



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

HK

HITAVEITA RANGÆINGA

**Jarðhitarannsóknir 1987-1992
og möguleikar á frekari orkuöflun**

Grímur Björnsson, Guðni Axelsson, Jens Tómasson,
Kristján Sæmundsson, Árni Ragnarsson,
Sverrir Þórhallsson og Hrefna Kristmannsdóttir

Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga

OS-93008/JHD-03 B

Febrúar 1993



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 610 861

HITAVEITA RANGÆINGA

**Jarðhitarannsóknir 1987-1992
og möguleikar á frekari orkuöflun**

Grímur Björnsson, Guðni Axelsson, Jens Tómasson,
Kristján Sæmundsson, Árni Ragnarsson,
Sverrir Þórhallsson og Hrefna Kristmannsdóttir

Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga

OS-93008/JHD-03 B

Febrúar 1993

EFNISYFILIT

1. INNGANGUR	5
2. STAÐA ORKUÖFLUNAR HJÁ HITAVEITU RANGÆINGA	6
3. JARÐHITARANNSÓKNIR Á LAUGALANDI Í HOLTUM 1987-1992	9
3.1 Greining jarðlaga og vatnsæða í borholum	10
3.2 Hitadreifing í jörðu	11
3.3 Efnasamsetning jarðhitavatns	13
3.4 Vinnsluprófanir og lekt jarðhitakerfisins	16
3.5 Ferlunarprófun	20
3.6 Niðurdæling í GN-1 og spár um kólnun holu LWN-4	23
3.7 Innri gerð og eðli jarðhitakerfisins á Laugalandi	25
4. MÖGULEIKAR TIL VATNSVINNSLU Á ÖÐRUM JARÐHITASVÆÐUM	27
4.1 Lágheitsvæði í grennd við Laugaland í Holtum	27
4.1.1 Sprungukerfin næst Laugalandi	27
4.1.2 Sprungusvæðin austast í Holtum og vestast í Landsveit	28
4.1.3 Efri hluti Holtahrepps	31
4.1.4 Svæðið milli Laugalands og Kaldárholtslækjar	31
4.1.5 Forgangsröðun	32
4.2 Reykjadalir - Hvolsvöllur	32
5. MÖGULEIKAR TIL FREKARI ORKUÖFLUNAR	35
5.1 Laugaland í Holtum	35
5.1.1 Borun í efra kerfi	35
5.1.2 Niðurdæling	35
5.1.3 Borun djúprar holu	36
5.1.4 Sökkun öxuldælna	36
5.2 Jarðhitaleit í nágrenni Laugalands	36
5.3 Betri orkunýting og upphitun bakrásarvatns með rafmagni	38
6. NIÐURSTÖÐUR	41
RITSKRÁ	43
VIÐAUKI A: Greining jarðlaga og vatnsæða í holum á Laugalandi	47
VIÐAUKI B: Mat á berghita holna á Laugalandssvæðinu	56
VIÐAUKI C: Fræðilegir útreikningar á rennsli ferlunarefnis	66
VIÐAUKI D: Hitnun vatns sem rennur í heitara bergi	67
VIÐAUKI E: Forsendur fyrir áætlun borkostnaðar	68

MYNDASKRÁ

Mynd 1. Spár um lægsta vatnsborð í holu LWN-4 næsta áratuginn, bjartsýnisspár.	8
Mynd 2. Spár um lægsta vatnsborð í holu LWN-4 næsta áratuginn, svartsýnisspár.	8
Mynd 3. Afstöðumynd af Laugalandssvæðinu	10
Mynd 4. Berghiti holna á Laugalandssvæðinu	11
Mynd 5. Hitapversnið um holur á Laugalandssvæðinu	12
Mynd 6. Berghiti á 90 m dýpi á Laugalandssvæðinu	13
Mynd 7. Dæluþrófun holu L-2 þann 21. maí 1992.	17
Mynd 8. Vatnsborð holu GN-1 og vinnsla í og eftir dælustöðvun 22. júní 1992.	18
Mynd 9. Mælt og reiknað vatnsborð í holu GN-1 í og eftir dælustöðvun.	19
Mynd 10. Vatnsborð í holum L-2 og LN-3 í og eftir dælustöðvun.	19
Mynd 11. Styrkur ferlunarefnis og vinnsla LWN-4 í prófun haustið 1992.	20
Mynd 12. Endurheimta ferlunarefnis.	21
Mynd 13. Líkan af næstum lóðréttu sprungubelti sem tengir holur GN-1 og LWN-4.	22
Mynd 14. Mældur og reiknaður styrkur ferlunarefnis samkvæmt líkaninu á mynd 13.	22
Mynd 15. Spár um kólnun holu LWN-4 við niðurdælingu í GN-1.	24
Mynd 16. Þrívítt líkan að jarðhitakerfinu á Laugalandi.	26
Mynd 17. Jarðhitastaðir í grennd við Laugaland í Holtum. (Sjá næstu síðu).	28
Mynd 18. Sprungukerfi og eðlisviðnám í Ω m á 750 m dýpi í Holtum og Hreppum	32
Mynd 19. Dæmi um hitafall, þrýstifall og vatnshraða í 10 km langri, einangraðri pípu	34
Mynd A-1. Jarðlög og jarðlagamælingar í holu LWN-4	49
Mynd A-2. Allar jarðlagamælingar í holum á Laugalandssvæðinu	54
Mynd B-1. Hitamælingar í holu L-2	56

Mynd B-2. Hitamælingar í holu LN-3	57
Mynd B-3. Hitamælingar í fyrri borun holu LWN-4	58
Mynd B-4. Hitamælingar gerðar í dýpkun holu LWN-4	59
Mynd B-5. Hitamælingar gerðar í tengslum við dæluskipti í holu LWN-4	60
Mynd B-6. Berghiti holu LWN-4	61
Mynd B-7. Hitamælingar í holu GN-1 fram til 780 m bordýpis	62
Mynd B-8. Hitamælingar í holu GN-1 milli 17. september og 7. október 1984	63
Mynd B-9. Hitamælingar í holu GN-1 við lok borunar. Sumar mælinganna eru gerðar í loftblæstri.	64
Mynd B-10. Berghiti í holu GN-1	65

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1. Vinnsla úr jarðhitasvæðinu á Laugalandi í Holtum 1982-1992.	6
TAFLA 2. Yfirlit um borholur á Laugalandi og í Götu.	9
TAFLA 3. Efnainnihald jarðhitavatns á Laugalandi í Holtum (mg/l).	14
TAFLA 4. Efnasamsetning vatnssýna úr dæluþrófun holu 2.	15
TAFLA 5. Áætlað vatnsborð í holu L-2 við 5 og 10 l/s vinnslu.	17
TAFLA 6. Áætluð hækkun vatnsborðs í holu LWN-4 vegna niðurdælingar í holu GN-1.	23
TAFLA 7. Samanburður á orkutapi í aðveitu úr asbestpípu og úr stálpípu.	39
TAFLA 8. Samanburður á orkutapi í aðveitu úr asbestpípu og úr stálpípu (tvöföld einangrun).	39
TAFLA 9. Dýpi í holu LWN-4 þar sem berghiti er talinn þekktur	61
TAFLA 10. Dýpi í holu GN-1 þar sem berghiti er talinn þekktur	64

1. INNGANGUR

Hitaveita Rangæinga hefur síðasta áratug unnið heitt vatn úr borholum á jarðhitasvæðinu sem kennt er við Laugaland í Holtum. Hefur ársmeðalvinnslan numið frá 16,5-22 l/s (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1992). Mjög hefur reynt á jarðhitakerfið við vatnsvinnsluna og lækkaði vatnsborð ört fyrstu ár veitunnar. Síðan var dregið verulega úr vinnslu og stóð þá vatnsborð að mestu í stað um nokkurt skeið. Á síðasta ári jókst svo vinnslan á ný og fór vatnsborð þá lægra en nokkru sinni fyrr. Fram til ársins 1992 hafði vatnsborð í holu LWN-4, sem er vinnsluhola veitunnar, farið dýpst í um 160 m. Í mars 1992 fór vatnsborðið niður fyrir 180 m. Var því óttast að á allra næstu árum myndi vatnsborð í vinnsluholum nálgast dælundýpi í kuldaköstum á vetrum og vandræði hljóttast af.

Athugun á sögu vatnsborðs veturinn 1991-1992 sýndi að jarðhitakerfið brást við aukinni vinnslu í samræmi við spár frá 1990 (Guðni Axelsson, 1992). Ekki var því um óeðlileg viðbrögð þess að ræða eins og óttast var. Lækkandi vatnsborði var mætt með því að síkka dælu LWN-4 úr 225 m dýpi í 243 m.

Að þessari athugun lokinni óskaði Hitaveita Rangæinga eftir því við Orkustofnun að gerð yrði úttekt á jarðhitakerfinu við Laugaland og jafnframt á öðrum helstu vatnsvinnslukostum sem veitunni gætu nýst í framtíðinni. Fjallar þessi skýrsla um þá úttekt. Á Laugalandi skyldi úttektin varpa ljósi á innri gerð jarðhitakerfisins, segja til um hvort afla mætti meiri varmaorku með borunum og hvort hamla mætti gegn lækkun vatnsborðs með niðurdælingu í tiltækar borholur.

Jafnframt úttektinni á Laugalandi hefur verið litið á aðra vatnsvinnslukosti fyrir Hitaveitu Rangæinga. Tekið hefur verið saman stutt yfirlit yfir nálæg lághitasvæði og bent á helstu kosti sem þar bjóðast og hvaða rannsóknir þyrfti að gera á allra næstu árum. Einnig hefur verið metinn gróflega kostnaður við virkjun jarðhita í Reykjadölum á Torfajökulssvæði til upphitunar fyrir Hitaveituna. Að lokum er til samanburðar dregið á möguleika sem veitan hefur til orkusparnaðar með því að minnka varmatap í aðveitu með endurnýjun hennar.

Nokkrir sérfræðingar Orkustofnunar hafa unnið saman að þessari skýrslu. Fyrir utan inngang og niðurstöðukafla hafa Grímur Björnsson, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir lagt til efni kafla 2, 3 og 5, Kristján Sæmundsson og Hrefna Kristmannsdóttir kafla 4.1, Árni Ragnarsson kafla 4.2 og efni í kafla 5, Jens Tómasson viðauka A, Grímur Björnsson viðauka B, Guðni Axelsson viðauka C og D og Sverrir Þórhallsson efni í kafla 5 auk viðauka E. Verkefnisstjóri þessa verks var Hrefna Kristmannsdóttir.

2. STAÐA ORKUÖFLUNAR HJÁ HITAVEITU RANGÆINGA

Hitaveita Rangæinga hefur nýtt jarðhitasvæðið á Laugalandi í Holtum síðan í desember 1982. Heitu vatni hefur svo til eingöngu verið dælt úr holu LWN-4, en hola GN-1 verið varahola. Í töflu 1 eru birtar upplýsingar um vinnslu úr svæðinu árin 1982 - 1992 bæði ársmeðalvinnslu og heildarorkuvinnslu. Hiti vatnsins hefur jafnan verið um og yfir 98°C. Vinnsla var mikil og vatnsborð lækkaði ört fyrstu ár veitunnar. Ýmsar ráðstafanir voru því gerðar næstu árin til þess að draga úr vinnslu á Laugalandi. T.d. verður mikil kæling í aðveituæðinni til Hellu og Hvolsvallar. Því var settur upp rafskautsketill á Hvolsvelli auk þess sem lögnin var einangruð betur. Einnig er heita vatnið nú selt samkvæmt magnmælum. Verulega dró úr vinnslunni og stóð vatnsborð í stað á árunum 1988 - 1991.

Í töflu 1 kemur fram að vinnslan jókst aftur árið 1992 og var hún um 10% meiri en vinnslan árin 1990 og 1991. Þessi aukning er að einhverju leyti vegna aukinnar notkunar á Hvolsvelli, en ekki síður vegna kaldara tíðarfars. Vinnsluaukningin olli því að vatnsborð fór lægra árið 1992 en áður. Ljóst þykir að lækkaði vatnsborð á Laugalandi síðasta árið stafi eingöngu af aukinni vinnslu, en ekki breytingum í jarðhitakerfinu (Hrefna Kristmannsdóttir o. fl., 1992). Lækkaði vatnsborði var mætt með því að skikka dælu í holu LWN-4 í 243 m. Einnig var hluti dreifikerfis á Hvolsvelli tvöfaldaður svo nýta mætti bakrennslið í kyndistöðinni þar og minnka dælingu á Laugalandi um sama magn.

TAFLA 1. Vinnsla úr jarðhitasvæðinu á Laugalandi í Holtum 1982-1992.

Ár	Ársmeðalvinnsla (l/s)	Heildarorkuvinnsla ¹⁾ (GWh)
1982	7,4	17,6
1983	19,4	46,2
1984	19,1	45,5
1985	21,8	51,9
1986	21,1	50,2
1987	19,4	46,2
1988	18,5	44,0
1989	17,6	41,9
1990	16,6	39,5
1991	16,7	39,7
1992	18,4	43,8

¹⁾ Míðað við nýtingu í 30°C.

Á árinu 1992 var orkuvinnslan á Laugalandi um 44 GWh (tafla 1). Töluvert af þeirri orku tapast í aðveituæðinni milli Laugalands og Hellu. Ef reiknað er með 80°C meðalhita vatnsins á Hellu fæst að tapið svarar til 11,5 GWh árið 1992. Einnig má áætla gróflega að milli Hellu og Hvolsvallar hafi tapast um 8,5 GWh. Kyndistöðin á Hvolsvelli bætir þetta tap að miklu leyti upp. Heildarorkuvinnsla Hitaveitu Rangæinga árið 1992 var því nokkuð yfir 50 GWh. Ef hins vegar

er reiknað með lágmarks orkutapi í aðveitu má áætla að orkuvinnslan væri aðeins um 35 - 40 GWh.

Til þess að áætla vatnsborðsbreytingar á Laugalandi í næstu framtíð voru reiknaðar vatnsborðs-spár með þjöppuðu líkani af jarðhitakerfinu (Guðni Axelsson, 1990), sem birtar eru á myndum 1 og 2. Þær byggja á fyrirliggjandi gögnum um vinnslu og vatnsborð fram til 1. febrúar 1993. Spárnar eru reiknaðar fyrir eftirfarandi þrjú tilfelli:

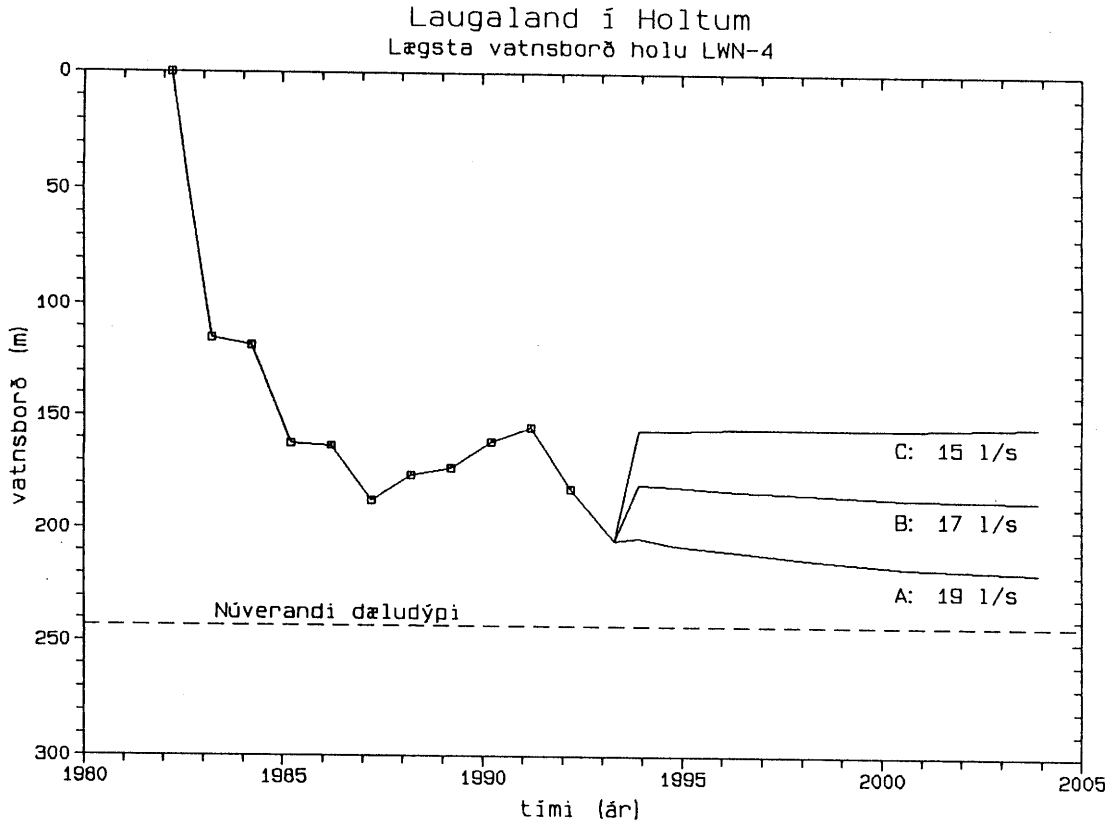
- A. Hér er gert ráð fyrir því að veður verði kalt næsta áratuginn og að aukningin sem orðið hefur í vatnsnotkun á Hvolsvelli, aðallega vegna Sláturfélags Suðurlands, haldist. Ekki er gert ráð fyrir aukinni nýtingu bakrennslis í kyndistöð frá því sem var 1992. Gert er ráð fyrir lítið eitt meiri ársmeðalvinnslu en árið 1992, eða 19 l/s.
- B. Í þessu tilfelli er gert ráð fyrir sömu aðstæðum og árið 1992 hvað veðurfar og vatnsnotkun varðar. Auk þess er gert ráð fyrir því að 2,5 l/s af bakrennslis verði að meðaltali nýtt í kyndistöðinni á Hvolsvelli. Hér er því gert ráð fyrir 17 l/s ársmeðalvinnslu.
- C. Í síðasta tilfellinu er gert ráð fyrir því að lögð hafi verið vel einangruð stállögn milli Laugaland og Hellu og að við það verði ársmeðalvinnslan 2 l/s minni en í tilfelli B, eða 15 l/s.

Spárnar á mynd 1 eru reiknaðar með opnu líkani af jarðhitakerfinu þar sem jafnvægi næst á einum til tveimur áratugum milli innrennslis og vinnslu úr kerfinu. Vatnsborð hættir því að lækka ef meðalvinnsla helst óbreytt. Spárnar á mynd 1 má því kalla bjartsýnisspár. Spárnar á mynd 2 eru hins vegar svartsýnisspár, því þær gera ekki ráð fyrir að slíkt jafnvægi náist. Þess má geta að spárnar á mynd 1 eru í góðu samræmi við vatnsborðsspár frá 1990 (Guðni Axelsson, 1990) og að opið líkan nær í raun mjög vel að herma fyrirliggjandi gögn. Hins vegar er hyggilegra að gera ráð fyrir því að vatnsborð á Laugalandi fylgi svartsýnisspánum, fyrst um sinn a.m.k.

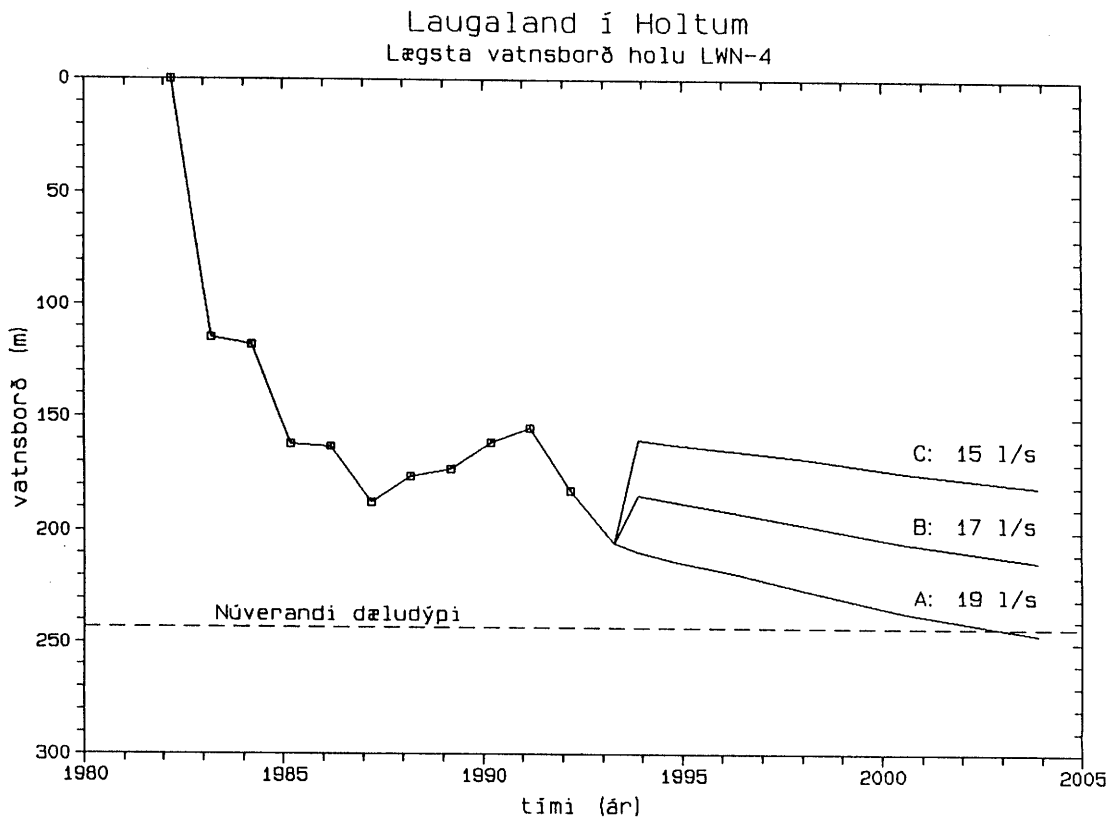
Mynd 2 sýnir greinilega að ef bakrennslisvatn er ekki nýtt í kyndistöðinni á Hvolsvelli er hættu á að vatnsborð í holu LWN-4 nálgist enda dælu fyrir aldamót (tilfelli A). Nýting á bakrennslis mun þar skipta sköpum (tilfelli B). Áætla má að nýting 2,5 l/s af bakrennslisvatni í kyndistöðinni á Hvolsvelli muni tefta lækkingu vatnsborðs um 15 ár frá því sem yrði ef bakrennslis væri ekki nýtt. Myndin sýnir einnig að þó ársmeðalvinnslan minnki aftur niður í 17 l/s, vegna nýtingar bakrennslis, er ekki hægt að gera ráð fyrir að Hitaveita Rangæinga geti mætt hugsanlegri aukningu í vatnsnotkun næsta áratuginn, nema að mjög litlu leyti, með núverandi dælubúnaði. Í kafla 5 er minnst á það að tæknilega mögulegt er að hafa öxuldælur á meira en 240 - 250 m dýpi. Það hefur verið reynt erlendis, en ekki í jarðhitaholum á Íslandi.

Mynd 2 sýnir einnig jákvæð áhrif nýrrar lagningar milli Laugaland og Hellu (tilfelli C). Áætla má að við 15 l/s ársmeðalvinnslu verði vatnsborð um 12 árum lengur að ná dæludýpi í holu LWN-4 en við 17 l/s vinnslu. Að lokum má nefna að niðurdæling hvers sekúndulítra á Laugalandi hefur álfka áhrif á vatnsborð svæðisins og rafkynding sama magns bakrásarvatns á Hvolsvelli.

Laugalandssvæðið mun væntanlega skila áfram stórum hluta varmaorkunnar sem Hitaveita Rangæinga þarfnast næstu áratuginna. Umfjöllunin í þessum kafla undirstrikar hinsvegar nauðsyn þess að Hitaveitan nýti vel næstu 5 - 10 árin til þess að kanna kosti til frekari orkuöflunar, en um þá er fjallað í köflum 4 og 5 hér á eftir.



Mynd 1. Spár um lægsta vatnsborð í holu LWN-4 næsta áratuginn, bjartsýnisspár.



Mynd 2. Spár um lægsta vatnsborð í holu LWN-4 næsta áratuginn, svartsýnisspár.

3. JARÐHITARANNSÓKNIR Á LAUGALANDI Í HOLTUM 1987-1992

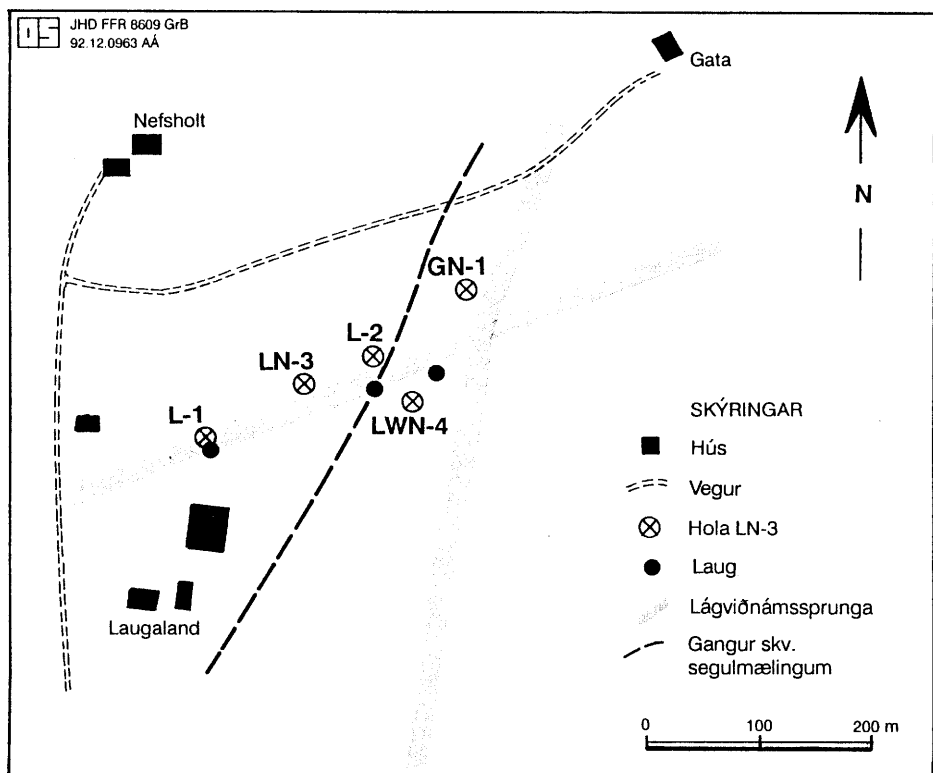
Eins og fram kom í síðasta kafla mun Laugalandssvæðið skila áfram stórum hluta varmaorkunnar sem Hitaveita Rangæinga þarfnast næsta áratuginn. Einn liður í því að tryggja áframhaldandi farsæla orkuvinnslu á Laugalandssvæðinu er að skilja rétt innri gerð og eðli jarðhitakerfisins. Verður hér á eftir lýst úttekt sem gerð hefur verið á jarðhitakerfinu í þessum tilgangi. Helstu þættir hennar eru:

- *Greining jarðlaga:* Lýst er jarðlögum og vatnsæðum í holu LWN-4 og tengslum þeirra við jarðlög og vatnsæðar annarra holna. Jafnframt er skoðað hvernig jarðlagamælingar í borholum tengjast jarðfræðinni.
- *Hitadreifing í jörðu:* Farið hefur verið ítarlega í saumana á öllum tiltækum hitamælingum í borholum og metið hver var berghiti á Laugalandi, áður en boranir röskuðu hitaástandi svæðisins.
- *Efnainnihald jarðhitavats:* Fjallað er um efnainnihald vatns úr vinnsluholunum á Laugalandi og breytingar þær sem orðið hafa síðasta áratuginn. Einnig er lýst niðurstöðum efnagreininga nýrra vatnssýna úr volgru við holu 1 og vatnsýna sem tekin voru í tengslum við dæluprófun holu 2 vorið 1992.
- *Niðurdæling ferlunarefnis:* Lýst er tilraun með niðurdælingu ferlunarefnis sem gerð var haustið 1992 og sýnt hvernig gögnin eru túlkuð út frá eiginleikum jarðhitakerfisins.
- *Kæling af völdum niðurdælingar:* Niðurstöður ferlunarprófunarinnar ásamt fræðilegum athugunum á kælingu bergs við sprungu, sem kaldara vatn streymir eftir, eru nýttar til þess að áætla gróflega kólnun vatns úr vinnsluholu ef til niðurdælingar kemur á Laugalandssvæðinu.
- *Líkan af jarðhitakerfinu:* Niðurstöður ofangreindra liða eru að lokum dregnar saman í hugmyndalíkan að jarðhitakerfinu, sem lýsir innri gerð þess og viðbrögðum við vinnslu.

Mynd 3 sýnir legu borholna á Laugalandssvæðinu og helstu upplýsingar úr jarðfræði og jarðeðlisfræðirannsóknnum sem þar hafa verið gerðar. Alls hafa 5 holur verið boraðar. Tvær þeirra, holur LWN-4 og GN-1, eru virkjaðar með djúpdælum. Tafla 2 gefur yfirlit um holurnar. Fjölmargar skýrslur og greinargerðir hafa verið skrifaðar um Laugalandssvæðið og eru flestar þeirra taldar upp í ritskrá í lok skýrslunnar.

TAFLA 2. Yfirlit um borholur á Laugalandi og í Götu.

Holu-nafn	Oracle númer	Bortími	Holu-dýpi (m)	Vinnslufóðring (m)
L-1	83441	'46	91	-
L-2	83442	7/2-3/3 '63	206	24
LN-3	83443	21/6-19/7 '77	1309	16
LW-4	83444	8/7-23/8 '80	844	21
LWN-4	83444	18/3-7/5 '82	1014	292
GN-1	83421	21/6-21/10 '84	1027	402



Mynd 3. Afstöðumynd af Laugalandssvæðinu.

3.1 Greining jarðlaga og vatnsæða í borholum

Einn þeirra þátta, sem hafðir eru til hliðsjónar við mat á innri gerð og eðli jarðhitakerfisins á Laugalandi, er jarðlagaskipanin sem ráða má í af borsvarfi og borholumælingum. Jarðlög í holum LN-3 og GN-1 hafa þegar verið greind (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1978; Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1987). Hola LWN-4 hefur hins vegar ekki verið greind fyrr en nú. Í viðauka A er greiningunni lýst, svo og hvernig jarðlög og æðar í holu LWN-4 tengjast öðrum borholum á svæðinu.

