



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

Ólafur G. Flóvenz  
Guðni Axelsson  
Grímur Björnsson  
Jens Tómasson  
Guðrún Sverrisdóttir  
Hilmar Sigvaldason  
Sigurður Benediktsson

**LAUGALAND Á ÞELAMÖRK**  
**Boranir og vinnsluprófun 1992 - 1993**

**OS-94032/JHD-07**  
Reykjavík, ágúst 1994

**Unnið fyrir**  
**Hitaveitu Akureyrar**



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 610 606

Ólafur G. Flóvenz  
Guðni Axelsson  
Grímur Björnsson,  
Jens Tómasson  
Guðrún Sverrisdóttir  
Hilmar Sigvaldason  
Sigurður Benediktsson

## **LAUGALAND Á ÞELAMÖRK**

**Boranir og vinnsluprófun 1992-1993**

**Unnið fyrir Hitaveitu Akureyrar**

**OS-94032/JHD-07**

**Reykjavík, ágúst 1994**

ISBN 9979-827-49-1

## ÁGRIP

Sumarið 1992 voru boraðar tvær holur á jarðhitasvæðinu á Laugalandi á Þelamörk. Ítarlegar rannsóknir höfðu verið gerðar þar á árunum 1984-1990, sem m.a. fólust í segulmælingum, við-námssniðsmælingum og borun 5 grunnra rannsóknarholna. Niðurstöður rannsókna benta eindregið til þess að uppstreymi heita vatnsins væri í sprungu sem liggur nær samsíða Hörgá rétt neðan við Þelamerkurskóla. Halli sprungunnar var hins vegar ekki þekktur en ýmislegt þótti benda til þess að hann væri suðaustlægur. Var því fyrri holan, LPN-10, staðsett austan við sprunguna með það fyrir augum að skera hana ofan 1000 m dýpis. Þegar hola LPN-10 var orðin líðlega 900 m djúp þótti einsýnt út frá hitamælingum að sprungunni hallaði til vesturs. Var því borun holunnar hætt og tekið til við að bora holu LPN-11 vestan við sprunguna.

Hola LPN-11 var staðsett eins langt vestan sprungunnar og unnt var án þess að fara út í Hörgá. Borun holunnar gekk þrýðilega niður á 290 m dýpi. Þar var komið í vatnsæð og varð þá að hætta loftborun. Var síðan haldið áfram að bora með hjólakrónu niður á líðlega 430 m dýpi. Þar var komið í stóra vatnsæð, 91°C heita, og varð algjört skoltap í borun. Var þá borun hætt í bili og holan fódruð niður á 251 m dýpi. Reynt var að halda áfram að bora eftir fódrun með sogborun en það tókst ekki vegna sífellds hruns og erfiðleika við að ná upp skolvatni. Var borun því hætt er holan var 451 m djúp.

Jarðlagagreining sýnir að hola LPN-11 lenti í gangi á 348 m dýpi og fylgdi honum a.m.k. niður á 430 m dýpi. Þar fyrir neðan vantar upplýsingar um jarðlög. Það er því ljóst að stóra æðin sem kom á 430 m dýpi er annað hvort inni í gangi eða við neðri og eystri jaðar hans.

Nákvæmur samanburður jarðlagamælinga í borholum sýnir að engin misgengi með meira en 4 m falli liggja um borsvæðið, gagnstætt því sem haldið var eftir rannsóknarboranirnar árið 1989. Strik jarðlaga er 150-160° réttvífsandi og halli þeirra á bilinu 5-7° til suðausturs.

Með hliðsjón af nifteindamælingum má áætla að virkur poruhluti jarðlaga við Laugaland sé að meðaltali um 5-7%. Hann er lægstur næst uppstreymissprungunni við holu LPN-11 en hækkar er fjær dregur sprungunni. Þetta endurspeglar þéttingu jarðlaga af streymi heits vatns um jarðlög næst uppstreyminu. Svipað gildi á poruhluta fæst með túlkun vatnsborðsgagna.

Að borun lokinni var holan virkjuð með hraðastýrðri dælu. Hófst síðan dæluprófun í nóvember 1992 og stóð hún fram í ágúst 1993. Síðustu tvo mánuðina var vatni dælt niður í holur LPN-6 og LPN-8 og viðbrögð svæðisins við niðurdælingunni könnuð.

Gögnin sem fengust við dæluprófunina voru notuð til að meta afköst svæðisins miðað við vinnslu úr holu LPN-11. Álitid er að vatnsborð haldist ofan 240 m næstu 10 árin ef verg dæling úr svæðinu verður ekki meiri en 16 l/s til jafnaðar. Með vergri dælingu er átt við heildardælingu úr svæðinu að frádregnu því sem dælt er niður aftur. Þessi vatnsborðsspá er gerð með lokuðu þjöppuðu líkani, en notkun lokaðs líkans gefur spá í svartsýnna lagi.

Breytingar á kísilstyrk eru notaðar til að meta hugsanlega kólnun vatnsins úr holu LPN-11 vegna innstreymis á köldu grunnvatni. Talið er að vatnið geti kólnað um allt að 7°C á fyrstu 10 árum vinnslunnar af völdum slíks innstreymis. Afar ólíklegt er að hvort tveggja gangi eftir, að holan kólni svo mikið og vatnsborð verði í takt við svartsýnismatið, vegna þess að mikið innstreymi kalds vatns mun halda vatnsborði uppi.

Auka má vinnslu úr LPN-11 sem nemur því vatnsmagni sem dælt yrði niður í svæðið aftur. Hagkvæmt er að senda allt fánlegt bakrásarvatn, sem til fellur við Laugaland, aftur niður í svæðið. Heppilegast er talið að skipta niðurdælingunni á holur LPÝ-6 og LPÝ-8. Holur 2 og

LPÝ-5 gætu einnig komið til greina sem niðurdælingarholur en áhrif af niðurdælingu þar hafa ekki verið könnuð. Mælt er með því að heita vatnið, sem notað er í sundlaugina á Þelamörk, verði leitt gegnum varmaskipti og upphitað ferskvatn notað í laugina. Með því móti má dæla niður aftur öllu því vatni sem sundlaugin notar

Talið er auðvelt að hitta á uppstreymissprungu jarðhitakerfisins á meira dýpi í holu sem boruð yrði norðan núverandi farvegjar Hörgár. Lskur eru á að vatn úr slíkri holu gæti orðið heitara en í LPN-11, allt að 100°C samkvæmt efnahitamælum. Óvíst er hvort meira magn fengist. Hins vegar myndi kælingar vegna innrennslis og niðurdælingar gæta mun hægar ef vatnið væri tekið dýpra úr uppstreyminu.

Orkuverð frá Þelamörk er hagstætt miðað við núverandi rafmagnsverð. Orkuverð miðað við allan stofnkostnað frá 1941 er um 0,5 kr/kWh en tæplega 0,4 kr/kWh ef einungis er reiknað með fjárfestingu vegna aðveitunnar. Til samanburðar er talið að orka frá rafskautakati kosti 0,66 kr/kWh miðað við að raforkan sé keypt á sérstökum tímabundnum afsláttarkjörum Landsvirkjunar.

## EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	3
1. INNGANGUR	9
2. HOLA LÞN-10	11
2.1 Staðsetning og borun	11
2.2 Hitamælingar í holu LÞN-10	12
2.3 Vatnsæðar	15
2.4 Jarðlög	16
3. HOLA LÞN-11	17
3.1 Staðsetning og borun	17
3.2 Vatnsæðar og hiti	19
3.3 Jarðlög	20
3.4 Dæluprófanir í borun	20
4. ÚTBREIÐSLA, EIGINLEIKAR OG UMMYNDUN JARÐLAGA	22
4.1 Útbreiðsla jarðlaga og tenging milli holna	22
4.2 Berggangar	24
4.3 Ummyndun jarðlaga	25
4.4 Poruhluti jarðlaga samkvæmt nifteindamælingum	26
4.4.1 Almenn um nifteindamælingar og poruhluta	26
4.4.2 Poruhluti bergs á Laugalandi á Þelamörk	27
4.4.3 Viðnámsmælingar í borholum	29
4.4.4 Samband viðnáms og poruhluta í borholum	31
5. VIRKJUN OG VINNSLUPRÓFUN HOLU LÞN-11	34
5.1 Framkvæmd	34
5.2 Vatnsborðsmælingar	34
5.3 Rennslismælingar	36
5.4 Efnainnihald vatnssýna	37
5.5 Millirennslí í borholum	44
5.6 Lekt jarðhitakerfisins	46
5.7 Niðursetning og endurheimta ferilefna	49
6. SPÁR UM VINNSLU, VATNSBORÐ OG KÓLNUN HOLU LÞN-11	53
6.1 Vatnsborðsspár	53
6.2 Spár um kólnun holu LÞN-11 vegna kaldara innstreymis	58
6.3 Spár um kólnun holu LÞN-11 vegna niðurdælingar	59
7. HUGMYNDALÍKAN AÐ JARÐHITAKERFINU Á ÞELAMÖRK	61
8. NIÐURDÆLING BAKRÁSARVATNS	63
8.1 Bakrásarvatn frá húsum	63
8.2 Bakrásarvatn úr sundlaug	63
9. HAGKVÆMNI OG ORKUVERÐ	64

10. HORFT TIL FRAMTÍÐAR	66
11. NIÐURSTÖÐUR	67
12. HEIMILDIR	69
ENGLISH SUMMARY	73
VIÐAUKI A: Jarðlagagreining og borholumælingar í holu LPN-10	75
VIÐAUKI B: Jarðlagagreining og borholumælingar í holu LPN-11	83
VIÐAUKI C: Fóðrun holu LPN-11	89
VIÐAUKI D: Vatnsborðsmælingar í holum 2-11 á Laugalandi	93
VIÐAUKI E: Rennsli úr holu LPN-11 og í holur LPÝ-6 og LPÝ-8	105
VIÐAUKI F: Túlkun ferilprófana og áhrif niðurdælingar	111
VIÐAUKI G: Efna- og hitabreytingar í þjöppuðu lískani	117

## TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1. Yfirlit yfir borholur við Laugaland á Pelamörk.	9
TAFLA 2. Framvinda borunar holu LPN-10 í júní og júlí 1992.	11
TAFLA 3. Vatnsæðar í holu LPN-10.	15
TAFLA 4. Framvinda borunar holu LPN-11 í júlí og ágúst 1992.	18
TAFLA 5. Yfirlit um vatnsæðar í holu LPN-11.	20
TAFLA 6. Yfirlit um ganga í borholum á Laugalandi á Pelamörk.	25
TAFLA 7. Yfirlit um sýndarporuhluta samkvæmt kalksteinsstaðli á 0-250 m dýpi	29
TAFLA 8. Niðurstöður efnagreininga í holu LPN-11 frá árinu 1992.	38
TAFLA 9. Niðurstöður efnagreininga í holu LPN-11 frá árinu 1993.	38
TAFLA 10. Mælt og reiknað hitastig skv. efnahitamælum °C.	40
TAFLA 11. Styrkur brennisteinsvetnis í vatni í holum LPN-11, LJ-5 og BN-1 (mg/l).	43
TAFLA 12. Efnasamsetning niðurrennsliðsvatns úr holum LPÝ-02, LPÝ-06 og LPÝ-08 (mg/l).	44
TAFLA 13. Áætlanir á leiðnistuðli (T) og vatnsrýmd (S) jarðhitakerfisins.	47
TAFLA 14. Eiginleikar sprungulískana sem fengust við túlkun ferilprófana.	51

## MYNDASKRÁ

Mynd 1. Afstöðumynd af jarðhitasvæðinu á Laugalandi á Þelamörk.	10
Mynd 2. Framvinda borunar LÞN-10 frá 13. júní.	12
Mynd 3. Halli holu LÞN-10 sem fall af dýpi.	12
Mynd 4. Allar hitamælingar úr holu LÞN-10.	13
Mynd 5. Mældur og reiknaður hiti í holu LÞN-10.	14
Mynd 6. Hiti (slitin lína) og rennsli (heildregið) úr holu LÞN-10 í loftborun.	15
Mynd 7. Framvinda borunar LÞN-11 frá 17. júlí.	17
Mynd 8. Allar hitamælingar frá borun holu LÞN-11.	20
Mynd 9. Vatnsborð holna á Laugalandi þegar loftdælt var úr holu LÞN-11.	21
Mynd 10. Tenging jarðlaga milli borholna samkvæmt nifteindamælingum.	23
Mynd 11. Mæliferlar gammageislunar úr holum LÞN-10, LÞÝ-9 og holu 4.	24
Mynd 12. Tíðnidreifing sýndarporuhluta í hraun- og millilögum á 0-250 m dýpi	28
Mynd 13. Meðaltal heildarporuhluta og eðlisviðnáms á 0-250 m dýpi	30
Mynd 14. Samband viðnáms og poruhluta í holum á Þelamörk.	32
Mynd 15. Vatnsborð í metrum undir sjávarmáli í öllum holum á Laugalandi á Þelamörk.	35
Mynd 16. Dæling úr holu LÞN-11 og niðurdæling í holur LÞÝ-6 og LÞÝ-8.	36
Mynd 17. Styrkur kfsils sem fall af tíma.	39
Mynd 18. Hlutfall súrefnissamsæta sem fall af tíma.	40
Mynd 19. Styrkur kfsils í vatni í holum LÞN-11, LJ-5 og BN-1.	40
Mynd 20. Styrkur flúorfös í vatni í holum LÞN-11, LJ-5 og BN-1.	42
Mynd 21. Samband kísil- og flúorföstyris í vatni í holum LÞN-11, LJ-5 og BN-1.	42
Mynd 22. Mettun nokkurra steinda sem fall af hita.	43
Mynd 23. Mæld og reiknuð hækkun vatnsborðs í holu 2 eftir seinni loftdælinguna.	47
Mynd 24. Mælt og reiknað vatnsborð holu 2 fyrstu 17 daga vinnsluprófunarinnar.	48
Mynd 25. Mælt og reiknað vatnsborð holu 6 fyrstu 17 daga vinnsluprófunarinnar.	48
Mynd 26. Mældur og leiðréttur styrkur brómfös í vatni úr holu 11 vegna niðurdælingar í holu 6.	50



Mynd 27. Mældur og leiðréttur styrkur flúoresceins í holu 11 vegna niðurd. í holu 8.	50
Mynd 28. Samanburður á styrk ferilefna í vatni úr holu 11.	51
Mynd 29. Leiðréttur og reiknaður styrkur brómíðs í vatni úr holu 11 (tafla 7).	52
Mynd 30. Leiðréttur og reiknaður styrkur flúoresceins í vatni úr holu 11 (tafla 7).	52
Mynd 31. Lokað þjappað geymslíkan af jarðhitakerfinu á Laugalandi á Þelamörk.	53
Mynd 32. Mælt og reiknað vatnsborð holu LÞN-11 samkvæmt þjappaða líkaninu.	54
Mynd 33. Einfölduð mynd af mismunandi hlutum jarðhitakerfisins	55
Mynd 34. Reiknuð viðbrögð jarðhitakerfisins við 15 l/s stöðugri vinnslu	56
Mynd 35. Samanburður á viðbrögðum Þelamerkur og núverandi vinnslusvæða HVA.	57
Mynd 36. Spár um vatnsborð holu LÞN-11 samkvæmt þjappaða líkaninu (mynd 31).	57
Mynd 37. Mældur og reiknaður kísilstyrkur í vatni úr holu LÞN-11.	58
Mynd 38. Spár um náttúrulega kólnun vatns úr LÞN-11 við 15 l/s langtímvinnslu.	59
Mynd 39. Híti niðurdælingarvatns þegar það kemur inn í holu LÞN-11 .	60
Mynd F.1. Líkan notað við túlkun ferilprófana.	114
Mynd G.1. Þjappað líkan með fast innstreymi og leka að ofan.	119

## 1. INNGANGUR

Sumarið 1992 var ráðist í borun tveggja djúpra rannsóknarholna við Laugaland á Þelamörk. Holurnar, LPN-10 og LPN-11, voru staðsettar að undangengnum ítarlegum rannsóknum á svæðinu (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1984 og 1990). Alls hafa því verið boraðar 11 holur við Laugaland frá því boranir hófust árið 1941. Í töflu 1 er yfirlit yfir þessar borholur. Talið var að meginuppstreymi heita vatnsins á Laugalandi væri tengt sprungu sem annað hvort liggur nær samsíða Hörgá eða samsíða bergganginum A-1 á mynd 1. Í báðum tilvikum var gert ráð fyrir að uppstreymi heita vatnsins væri aðeins bundið við stuttan hluta sprungunnar, milli holna LPÝ-5 og LPÝ-6.

Hola LPN-10 varð 914 m djúp og skar engar umtalsverðar vatnsæðar. Reyndist hiti hennar nokkru lægri en búast hefði mátt við ef halli sprungunnar væri austlægur. Í ljósi þessa var af-ráðið að bora nýja holu, LPN-11, nokkru norðvestan við holu LPN-10 (mynd 1). Sú borun varð árangursrík og skar hola góðar vatnsæðar á 430-450 m dýpi. Blástursprófun holunnar sýndi aftur á móti að mikill niðurdráttur myndi fylgja vinnslu úr svæðinu. Því var ákveðið að virkja holu LPN-11 með djúpdælu og vinna síðan nægilega lengi úr henni til að gera mætti nákvæmar vatnsborðsspár fyrir jarðhitakerfið.

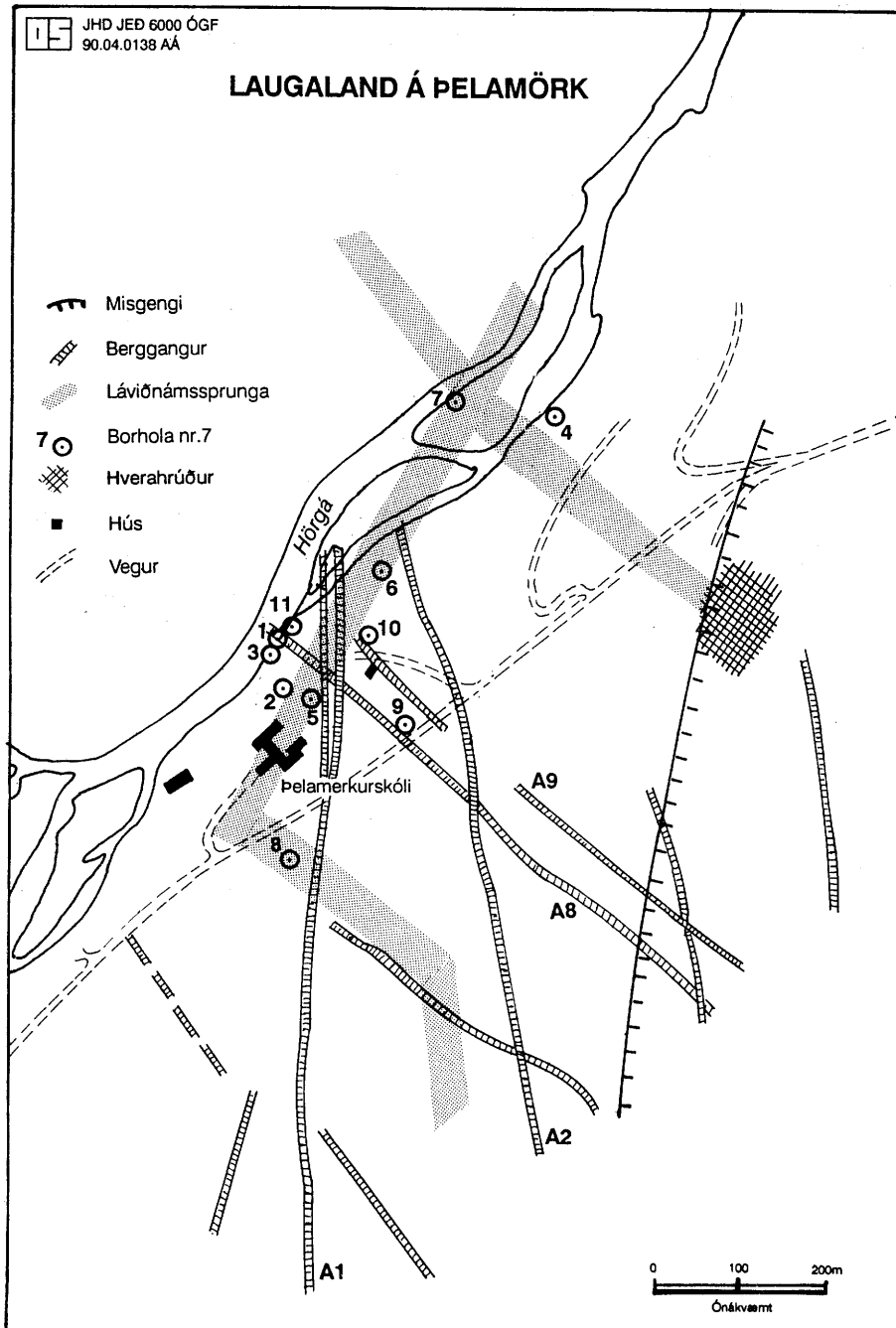
Vinnsluprófun holu LPN-11 stóð síðan óslitin frá því í nóvember 1992 og fram í ágúst 1993. Fylgst var ítarlega með vatnsborði og vinnslu á meðan og gerðar mælingar á efnasamsetningu vatnssýna sem tekin voru í prófuninni. Einnig var hluta vatnsins úr LPN-11 dælt á nýjan leik niður í tvær eldri rannsóknarholur og fylgst með hvernig vatnið skilaði sér að vinnsluholunni með aðstoð ferilefna. Tilgangurinn með svo viðamiklum og ítarlegum prófunum á jarðhitasvæðinu var að skapa eins góðan grundvöll og hægt væri til að byggja á ákvörðun um að leiða vatnið til Akureyrar og skapa traustar hönnunarforsendur fyrir aðveituæðinni.

TAFLA 1. Yfirlit yfir borholur við Laugaland á Þelamörk.

Hola	Borár	Bor	x-hnit	y-hnit	Hæð	Dýpi	Vídd holu	Fóðring	
nr.			(m)	(m)	m.y.s.	(m)	"	vídd(")	lengd(m)
1	1941-44	Haglabor			19	375	4(?)	?	?
2	1964-65	Norður-landsbor	19818.6019*	6184.7689*	29,51*	1088	12 1/4 í 19m 8 3/4 í 446m 6 1/4 í 1088m	13 3/8 9 5/8 8 1/2	1,75 19,5 20,25
3	1969-70				18	667	12 1/2 í 85m 6 1/2 í 667m	13 3/8	9
4	1970	Norður-bor	20111.1808*	6501.6907*	21,38*	711	15 í 9m	6 1/4 í 711m	
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,	6 1/2	7 5/8	20
LPÝ-7	1989	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
LPÝ-9	1990	Ýmir			46,59*	367	7	7 5/8	12
LPN-10	1992	Narfi			36,03*	914	8 5/8 í 475m 8 1/2 í 914	10 3/4	26,8
LPN-11	1992	Narfi			23	451,7	12 1/2 í 251m 8 1/2	10 3/4	250

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

Skýrslan lýsir borun og niðurstöðum rannsókna á holum LPN-10 og LPN-11. Þá er vinnslu-  
prófun Laugalandssvæðisins lýst í þaula, vinnslu- og vatnsborðsgögnin sem söfnuðust nýtt til  
gerðar vatnsborðsspár og einnig sett fram spá um kólnun holu LPN-11 vegna innstreymis kald-  
ara vatns í jarðhitakerfið og vegna niðurdælingar bakrásarvatns. Niðurstöður þessara rannsókna  
eru svo dregnar saman í eitt hugmyndalíkan að jarðhitakerfinu. Á grunni alls þessa er að lokum  
lagt mat á hagkvæmni virkjunar svæðisins.



**Mynd 1.** Afstöðumynd af jarðhitasvæðinu á Laugalandi á Pelamörk. Myndin sýnir staðsetningu borholna, bergganga, misgengja og lágviðnámsrennu.

## 2. HOLA LPN-10

### 2.1 Staðsetning og borun

Holu LPN-10 var valinn staður milli holna LPÝ-5 og LPÝ-6, um 20-25 m frá áætlaðri skurðlínu Hörgársprungunnar við yfirborð (mynd 1) og stefnt að því að holudýpið yrði allt að 1000 m. Þar með átti holan að hitta í sprunguna ef henni hallaði til austurs, meira en 1,4° frá lóðréttu.

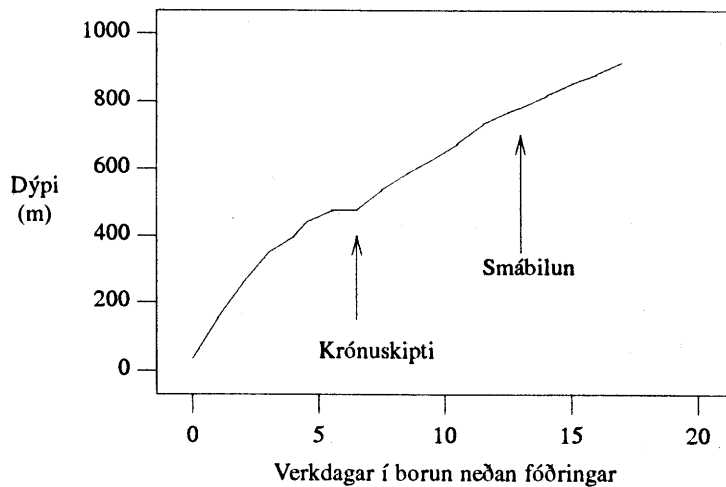
Vinna við borun holunnar hófst 5. júní 1992. Borað var samkvæmt verklýsingu (Orkustofnun, 1991) og verksamningi. Tafla 2 sýnir helstu þætti borverksins.

TAFLA 2. Framvinda borunar holu LPN-10 í júní og júlí 1992.

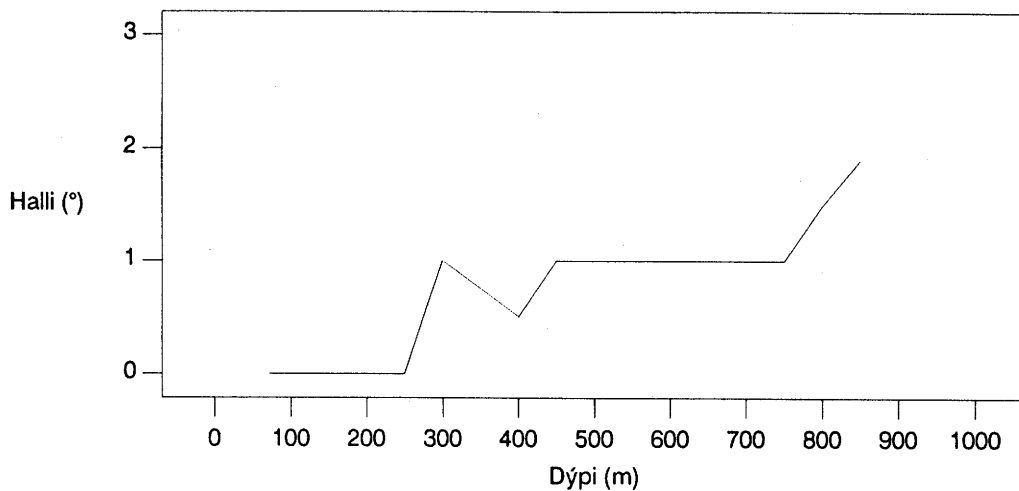
Dags.	Verkþáttur	Dýpi
5. júní	Borinn fluttur norður	
6.-7. júní	Undirbúningur á borstað	
8.-9. júní	Borun með 15" krónu og leðju	0-19 m
10. júní	Fóðrað með 14" röri	
11. júní	Borað með 12 ½"	16,4-28,8 m
11. júní	Sett niður 10 ¾" fóðring	0-26,8 m
12. júní	Gengið frá fóðringum ofl.	
12. júní	Borað með 8 5/8" lofthamri	26,8-34,0 m
13.-16. júní	Borun með 8 5/8" lofthamri	34,0-398,7 m
17. júní	Frí	
18.-19. júní	Borað með 8 5/8" lofthamri	398,7-475,7 m
20. júní	Krónuskipti	
21.-26. júní	Borað með 8 ½" tannhjólakrónu	482,0-768,6 m
27.-28. júní	Frí	
29. júní - 3. júlí	Borað með 8 ½" tannhjólakrónu	768,6-914,2 m
4.-12. júlí	Frí	
13.-15. júlí	Upptekt, frágangur, loftdæling Bor fluttur að holu LPN-11	

Mynd 2 sýnir framvindu borverksins. Þar sést að borunin gekk hratt og vel. Meðalborhraði með loftborun var 80 m á dag niður á 475 m dýpi og síðan 42 m á dag með hjólakrónuborun í 914 m dýpi. Þá þótti ljóst að holan stefndi ekki í fyrirhugaða vatnsæð og var borun hætt. Óverulegar tafir urðu á borverkinu, tæpur dagur tapaðist vegna hvassviðris og smátafir urðu vegna bilana.

Halli holunnar var mældur reglulega í borun. Eru niðurstöður sýndar á mynd 3. Þar kemur fram að halli holunnar er um 1° frá lóðréttu niður á um 750 m en eykst síðan í 2°. Hallamælirinn sem notaður er mælir ekki stefnu hallans þannig að ekki er vitað í hvaða átt hallinn er. Hins vegar telst gott að halli holu fari ekki yfir 1°.



Mynd 2. Framvinnda borunar LÞN-10 frá 13. júní.  
Á 7. degi var tekið upp og skipt úr loftborun yfir í borun með hjólakrónu.



Mynd 3. Halli holu LÞN-10 sem fall af dýpi.

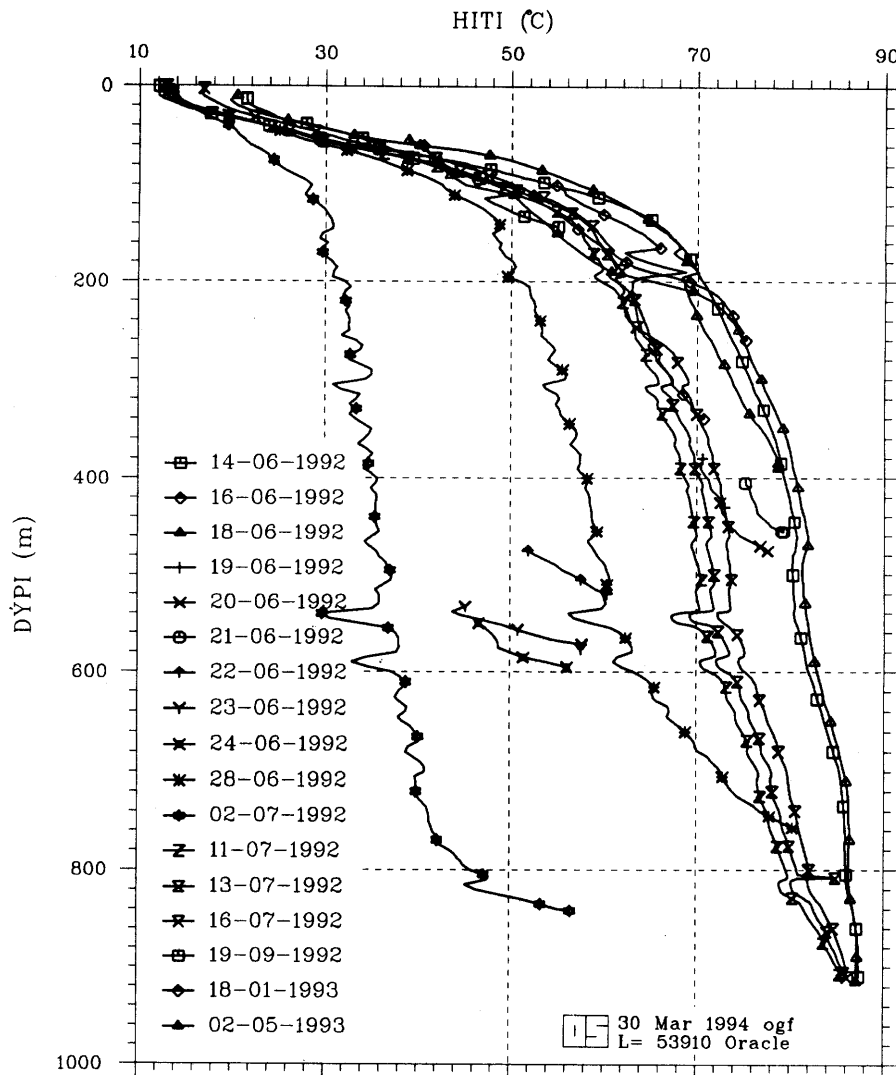
## 2.2 Hitamælingar í holu LÞN-10

Þar sem fyrir lá við upphaf borunar að brugðið gæti til beggja vona með halla sprungunnar, sem hola LÞN-10 átti að skera, var afráðið að skrá botnhita holunnar allar nætur. Með þessu móti var aflað gagna sem nýta mátti við mat á ótrufluðum hita bergsins við holuna. Þannig kæmi fyrr í ljós ef sprungunni kynni að halla frá holunni, en ekki að henni, og þá hægt að stöðva borunina.

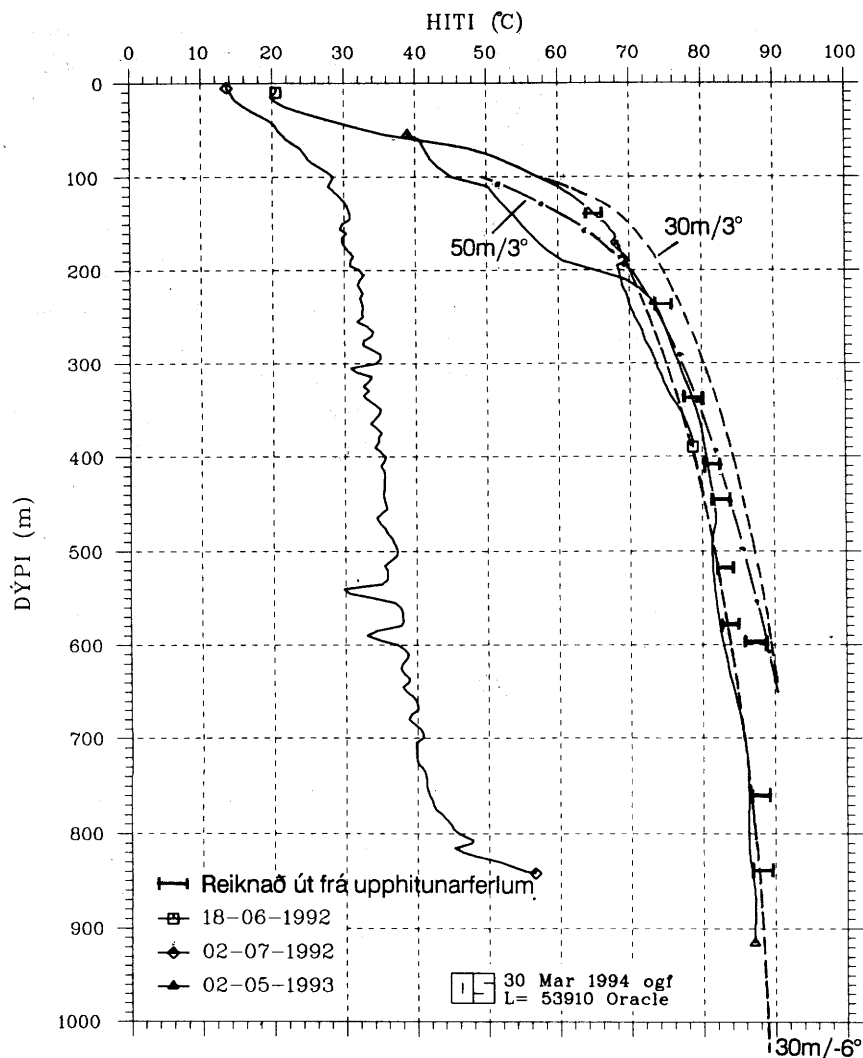
Hitamælingarnar fóru þannig fram að sfitandi hitamæli var slakað til botns inni í borstöngum að kvöldi hvers bordags og hitnun holunnar skráð næstu nótt. Þetta var gert þar til hola náði 600 m dýpi. Neðan 600 m dýpis var næturhitnunin einungis skráð tvívegis þar sem mælingabfl þurfti til. Að morgni mældu svo starfsmenn Hitaveitu Akureyrar hita í neðstu 50-100 m holunnar og sendu gögnin til Orkustofnunar ásamt næturhitunum. Síðan var aðferð Albrights (1976) notuð til að áætla berghita á botni holunnar. Mælingarnar sjálfar er að finna í viðauka A.

Þessi áætlaði berghiti var svo borinn saman við reiknaðan hita í líkani þar sem breyta mátti halla og fjarlægð Hörgársprungunnar frá holu LPN-10. Aðferðinni hefur áður verið lýst í greinum og skýrslum til Hitaveitu Akureyrar (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1981, Ólafur G. Flóvenz, 1985) og í nemendaskýrslu Jarðtaskólans (Biljana Milicevic, 1990). Svo fór að áætlaður berghiti gaf ekki ótvírætt til kynna að halli holunnar væri vestlægur fyrr en komið var í um 900 m dýpi. Var borun LPN-10 þá hætt.

Myndir 4 og 5 sýna hitamælingar í holu LPN-10. Mynd 4 sýnir allar mælingar sem gerðar voru meðan á borverkinu stóð. Mynd 5 sýnir þrjár valdar mælingar, berghita eins og hann var reiknaður samkvæmt næturhitamælingunum og loks nokkra útreiknaða hitaferla í líkani með mismunandi sprunguhalla. Tölurnar við útreiknuðu ferlana vísa annars vegar til fjarlægðar milli holu og skurðlínu sprungunnar við yfirborð og hins vegar til halla sprungunnar. Mældu ferlarnir þrír á mynd 5 eru frá 18. júní 1992, eftir tveggja sólarhringa hlé á loftborun, frá 2. júlí eftir næturhlé í borun, og loks frá 2. maí 1993, sem er um 9 mánuðum eftir að borun lauk.



Mynd 4. Allar hitamælingar úr holu LPN-10.



Mynd 5. Mældur og reiknaður hiti í holu LPN-10.

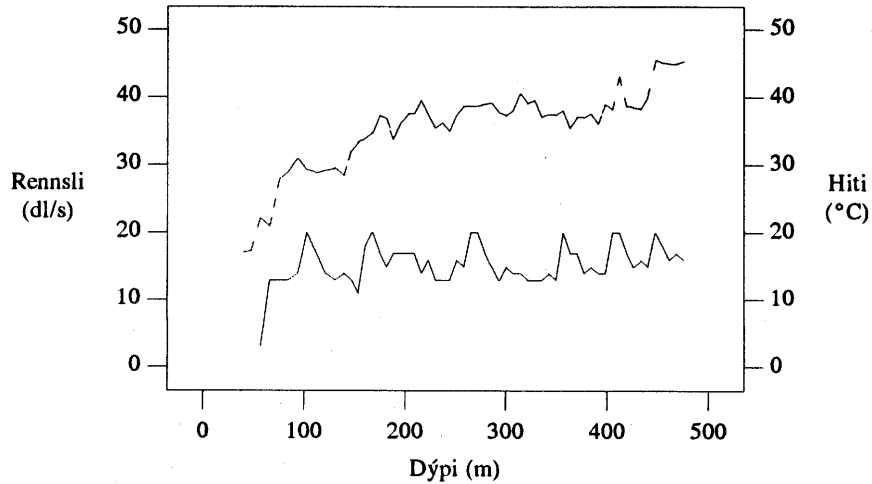
Tölurnar á myndinni vísa til fjarlægðar frá sprungu og halla sprungunnar.

Þessar mælingar sýna glögglega þann vanda sem við er að etja þegar ákvarða þarf framhald borunar út frá hitamælingum í holu sem er kæld af skolvatni. Mælingin frá 2. maí er nærri því að sýna raunverulegan berghita þótt líklega gæti enn nokkurrar kælingar á 500-700 m dýpi. Mælingin frá 2. júlí er hins vegar gerð eftir einnar nætur hlé í borun og samanburður við mælinguna frá 19. september sýnir vel hve holan var kæld af skolinu. Hitamælingarnar í júní og september falla hins vegar því sem næst saman, júnímælingin er aðeins örlítið kaldari. Sýnir þetta kælingarmátt hjólakrónuborunar fram yfir loftborun.

Niðurstöður botnhitareikninga með aðferð Albrights eru sýndar sem lárétt strik á mynd 5. Afmarkar lengd strikana óvissu vegna dreifingar í mæligildum. Myndin bendir til að aðferðin ofmeti berghitann um 1-3°C. Þetta kerfisbundna ofmat nægði til að áætla mátti halla sprungunnar 1-2° í átt að holunni mestan hluta bortímans. Samanburður á mælingunni frá 19. september og á útreiknuðum hita í reiknilskani bendir hins vegar sterklega til þess að halli sprungunnar sé um 6° í átt að Hörgá, þ.e. frá holu LPN-10.

### 2.3 Vatnsæðar

Meðan á borun stóð var skráður reglulega hiti og rennsli skolvatns í og úr holu LPN-10. Í loftboruninni var seyru dælt niður með loftinu, en eftir að hjólakrónuborun hófst var skolmagnið um 29 l/s og skolhiti á bilinu 6-12 °C. Mynd 6 sýnir hita og rennsli vatnsins úr holunni í loftborun. Einungis u.þ.b. 1 l/s kom úr lítilli vatnsæð á 44 m dýpi. Í hjólakrónuboruninni varð engra vatnsæða vart.



Mynd 6. Hiti (slitin lína) og rennsli (heildregið) úr holu LPN-10 í loftborun.

Að borun lokinni var hola LPN-10 loftdæld í 4 klst. með stangarenda á 235 m dýpi. Komu þá einungis 0,9 l/s af 38,5°C vatni úr holunni. Af hitamælingunum á mynd 4 má sjá að allmargar smáæðar finnast í holunni. Í töflu 3 er þær taldar upp. Greinilegt er að æðar á 44 m, 545 m og 595 m eru stærstar. Þó gefur hver þeirra aðeins brot úr sekúndulítra við loftdælingu. Jafnframt sýnir tafla 3 hvaða jarðlögum æðarnar tengjast (kaffi 2.4). Reyndust þau í öllum tilvikum milli- lög nema á 100 m dýpi þar sem æð virðist tengjast hraunlagi.

TAFLA 3. Vatnsæðar í holu LPN-10.

Dýpi á æð	Jarðlag skv. jarðlagagreiningu
44	millilag
100	hraunlag
190	millilag
310	millilag
365	millilag
465	millilag
545	millilag
595	millilag
815	millilag



## 2.4 Jarðlög

Sá háttur var hafður á við jarðlagagreiningu að borsvarf var sent reglulega til Orkustofnunar þar sem það var greint jafnóðum. Þannig mátti teikna jarðlagasniðið eftir því sem verkinu miðaði.

Ekkert óvænt kom fram í þessum greiningum miðað við fyrri holur fyrr en neðan 500 m dýpis. Þá sást mikið af setmolum í svarfinu og fór hlutur þess í allt að 90 %. Snið sem byggði eingöngu á svarfgreiningu sýndi því mörg og þykk setlög neðan 500 m dýpis. Hins vegar var strax ljóst út frá eldri holum að svo þykk setlög er ekki að finna á Laugalandi. Því hlaut setið í svarfinu að koma frá mikilli útskolun setlaga í borun. Við slíkar aðstæður er alltaf töluverð hættu á hruni og að borinn festist. Voru bormenn varaðir við þessari hættu og sérstök aðgát höfð í borun af þessum sökum.

Að borun lokinni voru gerðar jarðlagamælingar í holunni. Þær auðkennast af sömu jarðlögum og í öðrum holum á Laugalandi, en þeim jarðlögum hefur áður verið lýst ítarlega í skýrslum (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1984, 1989). Má rekja einstök hraunlög og setlög frá einni holu til annarrar um allt svæðið. Þykktir laganna breytast lítið milli holna. Það auðveldar mat á striki og halla jarðlaga svo og staðsetningu misgengja.

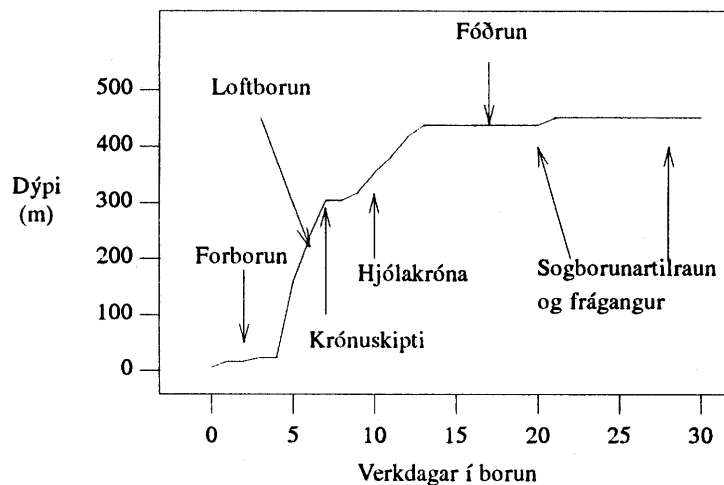
Viddarmæling, sem gerð var í holu LÞN-10 eftir borun, sýnir að setlög hafa skolast út á nokkrum stöðum, þó langmest á 540 m dýpi. Þar hefur þvermál holunnar meira en tvöfaldast á 6 m löngum kafla (viðauki A). Skápar hafa einnig myndast í setlögum á 254 m, 306-308 m, 512-514 m og á 584-592 m dýpi. Hefur jarðlagasniðið af holu LÞN-10 því verið endurgert með hliðsjón af borholumælingunum. Jarðlagasnið ásamt borhraðariti og jarðlagamælingum sýnt í viðauka A.

### 3. HOLA LPN-11

#### 3.1 Staðsetning og borun

Borun holu LPN-10 sýndi að sprungunni með Hörgá hallaði öfugt við það sem gert hafði verið ráð fyrir. Var því afráðið að bora næstu holu norðvestan við sprunguna, enda talið einsýnt að sú hola myndi hitta í vatnsæðar.

Nákvæm staðsetning holunnar var nokkuð vandasöm. Var afráðið að reyna að hitta bæði í ganginn A-1 á mynd 1 og einnig í hina meintu sprungu með Hörgá. Halli gangins er vel þekktur út frá eldri borholum, u.þ.b. 6° til vesturs. Halli sprungunnar var hins vegar illa þekktur á þeim tíma, enda hafði hola LPN-10 enn ekki náð hitajafnvægi og því erfitt að nota berghita í henni við lfskanreikninga um hitadreifingu. Þó mátti gera ráð fyrir að halli sprungunnar væri minni en 6° til vesturs. Staðhættir á borstað takmörkuðu einnig val á staðsetningu og ef vel hefði átt að vera hefði þurft að færa Hörgá norðar. Eins kom borun norðan Hörgár ekki til greina, þar gæti verið komið það langt frá sprungunni að hún nædist ekki í 1000 m holu. Varð því úr að bora holu LPN-11 eins langt frá sprungunni og ganginum og unnt var Laugalandsmegin við Hörgá. Holan var því boruð á árbakkanum 35-40 m frá ganginum og 40-50 m frá sprungunni (mynd 1).



Mynd 7. Framvinda borunar LPN-11 frá 17. júlí.

Borun LPN-11 hófst þann 15. júlí 1992. Tafla 4 og mynd 7 gefa yfirlit um framvindu borverksins. Borun gekk vel framan af. Meðalafköst í loftborun voru 93 m á dag niður á 304 m dýpi. Þá var skipt yfir í hjólakrónumborun. Meðalafköst féllu þá í 29 m/dag niður að 437 m dýpi. Þar urðu vandræði vegna algers skoltaps sem leiddi til þess að ekki tókst að ná upp svarfi. Var holan þá loftdæld og reyndist gefa milli 40 og 60 l/s sem þótti allgott. Var þá ákveðið að rýma og fóðra holuna enda ljóst að hún var orðin brúklek sem vinnsluhola. Var svo ætlunin að beita sogborun í áframhaldinu og freista þess þannig að fá fleiri æðar í holuna.

Því miður tókst ekki að bora LPN-11 dýpra en í 451 m, og það þrátt fyrir góðar vonir um fleiri æðar neðar. Hugsanlega hefði mátt komast dýpra með ýmsum tilfæringum, svo sem öflugri dælu, þéttingu æða o.s.frv. Reynslan af fyrri borunum í Eyjafirði sýnir aftur á móti að slíkar tilfæringar eru yfirleitt dýrar og skila misjöfnum árangri. Auk þess sýndi svæðisniðurdráttur í loftdælingu að holan náði því vatni sem var að hafa ofan 600 m dýpis í jarðhitakerfinu. Var því afráðið að hætta borun að svo búnu.

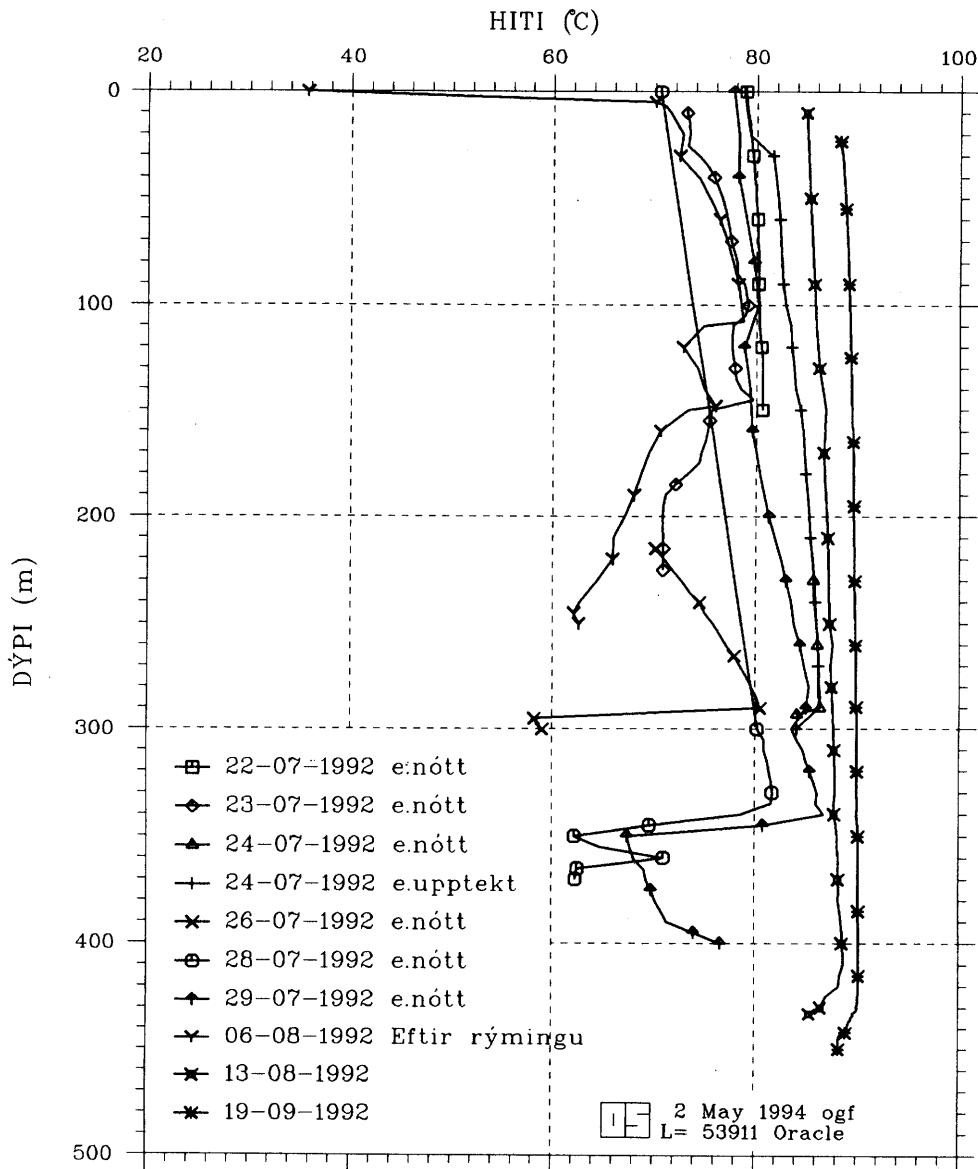
TAFLA 4. Framvinda borunar holu LPN-11 í júlí og ágúst 1992.

Dags.	Verkþáttur	Dýpi
15. júlí	Borinn fluttur frá holu LPN-10	
16. júlí	Undirbúningur	
17. júlí	Borun með 15" krónu og leðju	5-15,1 m
18. júlí	Fóðrað með 14" röri	0-14,2 m
19. júlí	Borað með 12 ½"	15,1-22,0 m
	0,8 l/s af 62°C vatni komu á 20 m.	
20. júlí	Sett niður 10 ¾" fóðring	0-22,4 m
21. júlí	Borað með 8 ⅝" lofthamri.	24,4-160,7 m
	Vatn jókst smá saman í 4 l/s í borun	
22. júlí	Borun með 8 ⅝" lofthamri	160,7-237,7 m
23. júlí	Borun með 8 ⅝" lofthamri	237,7-304,0 m
	Vatni jókst í 10 l/s í dælingu, lofthamar lemur illa.	
24. júlí	Upptekt, beðið eftir krónu, viðgerð á bor o.fl.	
	Sett niður 8 ½" króna, hrun á rýmara í 45 m.	
25. júlí	Niðursetning, borun með 8 ½" krónu.	304,0-318,7 m
	Bilun í bordælu, beðið varahluta úr Rvfk	
26. júlí	Borun með 8 ½" krónu	318,7-353,7 m
27. júlí	Borun með 8 ½" krónu.	357,5-381,7 m
	Smábilanir í bordælu	
28. júlí	Borun með 8 ½" krónu	381,7-416,7 m
29. júlí	Borun með 8 ½" krónu	416,7-437,7 m
	Skoltap hefst í 427 m, allt tapast (15 l/s) í 433 m.	
	Tekið upp í 203 m til loftdælingar	
30. júlí	Undirbúningur loftdælingar, 40-60 l/s koma upp	
	í blæstri, erfitt að hemja vatnið	
31. júlí	Upptekt. Settir 6,5m <sup>3</sup> af rauðamöl	
	og 500 l af sandi í holuna	
1. ágúst	Hola lóðuð, fyrirstaða í 273 m.	
	Steyptur tappi úr 14 pokum af sementi	
2. ágúst	Lóðað á steypu í 258 m, gert klárt fyrir rýmingu	
3. ágúst	Rýming með 12 ½" hamri, bilun í Grant-loka.	22,4-51,2 m
	Töf meðan beðið var eftir varahlut	
4. ágúst	Gert við Grant-loka, rýming	51,2-128,2 m
5. ágúst	Rýming	128,2-212,2 m
6. ágúst	Rýming, erfitt að ná upp svarfi	212,2-251,0 m
7.-8. ágúst	Fóðring með 10 ¾", sjá nánar í viðauka C	
9. ágúst	Sett niður 9 ⅝" hjálparfóðring	
10.-11. ágúst	Tappi hreinsaður úr holunni, bilun í Grant-loka	
12. ágúst	Viðgerð á loka, borun, festa við upptekt	438,9-451,7 m
	í 440-445, svarf kemur ekki upp	
13.-14. ágúst	Upptekt, sogborunarrör síkkuð í 104,7 m	
15. ágúst	Ekki tekst að fá svarf upp, sífellt hrun, borun hætt	
16. ágúst	Loftdæling, upptekt	
17.-18. ágúst	Frágangur á borstað	

### 3.2 Vatnsæðar og hiti

Vatnsæðar komu fram á allmörgum stöðum við borun holu LPN-11. Hitamælingar sýna ágætlega dýpi á þessar vatnsæðar auk þess að sýna nokkrar smáæðar til viðbótar. Á mynd 8 eru dregnar allar hitamælingar sem gerðar hafa verið í holunni. Að auki er dreginn þar upp líklegur berghitaferill samkvæmt fyrirliggjandi mælingum. Í töflu 5 er svo gefið yfirlit yfir helstu æðar, hita þeirra og vatnsgæfni, auk þess sem getið er hvers konar jarðlögum þær fylgja.

