



ORKUSTOFNUN

Rannsóknasvið

SVARTSENGI

**Jarðfræði holu HSH-14 og
tengsl við nærliggjandi holur**

Hjalti Franzson

Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

1997

OS-97024



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknúmer 630 238

SVARTSENGI

**Jarðfræði holu HSH-14 og
tengsl við nærliggjandi holur**

Hjalti Franzson

Unnið fyrir Hitaveitu Suðurnesja

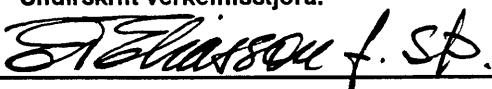
OS - 97024

Maí 1997

**ORKUSTOFNUN**

Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Lykilsíða

Skýrsla nr.: OS-97024	Dags.: Maí 1997	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: SVARTSENGI Jarðfræði holu HSH-14 og tengsl við nærliggjandi holur	Upplag: 25	
	Fjöldi síðna: 25	
Höfundar: Hjalti Franzson	Verkefnisstjóri: Sverrir Þórhallsson	
Gerð skýrslu / Verkstig: Jarðfræði borsvæðis, lokaskýrsla	Verknúmer: 630 238	
Unnið fyrir: Hitaveitu Suðurnesja		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Í skýrslunni er samantekt um jarðlög í borholu HSH-14 í Svartsengi og tengsl þeirra við jarðfræði annarra borholna á vinnslusvæðinu. Holan var boruð síðla árs 1992 og ársbyrjun 1993 til að afla háþrýstigufu. Jarðlögin eru flokkuð í myndanir og gerð grein fyrir ummyndun samkvæmt svarfsýnum og hún borin saman við næstu holur. Einnig er fjallað um röðun útfellinga í berglögum og vatnsæðar í holunni og tengsl þeirra við sprungukerfi. Niðurstöður greininga eru þær að í holunni, sem er 612 m djúp, eru 16 hraun- og móbergsmýndanir sem að miklu leyti er unnt að heimfæra við jarðfræði annarra holna í grendinni. Talið er að meginuppstreymi í gufukerfinu stjórnist af samspili N-S og NA-SV sprungna. Miðað við jarðlög og yfirborðsummerki er holan nærri suðaustur jaðri gufupúðans á vinnslusvæðinu. Röðun útfellinga bendir til að jarðhitakerfið hafi þróast frá köldu grunnvatnskerfi í lághitakerfi og að því loknu hafi hitakerfi brotist upp. Í lokin er sett fram hugmynd að líkani af jarðhitakerfinu, byggð á yfirborðs- og borholugögnum.		
Lykilorð: Háhitasvæði, borhola, jarðfræði, jarðlög, gufusvæði, ummyndun, vatnsæðar, líkan	ISBN-númer:	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirfarið af: SP, GÓF og PI	

ÁGRIP

Þessi skýrsla fjallar um jarðfræði holu HSH-14 í Svartsengi og tengsl hennar við aðrar holur á gufusvæðinu. Holan var boruð á tímabilinu frá 22. september 1992 til 20. febrúar 1993, og nær niður á 612 m dýpi. Jarðlögum holunnar er skipt í 16 hraun- og móbergsmýndanir, sem að miklu leyti er unnt að heimfæra við jarðfræði annarra holna í grenndinni án þess að gera ráð fyrir misgengjum þar á milli. Flestar æðar sem holan sker má rekja til lektar eftir (“láréttum”) jarðlagskilum, en flestir lekastaðir í sprungunni eru við jarðlagamót, sem trúlega tengjast lóðréttum sprungum utan við holuna. Talið er líklegt að meginuppstreymi í gufukerfinu stjórnist af samspili N-S og NA-SV sprungna, þar sem lektin er að líkindum mest á skurðpunktum þessara sprungna. Ef tekið er mið af yfirborðsummerkjum og jarðlögum sem holan sker er líklegt til að hún sé staðsett nærri suðaustur jaðri gufupúðans. Röðun útfellinga í holrými bergsins bendir til þess að jarðhitakerfið á þessum slóðum hafi þróast frá köldu grunnvatnskerfi (oxun, ópall) yfir í lághitakerfi (zeólítar). Vísbendingar eru um að í kjölfarið hafi komið kæling (anhýdrít), en að því loknu hafi hitakerfið brotist upp (háhitaleir, kalsít, kvars). Mögulegt er að kalsít sé að leysast upp á afmörkuðum svæðum í núverandi þurrgufukerfi.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP.....	2
1. INNGANGUR.....	4
2. ÁGRIP BORSÖGU.....	4
3. JARÐLAGASKIPAN.....	5
3.1 Jarðlög í holu HSH-14.....	5
3.2 Samanburður jarðlaga í HSH-14 við næstu holur.....	6
4. UMMYNDUN.....	12
4.1 Ummyndun bergs í HSH-14.....	12
4.2 Dreifing ummyndunarsteinda í HSH-14.....	13
4.3 Samanburður ummyndunar í HSH-14 við nærliggjandi holur.....	16
4.4 Tímaröðun útfellinga í HSH-14.....	16
5. VATNSÆÐAR.....	20
6. UMRÆÐA OG HELSTU NIÐURSTÖÐUR.....	21
7. HEIMILDIR.....	24

TÖFLUR

1. Röðun útfellinga í holrými í HSH-14.....	18
2. Röðun útfellinga í holrými í HSH-10.....	19
3. Lega vatnsæða með hliðsjón af jarðfræði.....	21

MYNDIR

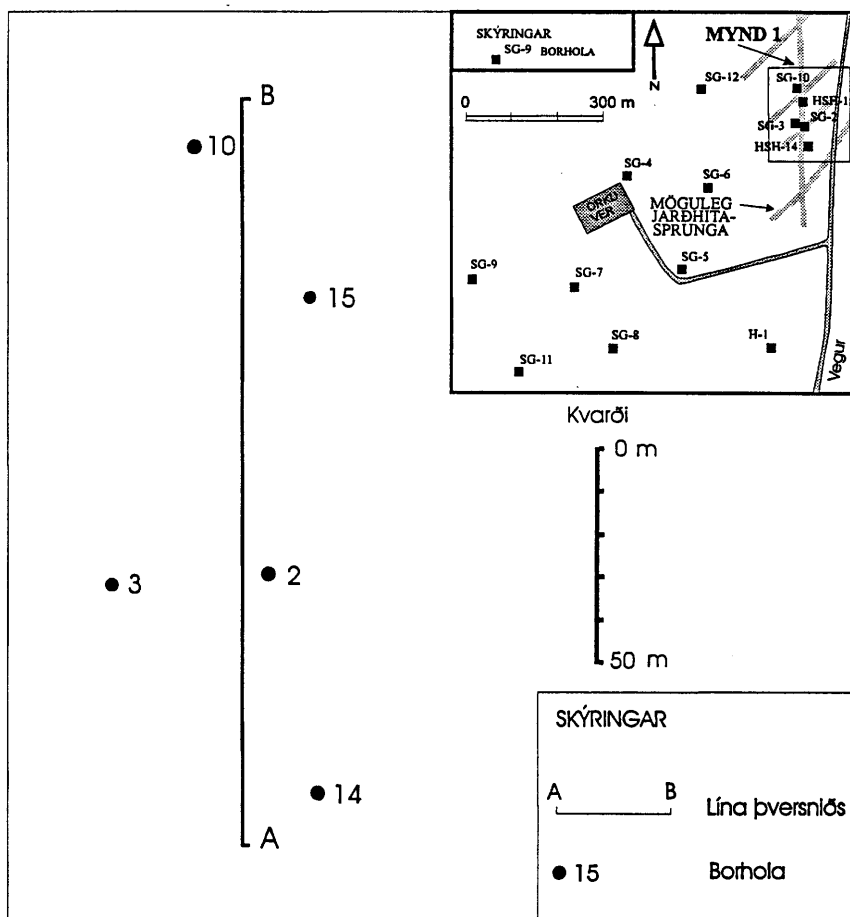
1. Staðsetning holu HSH-14.....	4
2. Jarðlagasnið og mælingar í HSH-14.....	7
3. Einfaldað N-S jarðlagapversnið í gufusvæðinu og líkleg tenging ummyndunar.....	11
4. Bergummyndun og magn pýrítis í HSH-14.....	13
5. Einfaldað jarðlagasnið, ummyndun og ummyndunarbelti í HSH-14.....	15
6. Tímaskeið í útfellingum á gufupúðasvæði.....	16
7. Hugmynd að lektarlíkani á gufusvæði.....	23

1. INNGANGUR

Hola HSH-14 í Svartsengi var boruð síðla árs 1992 og í byrjun árs 1993 fyrir Hitaveitu Suðurnesja, og var tilgangur borunarinnar að afla háþrýstigufu fyrir virkjunina í Svartsengi. Þessari skýrslu er ætlað að setja saman mynd af jarðhitakerfinu (jarðfræði og ummyndun) sem holan sker og tengja þá mynd við aðrar holur á gufusvæðinu. Í skýrslunni er fyrst fjallað um jarðfræði holunnar og síðan ummyndun bergsins og vatnsæðar. Þessi gögn eru síðan tengd við jarðfræði nærliggjandi holna og niðurstöður dregnar.