Jarðlög holu LWN-4 eru mest basalthraun með millilögum af seti og karga. Algengust eru þóleíftbasaltlög en einnig finnast plagíóklasflótt lög og ólivínþóleíft basalt. Einnig er nokkuð af móbergskennendum lögum. Þetta er mjög líklega setmóberg, misjafnlega grófkorna. Á stöku stað gæti þó verið um basalt að ræða sem varð gjallkennt við að fara yfir votlendi, t.d. lag á 86-102 m. Vatnsæðar virðast flestar tengjast láréttum jarðlögum sem oft fylgja seti. Þannig er t.d. um stærstu æðarnar á 744 og 722 m. Dýpsta æðin, á 820-830 m, gæti hins vegar tengst sprungu sem borað var niður með á kafla.

Jarðhitakerfinu á Laugalandi er skipt í efra og neðra vatnskerfi. Mörk kerfanna eru á 300-400 m dýpi (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1978, 1987). Auðvelt er að rekja vatnsæðar og jarðlög milli holna í efra vatnskerfinu og æðar koma á svipuðu dýpi í fleiri en einni holu. Má nefna æðar á 50-60 m, kringum 100 m dýpi og rétt neðan 200 m. Ekki eru eins skýr tengsl vatnsæða milli holna í neðra vatnskerfinu. Er hugsanlegt að holar skeri ekki lóðréttu vatnsleiðara, heldur tengist æðar millilögum sem bera vatn skamma leið milli holu og vatnsleiðara. Þessi skýring á einkum við um æðarnar í holu LWN-4.

Í viðauka A er einnig fjallað um borholumælingar í holum LN-3, LWN-4 og GN-1. Það sem ein-

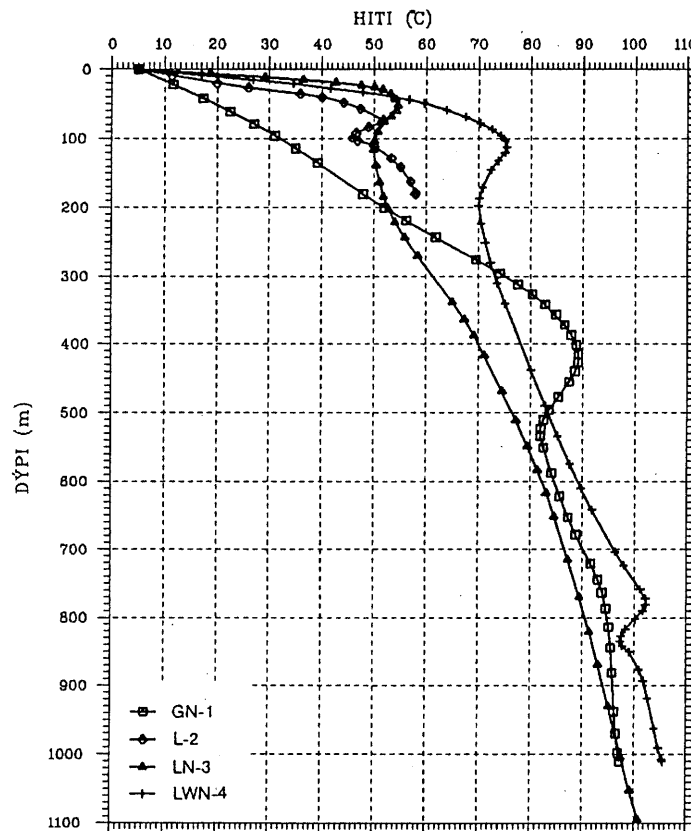
kennir mælingarnar er að jarðlagaskipanin er í megindráttum eins í öllum holum niður á u.þ.b. 800 m dýpi. Neðan þess dýpis hætta hins vegar einstök útslög í mæliferlum að standast á milli holna. Það bendir til þess að ganga og innskota gæti meira í staflanum. Þessar niðurstöður eru í góðu samræmi við jarðlagagreininguna. Auk þess sýna víddarmælingar að flestum vatnsæðum fylgja stórir skápar. Það styður einnig þá niðurstöðu jarðlagagreininganna að vatnsæðarnar fylgi lausum millilögum.

3.2 Hitadreifing í jörðu

Einn mikilvægasti þáttur í skilningi á innri gerð jarðhitakerfis er áreiðanleg vitneskja um berg-hita. Með berghita er átt við þann hita sem myndi mælast í holu ef engar truflanir af millirennslí eða borun hefðu átt sér stað. Viðauki B lýsir mati á berghita holnanna á Laugalandssvæðinu.

Fjölmargar hitamælingar eru tiltækar úr holum á Laugalandssvæðinu. Flestar voru mælingarnar gerðar í borun eða um það leyti sem borun holna lauk. Fyrir vikið eru mælingarnar tíðum truflaðar, ýmist af skolvatnskælingu eða millirennslí. Þurfti því töluverða yfirlegu uns berghitamatið þótti trúverðugt. Á mynd 4 eru sýndir hitaferlarnir sem fengust út úr berghitamatinu. Sýndir eru hitaferlar holna L-2, LN-3, LWN-4 og GN-1.

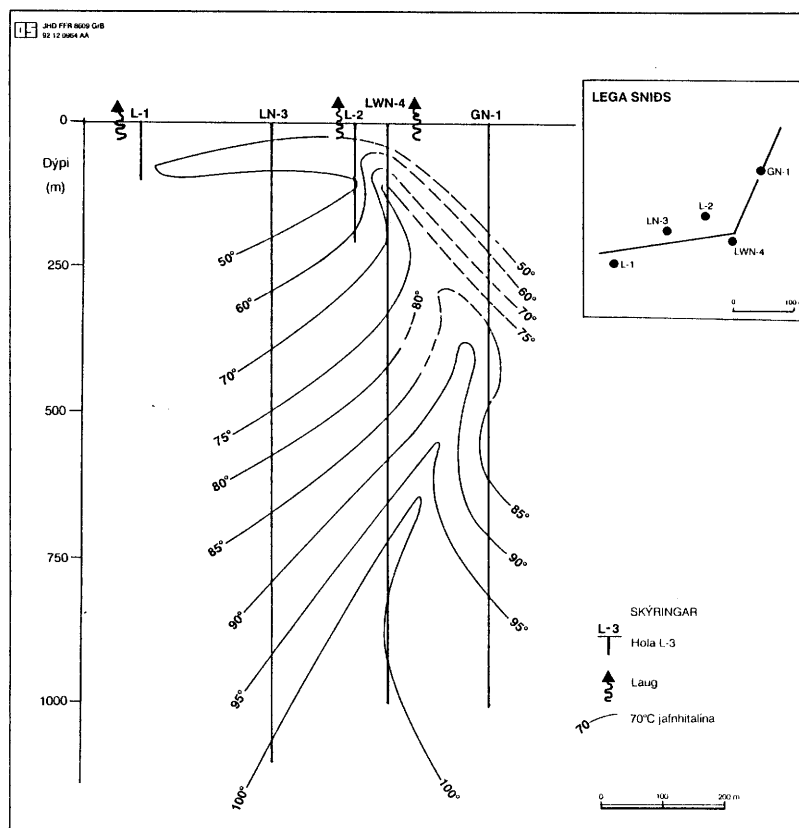
Eins og áður hefur komið fram má skipta jarðhitakerfinu í efri og neðri hluta. Dýpsta æð efra kerfisins virðist á 340 m og gæti það dýpi einkennt neðri mörk þess. Mynd 4 sýnir að berghiti í efra kerfinu er viðsnúinn í öllum holum nema GN-1. Virðist heitt vatn renna lárétt á 60-110 m dýpi frá lóðréttu uppstreymi. Hóla LWN-4 er þá næst uppstreymissvæðinu.



Mynd 4. Berghiti holna á Laugalandssvæðinu.

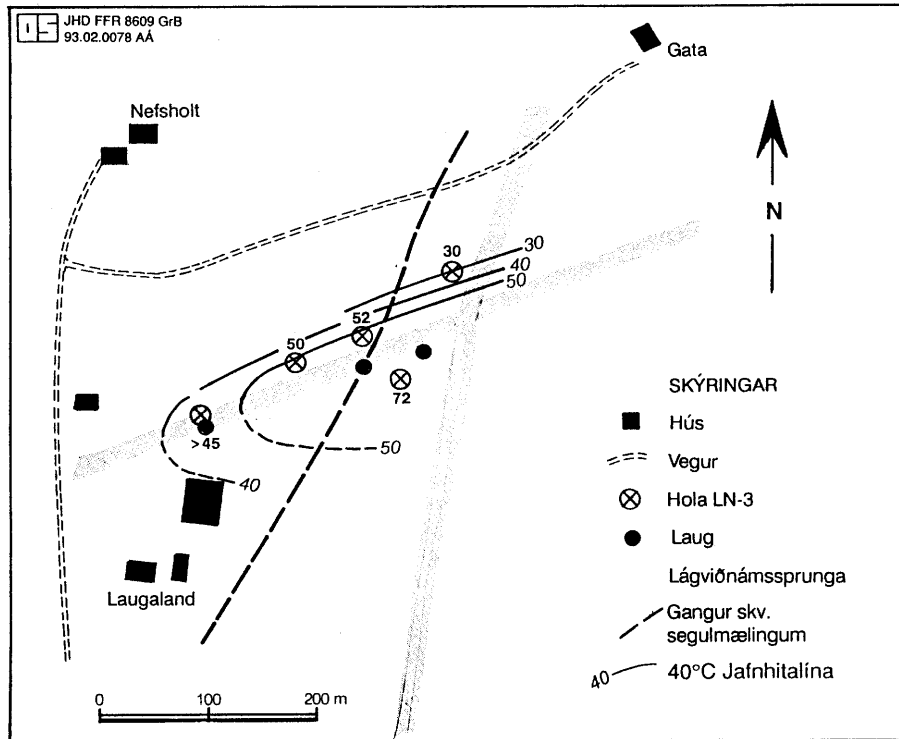
Mynd 5 sýnir berghitann í þversniði um holur L-1, LN-3, L-2, LWN-4 og GN-1. Sniðið fylgir nokkurn veginn lágviðnámsrennunni á mynd 3 milli holna L-1 og LWN-4, en beygir síðan til norðurs að GN-1. Hitasniðið má túlka á eftirfarandi hátt:

1. 70-80°C heitt vatn úr dýpri hluta jarðhitakerfisins streymir inn í láréttar æðar á 60-120 m dýpi. Vatnið rennur vestur að holu L-1, en engin merki eru um sambærilegt streymi norður til GN-1.
2. Hægt er að tengja 400 - 500 m æðar holu GN-1 við æðar LWN-4 á 742-770 m dýpi. Leiðir þá N-S lágviðnámsprungan milli holnanna vatnið skáhallt upp á við.
3. Óvíst er um nákvæma legu uppstreymisrásarinnar sem tengir dýpri og grynri hluta jarðhitakerfisins. Hún er þó örugglega mjög nærri holu LWN-4, líklega sunnan eða austan hennar. Vegna þessarar óvissu eru jafnhitalínurnar á mynd 5 hafðar brotnar milli holna GN-1 og LWN-4.
4. Hiti er hæstur í LWN-4 djúpt í jarðhitakerfinu. Hitamunur holna LN-3 og LWN-4 bendir til þess að uppstreymi jarðhitakerfisins fylgi lóðréttri rás, þ.e. sprungu, gangi eða misgengi. Hóla LWN-4 er að öllum líkindum hliðlæg við þessa rás og vinnur úr henni um lárétt milli-lög. Sú tilgáta er studd af niðurstöðum jarðlagagreiningarinnar svo og berghitaferlinum á mynd B-6 (viðauki B). Þar hlykkjast berghitaferillinn óeðlilega um 750-850 m dýpi sem má túlka þannig að holan vinni lárétt til sín vatn sem er heitara en eiginlegur berghiti við holuna.



Mynd 5. Hitapversnið um holur á Laugalandssvæðinu.

Mynd 6 sýnir túlkun berghita á 90 m dýpi á Laugalandssvæðinu. Heitt vatn kemur úr dýpri hlutum jarðhitakerfisins og rennur síðan til vesturs eftir vestlægu lágviðnámssprungunni. Afmörkun er glögg til norðurs en óljósari í suður og austur. Virðist efra kerfið því stjórna af samspili setlaga kringum 100 m dýpi og sprungunnar.



Mynd 6. Berghiti á 90 m dýpi á Laugalandssvæðinu.

3.3 Efnasamsetning jarðhitavatns

Jarðhitavatið úr holu LWN-4 var í upphafi svolítið saltara en algengt er um ferskvatn á Íslandi (tafla 3). Slíkt er ekki óalgengt um jarðhitavatn í þessum landshluta og seltan var það lág að hún spillti á engan hátt fyrir nýtingu vatnsins. Hins vegar gerir seltan það að verkum að fremur einfalt er að fylgjast með innstreymi ferskvatns í jarðhitakerfið. Á fyrstu árum vinnslu á Laugalandi bar einmitt fljótlega á mikilli þynningu vatnsins, sem benti til innstreymis á efnasnaðara vatni inn í jarðhitakerfið. Þessi þróun hélt áfram til ársins 1991. Í sýnunum frá 1992 verður aftur svolítið aukning í efnastyrk.

Vatnið úr holu GN-1 var í upphafi efnasnaðara en vatnið úr holu LWN-4, en þar sást þó einnig marktæk þynning á vatninu milli árana 1985 og 1990. Á milli árana 1990 og 1992 sést hins vegar marktæk aukning í efnastyrk. Innstreymi af ferskara vatni í jarðhitakerfið hefur þannig minnkað á þessu árabili. Líklegt er að það stafi af minnkandi vinnslu á undan og áhrifum þess á vatnsborð og þar með innstreymi í jarðhitakerfið.

Til eru nokkur gögn um hlutfall stöðugra ísótópa í vatninu á þessu árabili, einkum súrefni-ísótópa. Benda þau til að vatnið hafi þyngst (þ.e. hlutfall þungra og léttra ísótópa vaxið) örlítið samhliða þynningunni. Staðbundið grunnvatn á Laugalandssvæðinu er verulega þyngra en jarð-

TAFLA 3. Efnainnihald jarðhitavatns á Laugalandi í Holtum (mg/l).

Staður	LWN-4	LWN-4	LWN-4	LWN-4	LWN-4	LWN-4	LWN-4	LWN-4	LWN-4	LWN-4	GN-1	GN-1	GN-1	GN-1	Volgra við L-1
Dagsetn.	800928	821111	830415	831215	861009	900531	910708	920818	851007	920630	900531	920141	920414	920090	
Númer	800144	820189	830063	830301	860147	900099	910143	920314	850261	920141	900098	920141	920090	920090	
Hiti °C	(84)	95,7	99,1	97,5	96,9	96,0	98	-	85	76	73	76	23,8	23,8	
Sýrust.(pH/°C)	9,8/22	9,5/21	9,8/21	9,7/20	9,9/22	9,8/26	9,7/26	-	10,0/21	9,8/26	9,9/25	9,8/26	8,4/24	8,4/24	
Kísill(SiO ₂)	108,0	97,6	100,4	99,2	101,8	98,0	98,8	98,8	88,3	76,6	76,9	76,6	27,1	27,1	
Natríum(Na)	133,0	117,7	107,6	101,8	94,2	93,7	91,9	94,1	61,0	60,3	57,6	60,3	54,8	54,8	
Kalíum(K)	2,8	2,3	2,5	2,4	2,2	1,9	1,9	1,9	1,1	0,86	0,98	0,86	0,48	0,48	
Kalsíum(Ca)	5,0	4,4	3,7	3,2	3,1	2,8	2,7	3,0	1,57	1,5	1,0	1,5	9,6	9,6	
Magnesium(Mg)	0,02	0,03	0,00	0,04	0,005	0,044	0,023	0,004	0,0	0,004	0,05	0,004	0,465	0,465	
Karbónat(CO ₂)	12,8	16,7	31,2	15,8	21,9	22,8	21,1	-	31,7	32,8	35,8	32,8	103,2	103,2	
Súlfat(SO ₄)	110,0	106,5	94,8	83,8	69,7	69,9	66,0	70,9	23,4	20,9	16,2	20,9	6,5	6,5	
Brennist.vetni(H ₂ S)	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	0,06	0,05	-	0,07	0	<0,03	0	0	0	
Klórið(Cl)	70,4	66,5	59,9	60,3	49,5	48,8	47,0	48,7	22,1	20,5	18,2	20,5	12,8	12,8	
Flúoríð(F)	0,96	1,00	1,00	1,00	0,89	0,93	0,87	0,88	0,73	0,56	0,58	0,56	0,13	0,13	
Bór(B)	-	-	-	-	<0,025	0,27	0,28	-	0,16	-	0,14	-	0,02	0,02	
Járn(Fe)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	-	0,18	0,499	0,499	
Ál(Al)	-	-	-	-	-	0,22	0,22	-	-	0	-	0	-	-	
Súrefni(O ₂)	0,010	-	0,020	-	0,015	0,00	0,003	-	-	0,002	0,002	0	-	-	
Uppl.efni	428	433	419	398	365	355	374	355	247	236	226	236	176	176	
δ ¹⁸ O (o/oo SMOW)	-	-	-	-	-10,7	-10,7	-10,6	-	-9,2	-9,2	-9,1	-9,2	-8,15	-8,15	
δD (o/oo SMOW)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-64,8	-65,8	-64,8	-	-	

hitavatnið þar og bendir þynging vatnsins því til innstreymis staðbundins grunnvatns í jarðhitakerfið á fyrrgreindu tímabili.

Kísilstyrkur vatnsins hefur ekki breyst marktækt í holunum að frátöldu fyrsta sýninu úr þeim báðum. Sýni tekin fljótlega eftir borun flestra borholna sýna yfirleitt mun hærri styrk kísils en þann jafnvægisstyrk, sem verður í vatninu eftir nokkurra mánaða vinnslu og þeim er samsvarar jafnvægi við hita jarðhitakerfisins. Það að kísilstyrkur hefur ekki breyst marktækt á tfu ára tímabili í holu LWN-4 og heldur ekki í síðustu sýnum úr holu GN-1 bendir til að þrátt fyrir innstreymi ferskvatns í jarðhitageyminn hafi ekki orðið þar nein kólnun. Vatnið sem inn í jarðhitageyminn rennur hefur þannig náð að hitna og komast í jafnvægi við kísil við ríkjandi hita.

Styrkur magnesíums er verulega hærri en áður í sýnum frá 1990 og 1991. Styrkur þess er þúsundfalt hærri í köldu vatni en í jarðhitavatni, en við upphitun falla magnesíumsambönd fljótt út úr vatninu. Aukning magnesíums í jarðhitavatni bendir því til að kalt vatn hafi komist í það skömmu áður en það var unnið úr borholunni. Magnesíum er hins vegar sporefni og talsverðir möguleikar á mengun við sýnatöku. Því er hugsanlegt að þetta séu ekki raunhæfar tölur.

Samhliða hita- og rennslismælingu í volgrunni við holu 1 vorið 1992 var tekið sýni til efnagreiningar og er efnagreiningin sýnd í töflu 3. Niðurstaða greiningarinnar sýnir að vatnið ber engin merki um hærri hita en nú er á vatninu og súrefnisfótópahlutfall þess er eins og í staðbundnu grunnvatni á svæðinu, en ekki eins og í vatni í djúpkerfinu á Laugalandi. Staðfestir þetta að þótt enn sé nokkurt rennsli úr volgrunni er það vatn ekki ættað úr jarðhitakerfinu, heldur staðbundið grunnvatn að uppruna.

Í loftdælingu úr holu 2 í maí 1992 voru tekin sjö sýni til hlutgreininga. Niðurstöður þeirra eru birtar í töflu 4. Sýnin komu inn til greiningar daginn eftir að þau voru tekin og þá var sýrustig greint strax. Greining sýrustigs og rokjarra efna er þó ekki alveg áreiðanleg þar sem sýnin voru ekki tekin í loftþétt slát. Sýnin voru ekki meðhöndluð við sýnatöku, svo aðeins var unnt að mæla í þeim nokkur aðalefni.

TAFLA 4. Efnasamsetning vatnssýna úr dæluprófun holu 2.

Dags.	Tími	Dælidýpi (m)	Hiti (°C)	pH/°C	SiO ₂ (mg/l)	K (mg/l)	Mg (mg/l)	δO ¹⁸ o/oo
920521	10:30	21	19,0	9,28/21	28,8	0,32	0,195	-8,31
920521	11:20	21	19,0	9,30/20	28,2	0,33	0,189	-8,31
920521	12:45	41	19,6	9,35/20	28,8	0,33	0,156	-8,31
920521	13:45	41	19,7	9,34/20	28,7	0,33	0,155	-8,30
920521	15:20	60	19,9	9,31/20	30,2	0,33	0,118	-8,31
920521	16:20	60	20,1	9,29/21	29,7	0,33	0,108	-8,33
920521	17:30	60	20,8	9,28/21	30,3	0,34	0,107	-8,32

Efnasamsetning sýnanna úr holu L-2 er í góðu samræmi við hita og lítil merki sjást um að vatnið hafi einhvern tíma verið heitara eða sé blandað heitara jarðhitavatni. Súrefnisfótópahlutfallið bendir til að vatnið sé að mestu staðbundið grunnvatn að uppruna, en þó er það heldur léttara en vatnið í volgrunni, sem bendir til örlíttillar blöndunar við vatn úr djúpkerfinu. Staðfestir þessi niðurstaða að mikið innrennsli er í efra kerfið og er vatnið að mestu sömu ættar og grunnvatnið í volgrunni.

3.4 Vinnsluprófanir og lekt jarðhitakerfisins

Töluvert er til af gögnum um vatnsborðsbreytingar í jarðhitakerfinu á Laugalandi í Holtum, sem safnast hafa í ýmsum prófunum. Þessi gögn hafa nýst við mat á lekt jarðhitakerfisins og við athuganir á tengslum milli holna. Þannig er nokkuð til af gögnum úr skammtímaprófunum á holum LWN-4 og GN-1 (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1981 og 1987). Þessar prófanir hafa gefið að margfeldi lektar (k) og þykktar (h) jarðhitakerfisins sé á bilinu

$$kh = 4 - 70 \times 10^{-12} \text{m}^3 = 4-70 \text{ Dm}$$

þar sem einingin Dm stendur fyrir Darcy-metra. Hæsta gildið fékkst í stystu prófuninni, en það lægsta í þeirri lengstu.

Mikilvægustu upplýsingarnar um eiginleika jarðhitakerfisins felast í gögnum um vatnsborð og vinnslu, sem Hitaveita Rangæinga hefur safnað reglulega síðasta áratuginn (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1987; Guðni Axelsson, 1990). Langtímaviðbrögð jarðhitakerfisins sýna að lekt þess er lág, og helst í lóðréttri rennu (sprungubelti) sem holur LWN-4 og GN-1 tengjast. Margfeldi lektar (k) og breiddar (b) rennunnar er áætlað

$$kb = 4,6 \times 10^{-12} \text{m}^3$$

Að auki sýna stakar mælingar á tímabilinu 1982 - 1992 að vatnsborðslækkun djúpt í holu LN-3 er aðeins nokkrir metrar, og einnig hefur vatnsborð lækkað óverulega í efra vatnskerfinu.

Pakkað var á holu LN-3 neðan 272 m dýpis í borun. Þurfti 41,5 bara þrýsting til að koma 18,4 l/s niður fyrir pakkarann og 49,5 bör til að 22,5 l/s streymdu niður. Endurspeglar það mjög lága lekt í neðri hluta holunnar (viðauki B).

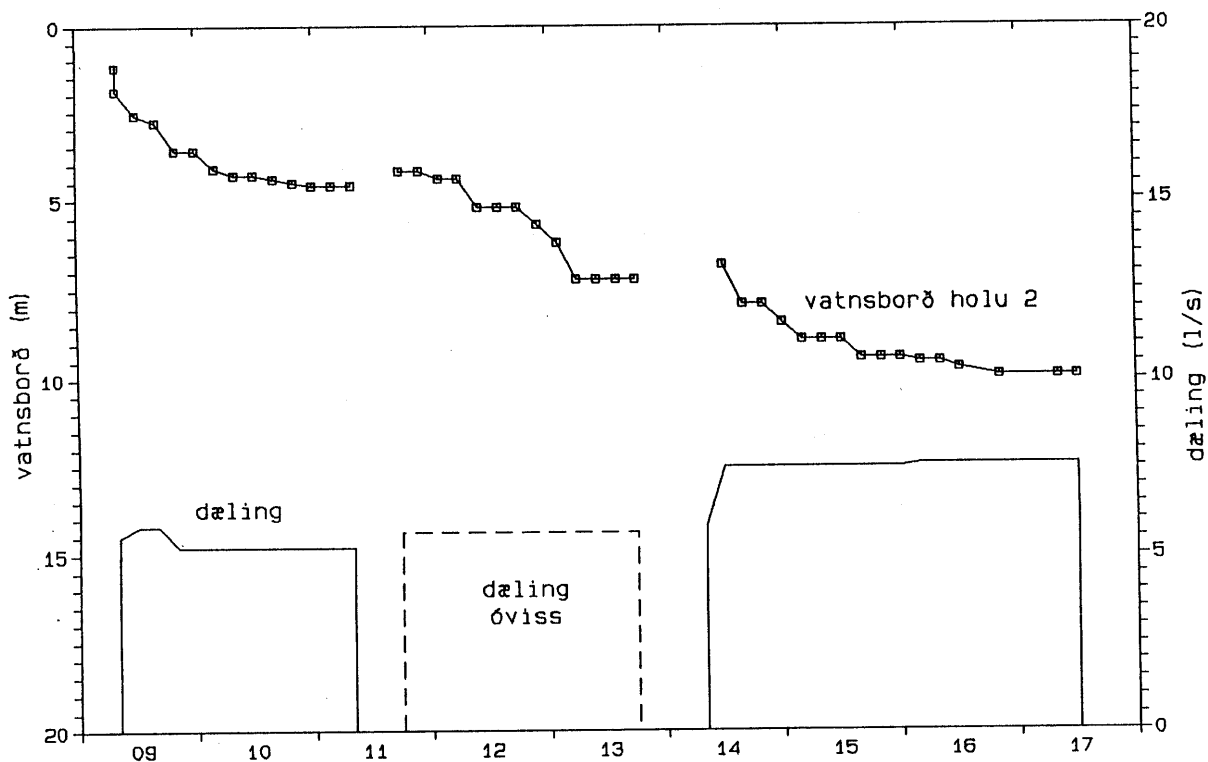
Hola LN-3 var dæluþrófuð í september 1987 (Sæþór L. Jónsson, 1987). Niðurstöður þeirrar prófunar, sem stóð yfir í u.þ.b. viku, voru að vinna mætti um 6 l/s af 38-42°C heitu vatni úr holunni við 65-70 m niðurdrátt. Prófunin bendir til þess að mikill niðurdráttur stafi af iðustreymi í og við holuna, en ekki af víðtækum niðurdrætti í efra vatnskerfinu.

Enn er rennsli úr volgru við holu 1 á Laugalandi í Holtum þrátt fyrir mikinn niðurdrátt í svæðinu. Talið var að volgran hefði lítið kólnað. Þegar farið var að kanna þetta kom í ljós að hvorki voru tiltækar mælingar á rennsli né hita á síðustu árum og ekki hafði verið tekið úr henni sýni til efnagreiningar. Því var farið að Laugalandi í apríl 1992, rennsli og hiti mældur og tekið sýni til greininga. Í ljós kom að rennslið var um 0,7 l/s og hitinn einungis um 11°C (tafla 3).

Í framhaldi af þessu var ákveðið að dæluþrófa holu L-2, en úr henni fékkst lengi um 50°C heitt vatn. Holan var prófuð þann 21. maí 1992 með loftdælingu. Dælt var af 21 m, 41 m og 60 m dýpi í sjö klst alls. Fór hitinn hæst í tæpar 22°C og rennslið varð mest 7,5 l/s með um 5 m niðurdrætti. Gögn um vatnsborð og dælingu í prófuninni eru birt á mynd 7. Í prófuninni voru tekin sjö vatns-sýni og greind í þeim fáein efni. Fjallað var um niðurstöður í kafla 3.3 hér að framan.

Mynd 7 sýnir að mun minni niðurdráttur verður í holu L-2 en í holu LN-3. Er það vegna þess að hola L-2 sker mun opnari æðar. Hins vegar varð vatnið úr holunni ekki heitara en 22°C, en áður fyrir fékkst um 50°C vatn úr henni. Ástæða þessarar kólnunar er fyrst og fremst talin niðurrennsli kalds vatns sem lekur inn bak við fódringu og niður til dýpri æða holunnar (sjá viðauka B).

JHD-FFR-8609 GAX
92.12.0933 T



Mynd 7. Dæluþrófun holu L-2 þann 21. maí 1992.

Vatnsborðsgögnin úr þrófun holu L-2 voru notuð til þess að meta lekt efra vatnskerfisins á Laugalandi í nágrenni holunnar. Niðurstaðan var sú að margfeldi lektar og þykktar efra vatnskerfisins væri

$$kh = 60 \times 10^{-12} \text{ m}^3$$

sem verður að teljast þokkaleg lekt. Niðurstöður þessarar þrófunar má jafnframt nota til þess að áætla niðurdrátt í holu L-2 við lengri vinnslu (tafla 5).

TAFLA 5. Áætlað vatnsborð í holu L-2 við 5 og 10 l/s vinnslu.

tímalengd	vinnsla	
	5 l/s	10 l/s
2 klst.	4 m	15 m
24 klst.	6 m	19 m
3 mán.	10 m	28 m

Af töflu 5 sést að hæglega má vinna 5-10 l/s úr efra vatnskerfinu á Laugalandi. Hugsanlega má bora nýja holu í þeim tilgangi. Þá þarf að staðsetja hana í heitasta hluta efra vatnskerfisins og fódra nægilega djúpt. Rétt er að benda á að heiti hluti efra vatnskerfisins virðist líftill að rúmmáli. Því er hætt við að vatn úr nýrri holu muni kólna við langtíma vinnslu. Ómögulegt er að meta kælingarhraðann nema með borun nokkurra hitastigulsholna í efra vatnskerfið.

Ágætis tækifæri gafst til að fylgjast með hækkun vatnsborðs í jarðhitakerfinu þegar dæla holu LWN-4 var tekin upp í júní 1992. Prófið fór þannig fram að beðið var í 8 klst frá því að vinnsla úr LWN-4 var stöðvuð og þar til vinnsla var hafin úr GN-1. Fylgst var með vatnsborði og vinnslu holna GN-1, L-2 og LN-3 meðan vinnslustöðvunin varaði og eins í 7 klst. eftir að vinnsla hófst úr GN-1. Gögnin sem söfnuðust eru sýnd á myndum 8 og 10. Ekki reyndist unnt að mæla vatnsborð í holu LWN-4 þennan tíma.

