



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Unibind

**LEIT AÐ VOLGUM JARÐSJÓ OG
HEITU VATNI VIÐ ÞORLÁKSHÖFN**

Niðurstöður borana 1987

Sérverkefni í fiskeldi 1987

Ólafur G. Flóvenz, Grímur Björnsson,
Sæþór L. Jónsson, Ómar Bjarki Smáráson,
Guðmundur Ó. Friðleifsson og Hrefna Kristmannsdótt

OS-88020/JHD-11 B

Maí 1988

**LEIT AÐ VOLGUM JARÐSJÓ OG
HEITU VATNI VIÐ PORLÁKSHÖFN**

Niðurstöður borana 1987

Sérverkefni í fiskeldi 1987

Ólafur G. Flóvenz, Grímur Björnsson,
Sæþór L. Jónsson, Ómar Bjarki Smáráson,
Guðmundur Ó. Friðleifsson og Hrefna Kristmannsdóttir

OS-88020/JHD-11 B

Maí 1988

ÁGRIP

Boraðar voru tvær djúpar holur til könnunar á vatnsæðum, hitastigi og jarðlögum neðan 100 m dýpis við Þorlákshöfn. Var önnur holan 300 m djúp en hin 1076 m djúp. Í ljós kom að nær 30% jarðlaga í efstu 500 metrunum eru setlög auk þess sem bólstrabergslögin er að finna nálægt 50, 90, 210, 380 og 430 m dýpi. Setlögin og bólstrabergslögin sem fundust neðan 100 m dýpis eru kolþétt og úr þeim hverfandi lítið vatn að hafa.

Hitamælingar í borholunum sýna jafnan hitastigul, um 90°C/km. Það er dæmigerður hitastigull á þessum slóðum og sýnir að virk jarðhitakerfi með lóðréttri hringrás heits vatns eru ekki í grennd holunnar.

Nokkrar smáæðar tengdar lagamótum fundust í holunum, þær helstu á 270-300 m dýpi, líklega á mótum setlaga og hraunlags.

Verulegar líkur eru á að holurnar séu innbyrðis nátengdar þ.e. vinnsla volgs vatns úr holu 10 muni valda niðurstreymi kalds sjávar í holu 8 sem smám saman mun leiða til kólnunar volgu æðanna í holu 10.

Efnagreiningar á vatni sem kom upp við dæliprófun á holu 10 sýnir að vatnið er hálsalt, súrefnissnautt og með hlutfallslega mikið af járn og mangani.

Niðurstöður borananna og rannsókna í tengslum við þær sýna að borun djúpra hola í næsta nágrenni Þorlákshafnar til að fá volgan sjó eða heitt vatn er ekki líkleg til að gefa árangur.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP	2
1 INNGANGUR	5
2 JARÐFRÆÐILEGAR AÐSTÆÐUR Í ÞORLÁKSHÖFN	6
3 DÝPKUN HOLU LN-8	6
3.1 Borun og loftdæling	6
3.2 Jarðlög	7
3.3 Hitamælingar og æðar	8
3.4 Niðurstöður dýpkunar holu LN-8	8
4 HOLA LN-10	11
4.1 Borun og frágangur	11
4.2 Jarðlög í holu 10	11
4.3 Hitamælingar og æðar	15
4.4 Þökkun	17
4.5 Dæluprófun	19
4.5.1 Framkvæmd	19
4.5.2 Hiti vatns í dælingu	19
4.5.3 Niðurstöður langtímadælingar	19
4.5.4 Spá um langtímavatnsborð	19
4.6 Efnagreiningar vatnssýna	23
4.7 Borholumælingar	23
4.8 Samandregnar niðurstöður	23
5 HUGSANLEGT SAMBAND HOLA LN-8 OG LN-10	24
6 NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA	24

MYNDASKRÁ

	Bls.
1. Afstöðumynd	5
2. Borun, hönnun og jarðlög í holu LN-8	9
3. Hitamælingar í holu LN-8	10
4A. Jarðlög í holu LN-10	13
4B. Borholumælingar í holu LN-10	14
5. Hitamælingar í holu LN-10	16
6. Hitamælingar í holu LN-10	16
7. Pökkun holu LN-10	20
8. Hiti dæluvatns úr holu LN-10	20
9. Langtímaprófun LN-10 og reiknað vatnsborð samkvæmt aðferð Theis	21
10. Langtímaprófun LN-10 og reiknað vatnsborð ef leki kemur að ofan	21
11. Vatnsborðsspá fyrir holu LN-10, samkvæmt reiknilíkani með leku yfirlagi	22

1. INNGANGUR

Í áætlunum Orkustofnunar um rannsóknir á náttúrulegum skilyrðum til fiskeldis á árinu 1987 var ráðgert að bora tilraunaholur fyrir hluta af því fé sem ráðstafað var til rannsókna í Ölfusi. Afráðið var að verja þessu fé til dýpkunar borholu í landi Smára h.f., vestan Þorlákshafnar (mynd 1). Skýrsla þessi greinir frá dýpkun holunnar og borun annarar djúprar holu skammt þar frá, dæluþrófunum á þeim og öðrum rannsóknum sem gerðar voru á holunum. Í lokin eru ræddir möguleikar á öflun volgs jarðsjávar á ströndinni vestan Þorlákshafnar.

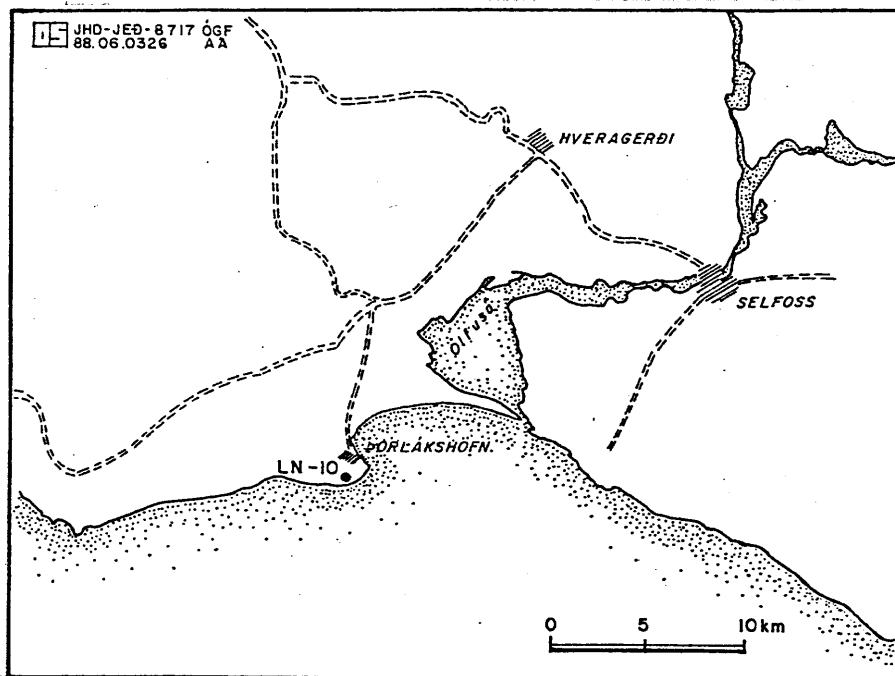
Í Þorlákshöfn er mikill vöxtur í fiskeldi enda náttúruleg skilyrði þar góð til matfiskeldis. Haustið 1987 voru 2 stöðvar komnar í rekstur, Íspór og Smári, auk þess sem Fjallalax hafði tryggt sér aðstöðu þar.

Fiskeldið í Þorlákshöfn er strandeldi, þ.e. fiskurinn er alinn í kerjum á ströndinni skammt vestan Þorlákshafnar. Jarðlög eru þarna mjög lek í efstu 70 metrunum, og er unnt að dæla ógrynni af sjó úr þeim án teljandi niðurdráttar. Hins vegar hefur komið í ljós að hiti jarðsjávarins er nálægt því að vera ársmeðalhiti sjávar við ströndina. Það

þýðir að leku jarðlögin jafna út allar sveiflur í hitastigi. Þetta er óheppilegt fyrir fiskeldið, þar sem ekki tekst að ná áhrifum hærrí sumarhita sjávar inn til borholanna.

Dýpsta holan sem boruð hafði verið í Þorlákshöfn fram til haustsins 1987 er tæplega 100 m djúp. Því var ákveðið, að undan-gengnum viðræðum milli Orkustofnunar, Íspórs h.f., Smára h.f., Fjallalax h.f. og Jarðborana h.f., að þessi aðilar sameinuðust um að kosta dýpkun á einni holu í Þorlákshöfn úr 70 m í allt að 300 m. Með dýpkuninn átti að fá úr því skorið hvort unnt væri að fá volgan jarðsjó til fiskeldisins í Þorlákshöfn. Var gerður samstarfssamningur milli þessara aðila.

Meginatriði sammingsins eru að aðilar málsins voru sammála um að dýpka eina af holum Smára h.f. úr 72 m í 300 m. Kostnaði var þannig skipt að Orkustofnun borgaði 303.000 kr og lagði að auki til rannsóknir að fjárhæð 514.000 kr. Hinir aðilarnir fjórir skiptu sín í milli því sem eftir stóð, þannig að 260.000 kr kæmu í hlut hvers þeirra. Síðar þegar ljóst var að ekki næðist að bora niður á 300 m fyrir umrædda fjárhæð var gerður viðauki við samninginn þar sem aðilarnir fjórir, aðrir en Orkustofnun, skiptu með sér umframkostnaðinum að jöfnu.



Mynd 1. Afstöðumynd.

2. JARÐFRÆÐILEGAR AÐSTÆÐUR Í ÞORLÁKSHÖFN

Eins og fyrr hefur komið fram eru efstu 70 m jarðar í Þorlákshöfn gerðir úr mjög lekum bólstrabergslögum. Þau eru þannig til orðin að hraun hafa runnið frá eldstöðvum uppi á landi og út í sjó og myndað bóstraberg við snöggkælingu. Milli hraunlaganna eru síðan grunnsjavarset. Hraunlög þessi eru tiltölulega ung á jarðfræðilegan mælikvarða (nokkurra árbúsunda gömul). Neðan þessara ungu jarðmyndana er gamall þéttur berggrunnur úr blágrýtislögum þar sem lítillar lektar er að vænta nema í tengslum við ung brot í jarðskorpunni.

Þorlákshöfn er skammt sunnan mikils brotabeltis sem liggur frá Reykjanesskaga og austur um Ölfus og áfram að eystra gosbeltinu við Heklu. Engar eldstöðvar eru sunnan þessa brotabeltis og eru jarðlög þar líkast til mynduð við hraunrennsli ofan frá landi. Allur jarðhiti á Suðurlandi er tengdur fyrrnefndu brotabelti og sést enginn vottur jarðhita fyrir sunnan það. Í grennd við Þorlákshöfn finnast auk þess engin merki um ungar sprungur eða brot þannig að hverfandi líkur eru á að virkt jarðhitakerfi þrífist í gamla berggrunninum. Hann er þéttur og við slíkar aðstæður verða jarðhitakerfi eingöngu til í sprungubeltum.

Hliðstæðar aðstæður er að finna á Eyrarbakka þar sem boruð var 760 m djúp hola árið 1972. Sú hola er lek ofan til þar sem hún fer í gegnum ung og lek hraun, en kolþétt eftir að kemur niður í gamla berggrunninn.

