ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

NESJAVELLIR

Þættir af ummyndun í jarðhitakerfi

Hjalti Franzson

Samvinnuverk Orkustofnunar og Hitaveitu Reykjavíkur

OS-94021/JHD-06 Mars 1994

ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 730 006

NESJAVELLIR

Þættir af ummyndun í jarðhitakerfi

Hjalti Franzson

Samvinnuverk Orkustofnunar og Hitaveitu Reykjavíkur

OS-94021/JHD-06 Mars 1994

ISBN 9979-827-45-9

ÁGRIP

Þessi skýrsla fjallar um túlkun á hluta þeirra gagna sem safnað hefur verið um ummyndun í jarðhitakerfi Nesjavalla. Athugun á ummyndun glers í berginu bendir til að gler geti haldist að einhverju leyti ferskt niður undir efri skil blandlagabeltis. Háhitaummyndun plagíóklasa hefst með leirsprungumyndun við efri mörk blandlagabeltis. Við efri mörk klórítbeltis verður fyrst vart við ummyndun plagíóklasa yfir í albít. Ummyndun málmsteinda í sphen hefst einnig við efri mörk klórítbeltis. Kristalgerð leirs í holrými bergsins er hitaháð. Þannig einkennir leirskán holrými í efri hluta smektít-zeólítabeltis, fínfjaðra leir í miðhluta og í neðri hluta sama beltis verður leirinn gróffjaðra. Við efri mörk blandlagabeltis verður leirinn, í þunnsneið séð, háp-leókróískur, og við efri skil á klórítbelti verður vart við daufpleókróískan leir. Af athugun á röðun útfellinga í holrými má kanna hvernig jarðhitakerfið á Nesjavöllum hefur þróast í tímans rás. Greina má meðal annars allt að fjögur tímabil háhitavirkni, og eru settar fram hugmyndir að tímasetningu þeirra. Samanburður á ummyndunarhita og berghita bendir til að hluti jarðhita-kerfisins sé að hitna meðan aðrir hlutar kerfisins eru að kólna.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP 2

1. INNGANGUR 5

2. BERGUMMYNDUN 5
   2.1 Ummyndun glers 7
   2.2 Ummyndun plagíóklasa 7
   2.3 Ummyndun málmsteinda 8

3. KRISTÖLLUN LEIRS Í HOLRÝMI 13

4. TÍMASKEIÐ Í JARÐHITAKERFINU 19
   4.1 Þróun jarðhitakerfis 19
   4.2 Frávik í röðun útfellinga 22

5. SAMANBURÐUR UMMYNDUNAR OG BERGHITA 24

6. UMRÆÐA 28

7. HELZTU NIÐURSTÖÐUR 31

8. FREKARI RANNSÓKNIR 32

9. HEIMILDASKRÁ 33

VIÐAUKI: Tafla 2. Röðun útfellinga í holrými 37

MYNDIR

1. Staðsetning borhola og sniðlínur 6
2. Sniðlína A-A'. Ummyndunarbelti og bergummyndun 10
3. Sniðlína B-B'. Ummyndunarbelti og bergummyndun 11
4. Sniðlína C-C'. Ummyndunarbelti og bergummyndun 12
5. Sniðlína D-D'. Ummyndunarbelti, vatnsæðar og bergummyndun. Samanburður ummyndunar og berghita og kalsítummyndun bergs 15
6. Sniðlína A-A'. Ummyndunarbelti, vatnsæðar og kristöllun leirs 16
7. Sniðlína B-B'. Ummyndunarbelti, vatnsæðar og kristöllun leirs 17
8. Sniðlína C-C'. Ummyndunarbelti, vatnsæðar og kristöllun leirs 18
9. Þróun jarðhitakerfisins á Nesjavöllum 23
10. Sniðlína A-A'. Samanburður ummyndunar- og berghita, og kalsítummyndun bergs 25
11. Sniðlína B-B'. Samanburður ummyndunar og berghita, og kalsít-ummyndun bergs 26
12. Sniðlína C-C'. Samanburður ummyndunar- og berghita, og kalsítummyndun bergs 27
13. Tengsl bergummyndunar og kristöllunar leirs við ummyndunarbelti 30

TÖFLUR

1. Lagskipting leirs í holu 6 14
2. Tímaröðun steinda í holrými í borholum (í viðauka)
3. Ummyndun zeólíta 21

1. INNGANGUR

Í samantektarskýrslu um jarðfræði jarðhitakerfisins á Nesjavöllum (Hjalti Franzson 1988) var fjallað að meginhluta um eðli lektar í berggrunninum á jarðfræðilegum forsendum. Í þeirri umfjöllun voru niðurstöður athugana á ummyndun bergsins hafðar til hliðsjónar. Hér er ætlunin að bera á borð nokkuð af þeim ummyndunargögnum sem skýra og auka við fyrri túlkun. Umfjöllun einskorðast við núverandi gagnasafn, en frekari greiningar og endurskoðun eða endurtekning greininga til að fylgja eftir og sannreyna hugmyndir biða betri tíma. Gögnin hafa verið tekin úr þeim skýrslum sem gefnar hafa verið út um jarðhitakerfið á Nesjavöllum, og er skrá yfir þær skýrslur í heimildalista. Töluverður hluti gagnanna kemur úr frumgagnasafni hverrar holu.

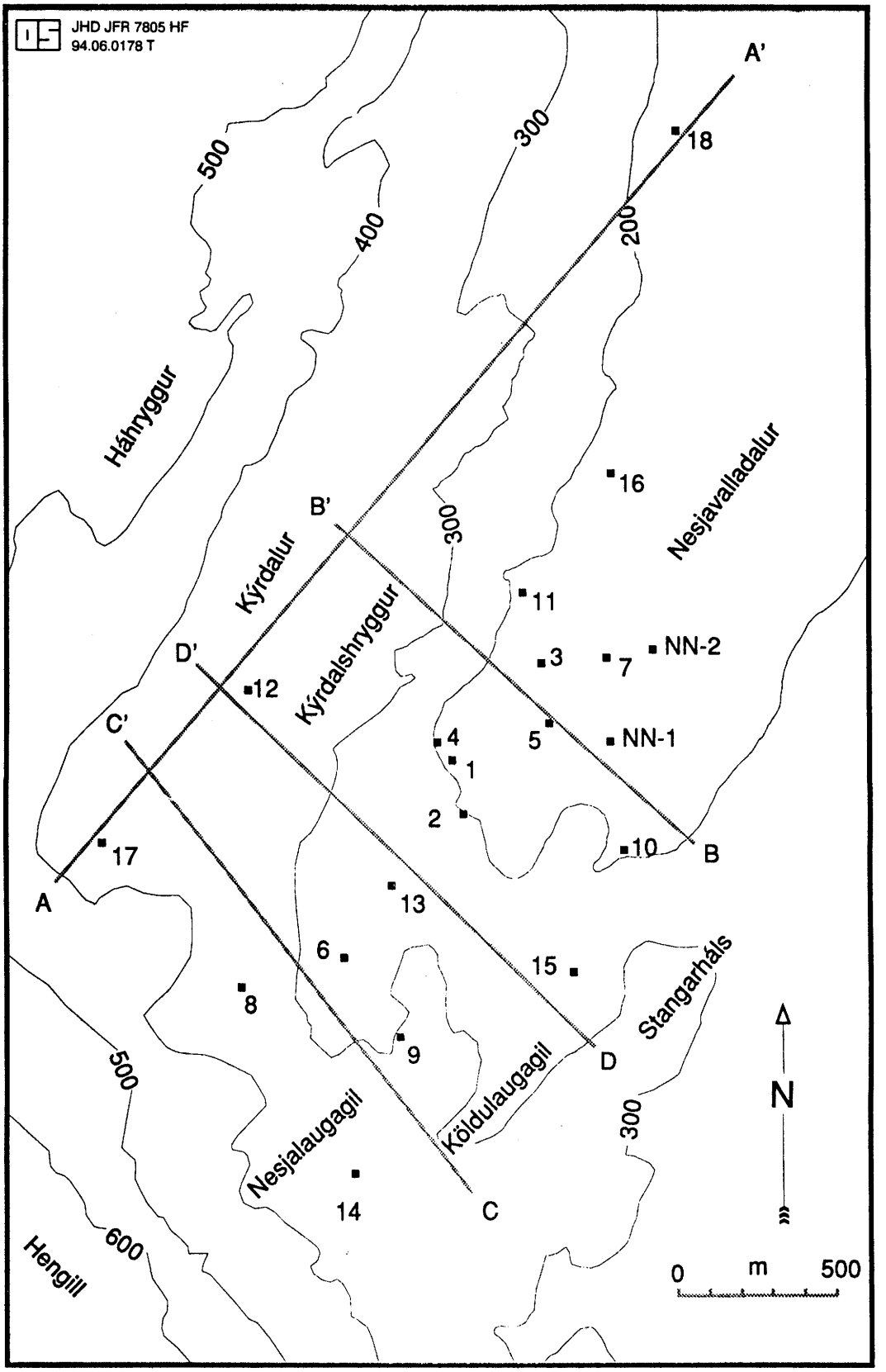
Skýrslunni er skipt í 8 kafla. Í kafla 2 er bergummyndun lýst, sérstaklega hvernig ummyndun plagíóklasa, málmsteinda og glers tengist inn í stöðluð ummyndunarbelti. Í þriðja kaflanum eru sett fram ýmis ummyndunargögn sem safnað hefur verið á Nesjavöllum en ekki unnist tími til að vinna úr og útfæra frekar. Einkum er um að ræða lýsingar á kristöllun leirs samkvæmt þunnsneiðum og svarfi. Í kafla 4 er fjallað um og endurskoðuð tímaröðun steinda í holrými bergs og sett fram heildarmynd af þróun jarðhitakerfisins á Nesjavöllum. Í 5. kafla er gerður samanburður á mældum berghita og ummyndunarhita og kortlögð þau svæði þar sem misræmis verður vart. Nokkur atriði eru krufin frekar í umræðukafla (6) og helstu niðurstöður eru settar fram í kafla 7. Tillögur að frekari rannsóknum eru síðan raktar í kafla 8.

2. BERGUMMYNDUN

Ummyndun bergs er háð aldri þess, poruhluta, lekt og hita. Ummyndun upphleðslubergs (gosbergs) eykst er neðar kemur í berglagastaflann, en innskot, sem eru bæði yngri og yfirleitt mun þéttari bergeiningar en gosbergið sem það treðst inn í, hafa ummyndazt minna. Á Nesjavöllum eykst fjöldi innskota er neðar dregur í berglagastaflann, og nálgast 100% á um 2000 m dýpi. Svipuð aukning innskota með dýpi hefur komið fram á öðrum háhitasvæðum. Athuganir, sem meðal annars hafa verið gerðar í holu 17 á Nesjavöllum, staðfesta að innskotin eru mun ferskari en gosbergið sem það treðst inn í. Berg neðst í holu 11, þar sem hæstur hiti hefur fundist á Nesjavallasvæðinu (>380°C), er ráðandi innskot, og er ummyndun þar takmörkuð (Benedikt Steingrímsson o.fl. 1990).

Gögnin, sem safnað hefur verið saman í þessa skýrslu og varða bergummyndun og leirkristöllun, hafa flest verið sett inn á þversnið og eru sniðlínur sýndar á mynd 1. Ummyndunarbelti sem sýnd eru í þversniðunum (myndir 2-8 og 10-12) eru tekin nær óbreytt úr skýrslu Hjalta Franzsonar (1988), nema ummyndunarbelti eftir sniðlínu D-D' (mynd 5) sem gert var sérstaklega í þessu verki.

Stærð og lega vatnsæða hefur einnig verið felld inn í sniðin á myndum 5-8 og 10-12. Áhrif vatnsæða á skil ummyndunarbelta eru ótvíræð og finnast þær gjarnan nærri beltaskilum og í mjóum ummyndunarrásum í efri hluta berglagastaflans. Þær lýsa þar með ástandi upphitunar og aukinnar ummyndunar, og ekki sízt nánum skyldleika ummyndunar við núverandi vatnslekt. Athyglisverð frávik eru þó á þeirri reglu því engar vísbendingar eru um vatnsæðar við beltaskil ofan epidót-amfíból beltis í holu 10, og við blandlagaskilin í holum 17 og 12. Þessar þrjár holur liggja allar við jaðra jarðhitakerfisins. Ekki er ljóst af hverju engar vatnsæðar sjást á þessum skilum.



Mynd 1. Staðsetning borhola og sniðlína.

Bergummyndun hefur kerfisbundið verið athuguð í holum 6, 7, 8, 9, 12 og 17, en minna í öðrum holum. Meiri áherzla var lögð á ummyndun gosbergsins en innskotsbergsins. Helst var athuguð ummyndun glers, plagíóklasa og sums staðar ummyndun magnetíts (sjá myndir 2-5). Athugun á ummyndun ólivíns og pýroxens var þeim annmörkum háð að það fyrrnefnda reyndist ekki nægilega algengt til að unnt væri að fylgja breytingum eftir samfellt niður í berggrunninn. Ummyndun ólivíns virðist þó svipuð og glers. Ummyndun pýroxens er fremur ógreinileg í þunnsneiðum þar eð hún virðist koma smám saman og dreifast sem smá leiragnir um allan kristallinn og fá þannig með aukinni ummyndun stigvaxandi þokukenndan blæ. Ummyndun pýroxens virðist í heildina tekið vera ámóta og plagíóklasa, og var þess vegna, líkt og með ólivín, ekki lögð áherzla á að fylgja henni nánar eftir hér. Þó er vert að minnast á áhugaverða ummyndun pýroxens í grófkristölluðu díoríitinnskotunum (Hjalti Franzson 1988), þar sem víða sést amfíbólkápa utan á pýroxeninum. Þessi ummyndun getur hafa orðið annað hvort meðan á kristöllun pýroxensins stóð, og þá vegna þess að jarðhitavökvinn flæðir inn eftir innskotinu meðan á kristölluninni stendur, eða að amfíból verður til við ummyndun pýroxensins eftir að díorítið hefur kristallazt. Svipaðri kristöllun amfíbóls hefur verið lýst í rofinni eldstöð í Geitafelli (Guðmundur Ómar Friðleifsson 1983). Amfíból-ummyndun pýroxens er einnig áberandi innan innskota neðst í holu 11 þar sem mestur hiti mælist. Vert er að hafa í huga þegar borin eru saman bergummyndun og ummyndunarbelti, að það fyrrnefnda styðst mestmegnis við svarfgreiningu og/eða þunnsneiðagreiningu, en það síðarnefnda mótast að miklu leyti af röntgengreiningum á leir. Dýpin, sem þunnsneiðarsýni eru tekin af annars vegar og röntgensýni hins vegar, eru oft mismunandi. Þar sem ummyndunarrásir eru víða þröngar í Nesjavallakerfinu, sérstaklega ofan klórít-epidótbeltisins, geta mismunandi sýnatökustaðir þunnsneiða og röntgensýna valdið einhverju misræmi.

2.1 Ummyndun glers

Gler er langalgengast í móbergsmyndunum sem eru ráðandi í efstu 600 m berglagastaflans, en minna í hraunlögum og innskotum dýpra í berggrunninum. Gler ummyndast að megninu til yfir í leir. Á myndum 2-5 eru dregnar fram upplýsingar á hvaða dýpi ferskt gler kemur fyrir og nefnt er í svarf- /þunnsneiðalýsingum. Meginniðurstaða er sú að þótt meirihluti glersins ummyndist innan smektít-zeólítabeltisins má finna vott af fersku gleri nær alls staðar innan þess beltis, en þegar niður í blandlagabelti er komið hefur allt gler ummyndazt. Samkvæmt því ætti gler að geta haldist ferskt upp að 200°C hita, en líklegt er að vatnslekt verði að vera lítil til að það haldist óummyndað. Athyglisvert er að ferskt gler er allt eins algengt í suðurhluta svæðisins, þar sem berghiti virðist mun hærri en ummyndun segir til um, og annars staðar þar sem ummyndun er í jafnvægi eða hærri en berghiti. Það gæti bent til að upphitunin í suðurhlutanum sé það "nýtilkomin", jarðsögulega séð að það hafi ekki enn náð að ummyndazt. Kalsítummyndunar á gleri verður sum staðar vart, sérstaklega við vatnsæðar í smektít-zeólítabeltinu. Sumir þessara staða eru merktir á myndum 10-12.

2.2 Ummyndun plagíóklasa

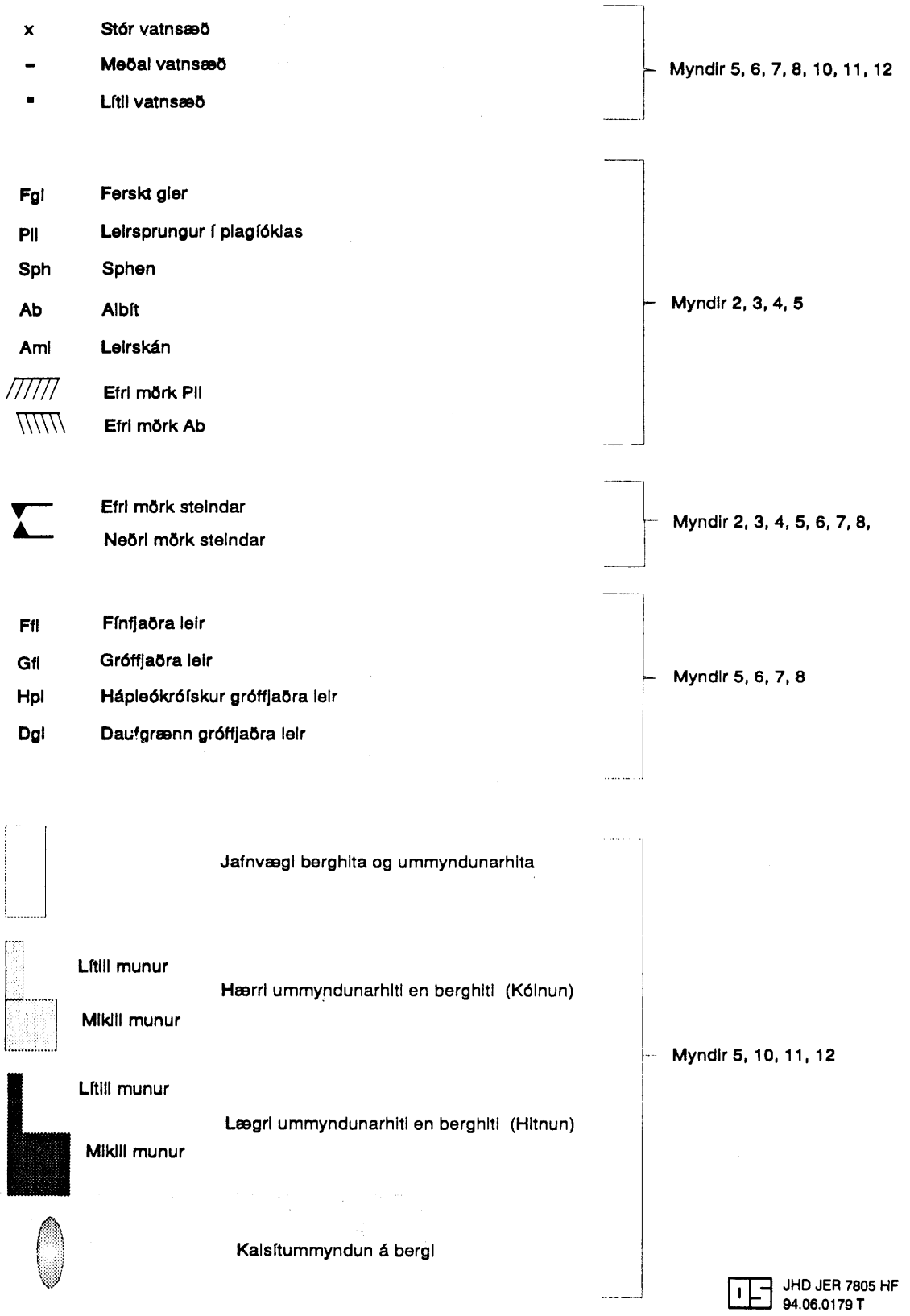
Ummyndun plagíóklasa virðist tengjast þremur tímaskeiðum. Elsta ummyndun hans er yfir í zeólíta og verður líklegast á þeim tíma þegar zeólítavirknin er sem mest (útfellingatímabil IV, sjá kafla 4 og mynd 9), og er hún mest áberandi í plagíóklasdílum. Þessi ummyndun sést í holu 7 og sérstaklega í holu 17, en væntanlega finnst hún einnig í öðrum holum þótt ekki sé hennar getið í lýsingum. Meginummyndun plagíóklasa fer líklegast fram á tímum háhitavirkninnar, og eru efri mörk þeirrar ummyndunar mest áberandi í tengslum við leir/kvars/prenít/wairakít út-

fellingatímabilið (V). Fyrsta stig þeirrar ummyndunar eru leirsprungur í plagíóklasa. Leirinn er daufgrænn og lítið pleókróískur, og svipar til einkenna klóríts. Upphaf leirmyndunar í plagíóklasa virðist falla nokkuð saman við efri mörkin á blandlagabeltinu, e.t.v. eilítið ofan við það. Næsta stig er ummyndun plagíóklasa yfir í albít. Upphaf hennar fellur almennt saman við efri skil klórítbeltisins, eins og bezt sést í holum 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14. Í Kýrdal virðist albít byrja að myndast í afmörkuðum rásum innan blandlagabeltisins. Þriðja ummyndunartímabil plagíóklasa tengist kalsíti. Slík ummyndun virðist helzt koma fyrir nærri virkum vatnsæðum. Svipuð kalsítummyndun virðist koma fyrir í gleri og jafnvel pýroxen. Á myndum 10-12 er merkt við nokkra þá staði í borholunum þar sem slíkri ummyndun hefur verið lýst. Auk áðurnefndrar ummyndunar plagíóklasa verður innan klórít-epidót og epidót-amfíból beltisins vart ummyndunar hans í sphen, wairakít og epidót. Ekki hefur sérstaklega verið hugað að tengslum þessarar ummyndunar við aðra þætti í háhitakerfinu.

