



ORKUSTOFNUN

RANNSÓKNASVIÐ – Reykjavík, Akureyri

Höfuðborgarsvæði HOLA HS-51

Jarðfræði og jarðlagamælingar

Arnar Hjartarson
Elsa G. Vilmundardóttir
Steinar Þór Guðlaugsson
Sigurður Sveinn Jónsson
Benedikt Steingrímsson

ÚTLÁN
Bókasafn Orkustofnunar

Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur

2001

OS-2001/010

OS-2001/010



Skýrsla nr: OS-2001/010	Dags: Mars 2001	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: HÖFUÐBORGASVÆÐI Hóla HS-51 Jarðfræði og jarðlagamælingar	Upplag: 35	
	Fjöldi síðna: 31	
Höfundar: Arnar Hjartarson, ROS-Akureyri Elsa G. Vilmundardóttir, ROS-Reykjavík Steinar Þór Guðlaugsson, ROS-Reykjavík Sigurður Sveinn Jónsson, ROS-Reykjavík Benedikt Steingrímsson, ROS-Reykjavík	Verkefnisstjóri: Benedikt Steingrímsson	
Gerð skýrslu / Verkstig: Úrvinnsla jarðlagagreininga og borholumælinga	Verknúmer: 8 610 011/8 610 012	
Unnið fyrir: Orkuveitu Reykjavíkur		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Gerð er grein fyrir úrvinnslu gagna úr borholu HS-51 við Minna-Mosfell, fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Megintilgangur borunarinnar er að kanna hitaástand berggrunnins við jaðar lág-hitasvæðisins í Mosfellsdal og að afla upplýsinga um jarðlagaskipan og jarðhitaummyndun. Hóla HS-51 var boruð í febrúar og mars 1999 og er um 846 m djúp. Fyrst er lýst í stuttu máli borun holunnar, síðan er lýsing á jarðlögum sem byggð er á greiningu borsvarfs úr holunni með hliðsjón að jarðlagamælingum, þunnsneiðum og röntengreiningum. Einnig er gerð grein fyrir ummyndun bergsins, fyrrverandi hitaástandi þess og vatnsæðum sem fram komu við borun. Jarðlagastafinn kringum hól HS-51 einkennist af móbergsmýndunum og innskotum sem fjölga með dýpi. Samtúlkun borsvarfs og jarðlagamælinga auðveldaði mjög gerð jarðlagasniðsins, sérstaklega greiningu á innskotum. Í viðauka er fjallað um tilraunamælingar með borholusjá og úrvinnslu þeirra en þær voru framkvæmdar í hól HS-51 í janúar 2001.		
Lykilorð: Höfuðborgarsvæði, lág-hitasvæði, borhóla, jarðlög, jarðlagamælingar, svarfgreining, ummyndun, þunnsneiðar, XRD greining, borholusjá.	ISBN-númer:	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirfarið af: BS	



**Arnar Hjartarson
Elsa G. Vilmundardóttir
Steinar Þór Guðlaugsson
Sigurður Sveinn Jónsson
Benedikt Steingrímsson**

**Höfuðborgarsvæði
Hóla HS-51
Jarðfræði og jarðlagamælingar**

Unnið fyrir Orkuveitu Reykjavíkur

OS-2001/010

Mars 2001

ORKUSTOFNUN — RANNSÓKNASVIÐ

Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. — Sími: 569 6000 — Fax: 568 8896
Akureyri: Sólborg v/Norðurslóð, 600 Akureyri — Sími: 463 0957 — Fax: 463 0560
Netfang: os@os.is — Veffang: <http://www.os.is>

Efnisyfirlit

1 Inngangur	5
2 Borun holu HS-51	5
3 Jarðlagalýsing	7
3.1 Jarðlagasnið	8
3.2 Þunnsneiðalýsing	12
3.3 Ummyndun	13
4 Vatnsæðar í holu HS-51	14
5 Jarðlagamælingar í holu HS-51	14
5.1 Um jarðlagamælingar	15
5.2 Framkvæmd og úrvinnsla jarðlagamælinga í holu HS-51	15
6 Heimildir	24
Viðauki A: Tiltraunamælingar með borholusjá í holu HS-51	25
A.1 Almennt um mælingar með borholusjám	25
A.2 Mælingar í HS-51 og niðurstöður þeirra	27
A.3 Hvaða ályktanir má draga af tilrauninni	29

Töfluskrá

1 Hallamælingar í holu HS-51	7
2 Skrá yfir þunnsneiðar í holu HS-51	12
3 XRD greiningar á útfellingum í borholu HS-51	13
4 Jarðlagamælingar í holu HS-51	16
5 Meðalgildi mældra bergeiginleika í holu HS-51	17
6 Yfirlit um mælingar með borholusjám og hvernig þær nýtast í rann- sóknnum á jarðhita	25
7 Samanburður á borholusjám frá Robertson Geologging	26

8	Niðurstöður mælinga með borholusjá í HS-51	27
---	--	----

Myndaskrá

1	Staðsetning HS-holna	6
2	Jarðlagasnið og jarðlagamælingar í holu HS-51	7
3	Fjöldi innskota og samanlagðar þykktir þeirra á 100 m dýptarbilum	11
4	Samanburður á gammamælingum í holu HS-51	18
5	Samanburður á nifteindamælingum í holu HS-51	18
6	Samanburður á 16" viðnámi í holu HS-51	19
7	Samanburður á 64" viðnámi í holu HS-51	19
8	Tíðnidreyfing poruhluta í holu HS-51	20
9	Tíðnidreyfing kísilsýru í holu HS-51	21
10	Tíðnidreyfing 16" viðnáms í holu HS-51	22
11	Tíðnidreyfing 64" viðnáms í holu HS-51	23
12	Stefna 13 sprungna og eins ganga í holu HS-51	28
13	Halli sprungna og eins ganga í holu HS-51	29
14	Samanburður á hitamælingum í holu HS-51 og legu sprungna	29
15	Myndir af holuvegg HS-51	30

1 Inngangur

Orkuveita Reykjavíkur (OR) hefur á undanförunum árum staðið fyrir umfangsmiklum rannsóknum á hita- og þrýstingi í berggrunni í nágrenni lágheatasvæða veitunnar á höfuðborgarsvæðinu. Meginþáttur rannsókna hefur verið borun fjölmargra allt að 1000 m djúpra rannsóknarholna í nágrenni jarðheatasvæðanna. Þessar holur, sem bera einkennisstafina HS, hafa allar verið hitamældar og berghiti túlkaður sem fall af dýpi á hverjum borstað. Þá hefur vatnsborð verið mælt og kannað hvort vatnsborðsbreytingar endurspegli þrýstibreytingar á vinnslusvæðum hitaveitunnar. Jafnframt mælingum á hita- og þrýstingi hafa jarðlög holunnar verið könnuð, annars vegar út frá borsvarfi sem safnað er í borun, en einnig út frá beinum mælingum á eiginleikum jarðlaganna í holunum.

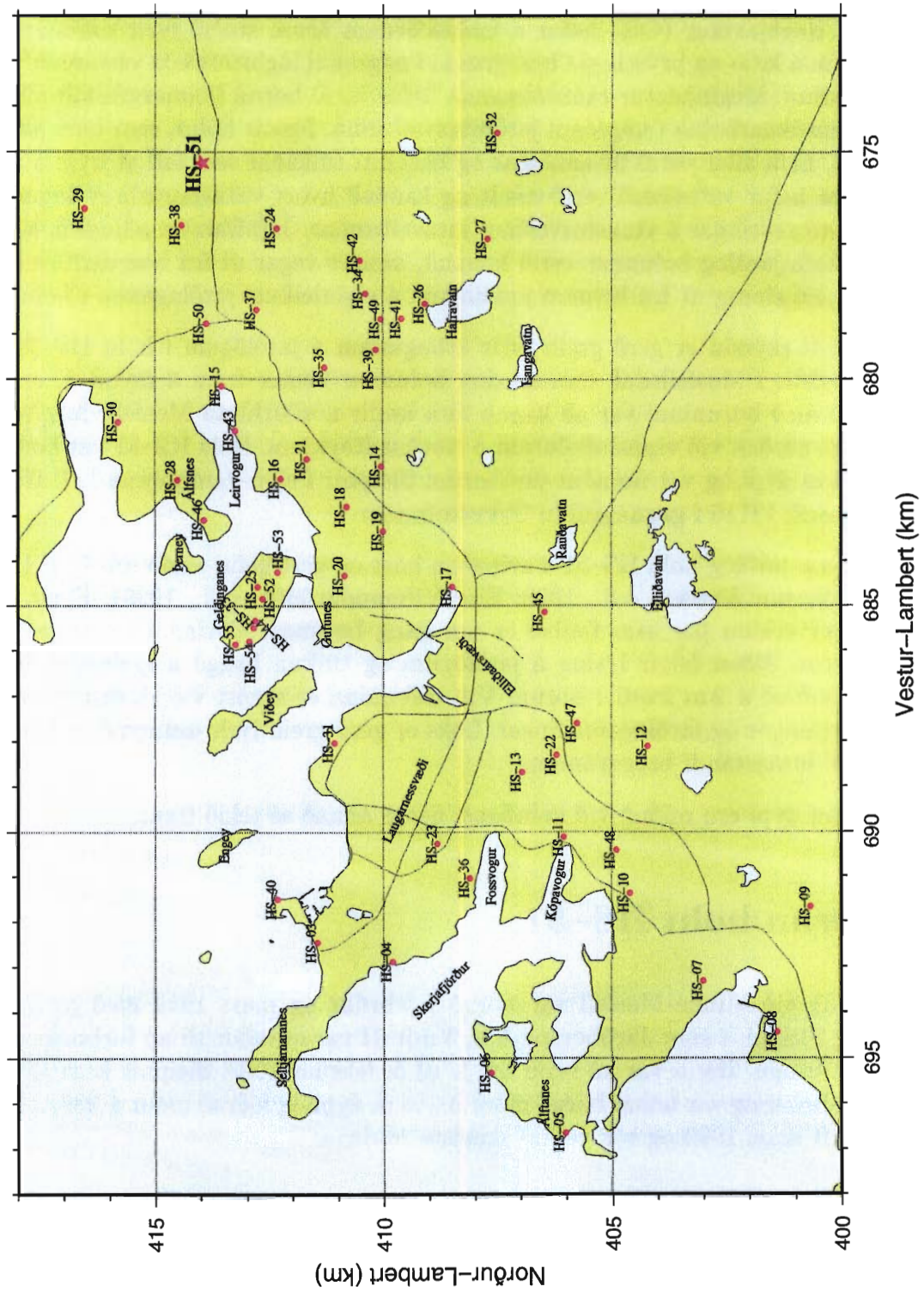
Í eftirfarandi skýrslu er gerð grein fyrir athugunum á jarðlögum í holu HS-51 í landi Minna-Mosfells í Mosfellsdal. Staðsetning holunnar kemur fram á mynd 1, en meginmarkmiðið með boruninni var að kanna hita undir norðurhluta Mosfellsdals, nokkrum kílómetrum norðan við vinnsluholurnar á Norður Reykjum. Hola HS-51 var boruð vorið 1999 í 856 m dýpi og var notaður jarðborinn Sleipnir í eigu Jarðborana h/f. Holan ber staðarnúmerið 13116 í gagnagrunni Orkustofnunar.

Fjallað er um jarðlög holu HS-51 á svipaðan hátt og gert hefur verið um fyrri HS-holur (Sigurður Sveinn Jónsson o.fl., 1998; Elsa Vilmundardóttir o.fl., 1999). Fyrst er stutt lýsing á borverkinu þar sem fjallað er um gang borunar, fóðringar og annað sem að verkinu lýtur. Síðan fylgir lýsing á jarðlögum og túlkun byggð á greiningu borsvarfs en því er safnað á 2 m fresti í borun. Við túlkunina er stuðst við skoðun þunnsneiða, röntgengreiningar og jarðlagamælingar. Loks er gerð grein fyrir ummyndun bergsins og fyrrverandi hitaástandi berggrunnins.

Öll uppgefin dýpi eru miðuð við holuflans, nema annað sé tekið fram.

2 Borun holu HS-51

Hola HS-51 við Minna-Mosfell var boruð í febrúar og mars 1999 með jarðborunum Ými-II og Sleipni, í eigu Jarðborana h/f. Ýmir-II var notaður til að forbora og steypa yfirborðsfóðringu. Hann var að verki frá 1. til 5. febrúar 1999. Sleipnir kom að holunni þann 15. febrúar og var holan boruð niður á 856 m dýpi og fóðruð niður á 284 m. Verkinu var lokið 19. mars 1999 og tók verkið samtals 29 daga.



Mynd 1: Staðsetning HS-holna.

Þegar Sleipnir kemur til verks var búið að steypa yfirborðsfóðringu í 59 m. Settur var niður 9 7/8" lofthamar með stýringum og borað í steypu í 48,8 m. Á um 70 m dýpi kemur vatn í holuna sem nam um 15 l/s í loftboruninni. Borað er áfram en á 192,5 m dýpi verður aukning á vatni sem lamar lofthamarinn. Þá er sett niður 9 7/8" hjólakróna og borun haldið áfram með lofti. Borað er niður á 284 m dýpi. Eftir hita-, víddar- og jarðlagamælingar er 8 5/8" fóðring sett í botn og steipt föst með 10 m³. Eftirádæling var um 2000 l. Eftir steypingu var sett niður 7 7/8" hjólakróna og borað með vatni. Komið var við steypu á 248 m dýpi. Borað var niður á 856 m dýpi sem er botndýpi holunnar (miðað við flans). Ekkert skoltap er skráð frá 192,5 m og niður á botn. Holan var hallamæld fjórum sinnum meðan á borun stóð. Niðurstöður þeirra mælinga má sjá í töflu 1.

Tafla 1: *Hallamælingar í holu HS-51*

Dýpi (m)	Halli
130	0,5°
280	1,5°
500	1,2°
800	1,5°

3 Jarðlagalýsing

Eins og jarðlagasniðið ber með sér eru berglögin í HS-51 að lang mestu leyti móberg í einhverri mynd. Efst er bólstraberg niður á 100 m dýpi og síðan tekur við 80 m setlagasyrpa og þar fyrir neðan er hraunlagasyrpa milli 182–244 m. Hluti basaltsins er þó glerjaður, sem bendir til hraðkælingar og er það almennt túlkað sem merki um bólstraberg í svarfgreiningu. Frá og með 244 m eru lög af túffi eða basaltbreksíu. Innskota verður fyrst vart á 100 m dýpi. Ummyndun er lítil í efstu 100 m en vex er neðar dregur og innskotum fjölgar. Svarf vantar milli 288–302 m og þar fyrir neðan hækkar ummyndunarhiti í holunnar, sem sést á því að laumontít verður áberandi. Wairakít fannst í XRD greiningu í 488 m. Grunnbergið er mikið ummyndað neðan við 300 m og svarfið er blandað. Sem dæmi um það má nefna að brot úr innskotsbergi finnst nokkuð jafn dreift í flestum sýnum. Það torveldar staðsetningu þeirra í svarfgreiningu og þess vegna er nákvæm staðsetning innskotanna byggð á niðurstöðum jarðlagamælinganna.

Mynd 2: *Jarðlagasnið og jarðlagamælingar í holu HS-51 ásamt skýringum (sjá síður 9 og 10).*

3.1 Jarðlagasnið

0–58 m Svarf vantar

58–104 m Bólstraberg og innskotslag.

Bólstrabergið er fín- meðalkorna, glerjað ólvínþóleiðt með smáum ólivín fenókristöllum. Bergið er lítið ummyndað, en gulbrúnn ópal er áberandi í holum á 58–66, 74–78, 84–86 og 90–100 m dýpi. Áþekk lög eru efst í holum HS-38 (Sigurður Sveinn Jónsson o.fl. 1996) og HS-50, (Elsa G. Vilmundardóttir o.fl. 1999), en þær eru í 1,5 og 3 km fjarlægð frá HS-51. Sprunga er í 70 m, sem gaf 151/s. Auk ópals eru kalsít og fleiri smágerðar ummyndunarsteindir í holum. Bólstrabergið endar á 100 m dýpi og síðan tekur við 4 m þykkt, þétt innskotslag, það efsta í holunni.

104–184 m Setlagasyrpa með innskotum og a.m.k. einu hraunlagi.

Mikil breyting verður á berggerð og ummyndun í holunni í 104 m. Setbergið er fínkornótt, túffríkt og talsvert ummyndað. Efsta setlagið er þykkast eða rúmir 20 m. Síðan taka við meint innskot með þunnum setlagabútum á milli og hraunlag fleygað af innskotslagi er á milli 140–158 m. Helstu ummyndunarsteindir eru kvars, kalsít og stilbít. Þýrít kemur líka fyrir, einkum í eða við innskotin. Holufyllingar eru ekki mjög áberandi. Helstu sprungusvæði eru í 114 m, 150–154, 162 og 176 m og umhverfis þau ber mest á útfellingum, en þær eru fingerðar og ekki mjög áberandi. Innskotin koma betur fram í svarfinu heldur en í jarðlagamælingunum á þessu bili.

184–244 m Basaltlög með innskotum efst og neðst.

