

Hola NJ-23 á Nesjavöllum. Forsendur fyrir
staðsetningu og hönnun holunnar

**Benedikt Steingrímsson,
Hjalti Franzson,
Grímur Björnsson,
Sverrir Þórhallsson**

Greinargerð BS- HF-GrB-Sp-2003-03

HOLA NJ-23 Á NESJAVÖLLUM

Forsendur fyrir staðsetningu og hönnun holunnar.

Inngangur

Orkuveita Reykjavíkur undirbýr nú stækkun Nesjavallavirkjunar og verður raforkuframleiðslan í virkjuninni aukin úr 90 í 120 MW, og jafnframt verður varmaorkuverið stækkað úr 200 í 300 MW. Núverandi vinnsluholur eru ekki fullnýttar og fara þær langt með að standa undir stækkuninni. Þó er nauðsynlegt að bora 1-2 holur til að tryggja virkjuninni nægt afl og varaafli eftir stækkunina og hefur OR því ákveðið að bora eina vinnsluholu á árinu 2003. Holan mun bera númerið NJ-23 og staðarnúmerið 95023 í gagnagrunni Orkustofnunar.

Jarðhiti og vinnsluholur á Nesjavöllum

Jarðhitakerfið á Nesjavöllum nærast á uppstreymi undir Henglinum og streymir vatn og gufa undan fjallinu til norðurs út í sprungustykki Hengilsins. Mestur virðist straumurinn vera austan í gossprungunum í Kýrdalsbrúnum, en einnig leitar einhver taumur fram gossprungu sem fylgir Nesjalausgagili og sprungu í Köldulaugargili. Síðastnefndu taumarnir daga uppi á móts við brúnina ofan Hraunprýði, en Kýrdalssprungurnar leiða jarðhitavökva norður með Nesjavalladalnum a.m.k. norður að holu NJ-18, sem er nyrsta djúpa borholan á svæðinu.

Yfirborðsjarðhiti á Nesjavöllum er sýndur á mynd 1. Þar eru ummynduðu svæðin sýnd með gulum lit og samfelld hvera- og gufusvæði sem rauðar skellur. Einstaka hverir og gufuaugu eru merktir sem rauðir þríhyrningar, og vísar oddurinn upp, ef brennisteinsútfellingar sjást. Á myndinni kemur fram að jarðhitavirkni er einkum í Köldulauga- og Nesjalausgagiljum en óveruleg í nágrenni Kýrdalssprungnanna. Helst má þar nefna heitar skellur og gufur undir Fálkaklettum og á svæðinu norður af holu NG-8.

Vinnsluholur á Nesjavöllum skiptast í tvo hópa. Annars vegar eru hávermiholur, sem blása mjög gufurikum vökva og er vermi hans um eða yfir 2000 kJ/kg og hins vegar eru lágvermiholur sem skila vatni og gufu í nokkurn veginn jöfnum hlutföllum. Vermi þeirra þeirrar síðarnefndu er 1300-1400 kJ/kg. Allar hávermiholurnar eru skammt austan við gossprungurnar í Kýrdalsbrúnum. (sjá mynd 1). Syðstar eru holur NJ-21 og NJ-22, en nyrstar eru holur NJ-11 og NJ-16. Aðrar hávermiholur eru NG-6 og 9 og NJ-13 og 19. Lengra í austri á borsvæðinu þegar fjarlægist uppstreymi jarðhitakerfisins koma lágvermiholurnar NJ-14 og 20 uppi á stallinum sunnan Nesjavalladals og holur NG-7, NG-10 og NJ-15 niðri í Nesjavalladal. Í Kýrdal vestan gossprungnanna er vermi einnig tiltölulega lágt (NJ-12, 17 og 18).

Borstaður NJ-23

Markmiðið með borun holu NJ-23 er að afla viðbótarorku til að standa undir stækkun Nesjavallavirkjunar og er stefnt að því fá hávermiholu. Þar með fækkar möguleikum á staðsetningu holunnar. Þegar litið er á kortið á mynd 1 sést að nokkurt bil er milli hávermiholnanna uppi á stallinum og þeirra niðri í dal. Því var ákveðið að bora holu NJ-23 undir brekkurótunum suðvestast í Nesjavalladal. Þarna, undir Fálkaklettum, boraði Hitaveita Reykjavíkur fyrstu grunnu rannsóknarholurnar á árunum 1965-70, holur NV-1, 2 og 4. Holurnar voru nokkur hundruð metrar djúpar, en náðu þó niður í vinnsluhæfar æðar. Allar grunnu rannsóknarholurnar hafa verið fylltar upp með steypu. Staðsetning holu NJ-23 er 35 metrum norðan við holu NV-4, nánast í gamla borplaninu, eins og fram kemur á mynd 1. Hóla NJ-23 er á hrauni sem rann fyrir um 2000 árum, þegar yngsta gossprungan í Kýrdalsbrúnum gaus frá Hengil út í Þingvallavatn. Yfirborðsjarðhiti í næsta nágrenni við holustaðsetninguna er sýndur á kortinu á mynd 1.

Hóla NJ-23 verður forboruð með jarðbornum Sögu, en Jötunn mun síðan bora holuna. Forborun hefst á útmánuðum ársins 2003, en Jötunn kemur á svæðið síðar á árinu. Hnit holunnar eru $X = 659256.01$ og $Y = 404158.36$. Ekki fæst endanleg mæling á hæðarkvóta holunnar fyrr en plan og kjallari eru frágengin. Hæðin verður hins vegar nærri því að vera 190 m y. s. Holan mun fá staðarnúmerið 95023 í gagnagrunni Orkustofnunar.

Orkuveita Reykjavíkur boraði á árunum 1965-2000 tuttugu og tvær borholur á Nesjavöllum. Gögn frá Nesjavallaholum eru aðgengileg í áfanga- og lokaskýrslum. Þá hafa einnig verið gerðar fjölmargar samantektarskýrslur um svæðið. Má þar nefna skýrslur um rannsóknir á borsvarfi úr öllum borholunum, þar sem dregin eru upp jarðlaga- og ummyndunarsnið um svæðið og sett fram jarðfræðilíkan (Hjalti Franzson, 1988 og 1993). Yfirlit um þær skýrslur sem einkum nýtast við undirbúning borunar NJ-23 eru í skýrsluskrá aftan við þessa greinargerð. Jarðhitaupplýsingar frá þessum holum eru lagðar til grundvallar við undirbúning borunar NJ-23, einkum er þó litið til næstu nágranna og þó sérstaklega til holu NV-4. Um borun þeirrar holu er fjallað í skýrslu frá Orkustofnun frá júní 1971 (Jens Tómasson, Guðmundur Guðmundsson og Stefán Arnórsson, 1971). Í næsta kafla er samantekt úr þeirri skýrslu ásamt athugasemdum úr borskýrslum Jarðborana um borverk við holu NV-4.

Hóla NV-4. Borun, jarðlög og vatnsæðar.

Höggbor III forboraði holu NV-4 í 23 m dýpi á tímabilinu 6.-22. júlí 1970. Gufuborinn var síðan fluttur á holuna og hófst borun 17. september 1970. Öryggisfóðring (13 3/8") var steipt í 88 m dýpi en fyrir vinnslufóðringu var borað í 327 m. Rétt eftir að fóðring holunnar hófst fór hún í stórgos. Tvö fóðurrör höfðu verið sett upp og köstuðust þau upp í mastur. Holan gaus með miklu grjótkasti, en þegar dró úr gosinu tókst að loka holunni. Bormastur Gufuborsins stórskemmdist við þetta og tafðist borverkið í 2 vikur meðan viðgerð fór fram. Þegar verkið hófst að nýju kom í ljós að holan hafði hrunið og fyllst upp í 289 m dýpi. Steipt var ofan á hrunið og holan hreinsuð í 315 m, en þar fyrir neðan var gróft hrun sem ekki náðist að hreinsa. Auk hrunsins þurftu bormenn að kljást við yfirþrýsta vatnsæð á 260 m dýpi. Þegar reynt var að hreinsa hrunið með leðju hitnaði leðjan og fór holan í gos. Eftir að holan var kæfð var ákveðið að fóðra hana og var vinnslufóðringin (9 5/8") steipt í 310 m. Borun hófst að nýju með því að steipt var í hrunið undir fóðringunni og síðan borað í

398 m. “Þá var borun stöðvuð því að frá 360 m dýpi voru komnar púlsandi vatnsæðar.” Ákveðið var að steypa í æðarnar og var tekið upp úr holunni og hitamælt. Þá var holan látin blása um 6”-blástursstút. Við það hrundi hún og náði hrundið upp í 219 m. Steypt var ofan á hrundið. “Eftir þessa steypingu reyndist holan hrein niður í 379 m, en þar varð fyrir hrun og var aftur steypt ofan á það.” Talið var að vatnsæð væri á 378 m. Eftir steypinguna var borað í 430 m dýpi. Á 420 m dýpi var komið í enn eina yfirþrýsta vatnsæð. Reynt var í tvígang að steypa í æðina, en án árangurs og fór holan enn einu sinni í gos. “Eftir þetta gos var ákveðið að hætta borun á holu 4 að sinni vegna skorts á nauðsynlegu efni til að bora áfram við þær aðstæður sem á Nesjavöllum eru.” Lauk borun 3. nóvember 1970 og hún ekki tekin upp aftur síðar. Haustið 1980 var bor fluttur á holuna, hún kæfð og fyllt með steypu.

Í skýrslu Jens og félaga er lýsing á jarðlögum við holu NV-4 og fylgir hér úrdráttur úr þeirri jarðlagalýsingu að miklu leyti orðrétt en stytt:

Dýpi 0-24 m. Byrjað að bora í hrauni, sem er um 12 m á þykkt, svo kemur nokkurra metra þykkt millilag og á 16-18 m er komið niður í annað hraunlag, sem nær niður á 24 m dýpi. (Þetta eru væntanlega hraun frá gossprungunum í Kýrdalsbrúnum. Það efra er um 2000 ára, en hið yngra 5000 ára gamalt. Gossprungurnar eru aðgreindar á mynd 1 og er sú austari sprungan sú yngri).

