



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Hjalti Franzson

SVARTSENGI, HOLA SG-12

Borun, jarðlög, ummyndun og vatnsæðar

OS-83003/JHD-02
Reykjavík, janúar 1983

Unnið fyrir
Hitaveitu Suðurnesja



ORKUSTOFNUN

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Hjalti Franzson

SVARTSENGI, HOLA SG-12

Borun, jarðlög, ummyndun og vatnsæðar

OS-83003/JHD-02

Reykjavík, janúar 1983

Unnið fyrir

Hitaveitu Suðurnesj

ÁGRIP

Þessi skýrsla greinir frá borun holu SG-12 í Svartsengi, og þeim rannsóknum sem tengjast berglögum, ummyndun og vatnsæðum í henni. Borun holunnar gekk samkvæmt áætlun og varð hún 1488 m djúp. Holunni er ætlað að nýtast til niðurdælingar, en hönnun hennar gerir einnig ráð fyrir að hana megi nota sem vinnsluholu. Reyndist árangur borunarinnar sá sem stefnt hafði verið að. Jarðlagaskipan í SG-12 er mjög lík þeirri sem finnst í öðrum holum í Svartsengi. Líklegt er að misgengi liggja á milli SG-12 annars vegar og SG-6 og SG-10 hins vegar. Ummyndun frumsteinda og glers svo og beltaskipting ummyndunar svipar mjög til þess sem finnst í öðrum dýpri holum á Svartsengissvæðinu. Athugun á magni útfellinga í berglögum bendir til að upphaflegt holrými í berglagastaflanum hafi minnkað verulega. Frumathugun á röðun útfellinga í holrýmum berglaga bendir til að, jarðhitakerfið, sem SG-12 tengist, hafi á jarðsögulegum tíma verið að aukast og nálgast yfirborð. Talið er líklegt að það ummyndunarmynstur, sem ríkjandi er, sé í jafnvægi við núverandi hitaástand. Jarðfræðileg lega þeirra 23 vatnsæða, sem ákvarðaðar voru í holunni, bendir eindregið til, að ofan jarðhitageymisins stjórnist vatnsæðar af "prímerri" lekt gosbergsins, en í jarðhitageyminum stjórnist vatnsæðar af innskotum og (þá væntanlega "lóðréttum") sprungum.

EFNISYFIRLIT

	Bls.
ÁGRIP	2
EFNISYFIRLIT	3
MYNDASKRÁ	4
1 INNGANGUR	5
2 ÁGRIP BORSÖGU	6
3 JARÐLAGASKIPAN	10
3.1 Inngangur	10
3.2 Jarðlagaskipan í SG-12	11
3.3 Tenging jarðlaga SG-12 við jarðlög SG-6 og SG-10 .	27
4 UMMYNDUN	29
4.1 Inngangur	29
4.2 Ummyndun frumsteinda og glers	29
4.3 Dreifing ummyndunarsteinda	32
4.4 Ummyndunarbelti	37
4.5 Magn útfellinga í holrýmum	39
4.6 Röðun ummyndunarsteinda í tíma	41
5 VATNSÆÐAR	45
5.1 Inngangur	45
5.2 Æðar innan vinnslufóðringar	45
5.3 Æðar í vinnsluhluta holunnar	48
5.4 Tengsl vatnsæða og berglaga	50
6 UMRÆÐA OG HELSTU NIÐURSTÖÐUR	53
TAFLA 1: Staðsetning vatnsæða, afstæð stærð þeirra í borun og líkleg tengsl þeirra við jarðlög.	52

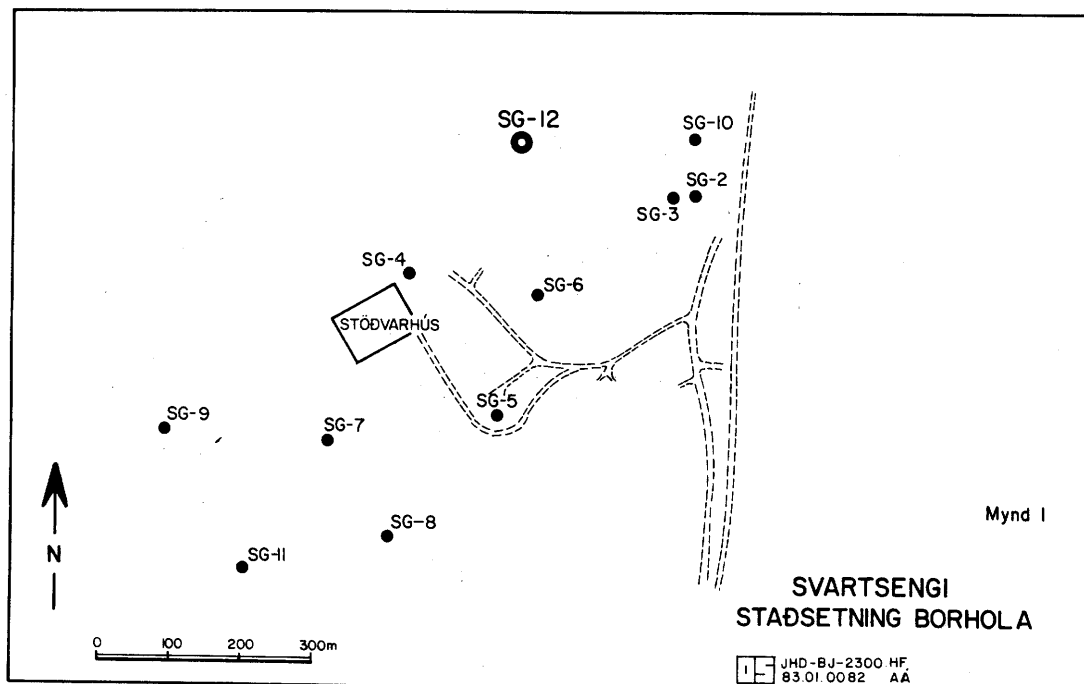
MYNDASKRÁ

	Bls.
1 Staðsetning borhola	5
2 Helstu atriði borsögu.....	8
3 Mælingar í borun	9
4 Jarðlög SG-12	15
5 Innskot í SG-12	24
6 Tenging jarðlaga SG-12 við jarðlög SG-6 og SG-10 ...	28
7 Ummyndun frumhluta bergsins	31
8 Dreifing ummyndunarsteinda	33
9 Magndreifing pýrfts og epidóts	35
10 Ummyndunarbelti	37
11 Magn útfellinga í holrýmum berglaga	38
12 Fjöldi tegunda útfellinga í einstökum holrýmum	40
13 Þverskurður af útfellingum í holrýmum	42
14 Röðun útfellinga í tíma	42

1 INNGANGUR

Hola SG-12 í Svartsengi var boruð á tímabilinu frá 23. febrúar til 31. mars 1982. Dýpi holunnar varð 1488 m miðað við drifborð Gufubors (Dofra), en það er um 2 1/2 m ofan við kjallarabrún. Á mynd 1 er sýnd staðsetning holu SG-12, sem að ósk Hitaveitu Suðurnesja er ætluð sem niourdælingarhola. Forsendurnar fyrir staðsetningu hennar voru þær helstar, að holan yrði í útjaðri jarðhitasvæðisins, en þó tengd vatnskerfi aðalvinnslusvæðisins, að holan yrði nærri orkuverinu; og loks að dýpi á jarðhitakerfið væri >400 m. Holan var hönnuð sem vinnsluhola, svo unnt yrði að nota hana sem slíka ef árangur af niourdælingu yrði ekki sem skyldi.

Þessi skýrsla er að mestu samantekt gagna sem lúta að borun holunnar, jarðlagaskipan, ummyndun og vatnsæðum. Rannsóknin er gerð fyrir Hitaveitu Suðurnesja. Þegar hafa verið ritaðar tvær skýrslur um borholujarðfræði í Svartsengi. Sú fyrri fjallar um jarðhitarannsóknir eftir borun holanna 2,3,4 og 5 (Stefán Arnórsson, Valgarður Stefánsson, Stefán G. Sigurmundsson, Gestur Gíslason og Karl Grönvald: "Rannsókn á jarðhitasvæðinu í Svartsengi", OSJHD7541, júní 1975). Sú síðari fjallar um borholujarðfræði SG-9 (Jorge Flores: "Borehole geology of SG-9, Svartsengi geothermal field, SW-Iceland", UNU Geothermal Training Programme, Iceland. Report 1980-4).



2 ÁGRIP BORSÖGU

Borun SG-12 hófst 23.02.82 og henni lauk 31.03.1982. Í upphaflegri áætlun var Gufubor ætlaðir 44 verkðagar til að ná 2000 m bordýpt. Borun holunnar tók alls 27 verkðaga, og varð endanlegt dýpi hennar 1488 m. Eins og sést á mynd 2 gekk borun mjög vel og var 6 dögum á undan áætlun þegar verkinu lauk. Borun í berg var um 42% af verk tíma.

Í borun fyrir vinnslufóðringu var notað gel til að hreinsa svarf úr holunni og til að halda skoltapi í lágmarki, í allt 354 þokar. Einnig voru notaðir 13 þokar af sagi í sama tilgangi. Samkvæmt fóðrunarskýrslu nær fóðring (13 3/8") niður á 606,55 m dýpi. Steyping fóðurrørs gekk vel og komst steypan til yfirborðs. Reiknað hafði verið með að um 39 rúmmetra steypu þyrfti til þessa verks en þegar til kom þyrfti 106 rúmmetra. Ástæðan fyrir þessu aukna magni var sú að steypan þrengdi sér út úr holunni eftir lóðréttri sprungu. Borinn skar þessa sprungu aftur neðar (í um 631-637 m), og kom í ljós að hún var fyllt af steypu. Helmingur steypunnar, sem notað var, var sérblönduð (sement + kísill + perlusteinn) en í hinn hlutann var notað venjulegt Portland sement.

Á meðan á borun stóð voru gerðar reglubundnar mælingar á dæluþrýstingi, dælumagni og skoltapi svo og hitastigi skolvökva bæði þegar hann kom úr holu og áður en honum var dælt niður í holuna aftur. Eru þessar mælingar sýndar á mynd 3.

Helstu upplýsingar sem fá má úr slíkum mælingum eru ferðatími svarfs upp holuna og þar með tiltölulega nákvæm staðsetning berglaga í holunni svo og mögulegar vatnsæðar (sjá kafla 5). Auk hitastigs skolvökva hefur á mynd 3 einnig verið dreginn hitaferill úr hitamælingu sem gerð var í lok borunar fyrir vinnslufóðringu. Samanburður þessara tveggja hitamælinga gefur vel til kynna að á um 300 metrum tekur hitastig skolvökva að hækka nokkuð ört. Skv. jarðlagasniði gerist þetta á mjög sviðpuðu dýpi og jarðhitaummyndunar verður fyrst vart. Slíkar mælingar við boranir í Svartsengi og væntanlega í Eldvörpum geta því gefið mjög nytsamlegar upplýsingar um efri mörk skilanna milli kalda vatnskerfisins fyrir ofan og jarðhitakerfisins fyrir neðan, en þessi skil einkennast af mjög snöggum breytingum í berghita.

Á meðan borun stendur skráir síriti í stjórnklefa Gufubors einnig afstætt hitastig skolvökva og breytingar í skolvatnsrennsli, "flow-line". Er hið síðarnefnda einkar nytsamlegt til að staðsetja nákvæmlega dýpi vatnsæða (skoltapa) sem borholan sker.

Hallamælingar voru gerðar á 10 stöðum í holunni á meðan á borun stóð. Mesti halli holunnar reyndist aðeins vera rúm ein gráða og er mesta hliðrun hennar frá lóðréttu innan við 18 m radíus frá holutoppi. Þetta er mun minni halli og hliðrun en mælst hefur í öðrum holum í Svartsengi (SG-7, SG-8 og SG-11).

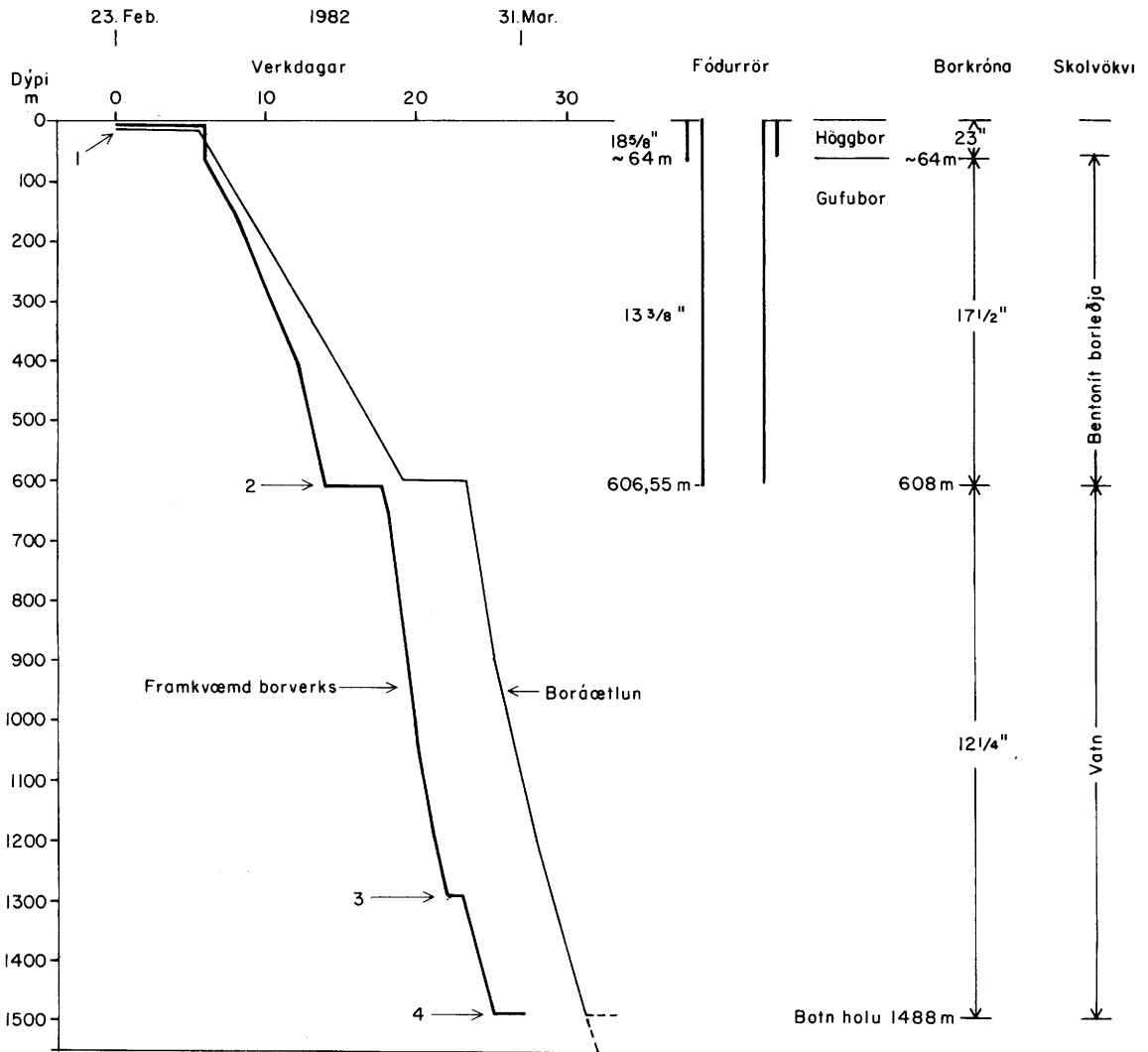
Eftirtalðar mælingar voru gerðar á bortíma: Fyrir vinnslufóðringu var gerð hita- og holuvíddarmæling; í lok borunar var svo aftur hitamælt og jafnframt mæld holuvídd, viðnám, neftrónudreifing og náttúruleg gammageislun. Á jarðlagasniði eru sýndar mælingar af holuvídd og viðnámi (64"), náttúrulegu gamma og nifteindadreifingu.

Eins og sést á mynd 2 voru gerðar tvær þrepaðælingar. Sú fyrri var gerð er holan hafði náð 1292 m dýpi. Niðurstaða hennar gaf til kynna að miðað við gæfni annarra hola á svæðinu hefði SG-12 minni lekt. Var borun því haldið áfram. Seinni þrepaðælingin var gerð er holan var orðin 1488 m djúp og gaf hún til kynna að lekt holunnar hefði lítið aukist. Þegar tekin var ákvörðun um það hvenær borun skyldi hætt var höfð hliðsjón af því að holuna átti að nota til niðurdælingar og að ráð var fyrir því gert að til dýpkunar hennar gæti komið seinna ef niðurdælingin leiddi til útfellinga og þrenginga á æðum sem lögju næst holunni.

JHD-BJ-2300-HF
83.01.0009 Sy.J.

