



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

**Jarðhitarannsóknir á Reykjum
við Reykjabraut 1992-1993**

Ragna Karlsdóttir, Grímur Björnsson
og Magnús Ólafsson

Unnið fyrir Hitaveitu Blönduóss

OS-93058/JHD-14

Nóvember 1993



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 610 561
[/os/pi/jhd.os/laghit/reykir.t](http://os/pi/jhd.os/laghit/reykir.t)

**Jarðhitarannsóknir á Reykjum
við Reykjabraut 1992-1993**

Ragna Karlsdóttir, Grímur Björnsson
og Magnús Ólafsson

Unnið fyrir Hitaveitu Blönduóss

OS-93058/JHD-14

Nóvember 1993

ISBN 9979-827-31-9

ÁGRIP

Hitaveita Blönduóss hefur unnið heitt vatn úr jarðhitakerfinu á Reykjum við Reykjabraut undanfarin 16 ár. Þrátt fyrir þessa löngu vinnslusögu var vitneskja um innri gerð og eðli jarðhitakerfisins af skornum skorti. Á haustdögum 1991 ákvað stjórn Hitaveitu Blönduóss að gera áttak í jarðhitarannsóknnum á Reykjum. Líta niðurstöður þeirra dagsins ljós í þessari skýrslu.

Úrvinnsla vinnslu- og vatnsborðssögunnar á Reykjum sýnir að hægt er að herma hana með tveggja geyma, þjöppuðu geymislökani. Þetta líkan verður að vera opið til þriðja og víðáttumesta geymisins, sem er þá annað tveggja grunnvatnskerfið við yfirborð og/eða djúpt og öflugt jarðhitakerfi. Þá benda hermireikningarnir til þess að nú sé jafnvægi milli innstreymis og vinnslu úr jarðhitakerfinu þannig að ekki er ástæða til að óttast orkuskort á næstu árum.

Efnasamsetning vatnssýna á Reykjum hefur ætíð bent til þess að jarðhitakerfið einkennist af 90-100 °C heitu vatni, sem er í nokkurri mótsögn við það 71-76 °C heita vatn sem nú fæst úr vinnsluholum. Þetta er talið sýna að holurnar séu boraðar hliðlægt við heitasta hluta jarðhitakerfisins. Þá hafa efnamælingarnar sýnt að kísilstyrkur vatnssýna lækkaði nokkuð frá upphafi djúpborana árið 1976 og fram til ársins 1986. Síðan stóð hann í stað um hríð en hækkaði á nýjan leik þegar dró úr vinnslu í kjölfar sölukerfisbreytingar hjá Hitaveitunni haustið 1989.

Enn verða efnabreytingar í aðalvinnsluholu Hitaveitunnar, holu 5, milli árána 1991 og 1992. Þær bentu til innstreymis kalds vatns í holuna. Staðfesting fékkst á þessu við dæluupptekt haustið 1993, en þá sást gat á vinnslufóðringu á 7½ m dýpi. Runnu inn um það 0,2-0,3 l/s af 11 °C heitu vatni. Gert var við gatið til bráðabirgða og er viðgerðin talin hafa heppnast. Sést það m.a. af tæplega 1 °C hækkun í vinnsluhita holunnar, en hann er nú skráður ásamt fleiri þáttum í vinnslusögu svæðisins með sívakandi gagnasöfnunartæki á Reykjum.

Hitamæling, sem var gerð í tengslum við dæluupptekt holu 5, sýnir að efsta æð holunnar virðist enn óbreytt í hita frá því sem mældist árið 1977. Einnig sýnir mælingin að æðar neðan 600 m dýpis hafa hitnað um 3-4 °C á sama tímabili. Hitnunin sannar nálægð holunnar við heitari vatnsleiðara. Rennir þetta stöðum undir þá niðurstöðu efnafræðinnar að vatnið á Reykjum sé mun heitara en fæst úr núverandi holum.

Viðnámsmælingar með Kínaaðferð voru gerðar á Reykjum sumarið 1992. Niðurstöður þeirra benda til þess að uppstreymisrás heita vatnsins fylgi sprungu með N-S stefnu og er hún nokkru vestar en vinnsluholunnar á Reykjum. Aðrar stefnur á uppstreymisrásinni gætu einnig komið til greina en þykja ólíklegri. Því er lagt til að hiti við hina meintu N-S uppstreymisrás verði skoðaður með nokkrum, grunnum hitastigulsholum og þannig staðfest að hún sé leiðari heits vatns. Reynist svo eru góðar líkur á að N-S rásin sé hið raunverulega jarðhitakerfi á Reykjum. Er þá ekkert því til fyrirstöðu að reyna borun nýrrar vinnsluholu í rásina með það að markmiði að vinna mun heitara og orkumeira vatn en nú gefst úr eldri holum.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	2
MYNDASKRÁ	3
TÖFLUSKRÁ	3
1. INNGANGUR	4
2. ÞJAPPAÐ GEYMISLÍKAN AF REYKJASVÆÐI	6
3. VINNSLUEFTIRLIT OG FÓÐRINGARLEKI Í HOLU 5	8
4. VIÐNÁMSSNIÐSMÆLINGAR	13
4.1 Úrvinnsla og niðurstöður	13
4.2 Tillögur að rannsóknarborunum	15
5. FRAMTÍÐARHORFUR Í REKSTRI HITAVEITU BLÖNDUÓSS	17
6. NIÐURSTÖÐUR	19
7. HEIMILDIR	20
VIÐAUKI I: Viðnámslíkön mælilífna á Reykjum	21

MYNDASKRÁ

1	Afstöðumynd af borholum á Reykjasvæði.....	5
2	Þjappað geymislíkan af jarðhitakerfinu á Reykjum.....	6
3	Spár um framtíðarvatnsborð á Reykjasvæði við mismikla vinnslu.....	7
4	Styrkur kísils, kalsfums og magnesfums í vatni holna 5 og 6.....	9
5	Hitamælingar í holu 5.....	11
6	Mælingar úr nýju gagnasöfnunartæki á Reykjum.....	12
7	Lega viðnámsmælilífna á Reykjasvæði.....	15
8	Niðurstöður viðnámsmælinga á Reykjum.....	16

TÖFLUSKRÁ

1	Borholur á Reykjum við Reykjabraut.....	5
---	---	---

1. INNGANGUR

Í þessari skýrslu eru lagðar fram niðurstöður rannsókna á jarðhitasvæðinu á Reykjum við Reykja-
braut árið 1992 og fram á mitt ár 1993. Til þessara rannsókna var stofnað að afloknum fundi sem
nokkrir starfsmenn Orkustofnunar héldu með Bæjarstjórn Blönduóss og Veitustjórn Hitaveitunn-
ar í desember 1991 (Guðbjartur Ólafsson, 1991). Á fundinum var fjallað um stöðu og horfur í
rekstri Hitaveitu Blönduóss. Jafnframt var þess óskað af hálfu heimamanna að með fundinum
mætti móta rekstrarstefnu fyrir Hitaveituna til framtíðar.

Á umræddum fundi var fjallað um möguleika á vatnsöflun á nýjum svæðum nærri Blönduósi.
Eins var lýst samantekt um vinnslu úr Reykjasvæðinu. Þar kom fram að ekki væri hætt á að
vatnsborð í holum færi niður fyrir dælur á veturnum, þökk sé minni vatnsnotkun á Blönduósi. Báð-
um þessum málefnum eru gerð skil í skýrslu sem afhent var á fundinum (Helga Tulinius o.fl.,
1991). Í kjölfar fundarins var mörkuð sú stefna að Reykir yrðu áfram eina vinnslusvæði Hitaveit-
unnar og skyldu frekari rannsóknir beinast að því. Þar sem enn var margt óljóst um innri gerð og
eðli jarðhitakerfisins var ákveðið að gera áttak í jarðhitarannsóknum á Reykjasvæðinu árin 1992
og 1993 (Grímur Björnsson, 1992a). Þar yrði höfuðáherslan lögð á eftirtalin atriði:

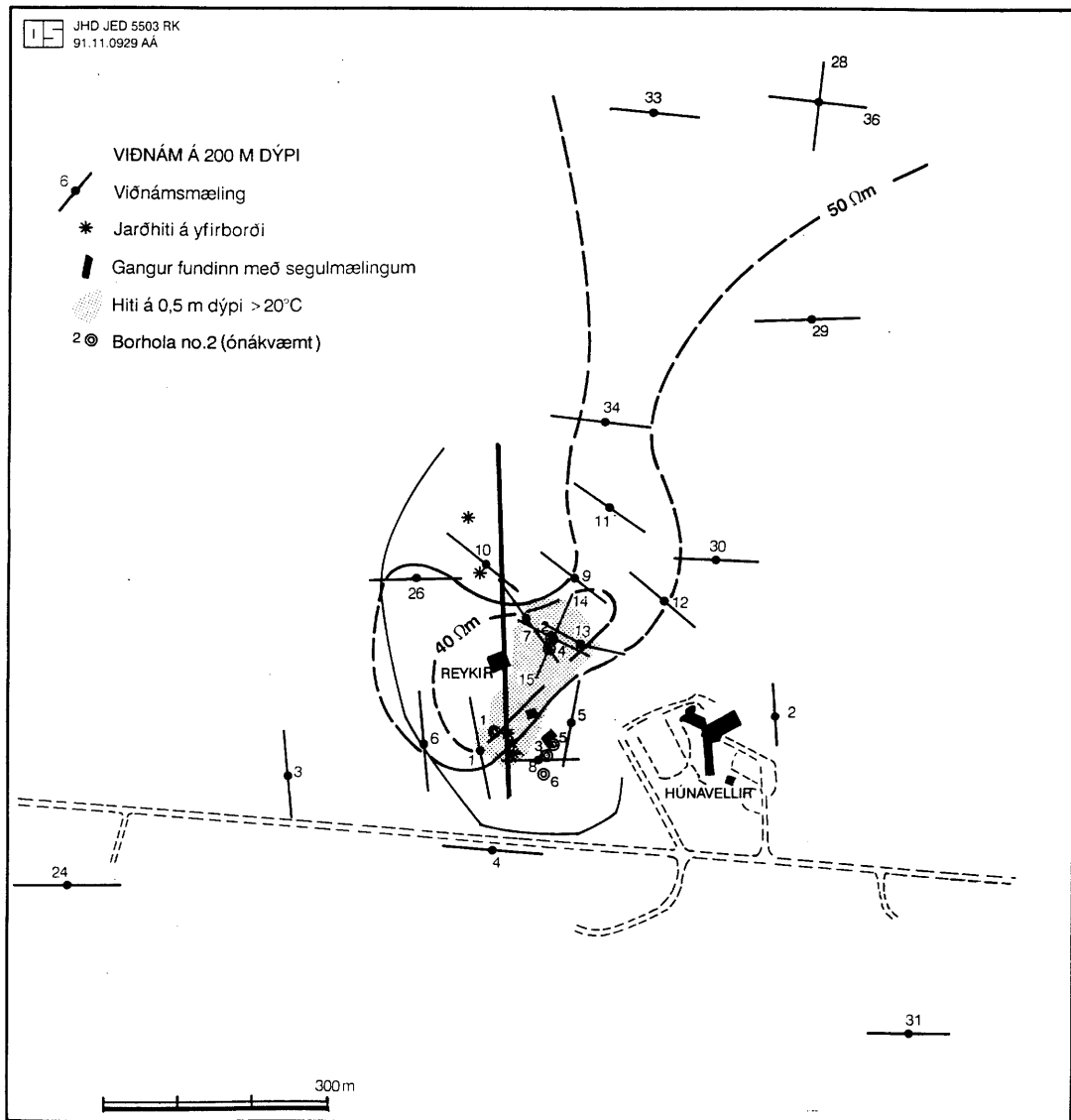
1. *Gerð vatnsborðsspár fyrir Reykjasvæðið.* Í þessum þætti skyldi ljúka samantekt vinnslu-
gagna á Reykjasvæði og nota þau síðan til gerðar þjappaðs geymslískans af jarðhitakerfinu.
Þessum verkþætti lauk með skýrslu til Hitaveitunnar í júní 1992 (Grímur Björnsson,
1992b).
2. *Töku vatnssýna úr holu 5 á tveggja mánaða fresti.* Með þeim skyldi leita orsaka fyrir
breytingum í efnainnihaldi kísils og kalsíums í holunni (Helga Tulinius o.fl., 1991). Gerð
er grein fyrir úrvinnslu þessara mælinga í nýlegri greinargerð (Guðrún Sverrisdóttir og
Hrefna Kristmannsdóttir, 1993).
3. *Leit að lóðréttum vatnsleiðurum á Reykjasvæði.* Afráðið var að hefja leit að uppstreymis-
rásum heits vatns í jarðhitakerfinu á Reykjum. Beitt skyldi svonefndum viðnámsniðsmæl-
ingum (Kínámælingum) og yrðu mælingar gerðar sumarið 1992 en úrvinnslu og skýrslu
lokið árið 1993.
4. Þessum rannsóknarþáttum öllum skyldi svo ljúka með afhendingu skýrslu og kynningar-
fundi á Blönduósi um mitt ár 1993. Á honum yrði niðurstöðum rannsókna lýst og lagðar
fram hugmyndir um framtíðarrekstur Hitaveitunnar.