2. ÁGRIP BORSÖGU

Hola HSH-14 í Svartsengi, sem valinn var staður um 45 m sunnan (165°) holu 2 (mynd 1), var forboruð með 22" meitli höggboris niður á 31,2 m dýpi á tímabilinu frá 22. september til 5. október 1992, en þann dag var fóðringin steypt í höggborsholuna (Sigurður Benediktsson 1992). Áframhaldandi borun holunnar með Narfa, bor Jarðborana hf., hófst 12. janúar 1993. Borað var með 17 1/2" krónu niður í 100,4 m dýpi og holan fóðruð með 13 3/8" öryggisfóðringu í 99 m dýpi. Borað var áfram niður í 197 m og fóðrað með 9 5/8" vinnslufóðringu í 195 m dýpi. 8 1/2" vinnsluhluti holunnar var síðan boraður í 612m dýpi, og sá hluti holunnar fóðraður með 7" raufuðum leiðara. Borun lauk 20. febrúar 1993. Í borun reyndist yfirþrýstingur vera í holunni allt niður í 347 m dýpi (Sigurður Benediktsson o.fl.1992).



Mynd 1. Svartsengi. Staðsetning borhola á gufusvæði. Sniðlína jarðfræði og ummyndunar. Staðsetning myndar 1 og mögulegar harðhitasprungur eru sýndar á innfelldu myndinni.

3. JARÐLAGASKIPAN

3.1 Jarðlög holu HSH-14

Á mynd 2 er jarðlagasnið holunnar og jarðlagamælingar sýndar. Jarðlagastaflanum hefur að hluta til verið lýst áður (Sigurður Benediktsson o.fl. 1993) og er eftirfarandi lýsing að nokkru byggð á henni. Jarðlögnum er skipt upp í hraunlagasyrpur (hlýskeið) og móbergsmýndanir (jökulskeið).

Hraunlög 0-14 m

Um er að ræða tvö hraunlög sem líklega eru bæði frá núverandi hlýskeiði, það efra er um 6 m þykkt en það neðra um 8 m.

Móberg 14-30 m

Móbergið er að mestu úr túffi. Neðst í því ber nokkuð á seteinkennum. Túffið er líklega hluti af móbergsmýndun Svartsengisfells, sem hlóðst upp í gosi á síðasta jökulskeiði.

Hraunlög 30-56 m.

Greina má 4 hraunlög á þessu dýptarbili, 4 -10 m þykk.

Móberg 56-100 m

Móbergið er túffríkt niður á um 80 m, en er basalttrík breksía (bólstrabreksía) þar fyrir neðan. Bergið er plagíóklasdílótt ólivín þóleiít.

Hraunlög og/eða bólstraberg 100-140 m

Þessi bergmýndun er plagíóklasdílótt ólivín þóleiít, svipað og móbergið fyrir ofan. Efst koma tvö basaltlög aðskilin af glerjuðu basalti sem sem kann að vera kargi milli hraunlaga. Þar neðan við er glerjað basalt ráðandi, sem getur annað hvort verið úr frauðkenndum basalhraunlögum eða bólstrabergi. Mögulegt er að bergið á þessu dýptarbili sé hluti af móbergsmýnduninni fyrir ofan, þar sem þeim svipar mjög saman bergfræðilega.

Móberg 140-154 m

Lagið virðist vera úr túffkenndri breksíu, sem er stak-plagíóklasdílótt ólivín þóleiít.

Hraunlög eða bólstraberg 154-178 m

Á þessu dýptarbili koma fyrir þrjú þunn kristölluð basaltlög aðskilin af glerjuðu basalti og breksíulagi. Bergið er ólivín þóleiít.

Móberg 178-220 m

Mestur hluti þessa lags er túff nema efstu 10 m sem samanstanda af þunnu basaltlagi og breksíu. Þetta túfflag er nokkuð setkennt í öðrum holum en ekki ber mikið á seteinkennum í holu 14. Bergið er stak-plagíóklasdílótt ólivín þóleiít.

Hraunlög 220-272 m

Alls eru á þessu dýptarbili um 7 ólivín þóleiít hraunlög aðskilin af karga eða þunnum túfflögum.

Móberg 272-305 m

Þessi rúmlega 30 m þykka móbergsmyndun er sambland af kristölluðum basaltbreksíum og túffi. Berggerðin er ólivín þóleiít og er neðri hlutinn a.m.k. stakplagíóklasdílóttur.

Hraunlög 305-344 m

Alls var unnt að greina 6 hraunlög, og eru þau líklega af ólivín þóleiít samsetningu, aðskilin af karga eða þunnum túfflögum.

Móberg 344-382 m.

Efri 26 m myndunarinnar er ráðandi túff en breksíukenndari í neðri 12 m myndunarinnar. Bergið er samkvæmt þunnsneið af 352 m dýpi plagíóklasdílótt ólivín þóleiít.

Hraunlög 382-402 m

Hraunlögin eru a.m.k. tvö, og eru meðal-grófkorna ólivín þóleiít. Í þunnsneið af 386 m dýpi virðist bergið vera ólivín-, pýroxen- og plagíóklasdílótt.

Móberg 402-438 m

Móbergið er sambland af basalti, túffi og basaltbreksíu. Berggerðin er plagíóklasdílótt ólivín þóleiít.

Móberg 438-588 m

Móbergsmyndunin er að meginhluta þrískipt; basaltbreksía niður á 476 m, síðan túff niður á 554 m og þaðan basaltbreksía niður á 588 m dýpi. Berggerðin er ólivín þóleiít en sker sig frá mynduninni fyrir ofan á því að vera ekki dílótt.

Hraunlög 588-612 m

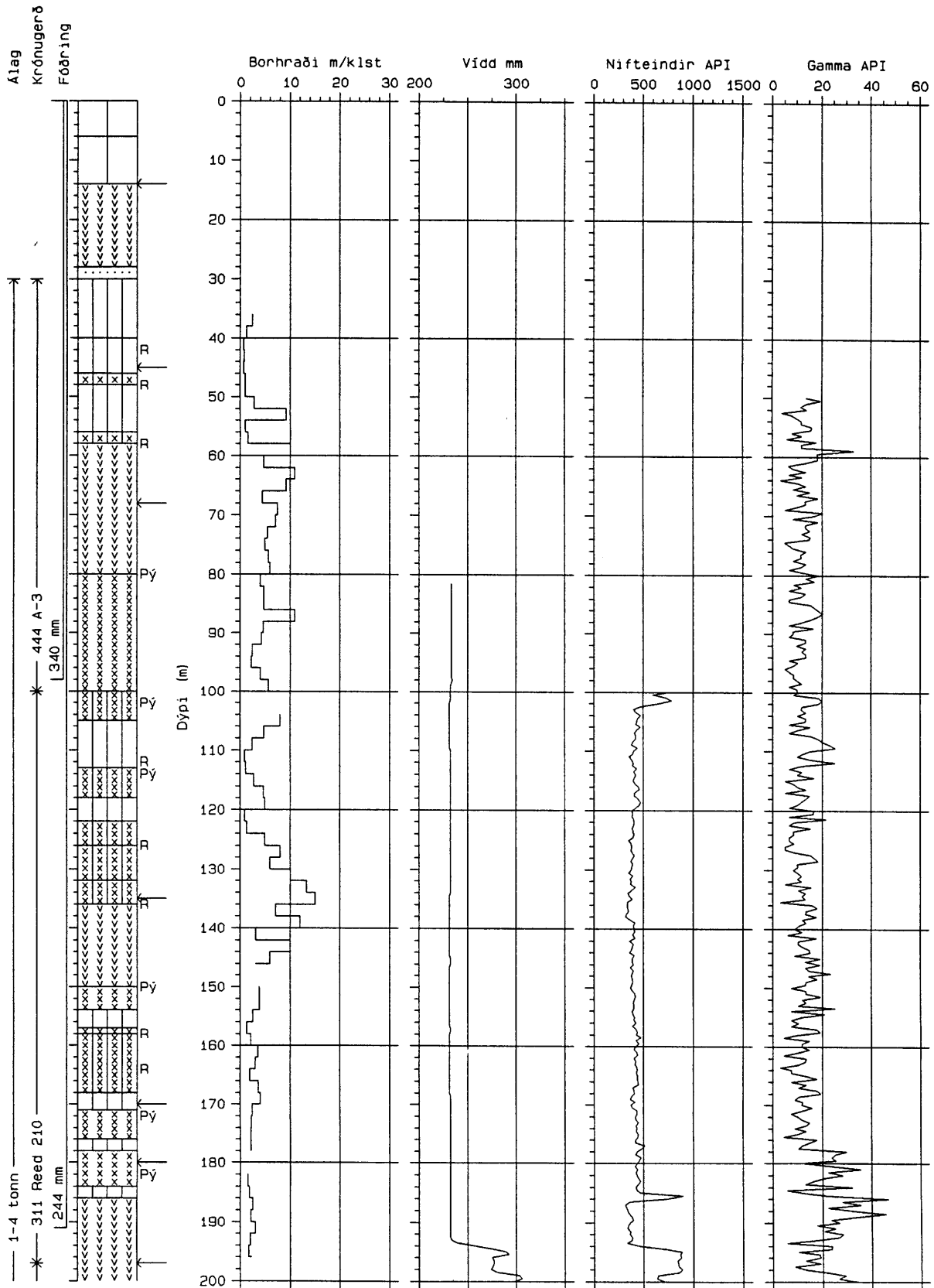
Hraunlög þessi eru meðal-grófkorna ólivín þóleiít, og er unnt að greina þar á milli 3 hraunlaga.