Hitastigull sunnan brotabeltis Suðurlands (svæðisbundinn hitastigull) er fremur hár eða 90-100 °C/km. Þessi stigull ræðst af nálægð við gosbeltið og tiltölulega litlu dýpi á bráðið berg og er því ekki vísbending um jarðhita. Í borholum á þessum slóðum, þar sem berg er þétt og ósprungið, er eðlilegt að reikna með að hitastig vaxi um 9-10 °C fyrir hverja 100 m sem borað er niður í jörðina ef ekki er neitt jarðhitakerfi í næsta nágrenni. Jafn og stöðugur hitastigull í borholu sem er

í samræmi við svæðisbundin hitastigul er því vísbending um að ekki sé eftir neinu að slægjast með borunum. Ef borað er nærri jarðhitakerfi, þar sem lóðrétt hringrás vatns á sér stað í sprungum, mælist tiltölulega hár hitastigull efst en afbrigðilega lágur neðar. Þetta er vegna þess að hringrás vatns í sprungukerfum flytur varmann með sér úr dýpri hlutum kerfisins og skilar honum af sér þar sem jarðlög eru kaldari á litlu dýpi.

Vonir um árangur af dýpkun holunnar í Þorlákshöfn byggðust á því að bólstrabergslög og lek setlög væri að finna milli 100 og 300 m dýpis og að þessi lög væru í greiðu sambandi við sjóinn úti fyrir. Þess var einnig vænst að hinn almennt háí hitastigull ylli því að sá sjór sem fyndist á þessu dýptarbili væri eilítið heitari en ársmeðalhiti sjávarins, á þeirri forsendu að hann tæki einhvern varma úr berginu á leið sinni frá sjónum að borholunum. Einnig var haft í huga að afrennsli volgs vatns kynni að vera eftir lekum jarðlögum ofan úr landi.

3. DÝPKUN HOLU LN-8

3.1 Borun og loftdæling

Holan sem valin var til dýpkunar hefur númerið LN-8 og er hún á svæði Smára h.f. að Laxabraut 5 í Þorlákshöfn (mynd 1). Hún var boruð með jarðbornum Narfa frá Jarðborunum h.f. dagana 12. ágúst til 10. september 1987. Borað var í fjórum áföngum niður á 299,6 m dýpi. Boráfangarnir skiptust þannig:

- Í fyrsta áfanga var borað með 17 ½" hjólakrónu í 20,6 m dýpi og fódrað með 16" rörum í 19,7 m.
- Í öðrum áfanga var borað með 15" hjólakrónu niður á 72 m dýpi og fódrað með 14" rörum, samtals 53,17 m að lengd. Rörin í þessari fódru eru raufuð á 39-72 m dýpi.
- Í þriðja áfanga var borað með 12 ¼" hjólakrónu í 148 m dýpi. Til stóð að fódra þar með 11 ¾" rörum í botn og steypa fast. Sú aðgerð mistókst þar sem

rörið gekk aðeins niður á 128,7 m dýpi. Rörið var lamið með lofthamri niður frá 87,5 m dýpi í 128,7 m. Fóðringin er 79,4 m löng og raufuð á 49 m löngum kafla, frá 69 m í 118 m.

- Í fjórða og síðasta áfanga var borað með 8 ½" krónu í 299,7 m dýpi. Því dýpi var náð kl. 19:15 þann 8. september. Þá var skolað með gelinu til kl 20:20 og síðan var gelið þynnt með vatni og skolað áfram til 20:30. Krónan var hífð upp í 255 m yfir nóttina.

Loftdælt var úr holu LN-8 milli kl. 13 og 21:45 þann 9. september. Niðurstöður eru sýndar í töflu 1. Dæluþrófið fór þannig fram að lofti var blásið niður í gegnum stangirnar og krónu, og var stangarendinn færður í þrepum í 125, 196 og 239 m dýpi. Reynt var að loftdæla með stangir í 266 m, en það mistókst þar sem pressuþrýstingurinn dugði ekki til að lyfta vatnssúlunni úr holunni. Meðan dæling stóð var lesinn þrýstingur af loftpressunni og mældur hiti skolflaumsins. Giskað var á rennslið með samanburði við afrennslið frá fiskeldisstöðinni sem var talið vera um 200 l/s.

Í fyrsta þrepi loftdælingar var stangarendi á 125 m dýpi. Þrýstingur á pressu var 13,6 bör, en lækkaði í 9,5 bör þegar vatnið tók að flæða upp úr holunni. Þetta samsvavar um 40 m niðurdrætti. Loftdælt var á þessu dýpi milli kl 13 og 15:25. Hiti vatnsins sem upp kom var 6,9-7,0 °C eftir 30 mínútna dælingu. Einnig var lesið af þrýstimæli borsins. Hann sýndi 12,3 bör við upphaf dælingar en lækkaði í 6,3 bör er sjór tók að streyma úr holunni. Þetta svarar til um 65 m niðurdráttar. Rennsli úr holunni var áætlað 200-300 l/s.

Í öðru þrepi loftdælingar, milli kl. 16:21 og 18:00, var stangarendi á 196 m dýpi. Þrýstingur lækkaði úr 18,4 börum í 9,5 bör við upphaf dælingar. Hiti vatnsins var 6,9-7,1 °C. Nokkur gusugangur var í þessari dælingu, og hækkaði hiti flaumsins úr 7,0 í 7,1 °C í gusunum jafnframt því sem þrýstingur á pressu fór í 10,2 bör.

Í þriðja þrepi loftdælingar var krónan sett

niður á 266 m dýpi. Þrýstingur á pressunni fór upp í 25,2 bör án þess að nokkuð kæmi upp úr holunni. Því var hift í 239 m.

Í fjórða þrepi loftdælingar, milli kl. 20:50 og 21:45, var krónan höfð á 239 m dýpi. Þrýstingur á pressu var 10,9-11,2 bör og hiti á sjónum sem upp kom var 6,8-6,9 °C. Rennsli var líkast til yfir 300 l/s.

Tekið var upp úr holunni þann 10. september. Að upptekt lokinni voru stangir settar í 62 m dýpi og loftdælt frá kl 12 til kl.15:30. Hiti sjávarins sem upp kom var 6,8 °C og þrýstingur á pressu 9,9 bör. Giskað var á að rennslið væri milli 150 og 200 l/s.

Að lokinni loftdælingu var holan hitamæld gegnum stangirnar. Mælirinn settist á 285 m dýpi þannig að 15 m botnfall virðist vera í holunni.

3.2 Jarðlög

Jarðlagasnið úr holu LN-8 er teiknað upp á mynd 2 samkvæmt smásjárgreiningum á borsvarfi. Eftirfarandi megin jarðlög sjást:

0-72 m Svarfi var ekki safnað á þessu bili. Samkvæmt þeim upplýsingum sem fyrir liggja úr öðrum holum á svæðinu og af lýsingu bormanna má gera ráð fyrir nær samfelldu bólstrabergi á 22-72 m dýpi.

72-78 m Meðalkorna basalt

78-114 m Basaltbreksía og glerkennt basalt, líklega að mestu bólstraberg, a.m.k. neðan 98 m dýpis. Neðst ber nokkuð á sandsteini og er engu líkara en hraunið hafi runnið út á mjúkan sandkenndan sjávarbotn.

114-150 m Setlag úr sandsteini og völubergi. Setið er mjög glerkennt neðan til og þar má sjá sandstein sitja í hörðnuðum, fersklegum glermassa.

150-208 m Meðalkorna basalt hraunlög. Þunnt setlag er á 190 m dýpi. Efra borð hraunanna er nokkuð

glerkennt.

208-220 m Bergið á þessu dýptarbili flokkast sem móbergssæt. Efri hlutinn er gerður úr basaltbreksíu en neðri hlutinn úr sandkenndu móbergssæti.

220-248 m Völuberg.

248-276 m Setrík basaltmyndun. Neðsta lagið er glerjað, líklega vegna þess að hraunið rann út á blautt set.

276-292 m Móbergssæt og völuberg.

292-300 m Glerkennt basalt, hugsanlega bólstraberg.

3.3 Hitamælingar og æðar

Þrjár hitamælingar eru til úr holu 8. Þær eru sýndar á mynd 3. Sú fyrsta var mæld í borhléi þegar holan var 150 m djúp. Þegar mælt var hafði holan staðið óhreyfð í um tvo sólarhringa. Gel var í holunni. Mælingin sýnir um 9 °C hita efst og síðan hægt vaxandi hita niður. Í botni holunnar var hitinn tæpar 15 °C. Nokkuð augljóst er með samamburði við síðari mælingar að holan hefur ekki náð hitajafnvægi við bergið í kring eftir skolkælingu undangenginna vikna. Þannig er hún greinilega um 2 °C heitari efst en raunverulegt hitastig jarðsjávarins er. Einnig er líklegt að 3-5 °C vanti upp á eðlilegan botnhita.

Síðari tvær mælingarnar eru gerðar að lokinni borun holunnar í 300 m. Sú fyrri er gerð þann 10/9 1987 að lokinni loftdælingu úr holunni en sú síðari tveimur vikum eftir að borun lauk. Af þessum mælingum sést glögglega að hiti jarðsjávarins í efstu æðunum er nálægt 7 °C. Ennfremur er augljóslega smávægilegt rennsli af volgu vatni upp holuna frá æð(um) í um 250 m og líklega annarri við holubotn. Þetta volga vatn rennur út í æðarnar í efstu 70 metrunum. Þá má draga þá ályktun af hitamælingunni frá 10/9 að sáralítið vatn hafi komið úr æðum neðan 70 m dýpis í loftdælingunni, sem bendir til þess að æðarnar þar séu lítt gæfar. Ennfremur má ráða af lögum

hitaferlanna að vatnsleiðandi sprungur sem veita upp volgu vatni séu ekki í næsta nágrenni holunnar, fremur virðist vera um að ræða jafnan hitastigul nálægt 100 °C/km.

3.4 Niðurstöður dýpkunar holu LN-8

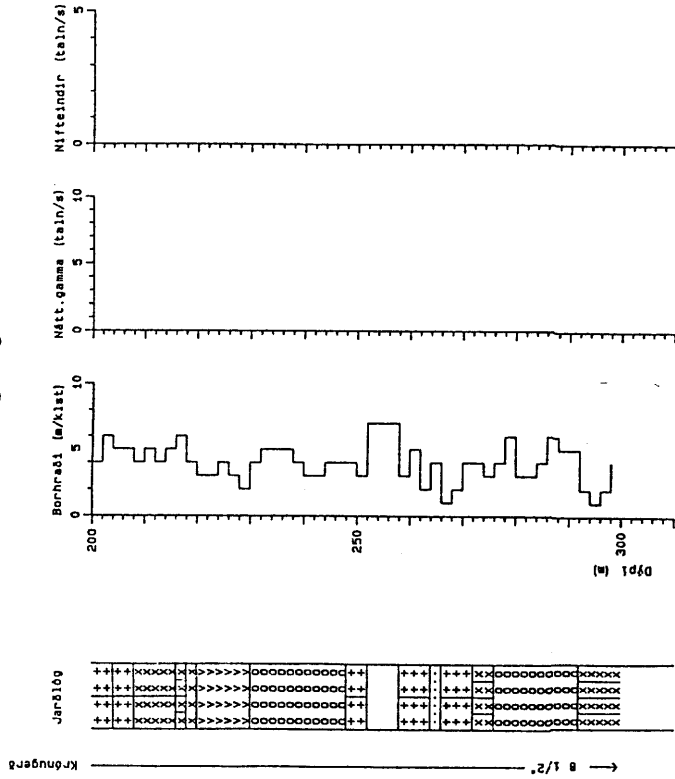
Ljóst er af fyrirbyggjandi gögnum að sáralitlar vatnsæðar er að finna neðan 100 m dýpis í holu LN-8. Hitamælingar gefa til kynna að hitastigull sé nálægt 100 °C/km sem er það sem búast má við ef engar teljandi heitavatnsæðar eru í sprungum í grennd holunnar. Ennfremur fundust engin jarðlög í neðri 200 m holunnar sem hafa umtalsverða lekt, einungis smáæðar sem lítið sem ekkert gefa þrátt fyrir að talsvert sé um setlög og jafnvel bólstraberg niður undir botn holunnar. Sú staðreynd að lítil lekt er í bólstrabergi og setlögum á 200-300 m dýpi í holu LN-8 bendir einfaldlega til þess að jarðlögin hafi þjappast saman vegna þunga þess bergs sem ofan á liggur og þétt af völdum ummyndunar. Því eru sáralitlar líkur á að samsvarandi lög séu lek þótt þau finnist á meira dýpi.