Efra innskotið er í 188–192 m og í neðsta hluta þess eru sprungur, sem juku líklega á streymi vatns inn í holuna. Basaltið er ýmist þétt og ljósgráleitt eða talsvert blöðrótt og dökkgrátt og glerjuð korn koma þar fyrir. Þessir hlutar basaltsins eru greindir sem glerjað basalt eða bólstraberg. Ummyndun bergsins er lítil í glerjuðu köflunum á þessum kafla og eru ópalfyllingar í holum líkt og í efstu 100 m. Flestar blöðrur eru tómar eða með þunnri skán. Holufyllingar eru mestar í og við sprungur á 200, 212, 222, 228–230 og 236 m dýpi. Þar er m.a. kalsít og stilbít. Undir þessari syrpu er innskot í 242–244 m.

244–246 Svarf vantar.

246–288 m Túff með innskotum.

Í efstu metrunum hefur túffið talsverðan setblæ og þar er líklega innskotslag á 252 m dýpi. Talsverð oxun og ummyndun er í berginu umhverfis það og einnig á sprungusvæðum neðar í laginu á 264–270 m og 280–284 m. Mest er um fyllingar í 284 m. Kalsít, kvars, skólesít, stilbít og leirsteindir eru algengustu ummyndunarsteindirnar.

288–302 m Svarf vantar.

Á þessu bili víkkar holan mjög samkvæmt jarðlagamælingum og er hvergi víðari og hefur verið steipt í bilið. Líklegt er að bergið sé bæði sprungið og ummyndað á þessu bili. Neðan við eyðuna verða mikil umskipti í holunni, en jarðlögin virðast áþekk. Brotkornin smækka og einnig virðist blöndun bergbrotanna verða miklu meiri og er t.d. oft mjög erfitt að staðsetja innskot eftir svarfinu vegna þess að kornadreif af innskotsbergi finnst í flestum sýnum. Staðsetning innskota er því að mestu leyti byggð á niðurstöðum jarðlagamælinganna frá og með 302 m.

Skýringar við jarðlagasnið og bergummyndun

Berggerðir



Hraunlagakargi



Basalttúff



Basalubreksía



Fín-meðalkorna basalt



Meðal-grófkorna basalt



Grófkorna basalt



Sandsteinn



Svarf vantar

Vatnsæðar

← Lítil æð

⇐ Meðal æð

⇐⇐ Stór æð

Innskot



Innskot



Hugsanlegt innskot

Ummyndunarstig



Engin ummyndun



Lítill ummyndun



Meðal ummyndun



Mikil ummyndun

Greining ummyndunarsteinda



Svarfgreining örugg



Svarfgreining óviss



Þunnsneiðargreining örugg



Þunnsneiðargreining óviss



Röntgengreining örugg



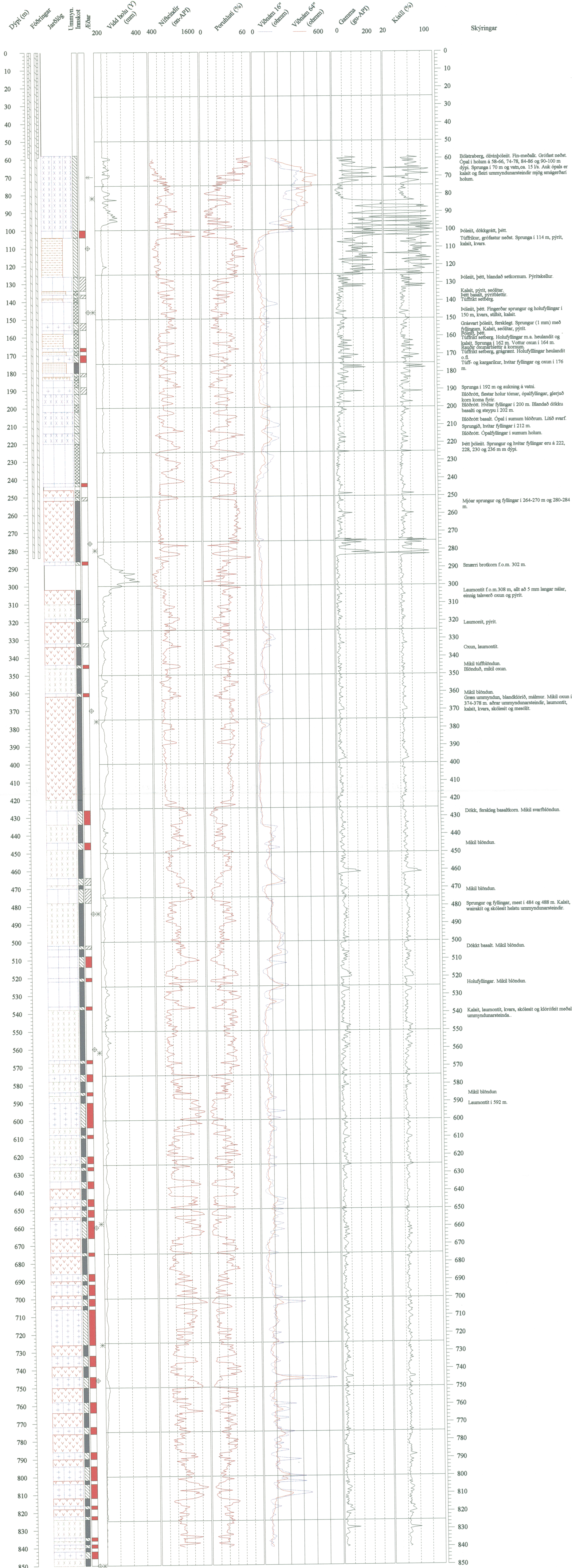
Röntgengreining óviss

Staður: Minna Mosfell
Holunafn: HS-51

Bor: Sleinir
Dýptarbil: 0 - 840 m

Skolvökví: Vatn
Verkhúti: Allir

Verknúmer: 8-610-012
Starfsmenn: ArH, EGV, KB



302–420 m Túff og basaltbreksía með innskotum.

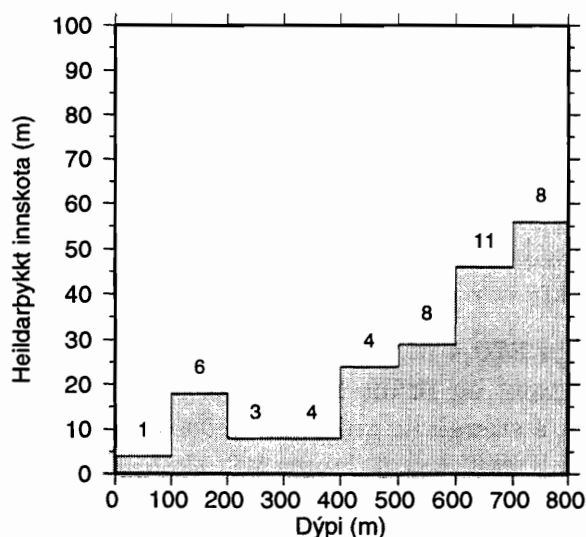
Staðsetning innskota er byggð á jarðlagamælingum. Laumontít greinist fyrst á 308 m dýpi og er viðvarandi í holunni eftir það, en breytilegt að magni. Stærstu laumontít kristallarnir finnast á 306–312 m dýpi og eru lengstu nálarnar í svarfinu um 5 mm langar. Gefur það vísbendingu um að bergið sé sprungið og vel opið á þessu svæði. Einnig eru í svarfinu kalsít, kvars, skólesít, mesólít, pýrít og blandklóríð. Bergið er mikið ummyndað og fær grænleitan blæ neðan 372 m. Nokkur innskot eða hugsanleg innskot eru á 318–320, 332–334, 344–346 og 360–362 m dýpi.

420–638 m Basaltbreksía með innskotum.

Vegna svarfblöndunarinnar er erfitt að greina jarðlögin af neinni nákvæmni. Grunnbergið greinist aðallega sem basaltbreksía eða basalt vegna þess að basaltkorn eru meira áberandi en ofar, og niðurstöður jarðlagamælinganna benda til hins sama. Túffkorn eru líka í svarfinu. Innskotum fer fjölgandi er neðar dregur og þau verða æ stærri hluti bergsins. Frá og með 566 m eru öll innskot meðal-grófkorna, en mest er um fín- meðalkorna innskotsberg þar fyrir ofan. Ummyndunin er mikil og háhitasteindir ríkjandi.

638–856 m Túff með innskotum.

Neðsti kafli holunnar er í líkum dúr, nema hvað túffkorn eru aftur meira áberandi í svarfinu. Helstu ummyndunarsteindir eru: Kalsít, kvars, skólesít, laumontít og leirsteindir. Innskotavirknin er í hámarki. Eins og ofar er stuðst við jarðlagamælingarnar til að staðsetja innskotin eins nákvæmlega og unnt er. Hugsanlegt er að borholan sé í jaðrinum á stórum berghleif.



Mynd 3: Fjöldi innskota og samanlagðar þykkir þeirra á 100 m dýptarbilum (fjöldinn er táknaður með tölum ofan við þykkarsúlurnar).

Mynd 2 sýnir fjölda innskota og samanlagðar þykkir þeirra á 100 m dýptarbilum í holu HS-51. Á henni sést að fjöldi innskota eykst með dýpi og þau verða jafnframt þykkari. Á dýptarbilinu 700–800 m er samlögð þykkt innskotanna kringum 56 m, þ.e. meira en helmingur bergsins á bilinu.

3.2 Þunnsneiðalýsing

Gerðar voru 8 þunnsneiðar af svarfsýnum úr holunni. Í töflu 2 má sjá þunnsneiðanúmerin og dýpi holunnar sem svarfið á uppruna sinn frá.

Tafla 2: Skrá yfir þunnsneiðar í holu HS-51.

Þunnsneið númer	Dýpi, miðað við pall Sleipnis (m)	Leiðrétt dýpi, miðað við flans (m)
17140	114	110,4
17141	150	146,4
17142	280	276,4
17143	374	370,4
17144	488	484,4
17145	564	560,4
17146	664	660,4
17147	750	746,4
17148	854	850,4

Þunnsneið 17140, dýpi 110,4 m. Túffríkur sandsteinn.

Basaltgler, bæði gulgrænt og svart og fínkornótt basalt eru algengustu brotkorn og stöku meðal- grófkorna ólivínbasaltkorn. Plagióklas fenókrystallar eru algengir, lítið sem ekkert ummyndaðir. Fersklegum ólivínnum bregður fyrir. Ummyndun er lítil og eru leirsteindir í gleri ásamt kvarsí algengastar. Kalsít finnst en lítið ber á því.

Þunnsneið 17141, dýpi 146,4 m. Þóleíft.

Fínkornótt og glerkennt blöðrótt basalt. Glerið er svart. Meðal ummyndun. Kvars er á blöðruveggjum og kalsít hefur myndast innar í blöðrunum. Plagióklas fenókrystallar eru byrjaðir að ummyndast í kalsít. Einnig finnst stilbít.

Þunnsneið 17142, dýpi 276,4 m. Túff.

Blanda af gleri og glerríku basalti. Mikil ummyndun. Mjóar kristalfylltar sprungur skera mörg korn. Kalsít og kvars er algengt, einnig skólesít, stilbít og leirsteindir.

Þunnsneið 17143, dýpi 370,4 m. Túff.

Blöðrótt basaltgler ljósgrænt og brúnt og glerríkt þóleíft, glerið svart. Feldspatnárar í grunnmassa. Einnig brot á stangli úr grófkristölluðu ólivínþóleífti, væntanlega innskotsbergi. Mikil ummyndun. Kalsít, kvars, laumontít, skólesít og leirsteindir.

Þunnsneið 17144, dýpi 484,4 m. Innskot.

Basalt meðal-grófkorna, lítið ummyndað. Líka eru brotkorn af mikið ummynduðu túffi og glerkenndu basalti. Kalsít og kvars í blöðrum, kvarsíð er nær blöðruveggjum, kalsítið innar. XRD greiningar sýna einnig skólesít og wairakít. Mjóar, kristalfylltar sprungur eru í túffkornunum.

Þunnsneið 17145, dýpi 560,4 m. Basaltbreksía.

Þanið, blöðrótt gler og fínkornótt glerkennt basalt. Brotkorn úr grófkristölluðu innskotsbergi slædist með. Mikil ummyndun. Kalsít, stórir kristallar, kvars, skólesít og leir eru meðal ummyndunarsteinda.

Punnsneið 17146, dýpi 660,4 m. Túff.

Glerkennt og fínkorna basalt og þanin blöðrótt glerkorn, mikið ummynduð. Kalsít, kvars pýrít og leirsteindir eru helstu ummyndunarsteindir. Brot af meðal- grófkorna lítið ummynduðu innskotsbergi algeng.

Punnsneið 17147, dýpi 746,4 m. Túff.

Glerkennt og fínkorna basalt og þanin blöðrótt glerkorn, mikið ummynduð. Kalsít, kvars, skólesít og leirsteindir eru helstu ummyndunarsteindir. Brot af meðal-grófkorna lítið ummynduðu innskotsbergi eru algeng.

Punnsneið 17148, dýpi 850,4 m. Basaltbreksía.

Glerkennt basalt og þanið gler. Mikil ummyndun. Kalsít, kvars, skólesít, laumontít og leirsteindir. Brot af meðal-grófkorna innskotsbergi sjást í svarfinu.

3.3 Ummyndun

XRD greiningar voru gerðar á ummyndunarsteindum á sýnum úr holunni og voru dýp-
isgildin svipuð og fyrir þunnsneiðarnar, þ.e. á um 100 m fresti. Í töflu 3 má sjá yfirlit
yfir XRD greiningarnar og niðurstöður þeirra.

Tafla 3: XRD greiningar á útfellingum í borholu HS-51.

OX-XRD númer	Dýpi, m.v. pall Sleipnis (m)	Dýpi, m.v. flans (m)	Tegund 1	Tegund 2	Tegund 3	Tegund 4
33708	86	82,4	basaltgler			
33709	150	146,4	kvars	stilbít		
33710	286	282,4	kalsít	skólesít	stilbít	
33711	380	376,4	kalsít	laumontít		
33712	488	484,4	kalsít	wairakít	skólesít	
33713	566	562,4	laumontít			
33714	662	658,4	kalsít	kvars	pýrít	(plagióklas)
33715	730	726,4	kalsít	kvars		
33716	854	850,4	kalsít	kvars	laumontít	

Engin sérstök röð er á steindunum, þ.e. ekki er meira af tegund 1 fremur en annarri, né heldur er um að ræða sérstaka myndunarröð. Steindirnar sýna vaxandi myndunarhita útfellinga og virðast þær tilheyra þremur hitabeltum. Mörkin sem hér eru sett milli þeirra eru ekki nákvæm. Beltin eru:

Kabasít-thomsonít beltið á 0–100 m dýpi.

Mesólít-skólesít beltið á 100-300 m dýpi.

Laumontít beltið á 300-856 m dýpi.

Í HS-50, í 3 km fjarlægð, eru mörkin milli mesólít-skólesít beltisins og laumontít beltisins á meira dýpi, eða í 654 m (Elsa G. Vilmundardóttir ofl. 1999), þótt innskotavirknin þar sé enn meiri en í HS-51.

0–100 m.

Lítill ummyndun virðist vera í efstu 100 m. Tekið skal fram að svarftaka hefst ekki fyrr en í 60 m. Mest ber á ljósgulbrúnum ópalútfellingum og vottur er af kalsíti og e.t.v. fleiri mjög smákristölluðum hvítum ummyndunarsteindum. Þessi hluti holunnar er talinn vera í kabasít-thomsonít beltinu og myndunarhitinn um og innan við 100 °C.

100–300 m.

Fyrsta innskotíð er í 100–104 m og þar fyrir neðan fer að sjást meira af hvítum fyllingum. Þær er helst að finna í og við sprungusvæði, sem eru mest áberandi í 114 m og milli 150–176 m. Þær steindir sem greinst hafa eru kvars, kalsít, stilbít og gylltur málmur, sennilega pýrít, sem finnst í og við innskotin, sem fer fjölgandi (sjá jarðlagasnið og töflu 3). Þessi hluti holunnar er talinn vera í mesólít-skólesít beltinu og myndunarhiti 100–150 °C.

300–856 m.

Neðan við stóru eyðuna í svarftökunni milli 288 og 302 m er ummyndunin meiri en ofar og steindir birtast sem bera vott um hærri myndunarhita. Laumontít kemur fram í 308 m. Þar eru stórir kristallar allt að 5 mm langir, sem bendir til þess að bergið hafi verið sprungið og vel opið þegar þeir mynduðust. Þeir eru algengir í svarfinu eftir það, en kristallarnir eru smáir nema milli 306–312 m. Wairakít kemur fram í XRD greiningu á 488 m dýpi. Frá og með 400 m fjölga innskotum í holunni eins og sjá má á myndun 2 og 3. Á 700–800 m dýpi nær samanlögð þykkt innskotanna hámarki eða 56 m. Grunnbergið er mikið ummyndað og hefur ljósgrænleitan blæ, sennilega vegna blandklóríða og svarfblöndunin er mjög mikil. Þessi hluti holunnar er talinn vera í laumontít beltinu og myndunarhitinn á bilinu 150–220 °C.

4 Vatnsæðar í holu HS–51

Í borskýrslu um HS–51 er aðeins getið um eina vatnsæð. Hún var á 70 m dýpi og gaf u.þ.b. 15 l/s í loftblæstri. Ekki var skráður hiti vatnsins sem upp kom. Ekkert skoltap er skráð í borskýrslum neðan við æðina en einhver aukning hefur verið á streymi vatns inn í holuna því lofthamarinn kafnar á um 192 m dýpi. Eftir að holan var fóðruð niður á 284 m dýpi verður ekkert skoltap í holunni og engar æðar eru skráðar þar fyrir neðan, samkvæmt borskýrslu.