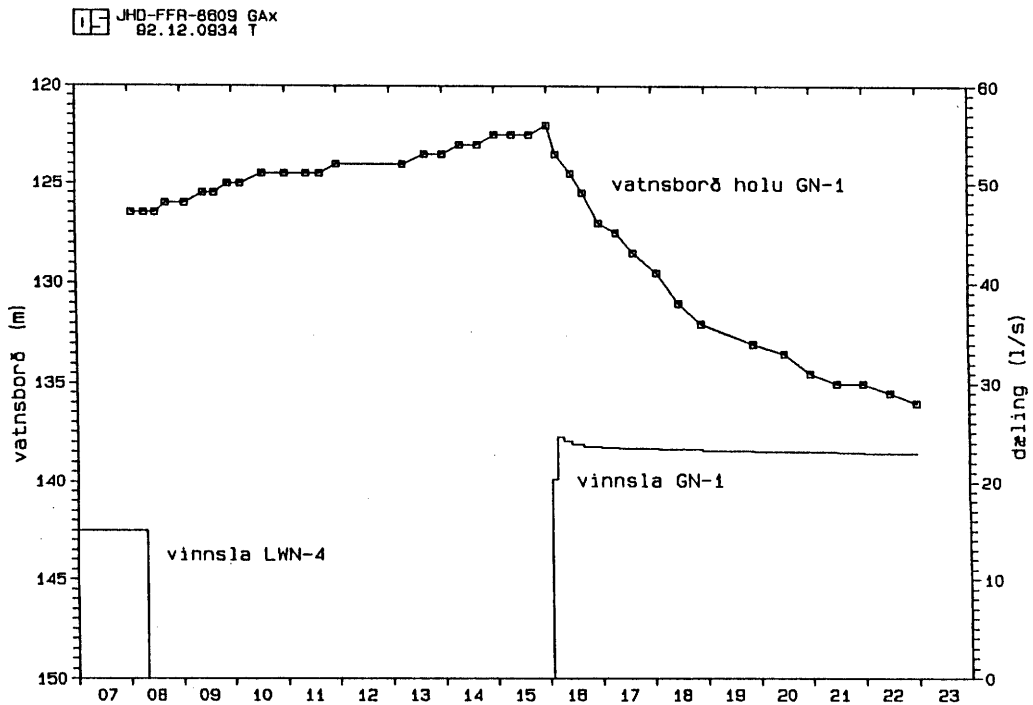
Úrvinnsla þessara gagna gaf eftirfarandi upplýsingar:

- Vatnsborðsbreytingarnar í holu GN-1 voru túlkaðar á grundvelli líkans af óendanlegu lagi að þykkt h , með tvívíðu rennsli og lekt k (mynd 9). Annað hvort má líta á það sem líkan af lóðréttri rennu sem tengir holur GN-1 og LWN-4 eða sem líkan af víðáttumiklu láréttu lagi. Þá fékkst að margfeldi lektar og þykktar líkansins væri:

$$kh = 20 \times 10^{-12} \text{m}^3$$

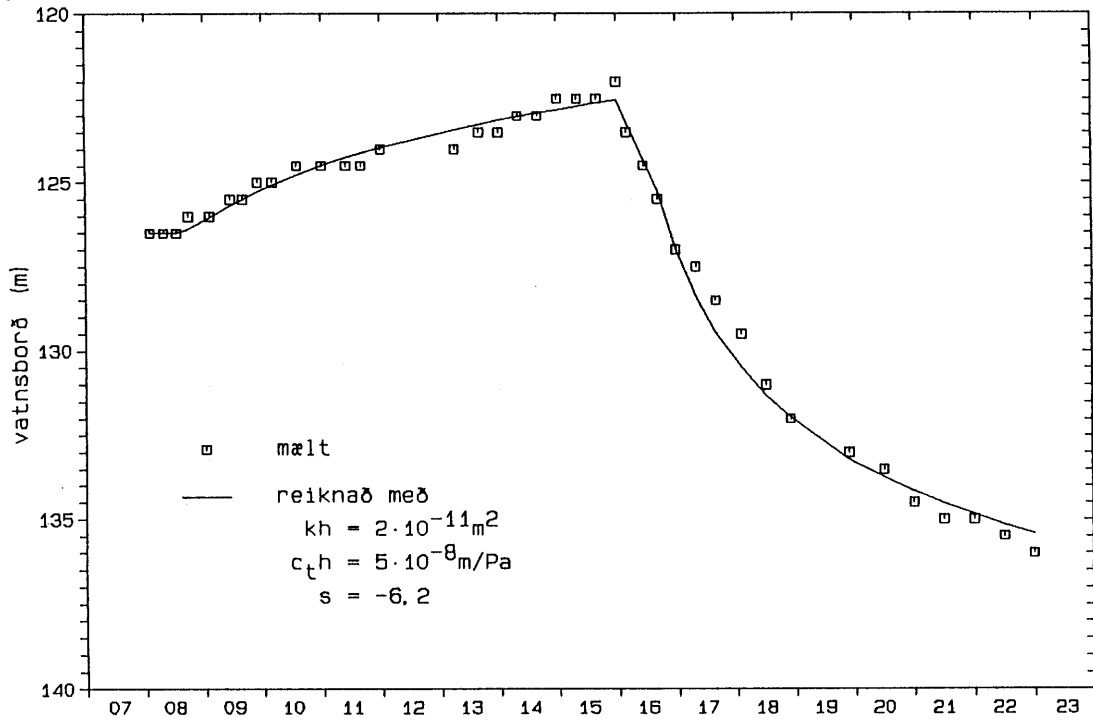
Þetta er nokkru minni lekt en var áætluð fyrir efra vatnskerfið eftir prófunina á holu L-2, en töluvert meiri lekt en hefur verið áætluð út frá langtímagögnum um viðbrögð jarðhitakerfisins. Það endurspeglar væntanlega takmarkaða stærð jarðhitakerfisins og minnkandi lekt er fjær dregur kjarna þess.

- Mynd 10 sýnir að mjög litlar vatnsborðsbreytingar verða í holum L-2 og LN-3 við stöðvun holu LWN-4 og síðan gangsetningu holu GN-1. Þetta er í samræmi við að þrátt fyrir mikinn niðurdrátt í holum LWN-4 og GN-1 síðasta áratug hefur vatnsborð sennilega aðeins lækkað um örfáa metra í holum L-2 og LN-3. Þessi gögn benda til þess að í jarðhitakerfinu sé lektin aðallega eftir sprungubelti eða rennu sem holur LWN-4 og GN-1 tengjast, en að lekt þvert á rennuna og milli hennar og efra vatnskerfisins sé mjög lág. Ef VSV-ANA lágviðnámssprungan á mynd 3 er jafnframt lek í neðra vatnskerfinu er hola LN-3 nokkuð frá henni, sökum óverulegra vatnsborðsbreytinga í henni.



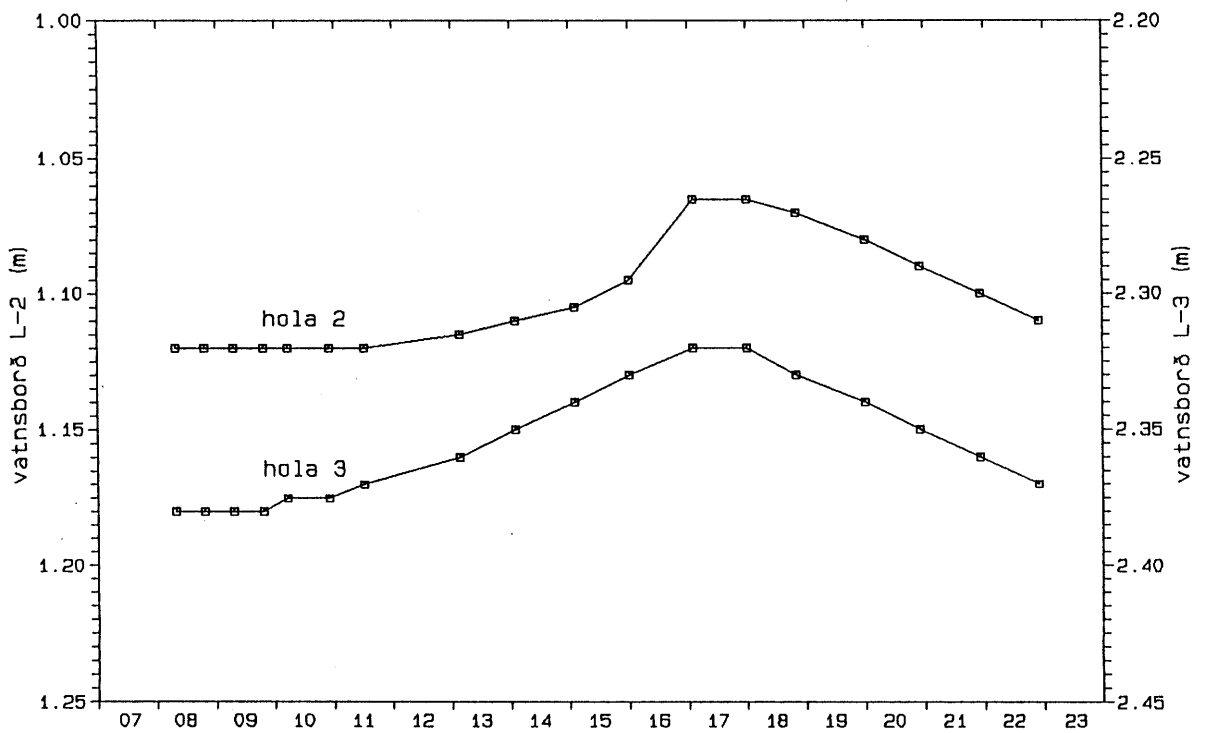
Mynd 8. Vatnsborð holu GN-1 og vinnsla í og eftir dælustöðvun 22. júní 1992.

JHD-FFR-8609 GAX
92.12.0935 T



Mynd 9. Mælt og reiknað vatnsborð í holu GN-1 í og eftir dælustöðvun.

JHD-FFR-8609 GAX
92.12.0936 T

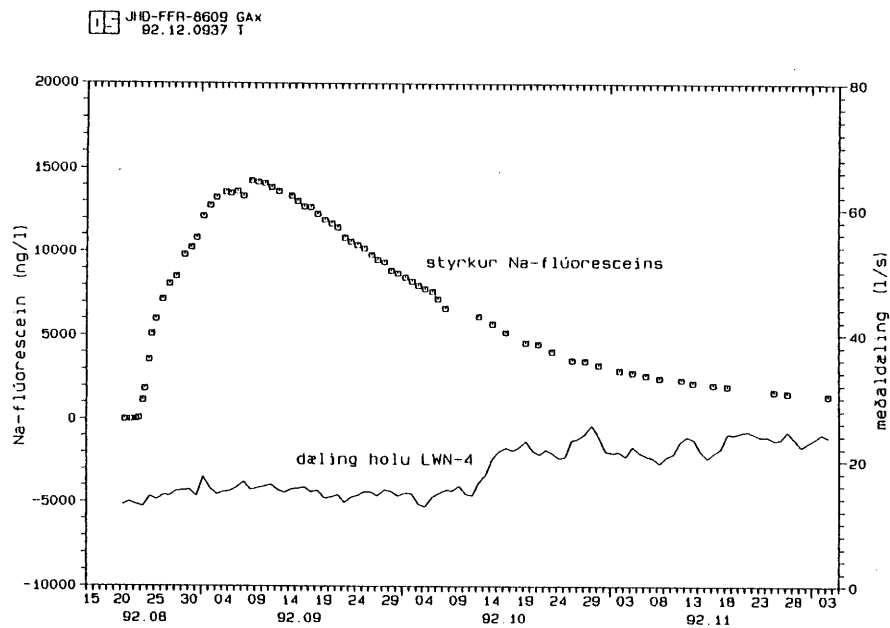


Mynd 10. Vatnsborð í holum L-2 og LN-3 í og eftir dælustöðvun.

3.5 Ferlunarprófun

Nokkuð hefur verið rætt um þann möguleika að dæla köldu eða volgu vatni niður í holu GN-1 og minnka þannig niðurdrátt í holu LWN-4. Til þess að athuga hversu greið tengsl væru milli holnanna var dælt niður ferlunarefni (kenniefni) í holu GN-1 og síðan fylgst með því hvernig það skilaði sér yfir í holu LWN-4. Hugmyndin var sú að ef tengsl væru milli holnanna myndi ferlunarefnið berast með niðurrennsli í holu GN-1 frá 540 m niður í 900 m, út í jarðhitakerfið og yfir í holu LWN-4. Þær niðurstöður mætti síðan nota til þess að áætla kólnun vatns úr LWN-4 við niðurdælingu í GN-1.

Þann 20. ágúst 1992, um kl. 11 fyrir hádegi, var 1 kg af ferlunarefninu natríumfluoresceín sett niður í holu GN-1. Í u.þ.b. hálfan sólarhring þar á eftir var dælt tæpum 1 l/s af köldu vatni í holuna til þess að tryggja að ferlunarefnið kæmist strax niður fyrir efri æðar holunnar á 400 - 540 m dýpi. Síðan voru tekin reglulega vatnssýni úr holu LWN-4 og mældur í þeim styrkur natríumfluoresceíns. Niðurstöðurnar eru birtar á mynd 11, sem sýnir annars vegar styrk natríumfluoresceíns í vatni úr LWN-4 og hins vegar daglega meðalvinnslu úr holunni yfir sama tímabil. Á myndinni sést að ferlunarefnið skilar sér greiðlega milli holnanna og að styrkurinn nær hámarki eftir u.þ.b. 17 daga.



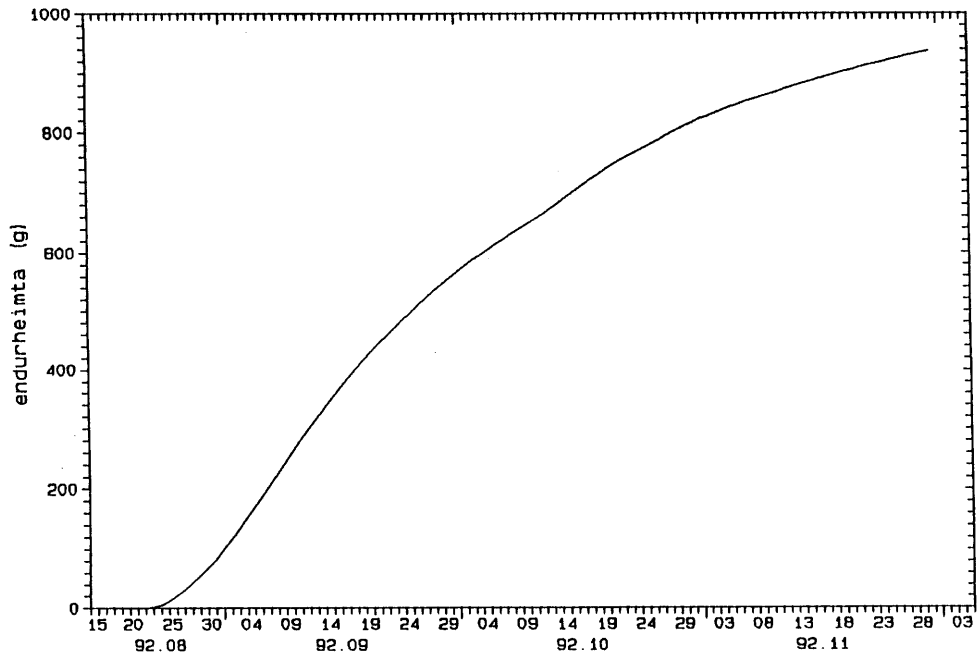
Mynd 11. Styrkur ferlunarefnis og vinnsla LWN-4 í prófun haustið 1992.

Mynd 12 sýnir hvernig ferlunarefnið endurheimtist með tímanum, en endurheimtan var reiknuð með jöfnunni:

$$(1) \quad m = \int_0^t c(\tau)q(\tau) d\tau$$

þar sem m er endurheimtur massi ferlunarefnis, t tíminn sem hefur liðið frá því að ferlunarefnið var sett í GN-1, c er styrkur ferlunarefnis í vatni úr holu LWN-4 og q er vinnslan úr sömu holu. Á mynd 12 sést að 500 g (þ.e. 50%) hafa skilað sér á innan við mánuði. Um mánaðarmótin nóvember/desember höfðu svo um 940 g af þeim 1000 g sem sett voru í GN-1 skilað sér upp um LWN-4.

JHD-FFR-8609 GAX
92.12.0838 T



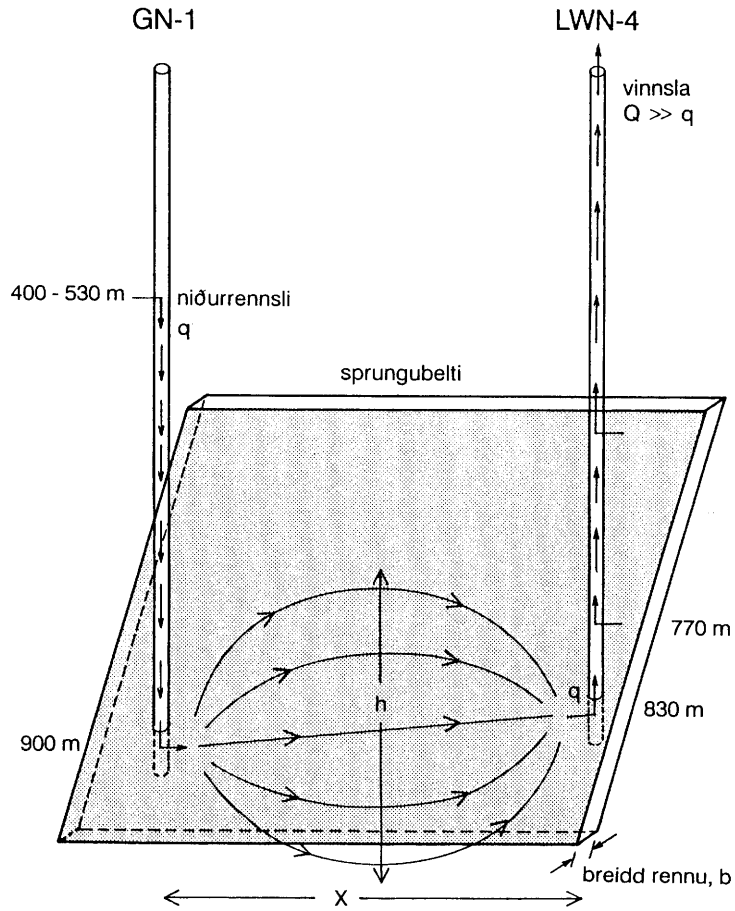
Mynd 12. Endurheimta ferlunarefnis.

Mynd 13 sýnir líkan sem lagt er til grundvallar við túlkun á gögnum á mynd 11. Í líkaninu er gert ráð fyrir því að sprungubelti tengi holur GN-1 og LWN-4 (á u.þ.b. 800-900 m dýpi). Í holu GN-1 er niðurrennsli q sem tekur með sér ferlunarefnið. Vinnsla úr holu LWN-4 er Q . Millirennsli milli holnanna er q jafnt niðurrennslinu í GN-1. Í viðauka C eru birtar jöfnur sem gefa styrk ferlunarefnis í vatni úr holu LWN-4 fyrir þetta líkan. Með því að breyta eiginleikum líkansins aftur og aftur tókst að fella viðbrögð þess nokkuð vel að mældum gildum eins og sýnt er á mynd 14. Eftirtalin gildi voru notuð við reikningana:

$$m = \frac{q}{Q} \frac{M}{A\phi} = 0,0030 \text{ kg/m}^3$$
$$D = 170 \text{ m}^2/\text{dag}$$
$$u = 4,4 \text{ m/dag}$$
$$x = 110 \text{ m}$$

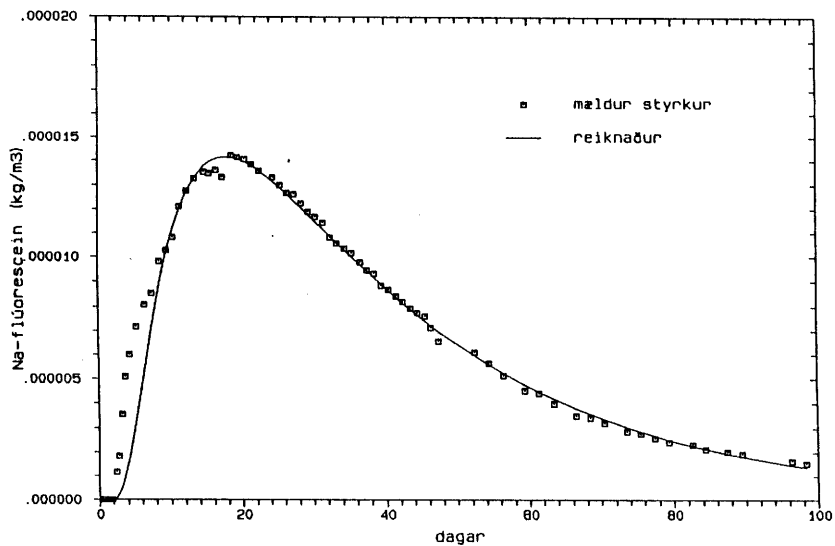
þar sem M er magn ferlunarefnis sem dælt er niður, A er þverskurðarflatarmál þess hluta sprungubeltisins sem ferlunarefnið dreifist yfir á leið þess milli holnanna ($A = h \times b$), ϕ er poruhluti sprungubeltisins, D er tvístrunarstuðull (dispersion coefficient) þess, u er meðalhraði millirennslisins í sprungubeltinu og x er fjarlægðin milli holnanna (sjá viðauka C). Gera má ráð fyrir að þetta líkan fari nærri raunveruleikanum vegna góðrar samsvörunar mældra og reiknaðra ferla.

JHD FF 8609 GAx
93.02.0071 Gyða



Mynd 13. Líkan af næstum lóðréttu sprungubelti sem tengir holur GN-1 og LWN-4.

JHD-FFR-8609 GAx
92.12.0939 T



Mynd 14. Mældur og reiknaður styrkur ferlunarefnis samkvæmt líkaninu á mynd 13.

3.6 Niðurdæling í GN-1 og spár um kólnun holu LWN-4

Þó svo að vatnsborð á Laugalandssvæðinu hafi fallið verulega við vinnslu undangenginna ára og einhver þynning vegna innstreymis ferskvatns eigi sér stað í jarðhitakerfinu, þá hefur hiti holu LWN-4 haldist nánast óbreyttur alla vinnslusöguna. Það eru skýr merki þess að varmaforði jarðhitakerfisins er enn mikill og opnar jafnframt möguleika á niðurdælingu kaldara vatns til þess að sækja varma bergsins. Með því má hamla gegn lækkingu vatnsborðs í svæðinu og/eða auka vinnsluna úr því. Grundvallaratriði í slíkum áformum er þó að hiti vatns úr LWN-4 lækki lítið við niðurdælinguna. Líkanið í síðasta kafla (mynd 13), sem hermir ferlunarprófið, gefur færi á slíku kólnunarmati.

Í viðauka D eru birtar jöfnur sem nota má til að áætla kólnun vatns úr LWN-4 við niðurdælingu misheits vatns í GN-1. Byggir það á líkaninu á mynd 13. Skoðuð voru fjögur mismunandi tilfelli niðurdælingar í GN-1, þ.e. bæði 5 og 10 l/s niðurdæling af 10°C og 50°C heitu vatni. Niðurstöður reikninganna eru birtar á mynd 15. Þær sýna að aðgæslu er þörf við niðurdælingu í GN-1. Er það vegna þess hve greið tengsl holnanna tveggja eru og hve stutt er á milli þeirra. Auk þess minnkar rekstraröryggi veitunnar þar sem hola GN-1 mun skila kaldara vatni en nú er þegar nota þarf holuna í dælustoppum LWN-4.

Samkvæmt mynd 15 myndi niðurdæling 5 l/s af 50°C vatni í GN-1 skila 0,7-1,0 MW aflaukningu í LWN-4 í 2-3 mánuði. Það jafngildir um 2 GWh á ári, sem er 5% af heildarorkuvinnslu ársins 1992 (tafla 1). Meiri niðurdæling, eða sama niðurdæling 10°C vatns, myndi hins vegar engri aflaukningu skila vegna hraðari kælingar LWN-4.

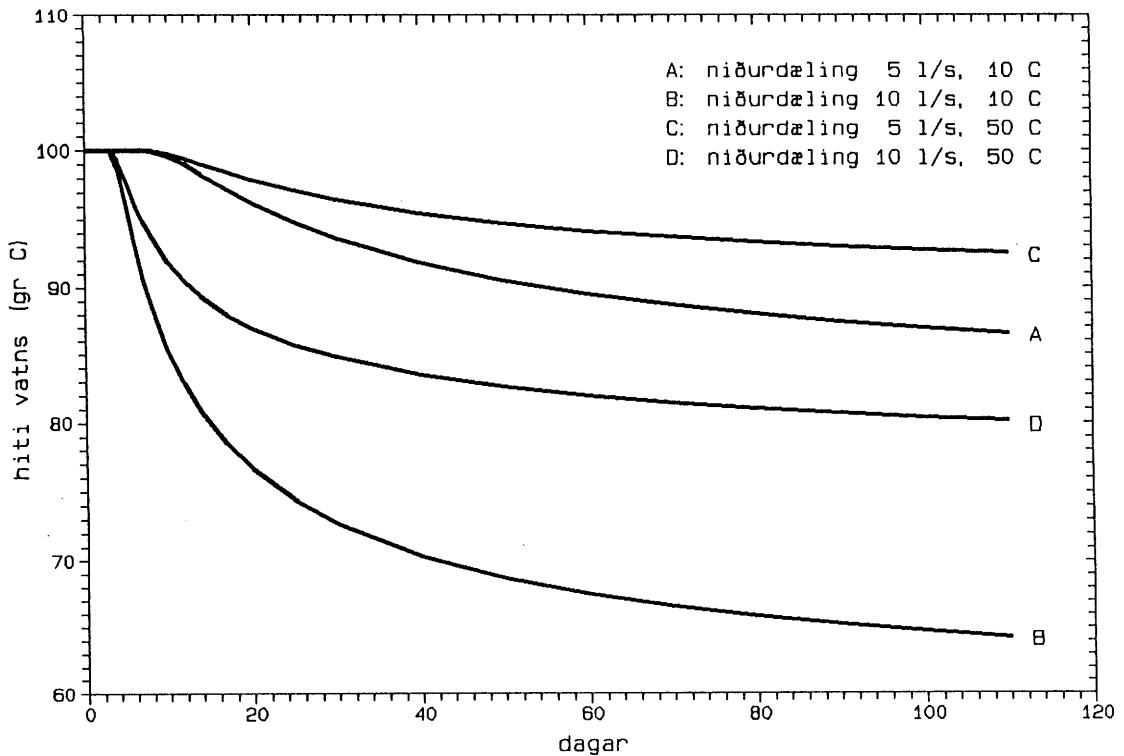
Hægt er að áætla vatnsborðshækkun holu LWN-4 við niðurdælingu í GN-1 út frá lektarstuðlunum sem gefnir eru í kafla 3.5. Niðurstöðurnar eru birtar í töflu 6. Matið er nokkuð ónákvæmt ef niðurdæling stendur aðeins í örfáa daga því gögn um slíkar vatnsborðsbreytingar skortir. Þó má ætla að við nokkurra daga niðurdælingu hækki vatnsborð LWN-4 um 1-2 m fyrir hvern l/s sem dælt er niður í GN-1 en um 3-4 m standi niðurdælingin í langan tíma. Þetta sýnir að hagstæð áhrif niðurdælingar á vatnsborð í jarðhitakerfinu nást væntanlega ekki að fullu nema með langvinnri niðurdælingu.

TAFLA 6. Áætluð hækkun vatnsborðs í holu LWN-4 vegna niðurdælingar í holu GN-1.

Tímabil	Hækkun vatnsborðs		
	m/(l/s)	5 l/s Niðurdæling	10 l/s Niðurdæling
1 dagur	0,5 - 1,0	2,5 - 5,0 m	5 - 10 m
1 vika	1,0 - 2,0	5 - 10 m	10 - 20 m
1 mán.	3,0 - 4,0	15 - 20 m	30 - 40 m

Niðurdælingarlíkanið var notað til að meta kólnun frá nýrri niðurdælingarholu, sem boruð væri í norðlægu lágviðnámssprunguna 200 m norðan LWN-4. Ef gert er ráð fyrir að niðurdælingin sé um 5 l/s af 50°C heitu vatni í 3 mánuði fæst að hola LWN-4 muni kólna um 1-2°C. Þar sem vinna mætti 3-4 l/s meira úr LWN-4 á sama tímabili, er ljóst að þessi niðurdæling myndi skila verulegri aukningu í orku inn á aðveitu. Jafnframt má hafa í huga að niðurdælingarvatnið sem fór milli holna GN-1 og LWN-4 streymdi að öllum líkindum nær lárétt á 800-900 m dýpi. Dýpsta æð nýrrar niðurdælingarholu gæti hins vegar lent á 400-600 m. Þannig fengist nær tvöföldun í vegalengdinni sem niðurdælingarvatnið þyrfti að komast og þar með vægari kólnun í LWN-4.

JHD-FFR-8609 GAX
92.12.0940 T



Mynd 15. Spár um kólnun holu LWN-4 við niðurdælingu í GN-1.

3.7 Innri gerð og eðli jarðhitakerfisins á Laugalandi

Niðurstöður jarðvísindalegra rannsókna og ekki síður vinnslusaga og vinnsluviðbrögð Laugalandssvæðisins, hafa smám saman þróast í hugmyndalíkan að innri gerð jarðhitakerfisins. Því er skipt í efra og neðra vatnskerfi (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1978, 1987). Vatnsvinnsla er fyrst og fremst úr neðra kerfinu og þar hefur þrýstingur fallið verulega. Efra kerfið stendur aftur á móti enn í svipuðum þrýstingi. Þó hefur sjálfrennsli hætt úr holum sem tengjast því og laug við holu L-1 hefur kólnað verulega (kafli 3.3). Gert er ráð fyrir að tveir lóðréttir vatnsleiðarar séu á svæðinu. Það eru lágviðnámssprungurnar á mynd 3. Talið var að vatnsleiðarinn sem snýr norður-suður veitti vatni af dýpi upp til yfirborðs þar sem það dreifðist lárétt um ANA-VSV vatnsleiðarann á litlu dýpi (Lúðvík S. Georgsson og Steinar Þór Guðlaugsson, 1984). Borun holu GN-1 í norðlæga vatnsleiðarann jók hins vegar lítt vinnslugetu svæðisins og vatnsæðar reyndust kaldari en í LWN-4 (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1987). Það benti til þess að sú hugmynd sem menn gerðu sér þá um jarðhitakerfið væri ekki að öllu leyti rétt.

