í æðinni á 100-110 m dýpi og á botni holunnar. Út frá þessum þremur punktum má meta raunverulegan berghita eins og brotna línan á mynd 11 sýnir.

□ 27 Mar 1990 ogf
L= 53908 Oracle

Laugaland á Þelamörk
Hitamælingar í holu LPÝ-8



MYND 11 Hitamælingar í holu LPÝ-8

6. UMMYNDUN JARÐLAGA

Pegar volgt eða heitt vatn leikur um berg í langan tíma ummyndast bergið. Vatnið leysir upp efni úr berginu og fellir út í holrúmum þess, bæði blöðrum og sprungum í berginu. Efnin sem falla út kallast ummyndunarsteindir. Það fer eftir hita vatnsins hvaða ummyndunarsteindir myndast hverju sinni.

Í grófum dráttum má greina milli svæðisbundinnar ummyndunar jarðlagastaflans annars vegar og staðbundinnar jarðhitaummyndunar hins vegar. Svæðisbundna ummyndunin er til kominn vegna þess að þau jarðlög sem nú eru á yfirborði voru eitt sinn grafinn djúpt í jörðu þar sem heitt vatn ummyndaði lögin. Svæðisbundnu ummynduninni er yfirleitt skipt í belti þar sem hvert belti hefur einkennandi ummyndunarsteind. Mörk beltanna eru yfirleitt að finna á svipuðu dýpi á stóru svæði nema staðbundin ummyndun hafi komið til.

Staðbundin ummyndun verður til í jarðhitakerfum þar sem heitt vatn nær mun hærra upp í jarðlagastaflann en annars staðar. Staðbundna ummyndunin gefur t.d. hugmynd um hve heitt jarðhitakerfið var á þeim tíma sem ummyndunarsteindirnar mynduðust.

Greining ummyndunarsteinda í svarfi úr holum 2, 3 og 4 sýndi að efri mörk mesólít-skólesít ummyndunarbeltisins liggja efst í holunum, þó heldur neðar í holu 4 en hinum. Svæðisbundin þykkt mesólít-skólesít beltisins er yfirleitt um 1 km á þessum slóðum (Guðmundur Pálmason o.fl., 1978) þannig að búast má við að næsta ummyndunarbelti, laumontítbeltið taki við á um 1 km dýpi á Laugalandi. Í raun kemur það fram á liðlega 300 m dýpi í holum 2 og 3 en er ekki að finna í holu 4 (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1984). Það þýðir að laumontít ummyndunin í holum 2 og 3 er staðbundin og þar sem liðlega 100°C hita þarf til að mynda laumontít hefur sá hiti einhvern tíma ríkt á liðlega 300 m dýpi í þessum holum. Svo hár hiti hefur hins vegar aldrei verið í holu 4, sem staðfestir að hún er í jaðri jarðhitasvæðisins. Laumontít finnst ekki í holum LPÝ-5 - LPÝ-8 enda vart við því að búast vegna þess hve grunnar þær eru.

Ummyndun er talsvert mikil í basalthraunlögnum í holunum og er hún mest í blöðróttu hluta basaltlaganna. Þá er ummyndun meiri í grófari basaltlögum en þeim fínkornaðri. Víðast virðist pyroxen í grunnmassa ummyndaður yfir í grænan leir. Einnig er talsvert um rauðleita ummyndun, sem er vegna oxunar járn yfir í hematít.

Holufyllingar eru mest zeólítar. Kalsít finnst á stöku stað og þá í talsverðu magni. Þetta var prófað með því að setja síru á sýnin um leið og jarðlagagreining var gerð og síðar staðfest með röntgengreiningum. Kvars hefur fundist í röntgengreiningum í holum 5 og 6 og einnig pyrít á á stöku stað í sömu holum. Ekki var getið um þessar steindir í greiningum í holum 2, 3 og 4. Mesólít er langalgengasti zeólítinn og finnst í öllum holunum.

Valin voru 8 sýni úr holu 6 til röntgengreininga sem er svipaður fjöldi sýna og greindur var úr holu 2, 3 og 4 á sama dýptarbili. Einnig voru greind 3 sýni frá holu 5. Talsverður munur er á þeim og greiningunum úr holum 2, 3 og 4, einkum að því leyti að kvars greinist í talsvert mörgum sýnum nú, en ekki í fyrri holum. Skýringin á þessu gæti legið í mismunandi vali sýna. Þótt laumontít hafi ekki fundist í holu 6 líkist ummyndunin í holu 6 mun meira ummynduninni í holu 3 en í holu 4. Mordenít, sem er kísilrík ummyndunarsteind, er mun algengara í holu 6 en í öðrum holum.

Almennt er mikið af holu- og sprungufyllingum í holum LPÝ-5 og LPÝ-6, sem bendir til þess að borað sé í gegnum sprungið berg í þessum holum. Í holum 7 og 8 er miklu minna af holufyllingum og virðast þær nær eingöngu bundnar við lagmót þar sem vatnsrennsli hefur verið í millilögum. Má því ætla að bergið sem þessar holur skera sé lítið sprungið.

7. TENGING JARÐLAGA MILLI BORHOLA

Til að fá sem gleggsta mynd af jarðlögum á svæðinu er heppilegt að reyna að tengja einstök jarðlög frá einni holu til annarrar. Með því móti má sjá hvort misgengi séu milli hola, hve stór þau eru, hvert þeim hallar og fá grófa hugmynd um stefnu þeirra. Jafnframt kemur í ljós hvort vatnsæðar eru bundnar við ákveðin jarðlög.

Til að gera tengingar milli hola sem öruggastar voru gerðar jarðlagamælingar í holum LPÝ-5 - LPÝ-8 í byrjun janúar 1990. Samskonar mælingar voru gerðar í holum 2, 3 og 4 sumarið 1984 (Ólafur G. Flóvenz o.fl, 1984). Um er að ræða mælingar á eðlisviðnámi jarðlaga í holunum, mælingar á náttúrulegri gammageislun og mælingar á endurkasti nifteinda frá jarðlögum í holuveggjunum.

Mælingar á gammageislun fara þannig fram að mælitæki sem nemur gammageisla er rennt niður holuna og geislunin skráð sem fall af dýpi. Almennt má segja að gammageislun frá jarðlögum vaxi með kísilsýruinnihaldi jarðlaga en einnig er geislun jafnan hærrí í setlögum (millilögum) en í basalhraunum.

Mælingar á endurkasti nifteinda eru gerðar þannig að tæki sem inniheldur nifteindagjafa (geislaþviki efni) er rennt niður holuna. Rétt hjá nifteindagjafanum er síðan nemi sem skynjar hve mikið af nifteindum endurvarpast frá berginu næst holunni. Eftir því sem vatnsinnihald jarðlaga er meira verður endurkastið minna. Þannig koma t.d. vatnsrík setlög (millilög) fram sem lágt nifteindaendurkast en þéttir berggangar endurkasta miklu.

Mælingar á gammageislun og nifteindaendurkasti gefa mjög skýra mynd af einstökum jarðlögum og auðvelt er að greina þunn millilög og aðgreina hraunlög frá göngum.

Viðnámsmælingar í borholum gefa svipaða niðurstöður og nifteindamælingar en veita ekki eins nákvæmar upplýsingar um jarðlagagerð.