3.2 Samanburður við næstu holur

Mynd 3 sýnir N-S jarðlagabverskurð frá holu 14 í suðri að holu 10 við norðurenda sniðs (sjá sniðslínu á mynd 1). Þótt nokkur munur sé á jarðlögum á milli holna er þökkalegt samræmi í jarðlagaskipaninni. Eitt mjög gott leiðarlag er setkennt 40-50 m þykkt móbergstúff á um 200 m dýpi og finnst það í öllum holunum. Mörk þess og hraunlagasyrpunnar þar fyrir neðan má að öllum líkindum telja vera lárétt jarðlagaskil, og frávik frá því ætti að benda til misgengis. Engin óyggjandi merki um hliðrun fundust, nema áður nefnd skil liggja um 7 m neðar í holu 10 en öðrum holum, sem gæti bent til smá misgengis. Fyrirnefnt túfflag finnst einnig á mjög svipuðu dýpi í holu 1 sem boruð var um 400 m sunnan við holu 14, sem bendir til að þar á milli sé ekki misgengi.

Svartsengi hola HSH-14

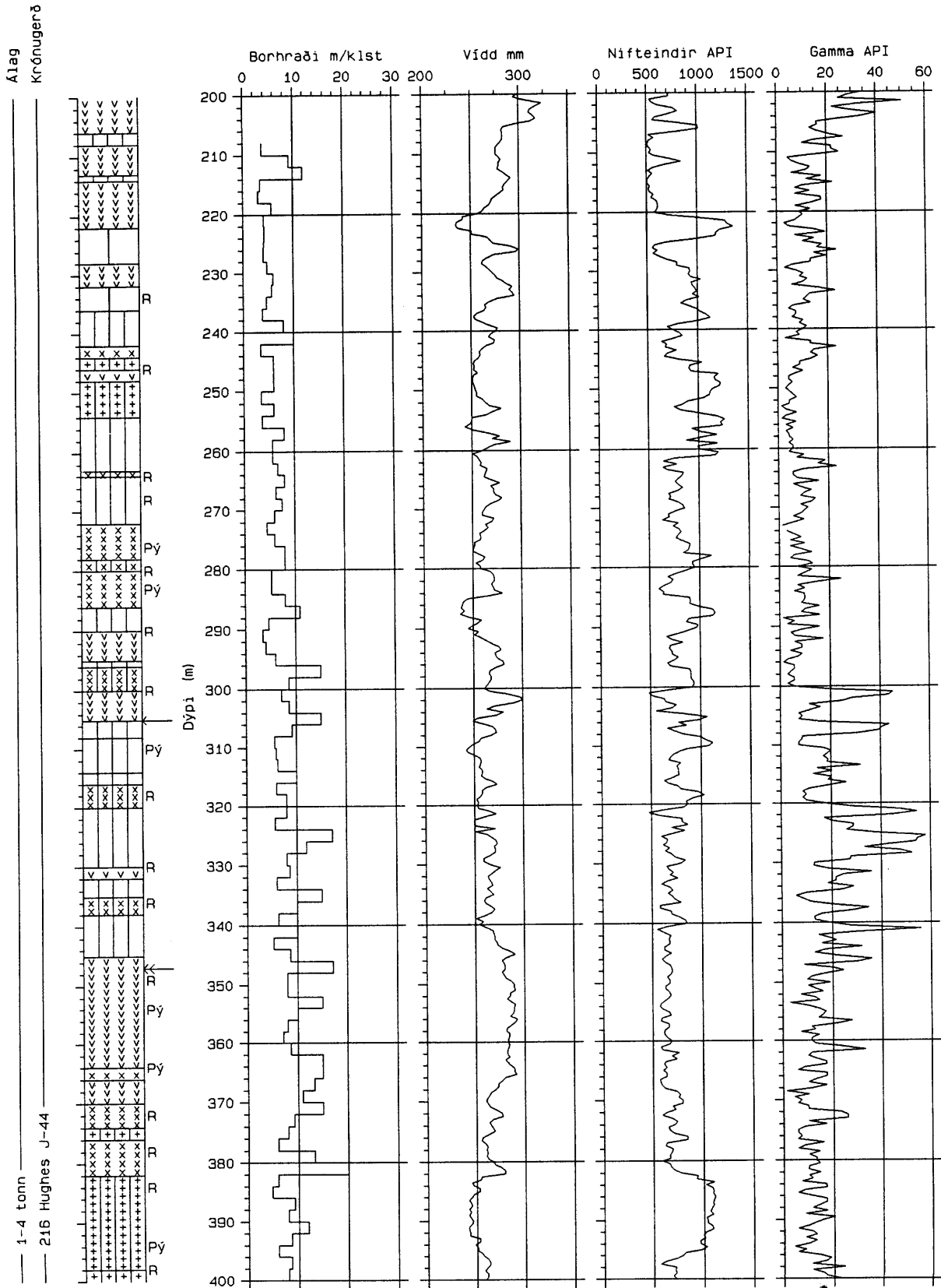
Jarðlagasnið og borholumælingar



Mynd 2. Jarðlagasnið, borhraði, vatnsæðar og jarðlagamælingar í holu HSH-14, Svartsengi.

Svartsengi hola HSH-14

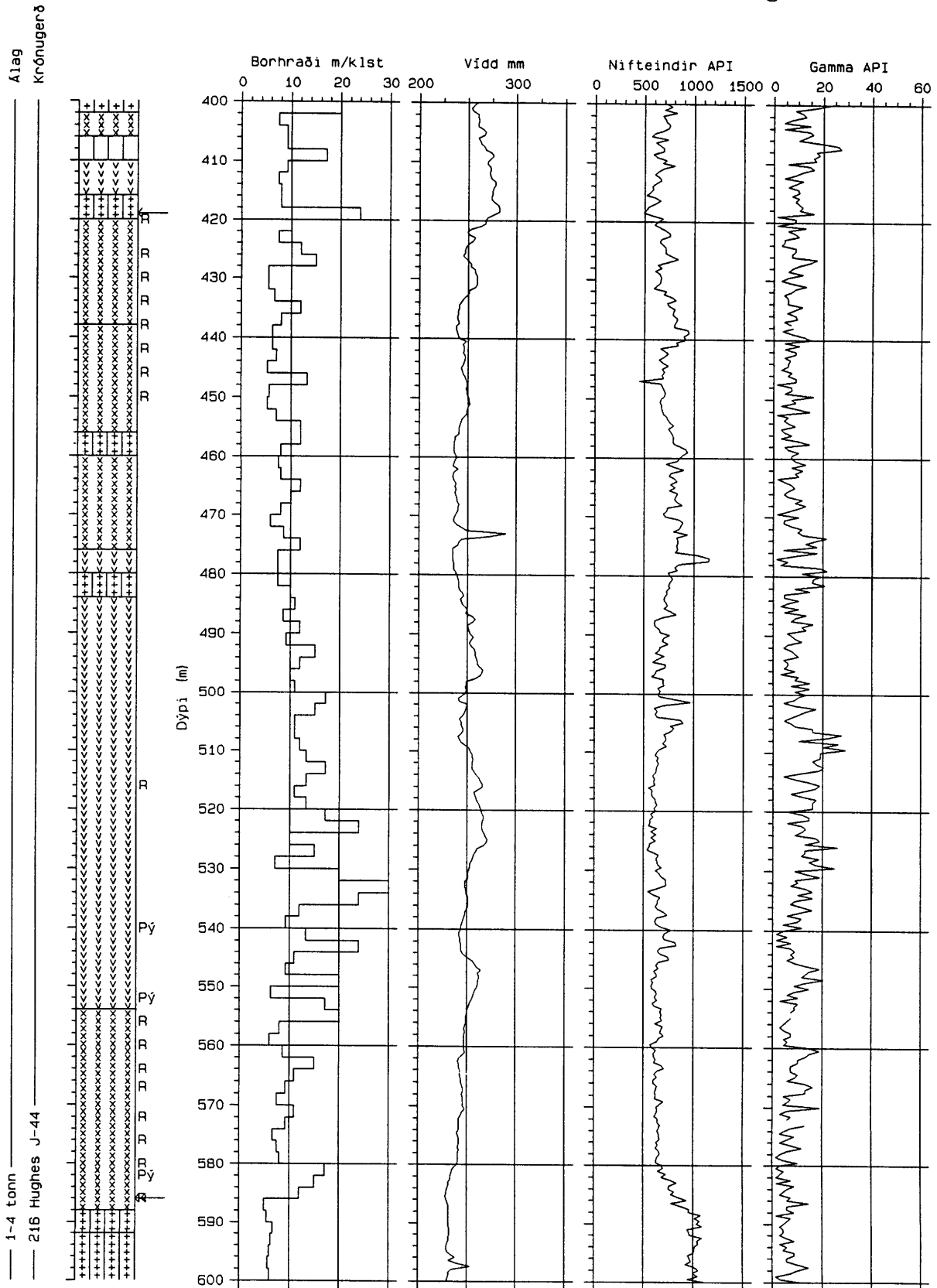
Jarðlagasnið og borholumælingar



Mynd 2. Jarðlagasnið, borhraði, vatnsæðar og jarðlagamælingar í holu HSH-14, Svartsengi (frh).