Af dýpkun holu 8 í 300 m má því draga þá ályktun að hverfandi líkur séu á að fá megi umtalsvert volgt vatn úr jarðlögum á þessum slóðum neðan 100 m dýpis.

Til stóð að meta vatnsgæfni og hita æða neðan 100 m dýpis í holu LN-8, með kröftugri dælingu og mælingu á hita og rennsli vatnsins á yfirborði. Með einföldum blöndunarreikningum átti síðan að fá gróft mat á hvað þessar neðri æðar gæfu, þar sem hiti æða ofan við 100 m dýpi er þekktur. Til þessarar prófunar kom þó aldrei þar sem Smári h.f. ákvað að bora á eigin spýtur djúpa holu sem fódruð yrði með steyptri fódringu niður á 150 m dýpi. Var því afráðið að færa hið fyrirhugaða dæluþróf Orkustofnunar á holu LN-8 yfir á hina nýju holu.

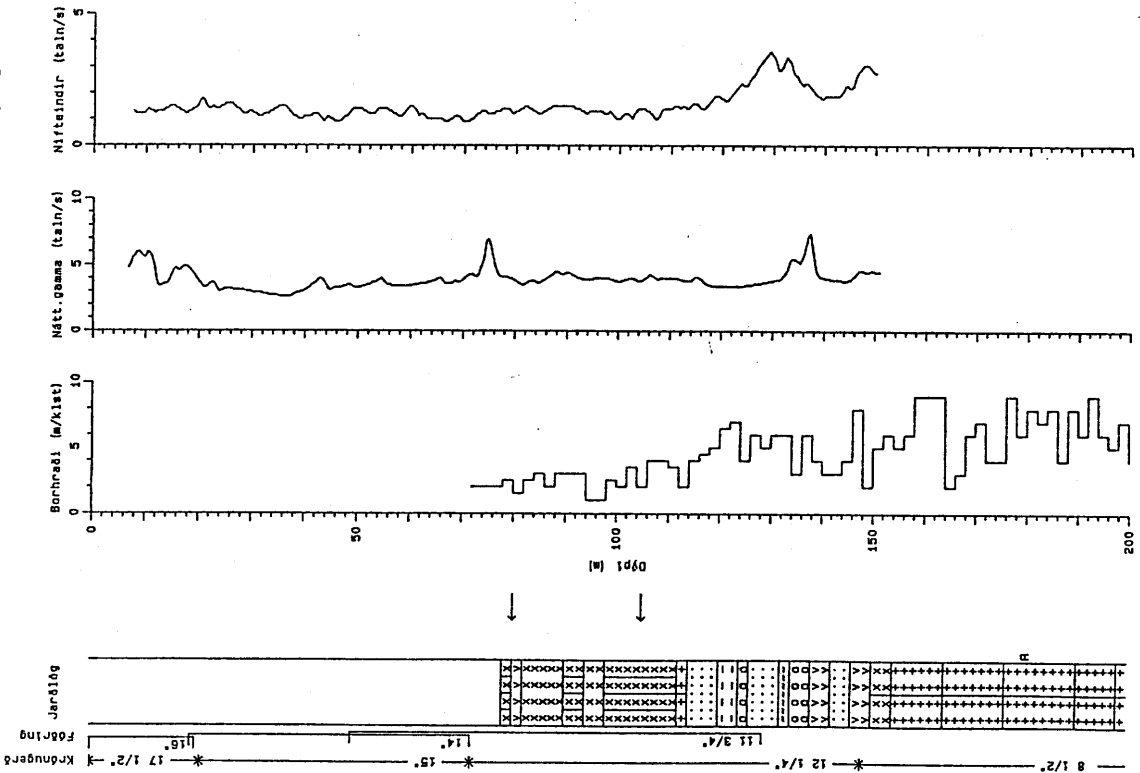
ÞORLÁKSHÖFN HOLA LN-8
Jarðlög og borun

05

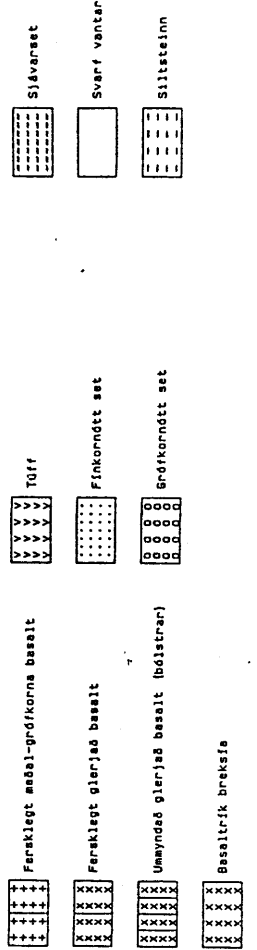


ÞORLÁKSHÖFN HOLA LN-8
Jarðlög og borholumælingar (frumgögn)

05



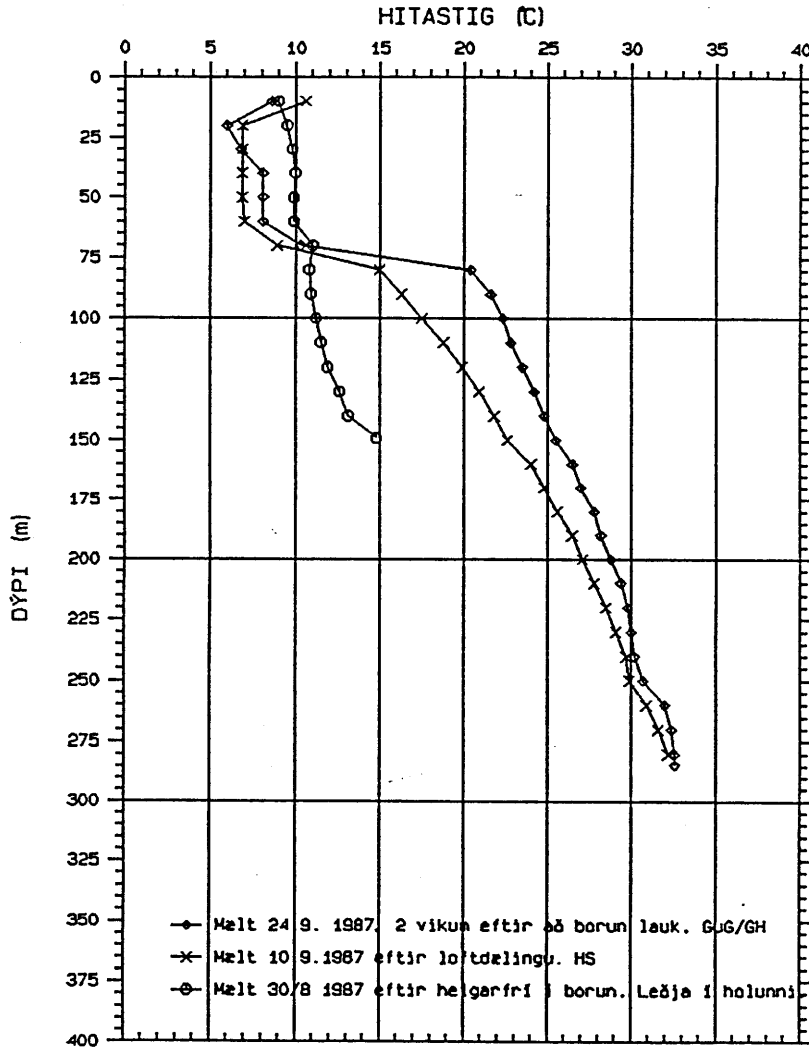
Skýringar við jarðlagasnið



Mynd 2. Borun, hönnun og jarðlög í holu LN-8

JHD-BM-8717. GrB.
88.08. 0463. T

LAXABRAUT 5, ÞORLÁKSHÖFN
HOLA 8
Hitamælingar



Mynd 3. Hitamælingar í holu LN-8

4. HOLA LN-10

4.1 Borun og frágangur

Eftirfarandi lýsing á borverkinu er byggð á bordagbókum jarðborsins Narfa. Borun holunnar hófst 23/10 1987. Fyrst var borað með 17 ½" krónu í 1,8 m og fódrað með 16" röri. Því næst var borað með 15" loftkrónu niður á 20,7 m þar sem skipt var yfir í 15" hjólakrónu og notað gel við borunina. Gekk svo niður á 150,5 m dýpi. Holan var síðan fódruð með 14" röri í 150 m og rörið steipt með 40 pokum af sementi. Síðan var haldið áfram að bora með 12 ¼" hjólakrónu og geli niður á 323,6m. Þar var holan loftdæld með stangarenda í 145 m, en lítið vatn fékkst samkvæmt borskýrslum. Þá var af-ráðið að taka upp og skipta um krónu. Var síðan borað með 8 ½" hjólakrónu það sem eftir var eða niður á 1096 m dýpi. Notað var gel við borunina niður að 561,4 m. Þar fyrir neðan var beitt sjóskolun og sogborun með 9 5/8" hjálparfóðringu.

4.2 Jarðlög í holu 10

Borsvarf það sem upp kom í holu 10 var greint lauslega og er jarðlagasniðið á mynd 4A afrakstur þeirrar greiningar. Af gefnu tilefni er þó fjallað nokkuð um jarðlög og jarðlagaskiptingu hér að neðan, ekki síst með tilliti til lektar. Svo sem við er að búast finnast sömu jarðlög í holu LN-10 og LN-8, og á það sama við um lekt bergsins.

- 2-20 m Hraun úr grófkorna fersku basalti.
- 22-28 m Svarf vantar.
- 28-58 m Ferskt bólstraberg, ætti að leka vel.
- 58-60 m Þunnt setlag með skeljum. Setið er úr grautlinu kísilríku efni sem límur saman smágerð móbergsbrot.
- 60-114 m Samlímt bólstraberg. Samlímingarefni er úr kísilríku efni sem kallast opall, og hefur það fallið út og sest til vítt og breitt í hol-

rými bergsins. Útfellingin myndar ýmist þunna skán eða lagskipt botnfall í holrýmið, allt upp í það að fylla það alveg. Upphafleg lekt bólstrabergsins hefur því minnkað verulega.