Mæliferlar jarðlagamælinganna eru sýndir með jarðlagasniðum borhola á myndum 2, 5, 8 og 10.

Úrvinnsla þessara mælinga fór þannig fram að mæliferlar úr mismunandi holum eru bornir nákvæmlega saman og er þá venjulega auðséð hvaða lög heyra saman. Í þessu tilviki reyndist auðveldast að þekkja millilögin. Þau koma fram sem litlir toppar í gammageislun og lægðir í nifteindaendurkasti. Alls voru greind 10 millilög, sem sjá má í mörgum holum og er dýpið niður á þau ákvarðað með um 2 m nákvæmni. Í töflu 4 er yfirlit um þessi millilög og sýnt hversu djúpt undir sjávarmáli þau finnast í einstökum holum. Á þeim dýptarbilum þar sem holur eru boraðar eftir berggöngum sjást millilög ekki.

Til að finna hvort misgengi liggja milli borhola á svæðinu voru tvær og tvær holur bornar saman í senn. Reiknað var út hvaða hæðarmunur ætti að vera á einstökum lögum miðað við svæðisbundinn halla jarðlagastaflans, sem er um 5° frá lárétu í stefnu til SSA (Ólafur G. Flóvenz o.fl 1984). Væri hæðarmunur jarðlaga meiri en sem nemur skekkjumörkum í úteikningum (5 m) var ályktað að misgengi lægi milli holanna og stærð þess metin. Með því að gefa sér að um svokölluð normal misgengi sé að ræða má sjá í hvaða átt misgengisfletinum hallar. Normal misgengi eru langalgengustu misgengin á Íslandi meðan svokölluð öfug misgengi eru nánast óþekkt.

Þessi samanburður jarðlagamælinga leiddi í ljós a.m.k. tvö og líklega þrjú misgengi á borsvæðinu. Eitt þeirra liggur milli holu 3 og allra hinna, að holu 1 frátalinni, sem ekki er notuð í þessum útreikningum. Það hefur svipaða stefnu og lágviðnámsprungan meðfram ánni. Því er ekki ólíklegt að sprungan með ánni sé misgegnisflötur sem hallar þá inn undir suðurbakka Hörgár. Hún veitir að öllum líkindum heita vatninu upp til yfirborðs, a.m.k. síðasta spölinn,

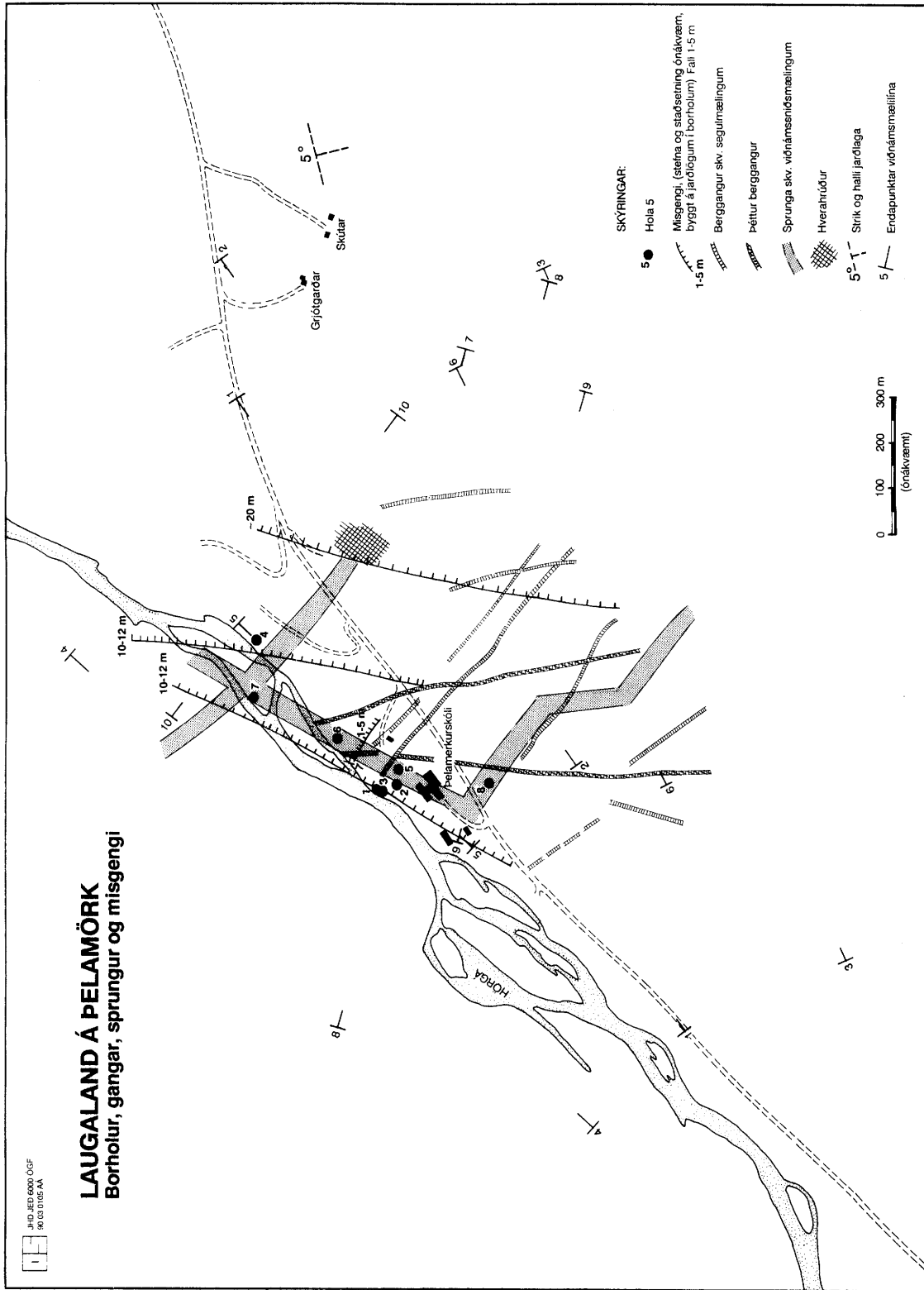
TAFLA 4. Hæðarafstaða setlaga í borholum við Laugaland á Þelamörk.

| Hola nr. | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--------------|---|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| Millilag nr. | Dýpi á millilagið í metrum undir sjávarmáli | | | | | | |
| 1 | | | | | 3 | | 21 |
| 2 | | 12 | | (11?) | 13 | 0 | 35 |
| 2A | | 31 | | (35?) | 35 | | 55 |
| 3 | 73 | 66 | | (66?) | 64 | 54 | 85 |
| 4 | 114 | 102 | | | 109 | 93 | 127 |
| 5 | 130 | 120 | | | 124 | 110 | 145 |
| 6 | 157 | 142 | 153 | | 153 | 138 | 173 |
| 7 | 175 | 162 | 171 | | 173 | 156 | 195 |
| 8 | 244 | 228 | 241 | | 236 | | |
| 9 | 274 | 256 | 271 | | 264 | | |

Annað misgengi liggur milli hola 4 og allra hinna og loks liggur hugsanlega lítið misgengi milli hola 2 annars vegar og hola 6 og 7 hins vegar. Stefna þess er mjög óviss.

