

Efnasamsetning ummyndaðs bergs

í Kröflu.

Jan Swantesson

Hre fna Kristmannsdóttir

Orkustofnun

Jarðhitadeild

Efnasamsetning ummyndaðs bergs

í Kröflu

Jan Swantesson

Hrefna Kristmannsdóttir

OSJHD7822

April 1978

Efnisyfirlit:

Agríp

Inngangur	s.	1
Aðferðir við efnagreiningar	s.	1
Niðurstöður efnagreininga	s.	2
Ummýndun bergs á jarðhitasvæðum	s.	10
Jarðlög og ummýndun bergs í Kröflu	s.	12
Ahrif ummýndunar á efnasamsetningu bergs í Kröflu	s.	15

Töflur:

Tafla 1	Greiningar á aðalefnum	s.	3
Tafla 2	Sporefnagreiningar	s.	7
a)	Röntgenfluorescensgreiningar á heildarsýnum	s.	7
1b)	Röntgenfluorescensgreiningar á útskildu kalsíti	s.	8
1c)	Greiningar með emissionspektrograf	s.	8

Myndaskrá:

1	Dreifing Sr, Zr, Y og NB með dýpi	fnr. 16242	s. 9
2	Ummýndunarbelti	fnr. 11929	s. 11
3	Jarðlagasnið S-N gegnum borsvæðið í Kröflu	fnr. 14828	s. 13
4	Ummýndunarbelti í berggrunni á Kröflusvæði	fnr. 16017	s. 14
5	TiO ₂ /MgO í bergi á Kröflu-Námafjallssvæði og í svarfi frá borholum í Kröflu	fnr. 16828	s. 17
6 7 8	Magn aðalefna á móti vatnsinnihaldi í bergi frá Kröflu	fnr. 16237 16238 16239	
9 10 11	Magn aðalefna og Sr á móti Zr magni í bergi frá Kröflu		s. 18, 19, 20
12	Ca/Sr hlutfall á móti dýpi í svarfi frá KG-4 og 10 og magn kalsíts, epidóts og preníts í bergi	fnr. 16244 16245 16241	s. 21, 22
13	Jarðlagasnið og nokkrar niðurstöður þunnsneiðatalninga í KG-4 og 10	fnr. 16303	s. 24
		fnr. 16305	s. 25

Ágrip:

Birtar eru efnagreiningar á aðalefnum og nokkrum spor-efnum í svarfsýnum og nokkrum kjarnasýnum frá borholum í Kröflu. Áhrif efnaflutninga við ummyndun berggrunns í Kröflu eru metin í ljósi þessara greininga og fyrri efna-greininga, sem gerðar hafa verið á bergi frá Kröflusvæði. Áhrif efnaflutninga sjást best á magni rokgjörmu efnanna. Hlutföll á milli aðalkatjóna hafa ekki breyst verulega. Talsverð útskoluun hefur þó orðið á alkalímálmum, einkum í efsta ummyndunarbeltinu og mest í móbergi. Hlutfalls-leg hækjun á magníummagni sést þar einnig. Þótt öll hin aðalefnin séu hreyfanleg við ummyndunina hafa ekki orðið flutningar á þeim yfir langar vegalengdir.

Inngangur

Í þessari skýrslu eru teknar saman niðurstöður efnagreininga á svarfsýnum og tveim kjörnum frá borunum á Kröflusvæði. Birtar eru efna-greiningar, sem gerðar voru á síðasta ári og ekki hafði birst áður í skýrslum eða greinum. Í línumritum í skýrslunni eru einnig notaðar eldri efna-greiningar, sem birtar voru í skýrslu OSJHD 7641, ágúst 1976. Tilgangur greininganna var auk þess að athuga samsetningu bergs á svæðinu að gera sér grein fyrir áhrifum ummyndunar á efnasamsetningu bergsins og athuga hreyfanleika efnanna. Við breytilegar aðstæður. Auk aðalefna basalts voru greind nokkur sporefni, bæði efni sem talin eru lítt hreyfanleg við jarð-hitaummyndun og efni sem eru auðhreyfanleg. Við val efna var einnig haft í huga sennileg fraksjonering miðað við aðalefni við ummyndun. Jan Swanteson byrjaði á þessu verkefni og vann mikinn hluta greininganna á meðan hann var styrkþegi á Norrænu Edlfjallastöðinni.

Efnagreiningaaðferðir

Aðalefni: Na og Mg voru greind í C-lausn á atomicabsorbsjontæki eftir stöðluðum aðferðum.

Si, Al, Ti, Fe (heildarjárn), Mn, Ca, K og P voru ákvörðuð með röntgen-fluorescensaðferðum. Notaðar voru pillur úr bergdufti, sem var brött með lanthanoxyði og lithiumtetaborati og glerperlan síðan mulin niður og duftið pressað í pillu. Notað var 0.250 mg bergduft og 2 g La₂O₃:Li₂B₄O₇ í hlutfallinu 1:8. Ca og K var einnig mælt á atomicabsorbsjonstæki í sýnum úr KG-10. Eru þau gildi talin nákvæmari en gildin frá röntgenfluorescensgreiningunni vegna betri samkvæmni í greiningu bergstaðla. Við allar greiningar voru notaðir íslensku bergstaðarnir A-THO, I-DAG, B-MAF, B-ALK og B-FSP.

Tvígilt járn var ákvæðað með því að oxa bað í upplausn með ammoniumvanadati og síðan var bætt í ákveðnu magni af ammoniumárnsúlfat-lausn og síðan titrerað með kalíumdíkrómati. Er þetta sú staðlaða aðferð sem heitt hefur verið á jarðfræðistofu Háskólags. Eldfjallastöð og árannsóknarstofunni í Keldnaholti síðustu briú árin.

Bundið vatn var mælt með afbrigði af Penfield aðferð. Koldioxíð var mælt með aðferð eftir Shapiro og Brannock (1955). Þessi aðferð er ekki mjög nákvæm, en fljótleg. Er hún eina aðferðin, sem hægt var að útbúa.

tæki til án þess að panta glervörur frá útlöndum. Í þöntun eru nú gler-vörur til að koma upp nákvæmari mæliaðferð fyrir koldíoxyð í föstu efni.

Sporefni: Sr, Y, Zr og Nb voru mæld með röntgenfluorescens-aðferðum, í pillum úr 0.950 g bergdufti og 0.050 g SiO₂ með 2% Mo blandað í sem innri staðal. Rb var greint með sömu aðferð, en Rb innihald sýnanna var svo lágt að niðurstöðurnar eru illa marktækar.

Í fáeinum sýnum úr KG-4 og KG-10 var mælt Ni, Cr og V með emissjons-spektrograf. Of hátt frúvik fékkst við endurteknar mælingar á sömu sýnum til þess að við teljum þessar mælingar nothæfar til annars en að sýna stærðargráðu á magni efnanna í sýnunum.

Við greiningar á sporefnum voru notaðir alþjóðabergstaðlarnir, Sy-1, G-2, BCR-1, GSP-1, BHVO-1, AGV-1, auk eins austurþýsks bergstandards, sem til er á Jarðfræðistofu Háskólans.

Niðurstöður efnagreininga

Í töflu 1 eru sýndar efnagreiningar á aðalefnum í svarfi úr borholum KG-10, KG-5 og KW-2. Reiknaður CIPW norm, með Fe III/FeII leiðrétt með QFM buffer, er einnig sýndur í töflunni fyrir hverja greiningu. Heildarsumma efnanna er í flestum tilvikum talsvert lægri en æskilegt væri. Brennisteinn hefur ekki verið greindur í sýnunum. Einar Gunnlaugsson (1977) hefur mælt í svarfsýnum frá Kröfluholum allt að 5% brennistein. Gæti þetta verið orsök þess hversu lág summa fæst. Samsvörun þessara greininga við fyrri greiningar er góð.

Í töflu 2 eru sýndar sporefnagreiningar í svarfi úr borholum KG-4 og KG-10. Á mynd 1 er dreifing Sr, Zr, Y og Nb sýnd á móti dýpi.

Basaltsýnin (hraun, innskotsberg og móberg) hafa samsetningu, sem í flestum tilvikum liggur nálægt mörkunum mettað þóleit - ólivinþóleit. Þrjú móbergssýni úr kjarnanum í KG-5 frá 789.5 - 795.5 m dýpi eru þó talsvert frábrugðin. Þau hafa mun meira magn af Al₂O₃ Na₂O K₂O og Na₂O og minna af SiO₂ og TiO₂ en hin sýnin. Í CIPW normi þeirra er nefelín. Eina líklega skýringin á þessu er að bæði basaltbrotkorn og gler frá þessum hluta kjarnans eru stórdilótt. Fenokristallarnir eru mikið ummyndaðir albitiseraðir og fylltir kalsíti og kvarsí og er miðja þeirra oft mjög grautarleg og hefur ekki vel-próða ljóseiginleika. Alkalifeltpóthafa verið greind á örgreini úr þessum sýnum, m.a. hreint kalifeltpat. Basaltsýni neðst ár kjarnanum er mjög svipað að

TAFLA 1

EFNAGREININGAR ÚR BORHOLUM KG-10, KG-5 og KW-2.

	32-10	278-10	318-10	324-10	334-10	376-10	436-10	460-10
SiO ₂	47.06	47.14	49.01	47.74	47.38	47.66	49.68	47.10
Al ₂ O ₃	12.69	12.59	13.92	12.45	13.12	12.64	12.35	16.81
TiO ₂	.87	1.68	1.90	2.69	1.61	1.85	1.55	1.05
Fe ₂ O ₃	1.77	4.39	2.71	8.81	6.51	3.68	3.91	3.02
FeO	5.70	6.94	8.82	6.89	4.93	7.81	6.97	6.44
MnO	.12	.16	.17	.22	.15	.18	.17	.16
MgO	5.95	5.74	6.14	5.46	6.35	5.56	4.76	5.85
CaO	10.80	10.33	10.86	9.07	11.25	11.50	10.16	13.24
Na ₂ O	1.51	2.35	2.40	2.72	1.68	2.04	2.02	2.12
K ₂ O	.25	.35	.41	.73	.12	.40	.40	.17
H ₂ O	9.24	7.62	2.67	1.78	4.68	2.95	4.64	1.40
P ₂ O ₅	.14	.27	.36	.70	.34	.40	.22	.18
CO ₂	6.9	3.1	.87	.22	2.9	1.8	4.4	.24
Summa	103.00	102.66	100.24	99.48	101.02	98.47	101.23	97.78

CIPW norm, án H₂O og CO₂ og leiðrétt með FMQ buffer.