- 114-146 m Lagskipt sjávarsetlag. Í nokkrum lögnum finnast skeljabrot í fínnum leirbornum sandi, en í öðrum má finna bergbrot úr ummynduðu basalti þar sem sjá má bergkristal og geislasteindir í holrými. Setlagið liggur mislægt á gömlum hallandi berggrunni, að talið er.
- 146-206 m Ferskleg grófkorna hraunlög, stundum allt að því bólstrabergsleg að sjá. Setlinsa sést á milli laga á 190 m dýpi.
- 206-222 m Bólstraberg úr hraunlaginu ofan við. Bergið hefur ummyndast í lághitavatni og því þéttst nokkuð, því víða má sjá skán úr lághitazeólítunum thomsonít og kabasít í holrými bergsins.
- 222-252 m Lagskipt setberg úr móbergs-túffi, sand og siltlinsum, samþjappað og samlímt af lághita-ummyndun (diagenesa), og ákaflega þétt að sjá. Vatnsleki virðist því eingöngu mögulegur um sprungur. Bergið minnir helst á fokset sem gæti hafa sest til í vatni eða á grunnsævi.
- 252-272 m Tvö hraunlög, með þunnu brúnu og þétu setlagi á milli. Hraunin eru úr grófkorna ólivín dílóttu bergi. Lítilsháttar skoltap kom fram í borun í neðra hraunlaginu.
- 272-290 m Hér er aftur komið í afskaplega fínkornótt samlímt settúff, pottþétt. Neðst í laginu er aðeins grófkornóttara set ofan á hraunlagi.
- 290-304 m Hraunlag, kargalegt efst.

- 304-316 m** Lagskipt setlag úr misgrófu efni, sumu rúnuðu. Hér kom fram smá skoltap í borun, og virðist hér eina leka lagið í holunni.
- 316-344 m** Hér virðast vera 2-3 hraunlög, en svarf vantar að hluta til vegna þess að skipt var um bor-krónu.
- 344-372 m** Lagskipt fínkorna settúff, þrælslega samlímt. Lagskiptingin er áberandi ofan til í laginu þar sem setið er mismunandi fínkornótt, en svarbrúnt samlímt fínkorna túff einkennir neðstu 10 m lagsins.
- 372-404 m** Bólstrabergslag, með fínkornóttu túffsetlagi undir. Analsím er áberandi í holrými bólstrans ásamt þéttum gulbrúnum opal-kenndum útfellingum, sem trúlega svínþetta bergið fyrir leka.
- 404-472 m** Grófkorna hraunlög finnast á þessu dýptarbili. Basaltbreksía um miðbik þessa dýptarbils virðist að mestu úr bólstrabergi, en rautt gjall sést þar líka. Sem fyrr virðist sem lághitaútfellingar verði þess valdandi að bergið lekur ekki í borun. Kabasít er mest áberandi steinda en jafnframt sjást thomsonít, kalsít og rið.
- 472-498 m** Lagskipt settúff, fölgrænt og samlímt, svínþétt.
- 500-682 m** Hraunlagastafli, með þunnum kargalögum og stöku setlinsum á milli laga. Kabasít er helsta lághitaútfellingin.
- 682-700 m** Samlímt mislitt móbergstúfflag, fölgrænt í hvíturjótt vegna útfellinga. Túffið virðist ekki hafa borist langt að áður en það settist til. Mest af glerinu hefur ummyndast, en þó sjást enn dökkar fersklegar glerflyksur. Vart varð við smáleka í borun

efst í þessu lagi.

- 700-1075 m** Hraunlagastafli, ákaflega svipaður þeim sem að ofan er lýst. Oft virðist sem um dyngjusyrpur sé að ræða. Um bergþéttingu vegna ummyndunar þarf ekki að fjölyrða umfram það sem þegar er sagt hér að ofan. Stöku setlög sjást milli hrauna, og eru þykkari lögin sýnd á jarðlagasniðinu. Við eitt þeirra (910 m) kom fram smá leki í borun. Setlög sem finnast milli 900 og 1000 m eru að því leiti til nokkuð merkileg að þau benda til nokkurs hlés í gosvirkni fyrr á tímum, því brot úr viðarkolum fundust í svarfi úr þessum setlögum, og er það reyndar heldur fátítt að slíkt svarf finnist í íslenskum borholum.

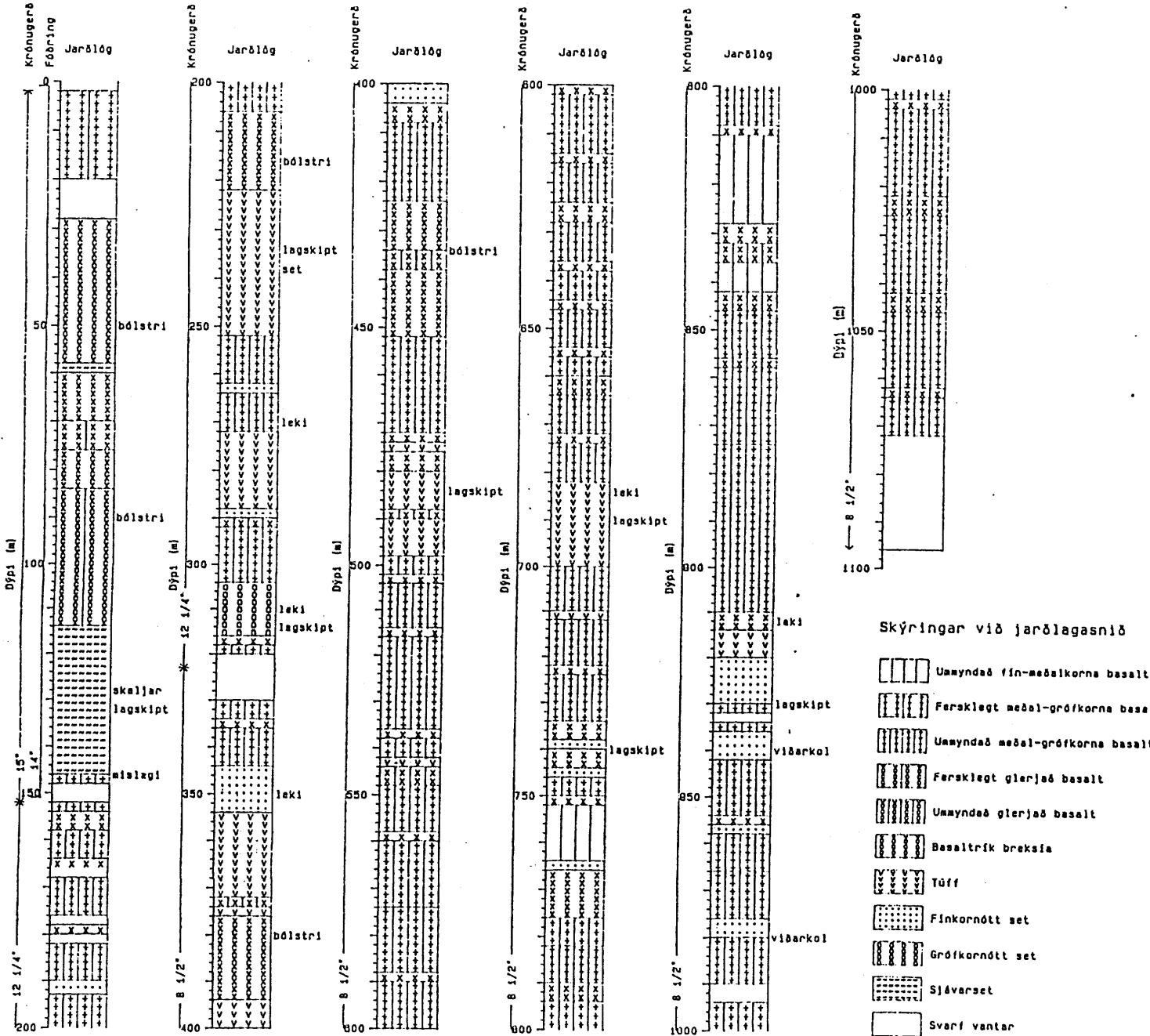
Lítil sem engin lekt í djúpu holunum hefur vakið upp nokkrar vangaveitur ekki síst með tilliti til framhalds. Mörgum finnst t.d. skrýtið hvers vegna bólstraberg og hraunlagakargar leki ekki undir Þorlákshöfn nema ofan 100 m dýpis. Hvað jarðlögin varðar virðist það einkum vera tvennt sem hindrar lekt og hræringu vatns í jarðlagastaflanum.

Í fyrsta lagi hefur bergið orðið fyrir lághitaummyndun sem leiddi til kísil- og zeólítaútfellinga í það miklum mæli að upphafleg lekt í annars mjög leku bergi er að engu orðin. Engu að síður sést þó enn í opið holrými hér og þar í berglögum borholunnar, sem ætti því að geta tekið við skolvatni, svo fleira kann að valda treggæfni, og er þá nærtækast að líta til setlagana.

Svo sem fram kemur í lýsingunni hér að ofan eru mörg setlagana afskaplega fínkornótt og samlímd að sjá. Þau lög hafa pressast saman undan jarðlagafargi ásamt því að límast saman vegna ummyndunar. Lögin virka því sem einskona stemmar (aquicludes) fyrir lóðréttri lekt og þar með hræringu vatns.

JHO-BJ-8717-GOF
88.05.0273 T

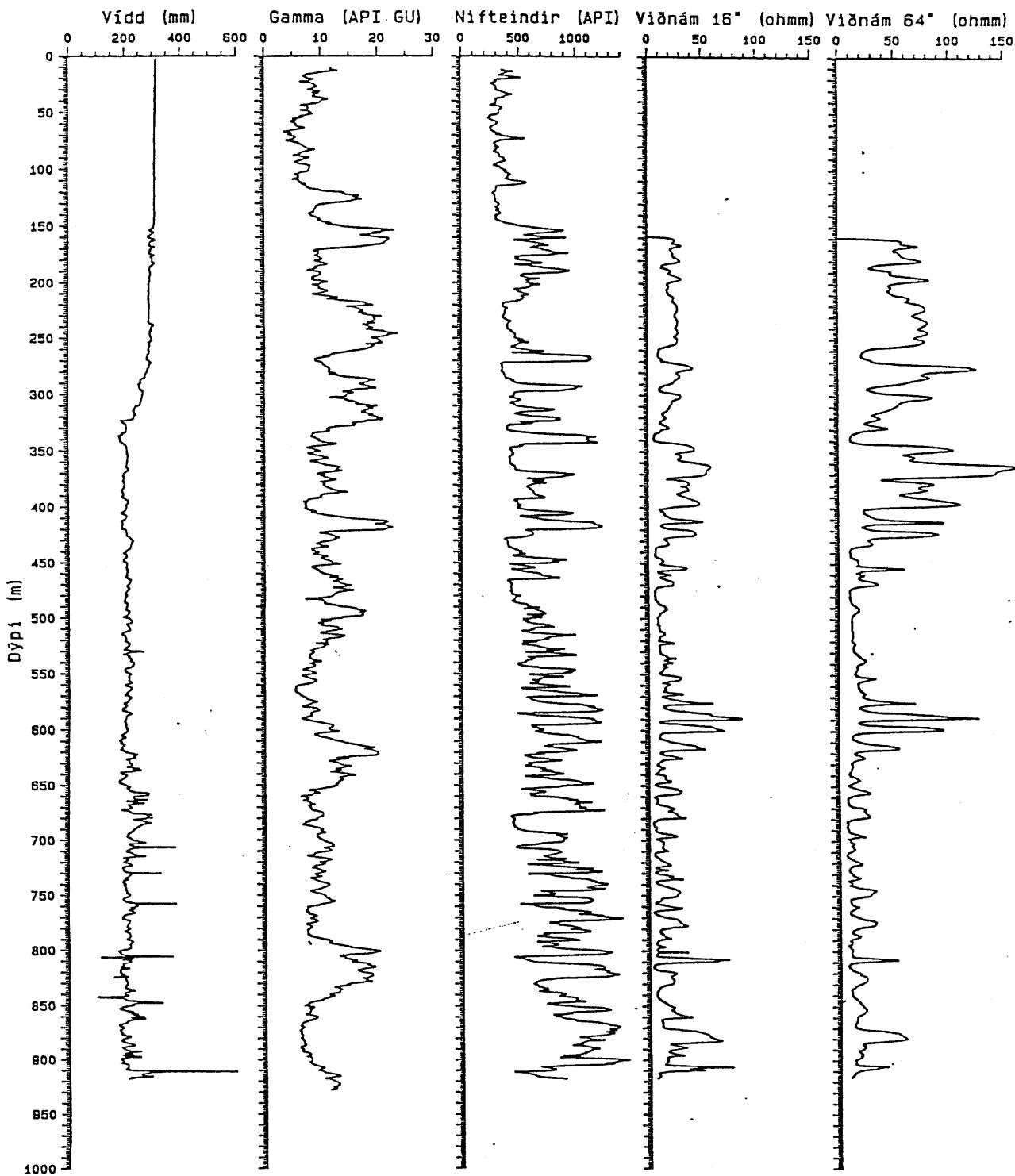
ÞORLÁKSHÖFN - LAXABRAUT 5 - HOLA LN-10



Mynd 4A. Jarðlög í holu LN-10

JHD-BM-8717. GrB.
88.08. 0464. T

ÞORLÁKSHÖFN HOLA LN-10 Borholumælingar (frumgögn)



Mynd 4B. Borholumælingar í holu LN-10

Við jarðfræðilegar aðstæður sem að ofan er lýst er því einsýnt að þýðingarlaust sé að bora eftir heitu vatni nema í nágrenni við virkar eða opnar sprungur. Þeim er því miður ekki til að dreifa undir Þorlákshöfn og því sýnt að sækja þurfi heitt vatn annað, sé ætlunin að nota það í einhverju magni.