Yfirleitt gekk mjög vel að tengja jarðlög milli hola þó með einni undantekningu. Hola LPÝ-5 er í nokkru ósamræmi við hinar holurnar. Svo virðist sem jarðlög í henni standi hærra en ætla mætti út frá öðrum holum á svæðinu. Þá niðurstöðu má véfengja því hola er að langmestu leyti boruð í berggangi, sem torveldar mjög samanburð jarðlaga við holurnar í kring.

Á mynd 12 er sýnt hvar ætla má að þessi misgengi liggja. Ástæða er til að taka fram að stefna þeirra og staðsetning er mjög gróflega áætluð þar sem einungis er vitað milli hvaða hola þau liggja. Þó var stuðst við segulmælingar og viðnámsniðsmælingar þegar misgengið milli hola 4 og 7 var staðsett á kortinu, sem eykur líkur á að staðsetning þess sé nokkuð nærri lagi. Einnig eru sýndar á myndinni lágviðnámsprungur og berggangar, sem hafa fundist með mælingum og misgengi sem fannst við jarðfræðikortlagningu (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1984). Þéttir berggangar (þ.e. með háu eðlisviðnámi) eru auðkenndir sérstaklega, enda má búast við að lítil vatnsleiðni fylgi þeim.



MYND 12 Kort af misgengjum, göngum og sprungum við Laugaland

8. HITI Í JÖRÐU Á BORSVÆÐINU

Mælingar á hita (og þrýstingi) í borholum eru yfirleitt sá þáttur, sem hvað mestar upplýsingar gefur um legu vatnsæða og streymi vatns í jörðu. Til þess þarf þó allmargar holur sem eru dreifðar um nokkurt svæði. Einnig verða hitamælingar í þeim að veita upplýsingar um raunverulegan berghita sem fall af dýpi. Ef rennsli er í holu, endurspeglar hitamælingar einungis hita einnar æðar. Því er mikilvægt að mæla hitastig mjög oft meðan á borunum stendur, þannig fást upplýsingar um hita í hverri holu eftir því sem borverkinu vindur fram. Þessa var gætt við boranirnar haustið 1989 þannig að í þeim eru til trúverðugar upplýsingar um hitastig með dýpi. Aftur á móti eru mjög klénar upplýsingar um hita í holum 1-3 frá þeim tíma að þær voru í borun. Þær mælingar, sem gerðar hafa verið síðan borun þeirra lauk, víkja verulega frá raunverulegum berghita því holurnar hafa verið í rennsli. Af þeim upplýsingum sem til eru má þó ráða í hita á nokkrum stöðum í holunum, einkum við dýpstu vatnsæðar.

Á mynd 13 er dregið upp hita- og jarðlagasnið milli hola 7, 6, 2 og 8. Millilög eru auðkennd sérstaklega, berggangar og misgengi einnig. Þá eru dregnar upp jafnhitalínur sem sýna hvar streymi heita vatnsins er mest.

Greinilegt er að vatnsæðar í holunum tengjast fyrst og fremst millilögum. Einhvers staðar kemur vatnið upp um sprungu(r) af a.m.k. 1,5-2,0 km dýpi, þaðan sem það leitar út í millilög-in. Greinilegt er að í vatnsgæfustu millilögnum (á u.þ.b 100 og 160 m dýpi) er hiti hæstur í holum LPÝ-5 og LPÝ-6 og e.t.v. holu 2. Það þýðir að þessar holur eru næstar þeim stað þar sem vatnið úr uppstreymissprungunni rennur út í millilögin.

Þótt aðalvatnsæðar holu LPÝ-5 séu í berggöngum, er nær útilokað að vatnið komi upp með þeim göngum af því að hola LPÝ-5 kólnar neðan æðanna. Svipað gildir um kólnun neðan æðar í 693 m í holu 2. Einnig sýna viðnámssniðsmælingar að hátt eðlisviðnám fylgir norðaustlæga ganginum sem hola 5 er boruð í. Það mælir gegn því að honum fylgi vatnsleiðandi sprungur. Hins vegar koma vatnsæðar holu LPÝ-5 fram á því dýpi sem vatnsleiðandi millilaga er að vænta. Stuðlasprungur í berggöngum eru láréttar og því getur vatn, sem rennur eftir millilögum, runnið lárétt gegnum gangana og komið fram sem vatnsæðar þar.

Hitalínurnar á mynd 13 eru dregnar langt niður fyrir botn grunnu holanna og er þá byggt á hitastigli í holunum. Hins vegar er alveg ótvírætt að hola 2 kólnar talsvert neðan 693 m. Það getur varla þýtt annað en að sú æð sé tengd lárétttri vatnsæð, líklega millilagi. Vegna þess hve mikil kólnunin er neðan þessarar æðar er óhugsandi annað en innrennslið í millilagið sé í nokkurri fjarlægð, líklega a.m.k. nokkra tugi metra í burtu. Hola 3 nær u.þ.b. niður á það dýpi, sem kólnunar verður vart í holu 2, og því óvíst að hvort hliðstæð kólnun er þar fyrir neðan.

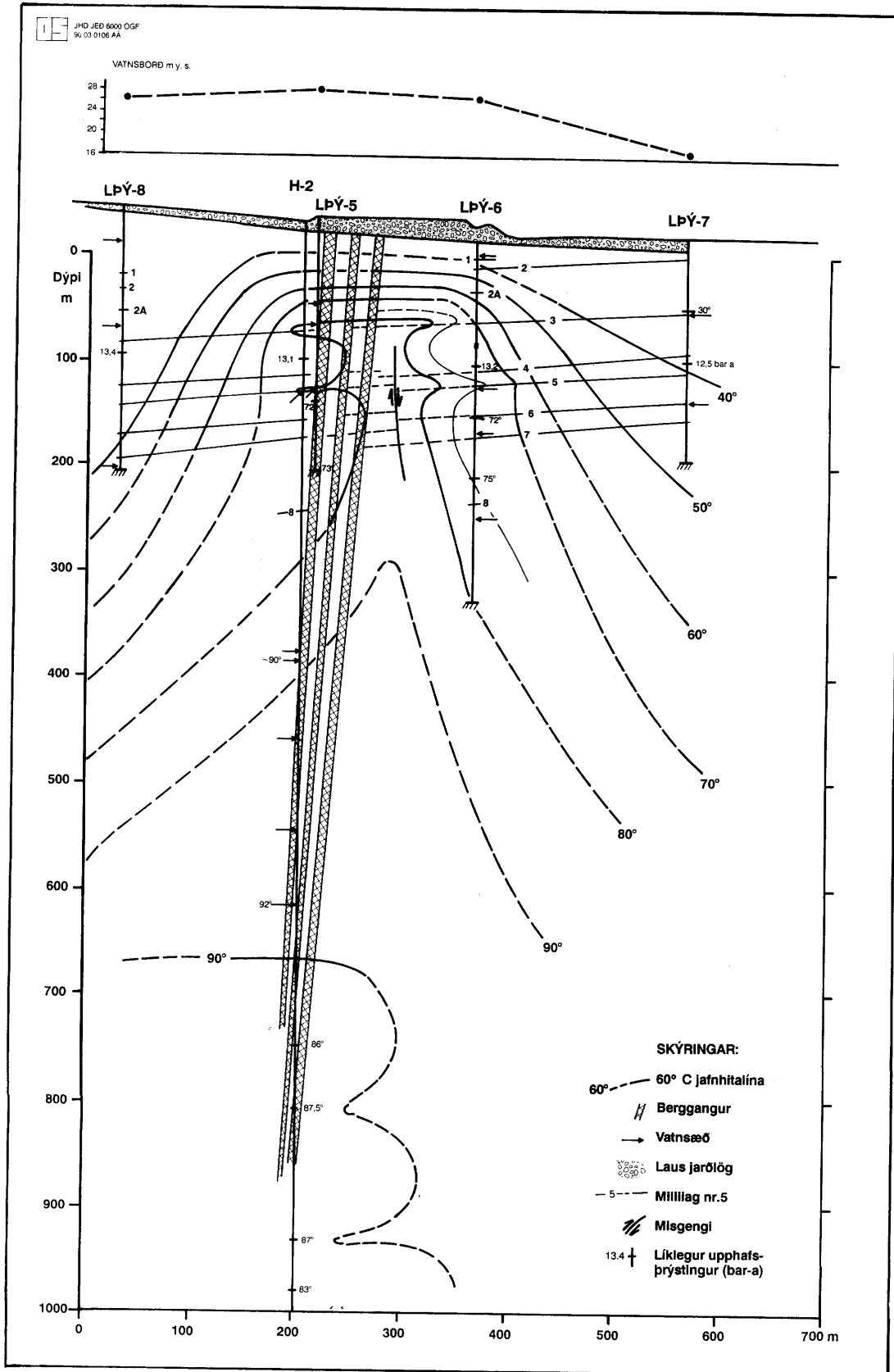
Eins og jafnhitalínurnar eru dregnar á mynd 13 virðist svo sem uppstreymið sé einhvers staðar milli hola LPÝ-5 og LPÝ-6. Það er þó ekki öruggt því lega jafnhitalína ræðst talsvert af hita í holu 2 en mælingar úr henni eru mjög í lausu lofti vegna langvarandi rennslis úr holunni. Úr því fæst væntanlega bætt í sumar því holu 2 hefur nú verið lokað og hola LPÝ-5 tengd skólanum í staðinn. Hiti í holu 2 mun því með tímanum jafna sig og ná aftur jafnvægi við bergið umhverfis. Því ætti marktæk hitamæling að fást sumarið 1990 nema til komi rennsli milli æða í holunni.