Hér á eftir verður ofangreindum rannsóknarþáttum lýst. Tveimur rannsóknarþáttanna hefur þegar
lokið með afhendingu skýrslu og greinargerðar og verður niðurstöðum þeirra aðeins lýst stuttlega
(vatnsborðsspár og efnaeftirlit). Meginumfjöllun skýrslunnar verður því um viðnámsmælingarn-
ar á Reykjum og mögulegt framhald leitar að heitara vatni á svæðinu.

Hitaveita Blönduóss tók til starfa haustið 1977. Hún hefur nýtt vatn af Reykjasvæðinu allan þann
tíma. Á mynd 1 er afstaða holna á svæðinu sýnd, staðsetning lauga og hitaskellu í jarðvegi og
viðnám á 200 m dýpi (Helga Tulinius o.fl., 1991). Alls hafa 6 holur verið boraðar á svæðinu.
Tafla 1 gefur yfirlit um þær.

Tafla 1. Borholur á Reykjum við Reykjabraut.

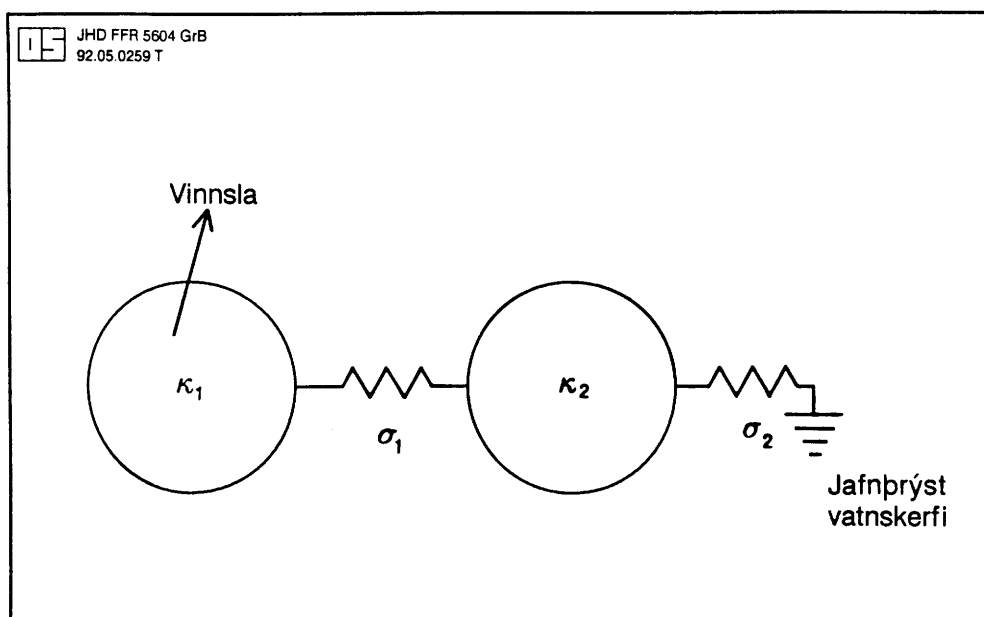
Hola nr.	Borun lokið Dags.	Dýpi (m)	Fóðringar		Meðalvinnsla 1989 (l/s)
			Pvermál (")	Dýpi (m)	
1	18.09.67	234,4	5	18	0
2	20.12.73	329,1	10	6,4	0
3	16.02.74	608,3	5	4,2	0
4	30.04.76	1186,5	14	9,4	<1
			10	129,9	
5	17.06.76	867,0	14	8,5	26,0
			10	162	
6	13.06.79	1676,0	16	19,3	5,4



Mynd 1: Afstöðumynd af borholum á Reykjumsvæði (Helga Tulinius o.fl., 1991).

2. ÞJAPPAÐ GEYMISLÍKAN AF REYKJASVÆÐI

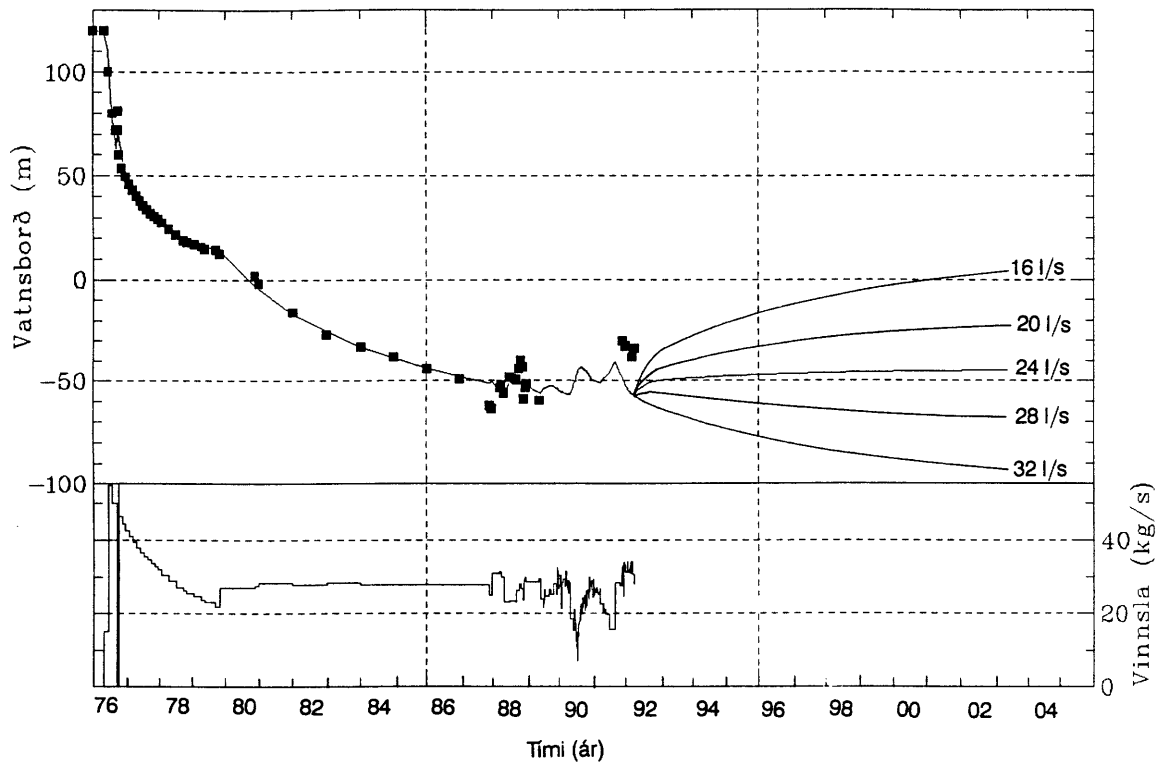
Í nýlegri skýrslu Orkustofnunar er lýst þjöppuðu geymslókani sem hermír sögu vinnslu og vatnsborðs á Reykjum (Grímur Björnsson, 1992b). Mynd 2 sýnir geymslókanið sem kom út úr þeim athugunum. Það samanstendur af tveimur geymum með vatnsrýmdir κ sem tengjast með rennslisviðnámunum σ . Innsti geymirinn (númer 1) lýsir þeim hluta jarðhitakerfisins sem borholur vinna vatn úr. Er hann í raun næsta umhverfi holna 5 og 6. Þessi geymir tengist við næsta geymi (númer 2) með viðnáminu σ_1 . Sá geymir hermír vatnskerfið utan við jarðhitakerfið og er hann mun stærri en geymir 1. Enn kemur tenging frá þeim geymi (σ_2), en nú við vatnskerfi sem er það stórt að þrýstingur í því breytist óverulega, þrátt fyrir vinnsluna úr hinum tveimur. Þetta jafnþrýsta vatnskerfi yst í líkaninu getur verið kalda grunnvatnið ofan jarðhitakerfisins og/eða jarðhitakerfi sem enn hefur ekki dalað í þrýstingi vegna vinnslunnar á Reykjum. Hægt er að grófmæta stærð vatnskerfisins á Reykjum út frá eiginleikum þjappaða líkansins. Gæti það verið um 8 km á kant og um 1 km á þykkt. Óvíst er hve stór hluti þess er yfir 70 °C heitur (Grímur Björnsson, 1992b).



Mynd 2: Þjappað geymslókani af jarðhitakerfinu á Reykjum.

Mynd 3 sýnir hvernig samræmi fékkst milli mælds vatnsborðs holu 5 á Reykjum og reiknaðs með þjappaða líkaninu á mynd 2. Jafnframt eru sýndar á myndinni spár um vatnsborð holunnar fram til ársins 2005, einnig gerðar með þjappaða geymslókáninu. Samkvæmt spánum nær vatnsborð Reykjasvæðisins jafnvægi við u.þ.b. 24 l/s meðalvinnslu, þ.e. innstreymi í kerfið er þá jafnmikið og vinnslan úr því. Þetta magn er nokkru meira en nemur meðalvinnslu árána 1990 og 1991 (22,5 l/s). Spáreikningar um vatnsborð á Reykjasvæði sýna því að núverandi vinnsla er nokkurn veginn í jafnvægi við aðstreymi í jarðhitakerfið. Því er ekki að vænta lækkunar vatnsborðs í næstu framtíð ef vinnsla helst um og undir 24 l/s að meðaltali (Grímur Björnsson, 1992).

JHD FFR 5604 GrB
92.05.0268 T



Mynd 3: Spár um framtíðarvatnsborð á Reykjasvæði við mismikla meðalvinnslu. Vatnsborðið er sýnt án iðustreymistapa.