QZ	7.15	.99	.44		3.31	2.02	7.26	
OR	1.70	2.25	2.51	4.46	.77	2.53	2.57	1.05
AB	14.73	21.72	21.05	23.80	15.30	18.47	18.61	18.70
AN	31.26	24.86	26.93	20.27	30.04	25.85	25.53	37.38
NE								
DI	24.15	24.20	21.90	18.05	22.87	26.93	23.18	24.66
WO	12.30	12.18	11.05	8.98	11.54	13.53	11.60	12.48
EN	6.78	5.76	5.35	3.65	5.74	6.29	5.05	6.33
FS	5.06	6.26	5.51	5.41	5.58	7.10	6.54	5.85
HY	17.97	20.55	21.27	21.18	22.28	18.14	18.03	7.56
EN	10.30	9.85	10.49	8.53	11.29	8.53	7.86	3.93
FS	7.67	10.70	10.78	12.65	10.99	9.62	10.17	3.63
OL				3.46				6.97
FO				1.31				3.45
FA				2.15				3.52
MT	.77	1.27	1.29	1.83	1.28	1.30	1.06	1.16
IL	1.90	3.49	3.74	5.29	3.29	3.76	3.20	2.08
AP	.38	.68	.86	1.68	.85	.99	.55	.43

	500-10	150-10	600-10	624-10	874-10	1080-10	1786-10	2020-10
SiO ₂	51.21	50.08	49.94	54.94	49.24	47.15	51.51	72.91
Al ₂ O ₃	12.42	13.55	12.10	11.81	13.22	12.08	13.56	11.88
TiO ₂	1.35	1.66	1.69	1.95	2.29	1.73	2.12	.48
Fe ₂ O ₃	.64	2.97	1.62	2.28	4.26	4.91	4.86	1.82
FeO	9.01	8.26	10.04	9.31	7.53	7.51	9.47	2.08
MnO	.17	.18	.17	.18	.18	.19	.23	.08
MgO	4.03	5.22	4.66	4.21	4.99	5.65	5.27	.73
CaO	10.97	9.74	11.73	7.70	11.42	12.26	9.32	2.07
Na ₂ O	1.05	1.45	.92	1.79	2.49	1.93	2.67	4.22
K ₂ O	.33	.21	.48	.77	.30	.23	.47	3.04
H ₂ O	5.07	4.77	3.85	3.17	2.34	2.85	2.54	.06
P ₂ O ₅	.26	.28	.32	.76	.44	.26	.22	.09
CO ₂	6.3	2.7	3.8	.25	.26	.40	.09	.09
Summa	102.81	101.07	101.32	99.12	98.96	97.15	102.33	99.55

CIPW norm, án H₂O og CO₂ og leiðrétt með FMQ buffer.

QZ	15.12	9.99	10.82	16.62	2.49	1.04	2.51	30.07
OR	2.13	1.33	3.03	4.76	1.85	1.45	2.80	18.10
AB	9.72	13.14	8.32	15.86	21.94	17.47	22.75	35.99
AN	30.84	31.96	29.35	22.94	25.00	25.26	23.79	4.53
NE								
DI	22.46	14.85	25.63	9.95	25.84	31.62	17.89	4.49
WO	11.20	7.44	12.78	4.95	12.95	15.86	8.90	2.18
EN	4.64	3.33	5.26	1.95	5.77	7.12	3.57	.54
FS	6.62	4.08	7.60	3.06	7.12	8.65	5.41	1.77
HY	15.40	23.55	17.45	23.24	16.01	17.56	24.24	5.59
EN	6.34	10.59	7.14	9.03	7.17	7.93	9.64	1.30
FS	9.06	12.96	10.31	14.21	8.84	9.63	14.60	4.29
OL								
FO								
FA								
MT	.87	1.10	1.17	.90	1.28	1.44	1.46	.10
IL	2.80	3.38	3.43	3.88	4.53	3.51	4.05	.92
AP	.66	.69	.79	1.84	1.06	.64	.51	.21

	790-5	792-5	794-5	796-5	800-5	802-5	M-1-5	M-2-5	M-3-5
Sio ₂	48.50	49.30	52.43	55.16	49.52	50.63	46.15	44.49	44.90
Al ₂ O ₃	14.88	11.61	12.32	12.96	12.55	12.88	17.74	18.79	17.16
TiO ₂	1.14	1.29	1.76	1.28	1.52	1.50	1.29	1.22	1.23
Fe ₂ O ₃ *	9.96	11.87	10.08	9.59	12.57	12.54	9.59	9.03	9.34
MnO	.17	.17	.11	.17	.19	.17	.15	.14	.18
MgO	4.91	4.64	3.14	3.13	5.37	5.08	4.77	3.54	4.62
CaO	13.28	9.90	7.61	8.44	11.36	10.65	9.98	12.70	10.29
Na ₂ O	2.43	2.21	1.77	2.40	1.99	1.76	3.52	4.01	3.45
K ₂ O	.20	.38	.82	1.01	.41	.45	.22	.39	1.66
P ₂ O ₅	.15	.24	.25	.28	.21	.23	.21	.19	.19
Summa	95.62	91.61	90.29	94.42	95.69	95.89	93.62	94.50	93.02

CIPW NORM, án H₂O og CO₂ og leiðrétt með FMQ buffer

QZ		6.65	17.52	14.37	3.95	7.21			
OR	1.25	2.48	5.42	6.38	2.56	2.81	1.40	2.46	10.64
AB	21.71	20.67	16.77	21.72	17.82	15.72	30.82	15.22	15.88
AN	30.73	22.81	26.03	23.11	25.50	27.36	34.46	34.29	28.68
NE							.70	11.38	8.56
DI	31.36	24.88	12.12	16.60	27.24	22.41	14.45	26.41	21.01
WO	15.79	12.42	6.02	8.23	13.64	11.21	7.29	13.21	10.59
EN	7.49	5.21	2.31	3.13	6.07	4.84	3.53	5.78	5.12
FS	8.08	7.26	3.79	5.23	7.52	6.37	3.64	7.41	5.30
HY	11.15	18.10	17.02	13.88	18.12	19.75			
EN	5.36	7.56	6.44	5.20	8.09	8.52			
FS	5.79	10.54	10.58	8.68	10.03	11.23			
OL	.09						13.88	6.14	11.06
FO	.04						6.50	2.54	5.16
FA	.05						7.38	3.59	5.90
MT	1.05	1.10	.73	.65	1.25	1.17	1.11	1.16	1.15
IL	2.29	2.71	3.74	2.60	3.05	3.01	2.64	2.47	2.53
AP	.37	.61	.65	.69	.51	.56	.52	.47	.48

	B-1-5	Spri-2	Brott-2	BB-2
SiO ₂	48.97	47.06	48.78	48.64
Al ₂ O ₃	11.99	15.36	12.16	12.47
TiO ₂	1.51	1.27	1.53	1.62
Fe ₂ O ₃ *	12.99	10.02	12.98	13.92
MnO	.18	.18	.23	.22
MgO	4.78	4.75	5.31	6.19
CaO	9.38	11.32	10.44	10.37
Na ₂ O	2.06	1.76	1.46	.95
K ₂ O	.14	.38	.20	.09
P ₂ O ₅	.34	.24	.20	.18
Summa	92.34	92.34	93.29	94.65

Q ₂	7.54	3.75	7.82	8.48
OR	.91	2.46	1.28	.57
AB	19.13	16.29	13.42	8.61
AN	25.30	35.98	28.28	31.60
NE				
DI	19.55	19.71	22.17	18.52
WO	9.74	9.91	11.09	9.29
EN	3.99	4.65	4.80	4.20
FS	5.82	5.15	6.28	5.03
HY	22.32	17.48	22.08	27.04
EN	9.08	8.29	9.56	12.31
FS	13.24	9.19	12.52	14.73
OL				
FO				
FA				
MT	1.24	1.08	1.29	1.43
IL	3.15	2.64	3.16	3.30
AP	.86	.61	.50	.45

Svarfsýn eru merkt þannig að fyrsta talan með kin dýpi og sú næsta holunúmer. Kjarni sásýnin úr holu KG-5 eru merkt M-1, 2, 3 (móberg) og B-1 (basalt). Eru þau frá 789,5-795,5 m dýpi. Kjarni úr holu KW-2 er frá 540 m dýpi, úr móbergsbreksíu. Sýnin eru merkt Spri-2, Brott-1 og BB-2.

TAFLA 2

a. RÖNTGENFLUORESCENSGREININGAR

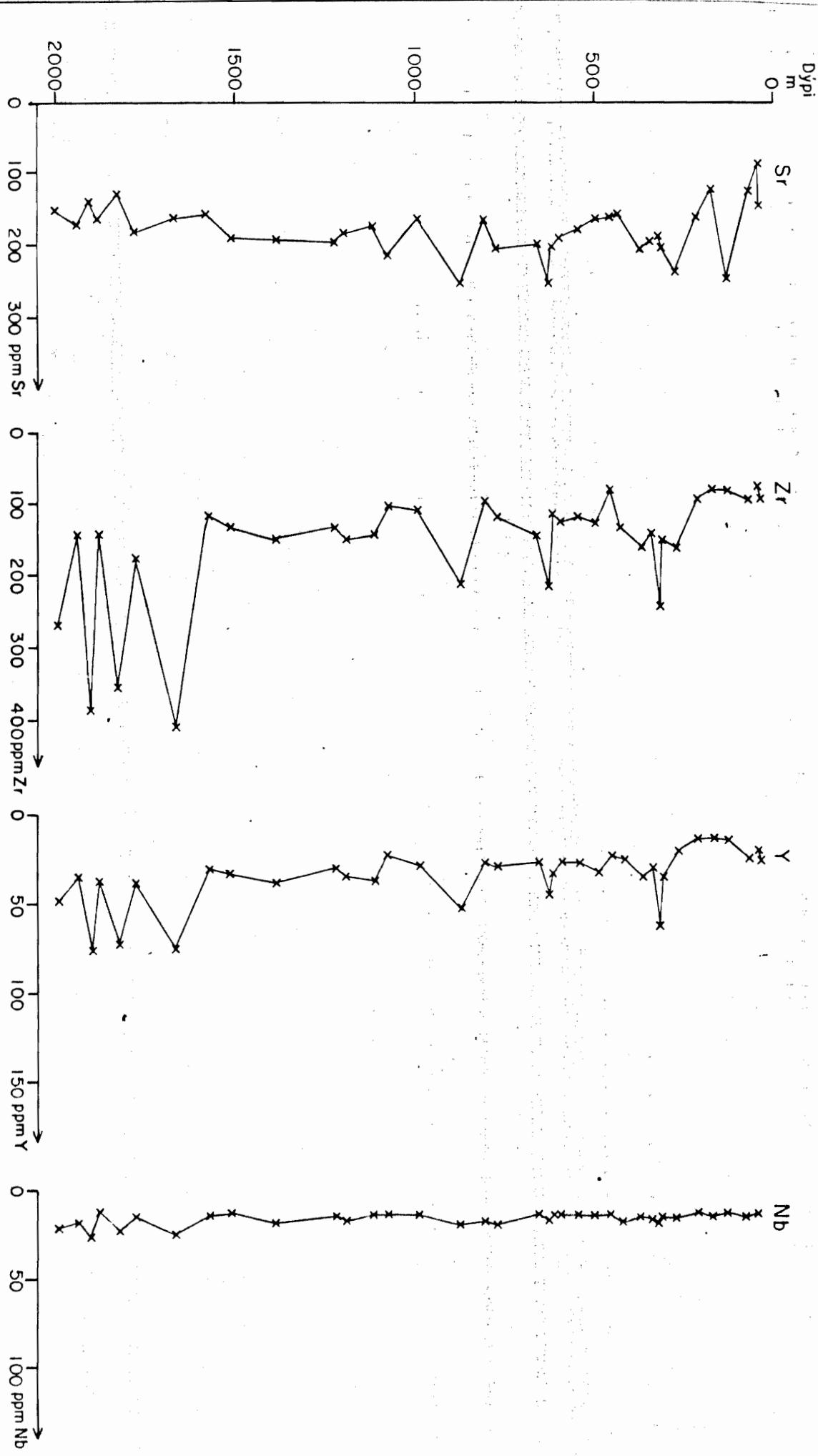
DÝPI (m)	Sr (ppm)	Rb (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Ca/Sr
42-4	144	2	93	25	12	
46-4	86	6	75	19	12	926
76-4	123	9	92	23	13	428
132-4	244	6	79	13	12	313
176-4	120	12	78	11	13	712
218-4	157	9	91	13	11	489
274-4	231	11	159	19	14	347
318-10	200	10	148	33	14	388
324-10	185	17	239	60	17	350
344-10	192	8	140	29	15	419
376-10	203	3	158	33	14	405
436-10	154	9	131	24	16	471
460-10	158	8	79	23	12	599
500-10	162	13	125	31	14	484
550-10	175	13	116	26	13	398
600-10	186	15	122	25	13	451
622-4	198	-	111	32	12	423
630-4	250	14	214	44	16	252
660-4	195	5	143	25	13	454
776-4	202	10	115	28	18	408
810-4	160	10	95	26	17	556
875-4	246	20	210	51	19	310
994-4	161	4	109	28	12	558
1082-4	209	6	102	22	13	467
1120-4	172	5	143	36	13	468
1200-4	179	2	145	34	17	448
1224-4	193	13	131	29	15	427
1390-4	187	8	146	37	18	407
1518-4	185	14	129	33	12	440
1580-4	153	13	117	30	14	558
1670-4	159	42	408	73	25	193
1782-4	177	18	174	38	15	390
1830-4	126	46	354	71	22	221
1886-4	162	32	140	37	12	450
1904-4	136	33	384	76	26	185
1940-4	169	7	142	34	19	485
2000-4	149	40	266	47	21	297