Fróðlegt er að bera saman hitamælingar úr öllum holum á sömu mynd (mynd 14). Þar má glögglega sjá að hiti í holu 4 vex hægar með dýpi eftir því sem neðar dregur í holunni og er ólíklegt að hún nái yfir 90°C hita fyrr en komið er niður fyrir 1000 m dýpi.

Ef borinn er saman hitastigull í holum 6, 7 og 8 og hann framlengdur að 91°C hita kemur í ljós að þeim hita er í öllum tilvikum náð milli 600 og 700 m dýpis. Þetta mætti túlka þannig að undir jarðhitasvæðinu sé allútbreitt millilag á tæplega 700 m dýpi með talsverðu rennsli af

rúmlega 90°C heitu vatni. Ef það er tilfellið, er hugsanlegt að uppstreymi heita vatnsins neðan 700 m sé í talsverðri fjarlægð frá holum 2 og 5, líklega sunnar vegna jarðlagahallans. Vatnið leitar þá upp jarðlagahallann eftir millilagi á tæplega 700 m dýpi uns það kemur að misgenginu með árbakkanum. Þar er lagið sundurklípt auk þess sem sprungur fylgja misgenginu. Því leitar vatnið upp til yfirborðs eftir sprungum í misgengisfletinum. Ef þetta er tilfellið vandast leitinn að uppstreyminu talsvert. Þó er von til þess að viðnámsmælingar með TEM-aðferð myndu hjálpa.

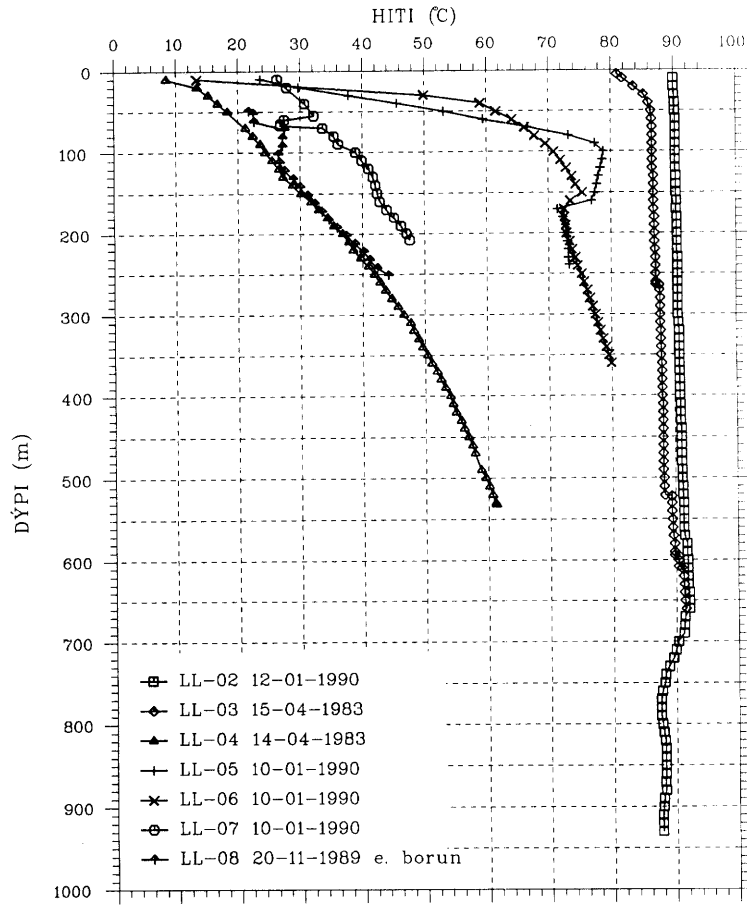
Þessi tilgáta er að vísu nokkuð langsótt. Þar kemur fyrst til að hún byggir á því að framlengja megi hitastigul í holum 7 og 8 frá um 200 m niður á tæpa 700 m. Allt eins getur verið að hitastigull í þessum holum lækki með dýpi eins og í holu 4 og raunar verður það að teljast líklegt í holu 7 vegna þess hve stutt er milli hennar og holu 4. *Því verður að telja langlíklegast að meginuppstreymi heita vatnsins sé að leita einhver staðar í grend við holur LPÝ-5 og LPÝ-6 þótt aðrir möguleikar séu ekki útilokaðir.*



MYND 13 Hita- og jarðlagasnið um holur 7, 6, 5, 2 og 8

27. Mar 1990 ogf
Oracle

Laugaland á Þelamörk
Hitamælingar í borholum
Samanburður á milli hola



MYND 14 Samanburður á hitamælingum í mismunandi holum

9. VATNAFRÆÐILEGT SAMBAND MILLI BORHOLA

Við loftborun er miklu vatnsmagni fleytt úr borholum og því fylgir víðtækt rask í vatnsborði. Því var fylgst náð með breytingum í vatnsborði hola á Laugalandi meðan á borunum stóð haustið 1989. Tókst að safna töluverðum upplýsingum um vatnsborðsbreytingarnar. Sams konar upplýsingum um vatnsborð var safnað þegar vinnsla var flutt úr holu 2 yfir í holu 5 í mars 1990. Starfsmenn Orkustofnunar önnuðust mælingarnar meðan þeir voru á staðnum en að öðru leyti sá Snælaugur Stefánsson hjá Hitaveitu Akureyrar um gagnasöfnunina.