Mynd 2

SVARTSENGI SG-12, BORUN

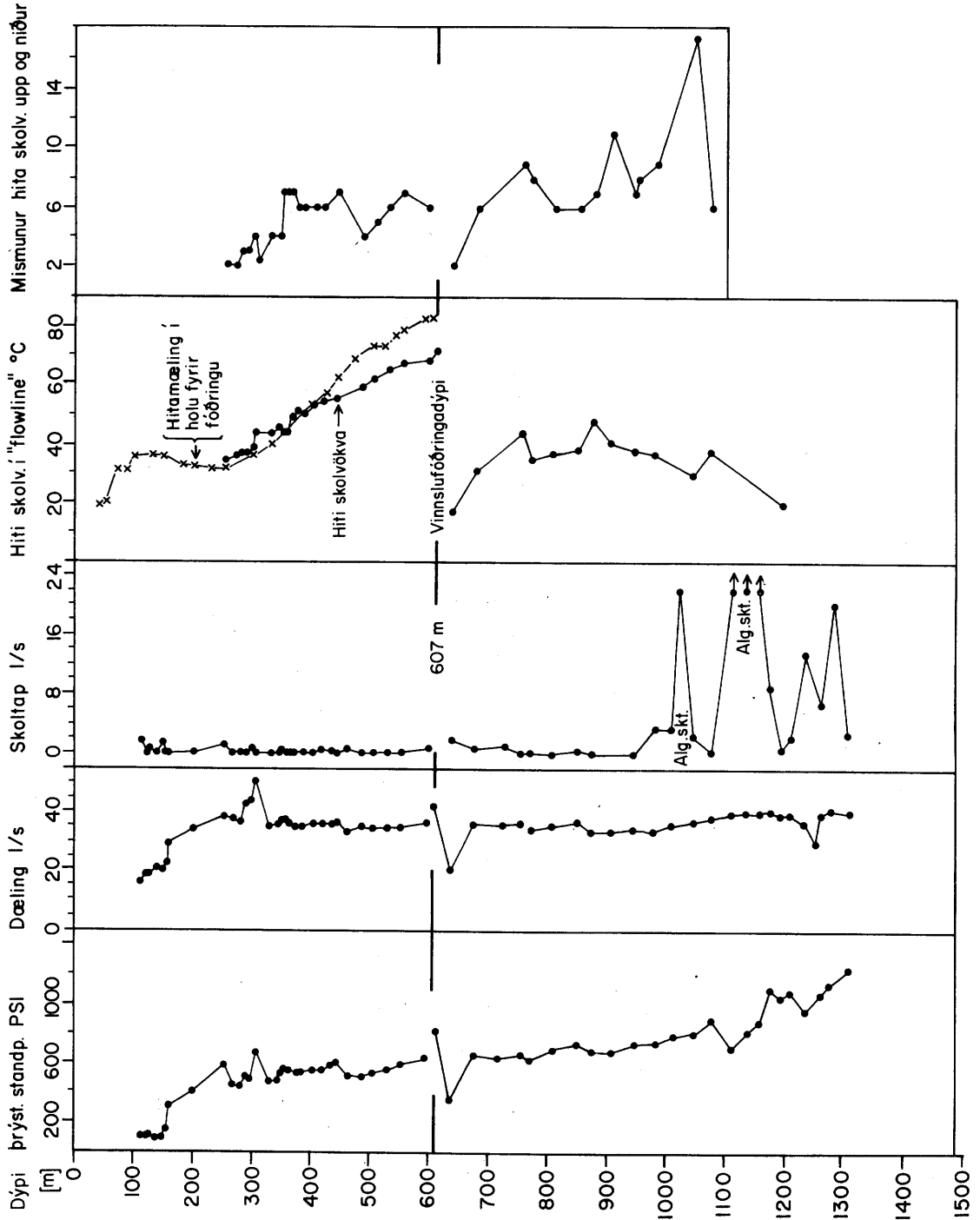


SKÝRINGAR:

- 1 Flutningur bors, uppsetning, borun hlíðarholu
- 2 Skolun, upptekt, mælingar, fóðring, steyping, holutoppur, sett niður.
- 3 Upptekt, þrepaðæling, sett niður.
- 4 Skolun, upptekt, þrepaðæling, mælingar, mastur fellt.
Dýpi miðað við drifborð Gufubors.

JHD-BJ-2300-HF
83.01.0001 AA

SVARTSENGI SG-12, MÆLINGAR Í BORUN



3 JARÐLAGASKIPAN

3.1 Inngangur

Leitast er við að flokka berglög í borholunni í hraunlög, móbergsmýndnir og innskot.

Einkenni hraunlags er einkum kargi í efri hluta en þéttari og betur kristallaður mið- og neðri hluti. Þessi einkenni endurspeglast einnig oft í breytingum í borhraða, og borholumælingum (vídd, viðnám, neftrónudreifing).

Móberg einkennist mest af tiltölulega miklu magni glers í berginu, auk takmarkaðrar lagskiptingar. Móbergi er skipt í þrjá undirflokka; móbergstúff, þar sem yfirgræfandi hluti bergsins er ókristallað gler, móbergsbreksfu, sem hefur að geyma nokkuð magn hlutkristallaðs glers og fínkristallaðs basalts, en í basaltsbreksfu er meirihluti bergsins hlutkristallað basalt. Þessi skipting er einnig einkennandi í rofnum móbergsmýndunum, þar sem basaltbreksfan er að líkindum það sem kallað er bólstraberg eða bólstrabreksfa.

Innskot eru að nokkru frábrugðin hraunlögum. Glögg efri skil eru jafnan gott einkenni svo og lágur poruhluti bergsins, sem oft veldur því að þau hafa ummyndast minna en grannbergið (sem og að innskot eru yngri). Borhraði er yfirleitt fremur jafn og oft lágur. Viðnám og neftrónudreifing eru, vegna ofangreindra einkenna, fremur há. Samkvæmt jarðfræðikortlagningu í rofnum móbergsmýndunum á yfirborði eru þéttir basalteitlar tíðir (basalteitlar eru óreglulega löguð innskot samtíma móbergsmýnduninni). Erfitt er að fá úr því skorið í svarfgreiningu hvort um slíka samtíma basalteitla er að ræða eða yngri innskot, óskyld móberginu. Eru því þétt basaltlög innan móbergsmýndna túlkuð sem hluti þess nema önnur gögn bendi til hins gagnstæða.

Þessi skipting að ofan beinist einkum að því að skilgreina við hvernig aðstæður basaltkvikan hefur storknað, þ.e. sem hraun á yfirborði, hraðstorknað sem móberg undir jökulís, eða storknað við fremur hæga kólnun í kvikrás djúpt í skorpunni. Sú bergeiningaskipting sem tíðum er notuð er skipting kvikunnar í efnafræðilegar einingar. Þótt allar berglagaeiningar sem enn hafa fundist í Svartsengi séu af

basaltsamsetningu má skipta basaltinu í tvær megingerðir, annars vegar það sem nefnt er ólivín-þóleift og hins vegar þóleift. Mörkin á milli þessara tveggja eininga eru þó oft óglögg. Það sem helst einkennir ólivín-þóleift er fremur gróf kristöllun, sub-ófitískur textúr og síðkristöllun magnetíts og hversu áberandi mikið er af ólivíni. Þóleiftið hefur fremur jafnkorna (equigranular) textúr og magnetít sýnir fremur teningslaga útlínur sem bendir til að það hafi kristallast fremur snemma. Nytsemi þessara jarðefnafræðilegu skiptingar basaltsins er einkum fólgin í að auðvelda tengingu basaltlaga milli borhola. Slík tenging getur t.d. gefið vísbendingu um misgengi sem ekki sjást á yfirborði. Í jarðlagalýsingum hér á eftir verður þess getið, þar sem unnt er, hvort bergið sé af líklegri ólivín-þóleift eða þóleift samsetningu.

3.2 Jarðlagaskipan í SG-12

Jarðlagaskipan sú, sem sýnd er á mynd 4, er byggð á greiningu borsvarfs. Á meðan á borun stendur eru sýni tekin á 2 m dýptarbili. Til að unnt sé að staðsetja berglög með nokkurri nákvæmni þurfa upplýsingar að liggja fyrir um borhraða, skolhraða, og stærð borkrónu.

Borholumælingar, svo sem á viðnámi, neftrónudreifingu og náttúrulegu gamma, gefa nýtsamar upplýsingar um bergið í holuveggjum, og þá sérstaklega þar sem svarfgreiningar nýtur ekki við, t.d. við sterkar vatnsæðar, en í Svartsengi verður þar tíðum algjört skoltap og því ekkert svarf til greiningar.

Dýpi á jarðlög í borholunni er miðað við drifborð Gufurbors (Dofra), en það er um 2,5 m ofan við kjallarabrún.

Þótt í eftirfarandi jarðlagalýsingu sé stuðst við greiningu svarfs í stereósmásjá, er hún staðfest af 45 þunnsneiðagreiningum.

Jarðlagastafla í SG-12 er skipt niður í 7 myndanir:

1. Hraunlagamyndun 1 (0-342 m)
2. Móbergsmýndun 1 (342-590 m)
3. Hraunlgamyndun 2 (590-989 m)

4. Móbergsmýndun 2 (989-1080 m)
5. Hraunlagamyndun 3 (1080-1372 m)
6. Móbergsmýndun 3 (1372-1488 m)
7. Innskot.

Hraunlagamyndun 1 (0-340 m)

Í þessari myndun greindust 25 hraunlög og er meðalþykkt þeirra tæpir 12 m. Berggerð er samkvæmt svarf- og þunnsneiðalýsingu eftirfarandi:

Dýptarbil	Fjöldi laga	Berggerð
10-42 m	4	þóleift
42-70 m	2	ólivín-þóleift
78-163 m	4	þóleift
191-259 m	7	ólivín-þóleift
259-274 m	2	þóleift
274-284 m	1	ólivín-þóleift
284-291 m	1	þóleift
291-342 m	4	ólivín-þóleift

Tvö móbergssetlög (túff) finnast í holunni, það efra (71-78 m) um 7 m þykkt en það neðra um 28 m (163-191 m). Vatnsæð kemur fram við efri skil fyrirnefnda lagsins.

Berglög eru fersk og óummynduð nema við vatnsæðina í 70 m. Neðan 300 m eru hraunlögin ummynduð (sjá kafla 4). Blöðrur í hraunlögum og setlögum tveim eru að jafnaði án útfellinga niður að um 300 m dýpi en þaðan og niður í botn syrþunnar í 342 m gerast holufyllingar algengar.

Móbergsmýndun 1 (342-590 m)

Þessari myndun er skipt í fimm hluta á grundvelli kristöllumunar. Í efstu 37 m (342-379 m) er basaltbreksfa ráðandi. Frá 379 m niður á 419 m dýpi er móbergsbreksfa. Innan hennar á um 401 m dýpi kom í þunnt (1 m) fínkorna, þétt og fersklegt basaltlag en rétt neðan þess sker borholan vatnsæð. Fremur ferskleg basaltbreksfa finnst á bilinu frá 419-440 m, en þaðan og niður á 480 m dýpi eru berglögin að mestu gerð úr fín-

til meðalkorna basalti, líklegast póleifti. Eru lögin a.m.k. sex að tölu aðskilin af þunnum basaltbreksfulögum, ekki ósvipað og um hraunlög væri að ræða. Frá 480 m niður að botni móbergsmyndunarinnar í 590 m ber mest á móbergstúffi, en einnig finnast móbergsbreksfur innan þessara dýptarmarka, svo sem við 490 m og 527-530 m.

Eins og títt er um móbergsmýndanir hefur upphaflegt poruhlutfall verið hátt, en hefur nú minnkað verulega vegna síðari tíma útfellinga.

Vera má að móbergið sé samsett úr tveimur aðskildum móbergsmýndunum. Frá 340 m niður á 440 m er kristöllun lík því sem gerist í ólivín-póleifti en þar fyrir neðan er kristöllun líkari því sem gerist í póleifti. Þetta atriði þyrfti að ganga úr skugga um, t.d. með efnagreiningu á svarfi.

Hraunlagamyndun 2 (590-988 m)

Innan þessarar myndunar eru a.m.k. 30 hraunlög. Þykkt einstakra laga er breytileg. Meirihluti þeirra (18 lög) eru innan við 10 m þykk og nfu lög eru 12-17 m þykk. Tvö lög eru óvenju þykk, 29 m og 45 m, og er það fyrrnefnda mögulega innskot. Flest lögin sýna póleift-kristöllun. Ofan 700 m dýpis eru hraunlögin meðalkorna, og sum allt að grófkorna en þar fyrir neðan fín- til meðalkorna. Tvö túff setlög eru innan syprunnar, aðskilin af einu hraunlagi; það efra er tæplega 3 m þykkt ljósleitt og vel ummyndað en það neðra fremur marglitt og að því er virðist minna ummyndað en efra lagið.

Móbergsmýndun 2 (988-1080 m)

Túff er ráðandi innan þessarar tæplega 100 m þykku móbergsmýndunar. Glögg litaskipti eru í túffinu; frá 988-1022 m og 1065-1080 m er það ljóst að lit, þýrfríkt og er leir í þorum fremur daufgrænn (í röntgen greindist illt ásamt klórít). Nokkuð ber á sprungufyllingum í svarfkornum í efra ljósa túffinu en lítið annars staðar í móberginu. Í 1008 m sker holan eina af stærri æðum og er eðlilegt að tengja ljósan lit ummyndunarinnar svo og sprungufyllingarnar tilvist vatnsæðarinnar. Miðhluti móbergstúffsins (1022-1065 m) hefur mun breytilegri lit sem að mestu er vegna dökkgræns litar leirsins í þorum (í röntgen greindist aðeins klórít) og einnig minni

ummyndunar. Ekkert þýft er innan þessa neðra dýptarbils.

Hraunlagamyndun 3 ("1080-1373 m")

Eins og sést á jarðlagasniðinu (mynd 4) greinist aðeins um fjórðungur (u.þ.b. 75 m) berglagastafla þessa dýptarbils sem hraunlög, um þriðjungur (um 100 m) sem innskot, en svarfsýni vantar samtals á tæplega 100 m bili. Hraunlögin greinast frá innskotunum, eins og nefnt er í inngangi að þessum kafla, á mun herra poruhlutfalli. Þau eru að mestu ummynduð ffn- til meðalkorna þóleift. Erfitt er að áætla fjölda og þykkt hraunlaganna þar sem innskotin kljúfa þau í smærri einingar, en ætla má að þau séu ekki færri en sex. Tvö móbergsset greinast innan þessa dýptarbils; það efra, sem er ljós ummynduð breksía, sker holan í um 1271 m dýpi. Vegna skoltaps náðust svarfsýni ekki neðan 1282 m dýpis, en þó má ætla að móbergslagið nái niður á 1297 m, en sú tilgáta byggist á fremur háum borhraða. Neðra lagið er um 4 m þykk basaltbreksía, mjög ummynduð. Sker holan það á 1345 m dýpi.

Móbergsmyndun 3 (1372-1488 m)

Holan sker þessa myndun í 1373 m og nær hún líklegast niður fyrir botn holunnar í 1488 m. Vegna skoltaps náðust svarfsýni ekki nema af tæplega helmingi dýptarbilsins en gera má ráð fyrir að móbergið sé ráðandi bergtegund, nema á bilinu frá um 1387 m niður að 1420 m, en þar er sennilega basalt eða dólerítinnskot (vegna fremur lágs og jafns borhraða). Túff einkennir efsta hluta móbergsins (1373-1385 m) en milli 1434-1447 m er basaltbreksía og glerjað basalt. Neðan þess er móbergsbreksía. Móbergið er fremur ljósleitt vegna ummyndunar og útfellinga.

Innskot

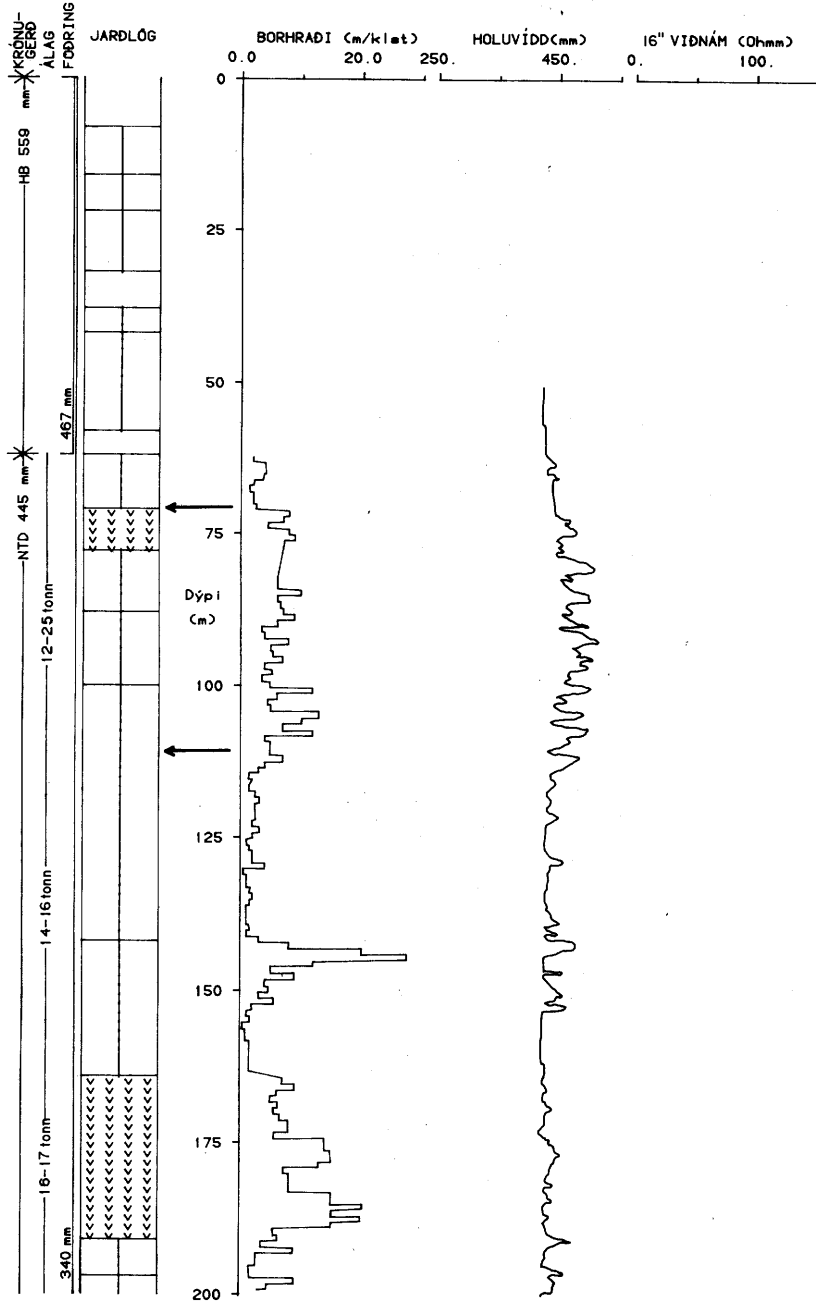
Í kafla 3.1 var stuttlega gerð grein fyrir þeim atriðum sem einkenna innskot. Á jarðlagsniði eru merkt 9 berglög sem næsta öruggt má telja til innskota, svo og 4 berglög sem líkleg eru til að flokkast í þann hóp. Í holunni er samanlögð þykkt fyrrnefnda hópsins um 185 m en þess síðarnefnda um 100 m. Hvert lag er að meðaltali um 22 m þykkt. Unnt er að gefa sér þá forsendu að þykkt