Þar má sjá að allar æðarnar sem komu fram ofan 400 m dýpis eru í millilögum svipað og var í flestum rannsóknarholnanna. Æðin í 430 m, sem er lang stærsta æðin, 91°C heit, er hins vegar annað hvort inni í gangi eða við neðra borð hans. Holan kemur í ganginn á 348 m dýpi þannig að vel má hugsa sér að æðin á 430 m sé fyrst og fremst tengd sprungunni með árbakkanum.



Mynd 8. Allar hitamælingar frá borun holu LPN-11.

TAFLA 5. Yfirlit um vatnsæðar í holu LPN-11.

Dýpi á æð (m)	Hiti (°C)	Samanlagt vatnsmagn (l/s)			Jarðlög
		Í blæstri	Skoltap	Sjálfrennsli	
20	62	1,0		0,8	millilag
110	79-80	1,2			hraunlag
145	80-82	4,4		1,4	millilag
290	86-87	10			millilag
340	88-90			2,9	millilag
430	90-92	40-60	15 *		inni í gangi
445	óvíst	40-60	óvíst	óvíst	

\* Heildarskoltap

### 3.3 Jarðlög

Í viðauka B eru sýndar niðurstöður jarðlagagreiningar samkvæmt borsvarfi ásamt jarðlagamælingum og borhráðarítum. Jarðlög í holu LPN-11 eru eins og í öðrum holum á Laugalandi nema þar sem borað er í gegnum ganga. Í holunni sjást tveir slíkir, á 26-96 m dýpi og frá 348 m dýpi niður á a.m.k. 430 m dýpi. Þar fyrir neðan vantar svarf sökum algers skoltaps. Borholumælingar sýna að skápur er í holunni á 430 m dýpi og stöðvudust mælitækin við hann (viðauki B). Það þýðir að annaðhvort er 20 m botnfall í holunni eða að mælar settust í skápinn. Því er ljóst að æðin á 430 m fylgir gangi þó ekki sé ljóst hvort hún er í miðjum ganginum eða við neðra bord hans. Sama gildir um æðina neðan 440 m dýpis. Ef miðað er við holu 2 má ætla að gangurinn sé nógu þykkur til að báðar æðarnar séu í honum.

### 3.4 Dæluprófanir í borun

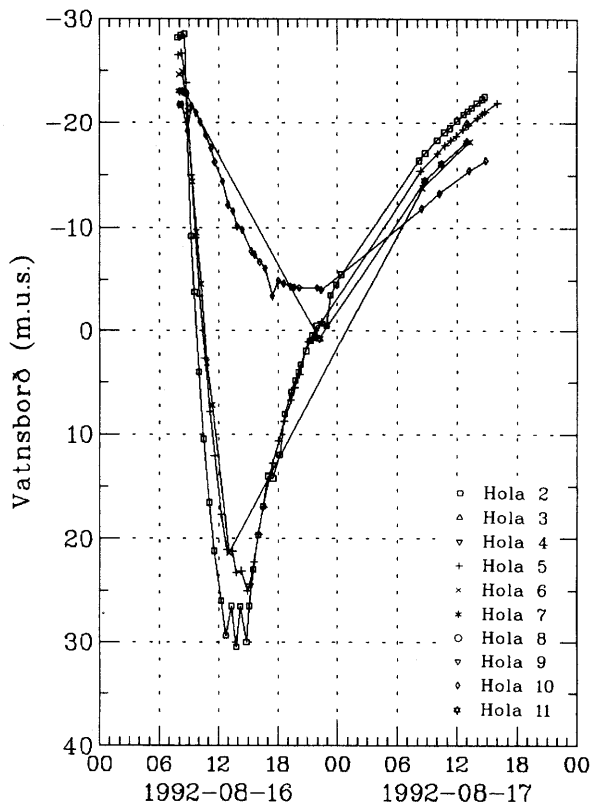
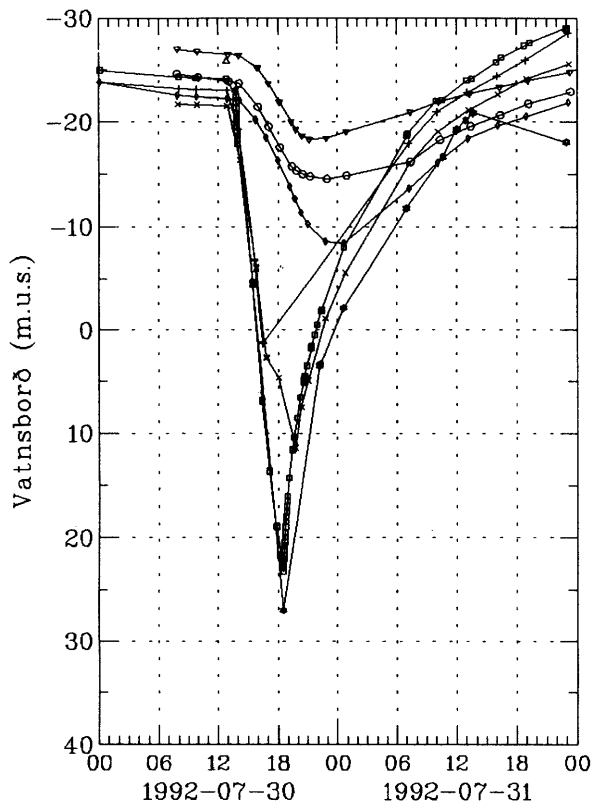
Hola LPN-11 var dæluprófuð tvívegis meðan á borun stóð. Í fyrri skiptið var loftdælt gegnum stangir eftir að vatnsæðin á 427-433 m olli algeru skoltapi í borun (30. júlí 1992). Síðari loftdælingin var svo gerð við lok borunar (16. ágúst 1992). Í fyrri blæstrinum var stangarendi á 203 m dýpi en í þeim síðari var blásið í þremur þrepum með stangarenda á 240, 200 og 150 m. Mynd 9 sýnir vatnsborðsgögnin sem söfnuðust við þessar tvær prófanir.

Megintilgangur fyrri dæluprófunarinnar í holu LPN-11 var að kanna hvort holan væri nægilega vatnsgæf til að réttlætánlegt væri að setja í hana vinnslufóðringu. Því var smíðað sérstaklega um 3 m langt mælikar, með V-laga þversniði í öðrum enda, sem tók við flaumnum úr loftblæstrinum. Einnig var soðið 90° hné við skóflu á skurðgröfu og það síðan notað til að beina láréttum blæstrinum frá holunni niður í kárið. Mikill gusugangur fylgdi þessum verknaði. Tókst ekki að mæla vatnshæð í karinu fyrr en slökkt var á blæstrinum. Stóð þá vatnsbord í hæð sem svaraði 40 l/s rennsli, og það 10-20 sekúndum eftir að blásturinn hætti. Þetta sýndi að holan var vel opin til jarðhitakerfisins og því ákveðið að fódra hana.

Ekki var reynt að meta rennslið úr holu LPN-11 í síðari loftdælingunni. Samanburður ferlanna á mynd 9 bendir samt til að afköst holunnar hafi verið ívið meiri í seinni loftdælingunni. Ekki er víst að það sé einungis dýpkuninni úr 438 í 452 m að þakka, heldur getur rýming og fódrun

holunnar hafa minnkað þrýstifall í blæstrinum og aukið þannig afköst við sama loftmagn úr pressu. Mynd 9 sýnir að niðurdráttur varð töluverður við loftdælingarnar, mest 50-60 m í holu 2. Einnig varð lækkun vatnsborðs mikil í holum 3, 5 og 6. Hluti mælinganna á mynd 9 var notaður til að meta lekt jarðhitakerfisins næst holu LPN-11 og er fjallað um niðurstöðurnar seinna í þessari skýrslu.

JHD FFR 6000 Gr B  
94.08.0286 T



Mynd 9. Vatnsborð holna á Laugalandi þegar loftdælt var úr holu LPN-11.

## 4. ÚTBREIÐSLA, EIGINLEIKAR OG UMMYNDUN JARÐLAGA

### 4.1 Útbreiðsla jarðlaga og tenging milli holna

Samanburður jarðlaga í mismunandi holum gefur skýra mynd af útbreiðslu einstakra hraunlaga og millilaga. Með því að notfæra sér mælingar á eiginleikum jarðlaganna má rekja einstök jarðlög með mikilli nákvæmni frá einni holu til annarrar, hvort sem um er að ræða hraunlög eða millilög. Nifteindamælingar, sem eru nærmar fyrir vatnsinnihaldi jarðlaga, eru sérlega hentugar til að greina sundur einstök hraunlög og í mörgum tilvikum að aðgreina hraunlög frá göngum. Mælingar á náttúrulegri gammageislun jarðlaga eru einnig mjög gagnlegar í þessu samhengi. Geislunin kemur frá geislavirkum samsætum kalfúms, úranfúms og þórúms í jarðlögum. Almennt gildir sú regla að geislavirku samsætunarfylgja kísilinnihaldi bergsins, því hærra sem það er, þeim mun meiri geislavirkni. Þannig henta mælingar á gammageislun vel til að finna súr og ísúr hraunlög eins og líparft og andesft. Þunnu setlögin sem liggja milli hraunlaga (millilög-in), koma einnig fram sem toppar í gammamælingum því í þeim safnast fyrir ákveðnar leirsteindir sem innihalda tiltölulega mikið af kálsum.

Með því að bera jarðlögin saman frá einni holu til annarrar má fá upplýsingar um strik og halla jarðlaga og hugsanleg misgengi milli holna. Í skýrslu um rannsóknarboranirnar 1989 voru upplýsingar um strik og halla samkvæmt jarðfræðikortlagningu, ásamt samanburði á gammamælingum milli holna, notaðar til að meta hvort misgengi lægju milli einhverra holnanna. Sú vinna benti til að misgengi væri milli holu 3 og 2 og annað milli holu 4 og allra hinna holnanna. Síðan þá hafa bæst við 3 holur, þar af tvær djúpar. Var því talin ástæða til að endurskoða tengingar milli jarðlaga.

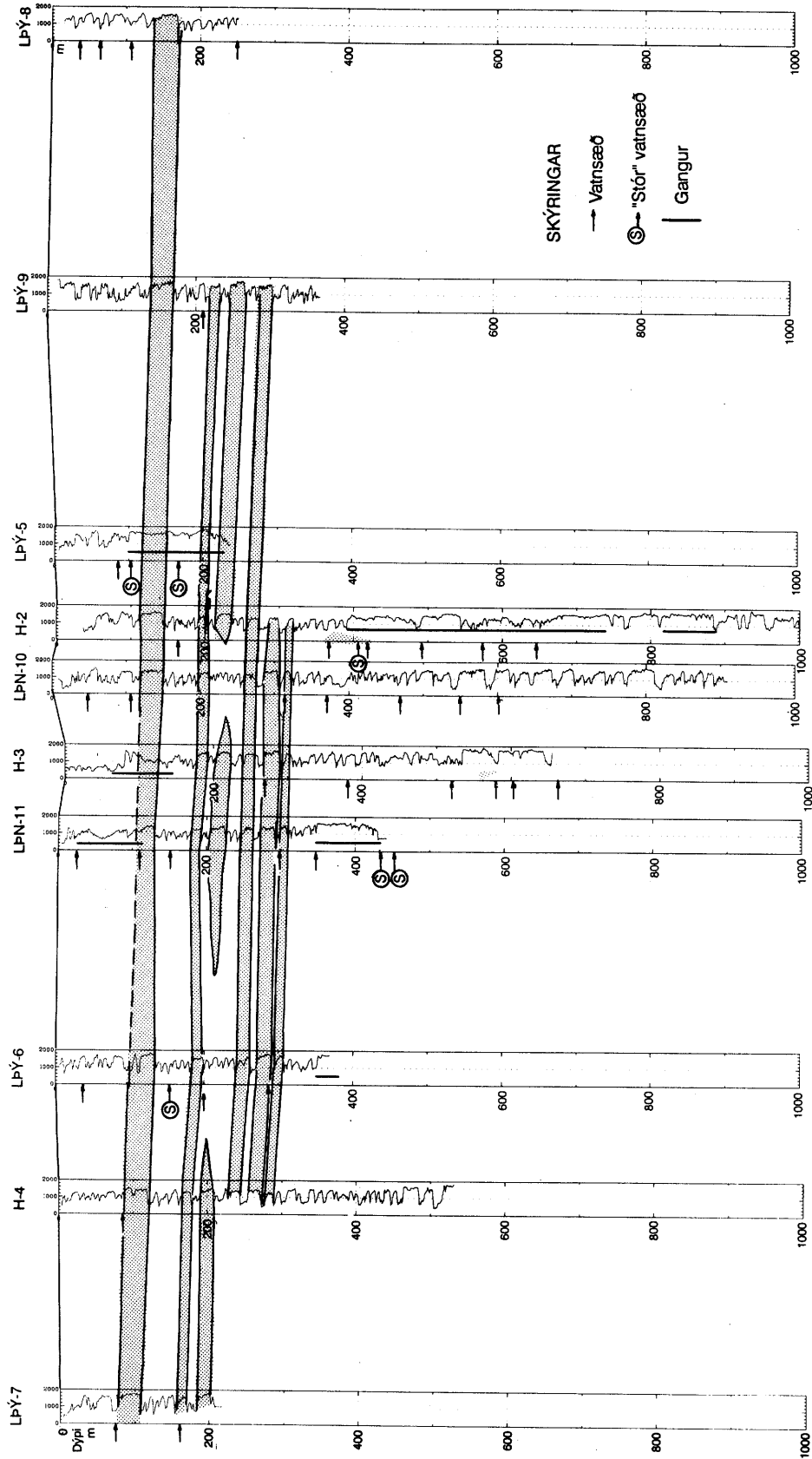
Unnið var með gamma og nifteindamælingarnar sína í hvoru lagi. Tenging jarðlaga fór þannig fram að ein hola var valin sem viðmiðunarloka og síðan voru mælingar úr hverri hinna holnanna bornar saman á skjá og fundið hversu mikið þurfti að hliðra mælingunum innbyrðis til að mæliferlar úr holunum féllu saman. Sú hliðrun jafngildir hæðarmun á viðkomandi lagi milli holnanna. Síðan var með aðferð minnstu kvaðrata fundinn sá slétti flötur, sem best féll að einhverjum tilteknum lagmótum og reiknaður halli og strik flatarins ásamt frávikum lagmótanna frá fletinum í einstökum holum. Niðurstöðurnar urðu þær að strik jarðlaga mælist  $152\text{-}158^\circ$  réttvísandi og halli jarðlaga er  $5,3\text{-}6,8^\circ$ . Frávik lagmóta frá þessum reiknuðu flötum eru í öllum tilvikum minni en 4 m. Það þýðir að engin misgengi með meira en 4 m fall geta legið um borsvæðið, gangstætt því sem niðurstöður skýrslunnar frá 1990 gefa til kynna (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1990). Skýringar á þessu misræmi felast í betri gögnum (fleiri holur) og úrvinnslu aðferðum nú en áður. Þau frávik sem fram koma í lagamótum milli einstakra holna virðast einvörðungu stafa af breytingum í þykkt einstakra hraunlaga.

Á mynd 10 eru sýndar nifteindamælingar úr öllum borholum á Laugalandi að holu 1 undanskilinni. Mælingunum er hliðrað til sem nemur hæð holutopps yfir sjó. Mælingunum er varpað inn í snið sem er u.þ.b. þvert á strikstefnu jarðlaga. Þar sést hve auðvelt er að tengja einstök hraunlög frá einni holu til annarrar, einkum þykku hraunlögin. Mynd 11 sýnir hvernig nokkrir ein-kennandi toppar í gammamælingum tengjast milli þriggja holna á svæðinu.

Yfirleitt eru hraunlögin á Þelamörk það víðáttumikil að þau sjást í öllum holunum, þó með þeirri undantekningu að eitt af þykku hraunlögum á um 200 m dýpi vantar í holur 11 og 6 en í stað þeirra sjást þar nokkur þunn lög. Þetta veldur ofurlítilli óreglu í hraunlagastafflanum.

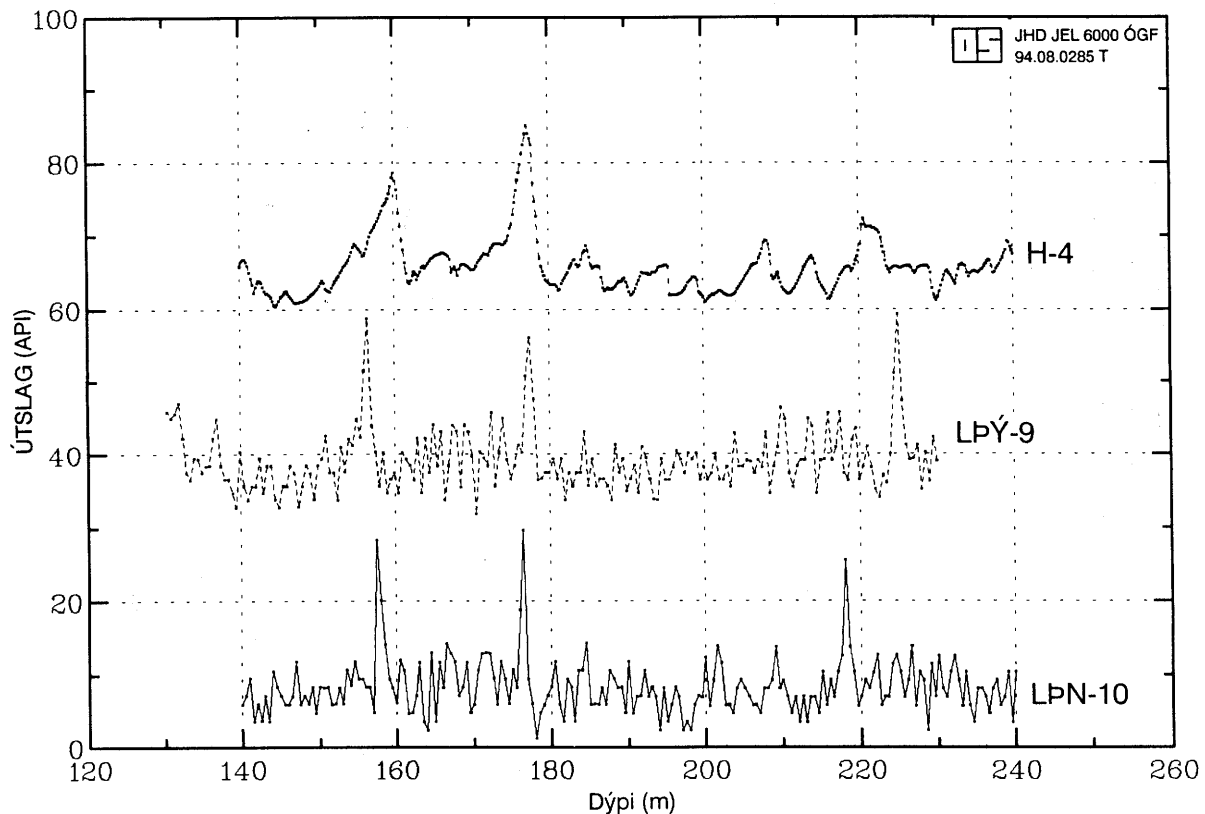
LAUGALAND Á PELAMÖRK  
JARÐLAGASNIÐ SAMKVÆMT NIFTEINDAMÆLINGUM  
TEIKNAD Í HALLASTEFNU JARÐLAGA (SA)

JHD JEL 6000 ÓGF  
94.08.0287 T/H



Mynd 10. Tenging jarðlaga milli borholna samkvæmt nifteindamælingum.





Mynd 11. Mæliferlar gammageislunar úr holum LPN-10, LPÝ-9 og holu 4.

Dýptarkvarðinn sýnir raunverulegt dýpi í holu LPN-10 miðað við sjávarmál en hinum mæliferlunum hefur verið hliðrað í dýpi þannig að dæmigerðir gammatoppur falli sem næst saman. Mælingunum er einnig hliðrað samsíða geislunarársnum þannig að þær liggja ekki hver ofan í annarri.

## 4.2 Berggangar

Helstu frávikin í gerð jarðlaga frá einni holu til annarrar eru annars vegar dýpi á bergganga í þeim og hins vegar útbreiðsla ummyndunar. Þannig leiddi gaumgæfileg skoðun jarðlagamælinga í ljós hvar gangar eru í holum á Þelamörk. Tafla 6 sýnir niðurstöðurnar. Einnig er sýnt til hvaða berggangs á mynd 1 þeir samsvara.

Ljóst er að gangarnir hafa talsverð áhrif á streymi vatns um jarðhitakerfið. Allar helstu vatnsæðar á svæðinu hafa komið fram þar sem holur hafa hitt á ganginn sem merktur er A-1. Þetta á við um holur 2, 3 LPÝ-5 og LPN-11. Augljóst er að vatnsleiðandi sprungur fylgja ganginum á þessum kafla, einmitt þar sem hann sker meinta sprungu meðfram Hörgá. Líklegast er að samspil gangsins og sprungunnar stýri upprennsli heita vatnsins.

**TAFLA 6.** Yfirlit um ganga í borholum á Laugalandi á Pelamörk.

Hola nr.	Dýptarbil gangs	Samsvarandi gangur á yfirborði (mynd 1)	Reiknaður halli
H-2	390-740	A-1	6-7°
H-2	815-880	A-8	3-4°
H-3	70-140	A-8	ónákvæmt
H-3	600-660	A-1	5-6°
H-4	enginn		
LPÝ-5	120-235	A-1	5-7°
LPÝ-6	frá 355	A-2	4-5°
LPÝ-7	enginn		
LPÝ-8	enginn		
LPÝ-9	enginn		
LPN-10	neðan holu	A-2	< 4-5°
LPN-11	25-95	A-9?	ónákvæmt
LPN-11	348-450	A-1	6°

### 4.3 Ummyndun jarðlaga

Ummyndun jarðlaga felur í sér breytingar á steindasamsetningu bergsins vegna streymis vatns um það í langan tíma við hita og þrýsting sem eykst með dýpi. Við ákveðinn hita myndast ákveðnar ummyndunarsteindir, og með auknu dýpi og hita verða til dýptarbil í jarðlagastaflanum þar sem ákveðin steind eða steindahópur eru í jafnvægi við ríkjandi aðstæður. Þannig verða til ummyndunarbelti í jarðlagastaflanum. Hér verður ummyndun sem gerist við almennan hitastigul utan jarðhitasvæða nefnd svæðisbundin ummyndun, til aðgreiningar frá staðbundinni ummyndun jarðhitasvæða. Eftir því sem ummyndun í jarðlagastaflanum vex fyllast sprungur og glufur í berginu af ummyndunarsteindum og poruhluti bergsins í heild minnkar, en eðlismassi og hljóðhraði vaxa. Lekt jarðlaga minnkar einnig. Víðast hvar á blágrýtissvæðum landsins hefur ísaldarjökullinn rofið 1-2 km ofan af landinu. Þannig voru þau jarðlög, sem eru nú nærri yfirborði á Laugalandi, eitt sinn á 1-2 km dýpi og þar hefur verið hátt í 100°C hiti. Því urðu til ummyndunarsteindir sem þurfa um 100°C til að myndast. Þótt jarðlögin kólni síðar á ný, t.d. vegna rofs, hverfa ummyndunarsteindirnar ekki. Svæðisbundna ummyndunin ræðst þannig af þeim hita sem hæstur hefur orðið í þróunarsögu jarðlaganna, alveg frá þeim tíma að þau urðu til á yfirborði fyrir milljónum ára.

Til viðbótar við svæðisbundnu ummyndunina kemur síðan staðbundin ummyndun á jarðhitasvæðum þar sem hiti hefur orðið hærri en annars staðar. Álitid er að lágheitsvæðin á Íslandi séu flest ung á jarðfræðilegan mælikvarða, e.t.v. aðeins um 10-12 þúsund ára. Því er jarðhitaummyndunin viðbót eða eins konar yfirprentun á þá svæðisbundnu ummyndun sem fyrir er. Í sumum tilvikum getur verið erfitt að greina að svæðisbundna og staðbundna ummyndum nema með mjög ítarlegum rannsóknum á þunnisneiðum af berginu, sem ekki var talin ástæða til að gera á Pelamörk. Það gerist þegar hiti í jarðhitakerfinu er svipaður þeim hámarkshita sem hraunlögin hafa náð á þróunarferli sínum. Þá eru sömu steindir ráðandi í svæðisbundnu ummynduninni og

þeirri staðbundnu sem stafar af jarðhitanum. Þannig háttar að nokkru til á Þelamörk, svæðisbundna ummyndunin tilheyrir mesólít ummyndunarbeltinu en mesólít myndast eitthvað neðan við 100°C. Því verður ekkert um það sagt af fyrirbyggjandi gögnum hvort mesólít, t.d. í sprungufyllingum, er hluti af gamalli ummyndun eða ungrri jarðhitaummyndun.

Þó finnst í sumum holnanna á Þelamörk ummyndunarsteindin laumontít sem talin er myndast við líðlega 100°C hita. Hún verður ekki hluti af svæðisbundinni ummyndun fyrr en á meir en 1 km dýpi á Þelamörk (Guðmundur Pálmason o.fl., 1979). Engu að síður finnst laumontít í nokkrum holnanna á Þelamörk og er þar örugglega hluti af jarðhitaummyndun. **Jafnframt sýnir laumontítíð að hiti ofan 1 km dýpis í jarðhitakerfinu hefur einhvern tíma náð 100°C þótt hitinn sé lægri nú.** Til hins sama benda kísilhrúðurbreiðurnar í hlíðinni ofan Laugalands, en þar hefur greinilega streymt upp sjóðandi vatn í líkingu við það sem nú má sjá t.d. á Hveravöllum í Reykjahverfi.

Laumontít finnst í holum 2, 3, 10 og 11. Í holu 10 sést laumontít frá 490 m og síðan nánast samfelld til botns. Laumontít finnst hins vegar eingöngu á 206 m dýpi í holu 11. Þar sem hiti í holunum er nú um 90 °C hefur laumontítíð fallið út einhvern tímann snemma í þróun jarðhitakerfisins. Hvergi er grynna á laumontít á Laugalandi en í holu LPN-11. Kemur það t.d. um 150 m ofar í henni en í holum 2 og 3, þar sem það finnst á um 350 m dýpi. Hóla 11 virðist því vera næst uppstreymisrás jarðhitavatsins frá því það var rúmlega 100°C heitt. Ekki er talin ástæða til að ætla að þessi rás sé á öðrum stað nú, þó svo að jarðhitakerfið hafi kólnað.

Magn ummyndunarsteinda í borsvarfi reyndist mismikið frá einni holu til annarrar. Þannig er hún mest þar sem vatn á greiðasta leið um jarðlögin eins og í millilögum og í blöðróttu basalti. Kjarni basaltlaga er hins vegar oft fersklegur og svipar til gangbergs.

Magn holufyllinga og hátt ummyndunarstig fylgjast yfirleitt að nema í sprungum. Þar getur magn útfellinga verið mjög mikið án þess að ummyndun bergsins í kring sé á háu stigi. Mesólít er ríkjandi steind í holufyllingum en þar sem hún er jafnframt hluti af svæðisbundinni ummyndun gagnar hún ekki til að meta ummyndun vegna streymis jarðhitavats.

Auk áðurnefndra holufyllingasteinda hafa heulandít og analsím fundist í holu LPN-10. Þessar steindir finnast oft með mesólíti og skólesíti. Stilbít er í talsverðu magni í holum 10 og 11. Stilbít myndar ákveðið belti bæði í svæðisbundinni og staðbundinni ummyndun og liggur á milli mesólít/skólesít- og laumontít-beltisins. Stilbít virðist fylgja laumontítinu á Þelamörk. Þannig sést stilbítíð um leið og laumontítíð og þá í miklum mæli.

Vottur af kvarsí finnst á 398 m dýpi í holu 11. Það hefur áður fundist í holum 5 og 6 og er talið byrja að myndast við svipuðan hita og laumontít á lághitasvæðum. Kalsít finnst í litlum mæli á nokkrum stöðum í svarfi. Á 774 m dýpi í holu LPN-10 sáust nokkur stór kalsítbrotkorn og var talsvert af smáum pyrít-kristöllum í kalsítinu. Þetta kemur líklega úr sprungu. Hún gæti hæglega verið ofar í holunni en á 744 m vegna mikillar útvöskunar í borun.

## **4.4 Poruhluti jarðlaga samkvæmt nifteindamælingum**

### **4.4.1 Almennt um nifteindamælingar og poruhluta**

Nifteindamælingar eru ein þeirra mæliaðferða sem nota má til að meta poruhluta bergsins. Poruhluti er skilgreindur sem hlutfall holrýmis af heildarrúmmáli bergs. Í aðalatriðum er greint milli tvenns konar poruhluta; heildarporuhluta og virks poruhluta. Virkur poruhluti er sá hluti

holrýmis sem vatn getur runnið um en heildarporuhlutinn tekur auk þess til holrýmis sem er innilokað.

Nifteindamælingar byggja á því að sendar eru út hraðfara nifteindir. Við árekstra við frumeindir í umhverfi sínu hægir verulega á nifteindunum og fjöldi þessara hægfara nifteinda er mældur með sérstökum skynjara. Því fleiri vetniskjarnar sem eru umhverfis mælitækið þeim mun færri hægfara nifteindir mælast því það eru fyrst og fremst vetniskjarnar sem bremsa nifteindirnar. Þannig skynja nifteindamælingar heildarfjölda vetnisfrumeinda í umhverfi sínu. Þar sem vetniskjarna er fyrst og fremst að finna í vatni og ætla má að allar porur séu fullar af vatni ætti nifteindamælingin að vera sæmilegur mælikvarði á poruhluta. Það er einnig augljóst að vídd borholu hefur mikil áhrif á útreiknaðan poruhluta í nifteindamælingum en fyrir því er leiðrétt.

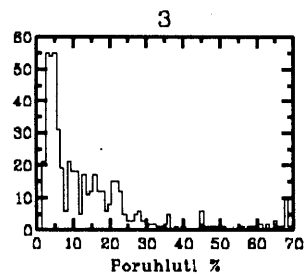
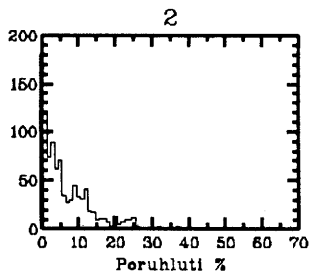
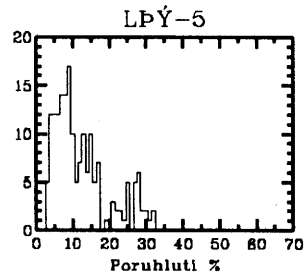
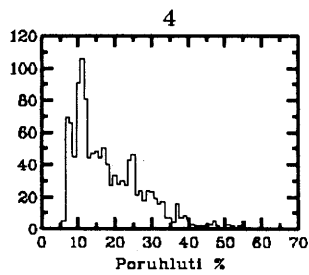
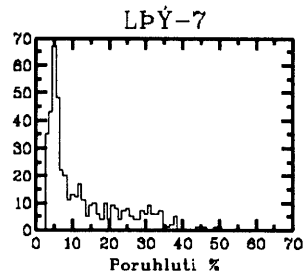
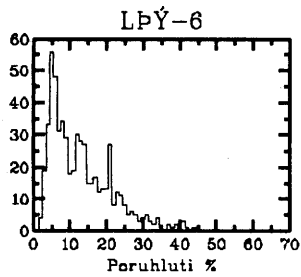
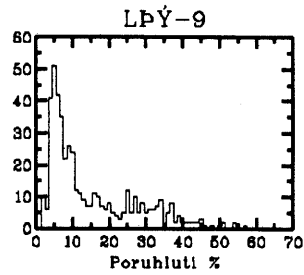
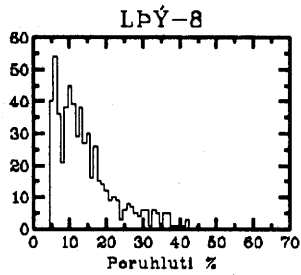
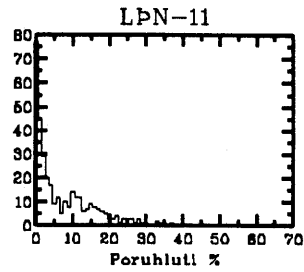
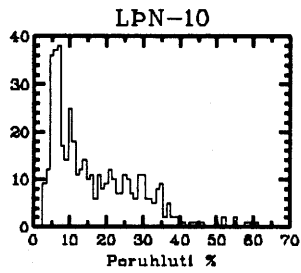
Poruhlutinn sem reiknast út frá nifteindamælingum er svokallaður sýndarporuhluti kalksteins. Það er vegna þess að nifteindamælingin er kvörðuð yfir í poruhluta miðað við sérstaka kvörðunarholu í kalksteini í Houston í Texas. Nú eru basalt og kalksteinn gjörólíkar bergtegundir og því ekki víst að kvörðun miðað við kalkstein eigi við basalt. Þá þarf einnig að hafa í huga að nifteindamælingar mæla heildarfjölda vetnisfrumeinda óháð því á hvaða formi þær finnast. Í ummynduðu basalti er talsvert af vötnuðum steindum, þ.e. steindum sem innihalda kristalvatn. Leir og margar af öðrum algengum ummyndunarsteindunum innihalda talsvert kristalvatn og það kemur því fram sem poruhluti í mælingunum. Af þessum ástæðum eru poruhlutagildi sem fundin eru með nifteindamælingu hærri en raunverulegur poruhluti. Ekki eru til góðar mælingar á því hversu miklu getur munað en með því að notfæra sér upplýsingar í grein Geirfinns Jónssonar og Valgarðs Stefánssonar (1982) um samburð á virkum poruhluta, sem mældur var í kjarna djúprar borholu á Reyðarfirði, og poruhluta samkvæmt nifteindamælingu fæst að meðalgildi virka poruhlutans er 45% af meðalgildi sýndarporuhluta kalksteins. Hins vegar vantar tilfinnanlega góðar samburðarmælingar á þessum stærðum.

#### **4.4.2 Poruhluti bergs á Laugalandi á Þelamörk**

Nifteindamælingarnar á Laugalandi gefa að mörgu leyti einstætt tækifæri til að skoða hvernig poruhluti bergs breytist frá einum stað til annars innan jarðhitakerfis þar sem nákvæmlega sömu jarðlögin eru í öllum holunum að berggöngum frátöldum. Poruhluti er reiknaður út frá nifteindamælingu sem leiðrétt hefur verið eftir holuvídd. Víddarleiðrétting er gerð eftir ferlum frá Gearhart-Owen (Gearhart-Owen Formation Evaluation Data Handbook). Áður hefur verið fjallað um kvörðun nifteindamælinga yfir í poruhluta, en til útreikninga var notað forritið "PORURK" (Knútur Árnason og Ragnar Sigurðsson eru höfundar).

Valin var sú leið að reikna sýndarporuhluta samkvæmt kalksteinsstaðli fyrir efstu 250 m allra holnanna nema holu 1 en undanskilja þau dýptarbil þar sem holurnar skera bergganga. Niðurstöðurnar eru sýndar á mynd 12 og í töflu 7.

JHD FFR 6000 HS  
94.08.0261 T



Mynd 12. Tíðnigreifing sýndarporuhluta í hraun- og millilögum á 0-250 m dýpi í holum á Laugalandi á Þelamörk.

**TAFLA 7.** Yfirlit um sýndarporuhluta samkvæmt kalksteinsstaðli á 0-250 m dýpi í borholum á Laugalandi á Þelamörk. Líklega gildið á virka poruhlutanum er fundið með því að gera ráð fyrir að það sé 45% af sýndarporuhlutanum.

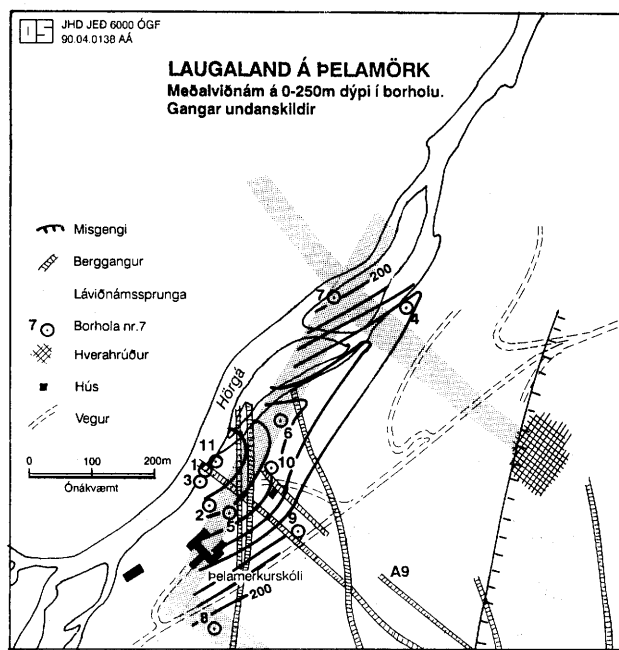
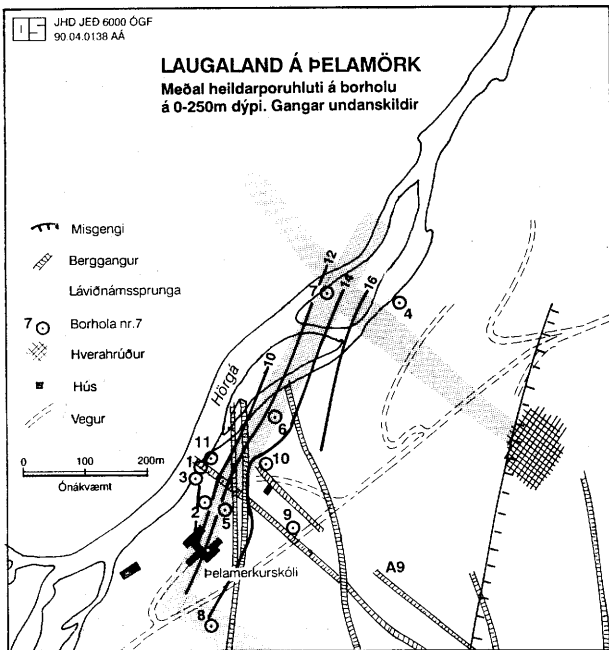
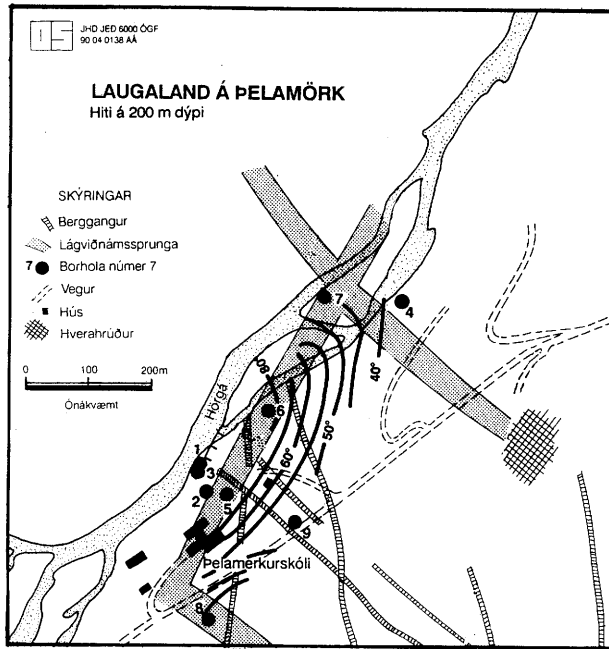
Hola nr.	Meðaltal sýndarporuhluta (%)	Líklegt gildi á virkum poruhluta (%)
2	6,5	3-4
3	14,4	7-8
4	18,5	8-9
LPÝ-5	12,4	5-7
LPÝ-6	13,0	6-7
LPÝ-7	12,8	6-7
LPÝ-8	14,2	6-8
LPÝ-9	15,1	7-8
LPN-10	16,5	7-8
LPN-11	7,2	3-4
<b>MEÐALGILDI</b>	<b>13,1</b>	<b>5-7</b>

Ýmislegt athyilisvert er að sjá í töflu 7 og á mynd 12. Í fyrsta lagi virðist sem virkur poruhluti sé 5-7% í efstu 250 m á jarðhitasvæðinu og almennar jarðfræðilegar forsendur segja að búast megi við því að hann minnki með dýpi.

Í öðru lagi kemur fram greinilegur munur í poruhluta frá einni holu til annarrar. Það er sýnt nánar á mynd 13. Þar er meðalporuhlutinn sýndur á korti og hitadreifing á 200 m dýpi til samanburðar. Þar sést greinilega að því hærrí sem hitinn er þeim mun minni er poruhlutinn; og jafnframt poruhlutinn lægstur umhverfis þær holur sem sýna mesta lekt. Við fyrstu sýn kann þetta að virðast mótsagnakennt, hærrí poruhluti sýnir meira vatnsinnihald í bergi og því mætti búast við meiri lekt þar sem poruhluti er hár. Ef nánar er að gætt þá stafar lektin fyrst og fremst af fáum stórum sprungum í berginu en í poruhlutamælingunum er verið að mæla meðalporuhluta bergsins. Lágan poruhluta umhverfis leka sprungu með heitu vatni má skýra með því að heita vatnið sem streymir um sprunguna seytlar út í porurnar í berginu í kring þar sem það kólnar og fellir út steindir sem þetta holrými bergsins og lækka þannig poruhlutann. Bent hefur verið á í grein, að hár hljóðhraði fylgi sumum jarðhitasvæðum og var það fyrirbrigði skýrt með lágum poruhluta af ofangreindum orsökum (Ólafur G. Flóvenz og Karl Gunnarsson, 1990).

#### 4.4.3 Viðnámsmælingar í borholum

Eðlisviðnám bergsins í borholunum var mælt með svokallaðri normal aðferð en í henni er eðlisviðnámið mælt við 16" og 64" fjarlægð frá straumskauti. Þar sem mæld viðnámsgildi eru háð holuvídd, hita og eðlisviðnámi borholuvökvans, þarf að leiðrétta fyrir þessum atriðum. Samhliða viðnámsmælingunum voru holurnar hita- og víddarmældar en eðlisviðnám borholuvökvans var áætlað 40 Ωm í öllum holunum. Það er í samræmi við leiðnimælingar á vatni úr holu LPN-11. Notað var forritið "RTW" eftir Knút Árnason og Ragnar Sigurðsson, en það byggir á víddarleiðréttingarferlum frá Gearhart-Owen (Gearhart-Owen Formation Evaluation Data Handbook) og hitaleiðréttingu frá Drury og Hyndman (M.J. Drury and R.D. Hyndman, 1979). For-



**Mynd 13.** Meðaltal heildarporuhluta og eðlisviðnáms á 0-250 m dýpi  
borið saman við hita á 200 m dýpi á jarðhitasvæðinu á Pelamörk.

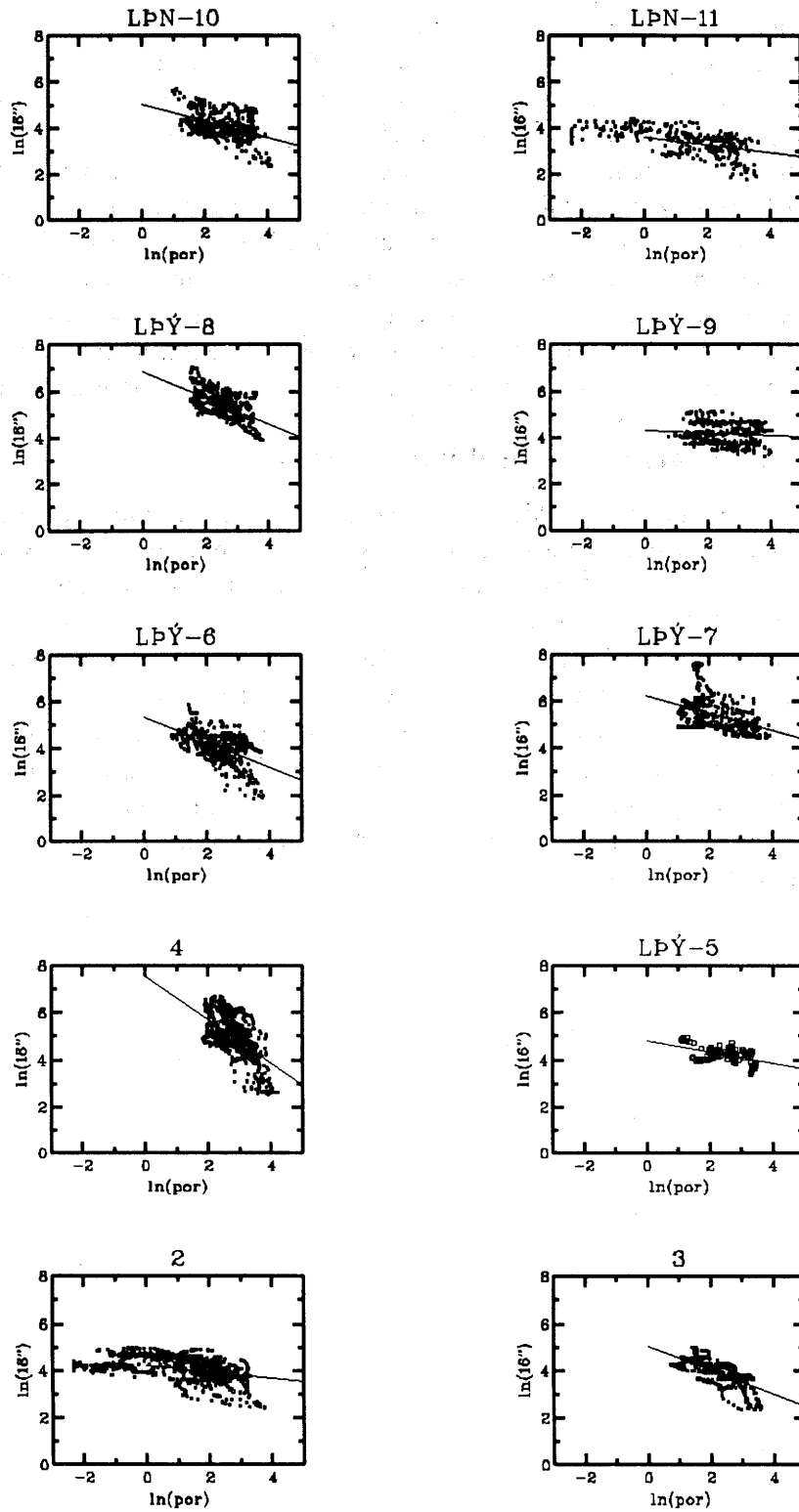
ritið tekur, auk viðnáms borholuvökva, viðnáms-, hita- og víddarmælingu og reiknar út leiðréttu viðnámsmælingu. Til að geta borið saman eðlisviðnám bergsins frá einni holu til annarrar var tekið meðaltal þess í efstu 250 m í öllum holunum en gangar voru undanskildir á sama hátt og fyrir poruhlutamælingarnar. Niðurstöðurnar fyrir 64" mælingarnar eru sýndar á mynd 13 ásamt niðurstöðum poruhlutamælinganna og hita á 200 m dýpi í holunum. Á myndunum kemur fram mjög glögg myndur, sem felst í hækkandi hita, og lækkandi poruhluta og viðnámi eftir því sem nær dregur sprungunni með ánni og einkanlega þó þeim hluta hennar sem er næst holu LPN-11. Nú er búið að leiðréttu viðnámsgildin á mynd 13 fyrir mismunandi hita þannig að það kemur nokkuð á óvart að lækkandi poruhluta skuli fylgja lækkandi viðnám. Fljótt á litið hefði mátt búast við hækkandi viðnámi með lækkandi poruhluta. Skýringarinnar er trúlega að leita í því að porurnar eru að fyllast af leirsteindum og zeólítum sem eru betur leiðandi en poruvökvinn. Við smásjárskoðun á holu- og mikrósprungufyllingum á lágheitsvæðum sést að næst berginu er leirskán en síðan koma zeólítar og kalsít. Ef leirskánin er smektít er hún vel rafleiðandi.

#### 4.4.4 Samband viðnáms og poruhluta í borholum

Fróðlegt er að skoða samband poruhluta og viðnáms innan hvernar holu. Það má gera með því að bera saman hita- og víddarleiðrétt gildi viðnáms í hverjum mælipunkti í viðkomandi holu og útreiknaðan sýndarporuhluta. Á mynd 14 a og b er sýnt samband viðnáms (16" og 64") og poruhluta fyrir allar holurnar. Á myndinni sést að dreifing í mæligildum er mjög mikil en þó er ljóst að almennt gildir innan hvernar holu að viðnám lækkar með vaxandi poruhluta. Þetta er það sem almennt má búast við en er andstætt því sem mynd 13 leiðir í ljós, þ.e. að viðnámið lækki með minnkandi poruhluta frá einni holu til annarrar. Líklegasta skýringin á þessu er sú að innan hvernar holu er ummyndunin svipuð. Þar ræður því fjöldi sprungna poruhlutanum og viðnáminu, því fleiri sprungur þeim mun hærri poruhluti og því lægra verður viðnámið. Frá einni holu til annarrar eru sprungurnar að þéttast af völdum jarðhitaútfellinga og þær útfellingar eru trúlega betur leiðandi en vatnið í berginu.

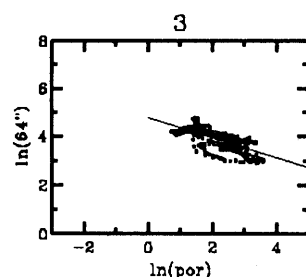
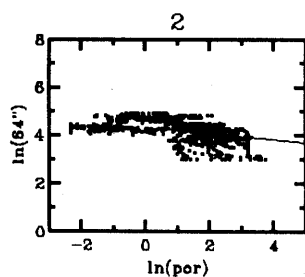
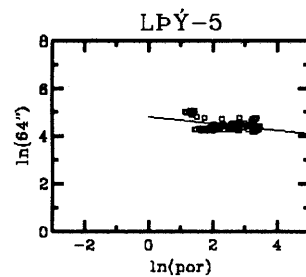
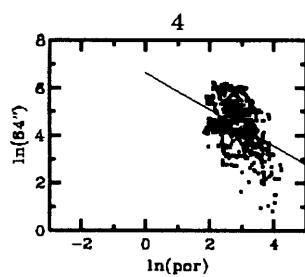
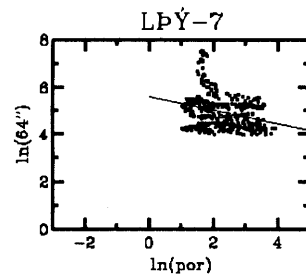
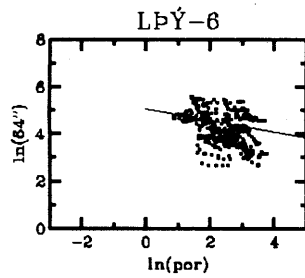
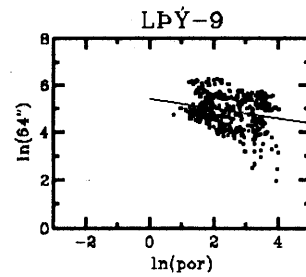
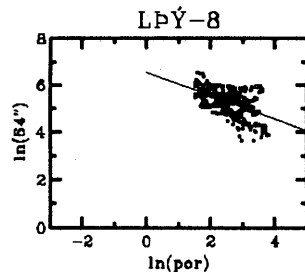
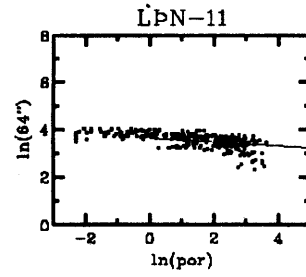
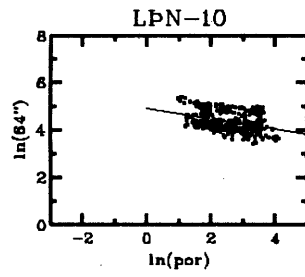


JHD FFR 6000 HS  
94.08.0262 T



Mynd 14. a) Samband viðnáms og poruhluta í holum á Pelamörk, 16 tommur.

JHD FFR 6000 HS  
94.08.0262 T



MYND 14. b) Samband viðnáms og poruhluta í holum á Pelamörk, 64 tommur.

## 5. VIRKJUN OG VINNSLUPRÓFUN HOLU LPN-11

### 5.1 Framkvæmd

Loftdælingar holu LPN-11 sýndu að æðarnar sem holan sker eru vel opnar, en hins vegar óx niðurdráttur mjög hratt í þessum prófunum (mynd 9). Hve mikill hann yrði við langtíma vinnslu var hins vegar ómögulegt að segja til um, slíkt er háð takmörkum jarðhitakerfisins, sem sjást illa nema við dælingu í langan tíma. Því var afraðið að hola LPN-11 yrði prófuð með djúpdælu sem annaði um 20 l/s vinnslu við allt að 200 m niðurdrátt. Dælunni var komið í holuna haustið 1992 og gengið frá nauðsynlegum tengingum. Dælan var höfð hraðastýrð svo halda mætti jöfnu afköstum. Eins var rennismælir tengdur við holuna og loftrör sett niður með dælu til að fylgjast með vatnsborði.