Myndir 15-19 sýna mæld og reiknuð gögn um vatnsborð í holum á Þelamörk við dælingu úr mismunandi holum. Reiknuðu ferlarnir á myndunum byggjast allir á svonefndu Theis líkani. Slíkt reiknilíkan gerir ráð fyrir vatnskerfi af þykkt h sem er lokað bæði að ofan og neðan, en með óendanlega lárétta útbreiðslu. Með líkaninu eru fundnir tveir geymisstuðlar, vatnsleiðni T og vatnsrýmd S ;

$T = k h / \mu$ þar sem k er raunlekt bergsins (m^2) og μ er eðlisseigja vatnsins sem berst um það. Vatnsleiðnin segir til um hve lekt bergið er. Hún er mjög hitahád, því seigja vatns lækkar u.þ.b. tífalt milli $10^\circ C$ og $100^\circ C$.

$S = c h$ þar sem $c = \phi c_v + (1 - \phi) c_b$, ϕ er poruhluti, c_v er þjappanleiki vatns og c_b er þjappanleiki bergsins. Vatnsrýmd segir til um hve mikinn vökva má vinna úr bergi með samþjöppun pora og með rúmmálsaukningu vatns í porunum.

Í töflu 5 eru dregnar saman niðurstöður útreikninga úr dæluþrófunum ásamt niðurstöðum eldri athugana. Þar sem innstreymi í holur á Þelamörk eru úr láréttum æðum, hentar Theis reiknilíkan vel til túlkunar mælinganna. Samt ber að hafa fyrirvara um ágæti niðurstaðna því hver dælusyrpa stóð yfirleitt í mjög skamman tíma (5-10 klst). Því sjást jaðrar svæðisins ekki né áhrif af dýpra vatnskerfi og yfirliggjandi grunnvatnskerfi. Einnig má benda á að sú dæling sem sýnd er á myndum 15-19 er ónákvæm og byggist á örfáum mælingum, auk þess sem hún er sífellt rofin við stangaskipti.

TAFLA 5: Niðurstöður dæluþrófana í borholum á

| Dælu-hola | Mæli-hola | Fjarlægð milli hola (m) | Vatns-leiðni ($m^3/Pa/s$) | Vatns-rýmd (m/Pa) | Aðferð | Mynd númer |
|-----------------|-----------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|------------|
| 5 | 5 | 0 | 1.6×10^{-8} | | Jöfnun | 16 |
| 5 ²⁾ | 2 | 30 | 1.5×10^{-8} | 370×10^{-9} | Dæling og jöfnun | 15 |
| 6 ²⁾ | 5 | 165 | 2.8×10^{-8} | 3.5×10^{-9} | Dæling og jöfnun | 17 |
| 8 | 6 | 370 | 3.8×10^{-8} | 4.2×10^{-9} | Dæling og jöfnun | 18 |
| 8 | 5 | 210 | 2.6×10^{-8} | 7.8×10^{-9} | Dæling og jöfnun | 19 |
| 3 ¹⁾ | 3 | 40 | 12×10^{-8} | | Dæling án jaðra | |
| 3 ¹⁾ | 3 | 40 | $0.7-2.7 \times 10^{-8}$ | | Dæling m.jöðrum | |
| 2 ¹⁾ | 2 | 0 | 0.7×10^{-8} | | Langtímahnignun | |

¹⁾ Samkvæmt greinargerð Þorsteins Thorsteinssonar, 1981 (ÞTh-81/05).

²⁾ Lélegt samræmi fékkst milli mældra og reiknaðra ferla

Við skoðun á töflu 5 sést að vatnsleiðni milli hola reiknast nokkuð sambærileg eða $1-3 \times 10^{-8} m^3/Pa/s$. Það jafngildir lektarþykkt (kh) upp á 3-10 darcy-metra miðað við $80^\circ C$ heitt vatn. Þessum lektargildum ber vel saman við niðurstöður eldri prófana, þó ívið hærri séu. Hins vegar er vatnsrýmd umhverfis holu 2 verulega hærri en umhverfis holur 5 og 6. Stafar það vísast af því að upp holu 2 kemur vatn úr djúpum æðum ($> 250 m$) sem blekkir

forsendu Theis líkansins um vatnskerfi sem er lokað að ofan og neðan.

Gerð var tilraun til að spá hvernig vatnsborð á Laugalandi á Þelamörk lækkar við langvarandi dælingu. Notað var fyrrgreint Theis reiknilíkan og forðastuðlar T og S sem ákvarðaðir eru í töflu 5. Fékkst þá að vatnsborð muni lækka um nálega 70 m við 10 l/s dælingu úr holu 5 eða 6. Þá er ekki tekið tillit til iðustreymistapa í dæluholu. Tekið skal fram að þetta er mjög gróft mat á vinnslugetu núverandi hola. Til dæmis eru áhrif af jöðrum vatnskerfisins ekki þekkt né heldur viðbrögð dýpri hluta kerfisins, þess kerfis sem verið er að leita að. Ekki þykir rétt að kafa mikið frekar í fyrirliggjandi dæluþrófanir, enda ber að líta á þær sem fyrsta mat á vatns-gæfni svæðisins.

Á mynd 20 er gerð tilraun til að meta hvernig vatnsborð breyttist við það að vinnsla færðist úr holu 2 í holu 5. Er þá miðað við jafnvægisvatnsborð fyrir og eftir tengingu holu 5. Tafla 6 sýnir gögnin sem myndin er byggð á. Erfitt er að tengja jafnhæðarlínur með vissu milli hola. Þó bendir flest til þess að jafnhæðarlínur liggja samsíða lágviðnámssprungunni með Hörgá, sem styður tilgátuna um að hún sé uppstreymisrás jarðhitans.

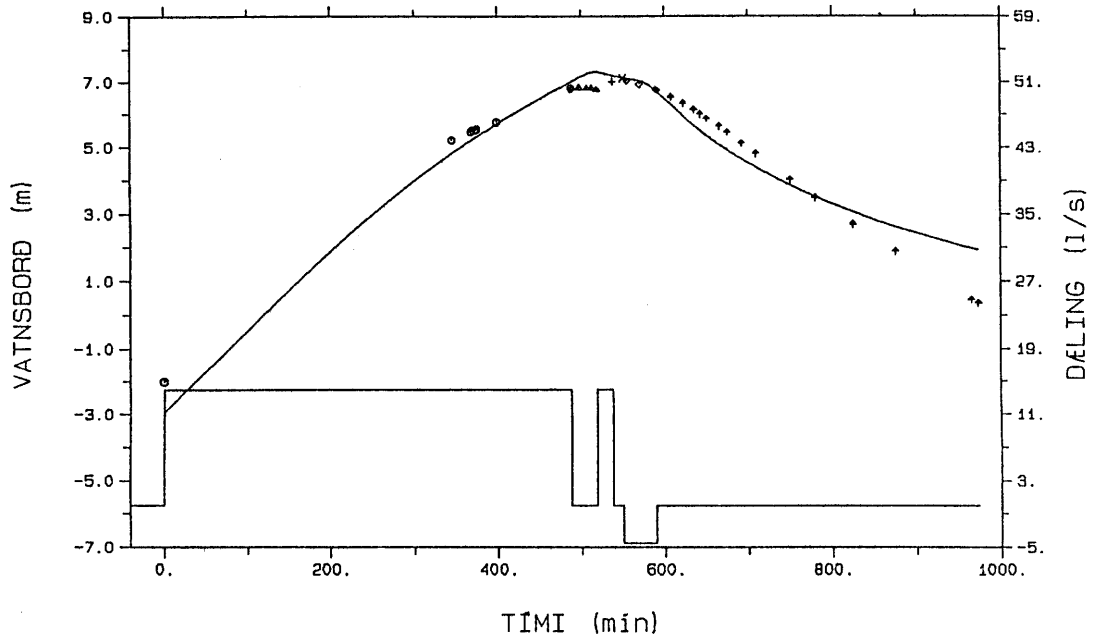
TAFLA 6: Vatnsborð hola fyrir og eftir tengingu holu LPÝ-5