JHD-BJ-2300-HF
83.02.0253 T

SVARTSENGI HOLA SG-12 JARÐLAGASNIÐ

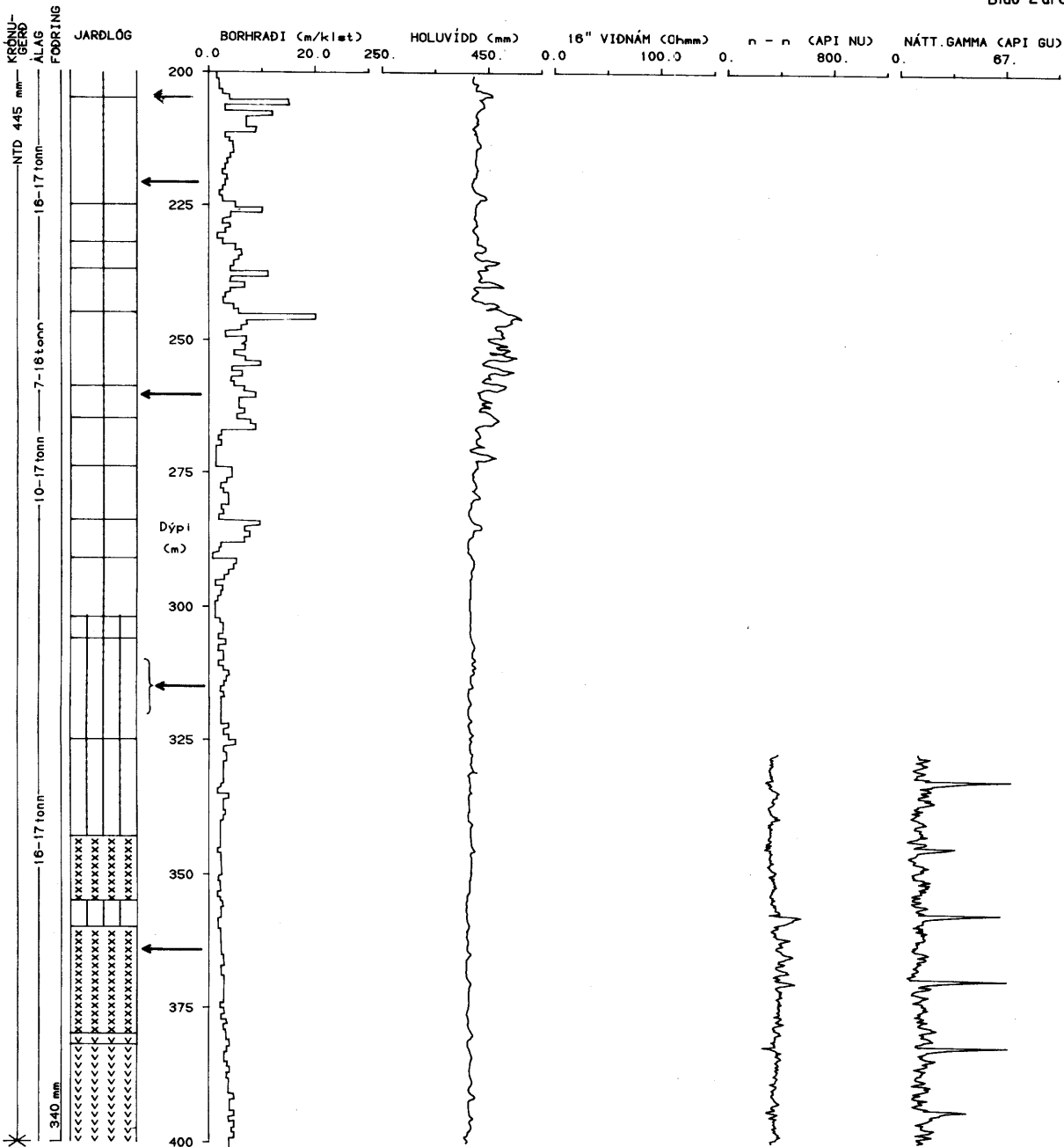
MYND 4

Blað 1 af 8



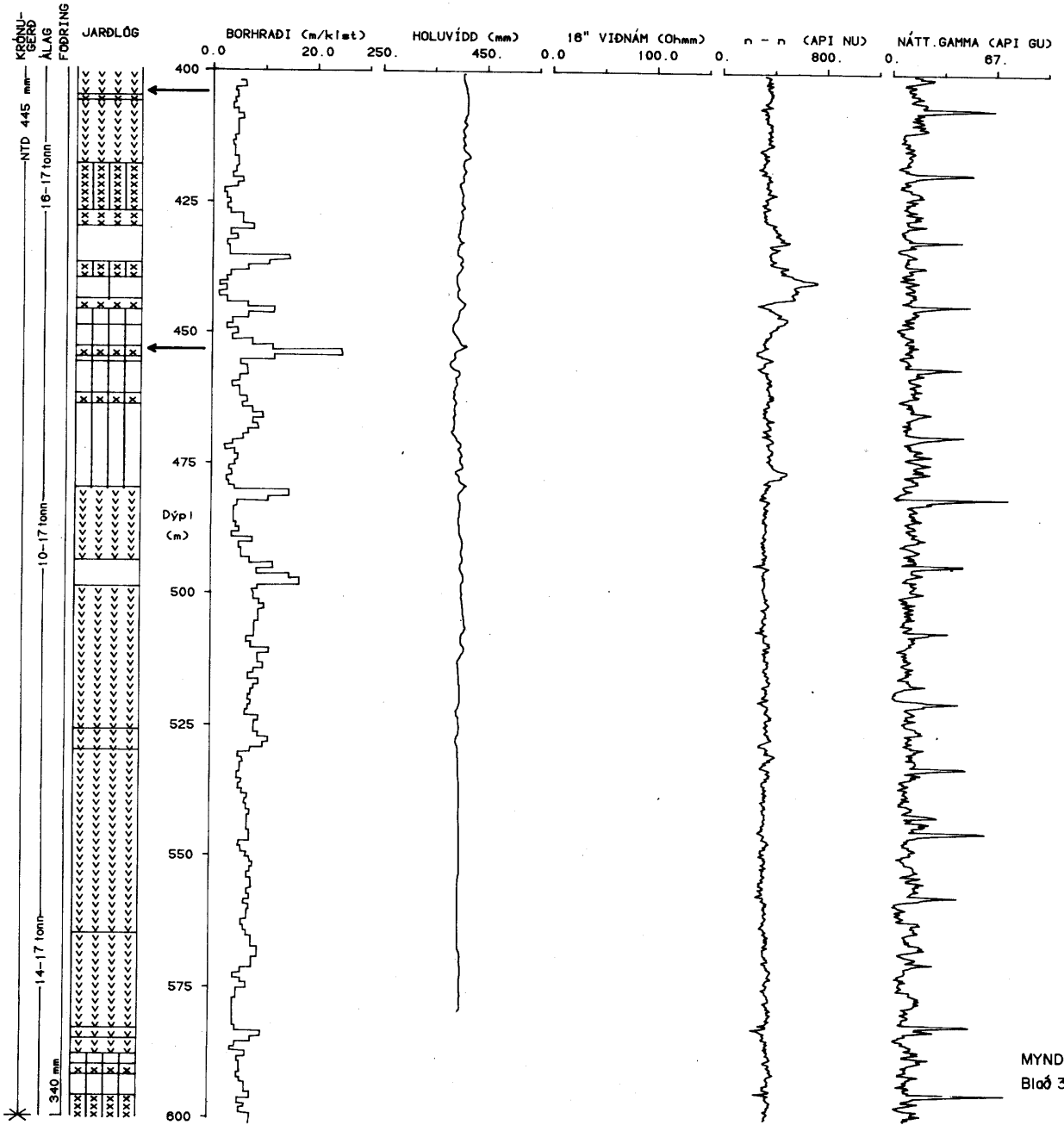
JHD-BM-2300-HF
83.02.0253 T

MYND 4
Blað 2 af 8



JHD-BJ-2300-HF
83.02.0253 T

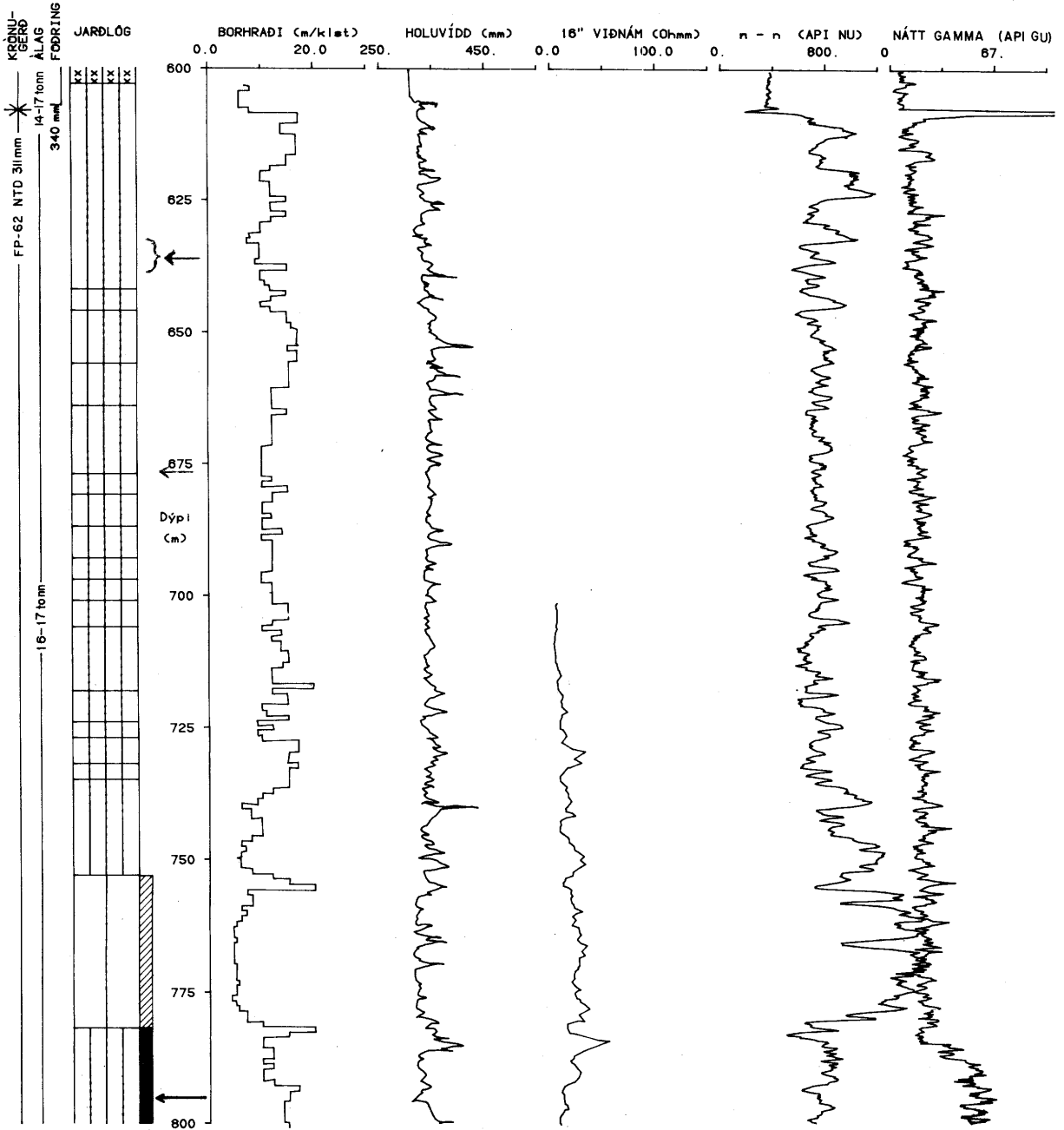
MYND 4
Blað 3 af 8



MYND 4
Blað 3 af 8

JHD-BJ-2300-HF
63.02.0253 T

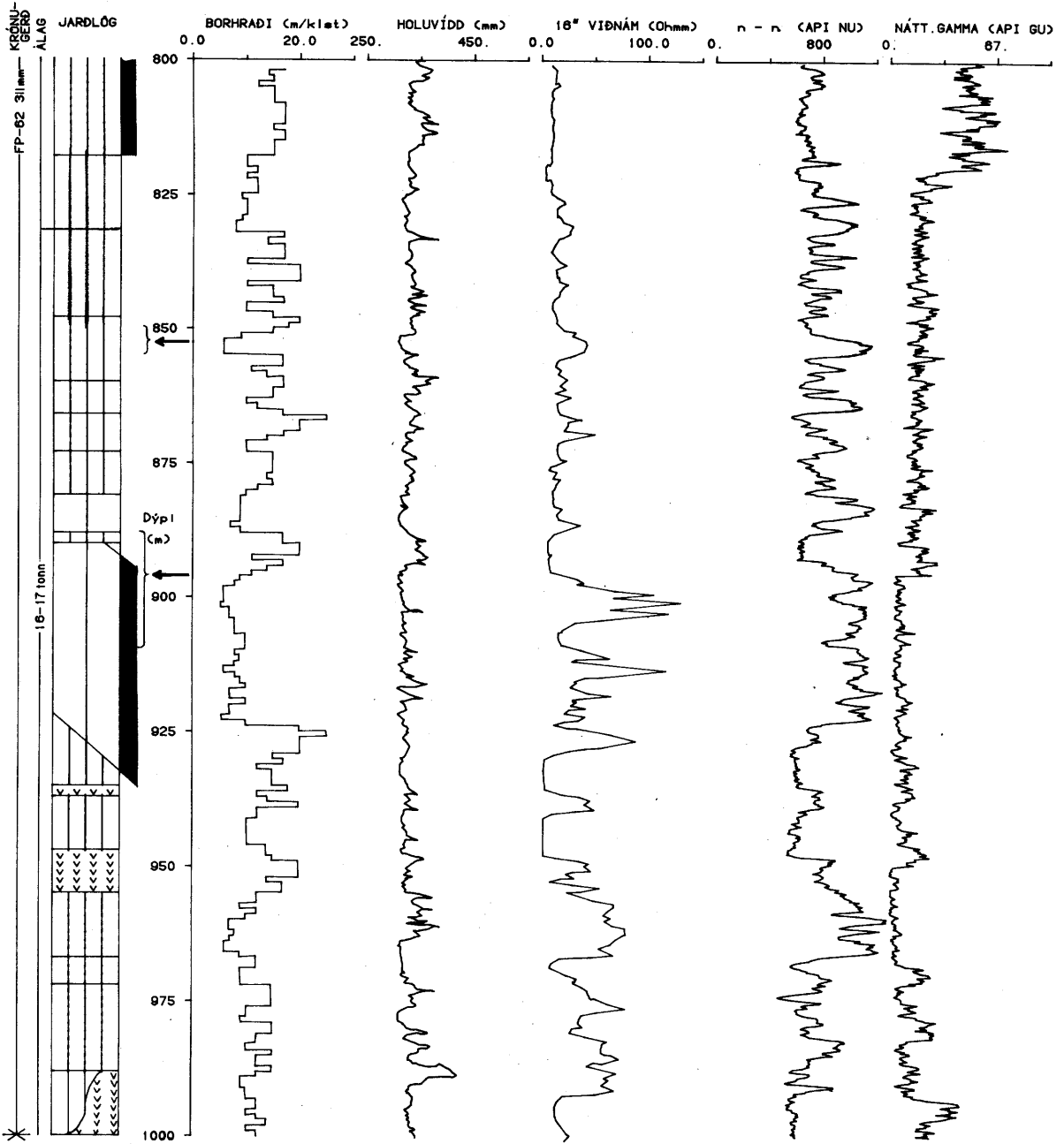
MYND 4
Blað 4 af 8



JHD-BJ-2300-HF
83.02.0253 T

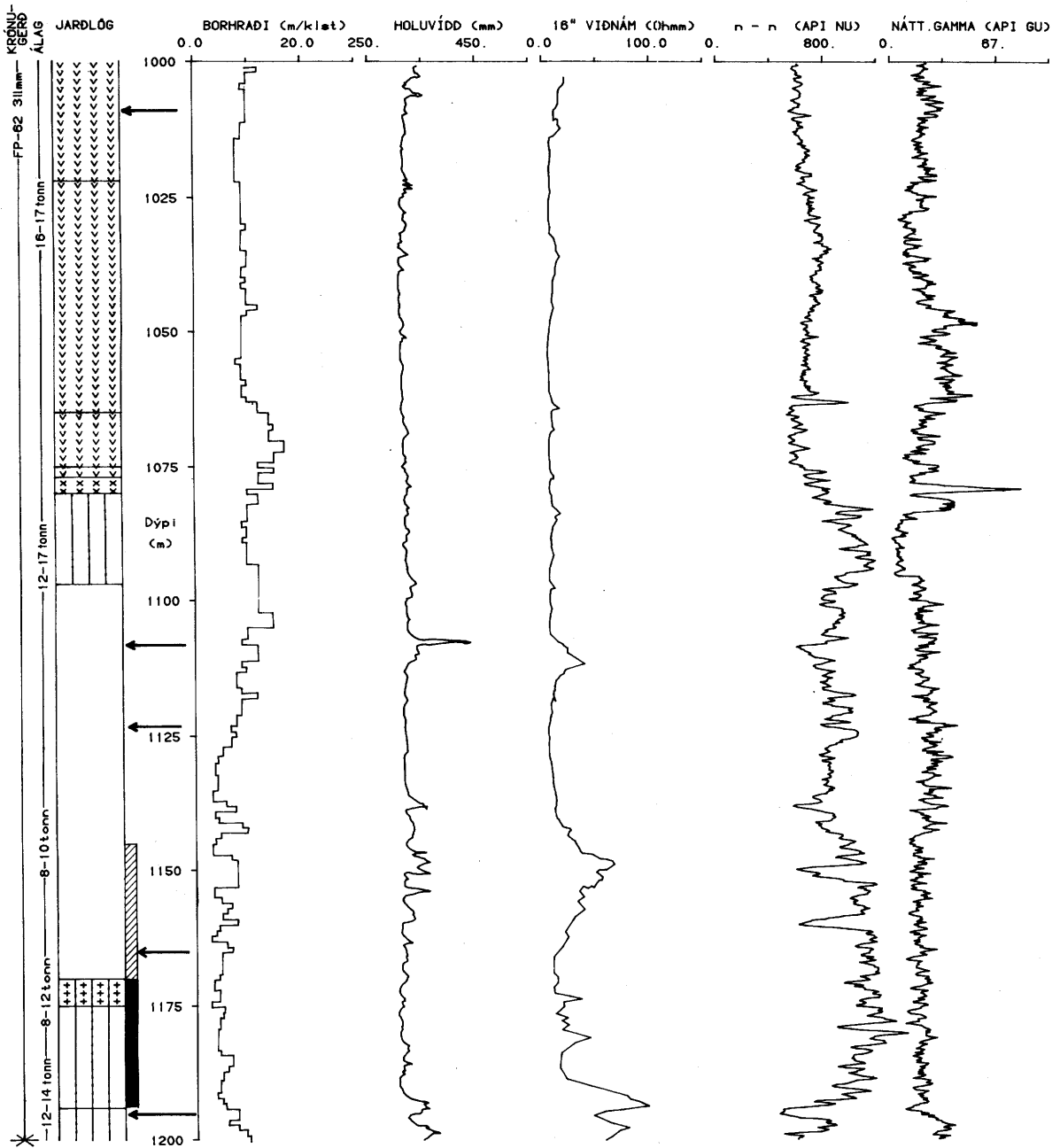
MYND 4

Blað 5 af 8



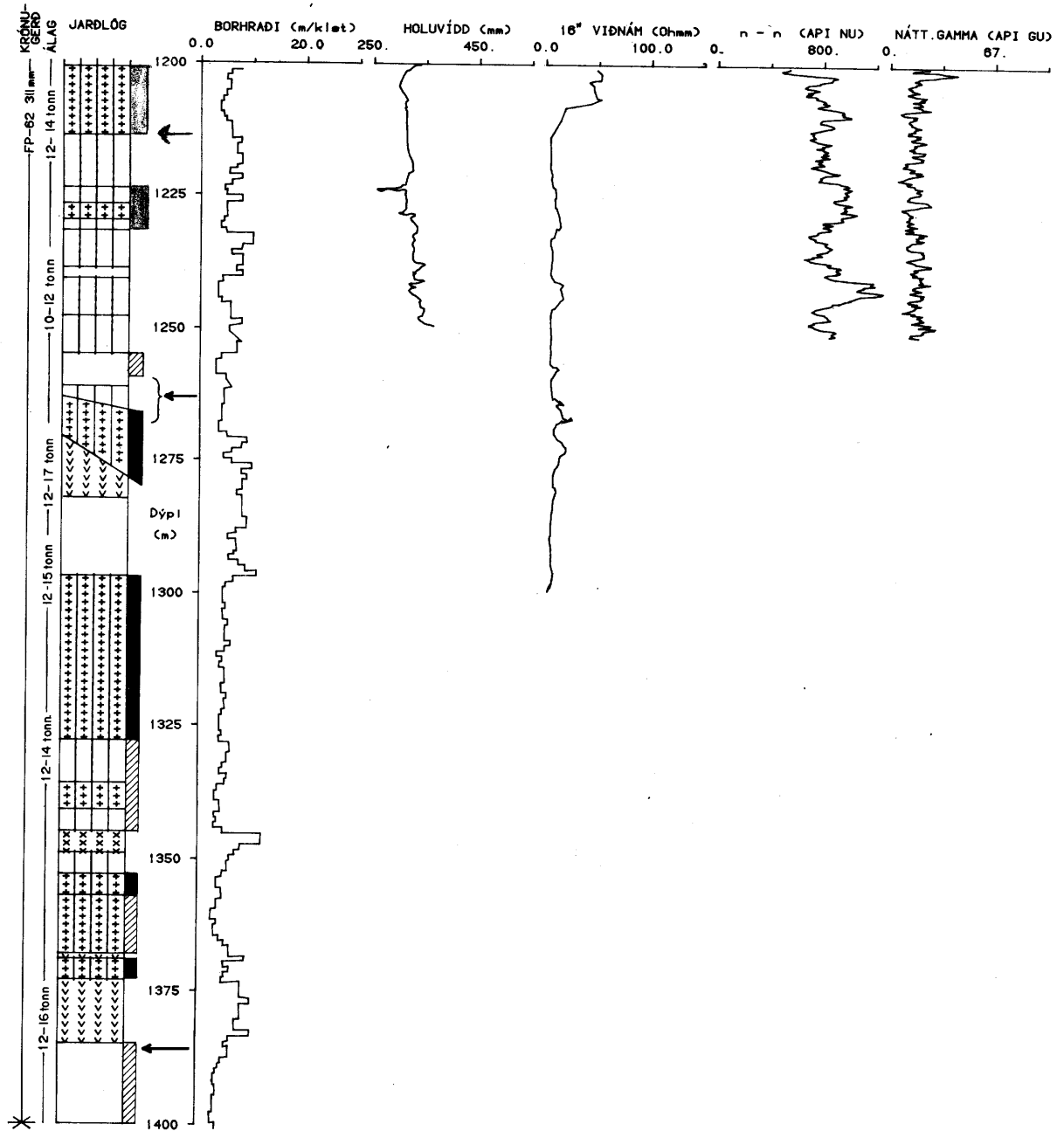
JHD-BJ-2300-HF
83.02.0253 T

MYND 4
Blað 6 af 8



JHD-BJ-2300-HF
83.02.0253 T

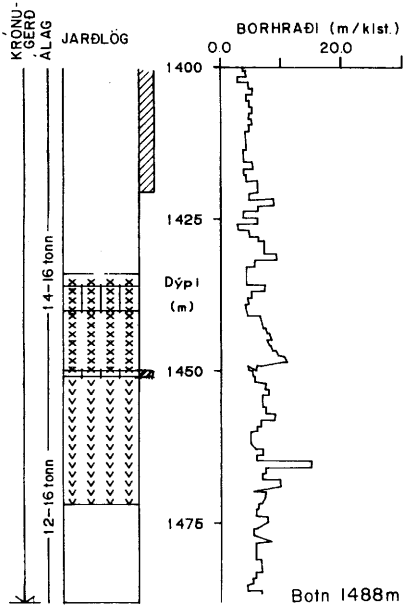
MYND 4
Blað 7 of 8



JHD-BJ-2300-HF
83.02.0253 T

MYND 4

Blað 8 af 8



SKÝRINGA



Fersklegt fín-meðalkorna basalt



Ummyndað fín-meðalkorna basalt



Ummyndað meðal-grófkorna basalt



Ummyndað glerjað basalt



Basaltrik breksia



Túff



Svarf vantar



Innskot



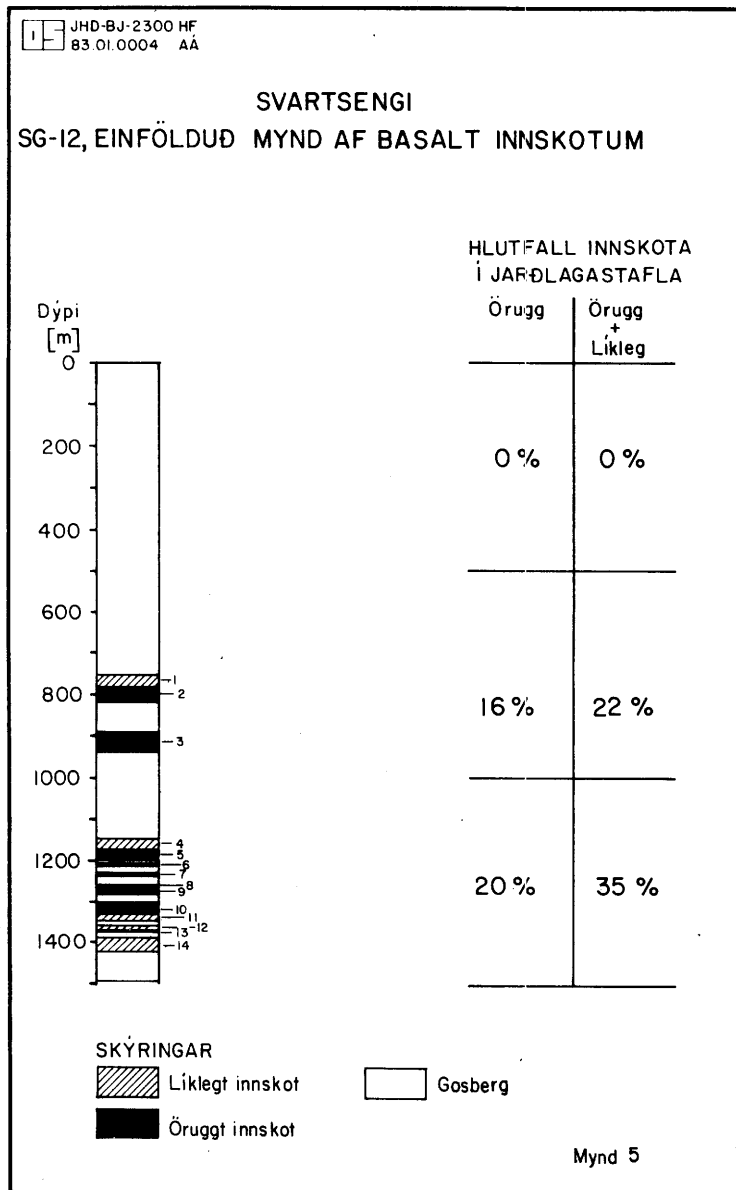
Líklegt innskot



Vatnsæð

hraunlaga og móbergsmýndana í borholum samsvari raunþykkt þessara berglaga. Sú forsenda gildir ekki um þykkt innskota þar sem halli þeirra er í fæstum tilfellum þekktur. Því ber að líta á ofangefnar þykktartölur með varúð því þær gefa líklegast mun meiri þykkt en raunþykkt innskotanna. Mynd 4 sýnir legu innskota eftir dýpi í SG-12. Sé holunni skipt í þrjú jöfn dýptarbil er greinileg aukning innskota með dýpi. Í efsta hluta holunnar eru engin innskot, á dýptarbilinu 500-1000 m eru 16-22% og á 1000-1500 m 20-35% berglaga innskot.

Eins og að ofan er getið, er í fæstum tilfellum unnt að ákvarða halla innskota út frá svarfgögnum. Byggt á reynslu jarðlagagreininga í borholum á tertíerum lághitasvæðum landsins er þó í einstökum tilfellum unnt að greina hvort innskot liggi nær lóðréttu, þ.e. þegar borhola sker jaðar innskots á löngu dýptarbili. Af þeim 14 líklegu innskotum sem lýst er hér að neðan eru tvö sem sýna þessi einkenni, þ.e. númer 3 (890-936 m) og nr. 8 (1263-1280 m). Vatnsæðar eru tengdar báðum þessum lögum. Þar sem innskot eru talin eiga mikinn þátt í góðri vatnsgæfni í vinnsluhluta SG-12, verður hverju einstöku innskoti lýst hér. Númerin í textanum samsvara þeim sem merkt eru á mynd 5.



1. (753-782 m) Það sem helst gæti mælt gegn því að þetta 29 m þykka þóleiftlag sé innskot er að við jaðra lagsins ber nokkuð á blöðrum. Bergið er annars þétt og fínkorna nema við miðbik lagsins þar sem það verður allt að grófkorna. Að jöðrum lagsins undanskildum er bergið fremur fersklegt. Borhraði er fremur lágur og jafn nema til jaðranna þar sem hann er hár.

2. (782-818 m) Þetta 36 m þykka lag er allt fínkorna blöðrulaust þóleift og sker það sig mjög greinilega frá öðrum lögum hvað varðar sterka straumstefnu plagfóklasans. Bergið er dökkleitt og fremur fersklegt í

efstu metrum lagsins en kolummyndað þar fyrir neðan. Borhraðinn gefur svipaða mynd, um 10 m/klst þar sem lagið er fersklegt en 15 m/klst þar sem ummyndunar gætir. Eins og fram kemur á mynd 4 og í kafla 5 er vatnsæð rétt ofan við miðju lagsins (um 795 m), en þar verður vart við nokkuð af sprungufyllingum (pýrft, kalsít o.fl.). Gildi náttúrulegu gammamælingarinnar eru mun hærri en fyrir önnur lög, fyrir ofan og neðan. Viðnámsmælingin styður svarfgreininguna að því leyti að ákveðinn viðnámsstoppur er þar sem bergið er fersklegt en lágt þar sem það er ummyndað.

