



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

Ólafur G. Flóvenz  
Ásgrímur Guðmundsson  
Þorsteinn Thorsteinsson  
Gylfi Páll Hersir

9/1989

# **BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI**

## **Niðurstöður jarðhitarannsókna 1981-1989**

Jarðhitadeild  
GREINASAFN

OS-89018/JHD-03  
Reykjavík, október 1989

Unnið fyrir  
Hitaveitu Akureyrar



**ORKUSTOFNUN**

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Ólafur G. Flóvenz  
Ásgrímur Guðmundsson  
Þorsteinn Thorsteinsson  
Gylfi Páll Hersir**

**BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI**  
**Niðurstöður jarðhitarannsókna 1981-1989**

**OS-89018/JHD-03**  
Reykjavík, október 1989

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



## ÁGRIP

Í þessari skýrslu er fjallað um niðurstöður rannsókna í tengslum við borun holu BN-1, ýmsar prófanir á holum BN-1 og HN-10, niðurstöður viðnámsmælinga á jarðhitasvæðinu við Botn og tengsl við önnur svæði. Auk þess er útbreiðslusvæði meginjarðhitans í Eyjafirði metið út frá viðnámsmælingum.

Jarðlagamælingar og greining borsvarfs úr holunum við Botn sýna að báðar helstu æðarnar í BN-1 og æðar á 850-876 m dýpi í HN-10 koma þar sem borað var í ganga, en aðrar æðar í HN-10 tengjast millilögum eða sprungum.

Í ljós hefur komið að borholurnar við Botn eru í tengslum við tvö vatnskerfi. Æðar í HN-10 og æðar ofan 684 m dýpis í BN-1 tilheyra öðru kerfinu en æðin á 1756 m dýpi í holu BN-1 hinu. Prófanir á holunum benda til þess að vatnsæðarnar í holu HN-10 séu í tiltölulega stuttum sprungum (200-300 m), en djúpa æðin í BN-1 sé í fremur tregleiðandi jarðmyndun, sem aftur virðist tengd opnari vatnsleiðara. Greining borsvarfs úr holunni bendir til að sú æð sé þar sem borað var í gang.

Nokkur þrýstilækkun (5-6 bar) hefur orðið í holu HN-10 á tímabilinu frá janúar 1982 til maí 1988, mest á fyrstu mánuðunum. Í holu BN-1 er þrýstingur hins vegar því næst hinn sami 1988 og hann var í júlí 1984. Líklegasta skýringin á tiltölulega lítilli þrýstilækkun í HN-10 og því sem næst engri í BN-1 er að vatnsæðar holanna séu angar öflugra vatnskerfis eða vatnskerfa sem lítið hafa látið á sjá undan dælingu frá Botni og eru skemmra frá djúpu æðinni í BN-1 en æðum HN-10.

Samanburður á vatnsborði í holu LJ-8 á Ytra-Laugalandi og vatnsborði í borholum við Hrafnagil sýna að áhrifa frá dælingu á Laugalandi gætir umtalsvert í holum 3, 8 og 9 á Hrafnagili en ekki í holum 7 og 11. Áhrifin frá Laugalandi virðast því dvína mjög snögglega til vesturs eða suðvesturs á því svæði sem borholurnar við Hrafnagil eru á. Ekki verður séð að neinna áhrifa frá dælingu á Botni gæti í holunum við Hrafnagil (Laugaborg).

Nokkrar mælingar hafa verið gerðar á halla holanna og virðast þær vera sem næst beinar. Samkvæmt strjálum mælingum með segulhallamæli Orkustofnunar virðist holu HN-10 halla 1° til norðurs, en samkvæmt þéttari mælingum kanadíska fyrirtækisins Sperry-Sun er halli BN-1 um eða innan við 1° ofan 888 m dýpis.

Frekari vatnsöflun á Botni felst í að leita þessa öfluga vatnskerfis en það er væntanlega einhvers konar opin sprunga sem ef til vill fylgir einhverjum hinna fjölmörgu bergganga sem liggja um svæðið.

Viðnámsmælingar, sem gerðar voru sumrin 1988 og 1989, voru fyrsti hluti þessarar leitar. Þær benda til þess að nokkur vatnsleiðni kunní að vera með fjórum af þeim berggöngum sem liggja um svæðið. Allir þessir bergganga hafa stefnu sem er mjög nálægt því að vera norður-suður. Hins vegar kemur ekki fram sérstök vísbending um að gangurinn rétt vestan Botnslaugar sé vatnsleiðandi að ráði, eins og fram til þessa hefur verið talið, heldur gangur sem finnst nokkru austan lauganna. Sá gangur virðist liggja áfram að volgrunum ofan Kristness. Líkur eru til að þetta sé sami gangurinn og háþrýsta æðin á 1756 m dýpi í BN-1 tengist. Hóla HN-10 er ekki nógu djúp til að skera hann.

Þá benda viðnámsmælingarnar einnig til þess að um svæðið liggi norðaustlæg sprunga sem sker norður-suður berggangana inni á jarðhitasvæðinu. Hugsanlega er jarðhitinn einhvers konar samspil af þessu tvennu; einhver ganganna eða NA-sprungan séu frumleiðari vatnsins sem síðan streymir út frá inn í hina vatnsleiðarana.

Þá sýna viðnámsniðsmælingarnar einnig að hátt viðnám fylgir NNA-lægu misgengi sem liggur í hlíðinni um 300 m ofan vinnsluholanna á Botni. Misgengi þetta er því þétt og hindrun á rennsli vatns. Stokkahláðalaug og Botnslaug eru sitt hvoru megin þessa misgengis.

Túlkun viðnámsniðsmælinganna er ekki einhlít og draga má tilvist sumra lágviðnámsprunganna í efa. Ekki er talið að frekari viðbót viðnámsniðsmælinga muni bæta umtalsvert við þá þekkingu sem nú hefur fengist á svæðinu næst Botnslaug. Frekari leit að öflugra vatnskerfinu við Botn þarf að fara fram með borunum og er talið rétt að þreifa sig áfram með grunnum holum (100-400 m) í fyrstu og verði byrjað að kanna svæðið austur og norðaustur af Botnslaug.

Eldri viðnámsmælingar úr Eyjafirði voru leiðréttar fyrir áhrifum saltra setlaga sem hylja dalbotninn. Þær voru síðan endurtúlkaðar til að fá mat á útbreiðslusvæði meginjarðhitans í Eyjafirði. Samkvæmt því virðist jarðhitinn einkum bundin við miðbik dalsins. Útmörk hans til austurs og vesturs falla nokkurn veginn saman við legu aðalveganna um Hrafnagils- og Öngulstaðahrepp. Til norðurs afmarkast hann af línu sem dregin er u.þ.b. milli Grísarár og Öngulstaða. Mörkin til suðurs eru illa ákvörðuð vegna þess að mælingar þar eru strjálar. Til suðurs nær jarðhitinn a.m.k. suður fyrir Grýtu og vísbendingar eru um að jarðhitasvæðin teygi sig eitthvað upp í hlíðarnar upp af Hrafnagili og Botni.

## EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	3
MYNDASKRÁ	6
TÖFLUSKRÁ	6
1. INNGANGUR	7
1.1 Staða vatnsöflunar í Hrafnagils- og Öngulsstaðahreppi	7
1.2 Jarðhitakerfið á Botni	9
1.3 Tilgangur viðnámsniðsmælinga á Botni	10
2. BORUN HOLU BN-1, JARÐLÖG, VATNSÆÐAR OG HITI	12
2.1 Staðsetning holu BN-1	12
2.2 Borsaga	12
2.3 Jarðlög	15
2.4 Borholumælingar	16
2.5 Vatnsæðar og hiti	18
2.6 Samanburður á jarðlögum í HN-10 og BN-1	20
3. PRÓFANIR Á HOLUM BN-1 OG HN-10	23
3.1 Fyrri prófanir við Botn	23
3.1.1 Botnslaug	23
3.1.2 HN-10	23
3.1.3 BN-1	23
3.1.4 Túlkun mælinganna	25
3.2 Rennslis- og þrýstiprófanir 1988	27
3.2.1 BN-1	27
3.2.2 HN-10	28
3.3 Áhrif milli vinnslusvæða	32
3.4 Niðurstöður prófana	33
4. VIÐNÁMSMÆLINGAR Í HRAFNAGILS- OG ÖNGULSSTAÐAHREPPI	34
4.1 Almennur fróðleikur um lághitasvæði og viðnámsmælingar	34
4.2 Yfirlit yfir mælingar 1971-1981	37
4.2.1 Mælingar með Schlumberger aðferð	37
4.2.2 Viðnámsniðsmælingar	37
4.3 Leiðréttingar vegna saltra setlaga	37
4.4 Viðnámskort af Eyjafirði	40
5. VIÐNÁMSSNIÐSMÆLINGAR VIÐ BOTN 1982, 1988 og 1989	45
5.1 Túlkun einstakra mæli lína	46
5.2 Niðurstöður og samanburður við segulmælingar	46
6. SAMANBURÐUR BORHOLUGAGNA OG YFIRBORÐSMÆLINGA	51
7. UMRÆÐA OG TILLÖGUR	54
HEIMILDIR	55
VIÐAUKI I. Hola BN-1, jarðlagasnið og borholumælingar	57
VIÐAUKI II. Vatnsborðssveiflur í borholum	69
VIÐAUKI III. Mæligögn og túlkun einstakra mæli lína í viðnámsmælingum	77

## MYNDASKRÁ

1. Afstöðumynd
2. Tilgáta um norðaustlæga sprungu milli Botns og Laugalands
3. Afstaða borhola, bergganga og vega við Botn
4. Borun holu BN-1. Framvinda verksins
5. Hitamælingar úr holu BN-1
6. Samanburður hitamælinga og jarðlagagreiningar
7. Þrýstiprófun á holu HN-10 í janúar 1981
8. Dæluprófun í HN-10 í janúar 1982
9. Þrýstiprófun með pakkara í holu BN-1 í desember 1981
10. Dæluprófun í holu BN-1 í júlí 1984
11. Vatnsborð, magn og hiti í apríl - júlí 1988
12. Vatnsborð, magn og hiti við dæluprófanir í maí 1988
13. Vatnsborð, magn og hiti við dæluprófanir í júní 1988
14. Dæluprófun í BN-1 við dælustöðvun í júní 1988
15. Dæluprófun í HN-10 við dælustöðvun í maí/júní 1988
16. Tilhögun Schlumbergermælinga
17. Tilhögun viðnámsniðsmælinga
18. Staðsetning viðnámsmælinga í Hrafnagils- og Öngulsstaðahreppi
19. Dæmi um leiðréttingu á Schlumbergermælingu vegna saltra setlaga
20. Eðlisviðnám á 200 m dýpi undir sjávarmáli
21. Eðlisviðnám á 400 m dýpi undir sjávarmáli
22. Lægsta eðlisviðnám á 200-400 m dýpi undir sjávarmáli
23. Staðsetning mæilína á Botni
24. Staðir þar sem lágviðnámsveggir finnast í mæilínum
25. Lega lágviðnámsveggja við Botn
26. Samanburður á borholugögnum og mælingum á yfirborði
27. Tillaga um staðsetningu tveggja rannsóknarhola við Botn

## TÖFLUSKRÁ

1. Yfirlit um mælingar í holu BN-1
2. Hallamælingar í HN-10 og BN-1 með mæli Orkustofnunar
3. Hallamælingar Sperry-Sun í holu BN-1
4. Rennslismælingar í BN-1 í borun
5. Vatnsæðar í BN-1
6. Rennslisstuðlar hola HN-10 og BN-1
7. Upplýsingar um holur sem notaðar eru til vatnsborðsmælinga
8. Yfirlit um viðnámsniðsmælingar við Botn

## 1. INNGANGUR

### 1.1 Staða vatnsöflunar í Hrafnagils- og Öngulsstaðahreppi

Samkvæmt nýlegri úttekt á vinnslusvæðum Hitaveitu Akureyrar (Guðni Axelsson o.fl. 1988) bendir flest til þess að hitaveitan þurfi að auka orkuframleiðslugetu sína fyrir árið 1994. Meðal þeirra kosta sem taldir eru koma til greina til að auka orkuöflun er að finna heitavatnskerfi, sem vitað er að eru til staðar í grennd núverandi vinnslusvæða veitunnar í Hrafnagils- og Öngulsstaðahreppum, en ekki hefur enn tekist að hitta á með borunum.

Vitneskjan um tilvist þessara kerfa (eins eða fleiri) byggir á þeirri staðreynd að nokkrar laugar í grennd vinnslusvæðanna hafa ekki horfið þrátt fyrir mikinn niðurdrátt á jarðhitasvæðunum á Laugalandi, Ytri-Tjörnum, Botni og Reykhúsum. Á mynd 1 er yfirlit yfir laugar, volgrur og djúpar borholur á þessu svæði. Af þeim laugum sem eru í námunda við vinnslusvæðin hefur Grýtulaug, Stokkahláðalaug, Kristneslaug og Kristnesvolgrum ekkert hnignað vegna dælingar af vinnslusvæðunum. Jarðhitakerfin sem þessar laugar sækja vatn sitt til eru því lítið eða ekkert háð þeim jarðhitakerfum sem nú er verið að nýta. Þær laugar sem horfið hafa í Öngulsstaðahreppi við dælingu eru Bjarkarlaug, Hólslaug og jarðhitinn við Laugaland og Brúnalaug en í Hrafnagilshreppi hafa Reykhúsalaugar, volgrurnar við Grísará, Hrafnagilslaug og Botnslaug horfið. Volgrurnar við Ytra-Gil og Garðsá eru hins vegar það langt frá vinnslusvæðunum að ekki er að búast við að dælingin hafi nein áhrif á þær.

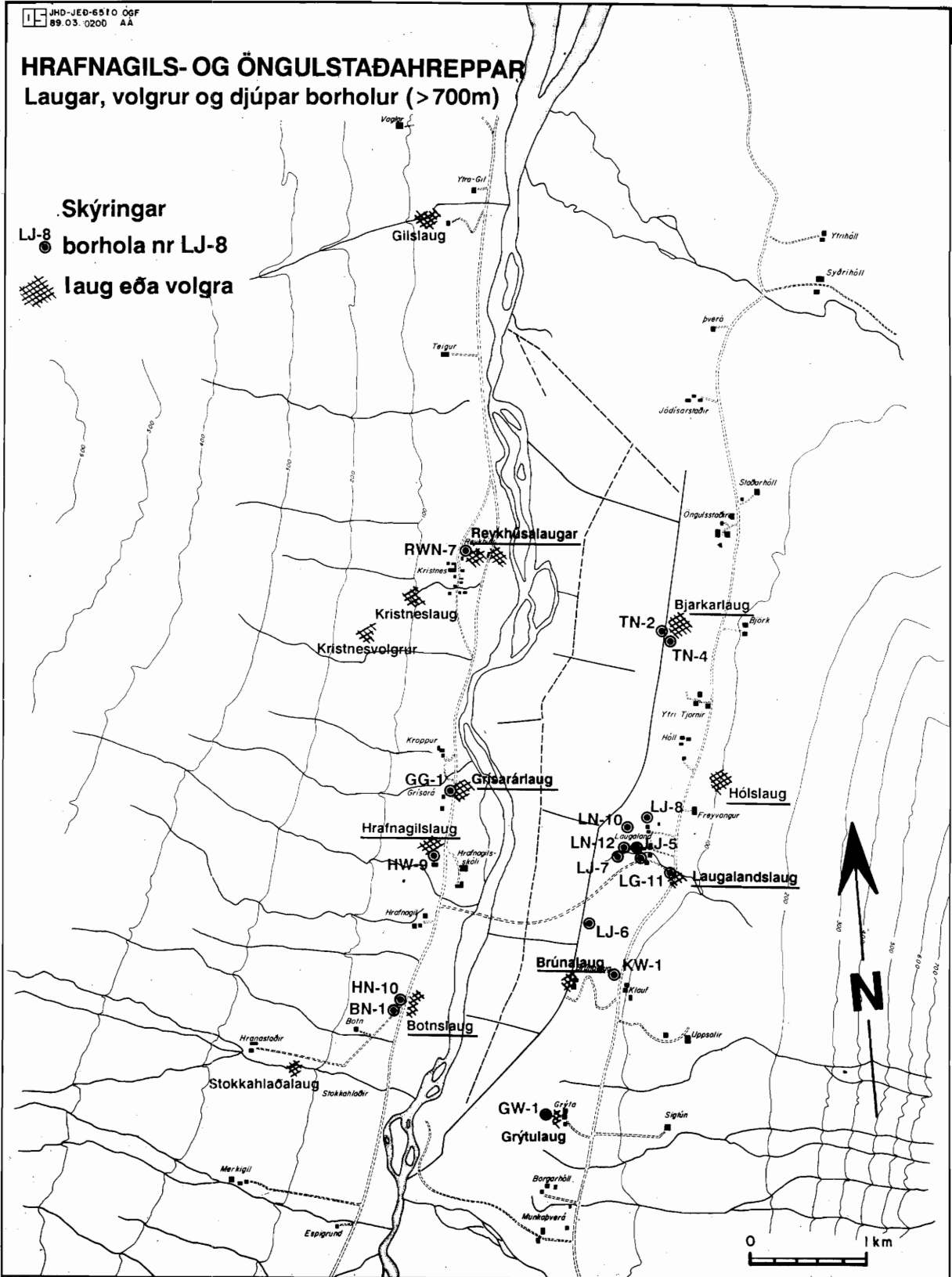
Ekki er með öllu ljóst hvaða jarðhitakerfum horfnu laugarnar tilheyrðu. Þó virðast yfirgnæfandi líkur á að heita vatnið sem upp kom við Brúnalaug, Laugaland og í Hólslaug hafi verið úr Laugalandskerfinu, Bjarkarlaug hafi verið tengd Ytri-Tjörnum og Botnslaug Botnssvæðinu. Öllu erfiðara er að fullyrða um tengsl jarðhitans við Hrafnagil, Grísará og Reykhús við vinnslusvæðin, en þó er ljóst að þau tvö fyrrnefndu eru a.m.k tengd Laugalandskerfinu og e.t.v. einnig öðru hvoru hinna.

Nokkrar árangurslausar tilraunir voru gerðar til að leita að aðfærsluæðum Kristneslaugar, Stokkahláðalaugar og Grýtulaugar á árunum 1980-1982. Við Kristnes voru gerðar viðnámsniðsmælingar og boraðar rannsóknarholur við Kristneslaug en án árangurs (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1981a). Þess ber þó að geta að þessar viðnámsniðsmælingar voru með þeim fyrstu sem gerðar voru hérlandis og á þeim tíma var ekki til sá hugbúnaður sem nú er notaður til að túlka þessar mælingar. Því hafa aldrei verið gerð viðnámslíkön af jörðinni undir þessum mæli-  
línunum líkt og gert er í þessari skýrslu.

Svipaða sögu er að segja af rannsóknum við Grýtu (Ólafur G. Flóvenz og Ásgrímur Guðmundsson 1984). Þar gáfu viðnámsniðsmælingar nær engar vísbendingar um vatnsleiðandi sprungur og borun 4 grunnra rannsóknarhola gaf engar frekari vísbendingar um legu aðfærsluæðar Grýtulaugar. Var því rannsóknum hætt við Grýtu.

Árið 1982 voru gerðar viðnámsniðsmælingar eftir tveimur línunum við Stokkahláðalaug. Í þeim sáust engin augljós merki vatnsleiðandi sprungna nærri Stokkahláðalaug og voru því engar rannsóknarholur boraðar þar. Þessar línur eru notaðar í þessari skýrslu sem línur 1 og 2 í viðnámsniðsmælingum við Botn.





MYND 1. Laugar og borholur í Hrafnagils- og Öngulstaðahreppi. Nöfn þeirra lauga sem horfið hafa vegna dælingar úr borholum Hitaveitu Akureyrar eru undirstrikuð.

## 1.2 Jarðhitakerfið á Botni

Þegar árið 1971 var gerð tillaga um borun við Botnslaug sem sumir nefna Hrafnagilslaug syðri (Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson 1971a). Ekki varð þó af borun þá en árið 1980 var hola HN-10 boruð á svipuðum slóðum. Holunni var valinn staður að undan- gengnum segulmælingum og hitamælingum í jarðvegi, sem bentu til að heita vatnið í Botn- slaug kæmi upp með berggangi með norðnorðaustlæga stefnu, sem liggur nokkuð vestan sjálfra lauganna. Árangur varð góður og er borun og rannsóknnum í sambandi við hana lýst í greinar- gerð eftir Ásgrím Guðmundsson (1980). Hætt var við borun er holan var orðin 1050 m djúp þrátt fyrir að vatnsæðar væru niður undir botni holunnar. Ástæða þess var hin dapra reynsla af áföllum við boranir á Ytri-Tjörnum, þar sem áföll í borun leiddu til þess að holur, sem hitt höfðu á góðar vatnsæðar urðu ónýtar. Var því ekki talið verjandi að hætta því sem áunnist hafði í HN-10 með því að dýpka hana enda skorti Hitaveitu Akureyrar þá sárlega vatn.

Vatnsæðar komu í holuna á 489 m, 530 m, 850-876 m, 998 m og 1023 m dýpi. Tvær fyrstöldu æðarnar koma inn á lagmótum í jarðlagastaflanum, æðarnar á 850-876 m komu þegar borað var í gangbergi en þær síðastöldu á lagmótum.

Ári síðar var hola BN-1 boruð. Henni var valinn staður um 70 m suður af holu HN-10 og held- ur fjær ganginum, sem talinn var flytja vatnið að Botnslaug, enda var ætlunin að skera ganginn dýpra og kanna hvort ekki fyndust góðar vatnsæðar neðan 1000 m dýpis. Skemmst er frá að segja að þessi hola olli verulegum vonbrigðum. Allmargar smáar vatnsæðar fundust í holunni, flestar við bergganga, en engar stórar. Eitt var þó athyglisvert. Á 1756 m dýpi var komið í há- þrýsta vatnsæð, sem gaf fáeina sekúndulíttra í sjálfrennsli. Þessi æð virðist vera óháð efri æðum í holunni og æðunum í holu HN-10 og er væntanlega tengd öðru vatnskerfi. Jarðlög í holunni voru greind fljótlega eftir að borun lauk og gerðar hita- og jarðlagamælingar. Í kafla 2 hér á eftir er fjallað um staðsetningu holu BN-1, borsögu hennar, jarðlög og mælingar í hol- unni.

Ýmsar prófanir hafa verið gerðar á holum HN-10 og BN-1, nú síðast sumarið 1988. Fjallað er um þær í kafla 3 hér á eftir.

Báðar holurnar á Botni hafa nú verið nýttar í mörg ár og er hegðan þeirra á ýmsan hátt öðru- vísi en borholanna á Laugalandi og Ytri-Tjörnum. Þetta lýsir sér í því að við stöðuga dælingu nær niðurdráttur mjög fljótt jafnvægi og eins ef dælingu er hætt þá líður skammur tími uns holurnar komast í sjálfrennsli á ný. Þetta hefur verið túlkað sem vísbending um að holurnar á Botni (HN-10 og BN-1) séu tengdar öflugum heitavatnskerfi sem lítið hafi látið á sjá undan dæl- ingunni á Botni, þótt ekki sé unnt að útiloka að hér sé um að ræða tengsl við grunnvatnskerfið ofan jarðhitakerfisins (Guðni Axelsson o.fl. 1988).

Af þessum ástæðum hafa verið taldar nokkrar líkur á að þessa meinta jarðhitakerfis, sem ekki hefur enn tekist að hitta í með borunum, væri einna helst að leita við Botn eða þar í grennd. Vandinn er að leit með mælingum á yfirborði er erfið í Eyjafirði vegna þykkra og saltra set- laga, sem hylja dalbotninn, og reynslan af leit með djúpum borholum í Eyjafirði er nokkuð sem fáa fýsir að endurtaka. Það sem helst virðist koma til greina er einhvers konar sambland af leit með mælingum og grunnnum borunum.

### 1.3 Tilgangur viðnámsniðsmælinga á Botni

Í greinargerð til Hitaveitu Akureyrar í ágúst 1987 (Ólafur G. Flóvenz o.fl.) segir m.a.:

*"Í tengslum við hljóðhraðamælingar sem Rússar framkvæmdu í samvinnu við Orkustofnun haustið 1986 hefur Orkustofnun unnið nokkuð að endurskoðun á eldri gögnum frá Laugalandi og Ytrijörnum. Sú endurskoðun hefur leitt af sér athyglisverðan túlkunarmöguleika á jarðhitunum í Eyjafirði. Hann felst í því að meginjarðhitakerfið sé sprunga með stefnu nálægt norðaustri, sem liggja milli Laugalands og Botns (mynd 2). Holur 5, 7 og 12 á Laugalandi liggja á þessari sprungu ásamt holu HN-10 við Botn. Jafnframt liggur Hólslaug sem hvarf strax við borun LJ-5 á þessari sprungu en hola BN-1 fyrir sunnan hana. Stokkahlaðalaugin kemur upp í gili skammt neðan við staðinn þar sem þessi meinta sprunga liggur yfir það og gæti því vel sótt vatn sitt til hennar. Þetta líkan skýrir því vel hvers vegna einungis holur 5,7 og 12 á Laugalandi og hola HN-10 hitta í gjöfular æðar en ekki aðrar holur á þessu svæði. Þetta skýrir einnig þau góðu þrýstítengsl sem voru milli LJ-5 og Hólslaugar.*

*A.m.k. þrjú önnur atriði styrkja þetta líkan. Í fyrsta lagi kemur í ljós að dýpi á t.d. 80°C jafnhitalínuna fylgir þessari stefnu. Í öðru lagi er eðlisviðnám jarðlaga lægst eftir rennu með þessari stefnu milli Laugalands og Botns ásamt raunar rennu með norður-suður stefnu frá Laugalandi að Brúnalaug (mynd 2). Í þriðja lagi benda hitamælingar í borholum á Hrafnagilssvæðinu til að sunnan Hrafnagilsskóla sé sprunga með norðaustur stefnu.*

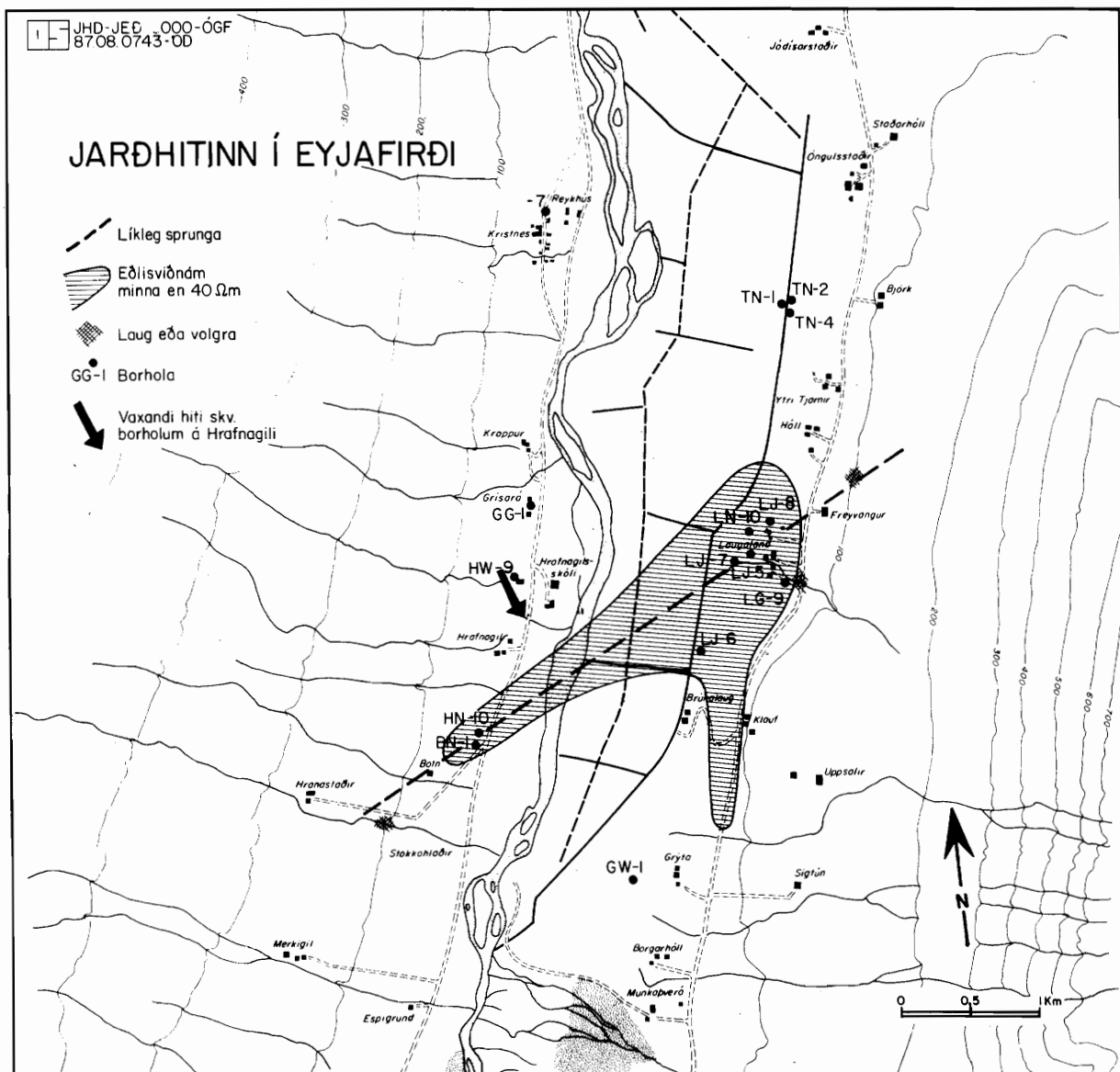
*Þá skýrir líkanið vel hvers vegna viðnámsniðsmælingar sem gerðar voru við Botnslaug sýndu engin merki um sprungu. Mællínurnar voru nefnilega látnar stefna í norðaustur og liggja þar með aldrei yfir meinta sprungu með norðaustur stefnu.*

*Hins vegar er ljóst að ef bæði Laugaland og Botn eru tengd sömu sprungunni eða sama sprungukerfinu hlýtur að vera í því einhver rennslíhindrun sakir þess hve niðurdrátturinn á Laugalandi virðist hafa lítil áhrif á þrýsting í vatnskerfinu við Botn.*

*Við frekari leit að þeim vatnskerfum sem enn eru ófundin í Eyjafirði, sýnist skynsamlegast að leggja megináherslu á svæðið kringum Botn. Það verður best gert með viðnámsniðsmælingum til að leita að þeirri meintu sprungu sem hér er um rætt. Að þeim loknum yrðu boraðar nokkrar hitastigulsholur, 100-150 m djúpar til að finna heppilegasta staðinn fyrir borun vinnsluholu sem gæfi hitaveitunni meira vatn."*

Til að leita að vatnsleiðandi sprungum við Botn var lagt út í viðnámsniðsmælingar við Botn sumarið 1988 með það m.a. fyrir augum að leita raka fyrir eða gegn ofangreindri tilgátu um NA-sprungu. sem gæti verið tengd því vatnskerfi sem að er leitað.

Í kafla 4 er gerð grein fyrir viðnámsmælingum þeim sem gerðar hafa verið í Eyjafirði á umliðnum árum, þær endurtúlkaðar að hluta og loks gerð grein fyrir niðurstöðum viðnámsniðsmælinga við Botn 1982, 1988 og 1989 í kafla 5.



MYND 2. Tilgáta um norðaustlæga sprungu og samband hennar við jarðhitann á Laugalandi og Botni.

## 2. BORUN HOLU BN-1, JARÐLÖG, VATNSÆÐAR OG HITI

### 2.1 Staðsetning holu BN-1

Holu BN-1 var valinn staður í landi Botns um 70 m suður af holu HN-10, sem er í landi Hrafnagils. Sömu forsendur voru lagðar til grundvallar staðsetningu beggja holanna þ.e. þeim var ætlað að skera gang, sem talinn var veita heita vatninu upp í Botnslaug. Holu BN-1 var ætlað að skera ganginn á um 1000 m dýpi, sem er nokkuð dýpra en hola HN-10 gerði. Mynd 3 sýnir afstöðu holanna til nærliggjandi bergganga og þess yfirborðsjarðhita, sem þar er næstur.

### 2.2 Borsaga

Eftirfarandi lýsing á borverkinu er unnin upp úr borskýrslum Jarðborana ríkisins (1981).

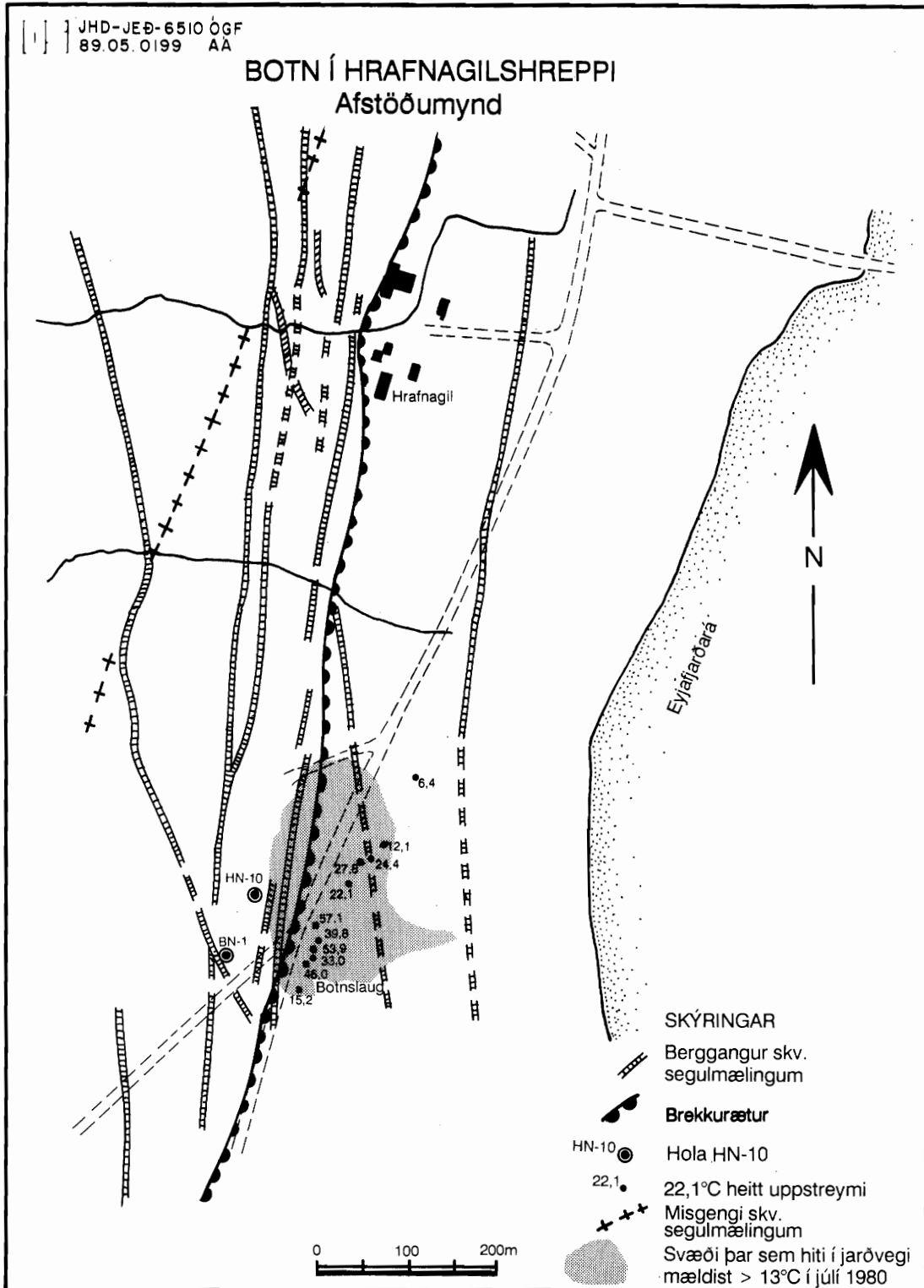
Flutningur á Narfa frá Svalbarðseyri að Botni hófst 1. júlí 1981 og þann þriðja sama mánuðar var uppsetningu lokið og borinn tilbúinn. Á mynd 4 er sýnt hvernig borverkinu miðaði áfram.

Þann 7. júlí var byrjað að bora 70 cm niður úr höggborsholu í 28,2 m dýpi með 251 mm krónu. Síðan var komið fyrir 251 mm víðri fódringu, sem hægt væri að fjarlægja síðar.

Á fimmta verkdegi (8. júlí) lauk undirbúningsvinnu og borun holunnar hófst. Til verksins var notuð 216 mm króna af gerðinni J-44. Minni háttar tafir urðu niður að 1077 m dýpi. Þann 15. júlí urðu tafir vegna olíuleysis á fæðidælu og vatnslögnin að bornum fór í sundur. Fimmtudaginn 17. júlí var tekið upp úr holunni og skipt um krónu. Gamla krónan reyndist vera ónýtt og í hennar stað var sett niður 216 mm króna af gerðinni J-88. Þegar komið var niður á 1077 m dýpi var ákveðið að taka upp, þar sem grunur lék á, að borstrengur væri brotinn neðarlega í holunni. Svo reyndist ekki vera og því var sett niður á ný og haldið áfram borun eins og ekkert hefði í skorist. Skömmu síðar, þegar dýpið var orðið 1087 m þá brotnaði stöng á 798 m dýpi. Fiskun gekk vel, en nokkurra daga tóf varð, þar sem spilvír var orðinn ónýtur.

Stangir brotnuðu síðan þegar dýpið var 1143 og 1217 m, en fiskun gekk hratt og vel fyrir sig í bæði skiptin. Þegar holan var orðin 1400 m djúp var gert hlé á borun og borinn sendur í Kröflu til að hreinsa holu þar.

Borinn var kominn aftur á holuna 11. september eftir 6 daga fjarveru. Sett var niður ný 216 mm króna af gerðinni FP-62-J (53. og 54. verkdagur). Strengurinn stöðvaðist á 983 m dýpi í niðurstetningu og þurfti að skarka í holunni niður á 988 m, en þaðan og niður var greið leið. Botnfall reyndist vera 12 metrar. Borun gekk snurðulaust niður í 1657 m dýpi, en þá brotnaði stöng á 480 m dýpi. Fiskun gekk vel. Botnfall var sama og eftir síðasta stopp þ.e. 12 metrar. Þann 1. október (66. verkdagur) hófst borun á nýjan leik og þegar dýpið var 1703 m söng borstrengur í sundur og nú á 195 m dýpi. Fiskun gekk vel. Var allur strengurinn tekinn upp úr holunni til að skipta um krónu. Í upptektinni þurfti að bora af og til. Hindranir byrjuðu á 1122 m dýpi, en frá 960 m var leiðin greið alla leið upp. Þegar fiskun var lokið kom í ljós að króna, tengistykki og tvær álagsstangir höfðu orðið eftir niðri í holunni. Í þeim fiskunaraðgerðum, sem þá hófust, þurfti að láta stangarlengjuna snúast af og til frá 900 m vegna fyrirstöðu í holu. Þegar niður var komið þurfti að dæla niður í gegnum botnfall, sem safnast hafði ofan á brotið. Vel gekk að festa í fiskinn og eftir að híft hafði verið upp um 52 m var strengurinn laus í holunni. Ný 216 mm króna var sett niður, en ekki var getið um það í borskýrslu hvaða tegund væri um að ræða, en hún var frá Reed. Í niðurstetningu þurfti að bora út tveggja metra hruntappa frá 915 m dýpi. Á 1688 m dýpi var komið niður í sand og í honum voru hrunmolar, sem þurfti að bora út áður en komið var í botn. Borun hófst á ný undir miðnætti 16. október (78. verkdagur). Á mynd 4 sést að minni háttar tafir urðu niður á 1830 m dýpi, en þá brotnaði stöng á 414 m dýpi. Auðveldlega gekk að festa fiskitækinu í brotið, en illa gekk að ná því upp úr holunni. Festur voru af og til frá 1264 m, en veruleg festa var í 988 m

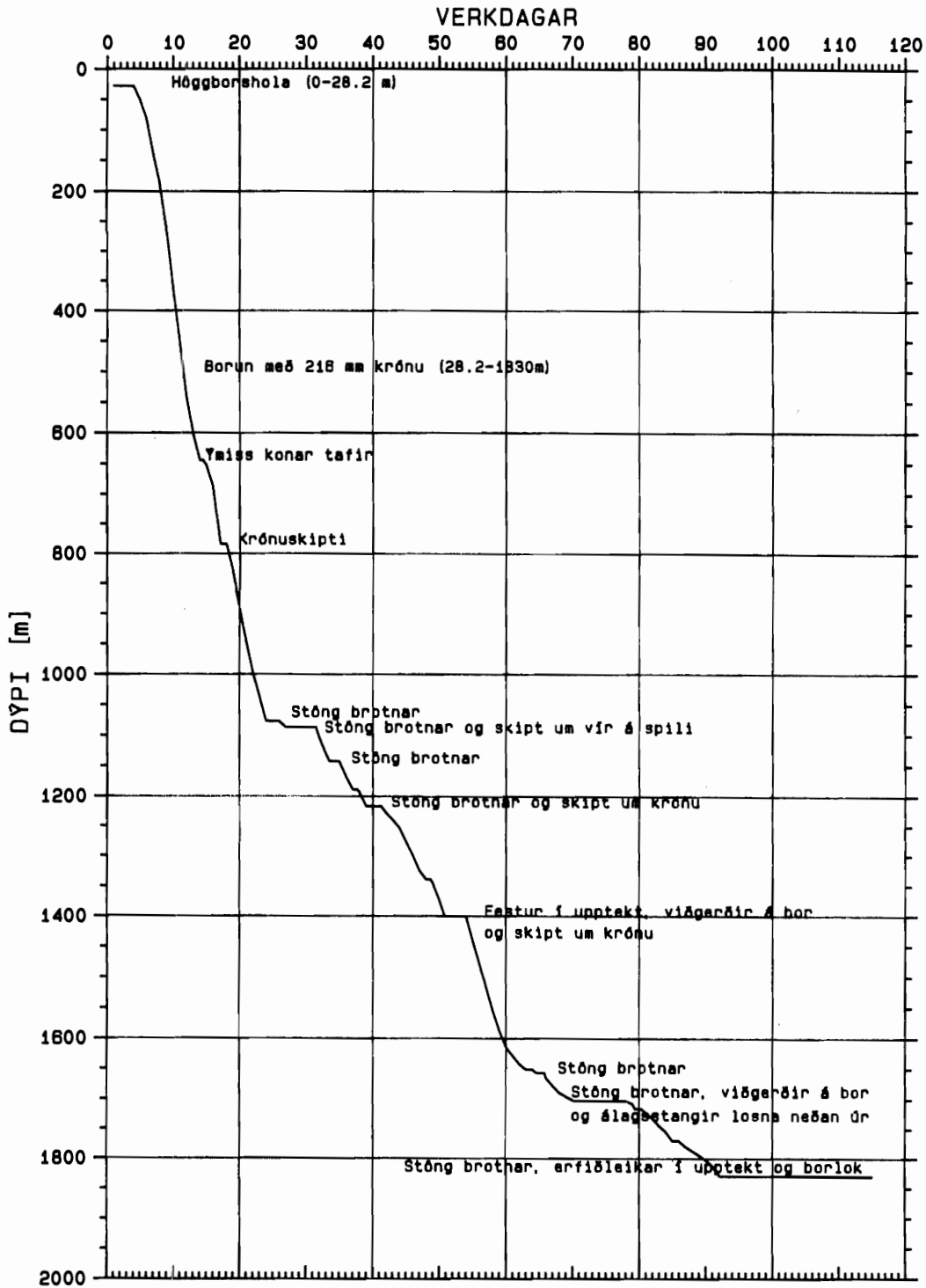


MYND 3. Afstaða borhola, berganga og vega við Botn.