| Hola númer | Vatnsborð eða toppþrýstingur fyrir tengingu LPÝ-5 (mælt 10/1 '90) | Vatnsborð eða toppþrýstingur eftir tengingu LPÝ-5 (mælt 15/3 '90) |
|------------|---|---|
| 2 | sjálfrennsli | 1.1 bar-y |
| 5 | 5.3 m | sjálfrennsli |
| 6 | 1.5 m | 0.62 bar-y |
| 7 | 0.2 bar-y | 0.16 bar-y ¹⁾ |
| 8 | 16.6 m | 13.7 m |

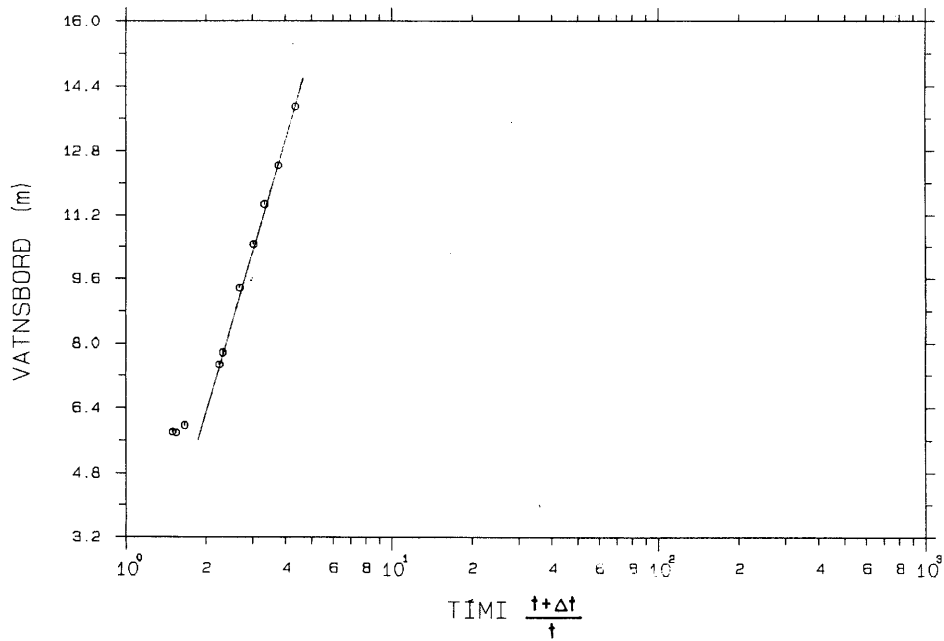
¹⁾ 1 - 1.5 l/s seytlar úr holunni

Það er athyglisvert að vatnsborð stendur mun hærra á Þelamörk eftir að vinnsla færðist í holu 5, jafnframt því að holan gefur meira vatn (3,4 l/s) en hola 2 (2,5 l/s). Hærra vatnsborð er vegna þess að vinnsla fer í holu sem stendur hærra í landinu en aukið rennsli stafar væntanlega af minni tregðu holu LPÝ-5 en holu 2. Má vera að loftborun sýni þarna yfirburði sína fram yfir hjólakrónuborun með köldu vatni og tilheyrandi tapi borsvarfs út í hárfínar æðar.

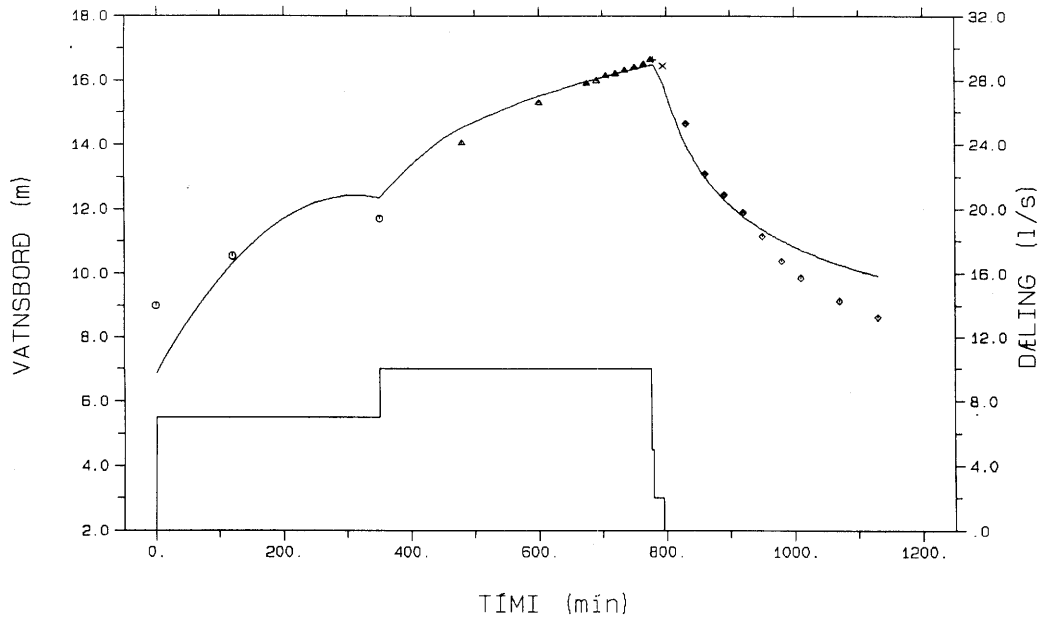
Að lokum var reiknaður þrýstingur á 200 m dýpi undir sjávarmáli út frá hita og vatnsborði hola. Þeir reikningar gáfu nær sama þrýsting í öllum holum á þessu dýpi þannig að marktækar upplýsingar um rennslisstefnur í láréttu æðunum fengust ekki með þessu móti (sjá mynd 13).