Það að lagið er allt jafn fínkorna þrátt fyrir 36 m þykkt, svo og að plagíóklasinn sýnir óvenju áberandi straumstefnu, bendir til þess að raunþykkt lagsins sé mun minni, þ.e. að það sé e.t.v. nær lóðrétt.

3. (890-936 m) Þetta lag finnst á 46 m bili og greinist í svarfi og þunnsneið sem ferkslegt, þétt, meðalkorna, sub-ófitískt ólivín-þóleift. Jaðrar berglagsins eru nokkuð einkennandi fyrir nær lóðrétt innskot, þ.e. að þótt skýr mörk séu í berggreiningu þá eykst hlutfall innskotsbergsins í svarfsýnum smám saman á um 6 m bili við efri jaðar þess en við neðri jaðar þess tekur það borkrónuna 14 m að bora sig alveg út úr laginu (sbr. mynd 4). Viðnám er mjög óreglulegt, háir skarpir toppar (allt að 140 ohmm) en jafnskörp lággildi þar á milli. Á þessu bili eru einnig fremur há gildi í neftrónudreifingu.

Innan lagsins er borhraði fremur lágur og jafn. Vatnsæð kemur inn í holuna á bilinu 888 m - 910 m. Á grundvelli líftillar ummyndunar innan innskotsins er líklegt að vatnsæðin (sbr. mynd 4) sé í efri jaðri þess.

4. (1145-1194 m) Algjört skoltap varð á dýptarbilinu 1097-1170 m. Ætla má út frá fremur háum neftrónugildum og lágum gildum náttúrulegs gamma að efri skil þessa berglags sé á um 1145 m dýpi og er það því um 50 m þykkt. Fyrstu svarfssýnin neðan skoltapsins eru að mestu blöðrulaust grófkorna sub-ófitískt þóleift-basalt, en verður meðalkorna neðan 1175 m. Ummyndun er samkvæmt þunnsneiðagreiningu ekki mikil efst þar sem bergið er grófkorna en hún eykst er neðar dregur í laginu og við neðri skilin þar sem ein af stærstu æðunum kemur í holuna er bergið kolummyndað.

5. (1201-1214 m) Þetta lag er ummyndað grófkorna og blöðrulaust basalt. Borhraði er fremur jafn og lágur. Á þessu bili er ákveðinn viðnámstoppur svo og toppur í neftrónudreifingu.

6. (1224-1232 m) Milli 1214 og 1224 m er bergið kolummyndað og blöðrótt (fylltar útfellingum). Milli 1224-1232 m er basaltið blöðrulaust og þétt og grófkorna um miðbik lagsins. Bergið er mjög ummyndað. Lágur viðnámstoppur svo og toppur í neftrónudreifingu einkennir þetta dýptarbil.

7. (1255-1259 m) Svarf vantar af þessu dýptarbili, en ekki er ólíklegt að um 4 m þykkt innskot sé á þessu bili í holunni, og grundvallast það af snöggglækkun borhraða ásamt vel afmörkuðum toppi í viðnámi.

8. (1263-1280 m) Efri og neðri skilum þessa berglags svipar að því leyti til lagskila innskotsins í 890-937 m að þau koma smám saman inn í holuna, eins og vænta mátti m.t.t. þess að holan sker lagskilin undir þröngu horni. Bergið er blöðrulaust, fremur grófkorna og fersklegt basalt (dólerít). Neðri hluti lagsins er meðalkorna og ummyndað basalt. Borhraði í efri hlutanum er lágur og jafn en mun breytilegri í neðri hlutanum. Tveir fremur óverulegir viðnámstoppur eru á þessu dýptarbili. Ein af vatnsæðunum kemur líklegast inn í holuna við efri mörk innskotsins.

9. (1297-1328 m) Sub-ófitískt, grófkorna og þétt basalt (dólerít). Allt lagið sýnir merki ummyndunar, sem þó er öllu meiri við jaðrana. Borhraði er fremur jafn og lágur. Mælingar eru ekki til af þessum dýpsta hluta holunnar (neðan 1300 m).

10. (1328-1345 m) Þetta lag getur hugsanlega verið innskot vegna þess hvað það er blöðrulaust og þétt. Lagið er meðalkorna nema rétt neðan miðju þar sem það er grófkorna. Borhraði er fremur lágur, er rúmlega 5 m/klst efst en lækkar niður í um 3 m/klst neðarlega í laginu.

11. (1353-1357 m) Ummyndað blöðrulaust dólerít.