Á mynd 16 er gerð tilraun til að sýna nýja afstöðumynd af jarðhitakerfinu í þrívídd. Horft er inn til kerfisins úr vestnorðvestri og sér í norðvestur-kverkina milli lágviðnámssprungnanna tveggja á mynd 3. Hæstur berghiti LWN-4 veldur því að uppstreymi heits vökva er sýnt um skurðás sprungnanna. Leitar vatn frá honum að æðinni á 450 m í GN-1 og eins lárétt eftir vestlægu sprungunni um setlögum kringum 100 m dýpi. Laugar fylgja og þeirri sprungu og hugsanlega er svipað grunnrennsli og til holu L-1 að laugarstæðinu norðan við Hallstún sem er sýnt austast á myndinni.

Gert er ráð fyrir að norðlægu sprungunni halli til vesturs. Hóla GN-1 sker hana í kringum 450 m dýpi og einnig gæti holan fengið vatn frá sprungunni um millilag á rúmlega 900 m dýpi. Þá er gert ráð fyrir að vestlægu sprungunni halli til suðurs, sem helgast af því að hola LN-3 nær aldrei til hennar. Holur L-1 og L-2 eru hins vegar í eða við sprunguna, enda mun gæfari en hola LN-3. Að lokum er látið á myndinni sem hola LWN-4 skeri báðar sprungurnar¹. Eru þá æðarnar um 750 m í eða við vestlægu sprunguna meðan 830 m æðin hittir beint í norðlægu sprunguna. Líklegra er að hola LWN-4 skeri ekki vestlægu sprunguna þar sem svarfgreiningar benda til vatnsæða í millilögum um 750 m dýpið. Eins hallar holunni til SSA (Lúðvík S. Georgsson og Steinar Þór Guðlaugsson, 1984).

Ýmislegt í vinnslusögu Laugalandssvæðisins styður þetta enn frekar. Þannig hófst niðurrennsli í

1. Meginástæður þess að hola LWN-4 er talin vinna úr báðum sprungunum eru eftirfarandi:

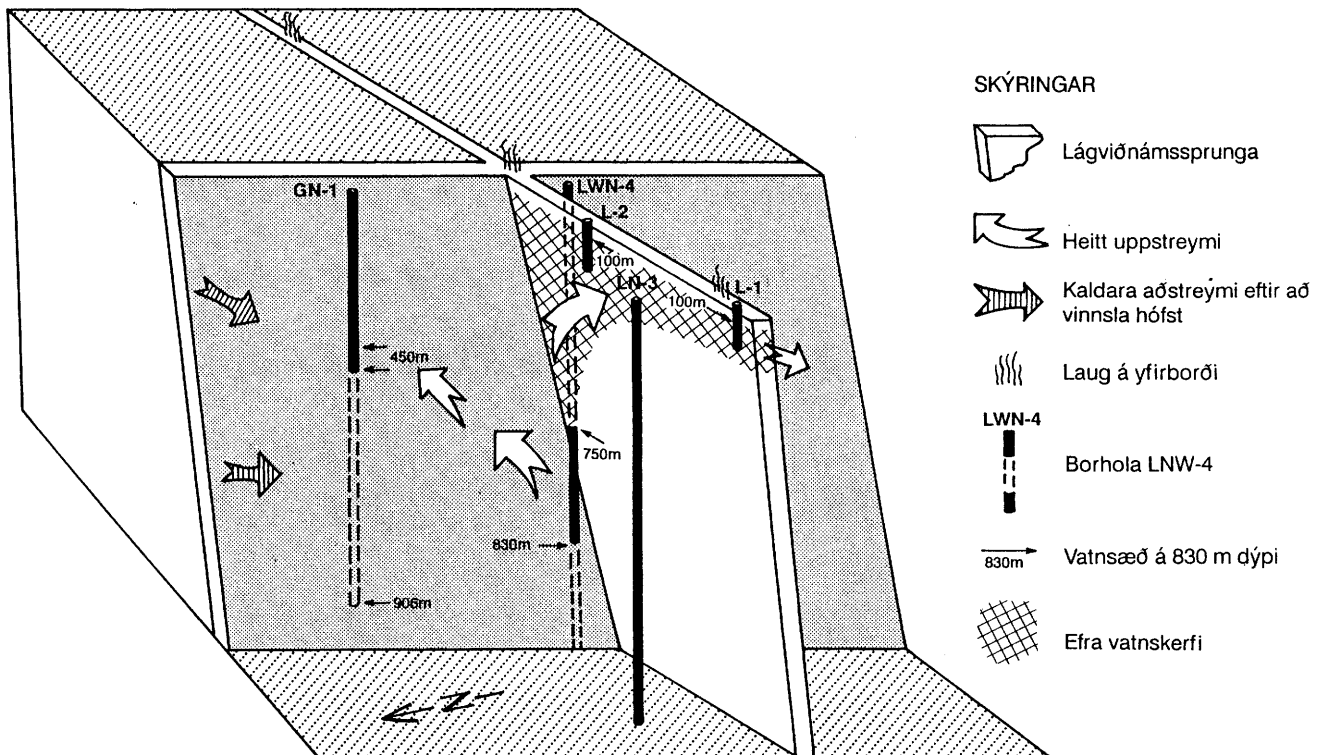
1. Hóla LWN-4 gaf í sjálfrennsli um 12 l/s af 90°C vatni þegar efri æðarnar á 744 og 772 m höfðu verið skornar. Í 840 m hafði rennslið hins vegar aukist í 28 l/s. Í borlok var sjálfrennslið 21 l/s af 94°C heitu vatni. Mánudgi eftir að borun lauk var hitamælt og stoppaði neminn í 817 m. Þá mældist sjálfrennslið 10 l/s, en hitinn hafði aukist í 97°C. Var 830 m æðin þá talin stífluð af hruni í holunni (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1981).
2. Dýpkun holu LWN-4, 2 árum síðar, jók ekkert við sjálfrennsli holunnar (Lúðvík S. Georgsson og Steinar Þór Guðlaugsson, 1984). Var talið að minnkunina mætti rekja til stíflunar 830 m æðarinnar af völdum svarfs og gels í borun. Líklegri skýring nú er að þrýstingi hafi létt af vatnskerfinu og sjálfrennsli því minnkað.
3. Hóla GN-1 skar góðar æðar á 400-475 m og var blásið úr þeim um 30 l/s í 6 klst án þess að rennsli breyttist úr LWN-4 á meðan. Hins vegar féll vatnsborð holu GN-1 í 78 m við tilkomu æðanna, sem er sambærilegt við leiðrétt vatnsborð holu LWN-4 á sama tíma. Í 905 m kom svo næsta æð GN-1. Skömmu síðar var lofdælt úr holunni 23-35 l/s í 26 klst. Dró þá verulega úr rennsli LWN-4 (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1987). Þó ekki að ráði fyrr en eftir um 10 klst dælingu.

holu GN-1 um leið og 906 m æðin var skorin í borun. Þetta niðurrensli hefur síðan staðið samfelld í um 5 ár og varð til þess ferlunarefni skiluðu sér hratt úr 906 m æðinni í GN-1 yfir í 830 m æðina í LWN-4. Því til stuðnings má einnig nefna að 830 m æðin í LWN-4 virðist hafa kólnað líftillega milli 1983 og 1992 (mynd B-5).

Í kafla 4 eru leiddar líkur að því að góð lekt í berggrunni Suðurlands fylgi einkum sprungukerfum með norðlæga stefnu. Þessi stefna bestu lektar sést einnig eftir norðlæga vatnsleiðaranum í neðra kerfinu á Laugalandi. Væntanlega kemur mest af vatnsvinnslu Laugalandssvæðisins um þessa sprungu, þar á meðal vökvinn sem olli efnabynningu vatns úr LWN-4 (kafla 3.3). Vestlæga sprungan virðist á hinn bóginn mun tregari í lekt sem má marka af litlum vatnsborðsbreytingum í LN-3 og hlutfallslega minna sjálfrennsli úr 750 m æðunum í LWN-4 í borun. Vera má að djúpt innstreymi jarðhitakerfisins tengist þessari sprungu þar sem 750 m æðarnar eru um 5°C heitari en 830 m æðin í LWN-4.

Að lokum er rétt að streka að mynd 16 er hugmyndalíkan af jarðhitakerfinu. Það byggir að mestu leyti á þremur djúpum borholum og telst þökkalega skorðað af gögnum til vesturs og norðurs frá skurðás lágviðnámssprungnanna. Engin gögn eru hins vegar um ástand svæðisins til suðurs og austurs. Gæti þessi mynd tekið töluverðum breytingum komi til djúpborana á þeim slóðum.

JHD FF 8609 Gr/B
93.02.0077 Gyða



Mynd 16. Þrívítt líkan af jarðhitakerfinu á Laugalandi.

4. MÖGULEIKAR TIL VATNSVINNSLU Á ÖÐRUM JARÐHITASVÆÐUM

Við leit að nýjum vinnslusvæðum fyrir Hitaveitu Rangæinga beinast augu manna fyrst og fremst að lághitasvæðum nærri Laugalandi í Holtum. Hér á eftir eru raktir þeir kostir sem helstir eru. Háhitasvæðin við Torfajökul gætu einnig nýst til upphitunar á nálægum þéttbýlisstöðum og hafa menn horft til varmavinnslu þar. Því verður jafnframt fjallað um þann möguleika að Hitaveita Rangæinga nýti svæðið við Reykjadali til upphitunar.

4.1 Lághitasvæði í grennd við Laugaland í Holtum

Á mynd 17 eru dregnar saman upplýsingar um helstu jarðhitastaði, borholur, jarðfræði og sprungusvæði í grennd við Laugaland. Jarðhitinn á Suðurlandi tengist víðast hvar ungum jarðskjálftasprungum. Meðal þeirra eru tvær meginstefnur ráðandi, önnur norð-suðlæg, hin ANA-VSV-læg. Næst yfirborði mynda sprungurnar kerfi af stuttum, skásettum sprungum. Hvert slíkt sprungukerfi er margir km að lengd. Sprungurnar eru lekar. Vísbendingar eru um að kalt vatn streymi víða niður í sprungukerfunum. Heitt vatn streymir upp úr þeim á afmörkuðum köflum og getur dreifst lárétt eftir þeim nálægt yfirborði.

Á Laugalandi kemur ANA-VSV-stefnan glöggt fram í dreifingu lauganna sem þar voru áður en borað var, svo og í viðnámsmælingum (mynd 3). Hugsanlega nær þetta sprungukerfi vestur að Sumarliðabæ og austur fyrir Köldukinn. Hin sprungustefnan sést t.d. á 4 km löngum kafla NNA frá Laugalandi. Þar er stefnan austlægari en ofar í Holtum og í Landsveit og Ílkari því sem er á Skeiðum. Sprungurnar sjást best í hraunum. Milli Laugalands og Þjórsár eru litlar vísbendingar um sprungukerfi. Því kann að valda að land er þar mýrlent og jarðvegur þykkur víðast hvar.

Jarðhitaleit í nágrenni Laugalands hlýtur að taka mið af þessum aðstæðum og beinast að sprungukerfunum sem skerast við Laugaland, en einnig að jarðhitastöðum í grenndinni og svæðum þar sem jarðhiti er ekki þekktur, ef ástæða þykir til út frá öðrum forsendum.

4.1.1 Sprungukerfin næst Laugalandi

Varðandi sprungukerfin við Laugaland eru þrjár staðir áhugaverðir: Laugaland, Sumarliðabær og Kaldakinn. Á Laugalandi er rúmlega 50°C heitt grunnstætt jarðhitakerfi, og djúpt undir því um 100°C heitt kerfi sem mikið hefur verið dregið niður í með innan við 20 l/s vinnslu. Ekki er unnt að auka vinnslu úr þessu kerfi með núverandi vinnsluholum nema til komi niðurdæling eða skkun dælna.

Sprungukerfið norðnorðaustur af Laugalandi mætti athuga nánar með tilliti til jarðhita. Á mynd 17 sést að jarðhiti kemur upp á tveimur stöðum í mörgum af sprungukerfunum austar í héraðinu og oftast eru um eða yfir 5 km á milli. Best væri að kanna sprungukerfið með viðnámsmælingum sem raðað yrði eftir því með 1 km millibili. Þurfa myndi 8-10 mælingar. Borholu þyrfti til staðfestingar ef afgerandi jákvæð niðurstaða fengist.

Í Sumarliðabæ er jarðhiti, mest 30-40°C á yfirborði. Laugarnar liggja aðallega eftir 200 m rák í stefnu NNA-SSV. Aðstæður eru Ískar og á Laugalandi að því leyti að rúmlega 50°C heitt, lárétt vatnskerfi er ofan 150 m, en fremur veik vísbending er um heitara vatnskerfi þar fyrir neðan. Efnahitamælar gefa einungis 60°C hita til kynna. Það útilokar þó ekki að heitara vatnskerfi sé til staðar. T.d. sáust ekki merki um djúpkerfið á Laugalandi af efnainnihaldi vatns í grunnnum borholum. Í Sumarliðabæ hafa verið boraðar 10 grunnar holur (60 m), 3 meðaldjúpar (150-330 m) og

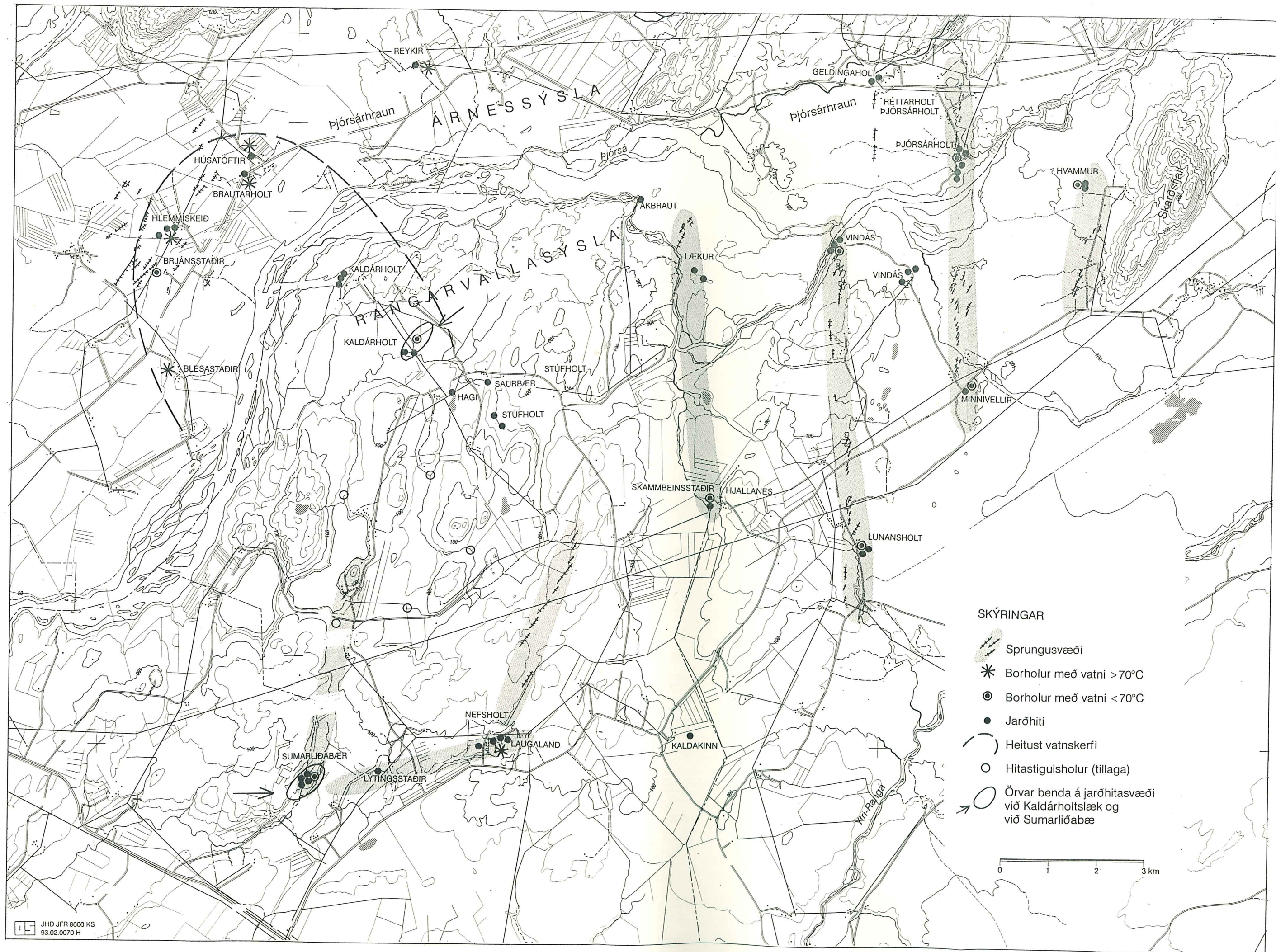
ein djúp (1170 m). Hóla 1 skar sprungu með rúmlega 50°C heitu vatni á 60 m dýpi. Djúpa holan og tvær af meðaldjúpu holunum komu í vatn í "lárétta" kerfinu ofan 150 m. Austasta holan kom ekki í vatn. Í djúpu holuna kom ekkert vatn neðan "lárétta" kerfisins. Holurnar voru boraðar í röð V-A yfir norðanvert hitasvæðið, og er hæsti hitinn miðsvæðis í holuröðinni. Hitamælingar í djúpu holunni sýna að hún er ekki nálægt djúpu vatnskerfi, hins vegar er hiti ofan 1000 m hærrí en svarar til stiguls á þessu landsvæði. Hugsanleg, jafnvel líkleg skýring er að djúpt í jörðu sé ANA-VSV-sprungu sem veitir heitu vatni út í NNA-SSV sprungukerfið og upp til yfirborðs. Djúpa holan nemur hita frá þessu uppstreymi. Verulegs árangurs er tæpast að vænta í Sumarliða-bæ nema ef tekst að finna hvar aðaluppstreymið er í NNA-SSV sprungukerfinu, eða hvar ANA-VSV kerfið liggur, ef það er á annað borð fyrir hendi. Út frá grunnu holunum er líklegur staður nærri suðurendanum á laugasvæðinu. Þetta mætti kanna með Schlumberger viðnámsmælingum sem væri raðað eftir ANA-VSV línu og með kínamælingum eftir N-S línum. Rétt er að benda á það að í tveimur N-S kínamælingum sem gerðar voru haustið 1986 sást reyndar engin ANA-VSV sprungu. Síðar kæmi til rannsóknarhóla(holur) ef niðurstöður mælinganna gefa tilefni til.

Jarðhitinn í Köldukinn hefur ekkert verið rannsakaður. Þar eru volgrur í mýrlendi. Fyrstu athuganir yrðu hitamælingar í volgrum og jarðvegi og efnagreining á vatni.

4.1.2 Sprungusvæðin austast í Holtum og vestast í Landsveit

Allvíða hefur verið borað eftir heitu vatni norðaustur frá Laugalandi. Á Læk, Skammbeinsstöðum, Vindási, Skarði, Stóra Klofa, Lækjarbotnum og Minnivöllum eru borholur sem gefa mest rúmlega 60°C heitt vatn. Efnainnihald í borholuvatninu gefur ekki til kynna hærri hita í jarðhita-kerfunum og ekki eru heldur vísbendingar um slíkt út frá hitaferlum í holum. Mikið vatn fæst úr þessum borholum, enda eru þær allar tengdar virkum sprungukerfum. Vatnið sem þar fæst er ekki nógu heitt fyrir Hitaveitu Rangæinga.

Holurnar eru raunar allar grunnar, sú dýpsta einungis 379 m, og skal engu spáð um hvað kæmi í ljós ef djúpt yrði borað, þ.e. í 1000-2000 m. Tímabært er orðið að kanna þetta, því að hingað til hefur jarðhitavinnsla úr sprungukerfum á Suðurlandi verið bundin við fremur grunnar holur og ekki verið vænst hærri hita en samsvararandi efnahita vatns úr þeim. Við Þorleifskot í Flóa hefur þetta verið reynt, raunar með litlum árangri. Hitt er annað mál, hvort sanngjarnt sé að slík rannsókn, sem hefur mikið almennt gildi fyrir heilan landshluta, ætti að greiðast af Hitaveitu Rangæinga, þótt þar kunni að vera mest þörf á heitu vatni sem stendur.



ARNESSÝSLA

RANGÁRVALLASYSLA

SKÝRINGAR

- Sprungusvæði
- Borholur með vatni > 70°C
- Borholur með vatni < 70°C
- Jarðhiti
- Heitust vatnskerfi
- Hitastigulsholur (tillaga)
- Örvar benda á jarðhitasvæði við Kaldárholtslæk og við Sumarliðabæ



4.1.3 Efri hluti Holtahrepps

Ofantil í Holtum hafa aðeins verið boraðar fremur grunnar rannsóknarholur (í Stúfholti, Saurbæ, Haga og Kaldárholti). Af þessum stöðum er ástæða til að nefna Kaldárholt sérstaklega, vegna þess að þar gefur hátt kísilsýruinnihald í vatninu bendingu um háan hita undir.

Í Kaldárholti er álitlegasti jarðhitinn við Kaldárholtslæk. Þar eru 50°C heitar laugar. Umhverfis er víðáttumikið mýrlendi og undir því 50 m þykk setlög ofan á fasta berginu (Hreppamyndun). Við rannsóknarboranir kom í ljós að laugarnar við lækinn eru afrennsli frá uppstreymi 200-300 m norðaustur á mýrinni. Engin merki sjást um sprungur þarna nærri. Samt verður að telja líkur á að uppstreymið sé tengt sprungum, eða öllu heldur kafla í sprungukerfi sem annað hvort liggur NNA-SSV eða ANA-VSV.

Ef skyggst er umhverfis Kaldárholt verða fyrir borholurnar á Skeiðum handan við Þjórsá. Sumar af þeim gefa 75-80°C heitt vatn (Húsatóttir, Hlemmiskeið, Blesastaðir). Vatn úr þessum holum hefur verið efnagreint og er samræmi milli efnahitamæla og vatnshita. Vatn úr holu 10 í Kaldárholti hefur einnig verið efnagreint. Sá agnúi er á því, að sýrustigið er mjög hátt og ruglar það útreikning á djúphita í jarðhitakerfinu. Kísilstyrkur er þó svo hár (89,5 ppm) að ætla verður að djúphiti kerfisins sé a.m.k. 80°C. Annar efnahitamælir, alkalíhiti, bendir til að um 85°C hiti gæti verið í vatnskerfinu. Hóla 10 í Kaldárholti er nærri uppstreyminu. Áður en vinnsluhóla verður staðsett þyrfti að finna nákvæmlega hvar uppstreymissprungan liggur. Það mætti reyna með Kína-viðnámsmælingum, eða fleiri leitarholum. Viðnámsmælingarnar eru ódýrari og strax í fyrstu mælingu myndi sýna sig, hvort gagn væri í þeim. Ef ekki, yrði þeim hætt og boraðar leitarholur.

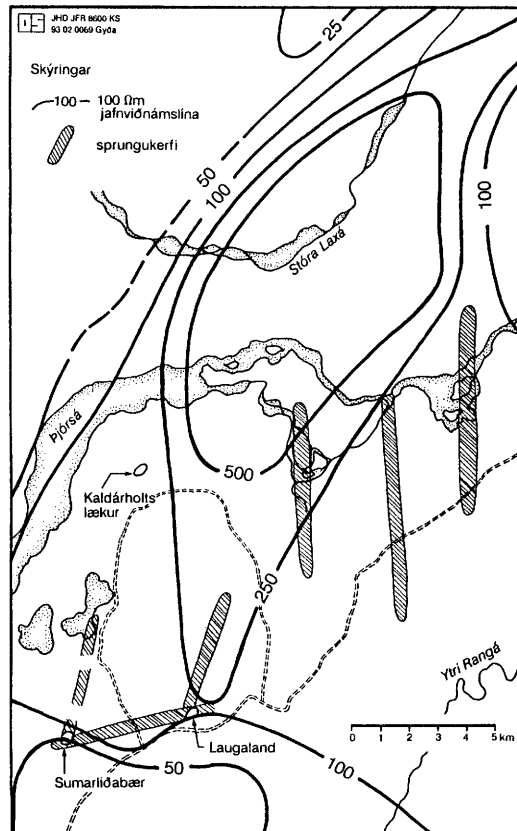
Allmargar Schlumberger viðnámsmælingar, til könnunar á viðnámi í bergi undir mælistað, hafa verið gerðar á því svæði sem sjónum er beint að í þessari skýrslu. Á mynd 18 er sýnt eðlisviðnám jarðlaga á 750 m dýpi í Holtum og Hreppum. Þar ber mest á háviðnámsvæði sem tengist gamalli megineldstöð (innan 500 Ωm jafnviðnámslínunnar) og gangakerfi út frá henni. Háviðnámsvæðið teygist suðvestur að Laugalandi. Kfnamælingarnar, sem lagt er til að gerðar verði við Kaldárholtslæk, eru næmar fyrir afmörkuðum sprungum sem leiða heitt vatn í bergi með háu viðnámi. Því eru kfnamælingar vænleg leitaráðferð á þeim stað.

Ástæða væri til að gera yfirlit um niðurstöður viðnámsmælinga í vestanverðri Rangárvallasýslu. Mikill fjöldi mælinga er til á svæðinu, sem ekki hafa verið birtar. Niðurstöður þeirra mætti taka saman með litlum kostnaði og þær gætu veitt mikilvægar upplýsingar um eðli jarðhitans og möguleikana á þessu svæði.

4.1.4 Svæðið milli Laugalands og Kaldárholtslækjar

Jarðhitinn við Kaldárholtslæk er 8 km í beina línu frá Laugalandi. Þar á milli gæti leynst jarðhiti þótt hans verði ekki vart á yfirborði. Þetta mætti kanna með nokkrum hitastigulsholum eða viðnámsmælingum. Holurnar þyrftu að ná ca 40-50 m niður í gamla berggrunninn (Hreppamyndun). Með hitastigulsholunum myndu fást upplýsingar um frávik frá meðalstigli. Ef stigullinn reynist vera miklu hærri en meðalstigull á svæðinu er tilefni til nánari rannsókna.

Hér er lagt til að leitað verði í norðvestur frá Laugalandi, því að heitasta spildan á þessu svæði virðist liggja milli Laugalands og miðhluta Skeiða. Á mynd 17 eru merktir staðir fyrir könnunarholur. Þeir eru þannig valdir að sneitt er hjá unga grágrýtinu sem þarna er í flestum holtum. Borstaðirnir eru mitt á milli Laugalands og Kaldárholtslækjar. Ástæðulaust virðist að leita nær Kald-



Mynd 18. Sprungukerfi og eðliviðnám í Ω m á 750 m dýpi í Holtum og Hreppum

árholtslæk en hér er lagt til, en fara þá fremur alla leið þangað, því að líkur á árangri þar eru nokkuð góðar.

4.1.5 Forgangsröðun

Hér að framan hafa ýmsir kostir verið taldir sem vert væri að líta á varðandi frekari jarðhitaleit fyrir Hitaveitu Rangæinga. Við val þar á milli hlýtur það sjónarmið að ráða hvar líkur á árangri eru mestar. Laugalandssvæðið sjálft og sprungukerfin þar út í frá hljóta að teljast vænlegust að þessu leyti. Djúpbörðun í eitthvert sprungusvæðið lengra norðaustur frá Laugalandi er einnig vænlegur kostur. Um hina kostina verður ekki dæmt á þessu stigi. Þar þyrfti fyrst að gera meiri rannsóknir, bæði viðnámsmælingar og rannsóknarboranir. Taka þarf tillit til annarra sjónarmiða einnig, svo sem rannsóknarkostnaðar og fjarlægðar frá Laugalandi. Forsenda alls þessa er að sjálfsögðu samningur við eigendur viðkomandi jarða og hlunninda.

Í kafla 5 hér á eftir er gróflaga áætlaður rannsóknarkostnaður við hvern þessara möguleika.

4.2 Reykjadalir - Hvolsvöllur

Kostnaður við virkjun háhita í Reykjadölum á Torfajökulssvæðinu fyrir Hitaveitu Rangæinga hefur verið lauslega áætlaður 600 millj. kr. eins og nánar verður gerð grein fyrir hér á eftir. Miðað er við 8 MW virkjun eða upphitun á 30 l/s af ferskvatni upp í 105°C. Komið til notenda verður hiti vatnsins um 80°C. Lengd aðveituæðar að Hvolsvelli er um 55 km.

Gert er ráð fyrir að boraðar verði tvær holur, ein vinnsluhola og önnur grynri rannsóknarhola. Heildarkostnaður við boranir er áætlaður 150 millj. kr. Kostnaður við varmaskiptastöð og ferskvatnsöflun er áætlaður 80 millj. kr.

Í aðveituna frá Reykjadölum að Hvolsvelli er notuð stálþípa, foreinangruð með pólýúreþan (PÚ) og í hlífðarkápu úr plasti, pólýetýlen (PE). Þípan er niðurgráfin eða í jarðvegsgarði, og er gert ráð fyrir að 50 cm jarðlag sé ofan á þípunni. Þessa gerð af þípum er algengast að nota í dreifikerfum hitaveitna og einnig er hún mikið notuð í aðveitum minni veitna. Miðað er við að rennsli sé 30 l/s og að valin sé 200 mm (8") þípa. Flutningsgeta slákrar þípu er þó allmiklu meiri, eða um 50 l/s. Við áætlun á kostnaði við þípulögn hefur verið stuðst við upplýsingar frá Hjúpi hf. Allar kostnaðartölur eru án VSK. Á mynd 19 er sýnt dæmi um hitafall, þrýstifall og vatnshraða í 10 km langri þípu við mismunandi rennsli.

