



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Valgarður Stefánsson

**JARÐHITARANNSÓKNIR
Á NESJAVÖLLUM
Staða og horfur í byrjun árs 1985**

OS-85018/JHD-04
Reykjavík, mars 1985

**Unnið fyrir
Hitaveitu Reykjavíkur**



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknúmer 611113

Valgarður Stefánsson

**JARÐHITARANNSÓKNIR
Á NESJAVÖLLUM
Staða og horfur í byrjun árs 1985**

OS-85018/JHD-04
Reykjavík, mars 1985

**Unnið fyrir
Hitaveitu Reykjavíkur**

ÁGRIP

Undirbúningur að virkjun á Nesjavöllum hefur staðið með hléum um áratuga skeið en á síðustu 3-4 árum hafa rannsóknir og boranir miðast við að taka megi innan tíðar ákvörðun um virkjun og virkjunartilhögun á svæðinu.

Jarðhitakerfið á Nesjavöllum er mjög margbreytilegt. Sumir hlutar þess eru tveggja fasa sjóðandi kerfi, en aðrir hlutar virðast vera einfasa heitavatnskerfi. Hitastig og þrýstingur eru mjög mismunandi innan jarðhitakerfisins. Í stórum dráttum er hæstur hiti og þrýstingur í suðvesturhorni þess svæðis, sem borað hefur verið í en lækkar til norðausturs. Þó að varmainnihald borholuvökvans sé mjög breytilegt eftir því hvort borað er í eins- eða tveggja fasa hluta kerfisins er varmaafli hveðrar holu á bilinu 40-60 MW af hrávarma. Með borunum hefur í byrjun árs 1985 verið skilgreint vinnslusvæði sem er a.m.k. 2,7 km² að stærð. Ef reiknað er með að þéttleiki vinnsluhola verði 11 holur/km² ætti þetta svæði að standa undir varmaorkuveri, sem getur skilað allt að 550 MW af nýttum varma.



Dags.

1985-04-12

Dags.

Tilv. vor

VS/sg

Tilv. yðar

...
Hitaveita Reykjavíkur
Grensásvegi 1
108 Reykjavík
...

Hér með afhendum við Hitaveitunni stöðuskýrslu um rannsóknir og boranir á Nesjavöllum síðustu þrjú árin. Skýrslan er gerð samkvæmt ósk Hitaveitunnar í bréfi til Orkustofnunar dagsettu 16. janúar 1985.

Virðingarfyllst,

Valgarður Stefánsson

EFNISYFIRLIT

	bls.
ÁGRIP	2
1 INNGANGUR	5
2 SÖGULEGT YFIRLIT	6
3 STAÐA RANNSÓKNA	11
4 EÐLISÁSTAND JARÐHITAKERFISINS	18
5 NÝTINGARKOSTIR	32
6 NIÐURSTÖÐUR	33
HEIMILDIR	34

MYNDASKRÁ

	bls.
1 Staðsetning borhola á Nesjavöllum	7
2 Þrýstingur í jarðhitakerfinu við holu NG-6	19
3 Nesjavellir - Þrýstingur í jarðhitakerfinu	20
4 Nesjavellir - Fjórir hlutar jarðhitakerfisins með mismunandi þrýstihæð	21
5 Staðsetning borhola og sniða á Nesjavöllum	23
6 Nesjavellir - Þrýstingur í bar við sjávarmál	24
7 Nesjavellir - Þrýstingur í bar 500 m neðan við sjávarmál	25
8 Nesjavellir - Hitastig í NS sniði (A-A'). Örvar tákna mögulegar streymisleiðir	26
9 Nesjavellir - Hiti í jarðhitakerfinu við sjávarmál (°C)	28
10 Nesjavellir - Hiti í jarðhitakerfinu 500 m neðan við sjávarmál (°C)	29
11 Nesjavellir - Hitapversnið í norðurhluta svæðisins (B-B')	30
12 Nesjavellir - Mögulegar rennslisleiðir (örvar) og rennslishindranir (bálkar) í jarðhitakerfinu	31

TÖFLUSKRÁ

1 Rennsli úr borholum á Nesjavöllum	13
2 Efnasamsetning borholuvökva á Nesjavöllum	15

1 INNGANGUR

Fyrirsjáanlegt er að Hitaveita Reykjavíkur þarf að virkja varma frá háhitasvæði fyrir næstu aldamót til þess að anna eftirspurn í Reykjavík og nágrennabyggðum. Hitaveitan á jörðina Nesjavelli í Grafningi og þau jarðhitaréttindi sem henni fylgja. Af þeirri ástæðu er eðlilegt að hitaveitan stefni fyrst og fremst að virkjun á Nesjavöllum í nágrenni nútíðar. En auk þess sem vinnanlegur varmi á Nesjavöllum er mikill hefur staðurinn þá kosti fram yfir önnur háhitasvæði í nágrenni Höfuðborgarsvæðisins að þar má vinna mikið af fersku vatni, en slíkt er skilyrði þess að orka háhitasvæða verði notuð í hitaveitu.

Undirbúningsrannsóknir m.t.t. virkjunar á Nesjavöllum hófust fyrir allöngu, en það eru ekki nema 3-4 ár síðan rannsóknir og boranir þar fóru að miðast við að senn mætti taka ákvörðun um virkjun og virkjunartilhögun. Fyrirliggjandi skýrsla er samantekt á stöðu rannsókna á Nesjavöllum og mat á þeim líkum sem nú liggja fyrir um mögulega stærð virkjunar og þeim vinnslueiginleikum svæðisins sem setja skorður um mögulega virkjanartilhögun. Fjallað verður um sögulega framvindu rannsókna á Nesjavöllum, stöðu rannsókna og þá mynd sem nú liggur fyrir um gerð jarðhitakerfisins þar. Auk þess er í stuttu máli fjallað um það hvernig gerð jarðhitakerfisins hefur áhrif á virkjunartilhögun og framtíðarhorfur um varmaorkuver á Nesjavöllum.

2 SÖGULEGT YFIRLIT

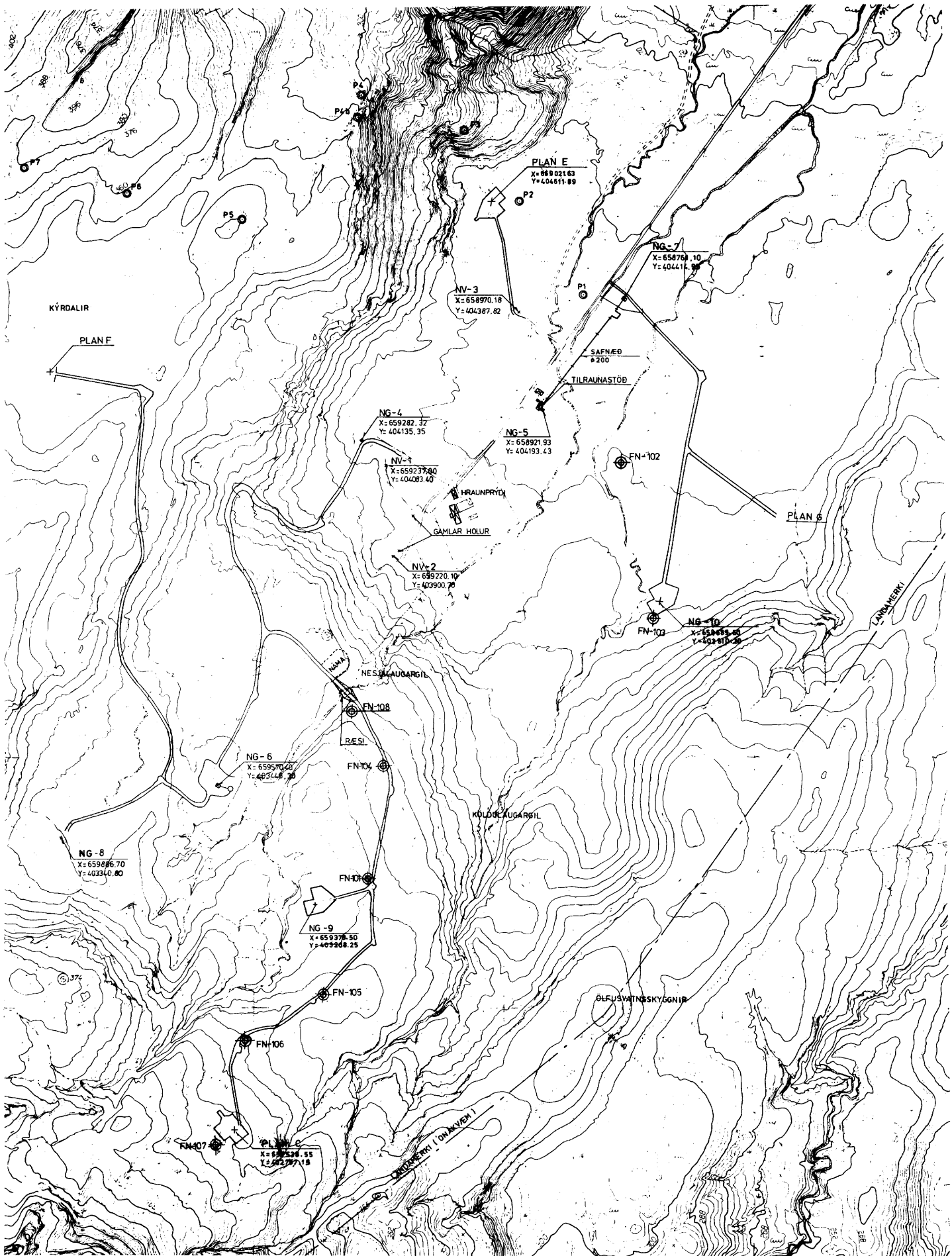
Saga jarðhitarannsóknna á Nesjavöllum spannar langt tímabil, en ekki verður samfella í þeirri sögu fyrr en Hitaveita Reykjavíkur hefur boranir þar árið 1965. Áður höfðu augu manna beinst að syðri hlutum Hengilssvæðisins, og var t.d. gerð mjög merkileg rannsókn á jarðhita í Hengli á árunum 1947 - 1949 á vegum Jarðhitanefndar (Gunnar Böðvarsson 1951). Má ætla að þær rannsóknir hafi á sínum tíma verið einna ítarlegustu jarðhitarannsóknir sem fram að þeim tíma höfðu verið gerðar í heiminum.

Það kemur þó ljóslega fram í grein Gunnars Böðvarssonar (1951) að fyrirhuguð nýting var eingöngu miðuð við suðurhluta svæðisins (Hvera-gerði) þó möguleiki væri líka á að nýta vesturhlutann (Kolviðarhól) til hitaveitu fyrir Reykvíkinga. Niðurstöður þessara athugana voru m.a. þær að hitaveita til Reykjavíkur væri ekki hagkvæm.

Á árunum 1965-1972 voru boraðar fimm holur í jarðhitasvæðið á Nesjavöllum (sjá mynd 1). Hola NV-1 var boruð í 129 m, hola NV-2 í 393 m, hola NV-3 í 836 m og hola NV-4 í 431 m, en sú síðasta, NG-5, var boruð niður á 1804 m dýpi. Borsaga holanna og niðurstöður rannsókna hafa verið birtar í skýrslum Jarðhitadeildar (Jens Tómasson og Kristján Sæmundsson 1967, Jens Tómasson o.fl. 1971; Jens Tómasson o.fl. 1974). Kemur þar m.a. fram að efri hluti svæðisins (þ.e. ofan við 400 m dýpi) kólnar hratt til norðausturs.

Allmiklir erfiðleikar komu fram við borun þessara fyrstu hola á Nesjavöllum. Aðalvandinn var sá að verulegur yfirþrýstingur er á jarðhitakerfinu, og reyndist erfitt að hemja holur meðan á borun stóð. Því var gripið til þess ráðs að bora nokkru norðar en jarðhiti sést á yfirborði (hola 5). Þar var þrýstingur í jarðhitakerfi mun lægri en undir hlíðinni þar sem eru nyrstu merki jarðhita á yfirborði. Gekk borun hola 5 vel og var borað niður á 1804 m dýpi eins og áður sagði. Hún reyndist aflmesta hola á þessum tíma, og var talin gefa 46 kg/s af renni með 1140 kJ/kg varmainnihaldi (Jens Tómasson o.fl. 1974). Þetta rennsli var miðað við að allt innstreymi holunnar væri í vatnsfasa og að kísilhiti rennis úr hola gæfi ótruflað gildi á varmainnihaldi vökvans.

Eftir kynnin af sjóðandi jarðhitakerfum í Kröflu og Olkaria kom sú hugmynd fram að jarðhitakerfið á Nesjavöllum væri líka í suðu (Benedikt Steingrímsson og Valgarður Stefánsson 1979). Þær mælingar, sem lágu fyrir um blástur holanna fyrstu árin gátu þó ekki skorið úr með öryggi hvort jarðhitakerfið væri í suðu eða í vatnsfasa.