12. (1357-1368 m) Þetta lag er meðalkorna og blöðrulaust til jaðrana, og eru grófkorna um miðhlutann, og greinist þar í þunnsneið sem sub-ófitískt ólivín-þóleift.

Hugsanlega er þetta innskot, en gæti þó einnig verið neðri hluti hraunlags. Borhraði er lágur efst í laginu, um 3 m/klst, en hækkar í 6 m/klst neðst.

13. (1369-1373 m) Fremur ummyndað grófkorna basalt (dólerít), blöðrulaust. Borhraði jafn, um 5 m/klst. Túff bæði fyrir ofan og neðan lagið.

14. (1387-1420 m) Hér er eingöngu stuðst við borhraða, sem er lágur og fremur jafn (2-5 m/klst).

3.3 Tenging SG-12 við jarðlög SG-6 og SG-10

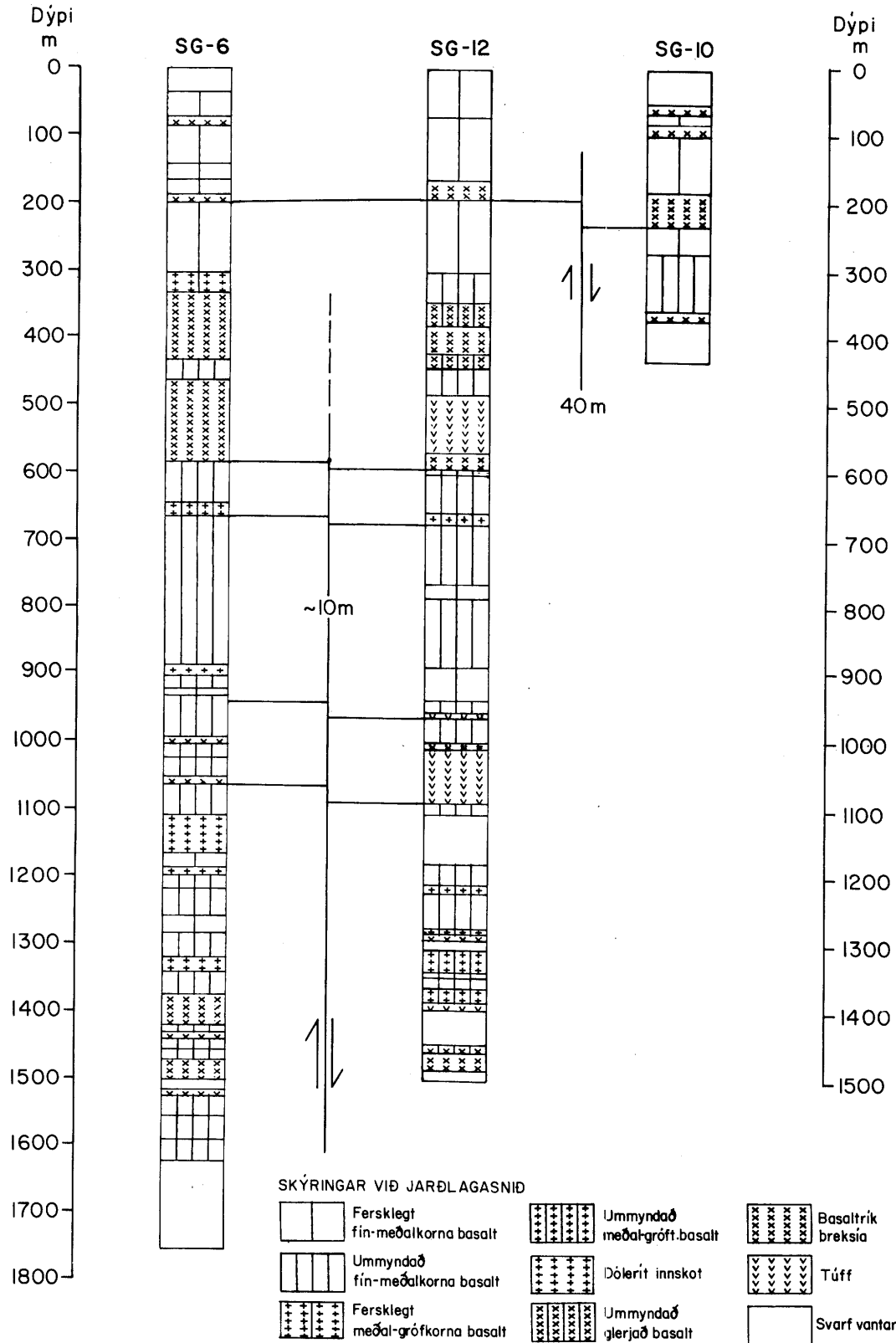
Mynd 6 sýnir samanburð einfaldaðs jarðlagasniðs SG-12 við jarðlög í SG-6 og SG-10, þ.e. þær holur sem næstar eru. Ofan 300 m liggja samsvarandi berglög í SG-6 og SG-12 á mjög líku dýpi. Neðar, eins og sýnt er á mynd 6, liggja skil jarðlaga um 10-20 m neðar í SG-12. Eðlilegast er að skýra þetta misræmi með misgengi sem var virkt a.m.k. áður en móbergslagið í 200 m myndaðist.

Jarðlagastafli SG-12 er einnig mjög svipaður staflanum í SG-10, en þó verður, á svipuðum forsendum, að setja misgengi með um 40 m sigi austan megin á milli holanna. Það misgengi hefur líklegast orðið til áður en móbergslögin á um 100 m dýpi mynduðust.

JHD-BJ-2300 HF
83.01.0008 AA

SVARTSENGI

TENING JARÐLAGA SG-12 VIÐ JARÐLÖG SG-6 OG SG-10



4 UMMYNDUN

4.1 Inngangur

Þegar jarðhitavatn leikur um berg tekur bergið að ummyndast. Er þar annars vegar um að ræða breytingu á frumsteindum og gleri í berginu yfir í ummyndunarsteindir, og hins vegar útfellingar, sem falla úr jarðhitavatninu og setjast fyrir í holrými í berginu. Þótt margar samvirkandi aðstæður eigi sinn þátt í ummyndun er hitastig talið einna áhrifamest. Myndun margra ummyndunarsteinda er háð hitastigi, t.d. þola flestir zeólítar illa hitastig ofan 200 °C. Leirtegundir breytast með hækkun hitastigi frá smektíti yfir í blandlagsleirsteindir og svellandi klórít og við rúmlega 200 °C tekur klórít að myndast. Neðri hitastigsmörk, sem epidót tekur að myndast við, eru um 230 °C. Aldur jarðhitakerfa er mjög breytilegur, þar sem hann er háður hitagjafanum (kvikuvirkni) og vatnsleiðni (s.s. sprunguvirkni). Aldur íslenskra megineldstöðva, en innan marka þeirra eru flest háhitasvæðin, er allt frá nokkrum hundruðum þúsunda ára til yfir einnar milljónar ára. Þeirri spurningu, hvort háhitasvæðið í Svartsengi sé innan marka megineldstöðvar, verður ekki svarað hér.

4.2 Ummyndun frumsteinda og glers

Á mynd 7 er sýnt ummyndunarstig frumsteinta og glers eins og það var greint í um 40 þunnsneiðum. Gott samræmi er á milli ummyndunarstigs í svarfgreiningu (stereósmásjá) og þunnsneiðagreiningu; það sem í fyrrnefndu greiningunni er kallað ummyndað samsvarar því að í þeirri síðarnefndu séu plagíóklas og pýroxen tekin að brotna niður í ummyndunarsteindir.

Gler telst allt ummyndað neðan 450 m dýpis, ef frá er talið gler í fersku innskoti á um 900 m dýpi. Eins og sjá má af mynd 7 er ummyndun glers ofan 400 m breytileg og líklegt að hún stjórnist af legu vatnsæða, t.d. er allt gler ummyndað í og við vatnsæðarnar í 110 m og 260 m en minna ummyndað þar á milli. Glerið ummyndast gjarnan yfir í leir, kvars og kalsít.

Ólivín er, á líkan hátt og glerið allt ummyndað neðan

400 m nema í innskotinu í 900 m þar sem það enn finnst að hluta til ferskt. Ofan 400 m er ferskleiki ólivínsins breytilegur; við æðina í 70 m er það að hluta ummyndað en nokkrum metrum neðar er það ferskt þótt í þorótttri móbergsbreksfu sé. Við æðina í 260 m er ólivín allt ummyndað.

Ofan til ummyndast olívín einkum yfir í leir (þ.á.m. iddingsít) og kalsít og neðan 700 m dýpis einnig yfir í kvars. Nærri æðinni í 1195 m sést ólivín hafa ummyndast að hluta til yfir í pýrít.

Pýroxen telst ferskt ofan 300 m nema aðeins örlar á ummyndunum þess við æðina í 70 m. Frá 300 m niður í um 700 m er ummyndunin fremur óveruleg, einkum við jaðrana og í kleifniflötum. Þó finnst undantekning nærri vatnsæðinni í 454 m þar sem áberandi meiri ummyndunar gætir. Neðan 700 m er pýroxen mun meira ummyndað, og virðist fylgni þó vera á milli ummyndarstigs og nálæggra vatnsæða. Er þetta einkanlega áberandi nærri vatnsæðinni í 1000 m og æðunum í 1195 og 1216 m.

Pýroxen ummyndast að mestu yfir í leir. Þó virðist sem kalsítummyndun geri einkum vart við sig nærri vatnsæðum, sérstaklega við 756 m, 1216 m og 1260-68 m.

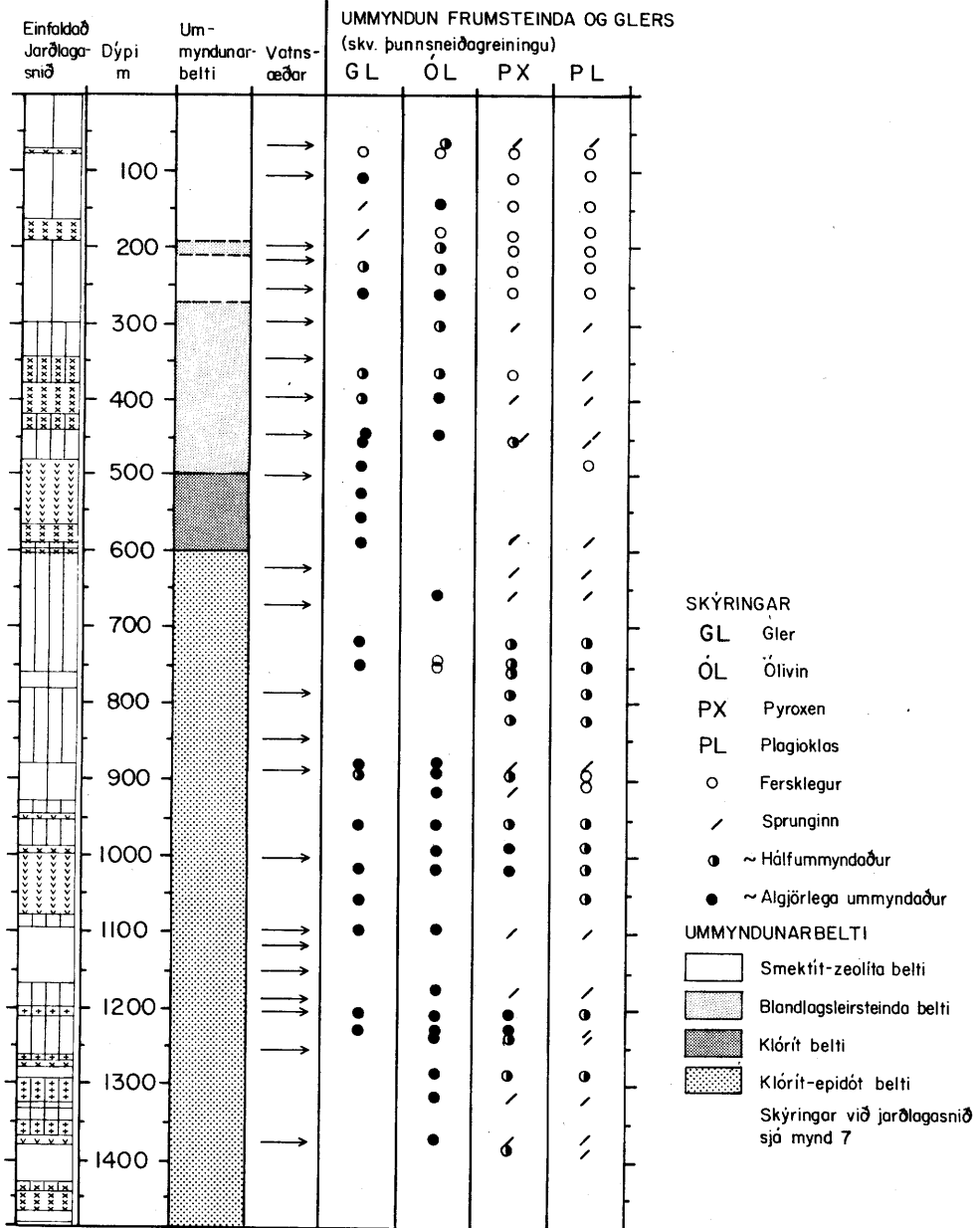
Plagíóklas er ferskur ofan 300 m nema við 70 m dýpið þar sem örlar á ummyndun í kleifniflötum. Neðan 300 m dýpis er ummyndun nokkuð breytileg, niður að um 600 m er hún hverfandi, og þá aðallega sem örmjóar ummyndunarrákir eftir kleifniflötum. Eins og sést á mynd 7, ber meira á ummyndun neðan þessa dýpis, en hvergi er hún algjör. Svo virðist sem tengsl séu á milli vatnsæða og ummyndunar plagíóklasa t.d. er hún mikil við vatnsæðarnar nærri 1000 m og 1200 m, en heldur minni annars staðar.

Plagíóklasinn ummyndast ofan 600 m yfir í leir og kalsít, en neðan 600 m leir, kalsít og albít. Í neðsta þunnsneiðarsýninu af um 1390 m dýpi ummyndast plagíóklasinn yfir í epidót og albít. Þótt þessi athugun sé aðeins byggð á um 40 þunnsneiðagreiningum þá koma nokkuð glögglega fram tvennskonar breytingar, annars vegar aukning ummyndunar með dýpi, og hins vegar ummyndunar "toppar" þar sem vatnsæðar koma inn í holuna.

JHD-BJ-2300-HF
83.01.0006 AA

SVARTSENGI

SG-12, UMMYNDUN FRUMSTEINDA OG GLERS



Mynd 7

4.3 Dreifing ummyndunarsteinda

Á mynd 8 er sýnd dreifing ummyndunarsteinda ásamt einfölduðu jarðlagasniði og þeim aðferðum sem notaðar voru við greiningu þeirra. Einnig er sýndur hitaferill úr Amarada mælingu.

Karborót. Innan þessa steindahóps teljast kalsít, aragónít, dólemít og magnesít.

Kalsít. Sé kleifni í saltsýru höfð sem forsenda fyrir tilveru þess, verður fyrst vart við þessa steind á um 300 m dýpi og finnst hún þaðan og niður á botn holunnar. Kalsítið finnst bæði sem útfelling í holrými berglaga og sem ummyndun frumsteinda og glers. Magn kalsíts er nokkuð mismunandi en virðist áberandi við vatnsæðar.

Aragónít greindist í röntgen og þunnsneiðum ofan 300 m dýpis.

Dólemít var greint í einu röntgensýni af 315-330 m dýpi.

Magnesít greindist í sama röntgensýninu og dólemítið.

Líklegt er að þrjár síðast nefndu tegundir karbonatanna séu eingöngu til staðar ofan 350 m dýpis eða þar sem ummyndunar gætir minna, en kalsít sé ráðandi þar fyrir neðan.

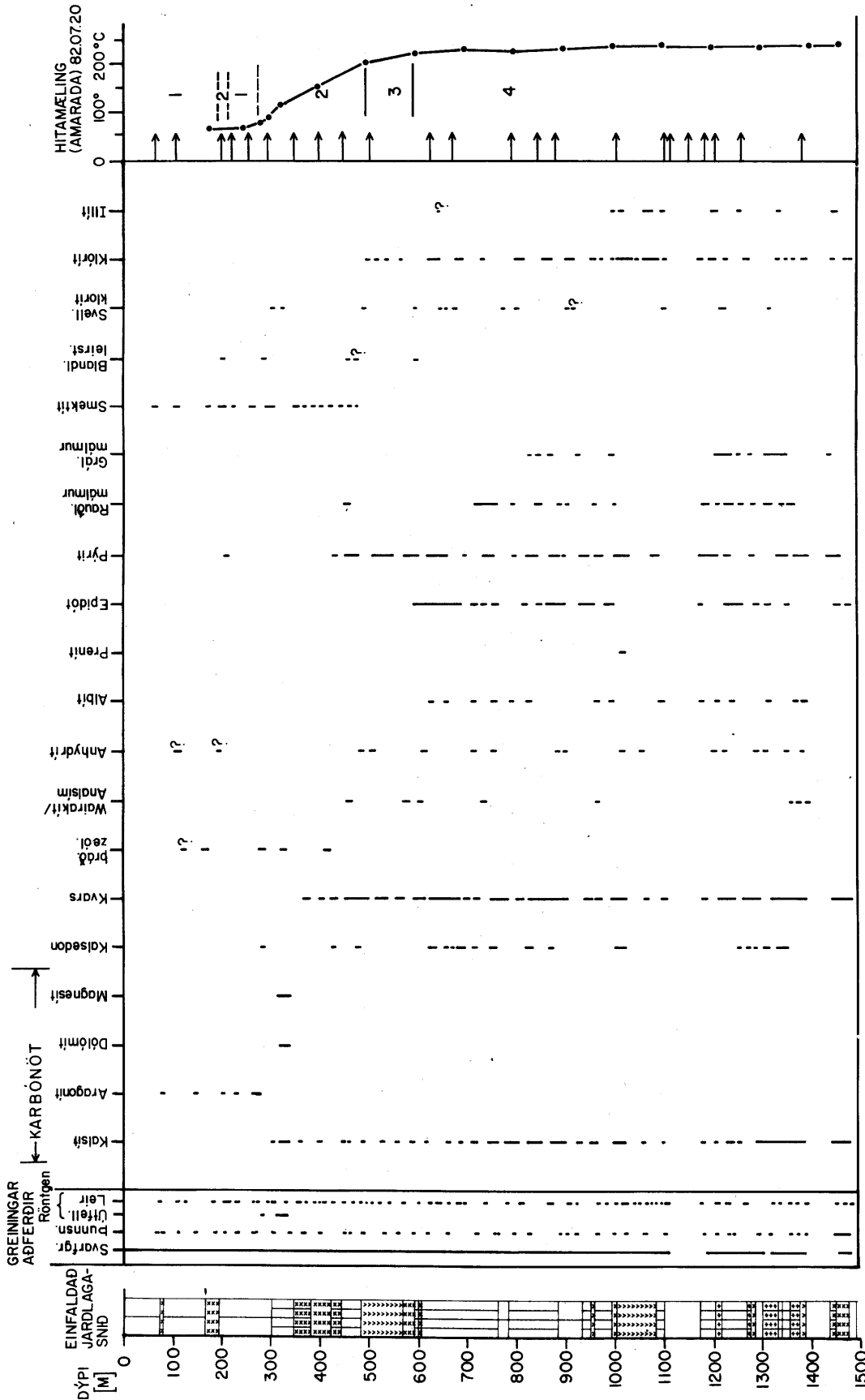
Kalsedón var greint að mestu í stereosmásjá, en fannst einnig í þunnsneiðum sem smágerð kvars (endurkristallað). Eins og getið er um í 4.4 finnst það að langmestu leyti sem útfelling næst holuveggjum. Það finnst fyrst á um 280 m dýpi og allt niður að 1350 m.