JHD-BJ-8000 ÁsG  
85.12.1812 T

# Borun BN-1

Bortími 01.07-02.12.1981



MYND 4. Framvinda borunar holu BN-1.

dýpi. Strengurinn mjakaðist þaðan upp á við og öðru hvoru þurfti að snúa og "bora upp". Þegar krónan var á 960 m dýpi brotnaði strengurinn enn einu sinni, nú 32 m ofan við álagsstangir. Í fyrstu var haldið að stangir hefðu skrúfast neðan úr vegna óhjákvæmilegra tilburða í upptekt, en síðar kom í ljós að um hreint brot var að ræða. Fiskari var settur niður og kom niður á stangarendann á 1722 m dýpi. Það tók nokkrar klukkustundir að losa fiskinn og eftir 56 m hífingu var stangalengjan laus. Búið var að hífa upp um 280 metra, þegar bilun varð í bortækjum og olli fjögurra daga töf. Að viðgerð lokinni var upptekt haldið áfram. Þegar komið var upp í svipað dýpi og mestu erfiðleikarnir voru í síðustu upptekt, losnaði neðan úr fiskitækinu. Fram að því hafði verið samfelld skark síðustu 23 metra. Ekki var látið staðar numið heldur smíðuð ný fiskitæki (gömlum fiskitækjum var breytt) meðan bormenn voru í leyfi

Eftir frí þann 24. nóvember (107. verkdagur) var settur niður tvöfaldur fiskari og auk þess rýmari fyrir ofan þar sem ljóst þótti að ástæður erfiðleikanna væru að strengurinn hefði núíð rauf í holuvegginn (keyhole) sem sverari álagsstangir festust í. Lengjan stoppaði í 890 m dýpi eða á þeim slóðum sem mestu vandræðin höfðu átt sér stað. Daginn eftir eða 25. nóvember tókst að fiska og losa fiskinn frá holubotni. Ekki er tilgreint í borskýrslum á hvaða dýpi brotið var, en þegar komið var upp í 1231 m þá festist lengjan. Þaðan og upp í 950 m þurfti að bora af og til, en eftir það var stöðug borun upp í 839 m og var borstrengurinn þá endanlega laus. Á þessum kafla þurfti ýmist að bora upp eða niður og var það rúmlega fjögurra daga skark. Þann 1. desember var lokið við að taka upp úr holunni. Reyndist borkrónan þá vera ónýtt. Ekki var hugað að frekari borun. Endanlegt dýpi var því 1830 m og tók það alls 115 verkdaga við holuna.

Strax að lokinni upptekt var þakkari settur niður á 680 m dýpi. Skömmu fyrir miðnætti 1. desember var byrjað á örvunaraðgerð með dælingu undir þakkara. Fylgst var með þrýstingi og rennsli úr holum HN-10 og BN-1 meðan á þökkun stóð. Aðgerðin stóð yfir í um 12 klst. og var afþakkað um kl. 12 á hádegi 2. desember. Undir kvöld var búið að taka upp úr holunni og verkinu þar með lokið.

## 2.3 Jarðlög

Meðan á borun stóð var svarfsýnum safnað á tveggja metra fresti og borhraði reiknaður út fyrir hverja tvo boraða metra. Svarfið var síðan greint og útbúið jarðlagasnið með hjálp borhraða og með hliðsjón af jarðlagamælingum. Jarðlagasniðið er sýnt í viðauka I ásamt borhraða og jarðlagamælingum. Erfitt getur verið að greina að fínkornótt basaltlög frá fínkornóttum göngum og er slík óvissa látin halda sér á jarðlagasniðinu sem fínkornótt basaltlög, en samanburður við HN-10 gerir mögulegt að greina þar víðast hvar á milli. Megin drættir sniðsins eru sem hér segir:

- Þóleiúbasalt einkennir efstu 140 m en þar neðan við sést eitt ólívín-þóleiú basaltlag áður en borað er inn í grófkristallaðann dólerítgang.
- Komið er úr ganginum á tæplega 200 m dýpi og borað næstu 50 m í oxuðu og blöðróttu basalti.
- Frá 250 m og niður á tæplega 600 m dýpi eru ólívín-þóleiú basaltlög og plagíóklasdílótt basaltlög ráðandi. Á þessu dýptarbili eru setlöggin að jafnaði þunn, innan við 1 m. Eitt þykkt setlag er sýnt á rúmum 300 m, en líklega er þykkt þess ofmetin vegna blöndunar á svarfi. Tveir gangar voru skornir á þessu dýptarbili: Frá rúmum 400 m í 415 m er dólerítgangur, sem sést einnig í holu HN-10 á svipuðu dýptarbili og frá 516 - 537 m er fínkornóttur gangur.
- Á tæplega 600 m dýpi er borað inn í fínkornóttan gang og síðan annan grófkornóttan litlu neðar. Á um 630 m dýpi er komið út úr göngunum og borað í breksíur og þóleiúbasaltlög



niður á 666 m dýpi. Þar er borað á ný inn í fínkornóttan gang og litlu neðar í annan grófkornóttan og borað niður í hraunlagastafla á ný á 700 m dýpi.

- Frá 700 m niður í tæpa 750 m er þóleiútbasalt ráðandi, aðskilið af millilögum, en þar er komið í gang sem nær niður á 810 m. Hann er fínkornóttur efstu metrana en verður síðan grófkornóttur sem dólerít.
- Frá 810 m niður í 844 m eru þóleiútbasaltlög einkennandi. Þau eru aðskilin af rauðum millilögum. Þar neðan við er líklega komið í berggang, sem borað var út úr á tæplega 880 m dýpi. Gammamæling gefur til kynna ísúrt eða súrt lag frá 880 - 890 m dýpi.
- Þóleiútbasalt er enn ráðandi niður á 930 m dýpi, en þar er borað í samsettan gang svipaðan og ofar í holunni. Á 960 m var komið út úr þeim gangi.
- Frá 960 m niður á 1070 m dýpi eru set- eða túfflög sérlega áberandi. Líklega eru þau merki um mislægi þ.e. hægt hefur tímabundið á hraunlagaupphleðslu á svæðinu.
- Frá 1070 m niður í tæplega 1090 m er fínkornótt til dulkornótt andesít. Ekki er ljóst hvort um er að ræða innskot eða hraunlag. Niður á 1120 m dýpi er þóleiútbasalt ráðandi en þar neðan við er komið á ný niður í bergganga.
- Frá 1120 m niður í 1160 m var borað í gegnum fínkornótta ganga, en þar neðan við tók við dólerítgangur. Ekki var komið út úr honum fyrr en á tæplega 1300 m dýpi og virðist þetta vera einn og sami gangurinn.
- Frá tæpum 1300 m niður í 1316 m sést í tvö þóleiútbasaltlög en þar neðan við er komið í gangberg á ný. Þar er um að ræða dólerít sem nær niður á rúma 1360 m.
- Frá 1360 m og niður á tæpa 1600 m er þóleiútbasalt einkennandi. Erfitt er að greina sundur einstaka lög vegna blöndunar í svarfi frá þessum kafla og er því ekki útilokað að einhver fínkorna innskot geti verið þar til staðar.
- Næstu 100 m var borað í gegnum dólerítgang eða ganga þar til á rúmlega 1700 m dýpi að komið var í þóleiútbasalt á ný. Þaðan og niður í rúmlega 1760 m er þóleiútbasalt mest áberandi, en erfitt er að greina þar að einstök hraunlög vegna blöndunar í svarfi auk þess sem líklega er sneitt utan í ganga eða þunnir gangar skornir.
- Frá rúmum 1760 m og niður í botn holunnar á 1830 m dýpi var borað í dólerítgang.

Í efstu 600 metrnum var tiltölulega auðvelt að tengja jarðlög milli hola HN-10 (Ásgrímur Guðmundsson 1980) og BN-1. Sést að jarðlög í BN-1 liggja að meðaltali 8-10 m ofar en í HN-10 ef gert ráð fyrir að halli jarðlaga sé um 6° til SA (Axel Björnsson o.fl. 1979). Það þýðir að 10 m misgengi virðist vera milli holanna án þess að það hafi sést í umfangsmiklum yfirborðsathugunum, sem hafa verið gerðar í Hrafnagilshreppi (Bára Björgvinsdóttir 1982). Á u.þ.b. 1000 m dýpi sáust þykk setlög í báðum holum en ekki var unnt bera þau nákvæmlega saman með tilliti til dýpis. Innskot komu í veg fyrir frekari samanburð milli holanna.

Ummyndunarsteindir voru greindar í svarfinu. Þar var kemur fram að zeólítarnir skólesít, stilbít, heulandít og mesólít eru einkennandi niður á 700 m dýpi en þar neðan við verður laumontít einkennissteind. Það þýðir að skilin milli mesólít/skólesíts-beltisins og laumontíts-beltisins liggja á um 700 m dýpi.

## 2.4 Borholumælingar

Allar mælingar, sem gerðar voru í holu BN-1, eru tilgreindar í töflu 1 að undanskildum hallamælingum, en þær eru sýndar í töflu 2 ásamt hallamælingum úr holu HN-10. Jarðlagamælingar ásamt víddarmælingu er að finna með jarðlagasniðinu í viðauka I.

*TAFLA 1. Yfirlit um mælingar í holu BN-1. Bormenn gerðu þær mælingar sem gerðar voru með mælirúllu borsins en starfsmenn Jarðhitadeildar Orkustofnunar aðrar mælingar.*

Dags.	Hvað mælt	Dýpi	Dýptarbil	Aths. (m)
810804	Hiti	1077	0 - 300	Mælt með mælirúllu á bor
810818	Hiti	1197	0 - 1160	- " -
810901	Hiti	1339,5	0 - 1300	- " -
810909	Hiti,dT,CCL	1400,3	0 - 1384	Mælt með R 50402
810909	Vídd	1400,3	0 - 1384	- " -
810910	N-N og Gamma	1400,3	0 - 1384	- " -
810910	Viðnám 16" 64"	1400,3	0 - 1384	- " -
810929	Hiti	1651,4	0 - ?	Mælt með mælirúllu bors (týnd)
811027	Hiti	1770,1	0 - ?	- " - (týnd)
811203	Hiti,dT,CCL	1830	0 - 892	Mælt með R 24585
820823	Halli	1770	0 - 888	Mælt af fyrirtækinu Sperry-Sun

*TAFLA 2. Hallamælingar í BN-1 og HN-10 samkvæmt mælingum með hallamæli Orkustofnunar. Stefnan er mæld með seguláttavita.*

Hola nr.	Dýpi (m)	Halli (°)	Stefna	Mesta frávik frá lóðréttu (m)
BN-1	400	3	NA	21
-"	800	3	NA	42
-"	1100	3	NA	58
-"	1350	3	NA	71
HN-10	300	1-2	N	10
-"	600	1-2	N	21
-"	900	1-2	N	31

Tvær mælingar, sem getið var um í borskýrslum, frá 29. september og frá 27. október virðast týndar. Það er miður, þar sem þær innihalda upplýsingar um hita á því dýptarbili, sem hitaaukning verður á. Í borskýrslum er gefið upp hitastig í botni en ekki er vitað hversu djúpt var mælt.

Starfsmenn Orkustofnunar mældu holuna þegar hún var 1400 m djúp. Auk hitamælinga var mæld vídd, viðnám með 16" og 64" straumörmum, nifteindadreifing og náttúruleg gammageislun. Þrjár síðastnefndu mælingarnar eru sameiginlega nefndar jarðlagamælingar því þær gefa upplýsingar um gerð einstakra jarðlaga.

Víddarmælingin sýnir hversu slétt og felld holan er. Miðað við allt það skark sem búið var að vera í henni er holan lítið útvöskuð. Meðalvídd holunar er 22,5 cm. Versti kaflinn er frá 850 m í 900 m enda var mesta skarkið í borun á þeim kafla og líklegt að þar sé holan "skráargatslaga". Tveir djúpir skápar mynduðust, sá dýpri í millilagi á 630 m dýpi við neðri jaðar á gangi. Er hann um 70 cm í þvermál. Hinn er á 140 m dýpi í millilagi e.t.v. þar sem efsta æðin er í holunni. Hann er rúmí 40 cm í þvermál.

Viðnám mælt með 16" straumarmi er rétt rúmí 60 Ωm að meðaltali fyrir holuna. Hæst mælist það í berggöngunum eins og sjá má á mæliferlinu í viðauka I.

Nifteindadreifing er mæling á fjölda vetnisatóma í berginu, mælt frá holumiðju. Hún gefur því góðar upplýsingar um vatnsinnihald bergsins í næsta nágrenni holunnar. Smáatriði í uppbyggingu jarðlagastafans koma einna best fram í þessari mælingu og er mikið stuðst við hana við samanburð milli hola HN-10 og BN-1.

Gammamælingin sýnir náttúrulega útgeislun bergsins. Það eru einkum kalíum, úraníum og þóríum sem valda geislavirkni í bergi. Magn þessara efna er í réttu hlutfalli við magn kísilsýru ( $\text{SiO}_2$ ) í berginu. Þannig koma útslög á mæliferilinn á móts við ísúrar og súrar bergtegundir. Einnig sýnir mælingin oft á tíðum útslög á móts við setlög eða hraunkarga, en það er ekki algilt.

Meðan bormenn voru í helgarfrú dagana 9. og 10. október voru holurnar BN-1 og HN-10 hallamældar og eru niðurstöður sýndar í töflu 2. Miðað við holutoppa er hola HN-10 um 70 m NNA af BN-1. Aftur á móti benda hallamælingarnar í töflu 3 til þess að botn holu BN-1 sé skammt austan lóðlínu frá holutoppi HN-10 og á 1000 m dýpi er fjarlægðin milli holanna um 50 m.

Í ágúst 1982 var starfsmaður frá kanadíska fyrirtækinu Sperry-Sun staddur hérlendis með svokallaðan gíróhallamæli en með honum má mæla stefnuna á halla holunnar á mun áreiðanlegri hátt en með segulhallamæli. Stefnan er þá mæld miðað við stefnu á einhvern fastan punkt á yfirborði. Til að fá hina raunverulegu stefnu þarf síðan að mæla stefnuna frá holunni á fasta punktinn. Af einhverjum ástæðum varð ekkert af því. Þess vegna er takmarkað gagn af stefnumælingunni sem gerð var með gíróhallamælinum. Samkvæmt þessum mælingum er halli BN-1 sáralítill eða um eða innan við  $1^\circ$  en ekki um  $3^\circ$  eins og mælingarnar með segulhallamælinum sýndu. Ekki er ljóst af hverju þessi mismunur stafar og samanburður þessara tveggja mæla í öðrum holum sýnir lítil frávik.

## 2.5 Vatnsæðar og hiti

Meðan á borun stóð fylgdu bormenn með breytingum á skolvökva m.a. til að fylgjast með því er borinn hittir á vatnsæðar (Jarðboranir ríkisins 1981). Ekki var um að ræða neina skipulega skráningu og mælingar á skolvatnshita því slitróttar. Hitamælingar voru gerðar í borhléum. Fyrsta mælingin var gerð þegar dýpið var 1077 m og vantar því mælingar sem sýna hitaástand bergsins þar fyrir ofan og hita efstu æðanna. Við staðsetningar á vatnsæðum var stuðst við breytingar á skoli, hitamælingar og jarðlög.

Fyrst var æð skorin á 144 m dýpi og var rennsli þá úr holunni um 3,4 l/s. Engar upplýsingar liggja fyrir um hitaaukningu á skoli. Ekkert var getið í borskýrslum um breytingar á rennsli fyrr en komið er niður á 676-687 m dýpi. Þá er sagt að rennsli upp úr holunni hafi aðeins aukist. Er hola var orðin 1077 m djúp var hitamælt gegnum borstreng niður á 300 m dýpi, þar sem krónan var. Þess var getið að hitastig við holutopp væri  $43,5^\circ\text{C}$  og á mælisvuntu var skráð 3 l/s sjálfrennsli. Aftur er getið um hita við holutopp eftir hitamælingu, þegar hola var 1197 m djúp. Hafði rennslið þá minnkað í 1,6 l/s en hitinn var  $52,5^\circ\text{C}$  þ.e. hærri hiti en áður mældist þrátt fyrir minna rennsli. Samkvæmt hitamælingum (mynd 5) þá er líklegast að kalt vatn hafi lekið inn í holuna við neðri enda lausu fóðringarinnar en smám saman hafi lekinn minnkað og rennslið upp þar af leiðandi hitnað. Rétt er að geta þess að báðar mælingarnar voru gerðar, þegar bormenn komu úr helgarfrú. Næst þegar hola var hitamæld var dýpið 1339,5 m og mældist hiti og rennsli við holutopp eins og við síðustu mælingu á undan. Þegar komið var niður á 1400 m dýpi var hiti mældur meðan bormenn voru í helgarfrú. Þá var rennsli um 1 l/s af  $55,8^\circ\text{C}$  heitu vatni. Þegar komið var niður á 1757-1758 m dýpi var æð skorin og áætlað að rennsli úr holunni ykist um 10-15 l/s. Fljótlega hefur dregið úr rennsli eða rennsli verið ofmetið í fyrstu, því nákvæm mæling á því, sem gerð var rúmum hálfum sólarhring síðar gaf 8 l/s. Þann 27. nóvember eða fjórum dögum síðar, þegar komið var úr helgar-

**TAFLA 3. Halli holu BN-1 samkvæmt mælingum kanadíska fyrirtækisins Sperry-Sun með giróhallamæli.**

Dýpi (m)	Halli frá lóðréttu (°)	Stefna hallans (°)
0	0,00	0,00
30	0,12	269,25
60	0,37	251,08
90	0,45	259,92
120	0,47	238,75
150	0,45	247,08
180	0,05	74,96
210	0,08	162,08
240	0,25	218,42
270	0,35	244,80
300	0,22	277,40
330	0,45	228,00
360	0,42	261,55
390	0,42	247,30
420	0,08	323,40
450	0,22	241,36
480	0,92	266,86
510	0,92	266,44
540	1,08	282,11
570	1,05	282,78
600	0,62	270,28
630	0,53	263,93
660	0,42	285,83
690	0,62	277,25
720	0,75	277,25
750	0,67	257,42
780	0,82	263,32
810	1,05	274,73
840	1,05	276,15
870	1,12	254,06
888	1,13	266,40

frú, var hita- og rennslismælt. Var rennsli þá 7,8 l/s. Næst var getið um 7,1 l/s rennsli, þegar dýpið var 1791 m. Síðan var fylgst reglulega með rennsli og hitabreytingum á skolvatni þar til að lokið var við borun holunnar. Rennslið hélst óbreytt. Í töflu 4 er samantekt á rennslismælingum meðan á borun stóð.

Í töflu 4 eru taldar upp allar hitamælingar og hvenær þær voru gerðar, en á mynd 5 eru þær sýndar að tveimur undanskildum, sem virðast hafa glatast. Hitamælingarnar á mynd 5 sýna nokkuð skýrt hvar æðar eru í holunni. Sterkasta æðin, sem er á 1758 m dýpi, sést ekki þar sem engin mæling nær þangað niður. Aftur á móti er til mæling frá 3. desember, sem sýnir rennslisferil úr holunni. Þar má merkja væga kólnun við æð á 144 m dýpi. Í töflu 5 er listi yfir æðarnar og gerð grein fyrir hvernig þær voru staðsettar.

Athyglisvert er að tvær stærstu æðarnar eru nálægt eða við bergganga. Þetta er nánar skýrt á mynd 6. Efst æðin er 50 - 55°C heit og er hún á 144 m dýpi, skammt ofan við ganginn sem

TAFLA 4. Rennslismælingar í BN-1 meðan á borun stóð.

Dags.	Dýpi (m)	Rennsli (l/s)	Hiti °C	Athugasemdir
81.07.11	144	3,4		Hiti ekki mældur
81.07.22	680			Rennslisaukning
81.08.04	1077	3,0	44,0	Hitamæling
81.08.18	1197	1,6	52,0	- " -
81.09.01	1339,5	1,6	52,0	- " -
81.09.09	1400	1,0	55,8	- " -
81.09.29	1651,4			Ekki getið um rennsli Mæling týnd.
81.10.27	1770,1	7,8		Hitamæling týnd
81.12.03	1830	7,1	89,4	Hitamæling

TAFLA 5. Vatnsæðar í BN-1.

Dýpi	Staðsetning (m)	Afstæð stærð	Líklegur hiti í °C	Jarðlög
144	Rennsli, hitam.	Meðal	50-55	Millilag við gang
660	Hitam.	Smá	82-85	Ummýndað glerjað basalt
890	Hitam.	-"	80-85	Skammt frá gangi
1010	Hitam.	-"	80-85	Líkl. tengt túffi
1070	Hitam.	-"	80-85	Millil. v. ísúrt innsk.
1150	Hitam.	-"	82-85	Við gang
1756	Rennsli	Stór	95-100	Við gang

skorin er á 150 - 195 m dýpi.

Næstu vatnsæðar sem holan hittir í eru 80 - 85°C heitar. Þetta eru allt smáar æðar sem sjást í hitamælingum á myndum 5 og 6 frá 660 m og niður á 1150 m dýpi. Ef jarðlagasnið í viðauka I er skoðað sést að talsvert ber á gangbergi frá liðlega 600 m dýpi og langleiðina niður á 870 m dýpi auk þess sem gangur sést á 940-960 m dýpi. Þá er æðin á 1150 m dýpi mjög nálægt gangi. Á 1756 m dýpi var skorin 95 - 100 °C heit æð og er hún gjöfulasta æð holunnar. Engar hitamælingar eru til sem ná þangað niður, en mæling niður á 892 m dýpi sýnir einkennandi rennslisferil sem má framlengja niður að æðinni. Í borskýrslum er getið um hitastig í botni á mælingu frá 29. september en sú mæling er týnd. Mælt var inni í stöngum og var hitastig við enda stangarlengju 91,7°C. Ekki er vitað á hvaða dýpi það var, en holan var þá 1651,4 m djúp.

Á mynd 5 sést vel kólnun neðan æðanna, sem holan sker, en síðan stígur hitinn hægfara þar til næsta æð er skorin. Þetta stafar af því að bergið er enn talsvert langt frá því að hafa jafnað sig eftir kælingu af völdum skolvatnsins nema helst næst æðunum þar sem heitt vatn vætlar inn í holuna.

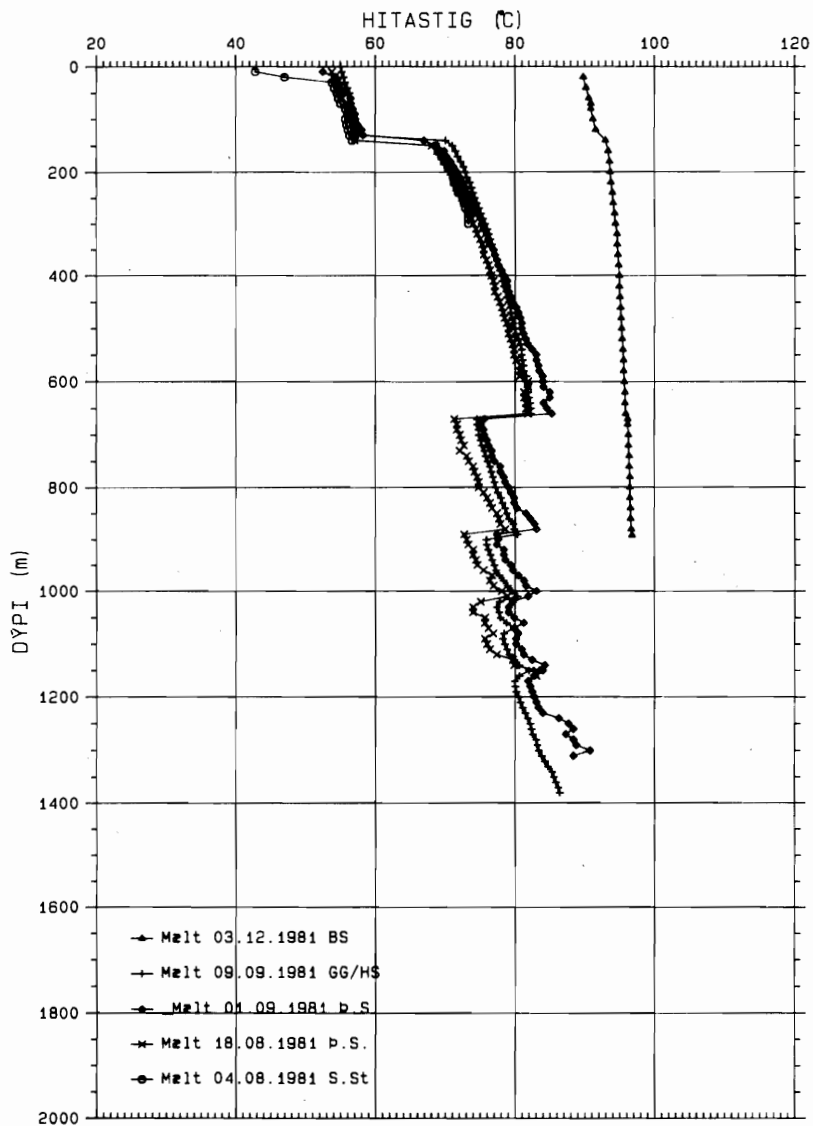
## 2.6 Samanburður á jarðlögum í HN-10 og BN-1

Sömu jarðlög voru greind í holunum niður á 600 m dýpi, en þar er komið niður í bergganga, sem hindra frekari láréttan samanburð. Nokkur munur er á þykkt ganganna sem skornir eru á efstu 1000 metrunum. Skýringin getur verið mismunur á stefnu og halla holanna, því líklega er um sömu ganga að ræða. Um 10 m misgengi virðist liggja milli holanna. Jarðlög í holu HN-10 liggja dýpra.

Aðeins 50 - 70 m eru milli holanna eftir því hvaða dýptarbil er verið að skoða. Þrátt fyrir það er gjöful æð á 480 - 490 m dýpi í holu HN-10 án þess að votti fyrir æð í BN-1 á þeim slóðum. Æðin kom fram á mótum hraunlaga og því líklegt að hún hefði einhverja lárétta útbreiðslu, en svo reyndist ekki. Verður því að álykta að þessi æð sé tengd nær lóðréttum sprungum sem liggja örskammt frá þeim stað þar sem æðin er í HN-10 eða að lóðrétt skil séu á milli holanna hugsanlega tengd áður nefndu misgengi. Önnur gjöful æð var skorin í HN-10 á bilinu frá 813 - 876 m í gangbergi (Ásgrímur Guðmundsson 1980), en aðeins vottar fyrir æðum á svipuðu dýpi holu BN-1.

JHD-BJ-6000 ÁsG  
85.12.1613 T

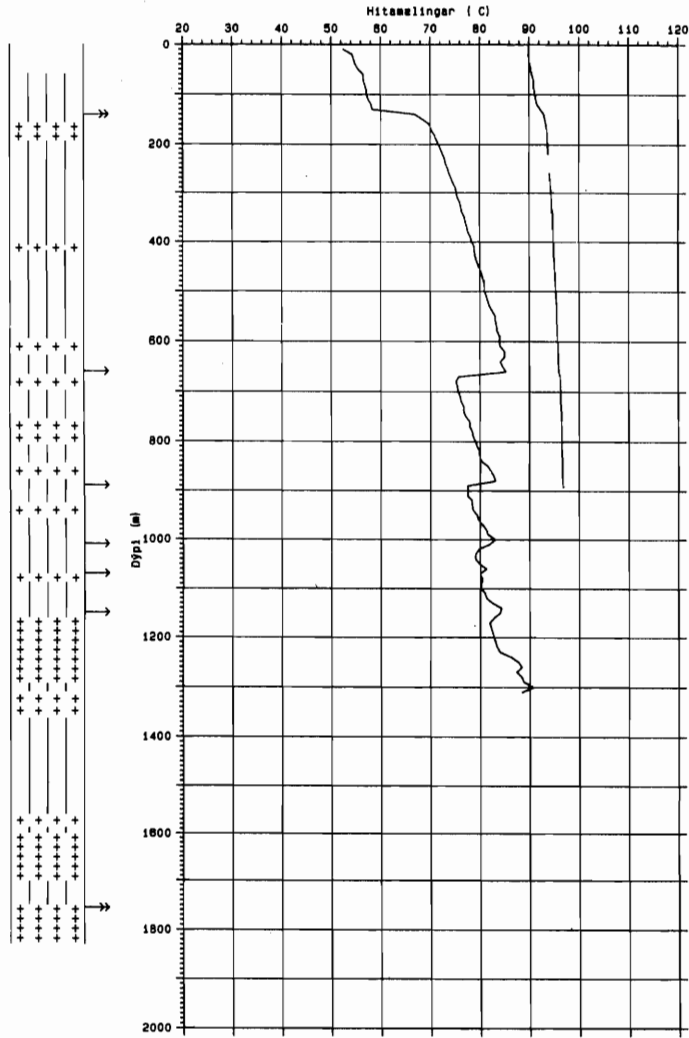
### HOLA BN-1 HITAMÆLINGAR



MYND 5. Hitamælingar úr holu BN-1

JHD-BJ-8510 A&G  
86.02.0102 T

HOLA BN-1  
Innskot, vatnsæðar og hiti



MYND 6. Samanburður á hitamælingum og jarðlagagreiningu.

### 3. PRÓFANIR Á HOLUM BN-1 OG HN-10

#### 3.1 Fyrri prófanir við Botn

##### 3.1.1 Botnslaug

Fyrstu rennslismælingar á jarðhitasvæðinu við Botn voru gerðar í Botnslaug en hún var vatns- mesta laugin af mörgum sem lágu á um 200 m langri línu nær samsíða Þjóðveginum, gegnt af- leggjaranum að Botni.

Mælingar á rennsli og hita laugarinnar voru gerðar öðru hvoru allt frá árinu 1920 (Þorkell Þorkelsson 1920). Engar breytingar virðast hafa orðið á lauginni fyrr en rennsli hófst úr efri æðum holu HN-10, á 489 m dýpi, við borun hennar í nóvember 1980. Þá minnkaði rennsli úr lauginni fljótlega og hafði nær hætt þegar lokað var fyrir holu HN-10 í janúar 1981. Rennslið jókst þá aftur en hætti síðan að fullu eftir að vinnsla hófst með djúpdælu úr HN-10 síðla árs 1981. Í júlí 1981 var laugin mæld í síðasta sinn áður en djúpdæling hófst úr HN-10 (Sigmundur Einarsson o.fl. 1981). Mældist rennsli vatnsins 0,8 l/s og hiti þess 55°C eða því sem nær óbreytt frá fyrri mælingum þrátt fyrir að þá voru liðin 3 - 4 ár frá því vinnsla var hafin á jarð- hitasvæðunum við Laugaland og Ytri-Tjarnir í Öngulstaðahreppi og frá því rennsli hófst úr holu GG-1 við Grísará.

##### 3.1.2 HN-10

Nokkrar prófanir hafa verið gerðar á holum HN-10 og BN-1 frá því borun þeirra lauk. Má þar nefna rennslis- og lokunarprófun sem gerð var á HN-10 skömmu eftir að borun hennar lauk hinn 13. janúar 1981. Hún hafði þá verið fódruð með steypu 11 3/4" röri í 456 m. Þegar hol- unni var lokað 27. janúar 1981, mældist rennslið 17,3 l/s og hafði þá runnið úr henni um 2-3 mánaða skeið. Mældur var þrýstingur á holutoppi fulllokuðum í tvo sólarhringa og eru niður- stöðurnar sýndar á mynd 7. Þá var opnað fyrir 1,5 - 2,0 l/s rennsli til afnota fyrir Hrafnagils- skóla. Eftir það var þrýstingur mældur því sem næst vikulega næstu 8 - 9 mánuðina, eða þar til rennsli var hleypt á safnæð að Laugalandi hinn 24. október 1981.

Þrýstingur fór hækkandi fram yfir miðjan júlí (var orðinn 18,1 kg/cm<sup>2</sup> þann 27.07.1981) en lækkaði síðan og mældist 16,9 kg/cm<sup>2</sup> um það leyti sem hleypt var á safnæðina. Ekki er ljóst hvort lækking þessi var vegna aukins rennslis til Hrafnagilsskóla eða vegna rennslis úr vatns- æðum í holu BN-1, sem þá var í borun og orðin rúmlega 1000 m djúp.

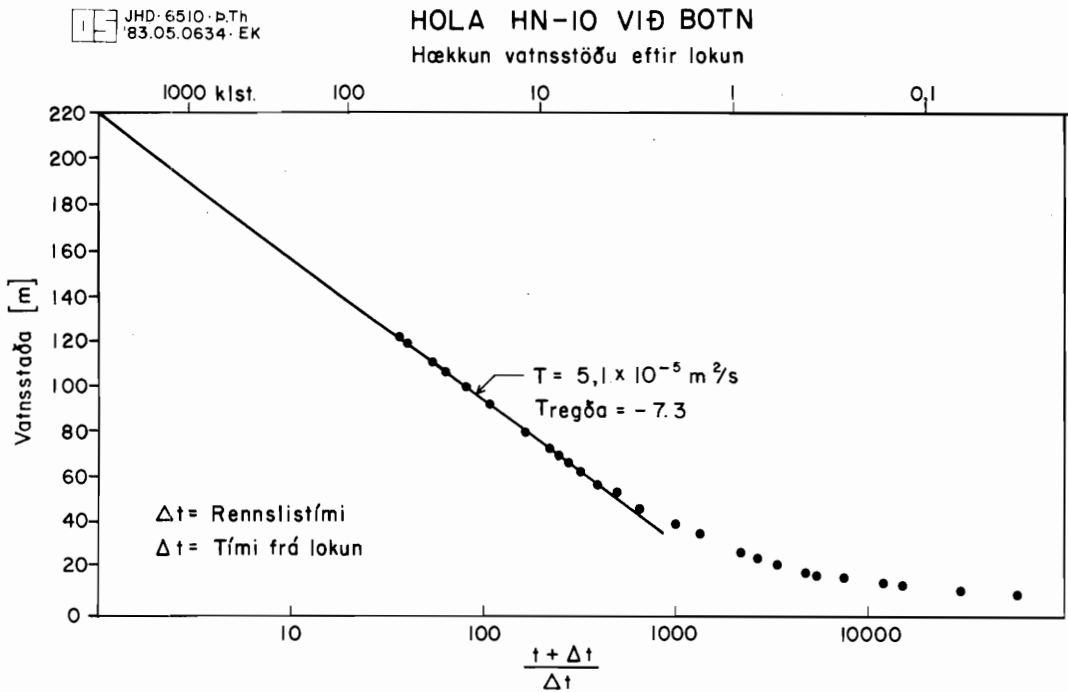
Skammtímaprófun var gerð með dælustöðvun í holu HN-10 hinn 13. janúar 1982 (mynd 8). Dælan hafði þá gengið í mánaðartíma og var meðaldæling 29 l/s. Rétt áður en dælan var stöðvuð var dælingin 26,5 l/s og hófst sjálfrennsli úr holunni eftir u.þ.b. 10 klst. Iðustreymis- mótstaðan var ákvörðuð út frá vatnsborðshækkuninni og reyndist 0,025 m/(l/s)<sup>2</sup>.

##### 3.1.3 BN-1

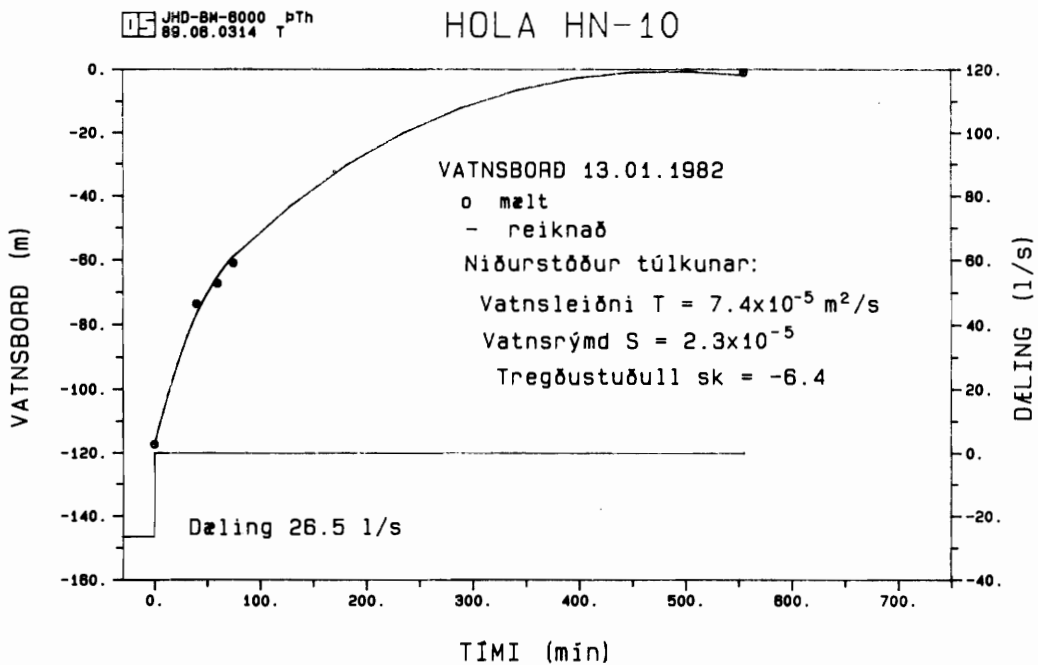
Rennsli úr holu BN-1 var um 7 l/s við lok borunar í nóvember 1981. Ekki var unnt að fram- kvæma lokunarprófanir í BN-1 eins og í HN-10 vegna þess hve fódring í BN-1 er stutt. Til þess að meta þrýsting neðri æða holunnar og rennsli úr þeim var brugðið á það ráð að loka holunni með pakkara á 684 m dýpi og mæla rennsli og þrýstingshækkun æðanna neðan pakkarans í borstöngum við holutopp. Jafnframt var rennsli úr efri æðum holunnar, utan með borstöng- um, mælt ásamt rennsli úr HN-10. Dæling var þá enn ekki hafin úr HN-10 en um 12 l/s sjálf- rennsli var úr holunni inn á safnæðakerfi hitaveitunnar og var mótþrýstingur um 2 kg/cm<sup>2</sup>.

Rennsli úr BN-1 var talið vera 10-15 l/s hinn 23.10.1981, fyrst eftir að borinn hitti á æðarnar á 1756-58 m dýpi. Viku síðar hafði það minnkað í 7,1 l/s. Við upphaf þökkunarprófunarinnar





MYND 7. Rennlisprófun í holu HN-10 í janúar 1981



MYND 8. Dæluþrófun í holu HN-10 í janúar 1982

1.12.1981 mældist rennslið 6,1 l/s úr BN-1 og 12,2 l/s úr HN-10. Eftir pökkun í 684 m dýpi mældist rennslið um borstengur 5,6 l/s en rennslið utan með stöngunum úr æðum ofan pakkarans var 0,5-0,6 l/s. Látið var renna frjálst úr borstöngunum þar til rennsli var orðið stöðugt og þá lokað fyrir til þrýstímælinga. Stengurnar stóðu lokaðar í 9 1/2 klst. og hækkaði lokunarþrýstingurinn á þeim tíma í 18,8 kg/cm<sup>2</sup>, þar af í 18,6 kg/cm<sup>2</sup> á fyrstu tveimur klukkustundunum (mynd 9). Rennsli úr efri æðum BN-1 og úr HN-10 hélst í fyrstu óbreytt en jókst nokkuð á síðustu tveimur tímum prófunarinnar, í 0,6 l/s úr BN-1 og 12,6 l/s úr HN-10.