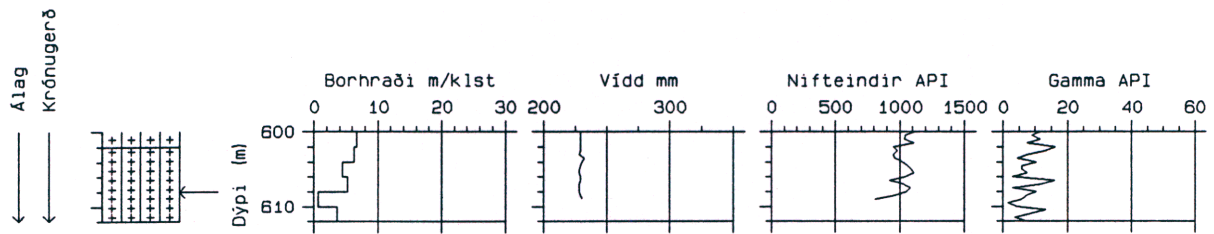
Svartsengi hola HSH-14

Jarðlagasnið og borholumælingar

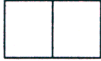
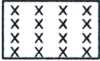


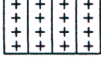
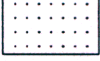



Mynd 2. Jarðlagasnið, borhraði, vatnsæðar og jarðlagamælingar í holu HSH-14, Svartsengi, (frh.)

Svartsengi hola HSH-14 Jarðlagasnið og borholumælingar



Skýringar við jarðlagasnið

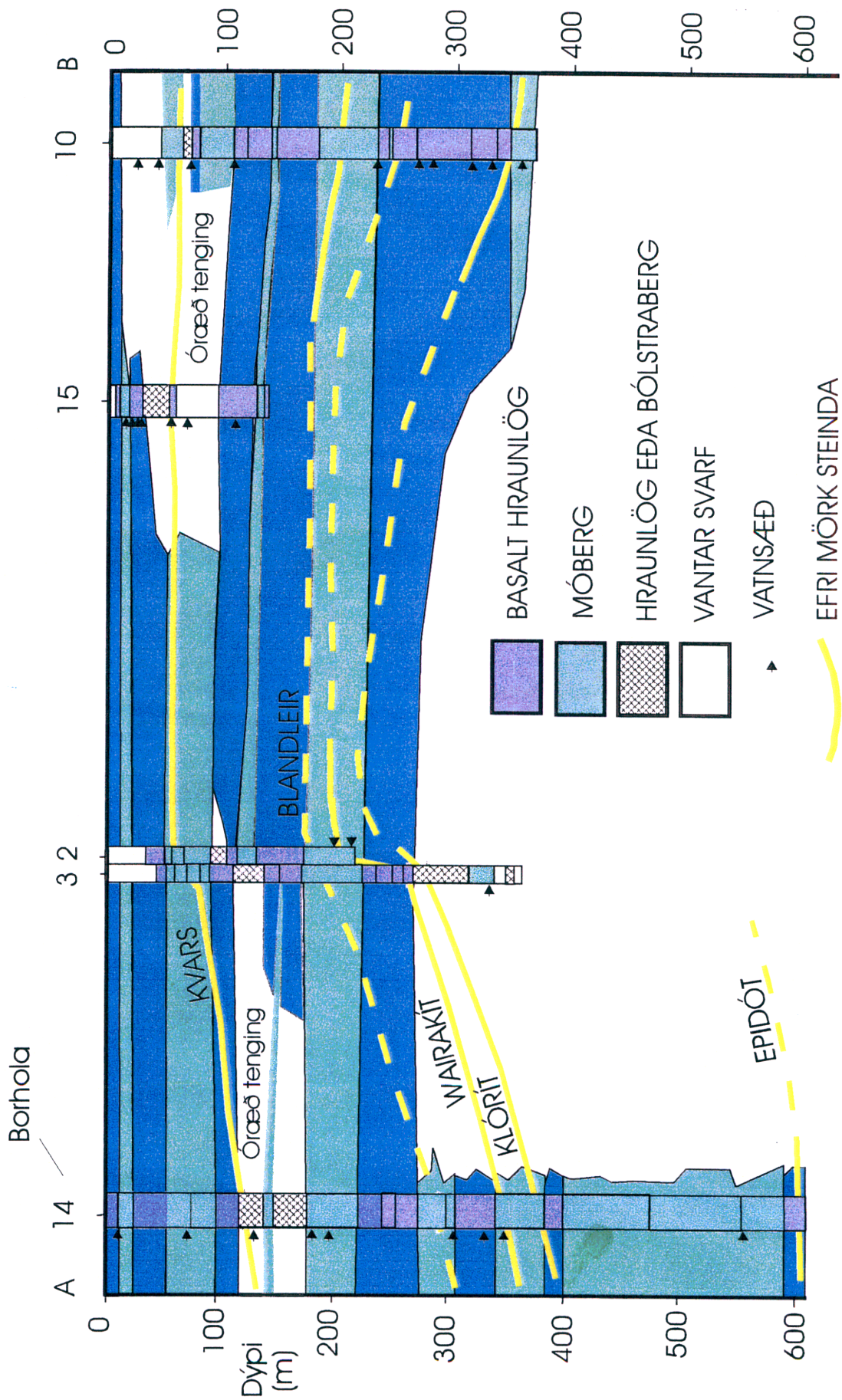
	Fersklegt þlag. dílótt basalt		Basaltrík breksía
	Ummyndað fin-meðalkorna basalt		Túff
	Ummyndað meðal-grófkorna basalt		Bláðrótt basalt
	Ummyndað glerjað basalt		

R : Rautt millilag

← : Lítil vatnsæð

←← : Meðal vatnsæð

Mynd 2. Jarðlagasnið, borhraði, vatnsæðar og jarðlagamælingar í holu HSH-14, Svartsengi, (frh.)



Mynd 3. N-S jarðlagapversnið yfir gufusvæðið í Svartsengi (þversniðslína, sjá mynd 1).

4. UMMYNDUN

Rannsókn á ummyndun bergs og útfellingum nýtist á margan máta í rannsókn jarðhitakerfis. Meðan á borun standur er hún eitt af því fáa sem gefur vísbendingar um hitaástand jarðhitakerfisins sem hola sker. Þar sem ummyndun bergs er mjög tengd lekt og poruhluta gefur aukning ummyndunar sterkar vísbendingar um staðsetningar vatnsæða, sem getur reynst notadrjúgt þegar fátt er um aðrar vísbendingar. Á grundvelli frumathugana á sambandi lektar og poruhluta annars vegar og ummyndunar hins vegar er talið líklegt að útfellingar í glufum bergsins dragi úr lekt og poruhluta, en hins vegar ummyndun á berginu sjálfu við lekt og poruhluta.

Ummyndunarsteindir voru greindar á þrennan máta:

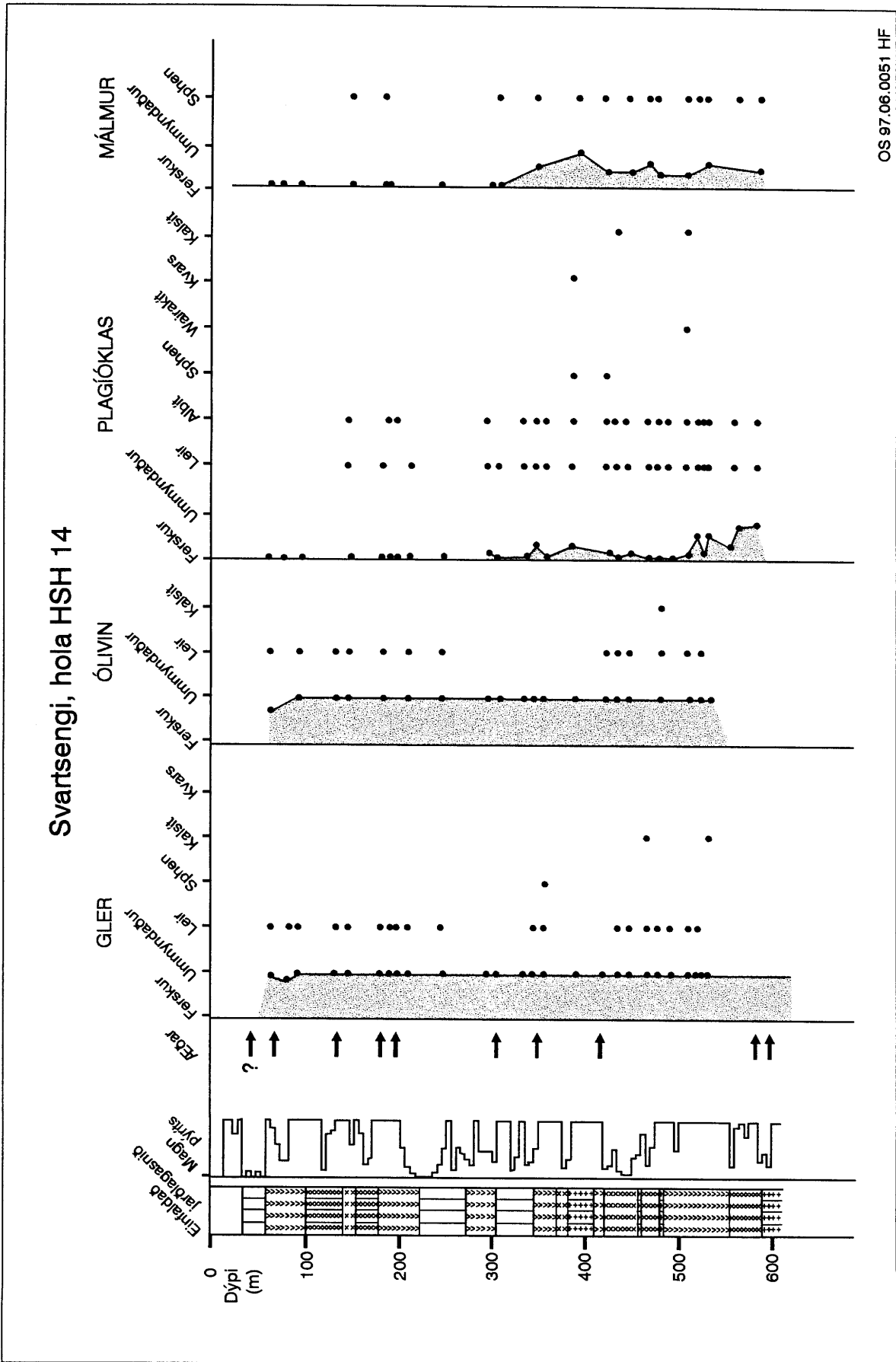
1. Svarf var skoðað í víðsjá samhliða borun. Margar ummyndunarsteindir eru auðþekktar við slíka athugun og gefur hún því sæmilega mynd af ummyndun bergsins, sérstaklega um magn ummyndunarsteinda.
2. Sýni voru valin til þunnsneiðagerðar með hliðsjón af svarfgreiningu og skoðuð í bergfræðismásjá. Þannig má, auk berggerðar, greina flestar ummyndunarsteindir.
3. Leirsteindir voru greindar með XRD-tæki, en einnig var stuðst við svarf- og þunnsneiðagreiningu. Þessar greiningar hjálpa til að skipta ummyndun í belti, sem lýsa ákveðnum hitabreytingum og vatnslekt.