Kvars finnst fyrst á 370 m dýpi og er algeng útfelling þar fyrir neðan. Gler og ólivín ummyndast að hluta til í kvars. Það sést víða í holurými sem næsta steind við og yngra en kalsedón.

Þráðóttir zeólítar greindust á fimm stöðum frá um 110 m niður á rúmlega 400 m dýpi.

JHD-BJ-2300-HF
83.01.0069 AA

SVARTSENGI
SG-12, DREIFING UMMYNDUNARSTEINDA



SKYRINGAR VIÐ JARÐLAGASNIÐ

- Ferskleið fin-meðalkorna basalt
- Ummýndað fin-meðalkorna basalt
- Ummýndað meðal-grófkorna basalt
- Ummýndað glerjæð basalt
- Basaltísk breksía
- Tuff
- Vantar svart
- Smektit-zeólíta belti
- Basaltíks leirsteinda belti
- Klórit belti
- Klórit-epidót belti

→ Vatnsæð

Mýnd 8

Wairakít/analísín greindist í þunnisneiðum og stereósmásjá neðan 450 m dýpis, ætíð í litlu magni, alltaf sem holufylling, og er undantekningalaust síðasta (yngsta) útfellingin í holurýmum (sjá 4.4).

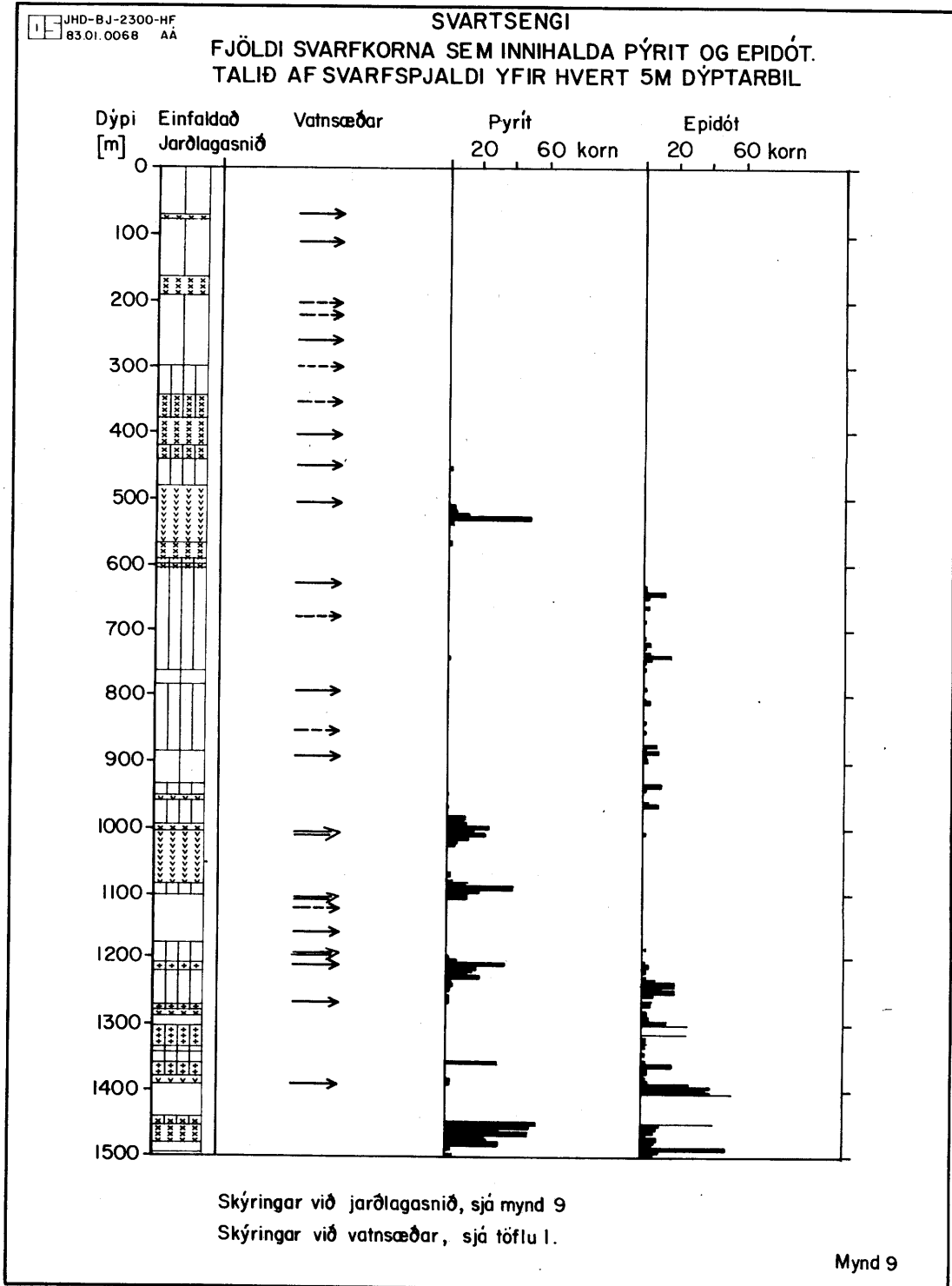
Anhýdrít, sem aðeins var greint í þunnisneiðum, fannst dreift neðan 490 m dýpis. Það finnst sem útfelling og oft ásamt með kalsíti, pýrítí og epidóti.

Albít finnst neðan 630 m dýpis og amk. niður á 1400 m. Albít er ætíð sem myndbreytingarsteind plagióklasa.

Prenít finnst aðeins í einni þunnisneið á um 965 m dýpi.

Epidót finnst fyrst á tæplega 600 m dýpi og þaðan víða allt til botns holunnar. Eftirtektarvert er þó að epidót sást ekki í móbergsmýnduninni milli 1000 - 1100 m dýpis. Epidót er steind sem auðveldlega greinist í stereósmásjá og þunnisneið. Gerð var könnun á útbreiðslu og afstæðu magni epidóts á svarfspjaldi yfir hvert 5 m dýptarbil, og er það sýnt á mynd 9. Þar sést að epidót er í nokkru magni á tveimur dýptarbilum, annars vegar á milli 625 og 960 m og hins vegar frá um 1200 m niður á botn holunnar. Í síðara bilinu er það mun algengara. Epidót finnst yfirleitt sem holu-/sprungufylling en einnig sem ummyndun á gleri. Í einu sýni nærri botni holunnar sést epidót sem ummyndun í plagióklasa.

Pýrít finnst eingöngu neðan 420 m dýpis. Ein undantekning er þó þar sem vottur af pýrítí fannst við vatnsæðina á 206 m dýpi. Ef frá er talinn skarpur toppur í pýrítmagni á 520 m er pýrít ekki algeng ummyndunarsteind fyrr en neðan 980 m. Pýrít, eins og epidót, er auðkennanlegt í svarfgreiningu. Á mynd 9 er sýnt á afstæðan hátt magn pýrítis yfir hvert 5 m dýptarbil í holunni. Athyglisvert er að dreifing epidóts og pýrítis er nokkuð frábrugðin. Þar sem magn pýrítis er mikið er magn þess fyrirnefnda takmarkað og svo öfugt. Í sumum tilvikum virðast pýrít topparnir vera á svipuðu dýpi og vatnsæðarnar (t.d. 510-550 m, 980-1030 m, 1075-1110 m, 1200-1225 m). Í holu-/sprungufyllingum sést pýrít víða myndað á svipuðum tíma og epidót og kalsít.



Aðrar málmsteindir. Í þunnsneiðagreiningu sáust a.m.k. tvær gerðir málmsteinda. Ekki reyndist unnt að greina þær með öryggi og verður að bíða örgreiningar.

Rauður málmur. Rauður málmur sést neðan 400 m sem íhvolft holu-sprungufylling, oftast hol að innan. Líklegast er hér um að ræða límonít og/eða hematít.

Grár málmur. Þessi málmsteind, sem gefur gráleitt endurkast, rínnst aðeins á bilinu 830-1000 m svo og neðan 1200 m. Er hann bæði sem ummyndun á frumhluta bergsins og sem holu-/sprungufylling. Líkt og sá rauðleiti er hann síst að finna í móbergi en mun frekar í kristölluðu basalti.

Leirsteindir. Í allt voru 125 leirsýni greind á röntgen "diffraksjón" (XRD). Greint var á milli eftirfarandi 5 tegunda:

Smektít er ráðandi leirtegund ofan 480 m en finnst ekki þar fyrir neðan.

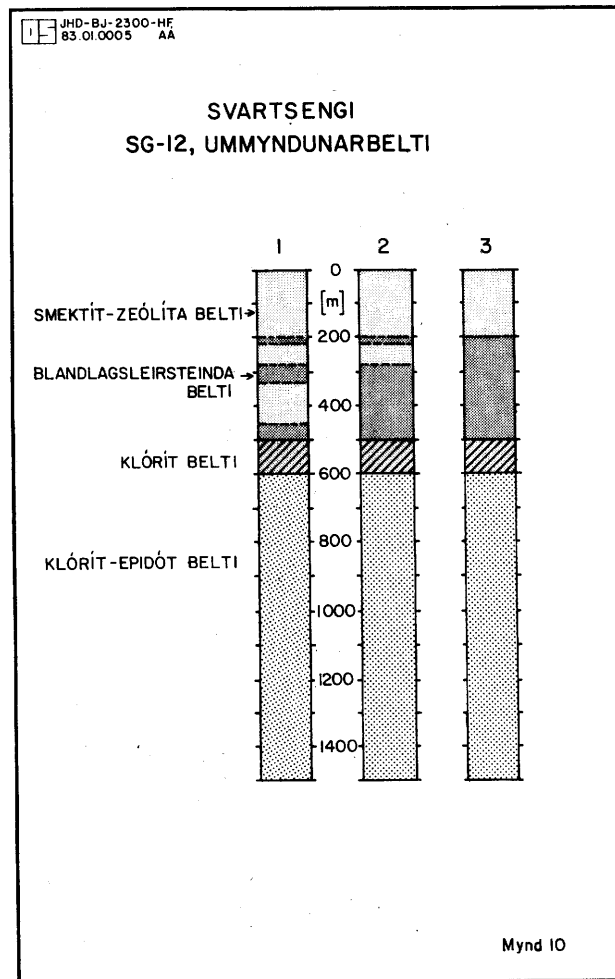
Blandlagsteinsteindir greindust í 5 sýnum frá um 220 m og niður á 600 m dýpi.

Svellandi klórít greindist í 17 sýnum frá um 220 m og niður á 1320 m dýpi.

Klórít kemur fyrst fram á um 500 m og er ráðandi leirsteind niður á botn holunnar.

Illít greindist með vissu í 13 sýnum neðan 1000 m dýpis. Athyglisvert er að illítið virðist myndast í eða við allar helstu æðar sem holan sker, svo sem í 1260-1268 m, 1195-1216 m, 1109 m og 1008 m.

Leirsteindir finnast bæði sem ummyndun í öllum frumhlutum bergsins (gler, olivín, pýroxen, plagíóklas) og sem holu-/sprungufylling.



4.4 Ummyndunarbelti

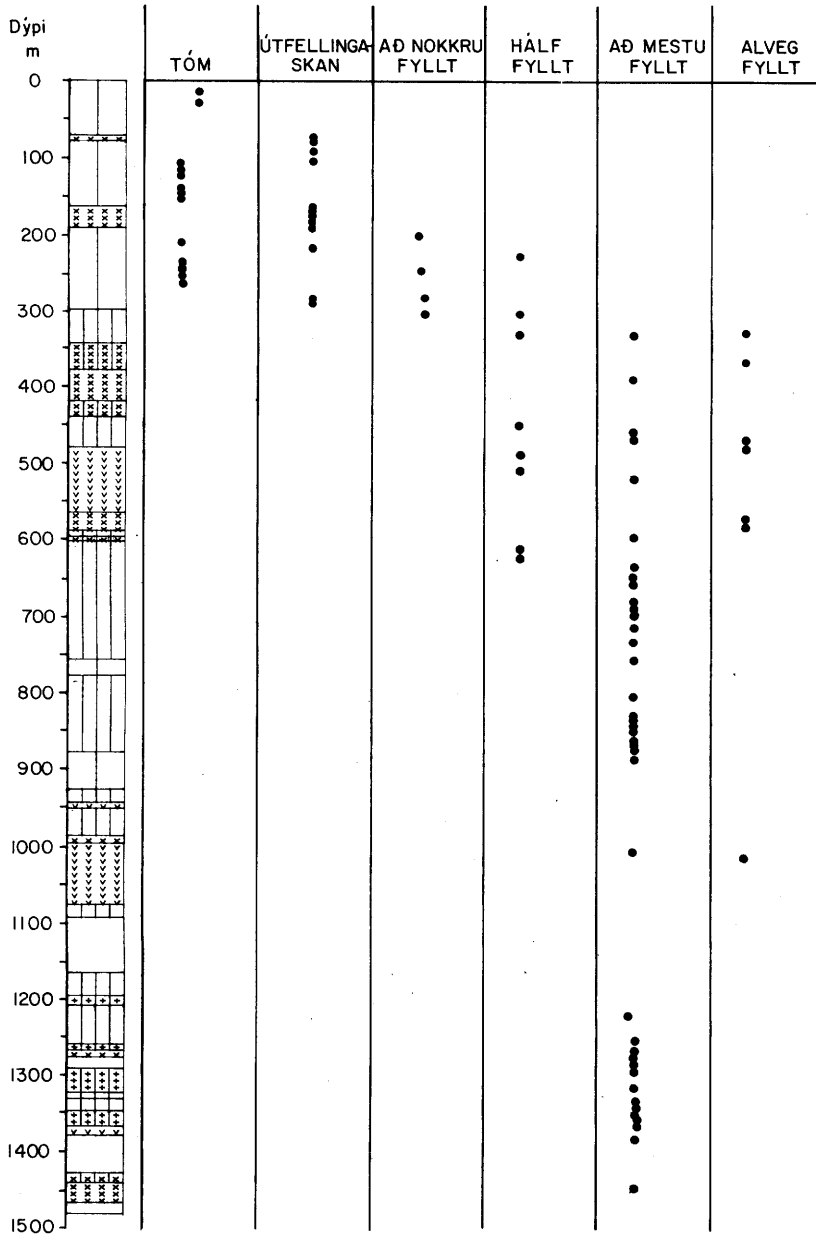
Á mynd 10 er sýnd beltaskipting ummyndunar í SG-12. Ákveðin mörk eru á milli allra beltanna nema á milli smektít- og blandlagsleirsteinda beltisins, þar sem þrjár möguleikar koma til greina:

- a) Að blandlagsleirsteindabeltið nái frá 200 m og allt niður á 500 m dýpi. Það sem mælir með þessum möguleika er, að sú hefð hefur skapast að setja efri mörk beltisins við fyrsta vott blandlagsleirsteinda. Þessi beltaskipting er sýnd sem möguleiki 3 á mynd 10. Vert er að hafa í huga að vottur af þráðóttum zeólít finnst allt niður fyrir 400 m.
- b) Að blandlagsleirsteinda beltið sé tvískipt, mjótt belti milli ca.190-220 m, og annað frá 280 m niður að 500 m dýpi. Á mynd 8 sést að blandlagsleir kom þó ekki fram í töntgengreiningum í móberginu í 330-450 m, og má vera að berggerðin á þessu bili geti valdið nokkru um, sérstaklega ef haft er í huga, að

JHD-BJ-2300 HF
83.01.0067 AA

SVARTSENGI

SG-12, GRÓFT MAT Á MAGNI ÚTFELLINGA Í HOLRÝMUM
BERGLAGA SKV. SVARF- OG ÞUNNSNEIÐAGREININGUM



Skýringar við jarðlagasnið, sjá mynd 9

Mynd II

blandlagsleirsteindir og svellandi klórft finnast hvorki í móberginu á milli 480-590 m né í móberginu neðst í holunni.

c) Að blandlagsleirsteinda beltið sé þrískipt (sbr. valkost 1 á mynd 10), þ.e. á 190-220 m, 280-310 m og 450-500 m. Þessi skipting er í samræmi við röntgengreiningar sem eru teknar nokkuð þétt svo sem fram kemur á mynd 8.