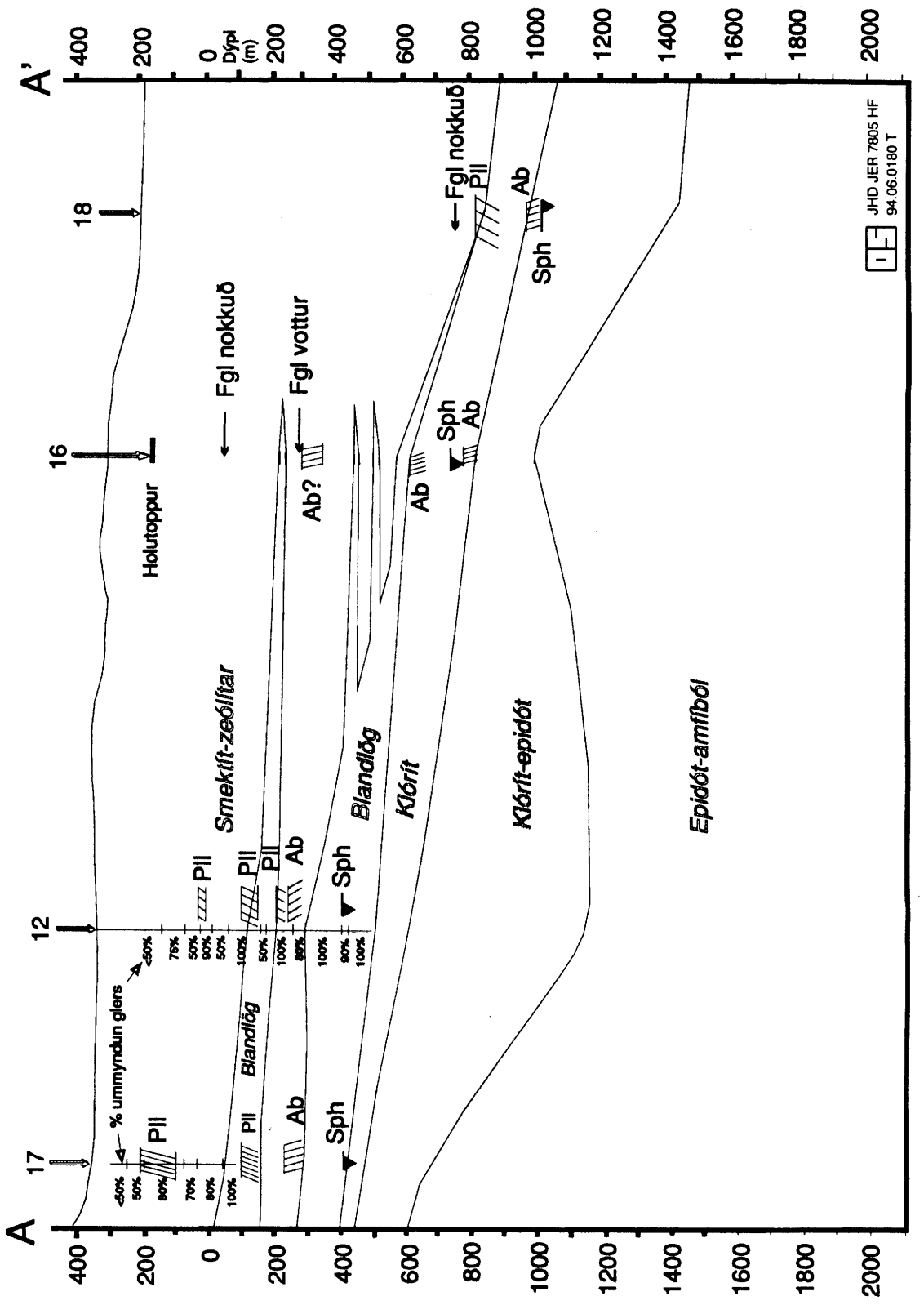
2.3 Ummyndun málmsteinda

Málmsteindir í bergi, sem aðallega teljast vera magnetít og að einhveju leyti ilmenít ummyndast að mestu yfir í sphen. Ummyndun þeirra var fyrst gaumur gefinn í holu 7, en hefur verið að nokkru fylgt eftir í öðrum holum. Í holum 17, 12, 16 og 10 birtist sphen fyrst neðarlega í blandlagabeltinu, en í holum 14, 9 og 8 verður fyrst vart við sphen ofarlega í klórítbeltinu. Í holu 18 kemur það fyrst fyrir við klórít-epidót mörkin. Athuga þyrfti nánar síðasttöldu staðsetninguna.

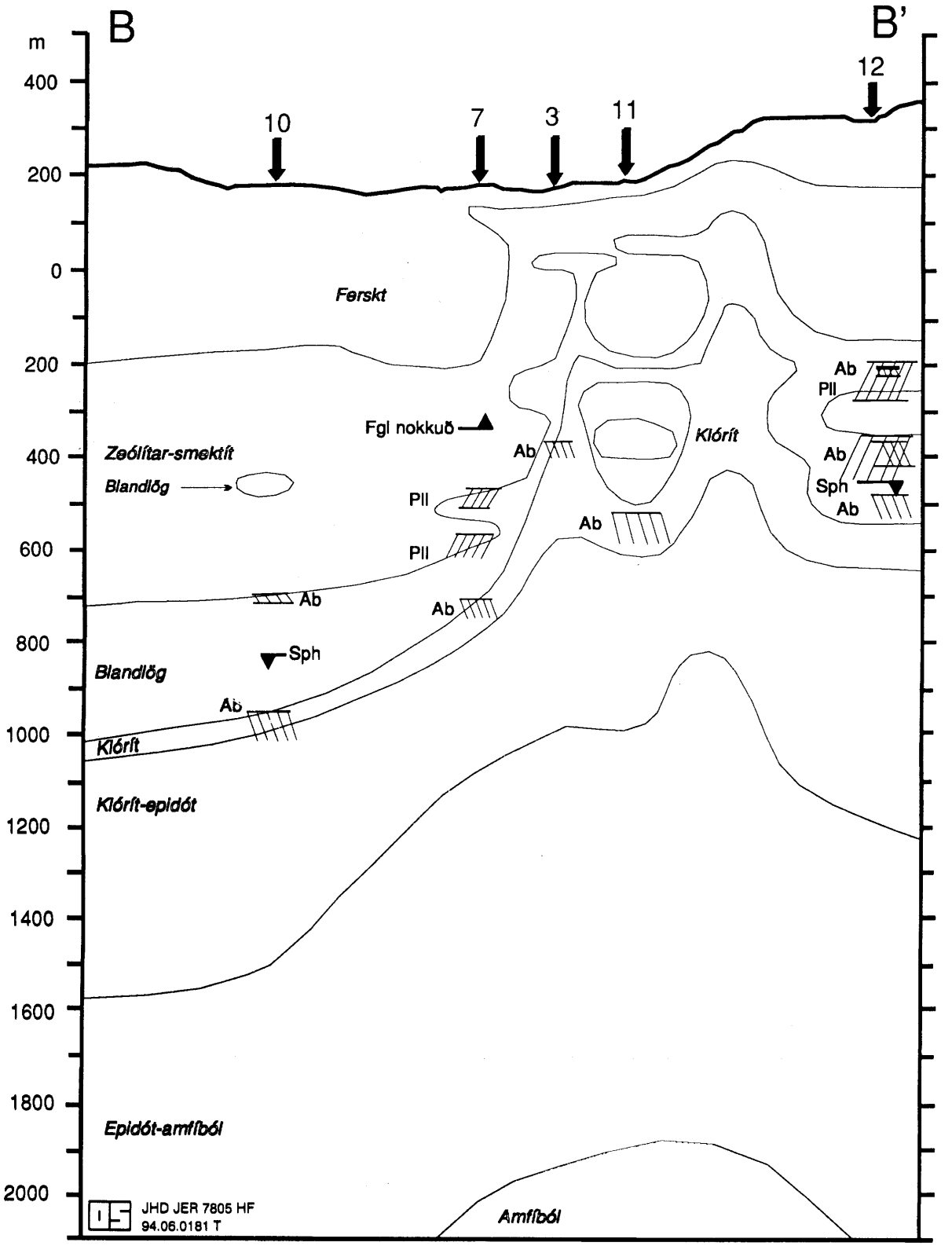
SKÝRINGAR VIÐ MYNDIR 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12



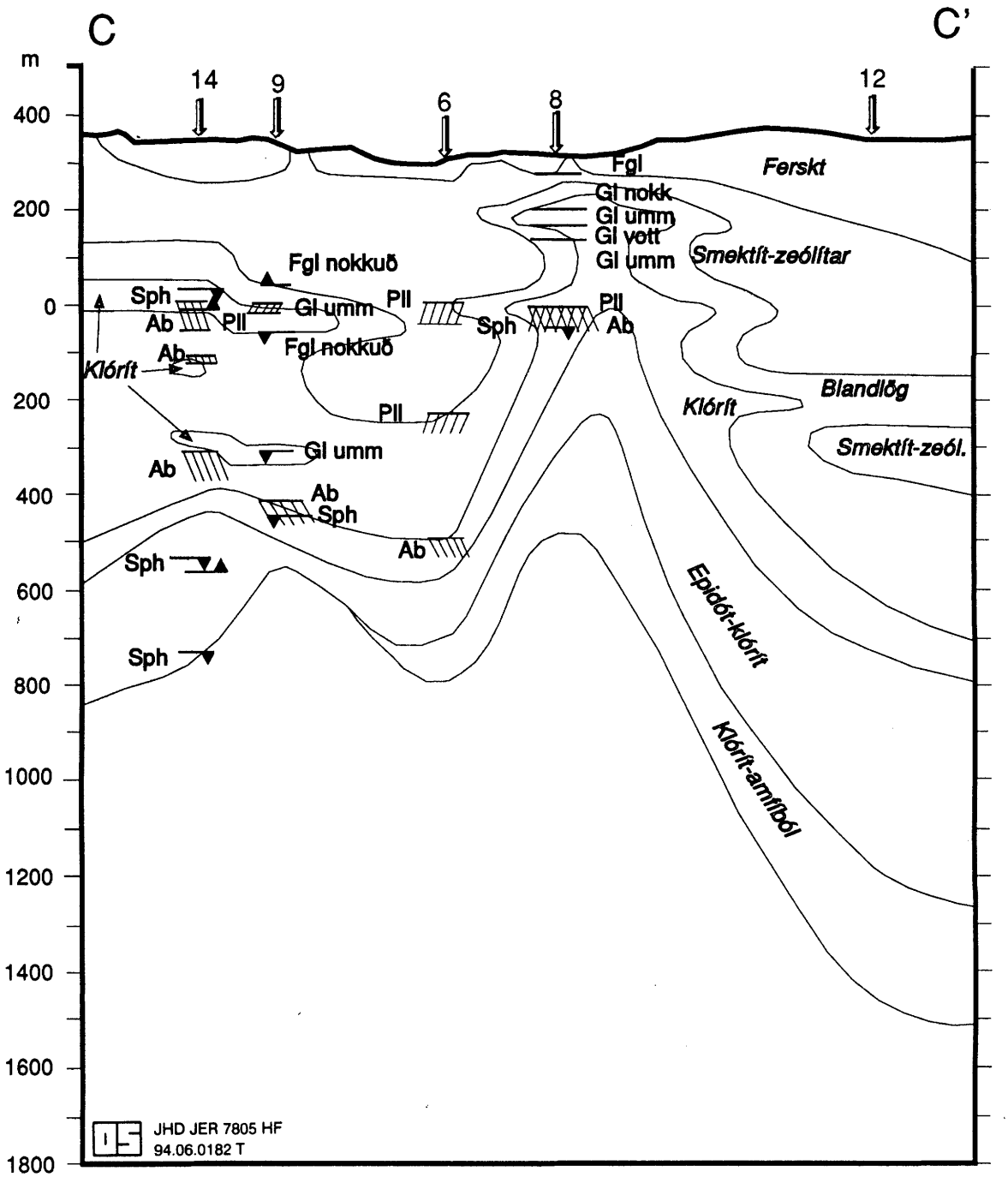
Skýringar við myndir 2,3,4,5,6,7,8,10,11 og 12.



Mynd 2. Sniðlína A-A'. Ummyndunarbelti og bergummyndun.



Mynd 3. Sniðlína B-B'. Ummyndunarbelti og bergummyndun.



Mynd 4. Sniðlína C-C'. Ummyndunarbelti og bergummyndun.

3. KRISTÖLLUN LEIRS Í HOLRÝMI

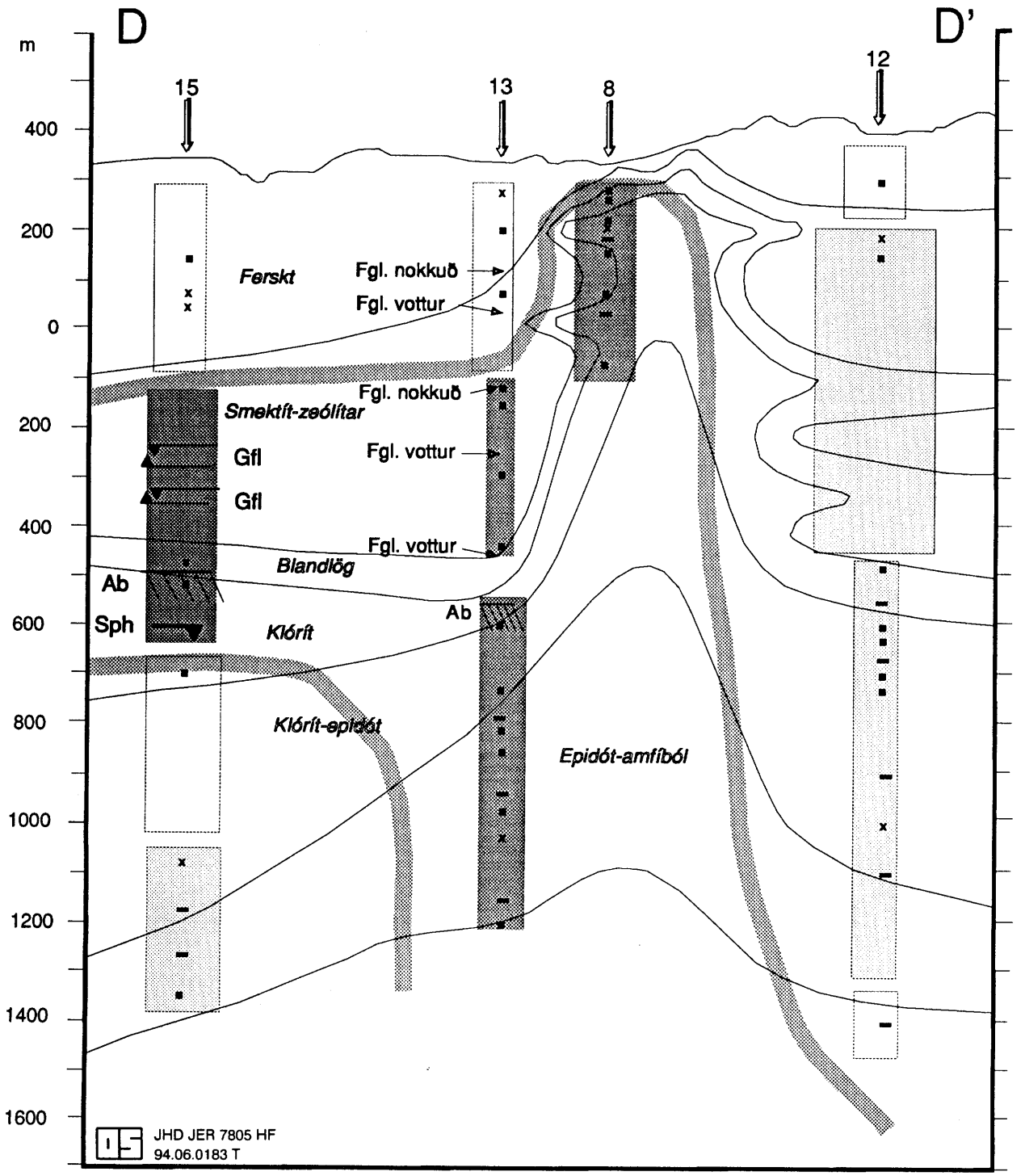
Gerð ummyndunarbelta hefur hingað til ráðist mjög af röntgengreiningu leirs. Leirinn er hrist-ur úr bergsýnum og er því sýni úr öllu berginu, bæði sem ummyndun í berginu sjálfu og sem útfelling í holrými. Athugunin sem lýst er hér er tilraun sem hefur það að markmiði að tengja breytingar í kristalgerð leirsins í holrými bergsins við röntgengreiningarnar.

Í töflu 1 er sýnt hvernig rekja má kristalgerðir leirsins í tíma í holu 6. Svipuð gögn eru til úr holum 7, 8, 9, 12 og 17. Í töflunni er greint á milli fjögurra tegunda leirs. Sú sem fyrst fellur út í holrými er illa kristölluð leirskán (Aml). Einnig er dæmi um að leirset setjist í botn holrým-is. Leirskán, sem finnst allt niður á botn holu 6, sem og í öðrum holum er vísbending um lágan myndunarhita. Næsta stig er þunnt lag af fínfjöðruðum leir (Ffl) sem setzt utan á leirskánina. Ofan á það setzt gróffjaðra leir (Gfl) og enn neðar virðast optískir eiginleikar leirsins breytast og verður hann mjög bjartleitur og hápleókróískur (Hpl) (líklega er hér um að ræða blandleir). Í svarfgreiningu í víðsjá virðist sá leir vera mjög dökkgrænn. Enn neðar má greina sama gróf-fjaðraða leirinn verða daufgrænan og aðeins lítið eitt pleókróískan (Dgl), en það eru eiginleikar sem bezt eiga við klórít. Í víðsjánni virðist sá leir vera mun ljósari en sá dökkgræni. Þessi röð-un leirs í holrými segir þá sögu að berglögin hafi orðið fyrir stighækkandi hita frá dæmigerðri lághitavirkni til háhita. Þótt leirinn sé, þegar komið er niður í háan hita, orðinn að klóríti, má sjá á áðurnefndri kristalbyggingu hvort viðkomandi leir hafi upphaflega kristallazt sem lághita smektít, fínfjaðra eða gróffjaðra smektít, blandleir eða klórít.