5 Jarðlagamælingar í holu HS–51

Jarðlagamælingar í holu HS–51 voru framkvæmdar á hefðbundinn hátt og í tveimur áföngum. Þann 1. mars 1999 var mælt niður á 284 m dýpi, áður en fóðrað var, og þann 14. desember 2000 var mælt niður á 840 m en holan var boruð 856 m djúp. Vídd holunnar var mæld auk náttúrulegrar gammageislunar, rafviðnáms og sjálfspennu borholuveggjanna og hvernig geislun nifteinda dreifist um bergið.

5.1 Um jarðlagamælingar

Jarðlagamælingar gefa upplýsingar um ýmsa eiginleika bergsins sem borað er í. Með því að greina svarfið sem upp kemur úr holunni við borun og samtúlka við jarðlagamælingarnar má fá góða hugmynd um uppbyggingu jarðlagastaffans sem borað er í. Það má greina milli jarðmyndana, bæði einstakra jarðlaga og heilla syrpa, og ákvarða þykkt þeirra. Víddarmælingarnar eru ekki eiginlegar jarðlagamælingar en vídd holunnar er notuð til leiðréttingar á víddaráhrifum í öðrum mælingum og getur gefur mikilvægar vísbendingar um hörku jarðlaganna og skil þeirra. Með því að beina nifteindageislun í bergið og mæla endurkastið má fá upplýsingar um vatnsinnihald bergsins, og þar með poruhluta, því nifteindirnar stöðvast og missa orku þegar þær rekast á vatnssameindir. Með mælingu á náttúrulegri gammageislun holuveggisins má meta magn kísilsýru bergsins því súrara berg inniheldur meira magn geislavirkra samsætna en basískt berg. Mælt rafviðnám í borholum er háð poruhluta jarðlaganna sem mælt er í, ásamt hita og seltu vatnsins í holunni. Venjan er að mæla með tveimur skautbilum, 16" og 64". Viðnámsmælingar geta því greint á milli jarðmyndanna í borholum og þær eru mikilvægt að hafa til hliðsjónar þegar túlka á viðnámsmælingar sem framkvæmdar eru á yfirborði, t.d. vegna jarðhitaleitar. Með mælingum á sjálfsspennu má greina hlutfallið á milli viðnáms borholuveggjanna og viðnáms vatnsins í berginu. Þar sem vatnið í jarðhitakerfum hérlandis er yfirleitt einsleitt, með tilliti til dýpis, gefur mæling á sjálfsspennu ekki svo mikilvægar upplýsingar, en sjálfspenna er mæld samhliða mælingu rafviðnáms. Frekari fróðleik um borholumælingar má sækja í skýrslu Orkustofnunar: Geothermal Logging I eftir Valgarð Stefánsson og Benedikt Steingrímsson (1980).

5.2 Framkvæmd og úrvinnsla jarðlagamælinga í holu HS-51

Í töflu 4 má sjá yfirlit yfir mælingarnar sem framkvæmdar voru í holunni í tveimur áföngum en gögnin eru geymd í gagnagrunni Orkustofnunar undir svuntunúmeri. Gögnin voru sótt úr gangagrunninum til leiðréttingar og úrvinnslu. Mæliferlarnir eru skráðir sem fall af dýpi og fyrst er leiðrétt fyrir dýpi því núllstilling í upphafi mælingar er ekki alltaf nákvæm. Dýpisgildin eru leiðrétt miðað við flans og lengd fóðringar sem fram kemur í fóðringarskýrslu. Í fyrri mæliáfangi (1. mars 1999) voru dýpisleiðréttingar á bilinu 2,5 til 3,5 m en í seinni áfangi (14. desember 2000) voru þær á bilinu 0,5 til 9,0 m. Víddar- og viðnámsmælingarnar voru leiðréttar útfrá dýpt fóðringa en nifteinda- og gammamælingarnar voru leiðréttar með því að reikna fylgni mæliferlanna sem fall af innbyrðis dýpishliðrun miðað við mæliferil 16" viðnámsmælinganna.

Holan var víddarmæld með fjögurra arma víddarmæli og því fæst þvermál holunnar eftir tveimur ásum (x og y). Þvermál y -áss passaði vel við innanmál fóðringarinnar. Mæling eftir x -ás var hinsvegar ekki eins sannfærandi. Þegar mælt var í fóðringu sýndi x -mælingin stökk og hliðranir miðað við y -mælinguna sem nam allt að 50 mm. Mælingunni eftir x -ás er ekki treystandi og því er hún ekki teiknuð samhliða mælingu eftir y -ás, eins og vant er. Þvermál holunnar er því einungis ákvarðar út frá y -hluta víddarmælingarinnar.

Til að kanna áreiðanleika mælinganna var hluti holunnar endurmældur. Að venju er

Tafla 4: Jarðlagamælingar í holu HS-51 (dýpisgildi m.v. flans)

Dagsetning	Svunta	Hvað mælt	Dýpi frá (m)	Dýpi til (m)	Athugasemdir
01.03.1999	21222	Vídd y-armur (mm)	4	286	
01.03.1999	21223	Vídd x-armur (mm)	4	286	
01.03.1999	21224	Nifteindir (API NU)	7	286	
01.03.1999	21225	Gamma (API GU)	7	286	
01.03.1999	21361	16" viðnám (Ω m)	60	286	
01.03.1999	21362	64" viðnám (Ω m)	60	286	
14.12.2000	24303	Vídd y-armur (mm)	10	840	
14.12.2000	24304	Vídd x-armur (mm)	10	840	
14.12.2000	24305	Nifteindir (API NU)	3	839	Mælt niður
14.12.2000	24307	Nifteindir (API NU)	400	839	
14.12.2000	24309	Nifteindir (API NU)	10	500	
14.12.2000	24306	Gamma (API GU)	3	839	Mælt niður
14.12.2000	24306	Gamma (API GU)	400	839	
14.12.2000	24310	Gamma (API GU)	10	500	
14.12.2000	24317	16" viðnám (Ω m)	251	835	
14.12.2000	24320	16" viðnám (Ω m)	276	502	
14.12.2000	24318	64" viðnám (Ω m)	251	835	
14.12.2000	24321	64" viðnám (Ω m)	276	502	
14.12.2000	24319	Sjálfspena (mV)	251	835	
14.12.2000	24322	Sjálfspena (mV)	276	502	

mælt frá botni og upp. Þegar komið var upp í 400 m var slakað niður í 500 m og mælt til yfirborðs. Þannig var 100 m kafli holunar dekkður með tveimur mælingum. Þetta var gert fyrir nifteinda-, gamma- og viðnámsmælingarnar. Samanburð á gamma- og nifteindamælingunum má sjá á myndum 4 og 5 og samanburð á viðnámsmælingunum á myndum 6 og 7. Á myndum 4 og sést að ferlarnir fylgjast nokkuð vel að og því er ekki ástæða til að vantreysta mælingunum í heild sinni. Þegar myndir 6 og 7 eru skoðaðar sést aðeins einn ferill á hvorri mynd. Í raun eru þeir tveir, en þeir falla það vel saman að enginn sýnilegur munur er á þeim. Það er því ljóst að viðnámsmælingarnar eru áreiðanlegar.

Poruhluti bergsins var reiknaður útfrá nifteindamælingunni og kísilsýruinnihald þess reiknað útfrá gammamælingunni. Í báðum tilvikum var leiðrétt fyrir borholuáhrifum með því að taka vídd holunnar með í reikninginn.

Myndir 8 til 11 sýna tíðnidreyfingu mældra bergeiginleika í holu HS-51. Þær sýna meðalgildi poruhluta, kísilsýru, 16" og 64" viðnáms í ummyndunarbeltunum þremur sem fjall-að var um í kafla 3.3. Laumontít beltinu er skipt í tvo hluta og einnig er á þeim að finna meðalgildi fyrir bergið í holunni í heild sinni. Reiknuð meðalgildi holunnar og beltanna má einnig finna í töflu 5.

Meðalkísilsýrustyrkurinn í holu HS-51 er um 48 % sem segir að berggrunnurinn er gerður úr basalti. Súrt berg greindist ekki við skoðun á svarfinu. Ekki er að sjá á gammamælingunni að styrkur kísilsýru í innskotsberginu sé annar en í upphleðsuberginu. Líklegt er að

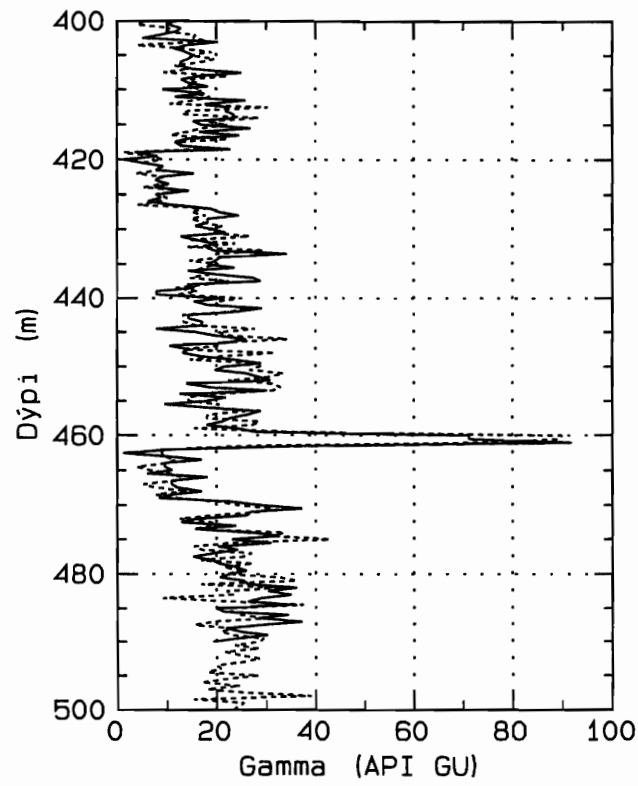
gammamælingin hafi orðið fyrir truflunum á bilinu 60–130 m fekar en að bólstrabergið og setbergið þar fyrir neðan, sem gert er úr basalti, sýni svona háan kísilsýrustyrk.

Meðalporuhluti bergsins í holu HS-51 er um 23%. Í efstu 300 m er meðalporuhlutinn um 28%. Þar er meira um bólstraberg og setmyndanir sem hafa hærri poruhluta en basalttúff og innskot. Á bilinu 300–580 m er poruhlutinn 24%. Á dýptarbilinu 580–840 m er poruhlutinn kominn niður í 18% sem skýrist með fleiri innskotum eins og fram kemur á jarðlagasniðinu og mynd 2. Poruhlutadreifingin hefur tvo toppa á bilinu, einn fyrir innskot og annan fyrir basalttúff. Meðalporuhluti innskotanna er í kringum 8% en basalttúffsins í kringum 23%.

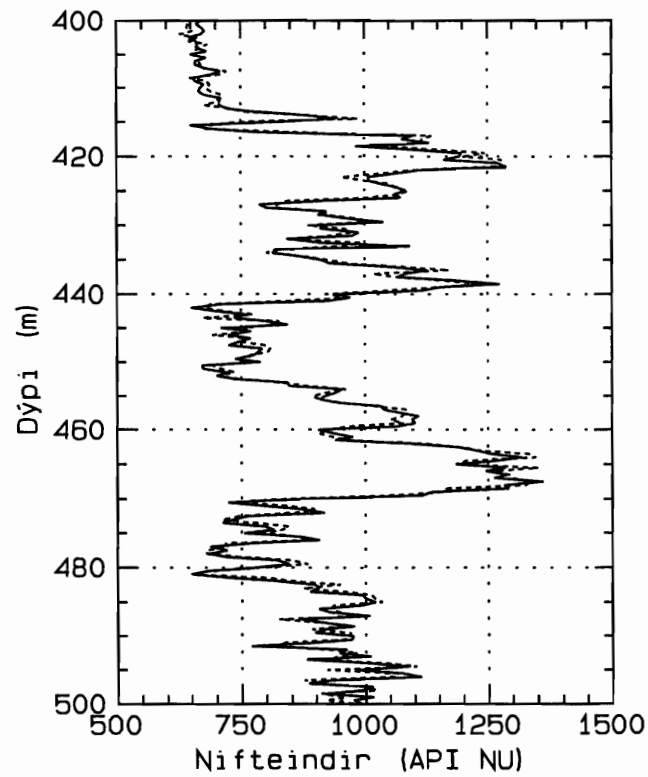
Viðnámsferlunum ber vel saman og er meðalgildi 16" ferilsins 88 Ω m en 64" ferilsins 81 Ω m. Háviðnámstoppur mælast hærri með 16" skautvídd en 64" skautvídd. Meginástæðan er sú að viðnámsmæling með 16" skautvídd hefur hærri upplausn heldur en viðnámsmæling með 64" skautvídd og getur þar af leiðandi greint betur þunn háviðnámslög, sem oft koma fyrir í borholum. Myndir 10 og 11 sýna tíðnidreyfingu mældra viðnámsgilda og reiknað meðalviðnám fyrir bergið í ummyndunarbeltunum þremur og holunni í heild sinni. Á þeim kemur fram að kabasít-thomsonít beltið hefur afgerandi hæst viðnám. Athyglisvert er að 64" viðnámsferillinn sýnir herra viðnám en 16" ferillinn. Ástæðan fyrir þessu er óljós. Viðnámið mælist lægst í mesólfít-skólesít beltinu og fer lítið eitt hækkandi er neðar dregur vegna fjölgandi innskotum en þau hafa að jafnaði herra viðnám en grannbergið.

Tafla 5: Meðalgildi mældra bergeiginleika í holu HS-51.

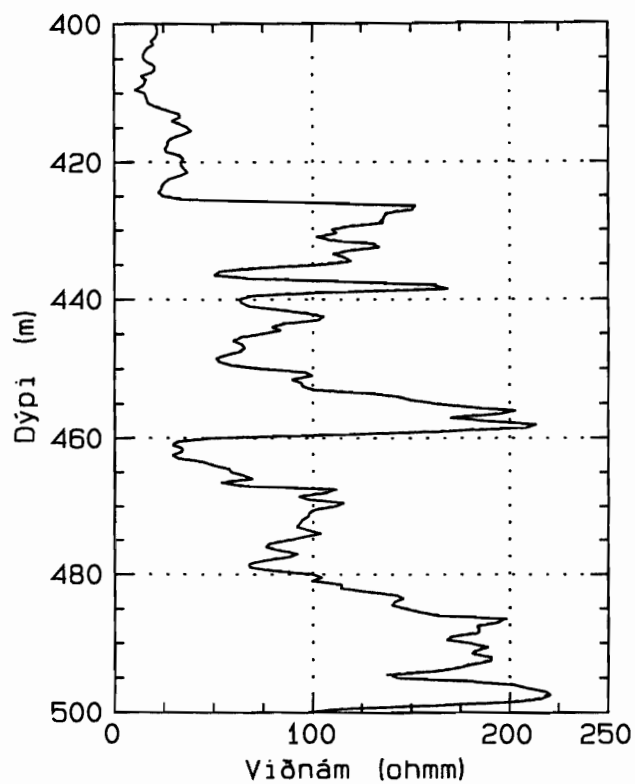
Belti	Dýpi (m)	Poruhluti (%)	Kísilsýra (%)	16" viðnám (Ω m)	64" viðnám (Ω m)
Kabasít-thomsonít	60–100	28	53	253	313
Mesólfít-skólesít	100–300	28	52	67	46
Laumontít 1/2	300–580	24	47	68	65
Laumontít 2/2	580–840	18	46	98	88
Öll holan	0–840	23	48	88	81



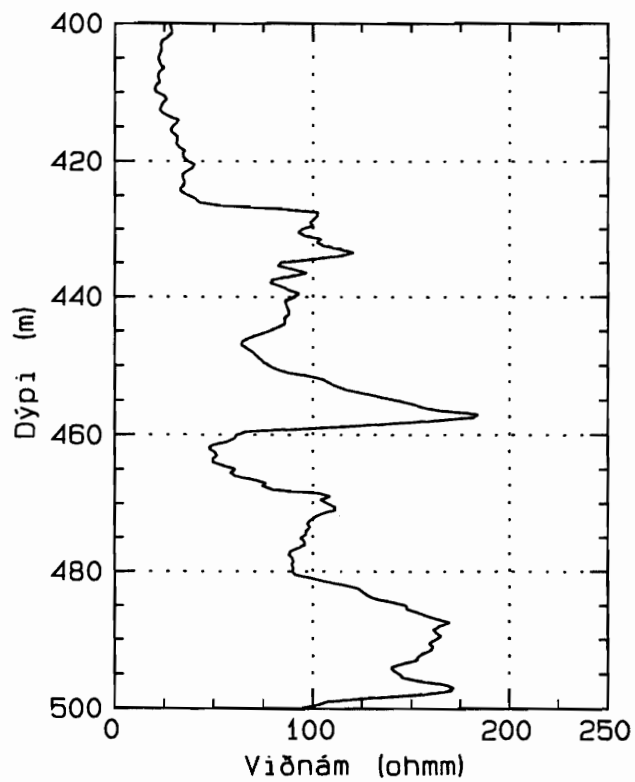
Mynd 4: Samanburður á gammamælingum á 400 til 500 m dýpi í holu HS-51.