b. ÚTSKILIÐ KALSÍT - RÖNTGENFLUORESCENS GREININGAR

DÝPI (m)	Sr	Ca/Sr
98-4-kal	164	2442
140-4-kal	254	1577
202-4-kal	236	1697
286-4-kal	209	1916
630-4-kal	435	921
1156-4-kal	211	1898

c. GREININGAR MED EMMISIONSSPEKTROGRAF

DÝPI (m)	Ni (ppm)	Cr (ppm)	V (ppm)
42-4	65	162	214
46-4	61	159	223
176-4	174	591	141
334-10	101	237	220
550-10	41	111	211
630-4	12	21	183
994-4	59	254	261
1224-4	55	122	308
1580-4	47	177	247



<input checked="" type="checkbox"/>	ORKUSTORFNUUN
	Efnasamsetning bergs frá borholum í
	Kröflu KG-4 og KG-10
	77-II-14 HK / IS
	T-474 T-253
	Kröfla Jordefnöf
	F-16242

samsetningu og svarfsýni úr borholunum. Svarfsýni frá svipuðu dýptarbili og kjarninn er tekinn, hafa samsetningu líka þessu basaltsýni og skera sig á engan hátt úr. Við val á bergi til efnagreininga hefur yfirleitt verið sneitt hjá mikið dílóttu basalti. Kjarni úr holu KW-2 hefur mjög líka samsetnungu og svarf úr borholunum. Frá því dýptarbili, sem hann er tekinn er ekki til neitt svarf.

Ummundun bergs á jarðhitasvæðunum

Við rennsli heits vatns gegnum berg leysir það upp efni úr bergen og fyrir flest uppleyst efni kemst fljótt á jafnvægi miðað við ríkjandi hitastig.

Í bergen verður smám saman endurkristöllun. Í stað uppruna-legu steindanna myndast aðrar (staðgengilssteindir) og í holrými falla út nýjar steindir (útfellingar). Það hversu fljótt ummyndun verður í bergen er aðallega háð vatnsrennslinu, hitastigi, efnasamsetningu og ásýnd bergsins. Mikið vatnsrennslí og hátt hitastig örvar ummyndunarhraða. Glerkennt berg, porótt og sprungið ummyndast hraðar en þétt, alkristallað berg. Í kristölluðu bergi ummyndast sumar steindir auðveldar en aðrar.

Gerð ummyndunar ákveðst af hitastigi, þrýstingi, upprunanlegri berggerð, (t.d. efnasamsetningu, strúktúr, vatnsleiðnigetu) vatnssaman-setningu, rennsli, aldri bergsins og jarðhitakerfisins. Á litlu dípi, í bergi með líka samsetningu, sem hefur ekki mjög lága vatnsleiðnigetu, er hitastigið sá meginþáttur sem ræður gerð ummyndunar. Sömu gerðir ummyndunarsteinda myndast á sama hitastigsbili. Á mynd 2 er sýnt yfirlit yfir helstu gerðir ummyndunarsteinda myndaðar við $50-300^{\circ}\text{C}$ í þóleitisku basalti, sem hefur ekki mjög lága vatnsleiðnigetu. Myndin gildir að sjálfsögðu einnig aðeins fyrir virk jarðhitakerfi og í bergi, sem ekki hefur áður ummyndast við hærra hitastig.

Við ummyndum basaltglers er fyrsta stig vötnun. Endurkristöllun verður síðan yfir í leirsteindir (járnríkt saponít - blandlagsleirsteindir - klórít), zeólít, kalsít, kvars, prenít, epidót, amfiból, pyrit, pyrrhotít.o.fl.

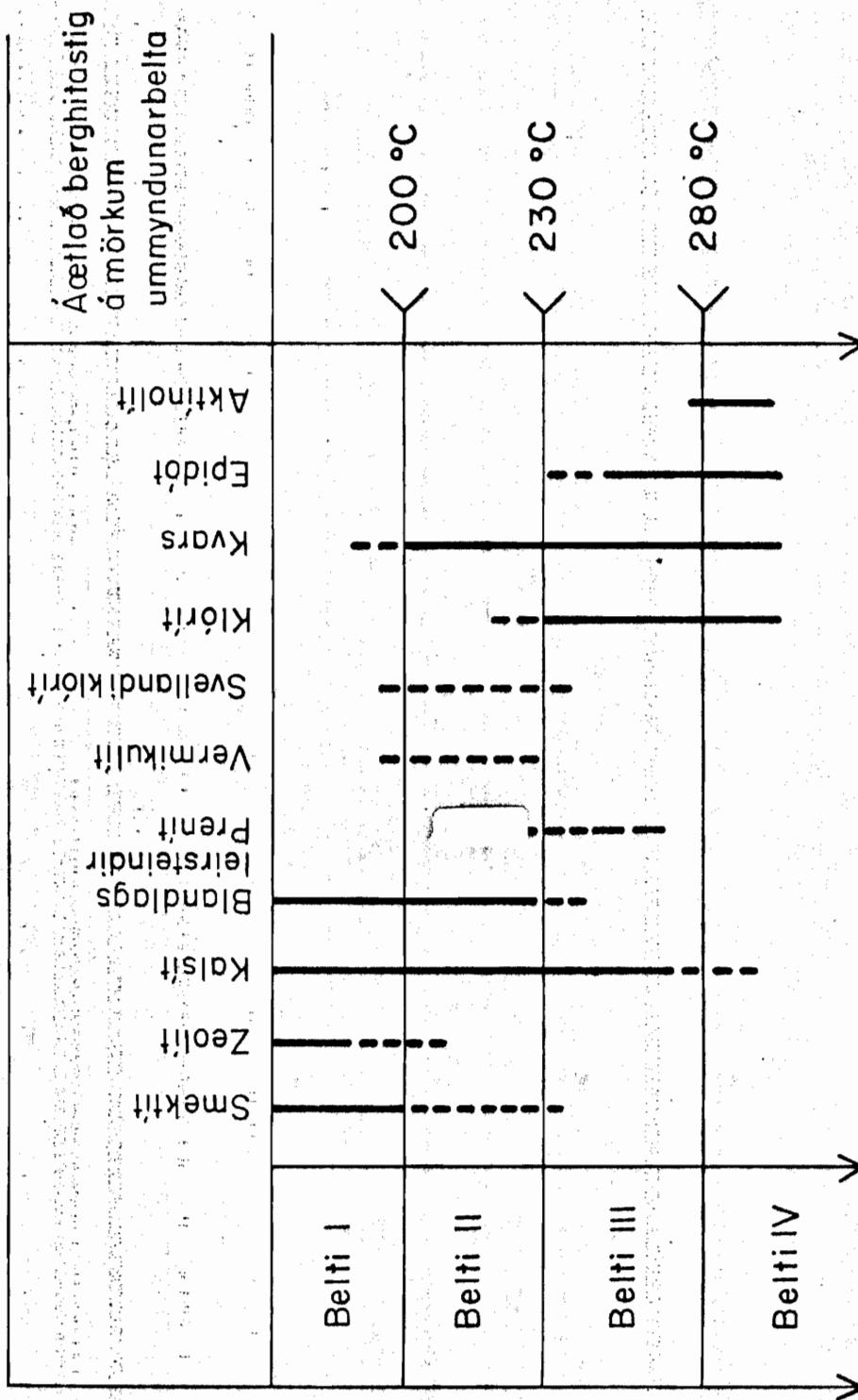
Útfellingasteindir eins og kalsít, kvars, pyrit, epidót, prenít eru oft í klösum og sprungufyllingum og dreifing þeirra er alls ekki jöfn í bergen.



ORKUSTOFNUN

STEINEFNAFRÆÐI
Yfirlit16.5.'75 HK/SJ
Tnr. 112 Tnr. 427
J-Jarðefnafr. J-Ym
Fn. 11929

MYND 2



Við ummyndun basalts eru frumsteindir þess mismunandi stöðugar. Olivín og glerkenndur grunnmassi eru þeir hlutar sem fyrst ummyndast, en pyroxen og sérstaklega plagioklas eru stöðugri og ummyndast síðar. Olivín endurkristallast yfir í leirsteindir. Fínkornóttur og glerjaður grunnmassi ummyndast á sama hátt og annað basaltgler. Í stað pyroxens myndast leirsteindir og amfiból og oft myndast einnig kalsít, kvars og pyrit. Við ummyndun í plagioklas verður hann natrúumríkari og einnig verður endurkristöllun yfir í kalsít, kvars, leirsteindir, epidót og prenít. Ógegn-sæju frumsteindirnar eru allstöðugar við jarðhitaummyndun a.m.k. magnetít.