Dýpi 24-46 m. Plagioklasdílótt móbergstúff með nokkuð af fersku gleri. Bindiefni í túffinu er að nokkru leyti kalsít, en þó er mest af bindiefninu leir og myndbreytt gler.

Dýpi 46-58 m. Basaltrík móbergubreksía eða konglomerat. Það mun vera einhvers konar setlag á milli þessa lags og næsta lags fyrir ofan. Zeolítar: kabasít og thomsonít.

Dýpi 58-88 m. Oxuð og sprungin móbergubreksía eða set með plagióklaslista og rauðbrúnan eða svartan massa. Zeolítar: kabasít og thomsonít.

Dýpi 88-98 m. Fin kristallað basalt með plagióklaslistum.

Dýpi 98-118 m. Oxuð og sprungin móbergubreksía lík þeirri fyrir ofan basaltlagið.

Dýpi 118-146 m. Rautt set með miklu magni af plagióklasi. Set einkenni eru skýr og mikið magn af ávöllum dreifkornum. Setið virðist ættað úr móbergstúffinu fyrir neðan.

Dýpi 146-246 m. Plagioklasdílótt túff úr myndbreyttu gleri, blágrænu eða grænu að lit. Bindiefnið er yfirleitt úr sams konar leirminerölum og myndbreytta glerið, en nokkuð er einnig af kalsíti, zeolítum og opal sem bindiefni. Zeolítar eru mestmegnis mordenít.

Dýpi 246-300 m. Plagioklasdílótt móbergubreksía með talsverðu af basalti. Sömu plagióklaslistarnir eru í glerinu og í basaltinu. Þetta lag er sennilega myndað í sama gosi og túfflagið fyrir ofan.

Dýpi 300-348. Lagskipt, túffkennt set eða túff. Mest rauðbrúnt gler í fingerðasta hlutanum, en í grófari lögunum er nokkuð af basalti.

Dýpi 348-380 m. Set, konglómerat með mismiklu af basalti og gæti verið þunnt basaltlag í kringum 370 m dýpi. Dreifikornin eru úr fínkristölluðu basalt, oft ávölu og köntuðu myndbreyttu gleri.

Dýpi 380-418 m. Oxuð móbergsbreksía með brúnu og svörtu gleri og mismiklu magni af fínkristölluðu basalti; mest er af basalti í kringum 408 m.

Dýpi 418-422 m. Setlag, nokkur oxun og mikil myndbreyting.

Dýpi 422-431 m. Ekki er fjallað um jarðlögin á þessu dýpi í skýrslu Jens og félaga. Trúlega hefur ekki fengist svarf.

Um vatnsæðar í holu NV-4 er fjallað í skýrslu Jens og félaga. Þar kemur fram að efsta vatnsæðin sé í 250 m, samkvæmt hitamælingu og að 2-3 l/s skolvatnsaukning hafi verið við þá æð. Á 360-380 m voru æðar sem gáfu 10-20 l/s í skolaukningu. Steypt var í æðarnar. Síðasta æðin varð svo í setlaginu á 420 m. Þar varð skolaukning en ekki er nefnt hve mikil aukningin var.

Miðað við hve djúpt er á vatnsæðar í holu NV-4 mætti álykta sem svo að ekki sé nein hætta á yfirþrýstum æðum fyrr en komið er niður á um 250 m dýpi. Menn ættu þó af fara varlega í að treysta á það. Í holu NV-1 örskammt frá NV-4 er yfirþrýst æð á 120 m.

Jarðlög og vatnsæðar í holu NV-4 hafa verið tengd inn í jarðlagaskipan Nesjavalla svæðisins og einnig tengd við jarðlög holu NJ-19 eins og lýst er hér að neðan.

Jarðlög í djúpum borholum í nágrenni NJ-23.

Á mynd 2 er sýnd líkleg tenging helstu bergeininga í borholum í grennd við NJ-23 og í töflu 1 er ásýnd þeirra nánar lýst. Víst er að jarðlagaskipan ofan 430 m verður mjög svipuð þeirri sem fannst í holu NV-4. Til að glöggva sig á því hverju búast megi við þegar dýpra er komið er horft til holu NJ-19, sem sú af djúpu holunum sem eru einna næst holu NJ-23. Þó ber að hafa í huga að um 100 m munar í hæð holutoppa. Hóla NJ-23 er í um 195 m hæð yfir sjó en NJ-19 í 280 m.

Tafla 1 Gosbergsmýndanir sem holur NG-8 og NJ-19 skera og megineinkenni þeirra.

No.	Tegund	Dýptarbil (m)	Lýsing
1	Móberg	“68”-88	Stakdílótt bólstraberg
2	Móberg	88-122	Dílalaust túff, gjóskusets einkenni
3	Móberg	122-297	Plagióklasdílótt túff, gjóskusets einkenni
4	Móberg	297-406	Stakdílótt túff, gjóskusetseinkenni í efri hluta
5	Hraunlagasyrpa	406-494	Um 16 fínkorna þóleiðleg hraunlög
6	Móberg	494-744	Ólivín þóleið, e.t.v. stak-plagióklasdílótt. Ólivín þóleið basalt meðal-grófkorna, túff í neðri hluta
7	Hraunlagasyrpa	744-821	Um 12 ólivín þóleið hraunlög

8	Móberg	821-888	Bólstrabreksía af ólívín þóleiit samsetningu
9	Hraunlagasyrpa	888-“1288”	

Eftirfarandi lýsing á við um gosmyndanir í töflu 1:

0. *Hraunlög.*

1. *Móberg* (“68”-88 m). Hvorki svarfsýni né borsaga úr höggborsholu reyndust aðgengileg, en höfundur rekur minni til að efstu 20-30 m jarðlaganna væru ferskleg hraunlög, en þar neðan við kemur í móberg. Á mótum hraunlaga og móbergsins var mikil lekt. Svarfsýni úr fyrsta áfanga borunar Jötuns eru frá 68 m. Móbergið er stak-plagióklasdílótt bólstraberg með tveimur þunnum túff linsum inn á milli.
2. *Móberg* (88-122 m). Einkenni myndunarinnar er að hún er dílalaus. Megnið af berginu er túff, og er það gjóskukennt (það sem áður hefur verið kallað setkennt). 4-6 m þykk bólstrabergslinsa kemur fram um miðbik móbergsins.
3. *Móberg* (122-297 m). Bergið aðgreinist afar greinilega frá öðrum myndunum á því hve plagióklasdílótt það er, og einnig hve dílarnir eru oft brotnir og sum staðar allt að því kurlaðir. Bergið er túff og víða má greina í því gjóskueinkenni. Nifteindamælingin sýnir afar einhæf gildi sem staðfestir hve einhæft túffið er.
4. *Móberg* (297-406 m). Bergið er stakdílótt og er fremur einsleitt túff, og sum staðar koma fram gjóskueinkenni. Gamma og neftrónumælingar staðfesta einhæfi myndunarinnar.
5. *Hraunlagasyrpa* (406-497 m). Greina má á milli allt að 14 hraunlaga. Þau eru flest fínkorna og jafnkorna og því líklega af þóleiitkyni.
6. *Móberg* (497-744 m). Ekki fannst grundvöllur fyrir að skipta þessari 250 m þykka móbergsstafla upp í myndanir, þar sem bergið er gegnumsneitt stak-plagióklasdílótt ólívín þóleiit. Efstu 6 m myndunarinnar er þéttþakkað settúff, en neðan þess er túff í meirihluta niður á 622 m dýpi, ef frá eru talin þrjú lög af bólstrabreksíu á 514-562 m dýpi. Neðan 622 m dýpi er bólstrabreksía í meirihluta niður undir 700 m. Neðstu 40 m er sambland af túffi, grófkristölluð ólívín þóleiit basaltlög (e.t.v. bólstraeitlar) og bólstrabreksía. Jarðlagamælingar (gamma og nifteindir) eru einhæfar í túffinu en þær síðarnefndu sýna mun meiri breytileika þegar komið er í bólstrabreksíuna. Nokkur munur er á gammaútslaginu ofan og neðan við 664 m, en það gæti gefið vísbendingar um að þar séu skil á milli móbergsmýndana. Samanburður jarðlaga á milli nærliggjandi hola gætu gefið frekari vísbendingar um slíka skiptingu, en slíkur samanburður verður að bíða betri tíma.
7. *Hraunlög* (744-821). Í allt má sundurgreina ein ellefu hraunlög. Þau virðast flest vera af ólívín þóleiit samsetningu. Eitt hraunlag á um 800 m dýpi er áberandi plagióklasdílótt, og gæti það reynzt happadrjúgt til jarðlagatenginga við nærliggjandi holur.
8. *Móberg* (821-888 m). Móbergið er af ólívín þóleiit samsetningu og samanstendur af túffi, bólstrabergi og bólstrabreksíu.
9. *Hraunlög* (888-1288 m). Staflinn er ráðandi hraunlög. Má vera að unnt sé að skipta honum upp í fleiri hraunlagasyrpur, en það bíður betri tíma. Hraunlögin niður á 912 m virðast vera af ólívín þóleiit samsetningu. Breksían á milli 912-932 m dýpi er líklegast plagióklasdílótt. Svo virðist sem meiri hluti hraunlaganna þar fyrir neðan sé fínkorna og jafnkorna og sé því líklegast af þóleiitkyni. Um 6 m breksíulag finnst á milli 1030-1036 m dýpi.
10. *Óviss jarðlagastafla* (1288-1700). Svarf hætti að berast til yfirborðs neðan 1288 m dýpis vegna mikils skoltaps. Jarðlagamælingar geta í sumum tilvika gefið vísbendingar

um jarðlög, en hér var aðeins reynt að sigta úr þeim mælingum þeir bergskrokkar sem teljast vera innskot. Er vísað í eftirfarandi kafla um innskot.