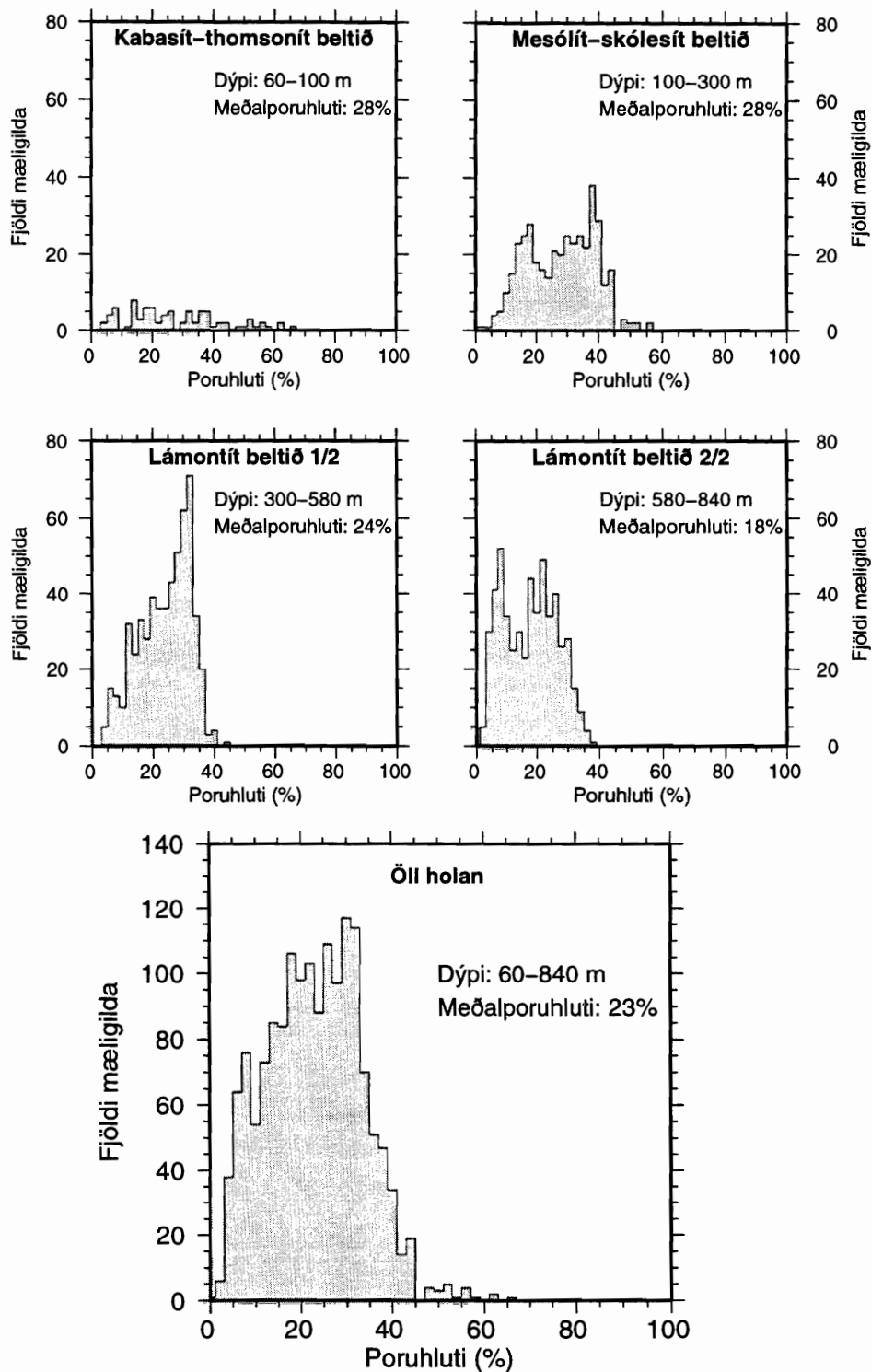
Mynd 5: Samanburður á nifteindamælingum á 400 til 500 m dýpi í holu HS-51.



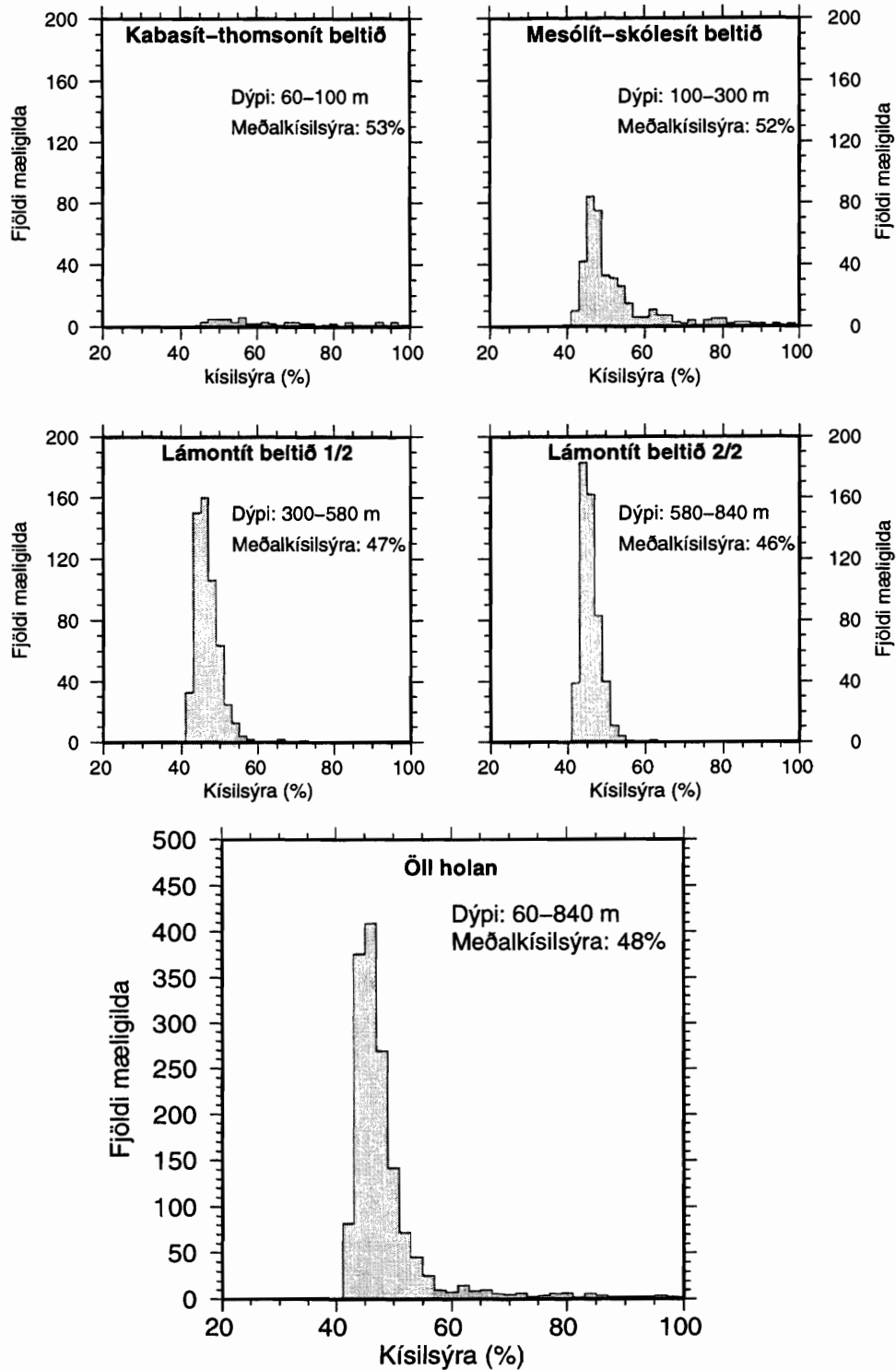
Mynd 6: Samanburður á 16" viðnámi á 400 til 500 m dýpi í holu HS-51.



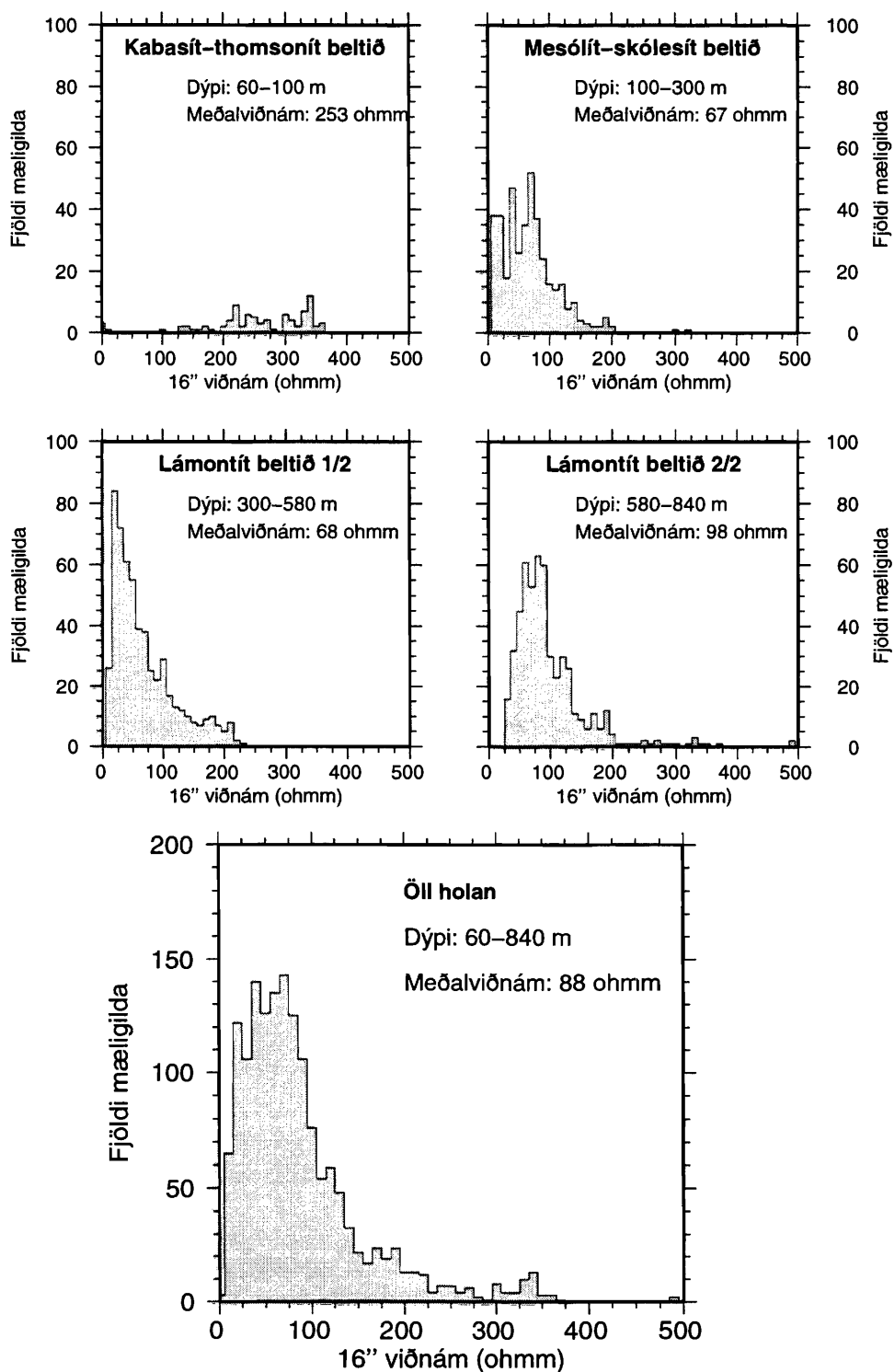
Mynd 7: Samanburður á 64" viðnámi á 400 til 500 m dýpi í holu HS-51.



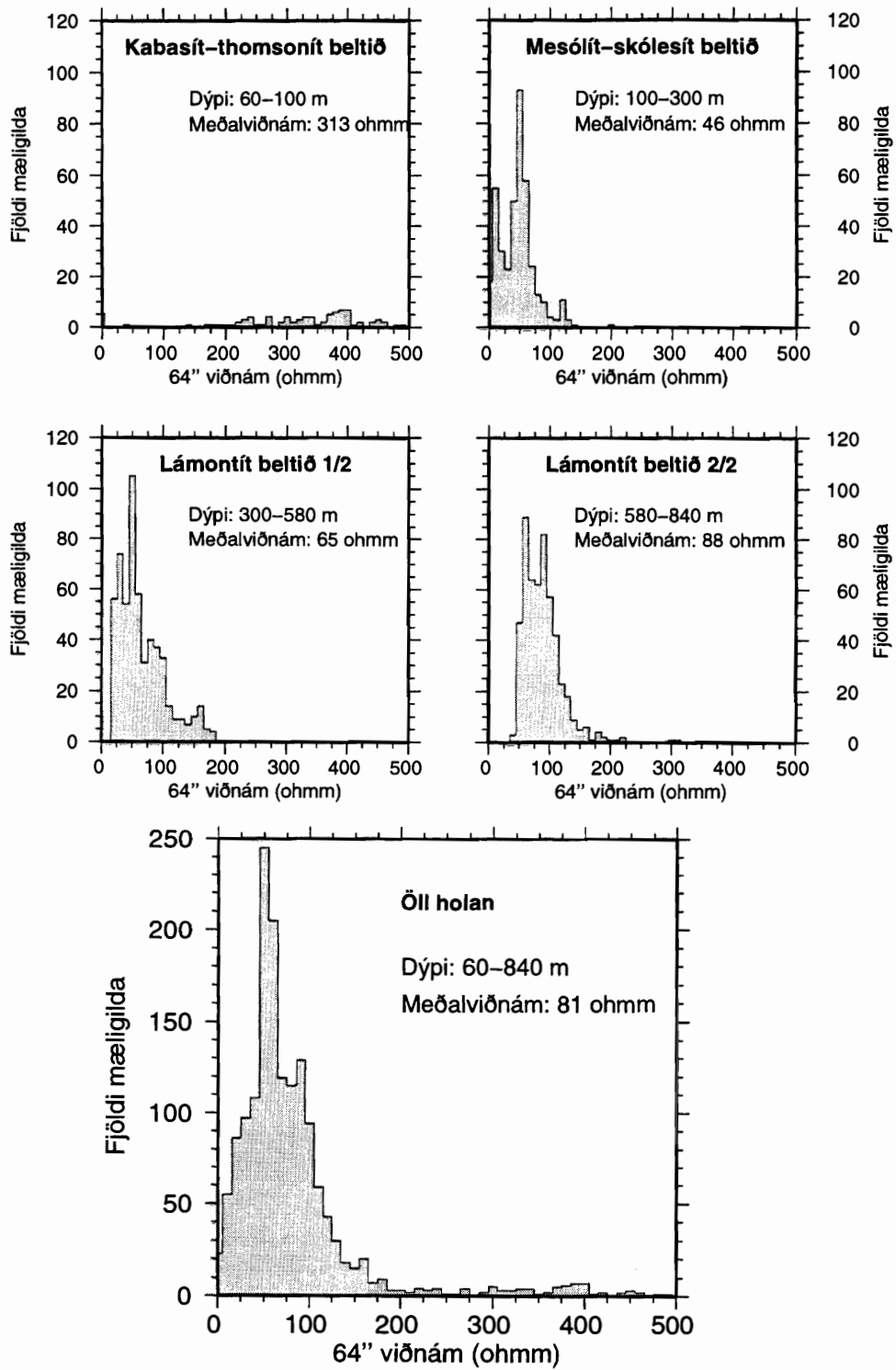
Mynd 8: Tíðnidreyfing porhluta í holu HS-51.



Mynd 9: Tíðnidreyfing kísilsýru í holu HS-51.



Mynd 10: Tíðnidreyfing 16" viðnáms í holu HS-51.



Mynd 11: Tíðnidreyfing 64'' viðnáms í holu HS-51.

6 Heimildir

Elsa G. Vilmundardóttir, Steinar Þór Guðlaugsson, Sigurður Sveinn Jónsson, Bjarni Richter og Benedikt Steingrímsson, 1999: *Höfuðborgarsvæði. Holur HS-49 og HS-50. Jarðfræði og jarðlagamælingar*. Orkustofnun, OS-99113.

Sigurður Sveinn Jónsson, Steinar Þór Guðlaugsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Helga Tulinius og Benedikt Steingrímsson, 1998: *Höfuðborgarsvæði. Holur HS-45 til HS-48. Jarðfræði og jarðlagamælingar*. Orkustofnun, OS-98015.

Sigurður Sveinn Jónsson, Helga Tulinius, Þórður Arason, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Benedikt Steingrímsson 1996: *Höfuðborgarsvæði, holur HS-35 til HS-43. Jarðfræði og jarðlagamælingar*. Orkustofnun, OS-96068/JHD-38 B.

Valgarður Stefánsson og Benedikt Steingrímsson, 1990: *Geothermal logging I. An introduction to techniques and interpretation*. Orkustofnun, OS-80017/JHD-09, 3. útg.

Viðauki A. Tilraunamælingar með borholusjá í holu HS-51

Í janúar 2001 var gerð tilraun með að beita borholusjá (acoustic televiewer) til að greina sprungur í holu HS-51. Með borholusjánni var gerð hljóðendurvarpsmynd af holuveggnum á dýptarbilinu 357-395 m. Tilgangurinn var að athuga hvernig borholusjain reyndist við íslenskar aðstæður.

A.1 Almennt um mælingar með borholusjám

Yfirlit um tegundir mælinga sem gera má með borholusjám og gagnsemi þeirra í jarðhitarannsóknnum er að finna í töflu 6.

Tafla 6: Yfirlit um mælingar sem gera má með borholusjá og hvernig þær nýtast í rannsóknnum á jarðhita.