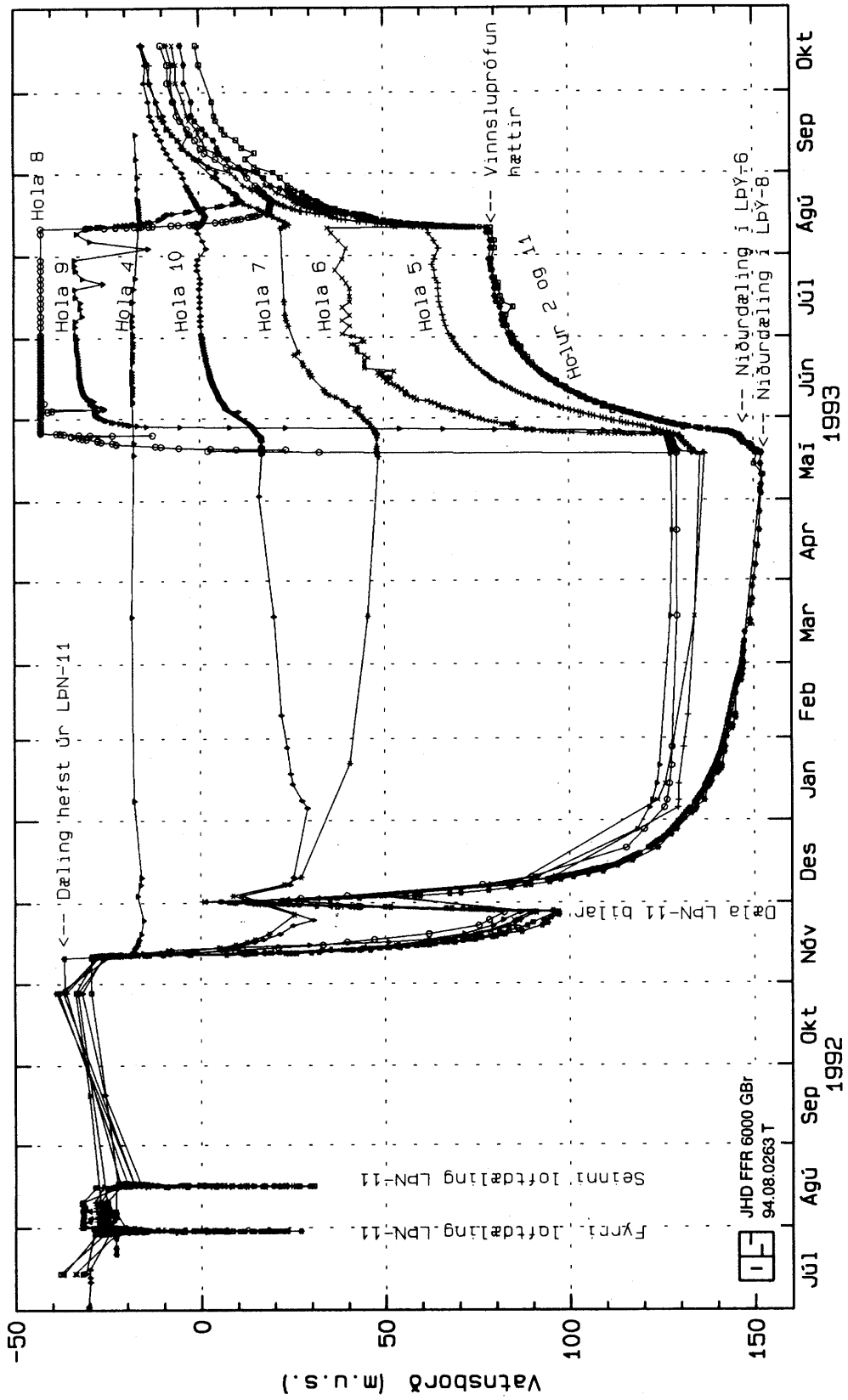
Dæling hófst svo klukkan 10:30 þann 11. nóvember 1992. Var rennslið stillt á 20 l/s og reynt að halda því sem jöfnustu. Dælan bilaði hins vegar þann 28. nóvember en komst aftur í gang síðdegis þann 1. desember. Fljótlega kom í ljós að dælan afkastaði ekki 20 l/s með vaxandi niðurdrætti. Jafnaðist vinnslan því í um 15½-16 l/s. Þeirri dælingu var síðan haldið sleitulaust til 11. ágúst 1993 að vinnsluprófun svæðisins var hætt. Í millitíðinni var dælt niður í holur LPÝ-6 og LPÝ-8, vatnssýni tekin, loftrörum komið í fleiri holur og ferilefni sett í niðurdælinguna til að kanna tengsl milli holna. Um þessar mælingar verður fjallað hér á eftir.

### 5.2 Vatnsborðsmælingar

Rækilega var fylgst með vatnsborði holna á Laugalandi á Þelamörk allan tímann sem vinnsluprófun holu LPN-11 stóð. Tíðni skráninga var allt frá einu sinni á klukkustund, þegar dæla holu LPN-11 var ræst eða stöðvuð, upp í einu sinni á viku þegar vatnsborð var því sem næst í jafnvægi eftir margra mánaða stöðuga vinnslu. Framan af var vatnsborð mælt með handrúllu, loftröri í holu LPÝ-11 og sírita í holu 2. Flotholt sífritans í holu 2 vatnsmettaðist í maí 1993 og sökk. Var holan því mæld með handrúllu um sinn. Við upphaf niðurdælingar í lok maí 1993 voru svo sett loftrör í holur LPÝ-2, LPÝ-6, LPÝ-7 og LPÝ-8 til að fylgjast með vatnsborðinu. Alls eru nú komnar inn í gagnasafn vatnsborðsmælinga í Þelamerkurholum rúmlega 2800 skráningar, flestar gerðar í nóvember 1992 og síðar.

Mynd 15 sýnir hvernig vatnsborð sveiflaðist á Þelamörk frá því byrjað var að bora holu LPN-11 í júlí 1992 og fram í október 1993. Í viðauka D er þessar mælingar svo að finna í töflum, auk allra tiltækra vatnsborðsmælinga frá því fyrir borun holu LPN-11. Myndin sýnir vel hvernig vatnsborð í öllum holunum á svæðinu lækkaði, þar á meðal í holu 4 þar sem lækkin var minnst, eða aðeins um 2½ m. Í milliflokki lenda svo holur 7 og 10, með um 60 m niðurdrátt. Holur 2, 5, 6, 8, 9 og 11 eru svo í sérflokk, allar með 170-180 m mestu lækkin vatnsborðs. eru holur 2 og 11 allra lægstar, enda báðar með vatnsborð sem eingöngu er stjórnað af djúpum æðum.

Vatnsborð hækkar síðan verulega við upphaf niðurdælingar í lok maí 1993. Þannig fyllist hola 8 alveg upp í topp og hola 9 fylgir á eftir, væntanlega vegna greiðra tengsla við holu 8 um millilag á 30 m dýpi (kaflí 5.5). Hola 6 náði hins vegar ekki að fyllast nema tæplega til hálf. Síðan rýkur vatnsborð upp við lok vinnsluprófsins, þegar nettó dæling úr svæðinu féll úr rúmum 10 l/s niður í 3-4 l/s.



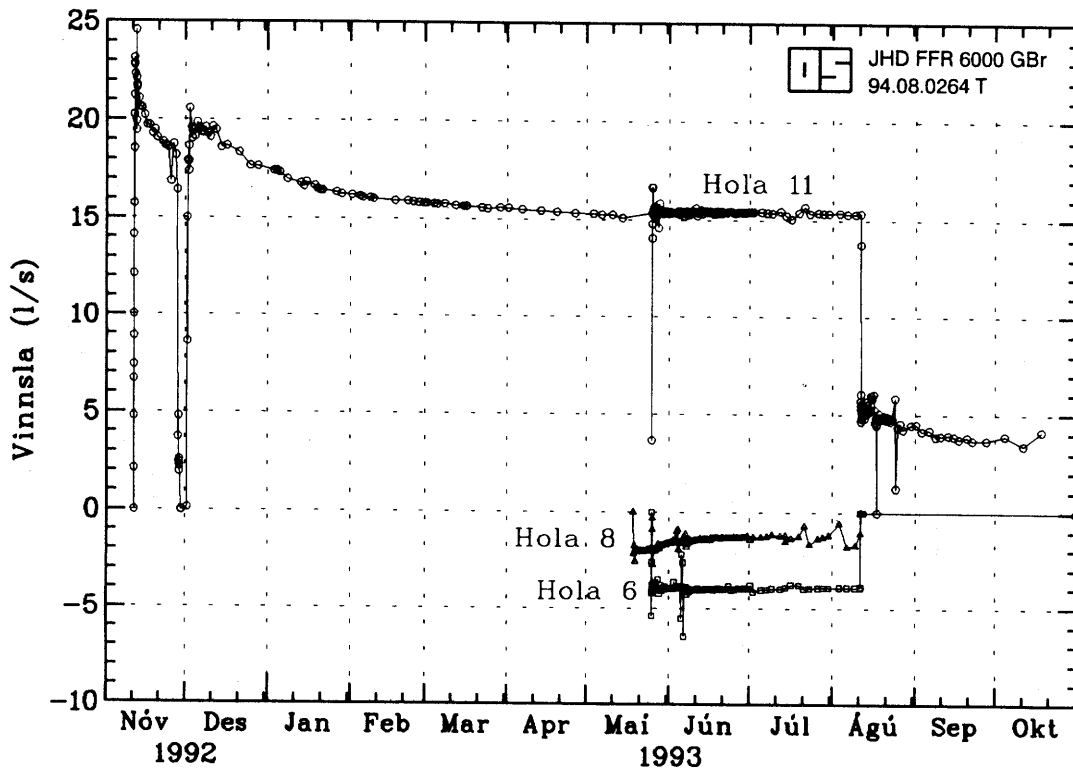
Mynd 15. Vatnsborð í metrum undir sjávarmáli í öllum holum á Laugalandi á Pelamörk.

Vatnsborðsgögnin frá Þelamörk geyma fleiri merkileg atriði. Þannig má nefna að vatnsborð holi 10 tók að hækka í janúar 1993 og hélt stöðugum rífsanda fram að niðurdælingu. Þetta ástand má að öllum líkindum rekja til hækkaðs grunnvatnsþrýstings og millirennslis í holunni. Nánar verður fjallað um þetta í kafla 5.5.

### 5.3 Rennslismælingar

Vinnsluprófun Þelamerkursvæðisins fólst annars vegar í dælingu úr holu LPN-11, og hins vegar í niðurdælingu í holur LPÝ-6 og LPÝ-8. Rennsli í og úr þessum holum var skráð með rennslismælum sem gáfu bæði augnabliksrennsli og heildarvinnslu í rúmmetrum. Mynd 15 sýnir mælingarnar sem söfnuðust og í viðauka E eru mælingarnar birtar í töflum. Alls voru gerðar rúmlega 650 skráningar á augnabliksrennsli og heildarvinnslu. Vinnslan úr holu LPN-11, frá því að dæla fór í gang þann 11. desember 1992 og fram til loka prófunarinnar þann 11. ágúst 1993, nam 377 þúsund tonnum. Niðurdæling í holu LPÝ-6, frá 25. maí 1993, varð alls rúm 26 þúsund tonn, og niðurdæling í holu LPÝ-8, frá 18. maí 1993, varð um 10 þúsund tonn. Um það bil  $\frac{1}{2}$  l/s af þeim 4 l/s sem fóru að jafnaði gegnum mæli við holu 6, rann þó fram hjá. Því fóru í raun um 23 þúsund tonn í hana. Hlutur niðurdælingarinnar varð um 9 % af heildarvinnslunni úr LPN-11.

Mynd 16 sýnir vel hvernig dró úr afköstum dælnnar í LPN-11 eftir því sem niðurdráttur jókst í svæðinu. Eins sést stoppið sem varð við dælubilunina um mánaðamótin nóvember-desember 1992. Þess utan gekk dælingin furðu vel og þau fáu dælustopp sem urðu vöruðu yfirleitt í nokkrar klukkustundir. Jafnaðarvinnslan úr holu LPN-11 á þessu tímabili nam sléttum 16 l/s, niðurdælingin í holu 6 varð að jafnaði um 3,4 l/s og í holu LPÝ-8 fóru að jafnaði um 1,4 l/s.



Mynd 16. Dæling úr holu LPN-11 og niðurdæling í holur LPÝ-6 og LPÝ-8.

## 5.4 Efnainnihald vatnssýna

Alls hafa verið tekin 15 sýni til efnagreininga úr holu LPN-11 frá því hún var boruð, og allmörg þeirra greind sem heilsýni. Tafla 8 sýnir niðurstöður efnagreininga á sýnum sem voru tekin árið 1992, en niðurstöður frá árinu 1993 eru í töflu 9. Fyrstu 9 daga vinnsluprófunar holunnar í nóvember 1992 voru tekin sýni annan hvorn dag, en eftir það annan hvorn mánuð allt til loka prófunar í ágúst 1993. Á mynd 17 er styrkur kísils teiknaður á móti tíma. Óvissuhök sem eru teiknuð á myndina sýna tvö staðalfrávik fyrir hlutfallslega samkvæmni greininganna. Það þýðir að 95% líkur séu á að endurtekin mæling falli innan þessara marka.

Styrkur kísils lækkar dálítið a.m.k. fram á vor 1993 en þá virðist hann ná jafnvægi. Það er þekkt fyrirbæri að kísilstyrkur lækki fyrst eftir að vinnsla úr borholu hefst en nái síðan jafnvægi. Á mynd 18 er hlutfall súrefnissamsæta teiknað á sama hátt. Þar tákna óvissuhökin tvö staðalfrávik fyrir fasta óvissu mæliaðferðarinnar. Sennilega er óvissan nokkuð ríflega metin, þannig að flestar greiningarnar falla innan óvissumarka þó greinilega sjáist sömu teikn og í styrk kísils. Gildið er mjög lágt þegar dæling hefst, og virðist ná jafnvægi í byrjun mars 1993. Þetta vatn er með því léttasta á vinnslusvæðum Hitaveitu Akureyrar, aðeins vatn á Ytri-Tjörn-um, frá Reykhúsum, og Grísará hafa hlutfall súrefnissamsæta sem er lægra en -14,0 %. Allgengustu gildi fyrir jarðhitavatn í nágrenni Akureyrar eru á bilinu -13,3 til -13,8 og í köldu grunnvatni á svæðinu er gildið nálægt -11,6 %.

Þótt efnasamsetning heita vatnsins frá Laugalandi á Pelamörk sé að mörgu leyti svipuð samsetningu vatns frá öðrum vinnslusvæðum Hitaveitu Akureyrar, er styrkur nokkurra efna talsvert hærri. Í töflu 9 er sýnd efnasamsetning tveggja sýna frá Botni og Syðra-Laugalandi til samanburðar. Þar sést að styrkur kísils, flúoríðs og brennisteinsvetnis er mun hærri en í öðrum vinnsluholum á Eyjafjarðarsvæðinu. Á mynd 19 er kísilstyrkur holu LPN-11 teiknaður ásamt styrk úr holum LJ-5 og holu BN-1. Styrkur kísilsins er 30-40 % hærri í holu LPN-11, sem gefur óneitanlega hugmynd um talsvert heitara jarðhitakerfi. Hiti vatnsins úr holu LPN-11 mælist rúmlega 90°C. Hiti vatns úr öðrum holum á svæðinu er því lægri, 80-90°C. Þar sem hár kísilstyrkur í þessu vatni bendir til hás djúphita var efnahiti vatnsins reiknaður út frá efnagreiningunum, með WATCH-forriti. Hitinn var reiknaður samkvæmt tveimur efnahitamælum, kalsedónhitamæli (Fournier, 1977), og alkalíhitamæli (Arnórsson o.fl., 1983).

Þá var jafnvægi nokkurra steinda við vatnið teiknað upp til að gefa áætlað djúphitastig til kynna á myndrænan hátt (mynd 22). Tafla 10 sýnir mælt og reiknað hitastig fyrir tvö sýni úr holu LPN-11, og til samanburðar sýni úr holu 2 og úr LPÝ-5. Gildi fyrir reiknuð hitastig eru gefin upp í heilum tölum sem eru nálgðar að hálfum tugum, þar sem nákvæmni þeirra er ekki meiri.

Í töflu 10 sést að kalsedónhiti reiknast um 100°C í holu LPN-11, sem er um 10°C herra en mældur hiti. Þetta er sami djúphiti og reiknast fyrir holur 2 og LPÝ-5, þó svo að vinnsluhiti þeirra sé lægri. Í töflum 8 og 9 sést að styrkur kísils er yfir 120 mg/l, sem vissulega gefur hugmynd um enn hærri hita. Kalsedónhiti, sem er reiknaður út frá styrk óklofins kísils, reiknast þó aldrei hærri í holu LPN-11 en um 100°C. Sýrustig er fremur hátt, eða 9,89 í sýni 930199, en um 9,70 í flestum sýnum.

**TAFLA 8.** Niðurstöður efnagreininga í holu LPN-11 frá árinu 1992.

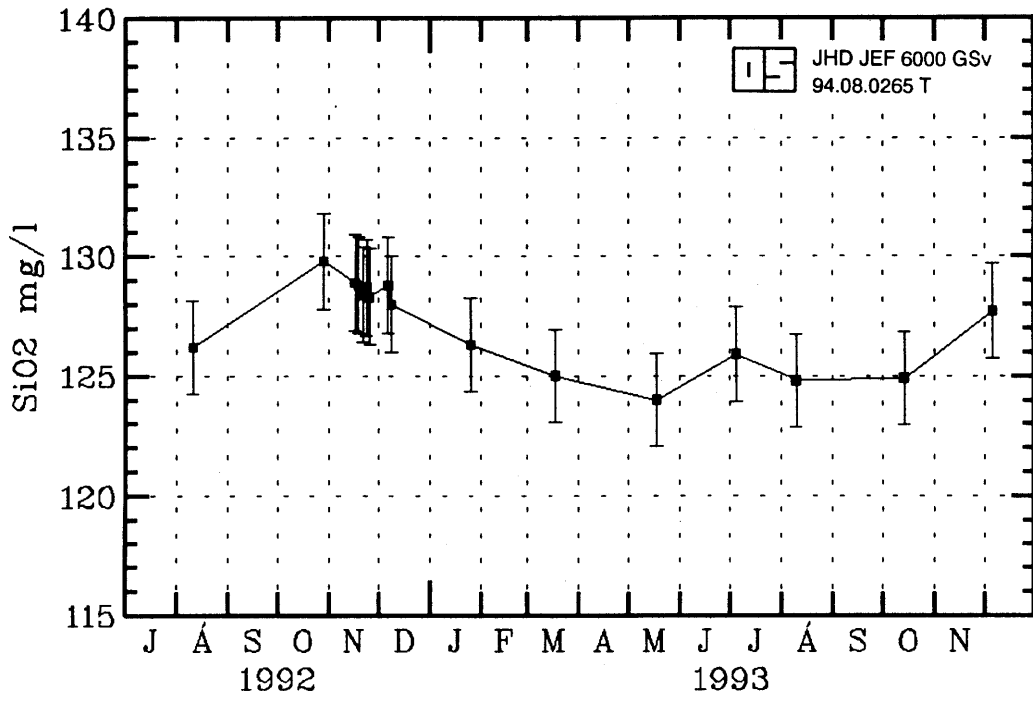
Dagsetning Númer	92-08-11 92-0192	92-10-29 92-0253	92-11-17 92-0292	92-11-19 92-0308	92-11-22 92-0309	92-11-24 92-0310	92-11-26 92-0345	92-12-07 92-0346	92-12-09 92-0347
Hiti (°C)	87,1	85,8	94,0	94,0	94,0	91,3	91,4	91,5	91,4
Sýrustig (pH/°C)	-	9,72/15	9,60/28	-	-	-	9,72/20	9,75/21	9,72/21
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	126,2	129,8	128,9	128,8	128,4	128,7	128,3	128,8	128,0
Natríum (Na)	-	59,0	58,5	58,8	59,0	58,7	57,8	57,8	57,9
Kalíum (K)	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Kalsíum (Ca)	2,7	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1
Magnesium (Mg)	0,009	0,002	0,007	0,007	0,009	0,007	0,007	0,003	0,007
Karbonsat (CO <sub>2</sub> )	-	23,7	23,7	-	-	-	20,8	19,8	20,2
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	30,8	31,5	31,4	31,4	31,3	30,9	31,4	31,3	31,3
Brennist.vetni (H <sub>2</sub> S)	-	0,24	0,21	-	-	-	0,06	0,14	0,16
Klóríð (Cl)	12,8	13,2	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,4	13,3
Flúoríð (F)	0,82	0,83	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82	0,83
Brómíð (Br)	0,034	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Bór (B)	-	0,27	-	-	-	-	-	-	0,27
Ál (Al)	-	0,086	-	-	-	-	-	-	-
Uppleyst efni (TDS)	-	285	273	273	271	280	277	280	286
Súrefni (O <sub>2</sub> )	-	0,003	-	-	-	-	-	-	-
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-14,06	-14,16	-14,16	-14,14	-14,15	-14,16	-14,11	-14,09	-14,15

- ekki mælt

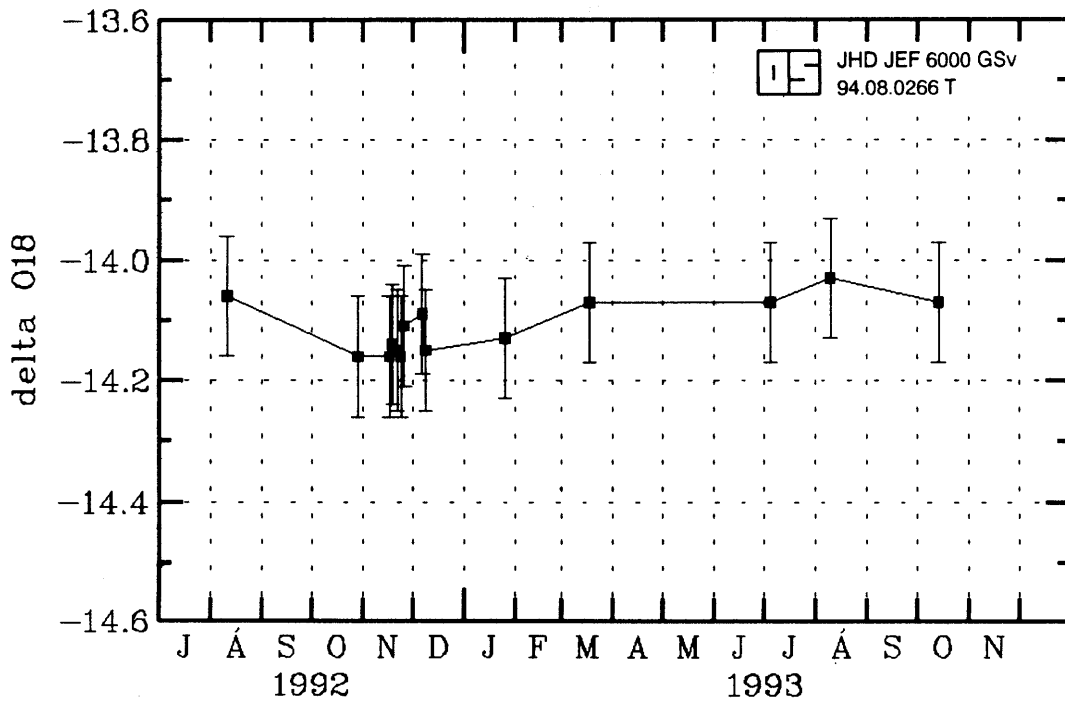
**TAFLA 9.** Niðurstöður efnagreininga í holu LPN-11 frá árinu 1993.

Hola Dagsetning Númer	LPN-11 93-01-26 93-0008	LPN-11 93-03-18 93-0046	LPN-11 93-05-18 93-0089	LPN-11 93-07-05 93-0107	LPN-11 93-08-10 93-0120	LPN-11 93-10-14 93-0199	LJ-05 92-10-30 92-0257	BN-01 93-10-12 93-0190
Hiti (°C)	91,4	91,5	-	91,5	91,5	89,7	91,2	92,2
Sýrustig (pH/°C)	9,68/22	9,72/24	-	9,71/27	-	9,89/15	9,82/18	9,85/19
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	126,3	125,0	124,0	125,9	124,8	124,9	98,8	89,6
Natríum (Na)	57,8	56,5	-	57,4	-	57,3	53,9	55,5
Kalíum (K)	1,4	1,3	-	-	-	1,4	1,2	1,2
Kalsíum (Ca)	2,2	2,0	-	-	-	2,0	2,9	4,4
Magnesium (Mg)	0,008	0,008	-	-	0,005	0,003	0,001	0,001
Karbonsat (CO <sub>2</sub> )	19,0	26,1	-	27,1	-	22,7	17,9	15,8
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	30,1	29,5	-	-	27,7	29,7	39,2	53,8
Brennist.vetni (H <sub>2</sub> S)	0,14	0,05	-	0	-	0,25	0,06	0,10
Klóríð (Cl)	12,9	12,7	-	-	12,3	12,8	12,8	11,7
Flúoríð (F)	0,82	-	-	-	-	0,79	0,37	0,58
Bór (B)	-	-	-	-	-	0,24	0,16	0,18
Ál (Al)	-	0,078	-	-	-	-	0,144	-
Uppleyst efni (TDS)	284	278	-	-	-	273	236	198
Súrefni (O <sub>2</sub> )	-	-	-	-	-	0	0	0
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-14,13	-14,07	-	-14,07	-14,03	-14,07	-13,29	-13,78

- ekki mælt

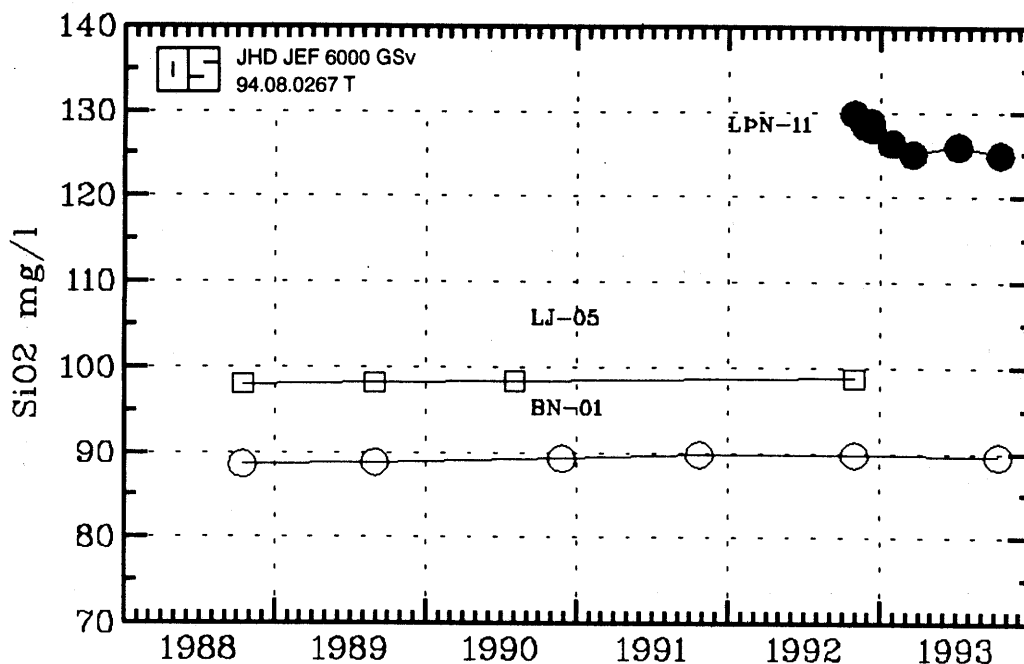


Mynd 17. Styrkur kísils sem fall af tíma.



Mynd 18. Hlutfall súrefnissamsæta sem fall af tíma.





Mynd 19. Styrkur kísils í vatni í holum LPN-11, LJ-5 og BN-1.

TAFLA 10. Mælt og reiknað hitastig skv. efnahitamælum °C.

Hola Númer	LPN-11 930199	LPN-11 930046	Hola 2 890066	LPÝ-5 900291
Mældur hiti	89,7	91,5	84,3	83,2
Kalsedónhiti (Fournier, 1977)	100	100	100	100
Na/K-hiti (Arnórsson o. fl. 1983)	85	85	90	90

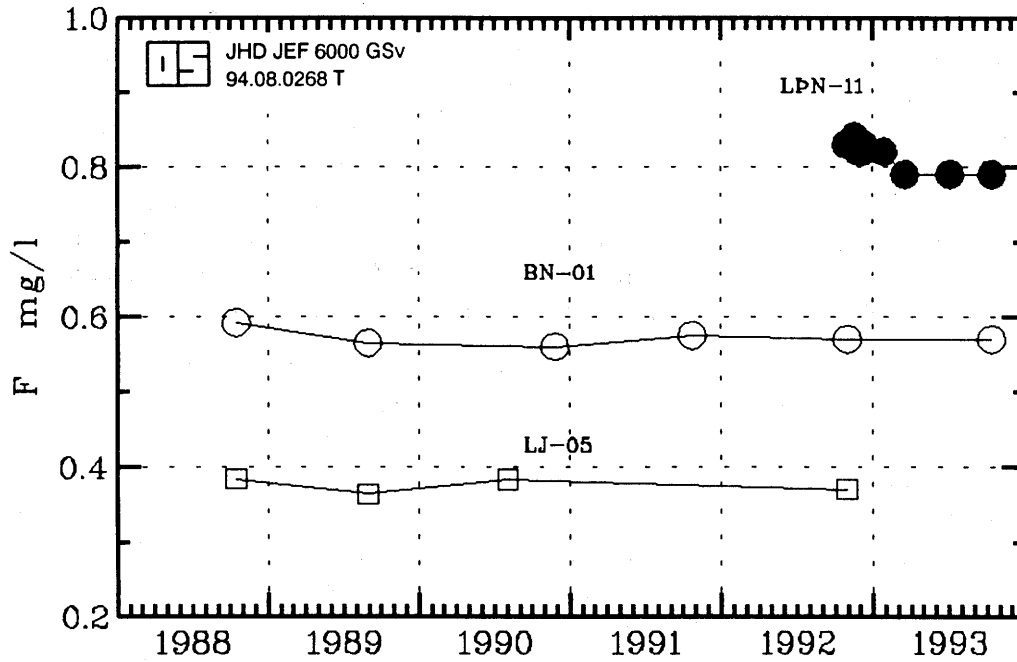
Því hærra sem sýrustig er í vatni, þeim mun meira af kísilsýrunni sem greinist í vatninu er kloríð í jónir. Það er hins vegar aðeins óklorfna kísilsýran sem jafnvægi vatns og bergs er reiknað út frá. Almenn regla er að ef meira en helmingur efnagreindrar kísilsýru er óklorfinn, þá er hitamælirinn marktækur. Í sýnunum frá Þelamörk er 60-70% kísilsýrunnar ókloríð, þannig að niðurstöður eru trúverðugar. Alkalíhiti (Na/K) reiknast um 10°C lægri en kalsedónhitinn, og gefur svipaðan hita og þann er mælist í holunum. Kvörðunin sem WATCH forritið notar (Arnórsson o. fl., 1983), er ekki áreiðanleg fyrir vatn sem er kaldara en 100°C, og er líklega réttara að nota fræðilegt jafnvægi alkalfeldspata til að áætla hitastig á því hitabili sem hér um ræðir. Til að athuga nánar mögulegt djúphitastig voru jafnvægi nokkurra steinda til viðbótar reiknuð með WATCH forritinu, og þau síðan teiknuð á mynd 22. Forritið reiknar jónavirkni-margfeldi (Q), og leysnimargfeldi (K). Þegar stærðin  $\log(Q/K)$  tekur gildið 0 (þ.e.  $Q = K$ ) eru þessi margfeldi jöfn og viðkomandi steind í jafnvægi við vatnið. Ef  $\log(Q/K)$  er teiknað sem fall af hita, þá táknar skurðpunktur ferilsins við línuna  $\log(Q/K)=0$  jafnvægishita viðkomandi steinda í vatninu. Skeri flestir ferlar þeirra steinda sem til greina koma, ásinn við svipað hitastig

er það líklegt jafnvæghitastig vatnsins. Á mynd 22 sést að flestir ferlarnir skera jafnvægislínauna við u.þ.b. 100°C. Ferlar kalsedóns, albíts og kalsíts við tæpar 100°C, og ferlar míkróklíns, krýsótíls og laumontíts við hitastig á bilinu 100 til 110°C. Athyglisvert er að alkalfeldspötin gefa síst lægri hita til kynna en kalsedónjafnvægið. Tvær steindir sem eru ekki í jafnvægi við vatnið eru einnig teiknaðar á myndina, talk sem vatnið er yfirmettað af, og flúorít sem það er undirmettað af. Í tengslum við kvörðun alkálíhitamæla á þessu svæði má geta þess að áður en borað var að Botni var reiknað djúphitastig vatns úr Botnslaug samkvæmt fræðilegu jafnvægi alkalfeldspata (Helgeson, 1969), og gaf það herra hitastig en kalsedónhitamælir, og reyndist í samræmi við mælt hitastig eftir að hola BN-1 var boruð. Af framansögðu er dregin sú ályktun að djúpvatn jarðhitakerfisins á Laugalandi á Þelamörk sé a.m.k. 100°C.

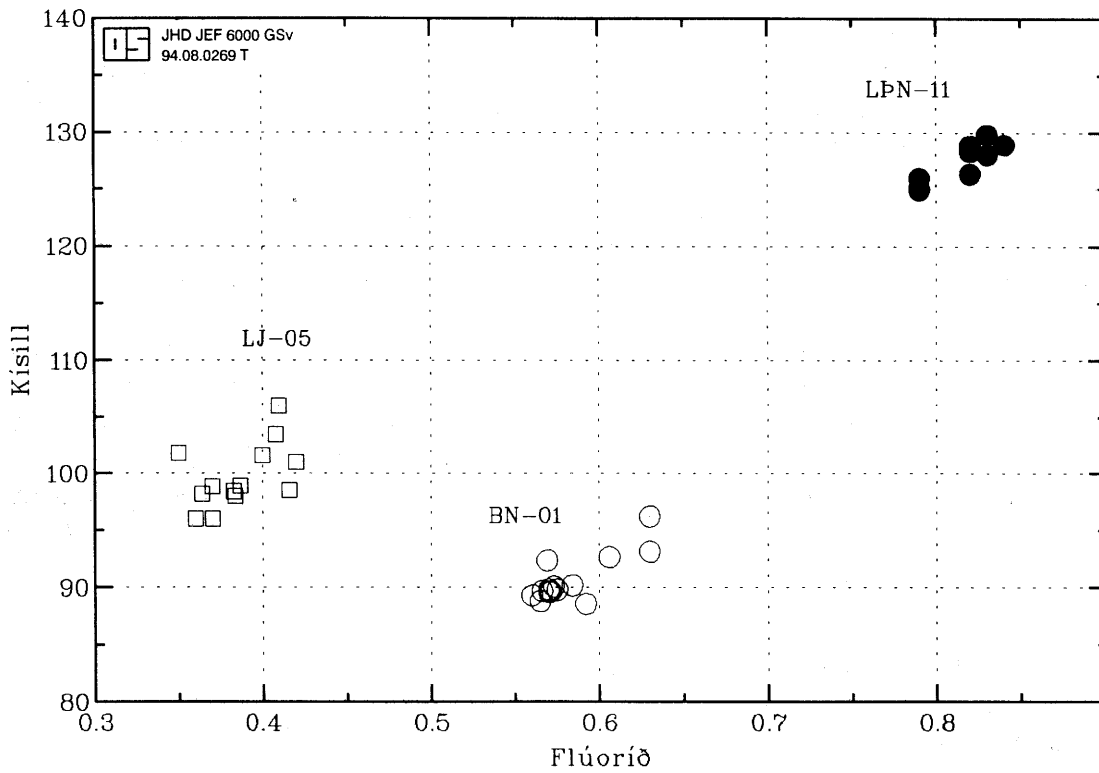
Styrkur flúoríðs er mun hærri í LPN-11 en á öðrum vinnslusvæðum hitaveitunnar eins og sést á mynd 20. Breytingar í styrk kísils og flúoríðs fylgjast að innan hvers svæðis eins og sést á mynd 21, en þó vekur athygli að vatn úr holu BN-1, sem er mun flúoríðríkara en úr LJ-5, er jafnframt kísilsnauðara (mynd 19). Styrkur flúoríðs í jarðhitavatni er talinn mjög háður berggerð jarðlaganna sem vatnið rennur um (Hrefna Kristmannsdóttir og Sigfús Johnsen, 1981). Styrkur flúoríðs er hár þar sem vatn rennur um súrt berg, þar sem það er flúorríkara en basalt. En líklega hafa hitaháð jafnvægi einnig áhrif á styrk flúoríðs, þó þau jafnvægi séu ekki vel þekkt. Í skýrslu Orkustofnunar 1979 (Axel Björnsson o.fl., 1979), er látið að því liggja að styrkur flúoríðs aukist í jarðhitavatni við kælingu ef jafnvægi helst. Það geti skýrt "heitara" flúoríðsnauðara jarðhitakerfi austan Eyjafjarðar, og "kaldara" flúorríkara kerfi vestan megin. Það er ekki vitað hvaða flúorsteindir taka þátt í hitaháðum jafnvægjum flúoríðs í jarðhitavatni. Þekktar flúorsteindir eru flúorít og flúorphlogopít, og flúor getur einnig staðgengið fyrir OH<sup>-</sup> í leirsteindum. Flúorít og flúorapatít hafa vissulega hærri leysni í köldu vatni en heitu, en vatnið á Þelamörk er undirmettað með tilliti til þeirra. Sé metnunin reiknuð við kælingu vatnsins eykst hún mjög hægt, þannig að kæling um 10°C hefði nánast engin áhrif á metnunina. Á mynd 22 sést hve flúorít er langt neðan metnunarmarka í þessu vatni og hve metnunin breytist lítið með hitastigi.

Síðar kom í ljós, við borun vestan megin fjarðarins, að jarðhitasvæðið þar er síst kaldara en að austanverðu. Hola BN-1 er ein sú heitasta á Eyjafjarðarsvæðinu. Því má ljóst vera að mishár styrkur flúoríðs í vatni á Eyjafjarðarsvæðinu stafar fyrst og fremst af mismunandi berggerð jarðlaganna sem vatnið hefur runnið um. Hæsti styrkur flúoríðs sem mælst hefur í jarðhitavatni á Eyjafjarðarsvæðinu er í laugum syðst í firðinum (Hrefna Kristmannsdóttir og Sigfús Johnsen, 1981), en þær eru í nágrenni við súra megineldstöð, Torfufellseldstöðina. Megineldstöð sem var virk fyrir 8-9 milljón árum og er nefnd Öxnadalseldstöð, finnst í jarðlagastaflanum í Hóladal gegnt Hrauni í Öxnadal, og súr berglög frá henni hafa verið rakin um Vatnsdal og Hörgárdal, norður í Myrkárdal. Ennfremur finnst þau í fjöllum við Bægisárdal og Glerárdal (Haukur Jóhannesson, 1991). Hár styrkur flúoríðs í heita vatninu á Þelamörk er líklega vegna leysingar flúors úr þessu súra bergi.

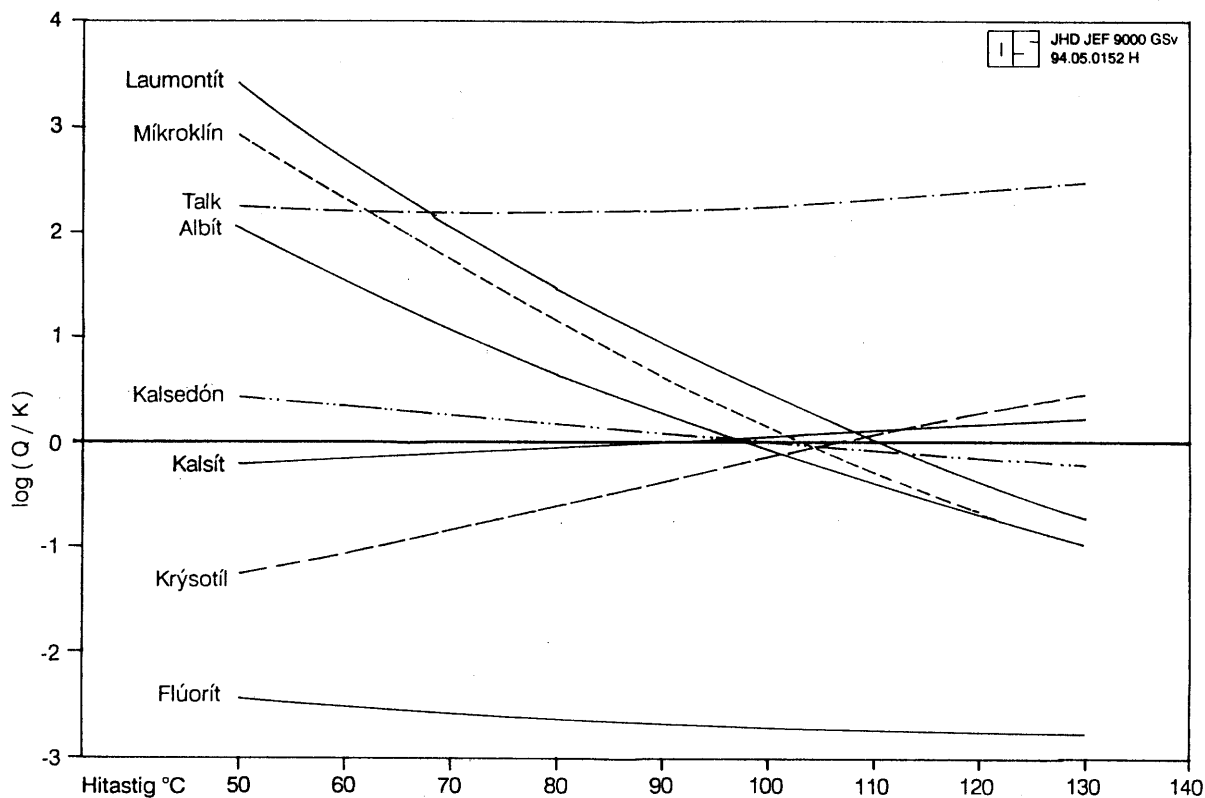
Brennisteinsvetni er talsvert herra í vatni úr þessu vinnslusvæði en úr öðrum vinnslusvæðum Hitaveitu Akureyrar, og er styrkur þess svipaður í LPN-11 og hefur mælst í öðrum holum á Laugalandi á Þelamörk (tafla 11).



Mynd 20. Styrkur flúoríðs í vatni í holum LPN-11, LJ-5 og BN-1.



Mynd 21. Samband kísilstyrks og flúoríðstyrks í vatni í holum LPN-11, LJ-5 og BN-1.

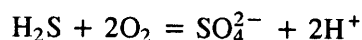


Mynd 22. Mettun nokkurra steinda sem fall af hita.

TAFLA 11. Styrkur brennisteinsvetnis í vatni í holum LPN-11, LJ-5 og BN-1 (mg/l).

Hola Númer	LPN-11 93-0199	LJ-05 92-0257	BN-01 93-0190
Brennisteinsvetni (H <sub>2</sub> S)	0,25	0,06	0,10

Uppruna brennisteinsvetnisins má líklega rekja til forrarr háhituummyndunar á svæðinu. Lág-hitavatnið sem nú rennur um berglögin, leysir brennistein úr fornum ummyndunarsteindum og kemst til yfirborðs án þess að brennisteinsvetnið hvarfist að ráði við súrefni í efri jarðlögum. Brennisteinsvetni gengur mjög auðveldlega í samband við súrefni og verður þá eftirfarandi efna-hvarf:



Nokkur styrkur brennisteinsvetnis í jarðhitavatni er því mjög hentugur við nýtingu þess þar sem það eyðir súrefni úr veitukerfinu. Vatnið úr vinnsluholum Hitaveitu Akureyrar hefur svo lágan styrk brennisteinsvetnis að nauðsynlegt er að bæta natríumsúlfíti í vatnið til að eyða súrefni úr kerfinu. Það yrði sennilega óþarft ef vatnið úr holu LPN-11 verður nýtt óblandað, og styrkur brennisteinsvetnis úr holunni helst þetta hár við nýtingu, sem ekki er öruggt.

Auk sýna sem tekin voru af vatni úr LPN-11 voru tekin sýni af millirennslis vatns í holum 2, LPÝ-6 og LPÝ-8 meðan dæluþrófun holu LPN-11 stóð yfir. Tilgangurinn var að fá hugmynd um efnasamsetningu þess vatns sem rennur niður í kerfið við mikinn niðurdrátt. Niðurstöðurnar eru sýndar í töflu 12.

**TAFLA 12.** Efnasamsetning niðurrennslisvatns úr holum LPÝ-02, LPÝ-06 og LPÝ-08 (mg/l).

Hola Dagsetning Númer	LPÝ-02 93-05-04 93-0071	LPÝ-06 92-12-07 92-0342	LPÝ-08 92-12-07 92-0343
Hiti (°C)	79,9	-	-
Sýrustig (pH/°C)	-	9,89/20	10,01/20
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	86,0	98,9	78,7
Natríum (Na)	46,5	53,1	43,4
Kalíum (K)	1,0	0,8	0,4
Kalsíum (Ca)	1,6	2,2	3,8
Magnesíum (Mg)	0,023	0,019	0,017
Karbónat (CO <sub>2</sub> )	-	21,1	15,6
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	56,8	24,7	19,9
Brennist.vetni (H <sub>2</sub> S)	-	0	0
Klóríð (Cl)	8,4	11,1	10,5
Flúoríð (F)	-	0,73	0,88
Brómíð (Br)	0,02	0,03	0,03
Bór (B)	-	0,26	-
Uppleyst efni (TDS)	-	236	192
Súrefni (O <sub>2</sub> )	-	-	-
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-13,37	-13,97	-14,19

## 5.5 Millirennslis í borholum

Flestar holnanna á Pelamörk eru með tiltölulega stuttar fóðringar en æðar bæði grunnt og djúpt. Því kom ekki á óvart að vinnslan úr holu LPN-11 olli niðurrennslis í mörgum holum. Þetta niðurrennslis hækkar vatnsborð í vinnslu og er eins konar náttúruleg niðurdæling volgs grunnvatns til jarðhitakerfisins. Nokkrar athuganir voru gerðar á millirennslinu og fer lýsing þeirra hér á eftir. Er þá athyglinni fyrst og fremst beint að millirennslinu eins og það blasti við fram að niðurdælingu í holur 6 og 8.

**Hola 2:** Vatnsborð holu 2 var skráð með sírita af gömlu gerðinni, þ.e. skrifara sem skráði snúning á öxli sem lóð og flot hengu á. Í byrjun maí 1993 brá svo við að lóðið var einn morguninn komið upp í holutoppinn en flotíð sokkið langt niður í holu. Svelghljóð heyrðust að neðan og var jafnvel talið að stórfellt niðurrennslis vatns væri komið af stað í holunni. Þegar flotíð hafði verið dregið upp sást að það var mettað af vatni og sökk því sem steinn. Að því búnu var holan hitamæld. Mælingin sýndi að 80 °C heitt vatn rann inn í holuna á 160 m dýpi, en vatnsborðið var á 181 m. Einnig sást að æðar á 570 og 640 m gáfu inn til holunnar. Vatnið, sem niður rann, fór svo allt út í æðina á 680 m. Þaðan hefur það runnið, í bergi, upp til holu LPN-11.

Vatnsmagnið sem kom úr 160 m æðinni var áætlað með því að láta renna þekkt magn úr garðslöngu á holutoppinn og mæla síðan tímann sem það tók hitatruflunina að ferðast niður holuna. Var áætlað að 0,5 l/s rynnu inn. Áður var tekið sýni af vatninu til efnagreininga (tafla 12).

*Hola LPÝ-5:* Hitamælingar sýna að smávægilegt niðurrennsli átti sér stað í holunni meðan prófun holu LPN-11 stóð yfir. Helstu æðar holu 5 eru tvær smáæðar á 80 og 100 m dýpi og meginæð á um 160 m (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1990). Rann úr þeim tveimur efri til 160 m æðarinnar og hugsanlega allt niður á 235 m dýpi. Þetta niðurrennsli virtist að mestu hætt í maí 1993, þegar byrjað var að dæla niður í holu 8. Smávægilegt niðurrennsli er þó sýnilegt í hitamælingu frá 18. maí 1993, milli vatnsborðs og til æðar á 185 m.

Eftir að niðurdælingin í holu 8 fór af stað brást vatnsborð holu 5 hart við og hækkaði úr 170 m að æðinni í rúmlega 160 m. Jafngildir hækkunarhraðinn um 0,005 l/s innrennsli. Þar stóð vatnsborðið kyrrt í rúma viku en tók síðan kipp á nýjan leik við að niðurdæling hófst í holu 6. Kyrrstöðu vatnsborðsins í 160 m er einungis hægt að skýra með því að 160 m æðin hafi verið alveg þurr á þessu tímabili og því tekið við öllu millirennslinu í holunni. Það voru því aðrar æðar sem hressust við niðurdælinguna í holu 8 þótt ekki sé vitað hvort þær eru ofan eða neðan 160 m.

*Hola LPÝ-6:* Strax í fyrstu loftdælingu holu LPN-11 kom í ljós að niðurrennsli hófst úr æð á 33 m í holu 6. Aðrar æðar eru á 150, 198 og 270 m (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1990). Hitamælingar frá í janúar og maí 1993 sýna að þá rann úr 33 og 150 m æðunum til 198 m æðarinnar. Neðan hennar var hins vegar ekkert rennsli. Hiti blöndunnar sem kom niður á 198 m dýpi var um 65 °C í janúar en 55 °C í maí. Væntanlega kom mest af því vatni úr 33 m æðinni. Rennslismagnið er áætlað minna en 0,5 l/s. Tekið var sýni af niðurrennslinu til efnagreininga þann 7. desember 1992 (kafli 5.4).

*Hola LPÝ-7:* Meginæð holu 7 er á 69 m auk smáæðar á 150-160 m dýpi (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1990). Hitamæling frá í maí 1993 sýnir að 22 °C vatn kom úr efri æðinni og rann tæplega 30 °C heitt inn í þá neðri. Magnið er líkast til vel undir 0,5 l/s.

*Hola LPÝ-8:* Æðar holu 8 eru á 31, 63, 106 og 251 m dýpi. Dýpsta æðin er þeirra stærst (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1990). Vatn rann úr efri æðunum til botnæðarinnar þegar borun lauk. Holan er svo hitamæld í maí 1993, skömmu fyrir niðurdælingu. Virðist niðurrennslið þá að mestu hætt og jafnvel hugsanlegt að örlítið seytl hafi verið upp á við úr botnæðinni. Þetta niðurrennsli var hins vegar til staðar þann 7. desember 1992 þegar vatnssýni var tekið til efnagreininga (kafli 5.4).

*Hola LPÝ-9:* Smáæðar eru í holu 9 á 30 og 220 m dýpi. Ekkert millirennsli var í holunni fyrir virkjun holu LPN-11. Eins sýnir hitamæling frá í maí 1993 að ekkert niðurrennsli er úr 30 m æðinni til 220 m æðarinnar. Niðurdælingin í holu 8 olli svo mikilli hækkun vatnsborðs í holu 9. Var holan hitamæld snemma í júní 1993 til að kanna þetta. Sást þá að vatn kom úr 30 m æðinni og rann niður að 220 m æðinni. Þetta vatn kemur nær örugglega um lárétt millilag frá holu 8, en hún stóð full í niðurdælingunni. Hækkaði vatnsborð holu 9 um 140 m á 4 sólarhringum, en það svarar til 0,01 l/s innrennslis frá 30 m æðinni (7" hola).

*Hola LPN-10:* Hola 10 er eina holan á Þelamerkursvæðinu sem hækkaði í vatnsborði meðan aðrar holur lækkuðu. Heyra mátti rennslisnið í holunni og var hún hitamæld í janúar og maí 1993 til að kanna þetta frekar. Mælingarnar sýna að þá rann inn í holuna úr æðum á

44 og 100 m dýpi til æðar á 190 m (tafla 3). Þar fyrir neðan var ekkert millirennslí. Væntanlega endurspeglar vatnsborðið þrýsting grunnt í jarðhitakerfinu, sökum þess hve neðri hluti holunnar er þéttur.

Í heild má því ætla að 0,5-1 l/s af 30-80 °C heitu vatni renni niður holur frá efri til neðri hluta jarðhitakerfisins á Þelamörk við 15-20 l/s vinnslu úr LPN-11. Þá sýna athuganir á millirennslínu að millilag, sem er á u.þ.b. 30 m dýpi í holum 8 og 9, þornar alveg við þessa vinnslu. Einnig þornaði æð á 160 m dýpi í holu 5. Það sýnir að Þelamerkurkerfið bregst við vinnslu, að hluta, með lækku frjáls vatnsborðs. Er reyndar athyglisvert að millilagið við holur 8 og 9 virðist ótengt kalda grunnvatninu í yfirborði, aðeins 30 m ofar. Hins vegar viðhélst innrennslí grunnra æða í holum sem standa lægra í landi og nær Hörgá. Má vera að þessar æðar njóti tengingar við kalt grunnvatnskerfi sem hlýtur að vera í aurum Hörgár, t.d. um laugarásirnar í árbakkanum við holu 1.

## 5.6 Lekt jarðhitakerfisins

Nokkur hluti þeirra vatnsborðsgagna sem söfnuðust í lok borunar holu LPN-11 og í vinnsluprófuninni (myndir 9 og 15) voru notuð til þess að áætla lekt og vatnsrýmd jarðhitakerfisins. Þetta var gert þannig að viðbrögð líkans af einsleitu, óendanlegu jarðhitkerfi, að þykkt  $h$  með lekt  $k$  og poruhluta  $\phi$ , voru felld að gögnunum. Niðurstöðurnar eru birtar í töflu 13. Í fyrsta lagi var byggt á hækkun vatnsborðs í holum 2 og 5 eftir seinni loftdælinguna (stutta prófunin í töflu 13). Mynd 23 sýnir samanburð mældra og reiknaðra gilda fyrir holu 2, sem dæmi fyrir þetta tilfelli. Í öðru lagi var lækku vatnsborðs í holum 2, 5, 6, 8 og 11 fyrstu 17 daga vinnsluprófunarinnar, fram að dælubiluninni, túlkuð (langa prófunin í töflu 13). Þetta var gert til þess að meta meðallekt jarðhitakerfisins áður en takmörk þess færu að hafa áhrif á það mat. Myndir 24 og 25 sýna samanburð mældra og reiknaðra gilda fyrir holur 2 og 6, sem dæmi fyrir þetta tilfelli. Í þriðja lagi voru vatnsborðsgögnin úr holu LPN-11 úr fyrri helmingi vinnsluprófunarinnar túlkuð. Er fjallað nánar um þá túlkun seinna í skýrslunni, en niðurstöðurnar birtar í töflu 13.

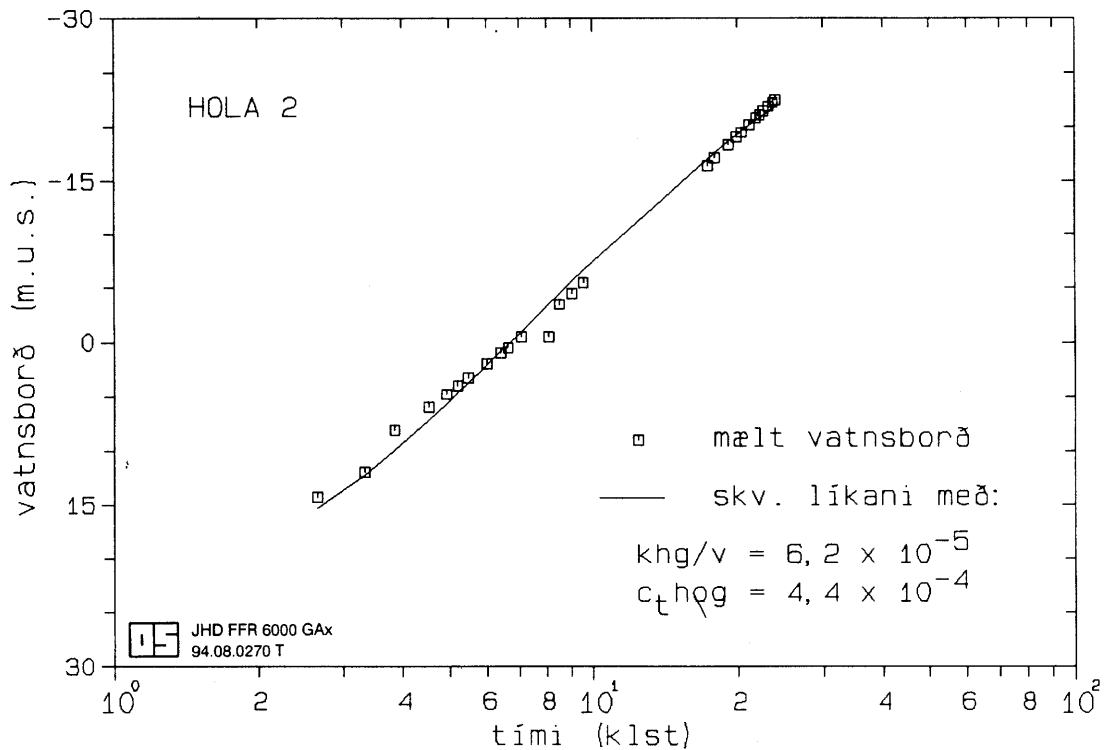
Ef niðurstöðurnar í töflu 13 eru skoðaðar sést að allgott innbyrðis samræmi er milli leiðnistuðlanna fyrir mismunandi holur í hverri prófun. Þó ákvarðast leiðnistuðlarnir u.þ.b. tvisvar sinnum stærri í stuttu prófuninni en í þeirri löngu. Er það væntanlega vegna þess að lektin næst holu LPN-11 er hærri en meðallekt kerfisins. Einnig sýnir taflan að lægsta lektin er til holu 8. Vatnsrýmd jarðhitakerfisins er af sömu stærðargráðu í tveimur fyrri prófununum, en ákvarðast tveimur stærðargráðum hærri fyrr í vinnsluprófuninni. Er það vegna þess að til langs tíma stjórnast vatnsrýmd jarðhitakerfisins af lækku frjáls vatnsborðs en ekki af þjappanleika bergs og vatns eins og gert er ráð fyrir í líkaninu.