Á mynd 2 er sýndur jarðfræðilegur samanburður við nærliggjandi holur sunnan NJ-23. Dílótta móbergið á 120-300 m tengist auðveldlega við samsvarandi móberg í holum NG-8, 6 og 9. Hraunlagasyrpan (H-II skv. Hjalta Franzsyni 1993), sem kemur fram á 407-497 m dýpi (númer 5 í töflu 1) liggur mun lægra í holu 19 en í holum 6 og 13 og munar þar um 100 m hvað þau liggja dýpra í holu 19. Á sama hátt munar einnig álíka mikið á efra borði hraunlagamyndunar (H-III) á milli hola 13 og 6 og svo holu 19. Svo virðist sem öll áður nefnd jarðlagaskil tengist beint á milli holu 19 og svo holu 21 sem staðsett er rétt við holu 8. Ef þessar ályktanir reynast réttar, er ljóst að um 100 m norðlægt misgengi liggur á milli hola 8, 21 og 19 annars vegar, og 13, 6 og 9 hins vegar. Það misgengi ætti einnig að vera eldra en dílótta móbergið á 120-300 m dýpi þar sem sú bergeining hliðrast ekkert. Líklegt er að slíkt misgengi liggi austan við holu NV-4 (og NJ-23)

• Innskot

Innskotum í NJ-19 er skipt í tvo hópa; basaltinnskot og ísúr innskot.

Basalt innskot. Þau fyrrnefndu eru yfirleitt þétt og mun fersklegri en grannbergið í kring. Þau eru yfirleitt fín-meðalkorna og fæst þeirra geta talist til dóleríts. Sýndarþykkt þeirra er frá um 2 m upp í 14 m og er meðalþykkt rúmir 7 m. Á þeim grundvelli oxunar og hitaummyndunar er unnt að gera því skóna að basaltinnskot á 702-706, 878-884 og einhver innskotanna á 1000-1060, og sömuleiðis á 1160-1200 m, geti verið nær lóðréttir berggangar.

Ísúr innskot. Efsta súra lagið í NJ-19 er á 948-956 m dýpi. Það er sérkennilegt að því leyti að það er illa kristallað og allt að því túffkennt, sem gæti bent til að innskotagreiningin sé ekki einhlít. Bergið sýnir sterka samsíða plagíóklas kristöllun (flow-crystallization). Næsta ísúra innskotið á 977-992 m hefur fremur dökkleita áferð samsíða plagíóklas kristöllun, og áberandi magnetít kristöllun, sem bendir til að um basalt andesít sé að ræða, enda er gammaútslag aðeins um 40 api. Innskotin tvö við 1200 m dýpi eru hefðbundnari meðalkorna ummynduð díorit innskot. Ísúru innskotin neðan 1300 m dýpis sjást aðeins í jarðlagamælingum. Þau hafa um 60-80 api útslag í gamma og sýna fremur há nifteindagildi, sem er í samræmi við að um innskot sé að ræða. Það sem vekur þó athygli er að þau virðast vera sundurslitin og mynda innan hvers innskota "kjarna" 2-10 m bergskrokka. Ætla mætti að það geti verið vegna yngri innskota sem kljúfa þau, en það er talið fremur ólíklegt vegna þess að viðnáms- og neftrónugildi eru fremur lág og líkari upphleðslueiningum en innskotum. Ekki verður fjallað nánar um þetta atriði á þessum vettvangi.

Ummyndun

Hola NV-4 sem næst er fyrirhugaðri holu NJ-23 sýnir tiltölulega háa ummyndun, þar sem wairakít og kvars greinast vel á 300 m dýpi, og berlög þar ofan við eru töluvert zeólítiseruð. Samanburður ummyndunar við aðrar holur í grennd er sýndur á mynd 3 og sést þar vel hvað ummyndun er áberandi grunnt í kerfinu. Það ásamt þeim yfirþrýstingi sem kom fram í holu 4 sýnir vel að slíkar aðstæður munu einnig koma fram í holu NJ-23.

Vatnsæðar.

Gerður var samanburður á vatnsæðum og endurskoðaðri jarðlagaskipan í holu 4 (smbr. mynd 2) og koma æðar fram við lagskil á milli einstakra móbergsmyndana. Í holu 1 kom fram æð í um 120 m dýpi, sem ætti að liggja við lagskil á milli móbergsmyndunarinnar sem kennd er við Háhygg og þéttdílottrar móbergsmyndunar. Æð á um 250 m fellur saman við neðri lagskil á sömu dílóttu móbergsmynduninni. Ekki eru ljós tengsl æðar á 360-380 m við jarðlagaskipan, en æð á um 420 m tengist líklegast lagskilum milli móbergsmyndunar og mögulegrar hraunlagamyndunar þar neðan við.

Unnið hefur verið úr gögnum um vatnsæðar í holu NJ-19 og er eftirfarandi upptalning tekin úr skýrsluhandriti um þá holu. Í efri hlutanum er fátt um æðar, en þær sem sjást tengjast lagskilum móbergsmyndana. Neðar koma æðar aðallega fram við innskot, bæði basalt og ísúr innskot, og er það í samræmi við kenningar sem settar hafa verið fram um vatnsgengd í jarðhitageyminum. Hafa ber í huga að hola NJ-19 stendur um 85 m ofar í landinu en hola NJ-23.

1. **20-30 m** Vart varð við mikinn vatnsflaum í höggborsholunni á mótum hraunlaga og undirliggjandi móbergs. Þar voru einnig fyrstu merki um vatnsborð.
2. **144 m** Vart varð við smávægilegt skoltap á þessu dýpi og í þremur hitamælingum sjást vísbendingar um kælipunkt, sem bendir til meiri bergkælingar.
3. **220 m** Smávægilegt tap (~1 l/s) kom fram nærri þessu dýpi og í hitamælingum má greina smávægilega bergkælingu.
4. **(270 m)** Kælipunktur í hitamælingu, en engar aðrar vísbendingar.
5. **(280 m).** Svipaður kælipunktur kemur fram á hitamælingu eins og á 270 m dýpi, og kælipunktur sést einnig á annarri hitamælingu. Um 2 l/s skoltap kom í holuna í upphafi borunar fyrir vinnslufóðringu og getur tengst þessari æð. Ef um æð er að ræða kemur hún fram nærri lagskilum innan dílóttu móbergsins. Neðri lagskil dílóttu móbergsins hafa reynst vera lek í öðrum nærliggjandi holum.
6. **312 m.** Smávægilegur hitatoppur kemur fram í hitamælingu, sem virðist benda til að þar sé á ferð yfirprýst æð. Hún kemur fram rétt við neðri skil dílóttu móbergsins (309 m).
7. **(455 m)** Smávægilegur kælipunktur kemur fram á hitamælingu, og er það einu vísbendingar um tilveru vatnsæðar á þessu dýptarbili.
8. **487 m.** Svo virðist sem hitatoppur komi fram í mælingu, sem bendir til að yfirprýst seilt komi inn í holuna. Á þessu dýptarbili kemur fram áberandi aukning í ummyndun, leirinn verður gróffjaðra. Æðin kemur fram innan þykks hraunlags.
9. **502 m.** Kælipunktur í hitamælingu, og á svipuðum slóðum kemur fram toppur í pýríti. Æðin kemur fram í botni settúffs, en það lag markar skilin á milli hraunlagasyrpu (hlýskeyðs) og undirliggjandi móbergsmyndunar jökulskeyðs.
10. **511 m.** Kælipunktur í hitamælingu, áberandi pýríttoppur. Æðin kemur fram innan móbergstúffs.
11. **530 m.** Kælipunktur kemur fram í hitamælingum, og pýrít er fremur algengt.
12. **(548 m).** Óverulegur kælipunktur kemur fram í hitamælingu.
13. **(558 m).** Óverulegur kælipunktur í hitamælingu. Og á svipuðum slóðum verður vart við 2 l/s skoltapsaukningu. Æðin er innan bólstrabreksíu.
14. **625 m.** Kælipunktur í hitamælingu. Smávægileg aukning í pýríti. Æðin kemur fram á lagskilum túffi og bólstrabreksíu.
15. **(653-668 m).** Vart varð við um 5 l/s skoltapsaukningu á þessu dýptarbili. Engar vísbendingar sjást um slíkt í hitamælingu. Æðin er innan móbergstúffs eða breksíu.