MYND 1 Staðsetning borhola á Nesjavöllum

Hola-5 lokaðist snemma á 1550 m dýpi og eru því ekki til upplýsingar um hita neðan við það dýpi. Hún hrundi aftur 31. janúar 1975 og er núverandi dýpi hennar 1010 m. Rennsli breyttist töluvert við þetta hrun 1975 og er nú talið að rennsli holunnar sé að mestu leyti úr æð á 905 m dýpi.

Hola 5 hefur blásið svo til samfellt frá 1975, og hefur renni hennar verið notað til ýmissa vinnslutæknilegra athugana svo sem til varmaskiptatilrauna.

Áratug eftir að hola 5 var boruð var borunum haldið áfram á Nesjavöllum. Var hola NG-6 boruð haustið 1982, og er sú hola sunnar en áður hafði verið borað (mynd 1). Forsenda fyrir þeirri staðsetningu var einkum sú að þar sem fyrri holur á Nesjavöllum hefði verið boraðar í útjaðar svæðisins til norðurs, væri rétt að hafa næstu holu vel inni á hinu eiginlega jarðhitasvæði. Önnur ástæða fyrir borun á þessum stað á þessum tíma var sú að nú voru fyrir hendi öryggislokar og því var talið að öryggisútbúnaður borsins væri það góður að auðvelt ætti að vera að hemja holu þó að yfirprýstingur væri í jarðhitakerfinu. Slíkur búnaður var ekki fyrir hendi á árunum um 1970 þegar menn meira eða minna hrökkluðust út af jarðhitasvæðinu til þess að geta borað samilega djúpa holu.

Borun holu NG-6 gekk mjög vel, og jafnvel þótt nokkurra bara yfirprýstingur reyndist vera á litlu dýpi gekk vel að ráða við hann. Hins vegar kom í ljós að neðan við 800 m dýpi var mun lægri prýstingur í jarðhitakerfinu þannig að ekki reyndist hægt að bora að ráði niður fyrir fyrstu góðu æð sem skorin var í borun á þessum stað. Hola NG-6 varð því aðeins 1145 m djúp. Afköst hennar eru hins vegar mjög góð og var rennsli úr henni í desember 1984 nálægt 30 kg/s með varmainsihaldi um 1900 kJ/kg (Valgarður Stefánsson o.fl. 1983).

Eftir að þetta prýstingsástand í holu NG-6 kom í ljós var í fyrstu álitnið að þurrugufulag gæti verið fyrir hendi á ca 800-1100 m dýpi og að þessi gufa væri við 87 bar og 297°C hita. Næsta skref í rannsókn jarðhitakerfisins væri því að bora fleiri holur inni á sjálfu jarðhitasvæðinu, þar sem NG-6 er, og að fódra af efstu 800 m þannig að renni holunnar kæmi einungis úr því dýptarbili þar sem gufulag gæti verið fyrir hendi.

Næsta hola sem boruð var á Nesjavöllum, NG-7, var hins vegar boruð 300 m norðan við holu NG-5. Þeirri holu var einkum ætlað að tryggja gufu til vinnslutækniathugana sem fram fara við holu NG-5.

Hola NG-7, sem boruð var haustið 1983 í 2001 m dýpi, sýndi mun ákveðnari jaðarmerki en hola NG-5 (Valgarður Stefánsson og Einar

Gunnlaugsson 1985). Hins vegar reyndist afl holunnar mjög viðunandi þegar tókst að koma henni í blástur. Varmi úr holunni er rúm 40 MW en heildarrensli 35 kg/s og varmainnihald 1220 kJ/kg.

Sumarið 1984 voru boraðar 3 holur á Nesjavöllum. Tvær holanna (nr. 8 og 9) voru staðsettar inni á jarðhitasvæðinu en þriðja holan (hola 10) var boruð til þess að kanna austurjaðar jarðhitakerfisins. Niðurstöður þessara borana urðu í stórum dráttum þær að yfirþrýstingur á litlu dýpi í holu NG-8 var svo mikill að ekki reyndist unnt að bora hana niður, og er holan aðeins 400 m djúp. Hola NG-9 sýndi svipaða eiginleika og hola NG-6. Hún var fóðruð í 824 m með steyptri fóðringu, og náðist því ómengað renni úr því dýptarbili, þar sem grunur var um að þurr-gufa væri fyrir hendi. Það kom hins vegar í ljós í holu NG-9 að á þessu dýpi er jarðhitakerfið ekki þurr gufa heldur tveggja fasa sjóðandi kerfi þar sem þrýstingur eykst með dýpi eins og í sjóðandi vatnssúlu.

Hola NG-10 sýnir mjög hreinræktuð jaðareinkenni. Hiti er nokkru lægri (260°C) en annars staðar þar sem borað hefur verið fram að þessu og gas í renni er einnig mun minna. Hins vegar er afl holunnar mjög viðunandi (varmi 65 MW) sem gerir það að verkum að hún nýtist mjög vel sem vinnsluhola, en það hefur einmitt verið stefnt að því að staðsetja rannsóknarholur á Nesjavöllum þannig að þær nýtist sem vinnsluholur þegar fram líða stundir.

Hitaveita Reykjavíkur er eigandi Nesjavalla, og kostar hún boranir og aðrar rannsóknir á jarðhitasvæðinu þar. Um áratugaskeið hefur Jarðhitadeild Orkustofnunar veitt hitaveitunni ýmiskonar jarðhitafræðilega ráðgjöf og auk þess unnið ýmis sérhæfð verk fyrir hana, misjafnlega umfangsmikil.

Þegar boranir hófust á ný á Nesjavöllum 1982 var byrjað á því að semja sérstaklega við JHD um rannsóknir sem tengdust borun einstakra hola. Á árinu 1984 er síðan gerður rammasamningur milli HR og JHD þar sem kveðið er á um að JHD veiti HR alhliða jarðhitalega ráðgjafarþjónustu vegna jarðhitaleitar og mats á afkastagetu og vinnslueiginleikum þeirra svæða sem hitaveitan nýtir eða hyggst nýta í framtíðinni.

Margt bendir til þess að virkjun á Nesjavöllum geti orðið stærsta virkjun á Íslandi ef miðað er við orkumátt stöðvarinnar. Eins og þegar er getið er aðdragandinn orðinn langur, en það er einkum á síðustu árum, að farið hefur verið að miða við að hægt verði að taka ákvörðun um virkjun og virkjunartilhögun á árinu 1985 eða 1986. Undirbúningur á Nesjavöllum er tiltölulega meiri en tíðkast hefur fram að þessu við virkjun á háhitasvæðum á Íslandi. En um leið er hann til fyrirmyndar og tekur fram undirbúningi annarra stórra háhita-

virkjana hér á landi

Rannsóknir síðustu ára á Nesjavöllum hafa miðast við að sannreyna vinnslugetu þess svæðis á Nesjavöllum, sem er í eigu Hitaveitu Reykjavíkur. Vitneskja um slíkt byggist á borunum í jarðhitakerfið. En sú kvöð hefur verið sett á staðsetningu rannsóknarhola að þær þurfi að vera inni á vinnslusvæði tilvonandi virkjunar. Þetta þýðir í reynd að tiltölulega lítil áhætta er tekin við borun rannsóknarhola og það sjónarmið látið ráða að þær nýtist sem vinnsluholur fremur en þær veiti skjóta vitneskju um stærð vinnslusvæðisins.

Ástæðan fyrir slíkri tilhögun er einfaldlega sú að borholur eru tiltölulega dýr mannvirki og það getur skipt sköpum fyrir hagkvæmni virkjunar að sem flestar rannsóknarholur nýtist sem vinnsluholur þegar til virkjunar kemur. Fram að þessu hefur þessi stefna borið mjög ríkulegan ávöxt á Nesjavöllum því allar holur sem boraðar hafa verið frá því 1982 geta nýst sem vinnsluholur.

3 STAÐA RANNSÓKNA

Öll jarðhitasvæði hafa sín sérkenni, sem ákvarða forgangs röð þeirra rannsókna sem taldar eru áhugaverðastar hverju sinni. Ytri aðstæður eins og eignarréttur og nýtingaráform ráða oft miklu um tilhögun og hraða rannsókna.

Umfang rannsókna stjórnast auðvitað af þeirri áhættu sem menn vilja taka hverju sinni. Slíkt mat á áhættu við virkjun jarðvarma á Íslandi virðist oft hafa verið mjög lauslegt svo ekki sé sterkara að orði kveðið.

Við jarðhitarannsóknir síðustu ára á Nesjavöllum hefur meginmarkmiðið verið að fá fram afkastagetu þess hluta jarðhitasvæðisins sem er í eign Hitaveitu Reykjavíkur. Þetta markmið er auðvitað háð vissum áhættupáttum. Þannig verður t.d. áhættan minni ef fyrirhuguð stærð virkjunar er lítill hluti af áætlaðri afkastagetu jarðhitakerfis. En áhættan er á mörgum sviðum. Má t.d. nefna vinnslueiginleika jarðhitakerfisins og efnasamsetningu jarðhitavökvans. Við mat á afkastagetu jarðhitasvæðis er beitt einhverjum ákveðnum aðferðum til þess að reikna út líklegustu afkastagetu. Skekkjumörk í slíku mati er auðvitað háð gæðum þeirra aðferða sem notaðar eru, svo og áreiðanleika þeirra mæligagna sem notuð eru við matið. Það væri því allmikil áhætta fólgin í þeirri ákvörðun að fullnýta alla afkastagetu jarðhitakerfisins í einu þrepi.

Sérstaða Nesjavallasvæðisins er einkum sú hve margbreytilegt jarðhitakerfið er. Mismunur á hita og þrýstingi innan svæðisins er mikill (sjá kafla 4). Einnig hefur kerfið þá sérstöðu að hlutar þess eru tveggja fasa sjóðandi kerfi, en aðrir hlutar virðast vera einfasa heitavatnskerfi. Þessar aðstæður gera það m.a. að verkum að umfang rannsókna og borana þarf að vera meira en þegar um einsleitt (homogent) jarðhitakerfi er að ræða, ef miðað er við sömu áhættu í báðum tilvikum.

Rannsóknir síðustu ára á Nesjavöllum hafa einkum falist í borunum. Sú aðferð er valin vegna þess að takmark rannsókna er að ákvarða stærð og legu vinnslusvæðis á Nesjavöllum með virkjun í huga. Ákvörðun um slíkt stórvirki þarf að byggja á haldgóðum upplýsingum. Óbeinar rannsóknaraðferðir eins og t.d. yfirborðsrannsóknir gefa vissulega góðar vísbendingar um gerð og stærð svæðisins og eru notaðar til að gera staðsetningar borhola markvissari. En vitneskja um vinnslugetu og vinnslueiginleika fæst aðeins með borunum.

Það er eðli jarðhitarannsóknna að tengja saman niðurstöður mismunandi fræðigreina til þess að fá fram skýra mynd af jarðhitanum. Slík samtúlkun gagna er jarðhitarannsóknnum mikill styrkur, hvernig sem á er litið, því að hún byggir gjarnan á óháðum breytistærðum.

Þegar verið er að byggja upp mynd af jarðhitakerfi er mjög nauðsynlegt að nota margar aðferðir og fræðigreinar við athugun á jarðhitanum og að tengja niðurstöður hinna ýmsu rannsóknaraðferða saman eins og kostur er. Hvaða atriði þar koma til með að skipta mestu máli er erfitt að segja til um fyrirfram vegna þess að jarðhitakerfin eru svo breytileg. Mjög hættulegt er að flytja niðurstöður frá einu svæði til annars.

Við rannsóknarboranir síðustu ára hefur verið stefnt að því að ákvarða stærð og legu vinnslusvæðis á Nesjavöllum. Gengið er út frá holum 1-5 og við val á nýju borstæði er ávallt tekið mið af öllum borholum á svæðinu þannig að alltaf sé tekið fyrir stærra og stærra landsvæði. Þær upplýsingar sem fást úr borholunum t.d. frá borholujarðfræði og hitamælingum eru jafnóðum lagðar til grundvallar ákvörðun um það, til hvaða áttar vænlegast sé að beina borunum hverju sinni. Svo sem fram kemur í kafla 4 er t.d. núna áhugaverðast að kanna svæðið vestur og norðvestur af núverandi borsvæði (Kýrdalir).

Auk þess er sett það skilyrði um staðsetningu hola að taka ekki alltof stór skref í einu. Þetta skilyrði er sett til þess að taka ekki mjög stóra áhættu í rannsóknarborunum svo að sem flestar rannsóknarholur komi til með að nýtast sem vinnsluholur þegar fram líða stundir.

Í grófum dráttum má segja að nú í byrjun árs 1985 sé búið að skilgreina með borunum vinnslusvæði sem er um 2,7 km² að stærð. Þegar kemur að því að meta hvaða afkastagetu megi vænta af þessu vinnslusvæði koma einkum til tvö atriði. Annars vegar hvaða afl er væntanlegt úr hverri borholu og hins vegar hversu þétt holur eiga að vera á svæðinu. Fyrra atriðinu má svara með því að gera ráð fyrir að meðaltalsafl í nýjum holum verði það sama og fengist hefur úr þeim holum sem fram að þessu hafa verið boraðar í svæðið. Tafla 1 sýnir helstu rennsliseiginleika hola 5-10 á Nesjavöllum.