Kostnaður við að leggja 200 mm (8") niðurgrafna einangraða stálþípu á óbyggðu svæði:

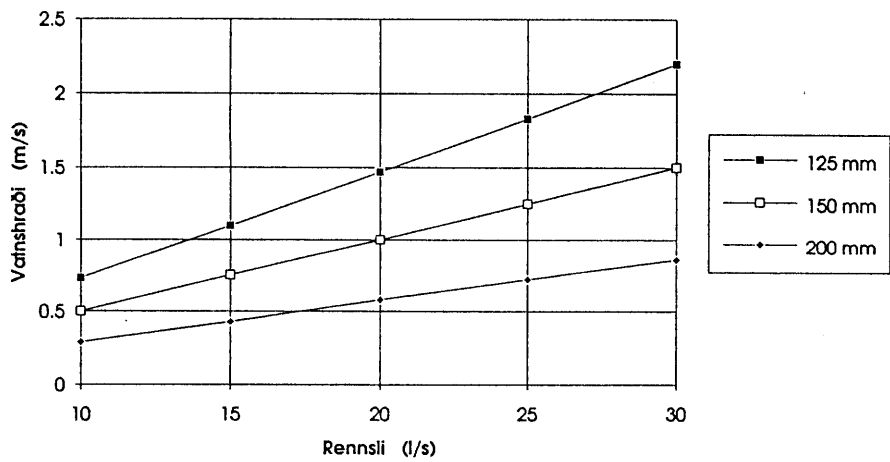
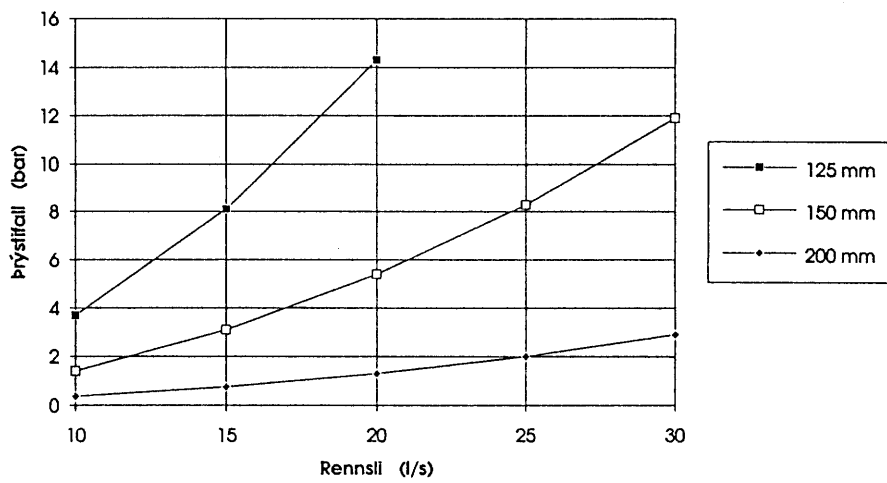
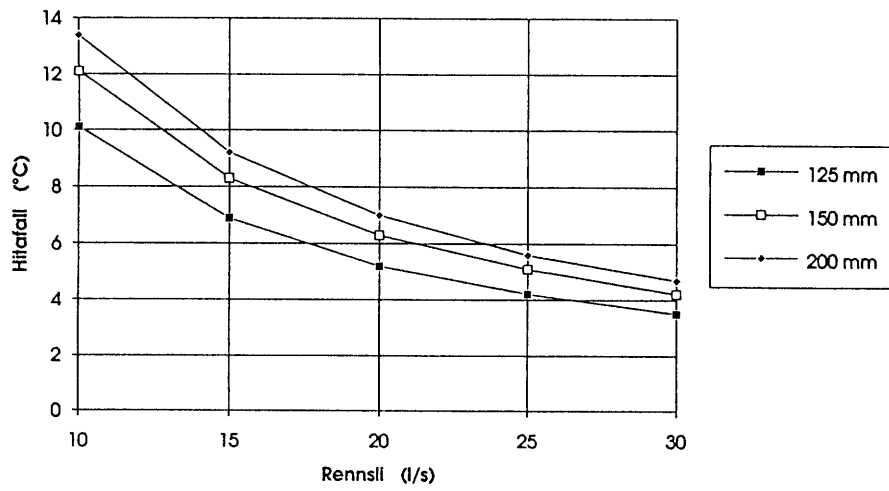
Efni (einangruð þípa)	3500	kr/m
Flutningur	100	-
Þípusuða (efni og vinna)	500	-
Jörðun þípu	200	-
Vegalagning	1000	-
Uppihald	80	-
Hönnun og umsjón (10%)	540	-
Ófyrirséð (15%)	805	-
Samtals	6725	kr/m

Vegalengdin úr Reykjadölum til Hvolsvallar er um 55 km. Heildarkostnaður við að leggja 200 mm hitaveitupípu þessa vegalengd er því um 370 millj. kr. Ef gert er ráð fyrir að rennslið sé 30 l/s og hiti vatnsins 80°C þegar það kemur á Hvolsvöll, þarf það að koma 105 °C heitt frá varmaskiptastöðinni. Ef rennslið er hins vegar 20 l/s þarf að hita vatnið í 120°C í varmaskiptastöðinni til að halda 80°C á Hvolsvelli. Þessar tölur eru miðaðar við hefðbundna einangrun og frágang á þípunni. Hægt er að fá þípu með þykkri einangrun, sem myndi leiða til minna hitafalls á leiðinni en jafnframt dýrari þípu.

Nýtt varmaorka frá virkjuninni er áætluð um 30 GWh á ári. Er þá gert ráð fyrir 5000 klst. nýtingartíma á ári og að vatnið sé nýtt niður í 30°C. Orkuverð verður samkvæmt þessu um 2 kr/kWh og vatnsverð um 110 kr/tonn. Þetta er aðeins gróf áætlun og miðast við svipaða notkun og nú er hjá Hitaveitunni.

Gróft mat á heildarkostnaði við virkjun háhita í Reykjadölum er:

Borun (1 rannsóknarhola og 1 vinnsluhola)	150	millj. kr.
Varmaskiptastöð (8 MW)	80	-
Þípulögn (55km, 200mm)	370	-
Samtals	600	millj. kr.



Mynd 19. Dæmi um hitafall, þrýstifall og vatnshraða í 10 km langri, einangraðri pípu

5. MÖGULEIKAR TIL FREKARI ORKUÖFLUNAR

Eins og fram kom í kafla 2 má hugsa sér mismunandi forsendur fyrir vinnslu svæðisins á Laugalandi byggðar á því hvort og hversu mikið vinnslan eykst, en það fer eftir veðurfari og nýtingu á bakrásarvatni til upphitunar með rafmagni. Einnig myndi það breyta töluvert forsendum fyrir vinnslu á Laugalandi ef varmatap yrði minnkað í aðveitulögn Hitaveitunnar. Hér verður ekki lagt mat á hugsanlega fólksfjölgun eða breytingar á veðurfari, en reynt að sýna fram á þá kosti sem Hitaveitan hefur á frekari orkuöflun og meta stofnkostnað og áhættu við þá. Forsendur fyrir bor-kostnaði eru sýndar í viðauka E. Um er að ræða áætlunartölur sem munu að sjálfsögðu breytast við útboð. Þá er ekki gert ráð fyrir í áætlununum.

5.1 Laugaland í Holtum

Eins og fram kom í kafla 3 er um að ræða 1) að bora í efra kerfið, 2) hefja niðurdælingu í holu GN-1 eða nýja holu, eða 3) að vinna vatn úr nýrri djúpri vinnsluholu.

5.1.1 Borun í efra kerfi

Líkur benda til að tímabundið megi vinna 5-10 l/s af 40-60°C heitu vatni úr efra vatnskerfinu á Laugalandi (ofan 200 m). Slíkt vatn gæti nýst byggð á Laugalandi, til niðurdælingar eða jafnvel til blöndunar við vatn úr LWN-4. Síðasta möguleikann þyrfti að athuga mun betur vegna hættu á útfellingum. Hitaástand jarðhitakerfisins bendir til þess að heitt uppstreymi í efra kerfið sé nálægt holu LWN-4. Áður en hægt verður að staðsetja holu í efra kerfið er lagt til að boraðar verði nokkrar (3-5) grunnar (30-60 m) holur vestan, austan og sunnan við holu LWN-4 til að kanna hitaástand kerfisins. Prófun á holu L-2, sem gerð var síðastliðið vor, sýnir að vinna má 5-10 l/s úr efra kerfinu með tiltölulega litlum niðurdrætti. Staðsetning holu og fóðrun munu hins vegar ráða hita vatnsins. Rétt er að ítreka það að væntanlega verður aðeins hægt að vinna tímabundið úr efra kerfinu, en mat á endingu verður fyrst mögulegt þegar hiti efra kerfisins verður betur þekktur.

Kostnaður við borun í efra kerfið

Rannsóknarholur, 5 stk. 50 m djúpar	1,5 Mkr.
Vinnsluhola 300 m djúp	5,5 Mkr.

Við þetta bætist svo virkjunarkostnaður komi til nýtingar.

5.1.2 Niðurdæling

Nokkuð hefur verið rætt um þann möguleika að dæla köldu eða volgu vatni niður í holu GN-1. Með því má hækka vatnsborð í jarðhitakerfinu og/eða auka vinnslu úr holu LWN-4. Útreikningar á kólnun vatns úr holu LWN-4 fyrir fjögur mismunandi tilfelli niðurdælingar í holu GN-1 sýna að einungis lítil niðurdæling (5 l/s) volgs vatns (50°C) mun skila aflaukningu í LWN-4. Vinna má volgt vatn úr LN-3 eða nýrri holu í efra kerfið. Eins mætti athuga söfnun bakrásarvatns á Laugalandssvæðinu. Meiri niðurdæling volgs vatns og niðurdæling kaldara vatns mun ekki skila aflaukningu. Niðurdæling í GN-1 er auk þess vafasöm því rekstraröryggi veitunnar skerðist vegna mikillar kólnunar GN-1. Notkun holu GN-1 sem niðurdælingarholu kallar því á borun nýrrar varaholu. Þá er skynsamlegra að bora heldur nýja holu til niðurdælingar, nema ákveðið verði að bora nýja djúpa holu á svæðinu. Ný niðurdælingarhola þyrfti að vera a.m.k. 500 m djúp og í meira en 200 m fjarlægð frá LWN-4. Jafnframt þarf að halda niðurdælingu í hverja slíka holu undir 5 l/s og senda niður sem heitast vatn. Æskilegur árangur í slíkri holu væri aðgangur að

báðum vatnskerfunum á Laugalandi.

Kostnaður við niðurdælingu á Laugalandi

a) Niðurdæling í holu GN-1: Ekki verulegur
kostnaður við framkvæmd niðurdælingar

b) Niðurdæling í nýja niðurdælingaholu
Borun nýrrar holu um 500 m djúprar 8 Mkr.

c) Söfnun bakrásarvatns og/eða virkjun LN-3 1-2 Mkr

5.1.3 Borun djúprar holu

Samkvæmt núverandi líkani af jarðhitakerfinu á Laugalandi í Holtum tengist jarðhitinn tveimur sprungukerfum sem skerast á svæðinu, öðru með stefnu ANA-VSV og hinu með stefnu N-S. Áður en hola GN-1 var boruð var talið að heitt uppstreymi jarðhitakerfisins væri úr norðri eftir N-S sprungukerfinu. Svo reyndist ekki vera. Hitaástand jarðhitakerfisins bendir til þess að hola LWN-4 sé næst uppstreyminu. Virðist sem holan skeri ekki uppstreymið heldur fái úr því vatn um lárétt millilag (kafli 3.2). Þriðja djúpa holan á svæðinu, LN-3, virðist vera fjær uppstreyminu en LWN-4. Því þarf að bora a.m.k. eina 1500 m holu enn til að fullkanna jarðhitakerfið. Þá holu er vænlegast að staðsetja sunnan holu LWN-4, en staðsetningin gæti þó breyst komi til borunar grunnra holna. Væntanlega yrði eitthvað minni niðurdráttur í nýrri holu sem skæri uppstreymisrásina og gæti það eitt og sér reynst ígildi 2 l/s vinnsluaukningar að jafnaði. Eins gæti holan fengið vatn af meira dýpi en holur LWN-4 og GN-1.

Kostnaður við 1500 m djúpa holu er u.þ.b. 24 Mkr

Við alla ofangreinda kosti þarf að gera ráð fyrir öðrum rannsóknarkostnaði, vegna holustaðsetninga, úrvinnslu gagna og ráðgjafar. Þennan kostnað má til bráðabirgða áætla um 10% af öðrum kostnaði.

5.1.4 Síkkun öxuldælna

Til þessa hafa hér á landi einungis verið notaðar öxuldælur sem ekki geta dælt vatni af meira dýpi en 240 - 250 m. Öxuldrifna djúpdælan sem nú er í holu LWN-4 þolir ekki að farið sé mikið dýpra með hana en nú er þar eð áslægt slag (endaslag) er ekki nógu mikið í dælunni sjálfri (um 20 mm). Öxuldrifnar djúpdælur sem leyfa mun lengra endaslag til að mæta tognun í öxli og hitaþenslu eru framleiddar í Bandaríkjunum. Ætti því að vera hægt að fara eins djúpt með nýjar dælur í holum LWN-4 og GN-1 og fódðingar holnanna leyfa. Hola LWN-4 er fódruð í 292 m og verður því væntanlega mögulegt að dæluvæða holuna á ný með um 50 m síðari dælu en nú er í holunni. Þannig mætti væntanlega auka vinnslu um 2-3 l/s næstu tuttugu árin, umfram það sem ella væri mögulegt. Meiri niðurdráttur eykur þó hættu á innstreymi kaldara vatns í jarðhitakerfið. Kostnað við dæluvæðingu holna LWN-4 og GN-1 með 290 m síðum öxuldælum má áætla gróflaga að verði um 10-15 Mkr.

5.2 Jarðhitaleit í nágrenni Laugalandis

Í kafla 4.1 hér á undan voru settir fram allmargir möguleikar um jarðhitaleit í nágrenni Laugalandis og teknar saman þær rannsóknir, sem tengjast hverjum möguleika. Þessum valkostum er forgangsraðað þannig að taldar eru mestar líkur á árangri með borun í sprungukerfin út frá Laugalandi og sömuleiðis er djúpbörun í eitthvert sprungusvæðið norðaustur frá Laugalandi talinn vænlegur kostur. Hinir kostirnir krefjast meiri forrannsókna og eru því settir aftar, en forgangsroð gæti breyst við frekari umfjöllun og þar þarf að taka tillit til annarra sjónarmiða eins og rannsóknarkostnaðar, fjarlægðar og hvernig samningar takast við eigendur viðkomandi svæða.

Rannsóknarkostnaður við fimm mismunandi valkosti er gróflega metinn hér að neðan. Kostnaður við borun vinnsluholna og virkjun þeirra, yrðu niðurstöður jákvæðar, er ekki meðtalinn. Áhætta er að sjálfsögðu veruleg um að árangur verði ekki jákvæður og í versta falli gæti þurft að rannsaka öll svæðin án þess að verulegur árangur næðist.

1. Nágrenni Laugalandis

1) 15-20 Schlumberger viðnámsmælingar eftir NNA-SSV og ANA-VSV-línum, 1 km á milli mælinga með úrvinnslu	1,5-2 Mkr.
2) Rannsóknarhola í sprungukerfi nærri Laugalandi 200 m	3,5 Mkr.
	<hr/>
	4-5,5 Mkr.

2. Djúpbörun í sprungukerfi austast í Holtum eða vestast í Landsveit forrannsóknir þegar fyrirleggjandi

3. Sumarliðabær

1) 5 Schlumberger viðnámsmælingar	0,5 Mkr.
2) Kfna-viðnámsmælingar	1,0 Mkr.
3) Rannsóknarhola 200 m	3,5 Mkr.
	<hr/>
	5,0 Mkr.

5. Samantekt viðnámsmælinga

1) Skýrslugerð	0,2 Mkr.
----------------	----------

5. Milli Kaldárholtslækjar og Laugalandis

1) 1. áfangi 5 hitastigulsholur (60 m djúpar)	1,5 Mkr.
2) 2. áfangi ef vísbending finnst aðrar 5 hitastigulsholur	1,5 Mkr.
3) Kfna-viðnámsmælingar	1,0 Mkr.
	<hr/>
	4,0 Mkr.

6. Kaldárholtslækur

1) Kfna-viðnámsmælingar	1,0 Mkr.
2) Rannsóknarhola	0,5 Mkr.
	<hr/>
	1,5 Mkr.

Sama gildir hér og að framan um annan rannsóknarkostnað, sem til bráðabirgða má áætla um 10% af öðrum kostnaði. Almennt má reikna með að rannsóknir á jarðhitasvæðum, bæði á Laugalandi og í nágrenni þess, taki talsvert langan tíma. Ekki má reikna með að unnt sé að hraða rannsóknunum í beinu hlutfalli við fjármagn, sem í þær er lagt. Sérstaklega er mikilvægt að hefja forrannsóknir sem fyrst til að unnt sé að takmarka valkosti.

5.3 Betri orkunýting og upphitun bakrásarvatns með rafmagni

Sú aðgerð, sem nefnd hefur verið hér að framan, að takmarka kælingu í aðveitu er að sjálfsögðu leið sem skilar árangri án nokkurrar áhættu. Hún er almennt séð ákjósanleg þar sem hún sparar orku, og til langs tíma litið mun hún spara Hitaveitunni virkjunarkostnað. Einnig mundi útfellingahætta eftir upphitun vera úr sögunni væri lögð stálpípa í stað núverandi asbestlagnar. Einnig má líklega minnka eitthvað varmatap við miðlunargeymi á Laugalandi.

Kostnaður við að leggja stálpípu í stað asbestlagnar sem nú er í aðveitu Hitaveitu Rangæinga hefur verið metinn. Gert er ráð fyrir sams konar lögn og í hugsanlegri aðveitu frá Reykjadölum, þ.e. niðurgrafinni foreinangraðri stálpípu. Vegna þess að hér er um lögn í byggð að ræða er kostnaður á hvern km mun minni en fyrir lögn frá Reykjadölum. Mestu munar um vegagerð sem er óþörf í þessu tilfalli, og einnig er jörðun pípunnar ódýrari. Gert er ráð fyrir 17 l/s ársmeðalrennsli frá Laugalandi að Hellu fyrir pípuskiptin, og að þar af fari 9 l/s áfram til Hvolsvallar. Einnig er gert ráð fyrir að meðalhiti vatnsins sé 80°C í asbestlögninni við Hellu og 55°C á Hvolsvelli. Hiti vatnsins frá Laugalandi er 98°C.

Gert er ráð fyrir 200 mm (8") lögn milli Laugalands og Hellu og 150 mm (6") lögn milli Hellu og Hvolsvallar. Heildarkostnaður við nýja aðveitu er áætlaður um 131 millj. kr. og skiptist þannig:

Laugaland - Hella (8" pípa, 14 km, 5315 kr/m)	74,4	millj. kr.
Hella - Hvolsvöllur (6" pípa, 13 km, 4345 kr/m)	56,5	-
<hr/>		
Samtals	130,9	millj. kr.

Vatnshitinn á Hellu reiknast 87°C eða 7°C hærrí en í dag. Þetta þýðir að orkutapið frá pípunni lækkar úr 11,0 GWh niður í 6,7 GWh, eða sparnað sem nemur 4,3 GWh á ári miðað við núverandi ástand. Miðað við nýtingu í ofnakerfum niður í 30°C jafngildir þetta því að vatnsnotkun á Hellu minnki úr 8 l/s niður í 7 l/s að óbreyttri orkunotkun.

Vatnshitinn á Hvolsvelli reiknast 72°C eftir að skipt hefur verið í stálpípu, eða 17°C hærrí en í dag (tafla 8). Orkutapið frá pípunni milli Hellu og Hvolsvallar lækkar úr 8,0 GWh niður í 4,8 GWh, þannig að sparnaður verður 3,2 GWh á ári. Samtals mun stálpípa frá Laugalandi að Hvolsvelli því spara orku sem nemur 7,5 GWh á ári. Ef miðað er við gjaldskrá fyrir raforku sem notuð er í kyndistöð, u.þ.b. 0,85 kr/kWh, tilsvaerar orkusparnaðurinn um 6,4 millj. kr. á ári. Ef tekið er tillit til niðurgreiðslna mun sparnaðurinn vera rúmlega helmingur þessarar upphæðar.

TAFLA 7. Samanburður á orkutapi í aðveitu úr asbestpípu og úr stálpípu.

Aðveita	Asbestpípa		Stálpípa með hefðbundna einangrun					
	Vatnshiti á enda °C	Orkutap GWh/ári	Þvermál pípu mm	Vatnshiti á enda °C	Orkutap GWh/ári	Orku-sparnaður GWh/ári	Vatns-sparnaður l/s	Fjárhagslegur sparnaður millj. kr/ári
Laugaland - Hella	80	11	200	87	6,7	4,3	1,0	3,7
Hella - Hvolsvöllur	55	8	150	72	4,8	3,2		2,7
Samtals		19			11,5	7,5	1,0	6,4

Lausleg athugun hefur verið gerð á því hvaða þýðingu það hefði að tvöfalda einangrunarþykkt allrar pípunnar (tafla 9). Hiti á Hellu yrði þá um 91°C og 81°C á Hvolsvelli. Vatnsnotkun á Hellu yrði 6,5 l/s og árlegur orkusparnaður miðað við núverandi ástand 11,5 GWh. Þetta tilsvaerar tæplega 10 millj. kr. sparnaði á ári miðað við raforku án niðurgreiðslna. Ekki liggja fyrir upplýsingar um hve mikið kostnaður við pípu eykst við að auka einangrunarþykktina, en telja má víst að hagkvæmt sé að leggja í þann aukakostnað.

TAFLA 8. Samanburður á orkutapi í aðveitu úr asbestpípu og úr stálpípu (tvöföld einangrun).

Aðveita	Asbestpípa		Stálpípa með tvöfalda einangrunarþykkt					
	Vatnshiti á enda °C	Orkutap GWh/ári	Þvermál pípu mm	Vatnshiti á enda °C	Orkutap GWh/ári	Orku-sparnaður GWh/ári	Vatns-sparnaður l/s	Fjárhagslegur sparnaður millj. kr/ári
Laugaland - Hella	80	11	200	91	4,3	6,7	1,5	5,7
Hella - Hvolsvöllur	55	8	150	81	3,2	4,8		4,1
Samtals		19			7,5	11,5	1,5	9,8

Hugsanlega mætti velja grennri pípu í lögnina milli Laugalands og Hellu en hér er gert ráð fyrir, t.d. 150 mm (6"). Flutningsgeta hennar er u.þ.b. jafn mikil og mesta rennsli er í dag. Við það mundi orkutapið minnka, þó áhrifin séu minni en við aukna einangrun pípunnar. Þannig yrði hiti á Hellu aðeins um 1°C hærra við að nota 150 mm pípu í stað 200 mm pípu.

Hér að framan hefur verið sýnt hver orkusparnaður verður af því að skipta úr asbestpípu í stálpípu. Þessi orkusparnaður kemur fram með tvennum hætti. Annars vegar með minni vatnsnotkun á Rauðalæk og Hellu og hins vegar með minni orkunotkun við upphitun vatns í kyndistöðinni á Hvolsvelli. Á Rauðalæk og Hellu verður vatnshitinn þó hærri en æskilegt getur talist og því nauðsynlegt að blanda vatnið þar með bakrásarvatni. Í því felst minnkun vatnsnotkunar um 1-1,5 l/s eins og sýnt var hér að framan.

Á Hvolsvelli verður vatnshitinn heldur lægri en úr kyndistöðinni í dag og því ekki hægt að gera ráð fyrir vatnssparnaði þar að öðru óbreyttu. Hins vegar verður töluverður orkusparnaður í kyndistöðinni eins og áður er sýnt. Til þess að minnka vatnsnotkun á Hvolsvelli þarf að auka við tvöfalda dreifikerfið og nota meira af bakrásarvatni til blöndunar og síðan upphitunar í kyndistöðinni.

Hitaveitan hefur á síðustu árum verið að tvöfalda lagnir hjá stærri orkunotendum og hita upp bakrásarvatn með rafskautskatli í kyndistöðinni á Hvolsvelli. Í dag er rafhitun ódýr og aukin hit-

un vatns með rafmagni, frá því sem nú er mögulegt, er að sjálfsögðu valkostur. Í fyrsta lagi mætti enn auka nýtingu bakrásarvatns. Þannig mætti draga frekar úr vinnslu á Laugalandi eða mæta aukinni notkun. Orkuöflun með rafkyndingu bakrásarvatns fylgir engin áhætta. Forsendur fyrir notkun bakrásarvatns myndu þó breytast ef varmatap yrði minnkað í aðveitu, því þá yrði jarðhitavatnið of heitt til til beinnar dreifingar á Rauðalæk og Hellu eins og áður er nefnt. Í öðru lagi mætti hita upp kalt vatn. Ekki er þó unnt að blanda því við jarðhitavatn vegna útfellingahættu.

6. NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður þessarar skýrslu eru eftirfarandi:

- Jarðhitakerfið á Laugalandi í Holtum mun fyrirsjánlega skila áfram stórum hluta þeirrar varmaorku sem Hitaveita Rangæinga þarfnast næstu áratugin. Við óbreytta notkun ársins 1992 og upphitun um 2,5 l/s bakrennslis í kyndistöð á Hvolsvelli mun vatnsborð væntanlega haldast ofan núverandi dælundýpis í holu LWN-4 næstu 15 - 20 árin. Nýting bakrennslisins mun tefja lækun vatnsborðs um 15 ár frá því sem ella hefði orðið. Hins vegar mun Hitaveitan ekki geta mætt hugsanlegri aukningu í vatnsnotkun, nema að mjög litlu leyti, með núverandi dælubúnaði. Mikilvægt er því að halda áfram rannsóknum á Laugalandssvæðinu og nálægum jarðhitasvæðum á næstu árum.
- Jarðlagaskipan á Laugalandi einkennist af láréttum basalhraunlögum með millilögum úr seti og karga. Flestar vatnsæðar í borholum tengjast slíkum millilögum. Neðan 800 m dýpis riðlast þessi lárétta lagskipan og meira fer að bera á göngum og innskotum.
- Tvö heit vatnskerfi eru á Laugalandssvæðinu, efra og neðra kerfið. Þrýstingur hefur fallið verulega í neðra kerfinu vegna vinnslu, en úrkoma og grunnvatn viðhalda þrýstingi í því efra. Rennslí jarðhitavatns í efra kerfinu virðist stjórnað af samspili vestlægrar sprungu og láréttra setlaga á u.þ.b. 100 m dýpi.
- Neðra kerfið á Laugalandi virðist stjórnað af tveimur sprungum eða sprungukerfum sem skerast á svæðinu. Er önnur með stefnu ANA-VSV og hin með stefnu NNA-SSV. Úrvinnsla vatnsborðs- og vinnslugagna bendir til þess að lekt sé góð eftir norðlæga sprungukerfinu og tengjast góðar vatnsæðar í holum LWN-4 og GN-1 því. Utan rennunnar er lekt hins vegar mjög lág. Vestlæga sprungan virðist á hinn bóginn heitari og gæti hún hafa virkað sem innstreymisrás í norðlægu sprunguna.
- Áður en hola GN-1 var boruð var talið að heitt innstreymi jarðhitakerfisins kæmi úr norðri eftir norðlæga sprungukerfinu. Svo reyndist þó ekki vera. Hitaástand jarðhitakerfisins bendir til þess að hola LWN-4 sé næst uppstreyminu. Holan sker það þó sennilega ekki heldur fær vatn úr því um lárétt millilög. Þriðja djúpa holan á svæðinu, LN-3, virðist vera fjær uppstreyminu en LWN-4.
- Efnastyrkur vatns úr holu LWN-4 lækkaði á fyrstu árum vinnslu og vatnið úr holu GN-1 var strax í upphafi efnasnaðara. Er þetta talið stafa af samspili tveggja vatnskerfa, væntanlega vestlæga og norðlæga sprungukerfisins, og er mun meira innstreymi af fersku staðbundnu vatni í annað þeirra (norðlæga kerfið).
- Prófun á holu L-2, ásamt niðurstöðum annarra vinnsluprófana á svæðinu, bendir til þess að vinna megi tímabundið 5-10 l/s af 40-60°C vatni úr nýrri holu í efra kerfinu með litlum niðurdætti. Þetta vatn mætti nota til hitunar á Laugalandssvæðinu, til niðurdælingar eða til blöndunar við vatn úr LWN-4, ef efnainnihald þess leyfir.
- Ferlunarefni, sem dælt var í holu GN-1, skilaði sér mjög greiðlega yfir í holu LWN-4. Höfðu yfir 90% af því sem dælt var niður skilað sér upp um LWN-4 eftir 3 mánuði. Túlkun á endurheimtu ferlunarefnisins sýnir að mjög greið tengsl eru milli holna GN-1 og LWN-4, væntanlega eftir norðlægu sprungunni.

- Reiknilfskan, sem byggir á niðurstöðum ferlunarprófsins, spáir nokkurri kólnun vatns úr holu LWN-4 vegna niðurdælingar í holu GN-1. Þarf hiti vatnsins, sem dælt er niður, helst að vera um eða yfir 50°C og ekki virðist mega dæla meiru niður en um 5 l/s. Jafnframt skerðir niðurdæling í holu GN-1 rekstraröryggi Hitaveitunnar. Vænlegra er að bora nýja niðurdælingarholu, helst í meira en 200 m fjarlægð frá holu LWN-4. Virðist óhætt að setja í hana upp undir 5 l/s af volgu vatni sem mun skila sér að stórum hluta í aukinni orkuvinnslu úr holu LWN-4.
- Jarðhitakerfið á Laugalandi í Holtum virðist vart fullkannað fyrr en boruð hefur verið a.m.k. ein 1500 m djúp hola í viðbót. Takist að skera uppstreymisrás svæðisins verður væntanlega hægt að vinna vatn með eitthvað minni niðurdrætti en nú er í holu LWN-4. Það gæti skilað um 2 l/s aukningu í meðalvinnslu úr svæðinu. Eins er möguleiki að meira vatn finnist neðan 1000 m dýpis.
- Endurvirkjun holna LWN-4 og GN-1 með nýjum síðari öxuldælum er einnig valkostur fyrir Hitaveituna.
- Gróflega metið er rannsóknarkostnaður og fjárfesting sem leggja þarf í til aukinnar nýtingar Laugalandssvæðisins á bilinu 40 til 50 Mkr.
- Hugsanlega má finna annað vinnslusvæði fyrir Hitaveitu Rangæinga á jarðhitastöðum í nágrenni Laugalands. Ekki er talið hagkvæmt að skoða aðra möguleika en lághitasvæði, sem liggja í innan við 20 km fjarlægð frá Laugalandi. Kostnaður við forrannsóknir á þeim er áætlaður á bilinu 10 til 18 Mkr. eftir árangri og hvernig að þeim verður staðið. Er þá kostnaður við vinnsluboranir ótalinn.
- Kostnaður við virkjun háhitasvæðisins í Reykjadölum er gróflega metinn um 600 Mkr. Orkuverð þaðan verður ekki undir 2 kr/kWh nema orkunotkun Hitaveitunnar aukist frá því sem nú er.
- Æskilegt væri að kanna sprungusvæðin í nágrenni Laugalands með djúpborun vegna hugsanlegrar jarðhitavinnslu djúpt úr sprungukerfum sem víða má finna á Suðurlandi. Sanngirnis-mál er að slík framkvæmd sé kostuð af almannafé þar sem hún hefur mjög almennt gildi fyrir heilan landshluta. Kostnaður við djúpborun er áætlaður um 24 Mkr.
- Endurnýjun aðveituæðar með vel einangraðri stálþípu myndi minnka orkutap í aðveitu um 7-8 GWh á ári, en kosta um 130 Mkr. Það myndi minnka vatnsnotkun auk þess að minnka þörfina á rafhitun bakrásarvatns. Hagkvæmni slíkrar framkvæmdar er þó mjög háð rafmagnsverði.
- Aukin rafhitun bakrásarvatns er jafnframt valkostur fyrir Hitaveituna sem dregur úr vinnslu á Laugalandi. Honum fylgir ekki bein áhætta, en hagkvæmni hans er háð raforkuverði á hverjum tíma.