4.1 Ummyndun bergs

Helstu steindir í bergi eru plagióklas, pýroxen, málmsteindir (magnetít/ilmenít) og ólivín. Ef bergið nær ekki að kristallast, storknar það sem gler. Þessar steindir eru misviðkvæmar fyrir jarðhita. Þannig brotna ólivín og gler auðveldlega niður í ummyndunarsteindir við tiltölulega lágan hita, en aðrar steindir þola mun hærri hita.

Á mynd 4 er sýnd ummyndun glers, ólivíns, plagióklas og málm (magnetít/ilmenít), en ummyndun á pýroxen er sleppt þar sem erfiðara er að meta hana í bergfræðismásjá. (Ummyndun pýroxens er þó samkvæmt reynslu annars staðar talin svipuð og ummyndun plagióklasa.)

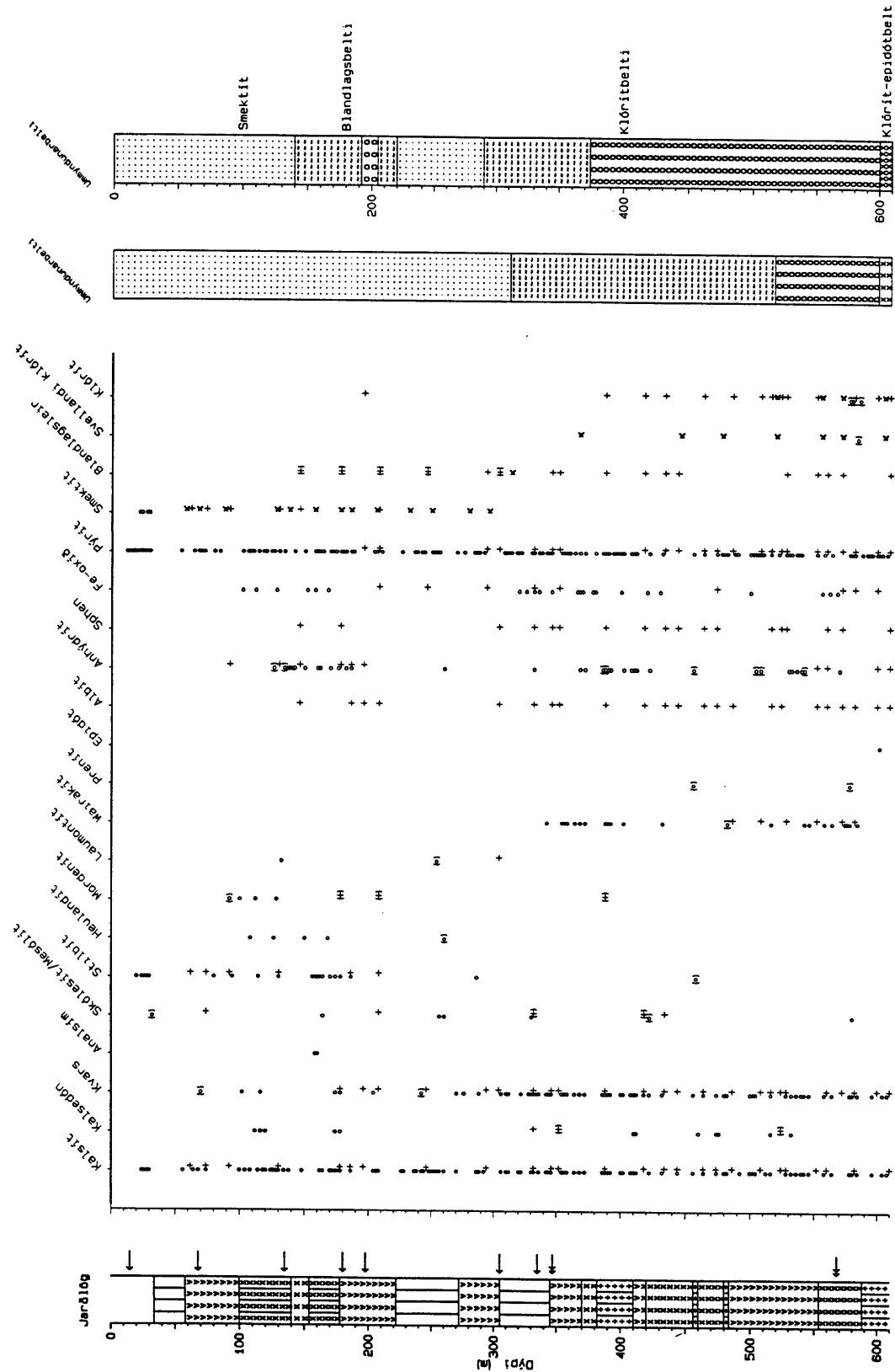
Gler er að mestu leyti ummyndað niður á 100 m dýpi, og algjörlega neðan þess. Gler virðist helst ummyndast í leir, en einnig sést á stöku stað sphen, kalsít og kvars í stað glers. **Ólivín** er allt ummyndað nema á um 60 m dýpi, þar sem enn sjást leifar ólivínkristalla. Ólivín hefur breyst í leir og iddingsít. Á tæplega 500 m dýpi sést jafnframt kalsít í stað ólivíns. Veik merki um ummyndun á **plagióklas** yfir í leir og albít sjást frá um 145 m dýpi niður undir 210 m dýpi, þar sem hún hverfur. Hún birtist aftur og þá í meira mæli frá um 290 m dýpi og niður á botn holunnar. Neðan 380 m dýpis sést einnig ummyndun plagióklasa í sphen, wairakít, kvars og kalsít. Plagióklasumyndun er einna mest neðan um 550 m dýpis. Vottur að ummyndun **málms** (magnetít/ilmenít) yfir í sphen byrjar á sama dýpi og ummyndun plagióklas eða á 145 m dýpi niður á um 180 m, en síðan verður hennar ekki vart, fyrr en kemur niður á um 300 m dýpi. Ummyndun málmisins er umtalsverð neðan 350 m dýpis.



Mynd 4. Bergummyndun og magn þýris í HSH-14.