TAFLA 1 Rennsli úr borholum á Nesjavöllum

Holur	Heildar rennsli [kg/s]	Varma innihald [kJ/kg]	Hrávarmi [MW]
NG-5	13	1300	17 (34)
NG-6	29	1920	56
NG-7	35	1220	43
NG-8	1-5	940	1-5
NG-9	29	2080	60
NG-10	50	1300	65
		Summa	241
	Meðaltal allra hola		40
	Meðaltal án holu 8		48
	Meðaltal án hola 8 og 5		56

Þar sem HR hyggst nýta Nesjavallasvæðið fyrst og fremst til varma-
vinnslu er það hrávarmi úr hverri holu sem skiptir mestu máli fyrir
afkastagetu jarðhitasvæðisins. Til þess að meta afkastagetu svæðis
virðist eðlilegt að gera ráð fyrir að meðaltalsafl hverrar holu sé 56
MWth.

Þegar kemur að því að meta skynsamlega fjarlægð milli hola við lang-
tímanýtingu eru ekki fyrir hendi mjög áreiðanleg gögn. Nú er vitað að
álitlegasti hluti jarðhitakerfisins á Nesjavöllum er í suðu, og það
eru ekki nema um 8 ár síðan menn gerður sér grein fyrir tilvist og
eiginleikum slíkra jarðhitakerfa. Löng nýtingarsaga slíkra jarðhita-
kerfa er því ekki fyrir hendi. Lengsta nýting slíkra svæða er Krafla
(8 ár), Olkaria í Kenya (5 ár), Tongonan á Filippseyjum (2 ár). Það
er því ekki hægt að draga ályktanir um viðbrögð slíkra jarðhitakerfa
út frá vinnslusögu. Hins vegar hafa verið gerðir reikningar (hermun)
um viðbrögð jarðhitakerfanna í Kröflu og í Olkaria (Guðmundur S.
Böðvarsson et al 1984 a, b, c, Pruess et al 1984, Guðmundur S.
Böðvarsson et al 1985 a, b, c). Þessi hermun er því það skásta sem
völ er á til þess að meta viðbrögð Nesjavallakerfisins við 20-30 ára
nýtingu.

Niðurstöður hermunar á Kröflu og Olkaria eru m.a. þær að þegar litið
er til langs tíma (10-20 ár) er ekki ráðlegt að hafa vinnsluholur
staðsettar þétt á vinnslusvæðinu. Reikningar gerðir fyrir Olkaria
kerfið sýna t.d. að orkan sem hægt er að draga úr hverjum ferkílómetra
þar á 30 ára tímabili er nokkurn veginn sú sama hvort sem boraðar eru

11 eða 20 holur á hvern ferkílómetra. Þetta stafar m.a. af því að þar sem lekt og poruhluti bergs eru lág verður aðfærsla að holum tiltölulega takmörkuð, en ef litið er til langs tíma er það fyrst og fremst aðfærslan sem ákvarðar rennsli úr borholum.

Við val á heppilegum holupéttleika á Nesjavöllum hefur verið ákveðið að miða við 11 holur/km². Vera má að tilvonandi hermireikningar um Nesjavelli gefi eitthvað lægri tölu, en mjög ólíklegt að meiri holupéttleiki sé æskilegur. Péttleikinn 11 holur/km² samsvara því að það séu að meðaltali 300 m á milli hola.

Það að nota niðurstöður frá Kröflu og Olkaria til að meta Nesjavalla-svæðið er réttlæt看legt m.t.t. þess að lekt í öllum þessum þrem jarðhitakerfum er nokkuð svipuð, og að öll þessi þrjú kerfi eru í suðu (tveggja-fasa).

Til þess að meta það afl sem núverandi borsvæði getur staðið undir í 20-30 ár þurfum við einnig að vita hvernig og hversu mikið rennsli úr hverri holu minnkar með tíma. Hér er sem áður að ekki er til nýtingarsaga borhola úr sjóðandi kerfum sem spannar þetta langan tíma. Eins og áður nýtum við því niðurstöður hermireikninga sem skástu viðmiðun. Hermun á blæstri borhola í Kröflu og Olkaria gefur þær niðurstöður að hnignun slíkra hola sé tiltölulega lítil eða að meðaltali 1,5-2% á ári. Við einföldum málið og miðum við að aflið minnki um 50% á 20 ára tímabili. Hér getur verið að borholur sem mannvirki endist ekki svo langan tíma en þar sem þessar tölur eru einungis notaðar til þess að meta svæðiseiginleika er þessi einföldun réttlæt看leg. Vinnslutilhögun er þá hugsuð þannig að eftir því sem borholum hnignar með tíma verði boraðar viðbótarholur. Til þess að koma þessum viðbótarholum fyrir þarf því að byrja vinnsluna með holupéttleika $11/1,5 = 7,3$ holur/km², en eftir 20 ára vinnslu verður holupéttleiki kominn í 11 holur/km². Við getum nú notað þessar tölur til að meta afkastagetu núverandi borsvæðis.

Stærð núverandi borsvæðis: 2,7 km²

Holupéttleiki í byrjun vinnslu: 7,3 holur/km²

Meðal afl holu á fyrsta blástursári: 56 MW

Hrávarmi úr þessu svæði ætti því að vera $2,7 \times 7,3 \times 56 = 1100$ MW.

Ef þessi varmi er notaður til hitaveitu ætti hann að standa undir 550 MW varmaorkuveri.

Efnasamsetning borholuvökva er tiltölulega hagstæð en tafla 2 sýnir efnasamsetningu vökva úr fjórum holum á Nesjavöllum. Rennsli úr holum skiptist í megindráttum í tvo hópa. Annars vegar eru þær holur sem taka inn vökva úr þeim hluta jarðhitakerfisins, sem er í suðu (holur

NG-6 og NG-9) en hins vegar þær holur (NG-5, NG-7 og NG-10) sem taka inn vökva í hreinum vatnsfasa. Vatnsholur hafa varmainnihald nálægt 1300 kJ/kg en hinar um 2000 kJ/kg. Þessi munur virðist líka endurspeglast í efnasamsetningu borholuvökvans (tafla 2), en ekki hefur verið unnið nákvæmlega úr gögnum þar að lútandi ennþá.

TAFLA 2 Efnainnihald í heildarrennsli. Styrkur efna í mg/kg.

Hola	NG-5	NG-6	NG-7	NG-9
Dags.	83-06-24	84-09-30	84-09-29	84-11-21
Po bar-a	7,2	20	8,8	10,2
Ho (kJ/kg)	1240	1828	1220	2185
SiO ₂	531,7	446,5	593,5	285,6
Na	101,3	59,1	132,8	53,1
K	18,3	10,8	20,8	7,1
Ca	0,20	0,03	0,36	0,01
Mg	0,02	0,00	0,00	0,00
SO ₄	27,4	3,65	22,90	1,89
Cl	1,6	43,7	4,58	30,6
F	0,78	0,40	1,11	0,23
CO ₂	1421,0	2668,4	1303,6	2560,0
H ₂ S	412,0	801,5	313,9	817,4
H ₂	14,1	40,2	29,0	38,4
CH ₄	4,6	1,75	7,4	3,4
N ₂	53,5	35,8	61,9	33,3
O ₂ + Ar	2,5	2,1	2,1	1,61

Þótt staða rannsókna á Nesjavöllum sé mjög góð, og ákvörðunar um virkjun þar megi senn vænta eru ennþá fyrir hendi spurningar sem gott væri að fá skorið úr sem fyrst. Má þar til nefna:

Að heildarafkastagetu Nesjavallasvæðisins hefur enn ekki verið ákvörðuð með borunum. Einungis hefur verið lagt mat á afkastagetu þess svæðis sem þegar hefur verið borað í.

Að forsendur sem notaðar eru við mat á afkastagetu, eins og t.d. hver holupéttleiki eigi að vera, eru ekki nákvæmlega athugaðar.

Að landsvæðið vestan við og norðvestan við núverandi borsvæði virðist vera mjög áhugavert sem vinnslusvæði.

Að mjög æskilegt er að meta hversu mikill hluti jarðhitakerfisins er í suðu og hve mikill hluti í vatnsfasa. Þetta atriði skiptir miklu máli ef orkuverið mun framleiða raforku og hitaorku samhliða.

Til þess að fá meiri vitneskju um þessi mál mun á næstunni einkum beitt þremur rannsóknaraðferðum, borun, yfirborðsrannsóknum og hermun (simulation).

Borunum mun verða haldið áfram, og áætlað er að bora allt að 5 holur á árinu 1985. Markmið þessarar aðgerða er að fá fram stærð og legu vinnslusvæðis. Einnig munu boranir gefa betri mynd af innri gerð jarðhitakerfisins, t.d. hversu mikill hluti kerfisins er í suðu og hversu mikill hluti er í vatnsfasa. Þá má ekki gleyma því að þessar rannsóknarholur munu væntanlega nýtast sem vinnsluholur í framtíðinni.

Jarðfræðirannsóknir í borholum á Nesjavöllum hafa einkum haft það að leiðarljósi að nota ummyndun bergsins til að kortleggja jarðhitakerfið og það einnig að meta þær jarðfræðilegu aðstæður sem stjórnna vatnsgæfni þess. Gott samræmi virðist vera á milli ummyndunar bergsins og þess líkans sem lýst er í kafla 4. Samanburður vatnsæða og berggrunnsins í borholunum bendir til að vatnsgæfni ofan ca. 600 m dýpis sé að jafnaði mest á jarðlagaskilum og þá sérstaklega á mörkum einstakra móbergsmýndana. Í neðri hluta berggrunnsins er slíkt mat mun erfiðara, en er þó talið að vatnsleiðni stjórnist meira af sprungum og innskotum en lagskilum upphleðslueininga.

Áætlað er að gera allítarlegar yfirborðsrannsóknir á árinu 1985, og má vera að hluti þeirra dragist fram á árið 1986. Tilgangur þeirra er að kortleggja sem best uppbyggingu svæðisins og að fá fram mögulega stærð á því svæði sem helst kemur til greina sem vinnslusvæði virkjunar á Nesjavöllum. Einnig er nauðsynlegt að safna mæligögnum um ótruflað ástand svæðisins áður en vinnsla hefst. Þessi viðmiðunargildi eru notuð við rekstur jarðhitakerfisins.

Auk þessa er ákveðið að nýta þá möguleika sem hermun hefur upp á að bjóða til þess að fá betri vitneskju um það hvernig jarðhitakerfið bregðist við nýtingu. Þau atriði sem skoðuð verða eru t.d. að herma eftir ótrufluðu ástandi kerfisins. Á þann hátt verður betur hægt að dæma það líkan sem hefur verið sett fram um jarðhitakerfið (sjá kafla 4). Auk þess sýna svona reikningar innan hvaða marka helstu stærðir (lekt, poruhluti) eru sem stjórnna þessu kerfi. Þá verður einnig athugað hvaða holupéttleiki er heppilegastur fyrir Nesjavallakerfið. Svo sem áður hefur komið fram gengur þessi stærð beint inn í mat á afkastagetu svæðisins. Að lokum mun svo verða hermt eftir langtíma-nýtingu svæðisins með því að ganga út frá rennslissögu einstakra

hola. Munu slíkir reikningar (well by well model) gefa bæði hegðun einstakra hola og viðbrögð kerfisins í heild. Sá galli er á þessarri aðferð að yfirleitt þykir ekki ráðlegt að treysta slíkum reikningum lengra fram í tímann en sem svarar til þess tíma sem rennslissagan nær til. Á Nesjavöllum verður rennslissagan aðeins nokkur ár. Hins vegar er hægt að bera saman mismunandi nýtingartilhögun við 20-30 ára vinnslu út frá hermireikningum.

Miðað við stöðu rannsókna á Nesjavöllum virðist ekkert vera því tæknilega til fyrirstöðu að hægt sé að taka rökstudda ákvörðun um fyrstu virkjun á Nesjavöllum á árinu 1986, að því gefnu að sú ákvörðun taki ekki til stærra orkuvers en t.d. 400 MW. Magn þeirrar vitneskju sem þarf að liggja fyrir við ákvarðanatöku um virkjun fer að nokkru eftir því hversu stóra virkjun er verið að taka ákvörðun um. Virkjun jarðhita er yfirleitt heppilegust í þrepum, þannig að vinnslan í fyrstu þrepum virkjunarinnar sé notuð til að sannreyna betur vinnslugetu og vinnslueiginleika viðkomandi jarðhitakerfis.