Skammtímaprófun með dælustöðvun var gerð í BN-1 10.7.1984. Þá hafði 5,5 - 6,0 l/s verið dælt samfelld með djúpdælu úr holunni í u.þ.b. eitt ár. Ekki reyndist unnt að mæla vatnsborðshækkun í holunni frá byrjun vegna leka í mæliröri. Talið var að lekinn væri á 48 m dýpi og er mæld hækkun frá því dýpi sýnd á mynd 10. Þar má sjá að vatnsborðið hækkaði úr -170 m upp í holutopp á 8 1/2 -9 klst. Þegar dælan var tekin úr holunni árið 1985 var mælirörið lagfært. Það hrökk hins vegar aftur í sundur sumarið 1986, líklega nærri holutoppi, og hefur verið óvirkt síðan.

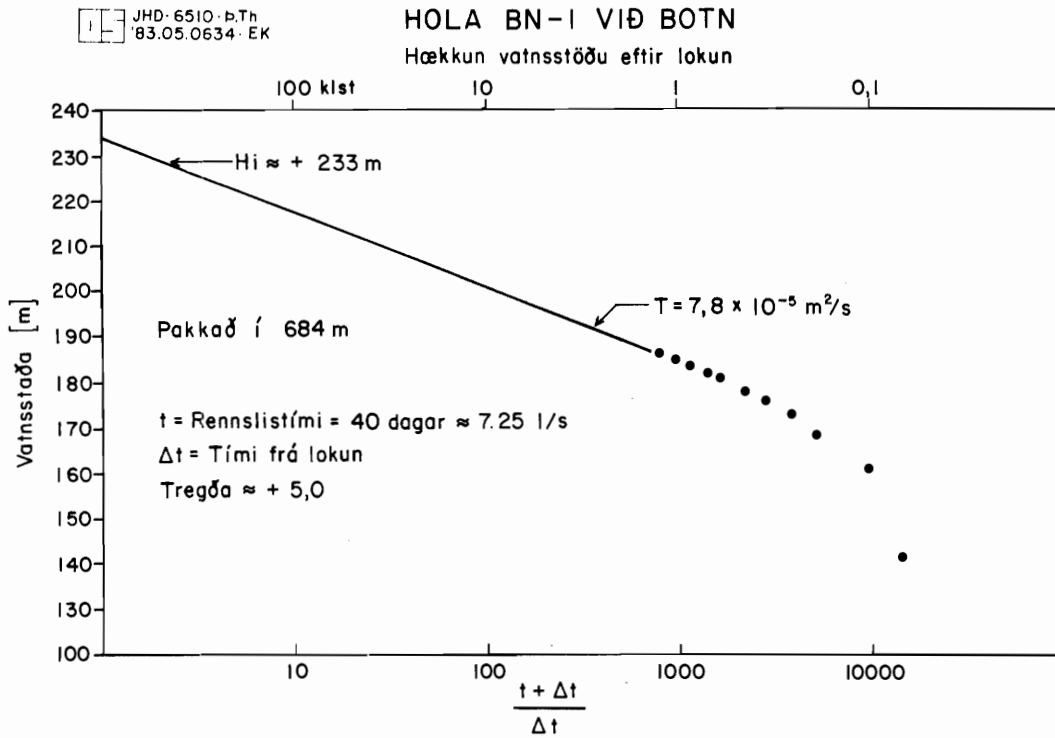
### 3.1.4 Túlkun mælinganna

Túlkunir á ofangreindum fjórum prófunum eru sýndar á myndum 7 - 10. Til grundvallar er lagt líkan af borholu með holurým og tregðu við holuveggi í láréttum óendanlega útbreiddum vatnsleiðara. Gert var ráð fyrir sömu eiginleikum vatnsins alls staðar í leiðaranum og að rennsli að holunni sé lagstreymt. Við holuveggi er þó ýmist gert ráð fyrir auknu eða minnkuðu þrýstifalli vegna tregðuáhrifa, sem orsakast kunna af tregara rennsli vegna þrengsla eða greiðari rennslisleiða t.d. um sprungur, sem holan sker. Þrýstihækkun HN-10 eftir lokun 27.1.1981 er sýnd á mynd 7 og hækkun neðan pakkara í 684 m dýpi í BN-1 má sjá á mynd 9. Þessar myndir sýna svokallaðan *Homer* feril þrýstingshækkunar, en það er ferill hækkunar eftir lokun sem fall af logaritmanum af hlutfallinu  $(t + \Delta t) / \Delta t$ , þar sem  $t$  er samanlagður rennslistími (fyrir lokun) en  $\Delta t$  er tíminn sem liðinn er frá lokun holu. Halli ferilsins, ef um beina línu er að ræða, segir til um vatnsleiðni í námunda við holu en skurðpunktur við þrýstingsás,  $(t + \Delta t) / \Delta t \rightarrow 1$ ;  $\Delta t \rightarrow \infty$ , er vísbending um upphaflegan þrýsting vatnsleiðarans.

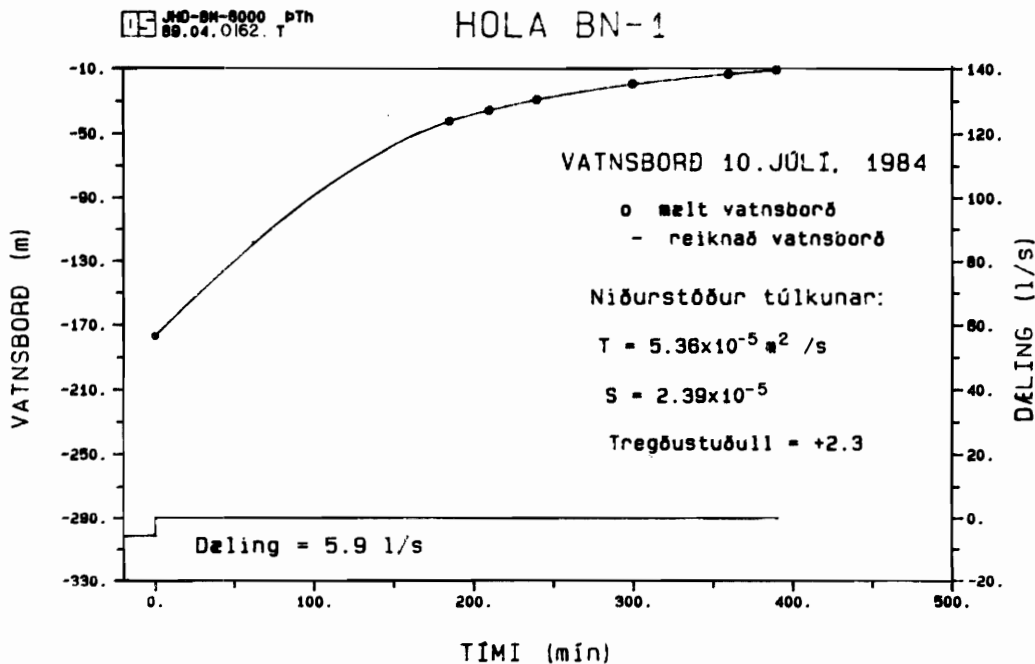
Tregðustuðullinn er mælikvarði á frávik mæligildanna frá beina ferlinum eða framlengingu hans í upphafi prófunar. Neikvæður tregðustuðull HN-10 (-6,8) bendir til víðra aðstreymisrása t.d. aðrennslis eftir sprungum. Jákvæður tregðustuðull eins og í BN-1 (5,0) er vísbending um tregara rennsli t.d. í millilögum eða fínsprungnu bergi.

Við dælustöðvun í HN-10 í janúar 1982 og í BN-1 í júlí 1984 var forritið MAIN notað til úrvinnslu mæligagnanna. Ákvarðaðir voru stuðlar fyrir vatnsleiðni (T), vatnsrým (S) og tregðu (sk). Forritið hagræðir stærðum þessum með ítrekunum uns besta samræmi fæst milli reiknaðs og mælds ferils.

Mynd 8 sýnir túlkun mælinganna í HN-10 en á mynd 10 eru mælingar úr BN-1 sýndar. Yfirlit um niðurstöður er að finna í töflu 6.



MYND 9. Rennslisprófun með pakkara í holu BN-1 að lokinni borun í desember 1981. Pakkarinn var hafður á 684 m dýpi þannig að prófunin nær aðeins til þess hluta holunnar sem er þar fyrir neðan.



MYND 10. Dæluprófun í holu BN-1 í júlí 1984.

TAFLA 6. Rennlisstuðlar hola HN-10 og BN-1.

Hola nr.	Dags.	Magn l/s	Vatnsleiðni $m^2/2 \cdot 10^{-5}$	Vatnsrýmd $\cdot 10^{-5}$	Tregðustuðull
HN-10	27.01.1981	17,3	5,1		-6,8
HN-10	13.01.1982	26,5	7,4	2,3	-6,4
HN-10	24.05.1988	23,4	6,9	2,6	-6,7
BN-1	01.12.1981	5,6	7,8		5,0
BN-1	10.07.1984	5,9	5,4	2,4	2,3
BN-1	09.05.1988	5,5	3,7	0,7	-0,8

Af töflunni má sjá að tregðustuðull HN-10 mælist svipaður í öllum mælingum og er neikvæður. Það getur verið vísbending um greitt aðrennsli í næsta nágrenni holunnar. Tregðustuðull BN-1 er lægri í seinni mælingum en hann var í desember 1981 en sú prófun náði einungis til æða neðan 684 m dýpis, þar sem pakkari var hafður. Þetta bendir til að tregðustuðull efri æða holunnar (ofan 684 m) sé neikvæður eins og raunin er í HN-10.

### 3.2 Rennlis- og þrýstiprófanir 1988

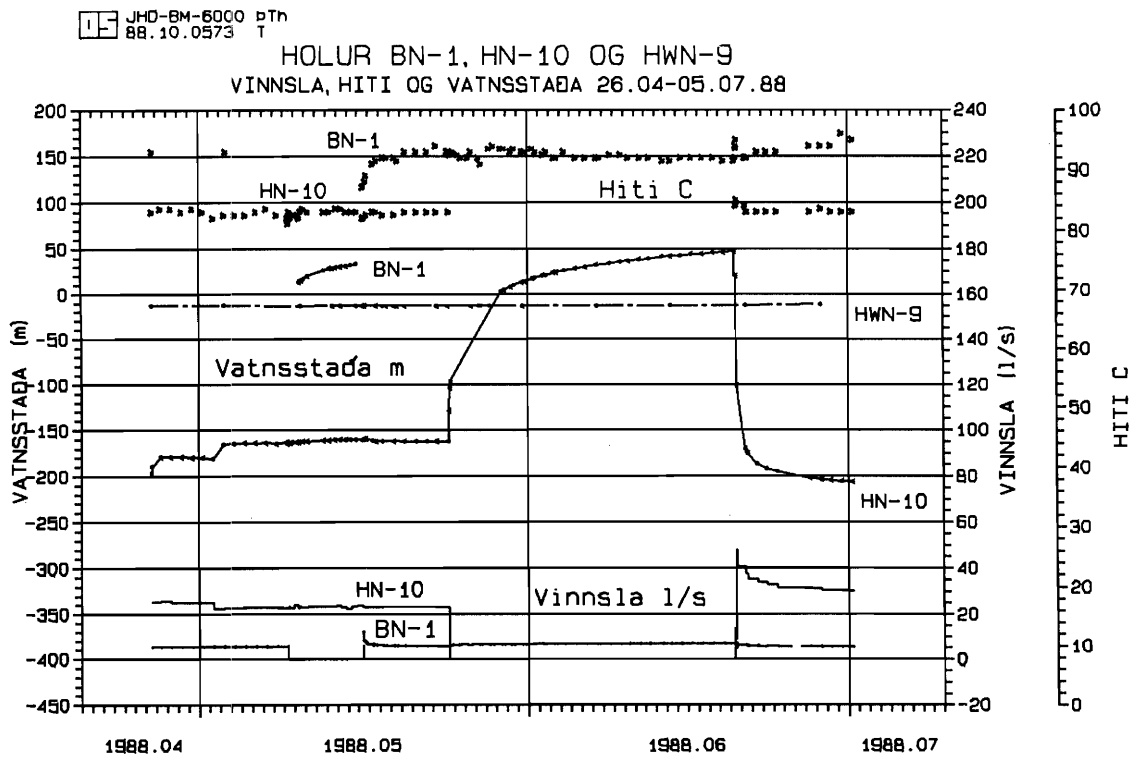
Prófanir voru gerðar á holum BN-1 og HN-10 í maí og júní 1988. Voru dælur stöðvaðar, fyrst í BN-1 í vikutíma en síðar í HN-10 í 27 daga, 8 dögum eftir að dælan í BN-1 var gangsett á ný. Þessar mælingar voru gerðar á vatnsmagni, hita, og vatnsborði eða vatnsstöðu holanna þar sem því varð við komið. Ari Rögnvaldsson hjá Hitaveitu Akureyrar sá um mælingarnar. Megintilgangur mælinganna var að kanna þrýstístand holanna í hvíld og áhrif þeirra innbyrðis til samanburðar við fyrri mælingar og til viðmiðunar í framtíðinni. Ekki var gert ráð fyrir að takast mætti að ákvarða stuðla vatnsleiðni og vatnsrýmdar á fullnægjandi hátt því vatnsborðsmælir í BN-1 var bilaður og mælisvið vatnsborðsmælis í HN-10 var stutt, eða milli 96 og 162 m dýpis.

Þann 2. maí var dæling úr HN-10 minnkuð úr 25-26 l/s í 23-24 l/s. Var það gert til að dæling úr HN-10 yrði sem næst meðaldælingu úr holunni frá áramótunum 1987/88 meðan á prófununum stæði.

Mynd 11 sýnir yfirlit yfir vatnsmagn, vatnsstöðu og hita sem mældist í holunum meðan á prófununum stóð, en myndir 12 og 13 sýna sömu mæligildi í stærri mælikvarða um það leyti sem dælur voru stöðvaðar eða gangsettar.

#### 3.2.1 BN-1

Dæla í holu BN-1 var stöðvuð 9. maí kl 10<sup>05</sup>. Vinnsla hafði þá verið 5,55 l/s, hiti vatnsins 93°C og vatnsborð var áætlað -170 m út frá vatnsborðsmælingum 1986. Fyrsta mæling á þrýstingi á holutoppi er kl 12<sup>00</sup> þann 10. maí, 1,30 bar. Þegar dælan var gangsett á ný eftir viku hvíld, kl 11<sup>00</sup> þann 16. maí, hafði þrýstingurinn hækkað í 3,35 bar. Samkvæmt hækkunarferlinum hefur vatnsborð hækkað úr -170 m (áætlað) í holutopp á um 10 klst. Hækkunin er því næst hin sama nú og hún var eftir dælustöðvunina í júlí 1984 og er þrýstingur í vatnsæðum BN-1 þannig nær óbreyttur þrátt fyrir óslitna 5-6 l/s vinnslu úr holunni í tæp 4 ár. Ferill þrýstingshækkunarinnar er sýndur á mynd 14 og er hann túlkaður með tölvuforriti Jarðhitadeildar líkt og gert var við dælustöðvun í BN-1 í júlí 1984.



MYND 11. Vatnsborð og hiti í holum BN-1, HN-10 og HW-9 samanborið við dælingu úr holum HN-10 og BN-1.

Dælustöðvunin í BN-1 hafði tiltöluleg lítil áhrif á vinnslu í HN-10. Vatnsmagn jókst um 0,5-1,0 l/s og vatnsborð hækkaði um 4 m á meðan ekki var dælt úr BN-1 en þessu fylgdu engar marktækar breytingar á hita vatnsins úr HN-10.

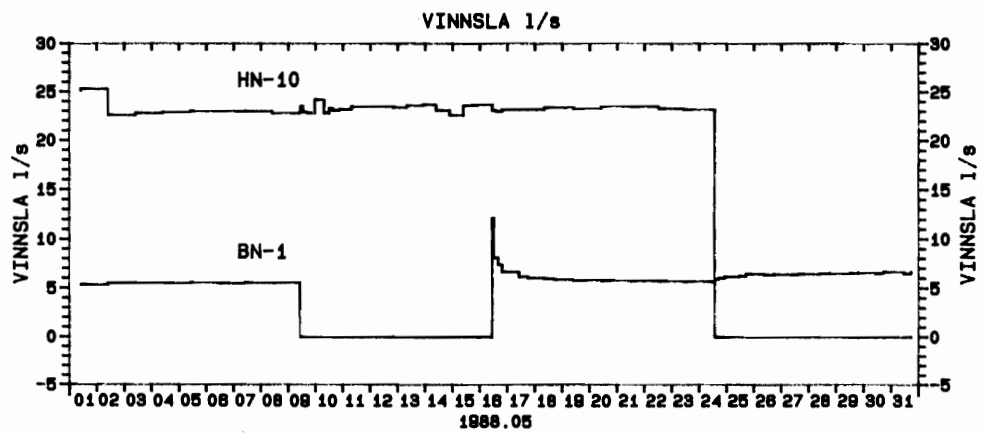
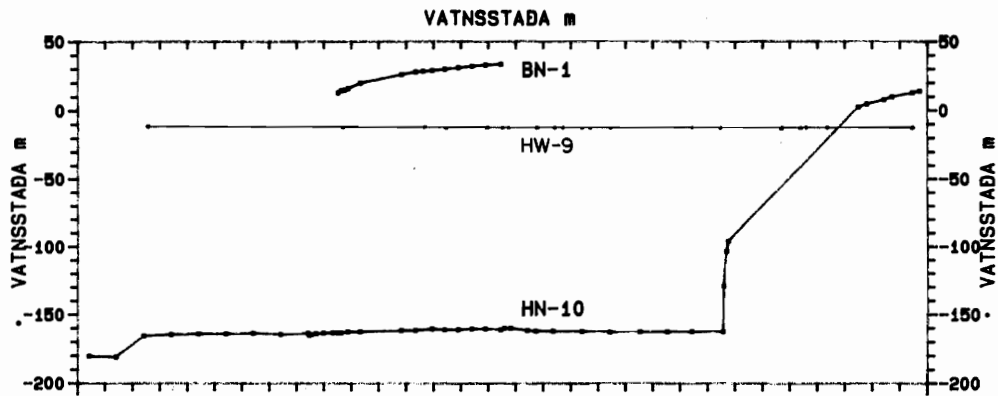
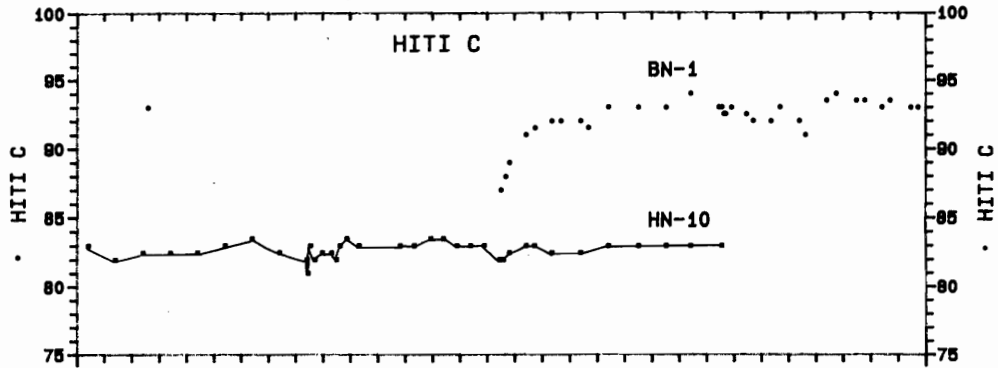
### 3.2.2 HN-10

Dæla HN-10 var stöðvuð 24. maí en þá var dælt úr holunni 23,3 l/s, hiti vatnsins var 83,0°C og vatnsborð á 162,4 m dýpi. Vatnsborð hækkaði um 66 m á 4 klst, í -96,2 m og var eftir það ofan við svið mælíbúnaðarins. Vatnsborðshækkunin ásamt túlkun hennar er sýnd á mynd 15. Hún er túlkuð á sama hátt og gert var í prófuninni í HN-10 í janúar 1982 (mynd 8). Niðurstöður eru svipaðar og er tregðustuðull ennþá neikvæður (-6,7).

Fyrsta mæling á þrýstingi á holutoppi er frá 29. maí kl 11<sup>40</sup> og var hann þá 0,26 bar. Þann 20. júní, skömmu áður en dælan í HN-10 var gangsett á ný eftir 27 daga hvíld, reyndist þrýstingur á holutoppi vera orðinn 4,75 bar (myndir 11, 12 og 13). Samkvæmt þrýstingsferlinum hefur vatnsborð því hækkað úr -162 m í holutopp á um 105 klst. Miðað við lægra upphafsvatnsborð (-162,4 m) og minni dælingu (23,4 l/s) en var í prófuninni í janúar 1982 (-119 m og 26,5 l/s) er hækkun vatnsborðsins sambærileg við það sem hún var þá. Hins vegar hefur orðið þrýstilækkun í vatnsleiðurum holunnar um 5-6 bar á þessu sex ára tímabili vegna 26 l/s meðalvinnslu. Lækkunin hefur orðið mest á fyrstu mánuðunum en síðan hefur dregið úr henni vegna tengsla vatnskerfis holunnar við annað mun gjöfulla vatnskerfi (Guðni Axelsson o.fl., 1988).

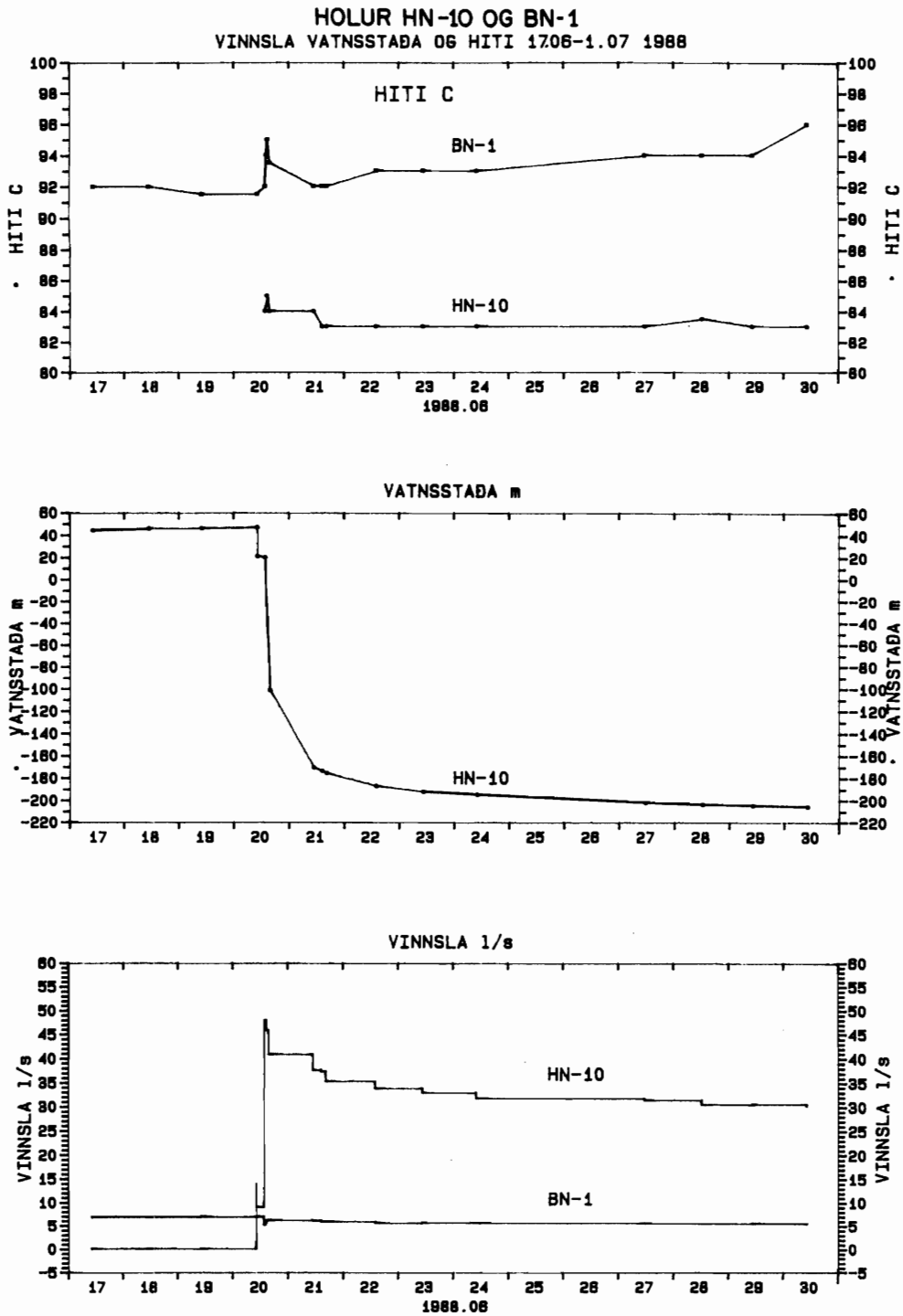
JHD-BM-8000 pTh  
88.09.0528 T

HOLUR HN-10 OG BN-1  
VINNSLA, VATNSSTADA OG HITI I MAI 1988

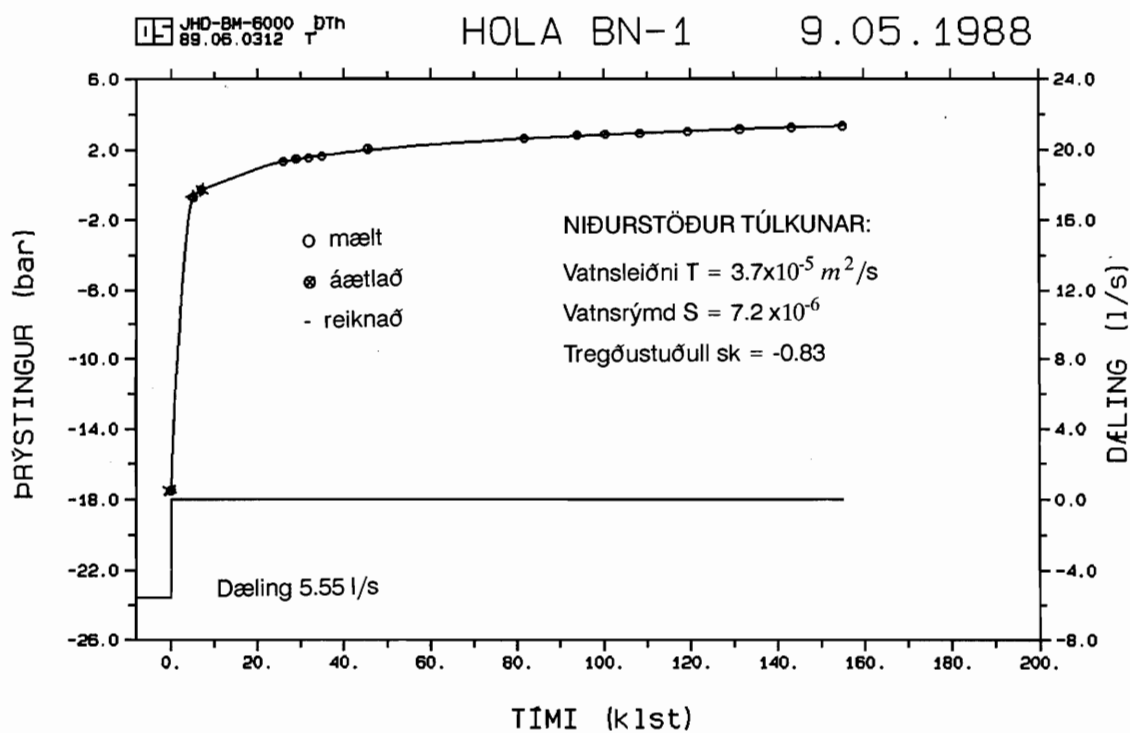


MYND 12. Breytingar á vatnsborði og hita í holum HN-10 og BN-1 við dæluprófun í maí 1988.

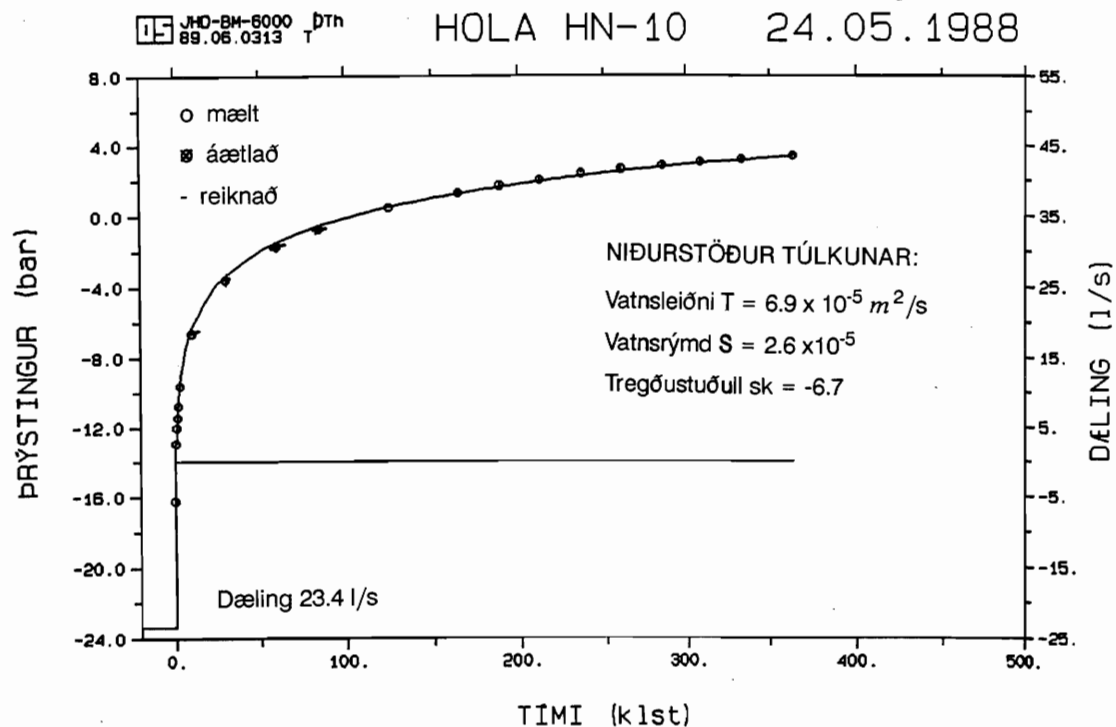
JHD-BM-8000 pTh  
86.09.0529 T



MYND 13. Breytingar á vatnsborði og hita í holum HN-10 og BN-1 við dæluþrófun í júní 1988.



MYND 14. Vatnsborðsbreyting í BN-1 við dælustöðvun í maí 1988



MYND 15. Vatnsborðsbreyting í HN-10 við dælustöðvun í maí 1988



Umtalsverð áhrif komu fljótlega fram á vatnsmagni og hita í BN-1 eftir að dæla HN-10 hafði verið stöðvuð (myndir 11 og 12). Vatnsmagn jókst jafnt og þétt og hafði aukist úr 5,7 l/s í 7,0 l/s þegar dælan var gangsett á ný þann 20. júní kl 13<sup>40</sup>. Á sama tíma lækkaði hiti vatnsins úr BN-1 úr 93°C í 91,5°C. Ör hækkun varð aftur á hita vatnsins úr BN-1 á fyrstu klukkustundunum eftir gangsetningu dæluinnar í HN-10. Hitinn hækkaði í fyrstu í 95°C en lækkaði svo aftur í 92°C sólarhring eftir gangsetninguna, tók þá aftur að hitna og var 95°C þann 1. júlí 1988. Á sama tíma minnkaði dæling úr BN-1 úr 7,0 l/s í 5 l/s en jókst svo á ný í 6,2 l/s næsta sólarhringinn en fór þá aftur minnkandi og mældist 5,5 l/s hinn 1. júlí.

Breytingar þessar á vatnsmagni og hitastigi í BN-1 þegar dælan er stöðvuð eða gangsett í HN-10 benda til þess að efri æðar BN-1 séu í góðum tengslum við æðar í HN-10. Hlutur efri æða í BN-1 mældist 9-10% í þökkunarprófuninni í desember 1981. Hann kann að vera nokkru meiri á meðan þrýstingur er á holutoppi HN-10 (4,3 bar) eins og raunin var 1988 en frjálst rennsli var úr HN-10 á meðan þökkunarprófunin var gerð.

### 3.3 Áhrif milli vinnslusvæða

Fram til þess tíma að rennsli og vinnsla hófst úr holum HN-10 og BN-1 höfðu laugarnar við Botn ekki sýnt nein merki þess að þær yrðu fyrir áhrifum af dælingu á vinnslusvæðunum við Syðra-Laugaland og Ytri-Tjarnir. Vísbendingar um áhrif frá þessum vinnslusvæðum höfðu þá þegar komið fram í rennsli og vatnsborði holu GG-1 við Grísará og í holunum við Hrafnagilsskóla. Þessi áhrif urðu æ greinilegri eftir því sem mælingar urðu reglubundnari og vinnsla árs-tíðabundnari. Upplýsingar um mælingaholur þær sem notast er við er að finna í töflu 7.

TAFLA 7. Samanburður á dýpi, fóduringum og vatnsæðum í borholunum.

Hola nr.	Borun lauk dags.	Dýpi m	Lengd fóduringar m	Vatnsæðar m	Staður
BN-1	03.12.1981	1830	28,3	144, 676, 1000-1050, 1757	Botn
HF-1	07.11.1968	501	44,7	430	Hrafnagil
HY-2	01.12.1968	192	31,5	70,140	Hrafnagil
HY-3	06.07.1972	637	48,5	170, 380	Hrafnagil
HY-7	12.05.1975	559	22,6	180	Hrafnagil
HY-8	18.06.1975	609	54,0	32, 350	Hrafnagil
HW-9	08.01.1979	1059	31,0	520, 690, 970?	Hrafnagil
HN-10	13.01.1981	1050	456,0	489, 813	Botn
HY-11	07.04.1981	220	6,6		Hrafnagil
GG-1	24.09.1977	1338	196,5	530, 1230	Grísará
RY-9	03.07.1981	342	3,4	25, 49, 165	Reykhús
LJ-8	29.06.1977	2820	199,0	300, 1334 1830, 2456	Ytra-Laugaland

Mynd A í viðauka II sýnir vinnslu við Laugaland árin 1980-1988 ásamt vatnsborði holu LJ-8 við Ytra-Laugaland og holu HW-9 við Hrafnagilsskóla. Á myndum B-G í viðauka II er enn fremur sýnt vatnsborð hola HY-3, HY-7, HY-8, HW-9 og HY-11 við Hrafnagil, holu GG-1 við Grísará og holu LJ-8 til viðmiðunar. Áhrif frá vinnslu við Laugaland koma greinilega fram í holum HY-3, HY-8, HW-9 og GG-1 en eru ekki merkjanleg í HY-7 og HY-11.

Áhrifin eru mest í HW-9 þar sem mismunur hæsta og lægsta vatnsborðs árið 1984 var um 30% af samsvarandi mæligildum í LJ-8. Á sama tímabili er mismunurinn sem hlutfall af mismun hæsta og lægsta mæligildis í holu LJ-8 við Laugaland 24% í holu GG-1, 14% í HY-3 og 9% í HY-8. Hæsta vatnsborð árið 1984 verður 5-6 vikum síðar í HW-9 og GG-1 en í LJ-8 en hún svarar breytingum í vinnslu á Laugalandi nær samstundis. Taftími vatnsborðsveiflunnar í HY-3 og HY-8 gæti verið nokkru meiri en hann er í GG-1 og HW-9 en erfiðara er að ákvarða hann vegna strjáltri vatnsborðsmælinga. Áhrifin frá vinnslu á Laugalandi á vatnsborð í holunum við Hrafnagil virðast dvína til vesturs eða suðvesturs. Þess ber þó að gæta að um fáar holur er að ræða og ræður dýpi þeirra ásamt dýpi fódringar og vatnsæða væntanlega nokkru um viðbrögðin við vinnslunni. Til þess að kanna betur útbreiðslu áhrifanna frá Laugalandi væri æskilegt að gera reglubundnar vatnsborðsmælingar í fleiri holum við Hrafnagil s.s. holu HF-1 (500 m) og HY-2 (603 m) og jafnvel HY-6 (29 m). Jafnframt er æskilegt að holurnar verði mældar nákvæmlega inn. Rétt er þó að taka fram að vikulegar vinnslu- og vatnsborðsmælingar hafa verið með miklum ágætum. Mánaðarlegar athuganir á ýmsum mælingaholum hafa þó stundum verið láttnar sitja á hakanum, einkum síðari árin. Torveldar það úrvinnslu gagna um útbreiðslu áhrifa frá vinnslusvæðunum.

Áhrif frá vinnslu úr holunum við Botn (HN-10 og BN-1) eru ekki merkjanleg í neinum ofangreindra hola (mynd H í viðauka II).

Mælingar á vatnsborði og vinnslu Botnsholanna BN-1 og HN-10 frá því borun þeirra lauk, og sýndar eru á mynd H (1981-1989) og mynd I (1983-1984) í viðauka II, hafa ekki leitt í ljós merkjanleg áhrif frá vinnslu frá Ytri-Tjörnum (mynd J í viðauka II). Áhrifa frá Ytri-Tjörnum gætir ekki merkjanlega í holunum við Hrafnagil en þeirra kann að gæta í holu RWN-7 við Reykhús sem sýnd er á mynd J í viðauka II.

### 3.4 Niðurstöður prófana

Helstu niðurstöður prófana og reglubundinna vatnsborðsmælinga, sem fjallað er um hér að framan má draga saman á eftirfarandi hátt:

1. Skammtíma viðbrögð vatnsstöðu hola HN-10 og BN-1 við dælustöðvun benda til þess að rennsli að holu HN-10 og e.t.v. efri æða BN-1 sé eftir sprungum. Rennsli að djúpu æðinni í BN-1 er aftur á móti eftir fremur tregleiðandi jarðmyndun sem tengd er opnari vatnsleiðara.  
Hlutur efri æða BN-1 er áætlaður um 10% af heildarrennsli holunnar og er greinilegt samband milli þeirra og vatnsæða HN-10.
2. Þrýstingur HN-10 hefur lækkað um 5 - 6 bar á tímabilinu frá janúar 1982 til maí 1988. Þrýstingur BN-1 hefur aftur á móti haldist nær óbreyttur frá því sem hann var í júlí 1984. Tiltölulega lítil lækkun í HN-10 og nánast engin í BN-1 bendir til þess að vatnsleiðarar holanna séu tengdir vatnskerfi sem ekki hefur látið á sjá vegna dælingar á Botni eða öðrum vinnslusvæðum í Eyjafirði. Meðaldæling úr HN-10 og úr efri æðum BN-1 frá júlí 1984 til maí 1989 var 25,9 l/s en 4,7 l/s úr neðri æðum BN-1 á sama tímabili.
3. Áhrif frá öðrum vinnslusvæðum í Eyjafirði hafa ekki komið fram í holunum á Botni og vinnsla á Botni hefur ekki haft merkjanleg áhrif á vatnsborð mælingarhola við Hrafnagil, Grísará, Reykhús eða Grýtu. Umtalsverðra áhrifa frá vinnslu við Laugaland gætir í holum HY-3, HY-8 og HY-9 við Hrafnagil, mest í holu 9 en minnst í holu 8. Þau eru ekki merkjanleg í holum HY-7 og HY-11. Taftími áhrifanna gæti verið 1 - 2 mánuðir miðað við holu LJ-8 við Laugaland.

## 4. VIÐNÁMSMÆLINGAR Í HRAFNAGILS- OG ÖNGULSSTAÐAHREPPI

### 4.1 Almennur fróðleikur um lághitasvæði og viðnámsmælingar

Í þessum kafla er fjallað almennt um viðnámsmælingar og notagildi þeirra í rannsókn lághitasvæða. Þetta er skrifað fyrir þá sem lítt þekkja til þessara fræða og hugsað til að auðvelda þeim lestur þess sem á eftir fer.

Viðnámsmælingar gefa upplýsingar um eðlisviðnám jarðar. Þær mælingar sem notaðar eru við jarðhitaleit hérlendis skynja oftast allt að 400-1000 m niður í jörðina.

Eðlisviðnám jarðlaga á lághitasvæðum á Íslandi er háð hitastigi, vatnsinnihaldi, ummyndunarstigi jarðlaga og seltu ef hún er mikil. Þannig lækkar eðlisviðnámið með hækkandi hita og auknu vatnsinnihaldi. Ef selta í jarðlögum er yfir ákveðnum mörkum hefur hún mikil áhrif á eðlisviðnámið, en sé hún undir þeim mörkum eru áhrif hennar hverfandi lítil. Hækkandi ummyndunarstig leiðir á hinn bóginn til hækkandi eðlisviðnáms.