4.2 Dreifing ummyndunarsteinda og ummyndunarbelti

Mynd 5 sýnir dreifingu ummyndunarsteinda í holu 15 ásamt einfölduðu jarðlagasniði, vatnsæðum og beltaskiptingu ummyndunar. **Kalsít** greinist nánast í allri holunni. Á ákveðnum dýptarbilum t.d. um 136-160 m og 180-205 m verður áberandi minnkun á kalsíti, og er það athyglisvert að einmitt þar koma vatnsæðar inn í holuna. Á fyrrnefnda dýptarbilinu verður áberandi hrun í borun og er ekki loku fyrir það skotið, að kalsít hafi leyst upp og horfið, og þar með orsakað veikleika í berginu. **Kalsedon** finnst strjált niður holuna frá um 110 m dýpi niður á 180 m dýpi og síðan neðan 330 m dýpi. Fyrstu öruggu merki um **quartz** finnst á um 100-120 m dýpi, en síðan ekki fyrr en á 170 m dýpi, þar sem það finnst strjált niður á 220 m dýpi. Neðan þess verður **quartz** fremur algengt. Alls fundust vísbendingar um 7 **geislasteinstegundir** í holunni. **Analsím** finnst í tveimur sýnum á tæplega 160 m dýpi. **Skólesít (mesólít)** finnst mjög strjált í holunni, og er athyglisvert að svo virðist sem vísbendingar um þá steind nái a.m.k. niður á 470 m dýpi, vel niður fyrir efri mörk blandlagabeltisins. **Stilbít** greinist allt niður á 220 m, og er mögulega einnig að finna á tveimur stöðum þar fyrir neðan. **Heulandít**, sem svipar mjög til stilbíts, finnst á fjórum stöðum á dýptarbilinu 110-170 m dýpi. **Mordenít** finnst í þremur þunnsneiðum, að því er virðist, á um 200 m dýpi og á um 400 m dýpi. **Laumontít** finnst aðeins á einum stað (400 m) með öryggi, en gæti einnig verið til staðar á um 250 m dýpi samkvæmt víðsjárgreiningu. **Wairakít** kemur fyrst fram á um 340 m dýpi og finnst nokkuð víða þar fyrir neðan. Vísbending um **preínít** finnst á tveimur stöðum í holunni; á um 460 og á um 580 m dýpi. Aðeins finnst vottur af **epidóti** nærri botni holunnar á um 600 m dýpi. **Albít** sem ummyndun á plagíóklas, finnst á tveimur dýptarbilum; annars vegar á 140-220 m dýpi og hins vegar neðan 300 m dýpis. **Anhýdrít** virðist einnig einskorðast við tvö dýptarbil; milli 100 og 200 m dýpis og hins vegar neðan um 350 m dýpis. Athyglisvert er að anhydrit finnst ekki í þunnsneiðum á milli 200 og 550 m dýpis sem gerir víðsjárgreininguna ótraustvekjandi þar. **Sphen** finnst einkum sem ummyndun á málmsteindum (ilmenít/magnetít) og virðist einskorðast við 140-180 m dýpi og svo neðan 300 m dýpis. Oxun (**Fe-oxíð**) virðist vera nokkuð algeng í holunni, og virðist vera fylgni á milli vatnsæða og magns oxunar. **Pýrít**, sem samheiti súlfíðsteinda, er all algeng í holunni allri. Magn þess er nokkuð breytilegt eins og vel sést á mynd 4, og virðist magnið oft falla saman við legu vatnsæða. Leirsteindir voru greindar í þunnsneiðum og með röntgengreiningu. Í þunnsneiðagreiningunni var höfð nokkur hliðsjón af rannsóknum sem gerðar voru á Nesjavöllum (Hjalte Franzson 1994), þar sem upphaf blandleirsteinda í holunni sjást í hápleókróískum gróffjöðruðum leir í holrými bergsins. Þessi breyting á optískum eiginleikum leirsins féll nokkuð vel saman við efri mörk blandleirsins eins og hann var ákvarðaður af röntgengreiningum á Nesjavöllum. Í holu HSH-14 í Svartsengi virðist þessi samanburður ekki svo ýkja glöggur, þar sem röntgengreindur blandleir finnst ekki fyrr en á rúmlega 300 m dýpi. Til að auðvelda samanburð við aðrar holur verða efri mörk blandlagsbeltisins og klórítbeltisins miðuð við röntgengreiningar en ekki þunnsneiðagreiningar, þótt höfundur telji að tilvera annarra ummyndunarsteinda bendi til að blandlagsbeltið og klórítbeltið sé betur skilgreint með þunnsneiðagreiningunni en röntgengreiningunni. Í þunnsneiðagreiningu virðist **klórít** vera tvískipt, birtist í einu sýni á um 200 m dýpi en síðan ekki fyrr en neðan 380 m dýpis. Í röntgengreiningu greinist klórít ekki fyrr en á 520 m dýpi. Í röntgengreiningu kemur **svellandi klórít** (corrensít) fram á 380 m dýpi, og blandlagssteindir hverfa (í röntgengreiningu), allt niður á botn holunnar.



Mynd 5. Dreifing ummyndunarsteinda í holu HSH-14 og ummyndunarbelti.
 o = greining í víðsjá, + = þunnsneiðgreining, x = röntgengreining (XRD).
 Ummyndunarbelti vinstra megin byggð á röntgengreiningum, ummyndunarbelti hægra megin byggð á þunnsneiðgreiningum.

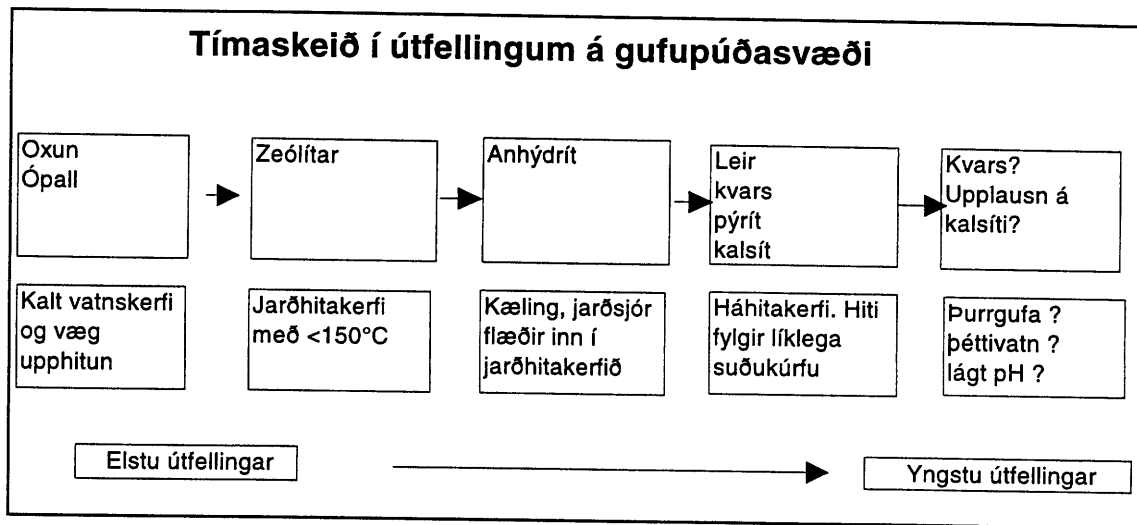
Ummyndunarbelti holunnar eru sýnd hægra megin á mynd 5. Ef röntgengreiningar eru hafðar sem forsenda skiptingar nær smektít zeólítabeltið niður á 320 m dýpi, þar sem við tekur blandlagsbelti. Efri mörk klórítbeltis koma fram á 520 m dýpi og klórít-epidótbeltið á 600 m dýpi. Ljóst er að nokkuð misræmi er á milli greininga með röntgen annars vegar og þunnsneiðagreiningar hins vegar. Á það sérstaklega við þá auknu ummyndun sem fram kemur á 140 - 220 m dýpi, og birtist ekki eingöngu í grófkristallaðri leir (sem merki um blandlag) heldur einnig myndunar albíts ($>200^\circ$), spens ($>200^\circ$) og kvars ($>180^\circ$). Ef fullt tillit er tekið til þunnsneiðagreiningarinnar, breytast ummyndunarbeltin nokkuð og eru þau sýnd í súlunni lengst til hægri á mynd 5. Röntgengreiningar verða þó látnar ráða hér í beltaskiptingu ummyndunar, þar sem það auðveldar samanburð við ummyndun annarra hola á svæðinu eins og áður er getið.

4.3 Samanburður við nærliggjandi holur

Ummyndun hefur að hluta til verið greind í öðrum holum á gufusvæðinu. Á mynd 3 er sýnd tenging nokkurra steinda á milli holanna. Þar sést að ummyndun er einna lægst í holu 14, en nær langhæst í holu 2. Sérstaklega er dýpi á klórít (röntgengreiningar) miklu meira í holu 14 þar sem þar munar um 200 m í dýpi á 40-50 m lengdabili. Einnig er athyglisvert að tölurverður munur er á ummyndun í holu 3 og holu 2, þar sem sú síðarnefnda er aðeins í um 30 m fjarlægð frá holu 3. Þessi breytilega ummyndun gefur sterklega til kynna hve jarðhitarásin sem fæðir gufukerfið er afmörkuð. Sú hola sem virðist vera næst meintu uppstreymi er hola 2. Ummyndun í holu 10 gæti bent til að komið sé þar nærri norðurmörkum gufusvæðisins, eða að holan sé staðsett austan eða vestan megin við meinta jarðgufusprungu. Ef röntgengreiningar eru látnar ráða virðist lítil munur á efri mörkum blandlagsbeltisins og klórítbeltisins í holu 14 og holum 12 og 6 fyrir vestan gufusvæðis, sem er enn önnur vísbending þess að hola 14 er við ytri mörk gufusvæðisins.

4.4 Tímaröðun útfellinga

Ummyndun er flókið samspil milli jarðhitavökva og bergs. Einn þáttur þess samspils eru útfellingar í holrými bergsins. Röðun útfellinga í holrými getur gefið sterkar vísbendingar um ástand jarðhitakerfisins og þær breytingar sem orðið hafa á líftíma þess. Í rannsóknnum á ummyndun í holu HSH-14 var eilítið hugað að hvernig útfellingarnar röðuðu sér. Einnig var dustað rykið af eldri upplýsingum til samanburðar sem til voru úr holu HSH-10. Á mynd 6 er sýnd á einfaldaðan hátt helstu jarðhitaskeiðin sem sjá má í röðun útfellinga ofan 600 m á þessum stað í jarðhitakerfinu, en sú mynd er unnin úr gögnum sem sýnd eru í töflum 1 og 2.



Mynd 6. Tímaskeið á útfellingum á gufupúðasvæðinu.

Eins og á myndinni sést, lýsir oxun og ópall (kalsedon) líklega köldu vatnskerfi í berglagastaflanum, sem var undanfari jarðhitakerfis. Kristöllun zeólíta (t.d. stilbíts, heulandíts, analísíms, tomsoníts, skólesíts, mordeníts og laumontíts) lýsir öðru stigi, þar sem jarðhitastigull er að myndast með stighækkandi hita allt upp undir ca. 100-150°C niður á 400-600 m dýpi. Þriðja stigið er útfelling á anhýdríti, sem samkvæmt kokkabókum sem skrifaðar voru í tengslum við háhitakerfin á Reykjanesi (Jens Tómasson og Hrefna Kristmannsdóttir 1972) og í Eldvörpum (Hjalti Franzson 1990, 1996a), var túlkað sem flæði kalds jarðsjávar niður í heitari bergskrokka, og er þar með bæði vísbending um nýja lekaleið niður í jarðhitakerfið, trúlega samfara sprungumyndun og jarðskorpuhreyfingum, og kælingu.