16. **(695 m).** Smávægilegur kælipunktur í tveimur hitamælingum á ca. 690-710 m dýpi. Aukning í pýríti og aukin bergumyndun. Æðin er innan bólstrabreksíu.
17. **734 m.** Nokkuð vel skilgreindur kælipunktur í hitamælingum. Áberandi pýríttoppur og aukning í bergumyndun. Á þessu dýpi var óvenju hár borhraði. Æðin kemur fram við neðri hluta móbergsmyndunar og þar með skilum á milli jökulskeiðs og hlýskeiðs.
18. **760 m.** Áberandi kælipunktur í hitamælingum, og toppur í pýríti. Einnig kemur fram staðbundin hækkun í gamma. Hraunlagaskil koma fram á þessu dýpi.
19. **775 m.** Kælipunktur í hitamælingum, og áberandi pýríttoppur. Nærri hraunlagaskilum, og þar mælist einnig óverulegur skápur.
20. **850-865 m.** Æðin merkist af innstreymi vatns inn í holuna á þessu dýptarbili. Ekkert skoltap mældist. Æðin kemur fram innan túffs, breksíu og bólstrabergs. Athyglisvert er að áberandi oxun og vottur af magnetíti er í jarðlögum frá um 825 niður á 865 m dýpi, en það bendir líklega til nærveru berggangs. Á 875-885 m dýpi er líklegt innskot, en ekki er ljóst hvort hitaummyndunin sé af hans völdum.
21. **920-938 og 950-970 m.** Um 10°C hækkun verður á hita vegna innrennslis úr æðum inn í holuna á fyrrnefnda dýptarbilinu og um 5°C hækkun í síðara dýptarbilinu. Áberandi aukning verður á pýríti á 920-980 m dýpi. Æðakerfið virðist tengjast basalt og ísúru innskoti sem finnast á 934-946 (basalt) og 948-956 m (ísúrt) dýpi.
22. **1020-1025 m.** Um 2 °C hitahækkun verður á þessu dýptarbili. Samkvæmt jarðlagasniði kemur æðin fram við lagskil milli hraunlaga. Algert skoltap varð í um 1 mínútu á um 1028 m dýpi. Áberandi oxun bendir til nærveru berggangs, og er líklegt að æðin tengist næstu æð fyrir neðan.
23. **1050-1070 m.** Um 6°C hitahækkun verður á dýptarbilinu vegna innstreymis æða-kerfis þar. Á þessu dýptarbili kemur einnig fram aukning í pýríti. Tvö basalt innskot koma fram á dýptarbilinu og eðlilegt að tengja þau við vatnsæðakaflann.
24. **1170-1205 m.** Um 10°C hitaaukning verður á dýptarbilinu, sérstaklega á 1188-1205 m. Aukning verður á pýríti á þessu dýpi. Algert skoltap varð í 1202 m dýpi í um 5 mínútur. Æðarnar koma fram þar innan basaltinnskota, en sérstaklega við ísúra innskotið á 1192-1201 m dýpi.
25. **1240-1305 m.** Á þessu dýptarbili kemur fram fremur jöfn hitaaukning (ca. 8°C) vegna innrennslis inn í holuna. Hitaaukningin virðist þó einna örúst á um 1240-1250 og 1298-1305 m. Algert skoltap verður á 1280-1290 m dýpi, og viðhelst eftir það. Vart verður við þrýstilækkun í dælingu í borun á um 1310 m dýpi sem tengst gæti aukinni opnun. Á efri staðnum er basaltinnskot en á þeim neðri fellur það saman við díorít innskot skv. gammamælingu.
26. **1405-1415 m.** Brot í hitamælingum bendir til flæðis borholuvatns inn í bergið á þessu dýptarbili. Engin svarfsýni eru til af þessu dýpi vegna algers skoltaps, en vart verður við lækkunar í dæluþrýstingi í borun á 1395 m dýpi. Samkvæmt jarðlagamælingum er æðin tengd díorítinnskotum sem koma fram á 1392-1431 m dýpi.
27. **1525 m.** Brot kemur í hitamælingar, sem bendir til streymis borholuvatns inn í berglöggin. Ekki sjást neinar vísbendingar um jarðfræðitengsl á grundvelli jarðlagamælinga.

Hiti og þrýstingur í nágrenni NJ-23.

Grunnt er á jarðhitakerfið undir Fálkaklettum og nokkur yfirborðsvirkni þó ekki geti hún talist mikil. Grunnu rannsóknarholurnar sem Hitaveita Reykjavíkur boraði þarna á árunum 1965 til 1970 komust allar í yfirþrýstar vatnsæðar á nokkur hundruð metra dýpi. Grynsta æðin var í holu NV-1 á um 120 m dýpi. Hiti hennar er talin vera yfir 200°C og þrýstingur allt að 20 bar. Þetta er svipaður þrýstingur og mældist á 115 m æðinni í holu NG-8. Í holu NV-4 sást þessi æð ekki en hins vegar komu fram yfirþrýstar æðar á 250-420 m dýpi. Hiti

þeirra er á bilinu 240-255°C. Á myndum 4 og 5 er sýnt hita- og þrýstipversnið yfir svæðið meðfram Fálkaklettum. Þar sést að grynnt er á háan hita og þrýsting við holur 1, 2 og 4, en dýpra þegar norðar dregur að holum 3 og 5. Hóla NG-5 er reyndar mun fjær gossprungunum í Kýrdalsbrúnunum, en hinar holurnar í sniðunum. Varðandi hita og þrýsting djúpt í holu NJ-23 er eðlilegra að líta til holna NJ-19 eða NJ-11 sem eru í svipaðri fjarlægð frá gossprungunum og hola NJ-23. Áætlaður berghiti við NJ-11 og NJ-19 er sýndur á mynd 6 og áætlaður þrýstingur vatnsæða í holu NJ-11 frá árinu 1985 er sýndur á mynd 7. Þar sést að yfirþrýstar æðar koma fram niður undir 1 km dýpi og er hiti þar um 300°C. Vatnsæðar á frá 1-2 km dýpi koma fram sem skoltap, en síðan koma fram yfirþrýstar æðar á 2100-2200 m dýpi. Hiti botnæðanna er talin hafa verið um eða yfir 400°C. Hafa ber í huga að vinnsla á Nesjavöllum hefur valdið um 10 bar niðurdrætti í jarðhitakerfinu. Því er þrýstingur á 1-2 km dýpi á árinu 2003 um 10 bar lægri en fram kemur á mynd 7, en hins vegar er ekki reiknað með að þrýstingur ofan 1 km hafi breyst, enda er lítil sem engin vinnsla úr grunna og yfirþrýsta kerfinu.

Lagt er til að bora holu NJ-23 ekki dýpra en í 2000 m dýpi þ.e. að fara alls ekki niður í yfirþrýsta og sjóðheita kerfið fyrir neðan 2 km dýpi. Slíkt myndi kalla á endurskoðun á öryggiskröfum í borun og fóðringarþrógrammi fyrir holuna og tekur eftirfarandi hönnun ekki tillit til þess.

Útlit og hönnun NJ-23.

Á undanförunum árum hafa nokkrar gerðir af háhitaholum verið hannaðar og boraðar hér á landi. Í meginatriðum má er um að ræða tvær gerðir borhóla, þ.e hefðbundnar holur og víðar holur. Sé horft til fóðringa er munurinn sá að í víðu holunum er 22 ½"-yfirborðsfóðring, 18 5/8"-öryggisfóðring, 13 3/8"-vinnslufóðring og 9 5/8"-raufaður leiðari, þegar hefðbundna hönnunin er skrefi á eftir þ.e. 18 5/8"-yfirborðsfóðring, 13 3/8"-öryggisfóðring, 9 5/8"-vinnslufóðring og loks 7"-raufaður leiðari. Víðar holur hafa verið boraðar á jarðhitasvæðunum á Reykjanesi og í Svartsengi, en flestar aðrar vinnsluholur háhita á Íslandi eru með hefðbundinni hönnun, þar með taldar holur á Nesjavöllum.

Ákveðið er að hola NJ-23 verði bein hola með hefðbundinni hönnun og stefnt að borun í allt að 2000 m dýpi. Við hönnun holna NJ-23 hefur verið horft til þess að búast má við mjög háum þrýstingi grunnt, jafnvel ofan 100 m dýpis. Þetta eru svipuð þrýstiskilyrði og eru við holu NG-8. Því er lagt til að hönnun holu NJ-23 verði svipuð og hönnun holna NJ-21 og 22 og öryggisbúnaður við borunina verði svipaður og þegar holur NJ-21 og 22 voru boraðar sumarið 2000 í næsta nágrenni NG-8. Þá er einnig gert ráð fyrir að öryggisbúnaður og verklag við borun holu NJ-23 verði sambærilegt og það var við borun NJ-21 og NJ-22. Þetta þýðir að vikið er frá hefðbundinni hönnun hvað varðar forborun og fyrstu fóðringar. Við forborunina verður beitt forkönnun með 7 7/8"-borkrónu til að kanna vatnsæðar og þrýsting þeirra og verður verkinu skipt í tvo áfanga. Í fyrri áfanganum verður borað með 7 7/8" í 40 m og hola síðan rýmd (boruð) með 26" og fóðruð með 22 1/2" yfirborðsfóðringu. Í seinni áfanganum verður borað með 7 7/8" í 90 m, rýmt (borað) með 21" og fóðrað með 18 5/8". ROS leggur á það áherslu að nákvæmlega sé fylgst með framgangi forborunarinnar og helstu kennistærðum í borun. Lagt er til að notaður verði gagnaskráningarbúnaður til að gera stöðuga vöktun með borverkinu sem auðveldasta. Í þessu tilliti er sérstaklega mikilvægt að skrá samfelld topþrýsting með nema sem tengdur er inn á holuna með sama frágangi og ef um kæfingarstút væri að ræða, en að jafnframt megi opna hann og blæða

gasi af þegar henta þykir. Ástæða þessa eftirlits er að hugsanlega má fleyta háþrýstigufu ofan af Nesjavallakerfinu líkt og nú er í gufupúðanum í Svartsengi. Skráning á þrýstingi meðan borað er í gegnum þetta grunna kerfi er þá liður í að meta stærð og afkastagetu.