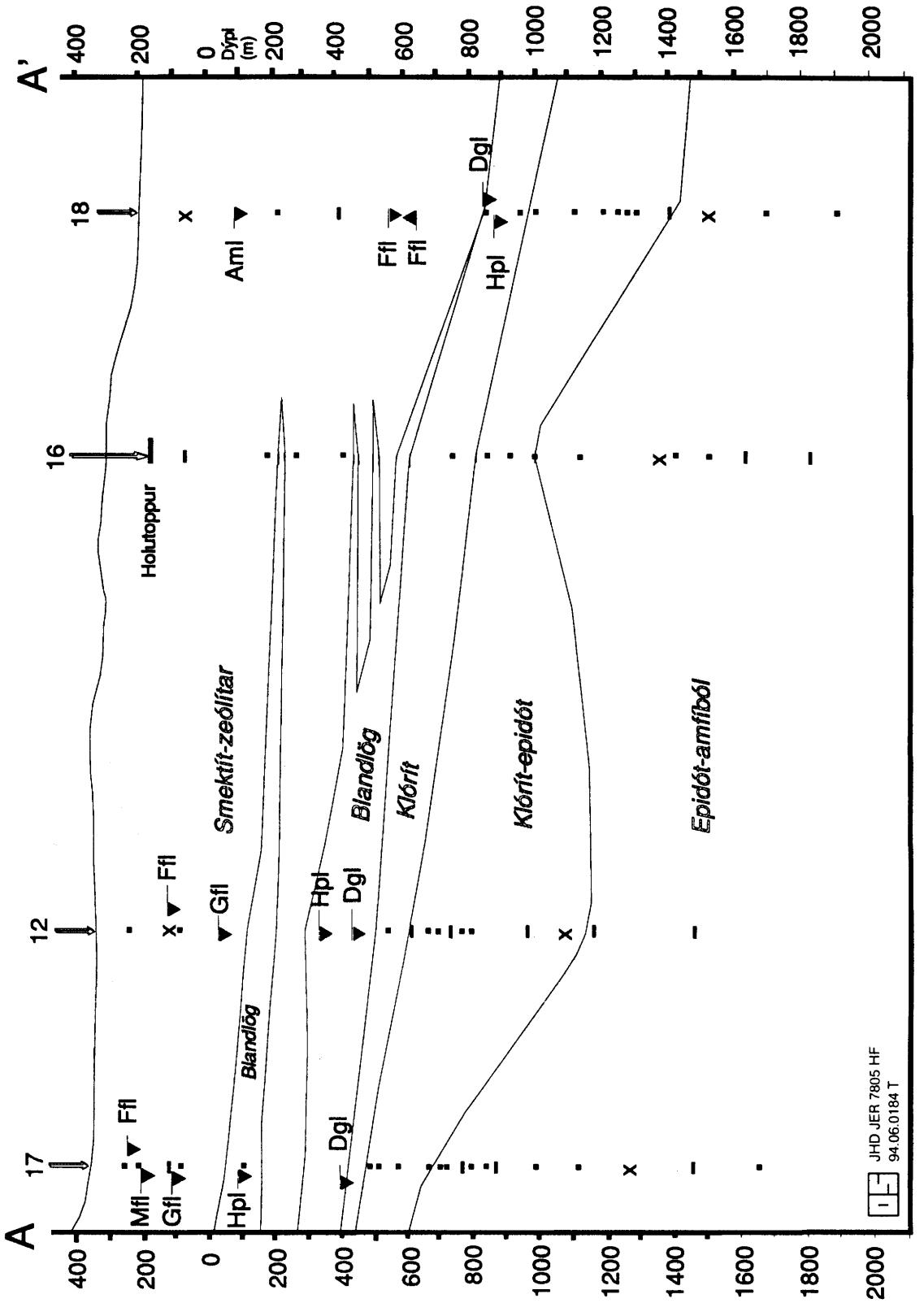
Fróðlegt þótti að taka saman tiltækar lýsingar og fella þær inn í ummyndunarbeltin, en sú belta-skipting byggist sem áður sagði að mestu leyti á röntgengreiningu leirsins. Þessi samanburður er sýndur á myndum 5-8. Leirskán virðist byrja að myndast um leið og komið er niður í zeólíta-smektítbelti. Ofan á það lag leggst fínfjaðrað smektít. Þetta fínfjaðra smektít er svæða-bundið innan smektít-zeólítabeltisins (t.d. við holu 6) og virðist háð hita og/eða lekt. Næsta stig er grófkristöllun leirsins, sem enn er smektít. Sumstaðar virðist vera samhangandi þróun í kristöllun frá fínfjaðra yfir í gróffjaðra leir, en annars staðar leggst nýr gróffjaðra leir ofan á þann fínfjaðra. Gróffjaðra leir (smektít) finnst í neðri helming smektít-zeólíta beltisins. Aðeins í holu 8 virðist gróffjaðra leir ekki finnast fyrr en komið er í blandlaga- og klórítbelti, og gæti það verið enn ein vísbendingin um hvað "yfirhitunin" í hluta jarðhitakerfisins er jarðfræðilega ung. Hápleókróískur gróffjaðraður leir finnst yfirleitt fyrst nærri efri mörkum blandleirsins eins og hann greinist í röntgeni, en einnig virðast efri mörk hans geta legið eitthvað neðar og allt niður í klórítbeltið (t.d. í holu 8 og 18). Það síðarnefnda gæti stafað af fæð greininga. Dauf-grænn gróffjaðra leir (Dgl) kemur yfirleitt fyrst fyrir neðan þess hápleókróíska (Hpl). Efri mörk hans virðist falla nærri efri mörkum klórítbeltisins, þótt ekki sé það einhlítt, því í holu 7 virðist hann finnast bæði við mörk blandlagabeltisins og rétt ofan marka klórít-epidótbeltisins.

Tafla 1. Nesjavellir. Lagskipting leirs í holu NG-6.

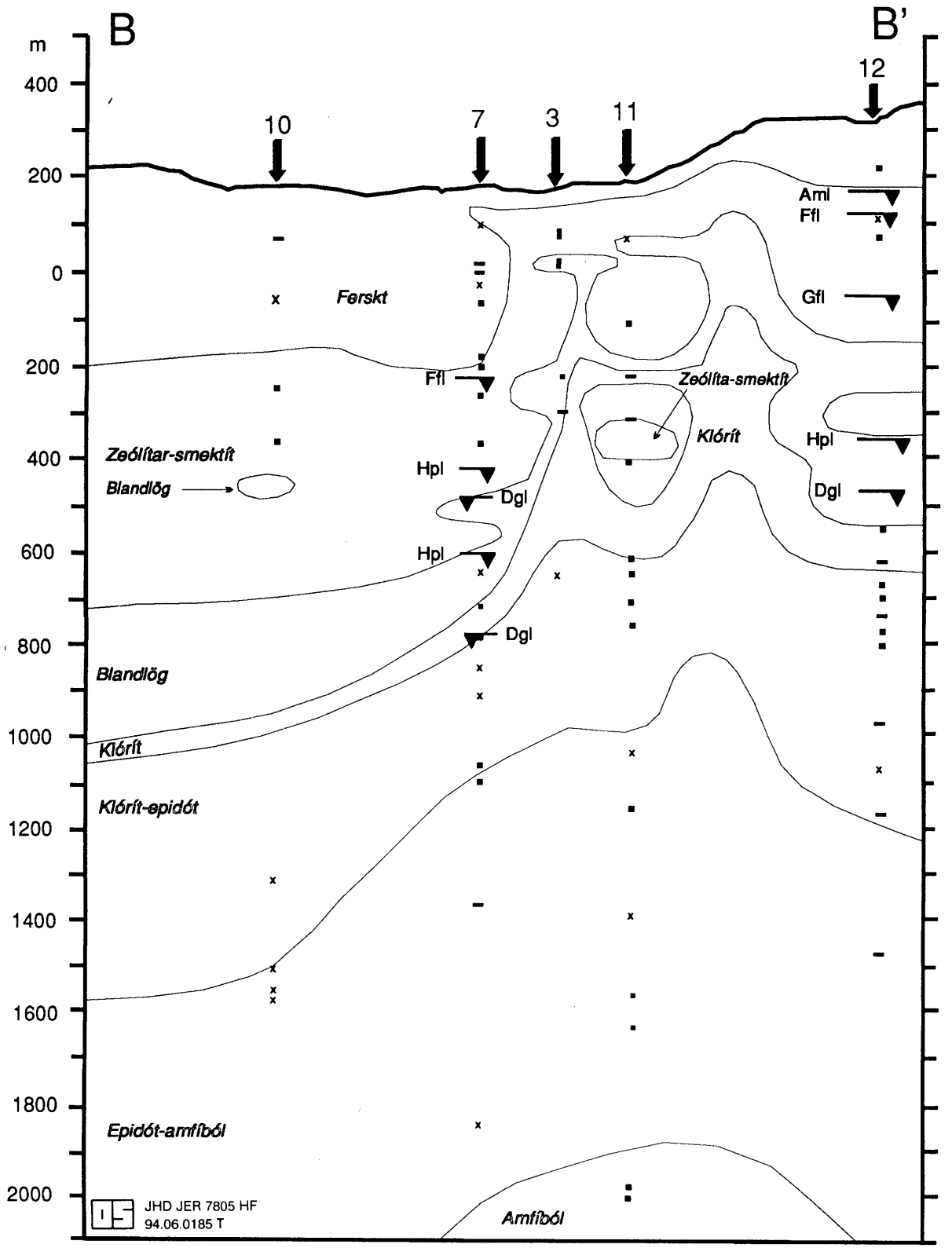
Dýpi (m)	*Röðun leirs í holrými*			
16	leirskán,amorf			
30	leirskán,amorf			
38	leirskán,amorf			
40	leirskán,amorf			
48	leirskán,amorf			
54	leirskán,amorf			
66	leirskán,amorf			
74	leirskán,amorf			
84	leirskán,amorf			
94	leirskán,amorf			
104	leirskán,amorf			
124	leirskán,amorf			
138	leirskán,amorf			
164	leirskán,amorf	finfjaðra		
165	leirskán,amorf	finfjaðra		
182	leirskán,amorf	finfjaðra		
194	leirskán,amorf	finfjaðra		
210		finfjaðra		
216	leirskán,amorf	finfjaðra		
225	leirskán,amorf	finfjaðra		
230	leirskán,amorf			
240	leirskán,amorf			
252	leirskán,amorf			
268	leirskán,amorf	finfjaðra		
284	leirskán,amorf			
310	set/leirskán,amorph			
	leirskán,amorf	finfjaðra		
336	leirskán,amorf	finfjaðra		
346		finfjaðra		
366	leirskán,amorf	finfjaðra		
388	leirskán,amorf	finfjaðra		
466	leirskán,amorf			
474		finfjaðra		
496		finfjaðra		
530	leirskán,amorf	finfjaðra		
538		finfjaðra	gróffjaðra "smectit"	
550	leirskán,amorf	finfjaðra		
554	leirskán,amorf		gróffjaðra "smectit"	
	leirskán,amorf	finfjaðra		
558	leirskán,amorf	fjaðrað sm		
566	leirskán,amorf	finfjaðra		
570		fjaðrað sm	gróffjaðra "smectit"	
574	leirskán,amorf	fjaðrað sm		
576	leirskán,amorf	finfjaðra	gróffjaðra "smectit"	
580	leirskán,amorf		gróffjaðra "smectit"	
582	leirskán,amorf		gróffjaðra "smectit"	
592		finfjaðra		
610	leirskán,amorf	finfjaðra		
622	leirskán,amorf	fjaðrað sm		
630			gróffjaðra "smectit"	gróff.hápleókr
632			gróffjaðra "smectit"	gróff.hápleókr
636		fjaðrað sm	gróffjaðra "smectit"	gróff.hápleókr
648		finfjaðra	gróffjaðra "smectit"	
654			gróffjaðra "smectit"	
	leirskán,amorf			
668		fjaðrað sm		
698			gróff.hápleókr	
714			gróffjaðra "smectit"	
722		fjaðrað sm	gróff.hápleókr	
730			gróff.hápleókr	
742			gróff. klóritlegt +blandlagslegt+smektítlegt	
760	leirskán,amorf		gróff. klóritlegt +blandlagslegt	
764	leirskán,amorf	finfjaðra	gróff.hápleókr	
768		finfjaðra	gróff.hápleókr	
776		finfjaðra		
780		finfjaðra	gróff.hápleókr	
792	leirskán,amorf		gróff.hápleókr	
798	leirskán,amorf		gróff.hápleókr	
808			gróff. klóritlegur	
818	leirskán,amorf		gróff.hápleókr	
824	leirskán,amorf		gróff.hápleókr	
834			gróff.hápleókr	
848			gróff.hápleókr	
860			gróff. klóritlegur	gróff.hápleókr
868			gróff.hápleókr	
882		finfjaðra	gróff.hápleókr	
904			gróff.hápleókr	
912			gróff.hápleókr	
920			gróff.hápleókr	
930		finfjaðra	gróff.hápleókr	
936			gróff.hápleókr	
940			gróff.hápleókr	
952	leirskán,amorf			klórít(daufgrænn og lítt pleókrólskur
958			gróff.hápleókr	
966			gróff.hápleókr	
976			gróff.hápleókr	
988			gróff.hápleókr	
992			gróff.hápleókr	
1020				klórít (daufgrænn og lítt pleókrólskur)
1038			gróff.hápleókr	
1044			gróff.hápleókr	klórít (daufgrænn og lítt pleókrólskur)
1062			gróff.hápleókr	klórít (daufgrænn og lítt pleókrólskur)
1082			gróff.hápleókr	



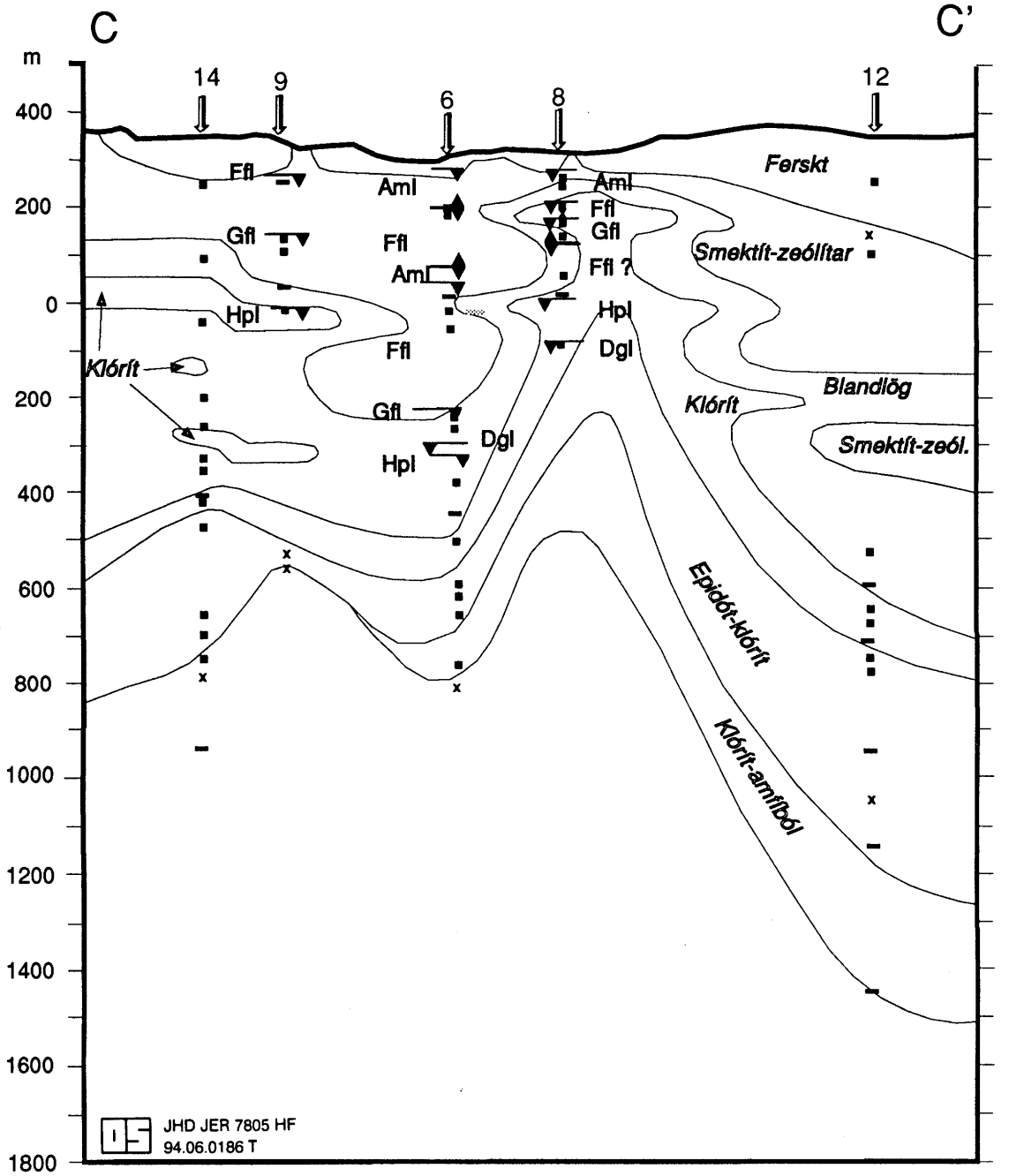
Mynd 5. Sniðlína D-D'. Ummyndunarbelti, vatnsæðar og bergummyndun. Samanburður ummyndunar og berghita og kalsítummyndun bergs.



Mynd 6. Sniðlína A-A'. Ummyndunarbelti, vatnsæðar og kristöllun leirs.



Mynd 7. Sniðlína B-B'. Ummyndunarbelti, vatnsæðar og kristöllun leirs.



Mynd 8. Sniðlína C-C'. Ummyndunarbelti, vatnsæðar og kristöllun leirs.

4. TÍMASKEIÐ Í JARÐHITAKERFINU

4.1 Þróun jarðhitakerfis

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 rannsóknum á ummyndun í Nesjavallakerfinu var nokkuð hugað að hvernig útfellingarnar röðuðu sér og var þeim athugunum að nokkru gerð skil í lokaskýrslum um holur NG-6 og NG-7. Mjög mismikil áherzla var lögð á slíkar athuganir í einstökum holum enda e.t.v. ekki beint hluti af venjubundinni úrvinnslu gagna um borholur á Nesjavöllum. Samtals voru athugaðar um 1100 útfellingaraðir, aðallega úr holum 6, 7, 8, 9, 12 og 17, en minna frá öðrum holum. Í þessari umfjöllun hefur verið farið í gegnum öll gögn þar sem slík röðun hefur verið athuguð og eru þau tilgreind í töflu 2 í viðauka. Í töflunni eru elztu steindirnar vinstra megin en yngjast til hægri. Breytilegar skyggingar á einstakar steindir og steindasamfélög eru notaðar til að auðvelda lestur töflunnar. Unnt er að raða útfellingum í ákveðin tímaskeið og eru hugmyndir settar fram um tengingu þeirra við ákveðna jarðfræðilega atburði í sögu Hengilkerfisins. Þessar hugmyndir eru sýndar á mynd 9.

Háhitakerfi eru langlíf og er talið að þau hafi heldur skemmri eða svipaðan líftíma og sú megineldstöð sem þau tengjast. Það þýðir að taka verður tillit til upphleðslu (fergingar) gosefna og innskota þegar litið er á heildarsögu jarðhitans í megineldstöð. Á mynd 9 er gert ráð fyrir upphleðslu gosefna og að innan háhitakerfisins verða einstakir jarðhitaatburðir, sem stjórnast af því sem gerist í eldstöðinni, svo sem breytilegri vatnsgæfni berggrunnsins (sprungumyndun, þétting bergsins vegna fergingar og holufyllinga), upphitun (kvikuinnstreymis), eða kælingar (varmaleiðni eða innrás grunnvatnskerfa). Hér á eftir er fjallað um helztu tímabil í þróun jarðhitakerfisins á Nesjavöllum:

Útfellingakerfi I.