Hvaða eðlisfræðilegu stærðir eru mældar ?	
	Styrkur hljóðendurvarps frá borholuvegg
	Endurvarpstími hljóðs frá borholuvegg
	Halli og stefna mælitækis (og þar með borholunnar)
Hvaða jarðfræðilegu þætti má leiða beint af mælingunum?	
	Mynd af borholuveggnum
	Legu sprungna og misgengja sem skera borholuna, stefnu þeirra og halla
	Legu upphlaðinna jarðlaga, stefnu lagmótanna og halla þeirra.
	Legu móta milli upphlaðins jarðlagastafla og innskotsmyndana sem skera hann, stefnu og halla mótanna
	Stefnu meginása spennusviðsins í berginu (ef aðstæður eru góðar)
Hvaða vandamál í jarðhitarannsóknnum auðvelda mælingarnar lausn á?	
	Kortlagning jarðmyndana á jarðhitasvæðum í þrívídd, þ.e.a.s. stefnu og halla upphlaðinna jarðlaga, innskota, misgengja og sprungna
	Flokkun vatnsleiðara eftir uppruna (t.d. hvort um er að ræða jarðlagamót, sprungu eða gang), stefnu og halla
	Gerð spár um legu vatnsleiðara sem nota má sem grundvöll fyrir staðsetningu nýrra borholna
	Ákvörðun á ríkjandi spennusviði og legu vatnsleiðara gagnvart því

Borholusjain sem notuð var við mælingar í holu HS-51 er af gerðinni BHTV frá Robertson Geologging í Bretlandi. Notkunar svið og aðrir eiginleikar hennar eru sýndir í töflu 7.

Tafla 7: Samanburður á borholusjám frá Robertson Geologging. Borholusjá af gerðinni BHTV var notuð við mælingarnar í HS-51. Borholusjá af gerðinni HRAT kom á markað í mars 2001. Notkunar svið hennar fellur enn betur að íslenskum aðstæðum, sérstaklega hvað varðar hitapol, hámarkskapallengd og hámarksþvermál borholu.

	BHTV*	HRAT**
Notkunar svið		
Tegund borholu	Ófóðruð, vatnsfyllt	Ófóðruð, vatnsfyllt
Þvermál borholu	6,7 - 15 cm 2,6 - 5,9 ”	4,5 - 40 cm 1,8 - 15,7 ”
Hámarkslengd mælikapals (fjórleiðari)	1500 m	2000 m
Hámarkshitastig	70 °C	85 °C
Hámarksþrýstingur	20 MPa (2000 m)	20 MPa (2000 m)
Mælingahraði	2 m/min	3 m/min
Aðrir eiginleikar mælitækis		
Þvermál	4,5 cm	4,2 cm
Lengd	1,92 m	1,7 m
Þyngd	23 kg	12 kg

* Borehole Televiewer

** High Resolution Acoustic Televiewer

Borholusjár af þessu tagi starfa á þann hátt að frá hljóðgjafa í tækinu, sem er rörlaga, er sent hljóðmerki og endurvarpstími og endurvarpsstyrkur merkisins frá afmörkuðum bletti á borholuveggnum mældur. Borholusjaini er haldið í miðri borholunni með fjöðrum sem spenntar eru út í borholuvegginn. Hljóðgjafinn snýst um lengdarás tækisins meðan það er dregið upp eftir borholunni og nær þannig að byggja upp samfellda mynd af öllum veggnum allan hringinn. Algengast er að sýna holuvegginn eins og innra byrðið á útflöttum sívalningi sem svarar til holunnar og skorinn hefur verið langsum, en hitt er einnig til að varpa myndinni á ytra byrðið á sívalningnum og líkja eftir ljósmynd af borholukjarna með því að sýna sívalninginn í þrívídd. Um tvenns konar myndir er að ræða fyrir hvora vörpunina sem valin er. Annars vegar er um að ræða mynd sem sýnir endurvarpstímann og endurspeglar þannig vídd borholunnar og allar óreglur í henni, og hins vegar mynd sem sýnir styrk hljóðendurkastsins. Styrkur hljóðendurkastsins er mjög háður áferð borholuveggjarins og því hvernig hann veit við hljóðgjafanum. Sléttir, harðir fletir sem liggja hornrétt á hljóðgeislann frá miðju holunnar gefa sterkt endurkast, en mjúkir, óreglulegir fletir með grófa áferð og fletir sem víkja mikið frá hornréttri stefnu á hljóðgeislan gefa dauft endurkast. Þar sem sprungur og lagmót skera borholuna verða oft breytingar í vídd, hörku og áferð. Þessar breytingar koma misjafnlega vel fram í endurkaststíma og endurkaststyrk og er því oftast stuðst við báðar gerðir mynda við túlkun mælinganna. Yfirleitt er það þó svo að styrkur endurkastsins gefur greinilegri mynd af

legu jarðlaga og sprungna en gefur ekki eins vel til kynna hvort jarðlögin hafa vaskast út eða hvort hefur hrunið úr sprungum. Endurvarpstíminn gerir hins vegar kleift að ráða í slíkt.

A.2 Mælingar í HS-51 og niðurstöður þeirra

Myndirnar sem öfluðust með mælingunni eru sýndar á mynd 15. Einungis er sýndur styrkur hljóðendurkastsins frá borholuveggnum, og er honum varpað bæði utan á sívalning og innan á hann útflattan. Sterkt endurkast er sýnt með gulum lit en lágt með rauðum og stefnur í láréttu plani sýndar með áttamerkingum, sem miðaðar eru við segulnorður. Auðvelt er að átta sig á stefnu sprungna og annarra flata á þrívíddarmyndinni af borholuveggnum. Á hinni myndinni, þar sem sívalningurinn hefur verið fluttur út, koma fletir sem skera holuna fram sem 360° harmónískar sveiflur. Stefnu mesta halla má þá lesa af áttaskalanum við lággildi sveiflunnar og hallan má reikna út frá mesta útslagi sveiflunnar og vidd borholunnar. Við ákvörðun á stefnu og halla er þó nákvæmast að fella hornafall (sínus eða cósínus) sem best að skurðflötunum á myndinni. Þessari aðferð var beitt við túlkunina á mælingunum í holu HS-51 og eru ferlarnir sýndir á mynd 15.

Tafla 8: Niðurstöður mælinga með borholusjá í HS-51.

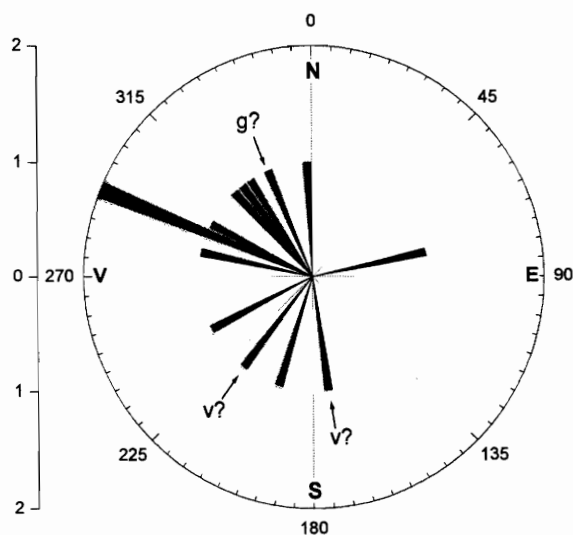
Nr.	Dýpi (m)	Stefna hallans (austur frá segulnorðri) (°)	Halli frá láréttu (°)	Athugasemdir
1	357,4	321	54	Sprungna
2	357,5	293	63	Sprungna
3	357,7	290	66	Sprungna
4	359,0	337	64	Gangur?
5	364,3	217	60	Sprungna, vatnsleiðari?
6	365,7	173	60	Sprungna, vatnsleiðari?
7	369,9	241	38	Sprungna, óskýr
8	370,1	197	66	Sprungna
9	372,9	326	74	Sprungna
10	373,9	75	46	Sprungna
11	374,7	315	73	Sprungna, óskýr
12	383,5	358	39	Sprungna, óskýr
13	384,6	281	72	Sprungna, óskýr
14	391,2	299	74	Sprungna
Meðaltal		278,8	60,6	
Staðalfrávik		75,8	12,3	

Upplýsingar um stefnu og halla sprungna og holunnar sjálfar er að finna á fjórum ræmum til hliðar við litmyndirnar tvær af borholuveggnum. Á fyrstu ræmunni er hver sprungna sýnd sem depill með pílu. Staðsetning depilsins miðað við skalann á ræmunni gefur til kynna halla sprungunnar í gráðum frá láréttu, en stefna pílnunnar sýnir stefnu hallans í láréttu plani miðað við að segulnorður vísi upp. Næstu tvær ræmur sýna

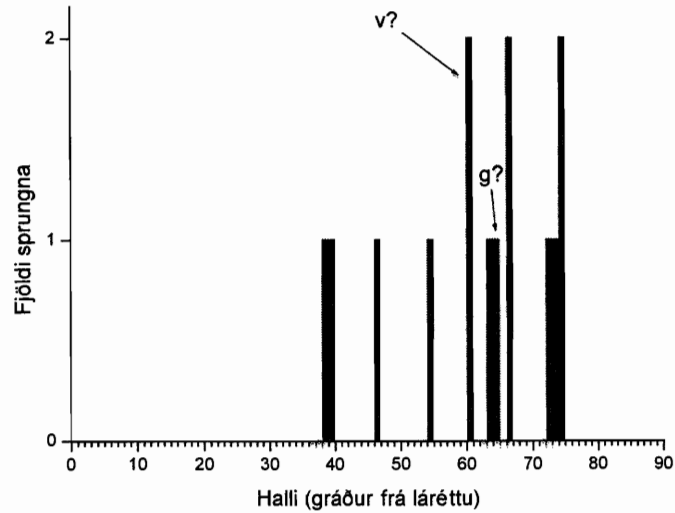
langsnið gegnum lengdarás borholunnar í tvær mismunandi stefnur. Sprungurnar koma fram sem strik á sniðunum. Síðasta ræman sýnir svo halla borholunnar sjálfra á sama hátt og á fyrstu ræmunni. Rétt er að geta þess að halli sprunganna hefur verið leiðréttur fyrir halla holunnar og sama á við um stefnurnar.

Alls sáust 14 skurðfletir nægilega skýrt á holuveggnum til þess að ákvarða mætti stefnu þeirra og halla. Allir eru þeir taldir vera sprungur nema einn (nr. 4 í töflu 8) sem sennilega er efri brún 15 cm þykkis berggangs. Af töflu 8 og myndum 12 og 13 sést að hallastefna allra sprungnanna nema tveggja er vestlæg og ríkjandi stefna til norðvesturs (þ.e. ríkjandi strik er til norðausturs). Þessar stefnur eru í ágætu samræmi við legu svæðisins gagnvart vestara rekbeltinu og jarðlagahalla á svæðinu, þ.e.a.s. ríkjandi strikstefna sprungnanna er samsíða rekbeltinu og sprungurnar skera jarðlögin undir stóru horni.

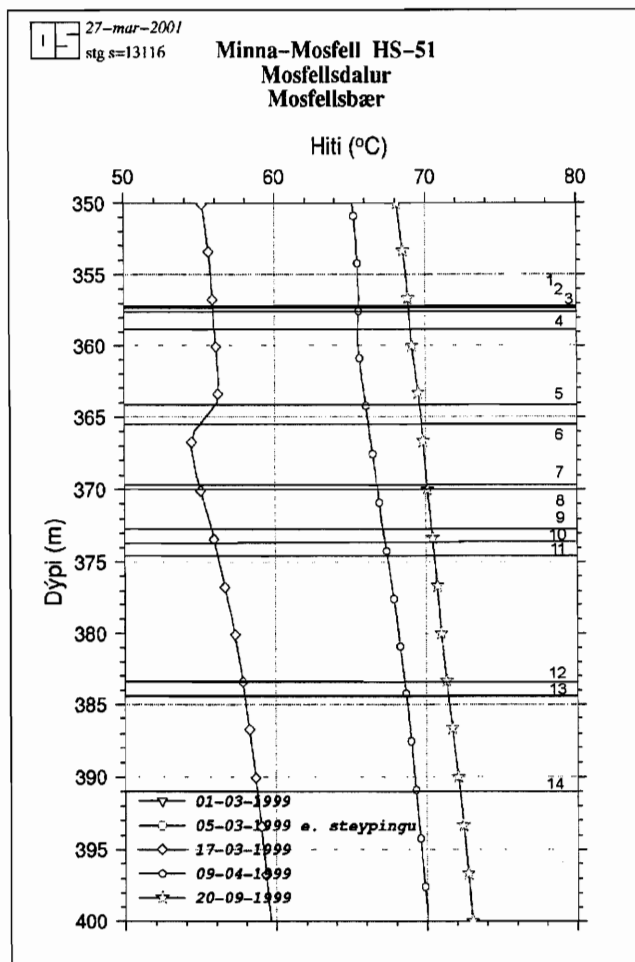
Samanburður við hitamælingar í holu HS-51 (sjá mynd 14) gefur ekki til kynna mikla vatnsleiðni í þessum sprungum. Frá þessu er þó undantekning. Ein vatnsæð kemur fram í hitamælingunni frá 17. mars 1999 á dýptarbilinu 364-366 m. Borholusjain sýnir tvær sprungur á þessu bili, aðra í 364,3 m en hina í 365,7 m, og má telja víst að vatnið komi úr þeim, annarri hvorri eða báðum. Það er athyglisvert að stefna sprungnanna viku verulega frá ríkjandi sprungustefnu. Hér er því komin fram vísbending um að vatnsleiðni sprungna á þessu svæði sé háð stefnu þeirra. Þetta gætu t.d. verið ungar sprungur myndaðar í öðru spennusviði en hinar sem ekki leiða vatn.



Mynd 12: Stefna 13 sprungna og eins gangs (merktur sem g?) sem sáust með borholusjá á dýptarbilinu 395-357 m í holu HS-51. Með stefnu er átt við lárétta stefnu mesta halla sprungunnar og sýnir myndin fjölda sprungna á hverju 5° bili. Stefnan er mæld í austur frá segulnorðri. Fjöldi sprungna á hverju bili er táknaður með fjarlægð frá miðju. Sprungur sem sem leiða vatn eru merktar sem v?



Mynd 13: Halli sprungnanna (og gangsins) á mynd 12. Hallinn er mældur frá lárétu.



Mynd 14: Samanburður á hitamælingum í holu HS-51 og legu sprungna sem sáust í holunni með borholusjá. Sprungurnar eru auðkenndar með láréttum strikum og númeraðar eins og í töflu 8.

A.3 Hvaða ályktanir má draga af tilrauninni

1. Tilraunin með að beita borholusjá til að greina sprungur í holu HS-51 tókst vel.
2. Borholusjain starfaði eðlilega og skilaði ágætri mynd af borholuveggnum þrátt fyrir að holan sé um 7,5 cm víðari en borholusjain er gerð fyrir.
3. Alls sáust 14 skurðfletir nægilega skýrt á holuveggnum til þess að ákvarða mætti stefnu þeirra og halla. Allir eru þeir taldir vera sprungur nema einn sem sennilega er efri brún berggangs.
4. Hitamælingarnar sýna að einungis ein eða tvær sprungnanna eru vatnsleiðandi og víkur stefna þeirra verulega frá ríkjandi sprungustefnu á þessu svæði. Þetta er vísbending um að vatnsleiðni sprungna á svæðinu sé háð stefnu þeirra. Tilraunin vekur því upp vonir um að mælingar með borholusjám geti í framtíðinni auðveldað jarðhitaleit og staðsetningu nýrra borholna.

Mynd 15: Myndir sem gerðar voru af borholuvegg holu HS-51 með borholusjá ásamt niðurstöðum af stefnu- og hallamælingum á sprungum sem skera borholuvegginn og á holunni sjálfri (sjá næstu síður). Nánari skýring í texta.



Robertson Geologging Ltd.

Borehole: HS51-4

Iceland

top of borehole.....