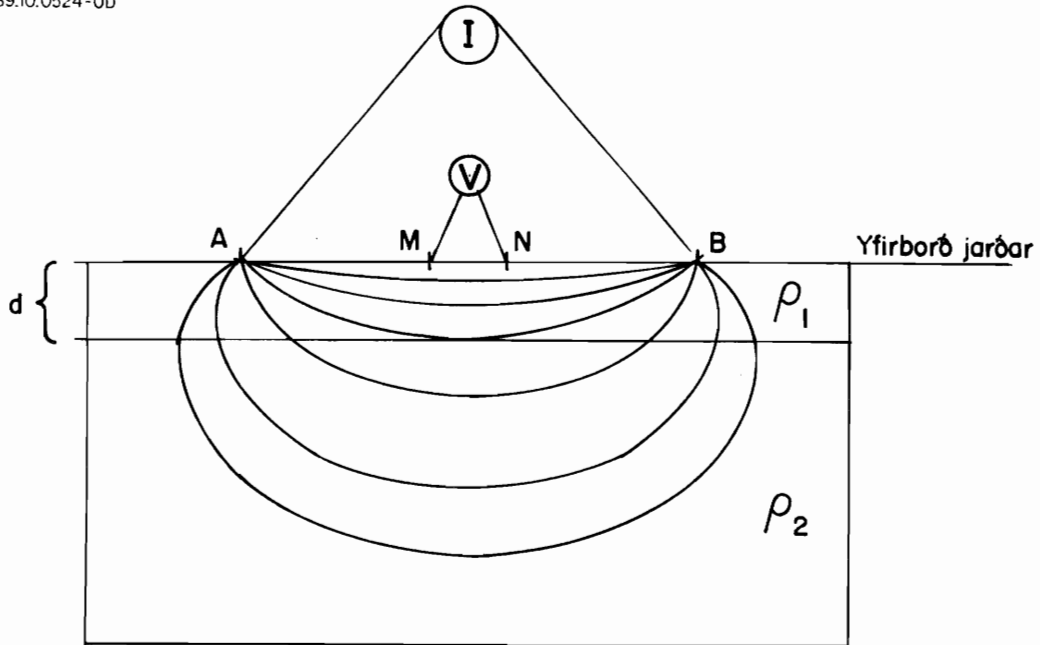
Á Íslandi eru þau jarðhitasvæði þar sem hiti mælist undir 150°C ofan 1000 m dýpis talin lághitasvæði. Á lághitasvæðum á Íslandi, eins og t.d. í Eyjafirði, er heita vatnið bundið við tiltölulega fáar nær lóðréttar sprungur. Þar á sér stað hringrás vatns, lóðrétt hræring sem flytur varma úr dýpri lögum til grynri jarðlaga eða yfirborðs. Heita vatnið leitar einnig í einhverjum mæli út í lárétt jarðlög þar sem það kólnar og fellir út efni sem þéttir lögin. Það sama gerist grunnt í uppstreymisrásum jarðhitans, þær þéttast með tímanum. Því virðast lághitasvæðin skera sig úr umhverfinu í tiltölulega háum hita og í tiltölulega lágu vatnsinnihaldi nema í fáum afmörkuðum sprungum. Þetta eru m.a. niðurstöður af þeim mælingum sem Orkustofnun gerði í Eyjafirði í samvinnu við Náamaháskólann í Leningrad árið 1986. Þessi hugmynd er í andstöðu við fyrri hugmyndir þess efnis að vatnsinnihald hafi mun meiri áhrif á eðlisviðnámið en hitastigið, en því hefur m.a. verið haldið fram í skýrslum um viðnámsmælingar í Eyjafirði (Ólafur G. Flóvenz og Brynjólfur Eyjólfsson 1981). Af þessu leiðir að lækkandi viðnám í jörðu má yfirleitt rekja til hækkandi hita eða mikillar seltu.

Eðlisviðnám er mælt í einingunni  $\Omega m$  (Ohm-metrar). Eðlisviðnám í jörðu á Íslandi getur verið feikilega mismunandi, frá 1  $\Omega m$  til 100.000  $\Omega m$ . Ekki er til nein einhlít regla sem segir að jarðhiti sé til staðar ef eðlisviðnám mælist af ákveðnu gildi heldur einungis ef það er lægra en eðlisviðnám umhverfisins. Í Eyjafirði er dæmigert eðlisviðnám utan jarðhitasvæða á bilinu 100-300  $\Omega m$ . Eðlisviðnám undir 100  $\Omega m$  vekur því grunsemdir um jarðhita og því lægra sem það er þeim mun meiri eru líkurnar þó að því tilskildu að unnt sé að útiloka að selta valdi lágvíðnáminu.

Til eru margar mismunandi aðferðir til að mæla eðlisviðnám í jörðu. Á undanförunum áratugum hafa tvær aðferðir einkum verið notaðar við jarðhitaleit, Schlumbergermælingar og viðnámsniðsmælingar (oft kallaðar Kínámælingar).

**Schlumbergermælingar** miða að því að kanna breytingu í viðnámi á tilteknu dýpi frá einum stað til annars. Hugmyndinni bak við aðferðina er lýst á mynd 16. Schlumbergermælingar henta vel til að leita að jarðhitasvæðum og afmarka stærð þeirra en duga ekki til að finna einstakar vatnsleiðandi sprungur innan hvers svæðis. Þær eru þó ýmsum alvarlegum takmörkunum háðar. Í fyrsta lagi þarf mikið rými til að gera þær (um 3 km beina og hindrunarlausa línu), niðurstaðan er eins konar meðalgildi eðlisviðnáms yfir stórt svæði og mælingarnar truflast auðveldlega af sjó, söltum setlögum og öðrum óreglum í viðnámi jarðar allt upp í 1,5 km frá mælistað. Þannig hafa sölt setlög sem liggja á dalbotninum inn Eyjafjörð rýrt mikið notagildi og áreiðanleika þeirra Schlumbergermælinga sem þar hafa verið gerðar.

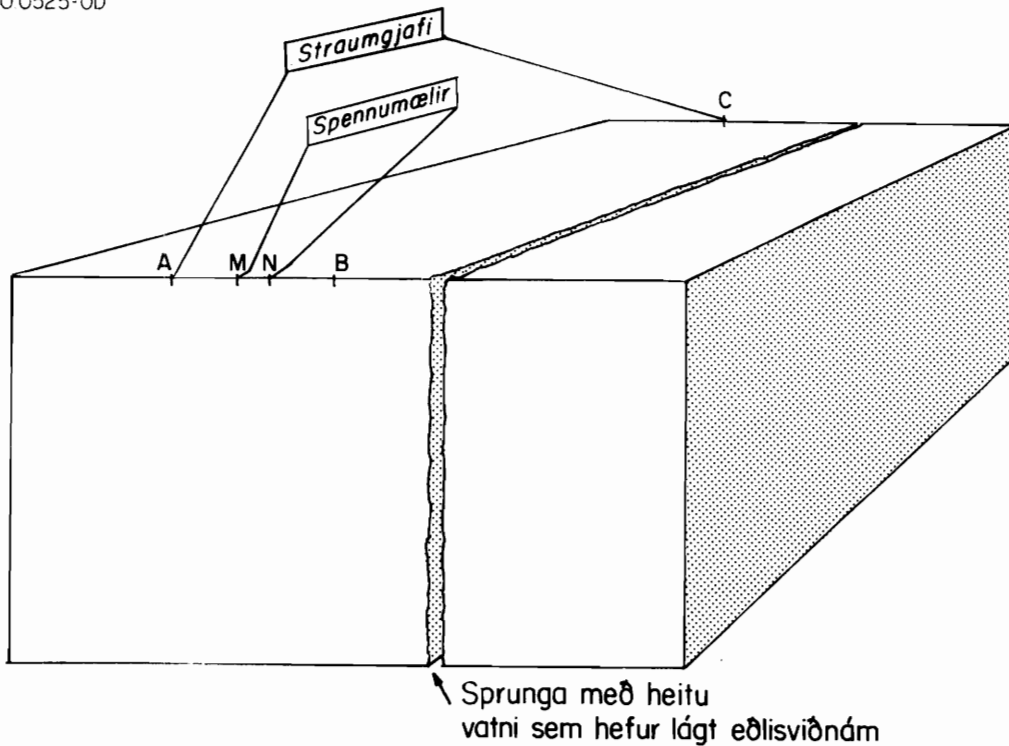
JHD-JED-9000-ÓGF  
89.10.0524-0D



*MYND 16. Við Schlumbergermælingar er sendur straumur í jörðina um skaut A og B. Á leið sinni dreifist hann um jörðina eins og myndin sýnir. Með því að mæla spennuna sem myndast milli skautanna M og N má reikna út svokallað sýndarviðnám. Skautum M og N er haldið föstum en fjarlægðin milli A og B er aukin úr 2 m upp í um 3,5 km og sýndarviðnámið mælt sem fall af fjarlægðinni AB. Meðan fjarlægðin milli A og B er lítil miðað við þykkt efra lagsins (d) fer nánast allur straumurinn um efra lagið og sýndarviðnámið sem mælist verður jafnt eðlisviðnámi þess. Þegar fjarlægðin AB verður miklu stærri en þykktin d nálgast sýndarviðnámið gildi eðlisviðnámsins í neðra laginu. Því má nota upplýsingarnar um sýndarviðnám sem fall af fjarlægðinni AB til að reikna út eðlisviðnám jarðar sem fall af dýpi.*

**Viðnámssniðsmælingar** eru mun nýrri mæliaðferð. Upphaflega hugmyndin að þeim er kinnversk að uppruna og því hafa þær oft verið kallaðar Kínámælingar. Þær voru fyrst reyndar héraðsá Glerárdal árið 1981 og hafa reynst öflug mæliaðferð til að leita að vatnsleiðandi sprungum í jörðu. Út frá niðurstöðum þeirra hafa margar árangursríkustu holur síðustu ára á lághitavæðum verið boraðar. Hugmyndinni bak við þessa mæliaðferð er lýst á mynd 17.

Að lokum skal hér nefnd til ný mæliaðferð sem Orkustofnun hefur verið að prófa og þróa á síðustu 2-3 árum. Þetta eru svokallaðar **TEM-mælingar**. Þær gegna svipuðu hlutverki og Schlumbergermælingar nema hvað þær eru að mestu lausar við þá ókosti sem Schlumbergermælingar hafa en eru jafnframt mun auðveldari og ódýrari í framkvæmd. Því er þessi aðferð nefnd hér að hún gæti komið til greina við frekari jarðhitaleit í nágrenni Akureyrar á næstu árum. Aðferðin byggir á því að komið er af stað spanstraumum í jörðinni með því að senda sterkan rafstraum í vírlykkju á yfirborði jarðar. Þessi straumur er síðan rofinn snögglega. Við það hnigna spanstraumarnir með tíma og þessi hnignun þeirra er mæld með lítilli spólu á yfirborði jarðar. Þar sem hnignun spanstraumanna er háð viðnámi jarðlaganna má nota hana til að reikna út eðlisviðnám jarðar sem fall af dýpi.



MYND 17. Skýringarmynd af uppsetningu viðnámsniðsmælinga. Mæld eru 3 gildi á sýndarviðnáminu. Eitt gildið ( $\rho_{AB}$  fæst þegar straumur er sendur um skautin A og B, annað gildið ( $\rho_{BC}$  þegar sendur er straumur milli B og C og hið þriðja ( $\rho_{AC}$ ) þegar straumur er sendur milli A og C. Í öllum tilvikum er spennan mæld milli skautanna M og N. Öllum fjarlægðum milli skauta er haldið föstum en uppsetningin A-M-N-B er færð í einu um 25 m eftir línu þvert á stefnu hugsanlegra sprungna. Þannig fæst eins konar viðnámsnið af jörðinni undir mællínunni og koma vatnsleiðandi sprungur fram sem lágviðnámsveggir. Skautið C er haft nógu langt í burtu frá hinum til þess að líta megi á rafsviðið frá A og B sem einpóla svið.

Að mælingum loknum eru þær túlkaðar. Túlkunin er í grundvallaratriðum tvíþætt. Í fyrsta lagi þarf að umbreyta þeim mæligildum sem fást yfir í raunverulegt eðlisviðnám jarðar. Þetta er vegna þess að mælingarnar gefa ekki eðlisviðnámið beint heldur svokallað sýndarviðnám. Þessi umbreyting eða túlkun getur ýmist verið **einvíð** eða **tvívíð**. Við einvíða túlkun er gert ráð fyrir því að jörðin undir mælistað sé gerð úr láréttum lögum sem hvert um sig hafa ákveðið eðlisviðnám. Umbreytingin felst í því að reikna út eðlisviðnám og þykktir einstakra viðnámslaga. Einvíð túlkun er fullnægjandi þegar viðnámsbreytingar í lárétta stefnu eru litlar. Ef þær er hins vegar miklar verður lítið vit í útkomunni sem getur leitt til rangra ályktana. Við tvívíða túlkun er gert ráð fyrir að eðlisviðnámið breytist einnig lárétt í sömu stefnu og mælingarnar liggja. Þá er jörðinni skipt upp í misstóra kubba sem eru óendanlegar langir í stefnu þvert á mællínuna og reiknað út eðlisviðnámið í hverjum þeirra. Tvívíð túlkun er margfalt tímafrekari en sú einvíða og að sama skapi dýrari en gefur mun áreiðanlegri niðurstöður. Þess ber að gæta að túlkun mælinganna er aldrei einhlít heldur er unnt að finna fleiri en eitt viðnámslíkan sem gefur svipaðar mæliniðurstöður.

Túlkun Schlumbergermælinga getur verið ýmist einvíð eða tvívíð, viðnámsniðsmælingar verður ávalt að túlka tvívítt en í TEM-mælingum gefur einvíð túlkun ámóta áreiðanlegar upplýsingar og tvívíð túlkun á Schlumbergermælingum.

Þegar þessari umbreytingu mæliniðurstæða yfir í viðnámsgerð jarðar er lokið tekur við hin jarðhitafræðilega túlkun, þ.e. að nota viðnámsdreifinguna ásamt öðrum fánlegum upplýsingum til að draga af ályktanir um jarðhita og sprungur sem leiða af sér tillögur um vænlega borstaði.

## 4.2 Yfirlit yfir mælingar 1971-1981

### 4.2.1 Mælingar með Schlumberger aðferð

Frá árinu 1971 til ársins 1981 voru mældar liðlega 100 viðnámsmælingar með Schlumbergeraðferð í Hrafnagils- og Öngulsstaðahreppi. Fyrsta átakið er gert árið 1971 vegna jarðhitaleitar fyrir Akureyri (Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson 1972). Þá strax varð ljóst að sölt setlög voru í setfyllingunni á dalbotninum sem gerðu niðurstöður tortryggilegar (Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson 1971b). Engu að síður virtist nokkuð augljóst að jarðhitasvæðin í Eyjafirði komu fram í viðnámsmælingum þótt erfitt væri að greina í sundur hvar lágviðnámið væri vegna setlaga og hvar vegna jarðhita.

Næsta syrpa í viðnámsmælingum er tekin sumarið 1975 (Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson 1975). Á grundvelli þeirra var hafist handa við boranir á Laugalandi sem leiddu til stofnunar Hitaveitu Akureyrar. Næstu ár á eftir er síðan verið að bæta smávegis við mælingarnar á hverju ári fram til ársins 1981 að árinu 1979 undanskildu.

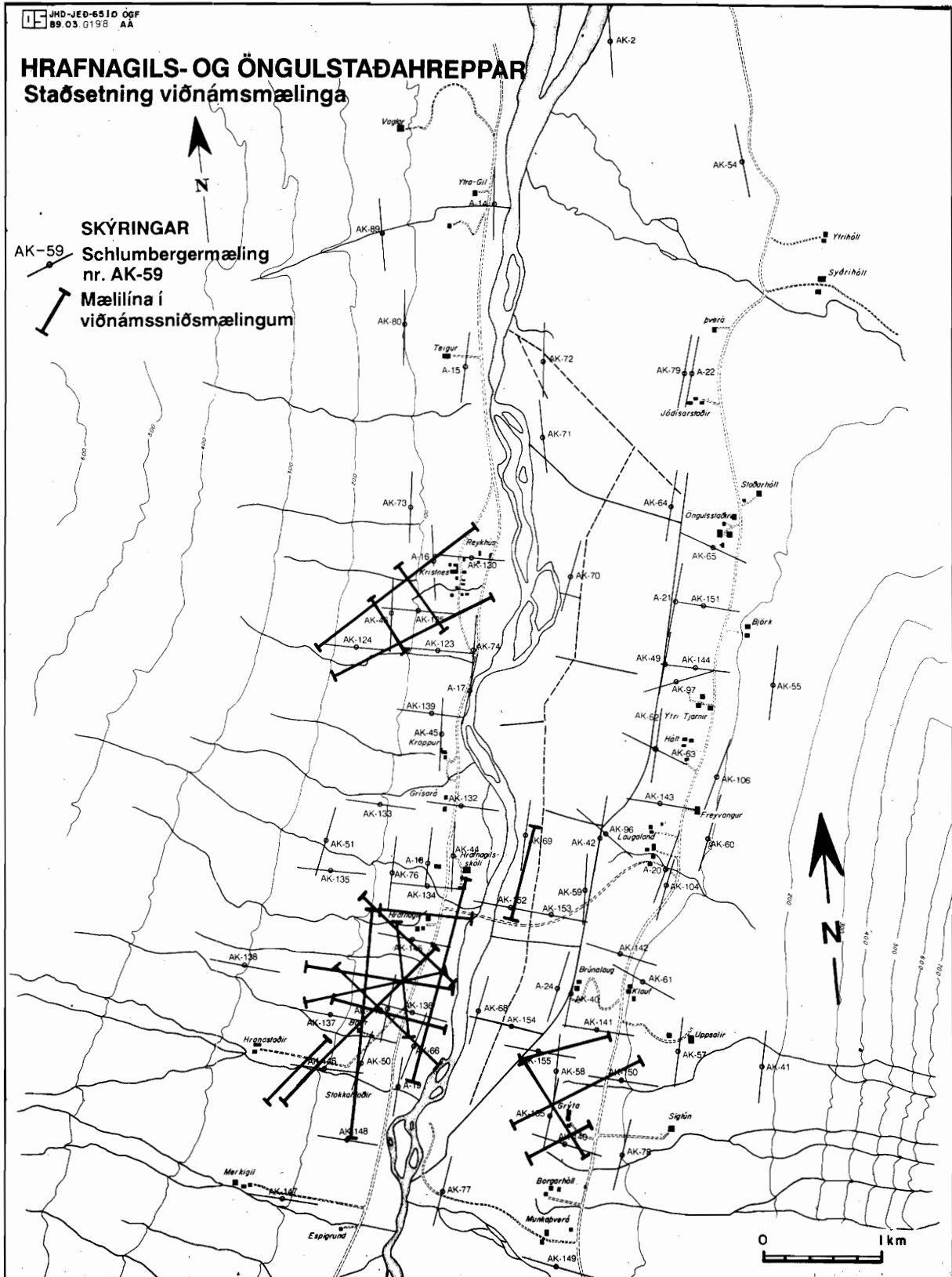
Árið 1981 tók Orkustofnun í notkun forrit sem gerði kleift að taka að nokkru tillit til setlaganna að því tilskyldu að mælingarnar lægju þvert á fjörðinn. Hins vegar höfðu nær allar mælingar fram til 1980 verið mældar samsíða dalnum af þeirri einföldu ástæðu að það er erfiðleikum bundið að mæla yfir Eyjafjarðará. Því var brugðið á það ráð að mæla allmargar mælingar þvert yfir dalinn sumarið 1981. Voru niðurstöðurnar birtar í skýrslu þá um veturinn (Ólafur G. Flóvenz og Brynjólfur Eyjólfsson 1981). Þar var m.a. birt viðnámskort af dalnum en það er þó enn þeim takmörkunum háð að ekki var unnt að leiðrétta mælingarnar sem lágu samsíða dalnum fyrir áhrifum söltu setlaganna. Á mynd 18 er sýnd staðsetning viðnámsmælinga í Hrafnagils- og Öngulsstaðahreppi að undanskildum mælingum á Garðsárdal og Mjaðmárdal, en um þær hefur verið fjallað í sérstakri skýrslu (Ólafur G. Flóvenz o.fl. 1981b) og ekki þörf á að endurtaka það.

### 4.2.2 Viðnámsniðsmælingar

Viðnámsniðsmælingar hafa farið fram á tveimur stöðum í Hrafnagilshreppi og einum stað í Öngulstaðahreppi. Mælt var við Kristnes árið 1981 þegar verið var reyna þessar mælingar fyrst við jarðhitaleit á Íslandi. Sumarið eftir var síðan mælt við Grýtu (Ólafur G. Flóvenz og Ásgrímur Guðmundsson 1984). Á hvorugum staðnum leiddu þær til þess að vatnsleiðandi sprungur fundust. Loks var mælt við Botn sumurin 1982 og 1988 og er fjallað um þær mælingar í þessar skýrslu. Staðsetning mælinga er sýnd á mynd 18.

## 4.3 Leiðréttingar vegna saltra setlaga

Öll þau viðnámskort sem gerð hafa verið til þessa af Hrafnagils- og Öngulsstaðahreppi hafa verið þeim annmörkum háð að niðurstöður eru undir talsverðum áhrifum frá söltu setlögum. Nú var ráðist í að reyna að beita nýrri aðferð við að leiðrétta allar Schlumbergermælingar fyrir áhrifum setlaganna og fá þannig áreiðanlegra viðnámskort en þau sem áður hafa verið



MYND 18. Staðsetning Schlumberger- og viðnámsniðsmælinga í Hrafnagils- og Öngulsstaðahreppi. Línurnar á myndinni sýna spennumældu hluta viðnámsniðsmællinnanna og tölurnar við enda línanna eru fjarlægðartölur sambærilegar við fjarlægðartölurnar á myndunum í viðauka III.

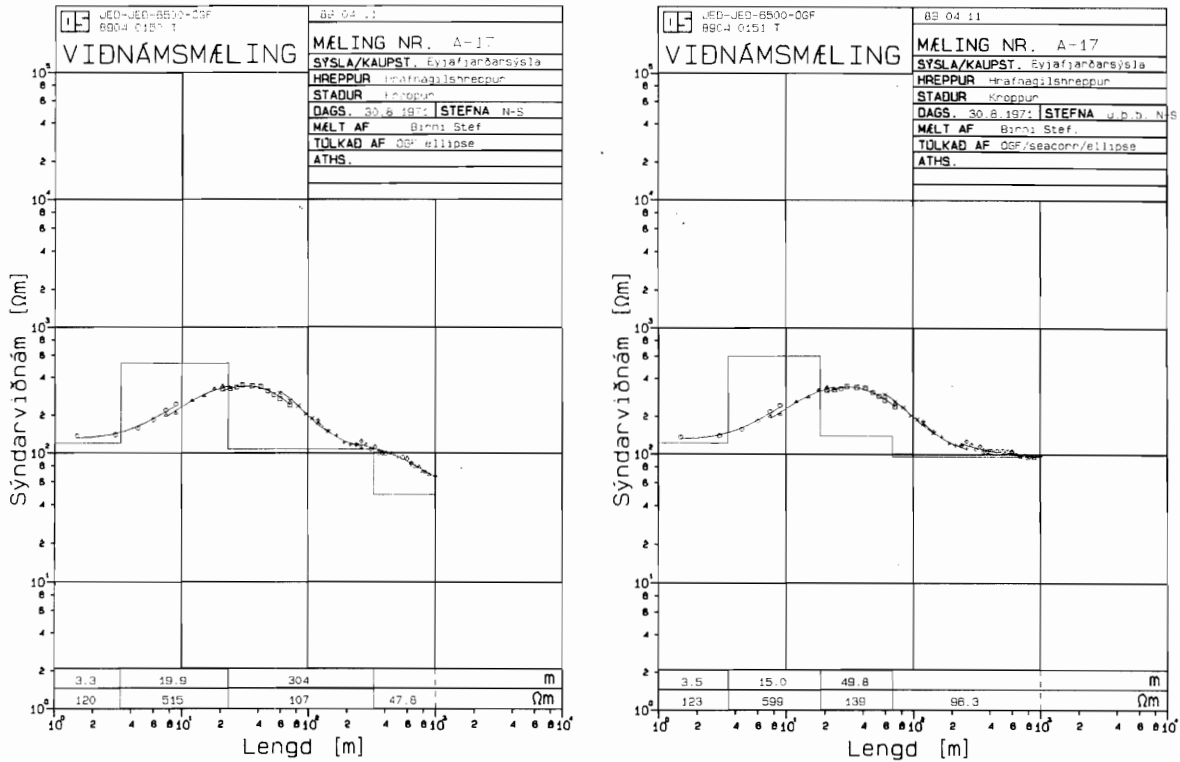
gerð.

Hér á eftir fer lýsing á þeirri aðferð sem beitt var. Þeim lesendum skýrslunnar sem ekki hafa áhuga á slíkum aðferðarfræðilegum lýsingum er bent á að hoppa beint yfir í næsta kafla (4.4). Aðferðinni sem beitt var við þessar leiðréttingar má lýsa á eftirfarandi hátt:

1. Lögum söltu setlaganna (dýpi niður á þau og þykkt) var metin út frá viðnámsmælingum við Botn, þeim Schlumbergermælingum sem gerðar hafa verið ofan á setunum sjálfum og út frá landmótunarfræðilegum þáttum.
2. Lögum setlaganna ásamt niðurstöðum Schlumbergermælinga ofan á setunum voru notuð til að fá eðlisviðnám setlaganna sjálfra. Reyndist það vera um 1,6  $\Omega$ m.
3. Gert var viðnámsþversnið hornrétt yfir dalinn þar sem gert var ráð fyrir að eðlisviðnám væri alls staðar 150  $\Omega$ m nema innan setlaganna þar sem það er 1,6  $\Omega$ m. Tvívítt viðnámsforrit (FELIX) var notað til að reikna út sýndarviðnám Schlumbergermælinga sem liggja þvert yfir dalinn með mælimiðju í mismunandi fjarlægð frá setlögum og reiknuð út tafla með margföldunarstuðlum sem beita má á Schlumbergermælingar til að upphelja áhrif setlaganna. Skrifað var sérstakt forrit (EYCORR) til að lesa úr töflunni og finna með brúun milli gilda réttan margföldunarstuðul fyrir hvaða fjarlægð frá setum sem er og fyrir hvaða fjarlægð frá mælimiðju sem er. Þar sem tvívíða viðnámsforritið gerir ráð fyrir að viðnámsbreytingar séu einungis í sömu stefnu og mælingarnar sjálfar liggja, dugur þessi aðferð einungis til að leiðrétta fyrir áhrifum setlaga í þeim mælingum sem liggja þvert á dalinn.
4. Gerður var samanburður á niðurstöðum þessarar aðferðar og þess að nota forrit sem gert er til að leiðrétta fyrir áhrifum sjávar (SEACORR). Þetta forrit (Gylfi Páll Hersir 1988) byggir á því að líta á sjóinn sem óendanlega velleiðandi örþunna plötu á yfirborði jarðar. Má beita því á allar Schlumbergermælingar óháð því hvort þær eru samsíða eða þvert á ströndu. Í ljós kom að nánast sömu margföldunarstuðlar fengust hvor aðferðin sem notuð var á mælingarnar þvert á setlögin. Hins vegar dugur sjávarleiðréttingaraðferðin ekki þegar straumskautið er komið út á setin (sjóinn) þar sem gert er ráð fyrir að hann sé óendanlega velleiðandi. Þar sem svo gott samræmi fékkst milli þessara tveggja aðferða var dregin sú ályktun að nota mætti sjávarleiðréttingarforritið til að leiðrétta þær mælingar sem liggja samsíða setlögum fyrir áhrifum þeirra.
5. Til þess að unnt sé að gera leiðréttingarnar þarf að finna útmörk setlaganna til austurs og vesturs. Þetta var gert á þann hátt að í fyrstu voru þau áætluð út frá dýpinu niður á þau og halla hlíðanna sitt hvoru megin við dalbotninn. Þessu næst voru allar mælingarnar sem liggja þvert á dalinn leiðréttar miðað við þessi áætluðu útmörk setlaganna og einnig út frá því að útmörkin lægju nokkur hundruð metrum nær eða fjær mælingunni en áætlaða gildið sagði til um. Af leiðréttu mælingunum mátti oftast auðveldlega sjá hvaða gildi hentaði best og var það valið. Að því loknu voru svo allar mælingarnar leiðréttar, þær sem liggja samsíða með sjávarleiðréttingarforritinu SEACORR en hinar með forritinu EYCORR.

Dæmi um áhrif leiðréttingarinnar eru sýnd á mynd 19.





MYND 19. Dæmi um áhrif söltu setlaganna á viðnámsmælingar. Mælingin til vinstri er túlkuð óleiðrétt og sýnir að á líðlega 300 m dýpi er komið í lag með 47,8 Ωm eðlisviðnámi. Það væri tvímæla laust túlkað sem merki um jarðhita þar undir. Á myndinni til hægri hefur verið leiðrétt fyrir áhrifum setlaganna. Þá hverfur lágviðnámið á 300 m dýpi en í stað þess kemur í ljós að eðlisviðnámið er 96 Ωm allt frá 70 m dýpi. Slíkt yrði ekki túlkað sem jarðhiti.

#### 4.4 Viðnámskort af Eyjafirði

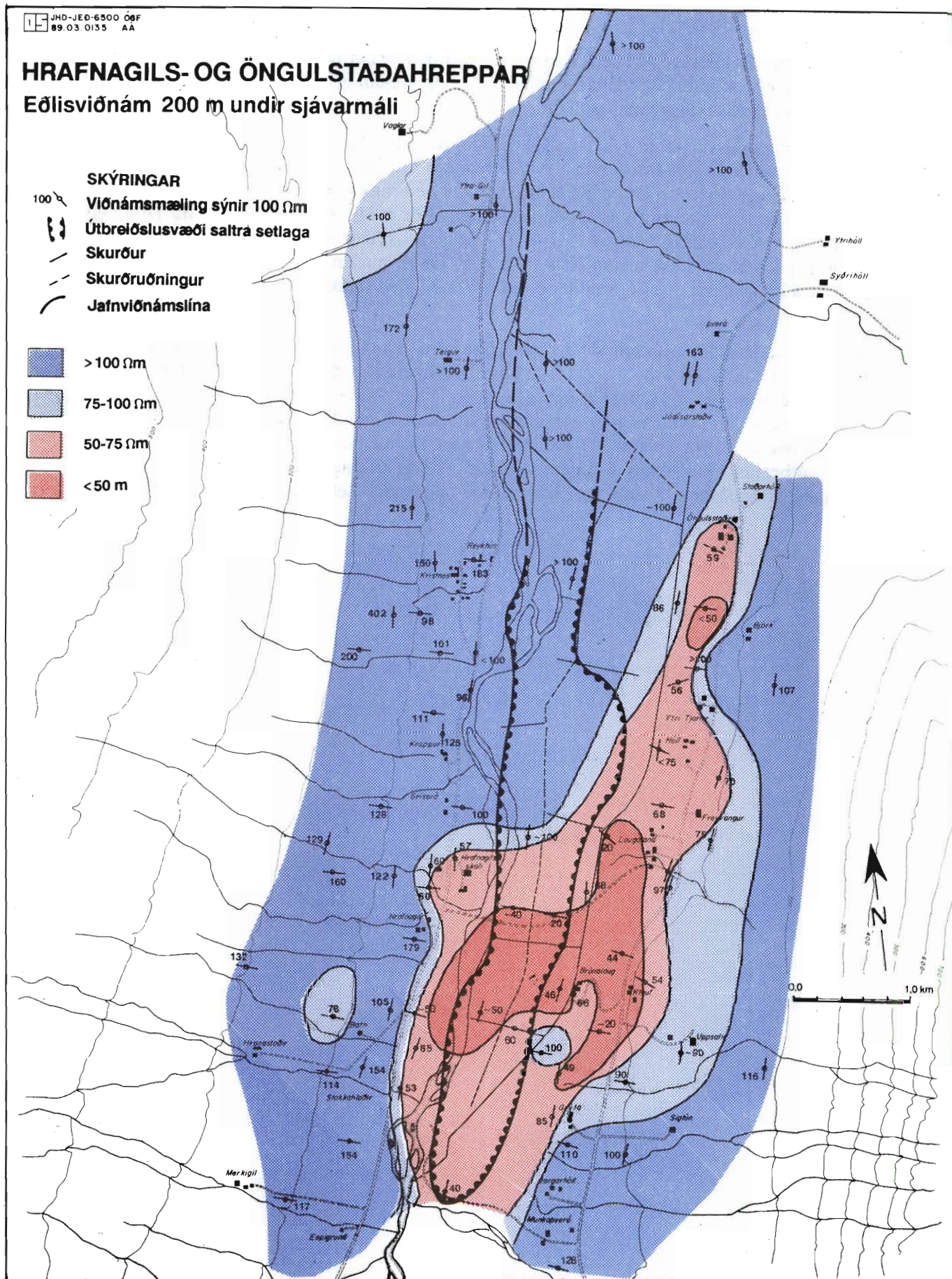
Þegar allar viðnámsmælingarnar höfðu verið leiðréttar fyrir áhrifum setlaganna voru þær túlkaðar einvítt. Einvíð túlkun þýðir að einungis er gert ráð fyrir að eðlisviðnám jarðar breytist með dýpi en ekki í lárétta stefnu. Ef viðnámsbreytingar í lárétta stefnu eru litlar er þessi forsenda ágæt en skekkjur fara að koma inn við miklar breytingar í viðnámi í lárétta stefnu. Niðurstöður einvíðu túlkunarinnar eru sýndar á þremur viðnámskortum á myndum 20-22.

Mynd 20 sýnir eðlisviðnám á 200 m dýpi undir sjávarmáli. Þar sem svæðisbundið eðlisviðnám í Eyjafirði er um 150 Ωm má líta svo á að það svæði þar sem eðlisviðnám er undir 100 Ωm sé undir merkjanlegum áhrifum frá jarðhita og áhrifin því meiri sem eðlisviðnámið er lægra. Samkvæmt þessu virðist jarðhitinn einkum bundinn við miðbik dalsins og útmörk hans til austurs og vesturs falla nokkurn vegin saman við legu aðalveganna um Hrafnagils- og Öngulsstaðahreppi. Þó eru mörkin óljós milli Laugalands og Brúnalaugar að austan og upp af Hrafnagili að vestan vegna of strjálra mælinga. Til norðurs takmarkast útbreiðslan af línu sem liggur u.þ.b. milli Grísarár og Öngulsstaða, en þó ber að gæta þess að norðurmörk lágviðnámsins við Öngulsstaði eru óljós vegna þess að mælingar vantar frá þeim slóðum. Syðri mörkin eru óglögg, svæðið nær a.m.k suður fyrir Grýtu og ef til vill enn sunnar en mælingar vantar á þessu svæði. Lægst mælist viðnám á þessu dýpi á svæðinu milli Laugalands og Brúna-

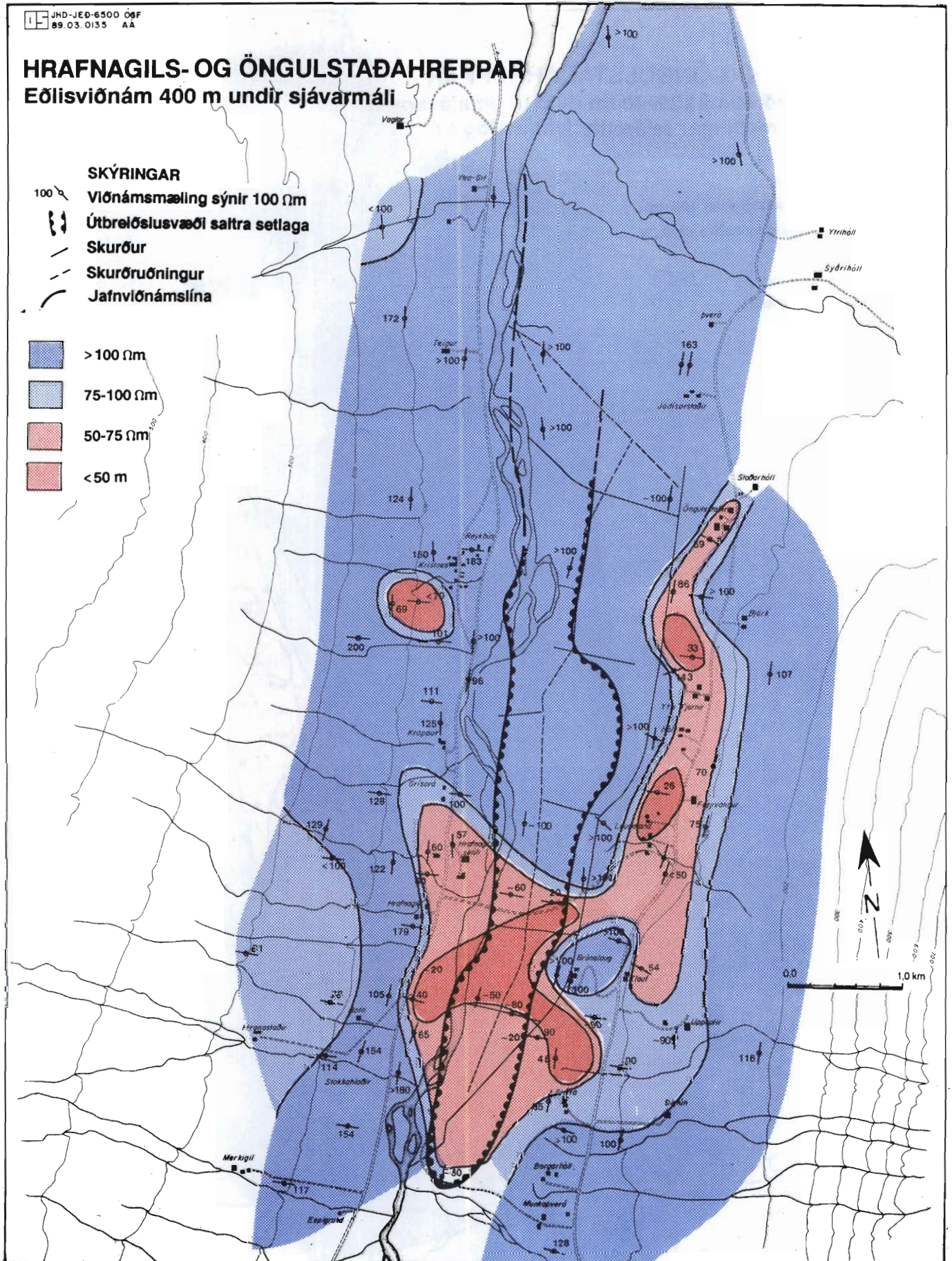
laugar og við Botnslaug. Það ætti að endurspegla það svæði þar sem hitastig er hæst. Þess ber að gæta hér að gildi eðlisviðnáms undir söltu setlögnum er illa ákvarðað svo vel má vera að lágviðnámið sé samhangandi milli þessara svæða.

Mynd 21 sýnir eðlisviðnámið á 400 m dýpi undir sjávarmáli. Þarna er það svæði þar sem eðlisviðnám er minna en 100 Ωm nokkuð svipað nema á svæðinu milli Laugalands og Kristness, þar sem mælingar eru strjálar og því ekki ástæða til að draga miklar ályktanir af því. Auk þess virðist á báðum kortunum ganga lágviðnámstunga út úr því til norðnorðvesturs frá Hrafnagili og viðnám virðist einnig í lægra lagi undir hlíðunum vestur af Botni. Ennfremur örlar á þröngu lágviðnámssvæði kringum Kristneslaugar. Lægst mælist viðnám í grennd við vinnsluholurnar á Laugalandi, Ytri-Tjörnum og Botni og auk þess skammt norðan og sunnan Brúna-  
laugar.

Þessi tvö viðnámskort eru svolítið varhugaverð að því leyti að ákvörðun dýpis á viðnámslögin getur verið mjög ónákvæm og því tilviljunum háð hvort lágviðnám kemur fram á öðru eða báðum kortunum. Til að komast kringum þetta og fá sem besta mynd af útbreiðslusvæði jarðhitans í efstu 400 m jarðar er gert enn eitt viðnámskort á mynd 22. Það sýnir lægsta eðlisviðnám sem mælist á dýptarbilinu 200-400 m. Það sýnir í aðalatriðum á einni mynd það sem lesa má um útbreiðslu jarðhitans á hinum tveimur. Helstu óvissuþættirnir við þessa mynd eru mörk jarðhitasvæðanna til suðurs, eðlisviðnámið undir söltu setunum og í vesturhlíðum dalsins.

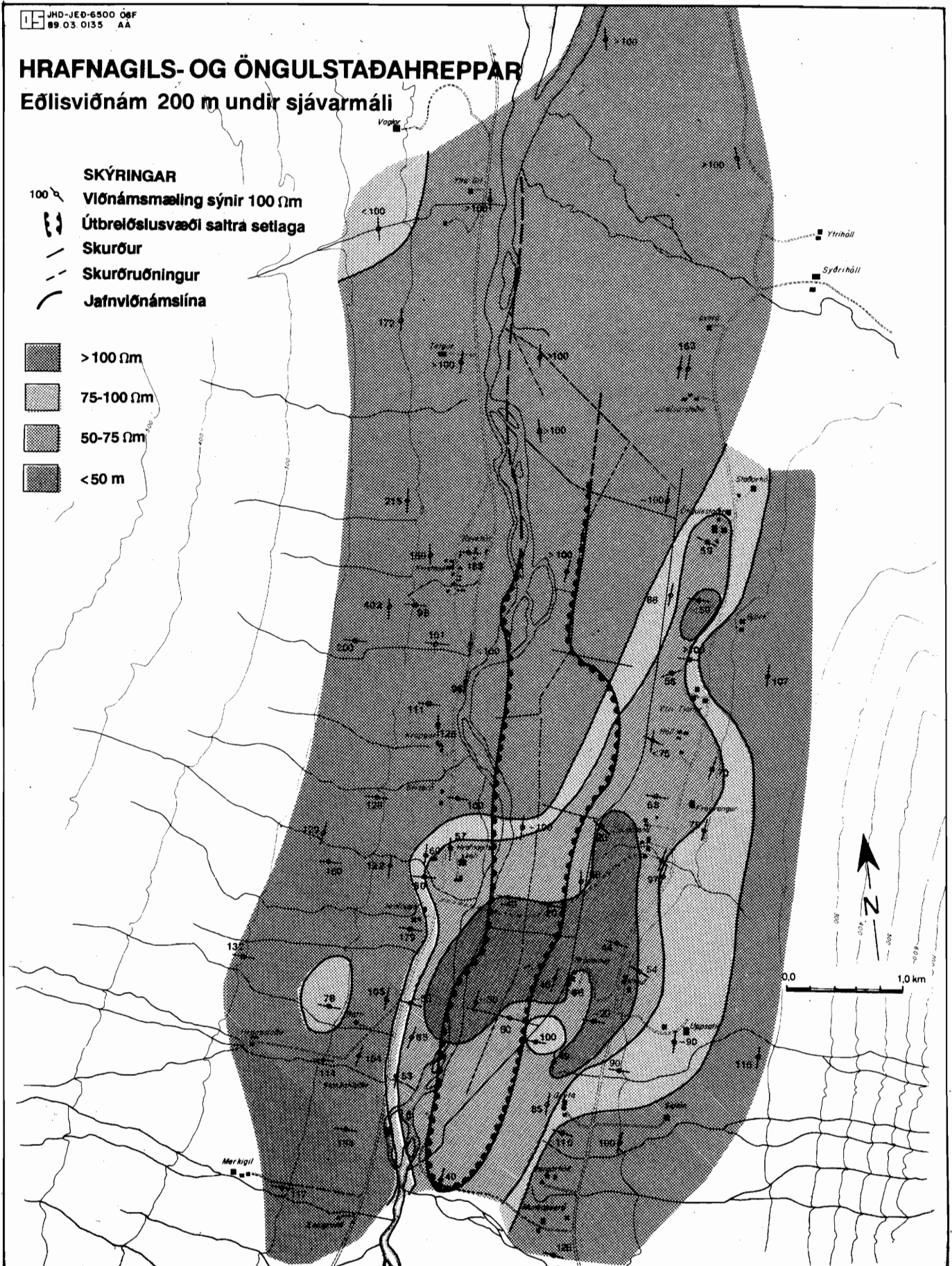


MYND 20. Eðlisviðnám á 200 m dýpi undir sjávarmáli samkvæmt niðurstöðum Schlumberger-mælinga.