Eftir forborunina er hönnun holnanna hefðbundin (mynd 9), en yfirlit um síddir fóðringanna er eftirfarandi:

- | | | |
|--|---------|----------------|
| 1. Yfirborðsfóðring I | 22 1/2" | 40 m dýpi. |
| 2. Yfirborðsfóðring II | 18 5/8" | Um 100 m dýpi. |
| 3. Öryggisfóðring | 13 3/8" | Um 300 m dýpi. |
| 4. Vinnslufóðring | 9 5/8" | Um 800 m dýpi |
| 5. Raufaður 7"-leiðari í vinnsluhluta holunnar | | |

Á mynd 8 er sýnt skematískt við hvaða þrýstingi megi búast við fóðringarenda og á holutopp í borun og hvaða vökvu megi nota til að kæfa holuna. Búast má við yfirþrýstingurinn í efri hluta holunnar nái niður undir 1000 m dýpi og æðar sem skornar verða á þessu dýptarbili gefi inn í holuna. Lagt er til að steipt verði jafnóðum í þessar æðar í borun fyrir öryggis- og vinnslufóðringu (ofan 800 m dýpis). Neðan 1 km dýpi er gert ráð fyrir að æðar séu undirþrýstar og komi fram sem skoltap sbr. æðar í NJ-11. Miðað við reynsluna af holu NJ-11 verður hins vegar að reikna með yfirþrýstum og mjög heitum vatnsæðum, þegar komið er niður fyrir 2 km dýpi. Þetta er ástæða þess að ekki er lagt til að bora dýpra en í 2000 m. Endanleg fóðringardýpi verða ákveðin af staðarjarðfræðingi í samráði við fulltrúa Orkuveitu Reykjavíkur.

Öryggi við borun

Aralöng hefð er fyrir því að nota öryggisloka við háhitaboranir hér á landi. Þetta hefur þó eingöngu gilt um aðalborunina, en við forborun hefur ávallt verið borað án öryggisloka. Við borun holna NJ-21 og 22 sumarið 2000 var þessu breytt og hafðir öryggislokar á holutoppi, þegar forborunin fór fram svo hægt væri að ráða betur við grunnar yfirþrýstar æðar. Búist er við háum þrýstingi á grunnum æðum í NJ-23 samkvæmt reynslunni af holu NV-4 og því er lagt til að Jarðborinn Saga sem mun forbora holu NJ-23 verða búinn svipuðum öryggisbúnaði og notaður var við forborun holna NJ-21 og 22 og Jötunn mun nota við framhald borverksins við NJ-23. Þessir hefðbundnu öryggislokar eru eftirfarandi:

- Belggosvarar (Shafer og Hydri) loka að borstöngum, álagsstöngum og fóðringum. Er þá gúmmíþéttingu þrýst saman og lokar hún þá holunni. Hitapól þessara loka er takmarkað.
- Öryggisloki sem lokar að stöngum er með stáltungu og gúmmíþéttingu (Cameron). Lokinn getur aðeins þétt við borstengur og takmarkar það notkunarvið hans.
- Pakkdós (Grant/Washington) er höfð efst á öryggisventlunum til að beina því sem úr holunni kemur út um hliðarstút og vernda þar með starfsmenn borsins gegn gufugosi. Í pakkdósinni er gúmmíþétting sem snýst með stöngunum. Loki þarf að vera á hliðarstútnum.
- Holulokar sem geta fulllokað þegar tæki eru ekki í holunni verða hafðir á og er endanlegur aðaloki holunnar reyndar hafður á henni við borun 3. áfanga.

- Kæfingarlokur eru hafðir til að hægt sé að dæla vatni eða þungri leðju í holuna eftir að öryggislokum hefur verið lokað til að "kæfa" holuna. Dæla borsins er fasttengd kæfingarlokunum um stálleiðslu eða sambærilegri lögn.

Fyrirsjáanlegt er að æðar í efstu 1000 m holunnar verði yfirþrýstar miðað við þyngd kaldrar vatnssúlu. Nauðsynlegt er að gæta ýtrustu varkárni við borunina og fylgjast grannt með skolvatnsbreytingum, hitabreytingum á skoli og öðru sem gefur til kynna að yfirþrýst æð hafi verið skorin. Tryggt skal að öryggislokur séu í góðu lagi og þeir prófaðir í upphafi hvers boráfangs. Mikilvægasta öryggisatriðið til að koma í veg fyrir að holan gjósi skyndilega er að halda stöðugri dælingu í holuna. Til að ráða frekar við yfirþrýstar æðar þarf að tryggja aðgang að barit þyngdarefni svo hægt verði fyrirvaralaust að laga borleðju með eðlismassa 1400 kg/m³, en efnisnotkun á baríumsúlfati er þá um 525 kg í hvern rúmmetra af leðju. Lágmarksmagn af tiltæku baríumsúlfati er talið vera 20 tonn. Við svarfgreiningu skal fylgjast sérstaklega með því hvenær farið er í gegnum lagmótin sem komu fram á um 100 og 300 m dýpi í hinum holunum og skoða ummyndun bergsins, einkum hvort steindirnar kvars og wairakít sjáist.

Þá þarf að tryggja nægjanlegt skolvatn til borunarinnar. Miðað er við að slík vatnsveita skili að lágmarki 50 l/s inn á borplanið. Huga þarf vel að öryggi skolvatnsveitunnar þannig að vatn sé til reiðu komi til smá bilana.

Skýrsluskrá

Ýtarlegar upplýsingar eru til um boranir á Nesjavöllum. Má þar í fyrsta lagi nefna borskýrslur bormanna um borverkin, en síðan hefur Orkustofnun tekið saman fjölmargar skýrslur um boranir og rannsóknir þeim tengdum. Hér á eftir er skrá þær skýrslur Orkustofnunar sem fjalla um borholur í næsta nágrenni við holu NJ-23 og samantektarskýrslur um jarðfræði og ummyndun bergs á Nesjavöllum. Tekið skal fram að skráin er engan veginn tæmandi. Skýrslurnar eru aðgengilegar á bókasafni Orkustofnunar.

Benedikt Steingrímsson o.fl., 1986: Nesjavellir, hola NJ-11. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-86025/JHD-05, 164 s. Unnið fyrir HR

Benedikt Steingrímsson o.fl., 1986: Nesjavellir, hola NJ-13. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-86027/JHD-07, 146 s. Unnið fyrir HR

Benedikt Steingrímsson o.fl., 1999: Nesjavellir, hola NJ-19. 1. Áfangi: Borun fyrir öryggisfóðringu í 283 m dýpi. Orkustofnun, OS-99044, 18 s. Unnið fyrir OR

Benedikt Steingrímsson o.fl., 1999: Nesjavellir, hola NJ-19. 2. Áfangi: Borun fyrir 9 5/8" vinnslufóðringu í 793 m dýpi. Orkustofnun, OS-99049, 23 s. Unnið fyrir OR

Benedikt Steingrímsson o.fl., 1999: Nesjavellir, hola NJ-19. 3. Áfangi: Borun vinnsluhluta frá 793 m í 1700 m dýpi. Orkustofnun, OS-99088, 24 s. Unnið fyrir OR

Benedikt Steingrímsson og Hjalti Franzson, 1999: Nesjavellir hola NJ-19. Berghiti og þrýstingur vatnsæða. Orkustofnun greinargerð BS/HF-99-01, 8 s. Unnið fyrir OR

Benedikt Steingrímsson og Valgarður Stefánsson, 1979: Nesjavellir Hitastig og þrýstingur í jarðhitasvæðinu. Orkustofnun, OS79032/JHD15, 31 s.

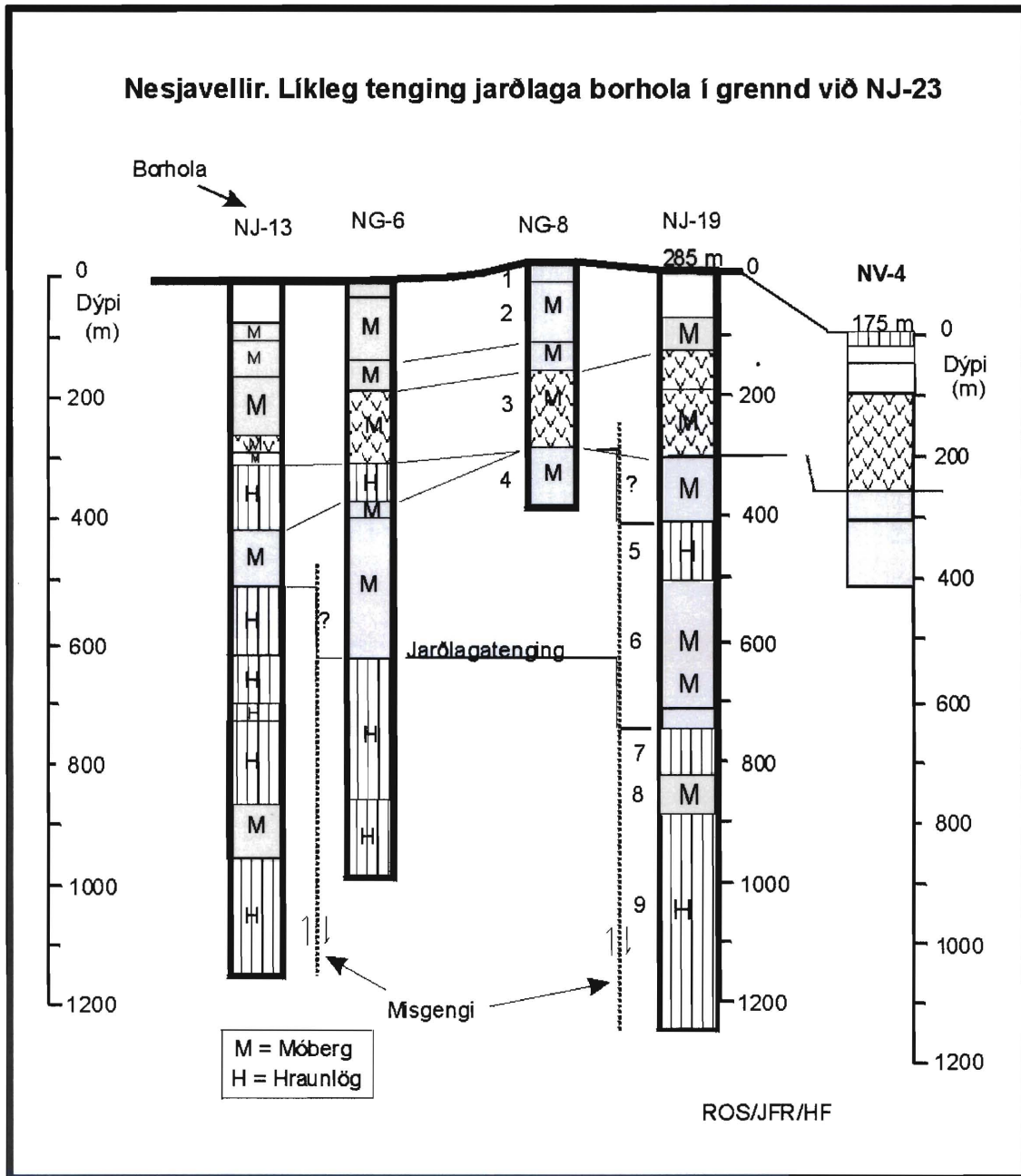
Hjalti Franzson, 1988: Nesjavellir, borholujarðfræði. Vatnsgengd í jarðhitageymi. Orkustofnun, OS-88046/JHD-09, 58 s. Unnið fyrir HR