Rétt er að ítreka að ferlarnir á mynd 3 byggja á gloppóttri og á margan hátt óvissri vinnslusögu jarðhitakerfisins. Reiknilíkan sem byggir á slíkum gögnum verður aldrei betra en gögnin sjálf. Því ber að líta á mynd 3 sem frumstætt mat á vatnsborði kerfisins sem ekki verður endurbætt fyrir en nokkur ár ítarlegrar vinnslu- og vatnsborðsskráningar hafa bæst í safnið.

3. VINNSLUEFTIRLIT OG FÓÐRINGARLEKI Í HOLU 5

Á undanförunum árum hefur Jarðhitadeild Orkustofnunar tekið sýni af heitu vatni til efnarannsóknna úr holu 5, aðalvinnsluholu Hitaveitu Blönduóss á Reykjum. Jafnframt hafa verið tekin sýni úr holu 6 og í Áhaldahúsi Blönduóss. Yngstu vatnssýnin voru tekin í apríl 1993. Þá var á árinu 1992 fylgst sérstaklega með breytingum í styrk kísils og kalsíums og voru tekin vatnssýni á tveggja mánaða fresti í þeim tilgangi. Greiningu þessara vatnssýna er lokið og er niðurstöðum lýst í nýlegri greinargerð (Guðrún Sverrisdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir, 1993).

Ein af mikilvægustu niðurstöðum efnaeftirlitsins á Reykjum er að svokallaður efnahiti eða upprunahiti vatnsins þar er á bilinu 90-100 °C. Það er 20-30 °C hærra en hola 5 gefur (Helga Tulinius o.fl., 1991). Þetta er órækt merki þess að hola 5 sé jaðarhola í jarðhitakerfinu. Lfklegra dregur hún sér vatn, sem leggur af stað 90-100 °C heitt, og streymir langa leið um berg sem er um og undir 70 °C heitt. Þessi vísbending er höfuðástæða þess að ákveðið var að hefja á ný jarðhitaleit á Reykjum, með það að markmiði að bora holu sem gæfi heitara vatn en nú fæst.

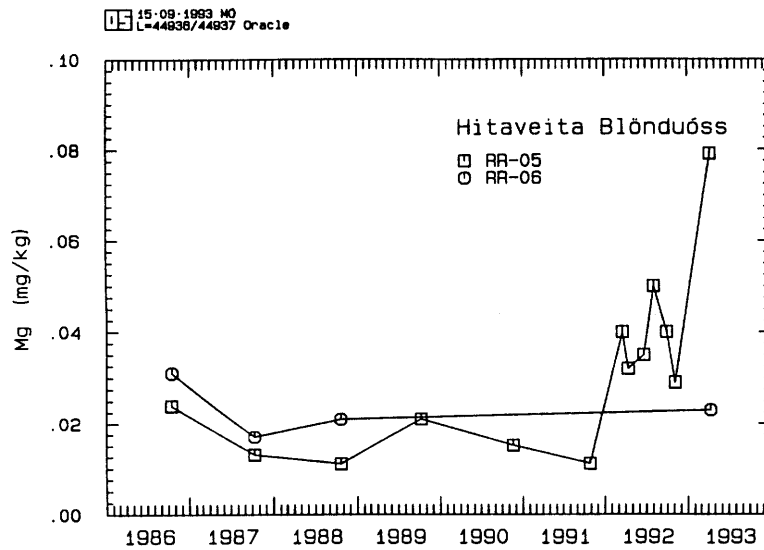
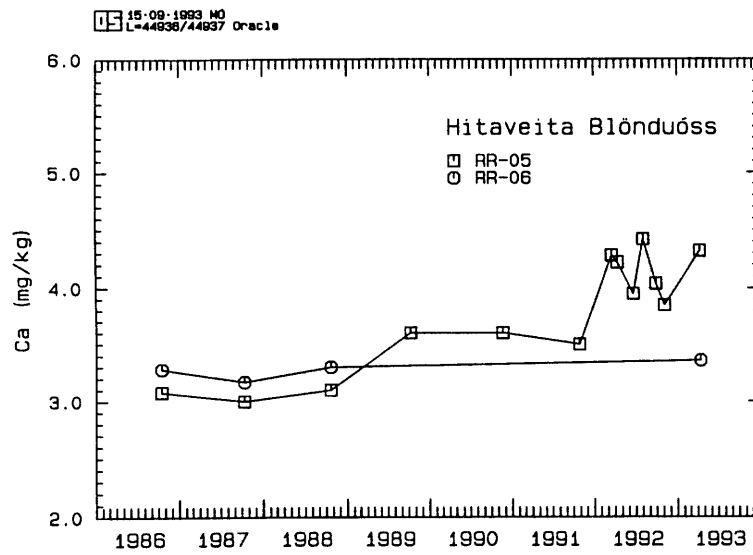
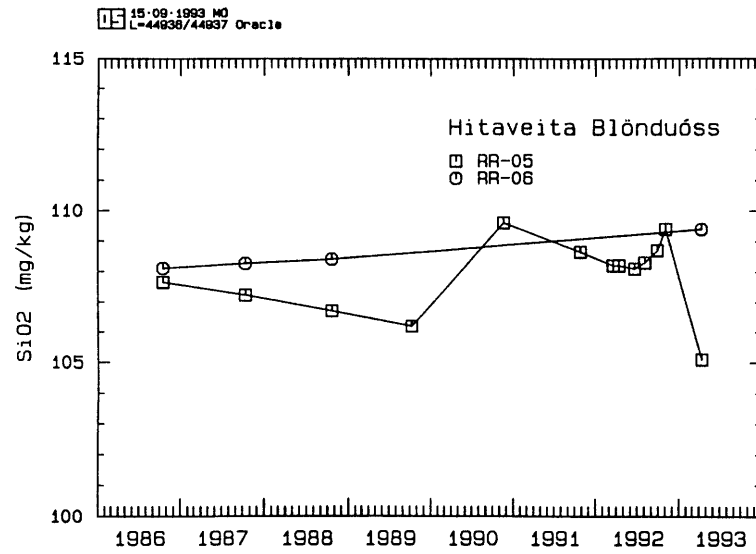
Flestar eldri greinargerðir og skýrslur Orkustofnunar um efnaeftirlit á Reykjum eiga það sammerkt að í þeim var talið að ekki hefðu orðið marktækar breytingar í efnasamsetningu jarðhitavatnsins (Magnús Ólafsson, 1986; Hrefna Kristmannsdóttir, 1987; Auður Ingimarsdóttir, 1989; Helga Tulinius og Magnús Ólafsson, 1990). Var þá miðað við sýni tekin á og eftir árið 1986. Í ljósi aukinna gagna um efnasamsetningu vatnsins var þessari túlkun síðan breytt í skýrslu Helgu Tuliniusar o.fl. (1991). Þar er sýnt fram á að styrkur kísils í jarðhitavatninu hefur lækkað töluvert frá 1976 en hækkar síðan á ný milli árána 1989 og 1990. Jafnframt sjást merki um breytingar í styrk annarra efna eftir 1989. Ástæður þessara styrkbreytinga voru raktar til minnkandi vinnslu úr jarðhitakerfinu og hækkuðum þrýstingi þess.

Breytingar þessar koma glögglega fram á mynd 4, sem sýnir styrk kísils, kalsíums og magnesíums í vatni úr holum 5 og 6 yfir árabilið 1986 til 1993. Þar sést að efnasamsetning vatns úr holu 6 hefur ekki breyst á marktækan hátt á tímabilinu, en aftur á móti hefur styrkur þessara efna í vatni úr holu 5 sveiflast verulega, sérstaklega frá árinu 1991. Breytingarnar sem þá urðu voru raktar til innstreymis á köldu vatni í jarðhitakerfið, lfklegra nærri holu 5 (Guðrún Sverrisdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir, 1993).

Um miðjan aprílmánuð síðastliðinn voru tekin hlutsýni úr holum 5 og 6 og eru niðurstöður efnagreininga færðar með inn á mynd 4. Mælingarnar sýndu að kísill í vatni úr holu 5 hafði lækkað verulega frá því sem áður hafði mælst, styrkur kalsíums hélst í áður mældu hámarki og styrkur magnesíums tvöfaldaðist frá fyrra hámarki (úr 0,04 í 0,08 mg/l). Efnabreytingar voru hins vegar óverulegar í holu 6.

Þau gögn sem fyrir lágu um efnasveiflur í holu 5 bentu til sambands milli vinnslu úr holunni og styrks magnesíums í vatninu. Sambandið kom þannig fram að þegar vinnsla minnkaði þá hækkaði styrkur magnesíums. Þetta mátti skýra þannig að vatnsæð sú, sem er menguð kaldara grunnvatni og olli efnabreytingunum, veitti alltaf sama magni til holunnar. Vel gat þar verið um að ræða gat á fóðringu. Til að kanna þetta var ákveðið að hitamæla holuna í tengslum við dæluupptekt í september 1993.

Hitamælingin var gerð þann 21. september 1993. Tvennt vakti strax athygli mælingamanns er komið var að holu 5. Í fyrsta lagi sást veruleg útfelling utan á neðstu 20 m dæluörönnu. Var hún svo mikil að ekki vottaði fyrir múffum á samskeytum auk þess sem ryðflögur og skellur voru upp



Mynd 4: Styrkur kfsils (SiO_2), kalstums (Ca) og magnesíums (Mg) í vatni holna 5 og 6.

með allri dælu. Í öðru lagi sást sfrennsli inn í holuna gegnum gat á fóðringu, ofan vatnsborðs. Gatið er á u.þ.b. 7½ m dýpi, miðað við flans, og snýr til SSV. Vatnsbunan úr því náði yfir holuna og smali á veggnum á móti, því líkast að rynni úr garðslöngu. Hiti vatnsins sem inn kom var rúmar 11 °C. Sýni var tekið af útfellingunni neðst á dælunni svo og af vatninu sem rann inn. Er útfellingin að mestu leyti kalsítt, sem hefur fallið út við blöndun heita og kalda vatnsins í holunni. Efnagreiningu vatnssýnisins er ekki lokið. Munu niðurstöður hennar fylgja niðurstöðum af sýni sem var tekið eftir að dæling hófst á ný úr holu 5. Kemur þá í ljós hvort efnabreytingarnar hafa gengið til baka.

Allar líkur eru á að gatið á fóðringunni sé á mótum malarlags á yfirborði og undirliggjandi klappar. Athugun á borskýrslum sýnir að holan er fóðruð með 14" röri í 8,5 m og þar innan í kemur svo 10" rör sem nær frá yfirborði í 162 m. Þar sem þessar tölur eru væntanlega miðaðar við drifborð jarðborsins Narfa, gæti raunveruleg lengd 14" rörsins verið um 7½ m. Það passar við dýpið á fóðringarlekann. Gatið er því eingöngu á 10" rörinu. Tilurð þess má skýra með tvennum hætti, 1) tæringu af völdum grunnvatns, eða 2) vogarafli sem melurinn við holu 5 setur á fóðringuna við hægfara skrið til norðurs.