4 EÐLISÁSTAND JARÐHITAKERFISINS

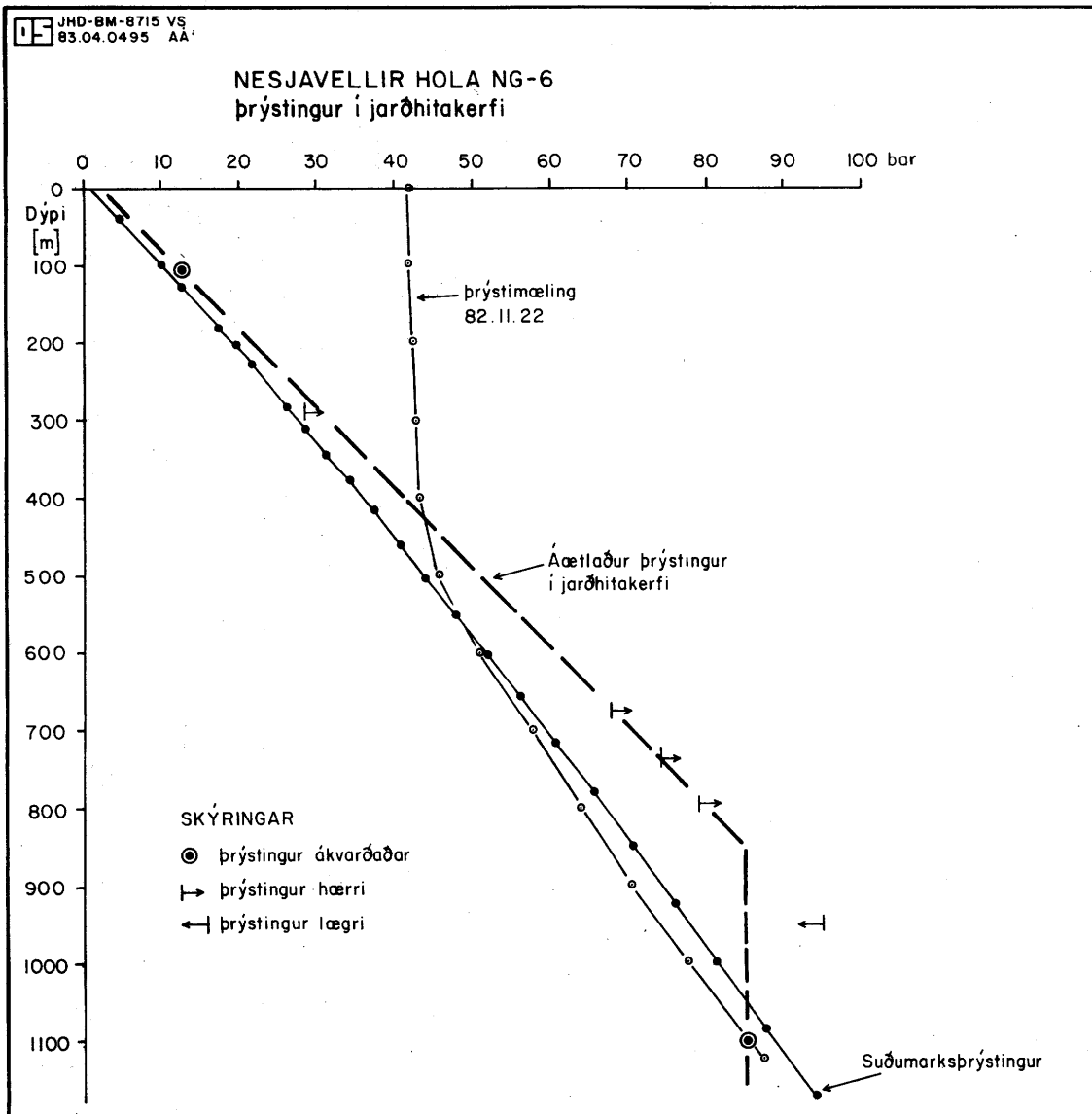
Fram til 1976 voru öll háhitakerfi á Íslandi talin vera heitavatnskerfi (liquid dominated systems), enda var á þeim tíma aðeins greint á milli þurrufukerfa (vapor dominated systems) og vatnskerfa. Nálægt 1976 fóru hins vegar athuganir og mælingar að benda til þriðju tegundar jarðhitakerfa, þ.e. sjóðandi jarðhitakerfis. Þessi sjóðandi jarðhitakerfi tengja á eðlilegan hátt saman gufukerfi og vatnskerfi og þær aðstæður geta auðveldlega komið upp að allar þrjár gerðir af eðlisástandi geti komið fram í sama jarðhitakerfinu. Íslenskir jarðhitasérfræðingar kynntust fyrst sjóðandi jarðhitakerfum í Kröflu og í Olkaria í Kenya (Valgarður Stefánsson 1981, Sveinbjörn Björnsson 1978), en Nýsjálendingar komust að svipaðri niðurstöðu á sama tíma við rannsóknir á Broadlandssvæðinu á Nýja Sjálandi og Tongonan svæðinu á Filippseyjum (Grant et al 1982).

Fljótlega eftir að menn höfðu gert sér grein fyrir eiginleikum sjóðandi jarðhitakerfa kom fram sú skoðun að jarðhitakerfið á Nesjavöllum væri af slíkum toga (Benedikt Steingrímsson og Valgarður Stefánsson 1979). Í framhaldi af þessu varð ljóst að búast má við að suða í háhitakerfum á Íslandi sé frekar algeng, og trúlega eru jarðhitakerfin á Reykjanesi, í Námafjalli og Kröflu auk Nesjavalla dæmi um sjóðandi jarðhitakerfi.

Við borun holu NG-6 kom fram mjög einkennileg mynd af þrýstingi með dýpi í jarðhitakerfinu á Nesjavöllum. Í efstu 800 m virtist þrýstingur vera meiri en sem samsvarar þunga kaldrar vatnssúlu, en neðan við 900 m dýpi var þrýstingur í jarðhitakerfinu mun lægri. Þessar aðstæður voru á sínum tíma túlkaðar svo að það gæti verið fyrir hendi þurrufufulag í kerfinu á ca. 1000 m dýpi. Hiti gufunnar þurfti að vera nálægt 298°C og þrýstingur 87 bar (mynd 2). Þessi túlkun var alger nýlunda í jarðhitafræðum vegna þess að fram að þeim tíma hafði ekki fundist þurrufukerfi undir öðrum kringumstæðum en við 35 bar þrýsting og með 242°C hita. Af þessum sökum var lögð mikil áhersla á að kanna eðlisástand kerfisins á þessu dýpi með því að bora holu, sem einungis tæki inn jarðhitavökva á þessu dýpi. Hola NG-9 svaraði þessum skilyrðum þar sem hún var fóðruð með steyptri fóðringu á 815 m en boruð í 1055 m. Hugmyndin um 87 bar gufufulag reyndist vera vitleysa og jarðhitakerfið er einfaldlega sjóðandi jarðhitakerfi með mun lægri þrýstingi en fyrir hendi er í efstu 800 m kerfisins (Valgarður Stefánsson 1985). Það gildir því ennþá að þurrufukerfi fyrirfinnast ekki í náttúrunni nema við 242°C og 35 bar þrýsting, sem er hágildi (maximum) varmainnihalds vatns (James 1968).

Á hinn bóginn hafa athuganir á þrýstingi í jarðhitakerfinu á Nesja-

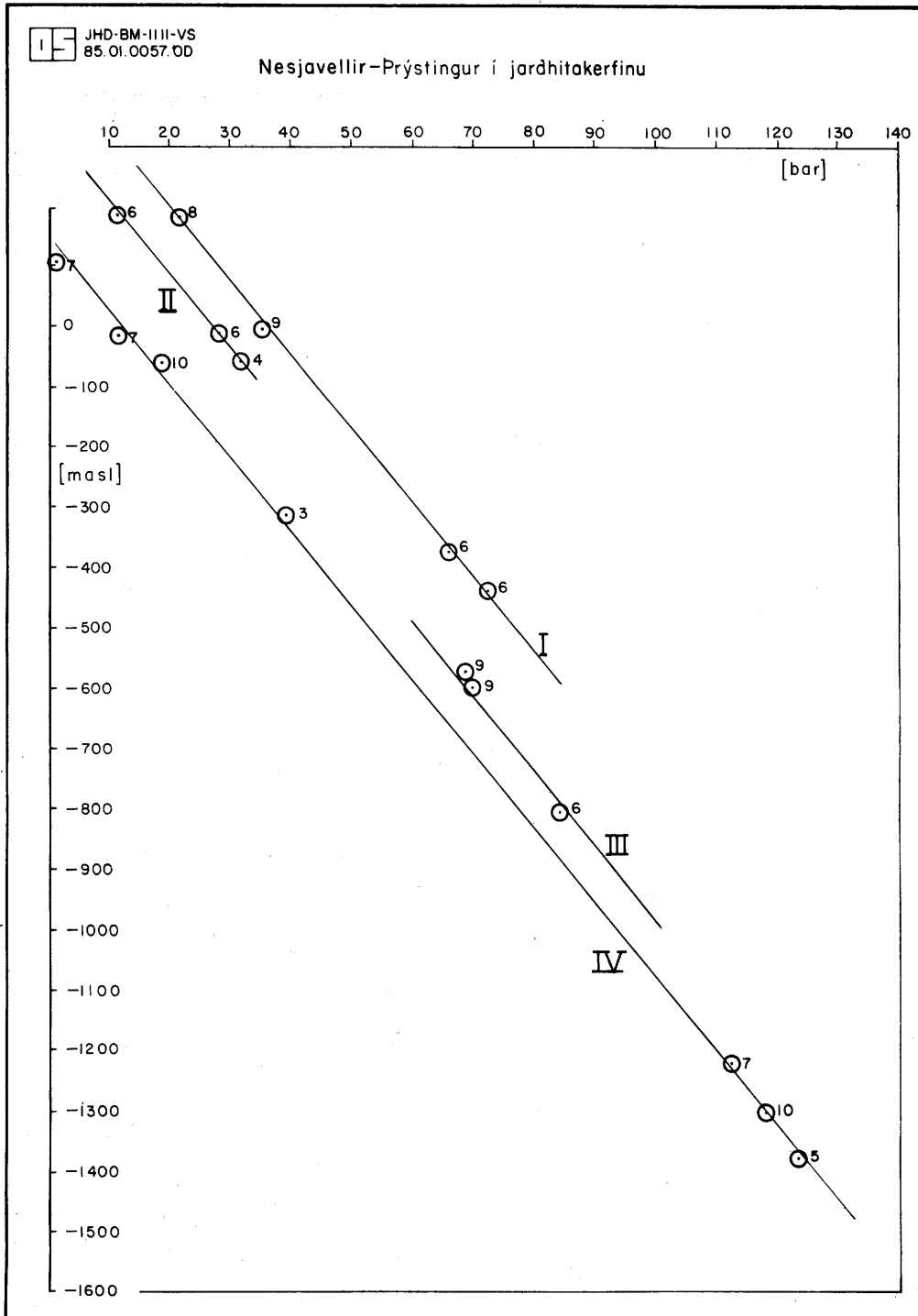
völlum framkallað mynd af eðlisástandi kerfisins, sem er mun flóknari en áður hafa fundist dæmi um.



MYND 2 Prýstingur í jarðhitakerfinu við holu NG-6

Mynd 3 sýnir prýsting í jarðhitakerfinu á Nesjavöllum. Í hverri holu er reynt að meta prýsting í jarðhitakerfinu út frá mismunandi forsendum. Þegar hola hefur verið boruð í fulla dýpt er fylgst með prýstingi í henni á meðan hún er að hitna upp. Prýstiprófíll holunnar stjórnast þá af sterkustu æð hennar og eðlisþyngd vökvans í holunni. Þar sem sterkasta æð holunnar er breytist prýstingur ekki þótt eðlisþyngd vökvans breytist með vaxandi hitastigi. Skurðpunktur prýstiprófíla í holu meðan hún er að hitna gefur þannig ákvörðun á ótrufluðum prýstingi í jarðhitakerfi við sterkustu æð holu (Grant 1979; Stefánsson and Steingrímsson 1980). Einnig má fá fram prýsting