Meðaltöl leiðnistuðlanna og vatnsrýmdargildanna fyrir holur 2, 5, 6 og 11 í löngu prófuninni eru  $T = 3,8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  og  $S = 5,0 \times 10^{-4}$ . Leiðnistuðullinn má bera saman við niðurstöður úr sambærilegum prófunum. Í prófun á Botni sumarið 1990 var leiðnistuðull þess jarðhitakerfis áætlaður  $T = 5,0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1991) og í prófun á Syðra-Laugalandi vorið 1991 var leiðnistuðull þess kerfis áætlaður  $T = 40 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  (Guðni Axelsson o.fl., 1993). Vatnsleiðni er almennt lág í jarðhitakerfum í Eyjafirði og er hún allt að tveimur til þremur stærðargráðum meiri í öðrum jarðhitakerfum á Íslandi. Telst því vatnsleiðni jarðhitakerfisins á Laugalandi á Þelamörk mjög lág. Ef gengið er út frá því að þykkt jarðhitakerfisins sé um 1000 m fæst að meðallekt þess sé  $k = 1,2 \times 10^{-15} \text{ m}^2$  og að meðalporuhluti þess sé  $\phi = 7\%$ . Hér er um lága lekt að ræða, en poruhlutinn er í góðu samræmi við áætlanir í kafla 4.4.2.

TAFLA 13. Áætlanir á leiðnistuðli (T) og vatnsrýmd (S) jarðhitakerfisins.

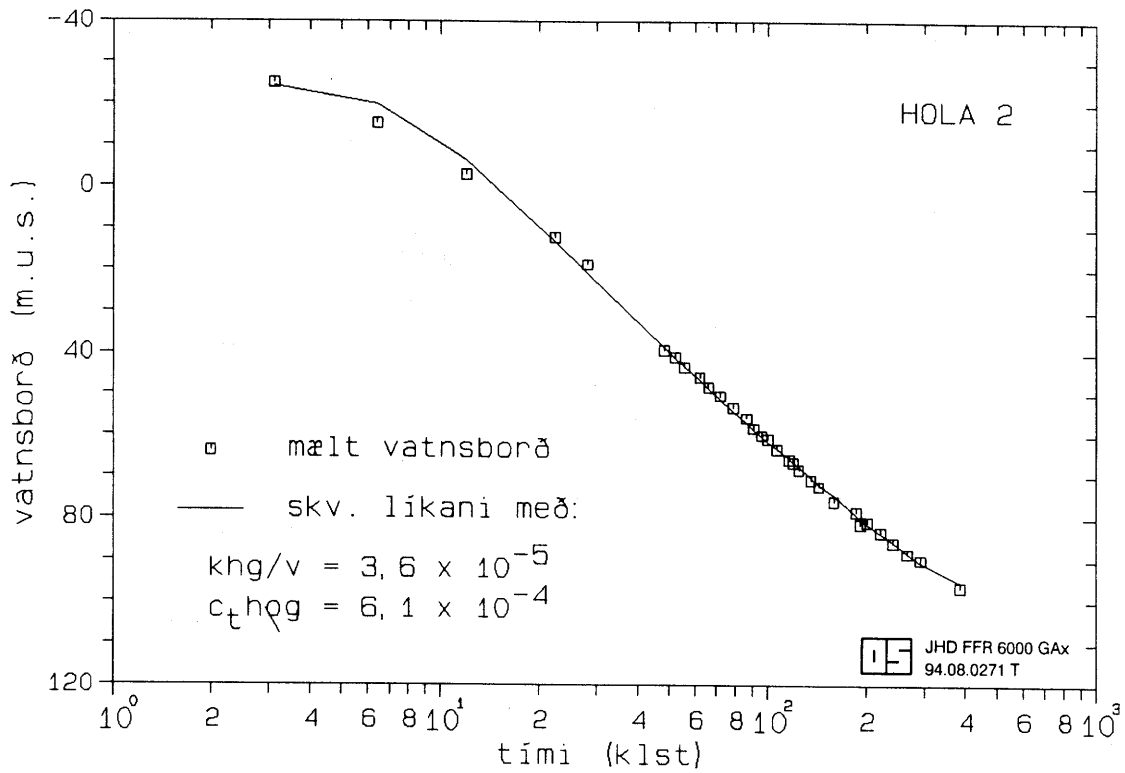
Mæliholi	$T = khg/\nu$ ( $m^2/s$ )	$S = c_t h \rho g$ (-)	Aths.
STUTT PRÓFUN			1 sólarhr.
H-2	$6,2 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-4}$	
LPÝ-5	$6,4 \times 10^{-5}$	$3,7 \times 10^{-4}$	
LÖNG PRÓFUN			17 dagar
H-2	$3,6 \times 10^{-5}$	$6,1 \times 10^{-4}$	
LPÝ-5	$3,8 \times 10^{-5}$	$5,7 \times 10^{-4}$	
LPÝ-6	$3,9 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-4}$	
LPÝ-8	$2,6 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-4}$	
LPN-11	$3,7 \times 10^{-5}$	$5,7 \times 10^{-4}$	$s = -6,4$
VINNSLUPRÓFUN			150 dagar
LPN-11	$2,7 \times 10^{-5}$	$3,6 \times 10^{-2}$	frjálst vatnsborð sjá kafla 6.1

Skýringar:  $k$  = lekt bergs,  $h$  = þykkt jarðhitakerfis,  $g$  = þyngdarhröðunin,  
 $\nu$  = eðlisseigja vatns,  $c_t = c_v \phi + c_b(1 - \phi)$  þjappanleiki kerfis,  
 $\rho$  = eðlismassi vatns og  $s$  = tregðustuðull vinnsluholu.

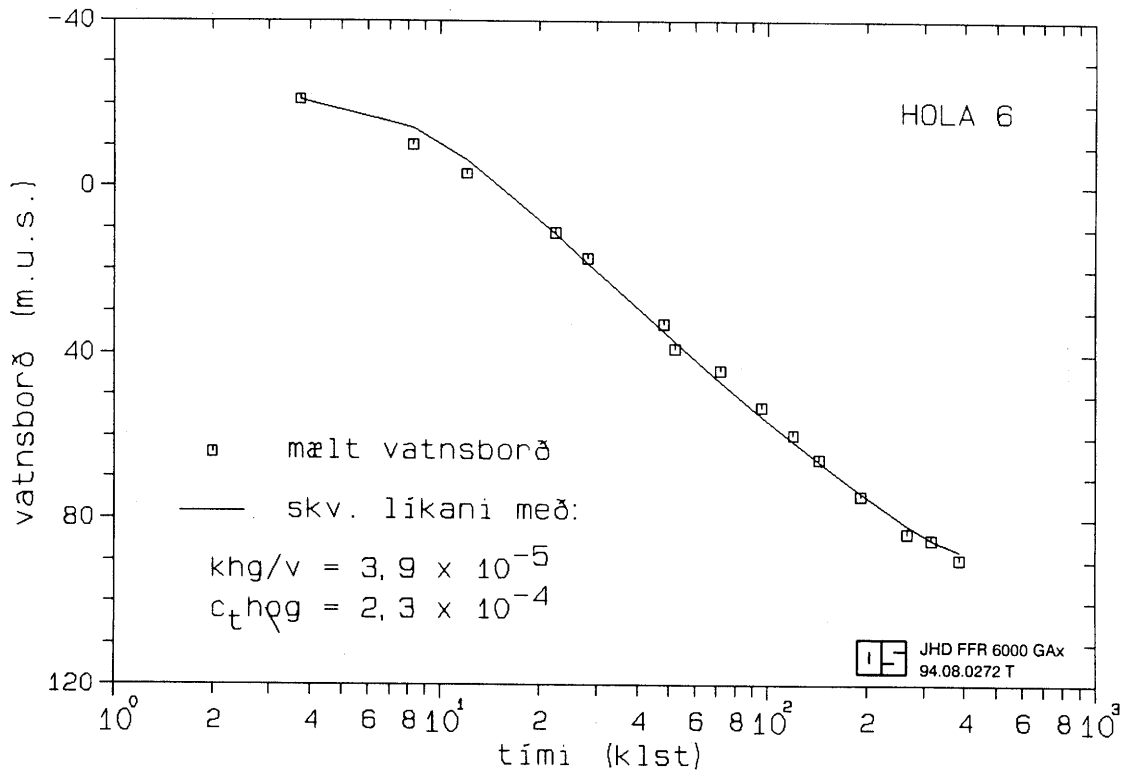


Mynd 23. Mæld og reiknuð hækkun vatnsborðs í holu 2 eftir seinni loftdælinguna.





Mynd 24. Mælt og reiknað vatnsborð holu 2 fyrstu 17 daga vinnsluprófunarinnar.



Mynd 25. Mælt og reiknað vatnsborð holu 6 fyrstu 17 daga vinnsluprófunarinnar.

## 5.7 Niðursetning og endurheimta ferilefna

Þann 2. júní 1993, eða nokkru eftir að niðurdæling hófst í holur 6 og 8, var mismunandi ferilefnum komið sitt í hvora holuna. Tilgangurinn var að fylgjast með endurheimtu efnanna í holu 11 og kanna þannig hversu greið tengsl eru milli vinnsluholunnar annars vegar og niðurdælingarholnanna hins vegar. Hversu greið tengslin eru ræður því síðan hve hratt vatn úr holu 11 kólnar við langtíma vinnslu með niðurdælingu í þessar tvær holur. Um 20 kg af natríum-brómíði voru sett í holu 6, en það samsvarar um 15,5 kg af hreinu brómíði. Einu kg af natríum-flúoresceini var jafnframt komið í holu 8. Frá 2. júní til 11. ágúst voru síðan tekin u.þ.b. 140 vatnssýni úr holu 11 til greininga á styrk ferilefnanna. Í fyrstu voru tekin nokkur sýni á dag, en undir lokin voru sýnin tekin á 2 - 3 daga fresti.

Myndir 26 og 27 sýna mældan styrk ferilefnanna í vatni úr holu LPN-11 ásamt leiðréttum styrk þeirra. Leiðréttingarnar eru annars vegar vegna þess að nokkuð er af náttúrulegu brómíði í jarðhitavatninu (um 30  $\mu\text{g/l}$ ) og hins vegar vegna þess að í niðurdælingartilrauninni var hringdælt, þ.e. vatni úr vinnsluholunni var dælt niður aftur. Þannig fór ferilefnið, sem upp úr vinnsluholunni kom, aftur niður um niðurdælingarholuna auk ferilefnisins, sem sett var niður í upphafi. Leiðrétt er fyrir þessum áhrifum hringdælingarinnar með aðferðum sem lýst er í viðauka F.

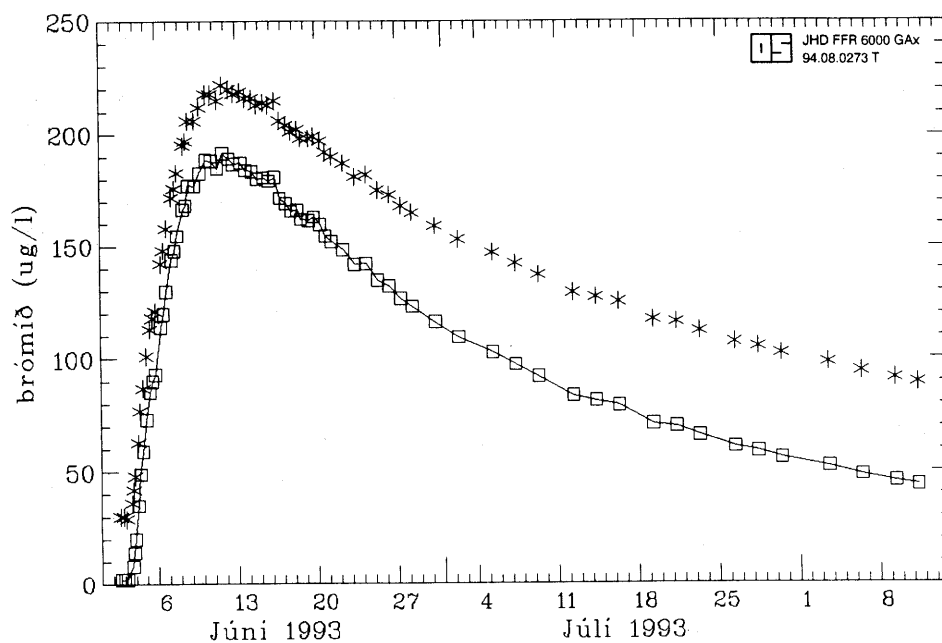
Leiðrétt gögnin um styrk ferilefnanna í vatni úr holu 11 má nú nota til þess að reikna endurheimtu hvors efnis. Það má gera með eftirfarandi jöfnu:

$$m = \int_0^t C(\tau)Q(\tau) d\tau \quad (1)$$

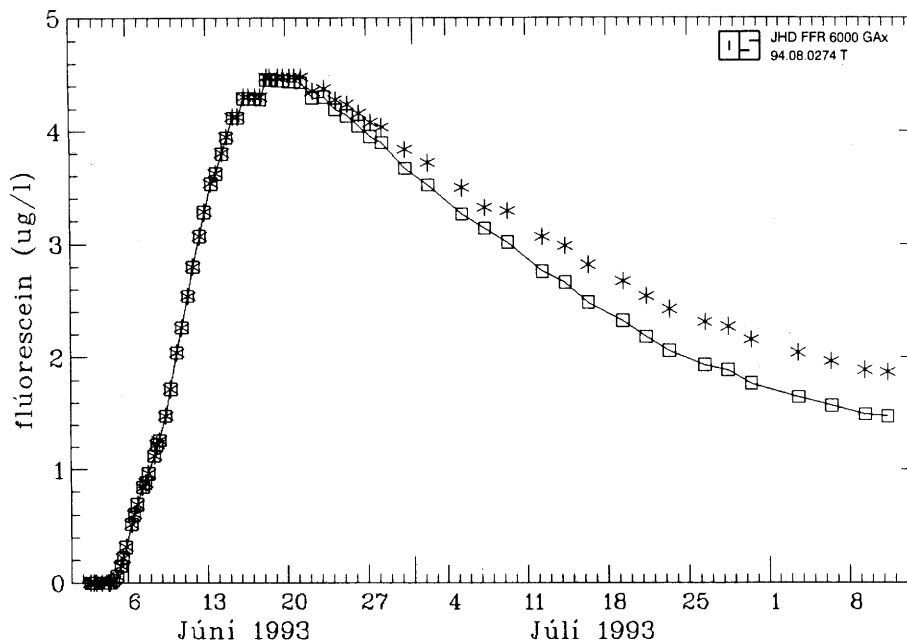
þar sem  $m$  er endurheimti massinn,  $t$  tíminn frá því ferilefnið var sett niður,  $C$  leiðréttur styrkur þess í vatni úr holu LPN-11 og  $Q$  vinnslan úr holunni. Þannig má áætla að til 11. ágúst hafi 9,3 kg af brómíði skilað sér, eða um 60 % af magninu sem sett var niður. Til sama tíma skiluðu 0,24 kg af flúoresceini sér, eða um 24 % af því magni sem upphaflega var sett niður. Þessi munur stafar væntanlega bæði af því að hola 8 er mun fjær holu 11 en hola 6 og því að tengsl holna 8 og 11 eru ekki eins greið og holna 6 og 11. Munurinn á endurheimtu ferilefnanna sést einnig vel á mynd 28, en hún sýnir styrk ferilefnanna umreiknaðann í styrk vegna niðurdælingar 1 kg hvors efnis.

Niðurstöður ferilprófananna voru túlkaðar á grundvelli líkans af sprungustokki, með einvíðu rennsli, sem tengir tvær holur. Fjallað er um líkanið í viðauka F og jöfnur um viðbrögð þess birtar. Líkanið er auk þess sýnt á mynd F.1. Við túlkunina var notaður forritapakinn TR (Þórður Arason, 1993). Gera þurfti ráð fyrir því að niðurdælingarvatnið færi tvær leiðir milli holnanna svo hægt væri að herma endurheimtu ferilefnanna með viðunandi nákvæmni. Annars vegar stystu leið milli þeirra, e.t.v. eftir láréttu millilagi. Hins vegar eftir sprungubelti milli aðalæða holnanna. Þannig tókst að fella reiknuð viðbrögð mjög vel að mældum gildum eins og sýnt er á myndum 29 og 30.

Eiginleikar líkananna fyrir holupörin tvö eru sýndir í töflu 14. Þar á styttri vegalengdin í báðum tilfellum við skemmstu leið milli holnanna, en sú lengri við vegalengdina eftir sprungubeltinu. Í töflunni stendur  $u$  fyrir meðalhraða niðurdælingarvatnsins eftir hverjum stokki,  $A$   $\phi$  fyrir margfeldi þverskurðarflatarmáls og poruhluta hvers stokks og  $\alpha_L$  fyrir tvístrunarlengd (dispersivity) stökkanna. Stærðin  $M_i$  stendur fyrir þann massa ferilefnis sem myndi skila sér skv. Líkaninu eftir viðkomandi stokki, ef niðurdælingin stæði yfir nægilega lengi til þess að stökkarnir tæmd-



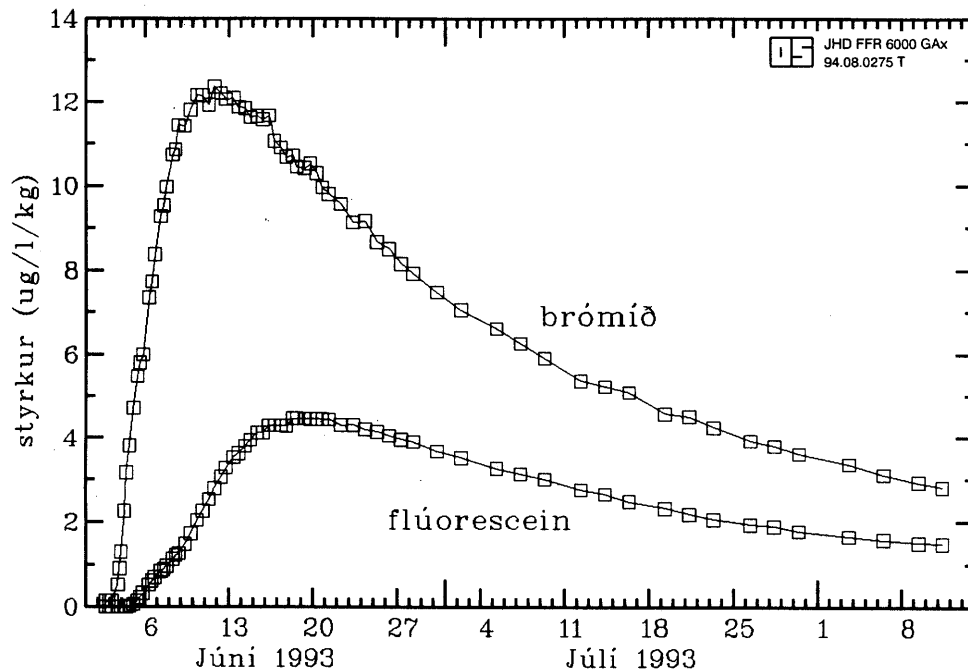
Mynd 26. Mældur og leiðréttur styrkur brómíðs í vatni úr holu 11 vegna niðurdælingar í holu 6.



Mynd 27. Mældur og leiðréttur styrkur flúoresceins í holu 11 vegna niðurdælingar í holu 8.

ust af ferilefni. Hlutfallið  $M_i/M$  gefur þá hve stórt brot af þeim massa ferilefnis sem settur var niður í upphafi skilar sér eftir viðkomandi stokki.

Ofangreindar niðurstöður sýna að tengsl holu 6 við holu 11 eru nokkuð greið. Samkvæmt líkaninu fór megnið af ferilefninu eftir stokkunum tveimur (77 %), þó aðallega eftir sprungustokkunum milli aðalæðanna. Rúm 20% ferilefnisins og niðurdælingarvatnsins (um 20 %) dreifðust víðar um jarðhitakerfið. Tengsl holu 8 við holu 11 eru öllu tregari. Í því tilfalli skila aðeins



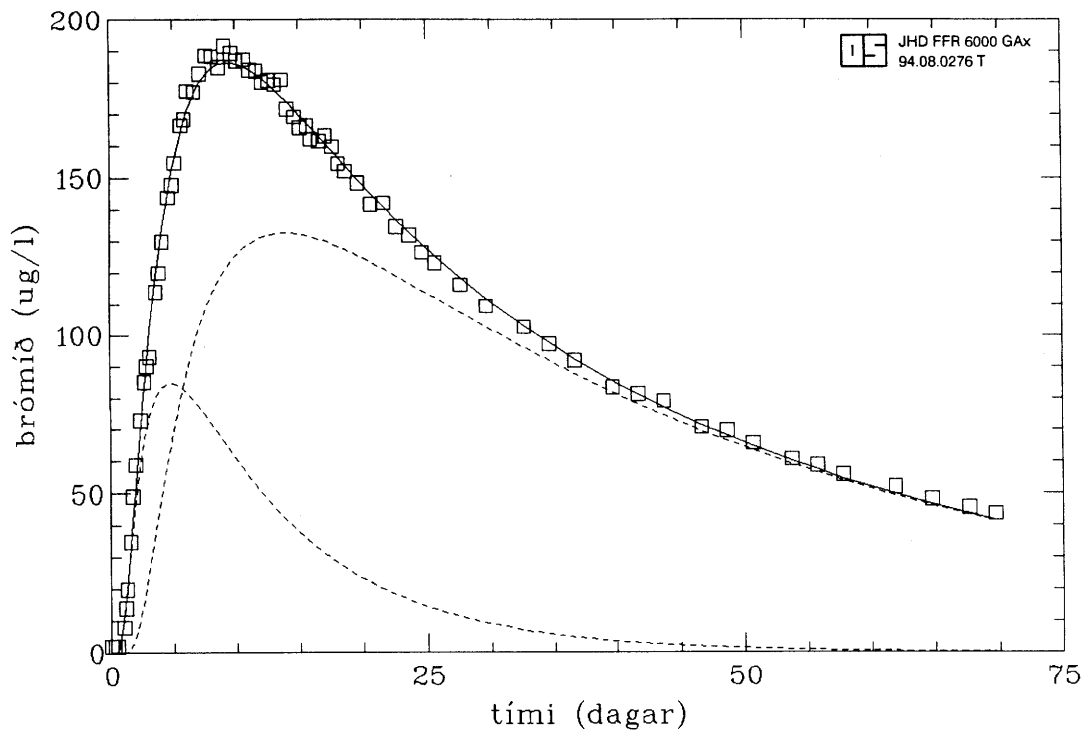
Mynd 28. Samanburður á styrk ferilefna í vatni úr holu 11. Styrkurinn umreiknaður í styrk vegna niðurdælingar 1 kg af hvoru efni.

39 % ferilefnisins sér eftir stokkunum tveimur skv. líkaninu. Um 60 % niðurdælingarvatnsins virðast því dreifast meira um kerfið. Samkvæmt þessu virðist hola 8 hentugri niðurdælingarhola, því væntanlega verður hægari kólnun við notkun hennar. Sá galli er þó á gjöf Njarðar að hún tekur við mun minna magni en hola 6, eins og áður hefur komið fram.

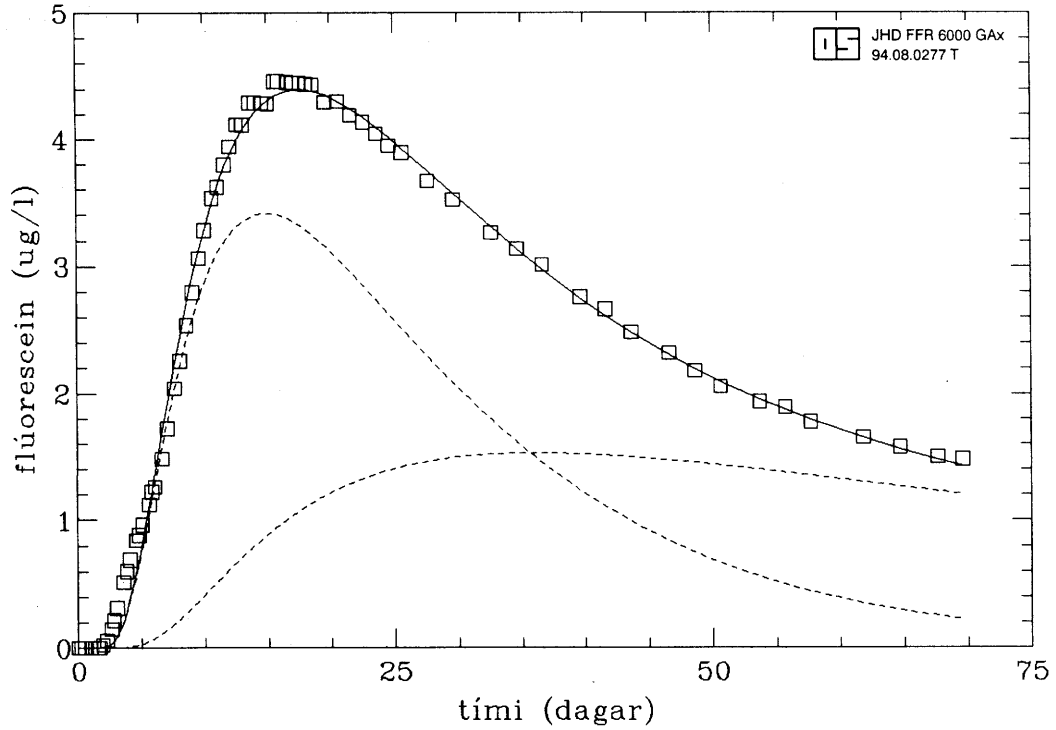
Niðurstöðurnar í töflu 14 voru að síðustu notaðar til þess að spá kólnun vatns úr holu LPN-11 fyrir nokkur mismunandi tilfelli niðurdælingar og eru niðurstöðurnar birtar í kafla 6 hér á eftir ásamt öðrum spám um viðbrögð holu 11 við langtímaþvinnu.

TAFLA 14. Eiginleikar sprungulókana sem fengust við túlkun ferilprófana (sjá viðauka F).

Niðurdælingarhola	Stokkur númer	Lengd stokks (m)	u (m/s)	A $\phi$ (m <sup>2</sup> )	$\alpha_L$ (m)	M <sub>i</sub> /M
LPÝ-6	1	120	1,92x10 <sup>-4</sup>	18,8	51	0,11
	2	320	1,45x10 <sup>-4</sup>	24,0	193	0,66
LPÝ-8	1	280	1,71x10 <sup>-4</sup>	7,9	68	0,14
	2	350	7,13x10 <sup>-5</sup>	18,9	165	0,25



Mynd 29. Leiðréttur og reiknaður styrkur brómíðs í vatni úr holu 11 (tafla 7).



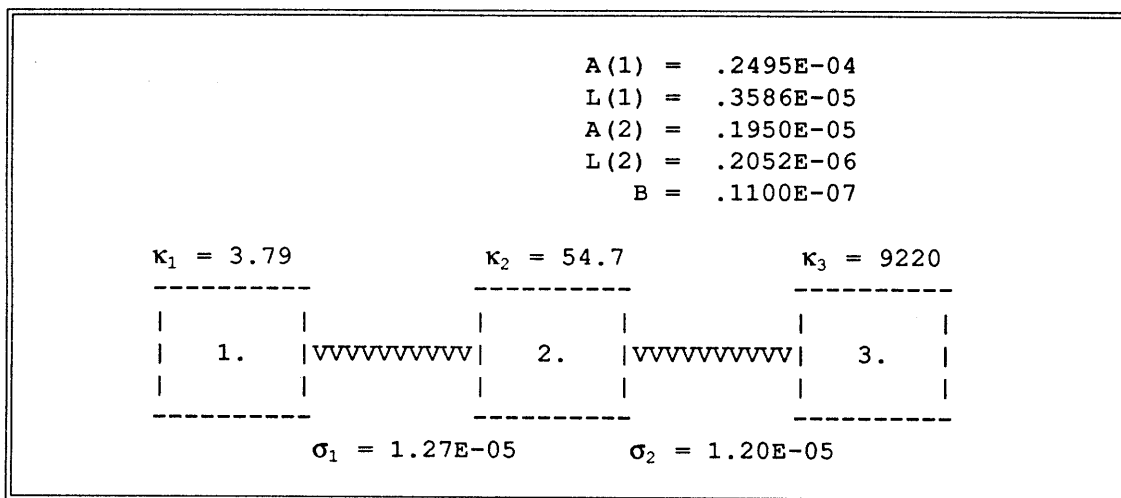
Mynd 30. Leiðréttur og reiknaður styrkur flúoresceins í vatni úr holu 11 (tafla 7).

## 6. SPÁR UM VINNSLU, VATNSBORÐ OG KÓLNUN HOLU LPN-11

### 6.1 Vatnsborðsspár

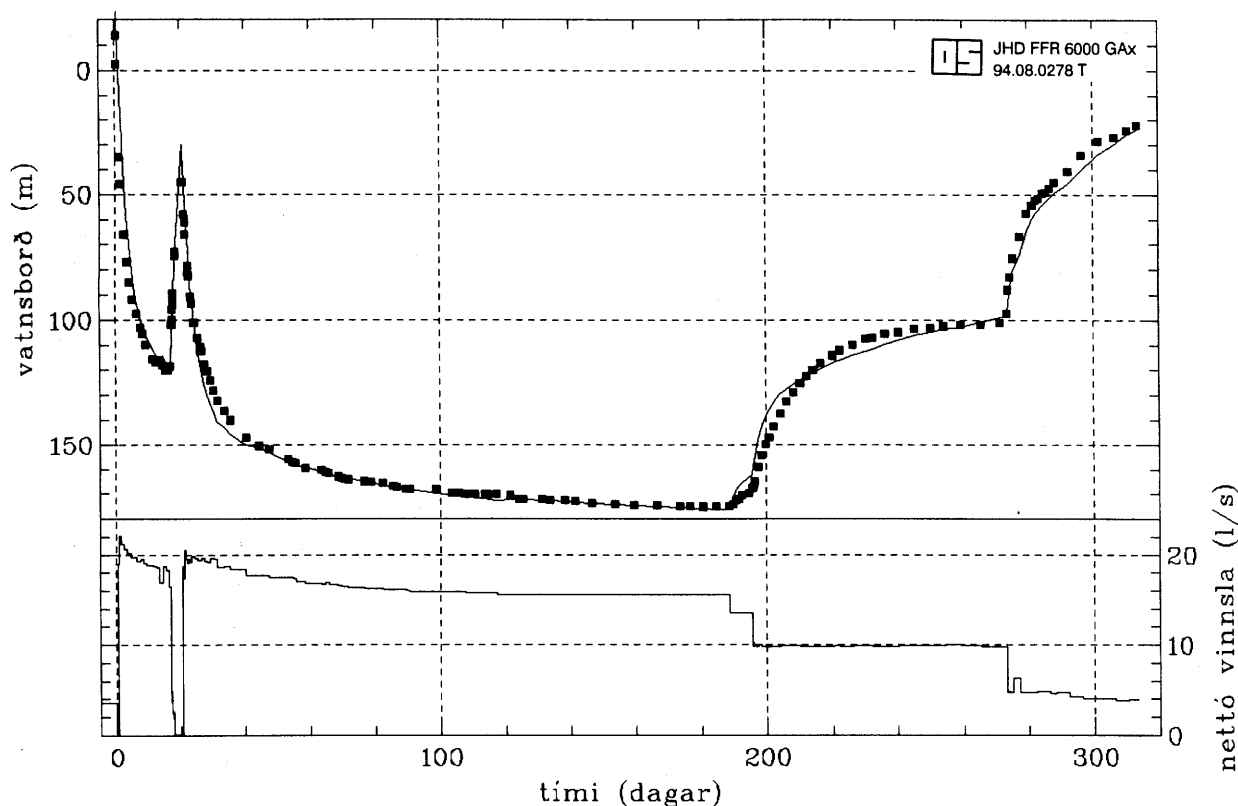
Við gerð vatnsborðsspár fyrir Laugaland á Þelamörk var notað sams konar þjappað geymslíkan og notað hafa verið undanfarinn áratug við vatnsborðsspár fyrir lághitasvæði víða á Íslandi með ágætum árangri, m.a. í Eyjafirði (Guðni Axelsson, 1993; Guðni Axelsson o.fl., 1988). Áreiðanleiki spánna fer talsvert eftir því hversu lengi dælt hefur verið úr viðkomandi svæði og fylgst með vatnsborðsbreytingum. Því lengri sem vinnslusagan er, þeim mun áreiðanlegri verða þær. Bæði er hægt að nota opin og lokað líkón. Í opnum líkönum næst jafnvægi milli innrennslis og vinnslu þannig að vatnsborð hættir að lækka við fasta vinnslu. Í lokaðum líkönum næst slíkt jafnvægi ekki og vatnsborð lækkar stöðugt við langtíma vinnslu. Segja má að opin líkón gefi hjartssýnisspár en lokað svartssýnisspár. Hér var talið hyggilegra að nota lokað líkan.

Mynd 31 sýnir það lokaða líkan sem notað var til að herma vatnsborðsgögnin úr vinnsluprófuninni. Mynd 32 sýnir vinnslusöguna og samanburð reiknaðra og mældra vatnsborðsgagna. Vinnslusagan er einfaldlega verg vinnsla úr jarðhitakerfinu, þ.e. dælingin úr holu LPN-11 að frádræginni niðurdælingunni. Líkanið er byggt úr þremur geymum og hermir geymir 1 næsta nágrenni holu 11. Hann tengist geymi 2 með rennslisviðnáminu  $\sigma_1$  og má líta á þann geymi sem jarðlögin umhverfis fyrsta geyminn, en geymir 2 er auk þess mun stærri. Sá geymir er svo tengdur með viðnáminu  $\sigma_2$  við þriðja og stærsta geyminn. Vatnskerfið eða kerfin sem þriðji geymirinn hermir ráða mestu um langtíma viðbrögð jarðhitasvæðisins. Bæði virðist þar um að ræða dýpri hluta jarðhitakerfisins og einnig kalda grunnvatnskerfið ofan og utan jarðhitakerfisins. Síðar í skýrslunni er fjallað nánar um hvernig þessi heitu og köldu kerfi eru talin vinna saman. Í reikningunum var gert ráð fyrir að þrýstingur á toppi holu LPN-11 hafi verið um 1,9 bör við upphaf vinnslu úr holunni og að rennsli af jarðhitasvæðinu fram að því hafi verið 3,6 l/s að jafnaði.



Mynd 31. Lokað þjappað geymslíkan af jarðhitakerfinu á Laugalandi á Þelamörk.

Líkaninu á mynd 31 svipar til þjappaðs líkans sem byggði á gögnum fram til febrúar 1993 og lýst er í nýlegri skýrslu (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1993a). Sú breyting er þó á orðin að nú hefur þriðji geymirinn bæst við yst í líkaninu og er líkanið jafnframt lokað. Erfiðlega gekk að herma vatnsborðsbreytingarnar með lokaðu líkani og því sjálfvirka reikniforriti sem jafnan er notað

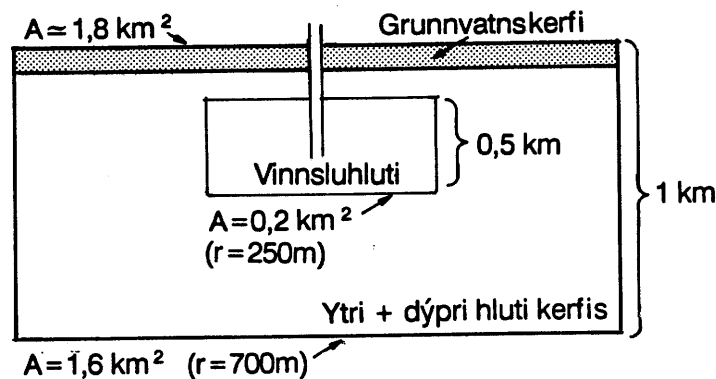


Mynd 32. Mælt og reiknað vatnsborð holu LPN-11 samkvæmt þjappaða líkaninu.

við hermun með þjöppuðum líkönum (Guðni Axelsson og Þórður Arason, 1992). Var því brugðið á það ráð að stilla stærð þriðja geymisins handvirkt þannig að þrýstifall í honum yrði u.þ.b. 5 m/ári við 15 l/s vinnsla. Það er jafnt langtímaþrýstifallinu sem mældist í holu LPN-11 eftir að vinnsla hafði haldist stöðug í u.þ.b. tvo mánuði um miðbik vinnsluprófunarinnar. Varla er við því að búast að þrýstifall verði svo mikið við langtíma vinnslu í framtíðinni. Því eru vatnsborðspár sem fást úr þessu líkani í svartsýnna lagi.

Stærðirnar  $\kappa_1$ ,  $\kappa_2$  og  $\kappa_3$  (mynd 31) lýsa vatnsrýmd geymanna þriggja, sem aftur ræðst af stærð þeirra og því hvort hún stjórnast af þjappanleika vatns og bergs eða hækkun og lækkun frjáls vatnsborðs. Í fyrra tilfellinu gildir  $\kappa = V\rho[c_v\phi + c_b(1-\phi)]$ , þar sem  $V$  er rúmmál þess hluta jarðhitakerfisins sem geymirinn hermir,  $\rho$  er eðlismassi og  $c_v$  þjappanleiki vatns,  $c_b$  þjappanleiki og  $\phi$  poruhluti bergsins. Í seinna tilfellinu gildir  $\kappa = A\phi/g$ , þar sem  $A$  er yfirborðsflatarmál viðkomandi hluta kerfisins og  $g$  er þyngdarhröðunin. Stærðirnar  $\kappa_1$ ,  $\kappa_2$  og  $\kappa_3$  má nota til þess að áætla stærð jarðhitakerfisins. Gengið er út frá því að poruhluti þess sé að meðaltali um 5 %, og að vatnsrýmd fyrstu tveggja geymanna stjórnast af þjappanleika vatns og bergs. Jafnframt er gengið út frá því að þriðji geymirinn hermi grunnvatnskerfið ofan jarðhitakerfisins og að vatnsrýmd hans stjórnast því af tilvist frjáls vatnsborðs. Þá fást niðurstöðurnar á mynd 33. Samkvæmt þeim virðist jarðhitakerfið lítið, eða aðeins um  $1\frac{1}{2}$  km<sup>3</sup>. Þó ber að hafa í huga að líkanið var haft í svartsýnna lagi sem leiðir til þess að rúmmálið reiknast lítið.

Stærðirnar  $\sigma_1$  og  $\sigma_2$  (mynd 31) lýsa lekt jarðhitakerfisins. Til þess að áætla meðallekt þess er byggt á mynd 36 og gengið út frá því að kerfið sé sívalningslaga. Þá fæst að meðallektin milli vinnsluhlutans og ytri hlutans sé  $k \approx 1,4 \times 10^{-15}$  m<sup>2</sup> og að meðallektin milli grunnvatnskerfisins og jarðhitakerfisins sé  $k \approx 1,2 \times 10^{-15}$  m<sup>2</sup>. Þetta eru með lægri lektartölum sem áætlaðar



JHD JEL 9000 GAx  
94.08.0289 AA

Mynd 33. Einfölduð mynd af mismunandi hlutum jarðhitakerfisins skv. eiginleikum þjappaða lfkansins (mynd 31). Gert er ráð fyrir 5 % poruhluta, A táknar yfirborðsflatarmál hlutanna og r radíus þeirra.

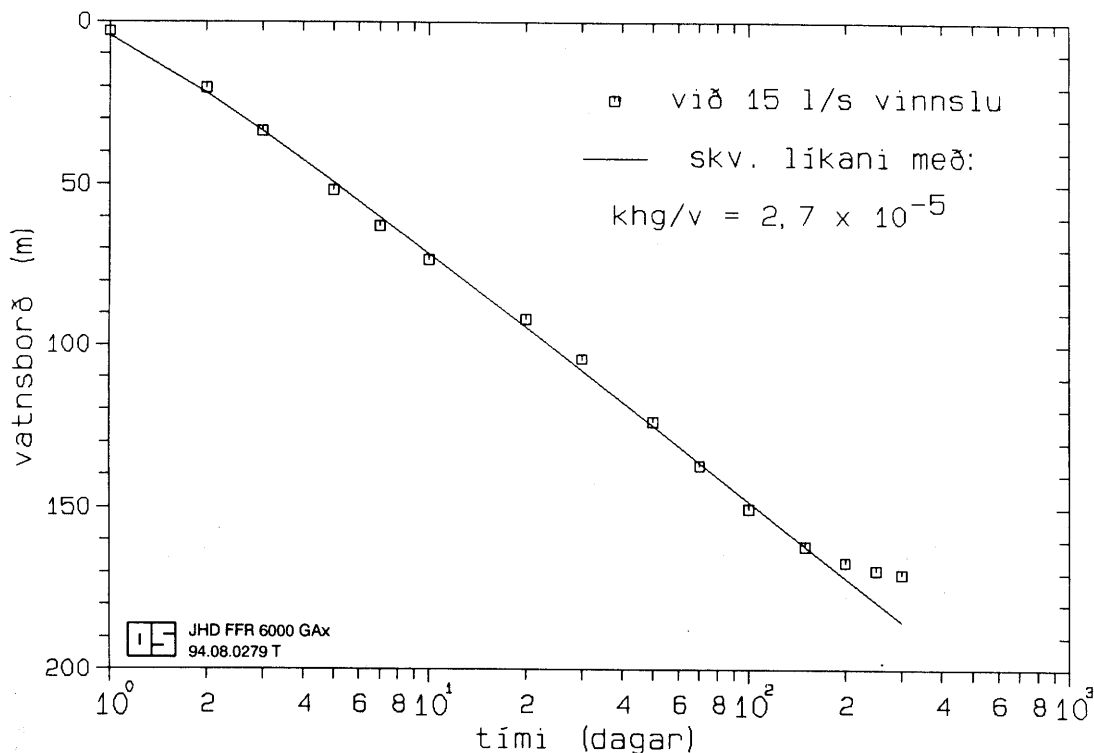
hafa verið fyrir jarðhitakerfi, en í fullkomnu samræmi við niðurstöður kafla 5.6. Þess ber að geta að ofangreindar tölur um lekt og rúmmál eru aðeins grófar áætlanir á þessum stærðum fyrir jarðhitakerfið. Rúmmálstölurnar eru m.a. háðar poruhlutanum, sem gengið er út frá. Ef t.d meðalporuhlutinn væri 10 % væru flatarmálin á mynd 33 helmingi minni. Lektargildin eru síðan háð rúmmálanum, en einnig því hvernig afstöðu í rúmi gengið er út frá.

Lekt jarðhitakerfisins má einnig meta á sama hátt og í kafla 5.6 hér að framan, þ.e. á grundvelli lfkans af einsleitu, óendanlegu jarðhitakerfi, að þykkt h. Það er gert þannig að viðbrögð þjappaða lfkansins við 15 l/s vinnslu voru reiknuð og viðbrögð óendanlega lfkansins felld að þeim. Reyndar var það aðeins hægt fyrir fyrstu 150 dagana, eftir það fara áhrif grunnvatnskerfisins að segja til sín. Niðurstöðurnar eru birtar á mynd 34 og í töflu 13 hér að framan. Leiðnistuðullinn er heldur lægri en stuðlar byggðir á fyrstu 17 dögum vinnsluprófunarinnar, væntanlega vegna þess að ytri takmörk kerfisins hafa áhrif til lækkunar. Einnig er vatnsrýmdin miklu meiri vegna áhrifa frjáls vatnsborðs, eins og áður hefur komið fram.

Áhugavert er að bera jarðhitakerfið á Þelamörk saman við önnur jarðhitakerfi á Íslandi. Það má m.a. gera með því að skoða niðurdrátt vegna vinnslu. Mynd 35 sýnir slíkan samanburð á jarðhitakerfinu á Þelamörk og öðrum vinnslusvæðum Hitaveitu Akureyrar. Til þess að auðvelda samanburðinn sýnir myndin einingarniðurdrátt hvers svæðis, þ.e. niðurdrátt við 1 l/s dælingu. Viðbrögð vinnslusvæðanna fjögurra eru reiknuð með endurskoðuðum þjöppuðum lfkönunum, sem byggð eru á vinnslusögu þeirra fram á árið 1993 (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1993c). Á myndinni sést að við sömu vinnslu er niðurdráttur mestur á Laugalandi á Þelamörk. Er það bæði vegna þess að jarðhitakerfið á Þelamörk er minnst og hefur lægstu lektina. Þetta sést vel ef eiginleikar þjöppuðu lfkana eru bornir saman. Þá kemur í ljós að vatnsrýmd geymanna í lfkani fyrir Þelamörk er minni en vatnsrýmd geymanna í hinum lfkönunum og einnig eru rennslisviðnámín hærri. Á þessu eru þó tvær undantekningar. Í fyrsta lagi er vatnsrýmd þriðja geymisins í lfkani fyrir Glerárdal lægri en vatnsrýmd þess geymis í Þelamerkurlfkani. Þetta þýðir að ef litið er til mjög langs tíma (> 10 - 20 ár) þá verður niðurdráttur væntanlega meiri á Glerárdal en á Laugalandi á Þelamörk við sömu vinnslu. Í öðru lagi virðist lekt milli vinnsluhluta og ytri/dýpri hluta ( $\sigma_1$ ) vera svipuð á Botni og á Þelamörkinni.

Athygli vekur á mynd 35 hve viðbrögð jarðhitakerfanna á Þelamörk og Botni eru lfk. Bæði er



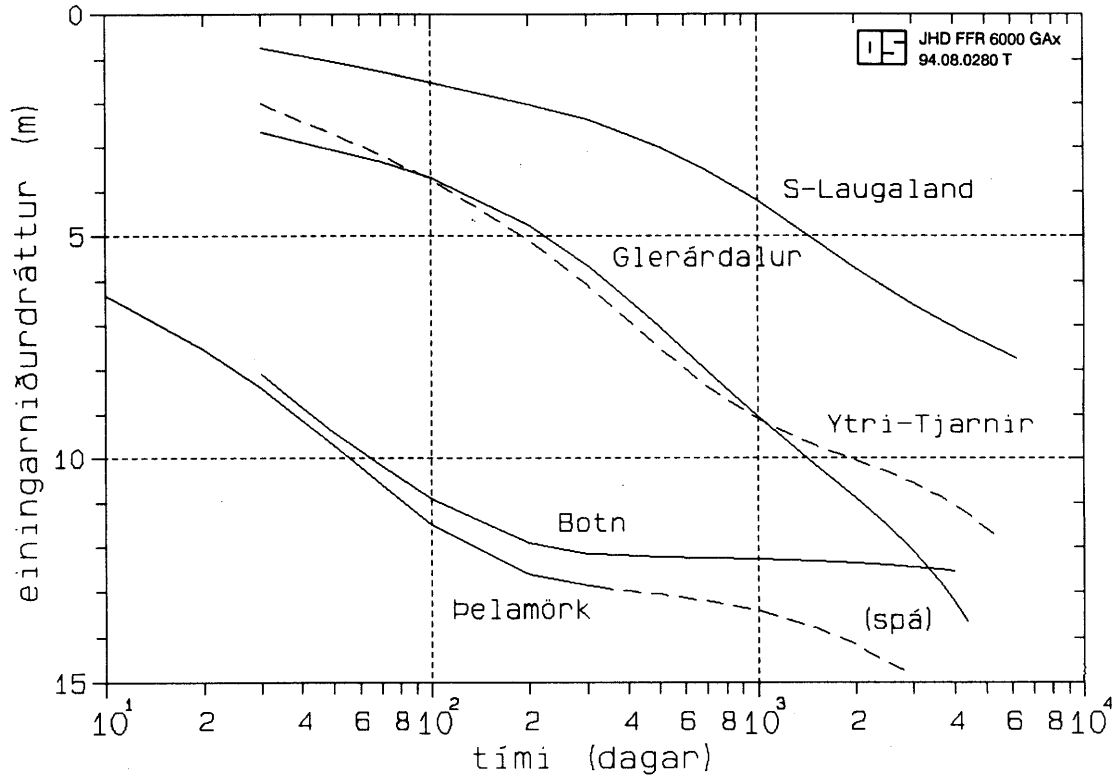


**Mynd 34.** Reiknuð viðbrögð jarðhitakerfisins við 15 l/s stöðugri vinnslu og reiknuð viðbrögð líkans af óendanlegu jarðhitakerfi að þykkt  $h$  og lekt  $k$ .

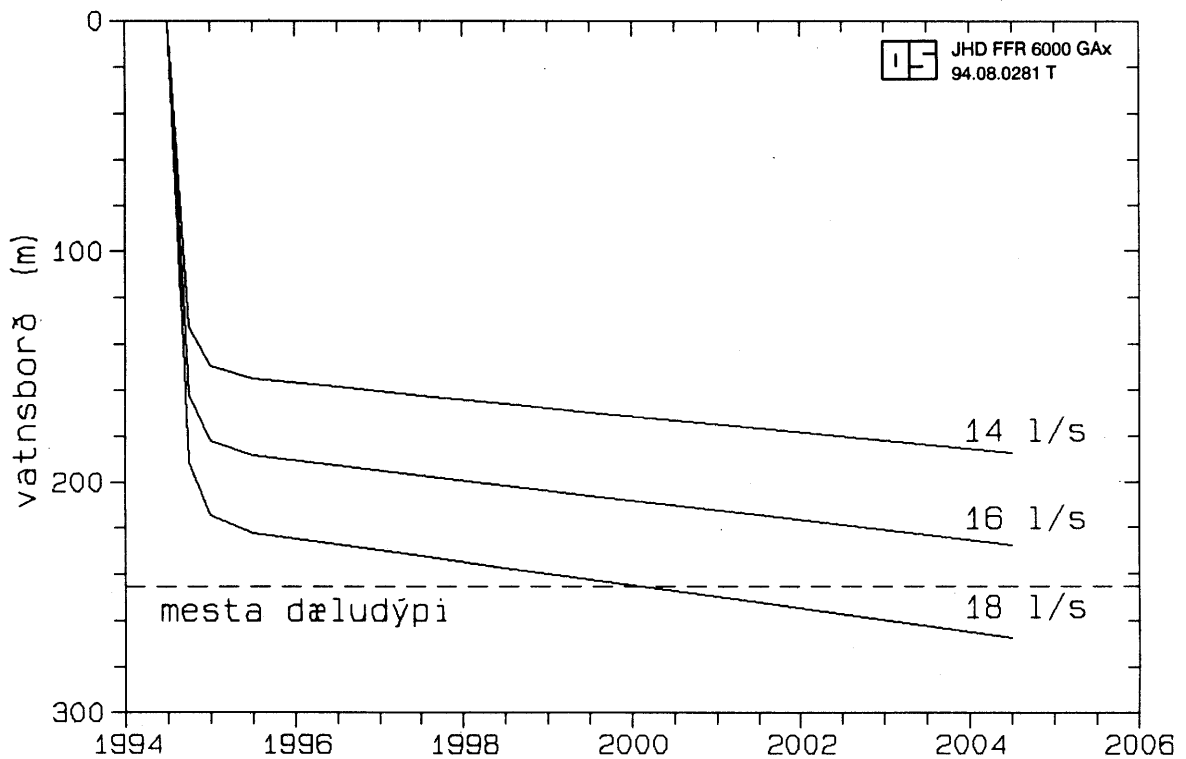
niðurdrátturinn svipaður framan af og einnig hægir á niðurdrættinum um svipað leyti. Reyndar er slitna línan fyrir Þelamörk aðeins spá og gæti langtímaniðurdráttur á Þelamörk í reynd líkst langtímaniðurdrætti á Botni enn meir. Af þessu virðist ljóst að jarðhitakerfinu á Laugalandi á Þelamörk svipi einna mest til jarðhitakerfisins á Botni. Vinnsluhluti þessara tveggja kerfa er lítilill og lekt þeirra lág, sem skýrir mikinn niðurdrátt í upphafi vinnslu. Síðan virðast kerfin bæði í tengslum við grunnvatnskerfi jafnt sem dýpri hluta jarðhitakerfanna, sem veldur mun hægari langtímaniðurdrætti en verður á hinum vinnslusvæðunum. Þó er afkastageta jarðhitakerfisins á Botni töluvert meiri en jarðhitakerfisins á Þelamörk vegna þess hve yfirþrýstingur var hár (u.þ.b. 17 bör) í því fyrrnefnda við upphaf vinnslu og dýpri hluti þess er væntanlega öflugri.

Þjappaða líkanið var að lokum notað til þess að spá vatsborðsbreytingum í holu LPN-11 fyrir nokkur mismunandi vinnslutilfelli. Mynd 36 sýnir niðurstöðurnar fram til ársins 2004 við 14, 16 og 18 l/s meðalvinnslu. Er þá átt við verga vinnslu, þ.e. dælingu úr LPN-11 að frádreginni niðurdælingu bakrásarvatns. Gert er ráð fyrir að dæling hefjist 1. júlí 1994. Sést þar að svæðið mun anna um 14 l/s nettóvinnslu með núverandi dælu næstu 10 árin, en með því að síkka dælu í 250 m í LPN-11 virðist mega dæla um 17 l/s nettó úr jarðhitakerfinu til ársins 2004. Rétt er að ítreka það að vatsborðsspánnar eru af ásettu ráði hafðar í svartsýnna lagi.

Þess má geta hér að í ágústbyrjun 1992 var gerð spá um afköst holu LPN-11 út frá fyrri loftdælingu holunnar. Af henni mátti ráða að holan gæti skilað 30-40 l/s til lengri tíma litið. Reynslan af íslenskum jarðhitasvæðum sýnir að afkastamat byggt á skammtímaprófunum gefur um tvöfalt hærri gildi fyrir langtíma vinnslu en tíminn síðar leiðir í ljós. Var því giskað á að raunveruleg afköst holunnar yrðu um helmingi minni eða 15-20 l/s sem virðist nærri lagi.