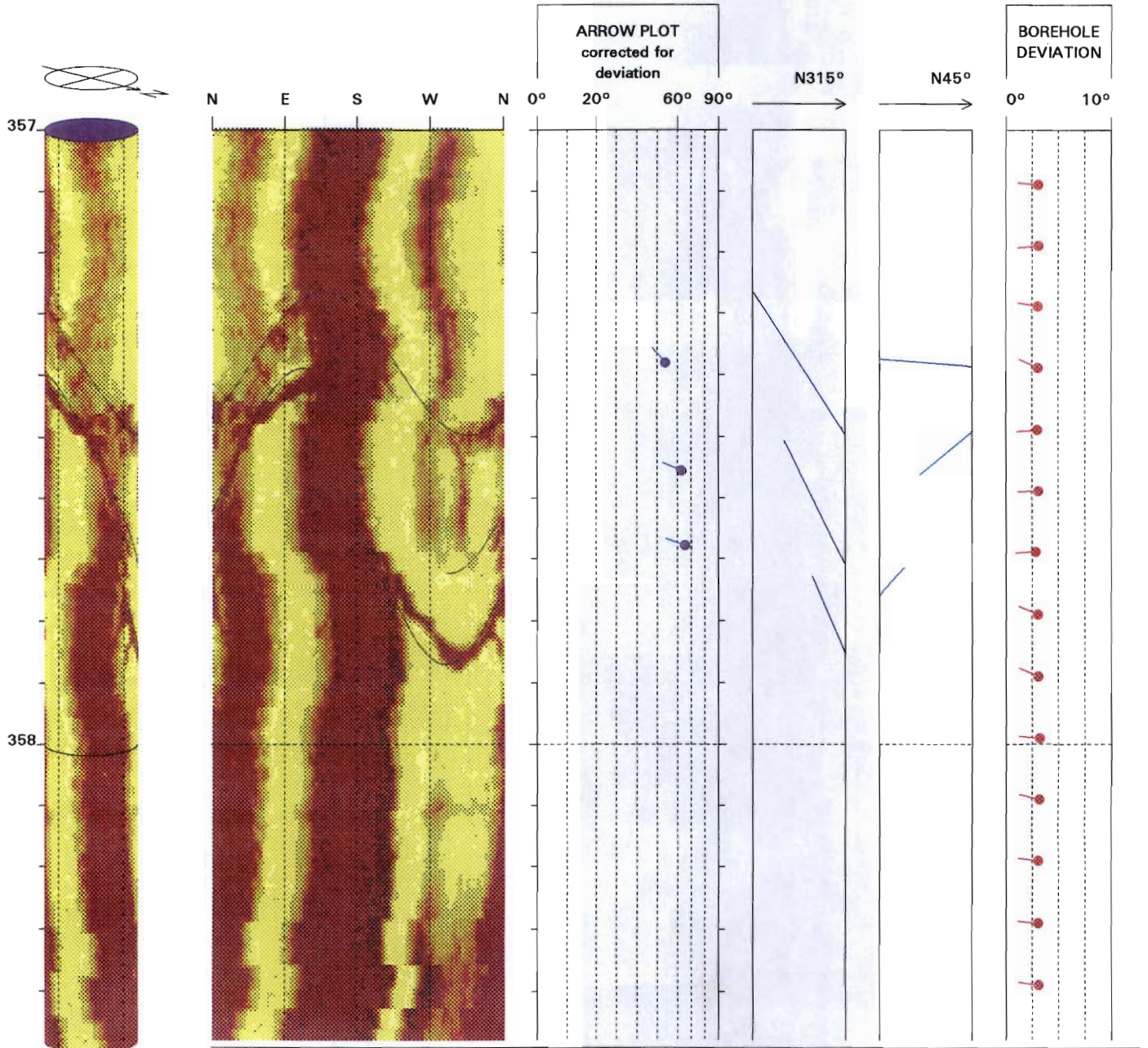
East: -
 North: -
 Alt: -

North ref. is magnetic
 Depth units are metres
 Vertical scale: 1/10
 Horiz scale = vert scale

Zone from 395.000 to 357.000m

Borehole diam: 15.000cm
 Vertical = borehole-axis
 Amplitude

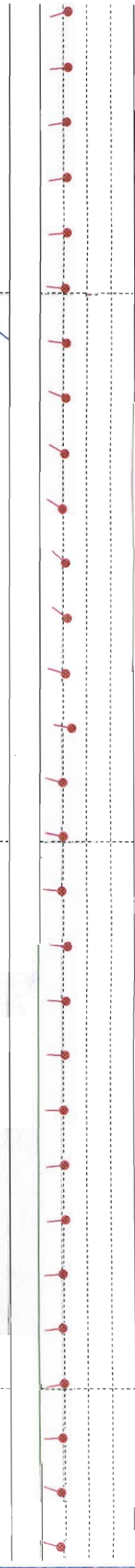
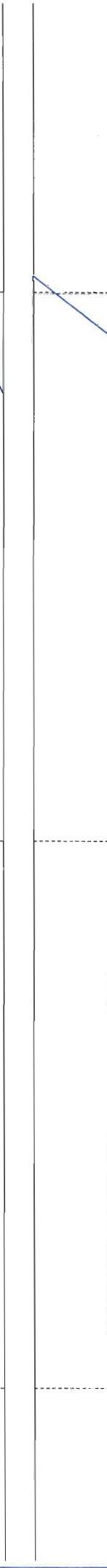
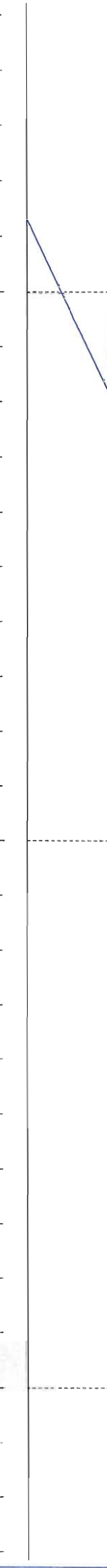
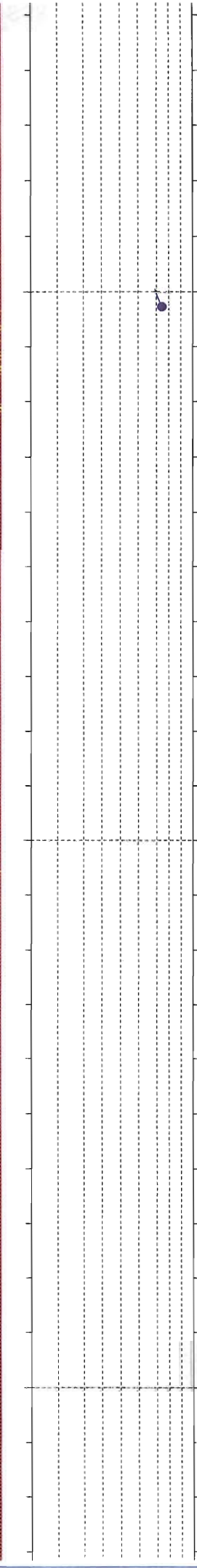
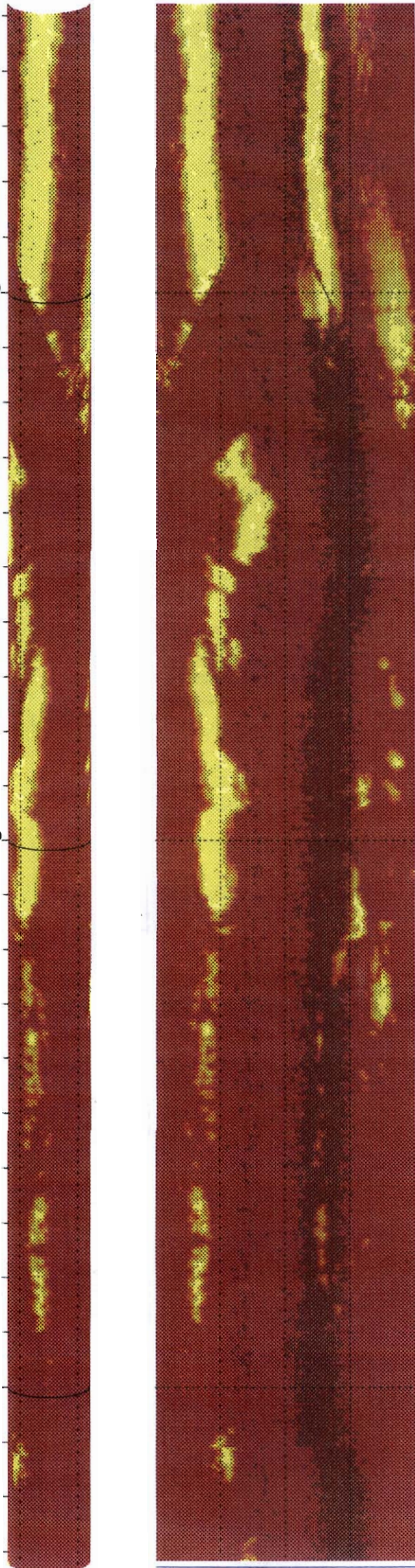
— BEDDING ● Identified units
 — FRACTURE ●



359

360

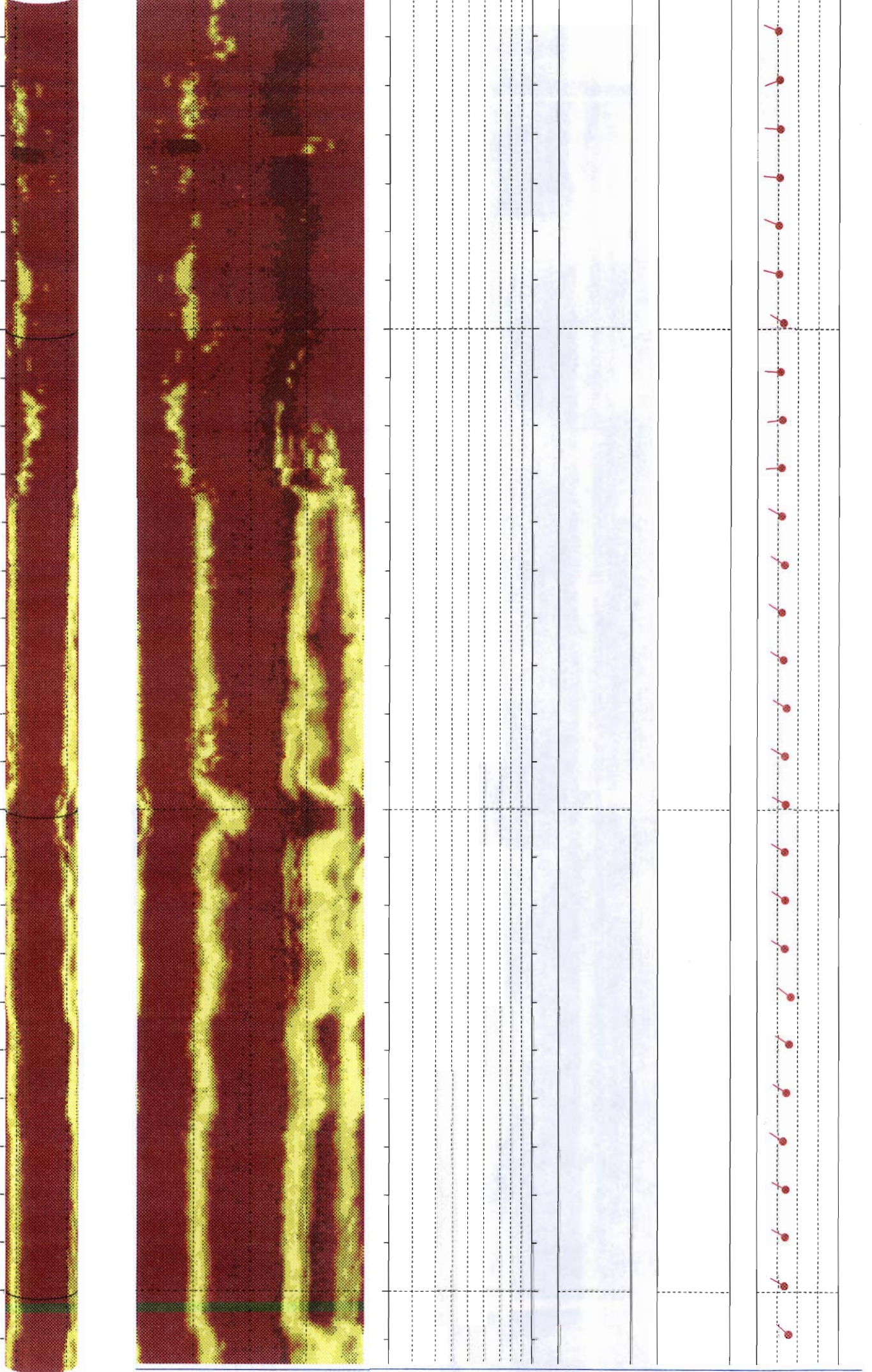
361



362

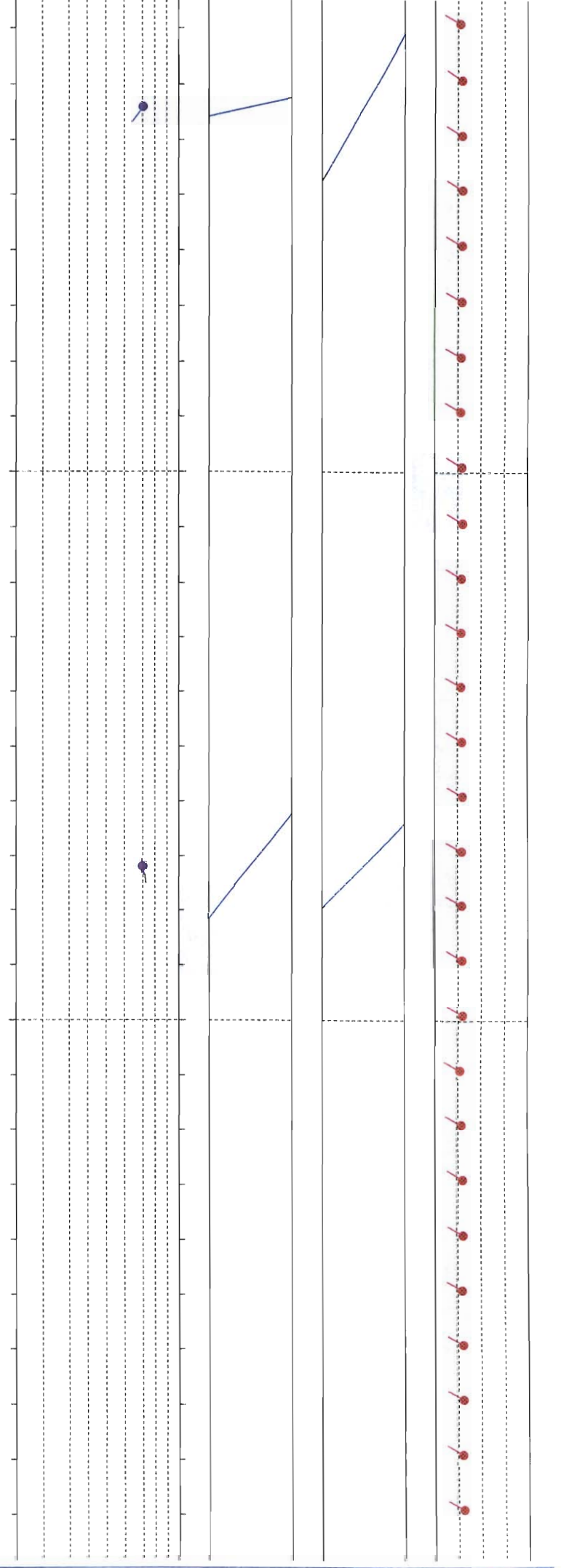
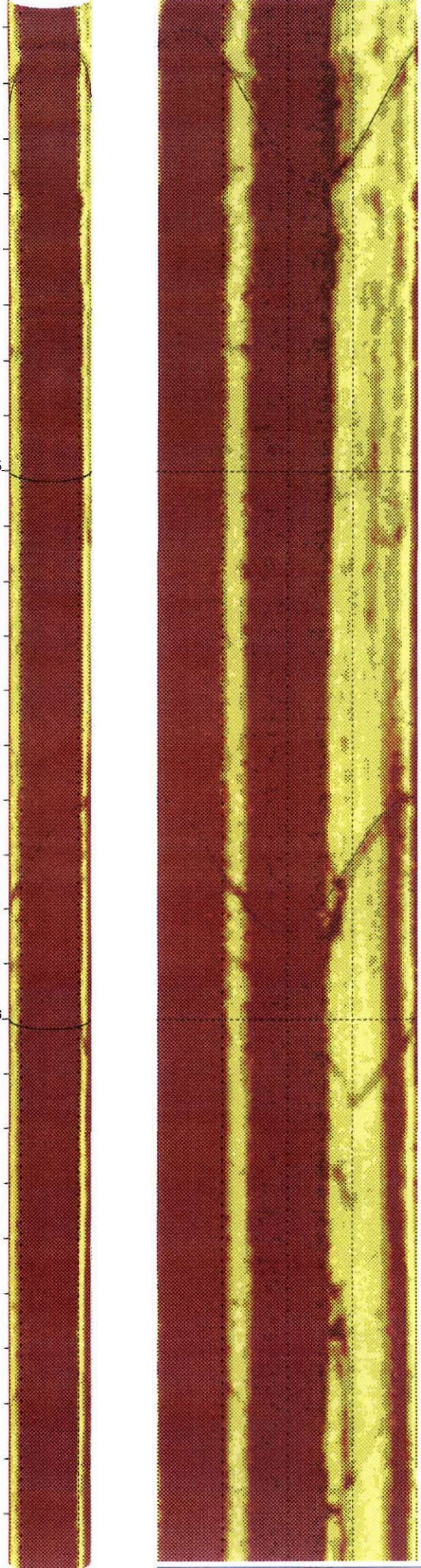
363