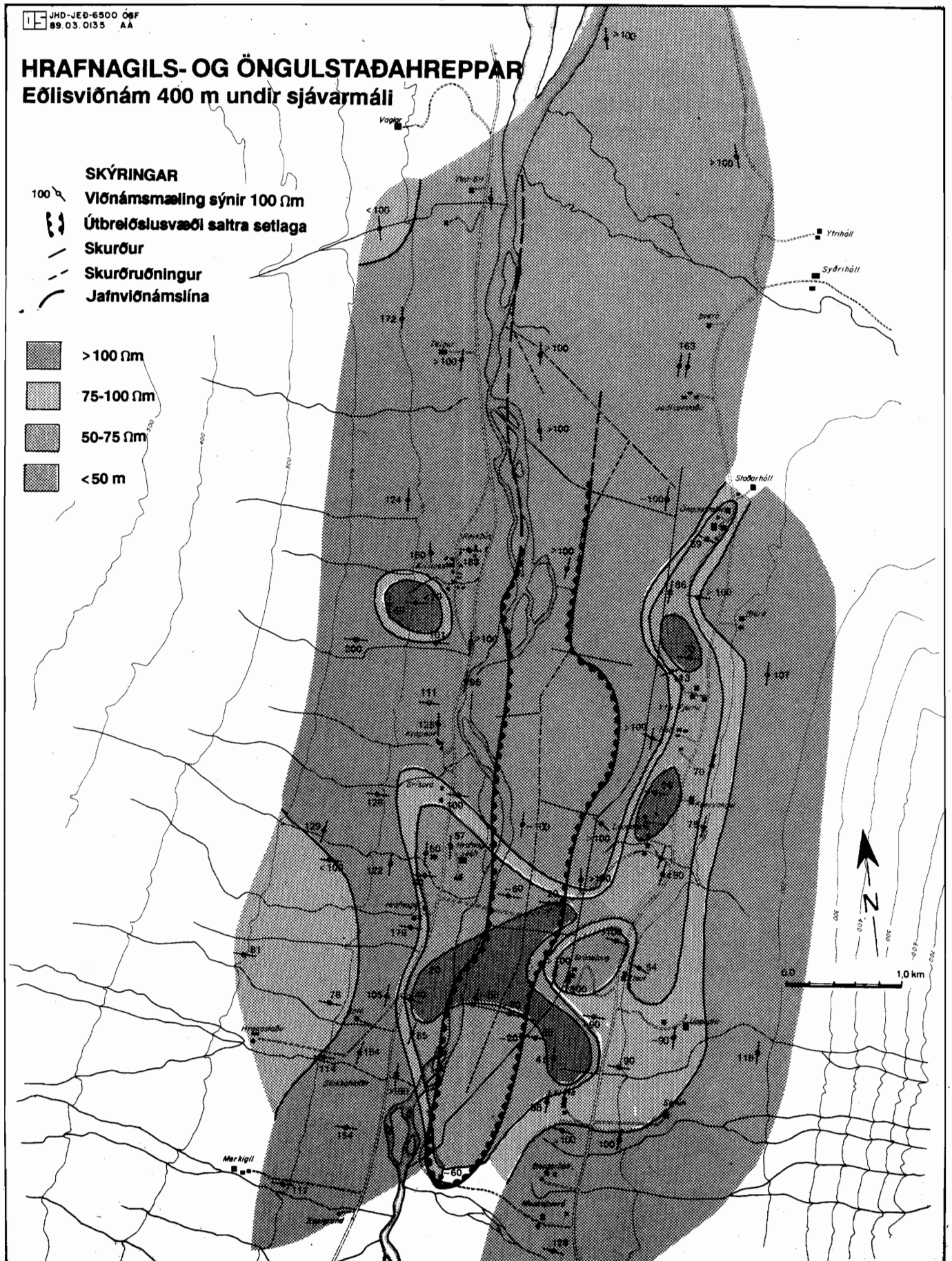


MYND 21. Eðlisviðnám á 400 m dýpi undir sjávarmáli samkvæmt niðurstöðum Schlumberger-mælinga.

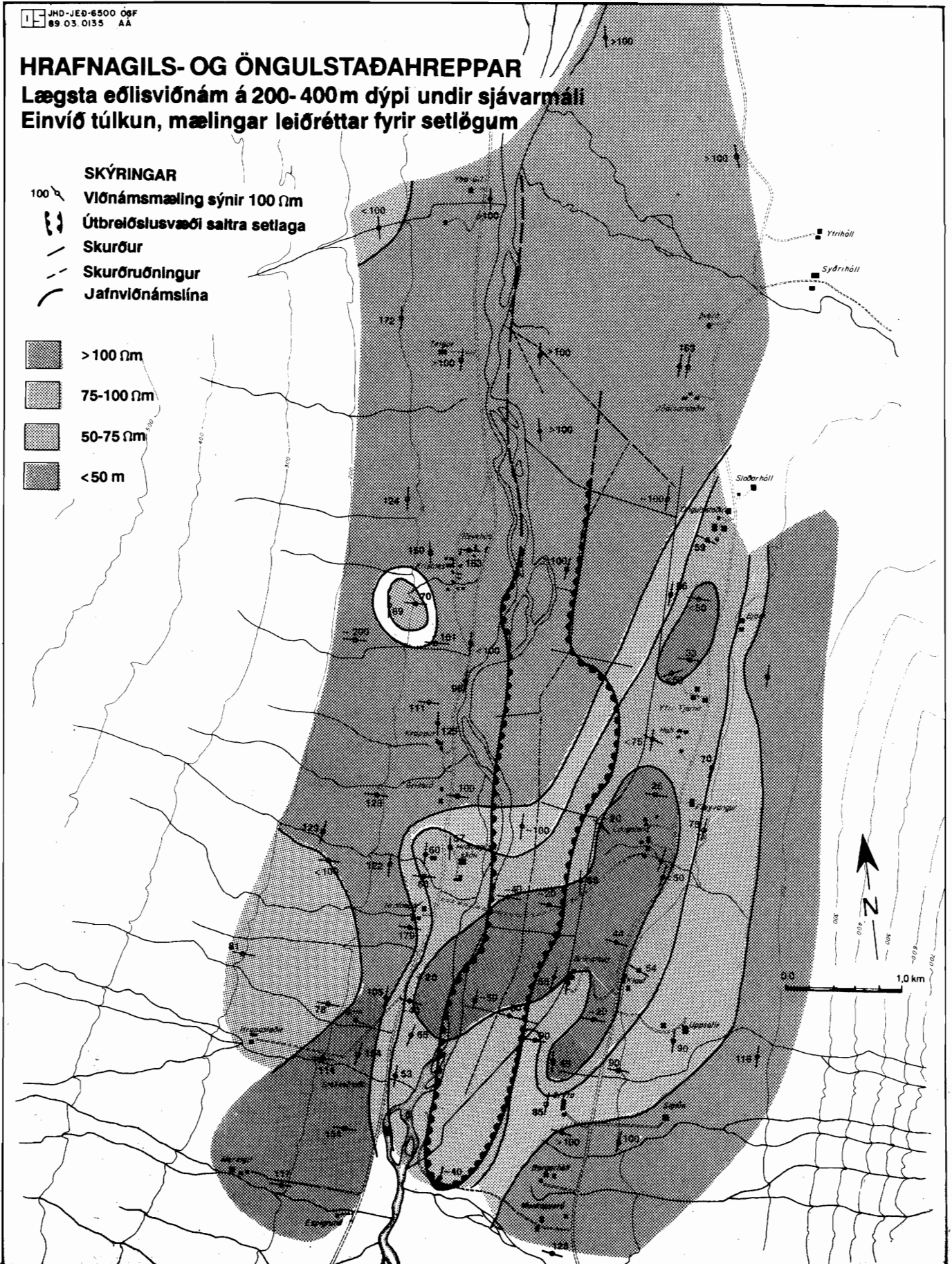




MYND 20. Eðlisviðnám á 200 m dýpi undir sjávarmáli samkvæmt niðurstöðum Schlumberger-mælinga.



MYND 21. Eðlisviðnám á 400 m dýpi undir sjávarmáli samkvæmt niðurstöðum Schlumberger-mælinga.



MYND 22. Lægsta eðlisviðnám sem mælist á dýptarbilinu 200-400 m undir sjávarmáli.



## 5. VIÐNÁMSSNIÐSMÆLINGAR VIÐ BOTN 1982, 1988 og 1989

Viðnámssniðsmælingar voru gerðar við Botn dagana 5.-14. júlí 1988. Mælingarnar annaðist 4ra manna mælingarflokkur frá Orkustofnun undir stjórn Freysteins Sigmundssonar jarðeðlisfræðings og með aðstoð tveggja sumarstarfsmanna hjá Hitaveitu Akureyrar. Gengu mælingarnar vel. Samtals voru mældir 12,2 km eftir 6 mæli línum á þessum 10 dögum sem er í góðu meðallagi hvað afköst varðar. Að auki voru til tvær mæli línur samtals 2,5 km frá árinu 1982. Unnið var úr þessum mælingum veturinn 1988-89. Í framhaldi af þeirri úrvinnslu var ákveðið að bæta við nokkrum mæli línum sumarið 1989. Var það gert dagana 26.6. - 30.6.1989 og þá mældar fjórar línur. Tóku mælingarnar fimm daga og voru mældir samtals 4,875 km. Í töflu 8 er yfirlit yfir mælingarnar.

TAFLA 8. Yfirlit um viðnámssniðsmælingar við Botn. Í línu 9 er gap þar sem straumpóll lenti í Eyjafjarðará. Þá er mæling á 300 m armi í línu 11 gölluð af ókunnum ástæðum.

Lína nr	Mæliár	Straumarmslengd	Upphafsgildi	Endagildi	Lengd línu
1	1982	500	-825	975	1800
2	1982	500	-375	350	725
3	1988	300	0	2000	2000
3	1988	500	0	2000	2000
4	1988	300	600	2400	1800
4	1988	500	800	2200	1400
5	1988	500	1550	2400	850
6	1988	300	500	1475	975
6	1988	500	500	1475	975
7	1988	500	500	1575	1075
8	1988	500	300	1450	1150
9	1989	300	1100	1325	225
9	1989	500	400	1125	725
9	1989	500	1375	1600	225
10	1989	300	975	1300	325
10	1989	300	1425	1575	150
10	1989	500	400	1575	1175
11	1989	300	1075	1450	375
11	1989	500	500	1500	1000
12	1989	500	500	1175	675

Staðsetning mæli lína er sýnd á mynd 23. Línur merktar 1 og 2 eru frá árinu 1982, línur merktar 3-8 frá 1988 og línur 9-12 frá 1989.

Strax og línur 3-5 höfðu verið mældar var ljóst að sú lágviðnámssprungu, sem vonast hafði verið eftir að sjá í mælingunum, kom ekki augljóslega fram við lauslega athugun á gögnunum. Ítarlegrar úrvinnslu mælinganna var því þörf til að sjá hvort þarna leyndust velleiðandi sprungur eða ekki. Var því afraðið að mæla línur 6-8 fremur þvert á dalinn til að kanna hvort og þá hvar lágviðnámssprungur með aðra stefnu kæmu fram.

Yfirleitt er æskilegast að mæla hverja línu tvisvar og nota mismunandi langa straumarma í hvort skipti, en því lengri sem straumarmurinn er því dýpra skynjar mælingin. Voru notaðir 300 og 500 m armur á línu 3, 4 og 6 en einungis 500 m armur á línunum 1, 2, 5, 7 og 8. Var það gert til að geta fremur mælt fleiri línur og fá þannig betri hugmynd um stefnu hugsanlegra lágviðnámsprungna. Síðar mætti bæta 300 m arminum við ef ástæða væri til. Í mælingunum 1989 var eingöngu notaður 500 m straumarmur nema þar sem gap kom í mælingarnar þar sem straumpóll hefði lent í Eyjafjarðará. Var þar afráðið að fylla inn í með 300 m straumarmi þar sem það er mun fljótlegra en að koma straumskautum fyrir í ánni.

## 5.1 Túlkun einstakra mæilína

Túlkun mælinganna fór þannig fram að hver einstök mæilína var tekin fyrir sérstaklega og reynt að finna það líkan af jörðinni undir línunni sem best gæti skýrt mæliniðurstöðurnar. Vinnan fer í aðalatriðum þannig fram að giskað er á viðnámsgerð jarðar undir mæilílnunni út frá útliti mælinganna og með hliðsjón af nálægum Schlumbergermælingum. Tvívítt viðnámsforrit (FELIX) er síðan notað til að reikna út hvernig mæling fengist ef mælt væri yfir jörð, sem í raun hefði þessa ágiskuðu viðnámsgerð. Þessi reiknaða mæling er síðan borin saman við þá raunverulegu. Síðan er reynt að breyta líkaninu aftur og aftur uns viðunandi samræmi fæst milli mældra og reiknaðra gilda. Það líkan er notað. Þess ber að geta hér að niðurstaðan er aldrei einhlít og oft má breyta verulega út frá viðnámslíkani án þess það hafi mikil áhrif á mælinguna. Það sem verið er að leita að með viðnámsniðsmælingum er fyrst og fremst lóðrétt liggjandi lágviðnám, eins konar lágviðnámsveggir, en það er merki um vatnsleiðandi sprungur.

Í viðauka III eru niðurstöður túlkunar einstakra mæilína sýndar.

## 5.2 Niðurstöður og samanburður við segulmælingar

Í niðurstöðum túlkunar einstakra mæilína koma víða fram lóðréttir há- og lágviðnámsveggir. Lágviðnámsveggirnir tákna væntanlega sprungur þar sem heitt vatn leikur um eða hefur leikið, en háviðnámsveggirnir þetta veggir í jörðinni, sem hindra að verulegu leyti rennsli vatns í gegnum sig. Þeir skipta því verulegu máli sem rennslhindranir í jarðhitakerfunum og eru þannig mikilvægur þáttur í gerð jarðfræðilegs og forðafræðilegs líkans af jarðhitasvæðunum.

Til að skoða legu lágviðnámsveggja eru þeir lágviðnámsveggir sem fram komu við túlkunina færðir á kort á mynd 24. Ekki er gerð nein tilraun á þessari mynd til að tengja lágviðnámsveggina frá einni mæilílnunni til annarar þannig að lesandinn geti spreytt sig á því enda alls ekki einhlítt hvernig rétt er að tengja á milli. Á þessa sömu mynd eru einnig færðir inn allir berggangar og misgengi, sem segulmælingar og jarðfræðikortlagning sýna að liggi um svæðið (Bára Björgvinsdóttir 1982) því líklegt er að það séu gangar og misgengi sem orsaka há- og lágviðnámsveggina. Þannig myndi þétt misgengi eða þéttur gangur koma fram sem háviðnámsveggur en sprunginn gangur eða misgengi sem leiðir heitt vatn sem lágviðnámsveggur. Þess vegna er eðlilegt að nota gangakortið sem hjálpartæki við að tengja milli mæilína. Einnig er merkt á mynd 24 svæði þar sem viðnámsmælingar sýna að eðlisviðnám í jörðu er almennt lágt, vísbending um tiltölulega heitt berg.

Á mynd 25 er svipað kort og á mynd 24 nema hvað búið er að tengja lágviðnámsveggi milli mæilína á þann hátt sem höfundar telja líklegastan. Ennfremur eru helstu háviðnámsveggir merktir inn. Á myndinni sjást fimm lágviðnámsveggir sem eru merktir I-V. Þrír þeirra (nr. I, II, III og IV) stefna mjög nærri hánorðri og virðast allir falla saman við bergganga. Sá fimmti (V) hefur hins vegar allt aðra stefnu eða í norðaustur í átt að borsvæðinu við Laugaland. Tilvist þessara lágviðnámsveggja er misáreiðanleg. Þannig er sá sem merkur er I langmest áberandi í mælingunum. Þeir sem merktir eru II og III koma fram sem lágviðnám á neðan 100 m

dýpis en ná ekki upp undir yfirborð eins og sá númer I. Sá sem merktur eru IV kemur fremur illa fram í mælingunum en heldur betra samræmi fæst milli mældra og reiknaðra gilda með því að gera ráð fyrir honum. Sá norðaustlægi (nr. V) kemur ekki mjög glögglega fram nema í línu 11. Sú lína er hins vegar eitthvað óeðlileg suðaustast sem dregur svolítið úr áreiðanleika hennar.

Athyglisvert er að gangurinn næst vestan Botnslaugar og holum HN-10 og BN-1 var ætlað að skera, kemur ekki fram sem lágviðnámsveggur, sem bendir til þess að hann sé ekki aðalvatnsleiðarinn. Þá er einnig athyglisvert að gangurinn sem fellur saman við lágviðnámsvegg nr. I liggur beina leið að Kristnesvolgrum sem koma fram í um 150-170 m hæð yfir sjávarmáli. Ennfremur hefur mælst smávelgja (11°C) á túni vestan Hrafnagils í beinu framhaldi af gangi þeim sem lágviðnámsveggur nr. II tengist.

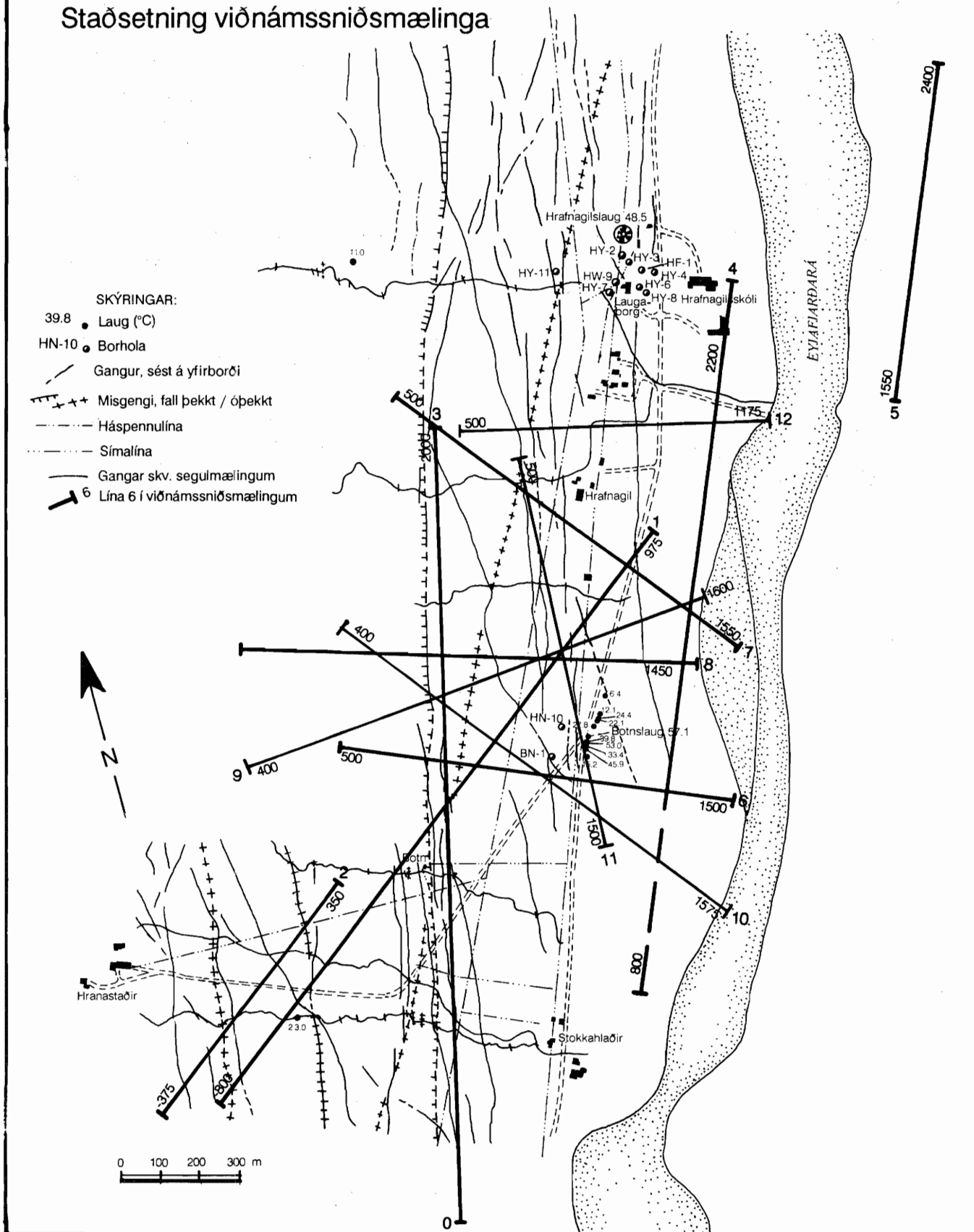
Mjög áberandi hátt viðnám mælist á nokkur hundruð metra kafla vestan misgengis með NNA-stefnu sem liggur í hlíðinni um 300 m ofan hola HN-10 og BN-1. Þetta misgengi virðist því vera eins konar þéttur veggur sem e.t.v. markar vesturmörk jarðhitakerfisins við Botn. Stokkahlaðalaugin er raunar vestan þessa veggjar en þó nálægt því að vera í framhaldi af norðaustursprungunni á mynd 25 (nr. V). Það gæti annað hvort þýtt að Stokkahlaðalaugin tengist umræddri norðaustur sprungu eða hún sé vísbending um annað jarðhitakerfi í hlíðinni upp af Botni.

Þá virðast háviðnámsveggir liggja milli lágviðnámsganganna sem merktir eru I og II og milli þeirra sem merktir eru II og III á mynd 25. Gangurinn sem holum HN-10 og BN-1 var beint að liggur á fyrrnefnda háviðnámssvæðinu. Það bendir til þess að gangurinn sem slíkur sé ekki lekur nema næst holu HN-10.

JHD-JEÐ-6500 ÓGF  
89.03.0137 AA

# BOTN-HRAFNAGIL

## Staðsetning viðnámsniðsmælinga

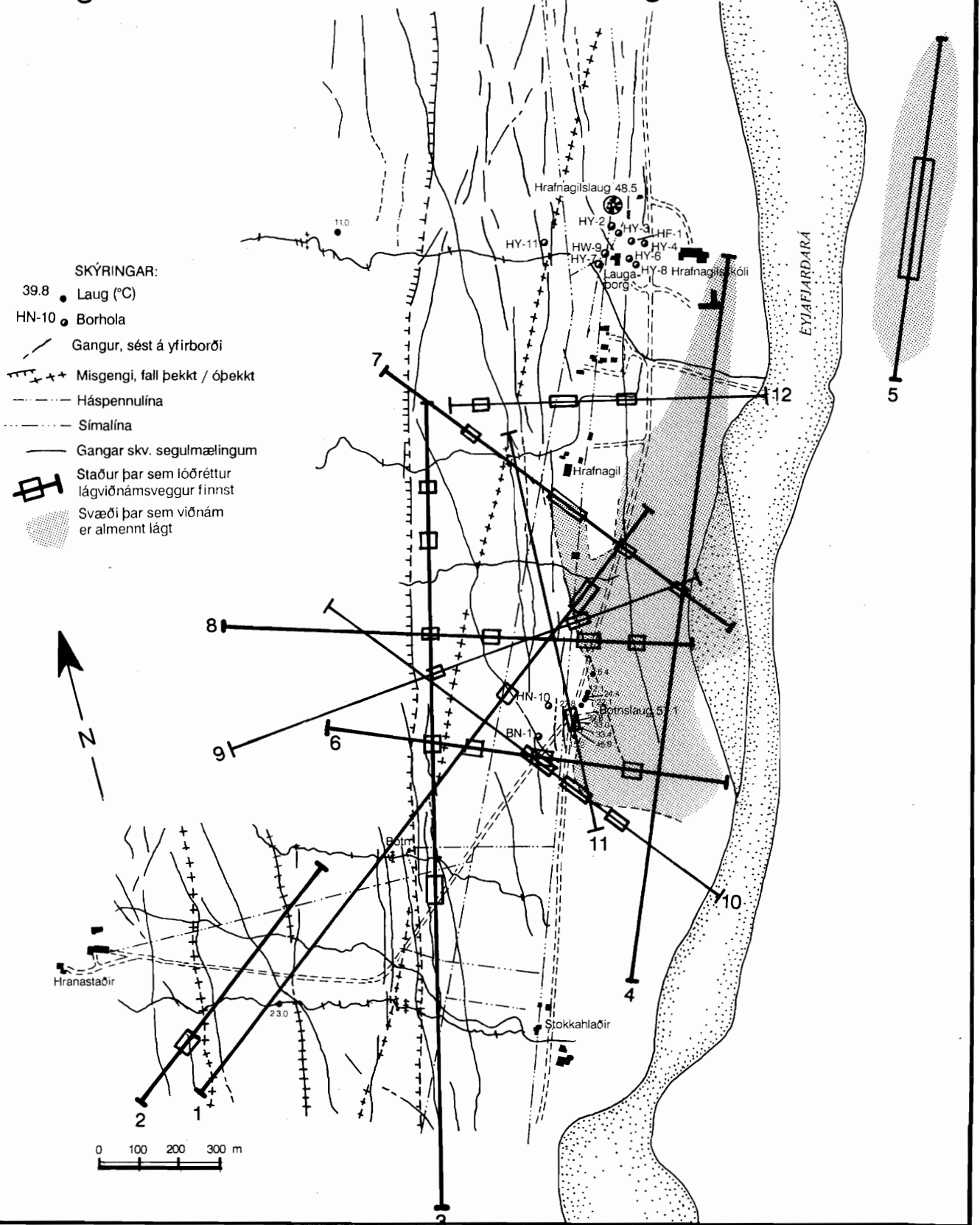


MYND 23. Staðsetning mællína í viðnámsniðsmælingum á Botni.

JHD-JEÐ - 6500 ÖGF  
89.03.0137 AA

# BOTN-HRAFNAĞIL

## Lágviðnámssvæði í viðnámsniðsmælingum



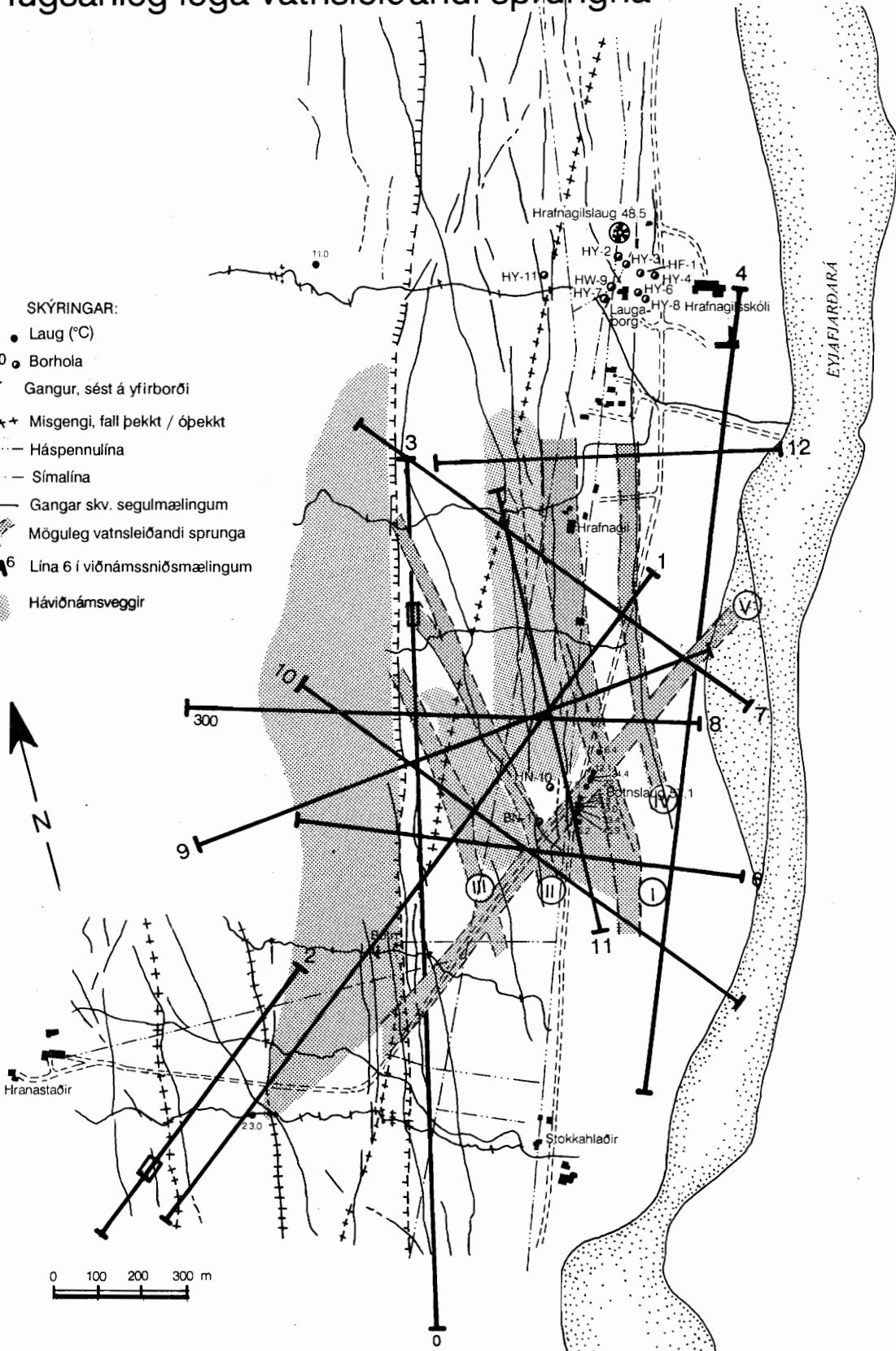
MYND 24. Staðir þar sem merki um lágviðnámsveggi finnst undir mælilínum.

JHD-JED-6500 ÖGF  
89.03.0137 AA

# BOTN-HRAFNAGIL

## Hugsanleg lega vatnsleiðandi sprungna

- SKÝRINGAR:
- 39.8 ● Laug (°C)
  - HN-10 ○ Borhola
  - Gangur, sést á yfirborði
  - Misgengi, fall þekkt / óþekkt
  - - - Háspennulína
  - Símalína
  - Gangar skv. segulmælingum
  - Möguleg vatnsleiðandi sprunga
  - Lína 6 í viðnámsniðsmælingum
  - Háviðnámsveggir



MYND 25. Lega há- og lágvíðnámsveggja við Botn.

## 6. SAMANBURÐUR BORHOLUGAGNA OG YFIRBORÐSMÆLINGA

Út frá niðurstöðum svarfgreininga og borholumælinga í holum HN-10 og BN-1, niðurstöðum segulmælinga og niðurstöðum þeirra viðnámsniðsmælinga sem hér er fjallað um má reyna að finna tengsl milli þeirra ganga og vatnsæða sem fundust í borholunum og ganga og lágviðnámsveggja sem fundist hafa við segul- og viðnámsniðsmælingarnar. Á mynd 26 eru borholurnar sýndar á þremur sniðum. Það fyrsta er þvert á ganginn sem er næst vestan Botnslaugar, næsta þvert á ganginn sem lágviðnámið fylgir austan Botnslaugar og loks er dregið upp snið þvert á meinta norðaustursprungu.

Nokkur óvissa ríkir um halla borholanna tveggja við Botn. Mælingar með segulhallamæli benda til þess að hola HN-10 sé nokkuð bein, henni halli e.t.v. um  $1^\circ$  til norðurs en hola BN-1 halli  $3-4^\circ$  til norðausturs. Mælingar sem gerðar voru síðar af kanadíska fyrirtækinu Sperry-Sun benda aftur á móti til talsvert minni halla á BN-1 eða um eða innan við  $1^\circ$ . Við gerð myndar 26 var gert ráð fyrir því að hola BN-1 væri lóðrétt enda ástæða til að treysta betur mælingum Sperry-Sun sem gerðar eru með mun fullkomnari tækjum.

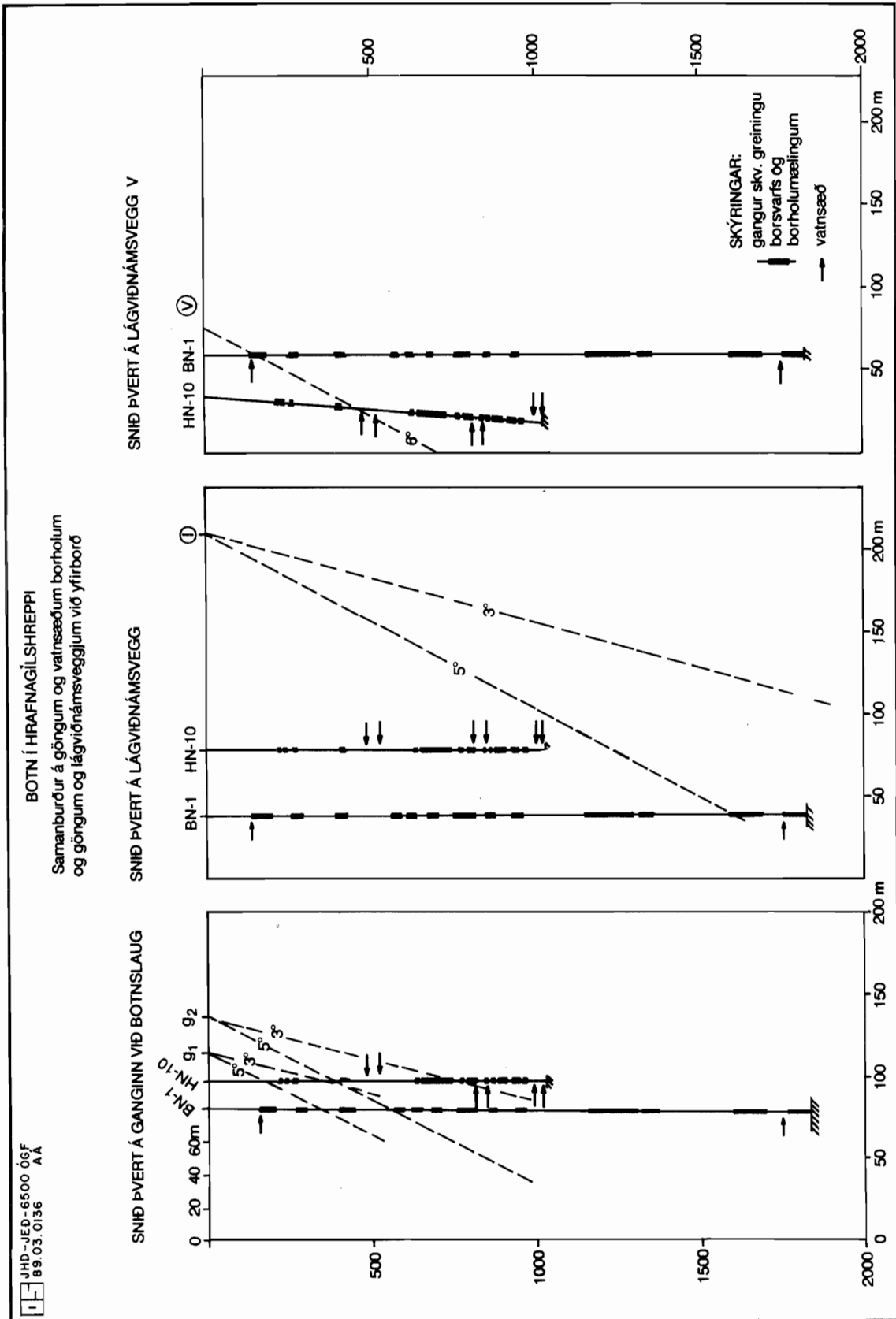
Halli ganganna næst Botnslaug er ekki vel þekktur þótt ljóst sé að hann sé vestlægur. Mælingar í borholum við Hrafnagil benda til þess að reikna megi með að berggöngum á þessu svæði halli  $4-6^\circ$  til vesturs frá lóðréttu (Helga Tulinius o.fl. 1983).

Við skoðun á mynd 26 sést glögglega að hola HN-10 fer gegnum gangakafla á dýptarbilinu 550-950 m. Hola BN-1 fer gegnum gangakafla á bilinu 1160 - 1360 m dýpi. Líklegast er að þarna sé verið að skera ganginn næst vestan Botnslaugar (merktur  $g_1$ ), og samkvæmt því væri halli hans um  $3^\circ$  til vesturs. Allgóðar vatnsæðar koma í holu HN-10 þar sem hún fer gegnum gangakafla þennan en engar sambærilegar æðar eru í holu BN-1. Á þessu eru tvær skýringar líklegastar. Önnur er sú að gangurinn er ekki hinn raunverulegi vatnsleiðari heldur einhver sprunga og tilviljun ráði að hola HN-10 lendir í henni mitt í gangakaflanum. Hin skýringin er að gangurinn sé í raun mislekur, hann sé opinn þar sem HN-10 fer gegnum hann en þéttur um 50-70 m sunnar og nokkur hundruð metrum neðar þar sem BN-1 fer gegnum hann.

Gangur sá, sem merktur er  $g_2$  og liggur nær samsíða ganginum næst Botnslaug ( $g_1$ ) en nær borholunum, gæti verið sá sem fram kemur á milli 200 og 300 m dýpis í holu HN-10 og á milli 600 og 1000 m í BN-1. Það svaraði til  $3 - 4^\circ$  halla til vesturs.

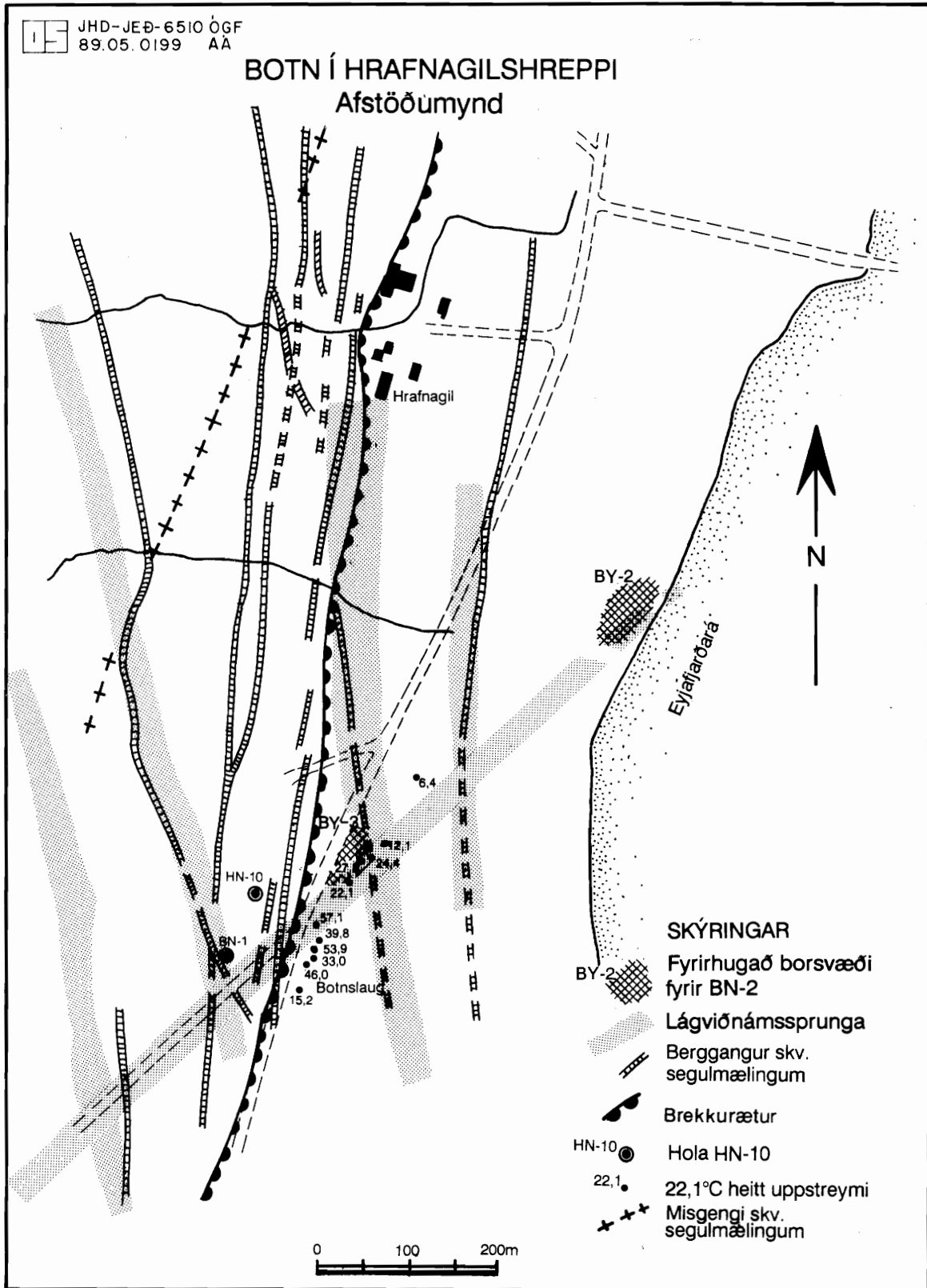
Þá kemur fram gangur milli u.þ.b. 1600 og 1700 m dýpis og neðan 1750 m dýpis í holu BN-1. Háþrýsta vatnsæðin í BN-1 kemur fram við neðsta ganginn. Miðað við  $3-4^\circ$  gangahalla er líklegast að þar sé um að ræða gang þann sem fram kemur sem lágviðnámsveggur í viðnámsmælingunum og er merktur I á mynd 25. Hola HN-10 er ekki nógu djúp til að ná að hitta í hann.