Fjórða jarðhitastigið er háhitakerfið sem "ryðst" upp úr neðra kerfinu. Eins og títt er um upphaf slíks kerfis er útfelling leirs; ofarlega finnst vísbendingar um smektít/blandlag sem setst ofan á eldri zeólíta, og síðan kemur kvarz, wairakít og kalsít. Vísbendingar sjást um að laumontít er að breytast yfir í kvarz. Í holu 14 virðist sem síðasta útfellingagerðin sé kalsít. Í holu 10, sem sýnir í flestu svipaða þróun, eru vísbendingar um að önnur kynslóð af kvasi komi inn á eftir kalsíti. Athyglisvert er að við vatnsæðar á um 140, 180 og 200 m dýpi í holu 14 minnkar kalsít mjög mikið, sem gæti bent til að það hafi leyst upp. Í borun varð vart umtalsverðs hruns á 130-150 m dýpi, sem myndi passa við það að kalsít "límið" við æðarnar þar hafi leyst upp, og gert bergið viðkvæmara fyrir hruni.

Talið er að aldur jarðhitaummerkja á yfirborði sé yngri en 115.000 ár en það er mesti aldur móbergshrúgaldanna í Þorbirni og Svartsengisfelli. Þau jarðhitaummerki eru nú kulnuð, og víða þakin jarðvegi, sem bendir til að einhver þúsund ár séu liðin frá því þau dóu út á yfirborði. Gufukerfið er annaðhvort síðustu leifar þessa kerfis, eða sem höfundur aðhyllist frekar, að það sé afleiðing yngri sprungumyndunar. Vísbending um ungan aldur háhitahluta kerfisins er sú að enn má sjá lághitazeólíta við hærri hita en 200°C, en það er hiti sem þeir þola jafnan ekki.

Tafla 1. Röðun steinda í holrými í svarfsýnum í holu HSH-14 samkvæmt þunnarneiðagreiningu.

Dýpi	Elsta útfelling	>	>	>	>	>	Yngsta útfelling
74 m		stilb/heul					kalsít
92 m		stilbít					kalsít
178m		fínfj.zeólít	anhýdrít	háhitaleir			kalsít
186 m		stilbít		háhitaleir			kalsít
208 m		Fínfj. zeól.			kvars		leir+kalsít
					kvars+pýrít		
294 m				háhitaleir	kvars		kalsít
					kvars+leir		kalsít
							kalsít+pýrít
304 m		laumontít			umm/kvars		
332 m	kalsedon			háhitaleir			
352 m	límonít						kalsít
388 m		mordenít					kalsít
418 m				háhitaleir	kvars		
434 m		skólesít			kvars		kalsít
							kalsít
444 m				háhitaleir			kalsít
464 m					kvars		kalsít
486 m					kvars+pýrít		kalsít
474 m	"kalsedon"						kalsít
508 m					kvars	wairakít	
516 m					kvars		kalsít
524 m							kalsít+pýrít
528 m					kvars	wairakít	kalsít+pýrít
					kvars		kalsít
552 m					kvars	wairakít	kalsít+pýrít
					kvars+pýrít		
					kvars		kalsít
					kvars		kalsít
				háhitaleir	kvars		kalsít+pýrít
					kvars		kalsít
560 m			anhýdrít		kvars		kalsít
					kvars		kalsít
					kvars		kalsít
572 m	oxun				kvars		kalsít
582 m	ox+kalsed						

Tafla 2. Röðun steinda í holrými í svarfi í holu SG-10.

Dýpi	Elsta útfelling	>		>	>	>	Yngsta útfelling
52 m	leir	tomsonít stilbít stilbít stilbít	heulandít			kalsít kalsít	
74 m	leir	stilbít			kvars+pýrít	kalsít	
82 m	pýrít leir	stilbít stilbít stilbít		leir leir		kalsít kalsít	
118 m	leir					kalsít	
136 m	smektít					kalsít	
186 m				leir		kalsít	
232 m				leir leir	kvars	kalsít	
250 m						kalsít	kvars+pýrít
304 m						kalsít	kvars+pýrít
336 m				leir leir	kvars	kalsít kalsít kalsít	kvars kvars
360 m				leir		kalsít kalsít	kvars

5. VATNSÆÐAR

Vísbendingar um vatnsæðar fundust á 12 stöðum í holunni, og eru fjórar þeirra í vinnsluhluta hennar. Í eftirfarandi lista er getið þeirra gagna sem ákvörðunin um vatnsæða byggir á.

1. 14 m Helstu vísbendingar um æðina er aukin ummyndun, áberandi aukning í pýríti og toppur í hitamælingu. Æðin kom fram í höggborsholunni og var fódruð af. Svo virðist sem steypa hafi streymt inn í þessa æð við steypingu fóðringar. Æðin kemur fram á mótum hraunlags og túfflags.

2. 46 m? Brot kemur í hitamælingu í ádælingu. Það sem mælir á móti æð á þessum stað er að pýrít er ákaflega lítið frá 30-55 m dýpi.

3. 68 m Áberandi skápur kemur fram í víddarmælingu á um 67 m dýpi. Svæðið frá 55-70 m er áberandi pýrítríkt. Æðin kemur fram innan fremur einhæfs túfflags og er ekki sjáanlegur neinn strúktúr sem skýrt gæti jarðfræðilegt eðli æðarinnar.

4. 135-141 m Hitamæling sýnir brot í ádælingu. Áberandi skápur kemur fram í víddarmælingu á 133 til 138 m dýpis. Í borun urðu endurtekin hrun og var yfirborð hrunkaflans í lok hverrar hreinsunar yfirleitt í um 141 m, sem bendir ef til vill til að neðri mörk æðarinnar sé við efra borð hrunkaflans. Athyglisvert er að á hrunsvæðinu er bergið algerlega án kalsíts, steindar sem algeng er annars staðar í holunni.

5. 170 m Í ádælingu sést brot í hitamælingu, sömu mælingu og brot sést í hitamælingu á 180 m æðarinnar. Skápur í 171m dýpi. Æðin liggur við neðri mörk basaltlags. Við þetta dýpi verður mikil aukning í pýríti.

6. 180 m Í ádælingu sést brot í sömu hitamælingu og ákvarðar 170 m æðina. Á þessu dýpi eru efri mörk á um 40 m þykku setkenndu móbergi. Bergið er pýrítríkt.

7. 195-200 m Í borun varð vart við skolaukningu upp á 5-10 l/s á 195-197 m dýpi. Í ádælingu í lok borunar virðist vatn streyma inn í bergið á um 205 m dýpi. Sú staðsetning fellur ekki alveg saman við pýrítið það sem pýrítið snarminnkar við 200 m dýpi, svo líklega er æðin á milli 195-200 m dýpis. Æðin birtist innan móbergstúffs og ekki er ljóst hvers konar jarðfræðifyrirbrigði stjórnar henni. Svo virðist sem ummyndun aukist umtalsvert frá um 145 til 220 m dýpis, sem líklega orsakast af hita og vatnslekt á þessu dýptarbili. Steindir eins og albít, sphen, anhýdrít og grófkristallaður leir virðist einkenna þetta dýptarbil. Auk þessa verður þar fyrst vart við ummyndun á plagíóklas og málm. Neðan þessa dýpis og niður á 300 m dýpi minnkar ummyndun.

8. 305 m Hitamælingar sína glögg merki um æð á þessum stað. Hún kemur fram við efri mörk á pýríttoppi. Á þessu eykst ummyndun á ný, t.d. birtast aftur albít, sphen og gróffjaðraður leir auk þess að aukning verður í kvarsí. Æðin kemur fram á lagskilum móbergsmýndunar og hraunlagamyndunar.

9. 347 m Í hitamælingum koma fram sterkar vísbendingar um æð á 340-350 m dýpi. Skoltap í borun hefst í um 347 m, en það er á svipuðu dýpi og mikil aukning verður á pýríti. Æðin er líklegast tengd jarðlagaskilum milli hraunlagamyndunar og móbergsmýndunar fyrir neðan.

10. 419 m Skoltap jókst úr c. 5 l/s upp í 10-15 l/s á 419 m dýpi, en þar eru neðrin mörk á pýrítríku belti. Æðin virðist koma fram á lagskilum á milli túffs og breksíu fyrir neðan.

11. 586 m Algert skoltap varð þessu dýpi (>30 l/s). Æðin kemur fram við neðri mörk pýrítríks beltis. Æðin tengist líklega jarðlagaskilum milli móbergsmýndunar og undirliggjandi hraunlagamyndunar.

12. 605-608 m Í hitamælingum í borlokum virðist vatn í áðælingu flæða alla leið niður á botn holunnar, sem bendir til æðar á þeim stað. Botnfall reyndist vera um 4 m þannig að æðin liggur líklega ofan við 608 m. Áberandi aukning verður á pýríti neðan 600 m dýpis, og þar verður einnig fyrst vart við epidót. Æðin kemur fram innan hraunlaga, og ekki ljóst nákvæmlega hverju hún tengist jarðfræðilega.

Tafla 3. Líkleg jarðfræðileg tengsl vatnsæða í holu HSH-14.