4.3 Hitamælingar og æðar

Í borskýrslum er fyrst getið um skoltap á 54 m dýpi og þegar komið var í 58 m varð algjört skoltap. Gekk illa að þetta holuna en það tókst að lokum og frá u.þ.b. 75 m virðist skol skila sér að fullu til yfirborðs. Eftir þetta er holan pottþétt niður á 267 m þar sem vart varð smáleka. Sá leki þéttist þó fljótlega með gelblönduðu borsvarfinu sem tapaðist út í æðina.

Þegar holan var 323,6 m djúp var hún loftdæld. Í fyrstu var loftdælt gegnum stangir á 250 m dýpi uns holan var orðin hrein. Þá var sett niður í botn og dælt en lítið kom upp. Þá var hiðt upp í 145 m og loftdælt þar. Enn fékkst lítið úr holunni en hitastig þess sem upp kom var 22 °C. Út frá hitastigi vatnsins má áætla að það hafi komið úr æðum milli 200 og 300 m dýpis.

Við borun frá 323-561 m varð daglega vart skoltaps á bilinu 7-18 l/s, sem þéttist þó jafnharðan í borun. Þetta skoltap má skýra á tvo vegu; annað hvort hafa jarðlögin þarna verið nokkuð lek eða skoltapið hefur verið út um illa steypt fóðurrörið eða gat sem fannst á því efst.

Við borun neðan 561 m verður hvergi vart vatnsæðar fyrr en á 984 m. Þar hækkar hiti á skolvatni um 1 °C og lítilsháttar aukning varð á vatni því sem upp kom við sogborunina. Þá er einnig talið að skolaukning hafi orðið milli 1050 og 1075 m dýpis. Samkvæmt borskýrslum komu yfirleitt upp við sogborunina milli 5 og 10 l/s af 22 °C vatni. Þetta lága hitastig bendir til þess að skolið sé ættað úr æðum vel ofan 300 m dýpis, og að nánast ekkert hafi komið úr neðri hluta holunnar.

Hola LN-10 var hitamæld sex sinum meðan á borun stóð. Fyrstu mælingarnar þrjár eru

gerðar í tengslum við pökkun holunnar þegar hún var 561 m djúp. Þær eru sýndar á mynd 5.

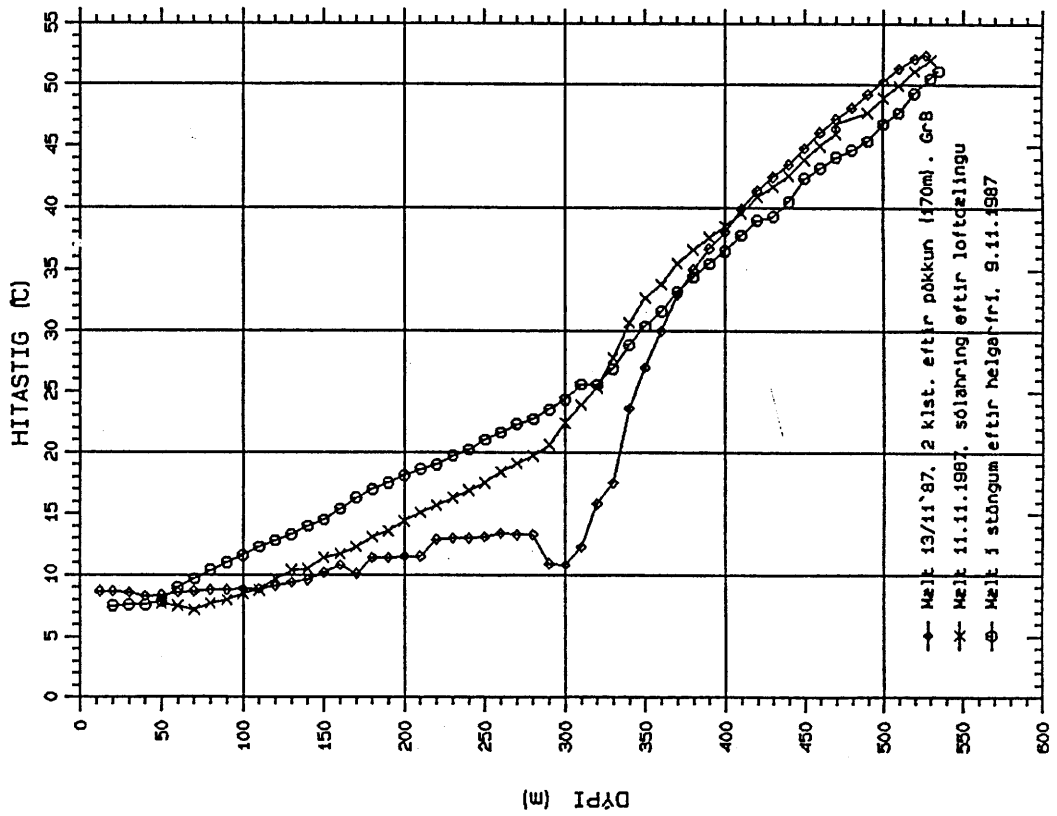
Fyrsta hitamælingin er gerð í stöngum þann 9. nóvember, eftir helgarfrí. Holan hafði fengið að hitna í 65 klst frá því skolun lauk á föstudagskveldi þar til hún var hitamæld um hádegisbil á mánudegi. Af þessari mælingu sést að holan á enn eftir nokkuð í jafnvægis-hita við bergið í kring, og hitastigull í henni er nærri 90 °C/km. Æðar er að finna á 280-300m dýpi. Lögum hitamæliferilsins ofan æðanna í þessari holu og einnig í holu 8 sýna að þessar æðar eru tengdar nær láréttum jarðlögum fremur en sprungum.

Næsta hitamæling er gerð þann 11. nóvember, sólarhring eftir loftdælingu úr holunni. Þessi mæling sýnir að holan hefur hitnað um einar 2 °C neðan æðanna í 300 m dýpi, frá því sem var í fyrstu hitamælingunni. Það sýnir að holan er enn að leita jafnvægis eftir kælingu skolvatnsins vikurnar á undan. Hins vegar mælist holan 2-3 °C kaldari ofan 300 m en í mælingunni frá 9. nóvember. Vart getur verið um að ræða kælingu vegna sjálfrar loftdælingarinnar, þ.e. vegna þess að köldu lofti var dælt inn í holuna á 240 m dýpi því reynslan sýnir að slík kæling nær sjaldan nema fáeina metra niður fyrir þann stað þar sem loftinu er blásið inn. Líklegasta skýringin á þessari kælingu er að kaldur sjór leiti niður holu 8 og út í æðarnar rétt ofan 300 m dýpis og berist með þeim yfir í holu 10. Hiti vatnsins í loftdælingunni bendir líka í þessa átt en hann var einungis um 16-18°C. Ef allt vatnið væri ættað úr láréttu lagi á um 300 m dýpi hefði hitinn átt að vera yfir 30°C. Til að skýra þetta verður annaðhvort að leita til kenningar um niðurstreymi í holu 8 eða að hluti vatnsins í loftdælingunni hafi komið úr grynri æðum.

Þriðja mælingin á mynd 5 var síðan gerð 2 tímum eftir að pökkun lauk þann 13. nóvember. Hún sýnir glögglega að vatnið sem dælt var í holuna í pökkun hefur farið út á 270-300 m dýpi. Aðrar æðar er ekki að finna í holunni ofan 561 m dýpis.

JHD-BM-8717.GrB.
88.08.0465. T

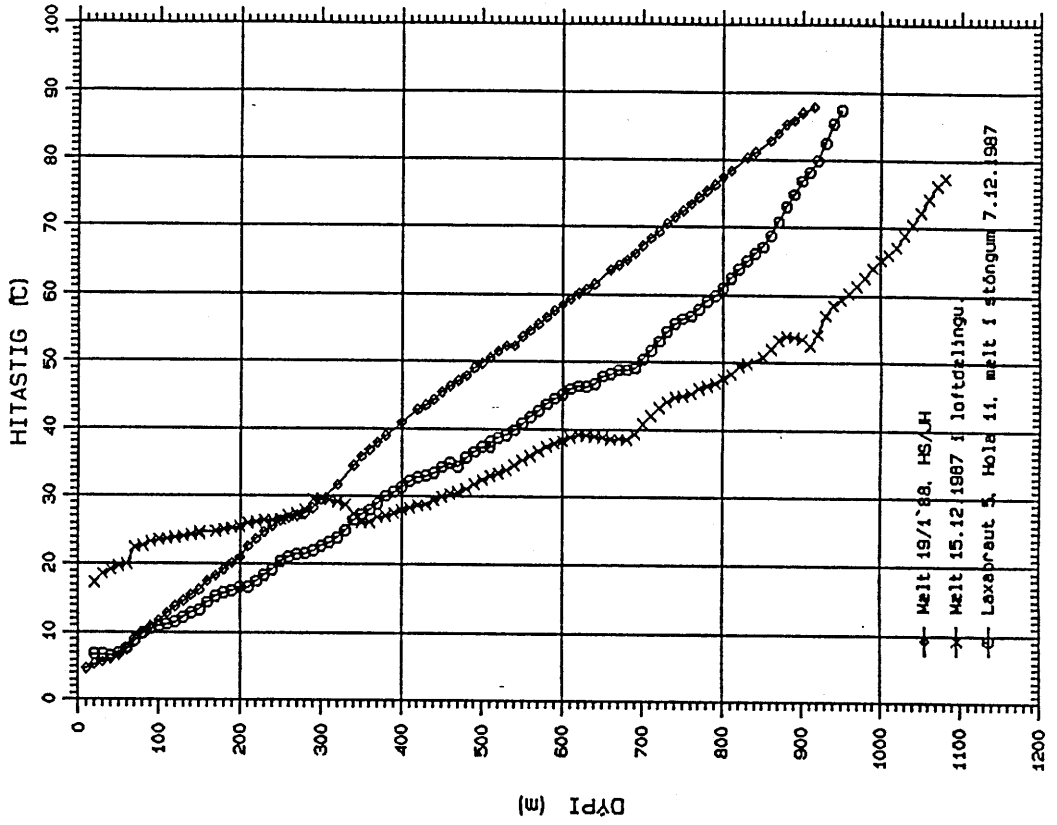
LAXBRAUT 5, PORLÁKSHÖFN
HOLA 10
Hitamælingar



Mynd 5. Hitamælingar í holu LN-10

JHD-BM-8717. GrB.
88.08.0466. T

LAXBRAUT 5, PORLÁKSHÖFN
HOLA 10
Hitamælingar



Mynd 6. Hitamælingar í holu LN-10

Næstu hitamælingar eru sýndar á mynd 6. Sú fyrsta er mæld í stöngum þann 7/12 1987 eftir helgarfrí. Holan á talsvert langt í land með að hafa fullhitnað eftir skolvatnskælingu. Hins vegar sjást engin umtalsverð merki um vatnsæðar og sem fyrr virðist hitaferillinn nálgast jafnan hitastigul sem bendir ekki til nálægðar við heitavatnskerfi.