Þegar djúpdælan fór á nýjan leik niður í holu 5, voru settir tveir gúmmshringir utan á dælurörið sem fylla út í bilið milli dælu og fóðringar. Efri hringurinn er á u.þ.b. 8 m dýpi og sá neðri 6 m neðar. Þessu til viðbótar var hellt gúmmgeli ofan á hringina til frekari þéttingar. Er þannig vonandi búið að stöðva niðurrennslið frá gatinu í 7½ m dýpi. Þetta verður að skoða sem bráðabirgðaviðgerð. Varanlegri viðgerð felst í einu af þrennu: 1) 10-15 m langri fóðringu sem er steipt innan í 10" rörið; 2) greftri drengurðar sunnan við holuna sem tæki þrýstinginn af grunnvatninu og stöðvaði hugsanlegt framskrið á melnum og 3) að melurinn verði grafinn burtu og holutoppurinn lækkaður niður að klöppinni. Sfðasti kosturinn gæti reynst áhugaverður til lengri tíma litið. Hann minnkar aflþörf í dælingu og leiðir þannig til beins rafmagnssparnaðar.

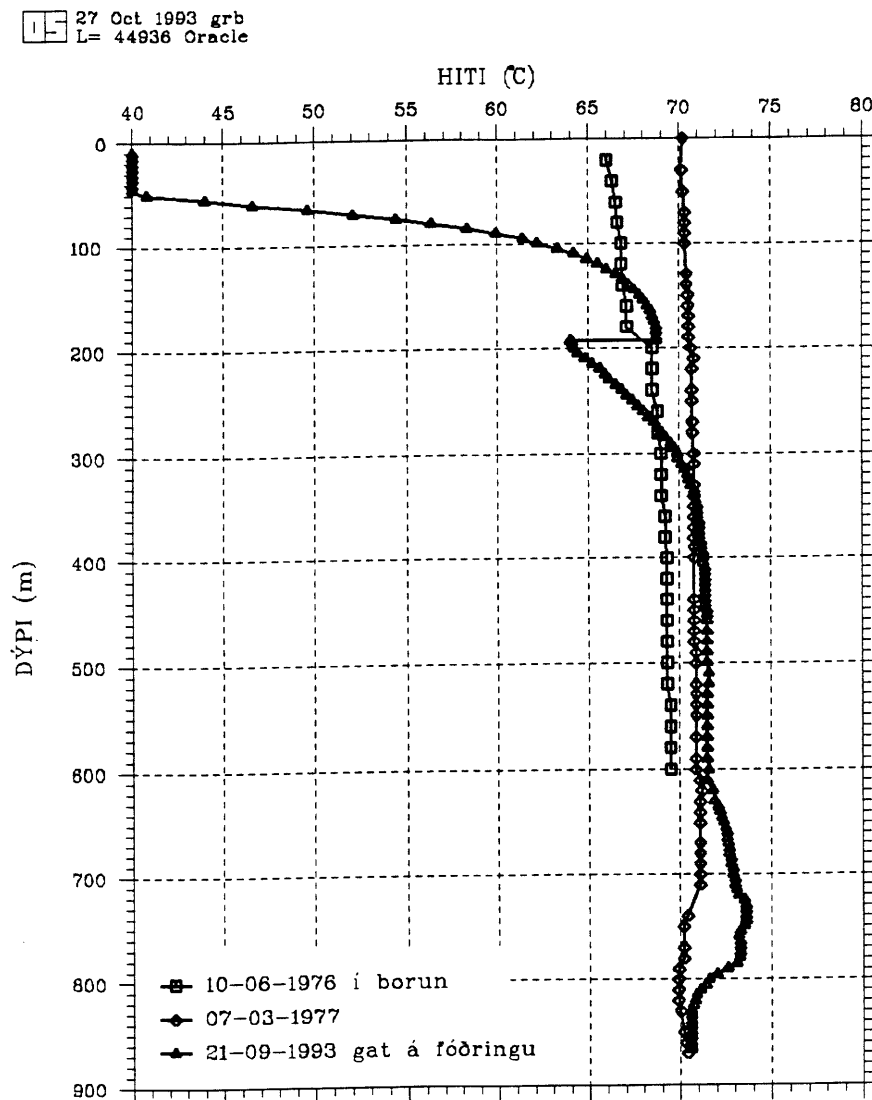
Mynd 5 sýnir hitamælinguna sem var gerð í holu 5 þann 21. september sfðastliðinn ásamt eldri mælingum. Þegar mælingin er gerð, á sér stað hægfara niðurrennsli í holunni, annars vegar úr gatinu á 7½ m en hins vegar úr æð á 195 m. Þessi æð er nú um 64 °C heit og var kaldari en 66 °C í hitamælingu frá 10. júní 1976. Allar líkur eru því á að æðin hafi haldist óbreytt í hita alla vinnslusögu holu 5. Mun athyglisverðari upplýsingar má lesa úr hita holunnar neðan 600 m dýpis. Þar sést að holan hefur hitnað um 3-4 °C milli mælinga gerðra 1977 og 1993. Þessi hitnun er marktæk þar sem botnhiti holunnar er sá sami í báðum mælingum. Hitnunina liggur beinast við að skýra með návist holunnar við heitara vatnskerfi. Það styrkir þá niðurstöðu efnafræðinnar að jarðhitakerfið á Reykjum sé töluvert heitara en vatnið sem fæst úr holu 5.

Jafnframt töku vatnssýna var komið á sjálfvirkri skráningu vatnsborðs holna 3, 5 og 6, dælingu og vinnsluhita holna 5 og 6, og útihita á Reykjum. Við skráningarnar er notað gagnasöfnunartæki sem þróað var á Orkustofnun. Rekstur þess hófst í byrjun nóvember 1992 og er hluti niðurstaðna sýndur á mynd 6. Mælitækið tekur 6 klst. meðaltöl hita og vatnsborðs og skráir í minni. Það er tengt símalínu og má hringja í það hvenær sem er og fá þannig fram augnabliksástand svæðisins eða afrit af gögnunum í minninu.

Mynd 6 sýnir vel hvernig vatnsborð sígur á Reykjvasvæðinu í byrjun vetrar 1992 og var það komið í 35 m dýpi í janúar 1993. Þar var jafnframt endinn á loftslöngunni sem mælir vatnsborðið. Í byrjun apríl 1993 nær vatnsborð holu 3 á ný í 35 m og fór svo hæst í 10 m í byrjun október. Vinnsluhiti holu 5 var 71-71,5 °C veturinn 1992-1993 og sveiflaðist óverulega. Þó má sjá einstaka skot í hitasögunni þar sem hitinn fellur niður fyrir 70 °C. Þessar hitalægðir koma þegar raf-

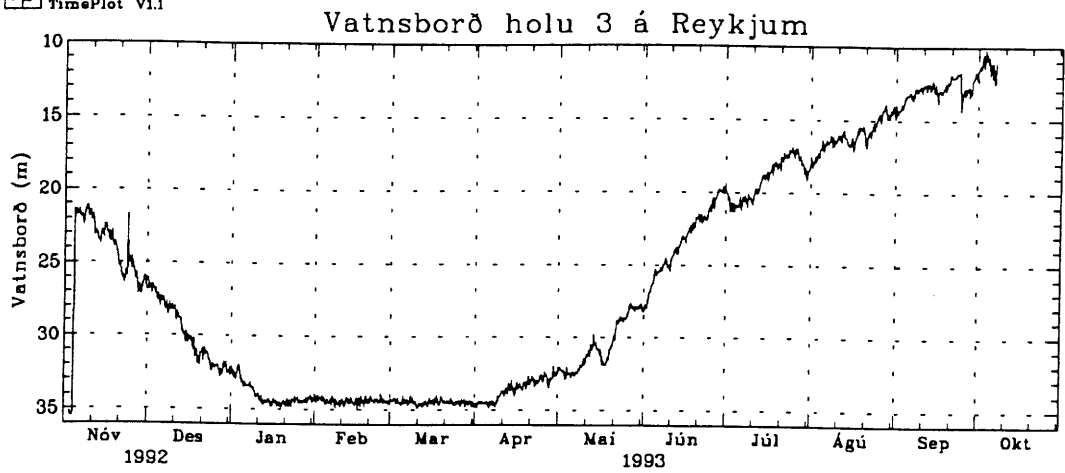
magn fer af djúpdælu holu 5. Þá kólnar lögnin sem hitaskynjarinn er í og hitinn lækkar.

Hitasagan tekur svo athyglisverða stefnu við dæluupptektina í september 1993. Þá sést á tímabili 72,5 °C hiti meðan að dælt er úr holu 6, en hærri vinnsluhiti hennar kemur einhverra hluta vegna fram á mæli holu 5. Dæla holu 5 fer svo aftur í gang um miðjan september. Vex þá vinnsluhiti hennar á 2 vikum um 0,8 °C. Þessa hitnun má skýra með stöðvun innrennslis úr fódringargatinu á 7½ m dýpi. Jafnframt má áætla rennslid inn um gatið, fyrir viðgerð, á eftirfarandi hátt. Ef gert er ráð fyrir að hiti blöndunnar sem kom úr holu 5 hafi verið 71,4 °C (mynd 6), hiti kalda vatnsins á 7½ m sé 11 °C (mynd 5) og að hiti vatnsins sem kom neðan úr holunni sé 72,2 °C, fæst að rúmlega 1 % þess sem dælt var hafi komið gegnum gatið á fódringunni. Innrennslid hefur þá verið á bilinu 0,2-0,3 l/s, miðað við 20-30 l/s heildarvinnslu úr holu 5.

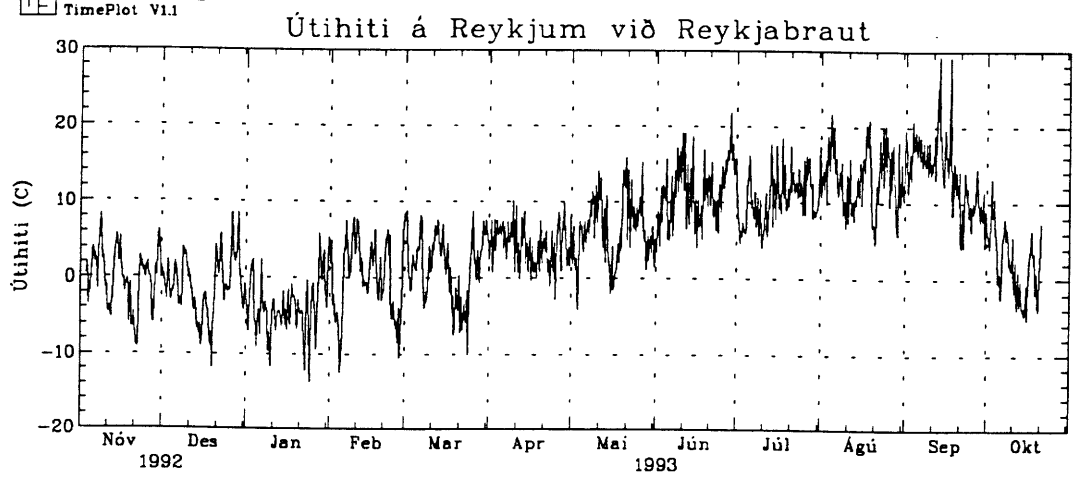


Mynd 5: Hitamælingar í holu 5.