Hitaveita Rangæinga stendur nú á tímamótum þar sem nýting Laugalandssvæðisins verður vart aukin miðað við núverandi dælubúnað. Margir kostir eru í boði til að mæta vaxandi orkuþörf veitunnar í framtíðinni. Suma má ráðast í strax og eru þeir ekki bundnir neinni óvissu. Aðrir kostir þarfnast langs undirbúnings og eru þeir bundnir talsverðri óvissu. Á það sérstaklega við um rannsóknir á Laugalandssvæðinu og forrannsóknir á lághitasvæðum í grennd. Mikilvægur liður í slíkri ákvarðanatöku er orkuverð fyrir hvern kostanna og sömuleiðis áhætta. Á grundvelli þeirra upplýsinga sem fram koma í skýrslunni þarf að gera hagkvæmnimat fyrir hvern þeirra og marka þannig stefnu Hitaveitunnar til sem ódýrstrar orkuöflunar í framtíðinni.

RITSKRÁ

- Carslaw, H.W. og J.C. Jaeger, 1959: *Conduction of Heat in Solids*. Önnur útgáfa, Claredon Press, Oxford, 496 s.
- Guðni Axelsson, 1990: *Laugaland í Holtum. Hermireikningar og vatnsborðsspár*. Orkustofnun, OS-90043/JHD-24 B, 9 s.
- Guðni Axelsson, 1992: *Laugaland í Holtum. Vinnsla og vatnsborð á útmánuðum 1992*. Orkustofnun, greinargerð GAX-92/01, 5 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson, Guðrún Sverrisdóttir, Magnús Ólafsson og Sverrir Þórhallsson, 1991: *Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1990-1991*. Orkustofnun, OS-91050/JHD-29 B, 13 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1992: *Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1991-1992*. Orkustofnun, OS-92060/JHD-33 B, 17 s.
- Lúðvík S. Georgsson, 1985: *Hitaveita Rangæinga. Leiðir til að auka öflun heits vatns*. Orkustofnun greinargerð, LSG-85/12, 3 s.
- Lúðvík S. Georgsson, 1987: *Hola GN-1 og orkuvinnslugeta Hitaveitu Rangæinga*. Orkustofnun greinargerð, LSG-87/02, 1 s.
- Lúðvík S. Georgsson, 1989: *Afköst holu 2 á Laugalandi í Holtum*. Orkustofnun greinargerð, LSG-89/02, 5 s.
- Lúðvík S. Georgsson, Haukur Jóhannesson, Margrét Kjartansdóttir og Einar Gunnlaugsson, 1978: *Laugaland í Holtum. Jarðhitakönnun og borun holu 3*. Orkustofnun, OS-JHD/78-02, 53 s.
- Lúðvík S. Georgsson, Þorsteinn Thorsteinsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1981: *Hola LW-4 við Laugaland í Holtum*. Orkustofnun greinargerð, LSG-ÞTh-HK-81/01, 14 s.
- Lúðvík S. Georgsson, Þorsteinn Thorsteinsson og Sverrir Þórhallsson, 1983: *Hola LWN-4 að Laugalandi í Holtum. Vatnsvinnsla des. 82 - mars 83 og bilun djúpdælu*. Orkustofnun, OS-83026/JHD-07 B, 16 s.
- Lúðvík S. Georgsson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1983: *Laugaland í Holtum. Tillögur um aðgerðir til heitavatsöflunar*. Orkustofnun greinargerð, LSG-ÞTh-83/04, 4 s.
- Lúðvík S. Georgsson og Steinar Þór Guðlaugsson, 1984: *Laugaland í Holtum. Viðnámsmælingar og mælingar í holu LWN-4 sumarið 1983*. Orkustofnun, OS-84042/JHD-07, 24 s.
- Lúðvík S. Georgsson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1984: *Hola GN-1 í Götu í Holtum. Bráðabirgðaniðurstöður um borun og prófun holunnar*. Orkustofnun greinargerð, LSG-ÞTh-84/06, 9 s.
- Lúðvík S. Georgsson, Auður Ingimarsdóttir, Guðni Axelsson, Margrét Kjartansdóttir og Þorsteinn Thorsteinsson, 1987: *Laugaland í Holtum. Hola GN-1 í Götu og vatnsvinnsla á Laugalandsvæðinu 1982-1987*. Orkustofnun, OS-87022/JHD-04, 65 s.
- Lúðvík S. Georgsson og Guðni Axelsson, 1989: *Mat á vatnssstöðu holu LWN-4 á Laugalandi í Holtum árið 2007*. Orkustofnun greinargerð, LSG-GAX-89/03, 1 s.

Magnús Ólafsson, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1990: *Hitaveita Rangæinga. Eftirlit með jarðhitavinnslu 1989-1990*. Orkustofnun, OS-90047/JHD-27 B, 17 s.

Sæþór L. Jónsson, 1987: *Dæluþrófun holu LN-3 Laugalandi í Holtum*. Orkustofnun greinargerð, SLJ-87/03, 9 s.

Þorsteinn Thorsteinsson og Lúðvík S. Georgsson, 1982: *Afköst holu LGN-4 við Laugaland í Holtum*. Orkustofnun greinargerð, ÞTh-LSG-82/03, 5 s.

Þorsteinn Thorsteinsson, Lúðvík S. Georgsson og Sverrir Þórhallsson, 1983: *Vatnsvinnla úr holu LWN-4 við Laugaland í Holtum*. Orkustofnun greinargerð, ÞTh-LSG-SP-83/02, 6 s.

VIÐAUKAR

VIÐAUKI A: Greining jarðlaga og vatnsæða í holum á Laugalandi

Jarðlög í holu LWN-4

Hola LWN-4 er aðal vinnsluhola Hitaveitu Rangæinga. Holan var boruð árið 1980 niður í 800 m og síðan dýpkuð 1982 niður í 1014 m. Hún er fódruð með 11 3/4" röri niður í 292 m. Jarðlög holu LWN-4 hafa ekki verið greind fyrr en nú. Hins vegar lágu fyrir víddar- og viðnámsmælingar. Mynd A-1 sýnir þessar mælingar ásamt jarðlagagreiningunni í holu LWN-4. Ekki var reynt að leiðrétta jarðlagasniðið fyrir misræmi krónudýpis og tífmans sem tók svarfið að berast upp holuna frá botni. Eru því jarðlagaskilin í raun aðeins ofar en merkt er á sniðið. Sem dæmi myndu jarðlagaskilin á 744-760 m dýpi færast upp um 2-4 m ef slík leiðrétting færi fram. Þetta er óveruleg skekkja sem breytir ekki heildarmyndinni. Jafnframt má nefna að gott samband er á milli greindra jarðlaga og viðnámsstoppa á mynd A-1. Það réttlætir að dýptarleiðréttingu sé sleppt.

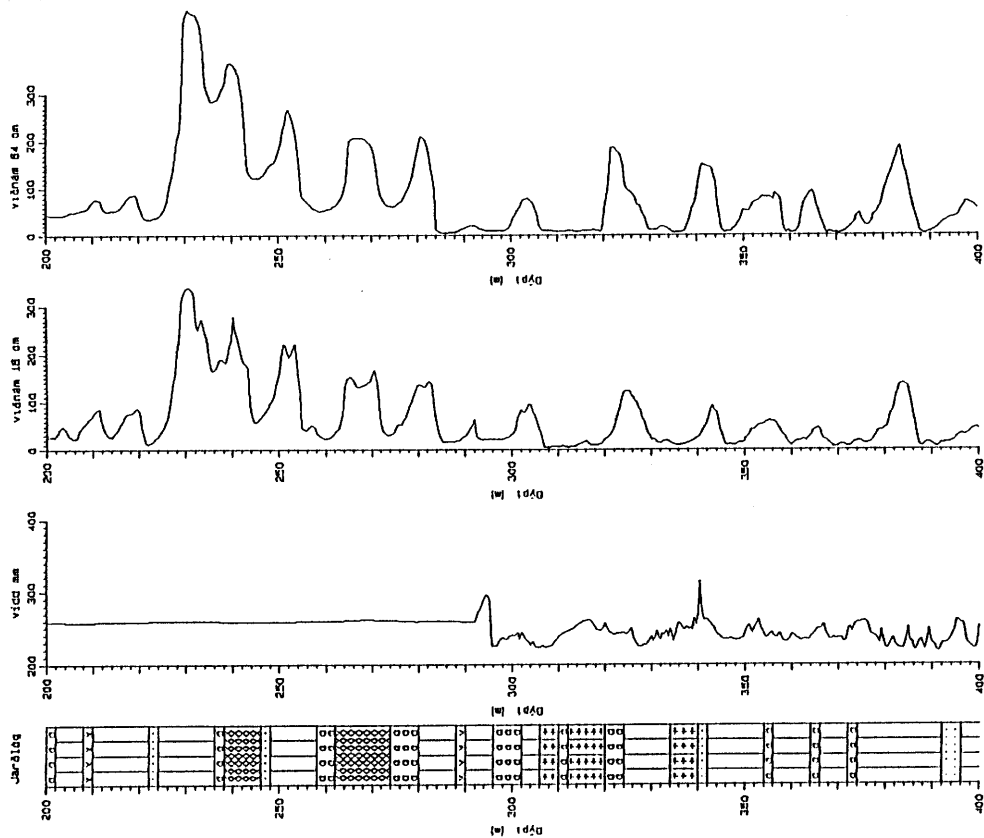
Merkingar á jarðlögnum á mynd A-1 eru að mestu hefðbundnar. Þó er merkingin gróft set eingöngu notuð um millilög. Telst kargahlutinn af basaltinu þá einnig í því jarðlagi. Sumt af því sem merkt er sem basaltrík breksfa gæti verið gróft set, þ.e. setdreifikornin eru stærri en brotkornastærðin í breksfu. Fína setið er oftast rautt set.

Jarðlög holu LWN-4 eru mest basalt með millilögum af seti og karga. Algengust eru þóleifbasaltlög en einnig finnast plagíóklasdflótt lög og ólivínþóleifbasalt. Einnig er nokkuð af móbergskennendum lögum. Þetta er mjög líklega setmóberg, misjafnlega grófkorna. Á stöku stað gæti þó verið um basalt að ræða sem hefur sundrast við að fara yfir votlendi, t.d. lag á 86-102 m. Þetta lag gæti einnig verið hluti af setinu fyrir neðan. Svipað lag finnst á sama dýpi í holu GN-1. Helstu jarðlög sem greind voru í holu LWN-4 eru eftirfarandi (raðað eftir dýptarbilum):

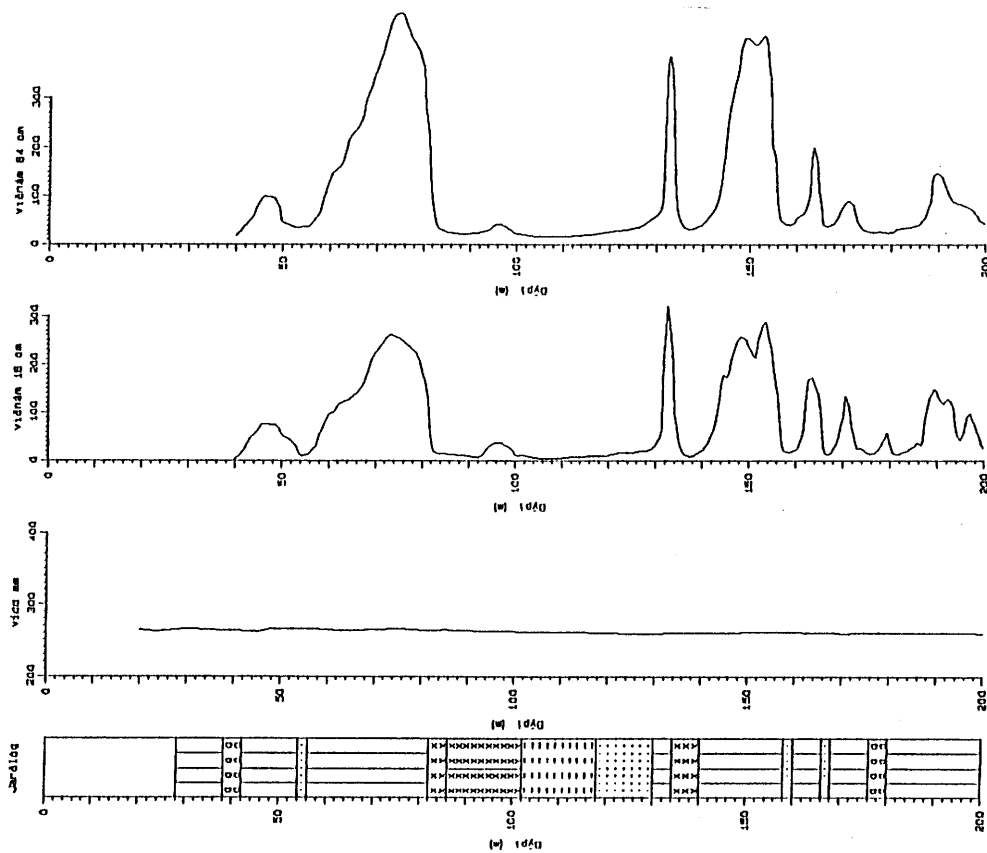
- 0-28 m. Vantar svarf.
- 28-82 m. Fínkristallað þóleifbasalt með millilögum, nær engar holufyllingar sjást.
- 82-102 m. Basaltrík móbergsbreksfa og glerjað basalt og/eða basaltríkt móbergssset.
- 102-140 m. Fínt túffkennt set niður í 118 m án nokkurra basaltmola. Fyrir neðan er nokkuð af fínu basalti, sennilega basaltmolar í fína setinu. Síðan tekur við þunn brík af fínu basalti, svo tekur móberg við á ný og hreint setefni með talsverðu af basalti. Þetta lag er sýnt á mynd A-1 sem basaltríkt móberg þar sem merking fyrir grófa setið er eingöngu notuð fyrir kargalög.
- 140-238 m. Hér eru fínkristölluð basaltlög með millilögum. Millilögin eru rautt og fínt set, kargi og gróft set, svo og móbergskennt set (merkt basaltríkt móberg). Mismikil ummyndun sést í basaltinu. Oft er það fremur ferskt þó sumstaðar komi talsvert af holufyllingum.
- 238-274 m. Tvö plagíóklasdflótt basaltlög með einu dflalauslagi á milli. Millilögin eru sömu gerðar og í laginu fyrir ofan þetta.
- 274-306 m. Fínkristölluð basaltlög með millilögum.
- 306-340 m. Sennilega koma hér mjög ummynduð og oxuð ólivínþóleif basaltlög ásamt millilögum og einu fremur fersku þóleifbasaltlagi. Basaltið er nokkuð grófkristallað en mjög oxað og ummyndað.

- 340-462 m. Fínkristölluð þóleiftbasaltlög með millilögum úr seti og karga.
- 462-588 m. Fínkristölluð þóleiftbasaltlög með millilögum, mest kargi. Oft sést þó örllítið af ffnu seti með karganum. Yfirleitt eru basaltlöggin þykk og nokkuð fersk. Undantekning er 560-570 m dýpi. Þar er talsvert af stílbít-, mesólít- og heulandít- holufyllingum.
- 588-626 m. Hér koma þrjú basaltlög. Efst er fremur ferskt og all grófkristallað lag án millilaga. Síðan kemur mun fínkristallaðra basaltlag og að lokum fremur gróft og ferkslegt þóleiftbasalt. Milli mið og neðsta lagsins er örþunnt rautt setlag. Hugsanlegt má túlka þetta dýptarbil sem einn gang. Rauðu setkornin sem komu á mótum mið og neðsta lagsins hafa þá skolast úr efri hlutum holunnar.
- 626-640 m. Móbergsskennt set með mismiklu af basalti. Efst er setið rautt.
- 640-682 m. Byrjar sem ferskt, fínkristallað basalt. Þar fyrir neðan er móbergslag sem skiptist í túff og basaltríkt móberg sem er setlegt.
- 682-708 m. Tvö þóleiftbasaltlög með þunnu túffkenndu millilagi.
- 708-746 m. Hér er svarfið mjög blandað. Efst er talsvert af gleri sem gæti verið breksfa. Neðri hlutinn er túffkennt set sem líkist mjög setinu á 130 m dýpi. Setið gæti verið hrun sem kom í holuna við æð á 744 m.
- 746-776 m. Tvö þóleiftbasaltlög með þykku millilagi af ffnu rauðu seti og karga. Basaltið er mjög blandað seti og karga.
- 776-822 m. Þrjú fínkristölluð þóleiftbasaltlög og tvö millilög. Lítil blöndun er á svarfinu og greiningin því áreiðanleg. Basaltið fremur ferskt. Efra millilagið er mjög móbergsskennt en það neðra er rautt, fínt set.
- 822-836 m. Hér kemur basaltrík móbergsbreksfa eða breksferað basalt. Efstu tveir metrarnir eru nærri hreint túff. Þar fyrir neðan tekur við basalt með talsvert miklu af gleri sem er ólíkt glerinu í túfflaginu. Sumt af glerinu er setkennt og gæti stafað af hruni í borun. Á 824-826 m dýpi sést holufyllt sprunga. Stílbít (eða laumontít) virðast 60-70 % holufyllinganna.
- 836-878 m. Á þessu bili vantar svarf vegna stangarbrots og dýpkunar á holunni. Aðeins eitt svarfsýni, merkt 866 m, er frá þessu dýptarbili. Það samanstendur af ffnu basalti og er sennilega botnfall.
- 878-966 m. Að mestu leyti samfellt fínkristallað basalt, mismikið ummyndað. Vottur af millilögum sést sem örfá setkorn. Hins vegar skiptir einnig um grófleika basaltsins við millilöggin og er basaltið grófast rétt fyrir ofan lagamótin. Það styður greiningu yfir í mismunandi lög en er ekki óbyggjandi. Því gæti þetta einnig verið gangur.
- 966-1014 m. Basaltlög með rauðum millilögum úr misgrófkornóttu seti. Basaltið er misgrófkristallað. Eitt laganna er merkt sem meðalgróft frekar ferskt og gæti það verið gangur. Mikil svarfblöndun er á þessu bili.

Laugarland i Holtum hola 4

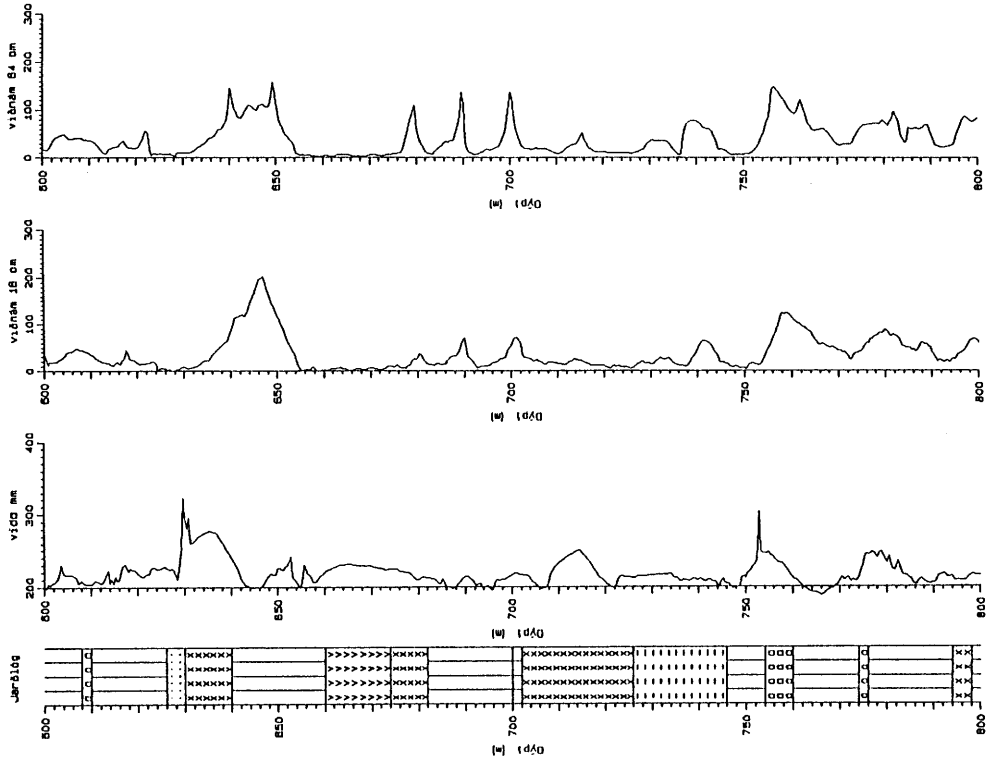


Laugarland i Holtum hola 4

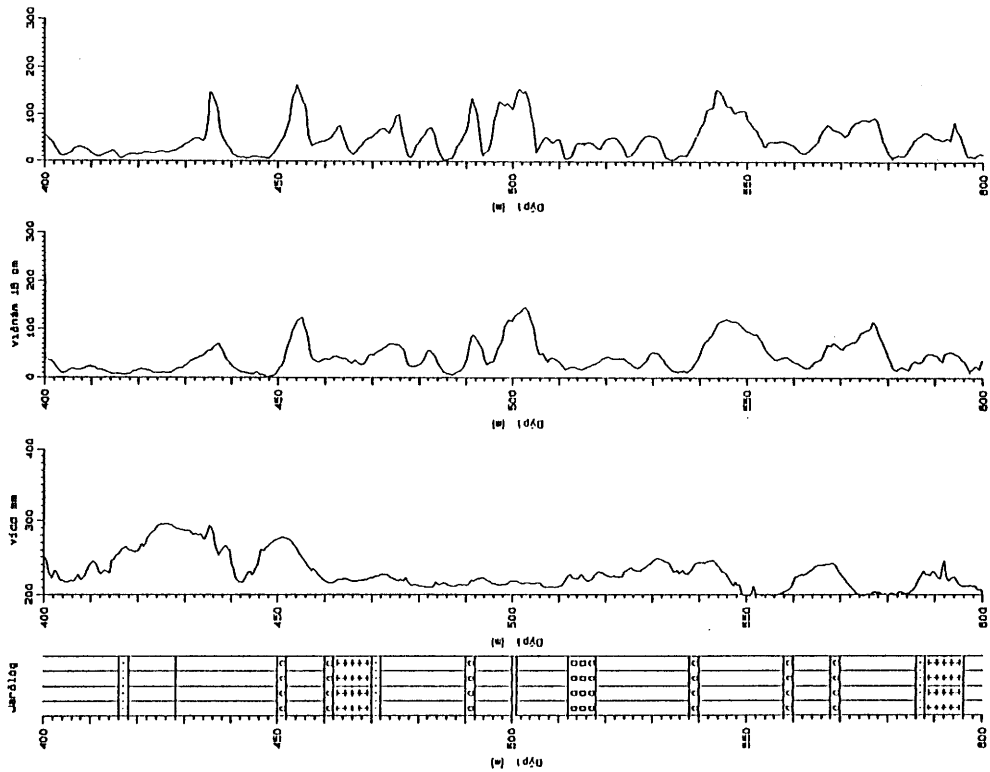


Mynd A-1. Jarðlög og jarðlagamælingar í holu LWN-4

Laugarland i Holtum hola 4



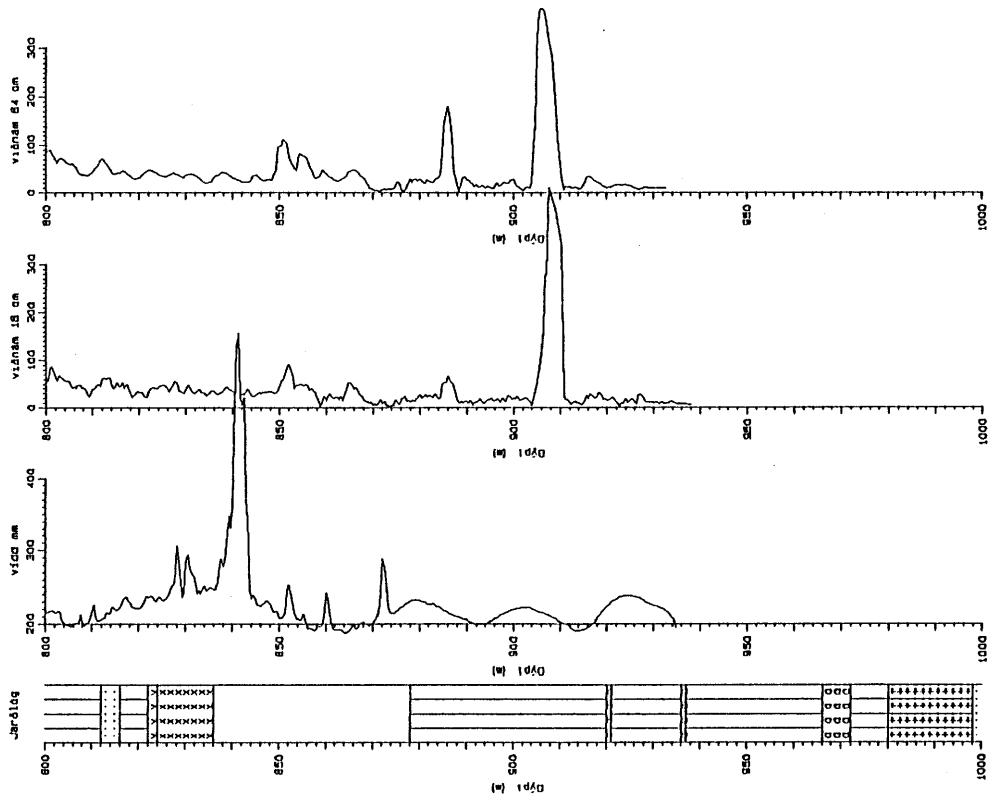
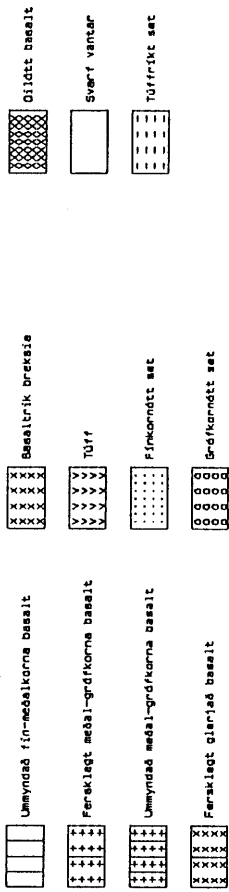
Laugarland i Holtum hola 4



Mynd A-1. Jarðlög og jarðlagamælingar í holu LWN-4

Laugarland í Holtum hola 4

Skýringar við jarðlagasnið



Mynd A-1. Jarðlög og jarðlagamælingar í holu LWN-4

Vatnsæðar í holu LWN-4

Helstu vatnsæðar holu LWN-4 eru á 690, 744, 772 og á 820-830 m. Virðist 744 m æðin þeirra stærst (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1981). Ennfremur sjást smáæðar í hitamælingum. Helstar eru á 60, 110, 330, 570 og á 690-700 m (sjá kafla 3). Tengsl vatnsæðanna við jarðlög neðan fóðringar (292 m) eru eftirfarandi:

1. Efsta vatnsæðin er líklega í millilagi á 324 m dýpi. Þessi æð kemur aðeins fram í hitamælingum (sjá kafla 3.4).
2. Á 340-350 m kemur fram smáhnýkkur í einni hitamælingu sem gæti bent til vatnsæðar. Ef þarna er vatnsæð er líklegast að hún sé við millilag í 340 m dýpi
3. Stallur kemur fram í nokkrum hitamælingum um 570 m dýpi. Á þessu bili finnst set og kargalag (562-568 m).
4. Vatn jókst nokkuð í holu LWN-4 á 693-724 m. Á jarðlagasniðinu á mynd A-1 eru merkt lagmót á milli tveggja basaltlaga á 700 m dýpi. Líklega er aukningin, sem kom fram á þessu dýptarbili, tengd æð við ofangreind lagmót.
5. Tvær stórar vatnsæðar eru á 744 og 772 m dýpi. Líklega tengist efri vatnsæðin grófa setlaginu á 754-760 m á mynd A-1. Réttara dýpi er þó 745-754 m ef mið er tekið af viðnámsmælingum. Þessa dýpishliðrun má skrifa á hægt streymi svarfs upp holuna eftir að fyrri æðin var skorin (mikið skoltap). Neðri æðin er sennilega við millilag sem er merkt inn á sniðið á 774-776 m, en er líklega á 770-772 m dýpi. Ekki er getið um verulegt skoltap á þessu dýptarbili.
6. Dýpsta vatnsæð LWN-4 er á 820-830 m. Þessi æð er í grófkornóttu móbergskenndu seti (merkt sem basaltríkt móberg). Hún gæti einnig tengst sprungu því í svarfdós sem tekin var í 824 m voru um 60% sýnisins sprungufyllingar. Þá geta bormenn um mjög miklar sprungufyllingar á milli 828 og 830 m dýpis. Ekki náðist samt sýni af þeim. Því er líklegt að borað hafi verið í sprungu á þessu dýptarbili.

Tengsl vatnsæða og jarðlaga

Jarðhitakerfinu á Laugalandi má skipta í tvö vatnskerfi (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1978, 1987). Mörk þessara kerfa eru óskýr. Efra vatnskerfið er opið inn í holur L-1, L-2 og LN-3, en er fóðrað af í holum LWN-4 og GN-1.