364



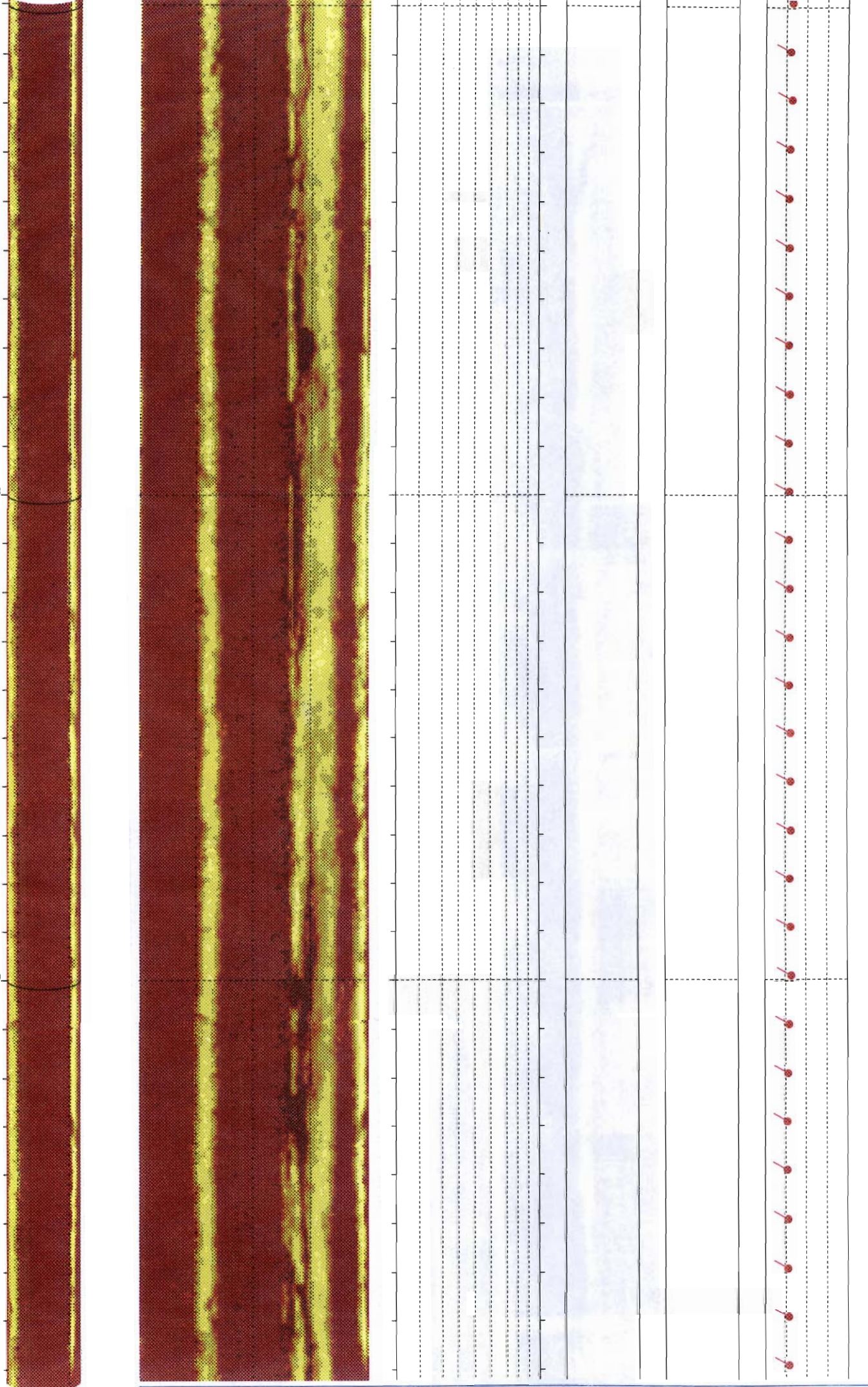
365

366



368

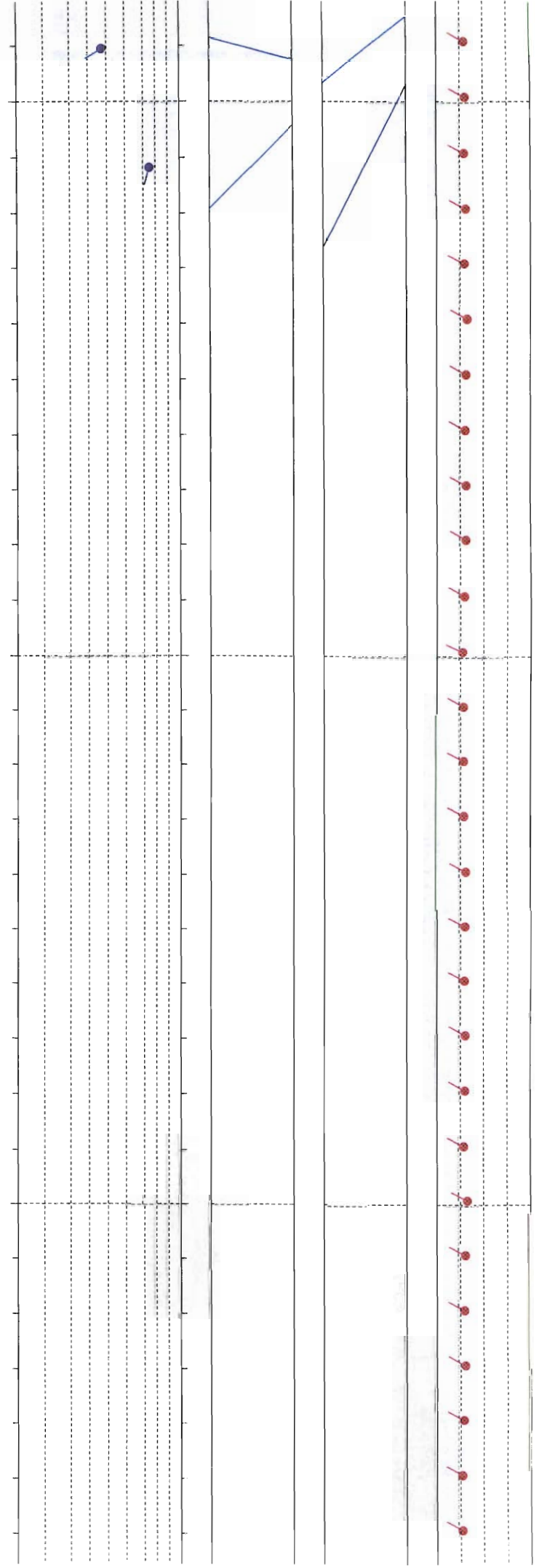
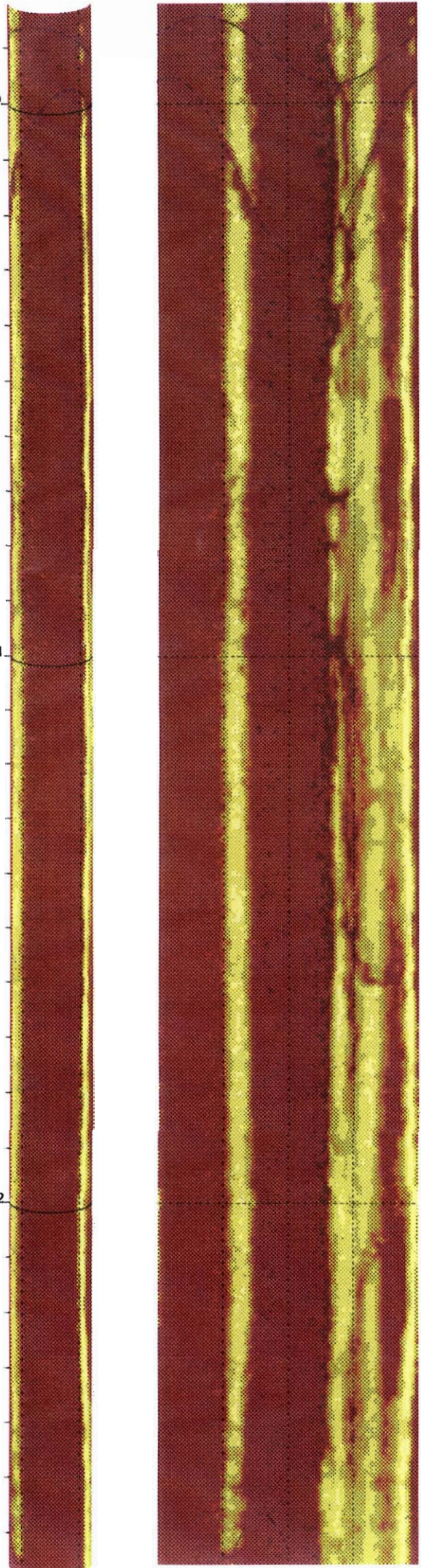
369



370

371

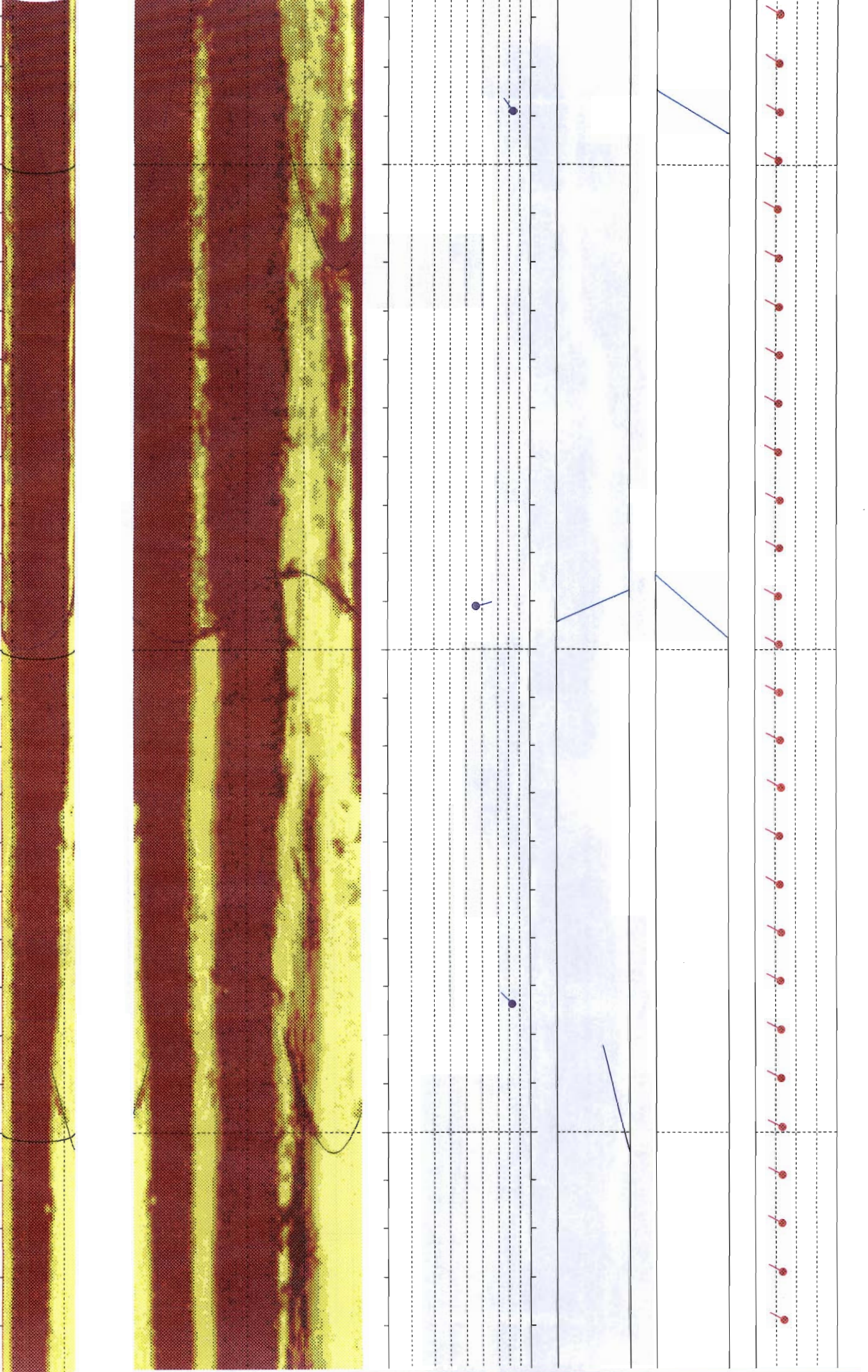
372



373

374

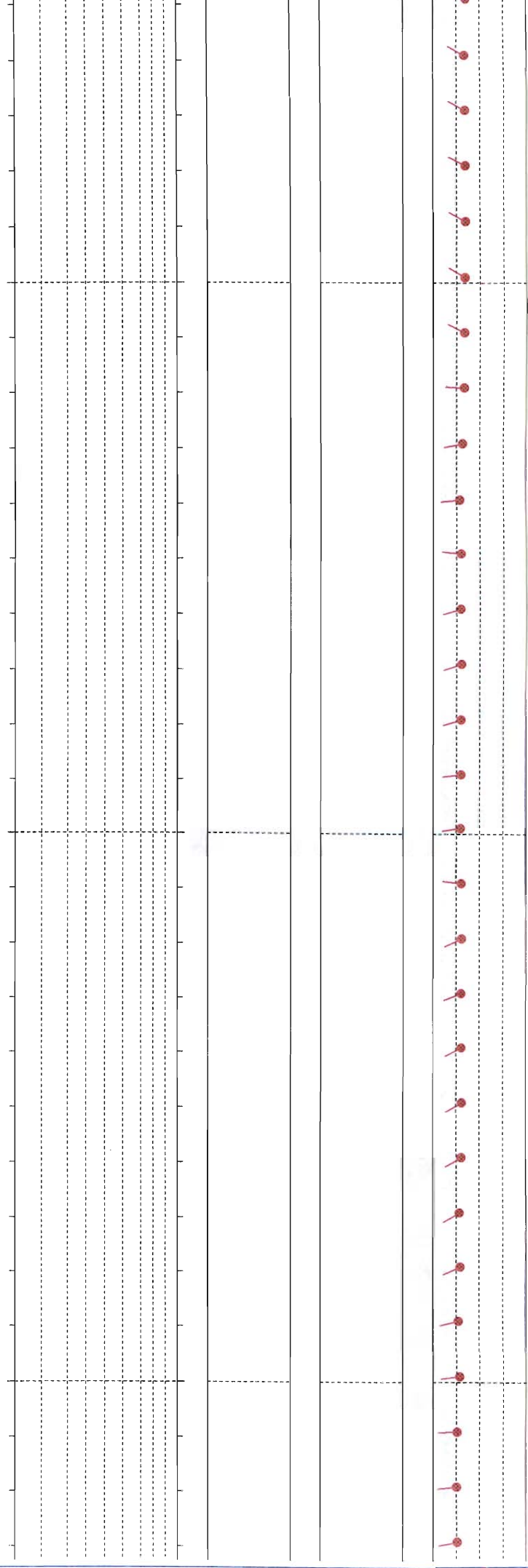
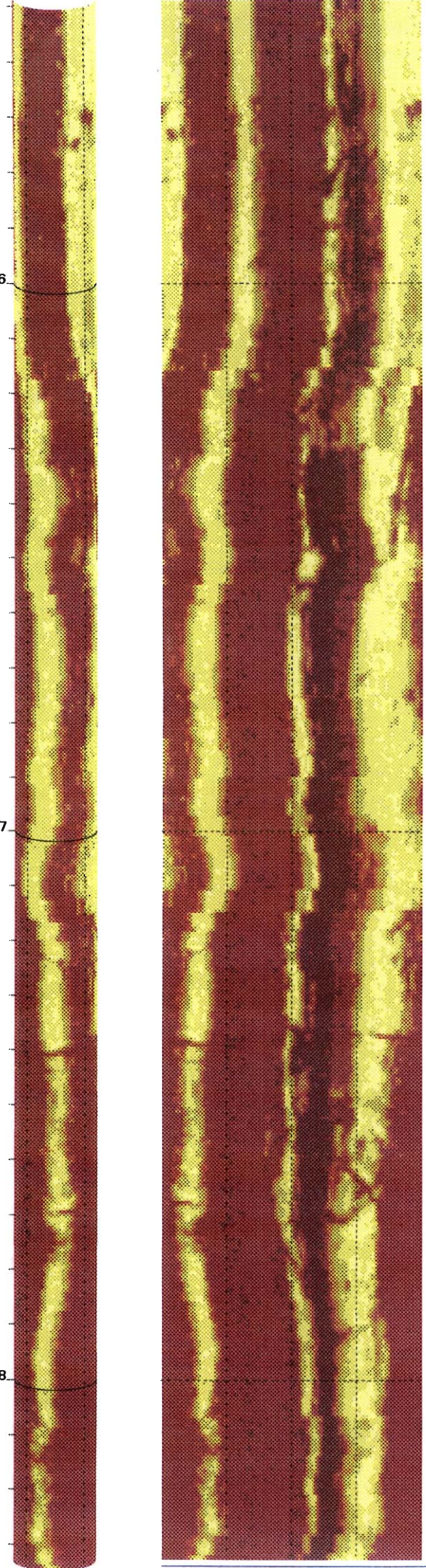
375