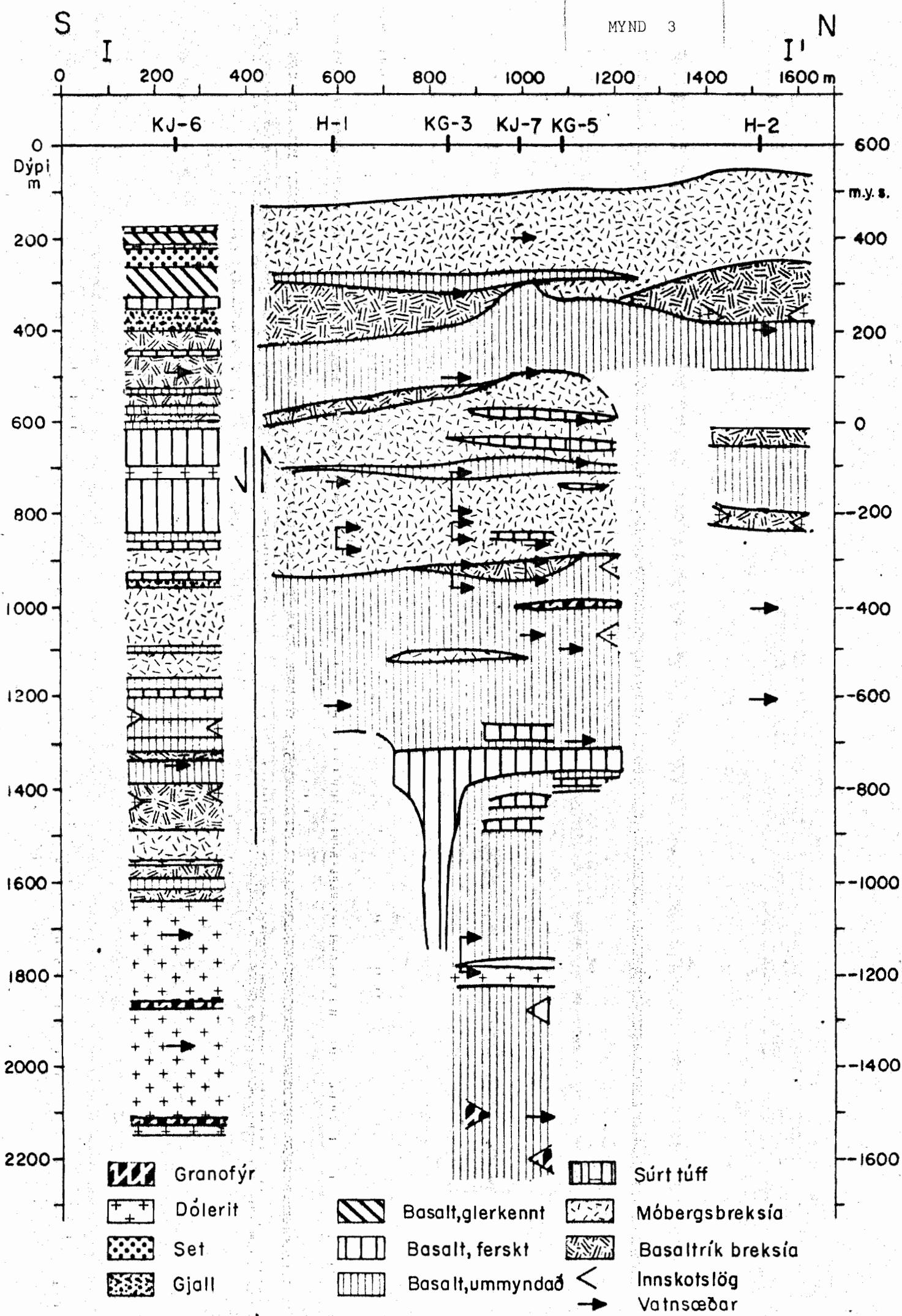
Við þær breytingar, sem lýst hefur verið hér á undan, verður til-færsla á nánast öllum aðalefnum í berginu. Heildarútskoluun úr berginu er þó hæg.

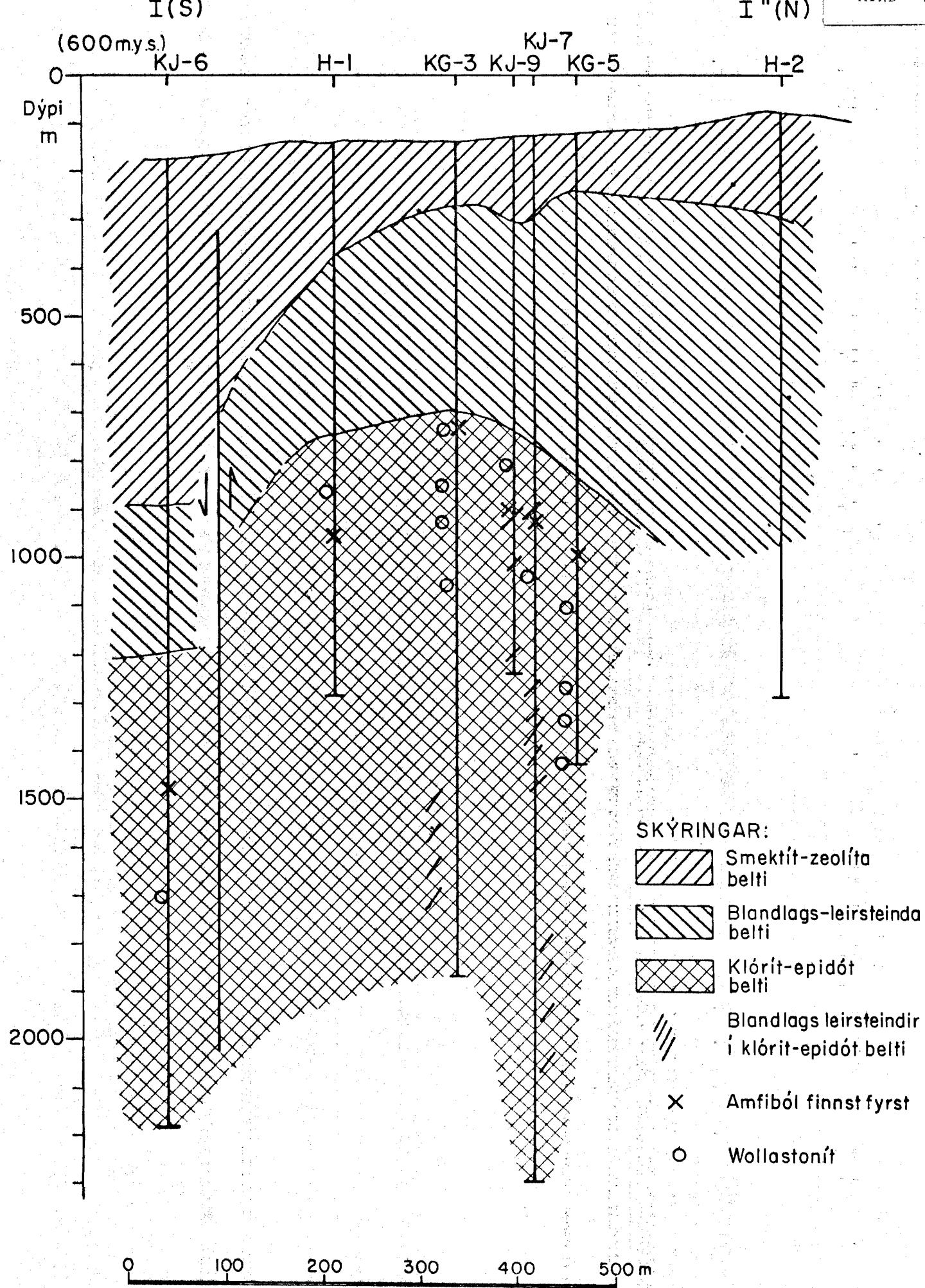
Svarfsýni eru blanda af bergbrotum frá nokkurra metra kafla í borholu. Í sýnin vantar smæstu brotkornin og er hugsanlegt að í mjög linu bergi verði sýni illa marktæk fyrir bergið í heild. Lítið hefur verið tekið af kjörnum við jarðhitaboranir og því til mjög takmarkaður samanburður á svarfi og kjörnum frá sama dýptarbili. Svarfsýni, valin þannig að lítil blöndun sé á milli mismunandi jarðlaga, ætti að hafa þann kost fram yfir lítinn kjarnabút að þau gefa meðalefnasamsetningu viðkomandi berglags. Áhrif efnaflutninga yfir mjög stuttar vegalengdir gætu jafnast út, eða alls ekki komið fram í efna-greiningum á svarfi. Þær ættu þó að sýna hvaða efni eru hreyfanlegust í berginu og hvort um er að ræða flutninga yfir lengri vegalengdir fyrir ákveðin efni.

Jarðlög og ummyndum á Kröflusvæði

Í skýrslum um einstakar borholum á Kröflusvæði hefur jarðögum og ummyndun verið lýst í smáatriðum. Einnig er í undirbúnungi skýrsla með samantekt á niðurstöðum rannsóknna á Kröflusvæði, þar sem gerð verður úttekt á ummyndun berggrunnsins í samhengi við hita og rennslideiginleika. Hér verður því aðeins gerð gróf samantekt á helstu atriðum varðandi jarðög og ummyndum.

Berggrunnur á Kröflusvæði skiptist í þrjár meagineiningar: móbergsmýndun, basaltmýndun og innskotamyndun (mynd 3). Móbergsmýndun er 800-900 m þýkk. Henni er skipt af þykki hraunlagasyrpu og greina má með nokkurri vissu útlínur tveggja stórra móbergshryggja. Neðan móbergsmýndunar





tekur við basaltmyndunum, þar sem hraunlög eru ráðandi. Tíðni, innskotsлага eykut með dýpi í berggrunninum. Dreifð innskotslög finnast í móbergsmyndun og eru algengust á um 700 m dýpi. Mun meira er um innskot í basaltmyndun. Á 1100-1300 m dýpi eru syllur úr fersku basalti undir miðhluta borsvæðisins og í norðurhluta svæðisins eru samfelld innskotslög neðan 1700 m dýpis. Innskotamyndun er skyrgreind sem berggrunnurinn neðan 1300 m dýpis. Greinilegt misgengi sést á milli lagstaflans í syðstu holunni á svæðinu og hinna. Basalthraunlög og móbergið eru aðallega þóleítbasalt og sama gildir um mest af innskotsberginu. Súr innskotslög finnast einnig. Bergið er talsvert ummyndað, en mjög mismikið eins og algengt er á jarðhitasvæðum. Magnhlutfall ummyndaðs bergs er að jafnaði mjög hátt í móbergi en lægra og breytilægra í basalthraunlögunum. Innskotsbergið er að jafnaði mun minna ummyndað en hraunlög og móberg.