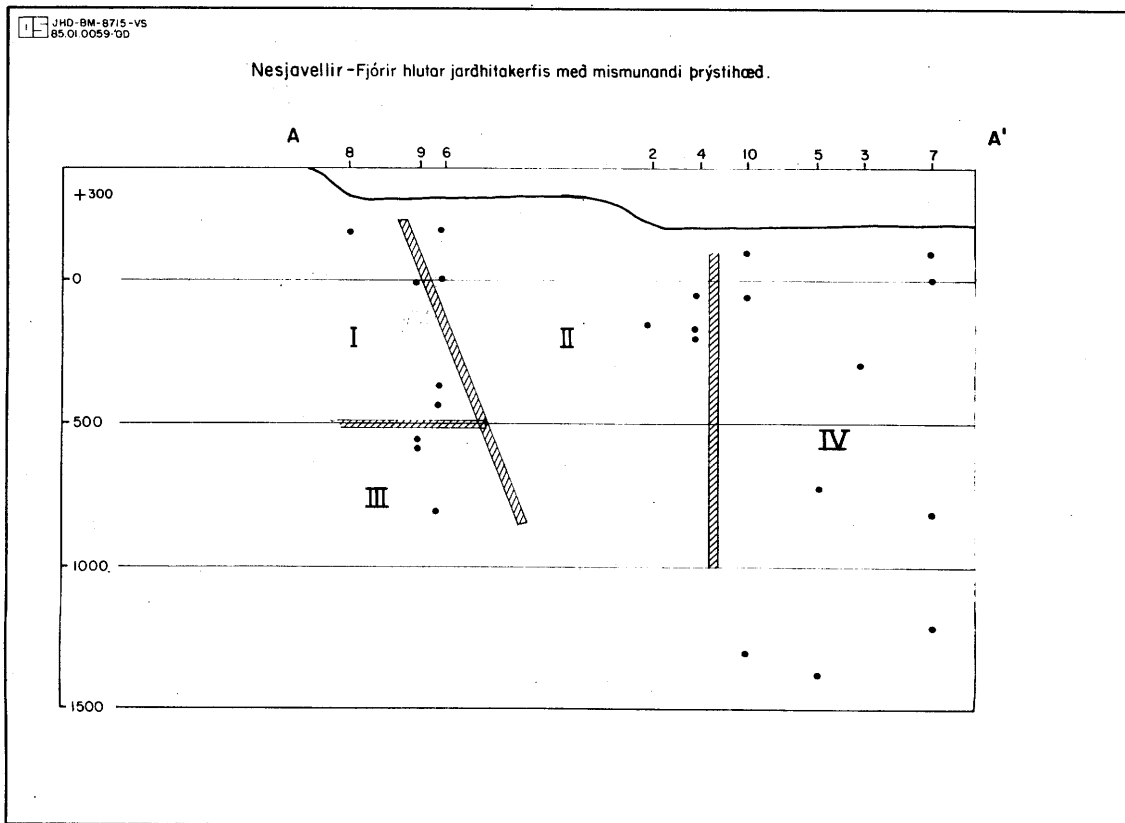
í jarðhitakerfi með því að mæla þrýsting á fyrstu vatnsæð sem skorin er eftir að hluti holunnar hefur verið fóðraður af með steyptri fóðringu. Báðar þessar aðferðir hafa verið notaðar við gerð myndar 3, sem á að sýna þrýsting í jarðhitakerfinu á Nesjavöllum.



MYND 3 Nesjavellir - Þrýstingur í jarðhitakerfinu

Hver einstakur punktur á mynd 3 tákna ákvörðun á þrýstingi við sérstaka æð í hverri holu og tölustafur við punkt tákna holunúmer á Nesjavöllum. Dýpi á æðar í holum hefur verið samræmt og er dýptarskalinn miðaður við sjávarmál. Þegar litið er á dreifingu mælipunkta á mynd 3 sést að þeir geta ekki tengst saman í eitt einfalt jarðhitakerfi, og minnsti fjöldi tenginga er að gera ráð fyrir fjórum kerfum, þar sem ógreiddur samgangur er þrýstingslega séð á milli þessarar undirkerfa. Þær línur, sem notaðar eru til þess að tengja saman þrýstipunkta á mynd 3 hafa þrýstistigul sem samsvarar eðlisþyngd á jarðhitavökva um 800 kg/m^3 sem er talið sennilegt gildi fyrir jarðhitakerfið á Nesjavöllum. Sérstaklega ber að nefna það að þau kerfi sem merkt eru II og III á mynd 3 eru ekki tengd saman í eitt kerfi vegna þess að þrýstingsákvarðanir í holu NG-6 gefa einnig punkta sem falla inn í kerfi I og eru þessir punktar á dýptarbili á milli ákvarðana sem falla inn í kerfi II og III.

Á það ber einnig að benda að kerfin fjögur á mynd 3 eru ekki sönnun þess að þær æðar séu tengdar sem tengdar eru saman í eitt kerfi á myndinni. Mynd 4 sýnir einfaldlega minnsta fjölda tenginga milli þeirra æða sem þar eru teknar til umfjöllunar. Í reynd gæti uppbygging jarðhitakerfisins verið flóknari, en það er gert að vinnureglu að halda líkani eins einföldu og mögulegt er.



MYND 4 Nesjavellir - Fjórir hlutar jarðhitakerfis með mismunandi þrýstihæð

Þessi fjórskipting jarðhitakerfisins, sem fram kemur á mynd 4 er tákn um margbreytileika jarðhitakerfisins í þrívíðu rúmi. Það er þó hægt að finna þversnið í jarðhitakerfinu, þar sem hægt er að afmarka kerfin rúmfræðilega á tiltölulega einfaldan hátt. Þessi framsetning er sýnd á myndinni, en lega sniðsins AA` er sýnd á mynd 5. Þó að myndin sé teiknuð til þess að sýna fram á að það sé hægt að tengja þessi fjögur kerfi saman í rúmi á tiltölulega einfaldan hátt ber að taka það fram að mynd 4 getur ekki verið grundvöllur að líkani af jarðhitakerfinu á Nesjavöllum. Það stafar einfaldlega af því að myndin getur ekki gengið sem tvívítt líkan að jarðhitakerfi, vegna þess að þar eru settir inn ógegndræpir veggir til þess að afmarka þessi fjögur þrýstingssvæði í jarðhitakerfinu.

Vegna þeirrar vinnureglu, sem áður var nefnd, að halda líkani eins einföldu og kostur er vilja menn halda í það í lengstu lög að hægt sé að skýra jarðhitann á Nesjavöllum með einu líkani, en ekki fjórum. Auk þess hafa t.d. athuganir á efnasamsetningu borholuvökva ekki gefið tilefni til að ætla að það þurfi að skifta jarðhitakerfinu í afmarkaðar einingar. Það er því nauðsynlegt að líta á fleiri atriði til þess að koma saman heillegri mynd af jarðhitakerfinu.

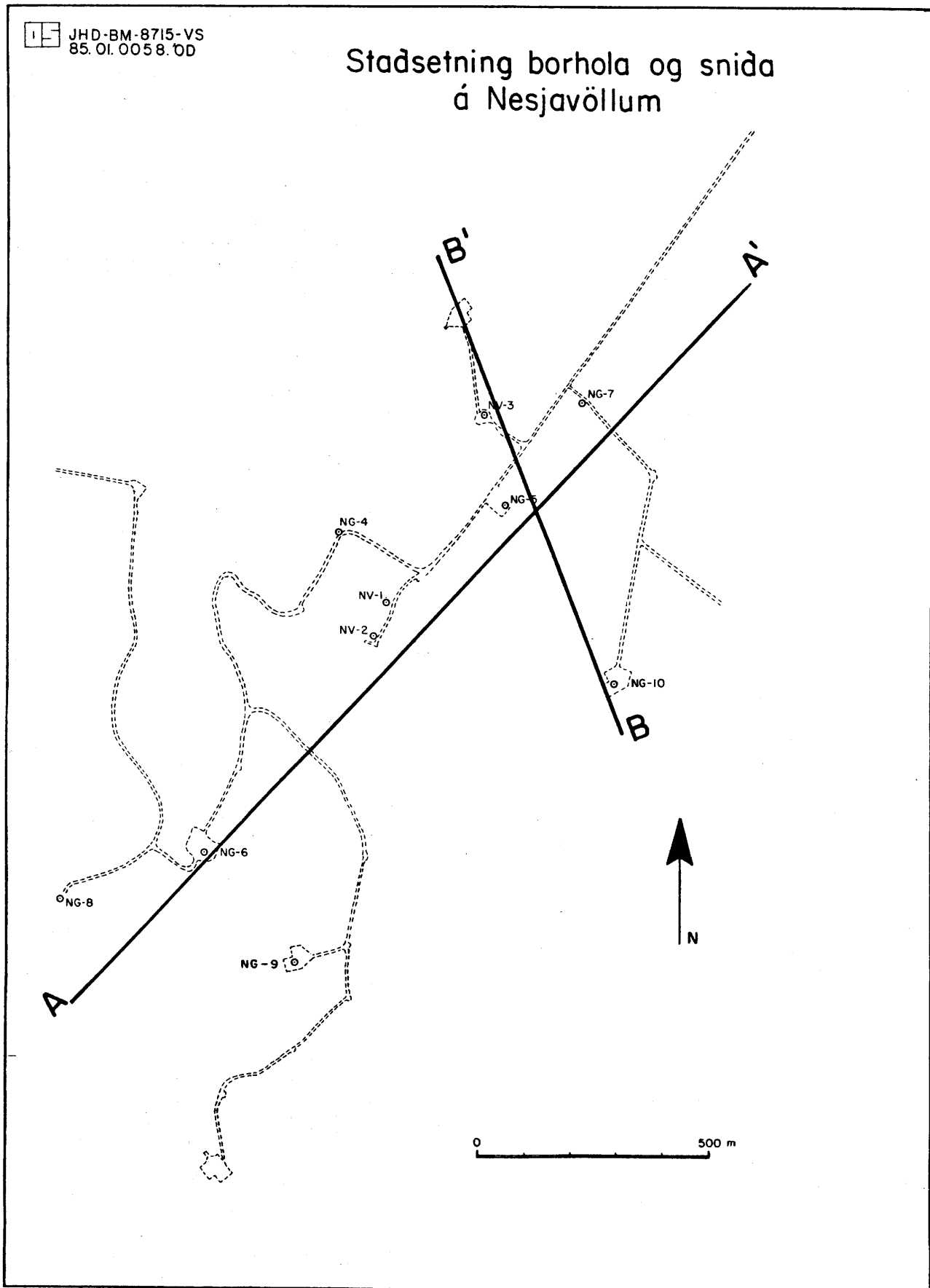
Næsta stig er að athuga þrýstingsbreytingar í láréttum fleti. Myndir 6 og 7 sýna þrýstingsdreifingu í jarðhitakerfinu við sjávarmál og 500 m neðan sjávarmáls. Af þessum myndum má ráða að bæði ofarlega og neðarlega í jarðhitakerfinu er þrýstingur hæstur í SV hluta þess svæðis sem borað hefur verið í, en lækkar mjög ört til NA. Þessi þrýstistigull í láréttum fleti er mjög hár eða nálægt 20 bar/km. Þetta þýðir að ef lárétt rennsli er fyrir hendi í jarðhitakerfinu er það í stórum dráttum frá SV til NA.

Athuganir á hitastigi í jarðhitakerfinu sýna að mörgu leyti svipaða mynd og þrýstingurinn. Mynd 8 sýnir hita í þversniði AA` (sjá mynd 5) á Nesjavöllum. Punktur á mynd 8 sýna hvar æðar eru í holunum, en tölur við punktana gefa þá staði þar sem hiti hefur verið ákvarðaður í jarðhitakerfinu með sæmilegu öryggi.

Það sama gildir fyrir ákvörðun á hitastigi í jarðhitakerfi eins og fyrir ákvörðun á þrýstingi að mælingar í borholu gefa yfirleitt ekki ákvörðun á hitastigi í jarðhitakerfinu nema á einum stað í holunni, og oft er það ekki einfalt mál að túlka á hvaða dýpi er samsvörun milli hita í holu og hita í jarðhitakerfi.

JHD-BM-8715-VS
85.01.0058.0D

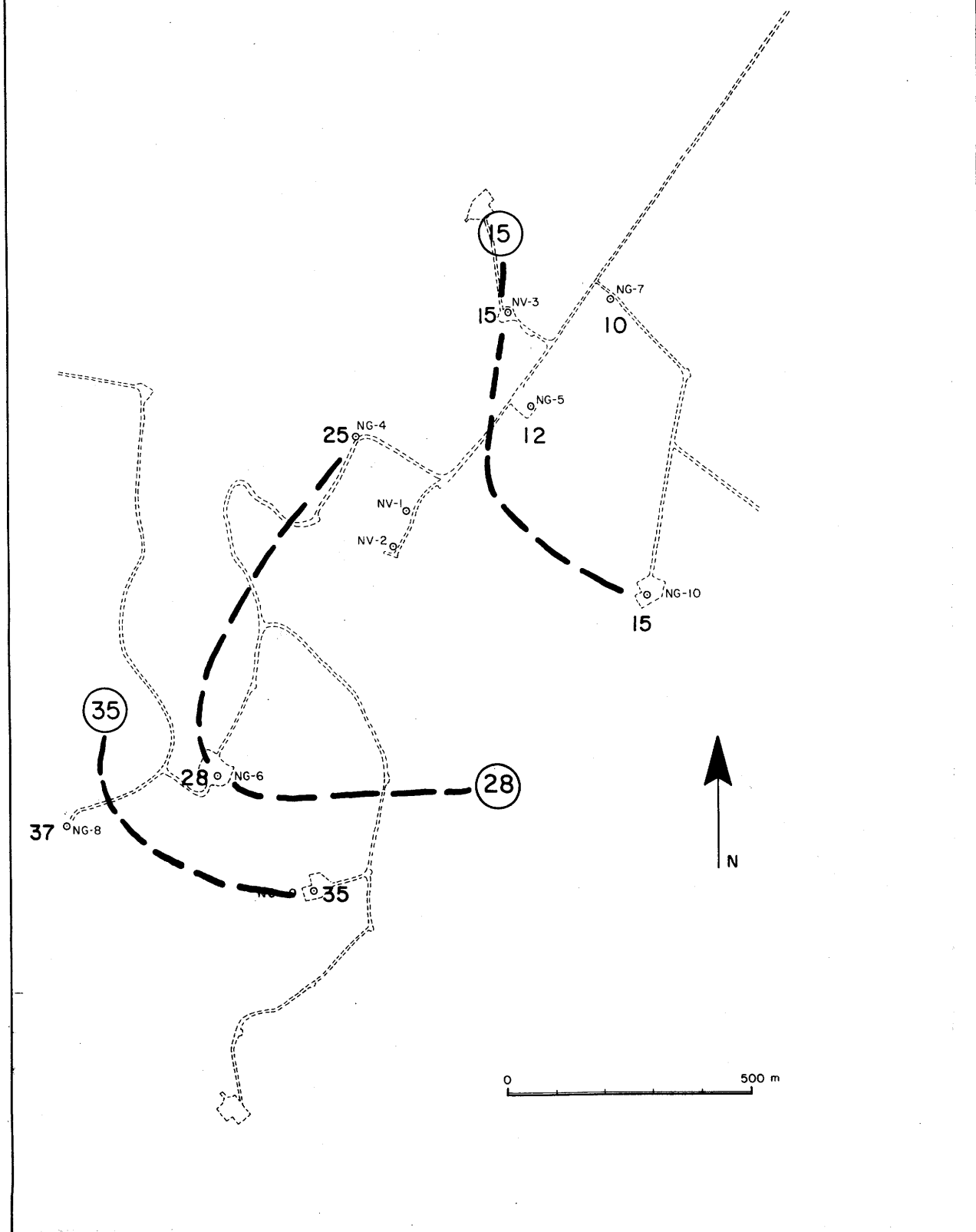
Staðsetning borhola og sniða á Nesjavöllum