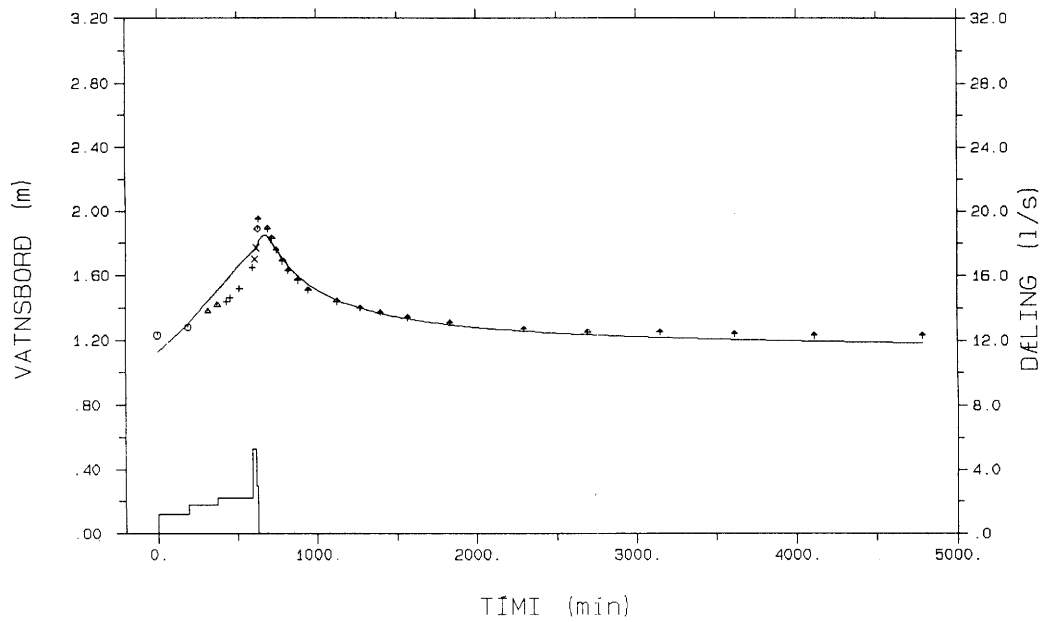
MYND 15 Vatnsborð í holu 2 við loftborun LPÝ-5



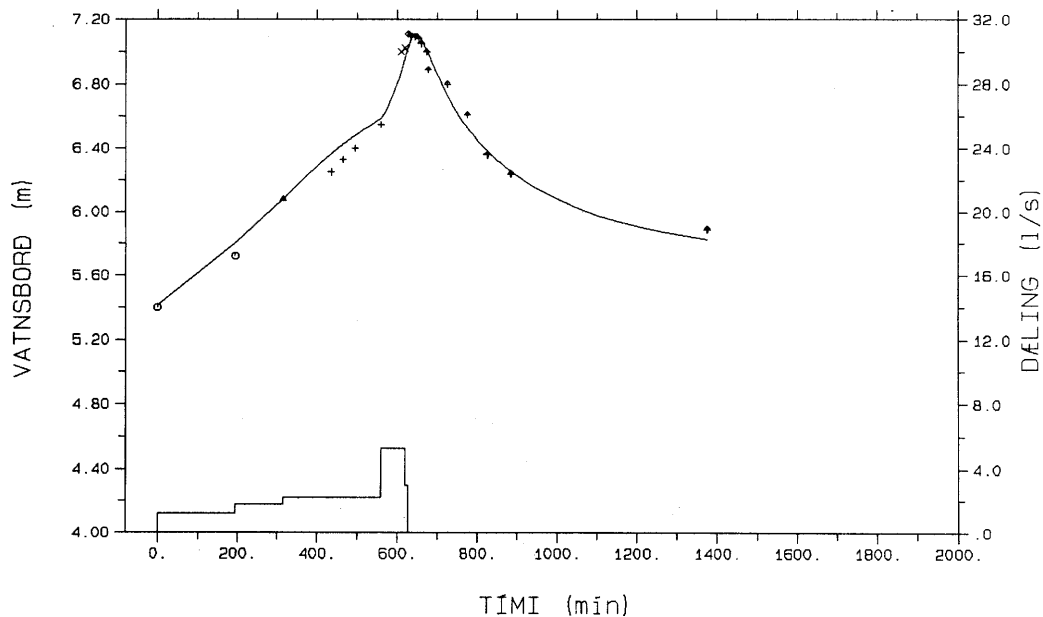
MYND 16 Jöfnun vatnsborðs í holu LPÝ-5 eftir loftborun



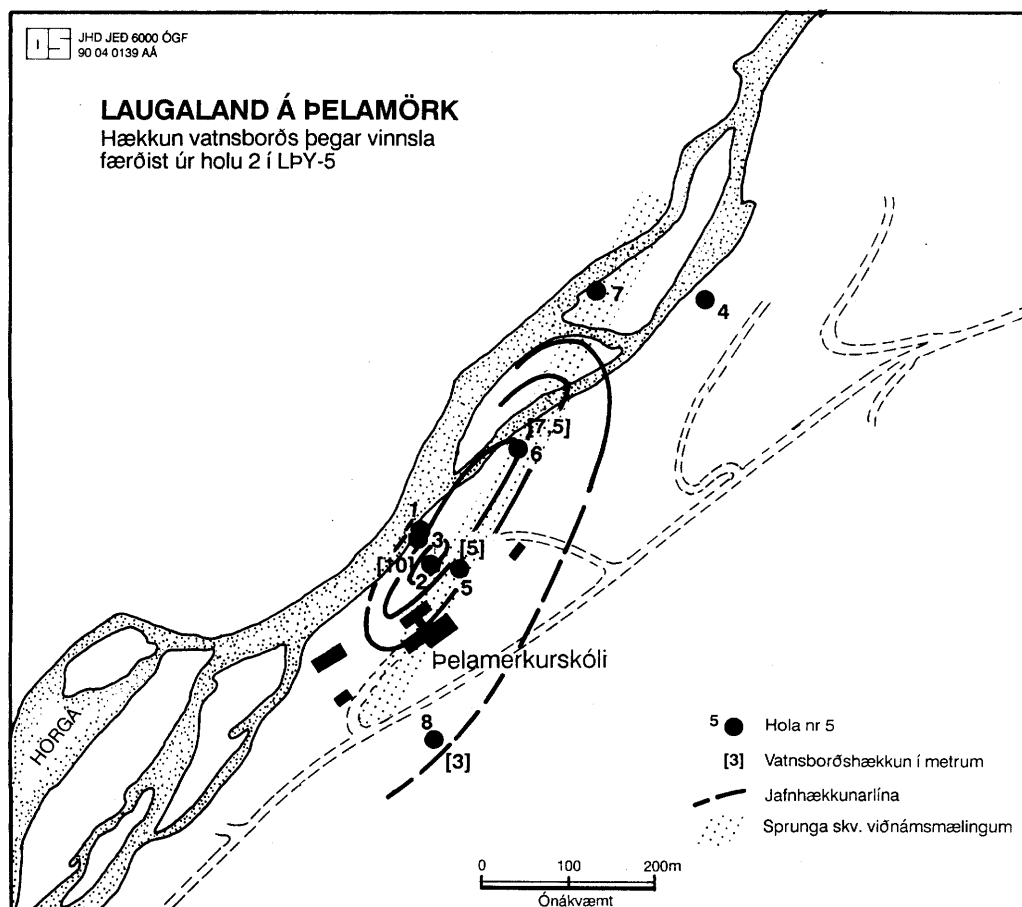
MYND 17 Vatnsborð í holu LPÝ-5 við loftborun LPÝ-6



MYND 18 Vatnsborð í holu LPÝ-6 við loftborun LPÝ-8



MYND 19 Vatnsborð í holu LPÝ-5 við loftborun LPÝ-8



MYND 20 Hækkun vatnsborðs er vinnsla var flutt úr holu 2 í holu LPÝ-5

10. NIÐURSTÖÐUR

Boranirnar haustið 1989 hafa aukið verulega við þekkingu á jarðhitasvæðinu á Laugalandi á Pelamörk og fært okkur nær þeim áfanga að finna uppstreymisrás heita vatnsins. Í ljós hefur komið að rennislísiðir vatns í jörðu eru þarna flóknari en ætlað var og leitinn að uppstreymisrásinni því vandasamari og tímafrekari. Samt sem áður er engin ástæða til að ætla annað en leitinn muni bera árangur áður en upp verður staðið.