Hyggjum nú aðeins að norðaustlæga lágviðnámsveggnum (nr. V) og sniðinu þvert á hann á mynd 26. Af segulkortum verður ekki ráðið að honum fylgi gangur eða misgengi. Ef þessi lágviðnámsveggur er raunverulegur þá hlýtur hann að tákna nær lóðréttu sprungu í jarðlagastaflanum. Spurningin er svo hvort einhver slík sprunga kemur fram í holum BN-1 og HN-10. Nú er það svo að talsverð ónákvæmni er í staðsetningu lágviðnámsveggja þegar þeim fylgja engir gangar sem staðsetja má nákvæmlega með segulmælingum. Þar af leiðir að erfitt er að meta nákvæmlega fjarlægðina frá holunum að þeim stað þar sem lágviðnámsveggurinn nær yfirborði. Miðað við að sprungunni halli til norðvesturs um nokkrar gráður gætu vatnsæðarnar í 144 m í BN-1 og efri æðarnar í HN-10 verið tengdar þessari sprungu. Það sem helst styður þennan möguleika er að þrýstiprófanir á BN-1 í lok borunar bentu til að tengsl hennar við HN-10 væru ofan 684 m dýpis.



MYND 26. Samanburður á borholugögnum og mælingum á yfirborði





MYND 27. Tillaga um staðsetningu tveggja rannsóknarhóla.

## 7. UMRÆÐA OG TILLÖGUR

Í stuttu máli má draga þá vitneskju sem fengist hefur um jarðhitasvæðið á Botni saman á eftirfarandi hátt:

Jarðhitasvæðið á Botni liggur suðvestan í allútbreiddu lágviðnámsvæði um miðbik Eyjafjarðar. Báðar holurnar sem boraðar hafa verið í svæðið hafa hitt á vatnsæðar sem bera þess merki að vera í tengslum við annað eða önnur öflugri vatnskerfi. Fjölmargir berggangar og nokkur misgengi liggja um svæðið. Viðnámsniðsmælingarnar benda til að fjórir þeirra kunni að vera vatnsleiðandi. Þessum göngum er það sameiginlegt að hafa allir stefnu nálægt hánorðri. Einn þeirra virðist liggja alla leið að Kristnesvolgrum, um 3 km norðar. Þá finnst vísbending um að sprungu með stefnu nærri norðaustri, sem sker gangana fjóra í grennd við jarðhitann á Botni. Æðarnar á 144 m dýpi í BN-1 og efri æðarnar í HN-10 gætu verið þar sem holurnar hitta á þessa sprungu. Engin vísbending finnst um að aðrir gangar séu lekir, ekki einu sinni sá sem Botnslaugar hafa fram til þessa verið taldir koma upp með. Hugsanlega kemur heita vatnið því upp með einhverjum gangi sem liggur grafinn undir setlögnum á dalbotninum en renni lárétt eftir þeim að Botnslaug. Kortið sem gert var árið 1982 af hita í jarðvegi umhverfis Botnslaugar (Bára Björgvinsdóttir 1982) má einnig túlka á þann hátt.

Líklegast er að einhver þeirra vatnsleiðandi sprungna, sem sjást í viðnámsniðsmælingunum, eða þá einhver slík enn austar, sé meginaðfærsluæð jarðhitasvæðisins á Botni og vatnið hríslist út frá henni í aðra ganga sem eru sprungnir að einhverju marki. Holurnar við Botn hafi því hitt í slíkar hliðargreinar vatnskerfisins en ekki meginaðfærsluæð kerfisins.

Lagt er til að framhald jarðhitaleitar við Botn verði eftirfarandi:

**Boraðar verði 2 rannsóknarholur (mynd 27). Önnur verði á bökkum Eyjafjarðarar skammt norðan við þann stað þar sem meint norðaustursprungu liggur yfir ána. Hún verði um 300 - 400 m djúp og er tilgangur hennar að fá upplýsingar um hitastig og þrýsting og tilvist norðaustlægu sprungunnar. Rökin fyrir þessari staðsetningu eru þau að viðnámsmælingar benda til þess að viðnám lækki til vesturs frá borsvæðinu við Botn og hitamælingar í borholun við Hrafnagil benda til þess að hiti í jörðu vaxi til suðausturs frá Hrafnagili (Helga Tulinius o.fl. 1983). Reikna má með að bora þurfi og fódra gegnum 60-120 m þykk setlög áður en berggrunni er náð. Hin holan verði staðsett rétt neðan við veginn suður Hrafnagilshrepp og miði að því að skera berggang þann, sem merktur er með I á mynd 25, þar sem hann sker norðaustlægu sprunguna (V á myndum 25 og 27). Hola þessi verði 200-300 m djúp. Reikna má með að þykkt setlaganna sé 30-60 m á þessum stað og þau verður að fódra af.**

**Að borun þessara hola lokinni verði staðan endurmetin í ljósi þeirra upplýsinga sem þá hafa fengist og ákvörðun tekin um framhaldið.**

**Leggja ber verulega áherslu á að fá sem gleggstar upplýsingar um hitastig og vatnsborð og annað sem máli skiptir meðan á borun stendur því þær upplýsingar geta skipt meginmáli þegar meta þarf niðurstöður borananna.**

**Rétt er að taka fram hér að endanleg ákvörðun um hve djúpt skal bora verður að taka í ljósi framvindu borverksins.**

## HEIMILDIR

- Ásgrímur Guðmundsson, 1980: *Borun HN-10 við Hrafnagilslaug syðri fyrir Hitaveitu Akureyrar*. Orkustofnun, ÁG-80/03. 11 s.
- Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson, 1975: *Jarðhiti í nágrenni Akureyrar*. Orkustofnun, OS-JHD-7557. 53 s.
- Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson, Sigmundur Einarsson, Freyr Þórarinnsson, Stefán Arnórsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson og Þorsteinn Thorsteinsson, 1979: *Hitaveita Akureyrar. Rannsókn jarðhita í Eyjafirði, áfangaskýrsla 1978*. Orkustofnun, OS-JHD-7827. 138 s.
- Bára Björgvinsdóttir, 1982: *Segulmælingar í Hrafnagilshreppi í Eyjafirði*. Orkustofnun, OS-82100/JHD-15. 21 s og 6 kort.
- Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson, 1971a: *Jarðhitaathugun við Hrafnagilslaug syðri í Eyjafirði*. Orkustofnun. 8 s.
- Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson, 1971b: *Greinargerð um jarðhitarannsóknir á Hrafnagili í Eyjafirði*. Orkustofnun. 20 s
- Guðmundur Guðmundsson og Kristján Sæmundsson, 1972: *Jarðhiti í nágrenni Akureyrar*. Orkustofnun. 8 s.
- Guðni Axelsson, Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz og Þorsteinn Thorsteinsson, 1988: *Vatnsöfnun Hitaveitu Akureyrar. Staða og horfur 1988*. Orkustofnun, OS-88052/JHD-10. 33 s.
- Gylfi Páll Hersir, 1988: *Correcting for the Coastal Effect on the Apparent Resistivity of Schlumberger Soundings*. Orkustofnun, OS-88019/JHD-10 B. 13 s.
- Helga Tulinius, Ólafur G. Flóvenz og Hrefna Kristmannsdóttir, 1983: *Jarðhitarannsóknir við Hrafnagil*. Orkustofnun, OS-83024/JHD-05. 54 s.
- Jarðboranir Ríkisins 1981: Narfi, borskýrslur.
- Ólafur G. Flóvenz, Bára Björgvinsdóttir, Sigmundur Einarsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1981a: *Kristnes-Reykhus. Úttekt á hálfra aldar árangurslítili jarðhitaleit*. Orkustofnun, OS-81026/JHD15. 55 s.
- Ólafur G. Flóvenz og Brynjólfur Eyjólfsson, 1981: *Viðnámsmælingar og mat á jarðhitastöðum í Eyjafirði*. Orkustofnun, OS81029/JHD17. 65 s.
- Ólafur G. Flóvenz, Sigmundur Einarsson og Bára Björgvinsdóttir, 1981b: *Jarðhitarannsóknir við Gils-laug, Garðsárlaug og Mjaðmárdalslaug*. Orkustofnun, OS-81030/JHD-18. 22 s.
- Ólafur G. Flóvenz, Sigmundur Einarsson, Ásgrímur Guðmundsson, Þorsteinn Thorsteinsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1984: *Jarðhitarannsóknir á Glerárdal 1980-1983*. Orkustofnun, OS-84075/JHD-13. 89 s.
- Ólafur G. Flóvenz og Ásgrímur Guðmundsson, 1984: *Viðnámsmælingar og rannsóknarboranir við Grýtu í Öngulstaðahreppi*. Orkustofnun, OS-84040/JHD-05.
- Ólafur G. Flóvenz, Þorsteinn Thorsteinsson, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1987: *Hitaveita Akureyrar. Drög að áætlun um rannsóknir og eftirlit með vinnslu*. Orkustofnun, greinargerð ÓGF/PTh/GAx/HK-87/10. 12 s.
- Sigmundur Einarsson, Þorsteinn Thorsteinsson, Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson, 1981: *Laugar og volgur í Hrafnagilshreppi*. Orkustofnun, SE-PTh-AB-KS-81/02. 12 s.
- Porkell Porkelsson 1920: *Undersøgelse af nogle varme kilder på Nordisland*. Det Kgl. Danske Vid. Selsk., Math.-fys. Medd. III, 1. 30 s.



## **VIÐAUKI I**

**Hola BN-1, jarðlagasnið og borholumælingar**

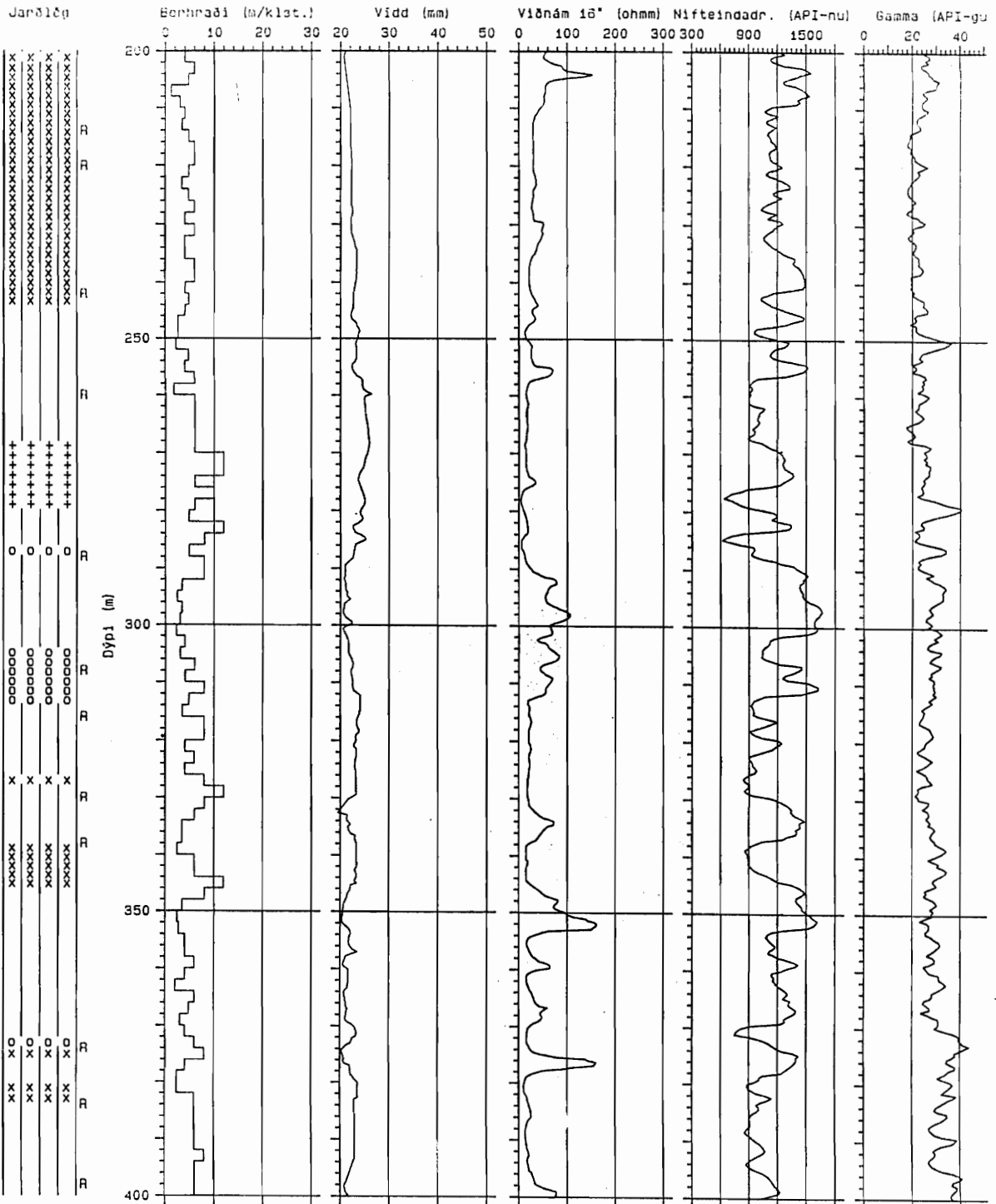


JHD-BJ-6000 Ásg  
85.12.1611 T

# BOTN HOLA BN-1 JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR

Króningarskó

J-44





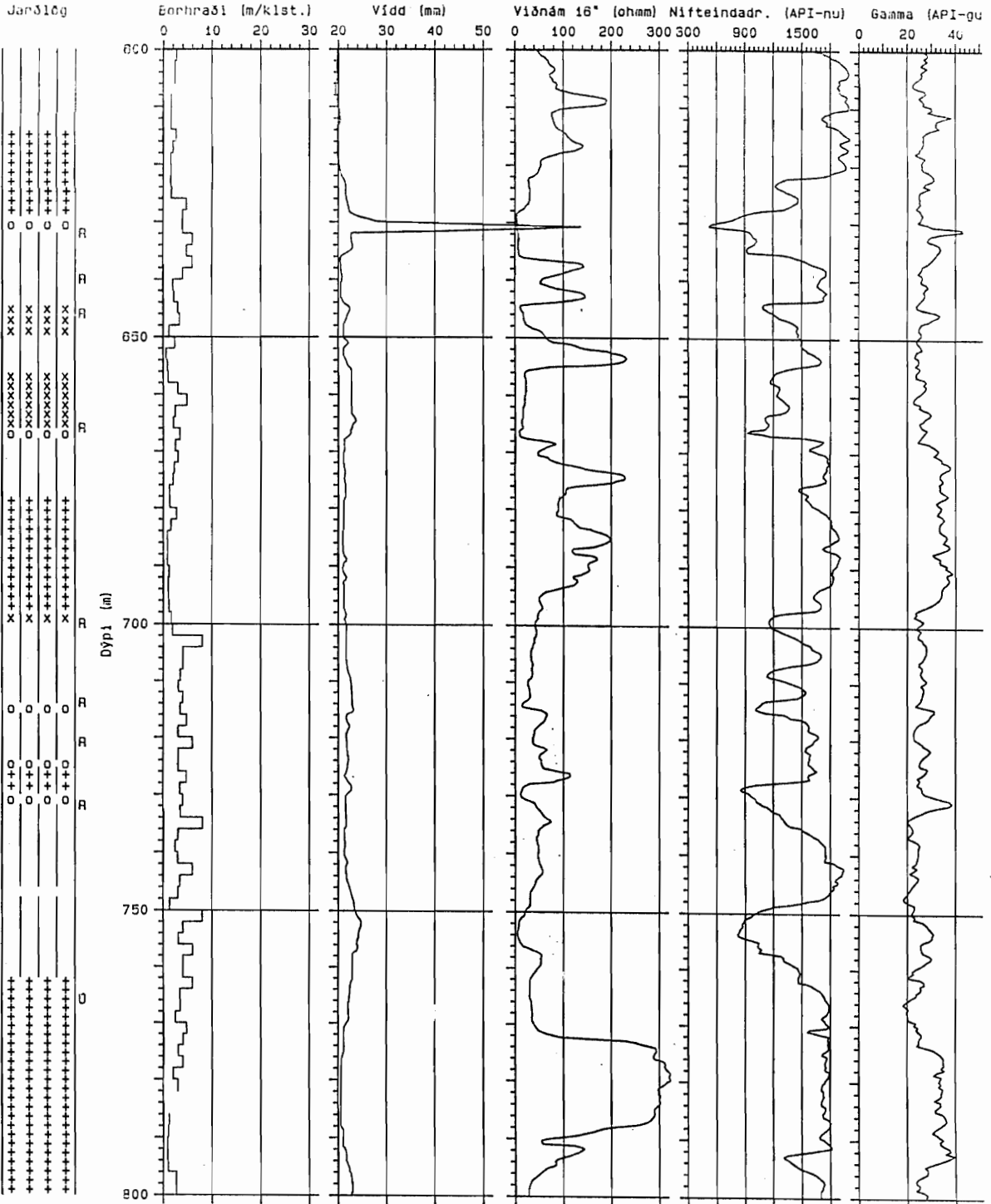


JHD-BJ-6000 AsG  
85.12.1611 T

# BOTN HOLA BN-1 JARDLAGASNIÐ OG MÆLINGAR

Kröngugerð

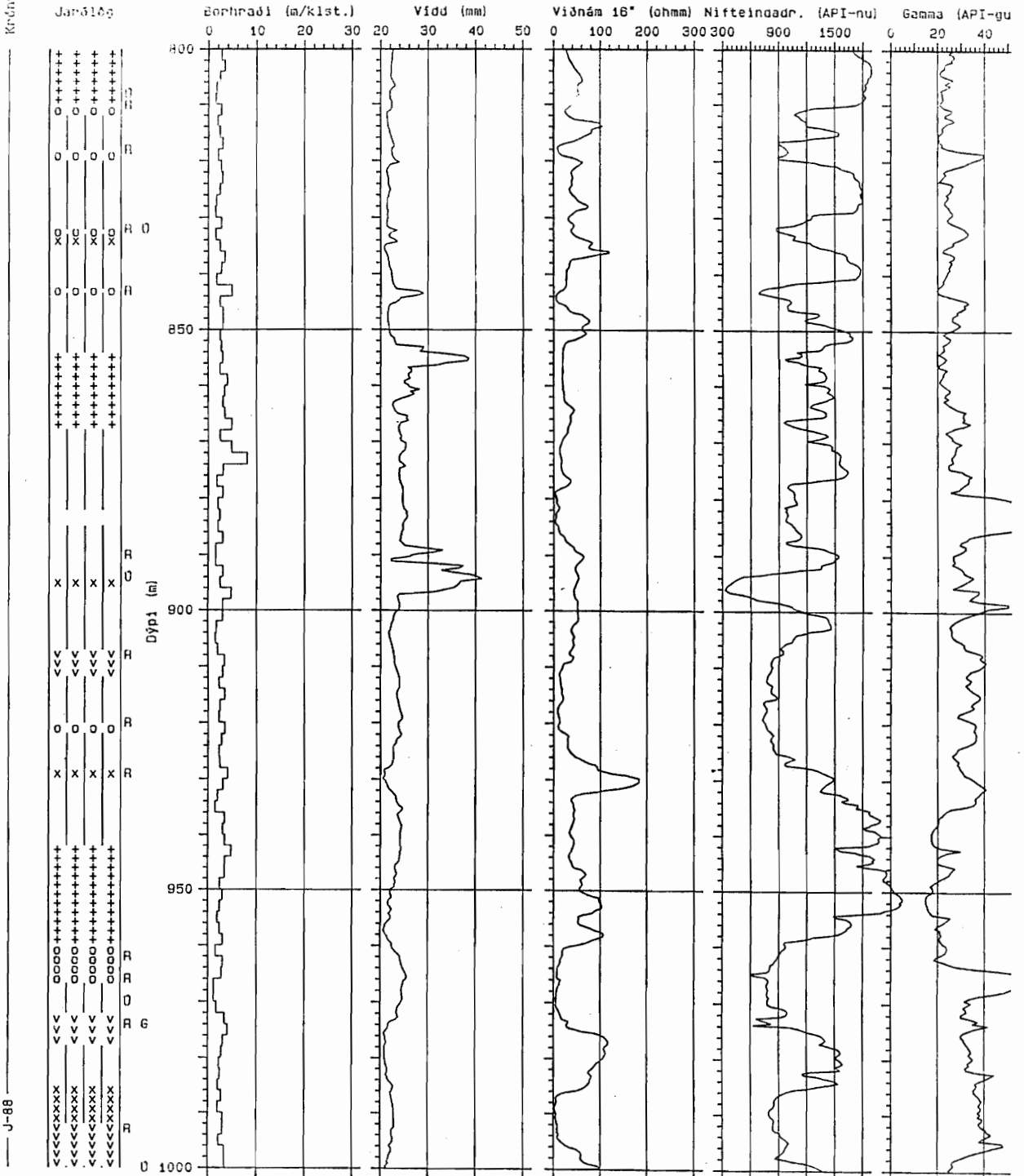
J-88 \* J-44



JHD-BJ-6000 ÁsG  
85.12.1611 T

# BOTN HOLA BN-1 JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGR

Krúttuggerð

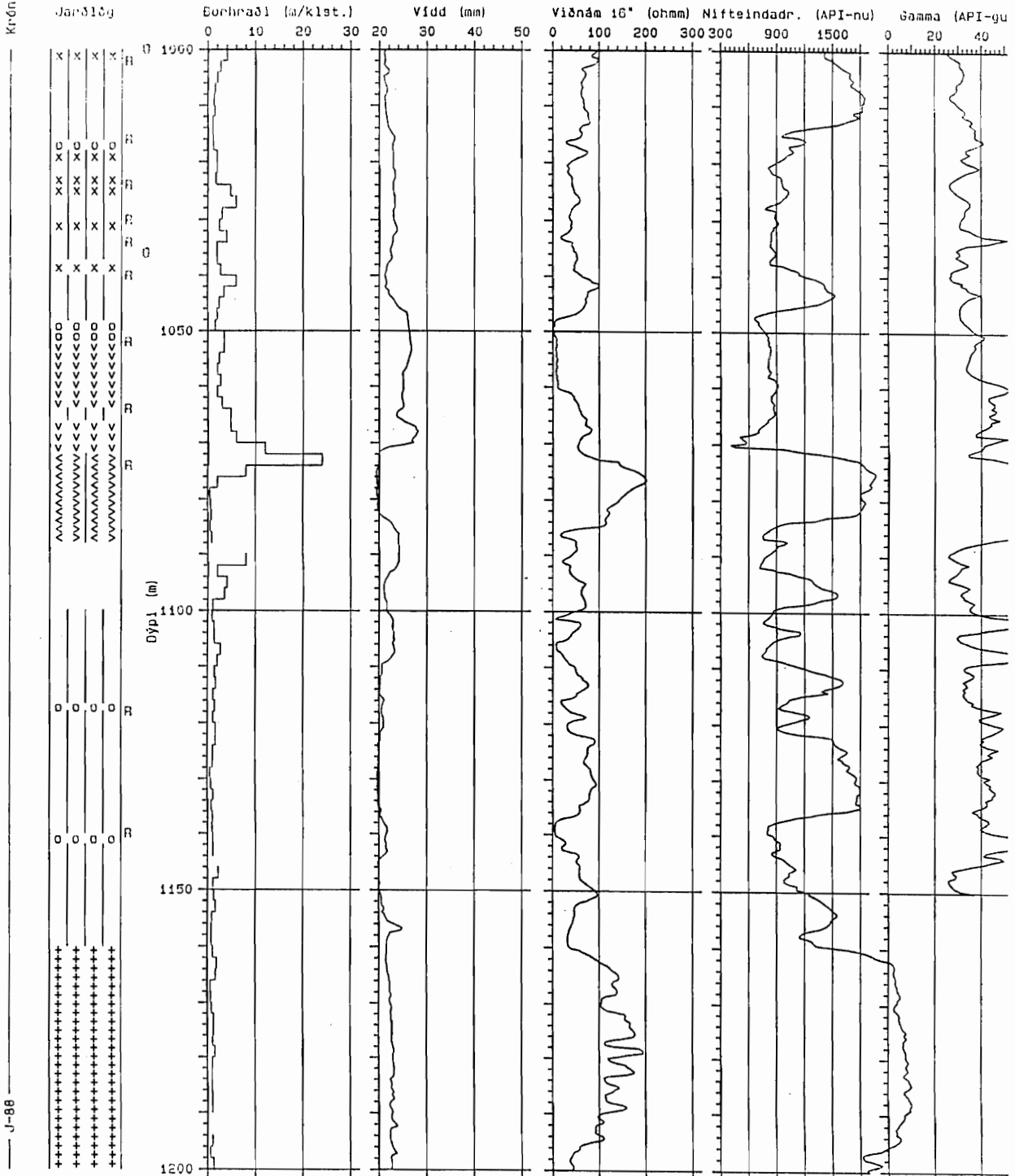


J-88

JHD-BJ-6000 ASG  
85.12.1611 T

# BOTN HOLA BN-1 JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR

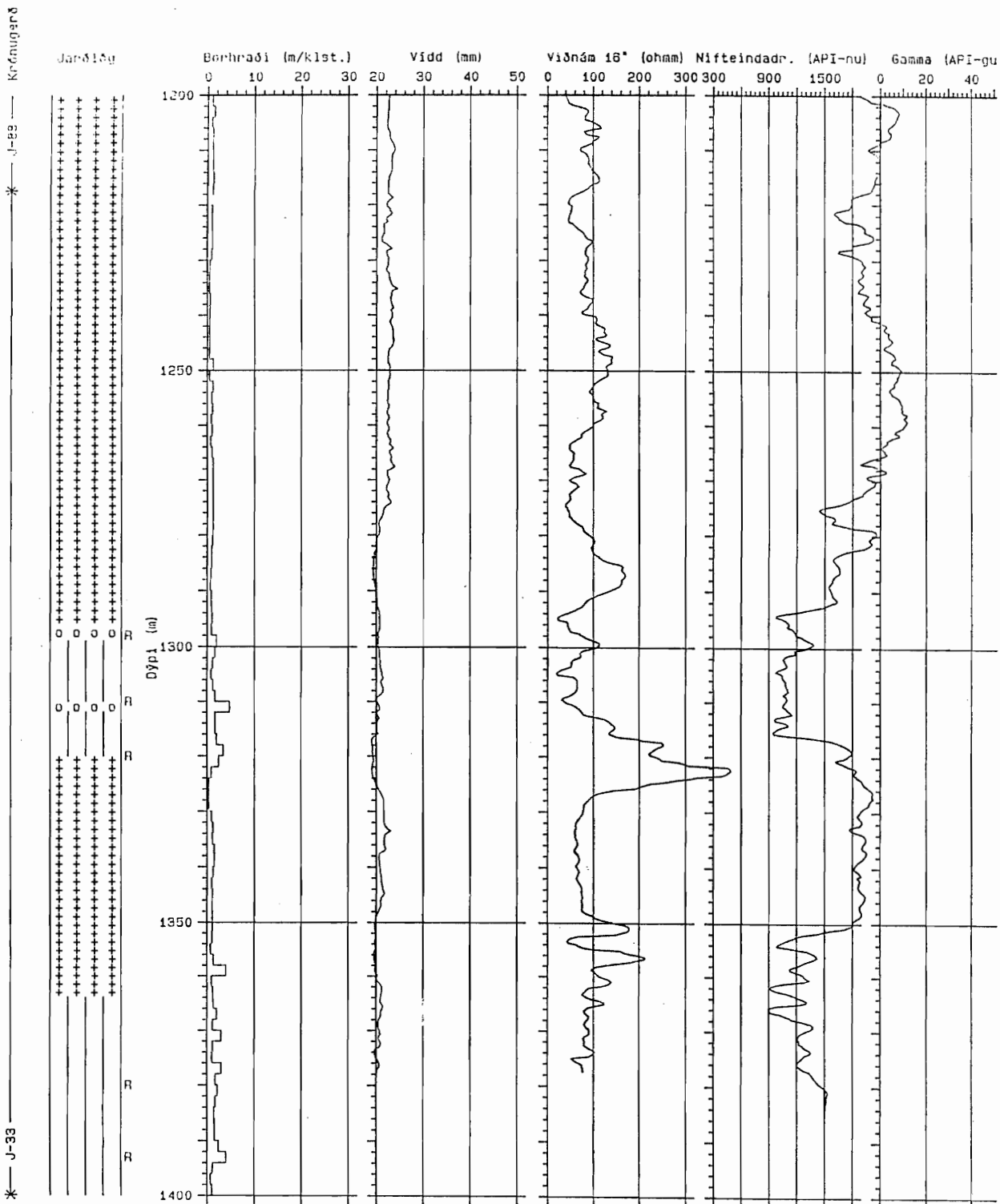
Kröngugerd



J-88

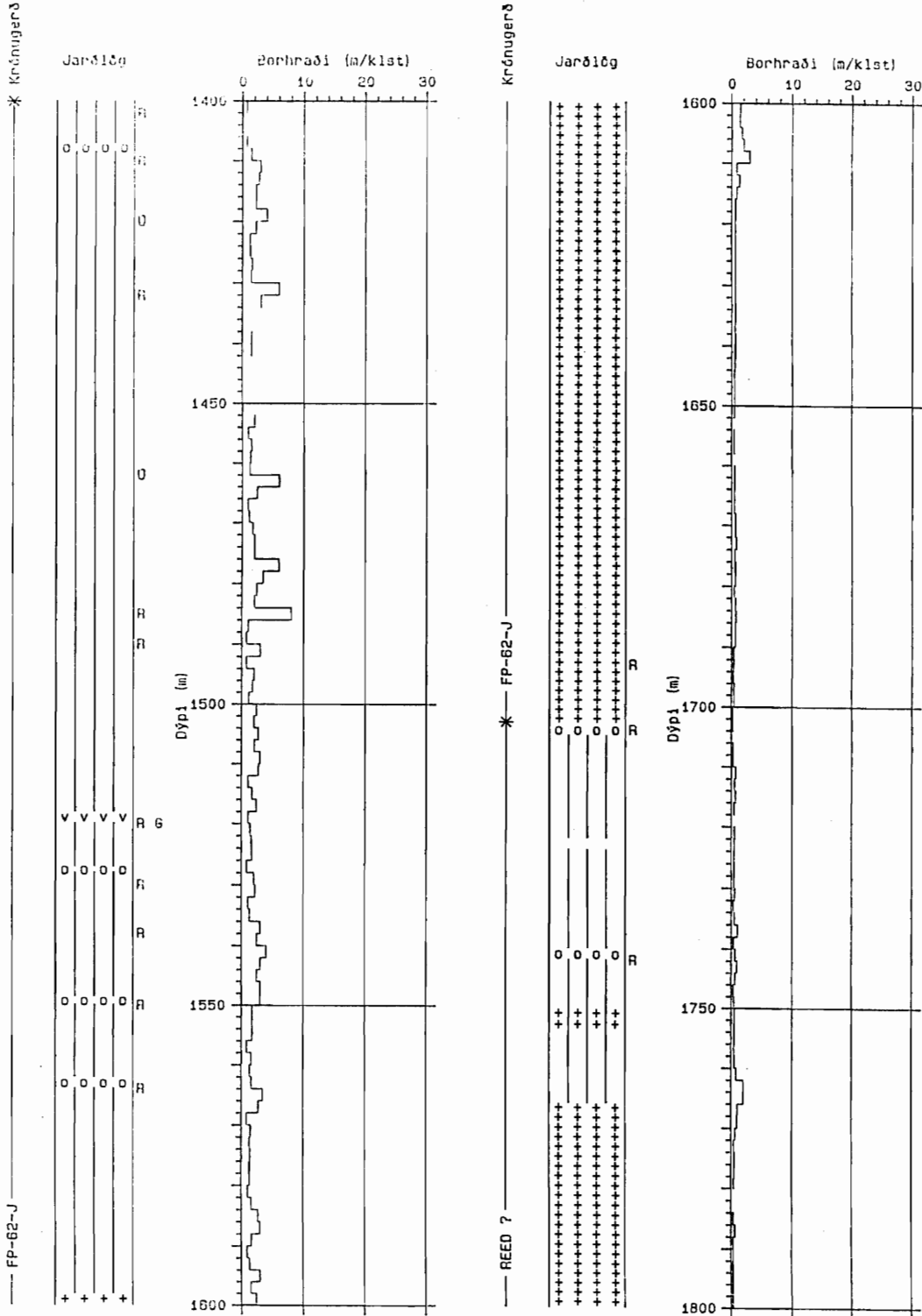
JHD-BJ-8000 As6  
05.12.1011 T

# BOTN HOLA BN-1 JARDLAGASNIÐ OG MÆLINGAR



IF JHD-BJ-6000 Ásg  
85.12.1611 T

# BOTN HOLA BN-1 JARÐLAGASNIÐ OG MÆLINGAR

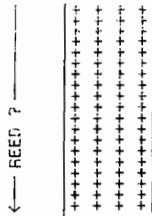


JHD-BJ-6000 AsG  
85.12.1811 T

# BOTN HOLA BN-1 JARÐLAGASNIÐ OG SKÝRINGAR

Krúningsó

Jarðlag



Ummyndað fín-meðalkorna basalt



Ummyndað meðal-grófkorna basalt



Dólerit innkot



Ummyndað glerjað basalt



Basaltrík breksía



Túff



Ísúrt finkornótt berg



Grófkornótt set



Svarf vantar

R : Rautt (oxað)