MYND 5 Staðsetning borhola og sniða á Nesjavöllum

JHD-BM-8715-VS
85.01.0060.0D

Prýstingur í bar við sjávarmál

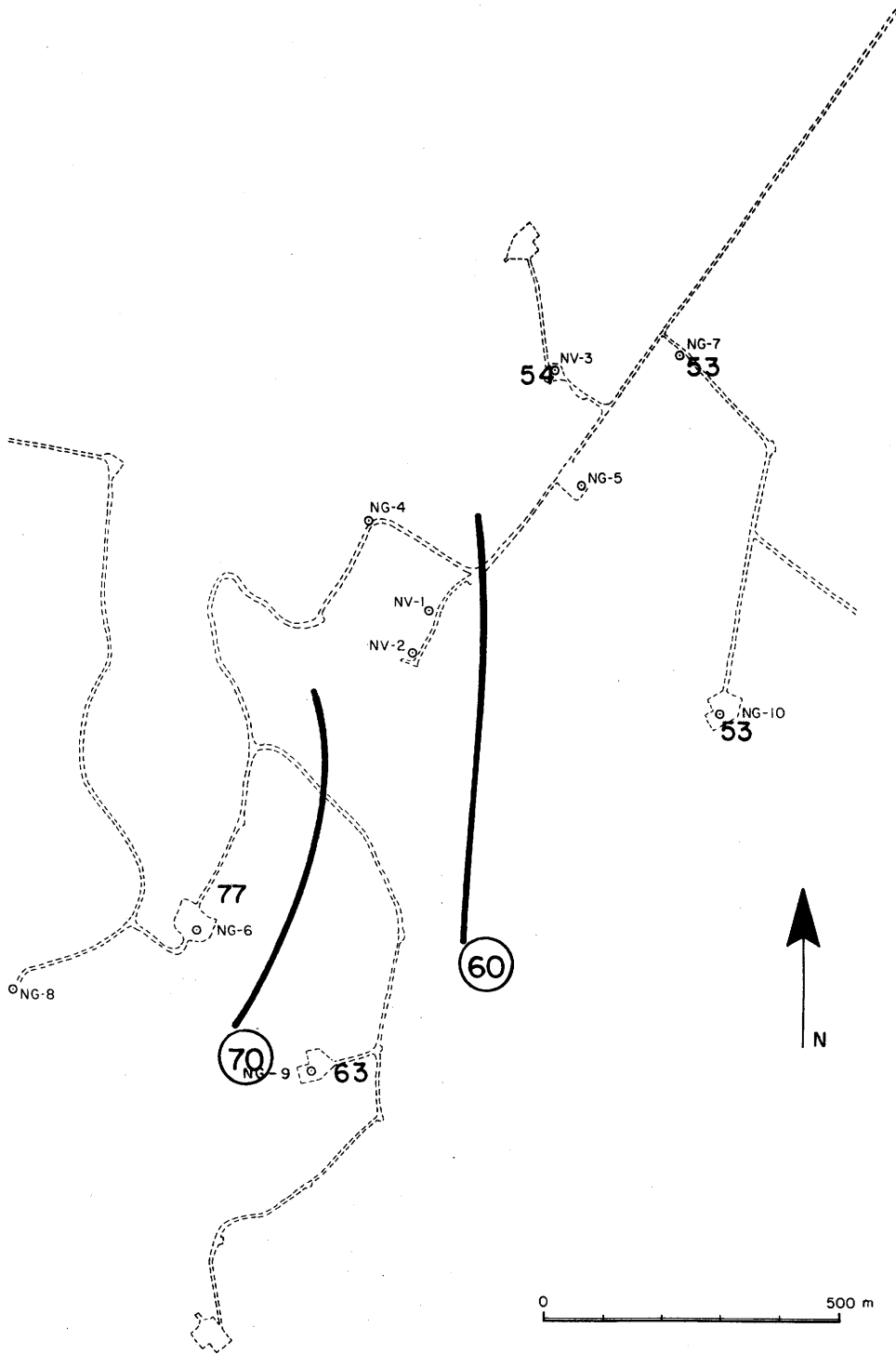


MYND 6 Nesjavellir - Prýstingur í bar við sjávarmál



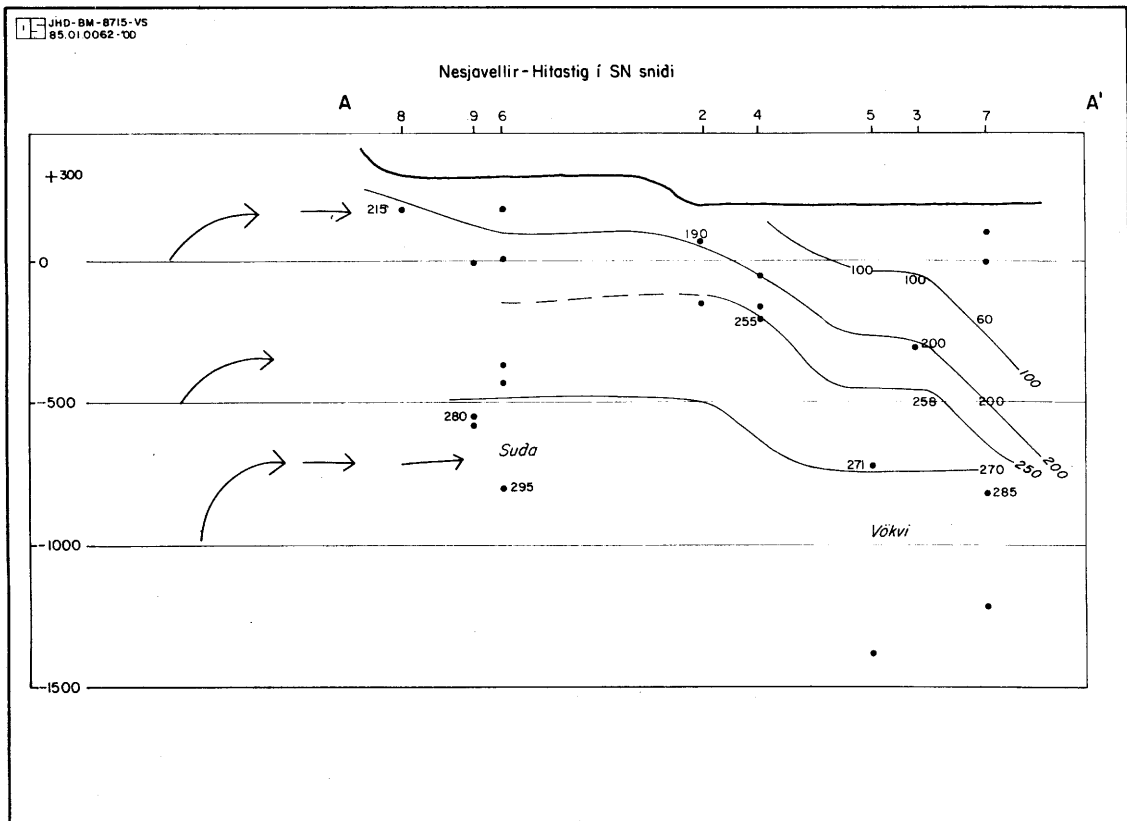
JHD:BM-8715-VS
85.01.0061. 0D

Þrýstingur í bar 500m neðan við sjávarmál



MYND 7 Nesjavellir - Þrýstingur í bar 500 m neðan við sjávarmál

Mynd 8 sýnir að í stórum dráttum er hæst hitastig í SV hluta svæðisins, en hiti lækkar mjög verulega í NA hluta þess svæðis sem borað hefur verið í (holur NG-5 og NG-7). Það er því mjög gott samræmi milli hita og þrýstings í kerfinu, og mynd 8 bendir til að hola NG-7 sé mjög nálægt norðurmörkum jarðhitakerfisins. Að minnsta kosti dýpkar mjög verulega á vinnanlegan jarðhita til norðurs, og þó að mögulegt verði að finna nægan hita norðan við holu NG-7 er líklegt að nota þurfi djúpar steyptar fóðringar og að efri hluti holanna verði mjög kaldur þannig að það þurfi vissar tilfæringar til að koma holum í blástur.



MYND 8 Nesjavellir - Hitastig í NS sniði (A-A'). Örvar tákna mögulegar streymisleiðir.

Hitadreifingin í jarðhitakerfinu er þó nokkru flóknari svo sem fram kemur á myndum 9 og 10, en þær sýna jafnhitalínur í jarðhitakerfinu í láréttum fleti, annars vegar við sjávarmál og hins vegar 500 m neðan við sjávarmál. Ef þessar myndir eru skoðaðar með hliðsjón af því að í jarðhitakerfinu á Nesjavöllum virðast fara saman hár hiti og hár þrýstingur virðist mega túlka myndir 9 og 10 þannig að lárétt rennsli í jarðhitakerfinu frá SV til NA sé norðvestan við það svæði, sem borað hefur verið í. Þetta hefur m.a. það í för með sér að boranir í Kýrdölum eru mjög áhugaverðar, og má segja að fyrirbyggjandi athuganir á borholum bendi til að þar sé vinnanlegur jarðhiti.

Til þess að undirstrika betur þrívíða mynd jarðhitans á Nesjavöllum sýnir mynd 11 hitaþversnið frá SA til NV í norðurhluta svæðisins. Staðsetning sniðsins er sýnd á mynd 5. Mynd 11 sýnir að hola NG-10 verður að flokkast sem jaðarhola og er það í samræmi við það að gas í renni þeirrar holu er minna en mælst hefur í öðrum holum á Nesjavöllum. Hitadreifingin á mynd 11 bendir hins vegar til að það sé vinnanlegur jarðhiti NV af holum LV-3 og NJ-11. Það má því ætla að það sé hægt að stækka vinnslusvæðið á Nesjavöllum til vesturs og til norðvesturs.