Næsta mæling er gerð þann 15/12 1987 eftir loftdælingu úr holunni. Merki um smáæðar sjást á þremur stöðum, á 300, 680 og á 910 m dýpi. Að öðru leyti segir mælingin lítið enda holan öll mikið kæld eftir borunina.

Síðasta hitamælingin úr holunni er frá 19. janúar 1988, um mánuði eftir að borun lauk. Holan hefur þarna náð að fullhitna eða því sem næst og sýnir nú jafnan hitastigul upp á 90 °C/km. Þessi síðasta mæling tekur af öll tvímæli um að ekkert jarðhitakerfi er að finna á þessum slóðum. Hitastigulinn er í fullu samræmi við jafnan varmastraum gegnum þétt jarðlög djúpt úr jörðu eins og búast má við í Þorlákshöfn og nágrenni.

4.4 Pökkun

Þegar hola LN-10 var komin í 561,4 m dýpi, var ákveðið að loftdæla úr holunni og reyna þannig gæfni hugsanlegra æða í holunni. Dæluþrúfað var 9. nóvember 1987. Prófið fór þannig fram að lofti var blásið niður um stangir, og var stangarendi annarsvegar á 180 m og hinsvegar á 240 m dýpi. Fylgst var með rennsli um V-laga þversnið í 20-30 m fjarlægð frá holunni. Ekki tókst að dæla samfellt úr holunni, heldur komu gusur með 6-7 mínútna millibili, sem stóðu í 2-3 mínútur. Rennsli í gusunum var 1-5 l/s við V-spjald, en þó komu allt að 20 l/s við upphaf hverrar gusu. Haldið var áfram að dæla úr holunni þann 10 nóvember með viðbótarpressu, og fengust þá að jafnaði um 5 l/s. Hiti vatnsins sem upp kom í þessum prófunum var 16-18 °C.

Þegar ljóst var að hola LN-10 gaf einungis örfáa sekúndulíttra við mikinn niðurdrátt, var ákveðið að reyna að örva holuna með pökkun. Að undangenginni víddarmælingu, var pakkara rennt niður á 170 m dýpi og

hann festur þar. Dæling á holuna, neðan pakkara, hófst um hádegi 12. nóvember og stóð síðan nær samfellt til næsta morguns. Dælt var að jafnaði um 40-50 l/s við 30-50 bara toppþrýsting. Vatnsmagn í dælingu var reiknað út frá snúningshraða dæla, en þrýstingur var mældur á rafeindaskynjara og skráður jafnóðum út á skrifara í mælingabíl. Mælingar þessar eru sýndar í töflu 1 og á mynd 7. Auk þess er sýnt á mynd 7 reiknað vatnsborð samkvæmt aðferð Theis (sjá næsta kafla). Stuðlarnir sem lágu til grundvallar reiknaða ferlinum eru vatnsrýmd $S = 1,1 \times 10^{-7}$ m/Pa og vatnsleiðni $T = 9,1 \times 10^{-9}$ m³/Pa/s. Þessir forðastuðlar eru óáreiðanlegir þar sem iðustreymi hefur örugglega einkennt vökvaflæði í pökkuninni. Það er andstætt forsendum reiknaðoferðarinnar.

Ljóst var að morgni 13. nóvember að pökkunin skilaði mjög litlum árangri. Toppþrýstingur á holu, við sömu dælingu var eins hvort sem lítið er til upphafs eða loka pökkunar. Einnig sást þegar dæling hætti, að toppþrýstingur sléttaðist út í um 20 börum (eftir 25 mínútna stopp). Það var annað merki um að holan væri mjög þétt neðan pakkara. Ákváðu því verkkaupi og Jarðboranir hf. í sameiningu að dýpka holuna með von um æðar neðar.

Það er hins vegar umhugsunarvert hvers vegna skoltapið sem vart varð í borun skilar sér ekki við pökkunina. Á því eru tvær skýringar. Önnur er sú að skoltapið hafi verið ofan pakkara þ.e. út um gat á fóðringu eða meðfram henni ef steyping er léleg. Hin skýringin er að gelblendað svarf hafi borist út í æðarnar og stíflað þær svo kyrfilega að pökkunin nægði ekki til að opna þær. Það er ávallt veruleg hættu á að stífla vatnsæðar þegar borað er með skoltapi, ekki síst þegar gel er notað.

Tafla 1: Gögn sem safnað var við þökkun á holu 10.

Tími (mín)	Prýstingur (bar)	Dæling (l/s)
0.0	0.5	0.0
30.0	31.0	22.0
50.0	34.0	29.0
51.0	23.8	0.0
53.0	22.1	0.0
58.0	20.4	0.0
66.0	17.0	0.0
101.0	47.0	46.0
105.0	55.0	46.0
128.0	54.0	46.0
144.0	56.3	46.0
149.0	54.0	46.0
152.0	27.5	0.0
153.0	26.5	49.0
163.0	49.2	40.0
190.0	49.6	40.0
195.0	50.0	40.0
221.0	48.9	40.0
256.0	48.0	40.0
272.0	48.5	40.0
281.0	47.0	42.0
287.0	46.5	42.0
290.0	44.0	42.0
291.0	43.0	42.0
293.0	54.4	50.4
297.0	54.0	50.4
313.0	54.3	50.4
349.0	53.4	48.0
380.0	53.4	48.0
435.0	52.7	48.0
463.0	53.4	48.0
475.0	53.3	48.0
492.0	53.8	48.0
496.0	51.0	48.0
497.0	53.7	48.0
534.0	53.9	48.0
560.0	54.0	48.0
570.0	53.9	48.0
597.0	53.8	48.0
602.0	53.7	48.0
638.0	53.7	48.0
669.0	53.9	48.0

Tími (mín)	Prýstingur (bar)	Dæling (l/s)
708.0	53.8	48.0
742.0	53.6	48.0
761.0	53.7	48.0
763.0	27.1	0.0
766.0	3.6	-20.0
770.0	1.6	-15.0
784.0	0.1	-10.0
819.0	20.0	-5.0
837.0	58.0	60.0
839.0	58.4	55.0
841.0	58.0	55.0
864.0	53.8	50.0
891.0	49.6	48.0
934.0	49.1	48.0
972.0	49.2	48.0
1003.0	49.7	48.0
1025.0	48.7	48.0
1030.0	51.6	48.0
1042.0	50.9	48.0
1078.0	51.0	48.0
1160.0	51.0	48.0
1166.0	25.6	0.0
1173.0	23.6	0.0
1186.0	21.0	-10.0
1188.0	1.5	-10.0

4.5 Dæluþrófun

Hola LN-10 var dæluþrófuð dagana 15.-16. febrúar 1988. Markmið dæluþrófsins var annarsvegar að áætla afköst holunnar og hinsvegar að spá fyrir um niðurdrátt við langvarandi dælingu

4.5.1 Framkvæmd

Í upphafi þrófsins var rafknúinni dælu komið fyrir á 60 m dýpi í holu LN-10 og þrýstiskynjara nokkru neðar. Á yfirborði var rennslismælir og hitamælir. Allar mælingar voru færðar jafnóðum inn á tölvu.

Reynt var að hefja dælingu með þrepaprófi, en það misheppnaðist sökum lítillar gæfni holunnar, rennsli varð óstöðugt þar sem vatnsborð féll niður að dæluenda og mælingar því óáreiðanlegar. Því var farið strax yfir í langtímaprófun þar sem dælt var 2-4 l/s í nokkrum þrepum.

4.5.2 Hiti vatns í dælingu

Mynd 8 sýnir hvernig hiti vatns úr holu LN-10 hækkaði eftir því sem leið á dæluþrófið. Upphaflega var hitinn um 15 °C en hækkaði síðan jafnt og þétt uns hann tók að sléttast út í kringum 27 °C. Sá hiti verður væntanlega vinnsluhiti holunnar. Hinn lági hiti í upphafi dæluþrófsins stafar af kælingu vökvans á leið til yfirborðs. Þessi gögn nægja engan vegin til að spá fyrir um vatnshita úr holunni við langtíma-dælingu, vegna þess hve þrófið stóð stutt.

4.5.3 Niðurstöður langtímadælingar

Á mynd 9 er sýnt mælt vatnsborð í langtímadælingu holu LN-10. Auk þess er sýnt á myndinni reiknað vatnsborð samkvæmt aðferð Theis, þar sem gert er ráð fyrir að holan vinni úr óendanlegum, láréttum vatnsleiðara, sem er lokaður að ofan og neðan. Geymisstuðlarnir sem ákvarða reiknaða ferilinn eru

Upphafsvatnsborð	12 m
Vatnsleiðni T	$3.54 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{Pa}/\text{s}$
Vatnsrýmd S	$3.69 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{Pa}$

Líkanið nær þokkalegu samræmi við örur vatnsborðssveiflur í upphafi dælingar, en

hermir illa langtíma vatnsborð holunnar. Þetta ósamræmi má skýra með leka sem kemur að ofan til vatnsæða holu LN-10. Þessi leki veldur því að holan nær stöðugu vatnsborði í dælingu. Hægt er að velja reiknilíkan, sem er eins og líkan Theis, að viðbættum leka ofan frá. Mynd 10 sýnir hvernig samræmi fékkst milli reiknaðra og mældra ferla í dælingu ef gert er ráð fyrir slíku hermilkani. Þeir stuðlar sem liggja til grundvallar reiknaða ferlinum eru:

Upphafsvatnsborð	12 m
Vatnsleiðni T	$3.67 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{Pa}/\text{s}$
Vatnsrýmd S	$3.77 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{Pa}$
Tregða s	0.89
Holurýmd CD	3.52
β	0.039
r/B	0.109

Samræmi mældra og reiknaðra gagna er nokkuð gott á mynd 10, utan að vatnsborð hermist illa milli fyrstu 180-350 mínútna dæluþrófsins. Hugsanlega má rekja þetta ósamræmi til ónákvæmni í mælingu á rennsli. Þessi niðurstaða bendir til þess að vatn leki ofan frá niður í æðarnar á 300 m dýpi. Þessi leki gæti verið gegnum lek jarðlög eða sprungur en einnig niður holu 8.