Sé hliðsjón höfð við önnur gögn svo sem ummyndun frumsteinda og vatnsæðar er kostur b) talinn einna líklegastur.

Efri mörk klórft beltisins við 500 m markast af hvarfi smektíts og að í staðinn verður klórft ráðandi .

Klórft-epidót beltið nær frá 595 m, þar sem epidóts verður fyrst vart, og niður á botn holunnar.

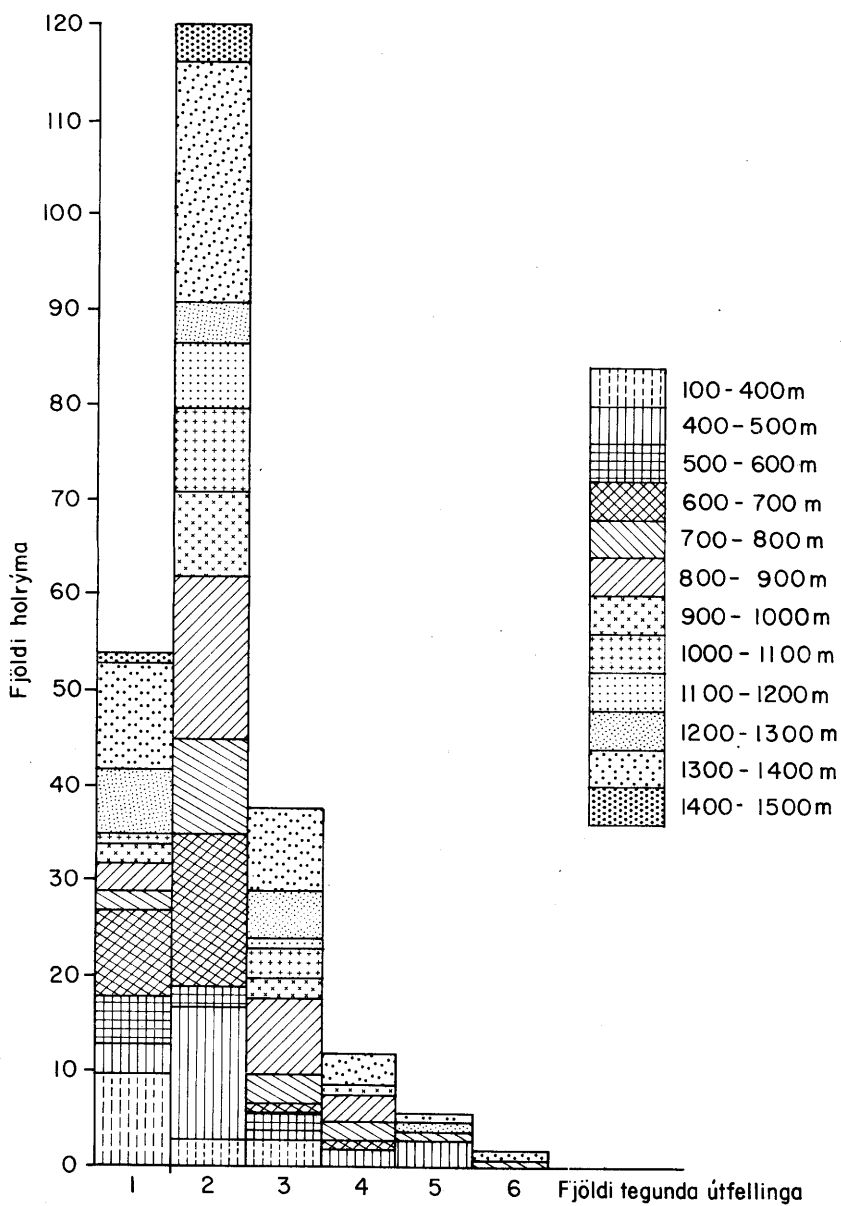
4.5 Magn útfellinga í holrýmum

Stærð holrýma (pora) í bergi er mjög breytileg (frá nokkrum míkronum í yfir 10 cm í þvermál). Í eftirfarandi mati verður því að hafa í huga, að átt er við holrými sem eru < 5 mm í þvermál. Mynd 11 sýnir á afstæðan hátt hve holrými eru mikið fyllt af útfellingum, og er hér byggt á um 87 athugunum í svarfgreiningu og þunnsneiðum.

Ofan 200 m dýpis eru blöðrur yfirleitt tómar, nema útfellingaskán finnst á bilunum 75-110 m og 165-195 m. Milli 200-300 m koma fyrir jarðlög, þar sem blöðrur eru að nokkru eða hálfylltar af útfellingum. Milli 300-625 m er blöðrur hálf-, að mestu eða alveg fylltar. Neðan 625 m dýpis eru blöðrur að mestu eða alveg fylltar. Af þessu má ráða að upphaflegur poruhluti (primary porosity) berglaga ofan 300 m dýpis sé hár, mun lægri og breytilegri á milli 300-600 m dýpis, en neðan þess að jafnaði lár. Þessar niðurstöður eru í fullu samræmi við jarðfræðilegar forsendur vatnsæðanna þar sem þær fylgja gjarnan lagmótum berglaga í efri hlutanum, en fremur "sekúnderum" vatnsleiðurum (sprungum og innskotum) í neðri hluta.

JHD-BJ-2300 HF
83.01.103 AA

SVARTSENGI SÚLURIT, SEM SÝNIR FJÖLDA TEGUNDA ÚTFELLINGA Í EINSTÖKUM HOLURÝMUM



Mynd 12

4.6 Röðun útfellinga

Fjöldi útfellingategunda í blöðrum og sprungum er mjög breytilegur og gefur innbyrðis lega þeirra innan holrýmisins til kynna afstæðan aldur þeirra eins og sýnt er skematískt á mynd 13.

Sýnt hefur verið fram á, við kortlagningu ummyndunar í djúpt rofinni megineldstöð í Geitafelli í Hornafirði, að slík rannsóknaraðferð getur gefið markverðar upplýsingar um þróun og breytileika háhitasvæðis (Guðmundur Ómar Friðleifsson, persónulegar upplýsingar). Þessi athugun á röðun útfellinga í SG-12 beinist einkum að því hvort lesa megi úr svarfgögnum úr borholu á virku háhitasvæði einhverjar upplýsingar um þróun jarðhitageymisins.

Í svarf- og þunnsneiðagreiningu voru athugaðar yfir 250 blöðru- og sprungufyllingar þar sem fyrir voru ein eða fleiri tegundir útfellinga. Súluritið á mynd 12 sýnir fjölda útfellingategunda í þeim blöðru- sprungufyllingum, sem athuganir náðu til, auk þess sem skipting þeirra með tilliti til dýptarbils sést. Súluritið sýnir, að holrými með 1-3 tegundum útfellinga er algengt, með 2 tegundum lang algengast, en 4-6 tegundum mun sjaldgæfara. Hér verður þó að taka til greina að vegna smæðar svarfkorna sjást nær eingöngu útfellingar í smærri holrýmum. Einnig er líklegt að fjöldi holrýma með einni gerð útfellinga sé vanmetinn ("sampling bias").

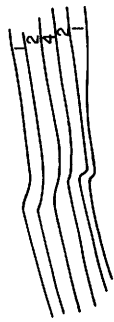
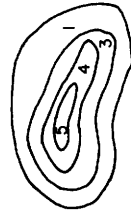
Á mynd 14 er sýnd afstæð tímaröðun útfellinga innan hvers 100 m dýptarbils í borholu SG-12. Mögulegt er að skipta útfellingaröðinni upp í a.m.k. 8 flokka:

1. Leir. Þessi útfelling finnst næst holuveggum á 1200-1400 m dýpi og hefur myndast fyrr en kalsedón.

2. Kalsedón, "limónit" og zeólít. Útfellingar af þessu tagi finnast frá 200 - 1400 m dýpis. Ekki verður greind með vissu innbyrðis tímaröðun þeirra. Limónítið myndar gjarnan hálf-kúlulaga lagskipta útfellingu. Á milli laganna setjast stundum síðari tíma kristalútfellingar.

JHD-BJ-2300 HF
83.01.0003 AA

SVARTSENGI.
SKEMATISKUR ÞVERSKURÐUR AF ÚTFELLINGUM
Í HOLRÝMUM BERGLAGA

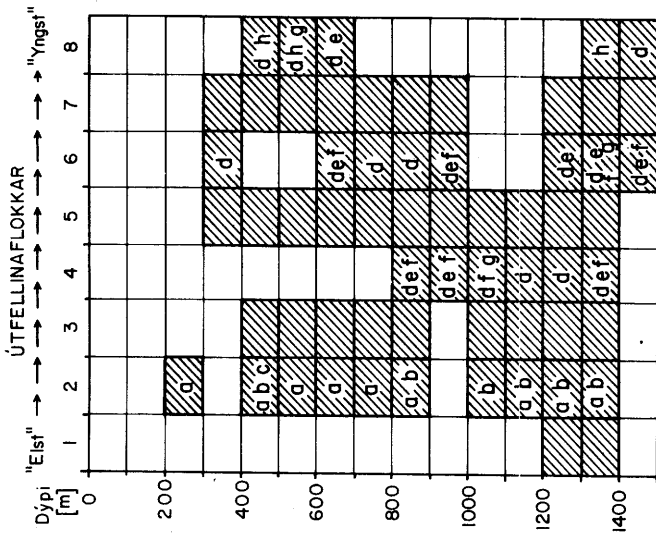


AFSTÆÐUR ALDUR ÚTFELLINGA:
"Eist" → "Yngst"
1 > 2 > 3 > 4 > 5

Mynd 13

JHD-BJ-2300 HF
83.01.0002 AA

SVARTSENGI
SG-12, RÖÐUN ÚTFELLINGA Í TÍMA



SKÝRINGAR

- 1. leir
- 2. a. Kalsedón
b. "limonít"
- 3. kvars
- 4. d. kalsít
- 5. leir
- 6. d. kalsít
- 7. kvars
- 8. d. kalsít
- 9. anhydrit
- 10. e. epidót
- 11. f. pírit
- 12. g. anhydrit
- 13. h. wairakit

Mynd 14

3. Kvars. Algengt er að sjá skilin á milli kalsedóns og kvars. Þessi flokkur útfellinga finnst samfelld frá 400 m niður á 1400 m dýpi nema á milli 900-1000 m.

4. Kalsít, epidót, pýrít, anhýdrít. Innan þessa flokks, sem finnst víða á dýptarbilinu 800-1400 m, er kalsít mest áberandi. Pýrít er til staðar á milli 800-900 m, 1000-1100 m og 1300-1400 m. Vottur af epidóti fannst á tæplega 900 m dýpi. Anhýdrít fannst aðeins á einum stað, milli 1000-1100 m.

5. Leir. Þessi tegund er mjög afgerandi í útfellingarmynstrinu og finnst á öllum dýptarbilum frá 300 m niður á 1400 m. Á nokkrum stöðum má greina tvískiptingu hans, innri hlutinn virðist upphaflega ekki vel kristallaður, en ytri hluti leirlagsins, og jafnframt sá yngri, er með sveipmyndaða vel formaða kristalla.

6. Kalsít, epidót, pýrít, anhýdrít. Kalsít er eins og í 4.flokki mest áberandi útfellingin. Pýrít er á milli 600-700 m, 900-1000 m og 1300-1500 m. Epidót kemur fram á tæplega 600 m, milli 900-1000 m og 1200-1500 m. Anhýdrít finnst aðeins á 1300-1400 m dýptarbili.

7. Kvars finnst samfelld neðan 300 m, nema á milli 1000-1200 m.

8. Kalsít, wairakít, epidót og anhýdrít. Þessara útfellinga varð aðeins vart á milli 400-700 m og neðan 1300 m. Kalsít er ráðandi sem áður, epidót finnst á milli 600-700 m og neðan 1300 m og anhýdrít á milli 500-600 m. Wairakít finnst á bilinu 400-600 m, og einnig milli 1300-1400 m.

Augljóst er að þessi könnun á röðun útfellinga í tíma takmarkast við eina borholu, og ákveðnari mynd ætti að fást með líkri athugun í öðrum holum á Svartsengissvæðinu. Einhæfni ummyndunarmynsturs í öðrum holum svo og samsvörun í útfellingarröðuninni innan jarðhitageymisins í SG-12 (400-1500 m) gæti þó bent til að allar meiriháttar breytingar í útfellingum ættu að sjást á líkan hátt annars staðar innan jarðhitakerfisins.

Þessi athugun veitir þó nokkuð athyglisverðar upplýsingar:

- a) Kalsedón sem myndast við lægra hitastig en 180 °C finnst nokkuð samfellt niður á botn holunnar og bendir það til að á þeim tíma hafi háhitaaðstæður ekki verið til staðar í þeim jarðlögum. Breytingin frá kalsedóni yfir í kvars gæti bent til hækkunar á hitastigi.
- b) Í fjórða útfellingaflokki (sbr. mynd 14) finnst fyrsti vottur epidóts, sem talið er að myndist við hitastig herra en 230 °C, á tæplega 900 m dýpi en í 5. útfellingaflokki, sem næst kemur á eftir leirútfellingum tekur epidót að myndast á tæplega 600 m dýpi. Þetta bendir til, að virkni háhitasvæðisins hafi aukist að mun á "leirtímabilinu". Leirsteindir eru flóknar í samsetningu og innihalda mörg þeirra efna sem í berginu finnast (t.d. Si, Al, Ca, Mg og Fe). Það að slík afgerandi útfelling sem leirinn er myndist innan jarðhitageymisins áður, eða jafnvel samtíma og áberandi hitastigsaukning verður (sbr. áður nefnda tvískiptingu leirsins), a.m.k. í efri hluta geymisins, bendir til öflugrar nýmyndunar vatsleiðara, en það getur leitt til mikillar aukningar í uppleystum efnum í vökvanum. Háhitasvæðið í Svartsengi er innan virks sprungukerfis, og er eðlilegt að álykta að slík nýmyndun vatsleiðara í jarðhitakerfinu eigi rætur sínar að rekja til sprungumyndunar og/eða innskotavirkni, sem talin er ríkja í neðri hluta slíkra sprungukerfa.

5 VATNSÆÐAR

5.1 Inngangur

Staðsetning vatnsæða í borholum er ýmissa hluta vegna oft vandkvæðum bundin, sem leitt hefur til þess að tíðum hefur aðeins þeim stærstu verið gaumur gefinn. Í úrvinnslu borholugagna SG-12 voru sérstaklega athuguð og borin saman gögn, sem veitt gætu upplýsingar um tilvist vatnsæða í holunni. Þessi gögn eru eftirfarandi: Dæluprýstingur (psi) á "standpipe", magn dælingar (l/s), skoltap (l/s), hitastig skolvökva, bæði áður en honum var dælt niður og er hann kom upp úr holunni.

Mælingarnar voru að jafnaði gerðar á 4 klst. fresti á meðan á borun stóð. Auk þessa mældi sífriti í stjórnklefa Gufubors afstæðar breytingar á hitastigi, dæluprýstingi og rennsli skolvökva, en af þessum mælingum er sú síðastnefnda áhugaverðasta breytistærðin þar sem hún nemur vel breytingar í rennsli (s.s. skoltap). Einnig var stuðst við hitamælingar, sem gerðar voru fyrir vinnslufóðringu (H 1) og í lok borunar (H 2). Síðan var reynt að meta með samanburði við jarðlagasniðið og önnur jarðfæðileg gögn, hvaða jarðfræðilegt fyrirbæri stjórnaði rennsli jarðhitavatnsins.

Vatnsæðum er skipt í tvo hópa, annars vegar æðar í jarðlögum ofan vinnslufóðringardýpis (607 m) og hins vegar æðar í vinnsluhluta holunnar.

5.2 Æðar innan vinnsluhluta (<607 m)

Þessi hluti holunnar var boraður með bentonít borleðju, en hún veldur því að minni lektar verður vart í borun, þar sem leðjan sest á holuvegg og stíflar vatnsæðar. Höggborsfóðring nær niður í um 64 m, og er því ekki vitað um æðar niður á það dýpi.

1. 70 m

Áberandi kælipunktur er í hitamælingu (H 1) milli 70-80 m dýpis. Þessi vatnsæð er í efri mörkum túffsets. Tvær þunnarneiðar eru til af þessu dýpi. Sú efri (68 m), sem tekin er í basaltlaginu, sýnir ólivínið nokkuð ummyndað og upphaf ummyndunar í pýroxen og plagfóklas. Neðri

punnssneiðin var gerð úr sýni af móbergstúffinu 8 metrum neðar (76 m), en þar er móbergsglerið ferskt svo og ólivín, pýroxen og plagíóklas. Í báðum sneiðunum finnst kalsít og brúnn fjaðraður leir. Þessar greiningar benda því til þess að æðin er líklegast við skil basaltlagsins og móbergsins í 70 m og að samkvæmt ummyndunarsteindum er um jarðhitæð að ræða.

2. 110-111 m

Útslög á rennslissfrita og tap í kari mældust um 1,5 l/s. Tapið er í efri hluta 40 m hraunlags. Í 111 m er um 2" skápur. Þunnssneið af um 110 m dýpi sýnir, að glerið, sem er ferskt bæði ofan og neðan þessa dýpis, hefur ummyndast í leir (mynd 6), og svo finnast einnig karbonat, leir og líklegast anhýdft fyllingar. Líkt og með æðina í 70 m verður að telja þetta jarðhitæð.