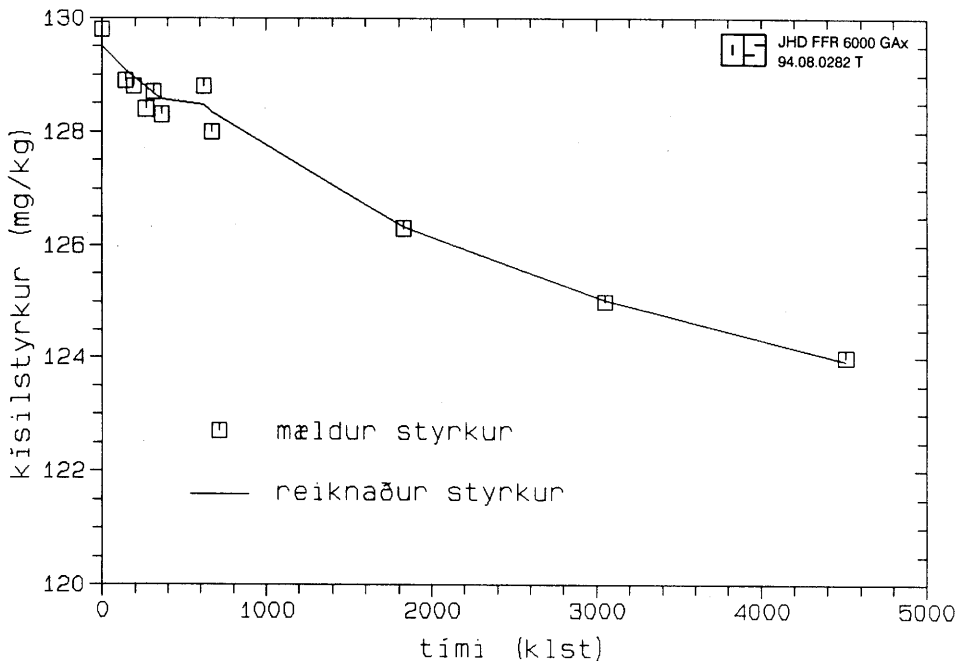
**Mynd 35.** Samanburður á viðbrögðum Pelamerkur og núverandi vinnslusvæða HVA. Sýndur er einingarniðurdráttur hvers svæðis, þ.e. niðurdráttur við 1 l/s dælingu.



**Mynd 36.** Spár um vatnsborð holu LPN-11 samkvæmt þjappaða líkaninu (mynd 31).

## 6.2 Spár um kólnun holu LPN-11 vegna kaldara innstreymis

Eins og komið hefur fram sýna efnagreiningar vatnssýna sem safnað var úr holu LPN-11 frá nóvember 1992 til maí 1993 að lækkun varð í kísilstyrk á þessu tímabili. Þessa lækkun liggur beinast við að skýra með innrennsli kaldara vatns að ofan, án þess þó að vatn úr holunni hafi kólnað. Með mjög einföldu líkani, sem nánar er fjallað um í viðauka G, má herma kísilbreytingarnar og áætla kólnun vatns úr holu LPN-11 við langtímaþvinnslu (sjá einnig Guðna Axelson, 1991). Líkanið hermir þann hluta jarðhitakerfisins umhverfis holuna þar sem blöndun jarðhitavatns og kaldara vatns á sér stað. Úr líkaninu er dælt jafnmiklu magni og úr holu LPN-11 í prófuninni. Inn í það streymir síðan fast magn jarðhitavatns að neðan auk kaldara grunnvatns að ofan. Hiti og kísilstyrkur grunnvatnsins er óviss. Í reikningunum var gert ráð fyrir því að 22 % vatnsins kæmu að ofan, kísilstyrkur þess væri 50 mg/kg og hiti 25 °C (sjá kafla 5.4 og 5.5). Þannig fengust ágætir niðurstöður sem sýndar eru á mynd 37. Reyndar var hægt að herma gögnin nokkurn veginn jafn vel með því að láta meira vatn streyma inn að ofan, en þá þurfti kísilstyrkur þess og þar af leiðandi hiti að vera hærri. Jafnframt var hægt að herma gögnin með því að láta ómengað kalt grunnvatn streyma inn að ofan, en þá í mjög litlum mæli. Í báðum þessum tilfellum spáði líkanið minni kólnun en fyrir þau gildi sem notuð voru.



Mynd 37. Mældur og reiknaður kísilstyrkur í vatni úr holu LPN-11.

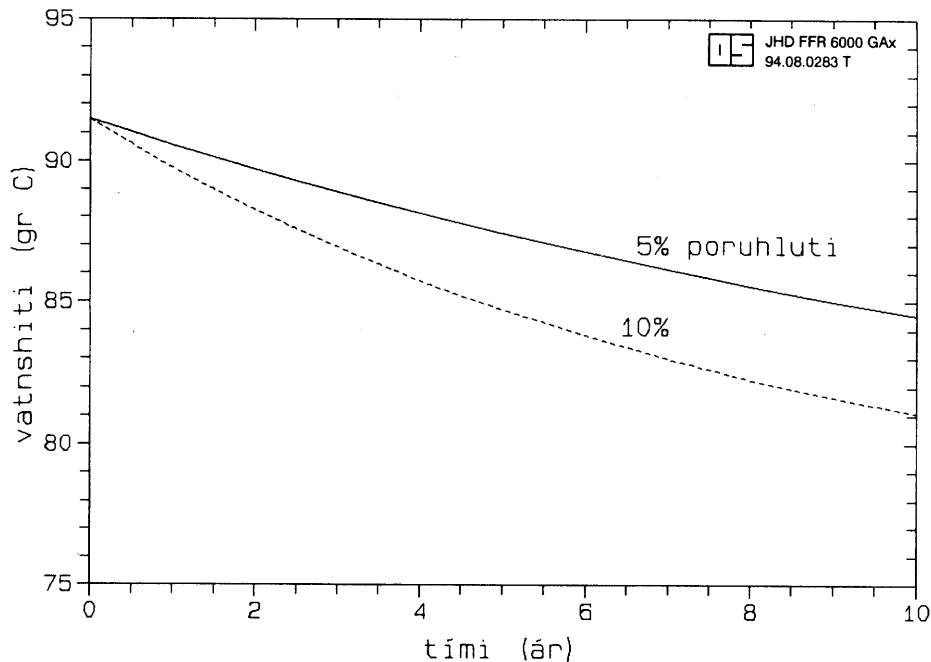
Fyrir utan það að ráðast af kísilstyrk og hita lekans að ofan stjórnast viðbrögð líkansins af stuðlinum  $\alpha$  (sjá jöfnur G-5 og G-14 í viðauka G), sem aftur stjórnast af rúmmáli þess og poruhluta. Niðurstöðurnar á mynd 37 fengust með:

$$\alpha = \frac{1}{V\rho_v\phi} = 1,4 \times 10^{-9} \text{ kg}^{-1}$$

Ef gengið er út frá því að meðalporuhluti jarðhitakerfisins sé 5 % reiknast rúmmál líkansins 0,015 km<sup>3</sup>. Þetta er mat á rúmmáli þess hluta jarðhitakerfisins umhverfis holu 11 þar sem blöndun jarðhitavatns og kaldara vatns á sér stað. Þetta er töluvert minna en rúmmál vinnslu-

hluta jarðhitakerfisins skv. þjappaða líkaninu ( $0,1 \text{ km}^3$ ). Það er þó eðlilegt af tveimur ástæðum. Í fyrsta lagi hermir fasta innstreymið að neðan (R) ytri og djúpri hluta jarðhitakerfisins að nokkru leyti. Í öðru lagi ná þrýstiáhrif vegna vinnslu, sem þjappaða líkanið hermir, yfir mun stærra rúmmál en það litla rúmmál þar sem blöndun á sér stað.

Líkanið í viðauka G var síðan notað til þess að áætla þessa náttúrulegu kólnun vatns úr holu LPN-11 við langtíma vinnslu vegna innrennslis kaldara vatns að ofan. Vatnshitinn var reiknaður með jöfnu G-16 og eru niðurstöðurnar birtar á mynd 38. Þar eru sýndir tveir mismunandi spáferlar, fyrir 5 % og 10 % poruhluta bergsins í því rúmmáli þar sem blöndunin verður. Þar sést að kólnunin vex með poruhluta. Það er vegna þess að eftir því sem poruhlutinn er hærri því minna er rúmmálið þar sem blöndunin verður. Talið er líklegast að raunveruleg kólnun verði ekki meiri en gefið er af efsta ferlinum (5 % poruhluti), m.a. vegna þess að engin kólnun varð á vatni úr holu 11 í vinnsluþrófuninni. Jafnframt verður að telja líklegast að raunverulegur virkur poruhluti sé ekki meiri en 5 - 7 %, þó heildarporuhluti sé meiri (tafla 7).



Mynd 38. Spár um náttúrulega kólnun vatns úr LPN-11 við 15 l/s langtíma vinnslu.

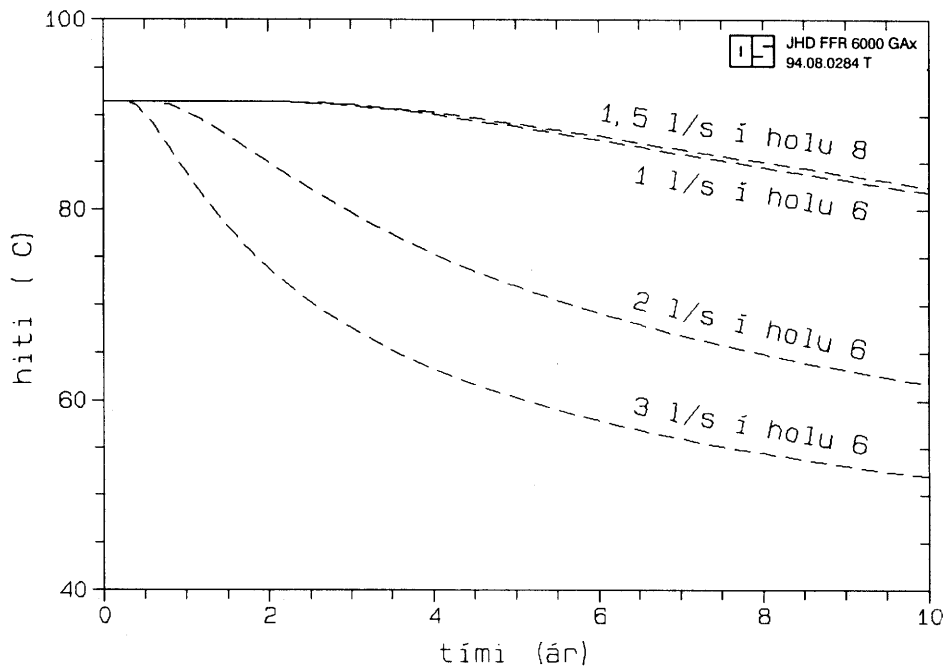
### 6.3 Spár um kólnun holu LPN-11 vegna niðurdælingar

Í kafla 5.7 hér að framan er fjallað um niðurstöður ferilprófananna milli holna 6 og 11 annars vegar og holna 8 og 11 hins vegar. Þær niðurstöður má nota til þess að spá fyrir um hvaða áhrif langvarandi niðurdæling hafi á hita vatns úr holu LPN-11. Í viðauka F eru birtar jöfnur sem lýsa hita vatns sem rennur milli tveggja holna eftir sprungubelti, sem upphaflega er heitara en vatnið. Jafna F.14 í viðaukanum er notuð til þess að reikna þessar spár. Gert er ráð fyrir að sprungustokkurinn sem tengir holur 6 og 11 sé 80 m að hæð, 1 m að breidd og 320 m að lengd. Auk þess er gert ráð fyrir að poruhluti stokksins sé 30 %. Fyrir holur 8 og 11 er gert ráð fyrir 60 m hæð, 1 m breidd og 350 m lengd víðeigandi sprungustokks. Ákvörðun á hæð og breidd sprungustokkanna byggir á þverskurðarflatarmálinu Aφ sem ferilprófanirnar ákvörðuðu (tafla 14). Reiknað er með 16 l/s vergri vinnslu úr holu LPN-11 og nokkrum mismunandi tilfell-

um niðurdælingar og að vinnslan úr LPN-11 aukist um sem nemur niðurdælingunni. Dælt er niður 30 °C heitu bakrásarvatni frá Laugalandsskóla. Mynd 39 sýnir reiknaðan hita niðurdælingarvatnsins er það nær holu 11. Blöndunarhiti heildarstreymisins verður að sjálfsögðu mun hærri.

Ávinningur af niðurdælingu felst í hækkun vatnsborðs og tímabundnu varmanámi úr berginu sem liggur að stokknum er tengir holurnar tvær. Samkvæmt niðurstöðunum á mynd 39 er varmanámið mjög virkt ef niðurdælingin er lítil, þ.e. aðeins 1 - 2 l/s í hverja niðurdælingarholu. Ef niðurdælingin í holu 6 er aukin í 3 l/s verður varmanámið ekki eins virkt. Þetta sést betur ef aukning í varmaafli vegna niðurdælingar er reiknuð fyrir tvö mismunandi tilfelli. Í fyrsta lagi tilfelli þar sem 1,5 l/s er dælt niður í hvora holu og í öðru lagi tilfelli þar sem 3,0 l/s er dælt niður í holu 6. Gengið er út frá því að eftir sprungustokknum milli holna 6 og 11 fari 75 % þess sem dælt er niður í holu 6 og að eftir stokknum milli holna 8 og 11 fari 50 % þess sem dælt er niður í holu 8. Þá fæst að aukningin verði um 620 kW í lok spátmans í fyrra tilfallinu (miðað við nýtingu niður í 30 °C), en aðeins um 380 kW í því seinna. Virðist því lítil ávinningur í að dæla öllu bakrásarvatninu niður í holu 6. Samkvæmt ofangreindu er því skynsamlegast að deila niðurdælingu 3 l/s af bakrásarvatni frá Laugalandsskóla á 2 eða fleiri holur.

Auðvelt er að meta kólnun vatns úr holu 11 út frá niðurstöðunum á mynd 39. Aftur er gengið út frá því að 75 % þess sem dælt er niður í holu 6 fari eftir sprungustokknum milli holna 6 og 11 og að eftir stokknum milli holna 8 og 11 fari 50 % þess sem dælt er niður í holu 8. Þá fæst að heildarkólnun vatns úr LPN-11 við niðurdælingu 1,5 l/s í hvora holu og 19 l/s heildarvinnslu (16 l/s verg vinnsla) verði aðeins um 2 °C á 10 árum.



Mynd 39. Hiti niðurdælingarvatns þegar það kemur inn í holu LPN-11 .  
Dælt er niður 30 °C heitu bakrásarvatni í holur 6 eða 8.

## 7. HUGMYNDALÍKAN AÐ JARÐHITAKERFINU Á ÞELAMÖRK

Í þessum kafla er reynt að lýsa þeim hugmyndum sem skýrsluhöfundar gera sér af jarðhitakerfinu á Laugalandi á Þelamörk. Með hugmyndalíkani er átt við líkan af jarðhitasvæðinu, sem skýrir niðurstöður mælinga og rannsókna, en felur jafnframt í sér huglægar myndir höfunda af jarðhitakerfinu, þróun þess og þeim öflum sem þar eru að verki. Hugmyndalíkanið er þannig heilaspuni höfundanna utan um vísindalegar niðurstöður og byggir á almennri reynslu og þekkingu þeirra á jarðhitakerfum. Það er í raun tilgáta um gerð og eðli jarðhitakerfisins og tekur sífelldum breytingum eftir því sem fleiri viskumolar vísindanna bætast við.

Jarðlögin sem jarðhitasvæðið liggur í eru gömul á íslenskan mælikvarða. Þau eru talin hafa myndast fyrir 9-10 milljónum ára við sfendurtekin eldgos í nálægum eldstöðvakerfum, sem þá voru hluti af eldvirka beltinu, en hafa síðar færst frá því vegna landreksins. Jarðlögin eru úr mjög dæmigerðu basalti með þunnum millilögum úr seti. Upphaflega voru þessi hraunlög nærri því lárétt en nú hallar þeim til suðausturs, inn undir gosbeltið, vegna sigs af völdum upphleðslu jarðlaga þar. Hér og hvar liggja berggangar þvert í gegnum jarðlagastaflann. Þeir eru yfirleitt nokkurra metra breið innskotslög, sem skotist hafa lóðrétt inn í hraunlagastaflann trúlega við kvikuhlaup úr nærliggjandi eldstöðvakerfi. Á Laugalandi finnast tvær gangasyrpur, önnur með stefnu rétt austan við norður og er trúlega hluti af gangasveimi úr fornu eldstöðvakerfi í grennd Vindheimajökuls. Þetta eldstöðvakerfi er þá hliðstætt megineldstöðvum nútímans eins og t.d. Kröflu. Hin gangasyrpan hefur norðvestlæga stefnu og er öfugt segulmögnuð og því annað hvort yngri eða eldri en sú norðlæga. Ekki er vitað um uppruna hennar eða hvaða fyrirbrigðum í jarðsögunni hún tengist. Auk ganganna liggja nokkur misgengi um jarðlög í grennd Lauglands. Allt eru þetta svokölluð rétt misgengi sem stafa af gliðnun (landreki) í eldstöðvakerfum gosbeltanna. Öll þessi fyrirbrigði, hraunlögin, gangarnir og misgengin virðast mjög gömul og öll jarðhitavirkni, sem hefur tengst þeim á myndunartíma þeirra kulnuð fyrir milljónum ára. Einnig eru sprungur, sem kunna að hafa fylgt þeim löngu orðnar þéttar af útfellingum.

Eftir því sem tíminn leið færðust jarðlögin sem nú eru á Þelamörk fjær gosbeltinu, jarðskorpan þykknaði og dýpið á hlutbráðna lagið, sem er undir landinu, fór vaxandi. Jafnframt kólnaði jarðskorpan og hitastigull lækkaði úr u.þ.b. 100-150°C/km í gosbeltinu í um 60°C/km nú. Þessi hitastigull upp á 60°C/km er dæmigerður fyrir jarðlög utan jarðhitasvæða við sunnanverðan Eyjafjörð. Það þýðir að á 1 km dýpi má almennt vænta um 60°C hita og 120°C hita á 2 km dýpi utan jarðhitasvæða.

Fyrir um þremur milljónum ára gekk ísöld í garð. Þá rauf ísaldarjökullinn mjög ofan af landinu og mótaði dali nútímans. Þannig hafa jarðlög sem nú eru við yfirborð á Laugalandi verið fyrir ísöld á um eða yfir eins kílómeters dýpi og þar hefur ríkt upp undir 100°C hiti. Þessi hiti ásamt hægu seytili grunnvatns um jarðlögin í milljónir ára hafa þétt sprungur og holrými í berginu svo poruhluti jarðlaganna nú er fremur lágur og lekt berglaganna lítil.

Við aðstæður eins og lýst er að ofan, þar sem er þétt berg og lágur hitastigull, er engin nýtanleg jarðhitakerfi að finna nema þar myndist nýjar sprungur af völdum jarðskorpuhreyfinga.

Þegar ísaldarjökullinn hopaði af landinu fyrir um 10.000 árum reis land hratt í kjölfarið. Við það mynduðust miklar spennur í jörðinni sem víða leiddu til þess að djúpstæðar sprungur mynduðust. Slíkar sprungur opnast aðallega þar sem eldri veikleikar eru í jarðskorpunni eins og við ganga eða misgengi og gjarnan þar sem tveir eða fleiri slíkir veikleikar koma saman. Af þeim ástæðum eru vatnsæðar oft tengdar berggöngum þótt þeir kunni að vera ævagamlir. Slíkar sprungur mynduðust á Þelamörk. Að hluta til fylgdu þær göngum, sem þar eru, en að hluta til

mynduðust nýjar sprungur. Þær náðu niður á 2 km dýpi og trúlega dýpra, þar sem hiti jarðlaga var vel yfir 100°C. Um leið og sprungurnar mynduðust seytláði inn í þær vatn úr berginu umhverfis og hræring hófst í þeim. Þar sem hlutfall súrefnis- og vetnissamsæta er mjög lágt í jarðhitakerfinu á Þelamörk, mun lægra en í staðbundnu regnvatni nútímans, má álykta að grunnvatn eigi ekki greiða leið niður í jarðhitakerfið. Kalt vatn hripaði niður, hitnaði í a.m.k. 100°C af snertingu við heitt bergið niðri á um 2 km dýpi og leitaði aftur upp um opnar sprungur. Sjóðandi hverir mynduðust þar sem vatnið átti greiðasta leið til yfirborðs, í hlöðinni þar sem nú eru hverahrúðursbreiðurnar. Á næstu árpúsundum þéttist uppstreymisrásin af útfellingum og jarðhitinn við hverahrúðursbreiðurnar var að mestu kulnaður þegar öskulag úr Heklu lagðist yfir svæðið fyrir um 4400 árum. Hluti af vatninu í jarðhitakerfinu braut sér þá nýja leið upp eða hélt áfram að renna upp þar sem laugarnar á Hörgábökkum voru. Þar hefur sprungan haldist opin fram til dagsins í dag þótt mælingar á poruhluta sýni að jarðlögin hafa þéttst talsvert kringum uppstreymið og athugun á ummyndunarsteindum að jarðhitakerfið hafi kólnað þar úr a.m.k. 100°C í 90°C. Hins vegar sýna efnahitamælar að vatnið djúpt í vatnskerfinu er ennþá um eða yfir 100°C heitt.

Líklegast er að uppstreymisrás heita vatnsins fylgi nú skurðlínu sprungunnar með Hörgá og gangsins sem merktur er A-1 á mynd 1. Báðum hallar þessum fyrirbrigðum um nálega 6° til norðvesturs. Lekt er góð eftir öðrum eða báðum þessum sprunguflötum og mun jarðhitavinnsla framtíðarinnar byggja á vinnslu beint úr sprungunum. Auk þessa er dræm lekt eftir láréttum millilögum og a.m.k. sumum berggöngum á svæðinu. Jarðhitaflóðið eftir meginrásunum hefur í tímans rás lagt töluverðan varma inn á bankareikning bergsins umhverfis. Mun því niðurdæling bakrásarvatns eftir dræmu lekaleiðunum verða til þess að þessi varmainnistæða er tekin út á nýjan leik.

Það að hiti vatnsins á Þelamörk er rúmlega 90°C, að efnahitamælar benda til 100°C hita dýpra niðri, en að svæðisbundinn hitastigull er aðeins um 60°C/km, bendir til að vatnið sækir varma sinn talsvert neðan 1500 m dýpis. Því er við því að búast að aðalhringrás vatnsins sé á milli 1000 og 2000 m dýpis og jafnvel dýpra. Æðarnar sem hola LPN-11 hitti í eru á liðlega 400 m dýpi í uppstreymisrásinni til yfirborðs. Því hefur vatnið ferðast um 1 km leið eftir þröngum sprungum frá hringrásarkerfinu að holunni og á þeirri leið verður það fyrir þrýstifalli. Það má því búast við því að hola sem hitti í æðarnar á 1000-2000 m dýpi gefi meira og heitara vatn, ef svæðið á annað borð stendur undir meiri vinnslu. Það geta liðið mánuðir þar til þrýstifall vegna dælingar fer að hafa áhrif á hringrásarkerfið á 1000-2000 m dýpi en þá er þess að vænta að áhrif þess komi fram sem hægari niðurdráttur með tímanum.

## 8. NIÐURDÆLING BAKRÁSARVATNS

Í kafla 6 var m.a. fjallað um kosti þess að dæla niður í jarðhitakerfið því bakrásarvatni sem fellur til í byggðinni við Laugaland á Þelamörk. Þar gæti orðið um allt að 3 l/s að ræða ef mestallt bakrásarvatn næst. Mestur ávinningurinn felst í því að skipta niðurdælingunni á fleiri holur og er rétt að miða við að láta ekki meira en 1,5 l/s niður í hverja holu (kafla 6.3). Þannig þyrfti að dæla niður í tvær holur til að koma þessum 3 l/s niður. Niðurdæling hefur þegar verið reynd í holur 6 og 8 en auk þeirra getur komið til greina að dæla niður í holur 2 og LPÝ-5. Hóla 3 er trúlega of nærri og of tengd holu 11 til að niðurdæling þar borgi sig, hóla LPÝ-9 of þétt og trúlega hóla LPN-10 einnig. Í sjálfu sér mætti dæla ofan í holu LPÝ-7, en þar sem hún er handan Hörgár kemur það vart til greina. Lagt er til hér að bakrásarvatninu verði dælt niður í holur LPÝ-6 og LPÝ-8.

Mikilvægt er að ganga þannig frá lögnum til niðurdælingarinnar að unnt sé að mæla magnið sem fer niður í hverja holu og hita þess.

### 8.1 Bakrásarvatn frá húsum

Lagt er til að bakrásarvatni frá húsunum á Laugalandi verði safnað saman og dælt niður í holu LPÝ-6 en þó verði þannig gengið frá lögnum að unnt sé að skipta yfir í holur 2 og LPÝ-5 í tilraunaskyni.

### 8.2 Bakrásarvatn úr sundlaug

Lagt er til að bakrásarvatnið úr sundlauginni verði látið fara niður í holu LPÝ-8. Giskað er á að frá sundlauginn komi allt að 1,5 l/s sem er um það bil sem það magn sem hóla LPÝ-8 tekur við með góðu móti. Um tvær leiðir er að ræða til að ná bakrásarvatninu úr sundlauginni. Annars vegar má setja varmaskipti á sundlaugina þannig að öll bakrásin náist, hins vegar má hugsa sér að setja affallsvatnið úr sundlauginni, sem er blanda af heitu og köldu vatni, beint niður í holu LPÝ-8.

Báðir þessir möguleikar hafa sína kosti og galla sem vega verður og meta. Varmaskiptaleiðin felur í sér að heita vatnið sem kemur frá holu LPN-11 verður leitt gegnum varmaskipti og síðan beint upp í holu LPÝ-8. Í varmaskiptinum er kalt vatn hitað upp í þann hita sem þarf fyrir sundlaugina, heita potta og kranavatn. Helstu kostir við varmaskiptaleiðina eru að öllu því vatni sem dælt verður úr svæðinu vegna sundlaugarinnar er skilað aftur niður í kerfið og ekki þarf viðbótardælu til að koma bakrásarvatninu frá varmaskiptunum upp að holu LPÝ-8.

Affallsleiðin felur í sér að affallinu frá sundlauginni yrði dælt beint niður í holu LPÝ-8. Kostur hennar er sá að meiru magni yrði trúlega skilað ofan í jarðhitakerfið frá sundlauginni en það sem hún fær úr því, viðbótin er kalda vatnið sem notað er til blöndunar. Talin er lítil hætta á að affallsvatnið valdi merkjanlegri mengun í jarðhitakerfinu. Þar sem affallsvatnið hitnar í 90°C ofan í jörðinni má búast við að bakteríur drepist og súrefni eyðist úr vatninu. Þá er rennslisleiðin það löng að búast má við að allt magnesíum í affallsvatninu verði fallið út áður en það kemur aftur að holu LPN-11. Í sundlaugavatnið er blandað klór sem mun fara niður með affallsvatninu. Óvíst er hvað verður um klórinn í jarðhitakerfinu en í öllu falli mun hann ekki koma fram í holu LPN-11 í meira en 10% af styrk þess í affallsvatninu. Hins vegar krefst niðurdæling affallsvatns mun meira eftirlits en niðurdæling bakrásarvatns.

Af ofansögðu má ráða að heppilegra og einfaldara sé að fara varmaskiptaleiðina og er mælt með því hér að það verði reynt.



## 9. HAGKVÆMNI OG ORKUVERÐ

Að afloknum yfirborðsrannsóknum árið 1984 var gerð tilraun til að meta líkur á árangri við borun og reikna út hvert orkuverðið yrði miðað við misgóðan árangur af borunum og með mismiklum holufjölda (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1984). Voru skoðuð þrjú tilvik, besta tilvik sem fólst í því að 30 l/s fengjust með borun fjögurra grunnra rannsóknarholna og einnar 1400 m vinnsluholu, líklegasta tilvik sem fólst í 25 l/s með 6 grunnum rannsóknarholum og tveimur 1400 m vinnsluholum og loks versta tilvik sem fól í sér 20 l/s með 8 grunnum holum og fjórum 1400 m vinnsluholum. Þessir mismunandi kostir voru síðan bornir saman við áætlað orkuverð frá 12 MW rafskautakatli. Niðurstöðurnar urðu sem hér segir (uppreiknað með byggingavísitölu til verðlags í apríl 1994):

Besta tilvik	0,67 kr/kWh
Líklegasta tilvik	0,93 kr/kWh
Versta tilvik	1,49 kr/kWh
Orka frá 12 MW rafskautakatli	1,37 kr/kWh

Orkuverðið frá rafskautakatlinum er miðað við það raforkuverð sem gildi 1983. Samkvæmt þessu voru verulegar líkur á að finna mætti heitt vatn á Þelamörk sem skilaði lægra orkuverði til Akureyrar en rafskautaketill. Með það í huga var svo lagt upp í næstu áfanga verksins.

Hægt er að gera sér nokkuð skýra grein fyrir því hve miklum fjármunum hefur verið varið við rannsókn og borana á Þelamörk frá því boranir þar hófust. Upplýsingar um kostnað við eldri boranir eru ekki fyrir hendi en þær má auðveldlega áætla með hliðsjón af dýpt holnanna. Eins má áætla kostnað við rannsóknir út frá umfangi þeirra og hvað myndi kosta að gera þær í dag. Kostnaður við aðveitu liggur ekki fyrir enþá en líklegt er að heildakostnaður gæti orðið um 61 Mkr. Stofnkostnaður Þelamerkurvirkjunar lítur því þannig út ef með er talinn allur kostnaður frá 1941:

Rannsóknir	12 Mkr	8%
Boranir	62 Mkr	43%
Virkjun holu	10 Mkr	7%
Aðveita	61 Mkr	42%
Samtals	145 Mkr	
Árleg orkuframleiðsla (meðaltal í 20 ár)	34,8 GWh/ári	
Stofnkostnaður á orkueiningu:	4,2 kr/kWh/ári	

Við mat á árlegri orkuframleiðslu er reiknað með 19 l/s vinnslu úr holunni og 3 l/s niðurdælingu. Þá er áætlað að meðalkæling á 20 ára tímabili af völdum innrennslis og niðurdælingar verði 7°C. Til samanburðar má geta þess að stofnkostnaður á orkueiningu fyrir ódýrustu vatnsaflsvirkjanir á Íslandi er 18,5 kr/kWh/ári eða meira en fjórfalt hærri. Þetta dæmi sýnir glögglega hversu hagkvæm orkulind jarðhitinn er í samanburði við vatnsorku.

Ef við notum þessar stofnkostnaðartölur til að reikna út orkuverð til Akureyrar, bætum við rekstrarkostnaði og fjármagnskostnaði miðað við 20 ára afskriftatíma og 6% vexti fæst eftirfarandi:

Orkuverð frá Þelamörk miðað við allan stofnkostnað og alla orkunotkun (34,8 GWh)	0,52 kr/kWh
Orkuverð frá Þelamörk miðað við stofnkostnað aðveitu eingöngu og orkunotkun á Akureyri (29 GWh)	0,37 kr/kWh
Orkuverð frá rafskautakatli	0,66 kr/kWh
Orkuverð frá ódýrustu vatnsaflsvirkjunum	1,42 kr/kWh

Seinni talan um orkuverð frá Þelamörk tekur einungis tilliti til kostnaðar við aðveitu (hinn hlutinn er þegar greiddur) og orkunnar sem skilar sér til Akureyrar. Til samanburðar má geta þess að áætlað orkuverð frá 6 MW rafskautakatli, sem Hitaveita Akureyrar er að koma upp í samvinnu við Mjólkursamslag KEA, er talið verða um 0,66 kr/kWh (Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen, 1993, Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1993a). Þetta orkuverð gildir a.m.k. næstu 6 árin þ.e. á meðan Landsvirkjun hefur yfir miklu umframrafmagni að ráða, sem hún er reiðubúin að selja undir kostnaðarverði. Framleiðsluverð orku frá ódýrustu vatnsaflsvirkjunum er hins vegar um 1,40 kr/kWh og þá er eftir að bæta við dreifingarkostnaði orkunnar.

Við mat á hagkvæmni virkjunarinnar ber einnig að hafa í huga að vel er hugsanlegt að fá meiri meira og heitara vatn með því að bora dýpra. Efnahitamælar benda til þess að vatnið sé um 100°C dýpra í jarðhitakerfinu og lítil langtímaniðurdráttur bendir til lítil þrýstifalls þar við vinnslu úr holu 11. Halli uppstreymisrásarinnar er nú einnig vel þekktur þannig að auðvelt ætti að vera að staðsetja holu sem hittir í uppstreymissprunguna á mun meira dýpi en hola 11. Því eru í raun talsverðar líkur á að virkjun á Þelamörk sé í raun enn hagkvæmari en hér er gert ráð fyrir.

## 10. HORFT TIL FRAMTÍÐAR

Búast má við að dæling frá Laugalandi á Þelamörk til Akureyrar eftir hinni nýju aðveituæð hefst í síðla árs 1994. Þegar vinnslan hefst sýnist höfundum nauðsynlegt að afla ýmissa upplýsinga sem nýtast munu til að fylgjast með þróun svæðisins og hversu vel vinnsluspár ganga eftir. Þær athuganir, sem hér er lagt til að verði gerðar, eru eftirfarandi:

1. Fylgst verði náið með vatnsborði í holum á svæðinu, ört fyrst en síðan með lengra millibili. Til frambúðar þarf að mæla vikulega í LPN-11 og í einhverjum öðrum völdum holum.
2. Dæling og hiti vatnsins úr vinnsluholunni verði skráður með hefðbundnum hætti eins og á öðrum vinnslusvæðum hitaveitunnar.
3. Niðurdæling verði skráð með sama hætti og tíðkast með dælingu úr vinnsluholum, magn og hiti.
4. Rétt áður en dæling til Akureyrar hefst verði tekið sýni af vatninu til greininga á kfsli og súrefnissamsætum. Sýni verði síðan tekin aftur með kerfisbundnum hætti, fyrst nokkuð ört en síðan með æ lengra millibili. Til frambúðar er hæfilegt að mæla 4 sýni á ári, a.m.k. þar til efnasamsetning er orðin mjög stöðug.
5. Leiðnimælingar verði gerðar reglulega á vatni úr holu 11 sem hluti af vikulegu vinnslu-eftirliti. Fyrstu vikurnar verði þó mælt oftar.

Eftir 2-3 ára vinnslu af svæðinu þarf að endurskoða vinnsluspár í ljósi reynslunnar. Þá verða upplýsingar um þróun vatnsborðs og kælingu orðnar mun áreiðanlegri. Þegar meiri orku verður þörf vegna stærri markaðar eða kólnunar á vatni úr LPN-11 kemur sterklega til greina að bora allt að 2000 m djúpa holu á eyrum Hörgár við Laugaland. Áður en til þess kemur er æskilegt að bora 2-3 300 m djúpar holur norðan Hörgár til að kanna þann hluta svæðisins betur en hingað til hefur verið gert.

Þá er að lokum rétt að kanna við tækifæri, t.d. með fáeinum grunnum hitastigulsholum, u.þ.b. 50 m djúpum, hvort hugsanlegt sé að jarðhiti leynist einnig við Djúparbakka eins og sögusagnir hafa verið til um.

## 11. NIÐURSTÖÐUR

Niðurstöður borunar holna LPN-10 og LPN-11 má draga saman á eftirfarandi hátt með hliðsjón af fyrri rannsóknarniðurstöðum.

- Uppstreymi jarðhitans á Laugalandi á Pelamörk er bundið þröngu svæði þar sem gangur (A-1 á mynd 1) og sprungan með Hörgá skerast. Þar streymir upp vatn sem er 91 °C heitt á 430 m dýpi.
- Ljóst er að halli gangsins A-1 er um 6° til norðvesturs og að halli sprungunnar með ánni er einnig til norðvesturs.
- Samanburður hitamælinga úr holu LPN-10 og lífanreikninga á hitadreifingu benda til að halli sprungunnar sé um 6° til vesturs. Þar sem hola LPN-11 er talin vera 40-50 m frá skurdlínu sprungunnar við yfirborð eru talsverðar líkur á að fleiri æðar hefðu komið fram í holunni ef tekist hefði að bora í 800-1000 m dýpi eins og stefnt var að.
- Dreifing ummyndunarsteinda bendir til þess að hola LPN-11 sé sú hola sem næst er aðal-uppstreymisrásinni.
- Nákvæmur samanburður á jarðlagamælingum í borholum sýnir að engin misgengi með meira en 4 m falli liggja um borsvæðið, gagnstætt því sem áður var talið. Þá mælist strik jarðlaga 150-160° og halli þeirra er um 5-7° til suðausturs.
- Úrvinnsla nifteindamælinga og vatnsborðsgagna bendir til að poruhluti virkra póra sé um 7% að meðaltali á borsvæðinu. Greinilegt er að poruhlutinn er lægstur næst uppstreymisrásinni og vex út frá henni. Þetta stafar af útfellingum og ummyndun bergsins vegna streymis jarðhitavökva út frá uppstreymisprungunni.
- Vatnsleiðni jarðhitakerfisins á Pelamörk er afar lág eða  $3,8 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s. Þetta er því lægra gildi en á Botni en einungis tífundi hluti vatnsleiðninnar á Laugalandi í Eyjafjarðarsveit.
- Einingarniðurdráttur á Pelamörk hegðar sér svipað og á Botni þar sem jafnvægi virðist nást við aðstreymið að kerfinu, en öðruvísi en á hinum vinnslusvæðum hitaveitunnar þar sem slík jafnvægi næst mun hægar eða alls ekki.
- Miðað við stöðuga 16-17 l/s verga dælingu af svæðinu ætti vatnsborð í holu LPN-11 að haldast ofan 240 m miðað við holutopp næstu 10 árin. Með vergri dælingu er átt við það magn sem dælt er úr holu LPN-11 að frádregnu því bakrásarvatni sem dælt yrði niður aftur.
- Ætla má að á 10 árum gæti vatnið úr holu LPN-11 kólnað um allt að 7 °C vegna tengingar æðarinnar í LPN-11 við kalda grunnvatnskerfið ofan jarðhitakerfisins og um 3-5 °C til viðbótar við stöðuga niðurdælingu 3 l/s af 30 °C heitu bakrásarvatni í 2-3 holum. Þessar áætlanir eru eðlilega nokkuð ónákvæmar og væntanlega í svartsýnna lagi, samanber það að engrar kælingar varð vart í 9 mánaða vinnsluprófun.
- Ólíklegt er að hvort tveggja gangi eftir, mikil vatnsborðslækkun með tíma og mikil kólnun af því að innstreymi kalds grunnvatns mun halda uppi þrýstingi í kerfinu.
- Kólnun vatns úr holu LPN-11 verður þó ekki vandamál því fyrirliggjandi vitneskja um svæðið bendir til að auðvelt sé að hitta í uppstreymisæðar svæðisins á meira dýpi en í holu LPN-11. Auðvelt er talið að ná þannig fullum vatnshita að nýju og ef til vill má fá meira

vatn með borun holu sem skæri vatnsæðarnar á meira dýpi. Því er rétt að gera ráð fyrir að bora þurfi djúpa vinnsluholu innan 10 ára frá því að vinnsla hefst. Sú hola yrði væntanlega staðsett handan Hörgár og yrði allt að 2000 m djúp og miðuð við að hitta á æðarnar þar sem ætla má að þær séu opnastar, á 1000-2000 m dýpi.

- Kísilstyrkur heits vatns á Laugalandi á Þelamörk er það hár að líklegt er að djúphiti í jarðhitakerfinu sé a.m.k. 10 °C hærri en vatnshiti holu LPN-11.
- Orkuverð frá Laugalandi er talið verða um 0,5 kr/kWh miðað við að allur stofnkostnaður frá 1941 sé meðtalinn og öll orkuvinnslan sömuleiðis. Ef einungis er miðað við stofnkostnað aðveitu og þá orku sem kemst til Akureyrar reiknast orkuverðið um 0,4 kr/kWh.

Að lokum skal tekið fram að við teljum fyrirliggjandi upplýsingar eins öruggan grundvöll til að byggja ákvörðun um virkjun á og kostur er að skapa með skynsamlegum kostnaði.

## 12. HEIMILDIR

- Albright, J.N., 1976: A new and more accurate method for the direct measurement of earth temperature gradients in deep boreholes. Second UN Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, U.S.A., May 1975: 847 - 851.
- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. og Svavarsson, H., 1983: The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47: 567-577.
- Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson, Sigmundur Einarsson, Freyr Þórarinnsson, Stefán Arnórsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1979: Hitaveita Akureyrar. Rannsókn jarðhita í Eyjafirði, Áfangaskýrsla 1978. Orkustofnun, OS JHD 7827, 91 s.
- Biljana Milicevic, 1990: Interpretation and Modelling of the Temperature Distribution of Laugaland in Thelamörk, N-Iceland. UNU Training Programme, Reykjavík, Report 10, 36 s.
- Brace, W.F., Orange, A.S. and Madden, T.R., 1965. The Effect of Pressure on the Electrical Resistivity of Water-Saturated Crystalline Rocks, *J. Geophys. Res.*, 70: 5669-5678.
- Brace, W.F. and Orange, A.S., 1968a. Electrical Resistivity Changes in Saturated Rocks during Fracture and Frictional Sliding, *J. Geophys. Res.*, 73: 1433-1445.
- Brace, W.F. and Orange, A.S., 1968b). Further Studies of the Effects of Pressure on Electrical Resistivity of Rocks, *J. Geophys. Res.*, 73: 5407-5420.
- Carslaw, H.W. og J.C. Jaeger, 1959: Conduction of Heat in Solids. Önnur útgáfa, Clarendon Press, Oxford, 496 s.
- Drury, M.J., og R.D. Hyndman, 1979: The Electrical Resistivity of Oceanic Basalts. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 84, No. B9.
- Fournier, R. O. 1977: Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5: 41-50.
- Geirfinnur Jónsson og Valgarður Stefánsson, 1982: Density and Porosity Logging in the IRDP Hole, Iceland. *Journal of Geophysical Res.*, 87: 6619-6630.
- Guðmundur Pálmason, Stefán Arnórsson, Ingvar B. Friðleifsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Kristján Sæmundsson, Valgarður Stefánsson, Benedikt Steingrímsson, Jens Tómasson og Leó Kristjánsson, 1979: The Icelandic Crust: Evidence from drillhole data on structure and Processes. Í: Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean. American Geophysical Union, Maurice Ewing Series, 2.
- Guiling, Wang, 1991: Modeling of the Urriðavatn low-temperature system in East Iceland. UNU Geothermal Training Programme, Reykjavík, Report 12, 40 s.
- Guðni Axelsson, 1991: Jarðhitasvæðið Urriðavatni. Einfaldir hermireikningar og spár um kólnun vatns úr holu 8. Orkustofnun, OS-91037/JHD-21 B, 15 s.

- Guðni Axelsson, 1993: Forðafræði jarðhitans. Erindi flutt á Ársfundi Orkustofnunar 1993, Orkustofnun OS-93013, 17 s.
- Guðni Axelsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz og Þorsteinn Thorsteinsson, 1988: Vatnsöflun Hitaveitu Akureyrar. Staða og horfur 1988. Orkustofnun, OS-88052/JHD-10, 34 s.
- Guðni Axelsson, Ólafur G. Flóvenz, Hrefna Kristmannsdóttir og Guðrún Sverrisdóttir, 1993: Laugaland í Eyjafjarðarsveit. Tilraun með niðurdælingu vatns. Orkustofnun, OS-93052/JHD-13, 70 s.
- Guðni Axelsson og Þórður Arason, 1992: LUMPFIT. Automated simulation of pressure changes in hydrological reservoirs. User's Guide, version 3.1, September 1992, 32 bls.
- Haukur Jóhannesson, 1991: Yfirlit um jarðfræði Tröllaskaga (Miðskaga). Í: Ferðafélag Íslands, Árbók 1991 II - Fjallendi Eyjafjarðar að vestanverðu: 39-56.
- Helgeson, H. C. 1969: Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. Amer. J. Sci., 267: 729-804.
- Hrefna Kristmannsdóttir, og Sigfús Johnsen, 1981: Eyjafjörður. Efnainnihald og ísótópahlutföll jarðhitavatns. Orkustofnun, OS81023/JHD-14, 49 s.
- Ólafur G. Flóvenz, 1985: Application of Subsurface Temperature Measurements in Geothermal Prospecting in Iceland. Journal of Geodynamics, 4: 331-340.
- Ólafur G. Flóvenz, Bára Björgvinsdóttir, Sigmundur Einarsson, Hrefna Kristmannsdóttir, 1981: Kristnes - Reykhús. Úttekt á hálfrar aldar árangurslíftilli jarðhitaleit. Orkustofnun, OS-81026/JHD-15, 55 s.
- Ólafur G. Flóvenz, Grímur Björnsson og Guðni Axelsson, 1993a: Vatnsöflun Hitaveitu Akureyrar. Staða og horfur í febrúar 1993. Bráðabirgðaskýrsla. Orkustofnun, OS-93006/JHD-02 B, 18 s.
- Ólafur G. Flóvenz, Grímur Björnsson og Guðni Axelsson, 1993b: Laugaland á Pelamörk. Niðurstöður dæluþrófunar 1992-1993. Orkustofnun, greinargerð ÓGF/GrB/GAx-93/08, 6 s.
- Ólafur G. Flóvenz, Guðni Axelsson, Guðrún Sverrisdóttir og Grímur Björnsson, 1993c: Orkuöflun Hitaveitu Akureyrar. Staða og horfur 1993. Orkustofnun, OS-93025/JHD-06, 48 s.
- Ólafur G. Flóvenz, Guðni Axelsson og Ásgrímur Guðmundsson, 1991: Jarðhitarannsóknir við Botn og Hrafnagil 1989-1990. Rannsóknarboranir og vatnsborðsmælingar. Orkustofnun, OS-91008/JHD-02, 89 s.
- Ólafur G. Flóvenz, Jens Tómasson og Grímur Björnsson, 1990: Rannsóknarboranir við Laugaland á Pelamörk 1989. Borun, mælingar og úrvinnsla gagna. OS-90014/JHD-02, 38 s.
- Ólafur G. Flóvenz og Karl Gunnarsson, 1990: Seismic crustal structure in Iceland and surrounding areas. Tectonophysics, 189: 1-17.
- Ólafur G. Flóvenz, Margrét Kjartansdóttir, Sigmundur Einarsson, Hjálmar Eysteinnsson og Steinar S. Guðlaugsson, 1984: Laugaland á Pelamörk. Jarðhitarannsóknir 1983-1984. Orkustofnun, OS-84095/JHD-17, 88 s.

Orkustofnun, 1991: Borun djúprar rannsóknarholu við Laugaland á Þelamörk. Verklýsing. OS-91014/JHD-03 B. 23 s.

Þórður Arason, 1993: The TR family of programs. Notkunarleiðbeiningar. Orkustofnun, nóvember 1993, 8 s.

Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen, 1993. Hitaveita Akureyrar. Orkuöflun - Samanburður á valkostum. HVA og VST hf. (9) s.





## ENGLISH SUMMARY

The Thelamörk low-temperature geothermal system is located about 11 km north of Akureyri in N-Iceland. Prior to exploration, the only manifestation of geothermal activity was a hot spring near the river Hörgá. The initial drilling phase of four 400-1100 m deep wells in 1941-1970 resulted in less than 5 l/s artesian flow of 90°C water. An intensive geothermal exploration programme was conducted in the area during 1984-1990, involving resistivity and magnetic surveys, geological mapping and the drilling of five exploration wells. The results of the geothermal exploration indicated strongly that the upflow of hot water was restricted to a narrow part of a vertical low-resistivity fracture located parallel to the Hörgá river.

The increasing demand of energy for space heating in Akureyri along with positive results of prefeasibility study led to drilling of two deep wells at Thelamörk during the summer 1992. The location of the first one (LPN-10) was based on the assumption that the dip of the fracture was about 6 ° to SE and the target was to intersect the fracture above 1000 m depth. This well turned out to be unsuccessful and downhole temperature data indicated that the fracture was, in fact, dipping to the NW.

The second well (LPN-11) was located as far to the northwest as the Hörgá river allowed. It intersected highly productive feedzones at 430-450 m depth, and thus confirmed the conclusion on the dip of the permeable fracture. An attempt was made to continue drilling to a greater depth, but did not succeed due to circulation loss. Brief testing by air-lifting at the conclusion of drilling yielded 40-60 l/s of 85-90 °C water. However, a rapidly increasing draw-down was observed in well 11 and most of the exploration wells during these short periods of testing. Analysis of drill cuttings and logging data indicates that the main feed-zones in well 11 are either inside, or at the lower edge of a major dyke.

A careful comparison of lithological logs from the different wells in the area indicates that no faults with a drop greater than 4 m traverse the well field. The strike of the strata in the area is between 150 and 160 ° and their dip is between 5 and 7 ° to the southeast. Analysis of neutron-neutron logs from wells in the Thelamörk area indicates an average effective porosity of 5 - 7 %. The lowest values are seen next to the upflow zone (well 11), but the porosity values increase with distance from the upflow. This is believed to reflect different spatial precipitation of secondary minerals due to flow of hot water. The greatest precipitation and hence the lowest porosity is found in wells next to the upflow zone.

The rapidly increasing draw-down during air-lifting of well 11 indicated that the long-term productivity of the well might be limited, in spite of its great initial productivity. It was, therefore, decided that the Thelamörk field would be tested carefully before any plans of piping it to Akureyri. This testing was done by producing from well 11 for a period of nine months. A 200 m deep rotary-shaft pump was installed in the well along with an air tube for water level measurements and a flowmeter. Other wells in the area were also prepared for water level monitoring. Pumping started on November 11, 1992 and continued until August 11, 1993. During the test 15 - 20 l/s of 91.5 °C water were produced from well 11. In addition about 6 l/s were reinjected into wells 6 and 8 during the last 2 ½ months of the test.

Lumped reservoir modeling was used to simulate the water level data from the production test and to predict the draw-down in the reservoir due to long-term production from well 11. In addition interference data from the exploration wells were simulated by the response of a conventional Theis-model of an infinite, confined and isotropic layer of porous material. The

results indicate that the geothermal system is small in volume ( $\approx 1 \text{ km}^3$ ) and has a low permeability thickness ( $\approx 1 \text{ Dm}$ ). This leads to a great pressure draw-down during production. The results of lumped modeling indicate that the maximum, long-term production from well 11 is on the order of 16-17 l/s, (maximum draw-down 245 m). In this study a closed reservoir model was used rather than an open one. This results in pessimistic water level predictions.

The productive geothermal reservoir appears to be connected to the overlying groundwater system. This is supported by water level data and a decline in silica concentration during the production test, from 129 ppm initially to 124 ppm in late May, when the reinjection began. This decline is believed to be the result of colder fluids seeping into the production part of the reservoir, partially as internal flow in the exploration wells and partially through fractures extending to the surface. Some cooling due to down-flow of colder water may, therefore, accompany long term production. A simple model was used to simulate these data and to predict cooling of the water produced from well 11 in the future. According to this model colder down-flow may result in up to 7 °C temperature decline during 10 years of production. The fact that the data from the production test were not integrated into a single reservoir model probably results in more pessimistic temperature and water level predictions. It is, for example, unlikely that the reservoir will behave as a closed system during long-term production if a considerable inflow of colder groundwater takes place.

Injection of local return water (3 l/s) can increase the total production to 19-20 l/s. Injection and tracer studies shows that well 11 and possible injection wells (LPÝ-6 and LPÝ-8) are directly connected, most likely through the reservoir fracture system. Therefore, injection rates must be restricted to 1-2 l/s per well, for an efficient heat recovery.

The cooling predicted may cause well 11 to cease to be economical sometime in the future. However, the known strike and dip of the upflow zone allows for a precise location of a new production well that will intersect the upflow zone at a greater depth than well 11, where little or no cooling is expected. In addition the chemical content of hot water from the Thelamörk geothermal system indicates a reservoir temperature of up to 100 °C at greater depth in the system.

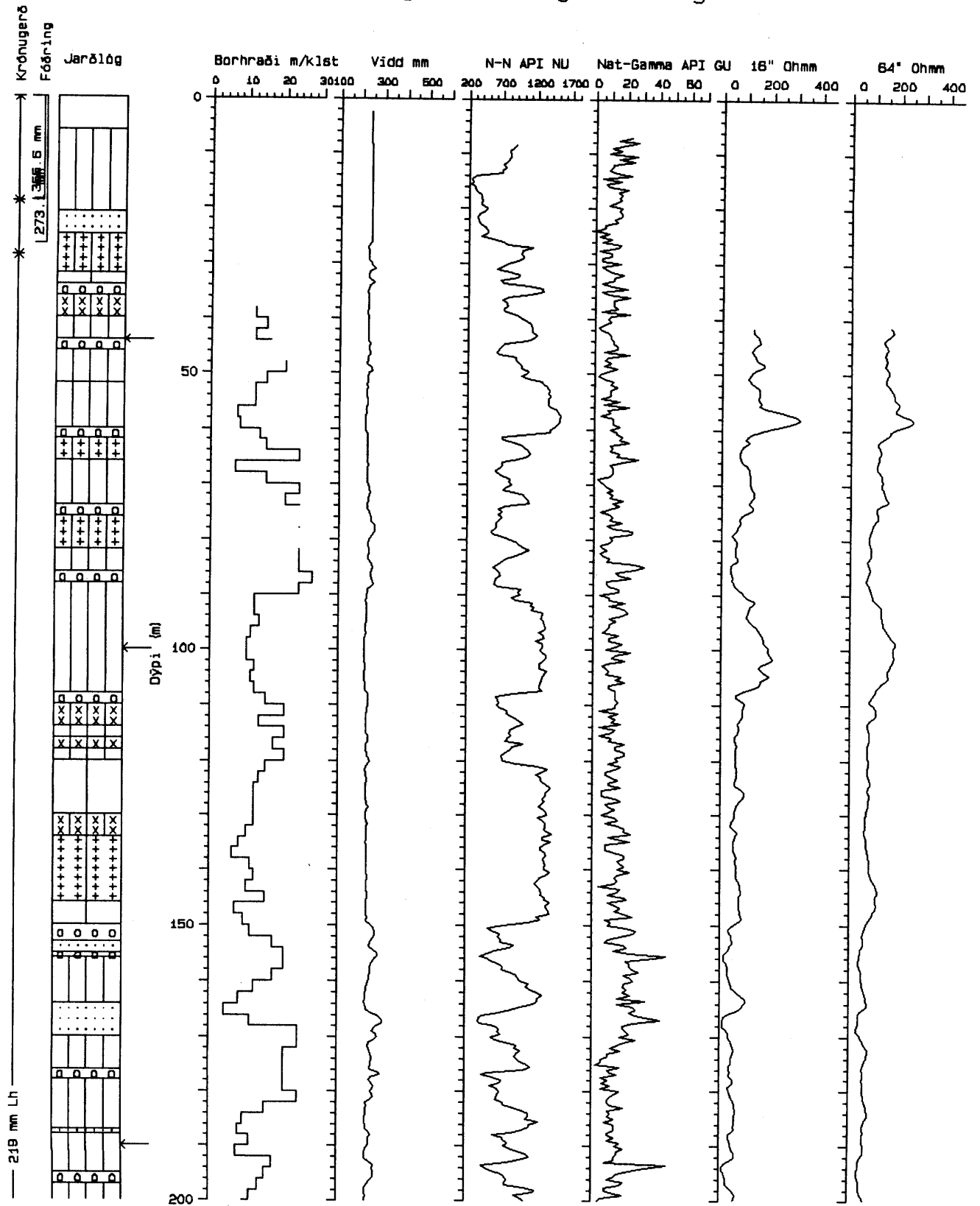
The production cost for hot water from the Thelamörk field is estimated at 7.6 mills/kWh<sub>t</sub> including investment in exploration and wells since 1941. This cost is estimated at 5.4 mills/kWh<sub>t</sub> if only the pipeline to Akureyri is included. This energy price compares favorably with the average hot water consumer price in Iceland and present electricity prices, which are temporarily heavily subsidized. On the basis of this study, Hitaveita Akureyrar has already decided to exploit the Thelamörk area. Hot water from the field is expected to start flowing to Akureyri in the fall of 1994.