Talið er að aldur Hengilskerfisins sem megineldstöðvar geti verið um 300.000 ár en sú tilgáta byggir á breytingu í upphleðslu í berggrunninum (þ.e. úr hraunlagaupphleðslu yfir í ráðandi móbergsupphleðslu). Samkvæmt yfirborðs- kortlagningu var sprungusveimur sem kenndur er við Grensdal, austan Hengils, virkur með tilheyrandi háhitavirkni fyrir þann tíma (Knútur Árnason o.fl. 1986). Gera má því ráð fyrir að við upphaf Hengilssprungureinar hafi yfirborð legið 5-600 m neðan við núverandi yfirborð Nesjavalla. Á þeim tíma má einnig gera ráð fyrir að ríkt hafi svipað hitaástand í berggrunni og vænta má í gosbelti utan háhitasvæða. Slík ummyndun lýsir sér í 300-400 m þykkum stafla þar sem kalt grunnvatnskerfi ræður ríkjum og engar útfellingar myndast, nema e.t.v. límonít. Ópall sezt síðan til í vatninu og þar neðan við kemur í zeólítabelti, svipað og lýst hefur verið af Walker á Austurlandi (Walker 1960). Vísbendingar um þetta kerfi eru óljósar, nema að víða má greina límonít, illa kristallað smektít, ópal og kalsedón við jaðra holrýma, en líklegast eru zeólítar þessa tímaskeiðs að mestu horfnir.

Útfellingakerfi II.

Elztu ummerki háhitaummyndunar í berggrunni Nesjavalla tengjast ísúrum innskotum. Þótt flestar upplýsingar sem til eru um röðun útfellinga við ísúr innskot hafi verið skráðar í holu 7 er öruggt að svipaðar aðstæður finnast í öðrum holum. Meginsteindir sem sjást í holrýmum við

þau innskot er kalífeldspat (líklega adúlaría) ásamt wollastoníti. Amfíból tengist þessari ummyndun líka, bæði sem útfelling í holrými og sem kápa utan á pýroxeni. Ummyndun pýroxensins gæti annað hvort verið samtíma kristöllun pýroxensins, þ.e. kristöllun kviku í vatnsmettuðu umhverfi, eða síðari jarðhitaummyndun. Adúlaría er nær alls staðar við jaðra holrýmis, og hefur grófkristallaður leir sjaldnast náð að kristallast undir honum, en það bendir til að aðstæður zeólíta-smektítbeltis hafi verið ríkjandi áður en ísúru innskotin leiddu háhitakerfið á þessar slóðir. Athyglisvert er að lekt er enn mikil við ísúru innskotin, þrátt fyrir að því er virðist háan aldur þeirra (um 80.000 ár ?).

Þótt útfellingar samtíma ísúru innskotavirkninni séu þær fyrstu sem sjást greinilega í Nesjavallakerfinu, þarf það ekki að benda til að þar sé að finna upphaf háhitavirkni í Hengilseldstöðinni allri. Nesjavallakerfið er samkvæmt rannsóknum við norðurjaðar Hengilsjarðhitakerfisins. Upphaf háhitavirkni á Nesjavöllum getur því allt eins markað útþenslu eða færslu á eldra háhitakerfi með upptök nærri miðju eldstöðvarinnar. Tengslin við ísúrt berg bendir þó til þess að háhitavirknin tengist virkni í megineldstöð.

Útfellingakerfi III.

Ekki er unnt að setja skörp skil á milli útfellinga sem tengjast jarðhitakerfi ísúru innskotanna og þessum útfellingum. Epidót er mest áberandi í þessu steindasamfélagi, en klórít, wollastonít, granat, kvars, amfíból og súlfíð koma hér einnig við sögu. Vafalítið má vinna meir út úr þeim gögnum sem tengjast þessu útfellingatímabili, en það verður að bíða betri tíma.

Útfellingakerfi IV.

Zeólítakerfið er mjög áberandi á Nesjavöllum, og nær niður á allt að 1200 m dýpi út við jaðra háhitakerfisins. Þetta útfellingatímabil er talið efsti hluti á háhitakerfanna tveggja sem áður eru talin, og hugsanlegt er að elstu zeólítarnir hafi myndast fyrir tíma háhitavirkni á Nesjavöllum (I.). Aldursröð zeólítanna virðist vera:

(Analsím >) tomsonít > (heulandít >/+) stilbít > skólesít/mesólít > mordenít > laumontít.

Einkenni þessarar raðar er að þeir elztu þola minnstan hita en þeir yngstu eru stöðugir við hærri hita. Röðunin bendir því til stighækkandi hitnunar berggrunnsins Ekki eru sjáanleg nein skil innan þessa tímabils sem bent gæti til samsvarandi skila í háhitaskeiðum í neðri hluta jarðhitakerfisins.

Útfellingakerfi V.

Mjög áberandi breyting verður við upphaf þessa jarðhitaskeiðs, sérstaklega í zeólítahluta kerfisins, þar sem zeólítar taka að brotna niður og aðrar steindir myndast í þeirra stað. Þessi breyting sést í öllum holum á svæðinu, og er jafn greinileg í holu 18 sem í holu 8. Upphaf þessarar breytingar er leirkristöllun, sem annað hvort verður við jaðra holrýmis og undir zeólítunum, eða ofan á zeólítunum. Í fyrrnefnda tilvikinu má víða greina grófkristallaðan leir þrengja sér inn í kristalfleti zeólítanna. Í síðara tilfellinu er yfirleitt um að ræða fín- til meðalkorna leir sem sezt ofan á zeólítana ofarlega í kerfinu. Zeólítarnir eru víða horfnir, sérstaklega í nágrenni virkra vatnsæða. Þar sem þeir eru horfnir má enn sjá móta fyrir þeim í þeim steindum sem myndast hafa á þeirra kostnað (pseudomorph). Víða hafa þeir aðeins horfið að hluta til og því unnt að greina betur hvaða steindir eru að myndast á kostnað hverra. Í töflu 3 er sýnt samspil zeólíta og afsprengi þeirra. Í nær helming tilvika hverfa zeólítarnir yfir í kvars, en algengt er að sjá þá breytast yfir í wairakít, og á það einkum við um stilbít og laumontít. Kalsít myndast einnig á kostnað zeólíta. Víða sést leir vaxa og þrengja sér inn í laumontít, en ekki greinist

hvort um er að ræða efnaskipti á milli þessara steinda eða að leirinn sé að taka yfir pláss laumontíts um leið og það leysist upp. Mögulegt er að á einum stað megi greina laumontít breytast yfir í prenít. Greinilega má fylgja eftir þessu steindasamfélagi, þ.e. leir (smektít, blandleir, klórít), kvars, wairakít og prenít yfir mestan hluta jarðhitakerfisins. Eins og áður er getið fellur leirinn út fyrst. Aðrar steindir hafa ekki einhlíta aldursröð. Kvars virðist þó fjórum sinnum oftar vera á undan wairakíti en öfugt (53 skipti á móti 12 samkvæmt töflu 2 í viðauka), og ef litið er á hvað kvars er ráðandi í ummyndun á zeólítunum má ef til vill álykta að það bendi til að kvarsummyndunin hafi tekið fyrr við sér en wairakítummyndunin. Prenít kemur jafnoft fyrir á undan og eftir kvarsi og wairakíti.

Tafla 3. Nesjavellir. Ummyndun zeólíta.

	Laumontít	Kvars	Wairakít	Prenít	Leir	Kalsít
Stilbít	2	6	4			
Fínfj. zeólít		11	1			
Mordenít	1	5				1
Mesólít		3				1
Skólesít		2	1			
Laumontít		9	7	1	9	
Óskilgr. zeólít		1	1			2
Analsím						1
Samtals	3	37	14	1	9	5

Útfellingakerfi VI.

Síðasta útfellingaskeiðið í Nesjavallakerfinu einkennist af kalsíti (karbónat), sem sést alls staðar þar sem hiti kerfisins er neðan 290-300°C. Í fáum tilfella má greina kalsít inn í röðinni, en talið er líklegt að þar hafi það þrengt sér inn á milli steinda. Vísbendingar eru um að þeir staðir í jarðhitakerfinu þar sem kalsít treðst þannig inn á milli steindaraða, sé þar sem kalsítvirknin er mest (þ.e. kalsít útfellingar og bergummyndun). Í efri hluta kerfisins, sem sérstaklega var skoðað í holu 7, virðist koma fram viss þróun í kalsít. Ofan við jarðhitakerfið verður víða vart við sveipmyndað karbónat sem talið er aragonít. Neðar tekur við leirborið kalsít. Síðar í tíma og enn neðar í kerfinu kemur vel kristallað (euhedral) kalsít. Þar er einnig unnt að greina á stöku stað trefjótt kalsít, sérstaklega þar sem fyrirfinnst óvenju mikil bergummyndun. Súlfíð (pýrít) tengist greinilega við kalsítútfellingarnar. Nánar er fjallað um mögulega þýðingu kalsíts í útfellingum í Nesjavallakerfinu í kafla 6.

Neðan til á mynd 9 eru settar fram hugmyndir að tengingu jarðfræðiatburða við þróun í jarðhitakerfinu. Þar er fyrst tímasett upphaf Hengilssveimsins. Upphaf háhitavirkninnar í Nesjavallakerfinu er tengt ísúrum og súrum móbergsmyndunum sem finnast í Sleggju og tímasettar hafa verið á síðasta jökulskeið eða um 80.000 ára (Knútur Árnason o.fl. 1986). Þessi tenging er nokkuð óræð þar sem ekki eru til neinar efnagreiningar af innskotunum til samanburðar við gosefni á yfirborði. Upplýsingar úr holu KhG-1 við Kolviðarhól mæla á móti tengingu þarna á milli, þar sem engra ísúrra innskota verður vart, þrátt fyrir að sú hola sé mun nær Sleggju en Nesjavallaholurnar. Vel má þó vera að ísúru innskotin séu ekki svo langt undan, a.m.k. er flúor innihald jarðhitavökvans í Kolviðarhólsholunni mun hærra en í mörgum Nesajvallaholanna (Benedikt Steingrímsson o.fl. 1993). Talið er að Hengilsstapinn sunnan Nesjavalla hafi hlaðist upp fyrir um 60.000 árum. Meginhluti upphleðslu stapans hefur orðið í miðju hans, en hluti á

gossprungu sunnarlega í Kýrdalshrygg. Mögulega má tengja þennan atburð við megin-háhitaummyndunina í Nesjavöllum. Tvö sprungugos hafa orðið í Kýrdalshrygg eftir að ísöld lauk, það fyrra fyrir um 7000 árum, og það síðara fyrir um 2000 árum. Fersklegu innskotin sem finnast víða í jarðhitageyminum og eru vel vatnsleiðandi, gætu hafa myndast í þessum goshrinum. Staðfesta þyrfti slíka tengingu með samanburði á efnagreiningu á innskotunum og yfirborðsbergi þessara gosa. Gosgangar svo sem eins og þeir sem liggja neðan Kýrdalshryggs geta bæði virkað sem góðir veitar á grunnvatn en einnig sem hindrun á rennsli. Talið er mögulegt að berggangur síðara gossins hafi orðið til þess að streymi jarðhitavökva inn í Kýrdal hafi minnkað, og kæling þar sé mun meira áberandi af þeim sökum. Árið 1789 urðu tektónískar hreyfingar sem greinileg merki eru um á Hengilssprungusveimnum. Vel má vera að þessi atburður hafi haft einhver áhrif á ástand jarðhitakerfisins.

Athyglisvert er hvað gott samræmi er í aldursröðun útfellinga yfir allt svæðið og sérstaklega hve breytingarnar eru alls staðar samstíga. Það er sérstaklega áberandi þegar útfellingakerfi V tekur völdin. Ein ástæðan fyrir því gæti verið sú að lektin í jarðhitakerfinu sé svo góð að allar hitabreytingar breiðist hratt út um kerfið. Góð lekt eftir gosrásum neðan Kýrdalshryggjar myndi flytja vökvann fljótt og vel milli einstakra undirsvæða.

4.2 Frávik í röðun útfellinga

Röðun útfellinga í holrými er stundum ekki einhlít í jarðhitakerfinu á Nesjavöllum eins og nokkur eftirfarandi dæmi sýna:

Greinileg merki eru um að zeólítar eru að breytast í kvars, wairakít og kalsít, eins og vikið er að síðar. Innbyrðis röð þeirra getur því raskast þar sem myndun þeirra fer að nokkru eftir tegund zeólítanna en ekki tíma. Sá háhitafasi sem kemur þessari umbreytingu af stað veldur í fyrstu útfellingu á leir. Leir þessi virðist þó ýmist kristallast ofan á zeólítunum eða undir þeim. Þessi afstæði ruglingur hefur víða verið leiðréttur í töflunni, en ekki víst að svo hafi verið gert alls staðar.

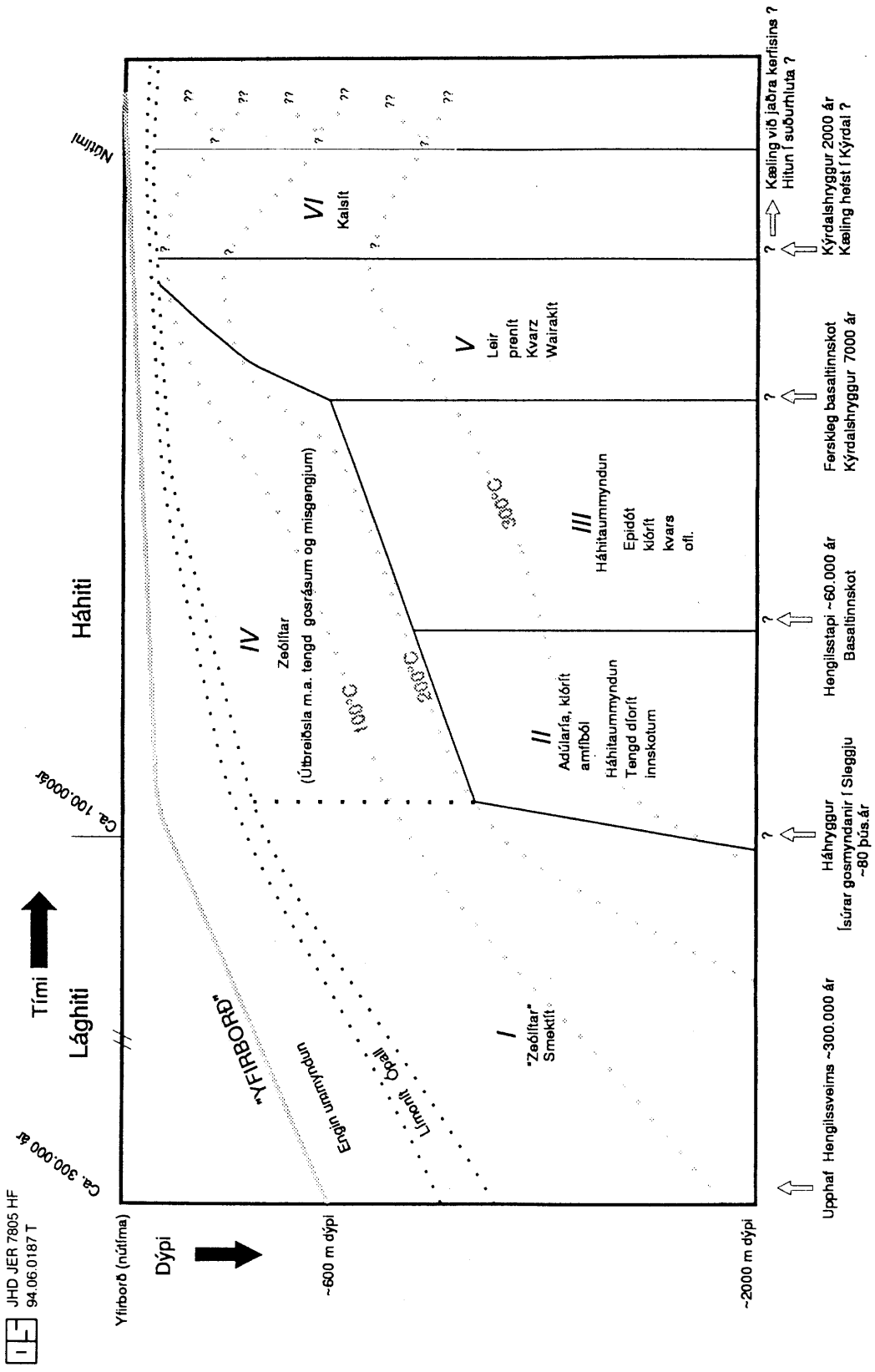
Kvars er ekki ætíð sundurgreint nægilega og þyrfti að hyggja betur að því í framtíðinni. Víða er ekki getið hvort það kvars sé vegna breytingar á ópal eða kalsedon yfir í kvars, hvort um sé að ræða ummyndun zeólíta eða beina kristöllun þess úr jarðhitavökva.

Kalsít virðist eiga auðvelt með að smjúga inn á milli steindalaga og á þann hátt villa um fyrir sínu rétta "röðunarsæti". Slík ítroðsla kalsíts virðist áberandi í tengslum við mikla kalsítummyndun bergs. Ekki er unnt þó að útiloka að kalsít hafi einnig fallið út á eldri jarðhitaskeiðum.

Wollastonít er í sumum tilvika erfitt að setja í röðunarsæti, þar sem það er svo fínfjaðra að erfitt er að greina upphafsflöt kristöllunarinnar.

Granat og amfíból er einnig erfitt að setja í tímaröðun þar sem allt eins líklegt er að þær steindir, að einhverju leyti a.m.k., geti verið ummyndun á t.d. leir.

Leirútfellingar eru breytilegar eins og vikið er að annars staðar í skýrslunni. Fyrst virðist illa kristallaður ("amorf") leir setjast á holuveggi, en í sumum tilvika getur vel verið leirkristöllun á glerinu í holuveggjunum. Næst kemur fínfjaðra til smáfjaðra leir, og þar á eftir gróffjaðraður leir. Þegar kemur í nægilegan hita breytist hann í blandlög og/eða klórít, en sjá má af áðurnefndri kristöllun, hvort upphaflega hafi verið að ræða smektít eða aðra leirtegund. Þessum breytileika í kristöllun var ekki alltaf fylgt eftir þegar röðun steinda var athuguð.



Mynd 9. Þróun jarðhitakerfisins á Nesjavöllum.

5. SAMANBURÐUR UMMYNDUNAR OG BERGHITA

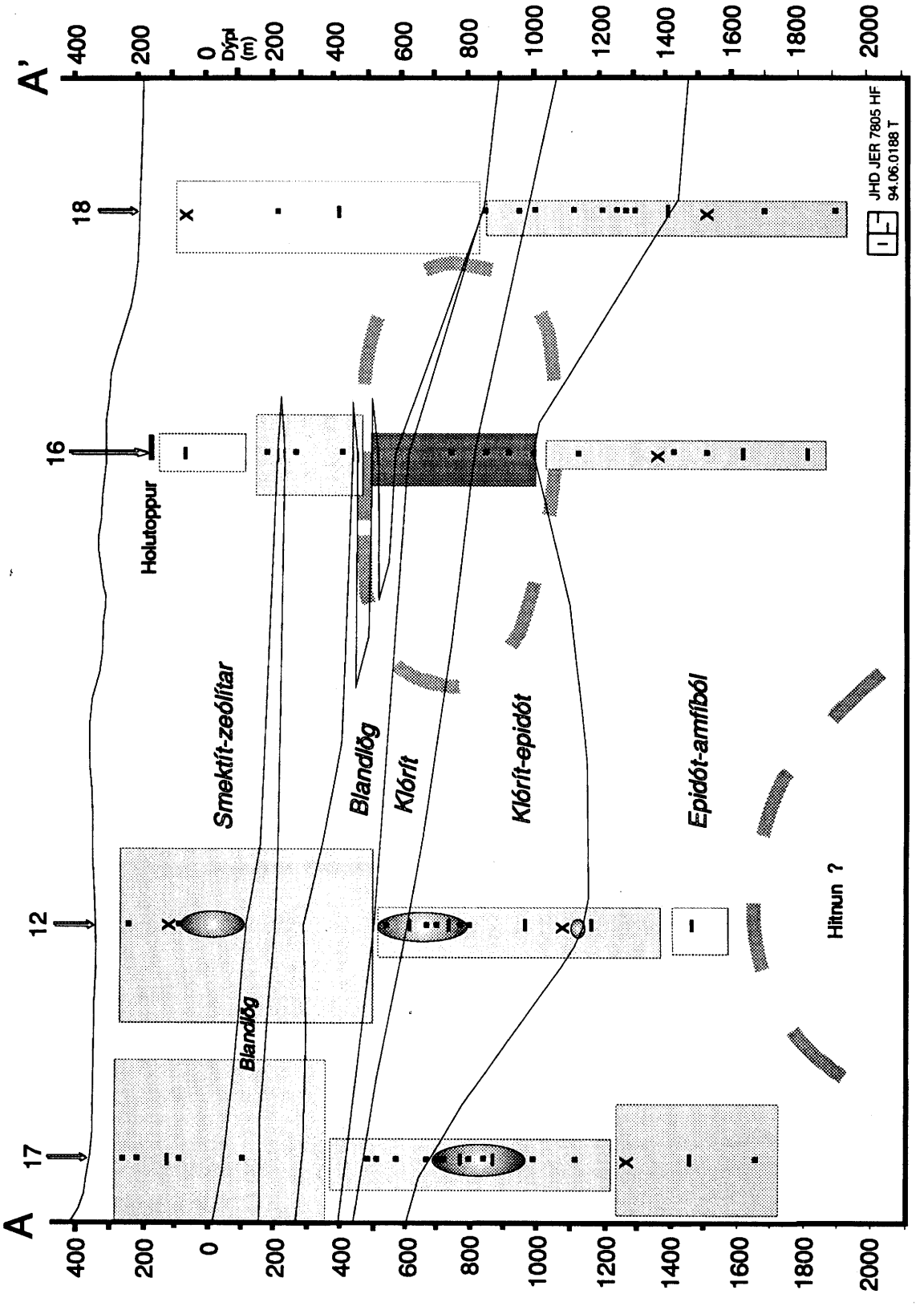
Nokkur munur er á áætluðum berghita og ummyndunarhita í Nesjavallakerfinu. Hvoru tveggja eru nálganir, sem ráðast af óvissu í áætluðum berghita (nálgunum á upphitunarferlum borhola) og rennslissamspili vatnsæða sem holan sker, suðu, og hvort hitajafnvægi náðist í holunum áður en blástur hófst. Hvað ummyndun varðar stjórnast óvissan að hluta til af árvekni svarfgreinandans fyrir tilveru ummyndunarsteindanna og þess sýnafjölda sem tekinn er til nákvæmari greininga.