G : Grænt

O: Mjög mikið af útfellingum

## **VIÐAUKI II**

### **Vatnsborðsveiflur í borholum**

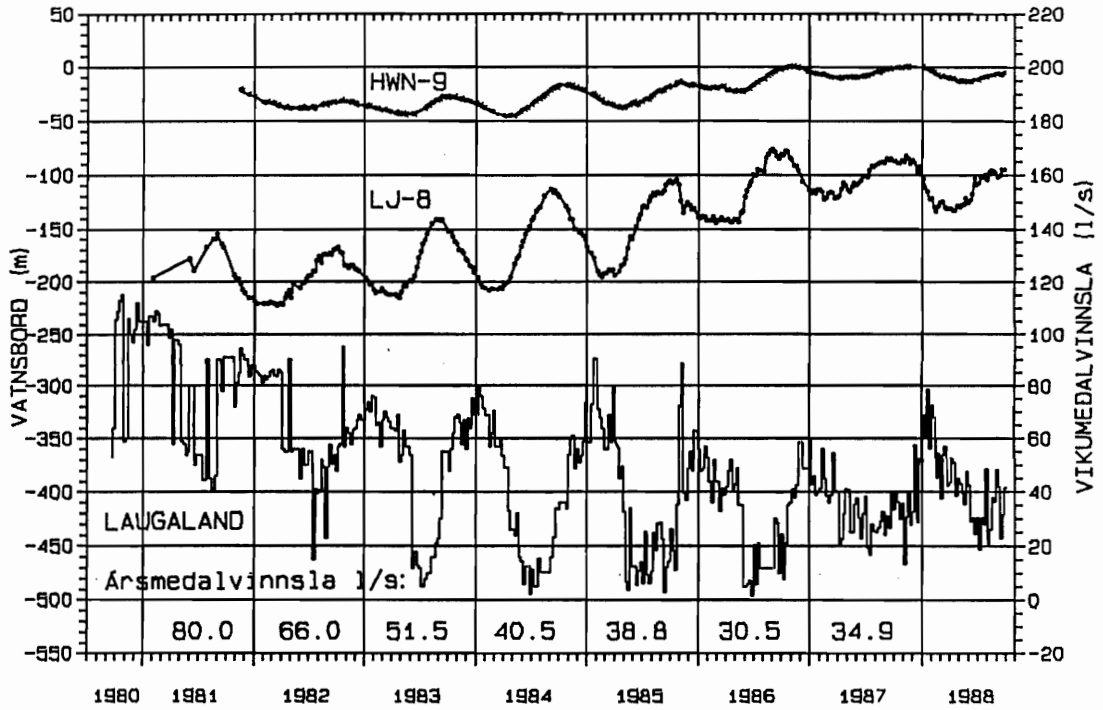




JHD-8M-6000 pTh  
88.10.0574 T

### HOLUR LJ-8 OG HWN-9 VATNSBORD 1981-1988

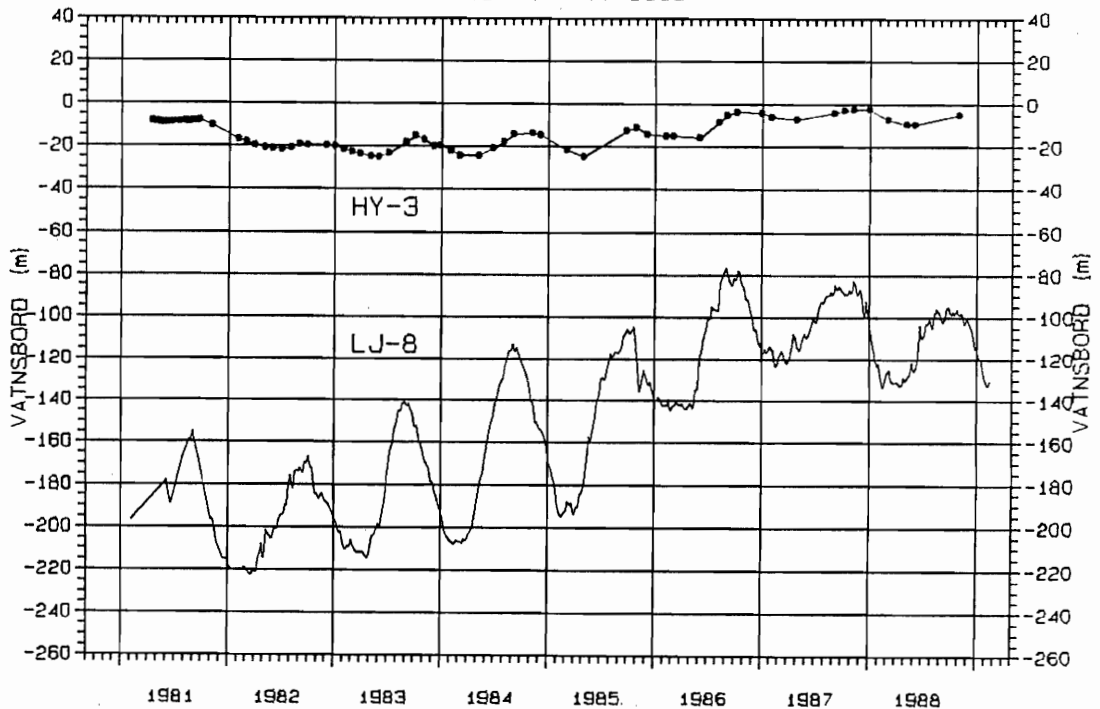
A



JHD-8M-6000 pTh  
88.05.0241 T

### HOLUR HY-3 OG LJ-8 VATNSBORD 1980-1989

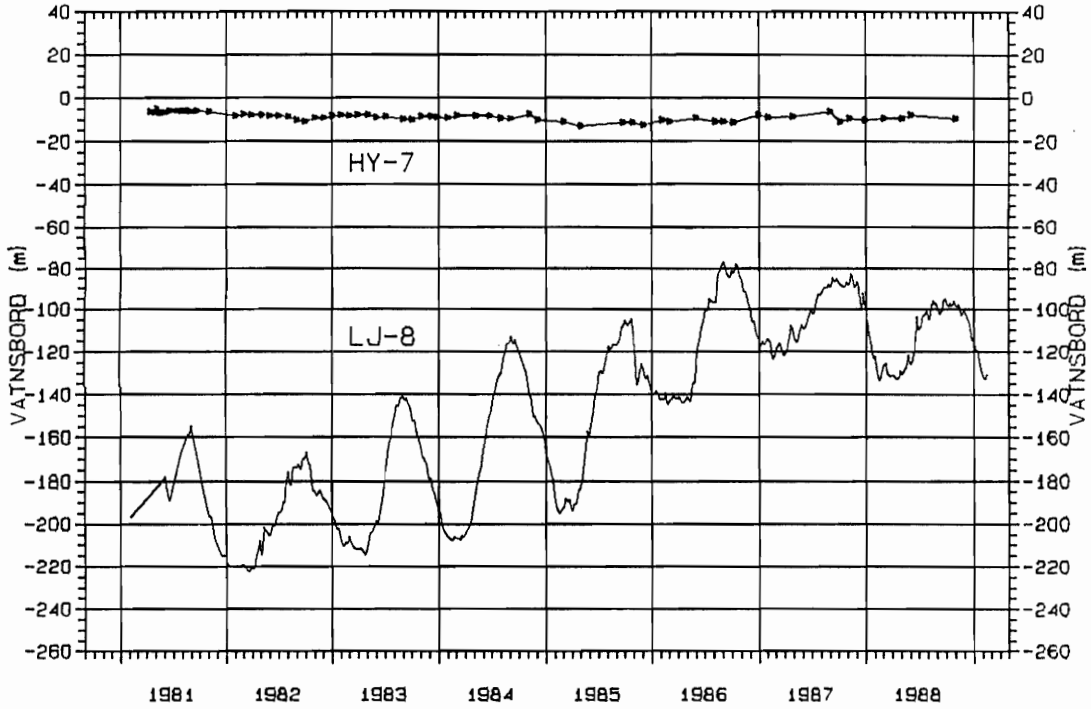
B



JHO-BM-6000 PTH  
89.05.0242. T

HOLUR HY-7 OG LJ-8  
VATNSBORD 1980-1989

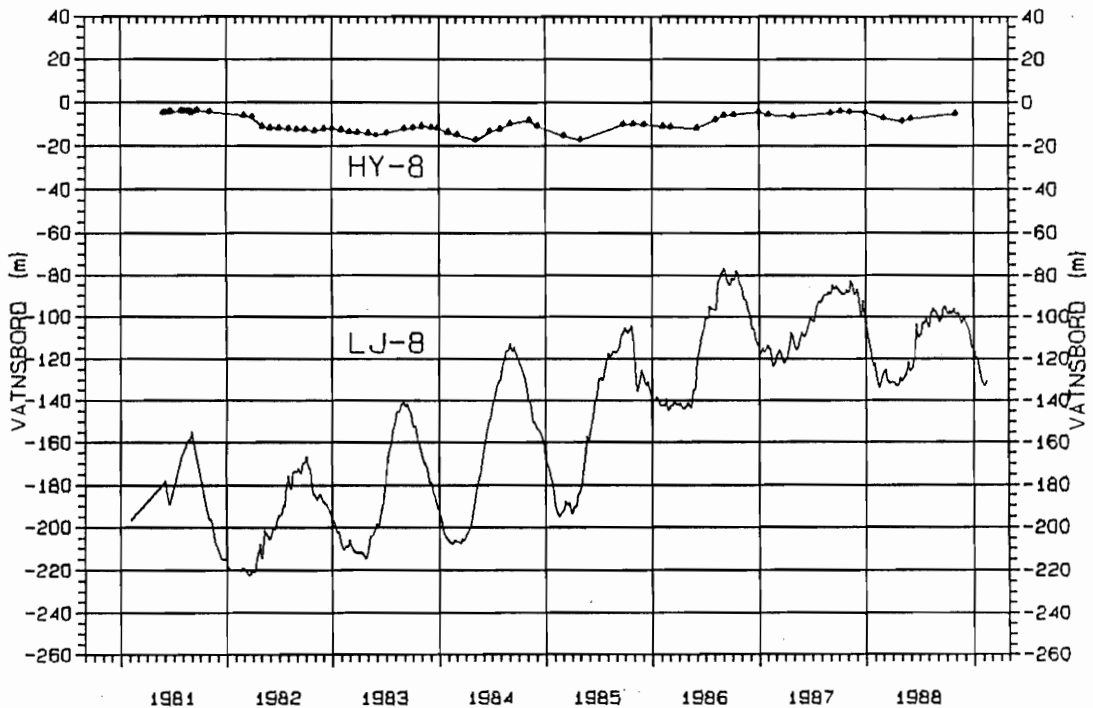
C



JHO-BM-6000 PTH  
89.05.0243. T

HOLUR HY-8 OG LJ-8  
VATNSBORD 1980-1989

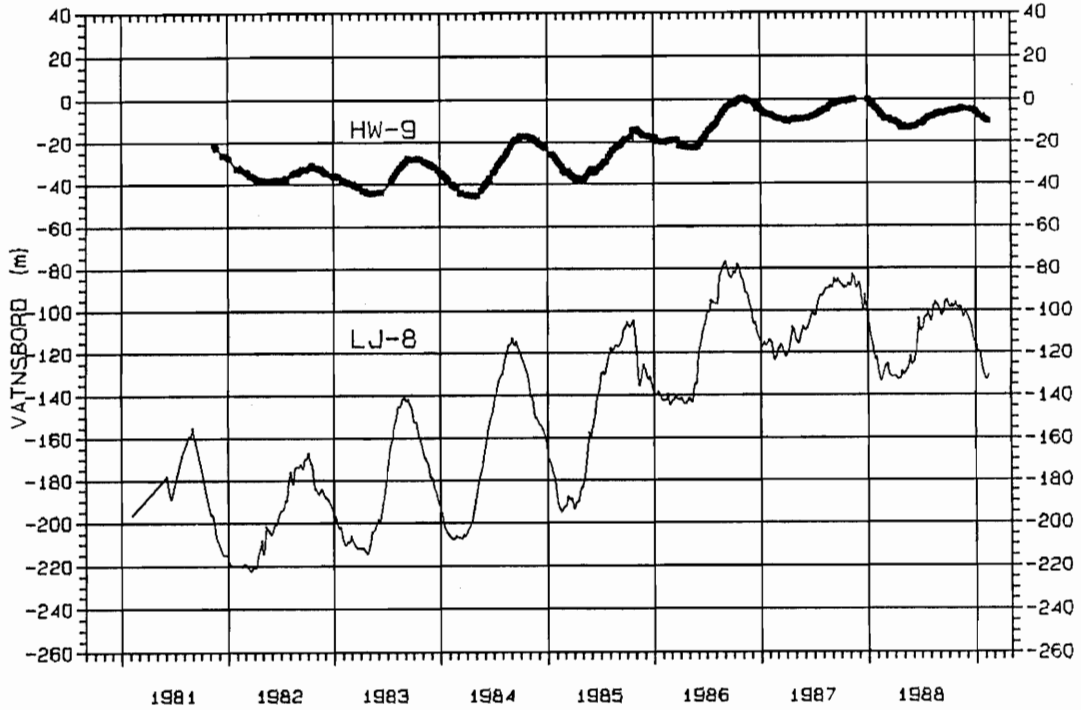
D



JHD-BM-6000 pTh  
89.05.0244. T

HOLUR HW-9 OG LJ-8  
VATNSBORD 1980-1989

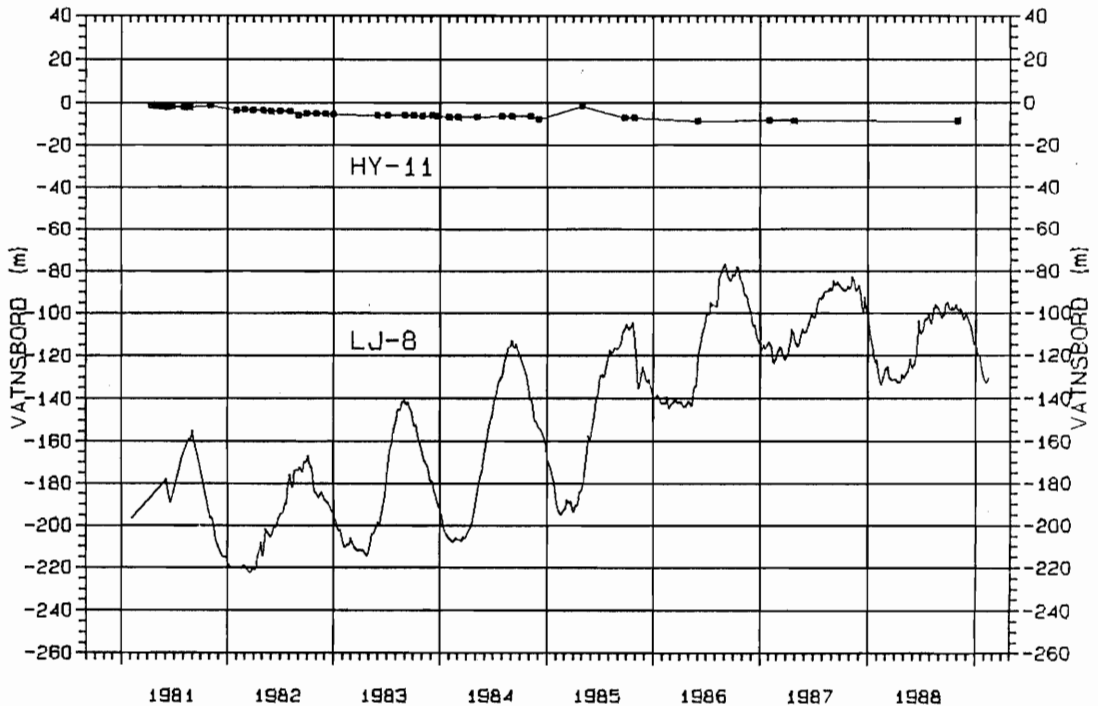
E



JHD-BM-6000 pTh  
89.05.0245. T

HOLUR HY-11 OG LJ-8  
VATNSBORD 1980-1989

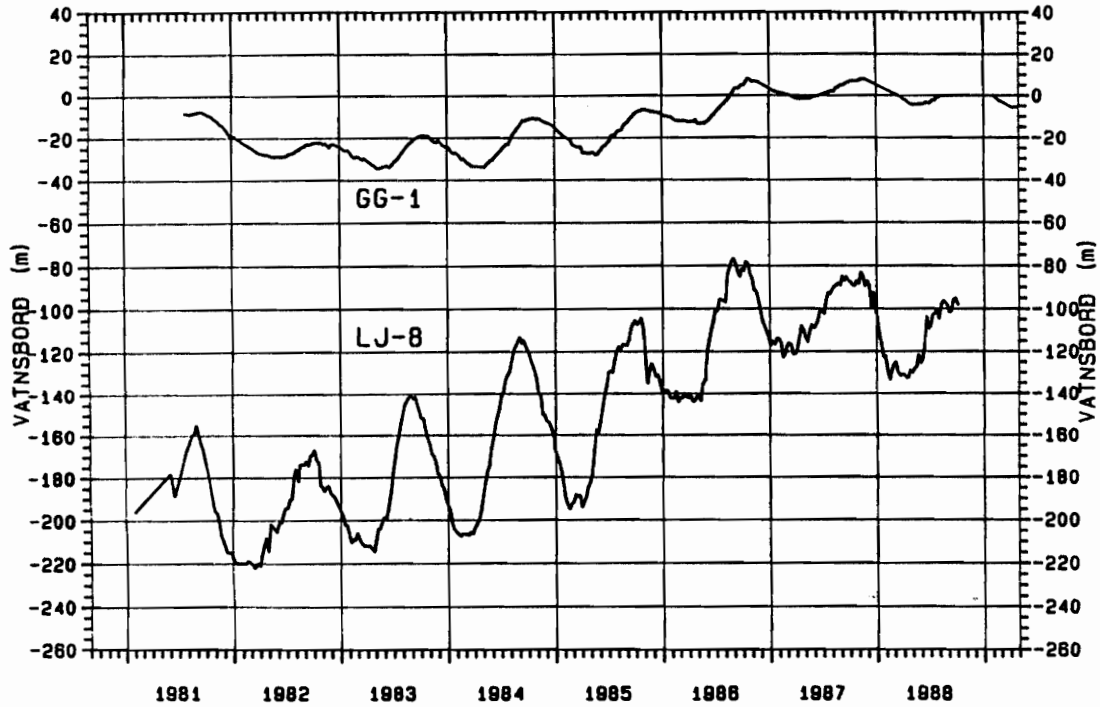
F



JHD-BM-8000 pTh  
89.06.0328 T

### HOLUR GG-1 OG LJ-8 VATNSBORD 1980-1989

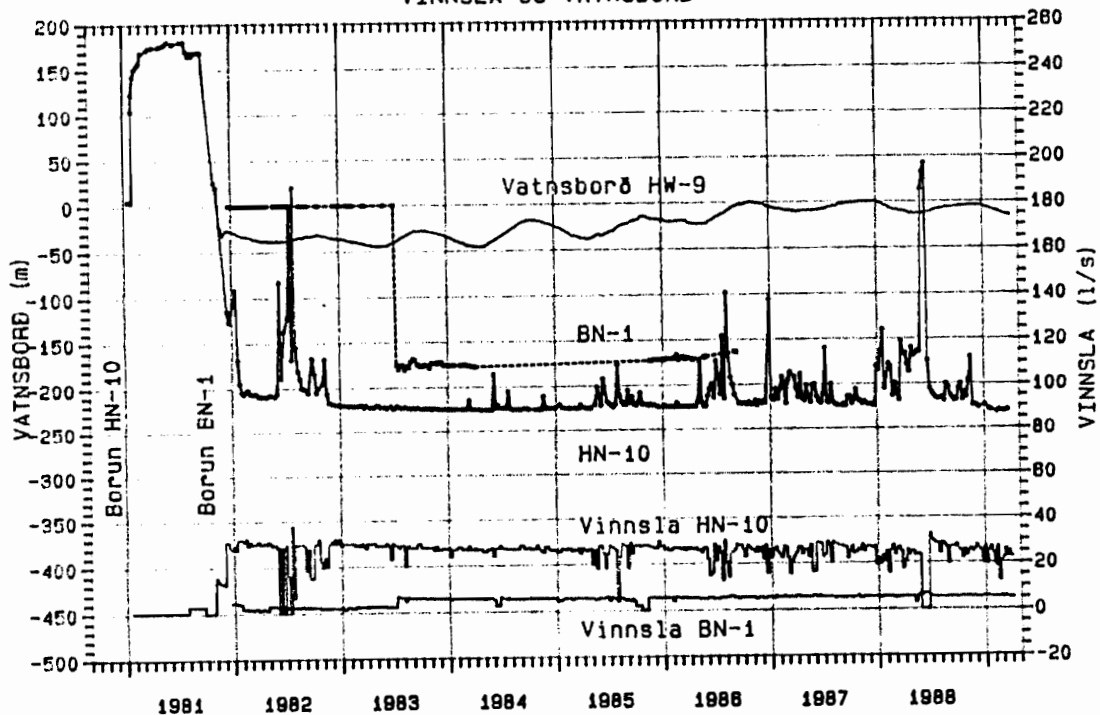
G



JHD-BM-8000 pTh  
89.04.0160 T

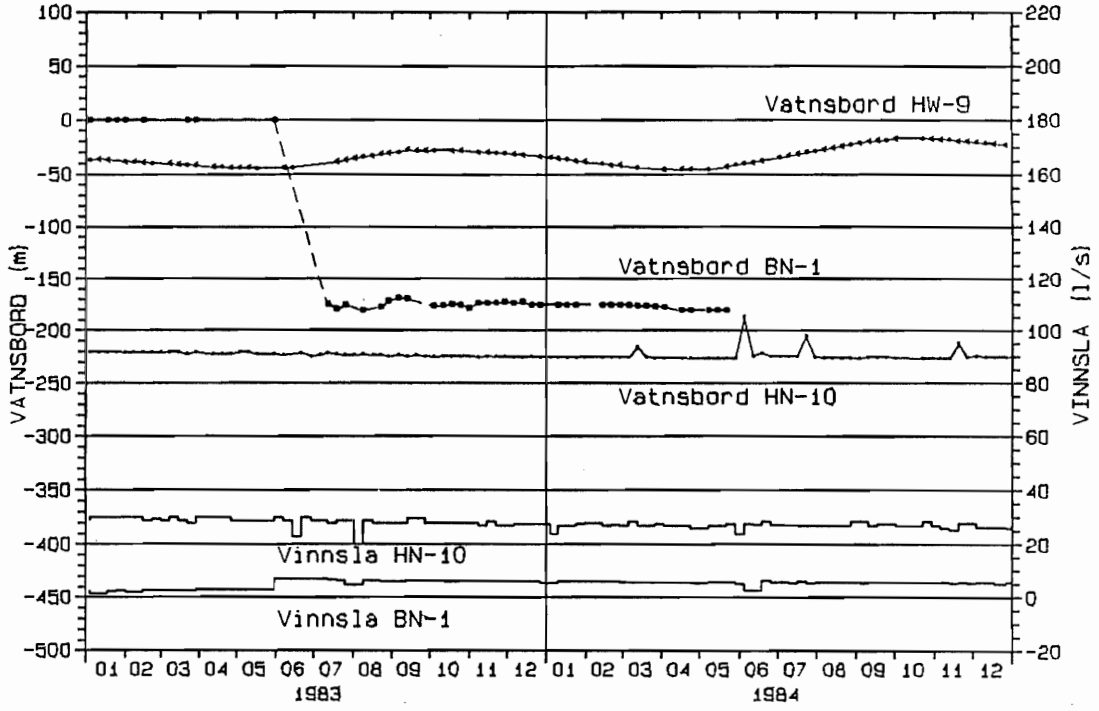
### HOLUR HN-10, BN-1 OG HW-9 VINNSLA OG VATNSBORD

H



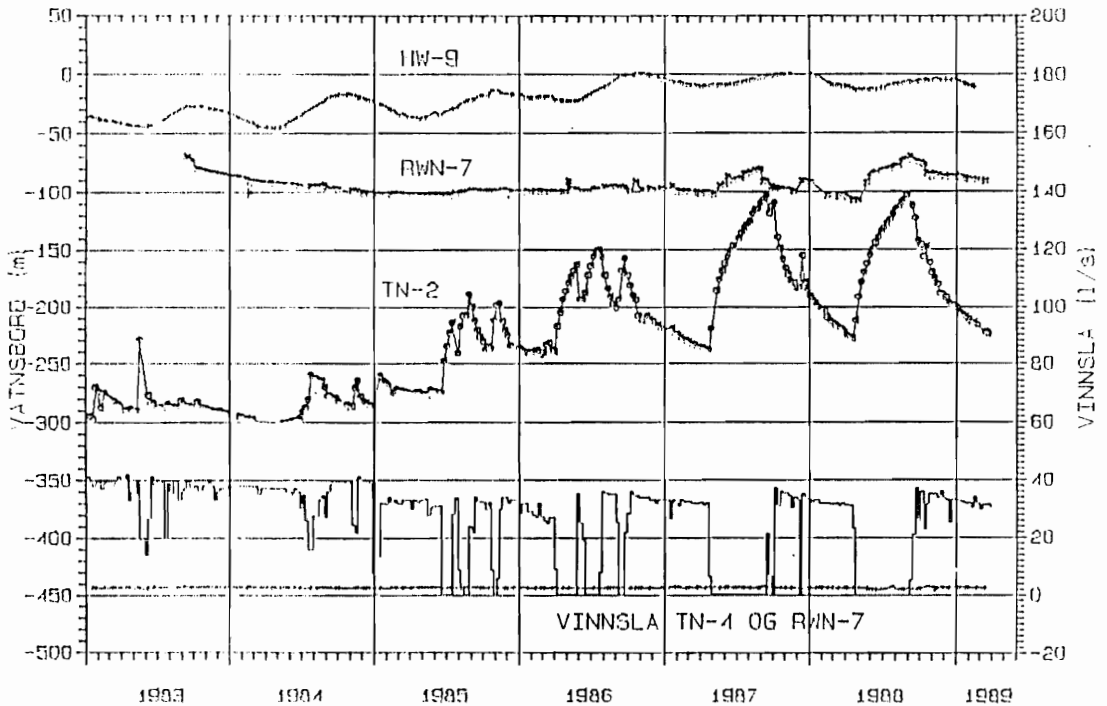
JHD-BM-6000 Th  
89.04.0158. T

HOLUR HN-10, BN-1 OG HW-9  
VINNSLA OG VATNSBORD



JHD-BM-6000 Th  
89.04.161 T

HOLUR TN-1, TN2 OG RWN-7  
VINNSLA OG VATNSBORD



### **VIÐAUKI III**

**Mæligögn og túlkun einstakra mæliána**

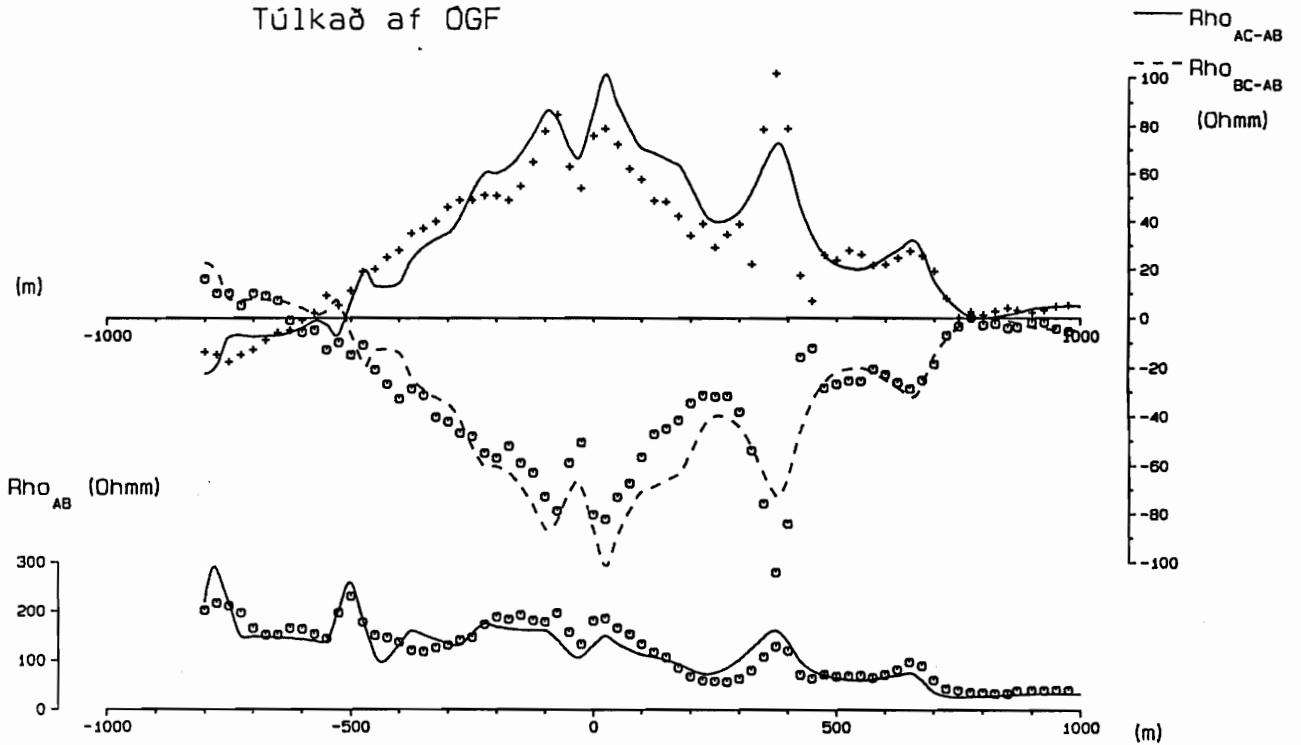
**í viðnámssniðsmælingum**

JHD-JED-6510 GPH  
89.05.0180 T

BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI. LÍNA 1  
SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2 = 500m, MN/2 = 25m  
Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan.

(A . . . MN . . . B)

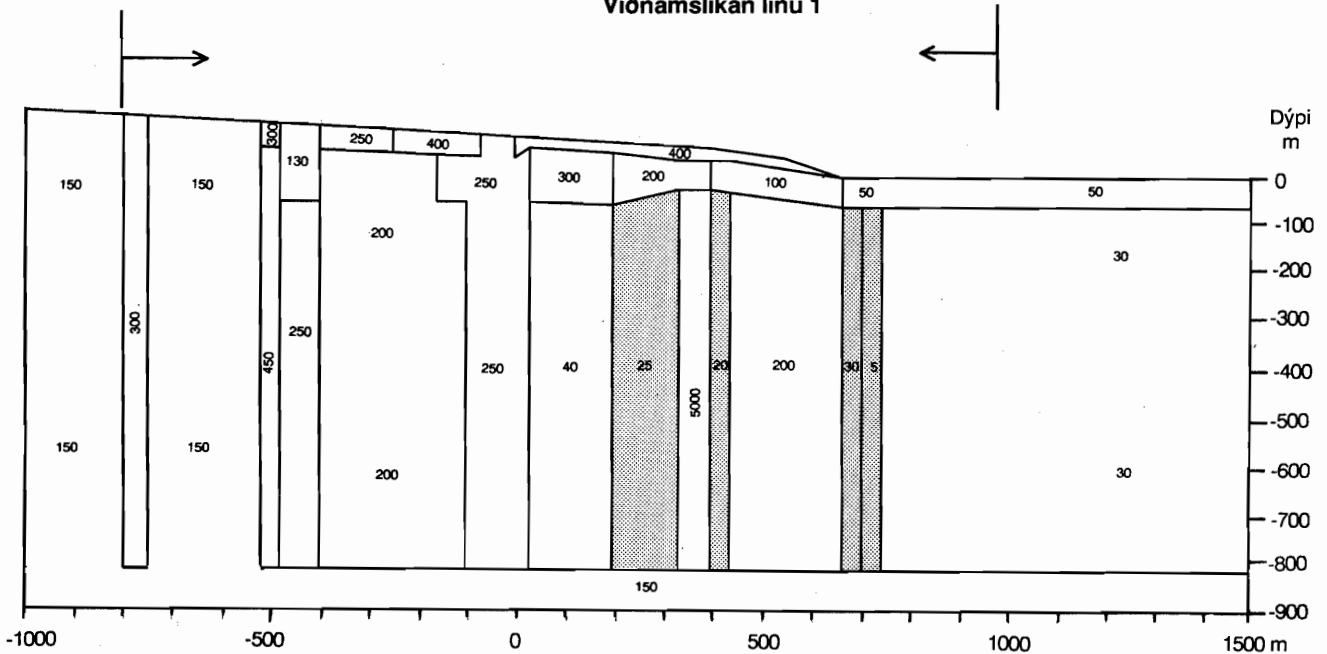
Túlkað af ÖGF



JHD-JED-6510 GPH  
89.05.0191 T

### Botn í Hrafnagilshreppi

#### Viðnámslíkan línu 1



JHD-JEÐ-6510 GPH  
89.05.0181 T

BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI. LÍNA 2

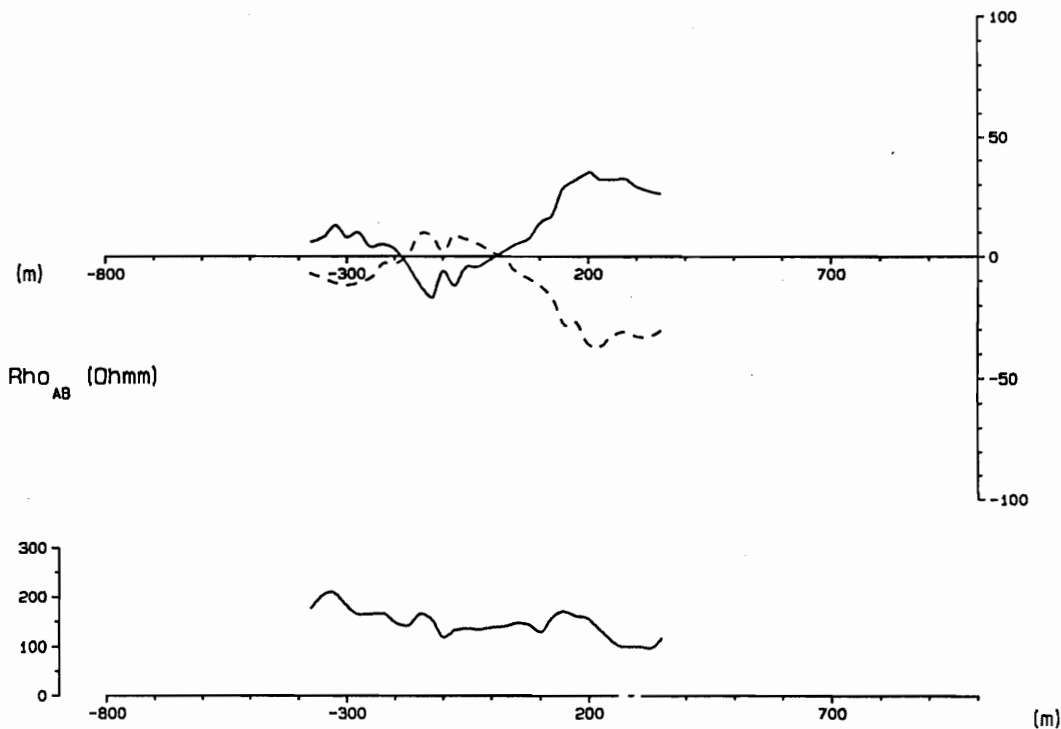
SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2 = 500m, MN/2 = 25m

Mæligögn

(A . . . MN . . . B)

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
- - - Rho<sub>BC-AB</sub>

(Ohmm)



JHD-JEÐ-6510 GPH  
89.05.0182 T

BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI, LÍNA 3

SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2 = 300m, MN/2 = 25m

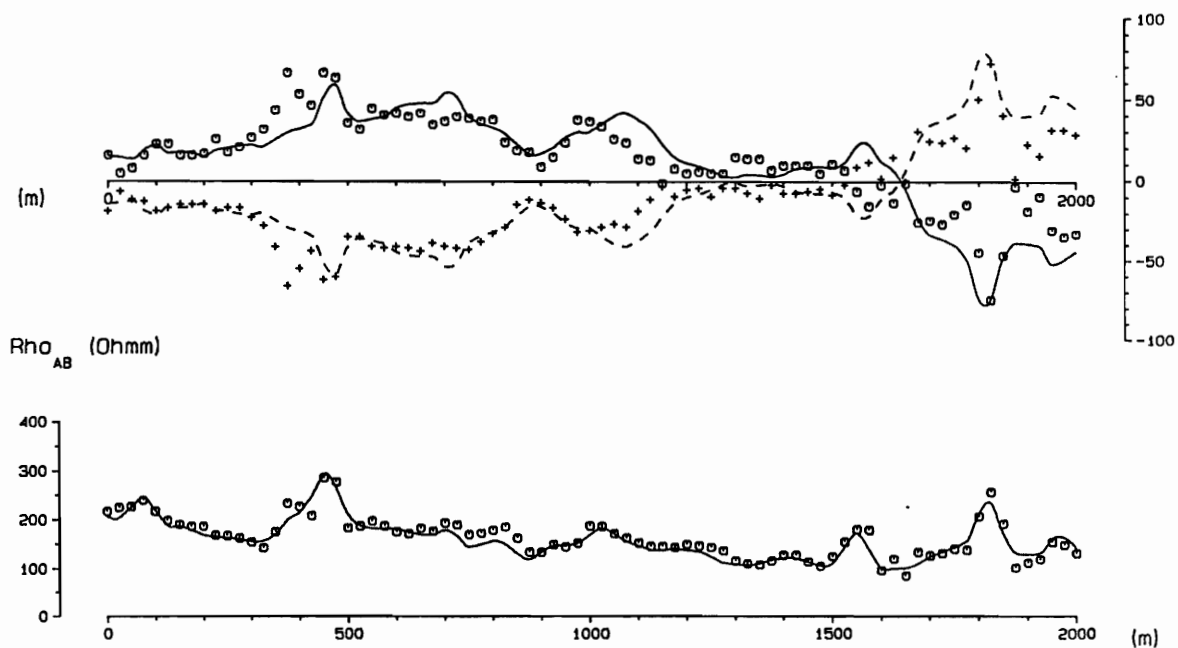
Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan

(A...MN...B)

Túlknað af GPH

— Rho<sub>AC-AB</sub>  
- - - Rho<sub>BC-AB</sub>

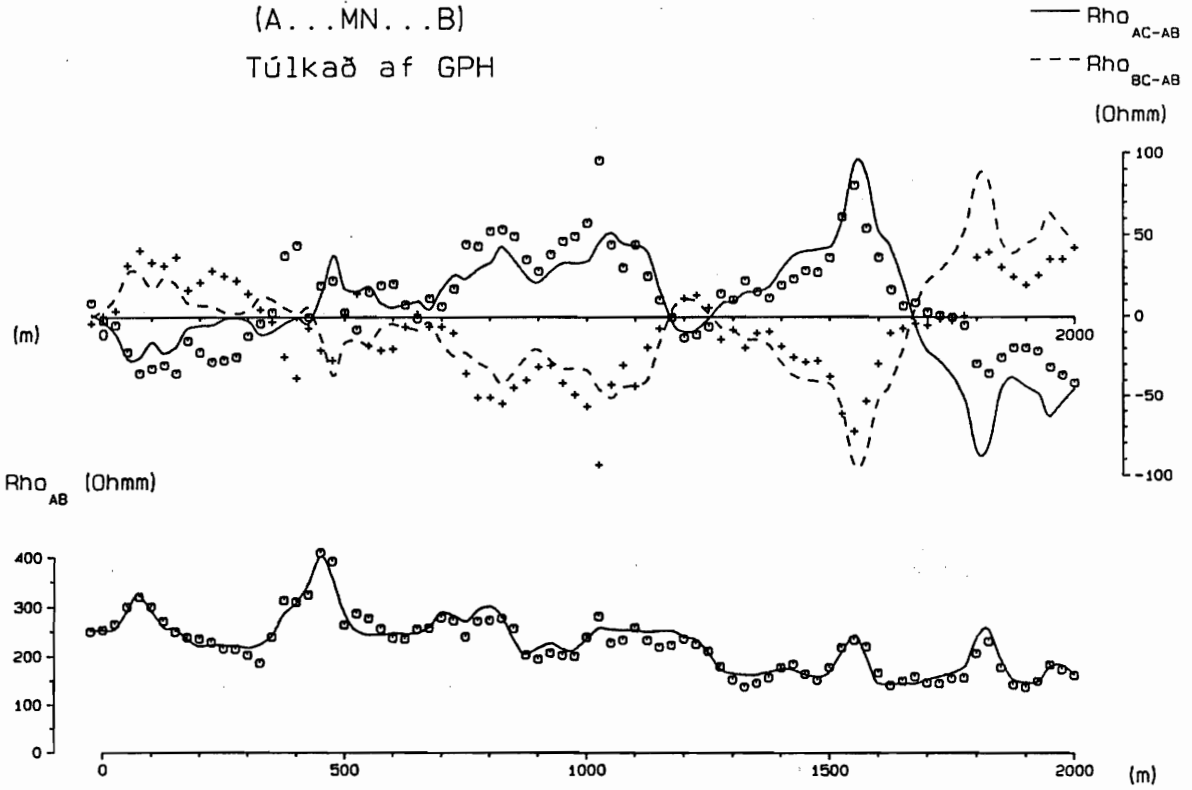
(Ohmm)





JHD-JED-6510 GPH  
89.05.0183 T

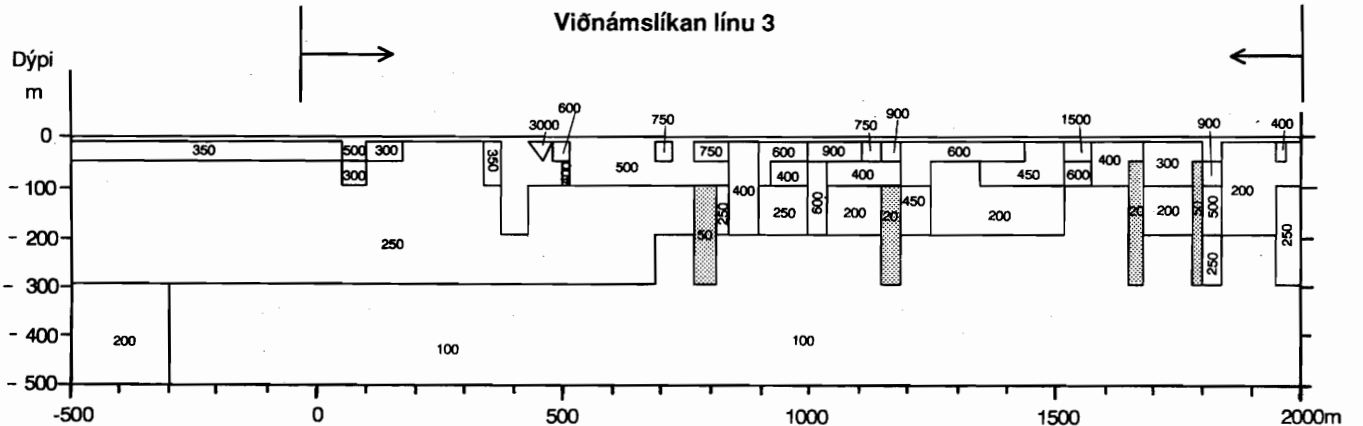
BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI, LÍNA 3  
SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2= 500m, MN/2= 25m  
Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan  
(A...MN...B)  
TÚlkað af GPH



JHD-JED-6510 GPH  
89.05.0192 T

### Botn í Hrafnagilshreppi

#### Viðnámslíkan línu 3



JHD-JEÐ-6510 GPH  
89.05.0184 T

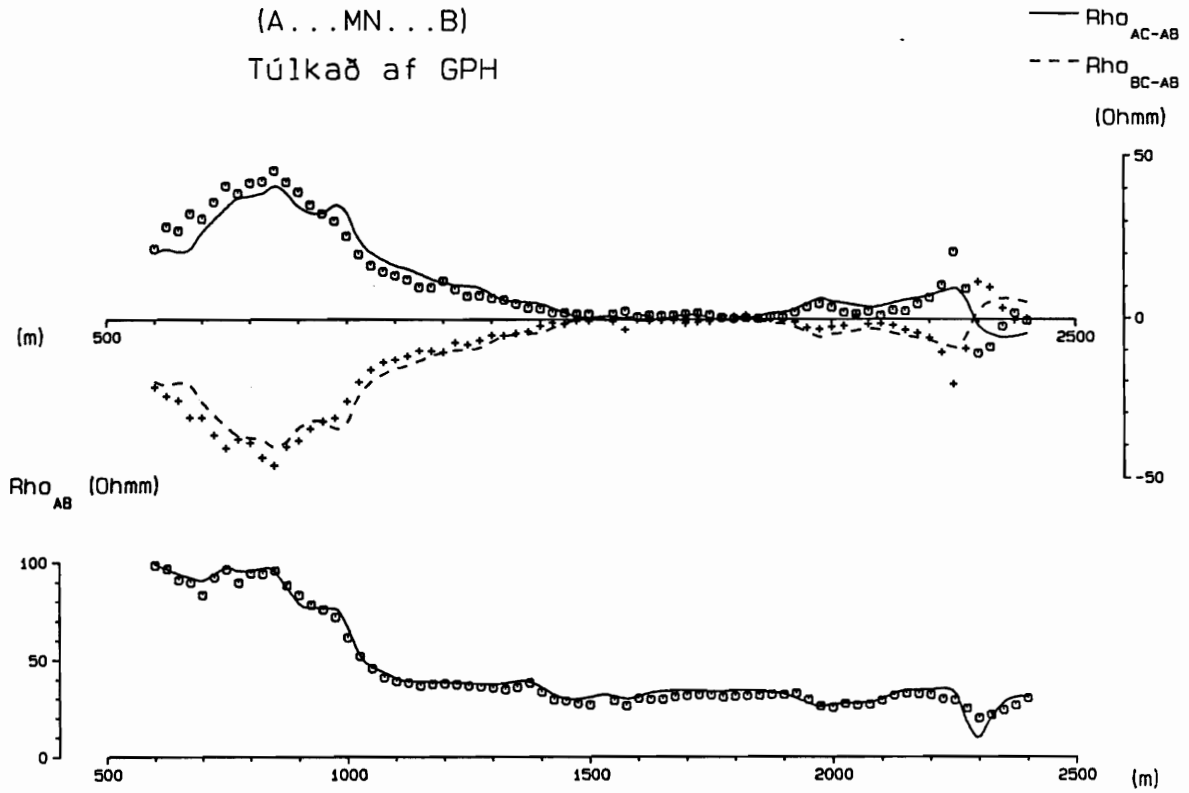
BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI, LÍNA 4

SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2= 300m, MN/2= 25m

Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan

(A...MN...B)