Ummyndunargerð berggrunnsins tilsvrarar zeolitafési upp í lægra grænskiferfés.

Beltaskiptingin í ummyndunargerð kemur vel fram. Er hún að mestu sambærileg við þekkta beltaskiptingu í berggrunni annarra íslenskra háhitasvæða.

Á mynd 4 er sýnt á þversniði svæðisbundin beltaskipting ummyndunar með dýpi. Efst er smektí - zeolítabelti, síðan tekur við blandlagsleinsteindabelti og neðst klórít - epidótbelti. Aktinolít finnst nokkru neðar en efri mörk klórít - epidótbeltis og væri ef til will ástæða til að afmarka fjórða ummyndunarbeltið þar.

Truflun á þessari beltaskiptingu kemur sums staðar fram, einkum í innskotsberginu. Það hefur yfirleitt mjög lága vatnsleiðnigetu auk þess sem sumt af því er sennilega mjög ungt. Endurskreið ummyndun leirsteinda í móbergs- og basaltmyndun hefur fundist í sýnum frá sunum holunum. Bendir hún til nýlegra breytinga á hitaástandi í hlutum svæðisins.

Merki kontaktummyndunar umhverfis ganga hafa fundist sums staðar á svæðinu (OSJHD7641).

Ahrif ummyndunar á efnasamsetningu bergs í Kröflu

Upprunanleg samsetning ummyndaða bergsins í Kröflu er ekki þekkt.

Nærtækasta viðmiðun er efnasamsetning nútímahrauna frá þessu svæði. Mest áberandi breyting í efnasamsetningu í ummyndaða berginu er vötnun, aukning á brennisteini og karbonati. Séu borin saman hlutföll helstu katjóna miðað við þurrar greiningar, sést að mun meiri dreifing er á efnasamsetningu ummyndaða bergsins en á samsetningu nútímahrauna. Einkum kemur þetta glöggt fram í magni alkalinálma og magníums. Á mynd 5 er sýnt TiO_2/MgO fyrir efnagreiningar af ummynduðu bergi á Kröflusvæði og samsetningarbil fyrir nútímahraun og dyngjubasalt frá Kröfli - Námafjalls-^{x)} svæðinu. Myndin sýnir að dreifingin er meiri í ummyndaða berginu en í fersku yfirborðsbergi. Bendir hún einnig til hreyfinga á magníum á ummyndaða berginu. x) (Gögn frá Karli Grönvold).

Vötnun er ríkur þáttur í ummyndun. Magn aðalefna miðað við vatnsinnihald sýnir því oft hvaða hreyfingar hafa orðið á þeim. Á myndum 6, 7 og 8 er magnhlutfall flestra aðalefna og nokkurra sporefna teiknað upp á móti vatnsinnihaldi⁴⁾ bergsins. Á myndunum er einnig teiknuð inn lína sem sýnir áhrif beinnarþynningar á hvert efni. Frá línuritunum sést að fyrir kísil, ál, titani og mangan, bæði í móbergi og basalti, er frávik frá áhrifum beinnar þynningar lítið. Frávikið er fremur lítið fyrir kalsíum en allverulegt fyrir magníum og alkalinálmana. Breytingar á heildarjárnagni virðast ekki vera verulegar, og virðast minni í móbergi en í basalti. Af þessum myndum sést ekki frá hvaða dýpi greining er, en einnig hefur verið athuguð magnbreyting efna með dýpi. Varðandi hreyfingu á magníum þá verður aukning á því ofarlega, í smektít - zeolita ummyndunarbelti, en fremur lækkun í hærri ummyndunarbeltum.

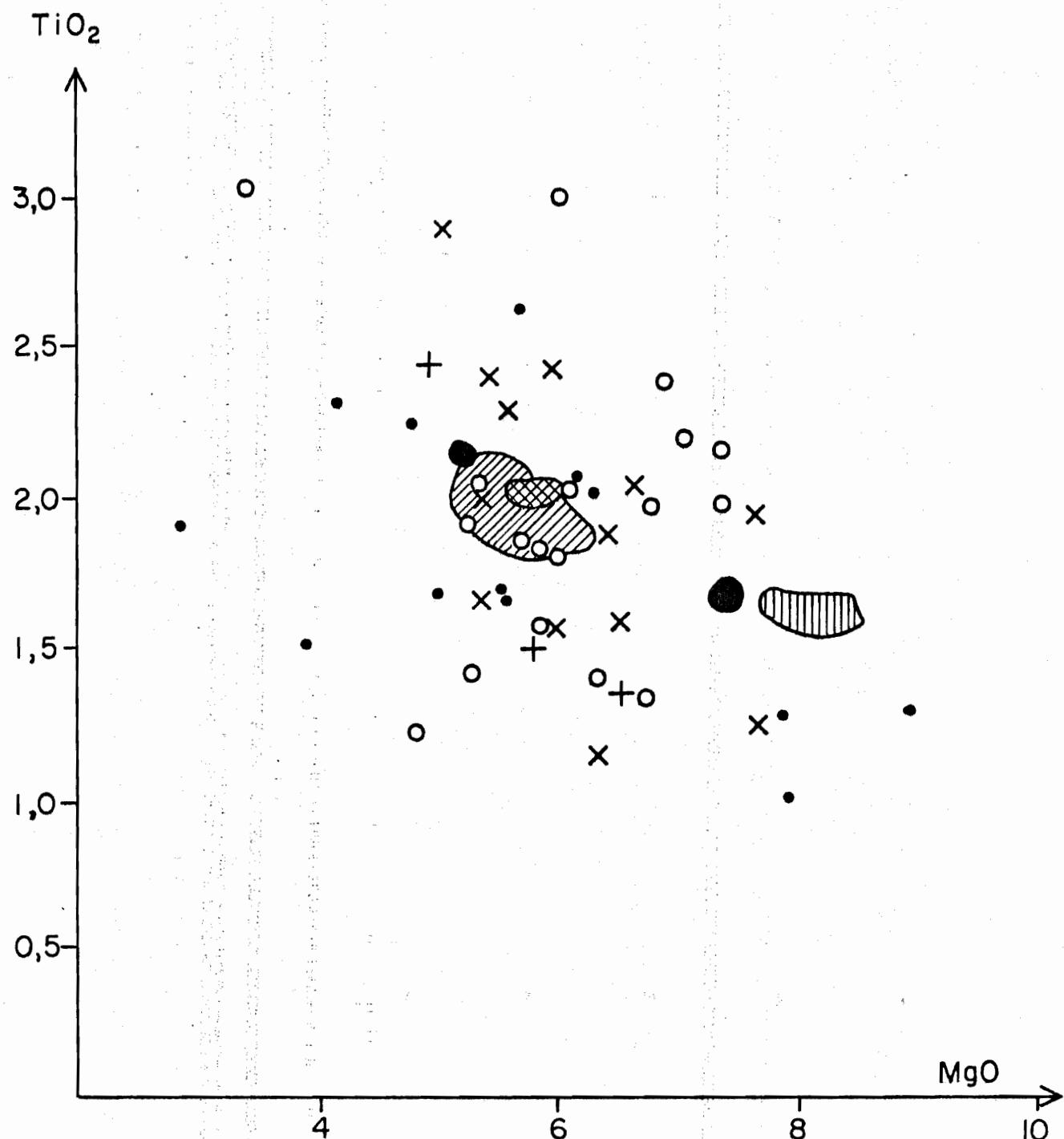
Smávægilegar efnabreytingar koma oft betur fram ef miðað er við magn efnis, sem talið er lítið hreyfanlegt við ummyndun og sýnir jafnframt kerfisbundnar breytingar við þróun hviku. Eitt af þeim efnum, sem uppfyllir bæði þessi skilyrði, er Zr. Nákvæmni og samkvæmni við efnagreiningu þess er einnig góð.

Á myndum 9 10 og 11 er þungahlutfall SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 (heildajárn), Na_2O , K_2O , MgO og Sr sett upp á móti Zr magni í bergenú í ppm. Fyrir CaO , SiO_2 og MgO kemur fram illa afmarkað línulegt samband. Línuritin benda þó til að SiO_2 og MgO hafi hreyfst talsvert, einkum í móberginu. Alkalimálmarnir og járn sýna ekkert reglulegt samband við Zr og hreyfing á þeim hefur verið talsverð. Sama gildir um strontíum.

Af þeim sporefnum, sem greind voru í sýnunum eru zirkoníum og

1) Fyrir nokkur sýni úr holu KG-3(OSJHD 7641) er notað glæðitap í stað magns af bundnu vatni.

Efnasamsetning bergs í Kröflu



x Ferskt basalt

o Ummyndað basalt

● Móberg

+ Basaltrík breksía



Nútímahraun (Krafla-Námafjall)