Í samantektarskýrlsu um borholujarðfræði Nesjavalla (Hjalti Franzson 1988) var fjallað eilítið um mun á ummyndunarhita og berghita og sýnt fram á að líklegast væri hluti kerfisins að hitna meðan aðrir hlutar væru í jafnvægi eða að kólna. Hér er gengið enn lengra og hver hola greind m.t.t. þessara þátta. Á myndum 5 og 10-12 er þessi samanburður sýndur í holum 6-18 og sýnt hvar samræmi er á milli mælds hita og ummyndunar, hvar berghiti er hærri og hvar berghiti er lægri en ummyndunarhiti. Einnig gefur breidd kassanna á myndinni vísbendingar um hvort um áberandi kælingu/hitnun er að ræða eða óverulega. Þessi samanburður dregur fram ákveðna mynd af þeim hluta kerfisins þar sem hiti er hærri en ummyndun segir til um. Eins og vænta mátti er hún mest áberandi syðst á svæðinu og svo fram með Kýrdalshrygg austanverðum. Hitatunga sést einnig greinilega leita út frá suðurhluta svæðisins og til austurs frá Kýrdalshryggnum. Í holu 15 liggur sú tunga á 500-1000 m dýpi, í 13 neðan 500 m dýpis, í 14 milli 400 og 800 m dýpis og í 9 ofan 800 m, ofan 900 m í holu 6, og milli 700-1200 m í holu 16. Athyglisvert er að í sumum holanna (eins og holu 10, 9 og 15) varð ekki vart við vatnsæðar á slóðum hitatungunnar. Á sama hátt virðast æðar ekki vera áberandi í Kýrdal þar sem kælingin er mest ofarlega í kerfinu.

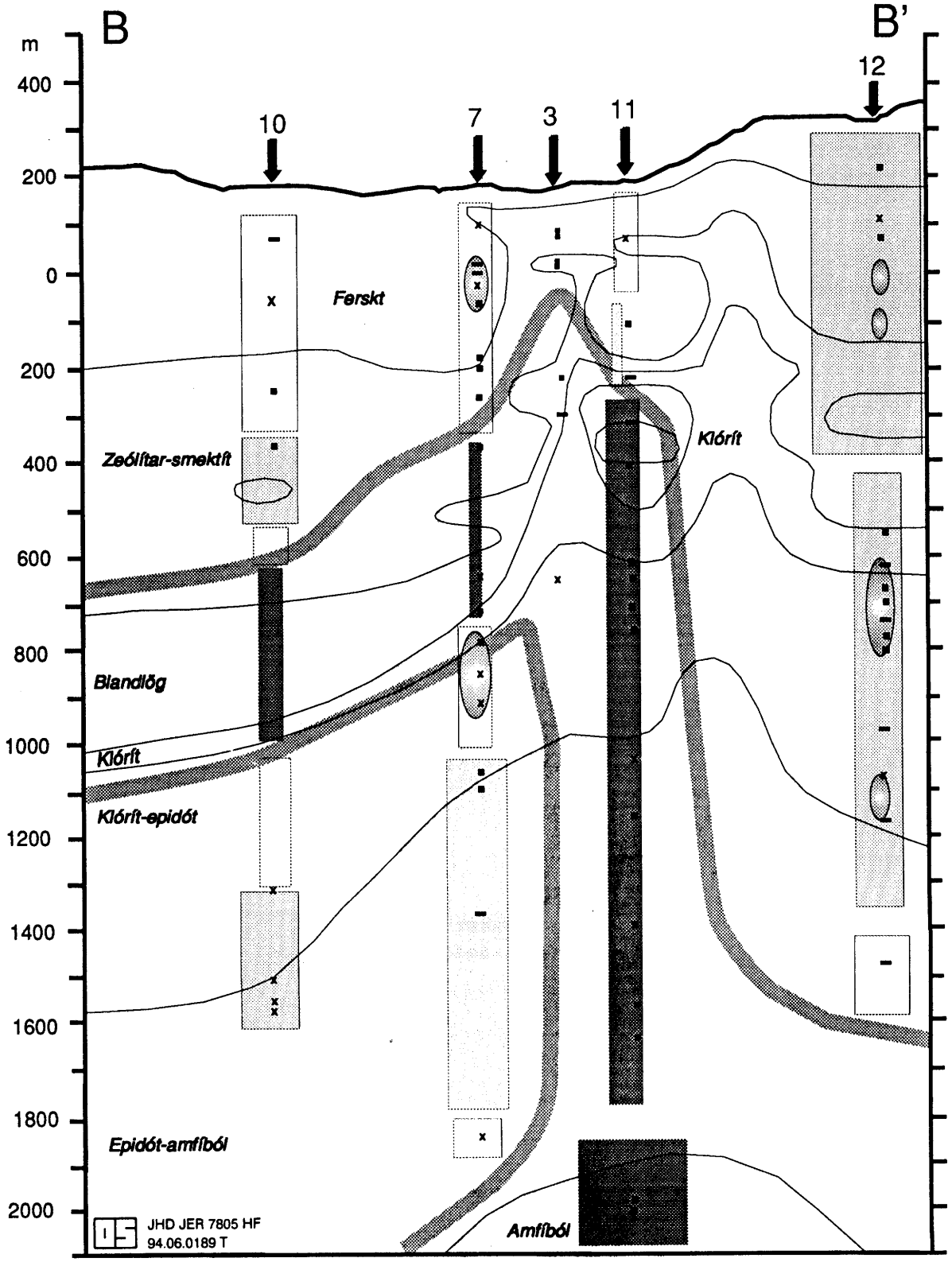
Samanburður hita og ummyndunar gefur einning til kynna kælingu í jarðhitakerfinu. Við austurjaðar kerfisins verður vart kælingar í neðri hluta hola 14, 15, 10 og 7. Í holu 10 verður einnig vart kælingar á 500-700 m dýpi, ofan áðurnefndrar hitatungu. Í holu 16, í norðurhluta svæðisins, verður vart kælingar ofan hitatungunnar, á 300- 600 m dýpi, sem og neðan hennar (>1200 m). Neðan 1000 m holu 18 verður merkjanleg kæling alveg niður á botn holunnar. Í Kýrdal er kæling ráðandi þar sem holu 17 og 18 hafa kólnað miðað við ummyndun nema e.t.v. við botnæðina í holu 12. Kælingin er mest áberandi ofan 700-800 m dýpis, heldur minni þaðan og niður á um 1600 m dýpi. Þar fyrir neðan virðist komast á hitajafnvægi við ummyndun í holu 12, en í holu 17 er áberandi kæling.

Meirihluti vatnsæða sem holurnar skera neðan 1400 m dýpis tengjast ísúrum innskotum. Þær æðar eru yfirleitt vel vatnsgengar, en líkur eru á að þar sem þær teljast vera með elstu vatnsæðum í jarðhitakerfinu, hafi yngri innskot og e.t.v. misgengi nær Hengli aftengt þær vatnsæðar að einhverju leyti frá megin jarðhitastreyminu í suðri. Ísúru innskotin eru víðfeðm, og eru jafn algeng í suðurhluta borsvæðisins sem í norðurhluta þess. Jafnvel er líklegt að þau nái út fyrir hefðbundin mörk kerfisins. Þau gætu því verið í tengslum við kaldari kerfi og geta á þann hátt veitt kaldari vökva inn í jarðhitakerfið. Þrír samverkandi þættir gætu skýrt þá miklu kælingu sem vart verður við í Kýrdal. Í fyrsta lagi er líklegt að berggangar í Kýrdalshrygg, sem eru yngri en útfellingatímabil V (sjá kafla 4) hefti að einhverju leyti rennsli inn í Kýrdal. Í öðru lagi hafa vatnsæðar við ísúru innskotin sams konar áhrif og lýst var austan Kýrdalshryggjar. Fróðlegt er að botnæð holu 12 virðist tengd basaltinnskoti en ekki ísúru innskoti. Í þriðja lagi getur

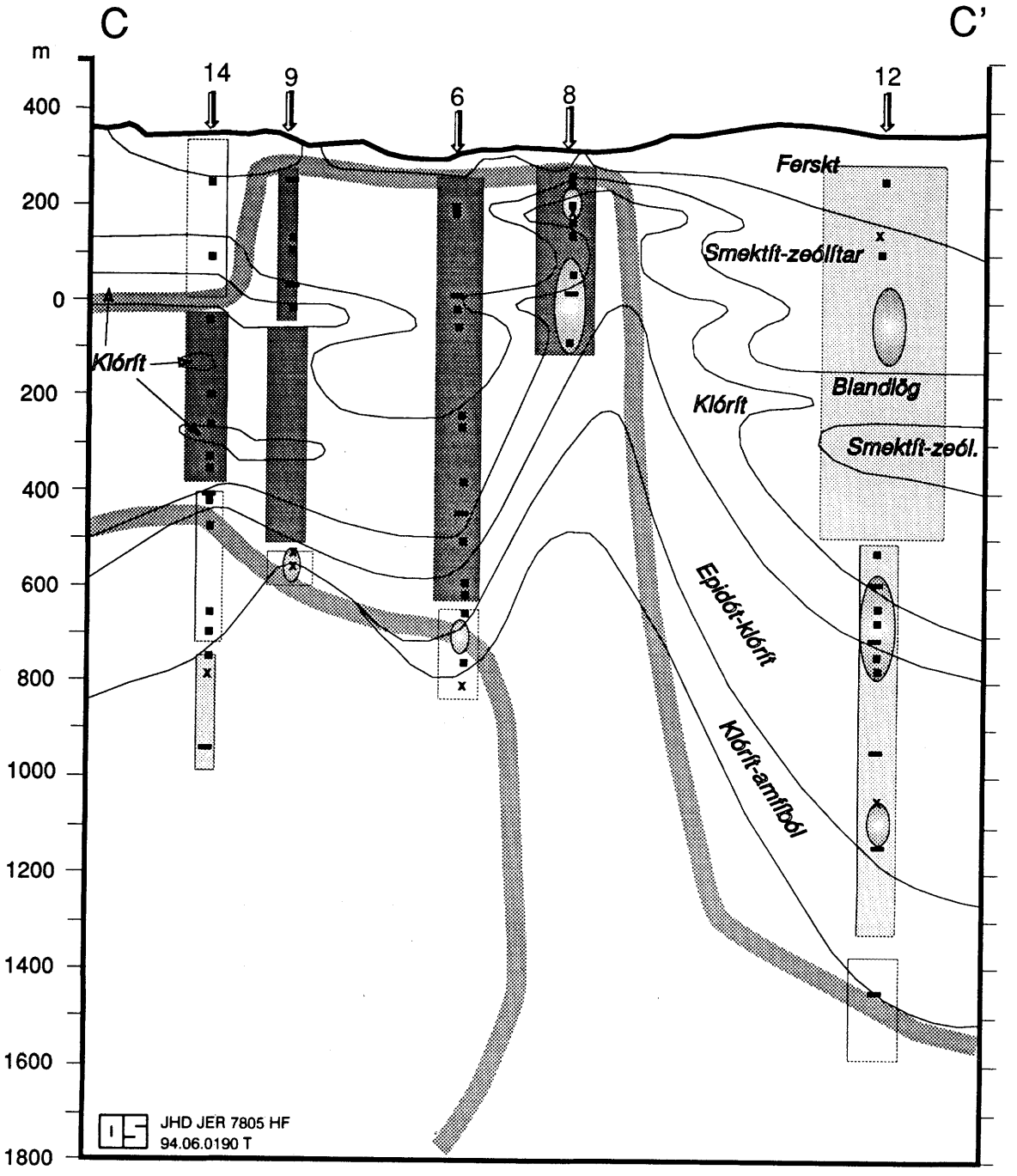
áberandi kæling í efstu 800 m berglagastaflans í holum 17 og 12 orsakast af aukinni lekt eftir mjög virku sprungubelti vestan og norðan Kýrdals (efstu hundruð metra í holu 18 hafi alltaf verið í köldu grunnvatnskerfi).



Mynd 10. Sniðlína A-A'. Samanburður ummyndunar- og berghita, og kalsítummyndun bergs.



Mynd 11. Sniðlína B-B'. Samanburður ummyndunar og berghita, og kalsítummyndun bergs.



Mynd 12. Sniðlína C-C'. Samanburður ummyndunar- og berghita, og kalsítummyndun bergs.

6. UMRÆÐA

Gögnin sem borin eru á borð í þessari skýrslu bera það með sér að þegar þeim var safnað meðan á bortíma stóð, var um nokkra tilraunastarfsemi að ræða og ekki fullljóst hver niðurstaðan yrði. Til dæmis hafði ekki áður verið kannað nema að litlu leyti hvernig ummyndun bergsins þróaðist með hita og dýpi í jarðhitakerfinu, eða hvernig leirkristöllun breytist með dýpi.

Á mynd 13 er sýnt yfirlit yfir efri mörk á breytingum sem verða í bergummyndun og leirkristöllun miðað við staðsetningu innan ummyndunarbelta eins og nánar var fjallað um hér að framan. Myndin sýnir augljóslega að unnt er að styðjast við þessa ummyndun í framtíðinni við gerð ummyndunarbelta, þar sem leirskán og fínfjaðra leir í blöðrum markar smektít-zeólíta belti, hápleókróíski leirinn, leirummyndun plagíóklasa og hvarf fersks glers benda til að komið sé niður í blandlagabeltið, og að daufgrænn leir, albít og sphen marki upphaf klóritbeltisins. Nokkur óvissa er í staðsetningu þessara marka sérstaklega með tilliti til hvar daufgræni leirinn (Dgl) byrjar, og hvar efri mörk leir- (Pll) og albítummyndunar (Ab) plagíóklasa verða. Einnig eru dýptarmörk á sphen-ummyndun (Sph) nokkuð óljós. Möguleg ástæða þessarar óvissu er dýptarmisræmi milli röntgensýna og þunnsneiðasýna, sem getur skipt sköpum þegar verið er að rekja tiltölulega afmörkuð ummyndunarbelti, og hins vegar kann að vera að ekki hafi verið fylgst nægilega með þessum ummyndunarþáttum við þunnsneiðaskoðun. Þessi óvissa er í sumum tilvika fremur léttvæg sé hún skoðuð með tilliti til hvað blandlagabeltið og klóritbeltið eru víða fremur þunn. Er því von til að með nánari skoðun megi minnka óvissu greininga af þessu tagi.

Samantekt gagna sem varða þróun jarðhitakerfisins á Nesjavöllum í tíma staðfestir að miklum hluta þá mynd sem sett var fram í yfirlitsskýrslu höfundar (Hjalti Franzson 1988). Helstu viðbæturnar eru betri tenging zeólítabeltanna við önnur jarðhitaskeið og svo yfirlit yfir heildarþróun jarðhitakerfisins þar sem tillit er tekið til líklegrar upphleðslu í Hengilskerfinu. Staðsetning Nesjavallaholanna er mjög sérstök þar sem þær eru við útkant stærra jarðhitakerfis Hengils. Svo virðist sem í sögu svæðisins hafi komið tiltölulega skammvinn jarðhitaskeið (á jarðfræðilegan mælikvarða) sem náð hafa að setja mark á eldri ummyndun. Ekki er að fullu ljóst hvort Nesjavallakerfið er að kólna, hitna upp eða hvoru tveggja. Samanburður á ummyndunarhita og berghita gefur til kynna að í suðurhlutanum og austan í Kýrdalshryggnum virðist berghiti vera öllu hærri en ummyndun segir til um, en annars staðar á svæðinu er jafnvægi eða að ummyndun segir til um meiri hita en berghiti mælist. Samkvæmt því eru stórir hlutar Nesjavallakerfisins að hitna en aðrir hlutar að kólna. Rétt er þó að hafa í huga að hiti ummyndunarinnar er grundvallaður á steindum sem ekki virðast lengur vera að myndast (m.a. blandlög, klórít, epidót, amfíból, wairakít, zeólíta).

Kalsít aftur á móti er sú steind sem síðast sést falla út úr jarðhitakerfinu. Síðustu skref þróunar jarðhitakerfisins ættu því að greinast best í þeirri steind. Felling kalsíts getur orðið a.m.k. með þrennum hætti, þ.e. við suðu, upphitun og með auknu CO_2 magni. Hér á eftir verður hugað að því hvernig þessar þrjár leiðir útfellingar passa við jarðhitakerfið á Nesjavöllum:

Útfelling kalsíts við suðu er þekkt fyrirbrigði. Mögulega getur kalsít hafa myndazt í Nesjavallakerfinu vegna suðu í jarðhitakerfinu. Samkvæmt núverandi ástandi í kerfinu er líklegt að suða sé í suðurhluta svæðisins og að einhverju leyti fram með austanverðum Kýrdalshrygg. Kalsít, þar á meðal plötukalsít, virðist þó ekki vera neitt algengara á því svæði en annars staðar og tengsl þess við suðu ekki ljós.

Upphitun jarðhitavökva getur valdið yfirmettun hans með tilliti til kalsíts. Þetta getur gerst þegar kaldari vökvi streymir inn í jarðhitakerfi og hitnar við snertingu við heitara berg jarðhitakerfisins.

Vökvabólur hafa lítillega verið athugaðar í holum 17 og 18. Yfirleitt er vökvabóluhiti hærri í kvarsi en í kalsíti. Af því hefur leitt að kalsít hefur verið tekið sem merki um kælingu í jarðhitakerfi Nesjavalla. Í holu 18 voru mældar vökvabólur í plötulaga kalsít kristöllum á 1100-1700 m dýpi, sem talið er að myndist í sjóðandi jarðhitakerfi. Hitinn sem þar mældist liggur frá suðuborði og niður að áætluðum berghita. Í sumum tilfella reyndust sekúnderar bólur hafa heldur lægri hita en þær sem prímerar voru. Einkenni þessa plötukalsíts, sem og hefur fundist víðar en á Nesjavöllum, er að húð af smákristölluðu kvarsi sem hefur fallið síðar út á yfirborði þess. Í holu 18 er plötukalsítið vísbending um að áður hafi mun hærri hiti ríkt í jarðhitakerfinu. Spurningin sem svara þarf er hvort plötukalsítið í holu 18 sé af sama meiði og annað kalsít sem finnst í jarðhitakerfinu. Vökvabólur í kalsíti á rúmlega 600 m dýpi í holu 17 sýndu mun hærri hita en áætlaðan berghita (30-130°C). Á um 1350 m dýpi mælast kalsít vökvabólurnar mun nær mældum hita (yfirleitt +/- 20°C). Engar vökvabólurannsóknir hafa verið gerðar á kalsítinu sem finnst í neðsta hluta holu 17. Vökvabólur mældar í þessum tveimur holum, sem báðar eru vestan megin við Kýrdalshrygg, sýna því greinilega að núverandi berghiti er lægri en vökvabóluhiti í kalsíti.