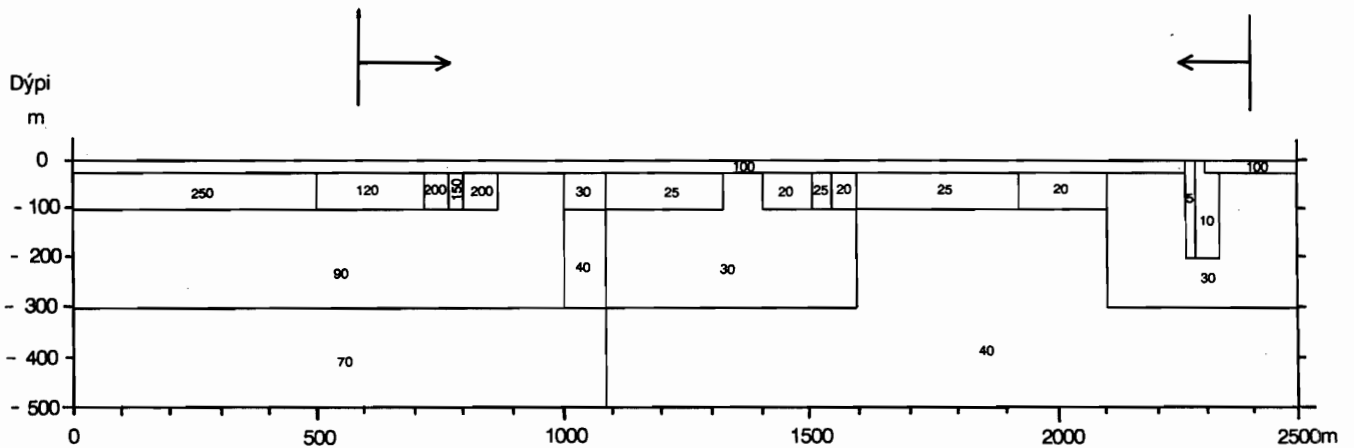
Túlkað af GPH



JHD-JEÐ-6510 GPH  
89.05.0193 T

**Botn í Hrafnagilshreppi**

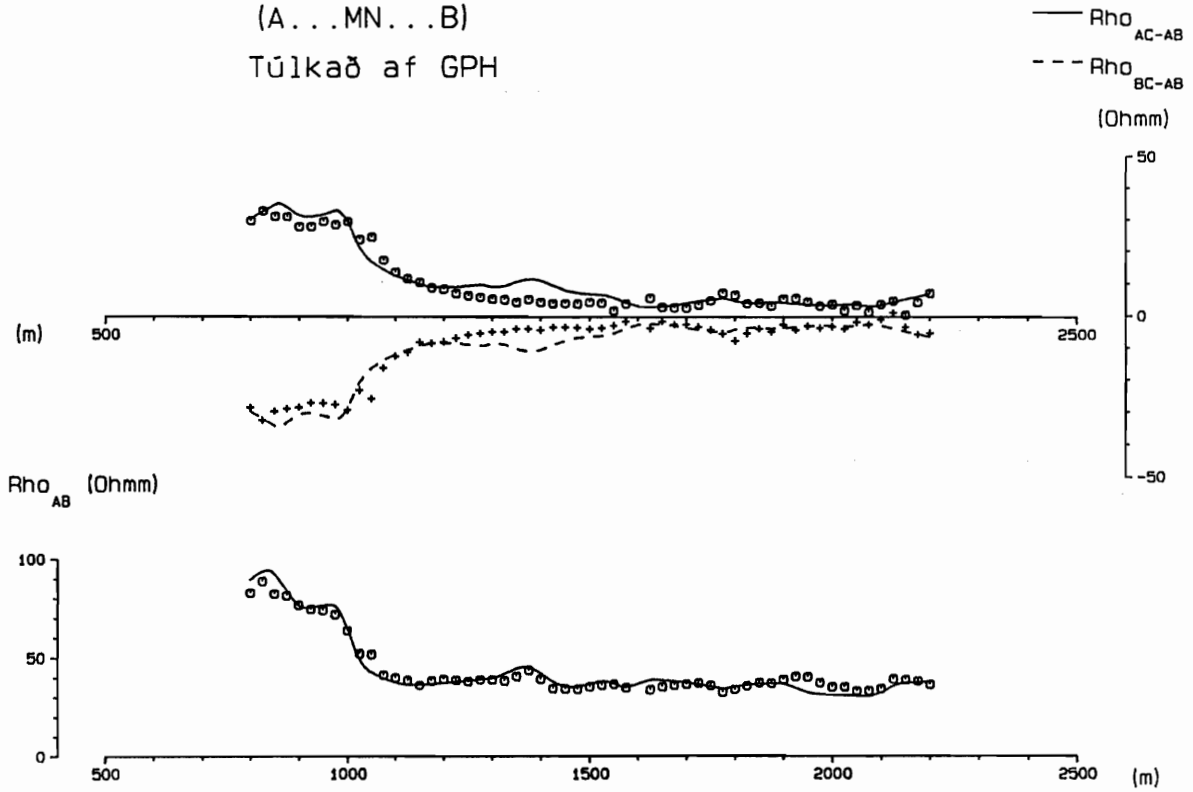
Viðnámslíkan línu 4



JHD-JEÐ-6510 GPH  
89.05.0185 T

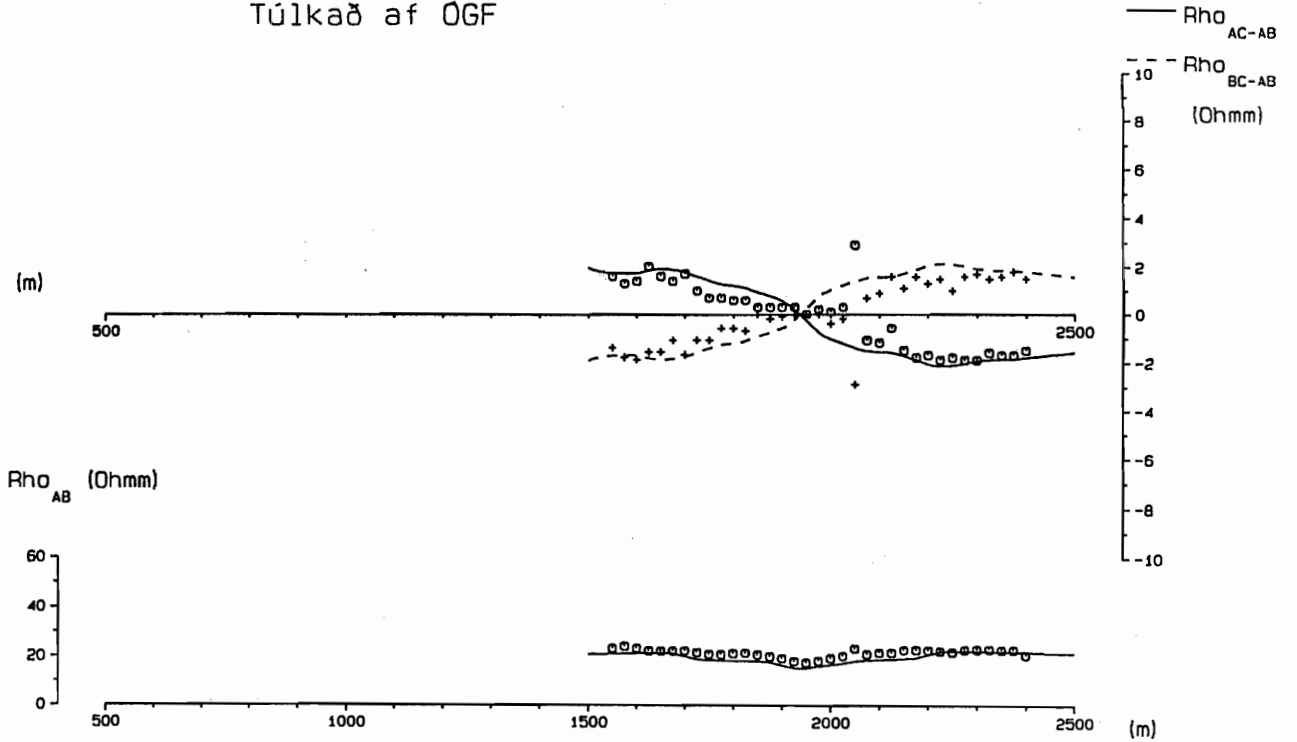
BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI, LÍNA 4  
SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2= 500m, MN/2= 25m  
Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan  
(A...MN...B)

Túlkað af GPH



JHD-JED-6510 GPH  
89.05.0186 T

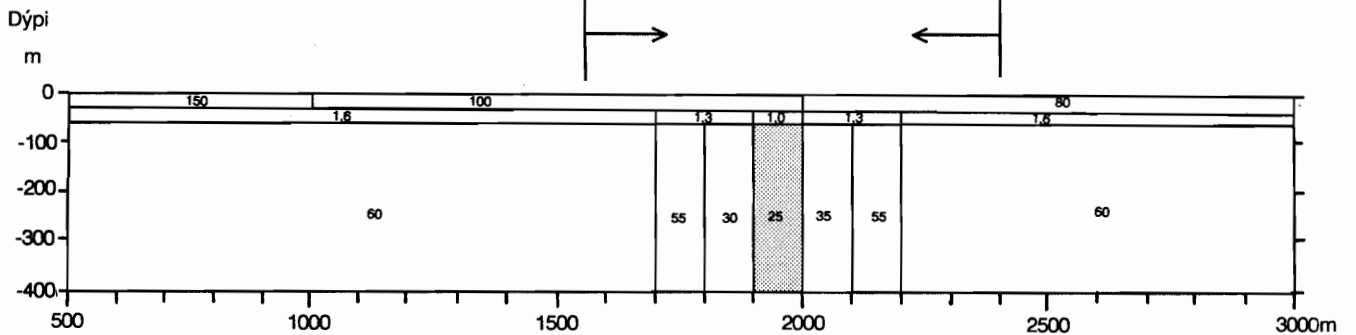
BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI. LÍNA 5  
SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR,  $AB/2 = 500m$ ,  $MN/2 = 25m$   
Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan.  
(A . . . MN . . . B)  
Túlkað af ÖGF



JHD-JED-6510 GPH  
89.05.0194 T

### Botn í Hrafnagilshreppi

Viðnámslíkan línu 5



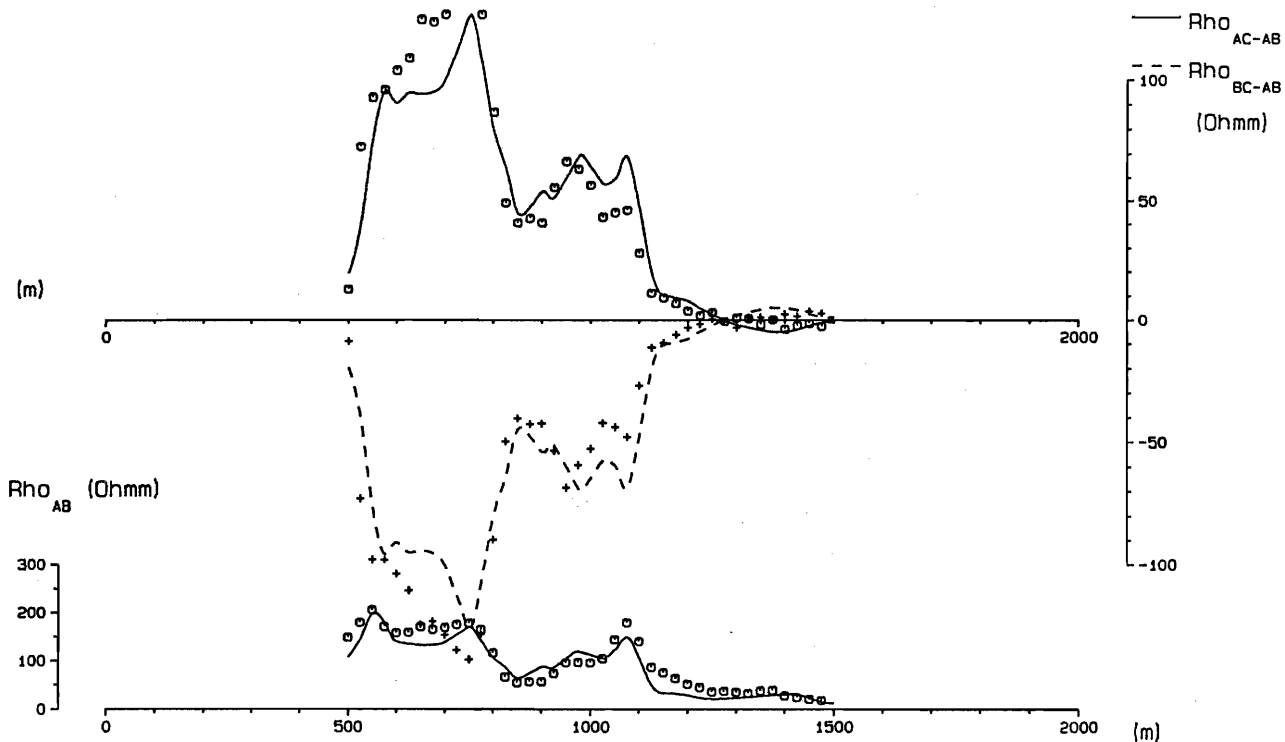
JHD-JED-6510 GPH  
89.05.0188 T

BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI, LÍNA 6.

SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2 = 500m, MN/2 = 25m

Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan.

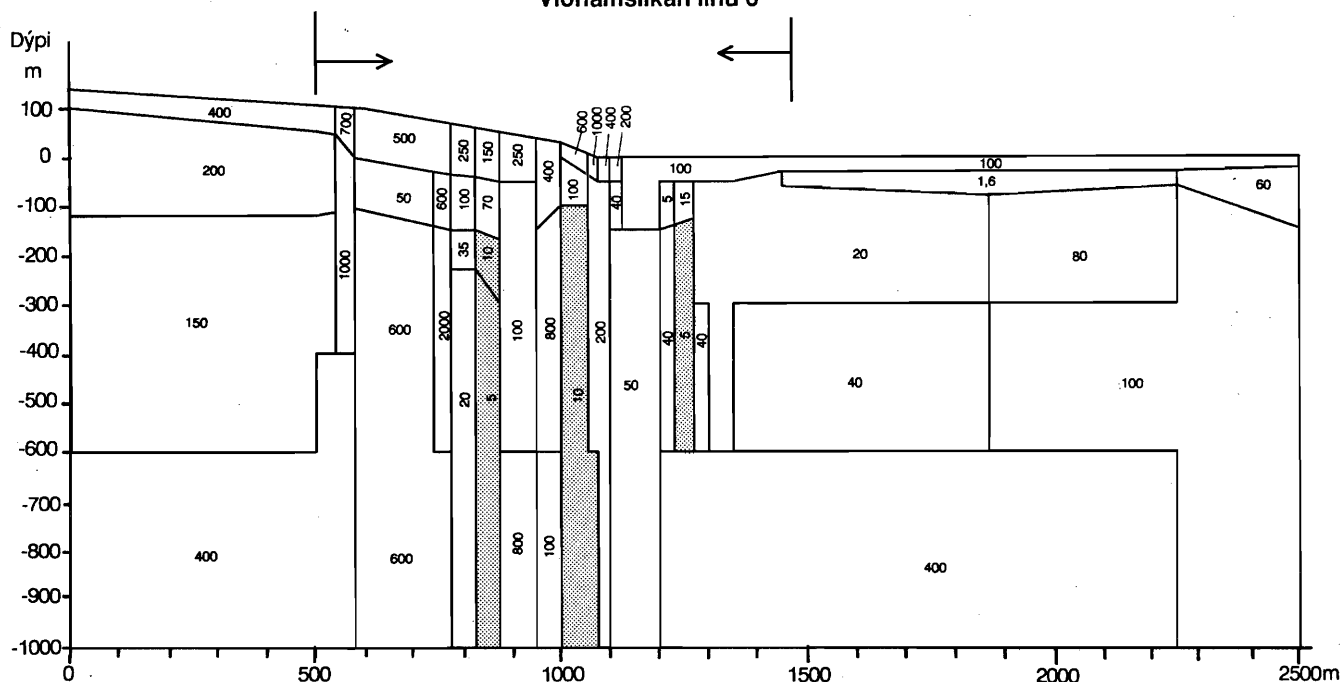
(A . . MN. . B). Túlkað af ÖGF.



JHD-JED-6510 GPH  
89.05.0195 T

### Botn í Hrafnagilshreppi

Viðnámslíkan línu 6



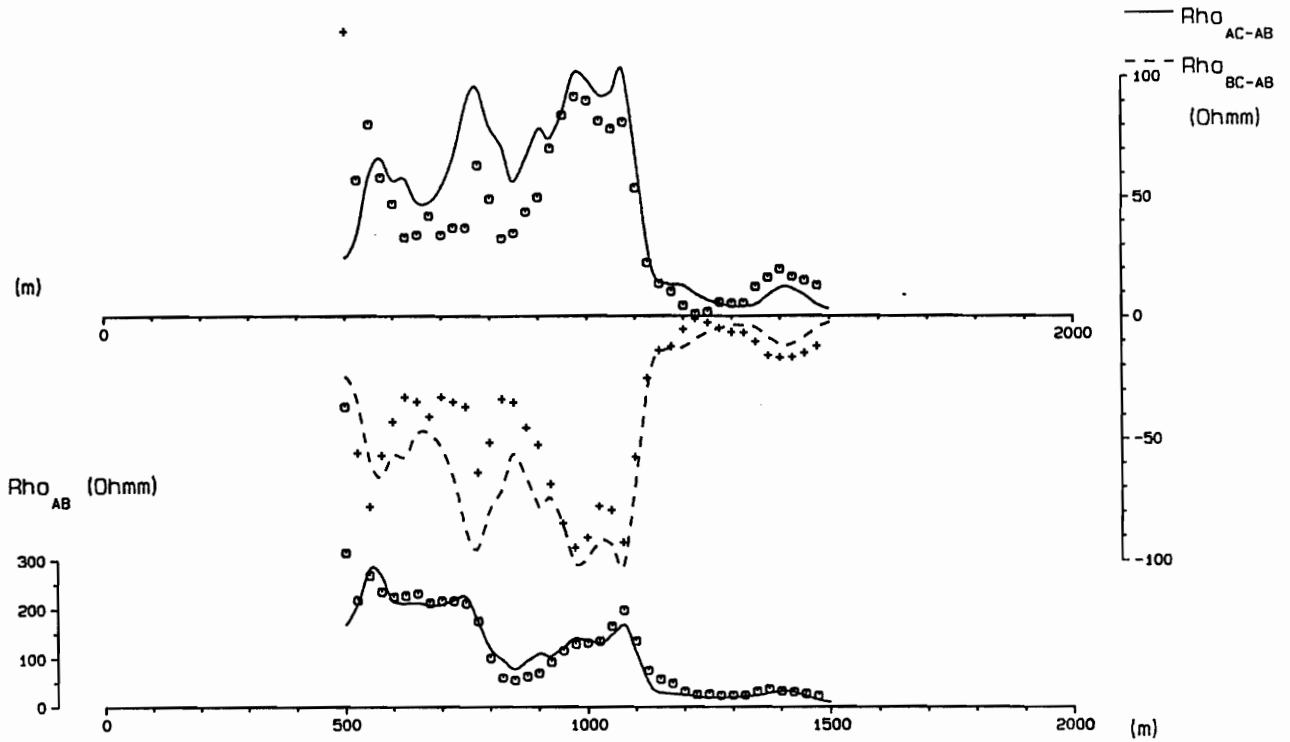
JHD-JEØ-6510 GPH  
89.05.0187 T

BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI, LÍNA 6.

SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR,  $AB/2 = 300m$ ,  $MN/2 = 25m$

Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan.

(A . . MN. . B). Túlkað af ÓGF.



JHD-JED-6510 GPH  
89.05.0189 T

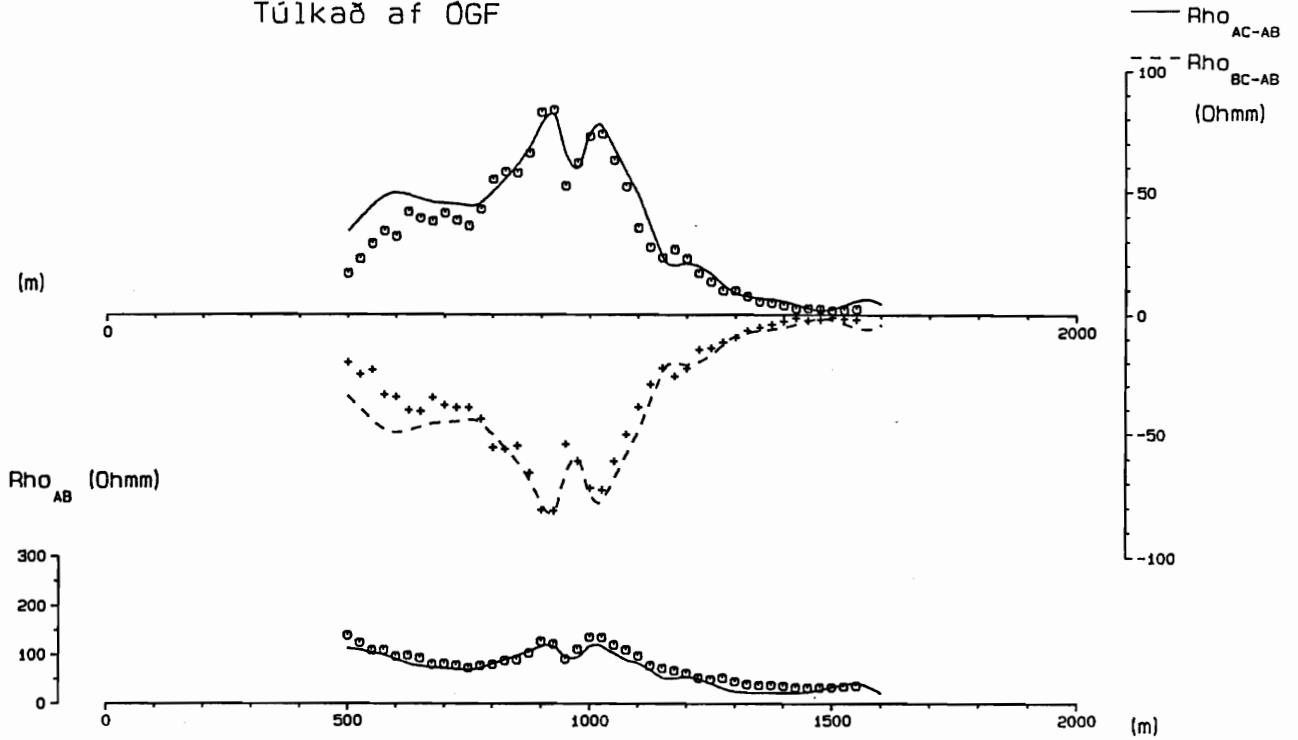
BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI, LÍNA 7

SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2= 500m, MN/2= 25m

Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan

(A...MN...B)

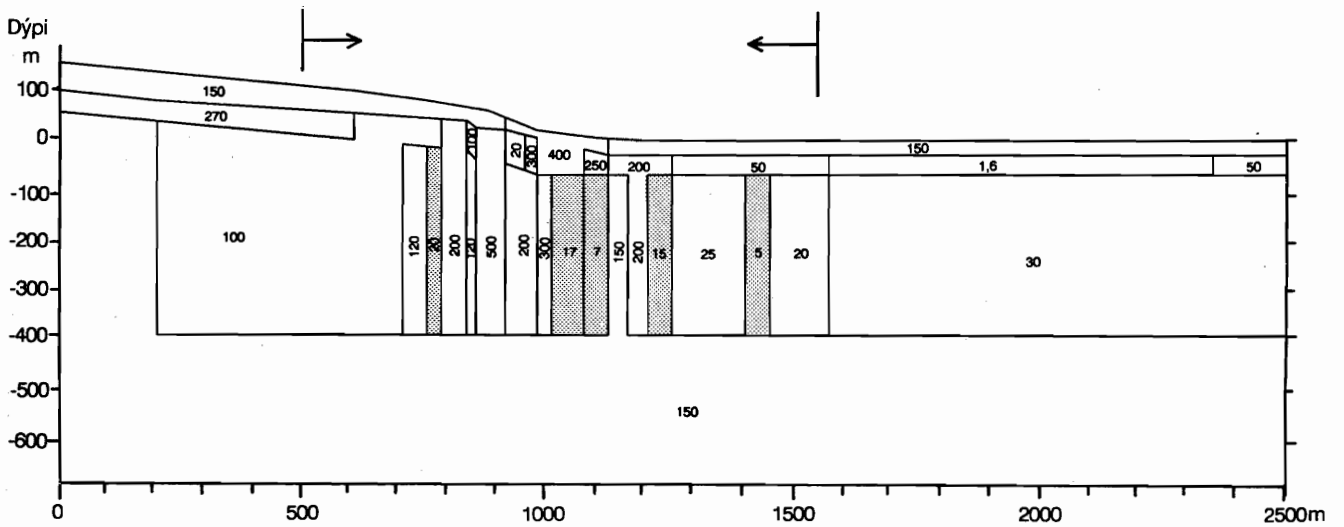
Túlkað af ÖGF



JHD-JED-6510 GPH  
89.05.0196 T

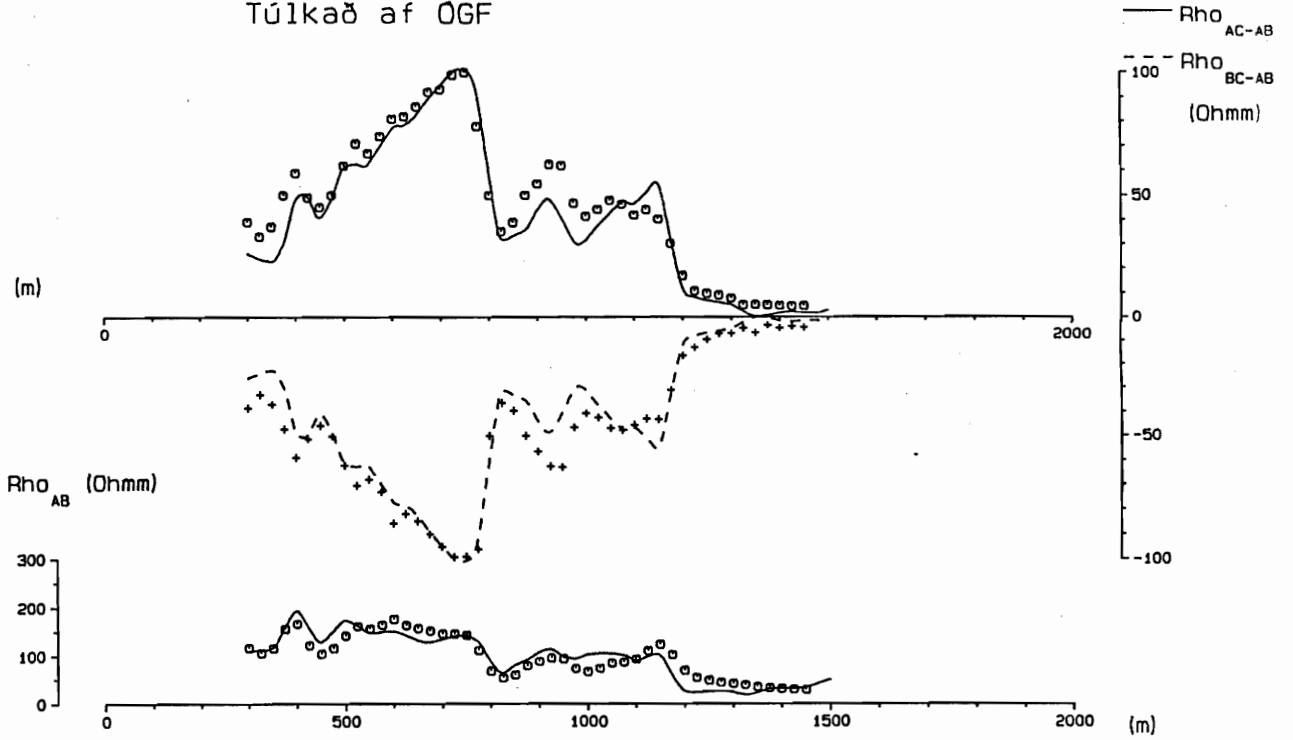
Botn í Hrafnagilshreppi

Viðnámslíkan línu 7



JHD-JEÐ-6510 GPH  
89.05.0190 T

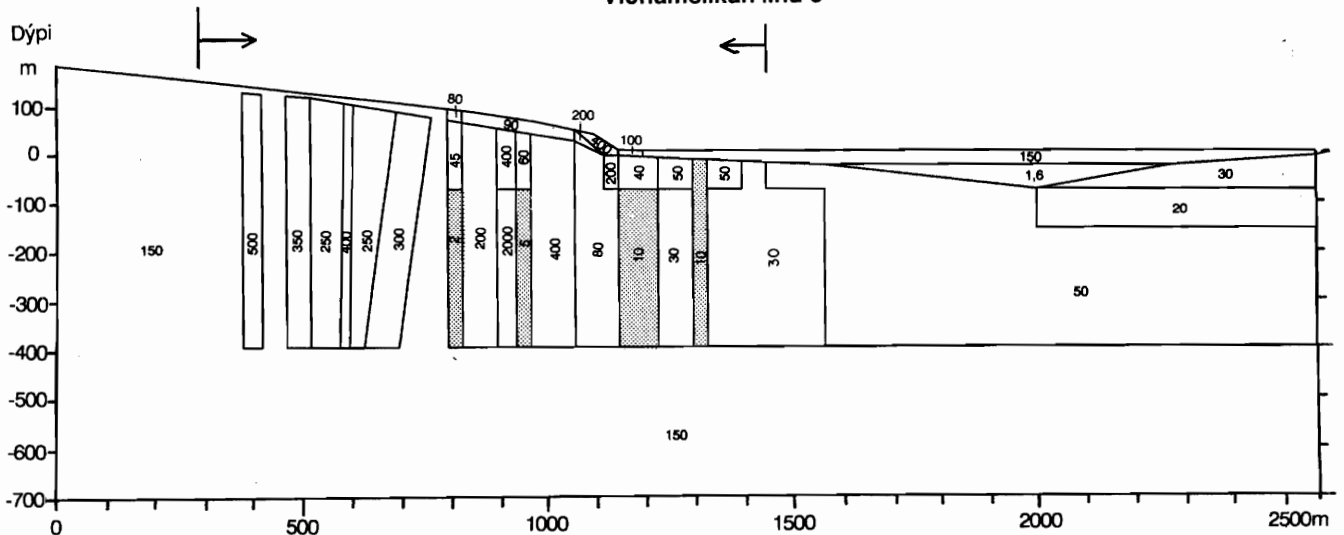
BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI, LÍNA 8  
SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2= 500m, MN/2= 25m  
Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan  
(A...MN...B)  
Túlkað af OGF



JHD-JEÐ-6510 GPH  
89.05.0197 T

### Botn í Hrafnagilshreppi

Viðnámslíkan línu 8





JHD-JED-6510-ÓGF  
89.10.0500-T

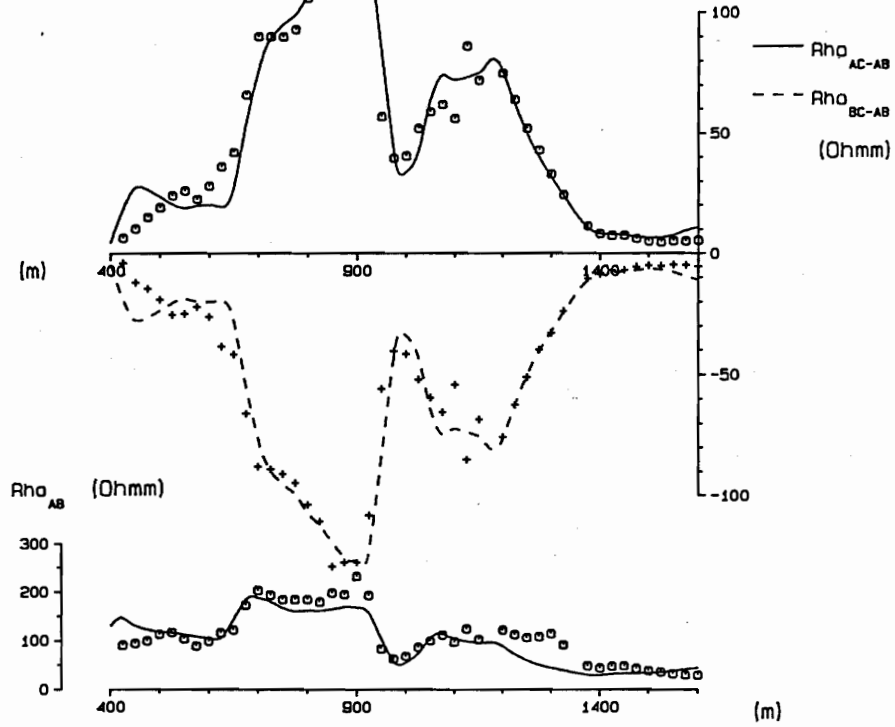
BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI, SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, LÍNA 9.

AB/2 = 500m, MN/2 = 25m

Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan.

(A . . MN . . B)

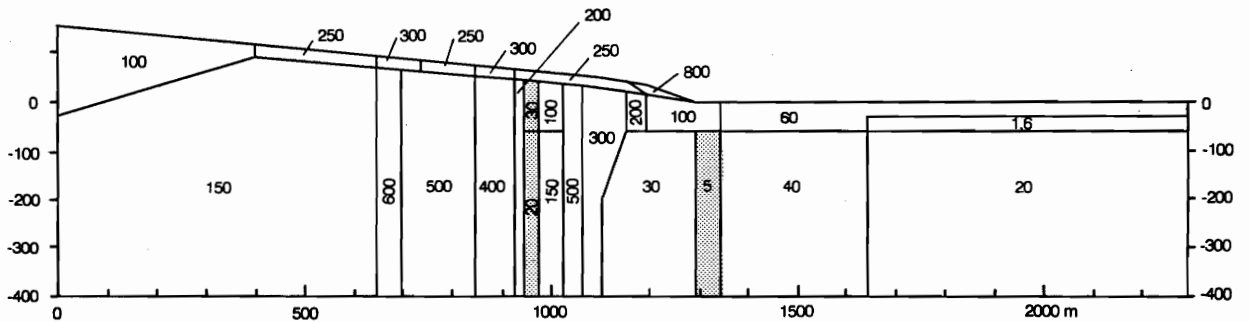
Túlkað af ÓGF.



JHD-JED-6510-ÓGF  
89.10.0495-T

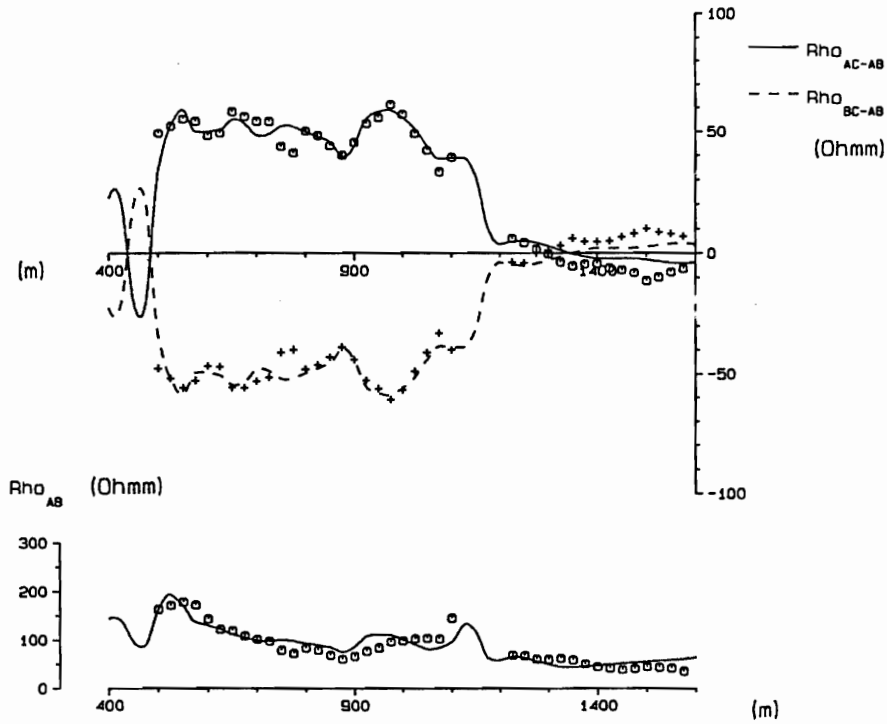
Botn í Hrafnagilshreppi

Viðnámslíkan af línu 9



JHD-JED-6510-ÓGF  
89.10.0499-T

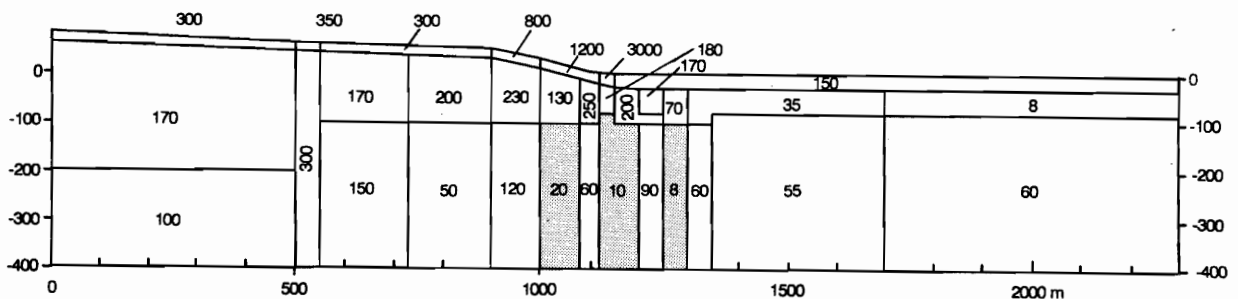
BOTN Í HRAFNAGILSHREPPI, LÍNA 10  
SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2 = 500m, MN/2 = 25m  
Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan.  
(A . . . MN . . . B)  
Túlkað af ÓGF.



JHD-JED-6510-ÓGF  
89.10.0494-T

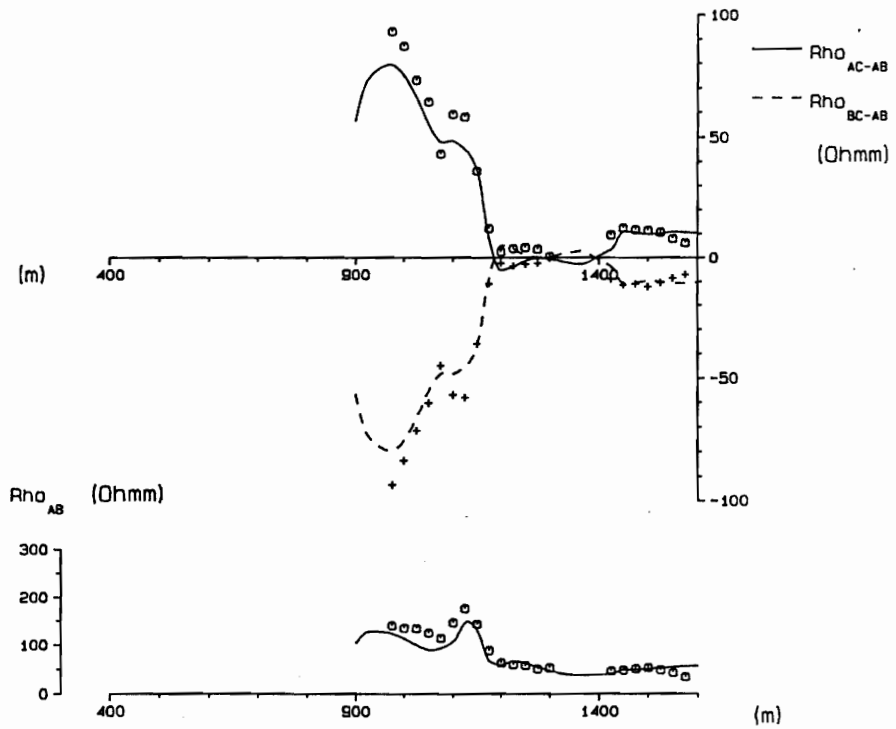
### Botn í Hrafnagilshreppi

Viðnámslíkan af línu 10



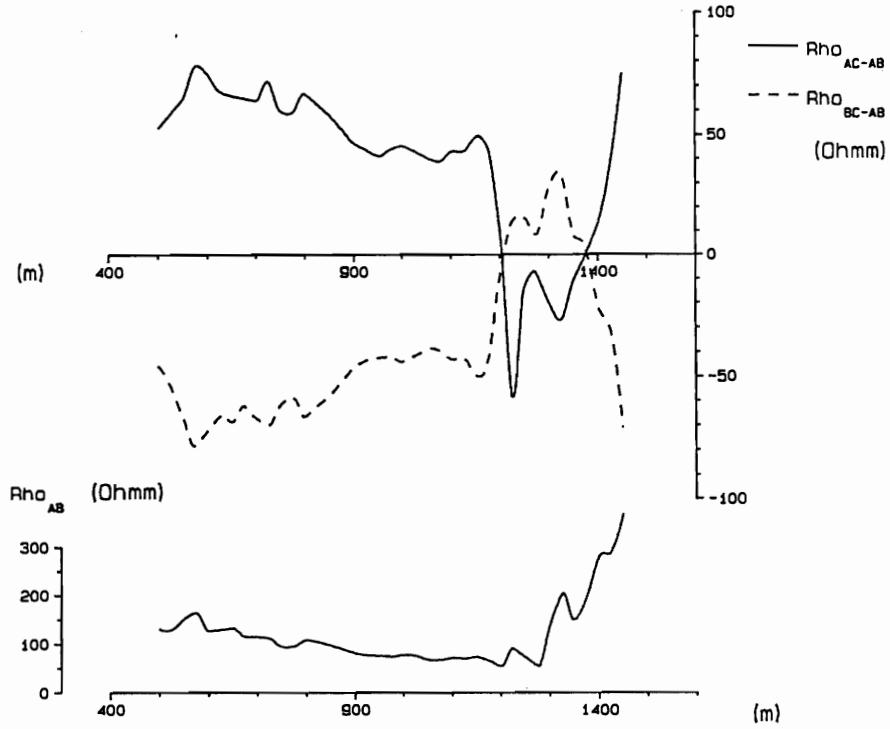
JHD-JED-6510-ÓGF  
89.10.0498-T

BOTN I HRAFNAGILSHREPPI, LINA 10  
SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR,  $AB/2 = 300\text{m}$ ,  $MN/2 = 25\text{m}$   
Punktur tákna mældan feril og línur reiknaðan.  
(A . . MN. . B)  
Túlkað af ÓGF.



JHD-JED-6510-ÓGF  
89.10.0496-T

BOTN I HRAFNAGILSHREPPI, LÍNA 11  
SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2 = 500m, MN/2 = 25m  
(A . . . MN . . . B)



JHD-JED-6510-ÓGF  
89.10.0497-T

BOTN I HRAFNAGILSHREPPI, LÍNA 12  
SÝNDARVIÐNÁMSFERLAR, AB/2 = 500m, MN/2 = 25m  
Mæligögn  
(A . . . MN . . . B)