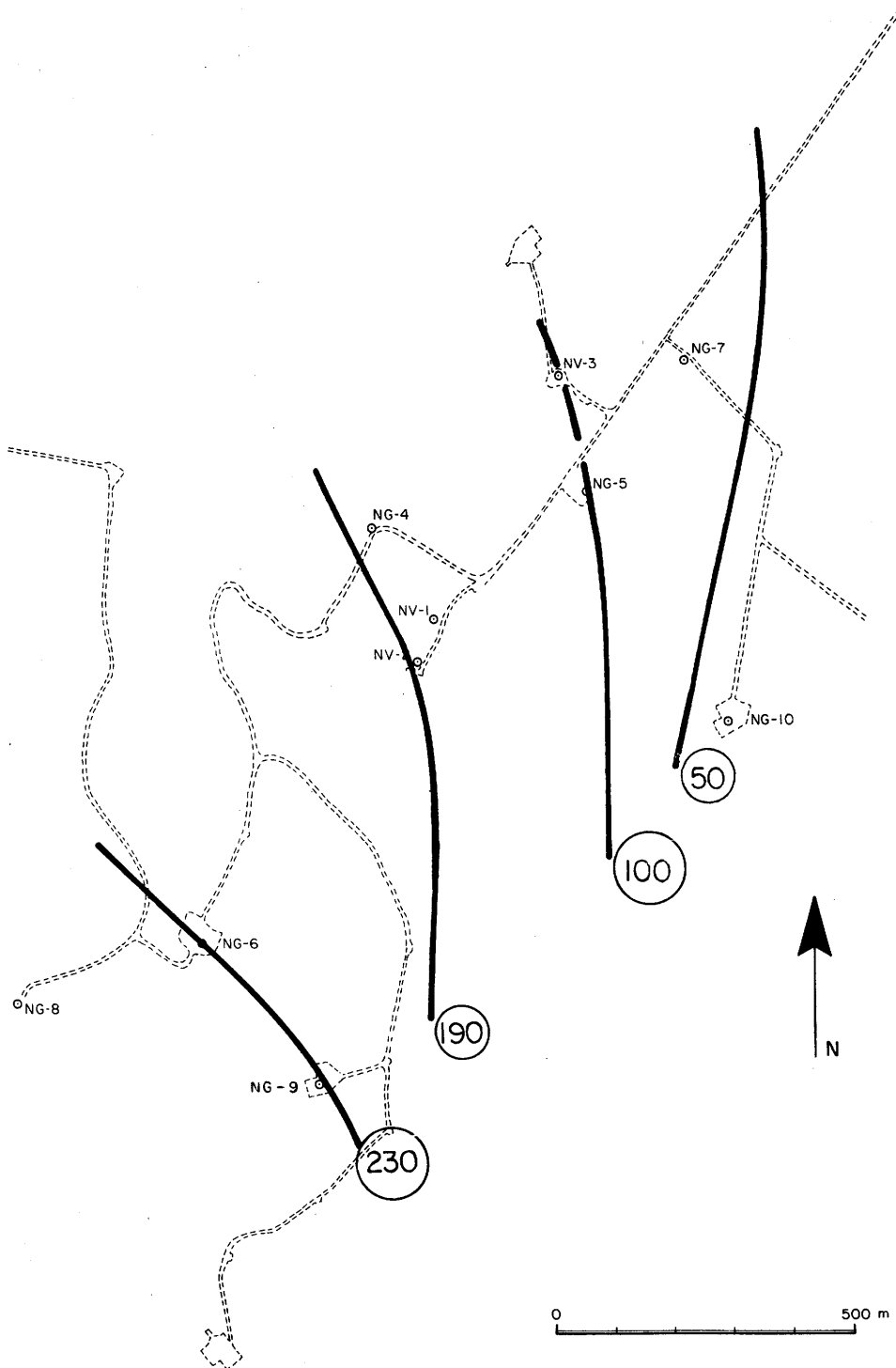
Þegar reynt er að draga saman þær upplýsingar sem fyrir liggja um hita og þrýsting í jarðhitakerfinu á Nesjavöllum virðast eftirfarandi atriði koma fram:

- Þrýstingur í jarðhitakerfinu er mjög breytilegur bæði lárétt og lóðrétt. Almenn séð er þrýstingur hæstur í SV horni þess svæðis sem borað hefur verið í, en lægstur í NA horninu.
- Hiti breytist einnig verulega í jarðhitakerfinu en er almenn séð hæstur í SV horni þess svæðis sem borað hefur veirð í.
- Sumir hlutar jarðhitakerfisins á Nesjavöllum eru tveggja fasa sjóðandi kerfi, en aðrir hlutar eru eins fasa vatnskerfi.
- Efnasamsetning borholuvökva bendir ekki til að jarðhitakerfið sé aðgreint í mörg kerfi en athuganir á þrýstingi benda til að hægt sé að tala um a.m.k. fjögur undirkerfi þar sem þrýstingur er mismunandi.
- Breytingar í lekt borhola eru tiltölulega litlar, og þó varma-innihald rennis sé mjög breytilegt á milli hola sem taka inn vökva úr tveggja fasa hluta kerfisins eða vatnsfasa er varmaafli hola á bilinu 40-60 MW.

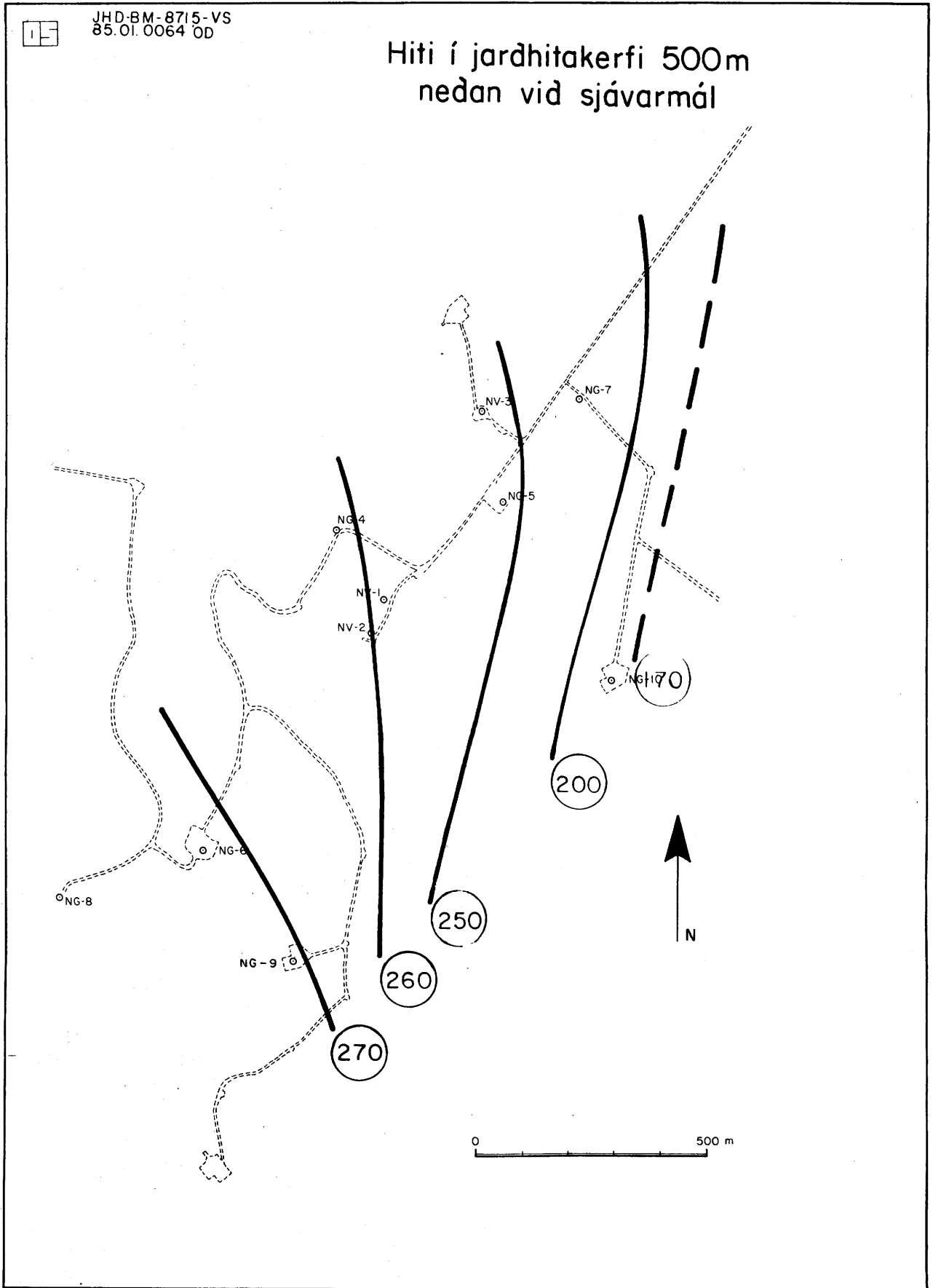
Með hliðsjón af þessum atriðum svo og því sem áður hefur verið talað um jarðhitakerfið á Nesjavöllum verður mynd 12 valin sem einfaldað líkan af umræddu kerfi. Myndin er mjög einfölduð að því leyti að hún á ekki að gilda fyrir neitt ákveðið dýpi í jarðhitakerfinu heldur er gert ráð fyrir að kerfið sé mjög háð þrívíðum breytingum, og varla sé hægt á þessu stigi máls að teikna einfalda tvívíða mynd af því. Ef litið er á mynd 12 í þessu ljósi má fullyrða að hún sé í samræmi við allar athuganir sem fyrir liggja um það á Nesjavöllum, og að þessi mynd sé besta líkan sem hægt er að setja fram um jarðhitakerfið á þessu stigi máls.

JHD-BM-8715-VS
85.01.0063.0D

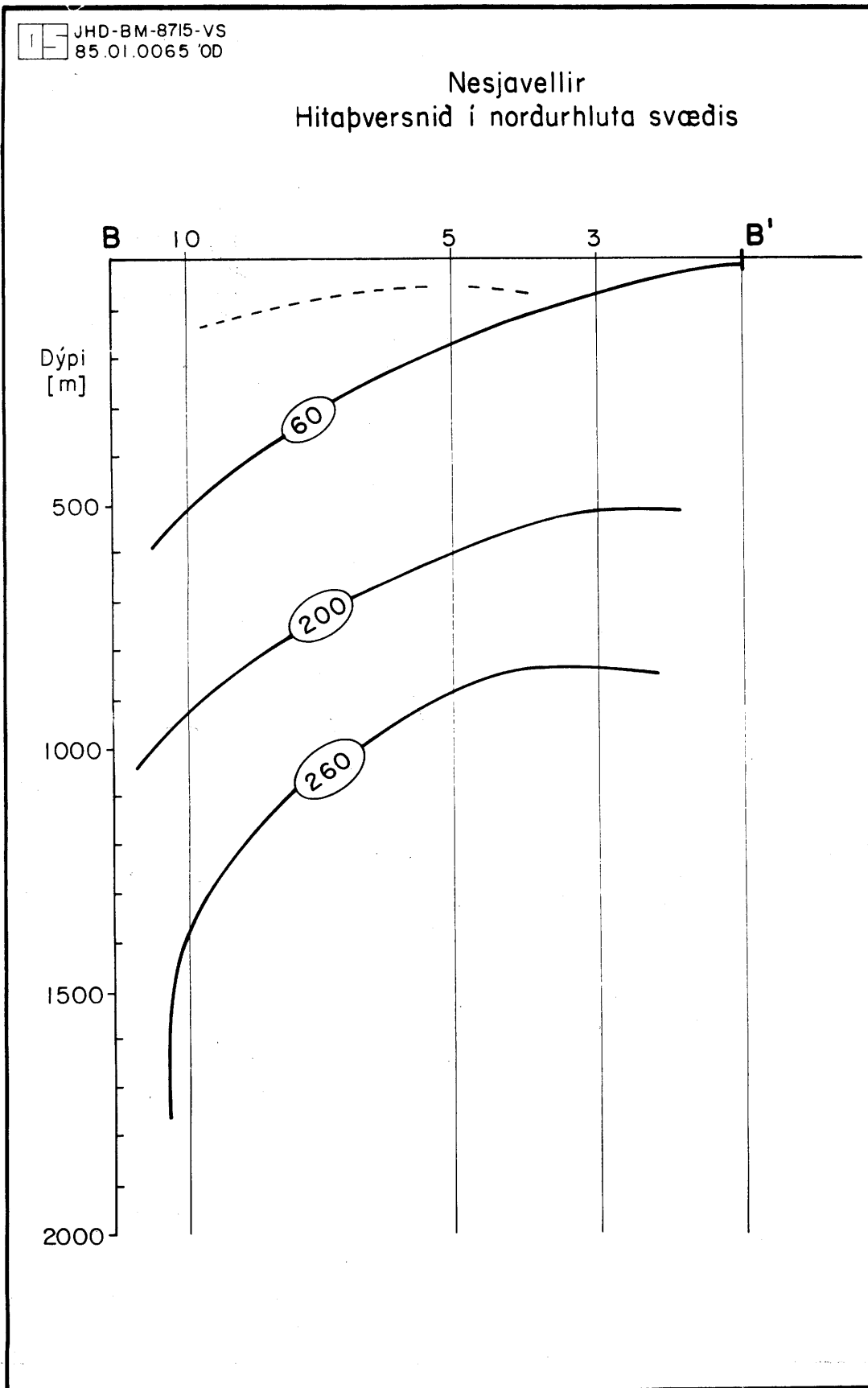
Hiti í jarðhitakerfinu við sjávarmál



MYND 9 Nesjavellir - Hiti í jarðhitakerfinu við sjávarmál (°C)



MYND 10 Nesjavellir - Hiti í jarðhitakerfinu 500 m neðan við sjávarmál
(°C)