## VIÐAUKI A

*Jarðlagagreining og borholumælingar í holu LPN-10*



# Laugaland belamörk LPÝ-10 jarðlagasnið og mælingar



Kröfnugerd

Jarðlög

Borhraði m/klst

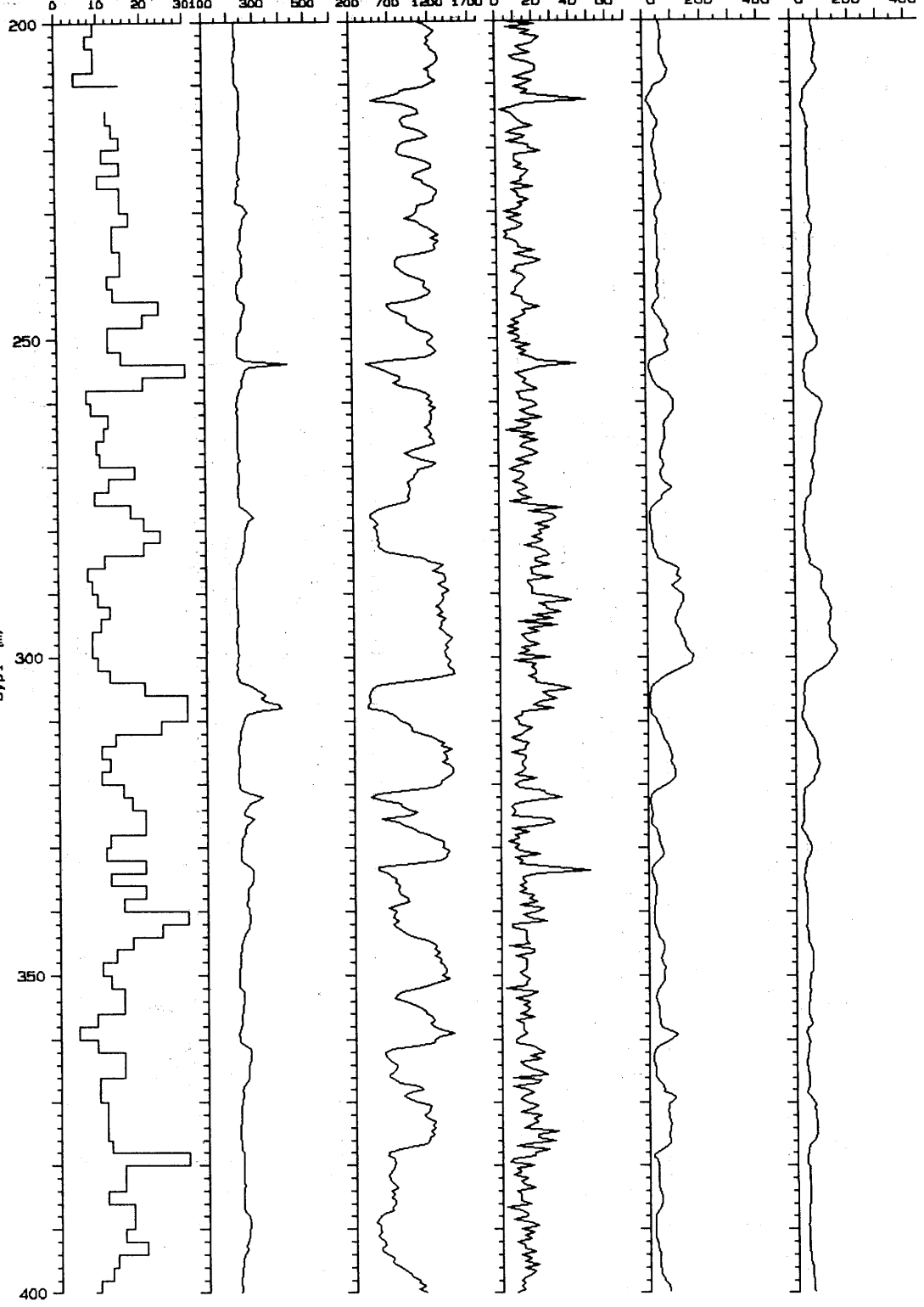
Vidd mm

N-N API NU

Nat-Gamma API GU

16" Ohmm

84" Ohmm



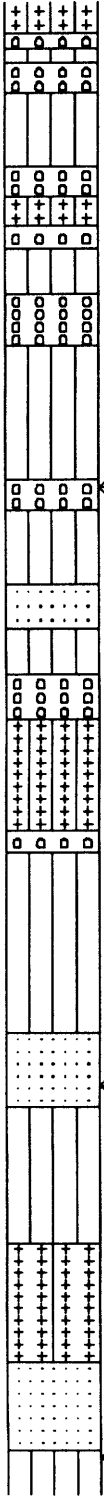
— 219 mm LH

Króninguró

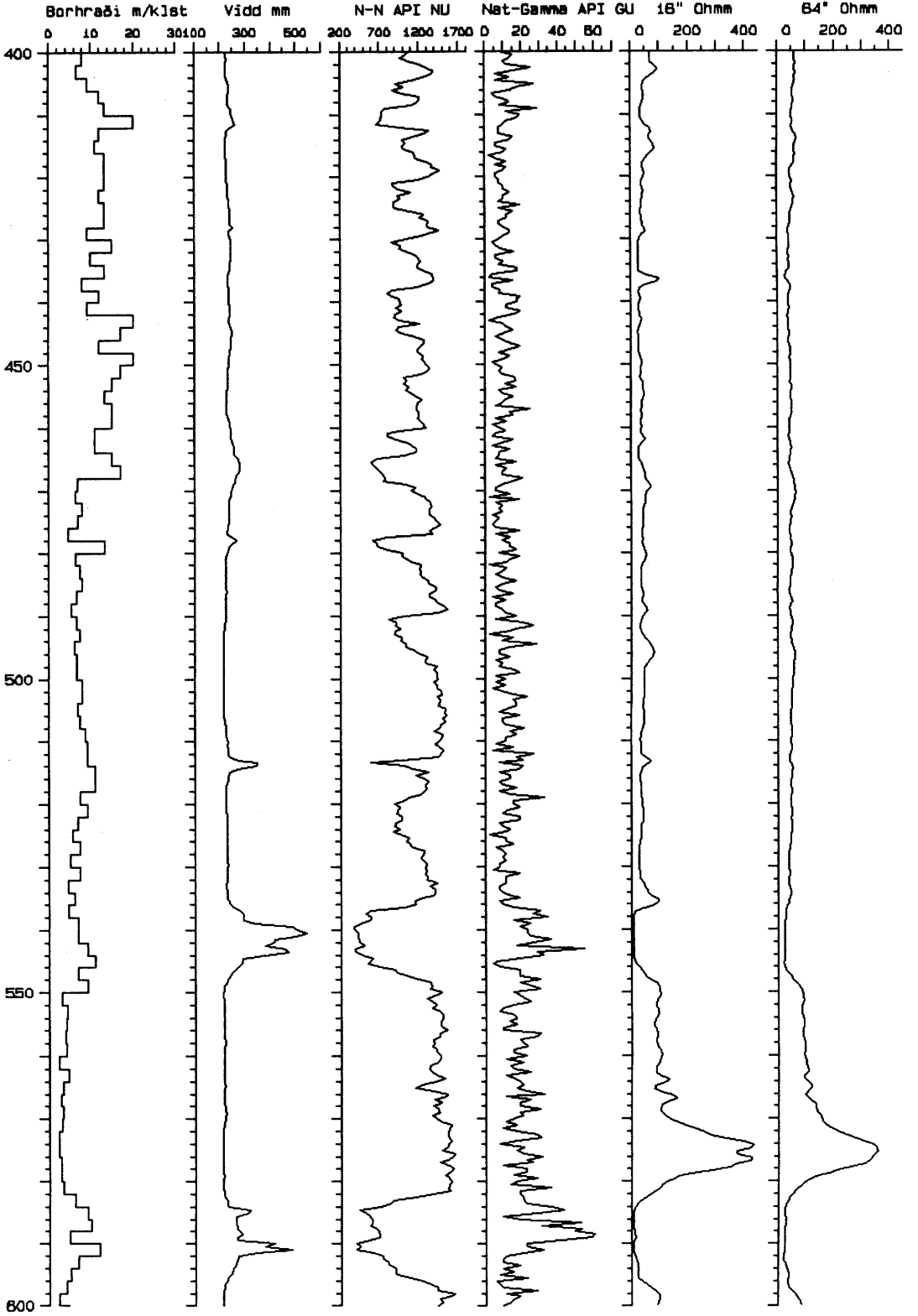
\* 218 mm Lh

— 215.9 mm

Jarðlög



Dýpi (m)

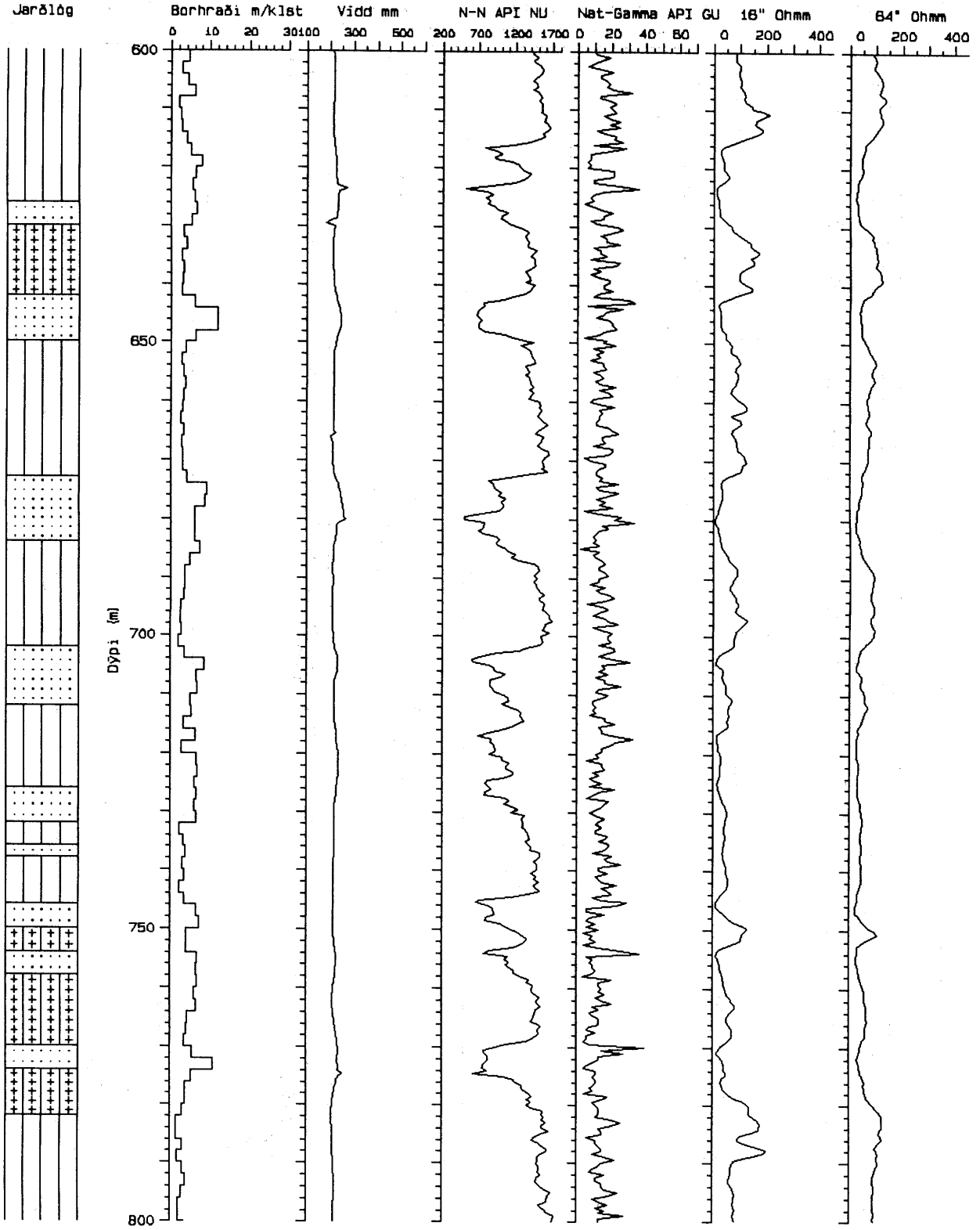




Krönugerð

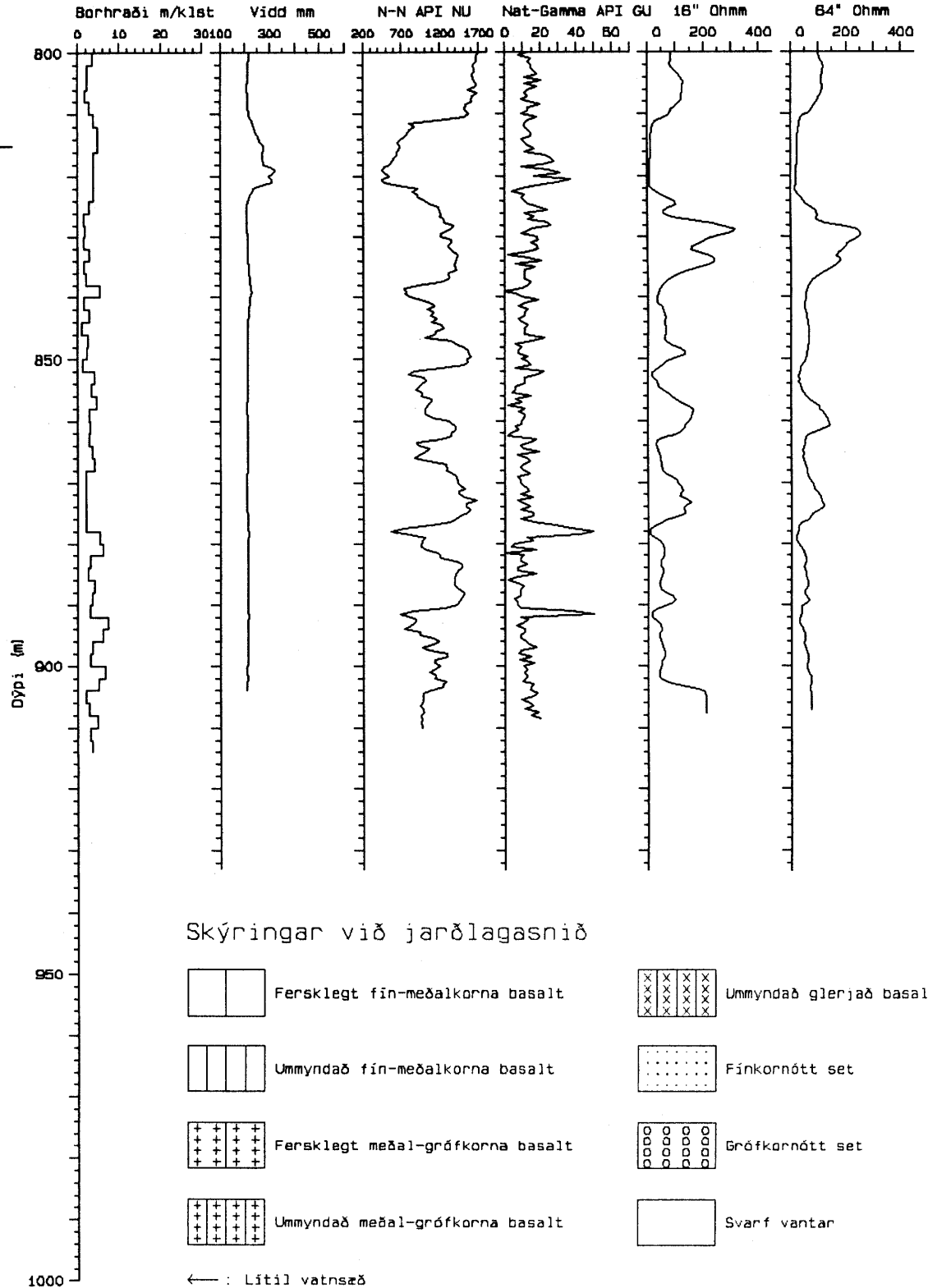
Jarðlög

215.9 mm



Kröfnugerð

Jarðlög



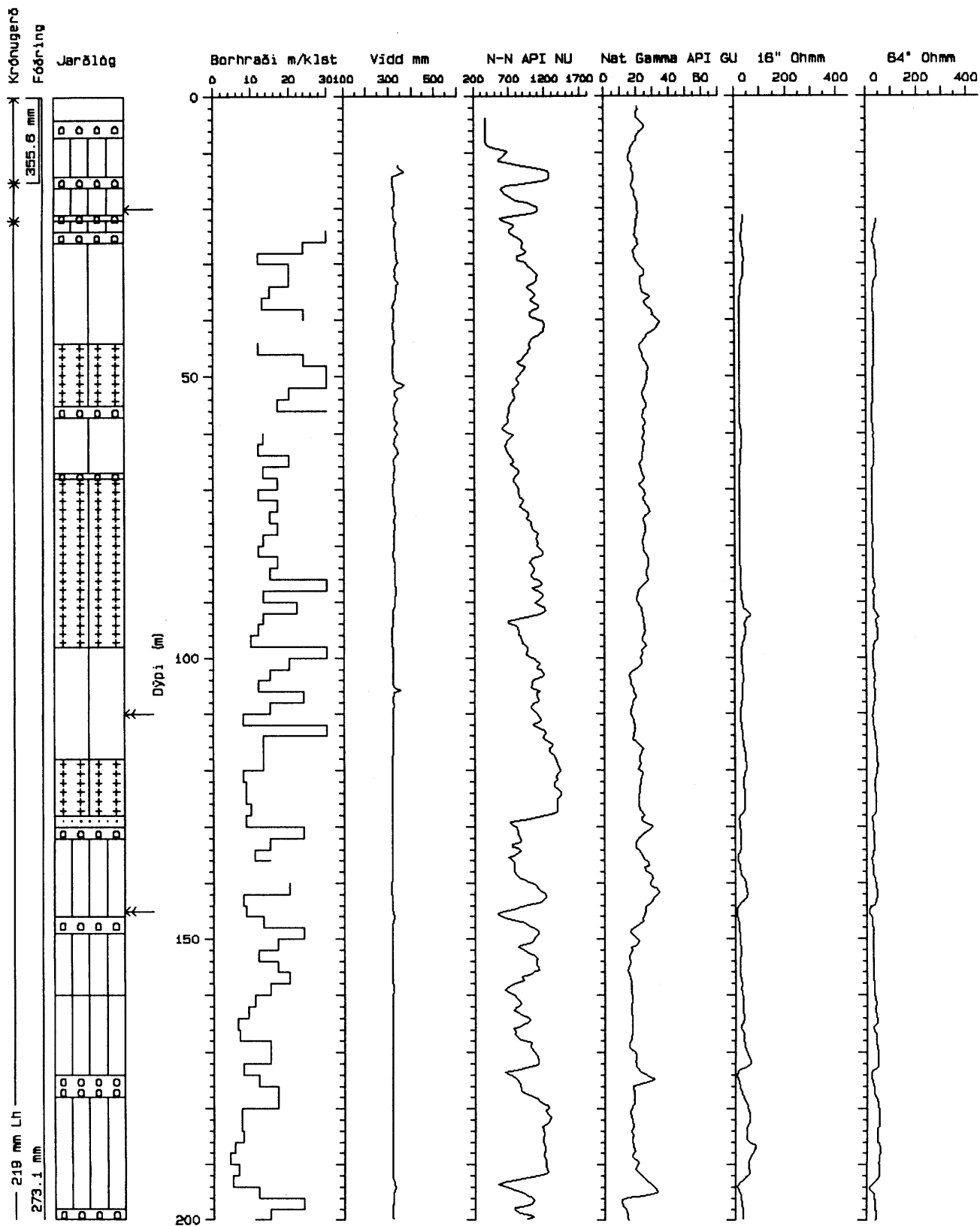


## **VIÐAUKI B**

*Jarðlagagreining og borholumælingar í holu LPN-11*

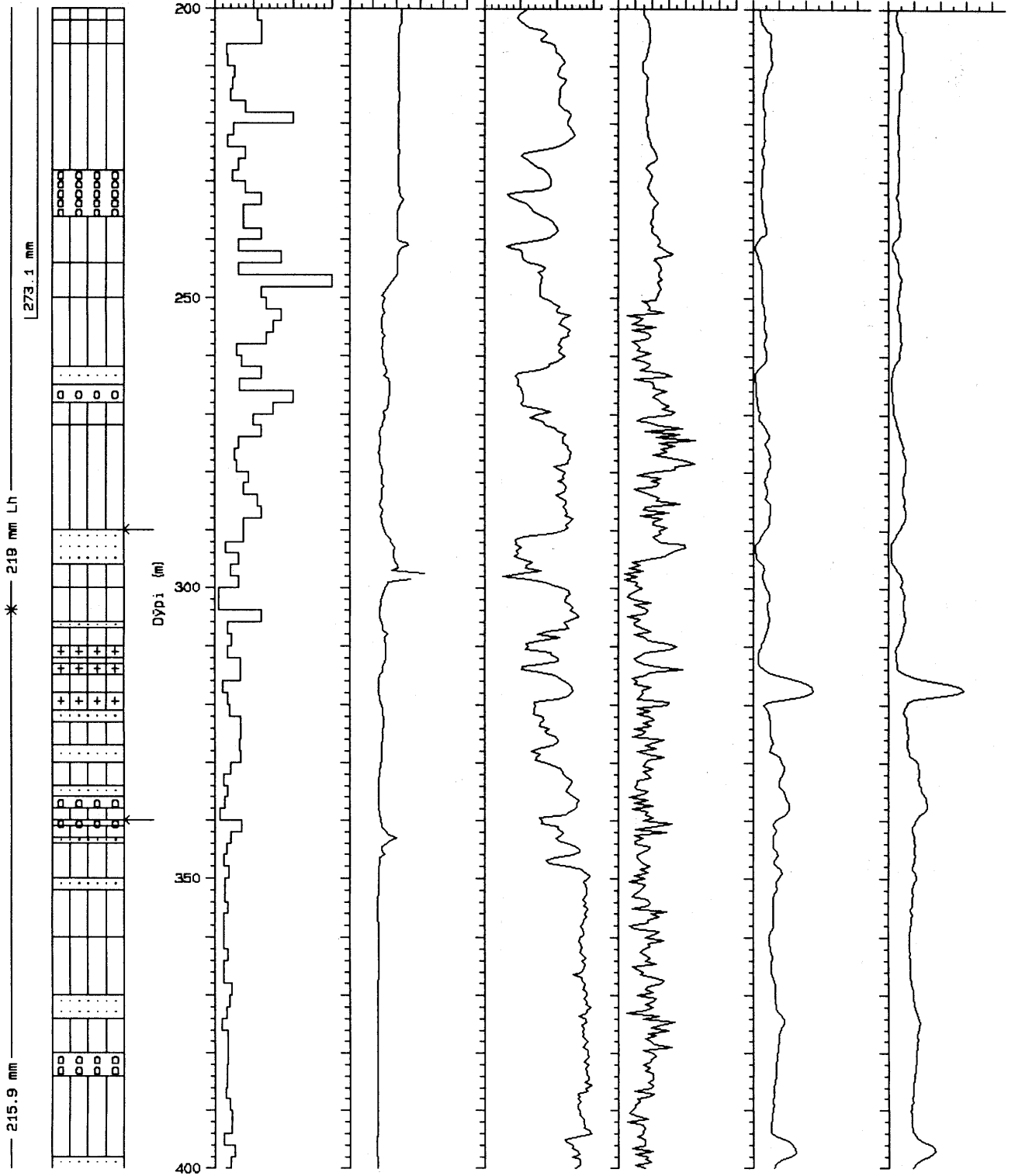


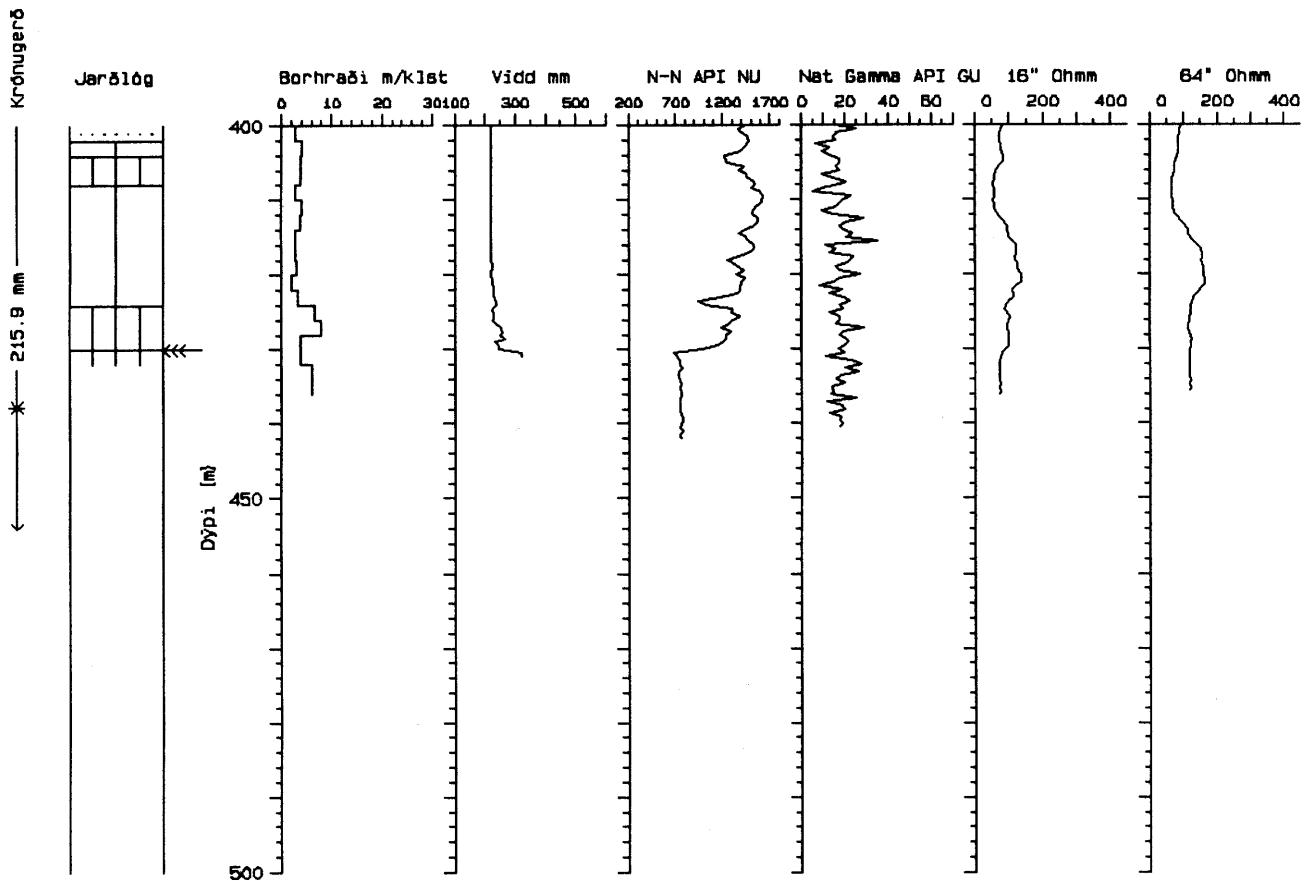
# Laugaland Pelamörk LPÝ-11 jarðlagasnið og mælingar



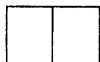
Króngærð  
Fóðring

Jarðblög

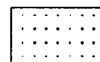




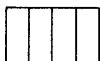
Skýringar við jarðlagasnið



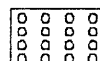
Fersklegt fín-meðalkorna basalt



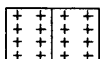
Fínkornótt set



Ummyndað fín-meðalkorna basalt



Grófkornótt set



Fersklegt meðal-grófkorna basalt



Svarf vantar



Ummyndað meðal-grófkorna basalt

← : Lítil vatnsæð

←← : Stór vatnsæð

←← : Meðal vatnsæð





*VIÐAUKI C*

*Fóðrun holu LPN-11*



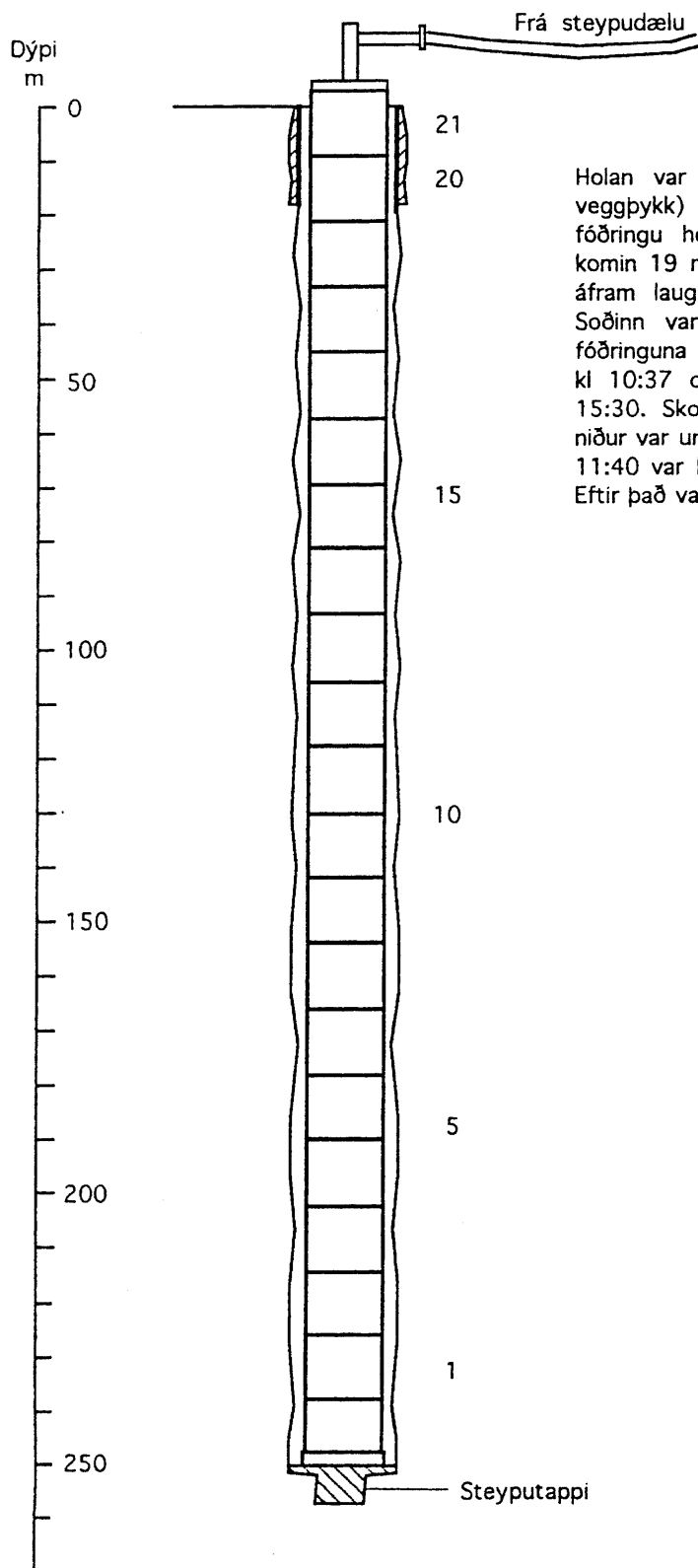
# ORKUSTOFNUN JHD

HOLA LP-11 VIÐ LAUGALANDI Á ÞELAMÖRK

Mynd 1, LP-11

Fóðrun holu í 250 m

1992-08-16 SBen



Holan var fóðruð með 10 3/4" fóðurrörum (8 mm veggþykki) niður á steyputappa í 250 m dýpi. Suða á fóðringu hófst föstudaginn 7-8-92 kl. 8:00 og voru komin 19 rör í holuna kl. 22 þegar hætt var. Haldið var áfram laugardaginn 8-8-92 og fóðrun lokið kl 10:00. Soðinn var flans með tengingu fyrir steypuslöngu á fóðringuna og var því lokið kl. 10:30. Kæling holu hófst kl 10:37 og var dælt á holuna fram að steypingu kl 15:30. Skolvatnsmagn var um 30 l/s. Hiti á kælivatni niður var um 9 C° en kl 11:00 var hiti upp um 30 C° , kl. 11:40 var hiti upp 16 C° og kl. 13:00 var hitinn 13 C°. Eftir það var hitamunur á vatni niður og upp 5 C°.

### Röralning og lengdir

Nr.	m
1	11,53
2	12,07
3	12,19
4	12,18
5	12,18
6	12,14
7	12,13
8	11,96
9	12,18
10	12,08
11	12,19
12	12,19
13	12,19
14	12,18
15	11,20
16	12,19
17	12,19
18	12,19
19	12,19
20	12,18
21	12,15

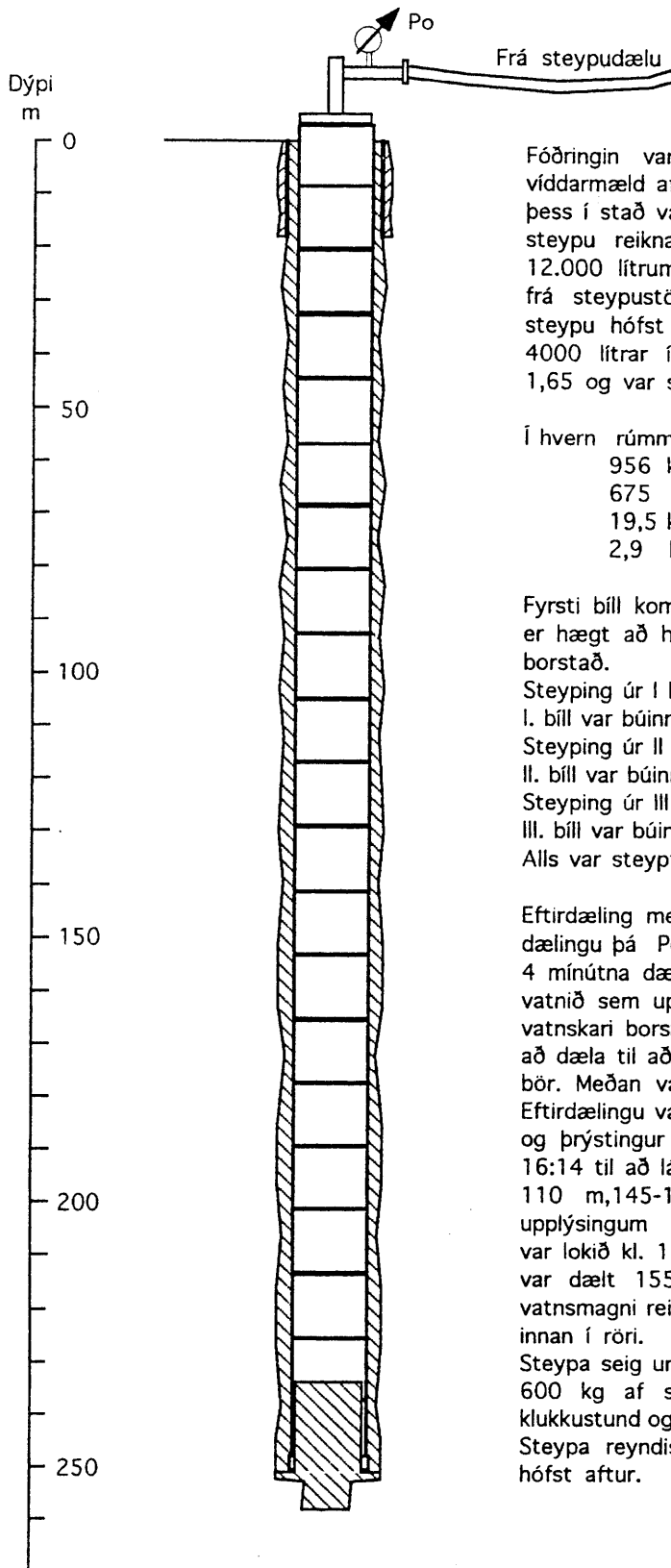
# ORKUSTOFNUN JHD

HOLA LP-11 VIÐ LAUGALANDI Á PELAMÖRK

Mynd 2, Lb-11

Steyping fódringar

1992-08-19 SBen



Fóðringin var steypst laugardaginn 8-8-92. Holan var víddarmæld af Orkustofnun en rúmtak steypu ekki reiknað. Þess í stað var vídd áætluð að meðaltali 12 3/4". Rúmtak steypu reiknast 6.000 lítrar utan röra. Steypst var úr 12.000 lítrum (100% umframmagn). Steypa var fengin frá steypustöðinni Möl og Sandur á Akureyri. Blöndun steypu hófst kl. 14:20 og var steypan sett í þrjá bíla, 4000 lítrar í hvern bíl. Eðlisþyngd steypu var ákveðin 1,65 og var steypublandan eftirfarandi.

Í hvern rúmmeter af steypu fóru:  
956 kg af sementi.  
675 lítrar af vatni.  
19,5 kg af geli.  
2,9 kg af tafefni.

Fyrsti bíll kom að bor kl. 15:03 og þriðji kl. 15:35. Ekki er hægt að hefja steypingu fyrr en allir bílar eru komir á borstað.

Steyping úr I bíl hófst kl. 15:38.

I. bíll var búinn kl. 15:46 (tók 8 mínútur að tæma hann).

Steyping úr II bíl hófst kl. 15:48.

II. bíll var búinn kl. 15:54 (tók 6 mínútur að tæma hann).

Steyping úr III bíl hófst kl. 15:55.

III. bíll var búinn kl. 16:02 (tók 7 mínútur að tæma hann).

Alls var steypst úr 12.000 lítrum af steypublönu.

Eftirdæling með vatni hófst kl. 16:04 og var þrýstingur í dælingu þá Po um 5 bör. Þrýstingur var Po = 20 bör eftir 4 mínútna dælingu (kl. 16:08) og fór þá að koma litur á vatnið sem upp kom. Búið var að dæla einum meter úr vatnskari borsins (8.000 lítrum) kl. 16:10 og var þá hætt að dæla til að safna vatni í karið. Þrýstingur var þá Po=20 bör. Meðan vatni var safnað seig sementsborð í holunni. Eftirdælingu var haldið áfram kl. 16:12 og kom steypa upp og þrýstingur var Po = 20 bör. Hægt var á dælingu kl. 16:14 til að láta sementið leka út í æðar sem voru í 105-110 m, 145-150 m og 175-180 m dýpi samkvæmt upplýsingum mælingamanna Orkustofnunar. Eftirdælingu var lokið kl. 16:30 og var þrýstingur þá Po = 20 bör. Alls var dælt 155 cm úr kari (12.400 lítrum). Með þessu vatnsmagni reiknaðist að steypa ætti að vera í 244 m dýpi innan í röri.

Steypa seig um 20 m milli röra og var steypst utan með úr 600 kg af sementi (um 500 l af steypu) eftir eina klukkustund og holan fyllt upp.

Steypa reyndist vera í 234 m innan í röri þegar borun hófst aftur.

## VIÐAUKI D

*Vatnsborðsmælingar í holum 2-11 á Laugalandi*



VATNSBORDSMÆLINGAR Í HOLU 2

Dagsetning	Vatna- borð (m)	Dagsetning	Vatna- borð (m)	Dagsetning	Vatna- borð (m)	Dagsetning	Vatna- borð (m)	Dagsetning	Vatna- borð (m)
05-Nov-89 10:00	-2.0	30-Jul-92 13:49	7.05	31-Jul-92 07:07	10.60	17-Aug-92 10:45	10.40	19-Nov-92 10:20	111.0
05-Nov-89 15:45	5.22	30-Jul-92 13:50	7.65	31-Jul-92 09:57	7.50	17-Aug-92 11:15	10.00	19-Nov-92 21:05	110.5
05-Nov-89 16:08	5.47	30-Jul-92 13:51	8.19	31-Jul-92 10:33	7.42	17-Aug-92 12:00	9.30	20-Nov-92 15:30	113.0
05-Nov-89 16:10	5.52	30-Jul-92 13:52	8.68	31-Jul-92 13:01	5.57	17-Aug-92 12:40	8.70	21-Nov-92 11:09	115.5
05-Nov-89 16:13	5.52	30-Jul-92 13:53	9.14	31-Jul-92 13:32	5.37	17-Aug-92 13:05	8.36	22-Nov-92 13:15	118.0
05-Nov-89 16:15	5.54	30-Jul-92 13:54	9.60	31-Jul-92 15:59	3.81	17-Aug-92 13:28	8.05	23-Nov-92 15:00	119.5
05-Nov-89 16:39	5.76	30-Jul-92 13:55	10.02	31-Jul-92 16:30	3.34	17-Aug-92 14:00	7.60	27-Nov-92 11:00	126.0
05-Nov-89 18:08	6.79	30-Jul-92 13:56	10.45	31-Jul-92 18:46	2.19	17-Aug-92 14:30	7.25	30-Nov-92 13:20	52.3
05-Nov-89 18:09	6.80	30-Jul-92 13:57	10.85	31-Jul-92 19:20	1.89	17-Aug-92 14:45	7.00	30-Nov-92 13:40	51.5
05-Nov-89 18:18	6.81	30-Jul-92 13:58	11.25	31-Jul-92 22:55	0.52	28-Oct-92 12:00	0.	30-Nov-92 13:45	51.35
05-Nov-89 18:27	6.80	30-Jul-92 13:59	11.64	31-Jul-92 23:03	0.47	10-Nov-92 15:00	.00	30-Nov-92 14:00	51.0
05-Nov-89 18:33	6.795	30-Jul-92 15:30	24.81	01-Aug-92 05:59	-2.2	11-Nov-92 10:03	.50	30-Nov-92 14:28	51.5
05-Nov-89 18:39	6.75	30-Jul-92 15:31	25.04	01-Aug-92 09:01	-2.4	11-Nov-92 10:45	.50	30-Nov-92 15:40	49.0
05-Nov-89 18:58	7.00	30-Jul-92 16:25	36.27	01-Aug-92 09:33	-2.4	11-Nov-92 11:00	.10	30-Nov-92 17:20	47.4
05-Nov-89 19:10	7.10	30-Jul-92 16:26	36.44	02-Aug-92 10:55	-2.4	11-Nov-92 11:12	.35	30-Nov-92 18:56	45.5
05-Nov-89 19:15	7.02	30-Jul-92 17:09	43.11	03-Aug-92 11:20	-2.4	11-Nov-92 11:18	.45	30-Nov-92 20:10	44.8
05-Nov-89 19:30	6.91	30-Jul-92 17:10	43.25	04-Aug-92 13:35	-2.3	11-Nov-92 11:27	.55	30-Nov-92 21:00	44.0
05-Nov-89 19:50	6.75	30-Jul-92 17:50	48.41	05-Aug-92 10:25	-2.2	11-Nov-92 11:42	1.00	30-Nov-92 23:10	43.6
05-Nov-89 19:51	6.73	30-Jul-92 17:51	48.52	06-Aug-92 11:15	-2.2	11-Nov-92 11:51	1.12	01-Dec-92 00:45	42.8
05-Nov-89 20:08	6.52	30-Jul-92 18:15	51.27	07-Aug-92 10:32	-2.4	11-Nov-92 12:08	1.40	01-Dec-92 02:10	39.0
05-Nov-89 20:22	6.33	30-Jul-92 18:16	51.38	08-Aug-92 14:55	-1.8	11-Nov-92 12:30	1.90	01-Dec-92 03:35	38.5
05-Nov-89 20:35	6.14	30-Jul-92 18:31	52.80	09-Aug-92 13:15	-2.2	11-Nov-92 13:00	3.15	01-Dec-92 04:56	37.3
05-Nov-89 20:42	6.00	30-Jul-92 18:31	52.40	10-Aug-92 14:30	-2.6	11-Nov-92 13:07	3.35	01-Dec-92 13:05	35.0
05-Nov-89 20:50	5.86	30-Jul-92 18:32	52.10	16-Aug-92 07:50	1.38	11-Nov-92 13:20	3.85	02-Dec-92 15:30	66.5
05-Nov-89 21:05	5.64	30-Jul-92 18:33	51.80	16-Aug-92 08:08	1.15	11-Nov-92 13:36	4.63	09-Dec-92 13:51	123.5
05-Nov-89 21:15	5.45	30-Jul-92 18:33	51.60	16-Aug-92 08:30	1.00	11-Nov-92 13:53	5.50	09-Dec-92 17:04	124.
05-Nov-89 21:32	5.13	30-Jul-92 18:34	51.20	16-Aug-92 08:40	6.70	11-Nov-92 14:15	6.95	09-Dec-92 20:19	124.5
05-Nov-89 21:49	4.80	30-Jul-92 18:36	50.70	16-Aug-92 09:10	20.3	11-Nov-92 14:33	7.15	09-Dec-92 23:27	125.
05-Nov-89 22:30	4.02	30-Jul-92 18:37	50.30	16-Aug-92 09:32	25.7	11-Nov-92 14:47	8.27	10-Dec-92 02:59	125.5
05-Nov-89 23:00	3.48	30-Jul-92 18:38	50.00	16-Aug-92 10:00	33.5	11-Nov-92 15:13	9.75	10-Dec-92 06:59	126.
05-Nov-89 23:45	2.69	30-Jul-92 18:40	49.50	16-Aug-92 10:30	39.95	11-Nov-92 16:55	14.42	10-Dec-92 10:39	126.5
06-Nov-89 00:36	1.88	30-Jul-92 18:41	49.00	16-Aug-92 11:04	46.05	11-Nov-92 17:15	15.60	10-Dec-92 12:12	127.
06-Nov-89 02:06	0.46	30-Jul-92 18:43	48.50	16-Aug-92 11:32	50.70	11-Nov-92 18:45	19.30	10-Dec-92 14:31	127.5
06-Nov-89 02:14	0.36	30-Jul-92 18:45	48.00	16-Aug-92 12:15	55.50	11-Nov-92 22:30	26.80	10-Dec-92 16:58	128.
15-Jan-90 10:30	-1	30-Jul-92 18:47	47.50	16-Aug-92 12:45	58.90	12-Nov-92 08:55	41.75	10-Dec-92 19:17	128.5
15-Jan-90 14:00	-4.2	30-Jul-92 18:49	47.00	16-Aug-92 13:20	56.00	12-Nov-92 10:00	42.90	10-Dec-92 22:01	129.
16-Jan-90 13:55	-7.4	30-Jul-92 18:52	46.50	16-Aug-92 13:48	60.00	12-Nov-92 10:30	44.30	11-Dec-92 01:15	129.5
17-Jan-90 08:20	-10.	30-Jul-92 18:54	46.00	16-Aug-92 14:12	56.05	12-Nov-92 14:40	48.30	11-Dec-92 04:30	130.
20-Feb-90 12:00	-1	30-Jul-92 18:57	45.50	16-Aug-92 14:50	59.50	12-Nov-92 17:10	50.90	11-Dec-92 08:04	130.5
02-Mar-90 10:45	-11.	30-Jul-92 19:07	43.80	16-Aug-92 15:08	56.00	13-Nov-92 10:45	68.9	11-Dec-92 11:28	131.
02-Mar-90 10:45	-10.	30-Jul-92 19:25	41.20	16-Aug-92 15:30	52.50	13-Nov-92 11:50	69.0	11-Dec-92 14:56	131.5
03-Mar-90 13:42	-10.3	30-Jul-92 19:27	41.00	16-Aug-92 16:00	49.15	13-Nov-92 14:45	70.66	11-Dec-92 18:15	132.
04-Mar-90 13:44	-10.	30-Jul-92 19:36	39.93	16-Aug-92 16:30	46.4	13-Nov-92 15:09	70.5	11-Dec-92 21:40	132.5
05-Mar-90 10:55	-9.9	30-Jul-92 19:54	38.00	16-Aug-92 17:00	43.52	13-Nov-92 18:11	73.0	12-Dec-92 01:33	133.
08-Mar-90 13:25	-10.1	30-Jul-92 20:15	36.02	16-Aug-92 17:30	43.75	14-Nov-92 00:37	75.5	12-Dec-92 05:40	133.5
15-Mar-90 10:20	-10.1	30-Jul-92 20:32	34.63	16-Aug-92 18:10	41.48	14-Nov-92 04:39	78.0	12-Dec-92 10:19	134.
21-Jun-90 17:00	-10.	30-Jul-92 20:34	34.40	16-Aug-92 18:41	37.57	14-Nov-92 10:20	80.1	12-Dec-92 15:28	134.5
27-Sep-90 11:00	-10.9	30-Jul-92 20:36	34.30	16-Aug-92 19:22	35.45	14-Nov-92 12:03	80.5	12-Dec-92 20:19	135.
14-Jul-92 16:46	-8.4	30-Jul-92 20:37	34.20	16-Aug-92 19:46	34.30	14-Nov-92 17:14	83.0	13-Dec-92 01:22	135.5
14-Jul-92 18:16	-8.4	30-Jul-92 20:40	34.00	16-Aug-92 20:03	33.50	15-Nov-92 00:59	85.5	13-Dec-92 06:04	136.
14-Jul-92 18:32	-8.4	30-Jul-92 20:54	33.00	16-Aug-92 20:19	32.80	15-Nov-92 05:25	88.0	13-Dec-92 08:56	136.5
14-Jul-92 18:56	-8.5	30-Jul-92 21:20	31.27	16-Aug-92 20:50	31.50	15-Nov-92 10:30	89.7	13-Dec-92 12:21	137.
14-Jul-92 19:20	-8.5	30-Jul-92 21:23	31.07	16-Aug-92 21:15	30.50	15-Nov-92 14:29	90.5	13-Dec-92 15:22	137.5
14-Jul-92 19:57	-8.5	30-Jul-92 21:40	30.00	16-Aug-92 21:28	30.0	15-Nov-92 21:01	93.0	13-Dec-92 18:35	138.
14-Jul-92 20:58	-8.5	30-Jul-92 21:58	29.00	16-Aug-92 21:54	29.0	16-Nov-92 06:41	95.5	13-Dec-92 21:49	138.5
14-Jul-92 21:57	-8.5	30-Jul-92 22:22	27.68	16-Aug-92 22:55	29.0	16-Nov-92 10:15	96.3	14-Dec-92 01:42	139.
29-Jul-92 20:13	3.60	30-Jul-92 22:23	27.64	16-Aug-92 23:20	26.0	16-Nov-92 14:56	98.0	14-Dec-92 05:17	139.5
29-Jul-92 21:15	3.98	30-Jul-92 22:24	27.58	16-Aug-92 23:53	25.0	17-Nov-92 02:01	100.5	14-Dec-92 08:49	140.
30-Jul-92 00:07	4.56	30-Jul-92 22:25	27.53	17-Aug-92 00:23	24.0	17-Nov-92 09:55	102.0	14-Dec-92 12:40	140.5
30-Jul-92 08:04	5.20	31-Jul-92 00:39	21.53	17-Aug-92 08:10	13.08	17-Nov-92 12:47	103.0	14-Dec-92 16:16	141.
30-Jul-92 09:45	5.30	31-Jul-92 07:00	10.80	17-Aug-92 08:47	12.38	18-Nov-92 01:56	105.5	14-Dec-92 20:19	141.5
30-Jul-92 12:50	5.42	31-Jul-92 07:03	10.70	17-Aug-92 10:00	11.17	19-Nov-92 05:10	108.0	15-Dec-92 01:52	142.





VATNSBORÐSMÆLINGAR Í HOLU 3

Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)
19-Nov-89 17:00	-6.0	14-Jul-92 20:03	-17.	09-Aug-92 14:00	-12.	12-Nov-92 10:30	32.8	29-Nov-92 11:40	61.2
20-Nov-89 13:00	-5.5	14-Jul-92 21:01	-17.	10-Aug-92 14:15	-12.	12-Nov-92 14:40	37.1	29-Nov-92 12:40	60.3
20-Nov-89 15:00	-5.3	14-Jul-92 21:59	-17.	17-Aug-92 13:00	0.0	13-Nov-92 10:45	52.7	29-Nov-92 14:00	55.2
20-Nov-89 16:00	-5.2	29-Jul-92 18:15	-7.8	28-Oct-92 12:00	-18.	13-Nov-92 14:45	55.1	29-Nov-92 20:25	51.3
20-Nov-89 18:00	-5.1	29-Jul-92 20:13	-7.5	11-Nov-92 13:00	-4	14-Nov-92 10:20	64.3	30-Nov-92 11:00	39.0
20-Nov-89 19:45	-5.1	30-Jul-92 12:50	-5.8	11-Nov-92 14:33	-0.6	15-Nov-92 10:30	73.5	30-Nov-92 14:08	36.7
21-Jun-90 19:30	-17.	02-Aug-92 10:50	-12.	11-Nov-92 15:08	0.45	16-Nov-92 10:30	80.7	30-Nov-92 16:00	35.0
27-Sep-90 11:40	-18.	03-Aug-92 11:20	-10.	11-Nov-92 16:00	3.05	17-Nov-92 10:00	86.9	01-Dec-92 13:30	21.4
14-Jul-92 16:42	-17.	04-Aug-92 13:30	-9.8	11-Nov-92 16:55	4.93	19-Nov-92 10:20	95.8	02-Dec-92 08:15	43.5
14-Jul-92 18:18	-17.	05-Aug-92 10:15	-3.0	11-Nov-92 18:45	9.80	24-Nov-92 13:45	106.	02-Dec-92 15:45	51.7
14-Jul-92 18:34	-17.	06-Aug-92 11:10	-4.5	11-Nov-92 22:30	16.7	27-Nov-92 10:40	111	03-Dec-92 13:30	68.8
14-Jul-92 18:58	-17.	07-Aug-92 10:25	-10.	12-Nov-92 08:55	31.2	29-Nov-92 10:55	62.0	07-Dec-92 14:05	103.
14-Jul-92 19:22	-17.	08-Aug-92 14:50	-11.						