3. 206 m

Smá útslag kom fram á rennslissfrita Gufubors, og á þessu dýpi verður fremur smávægileg hallabreyting í H 1. Athyglisvert er að í um 206 m "fellur" borstöngin mög hratt niður um hálfan meter. Þar mældist í víddarmælingu 1" skápur. Samkvæmt jarðlagasniði er þessi vatnsæð á hraunlagaskilum. Ummyndun sýnir að ólivínið er að nokkru leyti ummyndað í leir og kalsít, og í blöðrum má greina sveipmyndað karbónat, líklega aragónít. Einnig finnst vottur af pýríti.

4. 225 m

Mjög óverulegt brot í hitamælingu (H 2). Ef um vatnsæð er að ræða er hún á milli hraunlaga. Gler og ólivín hafa að nokkru leyti ummyndast í kalsíts og leir. Pýríts verður einnig vart á þessu dýpi.

5. 260 m

Í 254 m er áberandi brot í hitamælingu (H-1) yfir í hærri hitastigul en mjög óveruleg breyting í (H 2). Í 260 m mældist um 1 l/s skoltap. Í 260 m kemur fram útslag í rennslissfrita. Á 255-270 m dýptarbili fellur dæluþrýstingur að því er virðist mun meira en samsvarar minnkaðri dælingu. Víddarmæling sýnir 2" skáp á 259 m dýpi. Skv. jarðlagasniði er þessi æð í hraunlagaskilum.

Þunnssneiðargreining af þessu dýpi (260 m) sýnir að ólivín og gler hafa algjörlega ummyndast (að mestu yfir í leir). Í blöðrum finnst sveipmyndað karbónat. Á einum

stað finnst kalsít sprungufylling.

6. 300 m

Óverulegt skoltap mældist (0,5 l/s) auk þess sem óregla kom fram á rennslissírita. Í borskýrslu er þess getið að sagi hafi verið bætt í, og má því vera að ofan nefnd óregla stafi af þeirri aðgerð. Hraunlagskil koma á 302 m dýpi. Athygli vekur þó, að á þessum dýptarmörkum verður meiri ummyndunar vart. Ólivín og glerið hefur að mestu leyti horfið á kostnað leirs og kalsíts. Leirsteindir, sem ofar í holunni eru í fremur litlu magni og illa kristallaðar, eru hér meira áberandi og taka á sig sveipmyndaða kristöllun.

7. 350-360 m

Óveruleg hallabreyting í hitamælingu (H 1) í átt að hærri hitastigli. Óverulegt skoltap (0,5 l/s) nærri 350 m. Samkvæmt jarðlagasniði er í efri helming dýptarbilsins basaltrík móbergsbreksfa en í neðri hluta ummyndað olivín-þóleíft basalt. Í um 360 m verður vart kalsít útfellinga.

8. 404 m

Óveruleg hallabreyting í hitamælingu (H 2) í átt að hærri hitastigli. Í hitamælingu H 1 kemur fram stökkbreyting í hita á um 404 m dýpi. Á dýptarbilinu 403-418 m verður vart við óverulegt skoltap (0,5 l/s). Æðin kemur fram í móbergi, en á um 401 m dýpi er þunnt þétt og fremur ferklegt basaltlag, mögulega innskot. Á þessu dýpi verður vart kalsítútfellinga í þorum. Í þunnsneið sést að mikill hluti glersins og allt ólivínið er komið yfir í leir og að litlu leyti kalsít. Bæði pýroxen og plagióklas eru farin að ummyndast í kleifniflötum.

9. 453-454 m

Í 453 m verður óverulegt útslag á rennslissírita. Í 454 m kemur fram óregla í hitamælingu (H 1) og í um 460 m sést óverulegur kælipunktur í seinni hitamælingunni (H-2). Á dýptarbilinu 443-454 m er borhraði óvenjuhár, fer úr um 10 m/klst upp í 25 m/klst, og víddarmæling sýnir 1" skáp á sama dýpi. Samkvæmt jarðlagasniði kemur æðin fram í hraunkarga. Eins og sést á mynd 6 eykst ummyndun á þessu dýptarbili. Plagióklas er vða vel á veg komið að breytast yfir kalsít, og pýroxen yfir í leir. Allt gler er ummyndað. Bergið er vel holufyllt og ber þar mest á kvarsí, kalsítí málmí og analsími. Einnig áberandi er

vel kristallaður pleókrófskur og fjaðraður leir.

10. 509-516 m

Óregla í rennslissírita á 509 m dýpi. Í hitamælingu (H-1) er mjög greinilegur kælipunktur á 516 m dýpi og í 515 m kemur einnig fram breyting í seinni hitamælingunni (H-2). Samkvæmt jarðlagasniði er æðin í móbergstúffi. Mjög glögg litaskil koma fram í móberginu á um 500 m dýpi þar sem skiptir yfir frá fremur mislitu í ljósleitt og mun ummyndaðra móberg fyrir neðan. Frá um 480 m dýpi finnst þýrt ekki í svarfi fyrr en í um 508 m þar sem þess verður vart í nokkru magni. Magn þess nær hámarki í um 530 m dýpi en minnkar þar fyrir neðan. Talið er mjög líklegt að bæði aukin ummyndun svo og mikið magn þýrts sé í tengslum við þessa jarðhitæð.

Þunnsneiðagreining í basaltinu ofan móbergsins svo og í ummyndaða móberginu sýnir að allt gler, ólivín, þýroxen svo og mikill hluti plagíóklasans hefur ummyndast. Athyglisvert er einnig að fjöldi örsmárra sprungufyllinga í svarfkornum af þessu dýpi er nokkur, en neðar í sömu myndun sjást mjög óveruleg merki um tilvist þeirra. Þessi tilgáta rennir stoðum undir það að meint vatnsæð sé tegnd sprungum í móberginu, sem þá væntanlega eru nær lóðréttar.

5.3 Vatnsæðar í vinnsluhluta holunnar (607-637 m)

11. 631-637 m

Í hitamælingu (H 2) verður breyting í halla milli 608-604 m í átt að hærri hitastigli. Þetta getur átt rót sína að rekja til áhrifa frá fóðurrörinu sem endar í 607 m. Tapmæling, sem gerð er í 638 m, sýnir 2 l/s skoltap. Rennslissíriti gefur útslag í 631 m og 638 m dýpi. Svarfsýnin af 635-638 m dýpi eru að mestu leyti hreint sement, og á sama dýptarbili eykst borhraði úr 10 m/klst. í 15 m/klst. Samkvæmt borskýrslu hafði verið áætlað að 39 rúmmetrar af sementi nægðu til að steypa vinnslufóðringu fasta en þess í stað þurfti rúmlega helmingi meira magn eða um 106 rúmmetra. Samkvæmt þeim gögnum sem fyrir liggja er næsta öruggt að sementið hefur fundið sér leið út úr holunni eftir lóréttri sprungu sem borholan síðan skar aftur á 637-638 m dýpi. Þetta er að því leyti merkilegt að í fyrsta skipti er unnt að sýna ákveðið fram á tilvist lóréttrar vatnsleiðandi sprungu í

jarðhitageyminum í Svartsengi.

12. 675 m

Nærri þessu dýpi kemur fram óveruleg óregla í hitamælingu (H-2) ásamt örlíttilli hallabreytingu. Í 675 m er merkjanlegt útslag á rennslissírita. Ef um æð er að ræða er hún nærri hraunlagaskilum.

13. 795 m

Á þessu dýpi kemur fram greinilegur kælipunktur í hitamælingu. (Allt frá 665 m og rétt niður fyrir 800 m koma útslög á rennslissírita, sem flest hafa líklegast orsakast af öðru en skoltöpum). Ef kælipunkturinn markar æð er hún samkvæmt jarðlagasniðinu innan meints innskots.

15. 888-910 m

Á þessu dýptarbili verða mörg útslög á rennslissírita, þeirra stærst milli 892-895 m. Samkvæmt jarðlagasniði kemur æðin eða vatnsæðakerfið fram við innskot, og verða stærstu útslög síritans við efri jaðar innskotsins. Eins og segir í jarðlagalýsingu er líklegt talið að innskotið sé nær lóðrétt. Vera má að útslög mælisins haldi áfram niður á meira dýpi, en gögn vantar úr síritanum frá 910-1034 m.

16. 1008 m

Óregla kemur fram á hitamælingu (H 2) svo og hækkun hitstiguls. Í 1020 m verður algjört skoltap. Vatnsæðin er skv. jarðlagasniði efst í móbergstúffi. Móbergið er eins og áður er lýst þrískipt, frá 990-1022 m er það ljóst að lit og þýrfríkt vegna ummyndunar en þaðan og niður í 1065 m er litur þess misleitur (heterógen) og mun minni ummyndun. Frá 1065 m niður í um 1077 m kemur aftur ljóst túff.

17. 1109 m Algjört skoltap og áberandi lækkun á dæluprýstingi. Jarðlagaskipan óviss.

18. 1124 m

Lítilfjörleg hallabreyting í hitamælingu. Jarðlagaskipan óviss.

19. 1165 m

Nokkur óregla í hitamælingu og eitthvað breyttur halli í hitastigli. Æð líklegast tengd innskoti.

Þótt ekki hafi náðst svarf af þessu dýptarbili, má út frá borhraða og mælingum á viðnámi, neftrónudreifingu og náttúrulegu gamma, ætla að basaltlagið (innskotið) ofan 1194 m nái allt upp í 1145 m. Samkvæmt því kemur æðin í holuna nærri miðju þessa lags. Næsta æð fyrir neðan, og sú sem álitin er einna stærst í holunni, kemur við neðri mörk sama lags.

20. 1195 m

Algjört skotap, mjög afgerandi útslag í mismunahita og gjörbreyttur hitastigull fyrir neðan 1201 m. Samkvæmt jarðlagasniði kemur æðin fram við neðri mörk basaltinnskots.

Ummyndun basaltsins (1200-1220 m) er mög afgerandi eins og sést á mynd 7 þar sem allt gler, ólivín, pýroxen og mikill hluti plagfóklasans hefur ummyndast. Á bilinu frá um 1190 m niður í um 1220 m er áberandi mikið af pýríti, sérstaklega í grennd við æðina, en einnig kemur fram mikið af pýríti milli 1215-1220 m, en þar kemur næsta vatnsæð inn í holuna.

21. 1216 m

Í hitamælingu kemur fram ákveðinn kælipunktur og afgerandi útslag í mismunahita. Þessi æð er skv. jarðlagasniði innan fremur grófkorna basaltlags.

22. 1260-1268 m

Áberandi kælipunktur í hitamælingu, svo og afgerandi útslag í mismunahita. Á þessu dýptarbili verður algjört skoltap. Á þessu dýpi lendir borholan í 10-15 m þykku, fremur grófkorna basaltinnskoti, líklega hallandi.

23. 1386 m

Algjört skoltap sem verður samkvæmt jarðlagasviði á efri skilum móbergstúffs og dólerftinnskots.

5.4 Tengsl berglaga og vatnsæða

Í töflu 1 eru merktar vatnsæðar og er þeim skipt í þrjá hópa þ.e.:

- a) smáar æðar, sem valda óverulegum breytingum í mælingum
- b) æðar sem merkjast vel í mæligögnum, og
- c) æðar, sem valda algjöru skoltapi og koma á afgerandi

hátt fram í öðrum tiltækum mæligöngum.

Einnig er æðum skipt í hópa eftir jarðfræðilegum tengslum. Vert er að vekja athygli á tvennu í þessari röðun á styrkleika æða; annars vegar að mælingar eru gerðar í eða við lok borunar og hafa æðar því ekki hreinsað sig af svarfi, og hins vegar að borleðja var notuð í efri hluta holunnar (<608 m) en vatn í þeim neðri og kann að vðra að samanburður á stærð æða ofan og neðan við fððringar sé ekki vel marktækur.

Tafla 1 er í mörgu áhugaverð. Æðar sem koma fram á hraunlagaskilum (láréttar) eru algengastar í efstu 300 m en finnast ekki neðan 860 m. Skýring þessa er líklegast sú, að útfellingar úr jarðhitavökvanum aukast er neðar kemur í berggrunnin (sbr mynd 11), bæði vegna aukins aldurs jarðlaga (gosbergs) svo og vegna aukins hita. Upphaflegur poruhluti og vatnsleiðni minnkar því er neðar kemur í jarðlagastaflann.

Lekt í eða við jaðra innskota er vel þekkt fyrirbrigði, svo og einnig, að tíðni innskota eykst um dýpi í berggrunni. Sama máli gegnir um innskot og gosberg, að því yngri sem þau eru því hærri lekt ætti að fylgja þeim að jafnaði vegna minni útfellinga í sprungum þeim samfara.

Eins og áður er getið, þá eru sterkar líkur á að borholan skeri lóðréttu sprungu á 500-650 m dýpi. Þáttur lórétttra sprungna í vatnsleiðni jarðhitageymisins í Svartsengi ætti að vera stór þar sem jarðhitasvæðið er í miðju reksprungubeltis. Sett er fram í töflu 1 að þær æðar sem liggja vel innan móbergssmyndana komi fram í lóðréttum sprungum. Ekki má sjá slíkt með neinni vissu í svarfgreiningu, en er þó talið sennilegt ef stuðst er við reynslu í kortlagningu í rofnum móbergssmyndunum. Sú athugun á vatnslekt í SG-12 hér að ofan rennir styrkum stoðum undir það, að "primert porositet" og vatnsleiðni minnki er neðar kemur í jarðhitakerfið, en að "sekúnder" lekt, sem stjórnast af innskotum og sprungum, aukist með dýpi.

Tafla 1 . Staðsetning vatnsæða, afstæð stærð þeirra í borun og líkleg tengsl þeirra við jarðlög.

No	Dýpi (m)	Stærð	Lárétt skil	Lóðrétt sprunga	Innskot	Atugasemð
1	70	>>	x			
2	110-111	>>	x?			
3	206	>	x			
4	225	>	x			
5	260	>>	x			
6	300	> ?	x			
7	350-360	>		x ?		Innan móbergs
8	404	>>		x ?		Innan móbergs
9	453-454	>>	x			
10	509-516	>>		x ?		Innan móbergs
<u>Vinnslufóðring (607 m)</u>						
11	631-637	>>		x		
12	675	>	x			
13	795	>>			x	
14	850-855	>	x			
15	888-910	>>			x	
16	1008	>>>		x ?		Innan móbergs
17	1109	>>>		x ?		?
18	1124	>			x	?
19	1165	>>			x	
20	1195	>>>			x	
21	1216	>>		x ?	x ?	
22	1260-1268	>>			x	
23	1386	>>			x	

Skýringar : > Fremur smá æð
 >> Vel merkjanleg æð
 >>> Afgerandi æð

6 UNRÆÐA OG HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Borun SG-12 tók alls 27 verkdaga, frá 23.02 til 31.03.82, og var borun í berg rúmlega 40 % af verktíma. Dýpi holunnar varð 1488 m. Halli holunnar hélst innan við 1 gráðu.

Jarðlögum er skipt í sjö hluta :Hraunlagamyndun 1 (0-342 m), móbergsmýndun 1 (342-590 m), hraunlagamyndun 2 (590-989 m), móbergsmýndun 2 (989-1080 m), hraunlagamyndun 3 (1080-1372 m) og móbergsmýndun 3 (1372-1488 m). Innskotum fjölgar er neðar kemur í jarðlagastaflann, og eru orðin allt að 35 % neðan 1000 m í holunni. Halli og stríkstefna innskotanna eru ókunn, nema líklegt er að tvö þeirra séu nær lóðrétt.

Jarðlagastafli SG-12 er mjög svipaður og finnst í öðrum holum í Svartsengi. Líklegt er að misgengi með sigi austan megin séu á milli SG-12 annars vegar og SG-6 og SG-10 hins vegar.

Ummyndun frumsteinda og glers eykst með dýpi, en einnig sést aukin ummyndun þeirra við margar vatnsæðar.

Dreifing ummyndunarsteinda er mjög svipuð og í öðrum dýpri holum í Svartsengi. Mörkin á milli smektit-zeólíta beltisins og blandlagsleirsteinda beltisins eru fremur óglögg og virðast fremur stjórnast af legu einstakra jarðhitæða en stöðugt hækkandi hitastigli niður á við. Efri mörk klórít beltisins (sem samsvarar um 200°C) koma fram á um 500 m dýpi og klórít-epidót beltið (samsvarar um eða yfir 230 °C) tekur við neðan 600 m. Ummyndunarsteindir sýna í mörgum tilvika nán tengsl við virkar vatnsæðar, sér í lagi á þetta við um pýrít, kalsít og illít.

Athugun á magni útfellinga í þorum berglaga sýnir, að mjög lítið er af útfellingum niður á um 200 m dýpi, þaðan og niður á rúmlega 600 m eykst magn þeirra með dýpi og neðan 600 m telst upphaflegt holrými að mestu fyllt af útfellingum.

Frumathugun á röðun útfellingategunda í þoruhluta berglaga bendir til að jarðhitakerfið, sem SG-12 tengist, hafi á jarðsögulegum tíma síendurtekið verið að

aukast og nálgast yfirborð, frá því að vera í upphafi lágheitsvæði með viðeigandi ummyndun yfir í þá háhitaummyndun, sem nú einkennir Svartsengissvæðið. Frekari athugana af líku tagi er þó þörf í öðrum holum á vinnslusvæðinu til staðfestingar á þessu.

Af þeim 23 vatnsæðum, sem fundust í borun SG-12 (10 ofan vinnslufóðringadýpis og 13 í vinnsluhluta holunnar), eru þrjár þær stærstu á 1008 m, 1109 m og 1195 m dýpi. Samanburður á legu vatnsæða við jarðlagaskipan í holunni gefur ákveðið jarðfræðilegt mynstur af uppruna þeirra: niður á um 300 m dýpi liggja æðar helst eftir jarðlagaskilum, þar sem upphafleg holrýmd er hæst, en neðan þess dýpis virðast æðarnar stjórnað af innskotum og (þá væntanlega "lóðréttum") sprungum. Eins og getið er að ofan falla rannsóknir á ummyndun mjög vel að þessari skýringu.