Hjalti Franzson, 1993: Bergmyndanir í borholum á Nesjavöllum. Upphleðslueiningar. Orkustofnun, OS-93010/JHD-05B, 31 s. Unnið fyrir HR

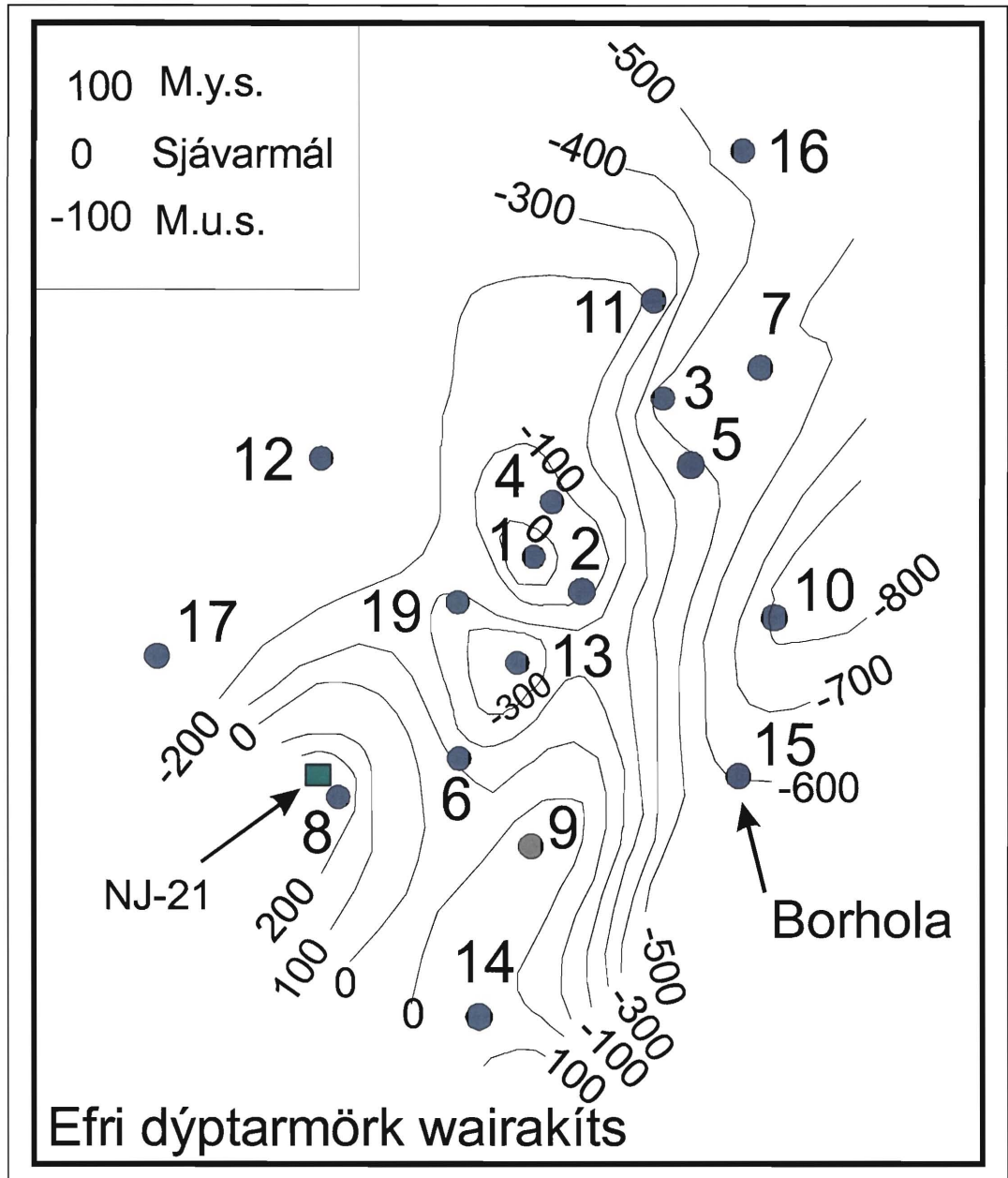
Jens Tómasson o.fl., 1971: Jarðhitarannsóknir á Nesjavallasvæðinu. Orkustofnun, Jarðhitadeild Júní 1971.

Niðurlag

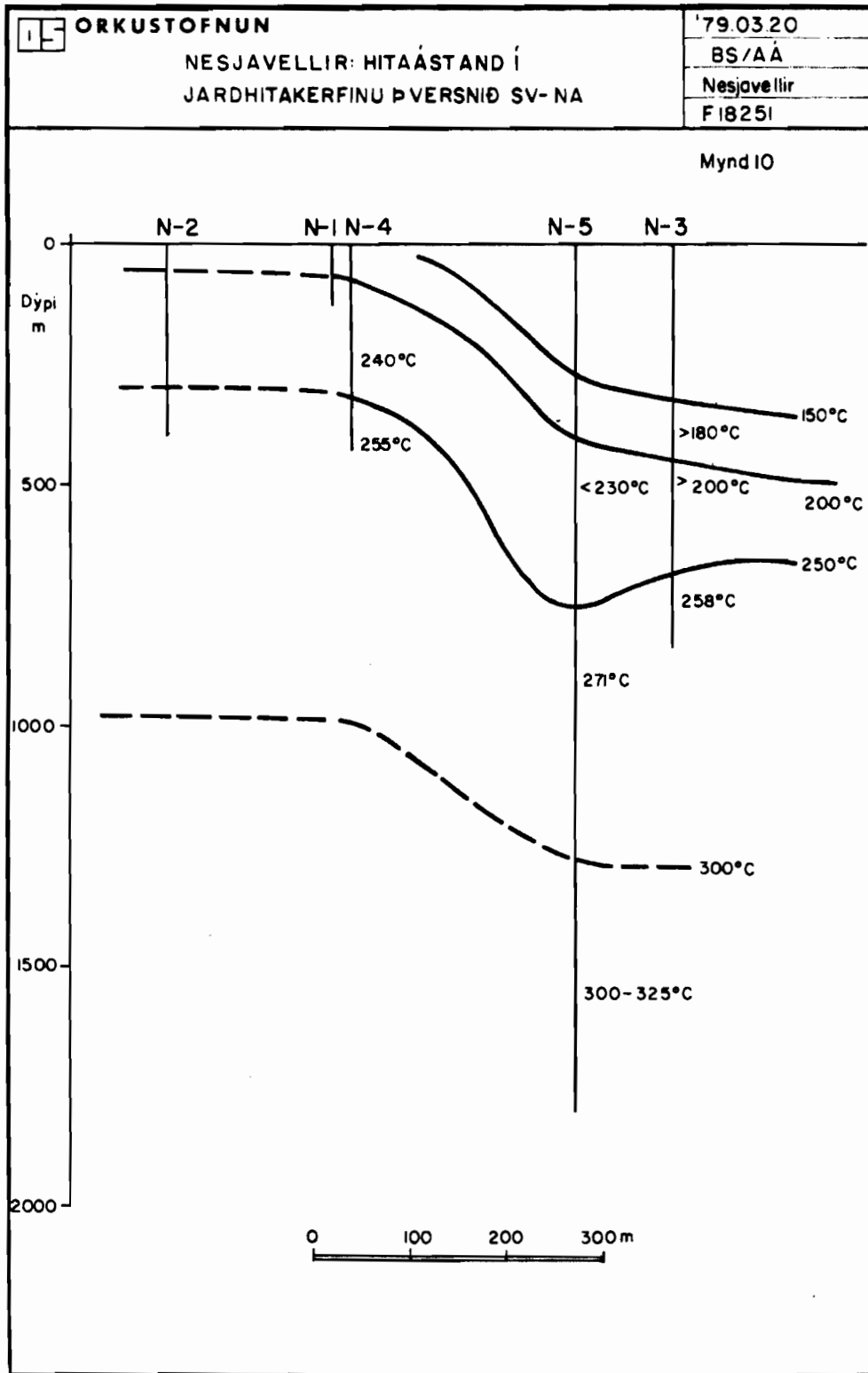
Greinargerð þessi kemur sem viðbót við verksamning, milli Orkuveitu Reykjavíkur og Jarðborana hf um borverk vegna holu NJ-23. Hér er kveðið nánar á um hönnun holunnar og fjallað um jarðhitalegar forsendur staðsetningunni og upplýsingar úr nálægum borholum, sem taldar eru skipta máli við framkvæmd verksins.