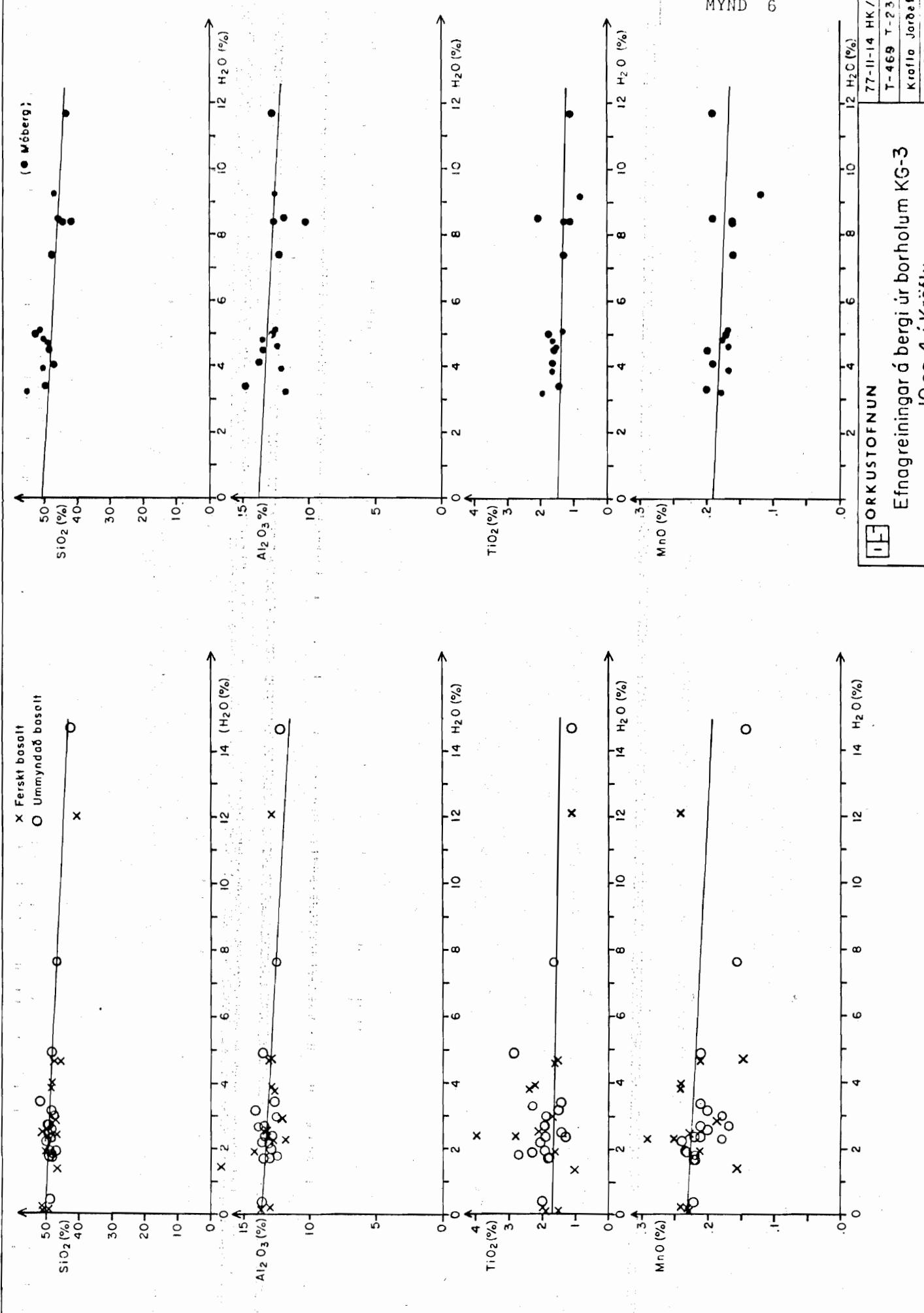
Dyngjur



Mývatnseldar fyrri



Mývatnseldar síðari

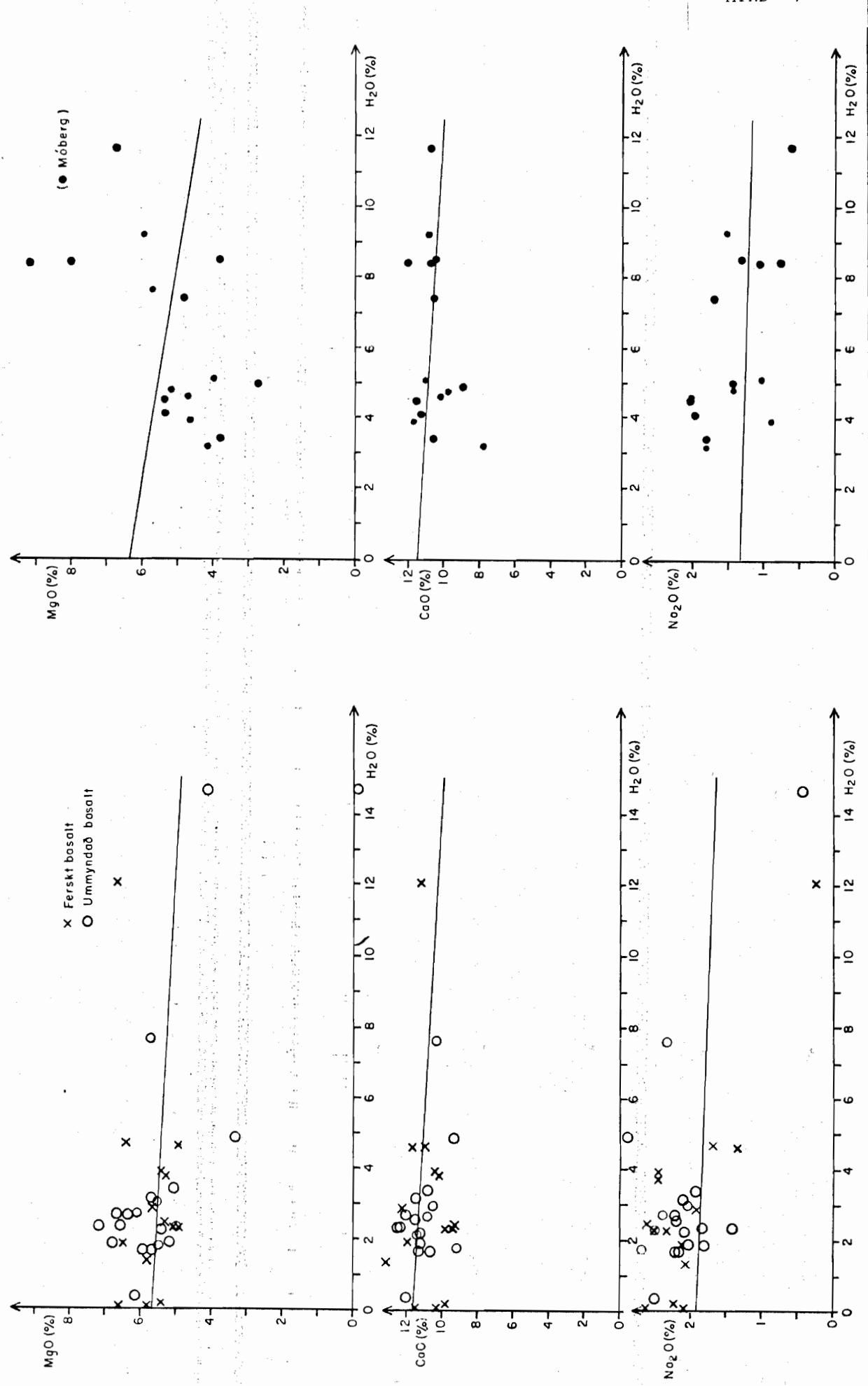


ORKUSTOFNUN

Efnagreiningará bergi úr borholum KG-3
10 og 4 í Kröflu

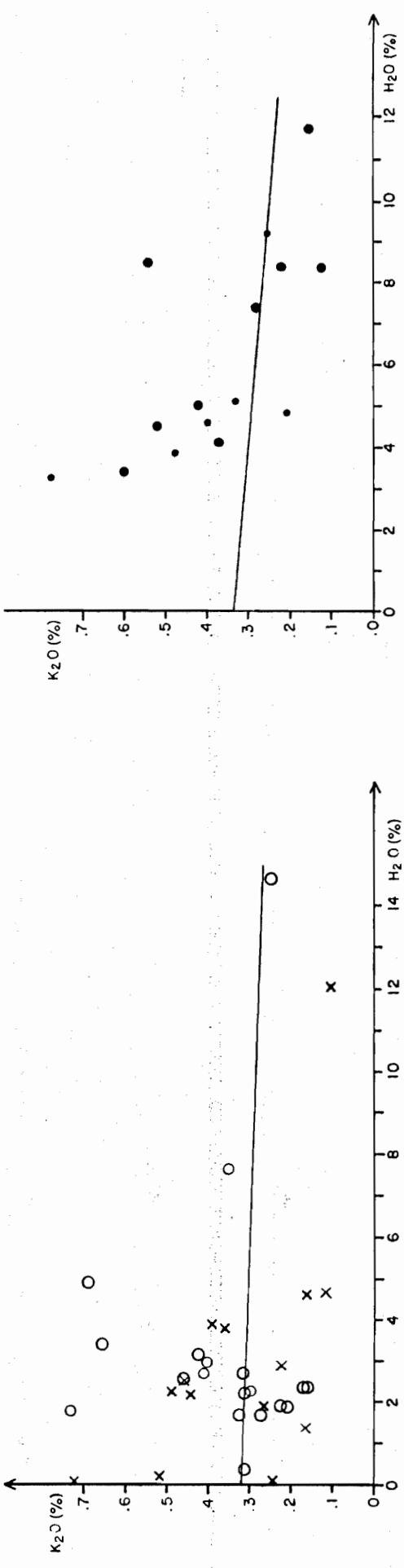
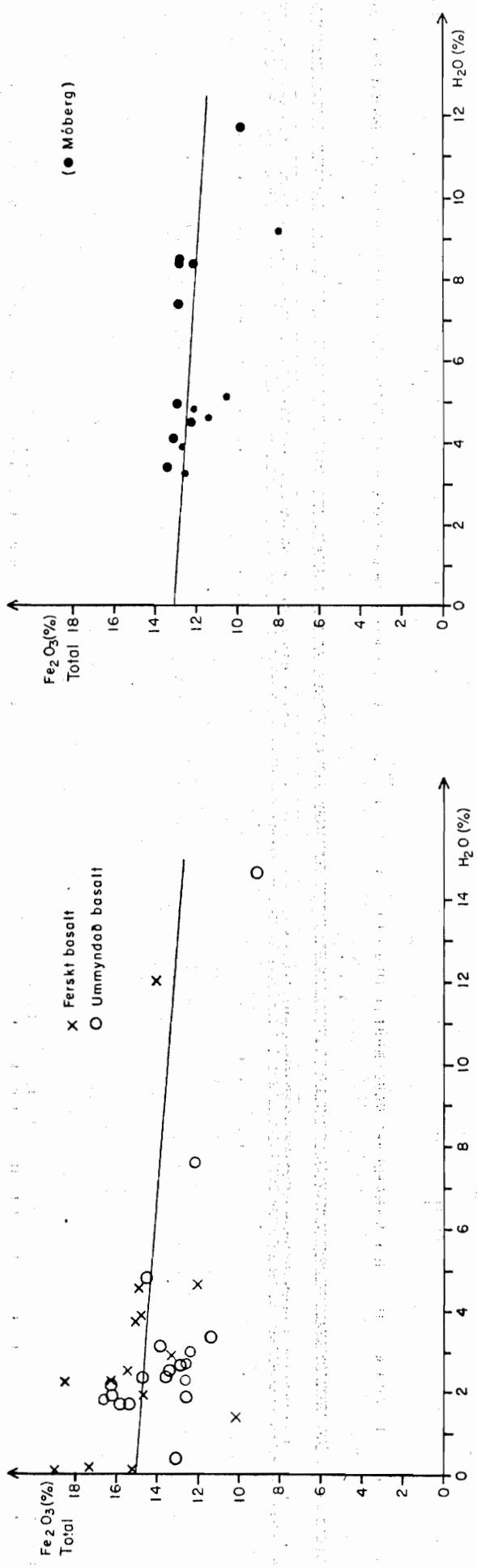
T-469 T-239
Krafla Jörðinofn
F-1623?