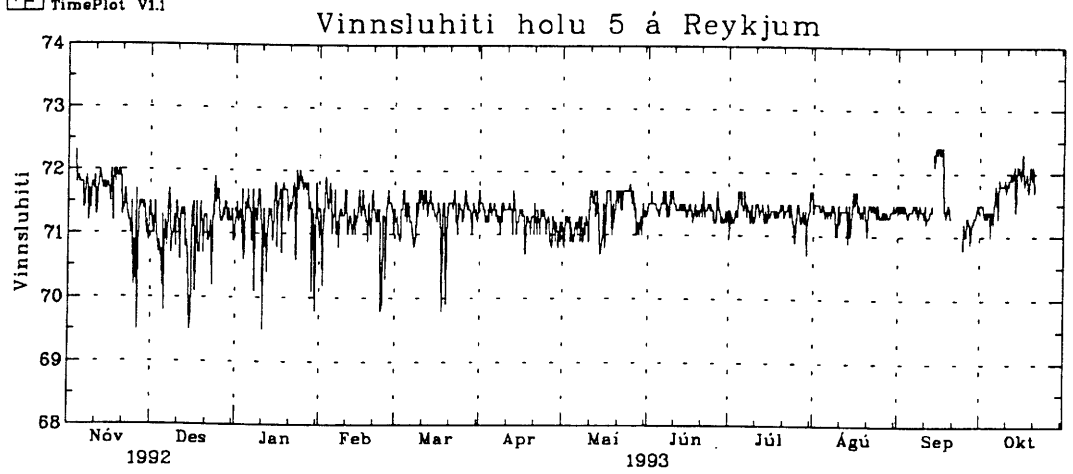
26 Oct 1993 GrB
TimePlot V1.1



26 Oct 1993 GrB
TimePlot V1.1



26 Oct 1993 GrB
TimePlot V1.1



Mynd 6: Mælingar úr nýju gagnasöfnunartæki á Reykjum.

4. VIÐNÁMSSNIÐSMÆLINGAR

Eitt af einkennum svæða þar sem heitt vatn er á ferðinni grunnt í jörðu, er að þar leiðist rafstraumur mjög vel um jarðlög. Þessi eiginleiki jarðhitasvæðanna hefur því verið óspart mældur hérlendis sem erlendis. Venja er að kalla mælingar á rafleiðni jarðlaga viðnámsmælingar. Mörgum aðferðum er beitt við slíkar mælingar en oftast er rafstraumi hleypt um jörðu gegnum tvö rafskaut og síðan mælt hve mikil spennu myndast í yfirborði milli tveggja spennuskauta sem eru sett á jörðina milli rafskautanna. Fjölmargar Schlumberger viðnámsmælingar voru gerðar á Reykjavæðinu árin 1973-1975 (Helga Tulinius o.fl., 1991). Þær sýndu að viðnámslægð með NA-SV stefnu fylgir jarðhitakerfinu á Reykjum og lenda hitasvæðið í yfirborði og laugarnar innan þess (mynd 1).

Síðastliðinn áratug hafa svo orðið miklar framfarir í framkvæmd og úrvinnslu viðnámsmælinga. Meðal annars hefur komið fram ný aðferð sem er kölluð viðnámsniðsmæling (Kínámæling). Í viðnámsniðsmælingum eru spennu- og straumskaut færð eftir línnum og jafnri fjarlægð haldið milli skautanna. Mælingin gefur því viðnám eftir línunni. Sérstök uppstilling skautanna verður til þess að mælingin er næm fyrir lóðréttum viðnámskilum. Þannig getur vatnsleiðari komið fram sem þunn, lóðrétt *lágviðnámsprungu*. Þessari mæliaðferð hefur verið beitt á lághitasvæðum hér á landi síðastliðinn áratug og hefur hún gefið góða raun.

Sumarið 1992 var viðnámsmælt að Reykjum við Reykjabraut í því skyni að leita að vatnsleiðurum sem stjórna uppstreymi heits vatns í jarðhitakerfinu. Mælt var í hríðarhaglanda um Jónsmessu og lagðar út fimm mælilínur. Lega mælilínanna sést á staðsetningarkorti á mynd 7. Hver lína var mæld tvisvar (nema lína 4) þ.e. einu sinni með 300 metra straumarmi og aftur með 500 metra straumarmi. Mælingarnar tóku fimm daga með undirbúningi og samantekt. Heildarafköst urðu 6250 metrar sem telst mjög góður gangur.

Til að viðnámsniðslína finni hugsanlega lágviðnámsprungu þarf línan að liggja því sem næst þvert á hana. Fyrirfram var búist við því að lóðréttar uppstreymisrásir stefndu N-S á Reykjum og voru mælilínur því lagðar í A-V. Til öryggis var lína 4 þó látin snúa í NV-SA ef verið gæti að uppstreymisrásin hefði A-V stefnu.

4.1 Úrvinnsla og niðurstöður

Úrvinnsla Kínámælinganna frá Reykjum hófst á gerð tvívíðs viðnámslíkans fyrir hverja mælilínu. Slíkt líkan gerir ráð fyrir að viðnám í jörðu geti breyst með dýpi og eftir mælilínu en ekki þvert á hana. Úrvinnslutækni við þessar mælingar hefur fleygt mjög fram á síðustu árum. Bæði er afkastageta tölvanna meiri og einnig hafa verið þróuð forrit sem gera alla úrvinnslu á viðnámsniðsmælingum mun fljótari. Líkanið er gert í höndunum út frá mæliniðurstöðum og síðan keyrt í gegnum tölvuforrit, sem raðar þeim viðnámsgildum í líkanið sem best falla að mældu viðnámsferlunum.

Eftir að slíkt líkón höfðu fengist fyrir allar mælilínurnar var eytt nokkrum tíma í að fá sannfærandi heildarmynd af viðnámi á Reykjavæði. Einnig var athugað sérstaklega hve rík þörf var á að innleiða lágviðnámsprungur í mælilínur. Staðsetning slíkra sprungna er höfuðniðurstaða mælinganna og því brýnt að vandlega sé athugað hvort þær eigi rétt á sér í viðnámslíkónunum. Í viðauka I er sýnd endanleg gerð viðnámslíkananna sem fengust fyrir mælilínurnar á Reykjum. Einnig er sýnt hvernig samræmi fékkst milli mældra og reiknaðra viðnámsferla. Niðurstöðurnar eru annars helstar (eftir mælilínum):

Lína 1 liggur VNV-ASA yfir borsvæðið á Reykjum, tæpum 20 metrum sunnan við holu 3. Í henni koma fram tvær lágviðnámssprungur, í 1040-1050 m og 1140-1150 m. Báðar eru mjög sterkar í líkaninu.

Lína 2 liggur A-V um 100 metrum sunnan Reykjabrautar. Í henni kemur fram ein sterk lágviðnámssprungu í 1025-1035 m ásamt annarri veikari í 950-960 m.

Lína 3 liggur um 200 metrum norðan við línu 1 og um 25 metrum norðan við holu 4. Í henni sjást þrjár lágviðnámssprungur; í 690-700 m, 770-780 m og í 900-910 m. Líklega er sú vestasta sterkust þótt erfitt sé að meta það.

Lína 4 liggur NV-SA, þvert á hinar línurnar. Hún var aðeins mæld með 500 metra straumarmi. Í henni sjást tvær lágviðnámssprungur, önnur í 550-575 m og hin í 1100-1125 m. Sú nyrðri er reyndar mjög óviss því hvoru tveggja sést hún ekki í nálægum línum auk þess sem hún lendir nærri enda mællífnunnar.

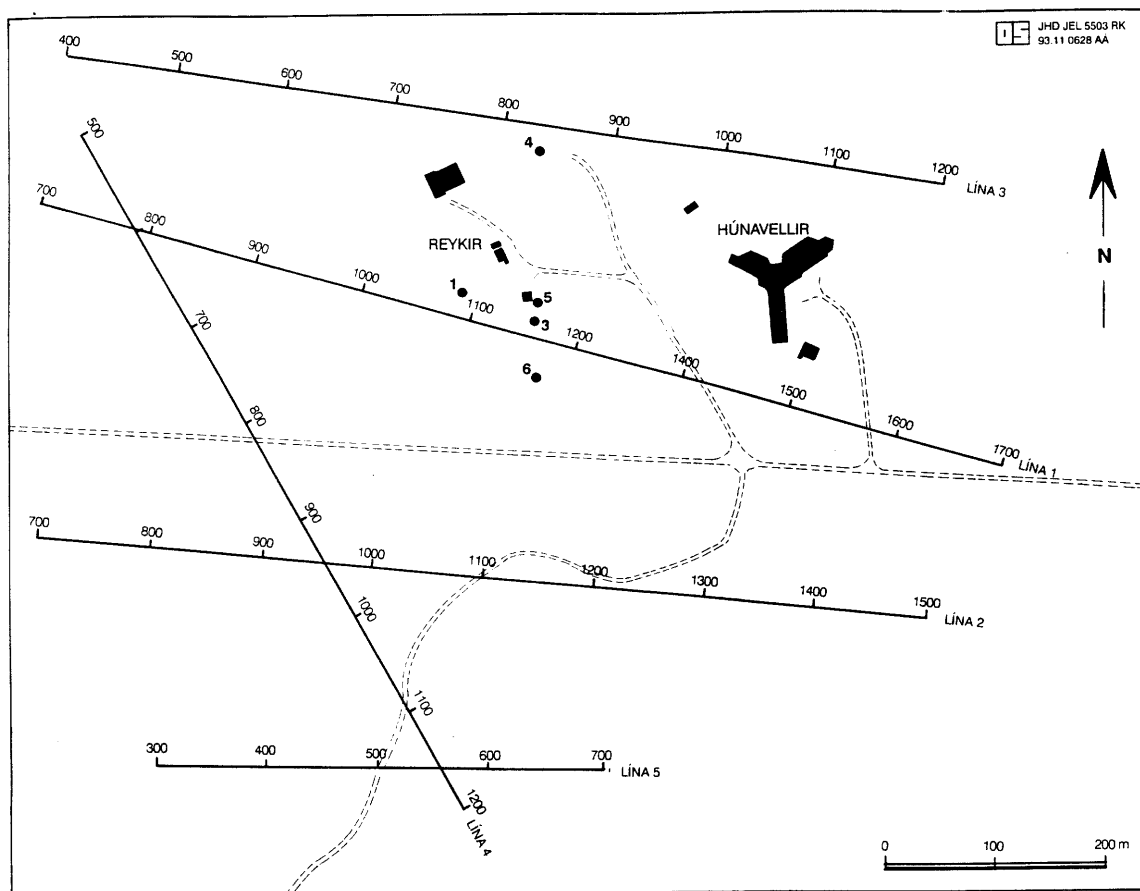
Lína 5 liggur A-V, tæplega 200 metrum sunnan við línu 2. Í henni er afgerandi lágviðnámssprungu í 550-560 m. Þessi sprunga virðist einnig koma í 1100 m í línu 4.

Á mynd 8 er sýnt hvar lágviðnámssprungur koma fram í mællífnunum á Reykjum. Allar sýna línurnar eina eða fleiri sprungur. Þessi fjöldi lágviðnámssprungna veldur því að ekki fæst einhlít tenging á milli lína. Á mynd 8 eru því dregnar inn þrjár tillögur að hugsanlegum, samfelldum lágviðnámssprungum á Reykjum, sem jafnframt eru þá lóðréttar uppstreymisrásir heita vatnsins á svæðinu. Annars vegar er það N-S rás (merkt A á myndinni) sem tengir vestustu sprunguna í línu 3 við lágviðnámssprungur í línum 1, 2, 4 og 5. Hins vegar eru það tvær NNA-SSV rásir (B og C á mynd 8) sem tengja lágviðnámssprungur í línum 1, 2 og 3 saman.