VATNSBORÐSMÆLINGAR Í HOLU 4

Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)
11-Feb-71 12:00	1.7	07-Dec-92 15:30	5.15	14-Jun-93 09:28	3.13	01-Jul-93 09:32	3.34	14-Aug-93 13:25	5.23
15-Oct-89 12:00	3.3	10-Dec-92 10:50	5.45	15-Jun-93 09:45	3.15	02-Jul-93 10:05	3.32	15-Aug-93 13:28	5.19
14-Apr-83 12:00	1.7	08-Jan-93 11:25	3.5	16-Jun-93 10:07	3.12	05-Jul-93 09:53	3.30	16-Aug-93 14:40	5.16
27-Sep-90 11:35	2.75	18-Mar-93 10:45	3.0	17-Jun-93 09:08	3.11	07-Jul-93 11:08	3.30	17-Aug-93 14:02	5.13
11-Nov-92 16:00	2.45	18-May-93 11:30	3.66	18-Jun-93 09:50	3.13	09-Jul-93 09:59	3.32	18-Aug-93 13:58	5.07
12-Nov-92 10:45	2.86	18-May-93 11:35	3.66	21-Jun-93 17:00	3.18	14-Jul-93 10:52	3.44	19-Aug-93 14:25	5.00
13-Nov-92 14:30	3.32	22-May-93 21:25	3.70	22-Jun-93 09:24	3.18	19-Jul-93 09:50	3.65	20-Aug-93 13:36	4.96
14-Nov-92 10:45	3.85	06-Jun-93 15:02	3.28	23-Jun-93 09:38	3.22	23-Jul-93 09:50	4.08	21-Aug-93 12:53	4.88
15-Nov-92 11:00	4.30	07-Jun-93 08:22	3.25	24-Jun-93 09:34	3.25	11-Aug-93 09:45	5.08	22-Aug-93 08:40	4.78
16-Nov-92 11:00	4.50	09-Jun-93 10:27	3.27	25-Jun-93 09:27	3.31	11-Aug-93 15:35	5.10	26-Aug-93 08:40	4.70
17-Nov-92 10:30	4.80	10-Jun-93 10:12	3.25	27-Jun-93 09:10	3.38	12-Aug-93 09:00	5.20	30-Aug-93 14:42	4.71
19-Nov-92 10:50	5.30	11-Jun-93 11:15	3.24	28-Jun-93 10:43	3.35	12-Aug-93 21:34	5.23	06-Sep-93 08:40	4.38
24-Nov-92 13:45	6.00	12-Jun-93 09:20	3.23	29-Jun-93 09:50	3.35	13-Aug-93 13:55	5.24	15-Sep-93 11:10	4.13
03-Dec-92 14:10	4.35	12-Jun-93 18:40	3.22						

VATNSBORÐSMÆLINGAR Í HOLU 7

Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)
17-Nov-89 08:00	50	18-Mar-93 14:05	62.0	30-May-93 16:28	61.9	20-Jun-93 09:20	44.7	16-Aug-93 14:27	35.7
17-Nov-89 15:00	14.6	17-May-93 16:30	64.9	31-May-93 09:47	61.1	21-Jun-93 09:56	44.5	17-Aug-93 13:42	33.9
10-Jan-90 16:40	-3	18-May-93 16:00	64.6	01-Jun-93 09:50	60.7	24-Jun-93 10:00	42.2	18-Aug-93 13:43	32.5
06-Apr-90 12:00	-1.6	19-May-93 01:12	64.6	02-Jun-93 10:51	59.8	25-Jun-93 09:47	43.4	19-Aug-93 14:05	30.4
27-Sep-90 14:50	-11.	19-May-93 11:45	64.5	03-Jun-93 15:16	58.7	05-Jul-93 09:37	40.6	20-Aug-93 13:20	28.7
11-Nov-92 08:00	-5.	20-May-93 10:42	64.5	04-Jun-93 17:05	59.7	07-Jul-93 10:47	40.1	21-Aug-93 12:32	27.2
14-Nov-92 12:00	21.9	21-May-93 10:27	64.6	05-Jun-93 09:42	56.7	09-Jul-93 09:42	39.8	22-Aug-93 13:09	26.7
15-Nov-92 12:00	26.0	24-May-93 14:27	64.6	06-Jun-93 15:18	56.2	14-Jul-93 10:34	39.5	30-Aug-93 14:25	20.4
16-Nov-92 11:30	29.0	25-May-93 15:15	64.6	07-Jun-93 08:37	55.4	11-Aug-93 08:59	38.7	06-Sep-93 13:40	15.1
17-Nov-92 11:00	31.2	25-May-93 22:12	64.4	08-Jun-93 14:29	53.5	11-Aug-93 15:12	39.7	10-Sep-93 13:56	11.7
19-Nov-92 11:20	35.0	26-May-93 07:52	64.6	09-Jun-93 09:50	51.7	12-Aug-93 08:46	40.7	15-Sep-93 10:10	13.7
26-Nov-92 13:45	42.0	26-May-93 14:23	64.2	10-Jun-93 09:50	50.7	12-Aug-93 21:20	40.2	27-Sep-93 13:20	9.7
03-Dec-92 14:25	25.3	26-May-93 17:15	64.0	11-Jun-93 10:48	50.2	13-Aug-93 13:35	39.7	04-Oct-93 14:53	8.7
07-Dec-92 15:50	39.0	27-May-93 10:10	63.9	16-Jun-93 10:26	46.9	14-Aug-93 13:08	38.2	11-Oct-93 11:25	9.2
10-Dec-92 11:05	43.7	28-May-93 10:21	63.4	17-Jun-93 09:26	46.4	15-Aug-93 13:00	36.7	18-Oct-93 11:10	7.7
22-Jan-93 14:35	57.0	29-May-93 15:01	62.7	18-Jun-93 10:05	46.1				

VATNSBORÐSMÆLINGAR Í HOLU 5

Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)
05-Nov-89 10:00	5.8	09-Nov-89 01:20	11.9	31-Jul-92 18:53	7.49	11-Nov-92 22:30	30.1	25-May-93 18:48	161.
05-Nov-89 19:10	20.0	09-Nov-89 01:21	11.9	31-Jul-92 23:06	4.87	12-Nov-92 08:55	44.5	25-May-93 20:35	161.
05-Nov-89 21:52	13.9	09-Nov-89 01:50	11.1	01-Aug-92 06:12	5.70	12-Nov-92 10:30	46.3	25-May-93 22:35	160.
05-Nov-89 21:53	13.9	09-Nov-89 02:20	10.3	01-Aug-92 09:03	5.33	12-Nov-92 14:40	50.5	26-May-93 00:23	160.
05-Nov-89 21:54	13.9	09-Nov-89 02:50	9.87	02-Aug-92 11:00	6.68	12-Nov-92 17:10	53.0	26-May-93 16:07	160.
05-Nov-89 22:27	12.4	09-Nov-89 03:50	9.15	03-Aug-92 11:25	5.34	13-Nov-92 10:45	66.1	26-May-93 18:22	159.
05-Nov-89 22:28	12.4	09-Nov-89 04:50	8.63	04-Aug-92 13:32	5.48	13-Nov-92 14:45	68.4	27-May-93 01:00	158.
05-Nov-89 22:29	12.4	09-Nov-89 12:00	7.6	05-Aug-92 10:30	5.68	14-Nov-92 10:20	78.0	27-May-93 08:24	157.
05-Nov-89 23:04	11.4	19-Nov-89 10:15	5.9	06-Aug-92 10:20	5.78	15-Nov-92 10:30	86.7	27-May-93 13:54	156.
05-Nov-89 23:05	11.4	20-Nov-89 09:45	5.40	07-Aug-92 10:35	5.26	16-Nov-92 10:30	94.0	27-May-93 18:31	156.
05-Nov-89 23:06	11.4	20-Nov-89 13:00	5.72	08-Aug-92 15:00	5.16	17-Nov-92 10:00	99.5	27-May-93 23:35	155.
05-Nov-89 23:39	10.4	20-Nov-89 15:00	6.08	09-Aug-92 13:35	5.19	19-Nov-92 10:20	108.	28-May-93 09:02	154.
05-Nov-89 23:40	10.4	20-Nov-89 17:00	6.25	10-Aug-92 14:35	4.90	22-Nov-92 13:15	118.	28-May-93 14:10	153.
05-Nov-89 23:41	10.4	20-Nov-89 17:30	6.33	16-Aug-92 07:54	6.95	24-Nov-92 13:45	120.	28-May-93 18:15	152.
06-Nov-89 00:32	9.37	20-Nov-89 18:00	6.40	16-Aug-92 08:12	6.75	27-Nov-92 10:40	124	28-May-93 23:15	152.
06-Nov-89 00:33	9.37	20-Nov-89 19:05	6.55	16-Aug-92 08:43	9.60	29-Nov-92 09:20	76.5	29-May-93 08:10	150.
06-Nov-89 00:34	9.37	20-Nov-89 19:55	7.00	16-Aug-92 09:14	18.4	29-Nov-92 10:30	75.0	29-May-93 14:07	149.
06-Nov-89 02:03	7.77	20-Nov-89 20:05	7.02	16-Aug-92 09:38	24.4	29-Nov-92 13:10	71.9	29-May-93 17:47	149.
06-Nov-89 02:04	7.77	20-Nov-89 20:13	7.11	16-Aug-92 10:04	29.9	29-Nov-92 14:00	70.8	29-May-93 23:36	148.
06-Nov-89 02:05	7.77	20-Nov-89 20:19	7.10	16-Aug-92 10:37	36.0	29-Nov-92 14:45	70.0	30-May-93 08:10	147.
06-Nov-89 02:26	7.47	20-Nov-89 20:30	7.09	16-Aug-92 11:08	41.2	29-Nov-92 20:15	64.5	30-May-93 15:50	145.
06-Nov-89 02:27	7.47	20-Nov-89 20:39	7.08	16-Aug-92 11:35	45.4	30-Nov-92 11:55	51.0	30-May-93 21:04	145.
06-Nov-89 02:28	7.47	20-Nov-89 20:44	7.05	16-Aug-92 12:17	51.1	30-Nov-92 14:00	49.4	31-May-93 08:40	143.
06-Nov-89 08:45	5.97	20-Nov-89 20:58	7.00	16-Aug-92 12:52	54.4	30-Nov-92 16:10	47.7	31-May-93 15:25	142.
06-Nov-89 08:46	5.97	20-Nov-89 21:02	6.89	16-Aug-92 13:25	54.6	01-Dec-92 13:40	34.0	31-May-93 21:39	141.
06-Nov-89 08:47	5.97	20-Nov-89 21:50	6.80	16-Aug-92 13:50	56.7	02-Dec-92 11:05	60.0	01-Jun-93 08:54	140.
06-Nov-89 11:36	5.79	20-Nov-89 22:40	6.61	16-Aug-92 14:19	56.5	02-Dec-92 15:55	65.6	01-Jun-93 14:57	139.
06-Nov-89 11:37	5.79	20-Nov-89 23:29	6.36	16-Aug-92 14:55	58.4	03-Dec-92 13:40	82.0	01-Jun-93 21:09	138.
06-Nov-89 11:38	5.79	20-Nov-89 23:30	6.36	16-Aug-92 15:10	57.8	07-Dec-92 14:20	118.	02-Jun-93 08:57	137.
06-Nov-89 13:04	5.81	20-Nov-89 23:31	6.36	16-Aug-92 15:36	55.7	10-Dec-92 13:25	129	02-Jun-93 14:38	136.
06-Nov-89 13:05	5.81	21-Nov-89 00:29	6.24	16-Aug-92 16:02	53.0	05-Jan-93 14:00	162.	02-Jun-93 20:30	136.
06-Nov-89 13:06	5.81	21-Nov-89 00:30	6.24	16-Aug-92 16:30	50.4	08-Jan-93 10:40	163.	03-Jun-93 07:25	134.
08-Nov-89 10:00	9.00	21-Nov-89 00:31	6.24	16-Aug-92 17:15	47.2	14-Jan-93 14:00	163.	03-Jun-93 14:21	133.
08-Nov-89 12:00	10.5	21-Nov-89 08:39	5.89	16-Aug-92 17:30	46.2	28-Jan-93 14:10	164.	03-Jun-93 20:54	133.
08-Nov-89 15:50	11.7	21-Nov-89 08:40	5.89	16-Aug-92 18:05	44.0	09-Feb-93 13:50	165.	04-Jun-93 08:15	132.
08-Nov-89 18:00	14.0	21-Nov-89 08:41	5.89	16-Aug-92 18:38	42.1	18-May-93 11:00	170.	04-Jun-93 16:23	131.
08-Nov-89 20:00	15.3	21-Nov-89 08:42	5.89	16-Aug-92 19:18	40.0	18-May-93 16:43	170.	04-Jun-93 20:12	130.
08-Nov-89 20:01	15.3	10-Jan-90 15:00	5.3	16-Aug-92 19:42	38.9	18-May-93 21:16	169.	05-Jun-93 08:48	129.
08-Nov-89 21:15	15.9	15-Jan-90 10:20	5.6	16-Aug-92 20:11	37.6	19-May-93 00:40	166.	05-Jun-93 13:24	128.
08-Nov-89 21:16	15.9	16-Jan-90 14:20	0.8	16-Aug-92 21:03	34.5	19-May-93 06:52	163.	05-Jun-93 18:28	128.
08-Nov-89 21:30	15.9	16-Jan-90 15:30	0.0	16-Aug-92 21:34	34.3	19-May-93 10:26	163.	06-Jun-93 07:10	127.
08-Nov-89 21:31	15.9	17-Jan-90 08:15	0.0	16-Aug-92 21:43	34.0	19-May-93 15:20	163.	06-Jun-93 13:37	127.
08-Nov-89 21:45	16.1	20-Feb-90 12:00	5.44	16-Aug-92 22:25	32.5	19-May-93 22:24	162.	06-Jun-93 17:58	126.
08-Nov-89 21:46	16.1	02-Mar-90 10:00	0.0	17-Aug-92 08:20	17.9	20-May-93 08:08	162.	07-Jun-93 07:16	125.
08-Nov-89 22:00	16.1	02-Apr-90 10:00	0.0	17-Aug-92 10:03	16.3	20-May-93 15:23	162.	07-Jun-93 13:22	124.
08-Nov-89 22:01	16.1	02-May-90 10:00	0.0	17-Aug-92 10:48	15.5	20-May-93 22:20	162.	07-Jun-93 18:02	124.
08-Nov-89 22:15	16.3	27-Sep-90 11:50	0.0	17-Aug-92 11:23	15.0	21-May-93 08:30	161.	08-Jun-93 08:05	123.
08-Nov-89 22:16	16.3	29-Jul-92 20:13	8.91	17-Aug-92 11:55	14.6	21-May-93 13:26	161.	08-Jun-93 13:36	122.
08-Nov-89 22:30	16.3	29-Jul-92 21:17	8.97	17-Aug-92 12:35	14.0	21-May-93 22:20	161.	08-Jun-93 18:36	122.
08-Nov-89 22:31	16.3	30-Jul-92 00:05	9.63	17-Aug-92 13:07	13.6	22-May-93 08:15	161.	09-Jun-93 08:43	121.
08-Nov-89 22:45	16.5	30-Jul-92 08:02	10.2	17-Aug-92 14:02	12.9	22-May-93 14:40	161.	09-Jun-93 18:44	120.
08-Nov-89 22:46	16.5	30-Jul-92 09:49	10.3	17-Aug-92 14:32	12.5	22-May-93 21:20	161.	10-Jun-93 08:43	119.
08-Nov-89 22:55	16.6	30-Jul-92 12:55	10.3	17-Aug-92 14:47	12.3	23-May-93 08:35	161.	10-Jun-93 18:40	119.
08-Nov-89 22:56	16.6	30-Jul-92 14:02	14.0	17-Aug-92 16:00	11.5	23-May-93 15:50	161.	11-Jun-93 08:46	118.
08-Nov-89 23:00	16.6	30-Jul-92 15:40	26.5	28-Oct-92 12:00	-2.8	23-May-93 22:40	161.	11-Jun-93 18:43	117.
08-Nov-89 23:15	16.4	30-Jul-92 15:41	26.7	11-Nov-92 10:03	6.25	24-May-93 08:40	161.	12-Jun-93 08:23	116.
08-Nov-89 23:50	14.6	30-Jul-92 16:29	34.5	11-Nov-92 12:30	7.27	24-May-93 15:31	161.	12-Jun-93 18:25	116.
08-Nov-89 23:51	14.6	30-Jul-92 16:30	34.7	11-Nov-92 13:07	8.66	24-May-93 22:36	161.	13-Jun-93 08:30	115.
09-Nov-89 00:20	13.1	31-Jul-92 07:10	15.4	11-Nov-92 14:15	11.3	25-May-93 08:40	161.	13-Jun-93 18:53	115.
09-Nov-89 00:21	13.1	31-Jul-92 10:01	12.4	11-Nov-92 15:13	14.5	25-May-93 14:30	161.	14-Jun-93 08:43	113.
09-Nov-89 00:50	12.4	31-Jul-92 13:05	10.6	11-Nov-92 16:55	18.8	25-May-93 15:42	161.	14-Jun-93 18:42	113.
09-Nov-89 00:51	12.4	31-Jul-92 16:03	9.02	11-Nov-92 18:45	23.2	25-May-93 17:15	161.	15-Jun-93 08:51	112.

VATNSBORÐSMÆLINGAR Í HOLU 5 - FRAMHALD

Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)
15-Jun-93 18:42	112.	07-Jul-93 09:47	99.6	11-Aug-93 21:04	91.9	16-Aug-93 13:57	66.1	24-Aug-93 08:15	50.0
16-Jun-93 08:48	111.	09-Jul-93 08:59	99.3	11-Aug-93 21:52	91.4	16-Aug-93 18:25	65.0	24-Aug-93 14:11	49.8
16-Jun-93 18:35	111.	12-Jul-93 09:00	98.8	11-Aug-93 23:05	90.9	17-Aug-93 08:34	62.7	25-Aug-93 11:00	47.9
17-Jun-93 08:50	110.	14-Jul-93 09:34	98.3	12-Aug-93 00:05	90.3	17-Aug-93 13:13	61.2	26-Aug-93 08:20	47.1
17-Jun-93 18:39	110.	16-Jul-93 08:53	98.2	12-Aug-93 08:03	86.4	17-Aug-93 17:58	60.7	27-Aug-93 08:25	45.4
18-Jun-93 08:51	109.	19-Jul-93 09:09	98.0	12-Aug-93 10:41	85.3	18-Aug-93 08:30	59.4	30-Aug-93 08:05	43.4
19-Jun-93 08:05	109.	21-Jul-93 09:12	98.1	12-Aug-93 13:32	84.2	18-Aug-93 13:06	58.8	01-Sep-93 08:25	41.9
20-Jun-93 08:51	108.	23-Jul-93 09:08	97.3	12-Aug-93 16:58	83.1	18-Aug-93 18:27	58.2	03-Sep-93 08:17	36.2
21-Jun-93 08:44	107.	26-Jul-93 10:15	97.1	12-Aug-93 21:02	81.8	19-Aug-93 08:24	57.0	06-Sep-93 08:10	33.5
22-Jun-93 08:51	106.	28-Jul-93 10:15	96.5	12-Aug-93 23:15	81.1	19-Aug-93 13:41	56.5	08-Sep-93 13:45	30.8
23-Jun-93 08:57	106.	30-Jul-93 10:00	97.2	13-Aug-93 07:50	78.8	19-Aug-93 16:50	56.2	10-Sep-93 10:30	29.3
24-Jun-93 09:03	105.	03-Aug-93 14:35	98.3	13-Aug-93 14:40	77.1	20-Aug-93 08:47	55.3	13-Sep-93 10:22	27.9
25-Jun-93 08:46	104.	06-Aug-93 10:55	97.0	13-Aug-93 18:45	76.2	20-Aug-93 12:51	54.9	15-Sep-93 10:42	26.3
26-Jun-93 09:08	103.	09-Aug-93 09:32	95.5	14-Aug-93 08:32	73.2	20-Aug-93 18:29	54.5	17-Sep-93 10:22	25.2
27-Jun-93 08:53	103.	11-Aug-93 08:13	95.5	14-Aug-93 13:51	72.0	21-Aug-93 08:17	53.8	20-Sep-93 13:35	23.4
28-Jun-93 09:13	102.	11-Aug-93 11:55	95.3	14-Aug-93 18:36	71.0	21-Aug-93 13:22	53.5	22-Sep-93 10:32	22.5
29-Jun-93 08:51	102.	11-Aug-93 13:18	95.1	15-Aug-93 08:50	69.8	22-Aug-93 08:35	52.3	27-Sep-93 13:50	21.9
30-Jun-93 09:04	101.	11-Aug-93 14:50	94.7	15-Aug-93 13:52	69.2	22-Aug-93 13:43	51.9	04-Oct-93 13:45	19.7
01-Jul-93 09:07	101.	11-Aug-93 16:39	94.1	15-Aug-93 18:20	68.6	22-Aug-93 18:16	51.6	11-Oct-93 10:47	20.0
02-Jul-93 09:07	101.	11-Aug-93 17:24	93.8	16-Aug-93 08:52	67.5	23-Aug-93 08:30	50.7	18-Oct-93 10:13	17.8
05-Jul-93 08:49	100.	11-Aug-93 18:33	93.2						

VATNSBORÐSMÆLINGAR Í HOLU 6

Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)
08-Nov-89 10:40	10.5	30-Jul-92 15:50	21.6	18-May-93 18:10	161.	03-Jun-93 07:30	98.3	11-Aug-93 11:31	80.8
11-Nov-89 12:00	1.43	30-Jul-92 16:50	30.2	18-May-93 21:00	161.	03-Jun-93 14:10	96.4	11-Aug-93 12:53	88.9
16-Nov-89 15:30	1.3	30-Jul-92 16:51	30.3	19-May-93 00:31	161.	03-Jun-93 20:45	95.9	11-Aug-93 14:28	91.4
20-Nov-89 09:45	1.23	30-Jul-92 18:01	32.2	19-May-93 06:43	161.	04-Jun-93 08:10	95.4	11-Aug-93 16:03	91.4
20-Nov-89 13:00	1.28	30-Jul-92 19:43	39.0	19-May-93 11:05	161.	04-Jun-93 16:09	93.9	11-Aug-93 17:03	91.9
20-Nov-89 15:04	1.38	30-Jul-92 20:21	35.1	19-May-93 15:03	161.	04-Jun-93 20:01	93.5	11-Aug-93 18:08	91.4
20-Nov-89 16:02	1.42	30-Jul-92 21:01	32.5	19-May-93 22:17	161.	05-Jun-93 08:39	92.4	11-Aug-93 20:31	90.4
20-Nov-89 17:00	1.44	30-Jul-92 22:48	26.4	20-May-93 08:46	160.	05-Jun-93 13:17	92.4	11-Aug-93 21:35	89.4
20-Nov-89 17:22	1.46	31-Jul-92 00:46	22.0	20-May-93 15:33	160.	05-Jun-93 18:11	92.4	11-Aug-93 22:43	89.4
20-Nov-89 18:21	1.52	31-Jul-92 07:16	11.5	20-May-93 22:54	160.	06-Jun-93 07:30	91.4	11-Aug-93 23:43	89.4
20-Nov-89 19:41	1.65	31-Jul-92 10:10	8.54	21-May-93 09:07	159.	06-Jun-93 13:29	90.4	12-Aug-93 07:44	86.4
20-Nov-89 19:55	1.70	31-Jul-92 13:14	6.52	21-May-93 14:12	159.	06-Jun-93 18:12	90.4	12-Aug-93 10:20	84.4
20-Nov-89 20:04	1.77	31-Jul-92 16:10	4.96	21-May-93 22:37	159.	07-Jun-93 08:00	89.4	12-Aug-93 13:12	83.4
20-Nov-89 20:13	1.89	31-Jul-92 19:01	3.46	22-May-93 08:30	159.	07-Jun-93 13:44	86.4	12-Aug-93 16:40	82.9
20-Nov-89 20:13	1.89	31-Jul-92 23:12	2.06	22-May-93 14:50	158.	07-Jun-93 18:23	86.4	12-Aug-93 20:48	82.4
20-Nov-89 20:19	1.95	01-Aug-92 06:19	1.17	22-May-93 21:35	158.	08-Jun-93 07:32	85.9	12-Aug-93 22:47	81.4
20-Nov-89 20:19	1.95	01-Aug-92 09:11	1.21	23-May-93 08:35	158.	08-Jun-93 13:12	85.9	13-Aug-93 07:32	78.9
20-Nov-89 21:16	1.89	02-Aug-92 11:10	0.90	23-May-93 16:05	158.	08-Jun-93 18:07	84.9	13-Aug-93 14:17	77.4
20-Nov-89 21:16	1.89	03-Aug-92 11:35	1.10	23-May-93 22:40	158.	09-Jun-93 08:20	83.9	13-Aug-93 18:24	76.4
20-Nov-89 21:42	1.83	04-Aug-92 13:40	1.32	24-May-93 09:06	157.	09-Jun-93 18:22	83.5	14-Aug-93 08:26	73.4
20-Nov-89 21:42	1.83	05-Aug-92 10:40	1.62	24-May-93 15:46	157.	10-Jun-93 08:15	83.5	14-Aug-93 13:42	72.9
20-Nov-89 22:07	1.76	06-Aug-92 11:30	0.98	24-May-93 22:50	157.	10-Jun-93 18:18	83.3	14-Aug-93 18:22	71.9
20-Nov-89 22:08	1.76	07-Aug-92 10:42	0.83	25-May-93 08:58	157.	11-Jun-93 08:22	82.4	15-Aug-93 08:40	71.4
20-Nov-89 22:48	1.69	08-Aug-92 15:10	0.76	25-May-93 13:57	157.	11-Jun-93 18:14	82.4	15-Aug-93 13:44	70.4
20-Nov-89 22:49	1.69	09-Aug-92 13:30	0.64	25-May-93 14:23	150.	12-Jun-93 08:15	81.4	15-Aug-93 18:00	69.4
20-Nov-89 23:26	1.63	10-Aug-92 14:40	0.40	25-May-93 14:38	148.	12-Jun-93 18:30	80.9	16-Aug-93 08:41	68.4
20-Nov-89 23:27	1.63	16-Aug-92 08:00	3.00	25-May-93 15:22	147.	13-Jun-93 08:25	80.4	16-Aug-93 13:40	66.4
21-Nov-89 00:26	1.57	16-Aug-92 08:18	2.68	25-May-93 15:33	145.	13-Jun-93 18:22	79.4	16-Aug-93 18:06	65.4
21-Nov-89 00:27	1.57	16-Aug-92 08:53	6.50	25-May-93 15:52	144.	14-Jun-93 08:17	78.4	17-Aug-93 08:14	62.9
21-Nov-89 01:31	1.51	16-Aug-92 09:20	13.2	25-May-93 16:49	142.	14-Jun-93 18:16	78.4	17-Aug-93 12:52	60.9
21-Nov-89 01:32	1.51	16-Aug-92 09:45	18.0	25-May-93 17:30	142.	15-Jun-93 08:28	79.4	17-Aug-93 17:40	60.4
21-Nov-89 04:30	1.44	16-Aug-92 10:13	23.0	25-May-93 18:45	140.	15-Jun-93 18:15	77.4	18-Aug-93 08:10	59.4
21-Nov-89 04:31	1.44	16-Aug-92 10:48	30.7	25-May-93 20:38	138.	16-Jun-93 08:18	79.4	18-Aug-93 12:52	58.4
21-Nov-89 06:56	1.40	16-Aug-92 11:20	34.8	25-May-93 22:28	136.	16-Jun-93 18:15	76.4	18-Aug-93 18:03	57.4
21-Nov-89 06:57	1.40	16-Aug-92 13:04	49.0	26-May-93 00:15	134.	17-Jun-93 08:22	77.4	19-Aug-93 08:32	56.9
21-Nov-89 09:01	1.37	17-Aug-92 08:30	13.8	26-May-93 01:25	133.	17-Jun-93 18:21	75.9	19-Aug-93 13:18	56.4
21-Nov-89 11:52	1.34	17-Aug-92 13:15	9.43	26-May-93 06:42	128.	18-Jun-93 08:18	80.4	19-Aug-93 16:56	55.7
21-Nov-89 16:18	1.31	28-Oct-92 12:00	-9.5	26-May-93 10:08	126.	19-Jun-93 08:12	72.4	20-Aug-93 08:29	54.9
22-Nov-89 00:00	1.27	10-Nov-92 15:00	-0.5	26-May-93 11:15	125.	20-Jun-93 08:26	72.4	20-Aug-93 12:39	54.4
22-Nov-89 06:41	1.25	11-Nov-92 10:03	1.45	26-May-93 13:58	123.	21-Jun-93 08:16	72.4	20-Aug-93 18:14	53.9
22-Nov-89 14:11	1.25	11-Nov-92 13:07	4.16	26-May-93 17:50	122.	22-Jun-93 08:24	72.4	21-Aug-93 08:21	53.7
22-Nov-89 21:57	1.24	11-Nov-92 14:15	6.50	26-May-93 23:55	120.	23-Jun-93 08:34	73.4	21-Aug-93 13:08	53.4
23-Nov-89 06:17	1.23	11-Nov-92 15:13	9.45	27-May-93 08:07	118.	24-Jun-93 08:34	72.4	21-Aug-93 17:45	53.2
23-Nov-89 17:32	1.23	11-Nov-92 16:55	13.5	27-May-93 13:14	117.	25-Jun-93 08:22	70.4	22-Aug-93 08:38	52.9
10-Jan-90 11:10	1.5	11-Nov-92 18:45	17.5	27-May-93 18:00	116.	26-Jun-93 08:38	70.4	22-Aug-93 13:40	52.7
15-Jan-90 10:00	1.5	11-Nov-92 22:30	24.5	27-May-93 23:15	112.	27-Jun-93 08:29	70.4	22-Aug-93 18:19	51.9
16-Jan-90 14:10	-3	12-Nov-92 08:55	38.7	28-May-93 08:17	113.	28-Jun-93 08:38	68.8	23-Aug-93 07:55	50.9
17-Jan-90 08:00	-6	12-Nov-92 10:30	40.7	28-May-93 13:07	112.	29-Jun-93 08:27	72.4	24-Aug-93 07:50	49.4
20-Feb-90 12:00	0.78	12-Nov-92 14:40	44.9	28-May-93 17:53	112.	30-Jun-93 08:31	71.9	24-Aug-93 14:50	48.4
28-Mar-90 12:00	-6.2	13-Nov-92 10:45	60.5	28-May-93 23:10	111.	01-Jul-93 08:38	69.4	26-Aug-93 08:15	47.4
06-Apr-90 12:00	-6.1	13-Nov-92 14:45	66.4	29-May-93 08:18	109.	02-Jul-93 08:35	66.4	27-Aug-93 08:18	45.4
27-Sep-90 10:45	-7.6	14-Nov-92 10:20	71.7	29-May-93 13:31	112.	05-Jul-93 08:22	68.4	30-Aug-93 08:13	45.4
14-Jul-92 16:26	-6.1	15-Nov-92 10:30	80.6	29-May-93 17:50	112.	07-Jul-93 09:08	66.4	01-Sep-93 08:18	42.4
14-Jul-92 18:13	-6.1	16-Nov-92 10:30	87.2	29-May-93 23:17	112.	09-Jul-93 08:18	68.4	03-Sep-93 08:13	36.4
14-Jul-92 18:29	-6.0	17-Nov-92 10:00	93.0	30-May-93 08:05	107.	12-Jul-93 08:00	66.4	06-Sep-93 08:10	34.4
14-Jul-92 18:54	-6.0	19-Nov-92 10:20	101.	30-May-93 15:29	106.	14-Jul-93 08:36	68.4	08-Sep-93 14:15	31.9
14-Jul-92 19:18	-6.1	22-Nov-92 13:15	111.	30-May-93 20:44	105.	16-Jul-93 08:23	68.4	10-Sep-93 10:25	29.4
14-Jul-92 19:55	-6.1	24-Nov-92 13:45	112.	31-May-93 08:18	104.	19-Jul-93 08:33	68.4	13-Sep-93 10:18	28.4
14-Jul-92 20:54	-6.2	27-Nov-92 10:40	117.	31-May-93 15:03	103.	21-Jul-93 08:21	67.4	15-Sep-93 10:38	27.4
14-Jul-92 21:54	-6.5	03-Dec-92 13:50	75.6	31-May-93 21:20	103.	23-Jul-93 08:33	66.4	17-Sep-93 10:18	26.9
29-Jul-92 21:24	4.75	07-Dec-92 15:00	112.	01-Jun-93 08:34	101.	26-Jul-93 10:40	64.4	20-Sep-93 13:33	24.9
29-Jul-92 23:59	5.31	08-Jan-93 11:15	151.	01-Jun-93 14:28	101.	30-Jul-93 10:20	66.4	22-Sep-93 10:28	24.4
30-Jul-92 07:58	5.91	14-Jan-93 14:25	153.	01-Jun-93 20:47	100.	03-Aug-93 14:00	67.4	27-Sep-93 13:48	23.4
30-Jul-92 09:53	5.98	28-Jan-93 14:25	155.	02-Jun-93 08:25	99.4	06-Aug-93 10:30	65.4	04-Oct-93 14:09	21.4
30-Jul-92 12:58	6.08	18-Mar-93 10:20	161.	02-Jun-93 14:21	98.4	09-Aug-93 09:07	63.4	11-Oct-93 10:43	21.4
30-Jul-92 14:13	11.2	18-May-93 10:35	163.	02-Jun-93 20:13	100.	11-Aug-93 07:38	62.4	18-Oct-93 10:08	20.4
30-Jul-92 15:49	21.4	18-May-93 13:46	161.						

VATNSBORÐSMÆLINGAR Í HOLU 8

Dagsetning	Vatna- borð (m)	Dagsetning	Vatna- borð (m)	Dagsetning	Vatna- borð (m)	Dagsetning	Vatna- borð (m)	Dagsetning	Vatna- borð (m)
19-Nov-89 20:40	21.9	29-Sep-90 10:00	13.7	08-Aug-92 15:20	17.7	26-May-93 00:37	10.3	11-Aug-93 11:44	12.3
20-Nov-89 08:15	10.7	29-Sep-90 10:50	13.7	09-Aug-92 13:20	17.4	26-May-93 06:44	6.3	11-Aug-93 13:04	17.3
20-Nov-89 22:00	49.0	29-Sep-90 11:48	13.6	10-Aug-92 14:50	17.3	26-May-93 10:15	5.3	11-Aug-93 14:43	20.3
20-Nov-89 22:30	43.0	29-Sep-90 12:51	13.6	28-Oct-92 12:00	9.75	26-May-93 11:21	5.3	11-Aug-93 16:22	20.3
21-Nov-89 08:00	20	29-Sep-90 13:49	13.6	10-Nov-92 15:00	16.6	26-May-93 13:48	4.3	11-Aug-93 17:17	23.3
09-Jan-90 17:40	16.6	29-Sep-90 15:01	13.7	11-Nov-92 10:05	17.7	26-May-93 18:00	0.0	11-Aug-93 18:19	23.3
15-Jan-90 10:30	16.7	29-Sep-90 15:47	13.7	11-Nov-92 13:15	18.1	27-May-93 00:20	0.0	11-Aug-93 21:00	25.3
16-Jan-90 14:00	14.4	29-Sep-90 16:53	13.7	11-Nov-92 14:15	18.7	27-May-93 08:59	0.0	11-Aug-93 21:41	27.3
17-Jan-90 08:30	12.3	29-Sep-90 18:04	13.7	11-Nov-92 15:20	19.4	27-May-93 13:35	0.0	11-Aug-93 23:00	29.3
20-Feb-90 12:00	16.7	29-Sep-90 19:06	13.7	11-Nov-92 17:00	20.7	28-May-93 12:00	0.0	11-Aug-93 23:54	30.3
02-Mar-90 10:20	10.3	29-Sep-90 20:14	13.7	11-Nov-92 18:40	21.3	29-May-93 12:00	0.0	12-Aug-93 07:57	35.3
02-Mar-90 13:50	11.7	29-Sep-90 21:41	13.7	11-Nov-92 22:20	24.8	30-May-93 12:00	0.0	12-Aug-93 10:28	37.3
03-Mar-90 13:35	13.1	29-Sep-90 23:24	13.8	12-Nov-92 08:30	32.1	01-Jun-93 12:00	0.0	12-Aug-93 13:27	40.3
04-Mar-90 13:54	13.4	30-Sep-90 01:42	13.7	12-Nov-92 10:30	34.6	02-Jun-93 12:00	0.0	12-Aug-93 16:47	41.3
05-Mar-90 11:05	13.5	30-Sep-90 03:52	13.7	12-Nov-92 14:40	39.0	03-Jun-93 07:40	0.0	12-Aug-93 20:57	42.3
08-Mar-90 13:11	13.7	30-Sep-90 05:59	13.7	13-Nov-92 10:45	52.2	03-Jun-93 14:47	2.	12-Aug-93 23:00	42.3
15-Mar-90 10:30	13.7	30-Sep-90 07:50	13.7	13-Nov-92 14:45	54.0	03-Jun-93 21:14	3.	13-Aug-93 07:45	47.3
22-Mar-90 11:32	13.6	30-Sep-90 09:46	13.6	14-Nov-92 10:20	63.8	04-Jun-93 07:55	15.3	13-Aug-93 14:28	49.3
29-Mar-90 09:30	13.7	30-Sep-90 11:42	13.7	15-Nov-92 10:30	76.0	04-Jun-93 16:42	0.0	13-Aug-93 18:40	50.3
05-Apr-90 10:37	13.7	30-Sep-90 13:22	13.7	16-Nov-92 10:30	82.5	04-Jun-93 20:26	0.0	14-Aug-93 08:19	52.3
27-Sep-90 10:31	13.3	30-Sep-90 15:04	13.7	17-Nov-92 10:00	89.9	05-Jun-93 09:03	0.0	14-Aug-93 13:37	53.3
27-Sep-90 11:31	13.3	30-Sep-90 16:53	13.7	19-Nov-92 10:20	104.	05-Jun-93 13:37	0.0	14-Aug-93 18:17	54.3
27-Sep-90 12:47	13.3	30-Sep-90 19:22	13.8	22-Nov-92 13:15	118.	05-Jun-93 18:25	0.0	15-Aug-93 08:37	56.3
27-Sep-90 13:35	13.3	30-Sep-90 21:42	13.8	24-Nov-92 13:45	121.	06-Jun-93 07:20	0.0	15-Aug-93 13:40	57.3
27-Sep-90 14:39	13.3	30-Sep-90 23:42	13.8	27-Nov-92 10:40	125	06-Jun-93 14:10	0.0	15-Aug-93 18:06	58.3
27-Sep-90 15:49	13.3	01-Oct-90 01:50	13.9	29-Nov-92 13:20	86.1	06-Jun-93 18:30	1.0	16-Aug-93 08:53	59.3
27-Sep-90 16:43	13.4	01-Oct-90 03:10	13.9	29-Nov-92 14:10	85.5	07-Jun-93 07:34	0.0	16-Aug-93 13:47	61.4
27-Sep-90 17:39	13.4	01-Oct-90 04:47	13.9	29-Nov-92 20:45	79.9	07-Jun-93 13:30	0.0	16-Aug-93 18:19	61.7
27-Sep-90 18:49	13.4	01-Oct-90 06:53	13.9	30-Nov-92 12:00	69.5	07-Jun-93 18:15	0.0	17-Aug-93 08:24	61.8
27-Sep-90 19:47	13.4	01-Oct-90 09:33	13.9	30-Nov-92 14:15	68.0	08-Jun-93 13:29	0.0	17-Aug-93 13:07	61.8
27-Sep-90 20:44	13.4	01-Oct-90 11:50	13.8	30-Nov-92 16:45	66.5	09-Jun-93 12:00	0.0	17-Aug-93 17:49	61.8
27-Sep-90 21:45	13.4	01-Oct-90 14:15	13.8	01-Dec-92 13:45	55.3	10-Jun-93 12:00	0.0	18-Aug-93 08:23	62.0
27-Sep-90 22:42	13.4	01-Oct-90 16:20	13.7	02-Dec-92 16:00	69.9	11-Jun-93 12:00	0.0	18-Aug-93 13:02	62.0
27-Sep-90 23:42	13.4	01-Oct-90 18:54	13.7	03-Dec-92 14:00	82.5	12-Jun-93 12:00	0.0	18-Aug-93 18:14	62
28-Sep-90 00:43	13.4	01-Oct-90 22:08	13.7	07-Dec-92 14:45	119.	13-Jun-93 12:00	0.0	19-Aug-93 08:43	62
28-Sep-90 01:37	13.4	02-Oct-90 04:56	13.6	10-Dec-92 13:45	132.	14-Jun-93 12:00	0.0	19-Aug-93 13:33	62
28-Sep-90 02:53	13.4	02-Oct-90 06:39	13.6	21-Dec-92 10:00	158.	15-Jun-93 12:00	0.0	19-Aug-93 17:02	62.1
28-Sep-90 03:50	13.4	02-Oct-90 10:57	13.6	28-Dec-92 11:10	163.	16-Jun-93 12:00	0.0	20-Aug-93 08:42	62.1
28-Sep-90 04:39	13.4	02-Oct-90 12:38	13.6	05-Jan-93 14:00	168.	17-Jun-93 12:00	0.0	20-Aug-93 12:46	62.5
28-Sep-90 05:57	13.4	29-Jul-92 21:36	15.8	08-Jan-93 11:00	169.	18-Jun-93 12:00	0.0	20-Aug-93 18:09	62.4
28-Sep-90 06:45	13.4	29-Jul-92 23:54	16.5	14-Jan-93 14:45	169.	19-Jun-93 12:00	0.0	21-Aug-93 08:11	62.4
28-Sep-90 07:40	13.4	30-Jul-92 07:50	18.2	21-Jan-93 14:10	170.	20-Jun-93 12:00	0.0	21-Aug-93 13:18	62.3
28-Sep-90 08:52	13.4	30-Jul-92 09:59	18.5	28-Jan-93 14:35	170.	21-Jun-93 12:00	0.0	21-Aug-93 17:56	62.3
28-Sep-90 09:53	13.4	30-Jul-92 13:04	18.9	18-Mar-93 10:40	172.	22-Jun-93 12:00	0.0	22-Aug-93 08:31	61.9
28-Sep-90 10:50	13.4	30-Jul-92 14:06	19.1	19-Apr-93 13:35	172.	23-Jun-93 12:00	0.0	22-Aug-93 13:35	61.8
28-Sep-90 10:50	13.4	30-Jul-92 15:59	21.3	18-May-93 13:45	172.	24-Jun-93 12:00	0.0	22-Aug-93 18:10	61.6
28-Sep-90 12:42	13.4	30-Jul-92 16:00	21.4	19-May-93 10:04	75.3	25-Jun-93 12:00	0.0	23-Aug-93 08:25	60.7
28-Sep-90 13:44	13.4	30-Jul-92 17:05	23.2	19-May-93 22:45	45.1	26-Jun-93 12:00	0.0	24-Aug-93 08:15	60.4
28-Sep-90 14:45	13.4	30-Jul-92 18:11	25.2	20-May-93 08:51	66.2	27-Jun-93 12:00	0.0	24-Aug-93 13:49	60.3
28-Sep-90 15:44	13.4	30-Jul-92 19:22	27.0	20-May-93 09:46	52.8	28-Jun-93 12:00	0.0	25-Aug-93 10:35	59.3
28-Sep-90 16:46	13.4	30-Jul-92 19:50	27.4	20-May-93 15:51	45.8	29-Jun-93 12:00	0.0	26-Aug-93 08:00	58.8
28-Sep-90 17:16	13.4	30-Jul-92 20:27	27.7	20-May-93 23:01	37.3	30-Jun-93 12:00	0.0	27-Aug-93 08:50	58.1
28-Sep-90 17:44	13.5	30-Jul-92 21:13	27.9	21-May-93 09:12	32.5	01-Jul-93 09:00	0.0	30-Aug-93 08:00	56.0
28-Sep-90 18:38	13.5	30-Jul-92 22:56	28.2	21-May-93 14:19	31.0	02-Jul-93 08:41	0.0	01-Sep-93 08:05	55.3
28-Sep-90 19:58	13.5	31-Jul-92 00:55	27.9	22-May-93 08:45	20.4	05-Jul-93 09:22	0.0	03-Sep-93 08:00	50.4
28-Sep-90 20:45	13.5	31-Jul-92 07:23	26.6	22-May-93 15:10	20.3	07-Jul-93 08:30	0.0	06-Sep-93 07:55	47.3
28-Sep-90 21:51	13.5	31-Jul-92 10:22	24.5	22-May-93 22:00	19.3	09-Jul-93 08:50	0.0	08-Sep-93 13:15	44.4
28-Sep-90 22:48	13.6	31-Jul-92 13:25	23.2	23-May-93 08:50	16.3	12-Jul-93 09:00	0.0	10-Sep-93 10:30	43.3
28-Sep-90 23:49	13.6	31-Jul-92 16:23	22.1	23-May-93 16:21	15.3	14-Jul-93 09:28	0.0	13-Sep-93 10:05	41.8
29-Sep-90 00:49	13.6	31-Jul-92 19:12	21.0	23-May-93 22:55	15.3	16-Jul-93 08:35	0.0	15-Sep-93 10:25	40.3
29-Sep-90 01:50	13.6	31-Jul-92 23:22	19.9	24-May-93 09:23	12.3	19-Jul-93 08:54	0.0	17-Sep-93 10:05	39.5
29-Sep-90 02:48	13.7	01-Aug-92 06:32	18.4	24-May-93 16:02	11.3	21-Jul-93 12:00	0.0	20-Sep-93 13:20	37.8
29-Sep-90 03:51	13.7	01-Aug-92 09:27	18.4	24-May-93 23:06	10.3	23-Jul-93 12:00	0.0	22-Sep-93 10:15	36.8
29-Sep-90 04:55	13.7	02-Aug-92 11:20	17.7	25-May-93 09:20	8.3	26-Jul-93 12:00	0.0	27-Sep-93 13:30	35.8
29-Sep-90 05:38	13.7	03-Aug-92 11:45	17.5	25-May-93 14:54	8.3	28-Jul-93 09:55	0.0	04-Oct-93 13:50	34.3
29-Sep-90 06:54	13.7	04-Aug-92 13:55	17.5	25-May-93 16:14	30.1	30-Jul-93 10:30	0.0	11-Oct-93 10:30	34.3
29-Sep-90 08:01	13.7	06-Aug-92 11:40	17.8	25-May-93 18:35	19.3	09-Aug-93 09:25	0.0	18-Oct-93 09:58	32.5
29-Sep-90 08:51	13.7	07-Aug-92 10:50	17.6	25-May-93 20:45	13.3	11-Aug-93 07:59	0.0		

VATNSBORÐSMÆLINGAR Í HOLU 9

Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)
28-Sep-90 08:00	3	12-Nov-92 08:30	28.3	26-May-93 15:52	160.	13-Jun-93 08:10	14.5	12-Aug-93 16:44	27.1
29-Sep-90 08:00	20	12-Nov-92 10:30	29.3	26-May-93 18:23	159.	13-Jun-93 18:29	14.3	12-Aug-93 20:54	28.5
30-Sep-90 08:00	20	12-Nov-92 14:40	31.1	27-May-93 00:30	156.	14-Jun-93 08:26	14.3	12-Aug-93 22:55	29.0
01-Oct-90 08:00	17	13-Nov-92 10:45	37.7	27-May-93 08:54	137.	14-Jun-93 18:22	14.1	13-Aug-93 07:41	31.5
18-Oct-90 14:45	13	13-Nov-92 14:45	38.7	27-May-93 09:44	135.	15-Jun-93 08:37	14.2	13-Aug-93 14:24	32.7
14-Jul-92 16:33	14.5	14-Nov-92 10:20	51.5	27-May-93 13:24	126.	15-Jun-93 18:20	14.1	13-Aug-93 18:36	33.5
14-Jul-92 18:22	14.5	15-Nov-92 10:30	76.0	27-May-93 18:42	112.	16-Jun-93 08:27	14.0	14-Aug-93 08:14	35.5
14-Jul-92 19:02	14.7	16-Nov-92 10:30	97.5	27-May-93 23:25	100.	16-Jun-93 18:24	13.9	14-Aug-93 13:33	35.9
14-Jul-92 19:27	14.8	17-Nov-92 10:00	108.	28-May-93 09:13	69.8	17-Jun-93 08:29	13.9	14-Aug-93 18:14	36.1
14-Jul-92 20:06	15.0	19-Nov-92 10:20	118.	28-May-93 14:01	54.7	17-Jun-93 18:28	13.9	15-Aug-93 08:33	36.8
14-Jul-92 21:05	15.2	22-Nov-92 13:15	125.	28-May-93 18:07	41.2	18-Jun-93 08:22	13.9	15-Aug-93 13:36	37.2
14-Jul-92 22:03	15.5	24-Nov-92 13:45	128.	28-May-93 22:50	32.2	19-Jun-93 08:35	13.9	15-Aug-93 18:03	37.3
29-Jul-92 21:32	17.7	27-Nov-92 10:40	133.	29-May-93 08:20	29.7	20-Jun-93 08:32	13.8	16-Aug-93 08:49	37.7
29-Jul-92 23:57	18.3	03-Dec-92 13:55	97.0	29-May-93 13:55	27.9	21-Jun-93 08:28	13.8	16-Aug-93 13:44	38.3
30-Jul-92 07:53	19.6	07-Dec-92 14:45	125.	29-May-93 17:58	27.2	22-Jun-93 08:30	13.8	16-Aug-93 18:15	39.5
30-Jul-92 09:55	19.8	10-Dec-92 13:35	137.	29-May-93 23:26	26.1	23-Jun-93 08:43	13.7	17-Aug-93 08:18	43.0
30-Jul-92 13:00	20.1	28-Dec-92 11:00	165.	30-May-93 07:50	25.0	24-Jun-93 08:40	13.6	17-Aug-93 13:02	43.5
30-Jul-92 14:04	20.2	05-Jan-93 14:00	168.	30-May-93 15:38	23.5	25-Jun-93 08:33	13.5	17-Aug-93 17:45	44.2
30-Jul-92 15:54	21.4	08-Jan-93 10:55	169.	30-May-93 20:52	22.8	26-Jun-93 08:46	13.4	18-Aug-93 08:23	46.5
30-Jul-92 15:55	21.4	14-Jan-93 14:35	170.	31-May-93 08:29	21.6	27-Jun-93 08:39	13.3	18-Aug-93 12:59	47.2
30-Jul-92 17:02	22.9	21-Jan-93 14:00	171.	31-May-93 15:12	21.0	28-Jun-93 08:47	13.2	18-Aug-93 18:11	48.1
30-Jul-92 18:08	24.7	18-Mar-93 10:30	174.	31-May-93 21:30	20.5	29-Jun-93 08:39	13.3	19-Aug-93 08:39	51.5
30-Jul-92 19:18	26.6	19-Apr-93 13:25	174.	01-Jun-93 08:43	19.8	30-Jun-93 08:45	13.2	19-Aug-93 13:28	52.5
30-Jul-92 19:47	27.3	18-May-93 11:20	174.	01-Jun-93 14:58	19.5	01-Jul-93 08:48	13.0	19-Aug-93 16:59	53.1
30-Jul-92 20:25	27.9	18-May-93 11:20	174.	01-Jun-93 20:58	19.1	02-Jul-93 08:41	13.0	20-Aug-93 08:38	55.6
30-Jul-92 21:08	28.2	18-May-93 17:37	174.	02-Jun-93 08:42	18.6	05-Jul-93 08:31	12.9	20-Aug-93 12:43	56.3
30-Jul-92 22:52	28.1	18-May-93 20:55	174.	02-Jun-93 14:58	18.4	07-Jul-93 09:16	13.0	20-Aug-93 18:06	57.0
31-Jul-92 00:52	27.5	19-May-93 00:25	174.	02-Jun-93 20:26	18.3	09-Jul-93 08:28	14.8	21-Aug-93 08:07	58.0
31-Jul-92 07:20	25.6	19-May-93 06:35	174.	03-Jun-93 07:35	18.2	12-Jul-93 08:05	14.3	21-Aug-93 13:14	57.9
31-Jul-92 10:15	24.7	19-May-93 10:51	174.	03-Jun-93 14:40	18.0	14-Jul-93 08:45	14.4	21-Aug-93 17:53	57.8
31-Jul-92 13:20	23.9	19-May-93 15:58	174.	03-Jun-93 21:07	18.4	16-Jul-93 08:24	13.1	22-Aug-93 08:27	57.3
31-Jul-92 16:17	23.3	19-May-93 22:36	174.	04-Jun-93 07:50	20.8	19-Jul-93 08:45	12.9	22-Aug-93 13:39	57.2
31-Jul-92 19:07	22.6	20-May-93 08:32	174.	04-Jun-93 16:32	20.7	21-Jul-93 09:30	20.5	22-Aug-93 18:06	56.9
31-Jul-92 23:18	21.8	20-May-93 15:45	173.	04-Jun-93 20:21	20.2	23-Jul-93 08:44	14.9	23-Aug-93 08:20	57.0
01-Aug-92 06:26	20.8	20-May-93 22:43	173.	05-Jun-93 08:58	18.7	26-Jul-93 10:22	13.1	24-Aug-93 08:10	56.7
01-Aug-92 09:19	20.6	21-May-93 08:54	173.	05-Jun-93 13:33	18.3	28-Jul-93 09:50	12.9	24-Aug-93 13:53	55.8
02-Aug-92 11:15	19.8	21-May-93 13:56	173.	05-Jun-93 18:21	18.0	30-Jul-93 10:40	12.9	25-Aug-93 10:43	54.8
03-Aug-92 11:40	20.2	21-May-93 22:45	173.	06-Jun-93 07:15	17.6	03-Aug-93 14:16	32.8	26-Aug-93 08:05	54.7
04-Aug-92 13:55	19.7	22-May-93 08:45	173.	06-Jun-93 13:45	17.0	06-Aug-93 10:45	16.9	27-Aug-93 08:10	53.4
06-Aug-92 11:35	20.0	22-May-93 15:00	173.	06-Jun-93 18:15	16.9	09-Aug-93 09:17	13.3	30-Aug-93 08:05	51.5
07-Aug-92 10:45	19.9	22-May-93 21:50	173.	07-Jun-93 07:29	17.6	11-Aug-93 07:44	15.7	01-Sep-93 08:10	51.4
08-Aug-92 15:15	19.8	23-May-93 08:40	173.	07-Jun-93 13:26	18.0	11-Aug-93 11:39	16.3	03-Sep-93 08:05	49.1
09-Aug-92 13:15	19.5	23-May-93 16:13	173.	07-Jun-93 18:12	17.7	11-Aug-93 12:59	16.1	06-Sep-93 08:00	45.9
10-Aug-92 14:45	19.3	23-May-93 22:46	173.	08-Jun-93 07:34	16.6	11-Aug-93 14:38	16.4	08-Sep-93 13:20	43.8
19-Sep-92 17:20	16.5	24-May-93 09:15	173.	08-Jun-93 13:23	16.3	11-Aug-93 16:10	16.9	10-Sep-93 10:10	42.2
28-Oct-92 12:00	12.9	24-May-93 15:54	173.	08-Jun-93 18:14	16.1	11-Aug-93 17:12	17.3	13-Sep-93 10:10	40.7
10-Nov-92 15:00	18.3	24-May-93 22:59	173.	09-Jun-93 08:29	15.6	11-Aug-93 18:12	17.7	15-Sep-93 10:30	39.2
11-Nov-92 10:05	19.0	25-May-93 09:08	172.	09-Jun-93 18:27	15.4	11-Aug-93 20:56	19.0	17-Sep-93 10:10	37.7
11-Nov-92 13:15	19.2	25-May-93 14:45	172.	10-Jun-93 08:25	15.2	11-Aug-93 21:39	19.3	20-Sep-93 13:25	37.2
11-Nov-92 14:15	19.4	25-May-93 15:52	172.	10-Jun-93 18:23	15.0	11-Aug-93 22:55	19.8	22-Sep-93 10:20	36.9
11-Nov-92 15:20	19.6	25-May-93 20:45	172.	11-Jun-93 08:33	14.8	11-Aug-93 23:50	20.3	27-Sep-93 13:40	35.0
11-Nov-92 17:00	20.2	25-May-93 21:55	171.	11-Jun-93 18:24	14.7	12-Aug-93 07:53	24.0	04-Oct-93 13:45	33.3
11-Nov-92 18:40	20.9	26-May-93 00:33	170.	12-Jun-93 08:31	14.6	12-Aug-93 10:24	25.0	11-Oct-93 10:35	32.5
11-Nov-92 22:20	22.9	26-May-93 01:30	169.	12-Jun-93 18:50	14.5	12-Aug-93 13:23	26.1	18-Oct-93 10:00	31.2