Auðvelt er að tengja vatnsæðar og jarðlög milli holna í efra vatnskerfinu. Þar eru jarðlög nær lárétt og æðar á svipuðu dýpi í fleiri en einni holu. Lárétt lekt virðist því einkenna kerfið. Sjá má þrjú vatnsleiðandi jarðlög í holunum. Efsta vatnsæðin er á 50-60 m dýpi. Hún tengist rauðu millilagi. Lagið finnst í öllum holunum sem hafa verið jarðlagagreindar. Næsta vatnsæð fylgir móbergskenndu seti í kringum 100 m dýpi. Setið er 10-40 m þykkt, þykkast í holu LWN-4 en þynnst í GN-1. Djúp vatnsæð er svo á lagmótum tveggja basaltlaga í kringum 210 m dýpi.

Ekki eru eins skýr tengsl vatnsæða milli holna í neðra vatnskerfinu. Þar eru æðar bundnar við millilög eða setlög, en ekki er hægt að rekja vatnsæðar í sama jarðlagi á milli holna. Í einu tilfalli er vatnsæð á svipuðu dýpi í holu LN-3 og holu LWN-4 (820-840 m). Þó er það ekki í sama jarðlagi. Einnig er mikill stærðarmunur á vatnsæðunum. Það er því líklegt að þessar æðar séu tengdar einhverju löðréttu fyrirbæri, gangi, sprungu eða misgengi. Hóla LWN-4 var einmitt staðsett til að skera gang. Engar vísbendingar eru þó í svarfi um að holur LWN-4 eða GN-1 hafi skorið

ganga við bestu æðarnar. Í einu tilfelli hafa komið vísbendingar í svarfi um að vatnsæð sé tengd sprungu, það er vatnsæðin á 820-840 m í LWN-4.

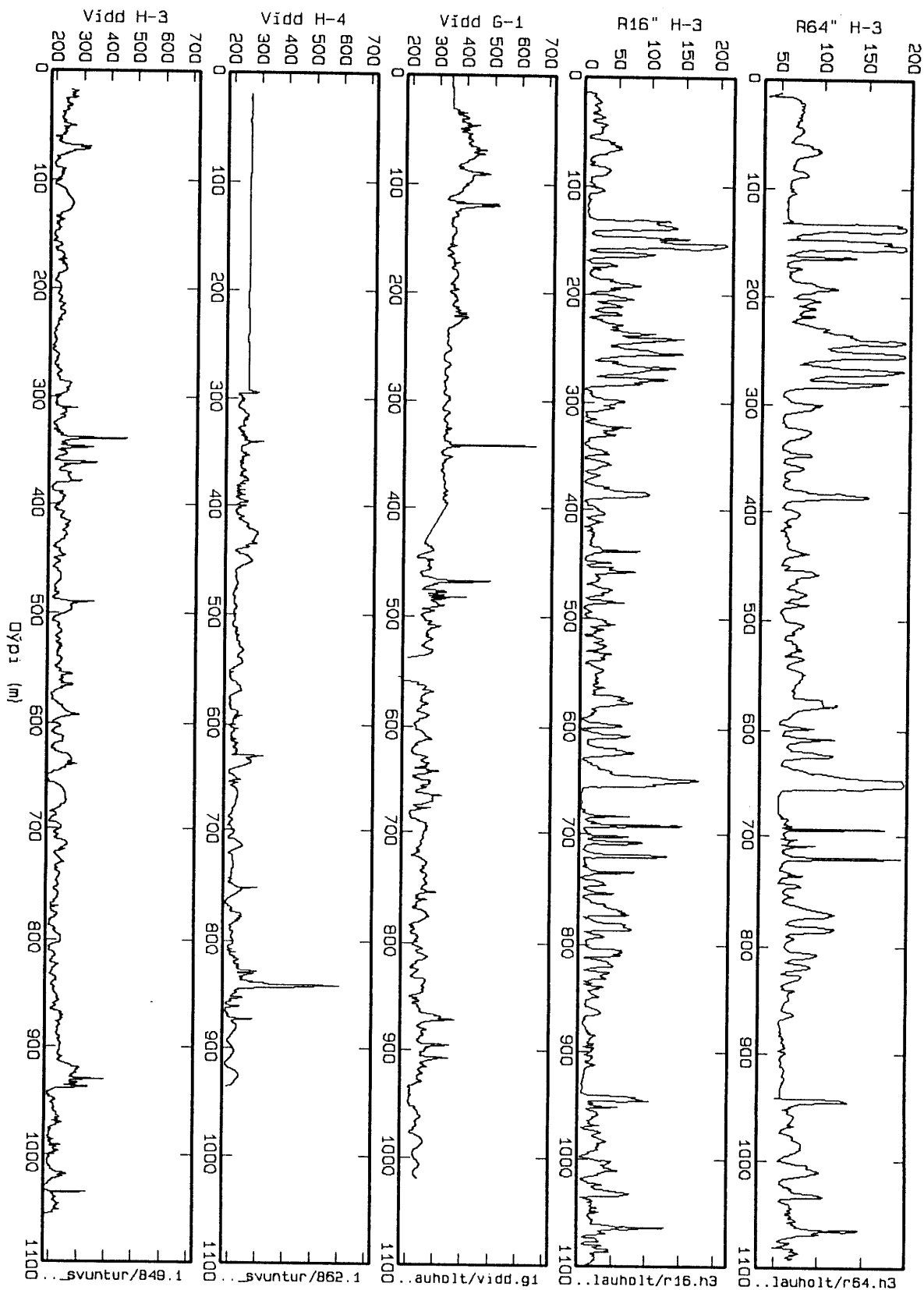
Jarðlagamælingar

Fjölmargar jarðlagamælingar hafa verið gerðar í borholunum á Laugalandssvæðinu. Á mynd A-2 eru allar mælingarnar sýndar saman. Sýnd eru frumgögn, þ.e. ekki hefur verið dýptarleiddrétt né kvarðað í öllum tilvikum yfir í venjubundnar einingar. Mæliferlarnir eru samt sem áður mjög gagnlegir og upplýsingar sem lesa má úr þeim styðja mjög jarðlagagreininguna hér að framan.

Það sem einkennir mælingarnar á mynd A-2 er að jarðlög virðast eins í öllum holum allt niður undir 700-800 m dýpi. Því ræður lárétt lagskipting basaltsins á Laugalandssvæðinu. Basaltstaflinn kemur þá fram sem syrpa tinda og lægða í viðnáms- og nifteindamælingunum. Fylgja þá tindarnir þéttri miðju hraunlaga, en lægðirnar sýna set- og kargalögin milli hraunlaga. Auðvelt er að rekja einstaka toppa milli holna, t.d. eru toppar í 650 og 700 m mjög áberandi í öllum holunum. Eru þetta væntanlega lárétt hraunlög sem þekja allt borsvæðið.

Þegar kemur niður fyrir u.þ.b. 800 m dýpi í borholunum, hverfa þessar eindregnu, láréttu tengingar milli holna. Það styður þá niðurstöðu jarðlagagreiningarinnar að lóðréttar myndanir, gangar og innskot, verði tíðari á þessu dýpi. Ef draga á einstaka toppa í viðnámi út úr jarðlagaferlunum, þá vekja athygli toppur á 940 m í LN-3, 910 m í LWN-4 og í holu GN-1 eru toppar á 845 og 950 m. Toppurinn í holu LN-3 er talinn dólerít-innskot en einnig finnast við hann ljósar holufyllingar, svo sem skólesít, kalsít og kvars. Jafnframt er smáæð í holunni við þetta dýpi (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1978). Í holu LWN-4 er samfelld, fínkristallað basalt á 878-966 m sem gæti verið hvort sem er lagskipt basalt eða berggangur. Viðnámsstoppurinn í holu GN-1 tengist svo plágíóklasflóttu basaltlagi á 840-852 m dýpi.

Viddarmælingarnar á mynd A-2 eru verðar sérstakrar skoðunar. Inn á þær eru merktar æðar hverrar holu. Vekur athygli að æðar koma tíðum við eða í skápum. Það sýnir mikilvægi lausra millilaga í lekt til holna. Stór skápur kemur fram í öllum holunum þremur á 340 m þó svo að millilagið, sem skápunum valdi, gefi einungis vatn til holu LWN-4. Er athyglisvert að þó láréttum milliögum Laugalandssvæðisins fylgi tíðum æðar, þá er viðkomandi millilag aðeins lekt í einni af holunum. Má ætla að vatn fylgi millilagi þá og því aðeins að stutt sé í lóðréttu uppstreymisrásina sem fæðir það.



Mynd A-2. Allar jarðlagamælingar í holum á Laugalandssvæðinu

VIÐAUKIB: Mat á berghita holna á Laugalandssvæðinu

Hola L-1

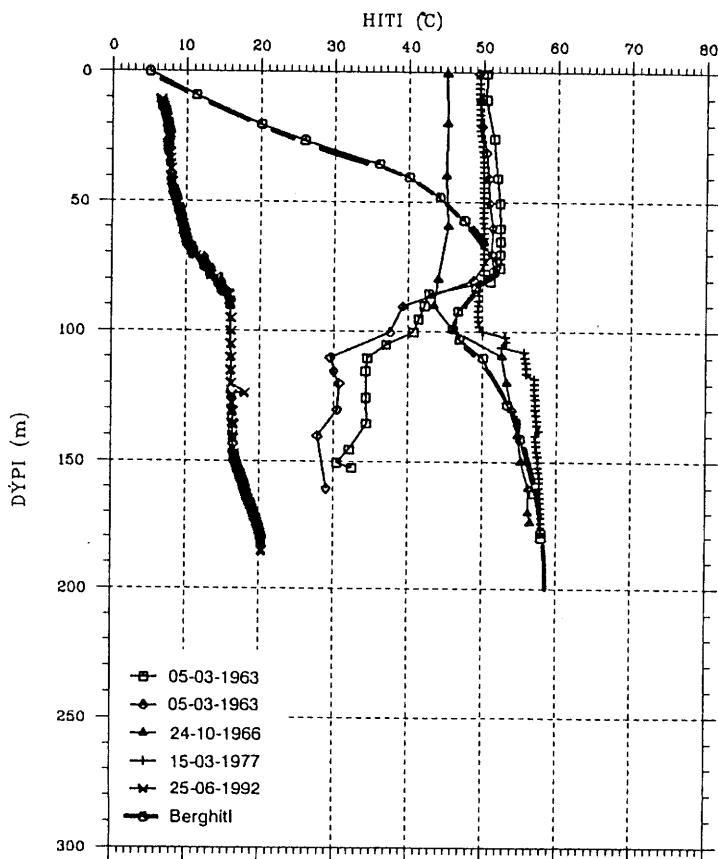
Hola L-1 var aldrei hitamæld til botns. Einungis eru tiltækar mælingar á hita vatns sem sjálfrann úr holunni og var hann yfir 42°C. Líklega er vatnsæð við botn holunnar á 90 m. Því er berghiti metinn 45°C á 90 m dýpi í holunni, en telst að öðru leyti óþekktur.

Hola L-2

Mynd B-1 sýnir þær fimm hitamælingar sem tiltækar eru úr holu L-2. Sjálfrennsli er úr holunni í öllum mælingunum nema þeirri síðustu (25-06-92). Elstu mælingarnar eru gerðar tveimur dögum eftir að borun lauk. Þá er holan enn kæld neðan 80 m, en ofan þess dýpis rann um 52°C heitt vatn upp holuna. Holan var mæld á ný árin 1966 og 1977. Í þeim mælingum er áberandi að holan er ætíð köldust um 90 m dýpið. Það bendir ákveðið til hitaviðsnúnings og sýnir að rúmlega 50°C heitt vatn streymdi lárétt um bergið við holuna áður en dæling tók að raska þrýstiástandi jarðhita-kerfisins. Væntanlega átti þetta lárétta streymi sér stað á u.þ.b. 70-80 m dýpi.

Síðasta hitamælingin er frá því í júní 1992. Sú mæling er sýnu köldust og skýrist af niðurrennsli kalds grunnvatns í holunni. Þetta kalda vatn virðist koma inn um fóðringarendann og nokkur viðbót heitara vatns kemur á 70-90 m. Kalda niðurrennslið fer síðan að mestu út úr holunni á u.þ.b. 150 m dýpi, en hluti nær algveg til botns.

Að lokum er sýndur á mynd B-1 áætlaður berghiti holu 2. Hann hækkar frá 5°C á yfirborði með skörpum stigli að 52°C í 75 m. Þaðan lækkar hitinn í um 46°C í 100 m, en hækkar svo aftur í tæpar 60°C á 200 m dýpi. Ferillinn byggist að mestu á mælingunni frá 1977 og er gert ráð fyrir að vatn renni upp alla holuna þegar mælingin var gerð.



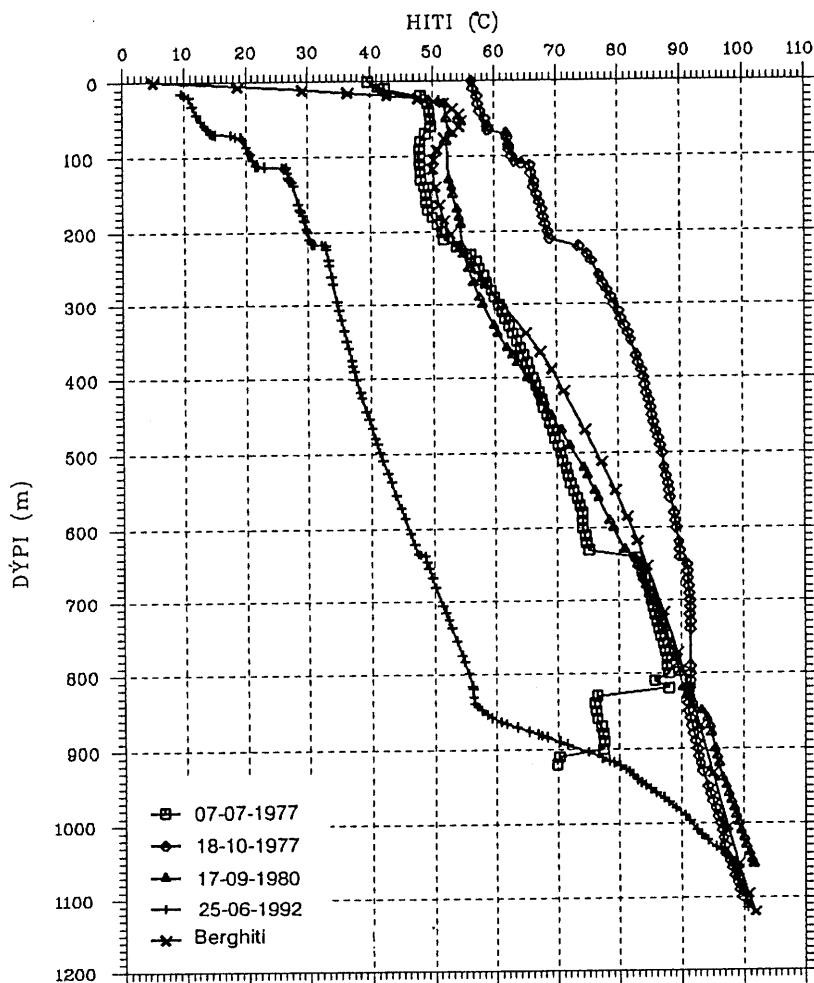
Mynd B-1. Hitamælingar í holu L-2

Hola LN-3

Mynd B-2 sýnir hitamælingar í holu LN-3 ásamt mati á berghita hennar. Fjórar hitamælingar hafa verið gerðar í holunni, tvær voru gerðar kringum borun en tvær eftir að borun lauk. Sjálfrennsli er úr holunni í fyrstu tveimur mælingunum.

Auðséð er af mæliferlunum á mynd B-2 að berghiti er 90°C á 800 m dýpi, og þaðan er línulegur stigull að 100°C á 1100 m. Ofan 900 m dýpis er á harla litlu að byggja utan hvað hiti er lægri en 70°C á 210 m og milli 50 og 58°C við æð á u.þ.b. 60 m dýpi. Þar sem óverulegt vatn kom í holuna neðan 250 m er líklegt að berghitinn sé um 55°C á 250 m. Jafnframt sést að æðar kaldari en 55°C bætast við sjálfrennsli holunnar milli 100 og 200 m dýpis uns vatnið hitnar á ný í 60 m dýpi. Það bendir til hitaviðsnúnings í holunni, neðan 60 m. Byggir berghitaferillinn á mynd B-2 á þessum upplýsingum.

Nýjasta hitamælingin í holu 3 sker sig verulega úr þeim fyrri sökum lágs hita. Mælingin er gerð í júlí síðastliðnum og sýnir greinilega niðurrennsli kaldara vatns í holunni. Vatnið kemur inn á nokkrum stöðum milli 20 og 200 m dýpis. Innstreymishiti vatnsins vex með dýpi og er kominn yfir 35°C í 220 m. Enn vottar fyrir smávægilegu innrennsli á 630 m. Síðan hverfur mestur hluti niðurrennslisins á ný út í jarðhitakerfið við æð á 840 m en líttill hluti þess nær allt niður á 1050 m.



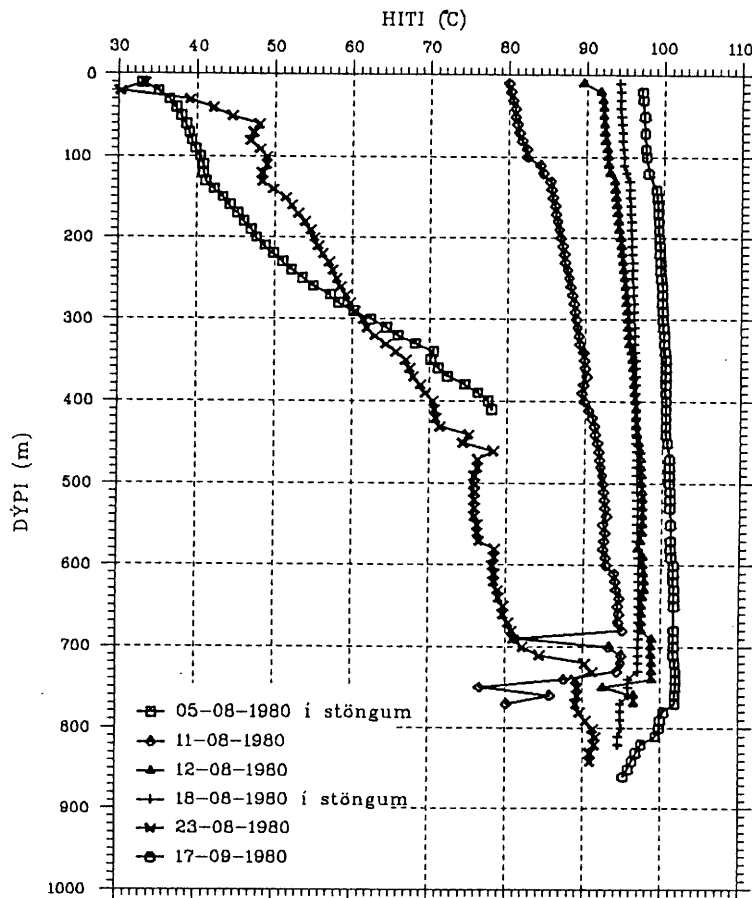
Mynd B-2. Hitamælingar í holu LN-3

Óvenju fáar hitamælingar voru gerðar í holu LN-3. Var farin sérstök ferð til Jarðborana hf til að kanna hvort ekki fyndust upplýsingar um fleiri mælingar í borskýrslum. Svo var ekki. Á hinn bóginn gat þar að líta áhugaverðar upplýsingar um gæfni æða í holunni. Þannig var pakkað á holuna í 272 m dýpi, áður en steipt var í holubotninn. Þurfti 41,5 bara þrýsting til að koma 18,4 l/s niður fyrir pakkarann og 49,5 bör til að 22,5 l/s streymdu niður. Loftdæling í 5 klukkustundir við lok borunar gaf aftur á móti um 12 l/s af 44°C heitu vatni. Mestur hluti þess vatns hefur því komið úr æðum ofan 272 m.

Hola LWN-4

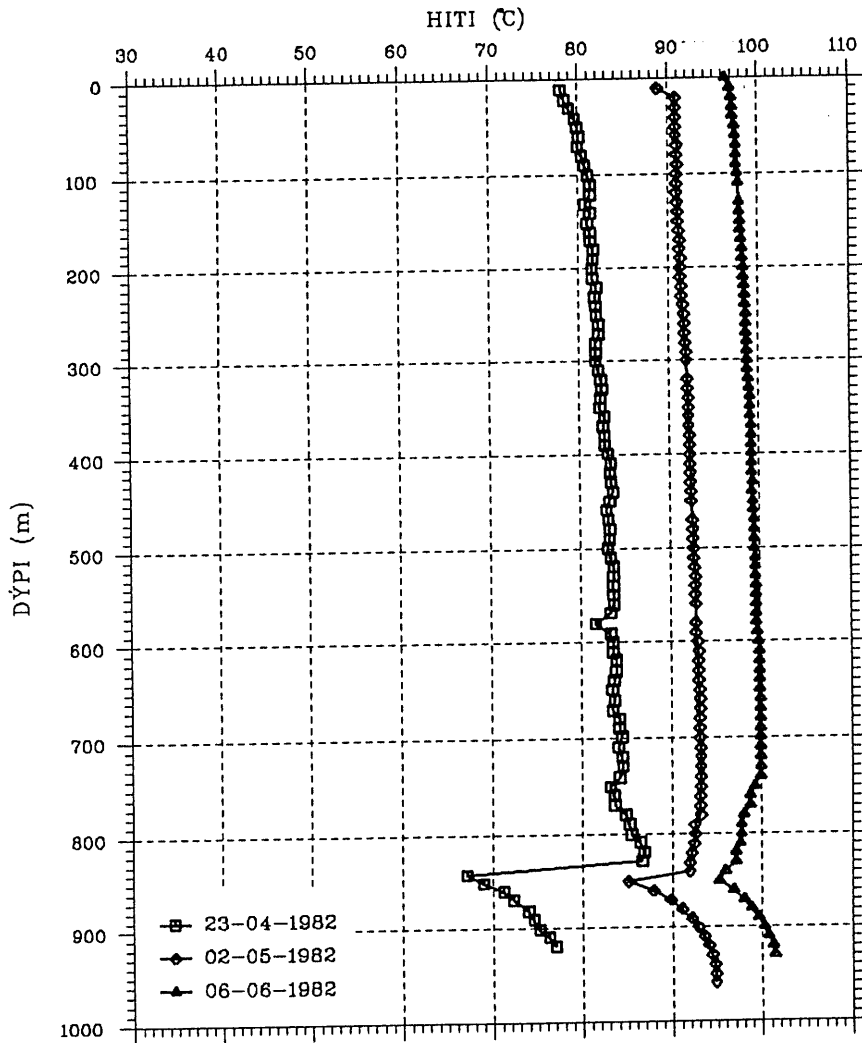
Hola LWN-4 reyndist ákaflega vandasöm í berghitamati. Holan er boruð í tveimur áföngum, í bæði skiptin á vöktum. Millirennslí á sér stað í flestum hitamælingum og truflanir eru miklar af borun og vinnslu. Þurfti töluverða glímu við mælingarnar og upplýsingar tengdum þeim uns mat fékkst á berghitamann.

Mynd B-3 sýnir hitamælingar sem voru gerðar í fyrsta áfanga holunnar. Greina má fjölmargar æðar í mælingunum, helstar eru á 60, 110, 690, 772 og 830 m dýpi. Hiti æðarinnar á 772 m er sá eini sem er þekktur með vissu, 102°C. Þá veldur æðin á 140 m kælingu í flestum mælingum og er hún örugglega undir 80°C. Berghiti er milli 80 og 90°C á 400 m og 90-100°C á 830 m. Að öðru leyti er ekki hægt að byggja á mæliferlunum sökum millirennslis og kælingar í borun.



Mynd B-3. Hitamælingar í fyrri borun holu LWN-4

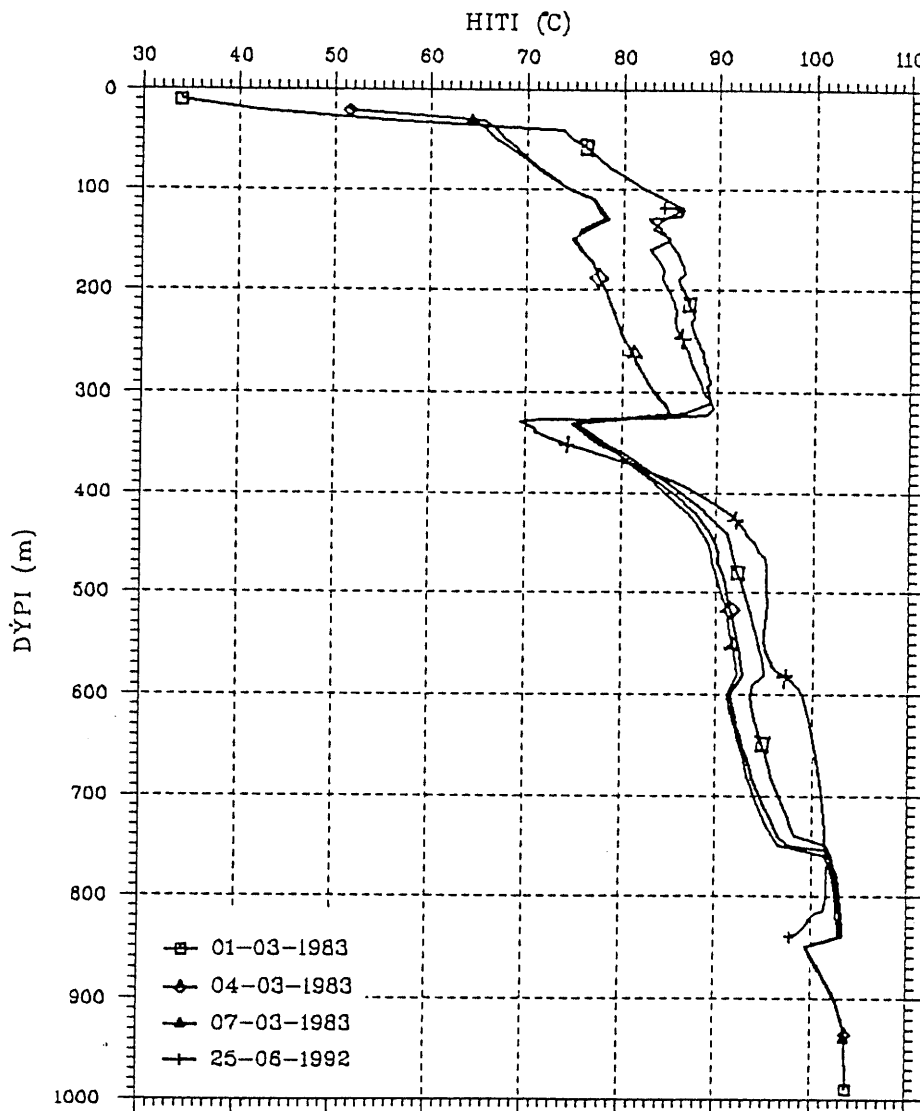
Mynd B-4 sýnir mælingar sem gerðar voru í dýpkun holu LWN-4. Fátt er á mælingunum að byggja, utan að æðin í 830 m er mjög greinileg og er kæld í öllum mælingunum nema e.t.v. þeirri síðustu. Þar sést að æðarhitinn er um eða rétt yfir 95°C.



Mynd B-4. Hitamælingar gerðar í dýpkun holu LWN-4

Mynd B-5 sýnir að lokum hitamælingar sem gerðar voru í tengslum við dæluskipti í holu LWN-4. Fyrstu 3 mælingarnar voru gerðar 8 mánuðum eftir dýpkun og var holan í vinnslu allan tímann. Þá bilaði djúpdælan og gafst tækifæri til að mæla holuna meðan gert var við (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1983). Nýjasta mælingin er svo frá síðasta sumri (1992). Mynd B-5 veitir ákaflega mikilsverðar upplýsingar um berghita við holu LWN-4. Fyrst ber að nefna að holan er fódruð í 290 m. Þrátt fyrir fódrunina sjást skarpir toppar í hitamælingum á 110 m dýpi. Virðist sem þar sé berghiti jafnvel yfir 80°C og að kólni strax þar neðan við ($\approx 75^\circ\text{C}$). Eftir því sem líður frá fyrra dælustoppinu, lækkar hiti vatnsins ofan til í holunni. Undantekning er við æð í 330 m. Þar seytlar inn í holuna og er hitinn stöðugur í 75°C. Telst það berghiti. Engin leið var að sjá hita þessarar æðar í fyrri mælingum sökum millirennslis. Óverulegt millirennslis er síðan í holunni milli æða á 340 og 590 m dýpi. Þar kemur hlykkur á hitamælinguna. Stafar hann líkast til af niðurrennslis úr

590 m æðinni. Er þá berghiti hennar rétt undir 90°C. Þetta niðurrennsli fer svo út í stóru æðarnar á 744 og 770 m. Þar fyrir neðan falla allar hitamælingarnar saman og styðja um 102°C berghita á þessu dýptarbili. Hitamælingin frá 1992 sýnir að óverulegt rennsli er í holunni neðan 820 m dýpis. Bendir allt til þess að berghitinn sé um 97°C á 830 m. Síðan vex hitinn á ný og er áætlaður 105°C á holubotni (1000 m).