Ákveðin rök hníga að því að velja N-S rásina sem aðaluppstreymi heita vatnsins á Reykjum. Þau eru:

- N-S tengingin nær lágviðnámssprungu í öllum mællífnunum.
- Við úrvinnslu mælinganna var skoðað hvaða lágviðnámssprungur eru sterkastar í hverri línu. Ákveðnar vísbendingar eru um að vestasta sprungan í línu 3 sé sterkust og einnig að eystri sprungan í línu 2 sé sterkari en hin. Báðar eru í N-S rásinni.
- Stærstu laugarnar á Reykjum voru þar sem hola 1 er nú. Norðar á svæðinu voru tvær volgrur (mynd 8) og hitta þær í stefnu N-S rásarinnar, 50 og 100 metrum norðan við línu 3.
- Hola 1 var 72 °C heit á rúmlega 100 m dýpi, sem er ámóta heitt og hola 5 fær nú úr æðum á mun meira dýpi. Engin önnur hola nær slíkum hita svo grunnt. Það bendir til þess að hola 1 sé næst heitu uppstreymi Reykjasvæðisins sem fylgir þá N-S rásinni.
- Hitasvæðið grunnt í jörðu á Reykjum er í mestri hæð næst holu 1. Því eru mestar líkur á að þar eigi það upptök sín og að heitt vatn hafi streymt þaðan undan halla til NNA. Slíkt bendir ákveðið til uppstreymisrásar í SSV frá holu 1 sem þá fylgir N-S rásinni.

Þrátt fyrir að ofangreind rök bendi til þess að N-S rásin sé helsti vatnsleiðarinn á Reykjum er ekki hægt að afskrifa NNV-SSA rásirnar beggja vegna hitaskellunnar. Þar ræður mestu að holur 3 og 5 eru ágætlega vatnsgæfar og gætu því hafa skorið lóðréttu uppstreymisrás. Sú rás er þá eystri lágviðnámssprungan (C). Því er fýsilegt að greint verði borsvarf úr holum 4, 5 og 6 með það að markmiði að kanna hvort æðar holna 3 og 5 fylgi láréttum eða lóðréttum myndunum.



Mynd 7: Lega viðnámsmælilína á Reykjasvæði.

Athyglisvert er að hliðar hitaskellunnar fylgja B og C rásunum. Þar sem líklegt þykir að hitaskellan endurspegli lárétt afrennsli heits vatns úr suðri á litlu dýpi, er hugsanlegt að jaðrar hennar túlkist í viðnámsmælingunum sem lóðréttar lágviðnámssprungur. Það eykur líkurnar á að N-S rásin sé hinn raunverulegi vatnsleiðari á svæðinu. Annað athyglisvert atriði er að holur 4 og 6 lenda báðar utan lágviðnámssprungna. Það er í samræmi við lélega vatnsgæfni holnanna og styrkir þar með niðurstöður viðnámsmælinganna.

4.2 Tillögur að rannsóknarborunum

Enda þótt flest rök hnígi að því að norðlæga rásin, A, á mynd 8 sé uppstreymisrás heita vatnsins á Reykjum, verður ekki skorið úr því nema með borunum. Borun djúprar vinnsluholu er mikil framkvæmd og er óvarlegt að staðsetja slíka holu nema að undangengnum rannsóknarborunum. Mælt er með því að boraðar verði 4-6 grunnar (50-60 m) holur á Reykjum, sunnan við núverandi borsvæði. Með því má staðfesta hvort raunverulegt hitafrávik fylgi N-S uppstreymisrásinni. Lagt er til að fyrstu 3 rannsóknarholurnar verði boraðar út frá meintri uppstreymisrás í línu 2 sunnan Reykjabrautar. Liggur þar til grundvallar að á því svæði skerast uppstreymisrásir A og C. Auk þess þarf að fara nokkurn veg frá holu 5 til að kenningin um 90-100 °C heitt vatnskerfi standist. Tillaga að staðsetningu þeirra er sýnd á mynd 8. Gert er ráð fyrir að borað verði í þeirri númeraröð sem þar er sýnd. Hitaástand þessara holna mun síðan ráða hvort þörf verður á fleiri holum. Góðar líkur eru á að upplýsingarnar sem fást út úr þessum borunum nægi til heppilegrar staðsetningar nýrrar vinnsluholu á Reykjum.

5. FRAMTÍÐARHORFUR Í REKSTRI HITAVEITU BLÖNDUÓSS

Með þessari skýrslu má segja að ljúki ferli rannsókna sem hófust árið 1988 er Hitaveita Blönduóss óskaði eftir samvinnu við Orkustofnun um aðgerðir til að hamla gegn lækun vatnsborðs á Reykjum. Hefur mikil vinna verið lögð í að safna saman og yfirfara gögn um vatnsborð og vinnslu, rýna í efnasamsetningu jarðhitavatsins, taka fleiri vatnssýni, gera vatnsborðsspár til næstu 15 ára, taka saman og endurtúlka eldri viðnámsmælingar og að lokum var lagt út í kostnaðarsamar viðnámsmælingar til leitar að lóðréttum vatnsleiðurum á Reykjasvæðinu. Er þetta rit það sjötta í röð skýrslna og greinargerða Orkustofnunar sem afhentar hafa verið Hitaveitunni frá 1990.

Enginn vafi er á að með þessum rannsóknum hefur tekist að skýra og afmarka ýmsa þætti sem óljósir voru áður en af stað var farið. Þar er tvímælalaust mikilvægast að minnkuð dæling úr Reykjasvæðinu, frá 1989, leiddi til þess að nú er komið á jafnvægi milli vatnsborðs og vinnslu. Eins eru ekki fyrirsjáanlegar neinar þær breytingar í jarðhitakerfinu sjálfu sem gætu ógnað rekstraröryggi Hitaveitunnar í næstu framtíð. Þá eru góðar líkur á að vinna megi heitara vatn úr Reykjasvæðinu en nú fæst. Eins virðist ástæðulaust að fara út í jarðhitaleit á nýjum svæðum. Helsti agnúi jarðhitavinnslunnar nú um stundir er gatið á fóðringu holu 5. Hins vegar er tæknilega auðvelt að gera við það.

Nú má spyrja hvaða rannsókna sé þörf til að Hitaveita Blönduóss sigli áfram lygnan sjó í orkuöflun á næstu áratugum. Ef gert er ráð fyrir að orkugjafinn verði jarðhitakerfið á Reykjum og að núverandi aðveituæð haldist áfram í góðu lagi, má segja að tvær leiðir komi til greina:

1. *Vinna áfram vatn úr núverandi holum.* Ekki er annað séð en að núverandi vinnsluholum anni orku- og aflþörf Hitaveitunnar næstu árin. Jafnframt er hægfara aukning í vinnslu möguleg, en gæti þó krafist síkkunar dælna í vinnsluholum. Nauðsynlegt getur reynst að laga gatið á fóðringu holu 5. Ef offramboð raforku helst í landinu kemur einnig til greina að Hitaveitan fjárfesti í rafskautskatli. Að baki slíkri ákvörðun þyrfti þá að liggja samanburður á orkukostnaði vatns sem er dælt úr Reykjasvæðinu annars vegar og hins vegar á kostnaði vegna kaupa á rafskautakatli og raforku inn á hann. Fleiri sjónarmið koma inn í slík áform eins og t.d. varaafli. Þá getur rafskautaketill dregið úr þörf á síkkun djúpðælna á Reykjum, stækki markaður Hitaveitunnar í framtíðinni.
2. *Bora nýja vinnsluholu á Reykjum sem ynni 90-100 °C heitt vatn.* Hagkvæmni slíkrar framkvæmdar hlýtur að byggjast á því að aðveituæðin milli Reykja og Blönduóss komi til með að endast áfram um nokkurn tíma. Líta má á borun nýrrar holu á Reykjum sem eins konar áhættufyrirtæki þar sem góðar líkur séu á að fá megi mun meiri hitaorku upp úr svæðinu með sama fjölda sekúndulítra og nú er dælt. Nauðsynlegur undanfari slíkrar djúpborunar er borun grunnra rannsóknarholna sem munu staðfesta hvort raunverulegt hitafrávik fylgi hinni meintu N-S uppstreymisrás á Reykjum. Einnig er æskilegt að fyrir liggi tenging jarðlaga í holum 3-6. Verði slík borun árangursrík minnkar einnig þörfin á viðgerð holu 5. Því til viðbótar má gera ráð fyrir einhverri niðurdælingu í núverandi holur á Reykjum. Mætti þannig auka orkuvinnslu á svæðinu enn meir en sem næmi ávinningnum af heitara vatni upp úr vinnsluholu. Ef þessi framkvæmd verður árangursrík skapast einnig möguleiki á að Hitaveitan þjóni mun stærri markaði en nú er.

Báðir ofanefndra kosta eiga það sammerkt að þeir gera ráð fyrir að aðveituæðin milli Reykja og Blönduóss haldist áfram í góðu lagi. Ef Hitaveitan heldur við þá ákvörðun sína að nota Reykja-

svæðið næstu áratugina er því forgangsverkefni að sjá svo til að ástand æðarinnar sé gott. Hugsanlega má gera það með hægfara endurnýjun yfir í vel einangraða stállögn ef ástæða þykir til. Gróft áætlað gæti kostað 50-70 milljónir að endurnýja æðina. Það er því ljóst að miklir hagsmunir eru í húfi.

Þá er lagt til að áfram verði fylgst með ástandi jarðhitakerfisins á Reykjum með það að markmiði að góður fyrirvari gefist um breytingar sem þar kunna að verða í framtíðinni. Slíkt eftirlit myndi þá felast í töku vatnssýna og endurkvörðun geymslókana eftir því sem vinnslusagan lengist. Umfangsmeiri rannsóknarverkefni eru háð ákvörðunum Hitaveitunnar á hverjum tíma. Frá sjónarhóli skýrsluhöfunda yrði þar stærst borun nýrrar vinnsluholu. Slíkt er milljónaverkefni sem ætti að skilgreina vel í upphafi, sérlega hvað varðar arðsemiskröfur, hugsanlegt orkuverð og möguleika á nýjum mörkuðum.

6. NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður þessarar skýrslu eru eftirfarandi:

1. Hægt er að herma sögu vinnslu og vatnsborðs á Reykjum með tveggja geyma, þjöppuðu líkani sem er opið til yfirborðs og/eða öflugra jarðhitakerfis.
2. Líkanið bendir til að jafnvægi sé nú á milli innstreymis og vinnslu úr jarðhitakerfinu á Reykjum. Þetta jafnvægi helst meðan vinnslan er minni en 24 l/s.
3. Efnasamsetning vatnssýna bendir til þess að jarðhitakerfið einkennist af vatni sem er 90-100 °C heitt. Það er 20-30 °C heitara en fæst úr núverandi vinnsluholum og er talið sýna að holurnar séu staðsettar hliðlægt við heitasta hluta jarðhitakerfisins.
4. Kísilstyrkur vatnssýna lækkaði nokkuð milli árána 1976 og 1986. Litlar breytingar verða svo í efnasamsetningu sýna þar til milli árána 1989 og 1990. Þá urðu breytingar sem eru raktar til minnkaðrar vinnslu og hækkaðs þrýstings í jarðhitakerfinu.
5. Aftur verður stökk í styrk nokkurra efna í holu 5 milli 1991 og 1992. Efnabreytingarnar stöfuðu af innstreymi kaldara vatns nærri holunni.
6. Hitamæling sem var gerð í tengslum við dæluupptekt í september 1993, sýndi að gat var á vinnslufóðringu holu 5 á 7½ m dýpi. Inn um það streymdu 0,2-0,3 l/s af 11 °C heitu vatni. Þetta innstreymi skýrir að öllum líkindum efnasveiflurnar í vatni úr holunni.
7. Grynsta æð holu 5 er á tæplega 200 m dýpi. Hún virðist enn óbreytt í hita. Hins vegar hafa æðar neðan 600 m dýpis hitnað um 3-4 °C frá árinu 1977. Hitnunin er talin stafa af nálægð holunnar við vatnsleiðara heitari en 70 °C. Rennir þessi niðurstaða styrkari stoðum undir kenninguna um að jarðhitakerfið á Reykjum sé mun heitara en vinnsluhiti núverandi holna gefur til kynna.
8. Nýtt gagnasöfnunartæki skráir með ágætum sveiflur sem verða í vatnsborði Reykjasvæðisins milli sumars og vetrar. Einnig gefur skráning á vinnsluhita holu 5 til kynna að bráðabirgðaviðgerð á fóðringarlekanum hafi heppnast.
9. Viðnámsmælingar með Kínaaðferð á Reykjum benda til þess að uppstreymisrás heita vatnsins fylgi N-S rás sem er nokkru vestar en vinnsluholurnar. Aðrar stefnur uppstreymisrása koma einnig til greina en þykja þó ólíklegri.
10. Ráðlegt þykir að bora nokkrar grunnar hitastigulsholur til að kanna hvort N-S rásin sé raunverulegur leiðari heitara vatns en nú kemur úr holum. Áherslan yrði þá lögð á afmarkað svæði sunnan Reykjabrautar.
11. Ef Hitaveita Blönduóss markar þá stefnu að vinna áfram heitt vatn á Reykjum, þarf jafnframt að gera áætlanir um rekstur, viðhald og endingu aðveituæðarinnar til Blönduóss.

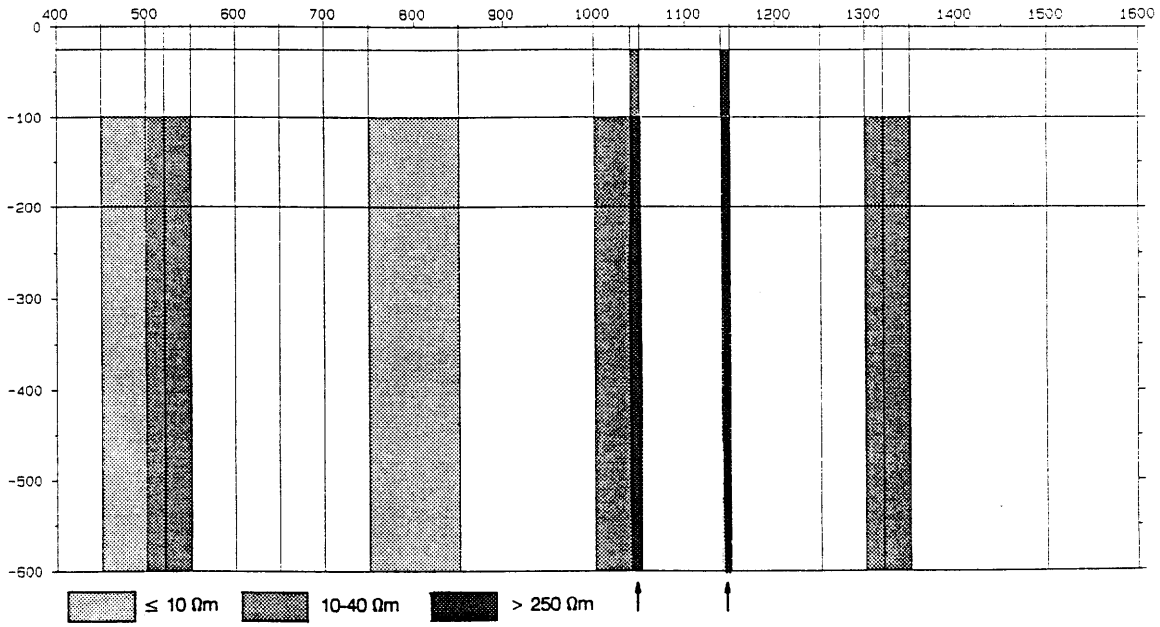
Í heild má því segja að núverandi ástand jarðhitakerfisins sé gott og ekki horfur á skyndilegum sveiflum í ástandi þess. Jafnframt gefa niðurstöður efnarannsóknna, hitamælinga í holum og viðnámsmælinga sterklega til kynna að heitara vatn sé tiltækt í jarðhitakerfinu, að öllum líkindum þá sunnan Reykjabrautar. Nokkurra borframkvæmda verður þörf til að finna vatnið.

7. HEIMILDIR

- Auður Ingimarsdóttir, 1989: *Hitaveita Blönduóss. Eftirlit með hitaveituvatni 1988*. Orkustofnun, greinargerð AuI-89/02, 2 s.
- Grímur Björnsson, 1992a: *Tillögur að rannsóknunum á Reykjasvæði*. Orkustofnun, greinargerð GrB-92/01, 5 s.
- Grímur Björnsson, 1992b: *Reykir við Reykjabraut. Vinnslusaga og vatnsborðsspár*. Orkustofnun, OS-92016/JHD-05 B, 15 s.
- Guðbjartur A. Ólafsson, 1991: *Fundargerð Hitaveitu Blönduóss frá 5. desember 1991*. Hitaveita Blönduóss, 2 s.
- Guðrún Sverrisdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir, 1992: *Hitaveita Blönduóss. Efnæftirlit 1992*. Orkustofnun, greinargerð GSv/HK-93/02, 7 s.
- Helga Tulinius og Magnús Ólafsson, 1990: *Hitaveita Blönduóss. Samantekt á gögnum um vatnsvinnslu fram til 1990*. Orkustofnun, OS-90053/JHD-31 B, 17 s.
- Helga Tulinius, Magnús Ólafsson, Ragna Karlsdóttir og Grímur Björnsson, 1991: *Reykir á Reykjabraut. Yfirborðsmælingar og vinnslueftirlit 1974-1990*. Orkustofnun, OS-91045/JHD-26 B, 21 s.
- Hrefna Kristmannsdóttir, 1988: *Hitaveita Blönduóss. Efnæftirlit með hitaveituvatni 1987*. Orkustofnun, greinargerð HK-88/04, 2 s.
- Magnús Ólafsson, 1986: *Hitaveita Blönduóss. Af hitaveitueftirliti 1986*. Orkustofnun, greinargerð MÓ-87/08, 3 s.

VIÐAUKI I: Viðnámslíkön mæilína á Reykjum

LÍNA 1, LÍKAN

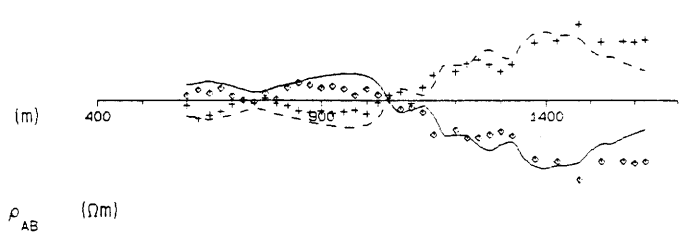
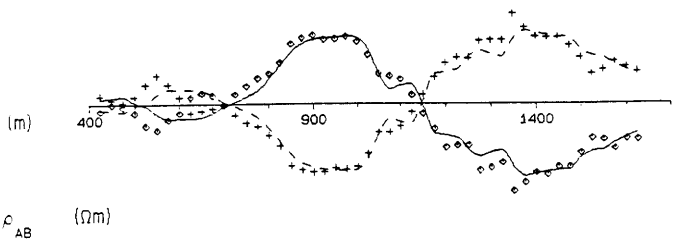


REYKIR VIÐ REYKJABRAUT, LÍNA 1

◇ — ρ_{AC-AB}
 + - - - ρ_{BC-AB}
 (Ωm)

300 m straumarmur

500 m straumarmur

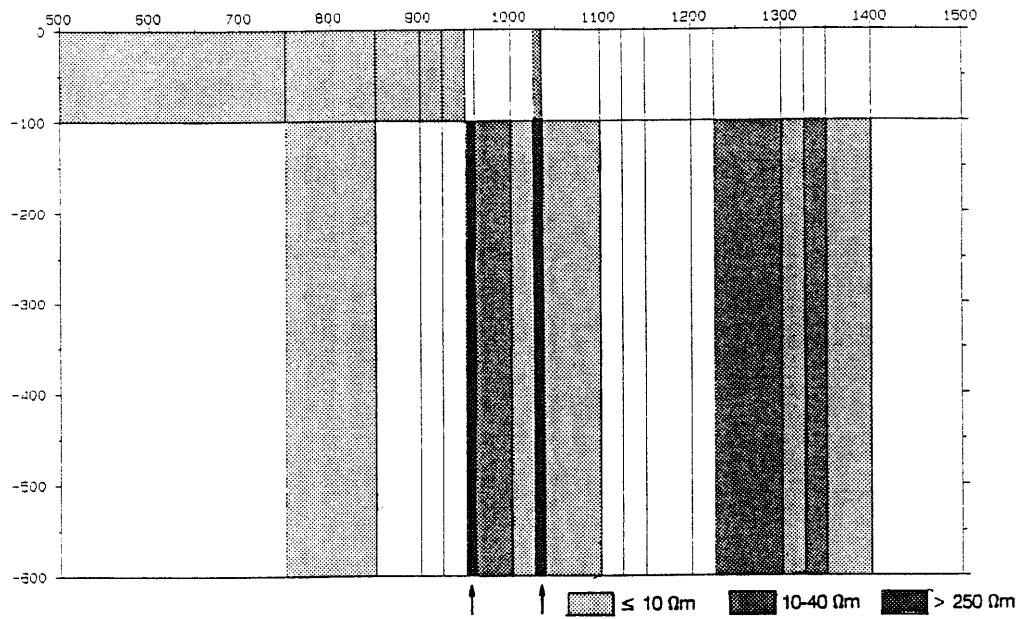


(Ωm)

100
50
0
-50
-100

(m)

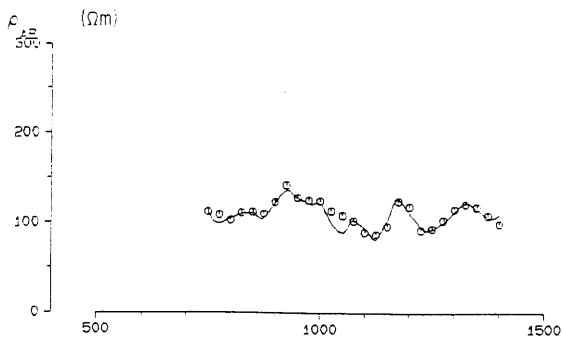
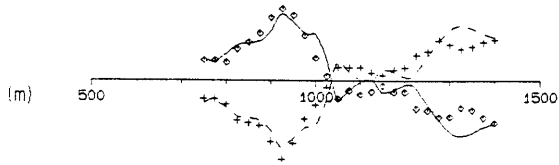
LÍNA 2, LÍKAN