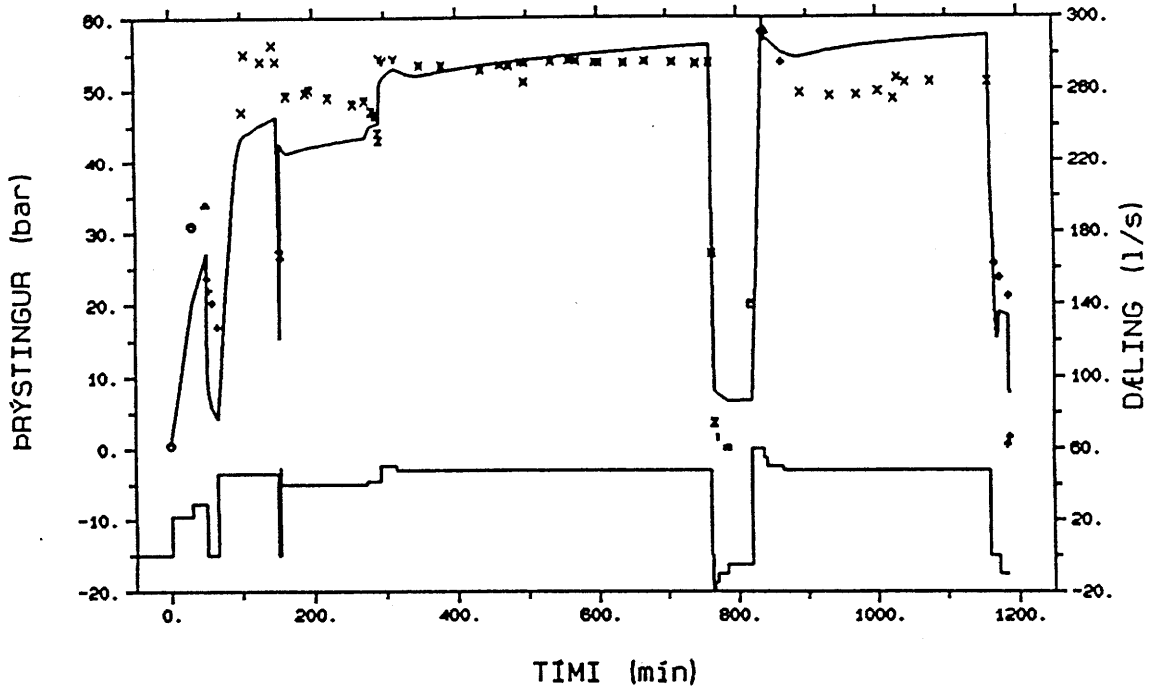
4.5.4 Spá um langtíma vatnsborð

Hægt er að spá um langtíma vatnsborð í holu LN-10, ef gert er ráð fyrir að líkanið með leka yfirlaginu sé rétt. Mynd 11 sýnir niðurstöður slíkra reikninga fyrir nokkur mismunandi dæluþrófi. Af myndinni má sjá að holan nær föstu vatnsborði á innan við ½ degi fyrir öll tilvikin. Holan er hinsvegar mjög treggæf og má nota þumalfingurs-regluna

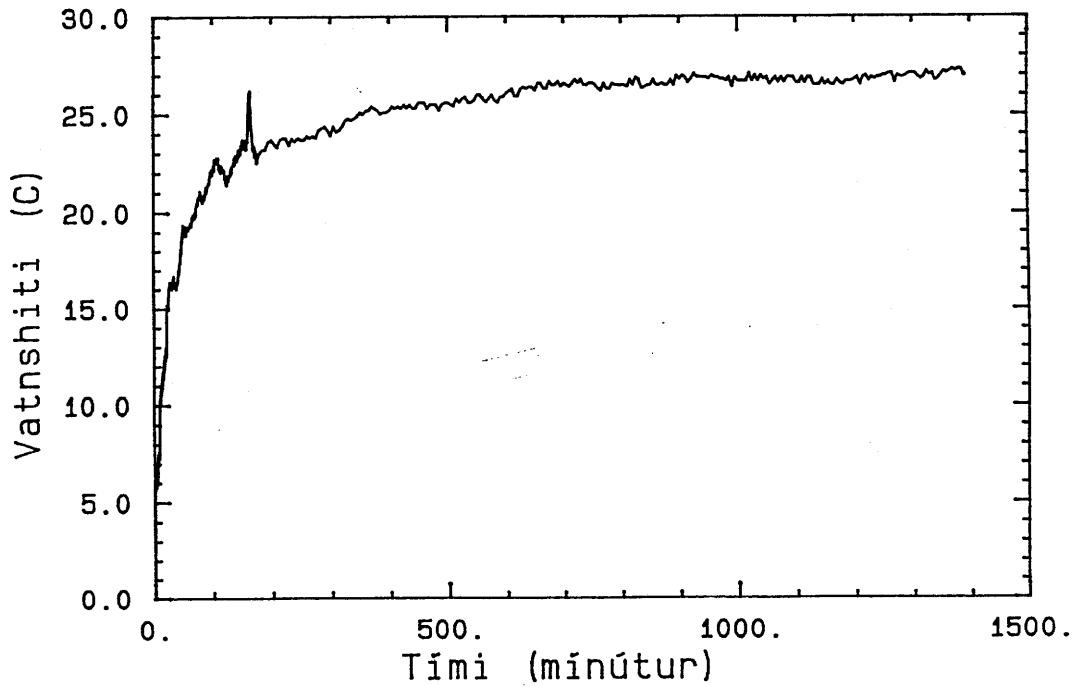
$$\text{Niðurdráttur í metrum} \sim 12 + 15 * Q$$

þar sem Q er dæling í l/s. Þessi regla, og það vatnsborð sem sýnt er á mynd 11 er væntanlega bjartsýnisþá, þar sem ekki er gert ráð fyrir iðustreymistöpum í reikningum. Þessi ónákvæmi í vatnsborðs-spá eykst með aukinni vatnstöku.