Heldur erfiðara er að gera sér grein fyrir hvort innstreymið sem nú hitar upp hluta jarðhitakerfisins felli út kalsít, því sá vökvi hlýtur að kólna við að hita upp bergið og þar með að fjarlægjast yfirmettun. Á hinn bóginn getur það leitt til þess að poruvökvinn í berginu hitni upp og nái að yfirmettast með tilliti til kalsíts og e.t.v. að fella það út.

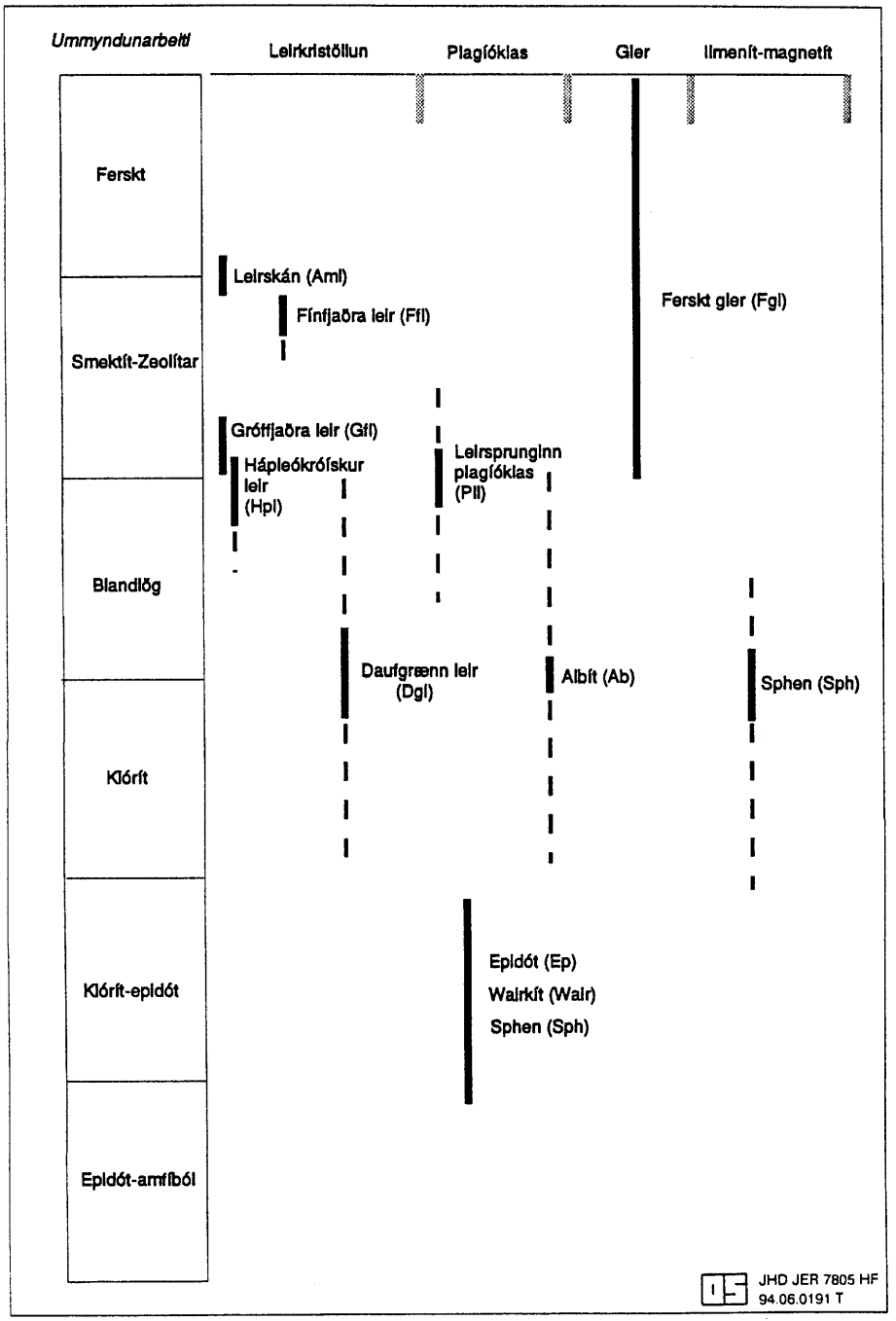
Kalsítútfellingar í holu 7 voru skoðaðar og virtist þróunin þar vera frá leirkenndu illa kristölluðu kalsíti yfir í sveipmyndað karbónat sem líklega er aragonít og síðan yfir í vel kristallað kalsít. Aragonít virðist, samkvæmt athugunum á Nesjavöllum og jarðhitakerfum á Reykjanesi, myndast utan við jaðar eiginlegs háhitakerfis og túlkast því sem útfelling við lágan hita. Það er því viss tilhneiging til að túlka þessa röðun sem merki um upphitun í jarðhitakerfinu.

Í holu 9 voru vökvabólur m.a. í kalsíti mældar á 700-900 m dýpi. Kalsít bendir alla jafnan til lægri hita en vökvabólur í kvarsi, en voru einnig með lægri hita en mældan hita. Í sumum kalsítkristöllum sáust greinileg merki um zeólítanálar, þar sem kalsítið hafði vaxið utanum þær. Nálarnar hafa eftir kristöllun kalsítsins að hluta til horfið og í stað þeirra komið vökvabólur. Þetta bendir til að upphitun hafi orðið í kerfinu eftir að kalsítið myndaðist, og því vísbending um að kalsítið hafi myndast fyrir upphitun jarðhitakerfisins.

Aukning CO_2 í jarðhitavökva getur leitt til yfirmettunar kalsíts og útfellingar þess. Þessu til stuðnings má benda á áberandi kalsítummyndun við virkar vatnsæðar víða í jarðhitakerfinu, og eru sumir þeirra staða merktir inn á myndir 5 og 10-12, en aukið CO_2 leiðir líklegast til aukinnar bergummyndunar. Súlfíð-útfellingar (aðallega pýrít) tengjast áberandi kalsít útfellingunum, en súlfíð tengist magni H_2S í jarðhitavökvanum. Á Filippseyjum verður vart áberandi aukningar kalsíts er fjær dregur uppstreymisrásum jarðhitakefisins, og er það skýrt með auknu CO_2 í jarðhitavökvanum, sem tilkomið er vegna suðu neðar í kerfinu (Agnes Reyes 1990).

Af ofansögðu má sjá að ekki er auðhlaupið að útiloka fyrir Nesjavelli neina af þeim aðferðum sem kalsítið fellur út við. Jafnvel er sá möguleiki vel fyrir hendi að sú yfirhitun sem vart verður við í suðurhluta svæðisins og austan í Kýrdalshrygg geti verið til komin eftir að kalsítið féll út. Augljóslega er mjög þýðingarmikið fyrir virkjun jarðhitakerfisins að vita hvort núverandi nátt-

úrulegt ástand jarðhitakerfisins sé kæling, upphitun, eða hvoru tveggja. Sú rannsóknaraðferð sem bezt getur nálgast lausn þess er athugun á vökvabólum í útfellingum. Í fyrsta lagi þyrfti að kanna hita á leir-kvars-wairakít-prenít skeiðinu til að fá viðmiðunarhita þess jarðhitakerfis, en síðan að greina nákvæmar en gert hefur verið vökvabóluhita í kalsíti. Sérstaklega þyrfti að greina bólurnar í "prímerar" og "sekúnderar" til að sjá hvort hiti lækkar eða hækkar eftir að kalsítið myndast. Á þann hátt ætti að vera unnt að nálgast það ástand sem nú ríkir í jarðhitakerfinu, og staðfesta hvort og hvar jarðhitakerfið er að hitna eða kólna.



Mynd 13. Tengsl bergummyndunar og kristöllunar leirs við ummyndunarbelti.

7. HELZTU NIÐURSTÖÐUR

Helztu niðurstöður þessrar rannsóknar eru eftirfarandi:

1. Unnt er að tengja eftirfarandi ummyndun gosbergs við ummyndunarbelti:
   a. Ummyndun glers hefst við efri mörk smektít-zeólítabeltis, og hefur það algerlega ummyndast við efri mörk blandlagabeltisins.
   b. Í háhitakerfinu hefst leirsprungumyndun í plagíóklasa nærri efri mörkum í blandlagabeltinu, en albítummyndun hefst við efri mörk klórítbeltisins.
   c. Ummyndun málmsteinda (ilmeníts og magnetíts) hefst nærri efri mörkum klórítbeltisins.

2. Ummyndun innskotsbergs í neðri hluta jarðhitakerfis er mun minni en upphleðslubergs á samsvarandi dýpi. Ummyndun innskotsbergs er mjög takmörkuð á því svæði sem mestur hiti hefur mælst á Nesjavöllum.

3. Kristalgerð leirs í holrými tengist hita og vatnsgengd. Leirskán myndast við jaðra holrýmis á efri mörkum smektít-zeólítabeltisins og fínfjaðra leir tengist vatnsgengum rásum. Neðan til í sama belti kristallast gróffjaðra leir. Við efri mörk blandlagabeltis verður leirinn, séður í þunnsneið, mjög pleókróískur, og við efri mörk klórítbeltisins fer að bera á daufgrænum litið pleókróískum leir.

4. Athugun á aldursröðun útfellinga í holrými bergsins gerir það kleift að rekja helztu þætti í þróun jarðhitakerfisins. Unnt er að greina merki allt að fjögurra háhitatímabila. Það elzta tengist ísúrum innskotum, og ef um er að ræða sama gostímabil og tengist ísúra berginu í Sleggju er líklegur aldur þess um 80.000 ár. Næsta háhitatímabil tengist mögulega upphleðslu Hengilstapans og þeim innskotum sem fleyga jarðlagastaflann á þeim tíma. Þriðja háhitatímabilið, sem einkennist af ummyndun zeólita í efri hluta jarðhitakerfisins, og myndunar leir-kvars-wairakít- prenít útfellinga. Hugsanlega tengist þetta háhitatímabil hraungosum í Kýrdalshrygg á nútíma. Ummyndun þessa tímabils nær einna hæst í berggrunninum, og tengist sú ummyndun ásamt ummyndun fyrri háhitafasa við ummyndunarhitaferilinn. Samanburður á hitaferlum áðurnefndrar ummyndunar og berghitaferlum bendir til að hluti jarðhitakerfisins hafi hitnað (aðallega suðurhluti kerfisins og austan í Kýrdalshryggnum), meðan aðrir hlutar jarðhitakerfisins sýna jafnvægi eða kólnun miðað við ummyndunarferilinn. Kælingin er mest áberandi í Kýrdal en einnig vottar fyrir henni neðst í jarðhitakerfinu við austurjaðar þess. Talið er líklegt að kælingin tengist vatnsleiðurum ísúru innskotanna. Kalsít er síðasta (yngsta) sjáanlega útfellingin í jarðhitakerfi Nesjavalla. Ekki er að fullu ljóst hvernig sú útfelling tengist misræminu milli ummyndunarhitans og berghitans. Hugsanlegt er á að sú upphitun, sem ríkjandi er í suðurhluta svæðisins, geti verið yngri en kalsítútfellingarnar.

8. FREKARI RANNSÓKNIR

Samspil lektar og jarðfræði jarðhitageymisins á Nesjavöllum gefur mjög ákveðnar vísbendingar um hvernig jarðhitakerfið hefur þróast í tímans rás. Hugmyndir að tímasetningum jarðhitaatburða hafa verið settar fram en þarfnast staðfestingar. Í yfirlitsskýrslu (Hjalti Franzson 1988) var bent á að vatnsæðar tengdust ákveðnum tegundum vatnsleiðara, svo sem fersklegum basaltinnskotum og ísúrum innskotum. Því er bent á að sennilega er óbeint unnt að aldursgreina vatnslekt eftir ákveðnum innskotum með því að efnagreina viðkomandi innskot og freista þess að finna efnafræðilega samsvarandi gosberg á yfirborði.

Mæling vökvabóluhita í útfellingum getur mögulega svarað því hvort jarðhitakerfið á Nesjavöllum er að hitna eða kólna (eða hvoru tveggja). Eins og rakið er hér að framan virðist unnt að rekja síðustu breytingar sem orðið hafa í jarðhitakerfinu með rannsókn á vökvabólum, einkanlega kalsíti sem er síðasta sjáanlega útfellingatímabil í jarðhitakerfi Nesjavalla.

Bergummyndun hefur e.t.v. ekki verið gefinn nægilega mikill gaumur í rannsóknum virkra háhitakerfa. Vísbendingar, sem fengist hafa í verkefninu "Forðafræðistuðlar", benda til að poruhluti og vatnslekt aukist við aukna bergummyndun. Kortlagning bergummyndunar gæti því aukið við slíkar upplýsingar í jarðhitakerfinu. Eins og getið var um hér að framan verða innskot stór hluti bergmassans í neðri hluta jarðhitakerfisins. Vegna þéttleika þeirra og yngri aldurs borið saman við upphleðsluberg á sama dýpi, er ummyndun þeirra alla jafnan minni. Poruhluti og lekt lækkar því væntanlega er neðar kemur í jarðhitageyminn. Rannsókn á bergummyndun myndi ef til vill geta varpað betra ljósi á þær bergfræðilegu breytingar sem verða á jarðskorpunni þegar nálgast lagskil Lags 2 og Lags 3.

Segja má að athuganir á ummyndun með víðsjá, þunnsneiðaskoðun og röntgengreiningum hafi sýnt fram á ýmsar athyglisverðar breytingar í ummyndun, sem kalla á frekari rannsóknir með nákvæmari og öflugri greiningaaðferðum (svo sem rafeindasmásjá og örgreini). Dæmi um verðug rannsóknaverkefni er könnun á breytilegu efnainnihaldi leirsteinda eftir kristalgerð þeirra í holrými, og hvernig efnaskipti verða við aukinn hita. Annað dæmi um fróðlegt rannsóknaverkefni er að rekja efnaskipti sem verða þegar zeólítar breytast yfir í wairakít, kvars og fleiri steindir.

9. HEIMILDALISTI

Agnes Reyes, 1990: Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment. Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol.43: 279-309.

Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Dagbjartur Sigursteinsson, Guðjón Guðmundsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson og Ómar Sigurðsson, 1985: Nesjavellir, hola NJ-11, 3. áfangi. Borun vinnsluhluta frá 566 m til 2265 m. Orkustofnun, 85048/JHD-14 B, 19 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Ásgrímur Guðmundsson og Hilmar Sigvaldason, 1986: Nesjavellir, hola NG-10; jarðlög, ummyndun, mælingar og vatnsæðar. Orkustofnun, OS-86020/JHD-04, 50s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Benedikt Steingrímsson, Ásgrímur Guðmundsson, Hilmar Sigvaldason, Ómar Sigurðsson og Einar Gunnlaugsson, 1986a: Nesjavellir, hola NJ-11. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-86025/JHD-05, 164 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Benedikt Steingrímsson, Guðrún Sverrisdóttir, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson, Ómar Sigurðsson og Einar Gunnlaugsson, 1986b: Nesjavellir, hola NJ-12. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-86026/JHD-06, 147 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Benedikt Steingrímsson, Ásgrímur Guðmundsson, Guðrún Sverrisdóttir, Hilmar Sigvaldason, Ómar Sigurðsson og Einar Gunnlaugsson, 1986c: Nesjavellir, hola NJ-13. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-86028/JHD-07, 146 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Guðrún Sverrisdóttir, Helga Tulinius, Ómar Sigurðsson og Einar Gunnlaugsson, 1986d: Nesjavellir, hola NJ-14. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-86028/JHD-08, 133 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Guðrún Sverrisdóttir, Helga Tulinius og Ómar Sigurðsson, 1986e: Nesjavellir, hola NJ-15. Borun rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-86029/JHD-09, 119 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Benedikt Steingrímsson, Guðrún Sverrisdóttir, Helga Tulinius, Hjalti Franzson, Ómar Sigurðsson og Einar Gunnlaugsson, 1986f: Nesjavellir, hola NJ-16. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-86030/JHD-10, 149 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Benedikt Steingrímsson, Ásgrímur Guðmundsson, Hjalti Franzson and Einar Gunnlaugsson 1990: Evidence of a supercritical fluid at depth in the Nesjavellir field. In: Proceedings, 15th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University: 81-87.

Benedikt Steingrímsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Einar Gunnlaugsson, Guðjón Guðmundsson, Hjálmar Eysteinsson, og Ómar Sigurðsson 1993: Kolviðarhóll, hola KhG-1. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Lokaskýrsla. Orkustofnun, OS-93007/JHD-03. 176 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Benedikt Steingrímsson, Hjalti Franzson, Hjálmar Eysteinsson, Ómar Sigurðsson og Einar Gunnlaugsson 1994: Nesjavellir, hola NJ-17. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar.

Lokaskýrsla. Orkustofnun, OS-94005/JHD-01. 229 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Guðmundur Ómar Friðleifsson 1983: The geology and alteration history of the Geitafell Central Volcano, SE-Iceland. Doktorsritgerð, Edinborgarháskóli, 371s.

Halldóra Hreggviðsdóttir, 1987: The Greenschist to Amphibolite facies Transition in the Nesjavellir Hydrothermal System, Southwest Iceland. MSc. ritgerð við Stanford háskóla, 61 s.

Hjalti Franzson, Hilmar Sigvaldason 1985a: Nesjavellir Hola NG-8. Jarðlög, ummyndun, mælingar og vatnsæðar. Orkustofnun, Orkustofnun, OS-85120/JHD-16, 33 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Hjalti Franzson, Hilmar Sigvaldason 1985b: Nesjavellir Hola NG-7. Jarðlög, ummyndun, mælingar og vatnsæðar. Orkustofnun, OS-85124/JHD, 80 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Hjalti Franzson og Hilmar Sigvaldason, 1985c: Nesjavellir, hola NG-9. Jarðlög, ummyndun, mælingar og vatnsæðar. Orkustofnun, OS-85123/JHD-17, 38 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Hjalti Franzson, Ásgrímur Guðmundsson, Guðmundur Ó. Friðleifsson og Jens Tómasson, 1986: Nesjavellir high-temperature field SW-Iceland. Reservoir Geology, Proc. 5th International Symposium on Water-Rock Interaction, Reykjavík, Iceland: 23-27.

Hrefna Kristmannsdóttir og Jens Tómasson, 1974: Nesjavellir-hydrothermal Alteration in a high temperature area. International Symposium on Water-Rock Interaction, Prague, September 1974.

Jens Tómasson og Kristján Sæmundsson 1967: Borholur á Nesjavöllum, Raforkumálastjóri, 25 s.

Jens Tómasson, Guðmundur Guðmundsson og Stefán Arnórsson 1971: Jarðhitarannsóknir á Nesjavallasvæðinu. Orkustofnun, 31 s.

Jens Tómasson, Karl Grönvold, Hrefna Kristmannsdóttir og Þorsteinn Thorsteinsson 1974: Nesjavellir, hola 5. Orkustofnun, OS-JHD7423, 47 s.

Knútur Árnason, Guðmundur Ingi Haraldsson, Gunnar V. Johnsen, Gunnar Þorbergsson, Gylfi Páll Hersir, Kristján Sæmundsson, Lúðvík S. Georgsson og Snorri Páll Snorrason, 1986a. Nesjavellir. Jarðfræði og jarðeðlisfræðileg könnun 1985. Orkustofnun, OS-86014/JHD-02, 125 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Knútur Árnason, Guðmundur Ingi Haraldsson, Gunnar V. Johnsen, Gunnar Þorbergsson, Gylfi Páll Hersir, Kristján Sæmundsson, Lúðvík S. Georgsson, Sigurður Th. Rögnvaldsson og Snorri Páll Snorrason, 1987: Nesjavellir - Ölkelduháls. Yfirborðsrannsóknir 1986. Orkustofnun, OS-87018/JHD-02, 98 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Peter Schiffman and Guðmundur Ómar Friðleifsson, 1991: The smectite-chlorite transition in drillhole NJ-15, Nesjavellir geothermal field, Iceland. XRD, BSE and electron microprobe investigations. J. Metamorphic Geol. vol 9: 679-696.