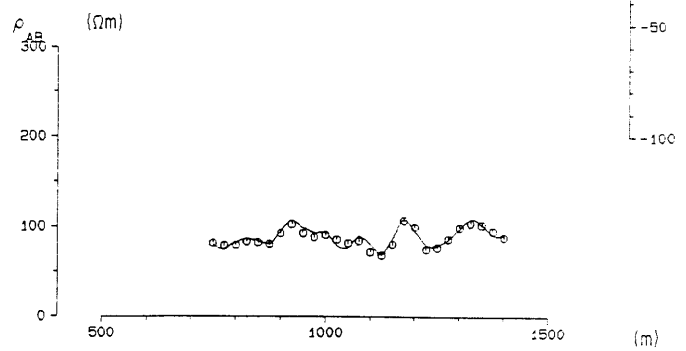
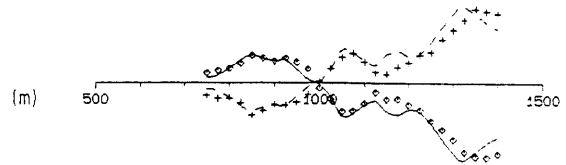
◇ — ρ_{AC-AB}
 + - - ρ_{BC-AB}
 (Ωm)

REYKIR VIÐ REYKJABRAUT, LÍNA 2

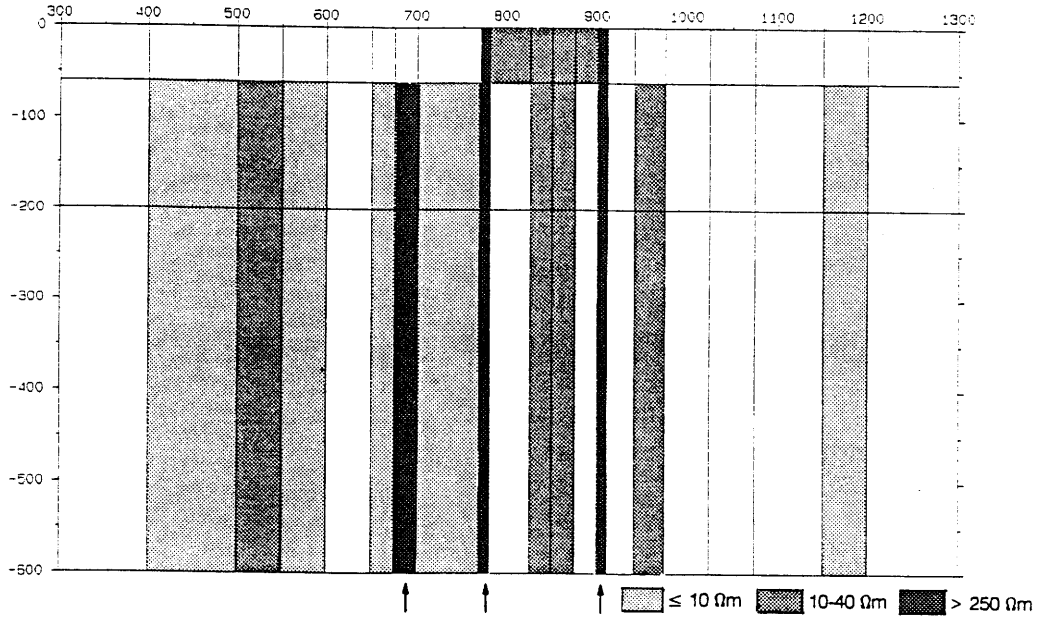
300 m straumarmur



500 m straumarmur



LÍNA 3, LÍKAN

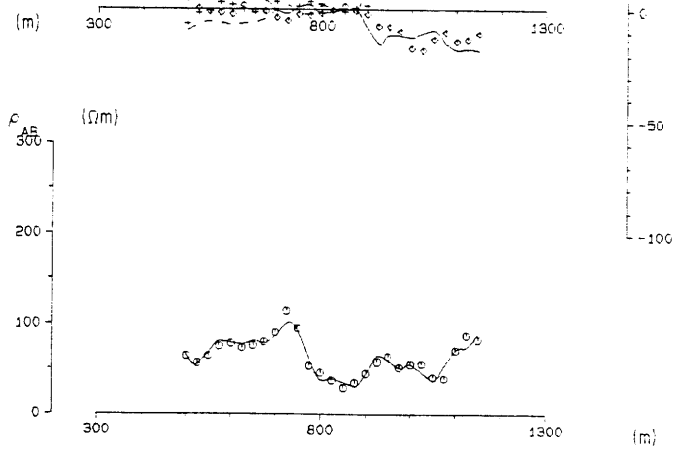
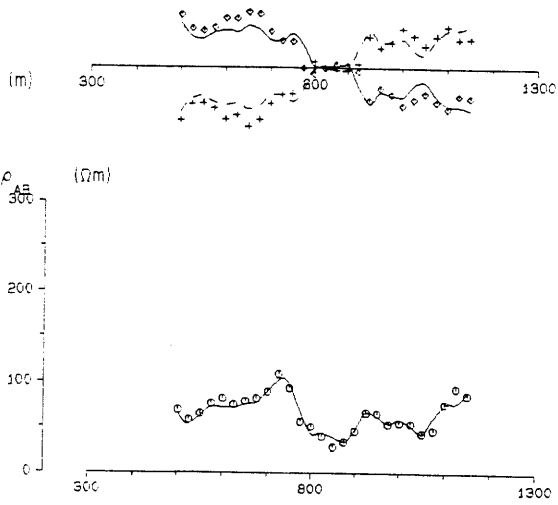


REYKIR VIÐ REYKJABRAUT, LÍNA 3

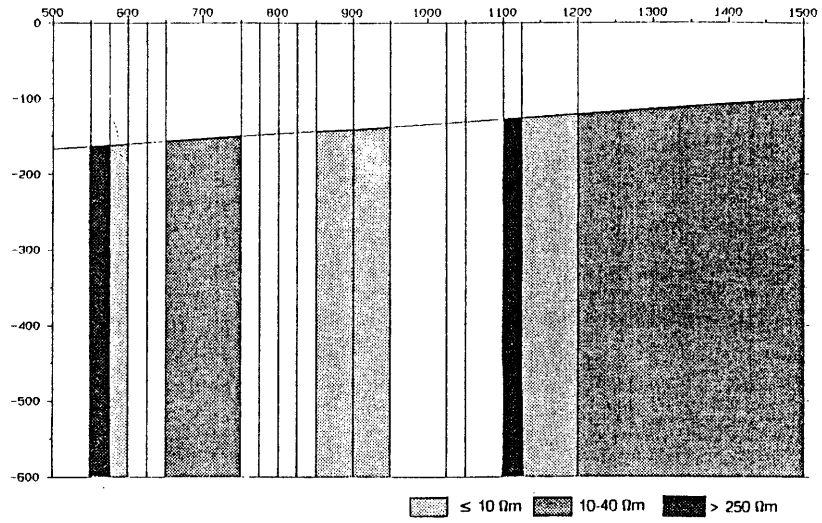
○ ——— ρ_{AC-AB}
 + - - - ρ_{BC-AB}
 (Ωm)

300 m straumarmur

500 m straumarmur

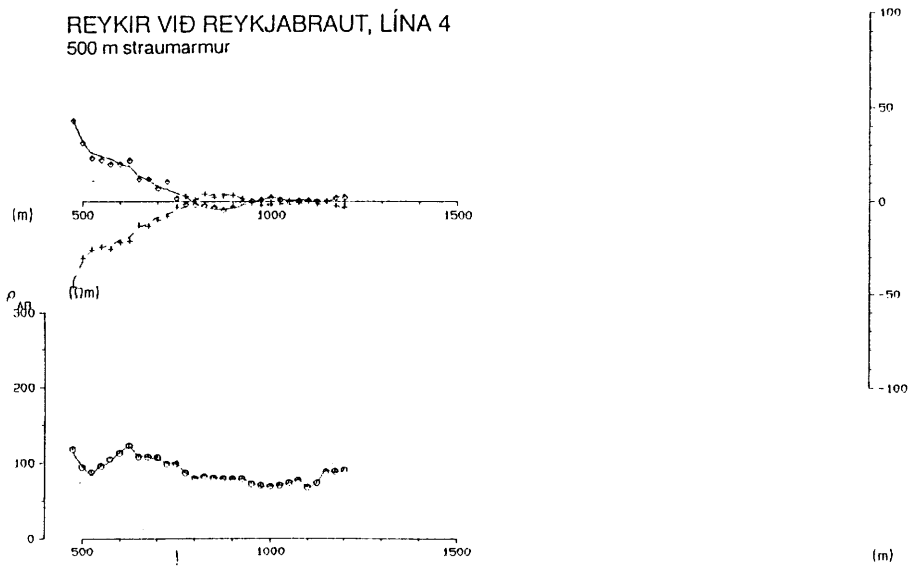


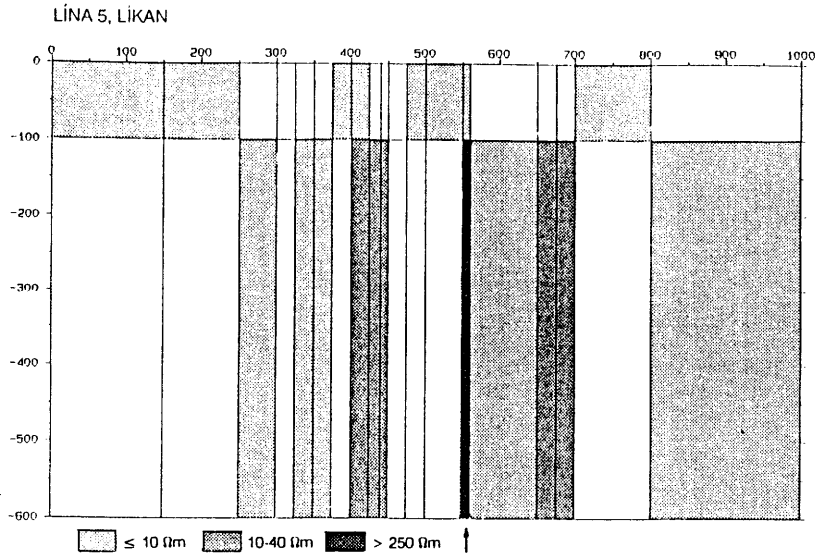
LÍNA 4, LÍKAN



\diamond — ρ_{AC-AB}
 $+$ - - - ρ_{BC-AB}
 (Ωm)

REYKIR VID REYKJABRAUT, LÍNA 4
500 m straumarmur

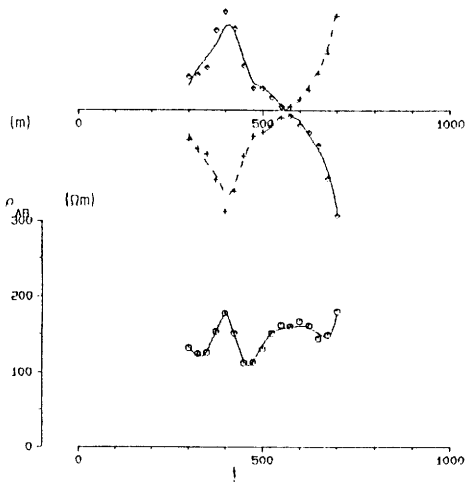




REYKIR VIÐ REYKJABRAUT, LÍNA 5

\diamond — ρ_{AC-AB}
 $+$ - - - ρ_{BC-AB}
 (Ωm)

300 m straumarmur



400 m straumarmur