376

377

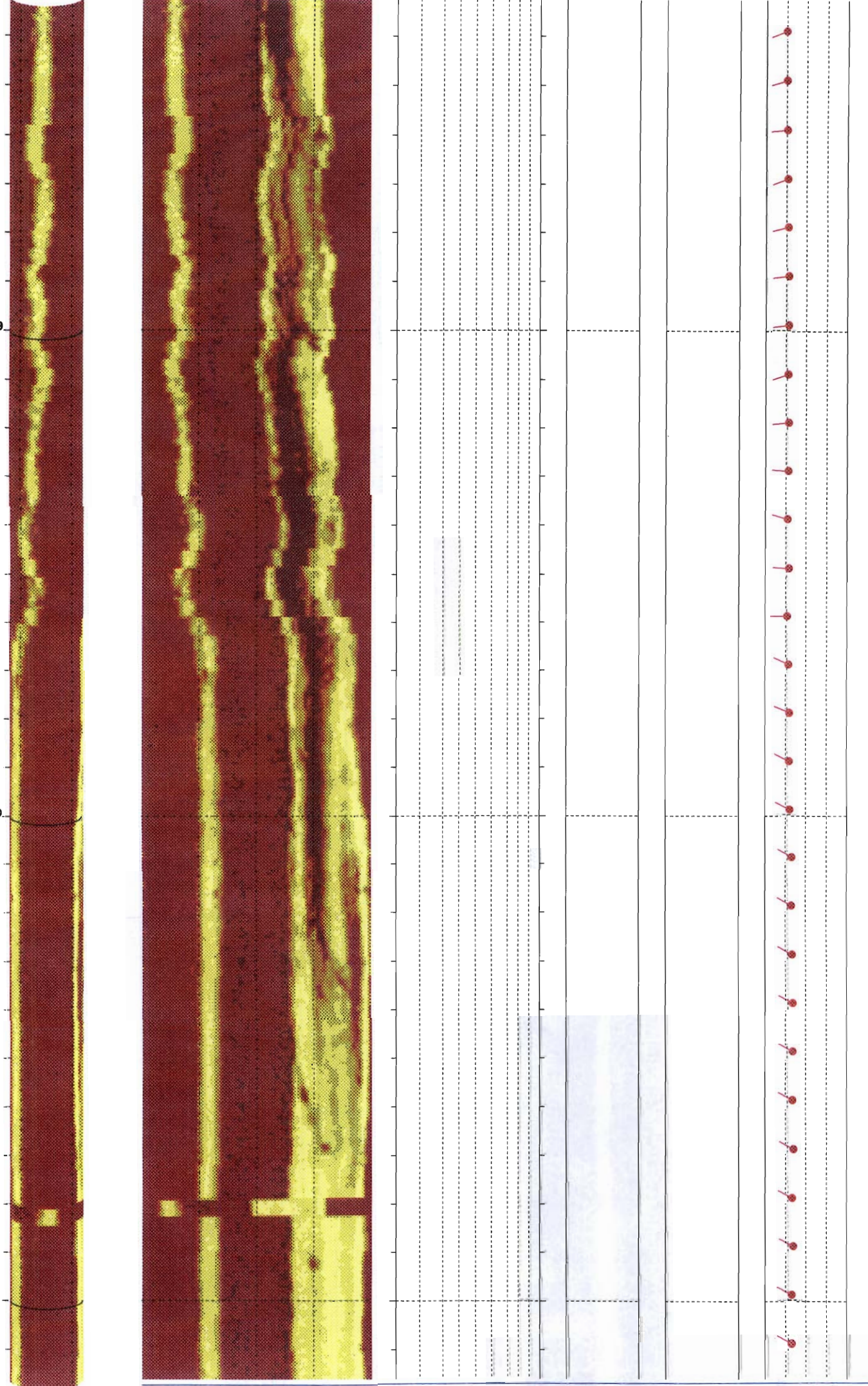
378



379

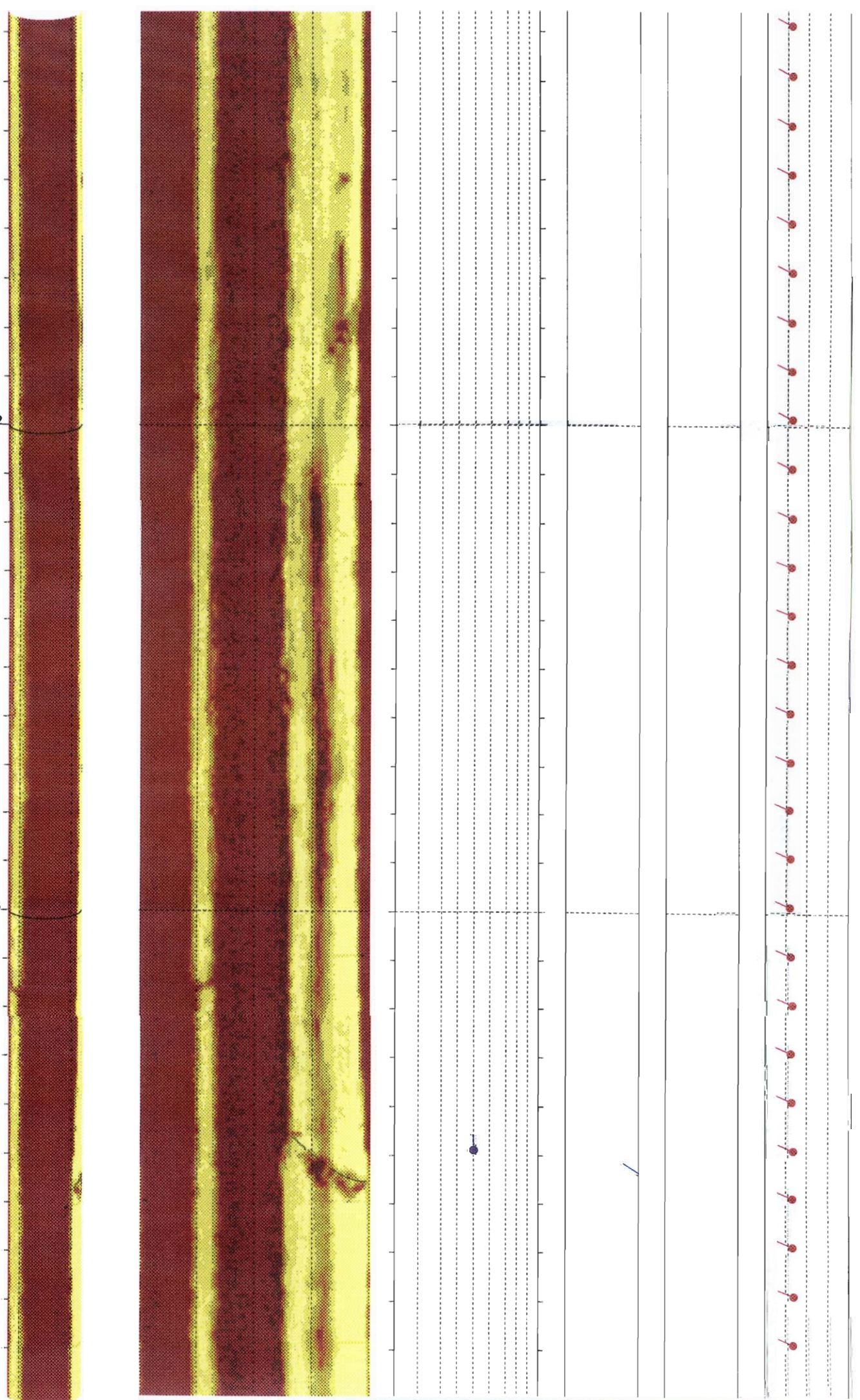
380

381



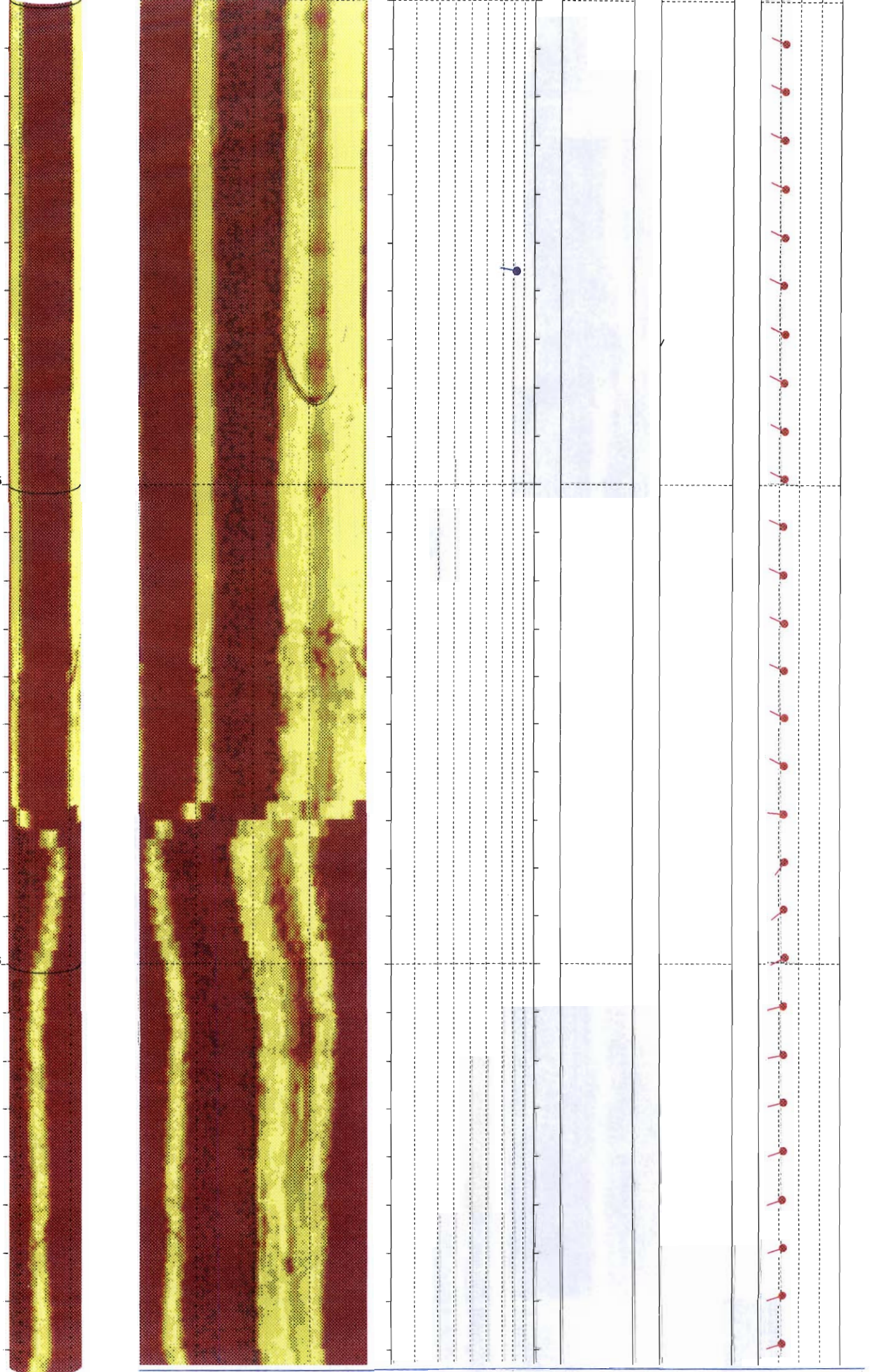
382

383



385

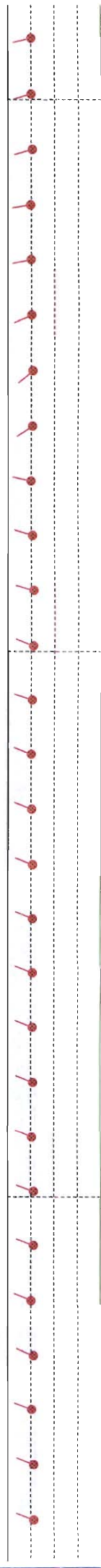
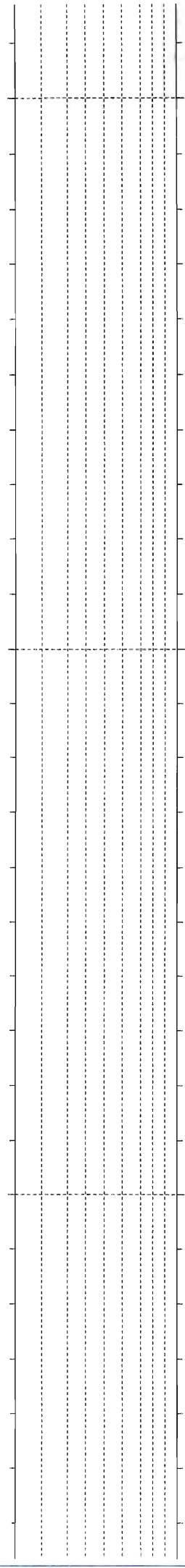
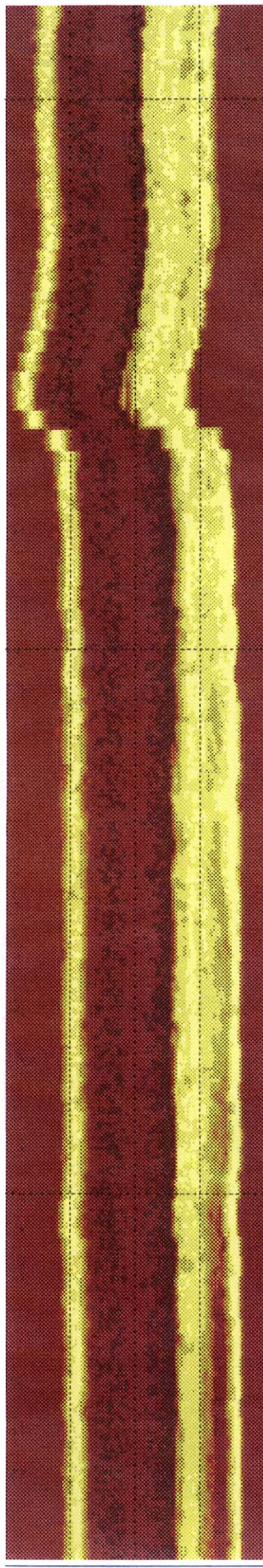
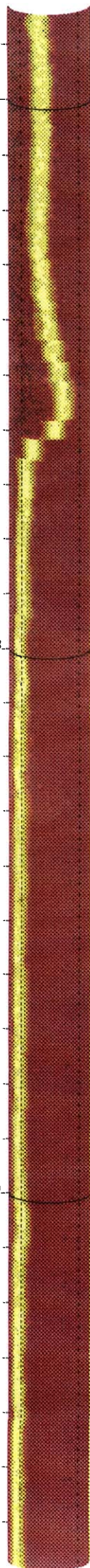
386



387

388

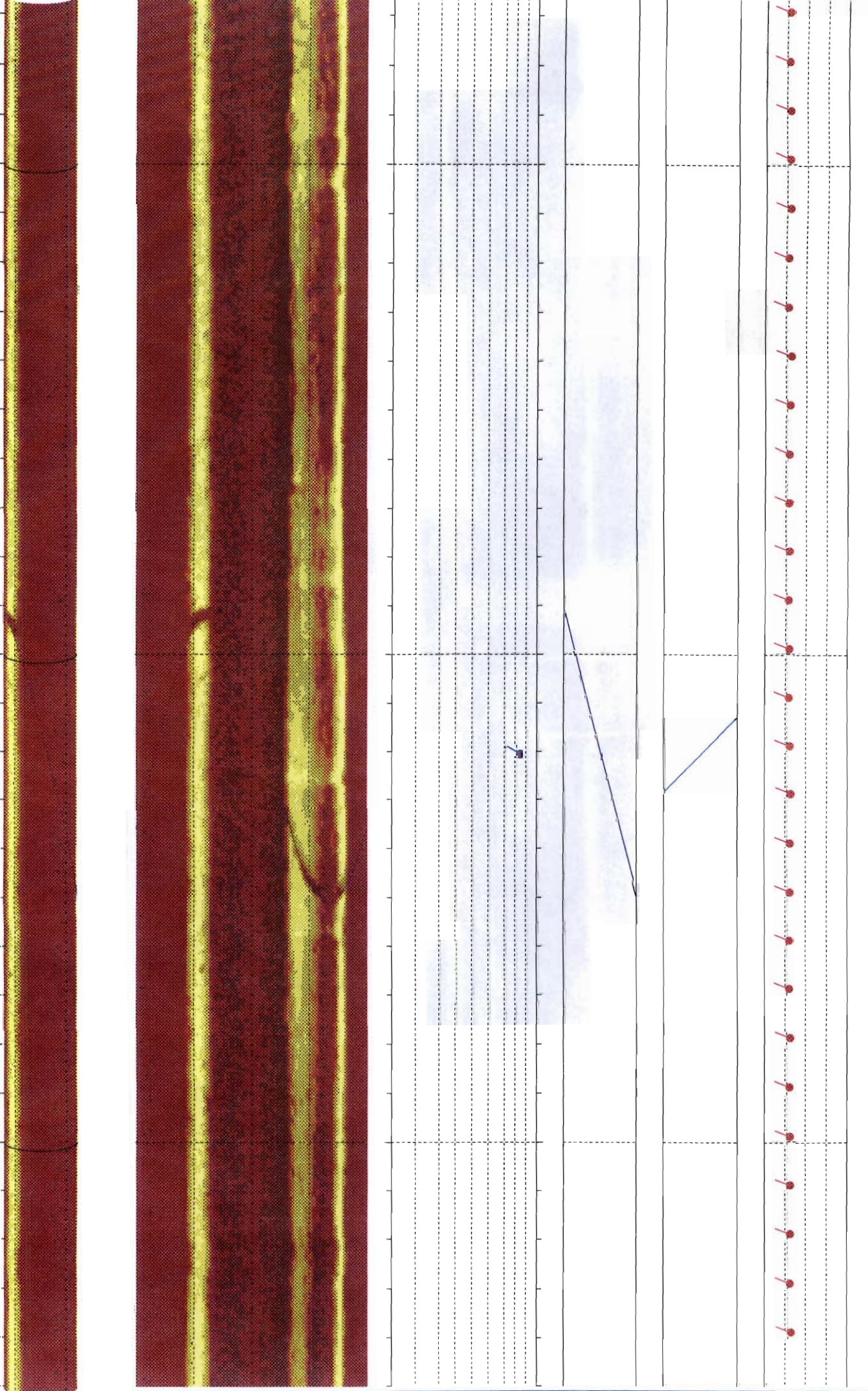
389



390

391

392



393

394

395