Valgarður Stefánsson, Jens Tómasson, Einar Gunnlaugsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson og Ómar Sigurðsson, 1983: Nesjavellir, hola NG-6. Borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. Orkustofnun, OS-83023/JHD-04, 100 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Valgarður Stefánsson, 1985: The Nesjavellir high temperature geothermal field in Iceland, Proc. 10th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, report SGP-TR-84: 23-30.

Valgarður Stefánsson, Jens Tómasson, Einar Gunnlaugsson, Hilmar Sigvaldason, Hjalti Franzson og Ómar Sigurðsson, 1983: Nesjavellir, hola NG-6; borun, rannsóknir og vinnslurannsóknir, Orkustofnun, OS-83024/JHD-04, 100 s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.

Walker, GPL, 1960: Zeolite zones and dyke distribution in relation to the structure of basalts in Eastern Iceland. Journ. Geol., vol 68: 515-528.

VIÐAUKI

Tafla 2: Röðun útfellinga í holrými

Tafla 2. Nesjavellir. Röðun útfellinga í holrými

HOLA NG-6

ÞUNNSNEIÐAGREINING

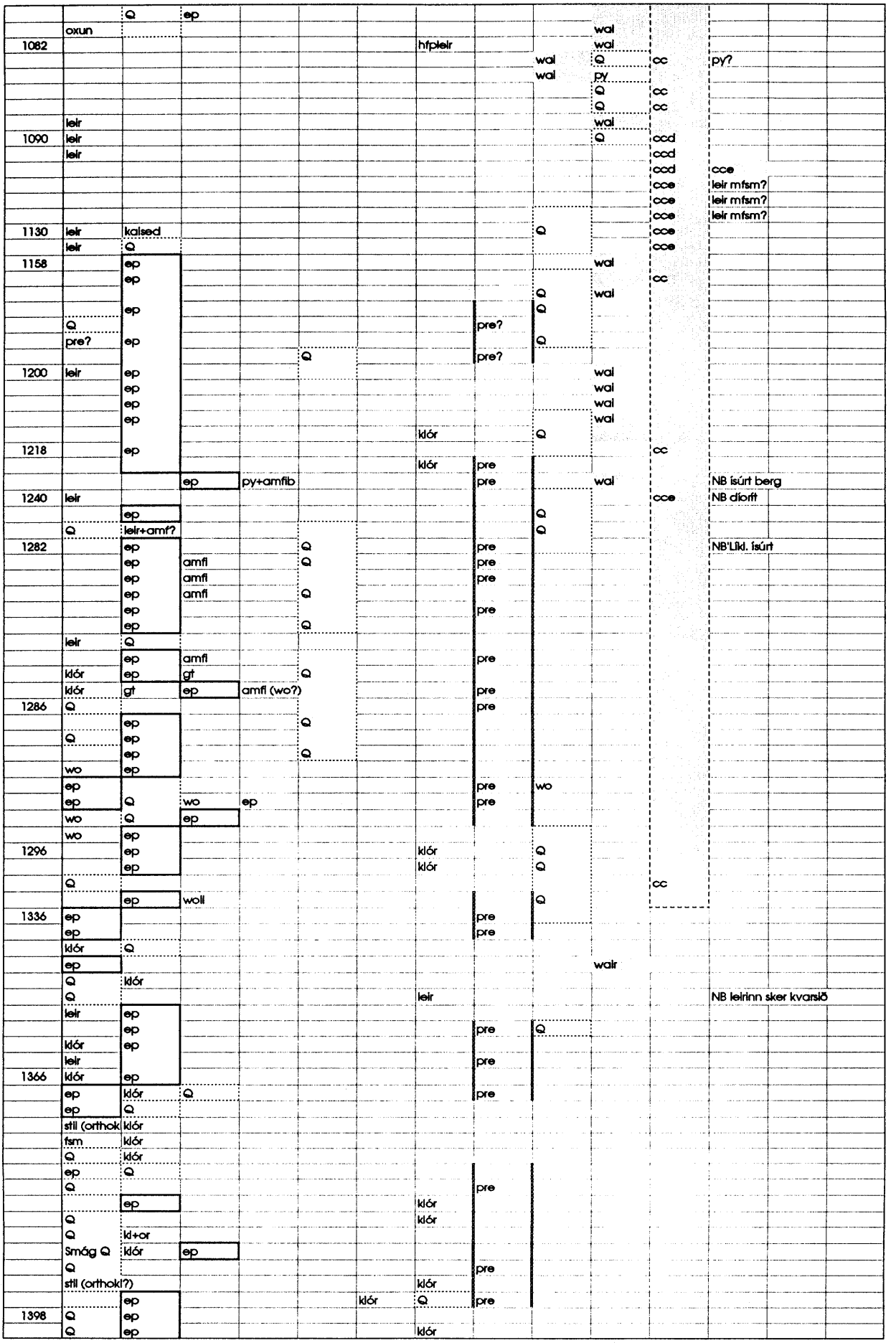
DÝPI	ELZTAR		→ *STEINDIR* →										YNGSTAR
40						fsm				cc			
48			stil			fsm				cc			
54			stil			fsm				cc			
66			stil							cc			
			stil			fsm				cc			
			stil							cc			
			stil							cc			
74			stil			fsm							
84			stil							cc			
			stil							cc			
94			stil							cc			
104			stil	stil+py	stilb								
124			zeol							cc			
			stil							cc			
			stil							cc			
			stil							cc			
			stil							cc			
			stil							cc			
			stil							cc			
			stil							cc			
			stil							cc			
164		fsm								cc			
		fsm								cc			
		fsm				cc	fsm			cc			
		fsm				mfsm				cc			
		fsm				mfsm							
		fsm				cc	mfsm						
182			fjað zeol			mfsm							
194		fsm	zeol										
			zeol			fsm							
210		fsm	fjað zeol										
216		fsm	fjað zeol										
225			fjað zeol							cc			
236-252			stil							cc		Sprungufyll	
260-268	turb cc		fjað zeol									Sprungufyll	
278-288			stil							cc		Sprungufy	Intrusivt cc
310	kals	Q								cc			
						mfsm	cc	sm		cc			
		fsm				mfsm							
		fsm							anal/wair				
320			stil					Q		cc			
	cc+py			finfj zeol						cc			
326										Q+py+cc			
			stil							cc			
			stil+py										
		fsm								cc			
		fsm								cc			
		fsm								cc			
		fsm								cc			
336										cc+py			
			stilb							cc+py			
	Q									cc			
		fsm	stil										
			stil							cc			
346		sm								cc			
	kalsed		stil										
	kalsed		stil										
366		fsm				mfsm							
376			thom	stil						cc			
388		sm	zeol										
396		sm	zeol	stil	finfj zeol					cc			
404										zeol+cc		NB Æð	
412				stil					anal/wair				
				stil					wair				
				stil					anal/wair				
456				stil						cc			
			anal		finfj zeol								
466			anal		finfj zeol								
474					finfj zeol					cc			
			analc		finfj zeol								
	fsm		analc										
496					finfj zeol				wair				
		fsfm		stilb									
508					finfj zeol					cc			
					finfj zeol					cc			

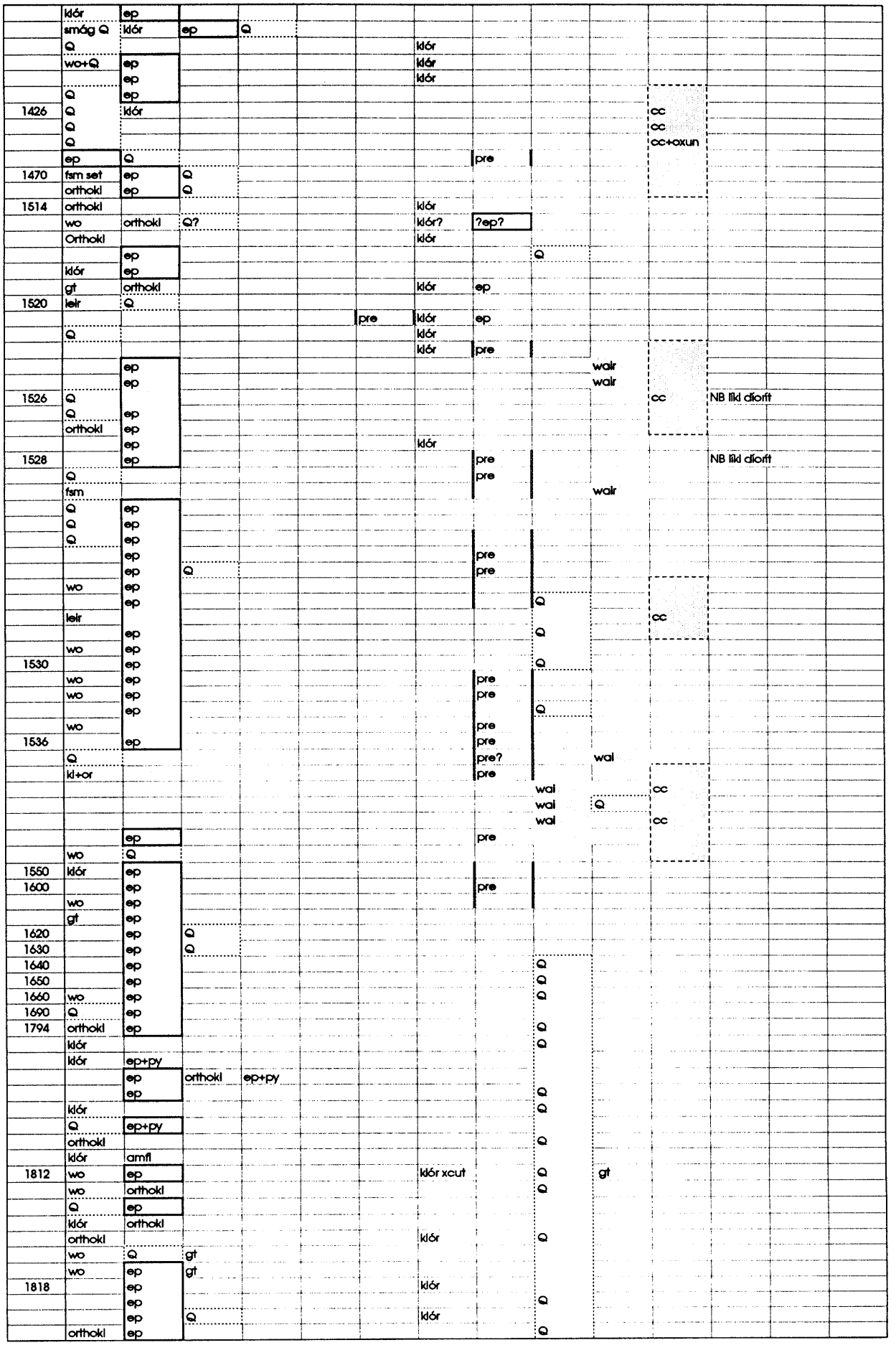
520			grfj zeol			finfj zeol																	
530		fsm								mfsm													
538	kalsed														cc								
					stil	finfj zeol																	
550	kalsed	fsm													cc								
	kalsed	fsm													cc								
	smág Q														cc								
	smág Q														cc								
	smág Q									mf sm													
						finfj zeol									cc								
	Q														cc								
	Q														cc								
						finfj zeol									cc								
554		fsm								mfsm													
	kalsed														cc								
		fsm								mfsm													
		fsm								gsm													
						finfj zeol									cc								
		fsm													cc								
558		fsm				finfj zeol																	
	smág Q														cc								
						finfj zeol									cc								
						finfj zeol									cc								
						finfj zeol										ainalc?							
566	ffsm	cc				finfj zeol						Q											
						finfj zeol	laum																
		fsm			stil					gsm													
570	kalsed																						
			fj zeol												cc								
	kalsed									gsm													
574			fj zeol												cc								
															Q+cc								
						finfj zeol									cc								
576						finfj zeol									cc								
		fsm				finfj zeol									cc								
						finfj zeol									cc								
		fsm				finfj zeol						Q											
															cc+Q								
		fsm													cc								
			fj zeol				laum																
580															Q+cc								
											cc	Q			cc								
		fsm													cc								
582						finfj zeol						Q											
610	kalsed	fsm																					
622										gsm					cc								
		fsm								gsm													
		fsm								gsm													
630		sm													cc								
636															cc		Q						
															cc+py								
648	smág Q	fsm																					
654		fsm													cc								
698	cc	Q+leir								gleir	kalsed				cc								
										gleir					cc								
742															cc								
	leir											Q											
	leir											Q											
	leir											Q											
	leir											Q											
	leir														cc								
748	leir														cc								
	leir														cc								
	leir														cc								
	Q	leir																					
	Q	leir													cc		Q						
	fsm					Q				leir					cc								
	fsm					Q									cc								
760	fsm					Q				leir					cc								
	fsm					Q									cc								
764	fsm					Q									cc								
	fsm+Q+py					Q																	
768	Q	leir																					
	fsm									gsm													
776	Q	leir																					
780	leir														cc								
	fsm									gpleoleir							hfpleir						
790	fsm											Q											
792	fsm									hfpleir													
798	fsm											Q		walr									
	fsm									hfpleir		Q											
										hfpleir		Q											
												Q		walr									
	fsm									hfpleir		Q											

									Q	wair					
818	Q	fsm					hfpleir					NB Æð			
							leir		Q		cc				
824									Q	wair					
	Q						hfpleir								
							hfpleir				cc				
834	cc						leir			wair					
							hfpleir			wair	cc				
									Q	wair	cc				
										wair	cc				
									Q	wair	cc				
									Q	wair					
									Q	wair					
									Q	wair					
848	Leir									wair					
									Q	wair					
									Q	wair					
	leir									wair					
852	leir								Q	wair					
	kalsed								Q						
	leir									wair	cc				
	leir								Q	wair					
	kalsed								Q						
	leir									wair	cc				
860	Q						hfpleir								
	leir										cc				
868	cc	Q													
	cc						hfpleir		Q		cc	leir	Q		
882									Q	wair					
							hfpleir				cc				
									Q	wair					
									Q	wair					
	leir								Q						
890									Q	wair					
									Q	wair					
											cc	Q			
920									Q	wair					
									Q	wair					
									Q	wair					
		Q	ep												
930		Q						pre							
936		cc								wair					
	leir								Q	wair					
		Q						pre							
		Q									cc				
								pre		wair					
								pre			cc				
				cc					Q	wair					
940								pre	woll						
	leir								Q	wair					
									Q		cc				
									Q		cc				
		ep						pre							
									Q	wair					
	leir										cc				
		Q					hfpl								
		Q					leir								
952		Q									cc				
958							hfpleir	pre	Q						
966							leir+ep	pre							
							hfpleir+pre								
976		ep								wair					
988		ep								wair					
	leir									wair					
992	leir									wair					
1000		ep						pre							
	leir										cc	wair			
1004						wo			Q						
										Q+wair					
1038									Q	wair					
1052		ep								wair					
		ep						pre							
		ep						pre							
						woll		pre							
	ep									wair					
1060	cc						klor								
1062							klor		Q						
	cc									wair					
1074	leir									wair	cc				
1082							hpleir			wair					
	leir									wair					

SVARFGREINING															
324	py+cc														
334	leir	kalsed													
304-312	mud						fsm				cc				
356-358		stl									cc				
698	kalsed				Ø										
706-714	kalsed				Ø										
834					Ø					wair					
912					Ø		daugrgleir								
934								pre?							
1018	wo	ep													
HOLA NG-7															
ÞUNNSNEIÐAGREINING															
DÝPI	*STEINDIR*														
60	fsm	kalsed	thorn ?								ccd	cce			
126											ccd	arag			
											ccd	arag			
360		fsm									cce				
387			thorn								cce				
444		fsm									cce				
460		fsm									ccd	cce			
		fsm									cce				
514			fjað zeol		finfj.zeol					analc					
		fsm	fjað zeol		finfj zeol					analc	cce				
542		fsm									cce				
578		fsm									cce				
600		fsm		stl/heul											
668		fsm			finfj zeol										
686	lim			stl											
	lim	fsm													
		fsm		stl											
	lim	fsm													
	lim			stl											
		fsm									ccd	cce			
	lim										cc				
710		fsm		stl											
732		fsm			finfj zeol										
		fsm									cce				
		fsm		stl											
778		fsm		stl											
		fsm								wair					
	limonit						mfsm								
							mfsm		Ø						
812	limonit						gleir								
		fsm					gleir (sm)								
836	limonit	kalsed					hfpleir								
		fsm					gsm								
	kalsed						hfpleir								
											cce				
		fsm							Ø		cc				
							gleir		Ø						
	kalsed						hfpleir				cc				
	kalsed										cce				
892		fsm			mord						cce				
		fsm			finfj zeol										
940		fsm							Ø						
		fsm								wair					
970		fsm								wal					
		fsm							Ø						
	kalsed						hfpleir								
998							kldr			wal					
							hfpleir			wair					
							hfpleir			wair					
							hfpleir			wair					
1024							kldr			wair					
	kalsed						kldr								
										wair	cce				
1054					laum						cc				
									Ø	wair					
									Ø	wair					
									Ø	wair					
1064										wal	cc				
	oxun								Ø		cc				
	oxun+py									wal					
		Ø								wal					
		Ø								wal	cce				
	fsm						gleir								
					laum					wair					

		Q	ep											
	oxun									wal				
1082							hfpleir			wal				
									wal	Q	cc	py?		
									wal	py				
										Q	cc			
										Q	cc			
	leir									wal				
1090	leir									Q	ccd			
	leir										ccd			
											ccd	cce		
											cce	leir mfsm?		
											cce	leir mfsm?		
											cce	leir mfsm?		
1130	leir	kalsed							Q		cce			
	leir	Q									cce			
1158		ep								wal				
		ep									cc			
									Q	wal				
		ep							Q					
	Q							pre?						
	pre?	ep							Q					
					Q			pre?						
1200	leir	ep								wal				
		ep								wal				
		ep								wal				
		ep								wal				
							klór		Q					
1218		ep									cc			
							klór	pre						
			ep	py+amfib				pre		wal		NB ísúrt berg		
1240	leir										cce	NB díorít		
		ep							Q					
	Q	leir+amf?							Q					
1282		ep			Q			pre				NB'Líkl. ísúrt		
		ep	amfi		Q			pre						
		ep	amfi					pre						
		ep	amfi		Q									
		ep						pre						
		ep			Q									
	leir	Q												
		ep	amfi					pre						
	klór	ep	gt		Q									
	klór	gt	ep	amfi (wo?)				pre						
1286	Q							pre						
		ep			Q									
	Q	ep												
		ep			Q									
	wo	ep												
	ep							pre	wo					
	ep	Q	wo	ep				pre						
	wo	Q	ep											
	wo	ep												
1296		ep					klór		Q					
		ep					klór		Q					
	Q										cc			
		ep	woll						Q					
1336	ep							pre						
	ep							pre						
	klór	Q												
	ep									wair				
	Q	klór												
	Q						leir					NB leirinn sker kvarsið		
	leir	ep												
		ep						pre	Q					
	klór	ep												
	leir							pre						
1366	klór	ep												
	ep	klór	Q					pre						
	ep	Q												
	stil (orthok	klór												
	fsm	klór												
	Q	klór												
	ep	Q												
	Q							pre						
		ep					klór							
	Q						klór							
	Q	kl+or												
	Smág Q	klór	ep											
	Q							pre						
	stil (orthokl?)						klór							
		ep				klór	Q	pre						
1398	Q	ep												
	Q	ep					klór							