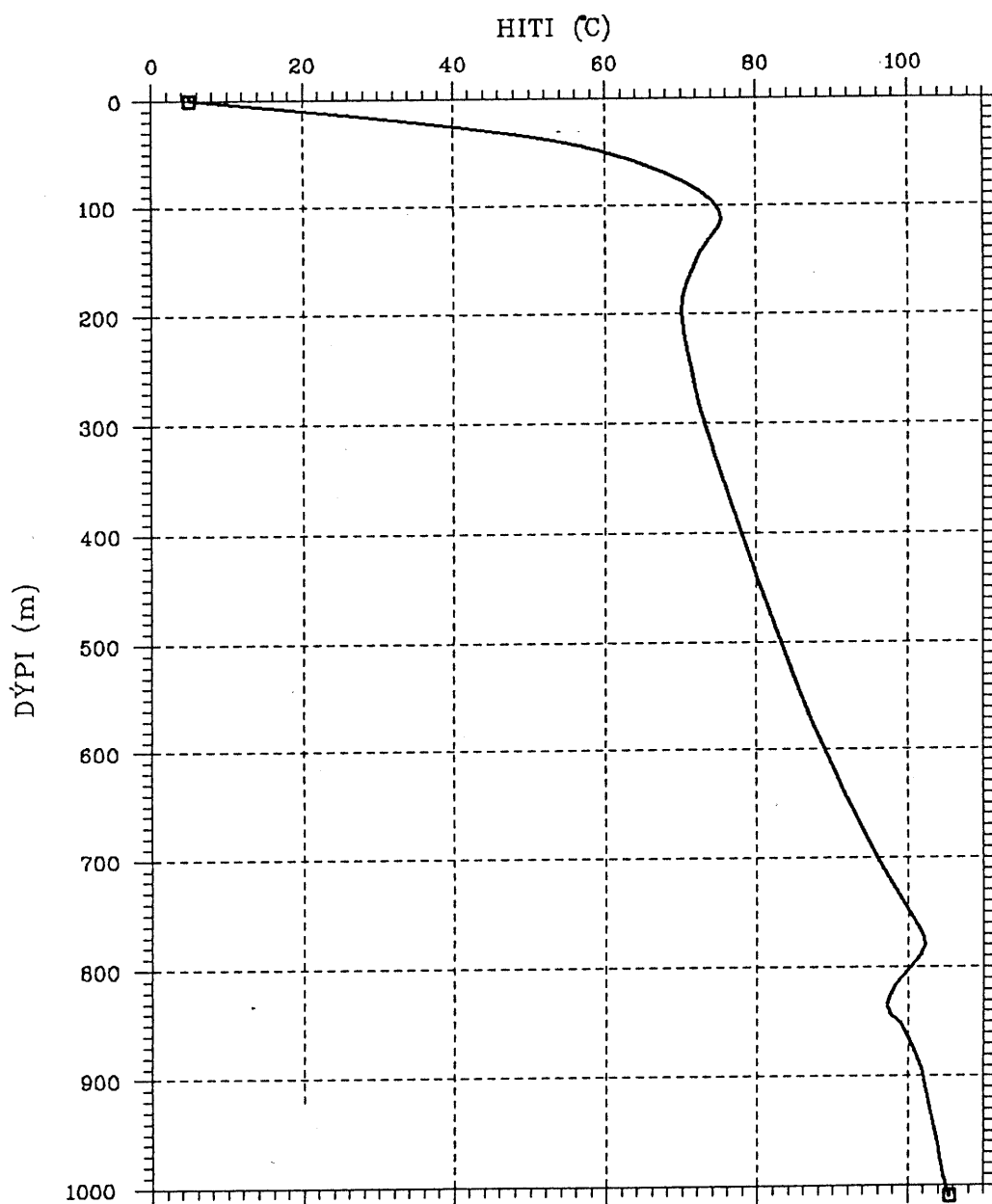
Mynd B-5. Hitamælingar gerðar í tengslum við dæluskipti í holu LWN-4

Athyglisvert er að æðin á 340 m hefur kólnað lítillega milli mælinganna 1983 og 1992. Nemur kólnunin rúmum 5°C. Væntanlega tengist æðin efra vatnskerfinu á Laugalandi. Æðin kom því ekki fram meðan neðra vatnskerfið var háþrýst og sjálfránn úr holunni. Öðru máli gegnir eftir að vinnsla hófst djúpt úr svæðinu. Þá féll þrýstingur neðra kerfisins og efra kerfis æðin á 340 m tók að renna inn í holuna.

Í töflu 9 er skráð dýpi þar sem berghiti er þekktur í holu LWN-4. Notað var tölvuforrit til að draga mjúkan berghitaferil milli punktanna. Er berghitaferillinn sýndur á mynd B-6.

TAFLA 9. Dýpi í holu LWN-4 þar sem berghiti er talinn þekktur

Dýpi (m)	Hiti (°C)	Dýpi (m)	Hiti (°C)	Dýpi (m)	Hiti (°C)
0	5	340	75	830	97
50	60	600	89	850	99
120	83	700	96	1000	105
150	75	770	102		

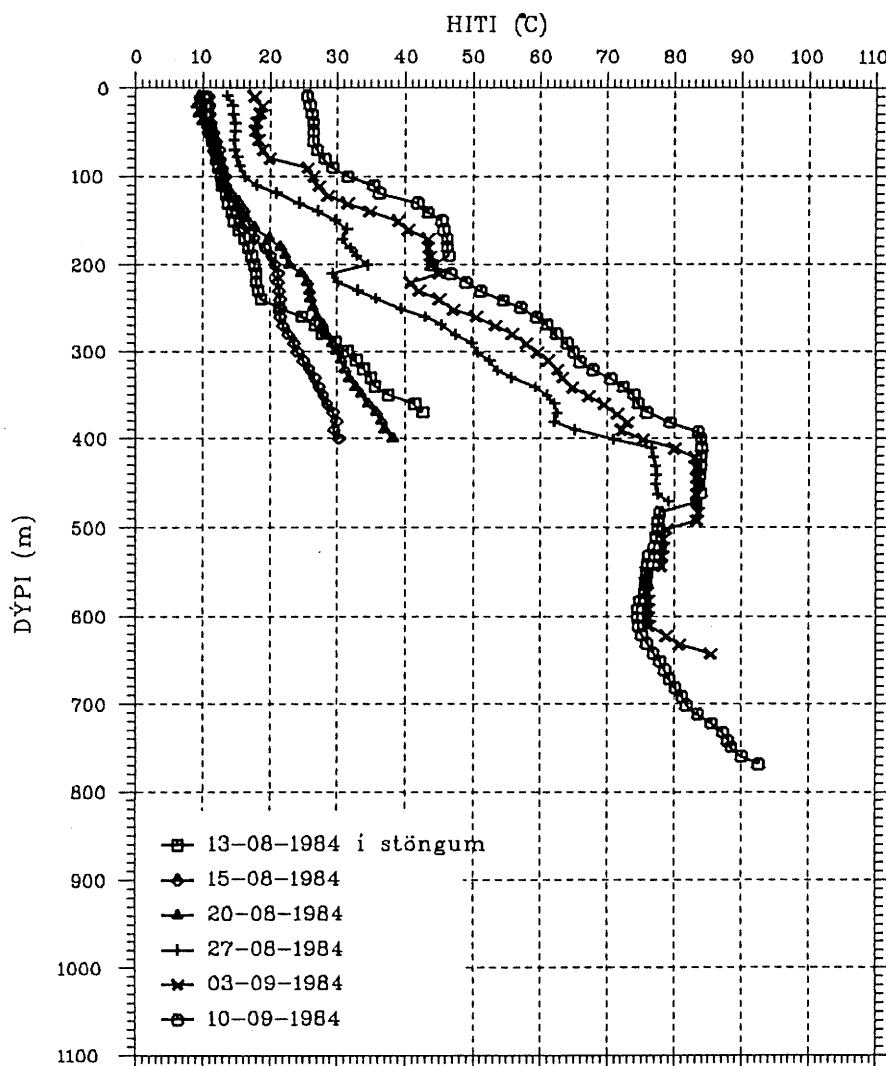


Mynd B-6. Berghiti holu LWN-4

Hola GN-1

Alls eru tiltækar 17 hitamælingar í holu GN-1, Götu. Allar eru mælingarnar gerðar í tengslum við borun holunnar og líða 2 mánuðir milli fyrstu og síðustu mælingarinnar. Borun holu GN-1 er lýst ítarlega í skýrslu Lúðvíks S. Georgssonar o.fl. (1987).

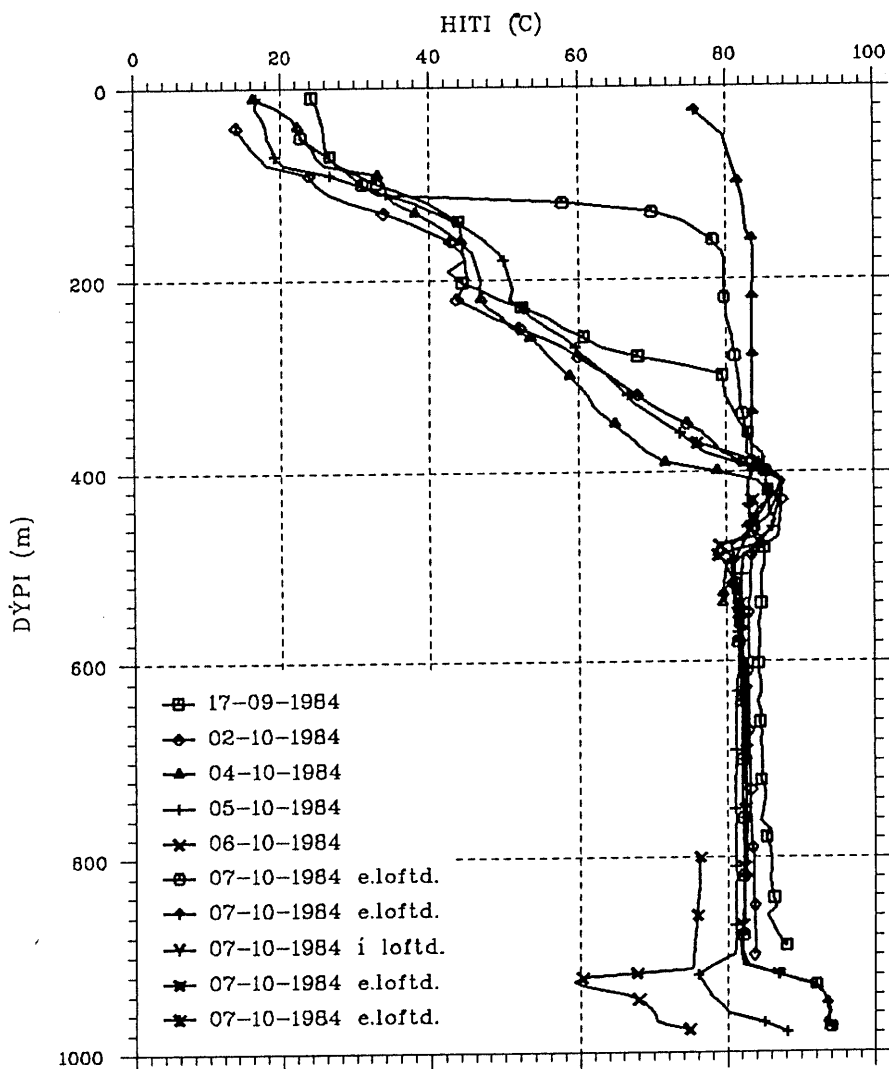
Mynd B-7 sýnir hitamælingar sem gerðar voru frá því borun í fódringardýpi lauk og þar til borun var komin í 780 m. Hitastigull virðist nokkuð línulegur milli yfirborðs og niður í 400 m dýpi. Er þar komið í efri vatnsæðar holunnar. Þær eru a.m.k. fjórar talsins á 405-530 m. Er hiti þeirra um og yfir 85°C á 400-450 m, en erfiðara er að átta sig neðar. Víst er þó að hiti er yfir 85°C á 650 m og yfir 92°C á 770 m.



Mynd B-7. Hitamælingar í holu GN-1 fram til 780 m bordýpis

Mynd B-8 sýnir hitamælingar í holu GN-1 gerðar milli 17. september og 7. október 1984. Nú einkennir hitamælingarnar nær jafn 82°C hiti milli 540 og 900 m dýpis. Líklega er hér um að ræða niðurrennsli frá æð á 540 m, sem er þá 82°C heit. Niðurrennslinu veldur að öllum líkindum

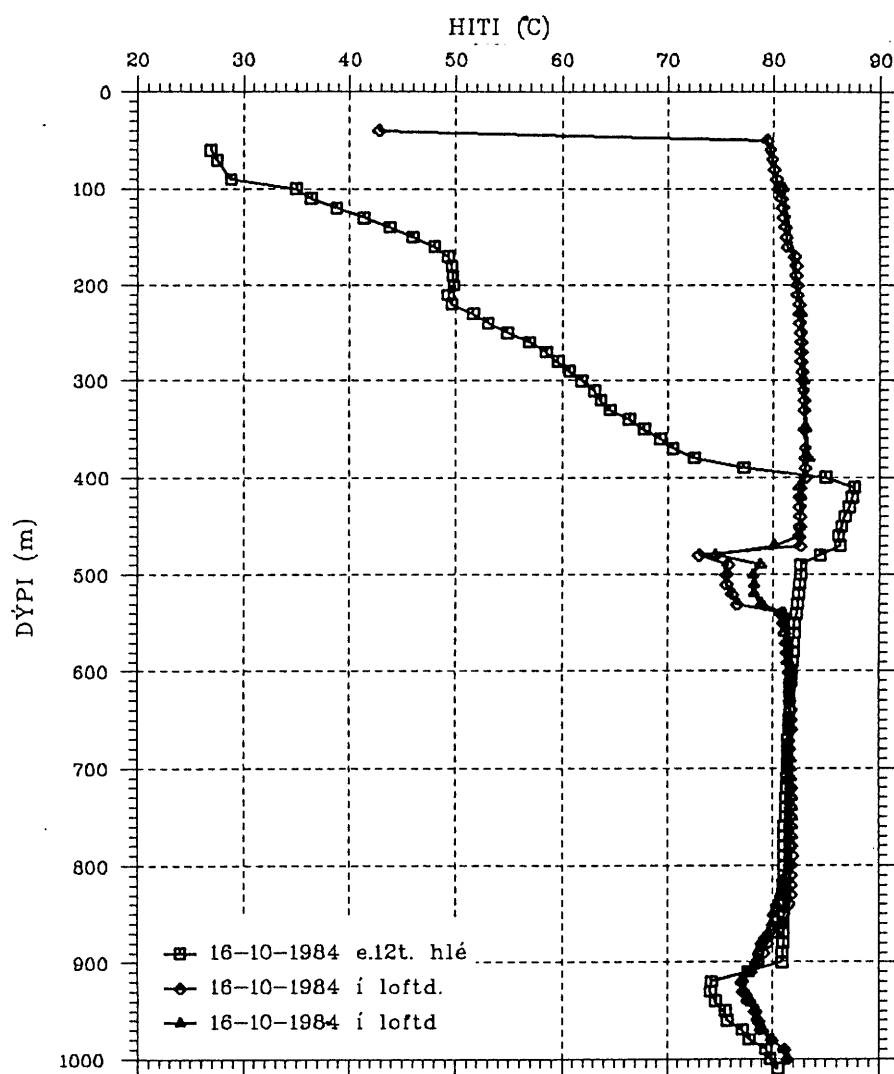
vinnsla úr djúpum æðum holu LWN-4 á sama tíma. Þá er einnig greinilegt á myndinni að æðar ofan 540 m gefa vatn heitara en 82°C. Eins sést skörp hitahækkun við botn holunnar og er líklegt að botnhitinn stefni á 97°C.



Mynd B-8. Hitamælingar í holu GN-1 milli 17. september og 7. október 1984

Mynd B-9 sýnir að lokum hitamælingar sem gerðar voru nærri og við lok borunar holu GN-1. Eru sumar mælinganna gerðar í blæstri um hjálparfóðringu. Þar sést að æðin á 405 m nær 89°C berghita og staðfestist að æðin á 540 m er um 82°C heit.

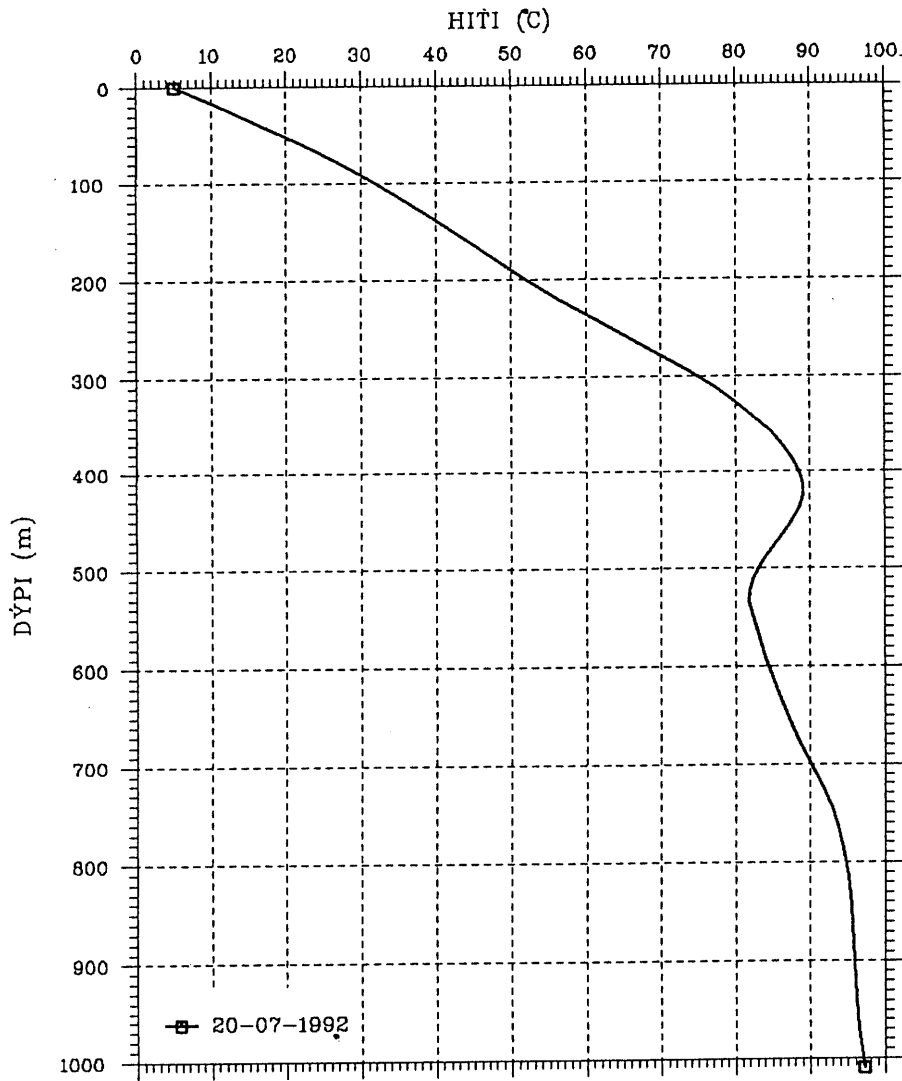
Berghitagildin sem ákvörðuð voru með skoðun mynda B-6 - B-9 eru sýnd í töflu 10. Þau voru að lokum brúuð með tölvuforriti og sýnir mynd B-10 berghitaferil GN-1. Það veikir mat á neðsta hluta berghitaferilsins að botnhiti holunnar er illa þekktur. Hitamælingarnar eru truflaðar af borun og kann það að leiða til vanmats á berghita við holubotn.



Mynd B-9. Hitamælingar í holu GN-1 við lok borunar. Sumar mælinganna eru gerðar í loftblæstri.

TAFLA 10. Dýpi í holu GN-1 þar sem berghiti er talinn þekktur

Dýpi (m)	Hiti (°C)	Dýpi (m)	Hiti (°C)
0	5	410	89
100	32	540	82
200	55	650	87
300	75	770	94
		1000	97



Mynd B-10. Berghiti í holu GN-1

VIÐAUKI C: Fræðilegir útreikningar á rennsli ferlunarefnis

Líkanið sem notað er til þess að herma rennsli ferlunarefnis milli holna GN-1 og LWN-4 er sýnt á mynd 13 hér að framan. Gert er ráð fyrir niðurrennsli q (kg/s) í holu GN-1 sem tekur með sér ferlunarefnið og ber það út í sprungubeltið. Vinnsla úr holu LWN-4 er síðan Q (kg/s) og millirennslið eftir sprungubeltinu er jafnt niðurrennslinu í GN-1. Til einföldunar er gert ráð fyrir því að millirennslið eftir sprungubeltinu sé einvitt 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 ϕ og tvístrunarstuðul (dispersion coefficient) D . Rennsli ferlunarefnisins má þá lýsa með jöfnunni:

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

þar sem C er styrkur ferlunarefnisins (kg/m³) sem fall af x , fjarlægðinni frá holu GN-1 eftir sprungubeltinu. Auk þess er t tíminn og u meðalhraði millirennslisins, $u = q/\rho A$.

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

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

Millirennslið berst síðan yfir í holu LWN-4 og þá gildir að:

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

þar sem c er styrkur ferlunarefnisins í vatni úr holu LWN-4. Styrkurinn, sem fall af tímanum, er þá gefinn með eftirfarandi jöfnu:

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

Stuðlar líkansins; þ.e. $m = qM/QA\phi$, D og u , ákvarðast síðan af mældum styrk ferlunarefnisins (mynd 11). Þess ber að geta að gert er ráð fyrir því að q og Q breytist lítið.

VIÐAUKI D: Hitnun vatns sem rennur í heitara bergi

Líkanið sem notað var til þess að herma rennsli ferlunarefnis milli holna GN-1 og LWN-4 var einnig notað til þess að áætla kólnun vatns úr holu LWN-4 við niðurdælingu kaldara vatns í holu GN-1 (mynd 13). Dælt er niður q kg/s í GN-1 og vinnslan úr LWN-4 er Q kg/s. Eins og í viðauka C er hér gert ráð fyrir einvöðu millirennslu eftir sprungubeltinu og að það dreifist yfir hluta sprungunnar sem er h að hæð. Eftirfarandi jöfnur lýsa annars vegar hitaástandi bergsins við sprungubeltið:

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

og hins vegar hita í sprungubeltinu:

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

Hér er T hitinn, x fjarlægðin frá GN-1 eftir sprungubeltinu, y fjarlægðin út í bergið þvert á sprungubeltið, t tíminn, b breidd sprungubeltisins, k varmaleiðni bergsins ($J/m^\circ C$), ρ_b eðlismassi bergsins (kg/m^3) og c_b varmarýmd þess ($J/kg^\circ C$), ρ_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 GN-1 og tímanum, er þá gefinn með jöfnunni:

$$T_q(x,t) = T_n + (T_0 - T_n) \operatorname{erf} \left[\frac{kxh}{c_v q \sqrt{a(t - x/\beta)}} \right], \quad \text{fyrir} \quad t > x/\beta \quad (\text{D-3})$$

þar sem $\beta = q/\rho_v h b$. Hita vatnsins sem dælt er úr holu LWN-4 má þá áætla með:

$$T(t) = T_0 - \frac{q}{Q} \left[T_0 - T_q \right] \quad (\text{D-4})$$

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

VIÐAUKI E: Forsendur fyrir áætlun borkostnaðar

ORKUSTOFNUN JHD

22. febrúar 1993

S. Þórh.

**BORUN FIMM 50 m RANNSÓKNARHOLA F. HITAV. RANGÆINGA
-KOSTNAÐARÁÆTLUN-**

VERKÞÁTTUR	EININGAVERÐ	FJÖLDI EIN.	SAMTALS
Flutningur til og frá borstað	100.000	1	100.000
Samtals fyrir 5 holur í 50 m:			
Borun í 25 m með holut.	5.000	125	625.000
Borun neðan 25 m	2.500	125	312.500
			1037.500
Ráðgjöf og mælingar Orkustofnunar			300.000
		Ófyrirséð 15%	200.625
Samtals áætlaður kostnaður (kr)			1538.125
Verkdagar samt. ca.	7		

**BORUN 70 m RANNSÓKNARHOLU FYRIR HITAV. RANGÆINGA
-KOSTNAÐARÁÆTLUN-**

VERKÞÁTTUR	EININGAVERÐ	FJÖLDI EIN.	SAMTALS
Flutningur til og frá borstað	100.000	1	100.000
Borun og fódrun (5") í 30 m	6.500	30	195.000
Borun 30-70 m (4")	3.000	40	120.000
			415.000
Ráðgjöf og mælingar Orkustofnunar			100.000
		Ófyrirséð 15%	77.250
Samtals áætlaður kostnaður (kr)			592.250
Óvissa í kostnaðaráætlun +/- 40%			
Virðisaukaskattur ekki innifalinn.			
Verkdagar samt. ca.	3		

ORKUSTOFNUN JHD

22. febrúar 1993

S. Þórh.

**BORUN 200 m RANNSÓKNARHOLU FYRIR HITAV. RANGÆING
-KOSTNAÐARÁÆTLUN-**

VERKÞÁTTUR	EININGAVERÐ	FJÖLDI EIN.	SAMTALS
Borplan og vegur	200.000	1	200.000
Flutningur til og frá borstað	250.000	1	250.000
Borun fyrir yfirborðsfóðringu	19.000	30	570.000
Borun fyrir lausri fóðringu	12.000	10	120.000
Borun vinnsluhluta	5.000	160	800.000
Tímagjald áhöfn og bor	10.000	5	50.000
Tímagjald áhöfn og dælur	19.000	5	95.000
Tímagjald áhöfn og loftpressu	19.000	10	190.000
Rör í planið 14"	6.000	3	18.000
Yfirborðsfóðring 10 3/4"	4.000	30	120.000
Laus fóðring 7 5/8"	3.000	40	120.000
Holutoppur, flansar	30.000	1	30.000
			2563.000
Ráðgjöf og mælingar Orkustofnunar			600.000
		Ófyrirséð 15%	474.450
Samtals áætlaður kostnaður (kr)			3637.450

Óvissa í kostnaðaráætlun +/- 40%

Virðisaukaskattur ekki innifalinn.

Verkdagar samt. ca.

7

ORKUSTOFNUN JHD

22. febrúar 1993

S. Þórh.

**BORUN 300 m VINNSLUHOLU FYRIR HITAV. RANGÆINGA
-KOSTNAÐARÁÆTLUN-**

VERKÞÁTTUR	EININGAVERÐ	FJÖLDI EIN.	SAMTALS
Borplan og vegur	300.000	1	300.000
Flutningur til og frá borstað	350.000	1	350.000
Borun fyrir yfirborðsfóðringu	19.000	30	570.000
Borun fyrir vinnslufóðringu	12.000	30	360.000
Borun vinnsluhluta	7.000	240	1680.000
Tímagjald áhöfn og bor	12.000	5	60.000
Tímagjald áhöfn og dælur	25.000	5	125.000
Tímagjald áhöfn og loftpressu	25.000	10	250.000
Rör í planið 16" eða 18"	9.000	3	27.000
Yfirborðsfóðring 14"	6.000	30	180.000
Vinnslufóðring 10 3/4"	4.000	60	240.000
Fóðringarsteypa	17.000	5	85.000
Holutoppur, flansar	30.000	1	30.000
			4257.000
Ráðgjöf og mælingar Orkustofnunar			700.000
		Ófyrirséð 15%	743.550
			5700.550

Óvissa í kostnaðaráætlun +/- 40%

Virðisaukaskattur ekki innifalinn.

Verkdagar samt. ca. 10

ORKUSTOFNUN JHD

22. febrúar 1993

S. Þórh.

**BORUN 500 m VINNSLUHOLU FYRIR HITAV. RANGÆINGA
-KOSTNAÐARÁÆTLUN-**

VERKÞÁTTUR	EININGAVERÐ	FJÖLDI EIN.	SAMTALS
Borplan og vegur	300.000	1	300.000
Flutningur til og frá borstað	350.000	1	350.000
Borun fyrir yfirborðsfóðringu	19.000	40	760.000
Borun fyrir vinnslufóðringu	12.000	160	1920.000
Borun vinnsluhluta	7.000	200	1400.000
Tímagjald áhöfn og bor	12.000	5	60.000
Tímagjald áhöfn og dælur	25.000	5	125.000
Tímagjald áhöfn og loftpressu	25.000	10	250.000
Rör í planið 16" eða 18"	9.000	3	27.000
Yfirborðsfóðring 14"	6.000	40	240.000
Vinnslufóðring 10 3/4"	4.000	200	800.000
Fóðringarsteypa	17.000	12	204.000
Holutoppur, flansar	30.000	1	30.000
			6466.000
Ráðgjöf og mælingar Orkustofnunar			850.000
		Ófyrirséð 15%	1097.400
			8413.400

Óvissa í kostnaðaráætlun +/- 40%

Virðisaukaskattur ekki innifalinn.

Verkdagar samt. ca. 14

ORKUSTOFNUN JHD

22. febrúar 1993

S. Þórh.

**BORUN 500 m RANNSÓKNARHOLU FYRIR HITAV. RANGÆING
-KOSTNAÐARÁÆTLUN-**

VERKÞÁTTUR	EININGAVERÐ	FJÖLDI EIN.	SAMTALS
Borplan og vegur	200.000	1	200.000
Flutningur til og frá borstað	250.000	1	250.000
Borun fyrir yfirborðsfóðringu	19.000	30	570.000
Borun fyrir lausri fóðringu	12.000	10	120.000
Borun vinnsluhluta	5.000	460	2300.000
Tímagjald áhöfn og bor	10.000	5	50.000
Tímagjald áhöfn og dælur	19.000	5	95.000
Tímagjald áhöfn og loftpressu	19.000	10	190.000
Rör í planið 14"	6.000	3	18.000
Yfirborðsfóðring 10 3/4"	4.000	30	120.000
Laus fóðring 7 5/8"	3.000	40	120.000
Holutoppur, flansar	30.000	1	30.000
			4063.000
Ráðgjöf og mælingar Orkustofnunar			700.000
		Ófyrirséð 15%	714.450
Samtals áætlaður kostnaður (kr)			5477.450

Óvissa í kostnaðaráætlun +/- 40%

Virðisaukaskattur ekki innifalinn.

Verkdagar samt. ca. 13

ORKUSTOFNUN JHD

22. febrúar 1993

S. Þórh.

**BORUN 1500 m VINNSLUHOLU FYRIR HITAV. RANGÆINGA
-KOSTNAÐARÁÆTLUN-**

VERKÞÁTTUR	EININGAVERÐ	FJÖLDI EIN.	SAMTALS
Borplan og vegur	400.000	1	400.000
Flutningur til og frá borstað	550.000	1	550.000
Borun fyrir yfirborðsfóðringu	19.000	40	760.000
Borun fyrir vinnslufóðringu	12.000	460	5520.000
Borun vinnsluhluta ofan 900 m	9.000	400	3600.000
Borun vinnsluhluta neðan 900 m	12.000	500	6000.000
Tímagjald áhöfn og bor	12.000	5	60.000
Tímagjald áhöfn og dælur	25.000	7	175.000
Tímagjald áhöfn og loftpressu	25.000	14	350.000
Rör í planið 16" eða 18"	9.000	3	27.000
Yfirborðsfóðring 14"	6.000	40	240.000
Vinnslufóðring 10 3/4"	4.000	500	2000.000
Fóðringarsteypa	17.000	15	255.000
Holutoppur, flansar	30.000	1	30.000
			19967.000
Ráðgjöf og mælingar Orkustofnunar			1500.000
		Ófyrirséð 15%	3220.050
			24687.050

Óvissa í kostnaðaráætlun +/- 40%

Virðisaukaskattur ekki innifalinn.

Verkdagar samt. ca. 46