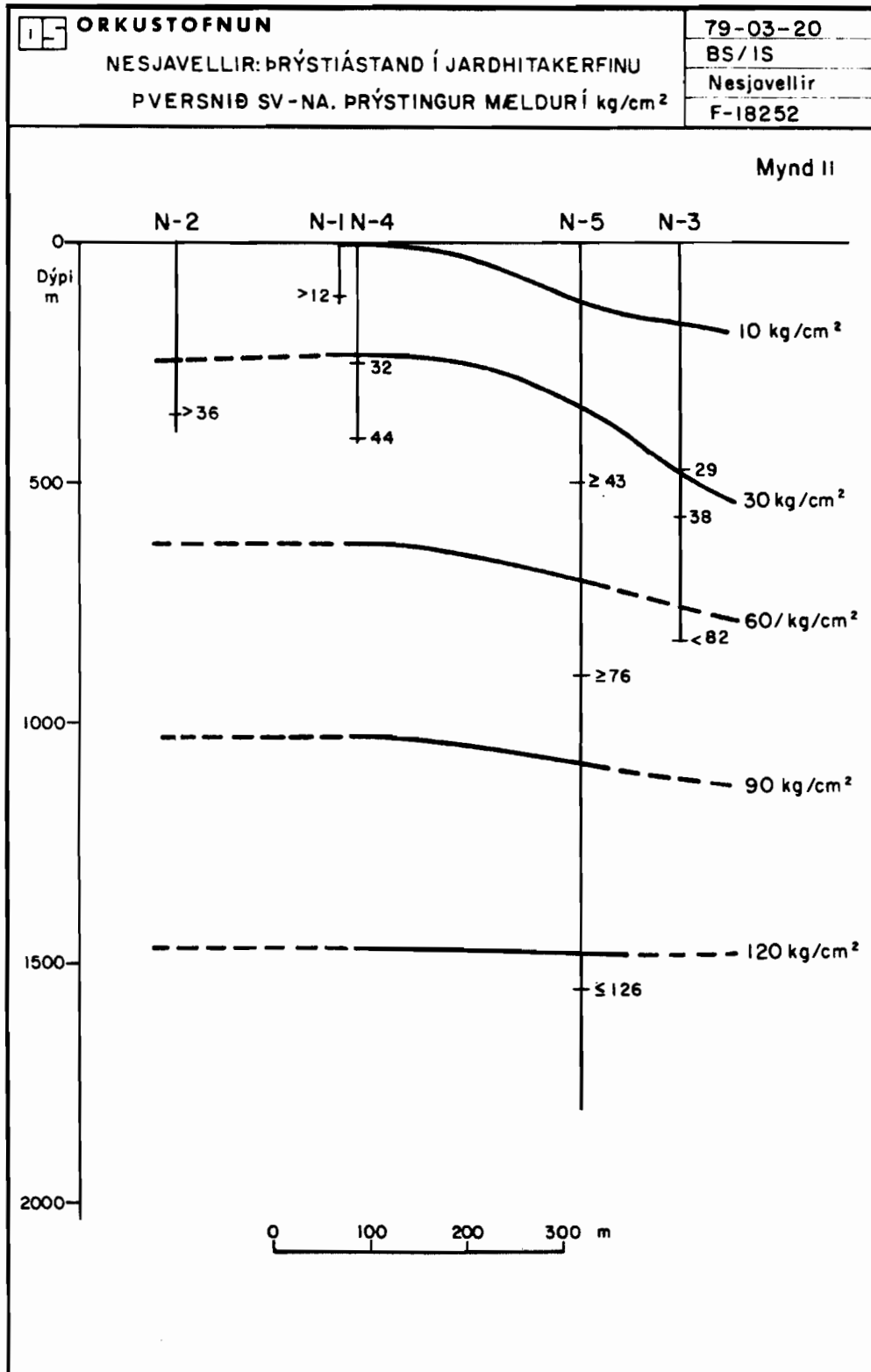
Mynd 2. Líkleg tenging jarðlaga í grennd við holu NJ-23.



Mynd 3. Efri mörk wairakíts á Nesjavöllum.

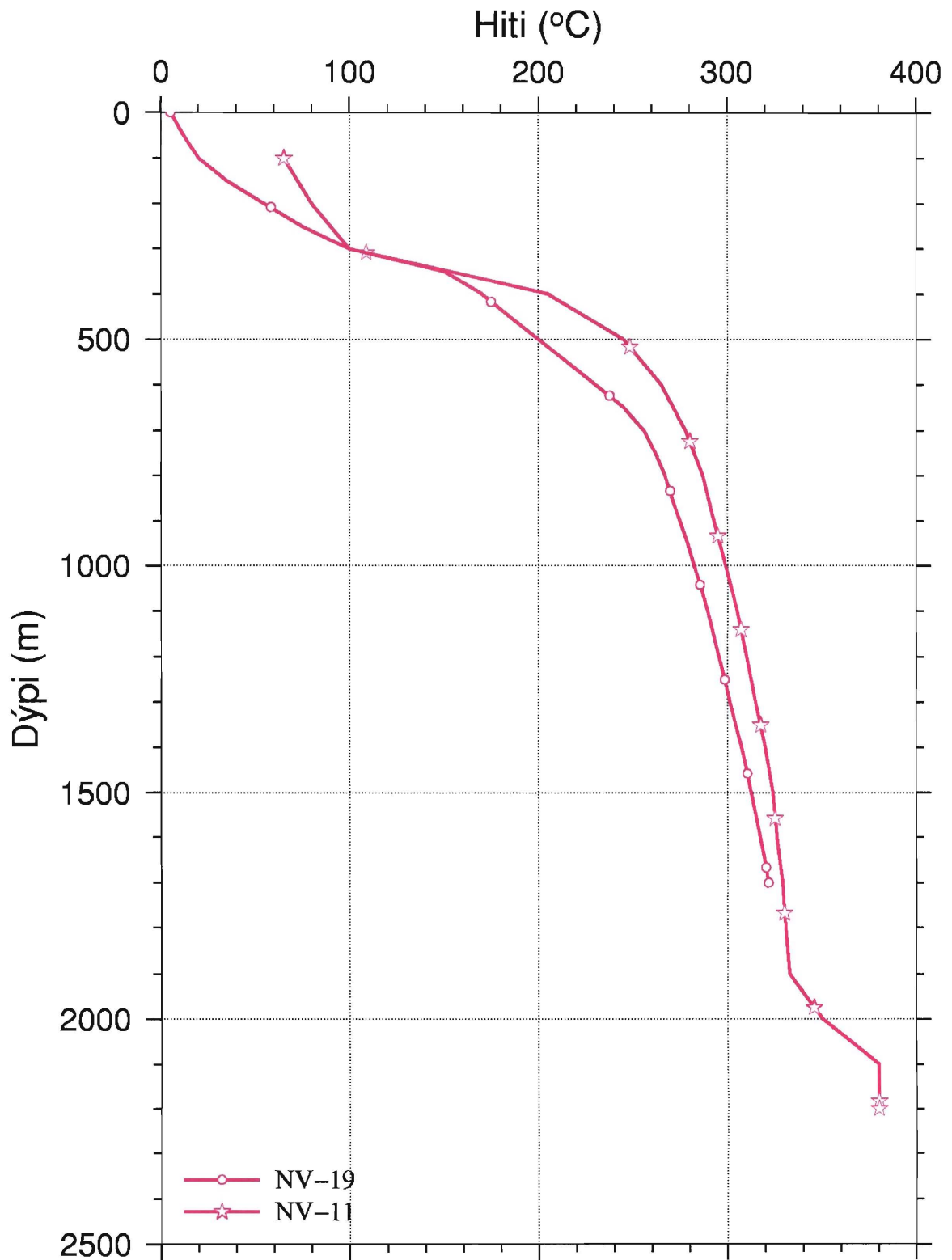


Mynd 4 Hitaástand jarðhitakerfisins í nágrenni NJ-23



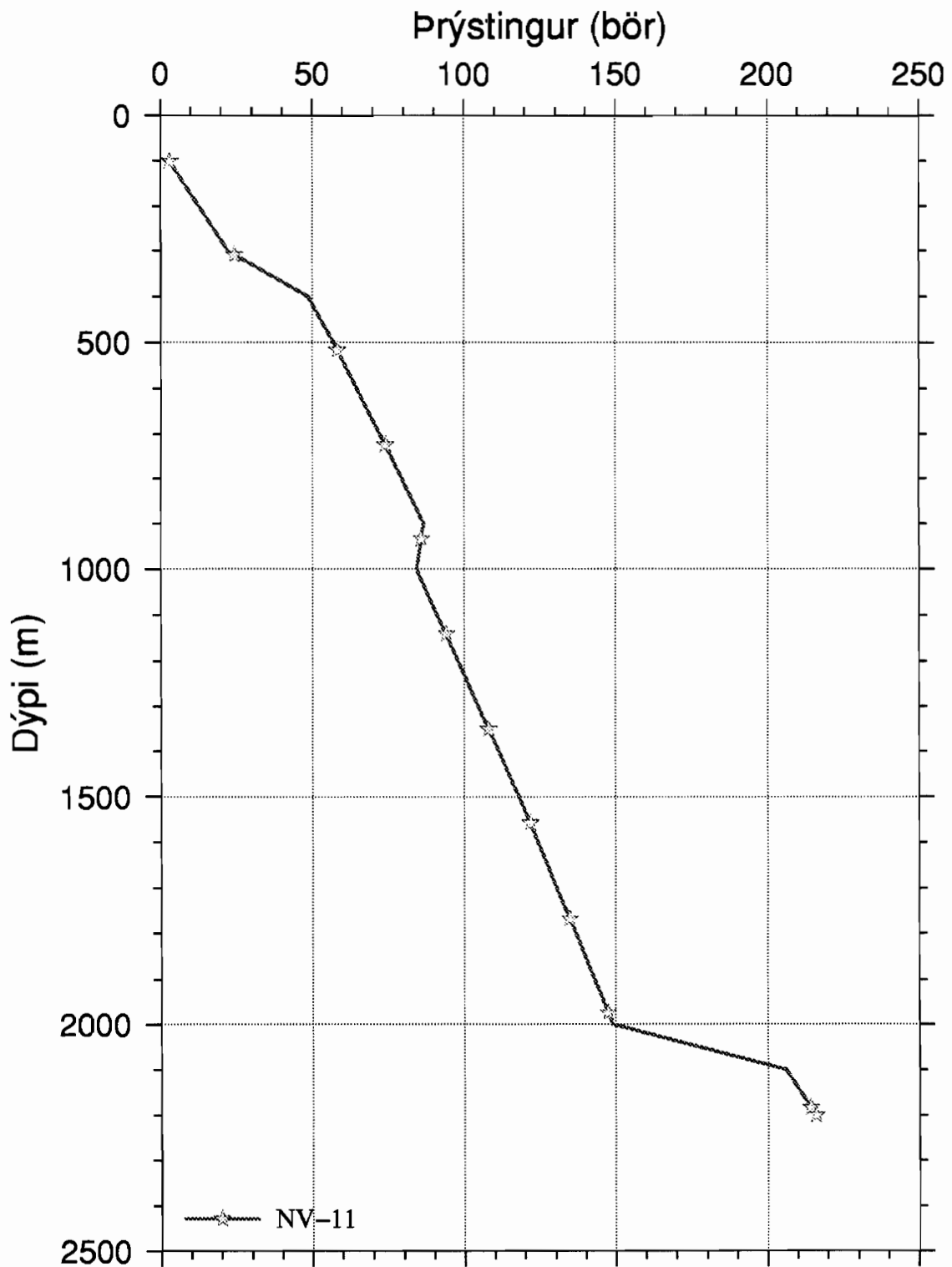
Mynd 5 Þrýstiástand jarðhitakerfisins í nágrenni NJ-23