	Q	klór													
	klór	Q													
		ep	Q												
	orthokl	klór	ep+py												
	orthokl	klór	wo								Q				
	Q	ep						klór							
	klór										Q				
	Q	ep+py													
	Q	ep+py													
	Q	ep									(Q)	klór			
	wo(amfl)	orthokl													
1840		ep						klór	gt		Q				
		ep+py													
	orthokl							klór							
	gt										Q			NB áberandi	
1860		ep									Q				
		ep									Q				
	klór+ep														
	Q							klór							
	klór	ep	wo						pre?						
		ep									Q				
1936		ep						klór							
	wo	Q	sphen												
	wo										Q				
	wo										Q				
	klór	wo													
1940											wair	amfl			
											wair	amfl			
	orthokl										Q				
	orthokl							klór							
1962		ep							pre						
	wo										Q				
	wo										Q				
1972	amfib	ep													
	orthokl							klór	amfib						
		ep									Q				
1986	amfl	ep													
		ep									Q				
	wo	ep													
	wo	ep													
	wo	ep													
		ep	Q	ep+py											
	wo										Q				
	klór	ep+py													
		ep	Q						pre						
		ep							pre						
2001	wo	ep													
SAVRFGREINING															
602	py+gleir												cc		
888													py+cc		
892													py+cc		
1222	leir										Q				
HOLA NG-8															
ÞUNNSNEIÐAGREINING															
DÝPI	*STEINDIR*														
70			stil										cc		
			stil										cc		
84			stil/heul										cc	NB alg	
92			stil										cc		
													ccd	cce	
112			stil										cc		
			skól										cc		
118				finfj zeol							Q				
119			stil										cc		
124				finfj. zeol.							Q				
			stil								Q				
												wair+py			
134													cc	Q	
				finfj.zeol.							Q				
		fsm											cc		
148	limonit												cc	Q	
		fsm									Q				
	limonit	kalsed											cc		
172	kalsed												cc		

180			stilb					cc	NB cc að sker í gegnum stilbólstr	
								cc	mes/mord	
	kalsed	fsm								
			stil					cc		
220								cc	mes/mord	
								cc	mes/mord	
262	kalsed							cc		
							Ω	cc		
	Kalsed							cc		
286								cc	smáfj.zeol	
320			finfj.zeol umm				Ω			
		fsm					ΩΩ			
346			finfj.zeol umm				ΩΩ			
					gsm			cc		
					gsm			cc		
					gsm			cc		
	limonít	kalsed						cc		
	limonít	kalsed						cc		
	limonít						Ω	cc		
			finfj.zeol				ΩΩ			
370			bráð zeol				Ω			
			þráð zeeol					cc		
400							Ω	wair		
							ΩΩ	wair		
							ΩΩ	wair		
			þráð zeol umm				ΩΩ			
			stil umm				Ω			

HOLA NG-9

ÞUNNSNEIÐAGREINING

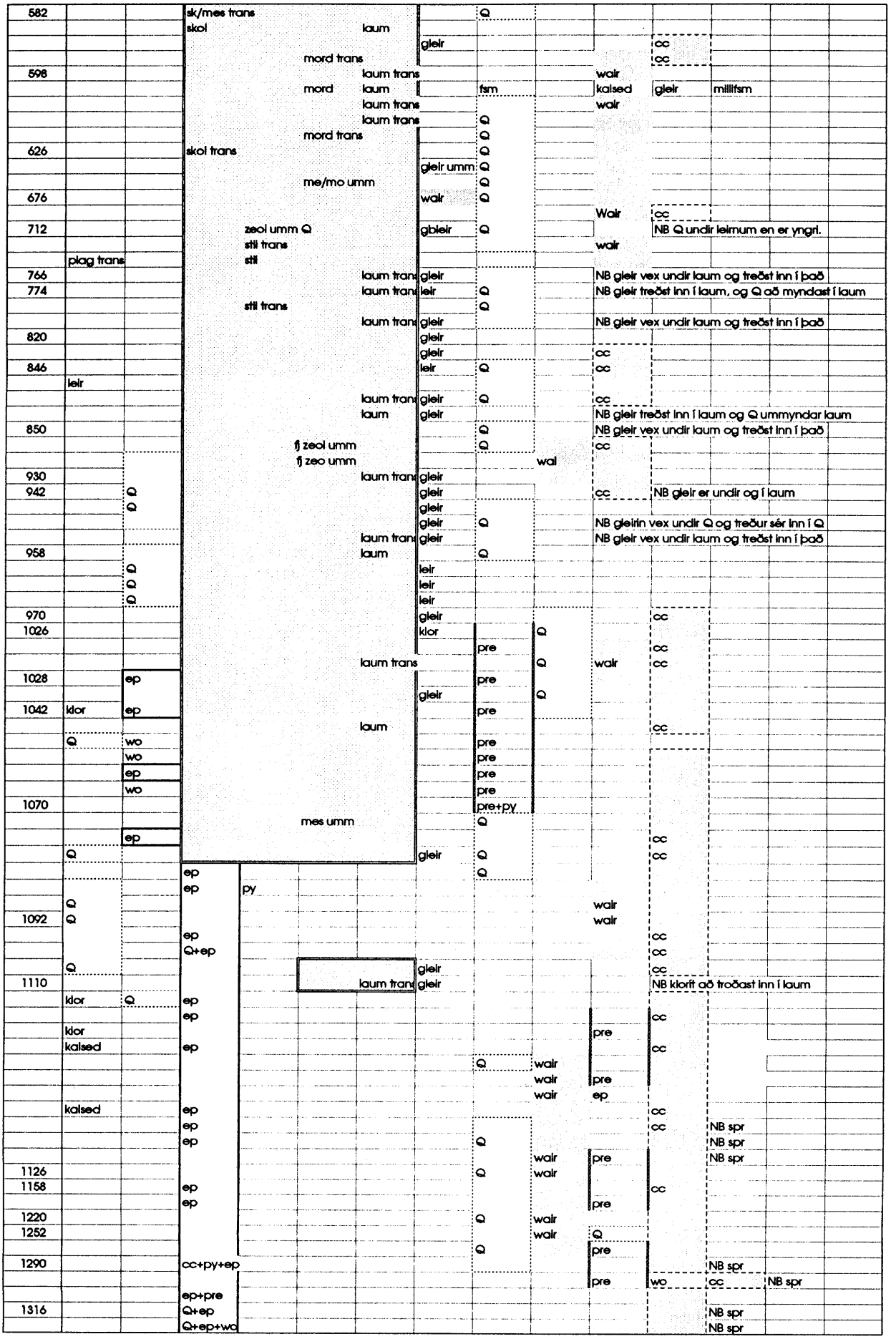
DÝPI	*STEINDIR*									
156			analc					cc		
			thom	stil						
				stil				cc		
206				zeol(stil)				cc	NB að	
				stil				cc		
252		fsm						cc		
284				stil				cc		
					finfj. zeol trans		Ω	cc		
298				stil			ΩΩ			
306					finfj zeol trans		Ω			
348	kalsed					gleir				
480		fsm	skól							
580						gleir	Ω			
602					finfj zeol umm		ΩΩ			
630					finfj zeol trans		Ω			
	kalsed							cc		
660	kalsed					hfpleir				
694	kalsed							cc		
					finfj zeol umm		Ω			
734							Ω	cc		
	kalsed							cc		
							Ω	wair		
							ΩΩ	wair		
762							ΩΩ	wair		
							Ω	wair		
	kalsed							cc		
788						gleir	Ω			
							Ω	wair		
								Wair	Ω	cc
						gleir	Ω			
							Ω	wair		
								Wair	Ω	
796								wair	Ω	
			finfj zeol umm				Ω			
									Ω	cc
								wair	Ω	
							Ω	wair		cc
814								wai	Ω	
								wair	Ω	
								wair		cc
							Ω			cc
								wai	Ω	
838							Ω	wai		
							Ω			cc
							Ω	wawi		cc
							Ω			cc
							Ω	wai		
							Ω			cc
							Ω	wai		

									Q	wal			
									Q	wal			
										wal	cc		
	kalsed								Q	wal			
							gleir				cc		
	kalsed										cc		
									Q	wal	cc		
									Q		cc		
860										wal	cc+py		
									Q	wal			
									Q	wal			
										wal	cc		
											cc		
870									Q		cc		
									Q		cc		
SVARFGREINING													
138		fsm									cc		
		fsm									cc		
146			zeol								cc		
		fsm									cc		
	fsm	py											
168		py	heul										
172		py	heul										
206	kalsed		stil										
344											lcc	Q	
HOLA NG-10													
ÞUNNSNEIÐAGREINING													
DÝPI	*STEINDIR*												
1150					laum					wair			
					laum trans				Q				
1188	hfpleir								Q				
1226					laum trans		pre						
SVARFGREINING													
1056	cc				laum				Q				
1122	klor												
1160	Q		wo										
1236	klór	ep								wair			
	klór	ep											
1692		ep	wo										
1694		ep	wo										
1698		ep	wo										
HOLA NJ-11													
ÞUNNSNEIÐAGREINING													
DÝPI	*STEINDIR*												
630	Q	klór											
698											cc	Q	
702	klór								Q				
910	klór				wo								
1188		Q		zeol					NB líklega trans zeol>Q				
1280	klór	Q	ep		wo								
	klór	Q	ep+wo										
					wair	klór							
	kalsed			zeol trans?							cc		
			ep		wo								
1312			ep		wo								
	klór								Q	wal			
			ep		wo								
1348					wo		Q						
1440	klór		ep		wo+wal								
	klór		ep				pre						
HOLA NJ-12													

ÞUNNSNEIÐAGREINING															
DÝPI	STEINDIR														
170	ZEOL	H													
194			Z									cc			
212				heul	anal		fsm					cc			
246				stil								cc			
246			thorn									cc			
270				stilb	mord										
286			thorn							anal/wair					
			skol		´mord										
			analc		mord										
332						laum						cc			
372			thorn									cc			
				stil								cc			
				stil	mord										
							gsm					cc			
460								Ω				cc			
				stil trans						wair					
476	kalsed						gsm								
					mord trans			Ω							
				stil trans?						anal/wair					
520					mord trans			Ω							
				stil trans?				Ω							
534				stil trans				Ω							
554					mes trans			Ω							
				stilb trans				Ω							
590				stil trans		laum									
					mord trans	laum									
				stil trans		laum+wair									
				stil		laum									
704										wair		cc			
						laum				wair					
802								Ω				cc+py			
825							gbleir					cc			
								Ω				cc			
906						laum						cc			
930	kalsed						gleir								
							gbleir	Ω							
960								Ω+py							
986					mord trans			Ω							
1016	ox+kalsed	kl+Ω+sph													
1038							bleir					cc			
							bleir	Ω							
							bleir			wair					
	Ω	ep	Ω?												
		ep	Ω												
1044		ep	kfsp	ferskt innsk	kals.óbrl										
	Ω	kfsp													
1060	kals	leir													
							bleir			wair					
1136	Ω	kfsp													
1164	Ω	ep													
1278							bleir	pre							
		ep						pre							
1324								pre	ep						
								pre	ep						
1342		ep						pre							
		ep						pre							
	Ω	ep						pre							
1348		ep						pre							
		ep	H												
1362							bleir					cc			
								pre				cc	sprunga		
			Ω							wair					
1394		ep	Ω												
			Ω							wair					
1402			Ω					pre							
			Ω									cc			
		ep	Ω												
1418			wo	Ω											
	klór	ep													
1428			Ω									cc			
1444			wo							wair					
1468		ep	wo+Ω												
1502		ep						pre							
		ep								wair					
										wair		amfib			
		ep	Ω												
		ep								wair					
		ep						pre							
			wo	Ω											
1512			wo							wair					
1528		ep						pre							

								gleir				cc					
1576		ep	wo														
									pre	wo							
		ep								Q							
SVARFGREINING																	
276				heul	stil												
332				heul+py								cc					
394					mesol							cc					
402					mesol							cc					
428					skol							cc					
432				heul								cc					
434												cc+py					
500						laum						cc					
508						laum						cc					
526												cc	Q				
636				heul	skol												
706				stil						Q							
734				stil							anal/wair	H					
830										Q	H						
846						laum+Wair											
866								klor		Q							
1476		ep								Q							
1482								klor		Q							
1578			wo						pre								
HOLA NJ-13																	
ÞUNNSNEIÐAGREINING																	
DÝPI	*STEINDIR*																
398				stil trans							wair						
464						laum trans		gleir									
494			anal trans					gleir									
644						laum trans				Q							
1040	wo										wair	?					
1156		ep										cc					
SVARFGREINING																	
400			analc	mes													
698	kalsed									Q							
720	kalsed										wair						
748	kalsed	py															
1244		ep							pre								
HOLA NJ-14																	
ÞUNNSNEIÐAGREINING																	
DÝPI	*STEINDIR*																
314				mord								cc					
354				fjað zeol umm						Q							
506	limonit	Q						leir									
852		ep							pre								
1046										Q		cc+py					
1096	kalsed	fsm	klór+ep						pre								
1128								klór			wair						
SVARFGREINING																	
134	kalsed											cc					
146		analc	kalsed														
200	Q					mord					NB öfug röð ?						
216	fsm																
254				heul		mord		hfpleir				cc					
264	sm																
606										Q	wair						
886	klór	ep								Q							
HOLA NJ-15																	

ÞUNNSNEIÐAGREINING														
DÝPI	*STEINDIR*													
364			thom	kabas										
656					mord						cc			
776	sm	py												
824						laum			Q					
958						laum trans				wair +klór?				
1100				zeol umm							cc			
1300	klór	wo												
	klór										cc			
1364	klór	ep												
	klór							pre						
1392		ep						pre						
		fsp									cc			
								pre	Q					
1644							klór	gt						
SVARFGREINING														
372			thom							analc?				
424			thom							analc				
536				heul	skol/mes									
548				heul	skól/mes									
554				heul							cc			
624	fsm						mfsm							
				heul	stil									
662	fsm						mfsm							
674	fsm						gsm							
728				heul	mord									
HOLA NJ-16														
ÞUNNSNEIÐAGREINING														
DÝPI	*STEIND*													
1080							Q+klór			wair				
1092	hematít	ep						pre						
1170								pre	wo					
1196	Q							pre						
1220		ep						pre	wo	wair				
		ep							wo	wair				
1728	klór	gt												
SARFGREINING														
1228		ep								wal				
1262		ep								wal				
HOLA NJ-17														
ÞUNNSNEIÐAGREINING														
DÝPI	*STEINDIR*													
154	fsm						mfsm							
198	fsm									cc				
240			zeol trans						wair					
			skol trans					Q						
258			zeol							cc				
	fsm									cc				
284	sm		zeol							cc				
318			zeol							cc				
398			zeol							cc				
412	opall	fsm	mes-skol											
			thoms				opall							
460					mord					cc				
						laum				cc				
	leir									cc				
	fsm						gsm							
					mes/mord trans					cc	NB. gleir undir zeol og þrengir sér inn			
540			skol/mes		kalsed									
			skol/mes				gleir				Hér er leirinn ofan á zeol			
			skol trans							wair				
570						laum trans				wair				
				stil trans				Q						


582
sk/mes trans
skol
laum
gleir
cc
cc
mord trans
598
laum trans
wair
mord
laum
fsm
kalsed
gleir
millifsm
laum trans
wair
laum trans
Ω
mord trans
Ω
626
skol trans
Ω
gleir umm
Ω
me/mo umm
Ω
676
wair
Ω
Wair
cc
712
zeol umm Ω
gbleir
Ω
NB Ω undir leirnum en er yngri.
stil trans
wair
stil
plag trans
766
laum trans
gleir
NB gleir vex undir laum og treðst inn í það
774
laum trans
leir
Ω
NB gleir treðst inn í laum, og Ω að myndast í laum
Ω
stil trans
laum trans
gleir
NB gleir vex undir laum og treðst inn í það
820
gleir
gleir
cc
846
leir
Ω
cc
laum trans
gleir
Ω
cc
laum
gleir
NB gleir treðst inn í laum og Ω ummyndar laum
850
Ω
NB gleir vex undir laum og treðst inn í það
fj zeol umm
Ω
cc
fj zeo umm
wal
930
laum trans
gleir
942
Ω
gleir
cc
NB gleir er undir og í laum
Ω
gleir
gleir
Ω
NB gleirin vex undir Ω og treður sér inn í Ω
laum trans
gleir
NB gleir vex undir laum og treðst inn í það
958
laum
Ω
Ω
leir
Ω
leir
Ω
leir
970
gleir
cc
1026
klor
Ω
pre
cc
laum trans
Ω
wair
cc
1028
ep
pre
gleir
Ω
1042
klor
ep
pre
laum
cc
Ω
wo
pre
wo
pre
ep
pre
wo
pre
1070
pre+py
mes umm
Ω
ep
cc
Ω
gleir
Ω
cc
Ω
ep
ep
py
Ω
wair
1092
Ω
wair
ep
cc
Q+ep
cc
Ω
gleir
cc
1110
laum trans
gleir
NB klorít að troðast inn í laum
klor
Ω
ep
ep
cc
klor
pre
kalsed
ep
cc
Ω
wair
wair
pre
wair
ep
kalsed
ep
cc
ep
cc
NB spr
ep
Ω
NB spr
wair
pre
NB spr
1126
Ω
wair
1158
ep
cc
ep
pre
1220
Ω
wair
1252
wair
Ω
Ω
pre
1290
cc+py+ep
NB spr
pre
wo
cc
NB spr
ep+pre
1316
Q+ep
NB spr
Q+ep+wo
NB spr

			ep					Q				NB spr		
	Q		ep											
			ep					Q						
			ep					Q						
			ep					Q						
1328			ep+pre									NB spr		
			ep					Q						
1348	wo							Q						
	wo								wair					
								Q			cc			
			ep+pre									NB spr.		
			ep	adul								NB spr.		
								Q		pre		NB spr.		
			ep+pre									NB spr.		
			ep+wair									NB spr.		
1370			ep+pre									NB spr.		
1446			ep							pre		NB spr.	dior	
			ep+pre+Q									NB spr.	dior	
								Q	wair					
1482								Q			cc			
								Q		pre				
1546			ep								cc			
1556								Q		pre				
	wo									pre				
1616	wo							Q						

HOLA NJ18

ÞUNNSNEIÐAGREINING

DÝPI	STEINDIR													
450	arag									cc				
914			zeol trans					Q						
1188						laum				cc				
1218										>cc				
1234						laum trans	klor			NB klórítið að þrengja sér inn í laumontítið				
1310						laum trans	klor			NB klórítið að þrengja sér inn í laumontítið				
1392						laum trans		Q						
1616						laum trans		Q						
1686						laum trans		Q						
1896						laum um		Q						
1960						laum um?		Q						

SVARFGREINING

816			analc		mes									
820			thom		mes									
1166	licc						Q							
1268						laum	Q							
1280						laum	Q							
1292								wair	Q					
1294								wair	Q					
1398	licc							wair						
1420						laum	Q							

Skýringar

	umm	*Viðkomandi steind ummynduð í*
		steindina í næsta reit
	trans	*Steind að hluta til ummynduð í*
		steindina í næsta reit
	spr.	*Sprungufylling*
	cc	*Kalsít óskilgreint*
	ccd	*Leirborið kalsít*
	cce	*Vel kristallað kalsít (euhedral)*
	turb cc	*Óreglulega kristallað kalsít*
	licc	*Plötukalsít*
	arag	*Aragonít*
	opall	*Ópall*
kalsed	kals	*Kalsedon*
	Q	*Kvars*
	pre	*Prenít*
sph	sphen	*Sphen*
	ep	*Epidót*
amfib	amfi	*Amfiból*
woll	wo	*Wollastónít*
orthokl	gt	*Granat*
	or	*Orthoklas (adúlaría)*
hematít		*Hematít*
límonít	lím	*Límonít*
oxun	ox	*Oxun*
py		*Pýrít (súlfíð)*

zeol	*Zeólíti óskilgreind tegund*	
mes	*Mesólít*	
smáfj.zeol	*Smáfjaðraður zeólíti*	
finfj zeol	*Finfjaðra zeólíti*	
thom	*Tomsonít*	
heul	*Heulandít*	
mesol	*Mesólít*	
skol	*Skólesít*	
stil	*Stilbít*	
mes	*Mesólít*	
kabas	*Kabasít*	
mord	*Mordenít*	
analc	*Analsím*	
fj. zeol	*Fjaðraður zeólíti*	
laum	*Laumontít*	
fsm set	*Leirset í blöðrum*	mud
fsm	*Finkorna smektít*	
sm	*Smektít óskilgreint*	
leir	*Leir óskilgreint*	
mfsm	*Meðalfjaðrað smektít*	
gleir	*Gróffjaðra leir (smektít/blandlag/klórít)*	
gsm	*Gróffjaðrað smektít og/eða blandleir*	
hfpleir		bleir
gbleir	*Líkiegast blandleir*	gpleoleir
kl		klór
daugrleir	*Líkiegast klórít*	