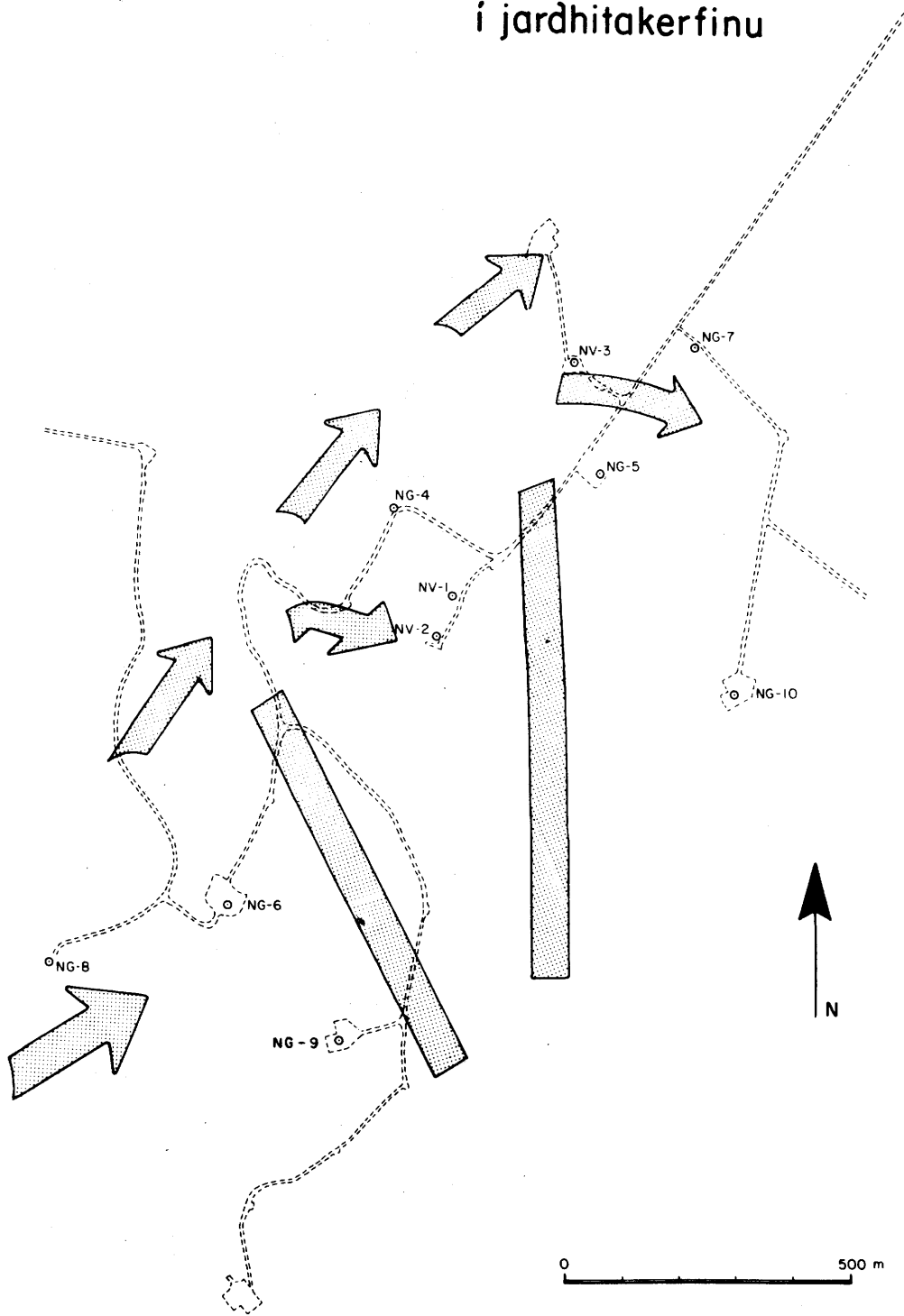


MYND 11 Nesjavellir - Hitapversnið í norðurhluta svæðisins (B-B')



JHD-BM-8715-VS
85.01.0057 OD

Nesjavellir Mögulegar rennislíðir í jarðhitakerfinu



MYND 12 Nesjavellir - Mögulegar rennislíðir (örvar) og rennislíðhindranir (bálkar) í jarðhitakerfinu

5 NÝTINGARKOSTIR

Svo sem áður hefur verið minnst á er gert ráð fyrir að hægt sé að taka meiri háttar ákvörðun um virkjun á Nesjavöllum á árinu 1986.

Í árslok 1986 er reiknað með að eftirfarandi upplýsingar liggi fyrir og þær verði lagðar til grundvallar ákvörðun á Nesjavöllum:

- a) Búið verði að gera og túlka allar þær yfirborðsrannsóknir sem æskilegt er talið að liggi fyrir þegar ákvörðun þarf að taka.
- b) Búið verði að gera ýmiss konar hermireikninga sem eiga að hjálpa til að meta viðbrögð jarðhitakerfisins við langtímanýtingu.
- c) Búið verði að stinga út með borunum það vinnslusvæði sem notað verður fyrir varmaorkuver á Nesjavöllum.
- d) Búið verði að fá fram grófa mynd af vinnslueiginleikum jarðhitakerfisins sem nýta má við verkhönnun vinnslurása orkuversins.

Þessar upplýsingar ættu að vera nægjanlegar til að taka megi ákvörðun um virkjun og trúlega einnig um virkjunartilhögun. Einnig er búist við að þeir vinnslueiginleikar jarðhitakerfisins sem eru ákvarðandi fyrir verkhönnun orkuvers liggi fyrir.

Nú þegar virðist vera fyrir hendi það mikil vitneskja um jarðhitakerfið á Nesjavöllum að raunhæft sé að fara að bera saman mismunandi nýtingarkosti, svo sem um stærð og fjölda áfanga við virkjun, stærð og tímasetningu á mögulegri raforkuvinnslu samhliða varmavinnslu, og annað í þeim dúr. Einnig þarf að athuga hvernig samkeyrsla lághitasvæða og Nesjavalla verður hagkvæmust, og síðast en ekki síst hvernig virkjun á Nesjavöllum kemur inn í langtímastefnu HR um vatnsöflun. Svo sem reynslan frá Nesjavöllum hefur sýnt er aðdragandi háhitavirkjunar langur, og því er kominn tími til að fara að skilgreina hagkvæma vatnsöflunarleið sem nær til 15-20 ára.

6 NIÐURSTÖÐUR

Í skýrslunni er staða jarðhitarannsókna á Nesjavöllum rakin, og lítillega minnst á þær aðgerðir sem fyrirhugaðar eru áður en endanleg ákvörðun um virkjun verður tekin. Auk þess er jarðhitakerfinu á Nesjavöllum lýst lauslega. Helstu niðurstöður eru þessar:

- a) Með borunum hefur, nú í byrjun árs 1985, verið skilgreint vinnslusvæði, sem er a.m.k. 2,7 km² að stærð. Boranir næstu ára eiga að segja til um legu og stærð vinnslusvæðis á Nesjavöllum.
- b) Miðað við bestu vitneskju um gerð jarðhitakerfisins á Nesjavöllum er talið að núverandi borsvæði geti staðið undir 1100 MW hrávarmaorku í 20 ár. Þetta samsvarar 550 MW varmaorkuveri.
- c) Vinnslueiginleikar jarðhitavökvans eru efnafræðilega hagstæðir, og vinnslueiginleikar borhola bjóða upp á mjög fjölbreytta nýtingu jarðhitans. T.d. er svæðið heppilegt til raforkuframleiðslu sem yfirleitt er talin harðasta viðmiðun í nýtingu jarðhita.
- d) Jarðhitakerfið á Nesjavöllum er mjög sundurleitt (inhomogent) og uppbygging þess virðist flóknari en áður hefur fundist. Þessar aðstæður kalla á tiltölulega miklar upplýsingar um kerfið áður en hægt er að draga ályktanir um langtíma hegðun þess við nýtingu.
- e) Breytingar á hita og þrýstingi innan jarðhitakerfisins eru miklar. Í stórum dráttum er hæstur hiti og þrýstingur í suð-vesturhorni þess svæðis, sem borað hefur verið í, en bæði hiti og þrýstingur lækka til norðausturs.
- f) Sumir hlutar jarðhitakerfisins eru í suðu (tveggja fasa) en aðrir virðast vera heitavatnskerfi. Vegna tilhögunar virkjunar er talið nauðsynlegt að skilgreina betur hversu mikill hluti kerfis er í suðu og hversu mikill í vatnsfasa.
- g) Þrátt fyrir breytileika á varmainnihaldi borholuvökva er varmaafli úr hverri holu á bilinu 40-60 MW.
- h) Núverandi varmaafli úr boruðum holum á Nesjavöllum er 241 MW. Þetta samsvarar um 30% af þeim hrávarma sem þarf fyrir 400 MW varmaorkuver.
- i) Staða jarðhitarannsóknar á Nesjavöllum nú í byrjun árs 1985 bendir eindregið til að það verði hægt að taka jákvæða ákvörðun um virkjun allt að 400 MW varmaorkuvers á Nesjavöllum á árinu 1986.

HEIMILDIR

- Benedikt Steingrímsson & Valgarður Stefánsson, 1979: Nesjavellir. Hitastig og þrýstingur í jarðhitasvæðinu. Orkustofnun, OS79032/JHD15, 31 s.
- Grant, M.A. 1979: Interpretation of Downhole Measurements in Geothermal Wells, Rep. no. 88, Appol. Math. Div., DSIR, New Zealand.
- Grant, M., J.G. Donaldson & P.F. Bixley, 1982: Geothermal Reservoir Engineering, Academic Press, 369 s.
- Gunnar Böðvarsson 1951: Skýrsla um rannsóknir á jarðhita í Hengli, Hveragerði og nágrenni, árin 1947-1949. Tím. V.F.Í. 36 ár: 1-48.
- Guðmundur S. Böðvarsson, S.M. Benson, Omar Sigurðsson, Valgarður Stefánsson & Einar T. Eliásson, 1984a: The Krafla Geothermal Field, Iceland 1. Analysis of Well Test Data. Water Resources Research, 20: 1515-1530.
- Guðmundur S. Böðvarsson, K. Pruess, Valgarður Stefánsson & Einar T. Eliásson, 1984b: The Krafla Geothermal Field, Iceland 2. The Natural State of the System, Water Resources Research, 20: 1531-1544.
- Guðmundur S. Böðvarsson, K. Pruess, Valgarður Stefánsson & Einar T. Eliásson, 1984c: The Krafla Geothermal Field, Iceland 3. The Generating Capacity of the Field, Water Resources Research, 20: 1545-1559.
- Guðmundur S. Böðvarsson, K. Pruess, Valgarður Stefánsson, Sveinbjörn Björnsson & S.B. Ojiambo, 1985a: A Summary of Modeling Studies of the East Olkaria Geothermal Field, Kenya, Proceedings GRC 1985.
- Guðmundur S. Böðvarsson, K. Pruess, Valgarður Stefánsson, Sveinbjörn Björnsson & S.B. Ojiambo, 1985b: The East Olkaria Geothermal Field, Kenya 1. History Match of Well Performance, submitted to Jour. Geophys, Res.
- Guðmundur S. Böðvarsson, K. Pruess, Valgarður Stefánsson, Sveinbjörn Björnsson & S.B. Ojiambo, 1985c: The East Olkaria Geothermal Field, Kenya 2. Performance Predictions, submitted to Jour. Geophys, Res.

- James, R., 1968: Wairakei and Larderello, Geothermal Power System Compared. New Zealand Jour. Sci. and Techn. VII, 706-19.
- Jens Tómasson, Kristján Sæmundsson, 1967: Borholur á Nesjavöllum, Reykjavík, Raforkumálastjóri, 25 s.
- Jens Tómasson, Guðmundur Guðmundsson & Stefán Arnórsson, 1971: Jarðhitarannsóknir á Nesjavallasvæðinu, Orkustofnun JHD, 31. s.
- Jens Tómasson, Karl Grönvald, Hrefna Kristmannsdóttir & Þorsteinn Thorsteinsson, 1974: Nesjavellir, hola 5, Reykjavík, Orkustofnun OSJHD 23, 47 s.
- Pruess, K., Guðmundur S. Böðvarsson, Valgarður Stefánsson & Einar T. Eíasson, 1984: The Krafla Geothermal Field, Iceland 4. History Match and Prediction of Individual Well Performance, Water Resources Research, 20 1561-1584.
- Sveinbjörn Björnsson, 1978: Estimation of the reservoir potential of the Olkaria geothermal field in Kenya, Nordic Symposium on Geothermal Energy, Supplement, p. 7-29, Göteborg, Sweden, May 29-31 1978.
- Valgarður Stefánsson, & Benedikt Steingrímsson, 1980: Geothermal Logging. An Introduction to Methods and Interpretation. Orkustofnun OS-80017/JHD 09, 117 s.
- Valgarður Stefánsson, 1981: The Krafla geothermal field, Northeast Iceland. In Geothermal Systems: Principles and Case Histories, L. Rybach and L.J.P. Muffler, eds. Wiley, London, pp 273-294.
- Valgarður Stefánsson, 1985: The Nesjavellir High Temperature Geothermal Field in Iceland, Stanford 1985.
- Valgarður Stefánsson & Einar Gunnlaugsson, 1985: Nesjavellir HOLA NG-7. Upphitun, upphleyping og blástur, (í undirbúningi).
- Valgarður Stefánsson, Jens Tómasson, Einar Gunnlaugsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson & Ómar Sigurðsson, 1983: Nesjavellir, HOLA NG-6, Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-83023/JHD-04, 100 s.