VATNSBORÐSMÆLINGAR Í HOLU 10

Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)	Dagsetning	Vatnsborð (m)
14-Jun-92 08:00	14	16-Aug-92 18:03	31.1	23-May-93 22:34	52.7	08-Jun-93 13:15	41.2	11-Aug-93 22:50	36.2
24-Jun-92 12:00	5.7	16-Aug-92 18:35	31.3	24-May-93 08:51	52.7	08-Jun-93 18:31	41.2	12-Aug-93 00:02	36.2
28-Jun-92 18:30	5.5	16-Aug-92 19:16	31.6	24-May-93 15:40	52.6	09-Jun-93 08:23	41.0	12-Aug-93 07:46	36.4
01-Jul-92 23:31	5.6	16-Aug-92 19:39	31.7	24-May-93 22:45	52.6	09-Jun-93 18:40	40.9	12-Aug-93 10:36	36.4
02-Jul-92 06:50	5.6	16-Aug-92 20:09	31.8	25-May-93 08:52	52.6	10-Jun-93 08:17	40.7	12-Aug-93 13:16	36.5
11-Jul-92 15:00	6.1	16-Aug-92 21:57	31.8	25-May-93 13:57	51.8	10-Jun-93 18:36	40.6	12-Aug-93 16:53	36.6
13-Jul-92 09:10	6	16-Aug-92 22:23	32.0	25-May-93 14:37	51.8	11-Jun-93 08:25	40.4	12-Aug-93 20:50	36.7
16-Jul-92 13:40	6	17-Aug-92 08:25	24.2	25-May-93 15:24	51.8	11-Jun-93 18:43	40.2	12-Aug-93 23:07	36.7
29-Jul-92 21:20	11.2	17-Aug-92 10:15	22.7	25-May-93 15:37	51.8	12-Jun-93 08:26	40.0	13-Aug-93 07:35	36.9
30-Jul-92 00:03	12.2	17-Aug-92 13:12	20.5	25-May-93 15:53	51.8	12-Jun-93 18:45	39.9	13-Aug-93 14:34	37.0
30-Jul-92 07:55	13.4	17-Aug-92 14:52	19.6	25-May-93 17:25	51.8	13-Jun-93 08:20	39.7	13-Aug-93 18:28	37.1
30-Jul-92 09:51	13.6	19-Sep-92 19:15	10.0	25-May-93 18:46	51.8	13-Jun-93 18:46	39.6	14-Aug-93 08:24	37.2
30-Jul-92 12:56	13.7	28-Oct-92 12:00	3.98	25-May-93 20:45	51.8	14-Jun-93 08:20	39.4	14-Aug-93 13:47	37.3
30-Jul-92 14:09	13.9	10-Nov-92 15:00	9.60	25-May-93 22:31	51.7	14-Jun-93 18:37	39.3	14-Aug-93 18:27	37.4
30-Jul-92 15:45	15.8	11-Nov-92 10:05	11.2	26-May-93 00:17	51.7	15-Jun-93 08:32	39.2	15-Aug-93 08:45	37.6
30-Jul-92 15:46	15.8	11-Nov-92 13:15	11.6	26-May-93 06:27	51.5	15-Jun-93 18:37	39.0	15-Aug-93 13:48	37.6
30-Jul-92 16:47	17.5	11-Nov-92 14:15	12.2	26-May-93 11:17	51.4	16-Jun-93 08:22	38.9	15-Aug-93 18:15	37.6
30-Jul-92 17:58	19.6	11-Nov-92 15:20	13.2	26-May-93 13:56	51.3	16-Jun-93 18:18	38.8	16-Aug-93 08:46	37.5
30-Jul-92 19:10	22.1	11-Nov-92 17:00	15.0	26-May-93 17:55	51.3	17-Jun-93 08:45	38.8	16-Aug-93 13:53	37.4
30-Jul-92 19:40	23.3	11-Nov-92 18:40	17.3	26-May-93 23:58	51.1	17-Jun-93 18:29	38.7	16-Aug-93 18:10	37.3
30-Jul-92 20:18	24.6	11-Nov-92 22:20	21.7	27-May-93 08:17	50.9	18-Jun-93 08:47	38.5	17-Aug-93 08:29	37.0
30-Jul-92 20:59	25.7	12-Nov-92 08:55	30.8	27-May-93 13:21	50.8	19-Jun-93 08:10	38.5	17-Aug-93 12:57	36.8
30-Jul-92 22:46	27.4	12-Nov-92 10:30	31.8	27-May-93 18:05	50.7	20-Jun-93 08:46	38.2	17-Aug-93 17:55	36.7
31-Jul-92 00:37	27.6	12-Nov-92 14:40	34.1	27-May-93 23:10	50.7	21-Jun-93 08:19	38.0	18-Aug-93 08:14	36.2
31-Jul-92 07:13	22.3	12-Nov-92 17:10	35.2	28-May-93 08:25	50.4	22-Jun-93 08:45	37.8	18-Aug-93 12:55	36.1
31-Jul-92 10:06	19.8	13-Nov-92 10:45	41.6	28-May-93 13:21	50.3	23-Jun-93 08:37	37.8	18-Aug-93 18:20	35.9
31-Jul-92 13:10	17.5	13-Nov-92 14:45	42.5	28-May-93 17:56	50.2	24-Jun-93 08:56	37.5	19-Aug-93 08:29	35.7
31-Jul-92 16:07	16.3	14-Nov-92 10:20	45.5	28-May-93 23:05	50.1	25-Jun-93 08:28	37.3	19-Aug-93 13:21	35.6
31-Jul-92 18:58	15.5	15-Nov-92 10:30	47.3	29-May-93 08:15	49.9	26-Jun-93 09:03	37.1	19-Aug-93 16:54	35.5
31-Jul-92 23:10	14.1	16-Nov-92 10:30	50.6	29-May-93 13:45	49.7	27-Jun-93 08:33	37.1	20-Aug-93 08:32	35.3
01-Aug-92 06:17	12.6	17-Nov-92 10:00	53.0	29-May-93 17:47	49.5	28-Jun-93 09:07	36.9	20-Aug-93 12:55	35.2
01-Aug-92 09:07	12.1	19-Nov-92 10:20	57.5	29-May-93 23:19	49.4	29-Jun-93 08:31	36.8	20-Aug-93 18:19	35.2
02-Aug-92 11:05	11.1	22-Nov-92 13:15	61.0	30-May-93 08:00	48.9	30-Jun-93 08:59	36.7	21-Aug-93 08:25	35.0
03-Aug-92 11:30	12.3	24-Nov-92 13:45	66.5	30-May-93 15:33	48.5	01-Jul-93 08:42	36.6	21-Aug-93 13:11	34.9
04-Aug-92 13:37	12.8	03-Dec-92 13:45	47.3	30-May-93 20:47	48.3	02-Jul-93 09:02	36.5	21-Aug-93 17:49	34.8
05-Aug-92 10:35	12.5	07-Dec-92 14:30	60.2	31-May-93 08:40	47.7	05-Jul-93 08:25	36.3	22-Aug-93 08:41	34.6
06-Aug-92 11:25	13.0	10-Dec-92 10:45	61.2	31-May-93 15:07	47.4	07-Jul-93 09:35	36.3	22-Aug-93 13:39	34.5
07-Aug-92 10:40	12.6	05-Jan-93 14:00	65.0	31-May-93 21:24	47.0	09-Jul-93 08:22	36.4	22-Aug-93 18:23	34.4
08-Aug-92 15:05	11.0	08-Jan-93 10:50	63.5	01-Jun-93 08:38	46.6	12-Jul-93 08:30	36.1	23-Aug-93 07:50	34.1
09-Aug-92 13:25	10.4	14-Jan-93 14:15	61.0	01-Jun-93 14:34	46.3	14-Jul-93 08:40	36.2	24-Aug-93 07:45	33.9
10-Aug-92 14:40	10.2	18-Jan-93 15:00	60.5	01-Jun-93 20:51	46.0	16-Jul-93 08:48	36.1	24-Aug-93 14:00	33.7
16-Aug-92 07:58	14.3	28-Jan-93 14:15	59.5	02-Jun-93 08:33	45.5	19-Jul-93 08:38	35.9	25-Aug-93 10:47	33.3
16-Aug-92 08:15	14.3	09-Feb-93 13:55	58.1	02-Jun-93 14:30	45.1	21-Jul-93 09:08	36.3	26-Aug-93 08:10	33.0
16-Aug-92 08:50	16.8	18-Mar-93 10:10	56.0	02-Jun-93 20:14	44.9	23-Jul-93 08:37	36.2	27-Aug-93 08:15	32.5
16-Aug-92 09:15	14.4	02-May-93 17:00	52.1	03-Jun-93 07:27	46.6	26-Jul-93 10:35	35.5	30-Aug-93 08:10	31.8
16-Aug-92 09:42	15.0	18-May-93 10:45	52.9	03-Jun-93 14:45	44.0	28-Jul-93 10:05	35.5	01-Sep-93 08:15	31.3
16-Aug-92 10:08	15.9	18-May-93 10:45	52.9	03-Jun-93 21:00	43.7	30-Jul-93 10:45	35.6	03-Sep-93 08:10	29.8
16-Aug-92 10:43	17.2	18-May-93 21:08	52.9	04-Jun-93 08:05	43.0	03-Aug-93 14:10	37.9	06-Sep-93 08:05	28.3
16-Aug-92 11:14	18.4	19-May-93 00:36	52.8	04-Jun-93 16:13	43.2	06-Aug-93 10:40	37.0	08-Sep-93 13:50	27.3
16-Aug-92 11:37	19.7	19-May-93 07:05	52.9	04-Jun-93 20:08	43.0	09-Aug-93 09:11	35.7	10-Sep-93 10:20	26.5
16-Aug-92 12:25	21.6	19-May-93 10:37	52.8	05-Jun-93 08:54	42.8	11-Aug-93 08:07	35.6	13-Sep-93 10:15	25.7
16-Aug-92 12:58	23.8	19-May-93 15:30	52.8	05-Jun-93 13:21	42.7	11-Aug-93 11:35	35.6	15-Sep-93 10:35	24.8
16-Aug-92 13:28	24.4	19-May-93 22:10	52.8	05-Jun-93 18:15	42.6	11-Aug-93 13:13	35.7	17-Sep-93 10:15	24.2
16-Aug-92 13:54	25.9	20-May-93 08:21	52.8	06-Jun-93 07:25	42.4	11-Aug-93 14:32	35.7	20-Sep-93 13:30	23.2
16-Aug-92 14:24	26.2	20-May-93 15:38	52.8	06-Jun-93 13:52	42.6	11-Aug-93 16:35	35.8	22-Sep-93 10:25	22.7
16-Aug-92 15:20	28.3	20-May-93 22:32	52.8	06-Jun-93 18:04	42.1	11-Aug-93 17:06	35.9	27-Sep-93 13:45	22.3
16-Aug-92 15:40	28.6	21-May-93 08:44	52.8	07-Jun-93 07:22	41.9	11-Aug-93 18:28	35.9	04-Oct-93 13:58	21.1
16-Aug-92 16:10	29.3	21-May-93 13:38	52.8	07-Jun-93 13:35	41.6	11-Aug-93 20:53	36.0	11-Oct-93 10:40	21.5
16-Aug-92 16:42	29.9	23-May-93 08:35	52.8	07-Jun-93 18:07	41.6	11-Aug-93 21:47	36.1	18-Oct-93 10:05	20.1
16-Aug-92 17:27	32.6	23-May-93 16:01	52.7	08-Jun-93 07:59	41.3				



VATNSBORÐSMÆLINGAR Í HOLU 11

Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)	Dagsetning	Vatns- borð (m)
22-Jul-92 07:30	0	28-Nov-92 12:00	100	26-Apr-93 10:10	174.	02-Jun-93 20:03	138.	11-Aug-93 12:44	95.0
24-Jul-92 13:00	0	28-Nov-92 13:00	99	03-May-93 10:30	175.	03-Jun-93 07:15	137.	11-Aug-93 13:23	94.0
28-Jul-92 07:30	0	28-Nov-92 14:00	97.5	06-May-93 14:30	175.	03-Jun-93 14:25	137.	11-Aug-93 14:22	92.7
29-Jul-92 07:30	0	28-Nov-92 15:00	96	10-May-93 14:00	175.	03-Jun-93 21:20	136.	11-Aug-93 15:48	91.0
29-Jul-92 15:00	0.0	28-Nov-92 17:00	94	14-May-93 10:15	174.	04-Jun-93 08:20	135.	11-Aug-93 16:56	90.2
29-Jul-92 20:13	0.0	28-Nov-92 19:00	91	18-May-93 15:20	175	04-Jun-93 16:49	134.	11-Aug-93 18:03	89.5
30-Jul-92 13:45	0.0	28-Nov-92 20:45	89.5	18-May-93 17:47	175	04-Jun-93 20:30	133.	11-Aug-93 20:25	88.0
30-Jul-92 18:30	50	29-Nov-92 09:10	74.5	18-May-93 21:24	175	05-Jun-93 09:07	132.	11-Aug-93 21:29	87.5
30-Jul-92 22:10	26.5	29-Nov-92 10:10	73.0	19-May-93 00:52	174.	05-Jun-93 13:42	132.	11-Aug-93 22:30	87.0
30-Jul-92 22:11	26.5	01-Dec-92 21:00	45	19-May-93 07:15	174	05-Jun-93 18:34	132.	11-Aug-93 23:35	86.5
30-Jul-92 22:12	26.4	02-Dec-92 08:00	58	19-May-93 11:23	174	06-Jun-93 07:00	130.	12-Aug-93 07:30	83.0
30-Jul-92 22:13	26.4	02-Dec-92 15:30	66	19-May-93 14:56	174	06-Jun-93 14:00	130.	12-Aug-93 10:12	82.0
30-Jul-92 22:14	26.3	03-Dec-92 08:00	78.5	19-May-93 18:07	173	06-Jun-93 18:17	129.	12-Aug-93 13:05	80.5
31-Jul-92 00:37	20.8	03-Dec-92 13:30	81.0	19-May-93 22:00	173	07-Jun-93 08:05	129.	12-Aug-93 16:30	79.4
31-Jul-92 06:57	11.2	03-Dec-92 15:00	82.5	20-May-93 07:55	173	07-Jun-93 13:54	128.	12-Aug-93 20:41	78.0
31-Jul-92 06:58	11.2	04-Dec-92 08:07	90.5	20-May-93 15:10	172.	07-Jun-93 18:30	127.	12-Aug-93 22:38	77.5
31-Jul-92 06:59	11.2	04-Dec-92 14:44	93.5	20-May-93 22:09	172.	08-Jun-93 08:15	127.	13-Aug-93 07:25	75.5
31-Jul-92 10:39	6.34	05-Dec-92 10:30	101	21-May-93 08:18	172.	08-Jun-93 13:41	126.	13-Aug-93 14:05	74.0
31-Jul-92 11:57	3.85	06-Dec-92 10:10	107	21-May-93 13:13	172	08-Jun-93 18:40	126.	13-Aug-93 18:12	73.0
31-Jul-92 12:00	3.75	07-Dec-92 08:10	111	21-May-93 22:10	172	09-Jun-93 08:47	125.	14-Aug-93 08:40	70.5
31-Jul-92 12:05	3.70	07-Dec-92 13:30	112.	22-May-93 08:00	170.	09-Jun-93 18:47	124.	14-Aug-93 13:57	69.0
31-Jul-92 12:56	2.87	08-Dec-92 13:30	117.	22-May-93 14:30	170.	10-Jun-93 08:49	124.	14-Aug-93 18:40	68.0
31-Jul-92 13:36	2.22	09-Dec-92 09:45	120.	22-May-93 21:10	170.	10-Jun-93 18:45	123.	15-Aug-93 08:57	67.0
31-Jul-92 13:42	2.12	10-Dec-92 10:10	124	23-May-93 08:00	170.	11-Jun-93 08:51	122.	15-Aug-93 13:57	66.0
31-Jul-92 23:00	4.94	11-Dec-92 09:55	128	23-May-93 14:40	170.	11-Jun-93 18:50	122.	15-Aug-93 18:28	65.5
01-Aug-92 08:02	2.51	12-Dec-92 12:15	132	23-May-93 22:13	170.	12-Jun-93 08:40	121.	16-Aug-93 08:32	65.0
06-Aug-92 23:50	0.0	14-Dec-92 15:05	136	24-May-93 08:29	169.	12-Jun-93 18:00	121.	16-Aug-93 13:34	63.0
16-Aug-92 08:00	0.00	16-Dec-92 13:40	140	24-May-93 15:13	169.	13-Jun-93 08:35	120.	16-Aug-93 17:59	62.0
16-Aug-92 08:18	0.00	21-Dec-92 10:00	147	24-May-93 22:24	169.	13-Jun-93 18:58	119.	17-Aug-93 08:04	60.0
16-Aug-92 08:30	0.00	26-Dec-92 13:30	150.	25-May-93 08:29	169.	14-Jun-93 18:46	118.	17-Aug-93 12:44	58.0
16-Aug-92 22:10	23.8	28-Dec-92 10:10	152.	25-May-93 15:12	167.	15-Jun-93 08:56	117.	17-Aug-93 17:35	57.5
17-Aug-92 08:45	8.50	03-Jan-93 11:00	156.	25-May-93 15:28	167.	15-Jun-93 18:47	117.	18-Aug-93 08:02	57.0
17-Aug-92 10:25	6.92	04-Jan-93 13:30	157.	25-May-93 15:48	167.	16-Jun-93 08:54	116.	18-Aug-93 12:46	56.0
17-Aug-92 13:00	4.80	05-Jan-93 13:40	157.	25-May-93 16:10	167.	16-Jun-93 18:41	116.	18-Aug-93 17:56	55.5
28-Oct-92 12:00	-15.	08-Jan-93 10:30	159.	25-May-93 17:27	167.	18-Jun-93 08:56	114.	19-Aug-93 08:15	54.5
29-Oct-92 08:00	-13.	13-Jan-93 11:00	160.	25-May-93 18:53	167.	19-Jun-93 07:40	114.	19-Aug-93 13:11	54.0
10-Nov-92 15:00	-13.	14-Jan-93 14:00	161.	25-May-93 20:29	167.	20-Jun-93 08:57	113.	19-Aug-93 16:43	53.5
11-Nov-92 08:00	-2.5	15-Jan-93 14:00	161.	25-May-93 22:40	167.	21-Jun-93 08:51	112.	20-Aug-93 08:22	53.0
11-Nov-92 13:26	0.0	18-Jan-93 13:55	163.	26-May-93 00:48	167.	22-Jun-93 08:55	111.	20-Aug-93 12:33	52.5
11-Nov-92 18:52	30	19-Jan-93 15:15	163.	26-May-93 06:20	167	23-Jun-93 09:02	111.	20-Aug-93 18:38	52.0
11-Nov-92 22:40	35	20-Jan-93 13:50	164.	26-May-93 10:02	166	24-Jun-93 09:07	110.	21-Aug-93 08:30	51.5
12-Nov-92 09:00	46	21-Jan-93 14:15	164.	26-May-93 13:59	165	25-Jun-93 08:51	110.	21-Aug-93 13:00	51.0
12-Nov-92 09:41	47	26-Jan-93 16:00	165	26-May-93 18:12	164	26-Jun-93 09:15	109.	21-Aug-93 18:05	50.5
12-Nov-92 10:00	48	28-Jan-93 13:40	165.	27-May-93 00:02	163	27-Jun-93 08:58	109.	22-Aug-93 08:45	50.0
12-Nov-92 10:24	49	01-Feb-93 10:08	165.	27-May-93 08:31	161	28-Jun-93 09:18	108.	22-Aug-93 13:49	49.5
12-Nov-92 14:20	53	04-Feb-93 10:50	167.	27-May-93 14:04	159	29-Jun-93 08:59	107.	22-Aug-93 18:28	49.0
12-Nov-92 16:45	55	05-Feb-93 13:55	167.	27-May-93 18:15	158.	30-Jun-93 09:12	107.	23-Aug-93 08:40	49.0
13-Nov-92 10:40	66	08-Feb-93 10:15	168.	27-May-93 22:50	154.	01-Jul-93 09:13	107.	24-Aug-93 08:25	48.0
13-Nov-92 14:40	69	09-Feb-93 13:30	168.	28-May-93 08:31	155.	02-Jul-93 09:13	106.	24-Aug-93 14:19	47.5
14-Nov-92 10:05	77	17-Feb-93 15:05	168.	28-May-93 13:28	154.	05-Jul-93 08:57	105.	25-Aug-93 11:05	47.0
15-Nov-92 10:17	85	22-Feb-93 09:55	169.	28-May-93 18:20	154.	07-Jul-93 09:59	105.	26-Aug-93 08:28	45.0
16-Nov-92 10:15	92	24-Feb-93 13:25	169.	28-May-93 23:28	153.	09-Jul-93 09:05	104.	27-Aug-93 08:32	42.5
17-Nov-92 09:45	97.5	26-Feb-93 13:50	169.	29-May-93 08:00	151.	12-Jul-93 09:00	104.	30-Aug-93 08:25	40.5
18-Nov-92 10:00	102	28-Feb-93 13:55	170.	29-May-93 14:12	151.	14-Jul-93 09:40	103.	01-Sep-93 08:30	39.0
18-Nov-92 16:00	103	01-Mar-93 14:15	170.	29-May-93 18:09	150.	16-Jul-93 09:00	103.	03-Sep-93 08:25	34.0
19-Nov-92 10:05	105.	04-Mar-93 10:35	170.	29-May-93 23:39	149.	19-Jul-93 09:13	103.	06-Sep-93 08:17	31.0
20-Nov-92 08:20	110	05-Mar-93 11:15	170.	30-May-93 08:25	148.	21-Jul-93 09:18	103.	08-Sep-93 13:40	28.5
22-Nov-92 13:00	115.	08-Mar-93 10:00	170.	30-May-93 15:54	147.	23-Jul-93 09:14	102.	10-Sep-93 10:45	28.0
23-Nov-92 10:40	117	12-Mar-93 09:50	170.	30-May-93 21:10	147.	26-Jul-93 09:50	102.	13-Sep-93 10:30	27.
24-Nov-92 11:42	116	15-Mar-93 10:30	172.	31-May-93 08:49	145.	28-Jul-93 10:35	102.	15-Sep-93 10:45	25.
25-Nov-92 13:55	118	16-Mar-93 14:40	172.	31-May-93 15:31	144.	30-Jul-93 11:05	101.	17-Sep-93 10:30	24.
26-Nov-92 13:00	120	22-Mar-93 10:30	172.	31-May-93 21:45	144.	03-Aug-93 13:30	102.	20-Sep-93 13:45	22.
27-Nov-92 10:15	120	24-Mar-93 15:00	172.	01-Jun-93 09:02	142.	06-Aug-93 10:15	102.	22-Sep-93 10:40	21.
27-Nov-92 23:32	118.	29-Mar-93 09:55	172.	01-Jun-93 15:00	142.	09-Aug-93 09:38	101.	27-Sep-93 14:00	21.
28-Nov-92 09:30	102	01-Apr-93 10:45	173.	01-Jun-93 21:12	141.	11-Aug-93 08:23	100.	04-Oct-93 14:09	19.
28-Nov-92 09:33	102	06-Apr-93 12:55	173.	02-Jun-93 09:05	140.	11-Aug-93 11:25	97.5	11-Oct-93 11:10	19.
28-Nov-92 09:40	102	13-Apr-93 14:30	174.	02-Jun-93 14:42	139.	11-Aug-93 12:00	96.0	18-Oct-93 10:20	18.
28-Nov-92 10:20	101	19-Apr-93 14:00	174.						

*VIÐAUKI E*

*Rennsli úr holu LPN-11 og í holur LPÝ-6 og LPÝ-8*





RENNSLISMÆLINGAR Í HOLU LFN-11

Dags	Timi	Vinnsla	Rennali	Dags	Timi	Vinnsla	Rennali	Dags	Timi	Vinnsla	Rennali	Dags	Timi	Vinnsla	Rennali
		(m³)	(l/s)			(m³)	(l/s)			(m³)	(l/s)			(m³)	(l/s)
22-Jul-92	07:30		1.4	28-Nov-92	09:30	27723	2.3	22-Mar-93	10:30	188628	15.5	07-Jun-93	13:58:00	291159	15.4
24-Jul-92	13:00		1.4	28-Nov-92	12:00	27766	3.96	24-Mar-93	15:00	191566	15.5	07-Jun-93	18:34:00	291412	15.3
28-Jul-92	07:30		2.9	28-Nov-92	15:00	27792	2.2	29-Mar-93	09:55	198023	15.5	08-Jun-93	08:15:00	292172	15.3
29-Jul-92	07:30		3.2	28-Nov-92	17:00	27806	2.1	01-Apr-93	10:45	202108		08-Jun-93	13:43:00	292473	15.4
29-Jul-92	15:00		20.	28-Nov-92	19:00	27822	2.05	06-Apr-93	12:55	208931		08-Jun-93	18:43:00	292751	15.4
29-Jul-92	18:15		11.0	28-Nov-92	20:45	27838	2.24	13-Apr-93	14:30	218362		09-Jun-93	08:52:00	293539	15.3
29-Jul-92	20:13		8.7	29-Nov-92	09:10	27838	0.0	19-Apr-93	14:00	226311		09-Jun-93	18:53:00	294094	15.3
30-Jul-92	08:12		5.0	29-Nov-92	10:10	27838	0.0	26-Apr-93	10:10	235380		10-Jun-93	08:53:00	294872	15.3
30-Jul-92	10:30		5.0	01-Dec-92	17:30	27862		03-May-93	10:30	244661		10-Jun-93	18:50:00	295432	15.3
30-Jul-92	13:44		5.0	01-Dec-92	18:00	27889	12.9	06-May-93	14:30	248838		11-Jun-93	08:54:00	296204	15.3
30-Jul-92	13:45		50.	01-Dec-92	19:00	27920	19.0	10-May-93	14:00	254084		11-Jun-93	18:52:00	296756	15.3
30-Jul-92	14:15		50.	01-Dec-92	21:00	28049	18.8	14-May-93	10:15	259098		12-Jun-93	08:42:00	297523	15.4
30-Jul-92	14:16		0.0	02-Dec-92	08:00	28788	17.8	25-May-93	14:12	273924	15.5	12-Jun-93	18:00:00	298043	15.4
30-Jul-92	14:30		0.0	02-Dec-92	10:15	28933	17.8	25-May-93	15:30	273941	15.4	13-Jun-93	08:35:00	298848	15.3
30-Jul-92	14:31		50.	02-Dec-92	11:00	28980	20.1	25-May-93	15:48	273957	15.6	13-Jun-93	19:06:00	299434	15.4
30-Jul-92	18:30		50.	02-Dec-92	15:30	29313	19.8	25-May-93	16:10	273979	15.5	14-Jun-93	08:54:00	300203	15.3
30-Jul-92	18:31		0.0	03-Dec-92	08:00	30475	19.3	25-May-93	17:27	274044	15.8	14-Jun-93	18:46:00	300751	15.4
06-Aug-92	23:50		1	03-Dec-92	13:30	30852	19.2	25-May-93	18:53	274130	15.4	15-Jun-93	09:02:00	301543	15.3
16-Aug-92	08:30		3	03-Dec-92	15:00	30957	19.5	25-May-93	20:29	274218	15.3	15-Jun-93	18:53:00	302090	15.3
16-Aug-92	08:31		50.	04-Dec-92	08:07	32158	19.0	25-May-93	22:40	274338	15.6	16-Jun-93	09:05:00	302881	15.4
16-Aug-92	17:15		50.	04-Dec-92	14:44	32614	18.7	26-May-93	00:48	274457	15.8	16-Jun-93	18:47:00		15.41
16-Aug-92	17:16		0.	05-Dec-92	10:30	34027	20.0	26-May-93	06:20	274764	15.5	17-Jun-93	08:54:00	304202	15.4
11-Nov-92	10:30	176	5.1	06-Dec-92	10:10	35694	19.2	26-May-93	10:02	274972	15.6	17-Jun-93	18:48:00	304748	15.3
11-Nov-92	10:54	179	6.1	07-Dec-92	08:10	37226	19.3	26-May-93	10:42		15.4	18-Jun-93	08:58:00	305534	15.4
11-Nov-92	11:03	183	6.0	07-Dec-92	13:30	37598	19.0	26-May-93	13:59	275195	15.5	18-Jun-93	15:00:00	305870	15.3
11-Nov-92	11:10	185	6.2	08-Dec-92	13:30	39292	19.5	26-May-93	14:03		15.3	19-Jun-93	07:40:00	306791	15.3
11-Nov-92	11:20	189	6.1	09-Dec-92	09:45	40697	19.4	26-May-93	18:12	275424	15.3	20-Jun-93	09:00:00	308201	15.4
11-Nov-92	11:25	191	9.6	10-Dec-92	10:10	42378	18.7	27-May-93	00:02	275746	15.5	20-Jun-93	18:55:00	308750	15.3
11-Nov-92	11:35	197	9.4	11-Dec-92	09:55	44057	19.2	27-May-93	00:10		15.26	21-Jun-93	08:55:00	309527	15.3
11-Nov-92	11:40	200	9.4	12-Dec-92	12:15	45904	18.9	27-May-93	08:31	276216	15.7	22-Jun-93	08:59:00	310862	15.4
11-Nov-92	11:55	208	9.4	14-Dec-92	15:05	49310	18.2	27-May-93	08:35		15.33	23-Jun-93	09:06:00	312203	15.3
11-Nov-92	12:05	214	9.4	16-Dec-92	13:40	52445	18.7	27-May-93	14:04	276526	15.3	24-Jun-93	09:13:00	313542	15.3
11-Nov-92	12:18	225	9.3	21-Dec-92	10:00	60132	17.8	27-May-93	18:15	276757	15.3	25-Jun-93	08:55:00	314852	15.3
11-Nov-92	13:24	273	13.4	25-Dec-92	13:30	66467	17.8	27-May-93	22:50	276998	15.3	26-Jun-93	09:17:00	316203	15.4
11-Nov-92	13:38	290	18.0	28-Dec-92	10:10	70834	17.3	28-May-93	08:31	277551	15.5	27-Jun-93	09:02:00	317521	15.3
11-Nov-92	13:56	307	17.9	03-Jan-93	11:00	79933	17.2	28-May-93	08:39		15.32	28-Jun-93	09:20:00	318867	15.3
11-Nov-92	14:32	347	17.9	04-Jan-93	13:30	81598		28-May-93	13:28	277827	15.5	29-Jun-93	09:01:00	320181	15.4
11-Nov-92	14:34		22.7	05-Jan-93	13:40	83108		28-May-93	13:39		15.35	30-Jun-93	09:11:00	321523	15.3
11-Nov-92	16:20	495	22.7	08-Jan-93	10:30	87321		28-May-93	18:20	278096	15.5	01-Jul-93	09:16:00	322860	15.4
11-Nov-92	16:38	520	-9.9	13-Jan-93	11:00	94618		28-May-93	18:25		15.3	02-Jul-93	09:20:00	324196	15.3
11-Nov-92	17:00	548	22.5	14-Jan-93	14:00	96236		29-May-93	08:00	278851	15.3	05-Jul-93	09:01:00	328177	15.3
11-Nov-92	18:52	701	22.4	15-Jan-93	14:00	97693		29-May-93	14:27	279210	15.3	07-Jul-93	10:02:00	330892	15.3
11-Nov-92	22:40	1006	22.2	18-Jan-93	13:55	102012		29-May-93	18:13	279418	15.3	09-Jul-93	09:07:00	333495	15.3
12-Nov-92	09:00	1828	21.7	19-Jan-93	15:15	103519		29-May-93	23:45	279725	15.3	12-Jul-93	08:00:00	337442	15.4
12-Nov-92	09:41	1877	21.6	20-Jan-93	13:50	104857		30-May-93	08:25	280204	15.4	14-Jul-93	09:42:00	340171	15.3
12-Nov-92	10:00	1905	21.7	21-Jan-93	14:15	106302		30-May-93	15:59	280625	15.3	16-Jul-93	09:02:00	342740	15.3
12-Nov-92	10:24	1933	21.7	26-Jan-93	16:00	113474		30-May-93	21:15	280916	15.3	19-Jul-93	09:15:00	346742	15.4
12-Nov-92	14:20	2241	21.5	28-Jan-93	13:40	116146		31-May-93	08:55	281563	15.3	21-Jul-93	09:20:00	349461	15.4
12-Nov-92	16:45	2429	21.2	01-Feb-93	10:08	121543		31-May-93	15:33	281929	15.3	23-Jul-93	09:18:00	352112	15.4
13-Nov-92	10:40	3787	20.8	04-Feb-93	10:50	125773		31-May-93	21:50	282278	15.3	26-Jul-93	09:50:00	356134	15.4
13-Nov-92	14:40	4084	20.7	05-Feb-93	13:55	127343		01-Jun-93	09:09	282907	15.3	28-Jul-93	10:35:00	358832	15.5
14-Nov-92	10:05	5524	20.4	08-Feb-93	10:15	131297		01-Jun-93	15:03	283233	15.3	30-Jul-93	11:05:00	361517	15.4
15-Nov-92	10:17	7285	20.0	09-Feb-93	13:30	132868		01-Jun-93	21:18	283580	15.3	03-Aug-93	13:30:00	366967	15.4
16-Nov-92	10:15	8987	19.7	17-Feb-93	15:05	143967	16.0	03-Jun-93	14:33	285868	15.2	06-Aug-93	10:15:00	370761	15.5
17-Nov-92	09:45	10654	19.4	22-Feb-93	09:55	150549	15.8	03-Jun-93	21:22	286244	15.3	09-Aug-93	09:40:00	374703	15.3
18-Nov-92	16:00	12753	19.0	24-Feb-93	13:25	153493	15.6	04-Jun-93	08:20	286855	15.4	11-Aug-93	08:25:00	377291	15.3
19-Nov-92	10:05	14021	19.0	26-Feb-93	13:50	156254	15.6	04-Jun-93	16:52	287325	15.4	11-Aug-93	11:25:00	377440	4.85
20-Nov-92	08:20	15549	18.8	28-Feb-93	13:55	158991	15.9	04-Jun-93	20:35	287531	15.3	11-Aug-93	12:00:00	377452	5.29
22-Nov-92	13:00	19125	18.9	01-Mar-93	14:15	160376	15.9	05-Jun-93	09:12	288232	15.3	11-Aug-93	12:44:00	377468	4.99
23-Nov-92	10:40	20583	18.6	04-Mar-93	10:35	164258	15.8	05-Jun-93	13:45	288484	15.4	11-Aug-93	13:27:00	377480	4.83
24-Nov-92	11:42	22260	18.6	05-Mar-93	11:15	165658	15.5	05-Jun-93	18:36	288753	15.3	11-Aug-93	14:24:00	377498	4.86
25-Nov-92	13:55	23853	18.5	08-Mar-93	10:00	169677	15.7	06-Jun-93	07:00	289441	15.4	11-Aug-93	15:53:00	377527	5.02
26-Nov-92	13:00	25411	18.3	12-Mar-93	09:50	175096	15.6	06-Jun-93	14:03	289832	15.3	11-Aug-93	16:59:00	377549	4.50
27-Nov-92	10:15	26804	17.2	15-Mar-93	10:30	179195	15.6	06-Jun-93	18:25	290071	15.3	11-Aug-93	18:05:00	377568	4.80
27-Nov-92	23:32	27590	15.3	16-Mar-93	14:40	180784	15.5	07-Jun-93	08:08	290835	15.3	11-Aug-93	18:50:00	377582	4.80





## VIÐAUKI F

*Túlkun ferilprófana og áhrif niðurdælingar*





## Fræðilegir útreikningar á rennsli ferilefnis eftir sprungubelti

Líkanið sem notað er til þess að herma rennsli ferilefnis milli niðurdælingarholu og vinnsluholu er sýnt á mynd F.1 hér á eftir. Gert er ráð fyrir niðurdælingu  $q$  (kg/s) sem tekur með sér ferilefnið og ber það út í sprungubeltið. Dælingin úr vinnsluholunni er síðan  $Q$  (kg/s) og millirennslíð eftir sprungubeltinu er jafnt niðurdælingunni. Til einföldunar er gert ráð fyrir því að millirennslíð eftir sprungubeltinu sé einvítt og að það dreifist yfir hluta sprungubeltisins með þversskurðarflatarmál  $A = h \times b$ , þar sem  $h$  er hæð þess og  $b$  breidd. Auk þess er gert ráð fyrir því að sprungubeltið hafi poruhluta  $\phi$  og tvístrunar lengd (dispersivity)  $\alpha_L$  (m). Rennslí ferilefnisins má þá lýsa með jöfnunni:

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = u \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial C}{\partial t} \quad (\text{F-1})$$

þar sem  $C$  er styrkur ferilefnisins (kg/m<sup>3</sup>) sem fall af  $x$ , fjarlægðinni eftir sprungubeltinu frá niðurdælingarholunni. Auk þess er  $t$  tíminn,  $u$  meðalhraði millirennslisins,  $u = q/\rho A \phi$  og  $D$  tvístrunarstuðull (dispersion coefficient) sprungubeltisins,  $D = \alpha_L u$ .

Við tímann  $t = 0$  er massinn  $M$  af ferilefni látinn í niðurdælingarholuna og berst hann með millirennslinu eftir sprungubeltinu. Lausn á jöfnu (F-1) má finna í Carslaw og Jaeger (1959), en hún gefur þá styrk ferilefnisins í sprungubeltinu, sem fall af fjarlægð frá niðurdælingarholunni og tímanum:

$$C(x,t) = \frac{M}{A\phi} \frac{1}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-(x-ut)^2/4Dt} \quad (\text{F-2})$$

Millirennslíð berst síðan yfir í vinnsluholuna og þá gildir að:

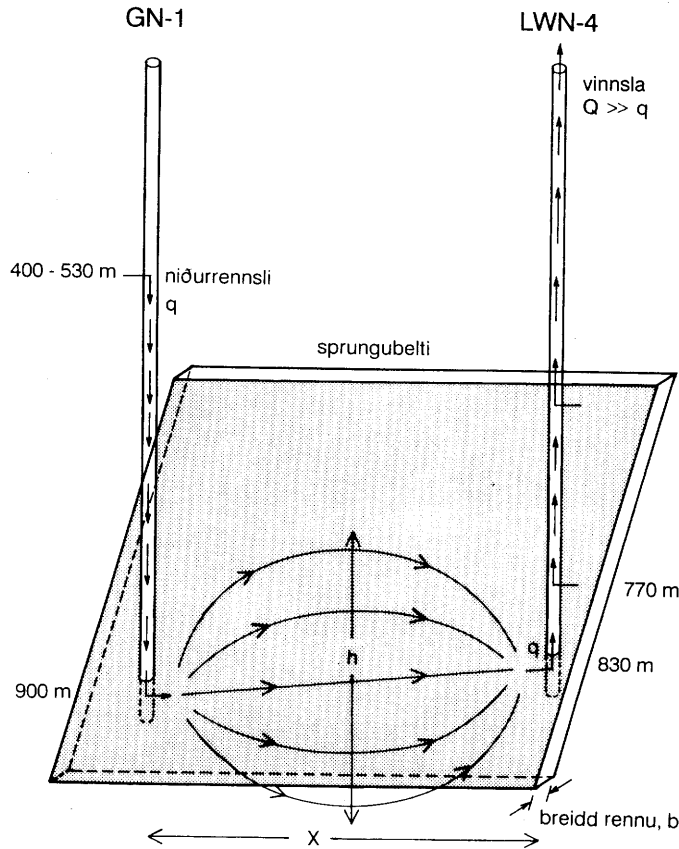
$$c Q = C q \quad (\text{F-3})$$

þar sem  $c$  er styrkur ferilefnisins í vatni úr holunni. Styrkurinn, sem fall af tímanum, er þá gefinn með eftirfarandi jöfnu:

$$c(t) = \frac{\rho u M}{Q} \frac{1}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-(x-ut)^2/4Dt} \quad (\text{F-4})$$

Stuðlar líkansins; þ.e.  $M/Q$ ,  $D$  og  $u$ , ákvarðast síðan af mældum styrk ferilefnisins. Þess ber að geta að gert er ráð fyrir því að  $q$  og  $Q$  breytist lítið.

JHD FF 8609 GAx  
93.02.0071 Gyða



Mynd F.1. Líkan notað við túlkun ferilprófana.

### Leiðrétting á styrk ferilefnis vegna hringdælingar

Þegar hringdælt er í niðurdælingartilraun, þ.e. vatni sem dælt er úr vinnsluholu er dælt niður aftur, er ekki hægt að nota jöfnu (F-4) hér að framan beint til þess að túlka styrk ferilefnis í vatni úr vinnsluholunni. Er það vegna þess að auk ferilefnisins sem sett er niður í upphafi fer ferilefnið, sem kemur upp úr vinnsluholunni, aftur niður um niðurdælingarholuna. Leiðrétta má fyrir þessum áhrifum hringdælingarinnar eins og lýst er hér að neðan. Hér gildir að:

$$C(x,t) = C_0(x,t) + \frac{q}{M\rho} \int_0^t c(t-\tau) C_0(x,\tau) d\tau \quad (F-5)$$

þar sem  $C(x,t)$  er styrkur ferilefnisins í sprungubeltinu í fjarlægð  $x$  frá niðurdælingarholunni,  $c(t)$  er styrkur þess í vatni úr vinnsluholunni, og  $C_0(x,t)$  er styrkur þess í sprungubeltinu vegna upphaflegu niðursetningarinnar. Jöfnu (F-5) má umskrifa þannig að hún innihaldi einungis styrk

ferilefnisins í vatni úr vinnsluholunni:

$$c(t) = c_0(t) + \frac{q}{M\rho} \int_0^t c(t-\tau) c_0(\tau) d\tau \quad (\text{F-6})$$

þar sem  $c_0(t)$  stendur fyrir styrk ferilefnisins í vatni úr vinnsluholunni vegna upphaflegu niðurstetningarinnar,  $c_0(t) = (q/Q)C_0(t)$ . Leysa þarf  $c_0(t)$  út úr jöfnu (F-6) til þess að leiðrétta mældan styrk fyrir áhrifum hringdælingarinnar. Nú er styrkurinn  $c(t)$  mældur við tímana  $t_i$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots$ , en  $t_0 = 0$ . Einnig má skilgreina  $c_i = c(t_i)$  og  $(c_0)_i = c_0(t_i)$ . Gengið er út frá því að  $c_0 = (c_0)_0 = 0$ . Með því að nálga

$$\int_{t_{i-1}}^{t_i} c(t_k - \tau) c_0(\tau) d\tau \approx \frac{1}{2} [c(t_k - t_{i-1})(c_0)_{i-1} + c(t_k - t_i)(c_0)_i] (t_i - t_{i-1}) \quad (\text{F-7})$$

má nálga jöfnu (F-6) á eftirfarandi máta:

$$c_k \approx (c_0)_k + \frac{q}{2M\rho} \sum_{i=1}^k [c(t_k - t_{i-1})(c_0)_{i-1} + c(t_k - t_i)(c_0)_i] (t_i - t_{i-1}) \quad (\text{F-8})$$

Þessa jöfnu má umskrifa

$$c_k \approx (c_0)_k + \frac{q}{2M\rho} \left[ \sum_{i=0}^{k-1} c(t_k - t_i)(c_0)_i(t_{i+1} - t_i) + \sum_{i=1}^k c(t_k - t_i)(c_0)_i(t_i - t_{i-1}) \right] \quad (\text{F-9})$$

Fyrsti liðurinn í fyrri summunni ( $i=0$ ) í þessari jöfnu fellur út því  $(c_0)_0 = 0$  og einnig sá seinasti í seinni summunni ( $i=k$ ) því  $c(t_k - t_k) = 0$ . Þá gildir:

$$c_k \approx (c_0)_k + \frac{q}{2M\rho} \sum_{i=1}^{k-1} c(t_k - t_i)(c_0)_i(t_{i+1} - t_{i-1}), \quad \text{fyrir } k=1,2,\dots \quad (\text{F-10})$$

Þessa jöfnu má leysa fyrir  $(c_0)_k = c_0(t_k)$ , sem að lokum gefur:

$$(c_0)_k \approx c_k - \frac{q}{2M\rho} \sum_{i=1}^{k-1} c(t_k - t_i)(c_0)_i(t_{i+1} - t_{i-1}), \quad \text{fyrir } k=1,2,\dots \quad (\text{F-11})$$

Í ofangreindri jöfnu eru  $c_k$  mæld gildi, en  $c(t_k - t_i)$  þarf að áætla með því að brúa milli mældu gildanna næst á undan og eftir. Jafnan er reiknuð skref fyrir skref frá  $k=1$  því þá inniheldur summan við hvert skref einungis mæld gildi auk gilda fyrir  $(c_0)_i$  sem reiknuð voru í skrefunum á undan.

## Fræðilegir útreikningar á kólnun vegna millirennslis um sprungubelti

Líkanið sem notað er til þess að herma rennsli ferilefnis milli holna má einnig nota til þess að áætla kólnun vatns úr vinnsluholu við niðurdælingu kaldara vatns í niðurdælingarholu (mynd F.1). Niðurrennslið er  $q$  kg/s og dælingin úr vinnsluholunni er  $Q$  kg/s. Eins og hér að framan er gert ráð fyrir einvíðu millirennslis eftir sprungubeltinu og að það dreifist yfir hluta sprungunnar sem er  $h$  að hæð. Eftirfarandi jöfnur lýsa annars vegar hitaástandi bergsins við sprungubeltið:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}, \quad \text{með} \quad a = \frac{k}{\rho_b c_b} \quad (\text{F-12})$$

og hins vegar hita í sprungubeltinu:

$$\rho_v c_v b \frac{\partial T}{\partial t} + c_v \frac{q}{h} \frac{\partial T}{\partial x} = 2k \frac{\partial T}{\partial y} \quad (\text{F-13})$$

Hér er  $T$  hitinn,  $x$  fjarlægðin frá niðurdælingarholunni eftir sprungubeltinu,  $y$  fjarlægðin út í bergið þvert á sprungubeltið,  $t$  tíminn,  $b$  breidd sprungubeltisins,  $k$  varmaleiðni bergsins ( $\text{J}/\text{sm}^\circ\text{C}$ ),  $\rho_b$  eðlismassi bergsins ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) og  $c_b$  varmarýmd þess ( $\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$ ),  $\rho_v$  eðlismassi vatnsins og  $c_v$  varmarýmd þess. Upphafshiti bergsins og sprungubeltisins er  $T(x,y,0) = T_0$  og hiti niðurdælingarvatnsins er það fer inn í sprunguna er  $T(0,y,t) = T_n$ . Lausn á ofangreindum jöfnum er gefin af Carslaw og Jaeger (1959). Hiti millirennslisins í sprungubeltinu, sem fall af fjarlægð frá niðurdælingarholunni og tímanum, er þá gefinn með jöfnunni:

$$T_q(x,t) = T_n + (T_0 - T_n) \operatorname{erf} \left[ \frac{kxh}{c_v q \sqrt{a(t - x/\beta)}} \right], \quad \text{fyrir} \quad t > x/\beta \quad (\text{F-14})$$

þar sem  $\beta = q/\rho_v hb$ . Hita vatnsins sem dælt er úr holu 8 má þá áætla með:

$$T(t) = T_0 - \frac{q}{Q} \left[ T_0 - T_q \right] \quad (\text{F-15})$$

Hér er einnig gert ráð fyrir því að  $q$  og  $Q$  breytist lítið.

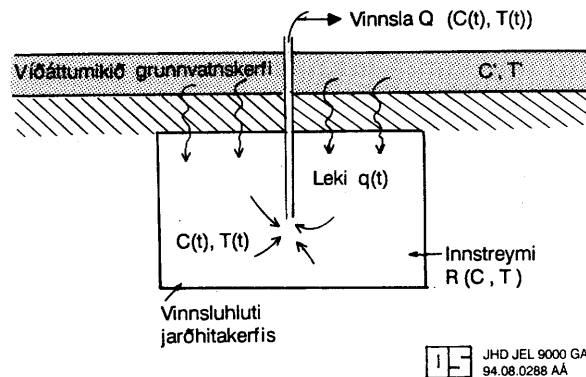
## VIÐAUKI G

*Efna- og hitabreytingar í þjöppuðu líkani*



## Efna- og hitabreytingar í þjöppuðu líkani með leka að ofan

Líkanið sem notað er til þess að herma viðbrögð jarðhitakerfisins á Þelamörk við kaldara innrennsli er sýnt á mynd G.1 hér á eftir (sjá einnig Guðna Axelsson, 1991; Guiling, 1991). Efri hluti líkansins er grunnvatnskerfi sem er svo viðáttumikið að þrýstingur í því fellur ekki þótt vatn leki úr því niður í jarðhitakerfið. Hiti vatns í grunnvatnskerfinu er  $T'$  og efnastyrkur  $C'$ . Fyrir neðan grunnvatnskerfið tekur við vinnsluhluti jarðhitakerfisins, sem hefur rúmmál  $V$ . Hiti vatns og efnastyrkur breytast með tíma í vinnsluhlutanum og eru þessar stærðir táknaðar með  $T(t)$  og  $C(t)$ . Upphafshiti og upphafsefnastyrkur í vinnsluhlutanum eru  $T_0$  og  $C_0$ .



Mynd G.1. Þjöppað líkan með fast innstreymi og leka að ofan.

Inn í vinnsluhluta líkansins streyma stöðugt  $R$  kg/s af vatni úr ytri og dýpri hlutum jarðhitakerfisins með hita  $T_R$  og efnastyrk  $C_R$ . Úr vinnsluhlutanum hefur síðan verið dælt  $Q$  kg/s af vatni frá tímanum  $t = 0$ , og líkir sú dæling eftir holi 11. Hiti vatnsins, sem dælt er, og efnastyrkur þess eru  $T(t)$  og  $C(t)$ . Milli grunnvatnskerfisins og vinnsluhlutans leka síðan  $q$  kg/s af vatni með hita  $T'$  og efnastyrk  $C'$ . Þessi leki er gefinn af

$$q(t) = (Q - R)(1 - e^{-\lambda t}) \quad (G-1)$$

þar sem  $\lambda$  ræðst af þrýstiviðbrögðum kerfisins.

Um varðveislu efnastyrks í líkaninu gildir eftirfarandi jafna:

$$V \frac{d(\rho_v \phi C)}{dt} + Q C = q C' + R C_R \quad (G-2)$$

þar sem  $\rho_v$  er eðlismassi vatns og  $\phi$  poruhluti bergs í kerfinu. Jafnframt gildir

$$V \frac{d(\rho_v \phi C)}{dt} = V \frac{d(\rho_v \phi)}{dt} C + V \rho_v \phi \frac{dC}{dt} \quad (G-3)$$

auk þess sem



$$V \frac{d(\rho_v \phi)}{dt} = \kappa \frac{\partial p}{\partial t} = q + R - Q \quad (G-4)$$

Þannig fæst grundvallarjafnan:

$$\frac{dC}{dt} + \alpha (q + R) C(t) = \alpha q C' + \alpha R C_R, \quad \text{með } \alpha = \frac{1}{V \rho_v \phi} \quad (G-5)$$

Almenn lausn á þessari jöfnu er gefin af eftirfarandi jöfnu:

$$C(t) = C_0 e^{-\alpha \int_0^t (q+R)d\tau} + \alpha e^{-\alpha \int_0^t (q+R)d\tau} \int_0^t (qC' + RC_R) e^{\alpha \int_0^\tau (q+R)ds} d\tau \quad (G-6)$$

Gengið er út frá því að hægt sé að nálga dælinguna úr kerfinu með

$$Q(t) \approx Q_i \quad \text{fyrir } t_{i-1} \leq t < t_i, \quad i=1,2, \dots \quad (G-7)$$

þar sem  $t_0 = 0$ . Þá má skilgreina:

$$C_i = C(t_i) \quad \text{fyrir } i=0,1,2, \dots \quad (G-8)$$

með  $C_0 = R$ . Jafnframt gildir:

$$q(t) \approx \sum_{j=1}^i (Q_j - Q_{j-1}) (1 - e^{-\lambda(t-t_{j-1})}) \quad \text{fyrir } t_{i-1} \leq t < t_i \quad (G-9)$$

Þá má nálga lekann að ofan með

$$\begin{aligned} q_i &= \frac{1}{\Delta t_i} \int_{t_{i-1}}^{t_i} q(t) d\tau = \frac{\sum_{j=1}^i (Q_j - Q_{j-1})}{\Delta t_i} \int_{t_{i-1}}^{t_i} (1 - e^{-\lambda(t-t_{j-1})}) dt \\ &= \sum_{j=1}^i (Q_j - Q_{j-1}) \left[ 1 - \frac{e^{\lambda t_{j-1}}}{\lambda \Delta t_i} (e^{-\lambda t_{i-1}} - e^{-\lambda t_i}) \right] \quad \text{fyrir } i=1,2, \dots \quad (G-10) \end{aligned}$$

þar sem  $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ , auk þess sem  $q_0 = 0$ .

Með ofangreindum nálgunum og með því að nota jöfnu (G-6) fyrir hvert tímaskref (frá  $t_{i-1}$  til  $t_i$ ) fæst lausnin fyrir efnastyrkinn í jarðhitakerfinu og vinnsluholunni:

$$C_i = C(t_i) \approx C_{i-1} e^{-\alpha(q_i+R)\Delta t_i} + \alpha e^{-\alpha(q_i+R)\Delta t_i} \int_0^{\Delta t_i} (q_i C' + RC_R) e^{\alpha(q_i+R)\tau} d\tau \quad (G-11)$$

sem að lokum má skrifa:

$$C_i = C(t_i) \approx C_{i-1} e^{-\alpha(q_i+R)\Delta t_i} + \left[ \frac{q_i C' + RC_R}{q_i + R} \right] (1 - e^{-\alpha(q_i+R)\Delta t_i}) \quad (G-12)$$

fyrir  $i=1,2, \dots$

Í jöfnu (G-12) þarf að reikna  $q_i$  með jöfnu (G-10), en oftast gildir að  $\lambda \Delta t_i \gg 1$ . Þá einfaldast þessar jöfnur verulega

$$q_i = \sum_{j=1}^i (Q_j - Q_{j-1}) = Q_i - R \quad (\text{G-13})$$

og

$$C_i \approx C_{i-1} e^{-\alpha Q_i \Delta t_i} + \frac{(Q_i - R)C' + RC_0}{Q_i} (1 - e^{-\alpha Q_i \Delta t_i}) \quad \text{fyrir } i=1,2, \dots (\text{G-14})$$

Þessi síðasta jafna er notuð hér að framan til þess að herma efnastyrksbreytingar sem urðu í vinnsluprófun jarðhitakerfisins á Þelamörk 1992 - 1993. Sama líkan má jafnframt nota til þess að spá breytingum á hita vatns við langtíma vinnslu úr jarðhitakerfinu. Um varðveislu hitaorku í líkaninu gildir eftirfarandi jafna:

$$V \frac{d((\rho c)T)}{dt} + c_v Q T = c_v q T' + c_v R T_R \quad (\text{G-15})$$

þar sem  $(\rho c)$  er rúmvarmarýmd jarðhitakerfisins og  $c_v$  er varmarýmd vatns. Þessi jafna er á nákvæmlega sama formi og jafna (G-2). Lausnin fæst því á sama máta:

$$T_i \approx T_{i-1} e^{-\beta Q_i \Delta t_i} + \frac{(Q_i - R)T' + RT_0}{Q_i} (1 - e^{-\beta Q_i \Delta t_i}) \quad \text{fyrir } i=1,2, \dots (\text{G-16})$$

$$\text{með } \beta = \frac{c_v}{V(\rho c)}$$