No. æðar	Dýpi (m)	Lagskil				Óþekkt samband
		Hraun/ Móberg	Móberg/ Hraun	Hraun/ Hraun	Innan Móbergs	
1	14	X		X		
2	46 ?			X		
3	68					X
4	135-141				X	
5	170	X				
6	180	X				
7	195-205					X
8	305		X			
9	347	X				
10	419				X	
11	586		X			
12	605-608					X

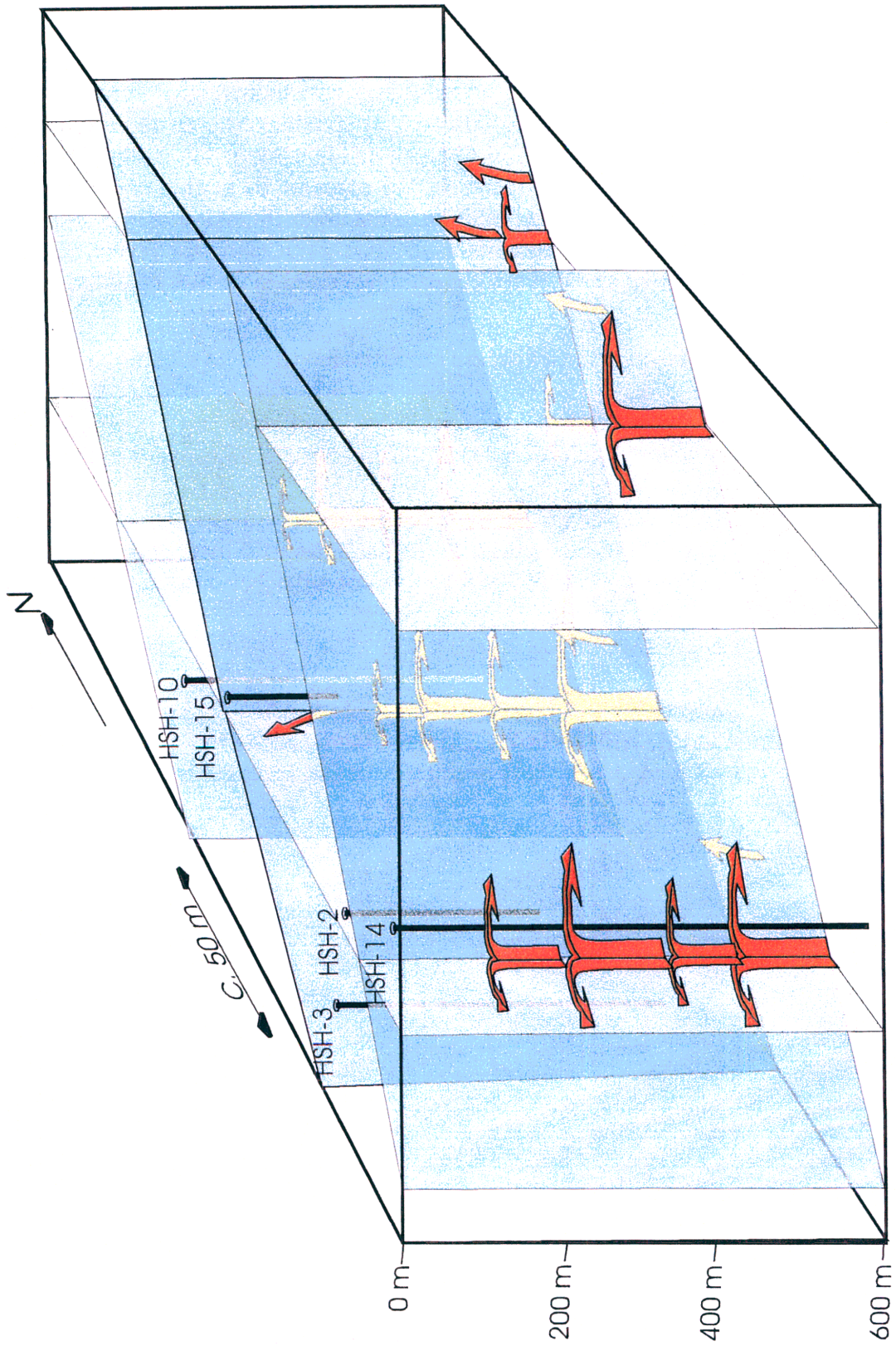
Taflan sýnir nokkuð óbyggjandi að vatnsæðar sem holan sker liggja eftir “láréttum” jarðlagaskilum á milli gosmyndana, og að ekki finnast vísbendingar um að holan skeri leka lóðréttu sprungu. Við fyrstu sýn virðist sem heldur betri lekt sé eftir jarðlagaskilum þar sem hlýskeyð tekur við af jökulskeyði (hraunlög ofan á móbergsmýndun), en þar sem jökulskeyð tekur við af hlýskeyði. Lekt eftir lagskilum milli einstakra hraunlaga og eftir lagskilum innan móbergsmýndana er ekki áberandi. Þessi mynd af legu vatnsæðanna bendir til að holan skeri “láréttar” æðar sem liggja út frá uppstreymissprungu. Yfirbragð ummyndunarinnar virðist einnig benda til, að holan sé fjær meginuppstreyminu en aðrar holur á gufusvæðinu, sem er eilítið undarlegt miðað við að hola 2, sem næst liggur, sýnir mestu ummyndunina. Skýringin gæti legið í því að holu HSH-14 hallar til suðvesturs í átt frá holu 2 og það einnig að hola HSH-14 er boruð í suðurjaðar gufusvæðisins.

6. UMRÆÐA OG HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Útbreiðslu jarðhita á yfirborði á gufusvæðinu í NV hluta borsvæðisins í Svartsengi hafa verið gerð nokkur skil (Hjalti Franzson 1996). Sú athugun leiddi í ljós að líklega mætti tengja gufuuppstreymi við N-S sprungu. Á þeirri sprungu koma fram frávik í gufustreymi sem benda til að NA-SV sprungur skeri þá fyrrnefndu (sbr mynd 1). Ástæða fyrir mjög staðbundnu uppstreymi á N-S sprungunni, gæti orsakast af að lektin tengist helst skurðpunktum þessara tveggja sprungukerfa, en sé fremur treg í sprungunni sjálfri. Yfirborðsjarðhiti hefur einnig verið að aukast handan Grindavíkurvegar sem líklega tengist annarri N-S sprungu. Sá jarðhiti er auðsjáanlega tengdur gufupúðakerfinu, en ekki er vitað hve náinn sá skyldleiki er. Hóla HSH-14 er að líkindum á suðaustur jaðri gufusvæðisins. Þau gögn sem það styðja, er lægri ummyndun og láréttar vatnsæðar sem líklegast liggja út frá lóðréttum lekaflötum.

Hlestu niðurstöður þessarar rannsóknar eru eftirfarandi:

- Jarðlagaskipan holu HSH-14 skiptist í 16 móbergs- og basaltmyndanir. Jarðlagatenging við nærliggjandi holur bendir til að engin umtalsverð misgengi séu á gufusvæðinu.
- Bergumyndun og útfellingar benda til að holan sé við ytri mörk gufusvæðis. Röðun útfellinga í holrými bendir til að jarðhitakerfið hafi þróast úr köldu vatnskerfi yfir í lághitakerfi, orðið fyrir kælingu og síðan hafi núverandi háhitakerfi tekið við.
- Flestar vatnsæðar sem holan sker liggja eftir “láréttum” skilum á milli gosmyndana.
- Á mynd 7 er sett fram jarðhitalíkan sem byggt er á yfirborðs- og borholugögnum. Á því má merkja lóðrétt jarðhitaflæði á sprungumótum N-S og NA-SV sprungna. Lek lárétt jarðlagaskil beina jarðhitavökvanum síðan út frá sprungunum.



Mynd 7. Hugsanlegt líkan af jarðhitakerfinu á gufusvæðinu í Svartsengi.

7. HEIMILDIR

Hjalti Franzson 1990. Svartsengi. Jarðfræðilíkan af háhitakerfi og umhverfi þess. Orkustofnun, OS-90050/JHD-08, 41 s.

Hjalti Franzson 1994. Nesjavellir. Þættir af ummyndun í jarðhitakerfi. Samvinnuverk Orkustofnunar og Hitaveitu Reykjavíkur. Orkustofnun OS-94021/JHD-06. 52 s.

Hjalti Franzson 1996a. Eldvörp, hola EG-2. Jarðfræðirannsóknir. Orkustofnun OS-96030/JHD-05 50s.

Hjalti Franzson 1996b. Hitaveita Suðurnesja. Tillögur að staðarvali fyrir nýjar borholur í Svartsengi. Orkustofnun, OS-96044/JHD28B, 115 s.

Jens Tómasson og Hrefna Kristmannsdóttir 1972. High-temperature alteration minerals and thermal brines, Reykjanes, Iceland. Contr. Mineral. And Petrol. 36, 123-134.

Sigurður Benediktsson 1992. Forborun fyrir vinnsluholu HSH-14 í Svartsengi með höggbor. Orkustofnun OS-92042/JHD-23 B. 18 s.

Sigurður Benediktsson og Sverrir Þórhallsson 1992. Svartsengi. Verklýsing fyrir borun könnunarholu SV-13 og vinnsluholu SV-14 í gufupúða. Orkustofnun OS-92036/JHD-17 B. 31 s.

Sigurður Benediktsson, Sverrir Þórhallsson, Hjalti Franzson 1992. Borun í gufupúðann í Svartsengi. Teikningar af holum HSH-14 og HSH-15. Orkustofnun OS-92052/JHD-28 B. 25 s.

Sigurður Benediktsson, Ásgrímur Guðmundsson og Grímur Björnsson 1993. Svartsengi. Borun vinnsluholu HSH-14 í gufupúðann. Lokaskýrsla. Orkustofnun OS-93012/JHD-07 B. 78 s.