Út frá fyrirliggjandi niðurstöðum má draga upp eftirfarandi mynd af jarðhitasvæðinu við Laugaland:

1. Vatn, sem er rúmlega 90°C heitt, kemur upp um sprungur af a.m.k 1500 - 2000 m dýpi, en svo djúpt verður það að fara til að hitna í 90°C eða meir. Hluti þess kom áður til yfirborðs, fyrst í hlíðinni ofan núverandi þjóðvegur en eftir að sú uppstreymisrás stíflaðist, líklega fyrir nokkur þúsund árum, færðist allt uppstreymið niður að bökkum Hörgár, neðan Laugalands. Hluti vatnsins leitar út í lek millilög (setlög) í hraunlagastaflanum og berst þaðan burt með grunnvatnsstraumum.
2. Æðar þær sem fundist hafa með borunum á Laugalandi virðast allar tengjast millilögum fremur en sjálfri uppstreymisrásinni þannig að nú leitar vatnið úr millilögum til yfirborðs um holurnar.
3. Segulmælingar sýna að nokkrir berggangar liggja um svæðið. Hitamælingar í borholum og viðnámsniðsmælingar benda ekki til að þeir hafi nein meiriháttar áhrif á streymi heita vatnsins í jörðinni, a.m.k. ekki þeir gangar sem borholur hafa hitt á hingað til.
4. Viðnámsniðsmælingar sýna að tvær lágviðnámsprungur með norðvestlæga stefnu liggja um svæðið. Hla LPÝ-8 er rétt við þá vestari en hla LPÝ-7 rétt við þá eystri. Milli þeirra liggur svo þriðja sprungan með norðaustur stefnu, nær samsíða syðri bökkum Hörgár við Laugaland. Hverahrúðursbreiðurnar í hlíðinni ofan Laugalands eru á móts við suðurenda eystri sprungunnar en jarðhitinn á árbakkanum er á norðaustlægu sprungunni mitt á milli hinna tveggja (sjá mynd 12). Stór hluti þessara sprungna er fyllt-ur af útfellingum.
5. Yfirgnæfandi líkur benda til þess að sprungan með Hörgárbökkum flytji vatnið upp til yfirborðs, a.m.k. síðustu 700 metrana. Sprungan er samt sem áður víðast hvar orðin þétt af útfellingum, þótt vatnið nái enn að seytle í afmörkuðum rásum eftir sprungufletinum.
6. Jarðlagamælingar í borholunum benda til þess að norðaustlæga sprungan sé allstórt misgengi. Halli þess er inn undir syðri bakka Hörgár.
7. Boranir haustið 1989 benda til þess að vatn komi skáhallt upp eftir þessari sprungu þannig að bora þurfi í hana einhvers staðar nálægt holum LPÝ-5 og LPÝ-6 til að hitta á uppstreymisrásina.
8. Lausleg túlkun á vatnsborðsbreytingum, sem fylgdu borunum haustið 1989, sýnir að búast má við a.m.k. 70 m niðurdrætti við 10 l/s vinnslu úr efsta hluta vatnskerfisins. Takist að hitta í uppstreymisrásina má þó gera ráð fyrir að mun meira vatnsmagn fáiast. Rétt er að taka fram að þessar tölur eru einungis settar fram til viðmiðunar við gerð rannsóknáætla-ana og þær má ekki nota sem hönnunarforsendur af neinu tagi.

Þetta er sú mynd af jarðhitasvæðinu sem líklegust er miðað við þekkingu okkar nú og sú sem eðlilegast er að vinna út frá. Þó er ekki þar með sagt að þetta sé sú eina mögulega. Þannig má hugsa sér að heita vatnið komi djúpt úr jörðu talsvert sunnar og berist þar inn í millilag á tæp-lega 700 m dýpi. Vatnið leiti síðan upp jarðlagahallann eftir þessu millilagi uns það stöðvast á

misgenginu, sem fylgir syðri bakka Hörgár við Laugaland, en leiti þar síðasta spölinn til yfirborðs. Þetta er að vísu fremur langsótt kenning en hliðstæður finnast þó, t.d. á jarðhitasvæðinu í Hrísey.

11. TILLÖGUR

Lagt er til að framhald rannsókna á Laugalandi á Þelamörk verði eftirfarandi:

1. Holur 2 og 3 verði hitamældar a.m.k. tvisvar í sumar undir þrýstingi (þ.e. án þess að það renni úr þeim á meðan). Tilgangurinn er að fá upplýsingar um ótruflaðan berghita umhverfis holurnar (þ.e. hitastig ótruflað af rennsli). Til að það takist verða holurnar að vera lokaðar í nokkra mánuði áður en mælingar fara fram.
2. Haldið verði áfram rannsóknarborunum. Þar eru nokkrir kostir fyrir hendi. Í fyrsta lagi að bora lóðréttu holu milli hola LPÝ-5 og LPÝ-6 þar sem líklegast er að uppstreymið sé. Í öðru lagi gæti komið til greina að dýpka holu 6 í u.þ.b. 750 m. Í þriðja lagi að bora skáholu skammt frá holu LPÝ-6 í átt að holu LPÝ-5 og reyna þannig að skera uppstreymisrásina ofarlega. Þetta er álitlegasti kosturinn frá jarðfræðilegu sjónarmiði. Það hlýtur þó að ráðast að verulegu leyti af kostnaði við mismunandi útfærslu á borverkinu hvaða leið verður valin.
3. Hugsanlegt er að með sérstakri tegund af viðnámsmælingum (TEM-mælingum) megi kanna hvort vatnið geti í raun verið aðrunnið eftir millilögum einhvern spöl úr suðri áður en það nær misgenginu með árbakkanum. Því kemur til greina að mæla nokkrar slíkar áður en borunum verður fram haldið.
4. Verði langt hlé uns haldið verður áfram borunum á Laugalandi kæmi til álita að setja djúpdælu í holu 2 eða 5 og dæla upp 10 - 15 l/s um nokkurra mánaða skeið til að kanna viðbrögð svæðisins. Slík prófun gæti stýtt prófunartíma vinnsluhola sem boraðar yrðu síðar.

HEIMILDIR

Guðmundur Pálmason, Stefán Arnórsson, Ingvar Birgir Friðleifsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Kristján Sæmundsson, Valgarður Stefánsson, Benedikt Steingrímsson og Jens Tómasson, 1978: *The Icelandic crust: Evidence from drillhole data on structure and processes*. In American Geophysical Union Ewing Series.

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, 88s.

Þorsteinn Thorsteinsson, 1981: *Dæluþrófun við Laugaland í Hörgárdal í október 1970*. Orkustofnun, greinargerð ÞTh-81/05, 8s.