77-II-14 HK / IS



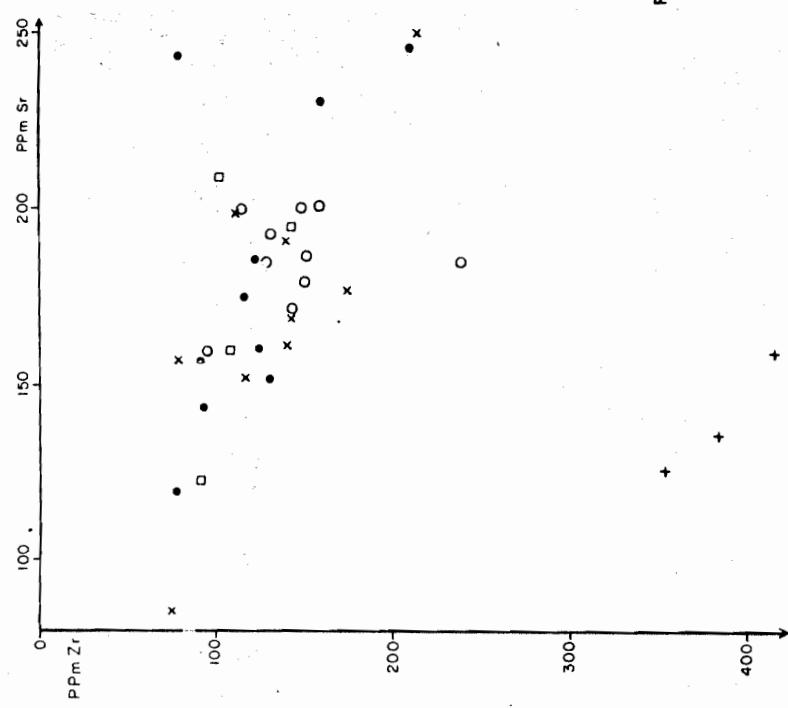
ORKUSTOFNUN
Efnagreiningar á bergi úr borholum KG-3,4
og IO í Kröflu

77-11-14 HK/IS
T-470 T-240
Krafla Jardbænctr.
F-16238

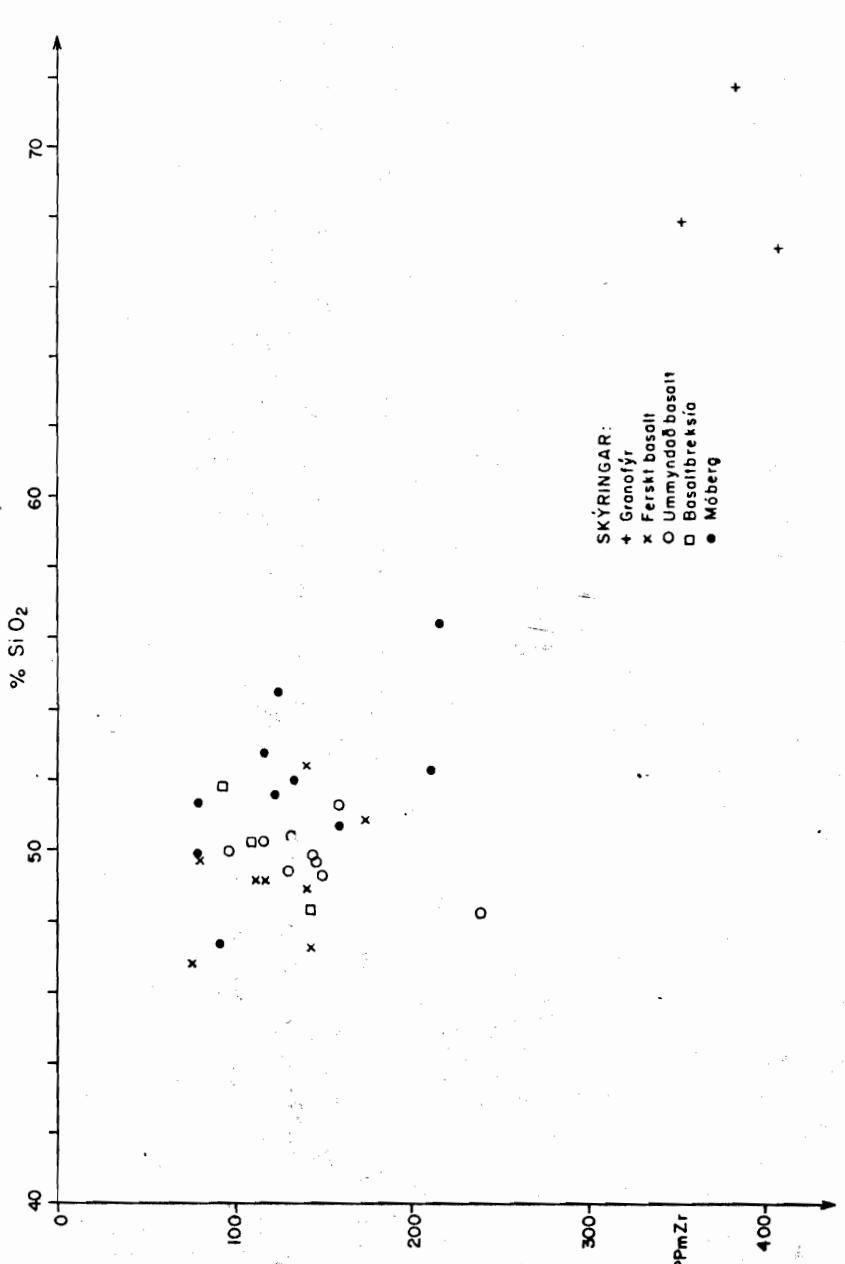


<input checked="" type="checkbox"/> ORKUSTOFNUN	77-11-14 HK/IS
<input type="checkbox"/> Efnagreiningar á bergi úrborholum KG-3	T-471 T-250
<input type="checkbox"/> 10 og 4 i Kröflu	Kröfla Jorðefnið
<input type="checkbox"/> F-16239	

Mynd 9

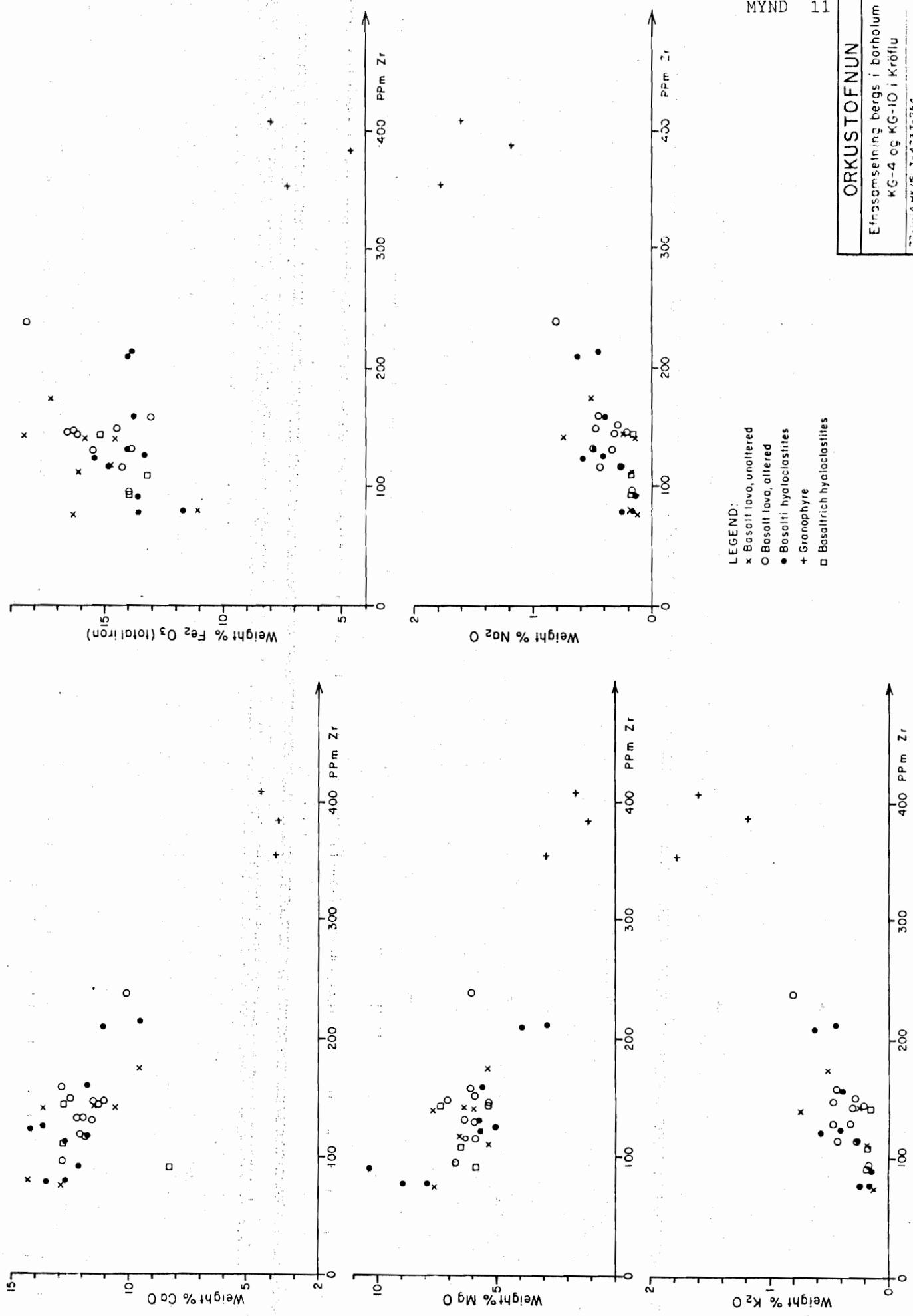


Mynd 10



ORKUSTOFNUN	77-II-14 HK/1S
Efnagreining bergs frá bortholum í Kröflu, KG-4og KG-10	T-477 T-256
Krófla Jörðfræði	F-16245