NESJAVELLIR HOLUR NJ-11 og 19 Berghiti



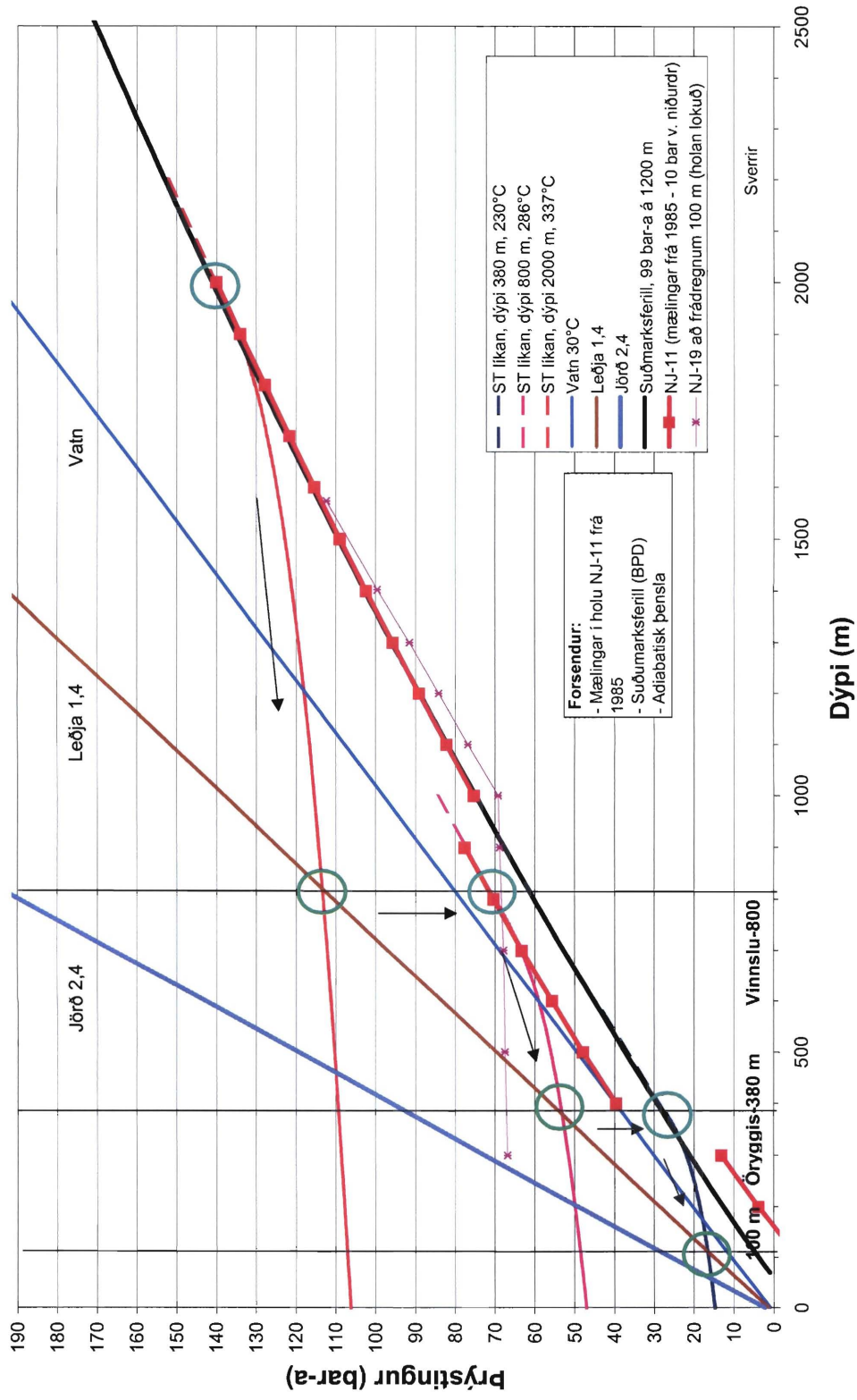
Mynd 6 Berghiti við hólur NJ-11 og 19

NESJAVELLIR HOLA NJ-11 Þrýstingur vatnsæða

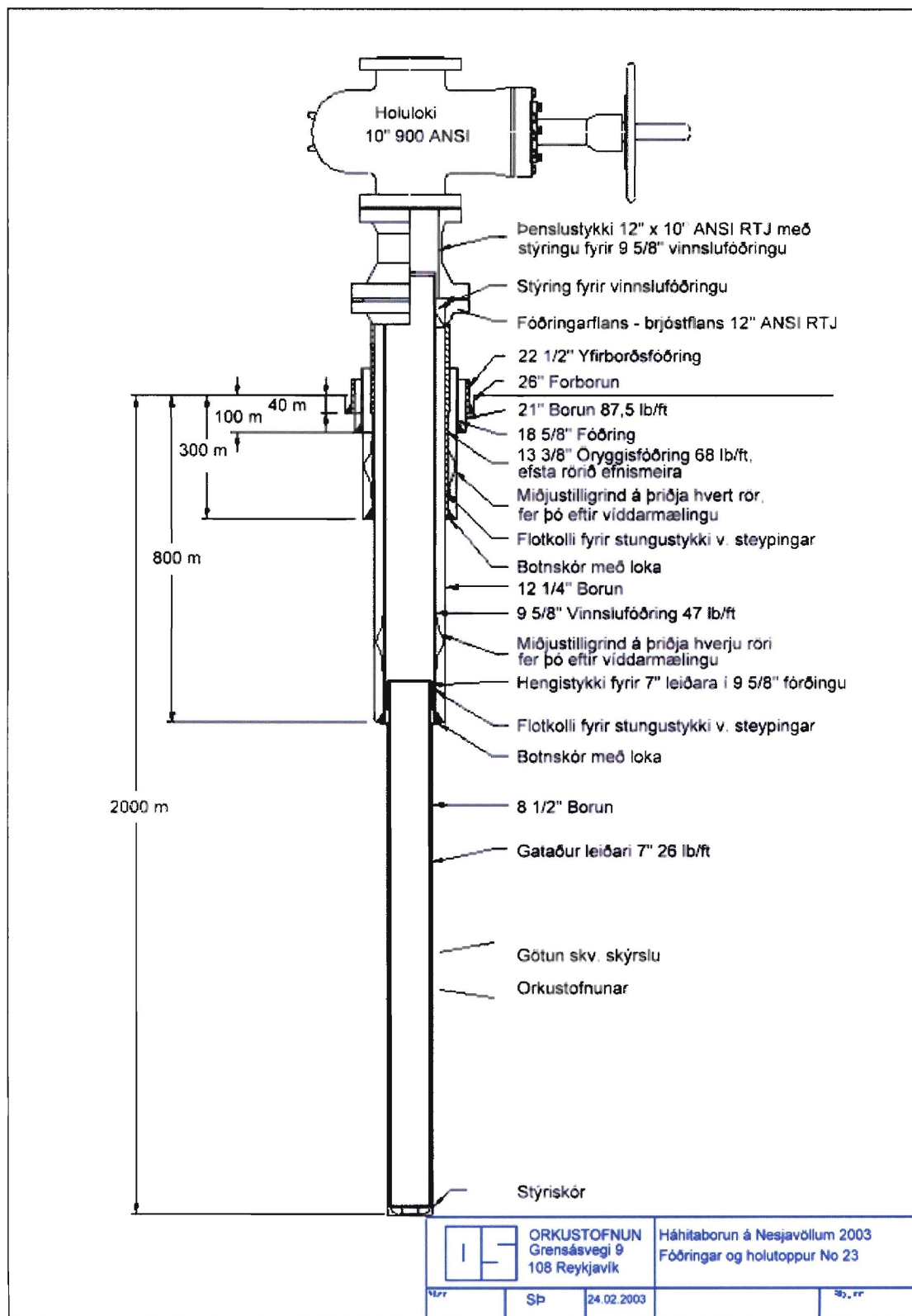


Mynd 7. Þrýstingur vatnsæða í holu NJ-11

Nesjavellir NJ-23: Fóóringardýpi og mótun BOP krafna



Mynd 8. Nesjavellir hola NJ-23. Fóóringardýpi og mótun BOP krafna.



Mynd 9. Útlit og hönnun holu NJ-23.