JHD-BM-8717. Gr.B.
88.08. 0468. T

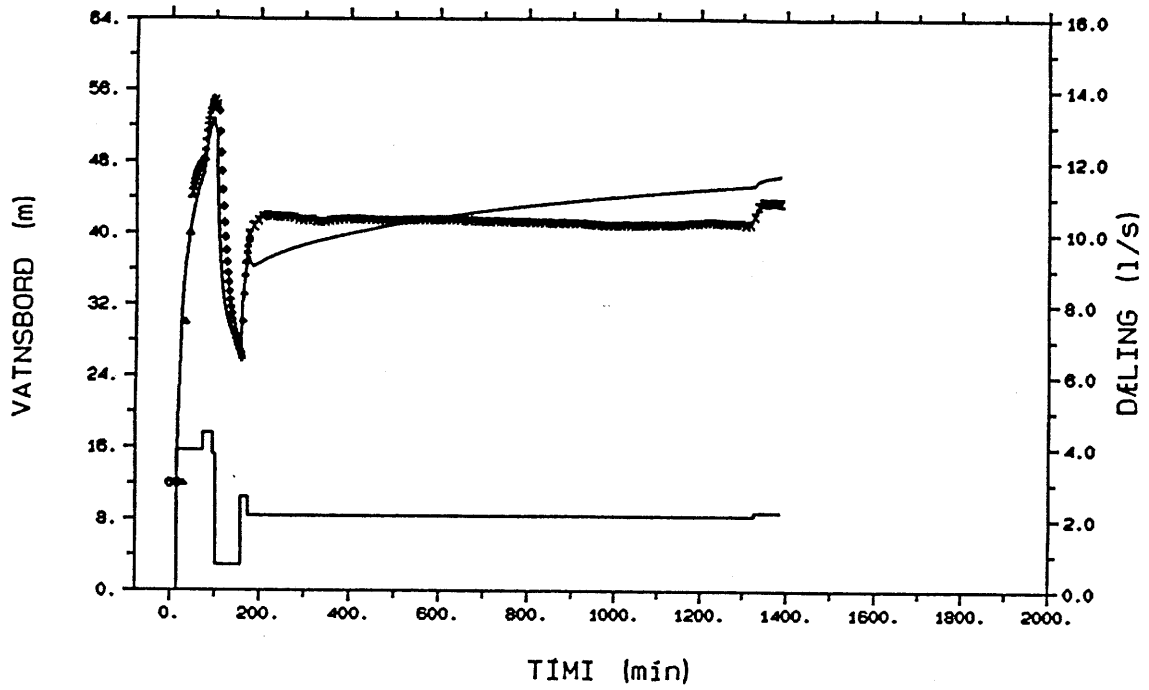


Mynd 7. Pökkun holu LN-10

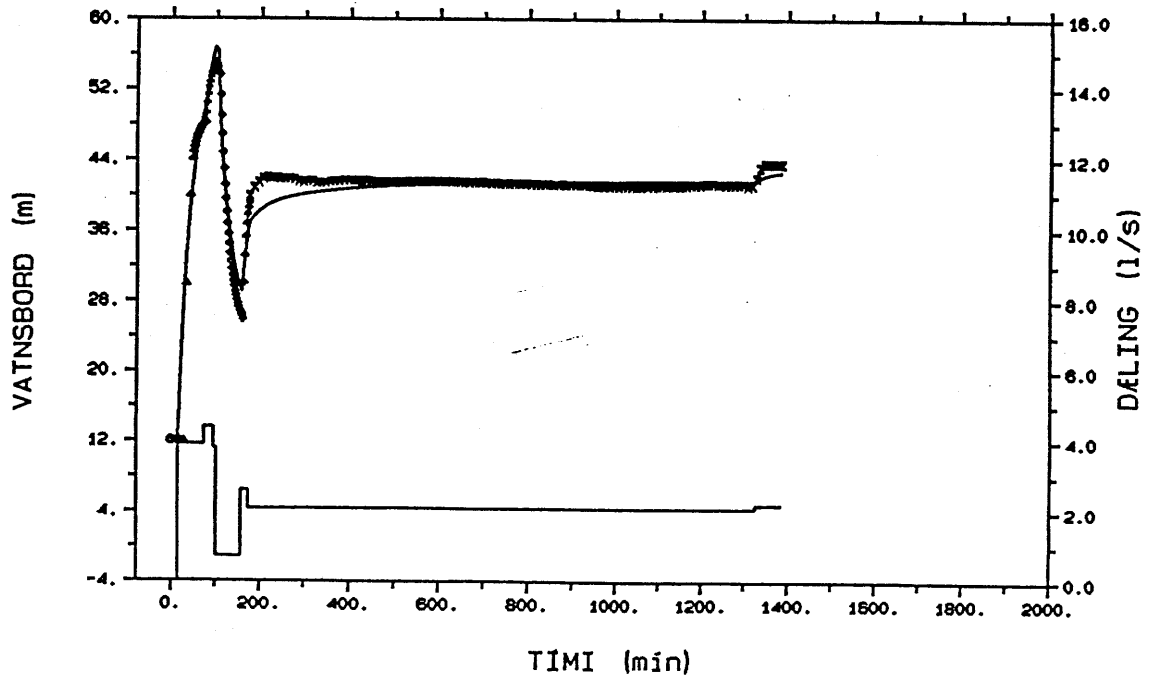


Mynd 8. Hiti dæluvatns úr holu LN-10

JHD-BM-8717. Gr.B
88.08. 0469. T



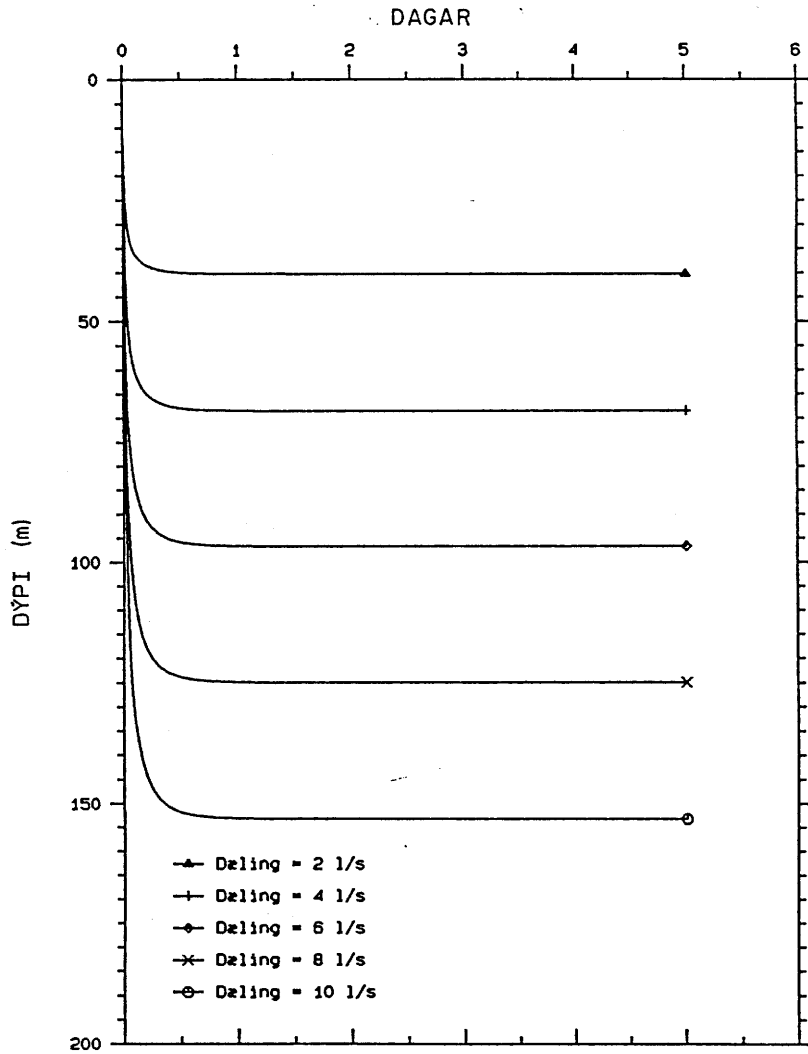
Mynd 9. Langtímaprófun LN-10 og reiknað vatnsborð samkvæmt aðferð Theis.



Mynd 10. Langtímaprófun LN-10 og reiknað vatnsborð ef leki kemur að ofan.

JHD-BM-8717. GrB.
88.08. 0467. T

Laxabraut 5, Þorlákshöfn Vatnsborðsspá fyrir holu 10



Mýnd 11. Vatnsborðsspá fyrir holu LN-10, samkvæmt reiknilíkani með leku yfirlagi.

4.6 Efnagreining vatnssýna

Meðan á dæluþrófunu holu 10 stóð var tekið sýni til efnagreiningar af vatninu, þann 16. febrúar 1988. Niðurstöðurnar eru sýndar í töflunni hér að neðan. Einnig er tekið með í töflunni til samanburðar efnasamsetning á "staðalsjó".

Tafla 2 Efnasamsetning vatns.
Styrkur í mg/kg.

Sýni	Hola 10	Staðalsjór
Dagsetning	880216	-
Hiti °C	27	-
pH/°C	8,08/22	8,0/25
SiO ₂	23,4	3
Na	4486	10800
K	117,5	390
Ca	1904	410
Mg	138,7	1290
Heildarcarb. sem CO ₂	16,1	102
H ₂ S	<0,03	-
SO ₄	1220	2710
Cl	10066	19400
F	0,27	1,3
Fe	0,15	0,004
Mn	0,4	0,0004
O ₂	0,5	
Heildarstyrkur uppleystra efna	19572	35000

Eins og sést á samanburði við efnasamsetningu sjávar þá er vatnið í holunni hálfalt eða með 18,2‰ seltu. Vatnið ber talsverð merki hvörfunar við berg og þess að um blöndun mismunandi vatns sé að ræða. Þannig er kísilstyrkur nokkuð hár og bendir til þess að upprunalegt hitastig sé allt að 40°C eða um sé að ræða blöndun misheitra æða. Styrkur kalsíums er margfalt hærri en í sjó og styrkur magnesíums verulega lægri. Súlfatstyrkur er heldur lægri en í sjó og flúorstyrkur verulega lægri. Styrkur járns og þó einkum mangans er mjög hár, mörgum stærðargráðum hærri en í sjó. Styrkur súrefnis er mjög lágur og langt undir metunarmörkum við hitastig vatnsins og seltu (7,8 mg/kg).

Allt eru þetta merki efnahvarfa við berg. Vatnið sýnir nokkur merki ójafnvægis sem stafað gæti af nýlegri blöndun misheits og missalts vatns. Sé litið á nýtingarhæfni þessa vatns til fiskeldis er ljóst að styrkur súrefnis er of lágur, en úr því má bæta með loftun vatnsins. Styrkur járns og mangans er það hár að þessi efni eru líkleg til að valda vandræðum og þarf að fá endanlega umsögn um það atriði hjá fiskeldisfræðingi. Þar sem vatnið er blanda af mismunandi vatnsgerðum er líklegt að efnasamsetning sé talsvert háð því hversu miklu er dælt úr holunni og að hún geti breyst með vinnslu og tíma.

4.7 Borholumælingar

Á mynd 4B (bls 14) eru sýndar niðurstöður víddar-, gamma-, nifteinda- og viðnámsmælinga sem gerðar voru í tengslum við hitamælingu í holu LN-10. Mælt var 19 janúar 1988. Þessar mælingar eru birtar í þessari skýrslu til varðveislu, og verður ekki farið út í nákvæma túlkun þeirra. Þó má nefna að nifteindamælingin bendir til þess að holan skeri dæmigerðan hraunlagastofla neðan u.þ.b. 500 m dýpis, þar sem meðalþykkt hrauna er um 10 m. Einstakir toppar sjást í gamma-mælingunni og stafa þeir annaðtveggja af kísilríku sjávarseti, eða frá hraunlögum sem eru eitthvað súrari en meðalbergið í holunni. Holan verður nokkuð skápótt neðan 600 m dýpis og er það vegna þess að skipt var úr gelborun í sjóborun um þetta dýpi.

4.8 Samandregnar niðurstöður

Niðurstöður dæluþrófunar holu LN-10 má draga saman á eftirfarandi hátt:

1. Holan vinnur 27°C heitan sjó úr æðum neðan 150 m dýpis, einkum úr æðum á 270-300m dýpi. Ekki er víst að holan haldi þessu hitastigi við langvarandi dælingu.
2. Holan er treggæf, og þarf um eða yfir 15 m niðurdrátt fyrir hvern sekúndulítra í dælingu.
3. Herma má mælda vatnsborðsferla með líkani, þar sem gert er ráð fyrir að vatn renni að holunni um óendan-

legan, láréttan leiðara, sem leki kemur til að ofan.

4. Samkvæmt þessu reiknilíkani mun stöðugt vatnsborð nást eftir innan við ½ dags dælingu fyrir allt að 10 l/s vatnstöku.

5. HUGSANLEGT SAMBAND HOLA LN-8 OG LN-10

Hola LN-10 er mjög treggæf og þarfnast töuverðs niðurdráttar í dælingu. Meginæð holunnar er á 270-300 m dýpi. Æð er á svipuðu dýpi í holu LN-8, og er aðeins 24,5 m fjarlægð milli holanna. Þessi stutta fjarlægð milli æða á svipuðu dýpi í báðum holum, eykur mjög líkur á að holurnar tvær séu í þrýstisambandi. Ef svo er, getur dæling úr annari holunni dregið sér vatn úr hinni um æðarnar á 270-300 m. Raunar eru líkurnar fyrir slíkri tengingu mjög miklar þegar dælt er úr holu LN-10 vegna hins mikla niðurdráttar í dælingu. Hitamælingar og "lekinn" að ofan, sem ræddur er í túlkun dæluprófs, benda ákveðið til þessa.

Ef þessi tilgáta er rétt, gerist eftirfarandi við dælingu úr holu LN-10. Um 7 °C heitt vatn byrjar að flæða niður holu LN-8, og þaðan eftir lekum jarðlögum á 270-300 m dýpi og yfir í holu LN-10. Þegar þangað er komið, hefur vatnið náð um og yfir 27 °C hita, miðað við núverandi varmaástand í berginu. Ef þetta er rétt má búast við að vatnið sem dælt er úr holu LN-10 muni kólna jafnt og þétt við langvarandi dælingu, eftir því sem gengur á varmaforða bergsins á 270-300 m dýpi. Jafnframt er líklegt að meiri vatnstaka en í dæluprófuninni leið fyrr til kólnunar.

Einfalt er að sannreyna þessa tilgátu um þrýstisamband milli holanna. Til dæmis má reyna að dæla köldum sjó niður holu LN-10 og mæla samtímis hvort hiti lækkar á neðst í holu LN-8. Til frekara öryggis má dæla ferskvatni niður LN-10 og mæla einnig hvort selta breytist í holu LN-8. Þessar mælingar er fljótlegt og einfalt að framkvæma og eru eigendur Smára h.f. hvattir til að gera slíkt áður en kemur að hugsanlegri virkjun holu LN-10.

6. NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA

Þær upplýsingar sem fengist hafa við boranir í berggrunnin vestan Þorlákshafnar, má draga saman í einfalt grunnvatnslíkan. Ofan 100 m dýpis eru vel lek bólstrabergslög, fullsölt og nálega 7 °C heit. Þar fyrir neðan skiptast á hraunlög með sjávarsets- og völubergslögum inn á milli. Þessi lög eru öll vel þétt. Helst er að finna svolitla lekt í jarðlögum á 270-300 m dýpi. Ef skoltapið sem kom fram í borun LN-10 frá 323-526 m hefur ekki verið vegna leka með illa steypu fóðurröri eða út um gat sem fannst á 14" fóðringunni, þá hlýtur það að hafa tapast út í æðarnar á 270-300 m og stíflað þær svo kyrfilega að pökkunin nægði ekki til að opna þær á ný. Að öðru leyti er lekt jarðlaga neðan 100 m lítil sem engin og berghiti vex samkvæmt 90 °C/km hitastigli. Það er ótvírætt merki þess að jarðhitakerfi er ekki í nágrenni holunnar. Hægt er að dæla um 7 °C heitum sjó, svo skiptir hundruðum sekúndulíttra, úr bólstarberginu í efstu 100 metrum berggrunnins. Bólstrabergssyrpan jafnar út hitasveiflur sjávar.

Dýpkun holu LN-8 og borun holu LN-10 leiða í ljós að volgar vatnsæðar neðan 100 m dýpis eru torfundnar, og líklega ekki til á svæðinu svo neinu nemi. Djúpar holur með síðum fóðringum sýnast því lakur kostur ef afla á sjávar sem er heitari en þær 6-7 °C sem nú hafa fundist. Hinsvegar er enn ókannað hvort vinna megi eitthvað heitari vökva á skilum leka bólstrabergskaflans og þéttu lagana þar undir. Á slíkum skilum velgir varmaleiðni úr djúpa berggrunninum lítillaga sjómettað bergið ofan við, og þar er því helst að vænta sjávarhita ofan við 7 °C. Þó verður að teljast líklegt að það vatni kólni niður að 7-8 °C við mikla og langvarandi vinnslu. Ef vinna á slíkan vökva úr borholum, þarf að fódra holurnar því nær í gegnum leka bólstrabergið, en skilja þó eftir ófóðraðan kafla neðst í bólstraberginu. Sjávarataka úr slíkri holu ræðst þá af gæfni æða á ófóðraða kaflanum.