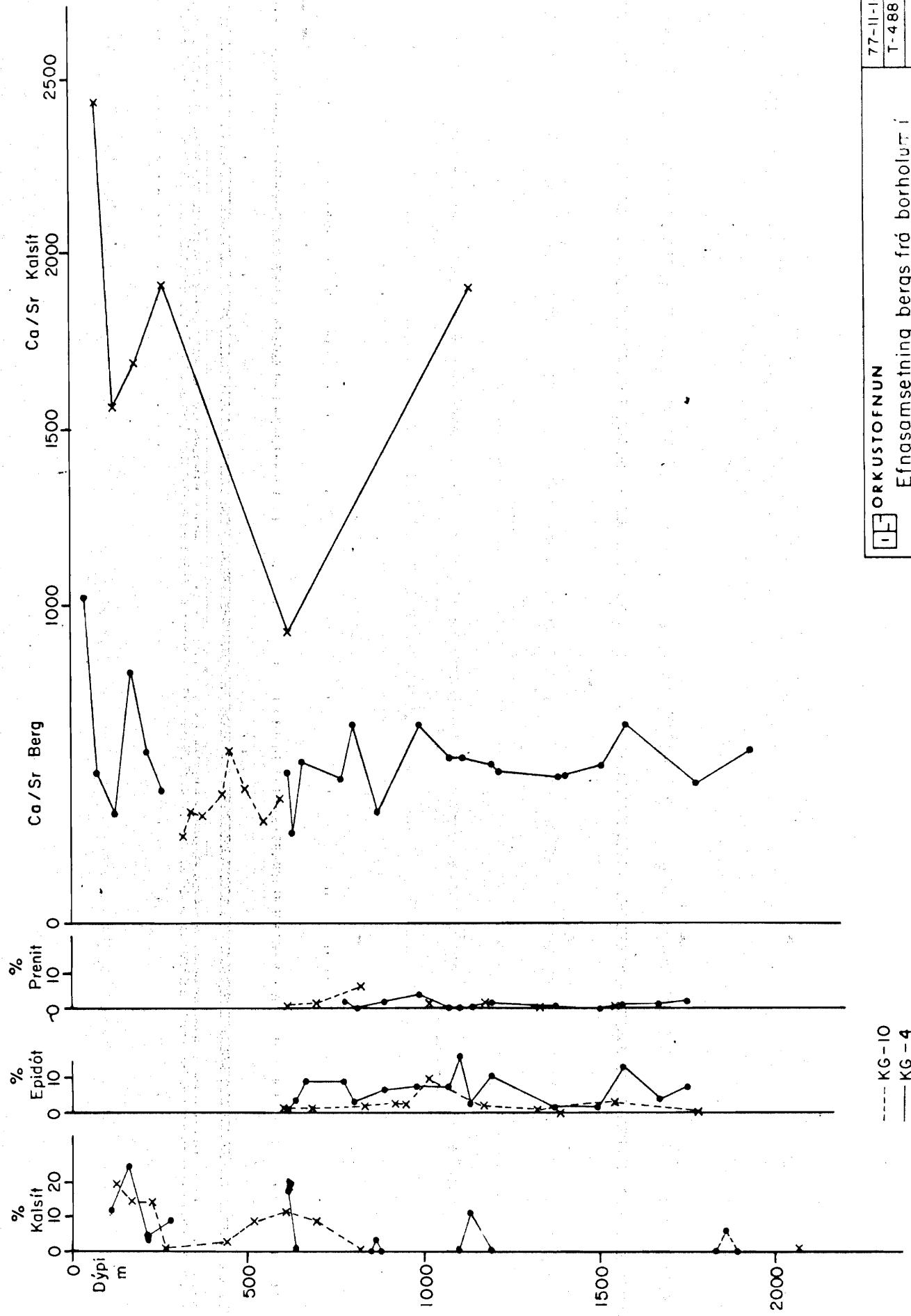
ORKUSTOFNUN	
Efnasamsetning bergs í þorholum	
KG-4 og KG-10 í Kröflu	
77-1-4 HK 15 7-731-254	F-16241
Þótt sérstak	



yttríum dæmigerð um lítið hreyfanleg efni, en rubidíum og strontíum um auðhreyfanleg efni við grænskíferfés "metamorfósu". Magn Rb er svo lágt í bergenú að það er á mörkum þess að vera greinanlegt með okkar aðferðum og skekkjumörk því mjög há miðað við magn. Rubidíum fylgir aðallega kalíum við kristöllun úr kviku og steindir með kalíum sem aðalefni finnast nánast ekki í þóleitbasalti. Magn yttríums er einnig svo lágt í bergenú að óvissa í greiningu er veruleg. Því er zirkoníum tekið fram yfir yttríum sem viðmiðunarefni. Strontíum er að mestu talið fylgja kalsíum við ummyndun. Þó er þekkt að við albítiseringu hækkar strontíumagn í plagioklas.

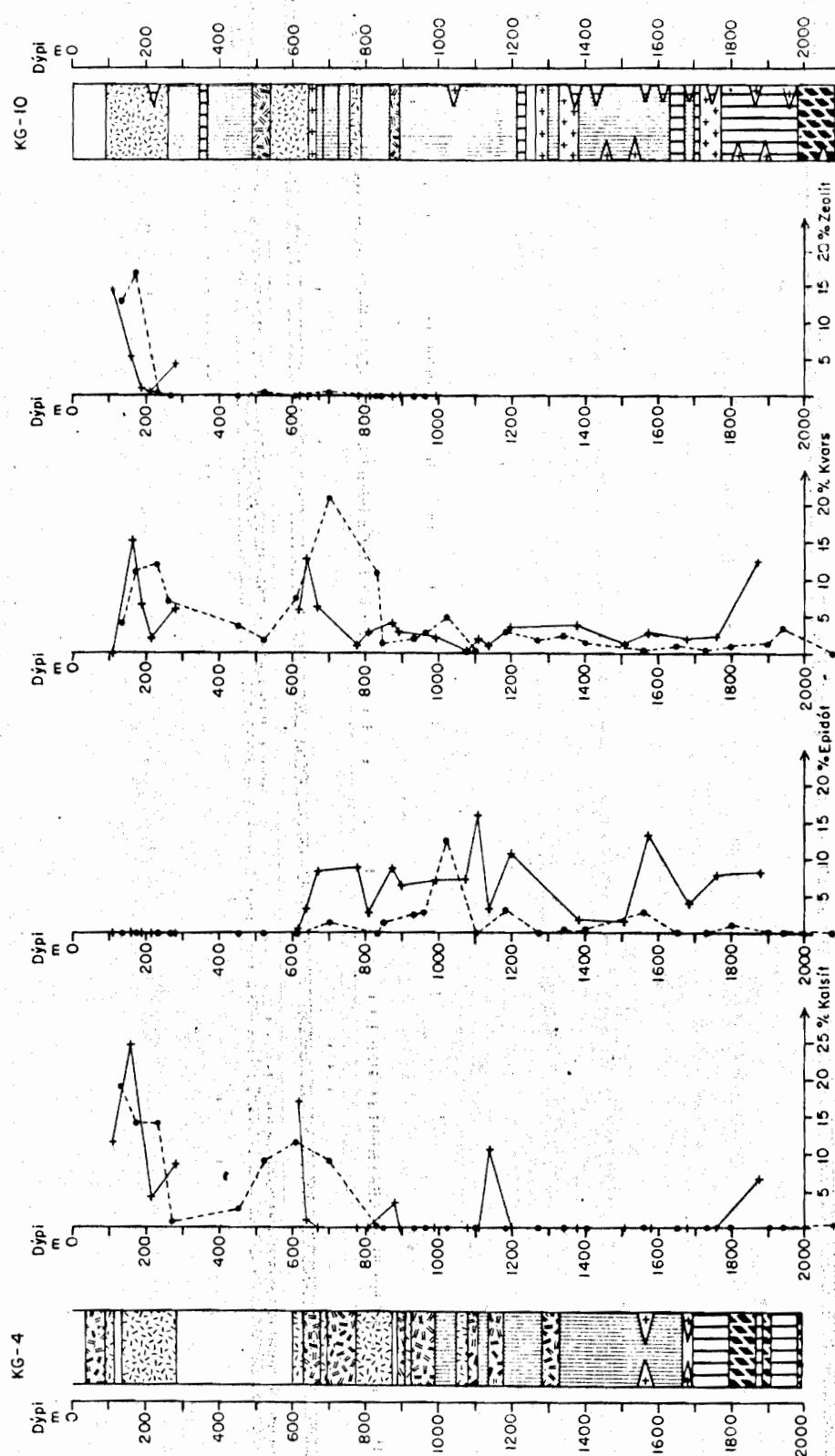
Ca/Sr hlutfall í epidóti er talið vera lægra en í vökvánum sem það fellur út úr. Strontíum gengur hins vegar torveldlega inn í kalsít. Því mætti búast við breytingum á Ca/Sr hlutfalli í kalsítiseruðu, albítiseroðu og einnig í epidótríku bergi. Albítisering er yfirleitt smávægileg, eða a.m.k. staðbundin, í bergi frá Kröfluborholum. Mikil kalsítisering er þar sums staðar ofan 1000 m dýpis og magn epidóts er verulegt sums staðar neðan 800 m. Á mynd 12, er sýnt Ca/Sr hlutfall á móti dýpi í svarfi frá borholum KG-4 og 10. Hlutfallið er talsvert breytilegt en að jafnaði hærra neðan 1000 m en ofar. Ekki sést nein greinileg fylgni við magn Ca - ríkra útfellingasteinda (mynd 13). Strontíum magn í kalsíti reyndist vera mjög breytilegt. Strontíum hefur ekki verið mælt í epidóti úr borholusvarfinu. Magn Sr í jarðhitavökvanum er svo lágt að það mælist ekki beint á atomicabsorption. Erfitt er því að mæla Sr í vökvánum með góðri nákvæmni og hefur það ekki verið gert. Því er Ca/Sr hlutfall vökvans óþekkt. Þótti það heldur ekki eins áhugavert eftir að niðurstöður fengust um Ca/Sr hlutfall í bergenú. Þessi athugun sýnir, að eins og við mætti búast eru alkalimálarnir léttreyfanlegastir af aðalkatjónum í bergenú og heildarútskolun mest á þeim. Magníum virðist talsvert hreyfanlegt og hlutfallsleg aukning verður á því í smektít - zeolita ummyndunarbelti, miðað við magn annarra aðalefna. Kalsíum er verulega hreyfanlegt, en ekki virðist vera um verulega magnbreytingu á því að ræða yfir lengri vegalengdir. Sama máli gildir um kísil og járn.

Ahrif efnaflutninga á berg í Kröflu virðast þegar á heildina er lítið meiri en fram hefur momið við athuganir á sambærilegum svæðum. Koma þau þó einkum fram í breytingum á rokgjörnun efnum. Magnhlutföll helstu katjóna annarra en alkalimálma raskast frémur lítið í svarfsýnum, sem eru blanda bergs yfir nokkurra metra kafla, en í smærri mælikvarða, í kjarnasýnum (nokkra cm), geta áhrif efnaflutninga sést greinilegar.



ORKUSTOFTNUN
 Efna samsetning bergs frá borholuti i
 Kröflu KG-A og KG-10

77-II-14 HK/IS
T-4 88
Kraflo
F-16207

**SKÝRINGAR:**

- Mölborgabrekisia
- Basaltbrik brekisia
- Basalt, ummyndad
- Basalt, ferskt
- Dolerit
- Granofyr
- Innslötskög

— KG-4
— KG-10

ORKUSTOFNUN

Niðurstaður þunnsneidaþáttninga í borholum KG-4 og KG-10	F-16305
77-II-14 HKNG 2-490	Frafra

Tilvitnanir:

1. Shapiro, L. and Brannock, W.W. 1955
Analytical Chemistry, 27, 1796-1797
2. OSJHD7641 Borholur 3, 4 og 5 í Kröflu
Borun, vatnsæðar, niðurstöður berggreininga.
ágúst 1976 Hrefna Kristmannsdóttir,
Guðmundur Ómar Friðleifsson, Einar Gunnlaugsson
- 3.. Einar Gunnlaugsson: The origin and distribution
of sulphur in fresh and geothermally altered
rocks in Iceland, October 1977