

XENOLIETE EN XENOKRISTE  
IN KIMBERLIET  
VAN BARKLY - WES

deur

F.J.P. SCHUTTE, Honns. B.Sc.

Verhandeling ter gedeeltelike voldoening aan die  
vereistes vir die graad

MAGISTER SCIENTIAE

aan die

POTCHEFSTROOMSE UNIVERSITEIT

VIR

CHRISTELIKE HOËR ONDERWYS

Februarie 1967

## ABSTRACT

Sixteen different types of basic and ultrabasic xenoliths which are believed to be derived from the upper mantle and six types of xenocrysts representing broken xenoliths, occur in the kimberlite of the Barkly West district.

Two series of xenoliths are distinguished:

- (i) a peridotite series with dunite and orthopyroxenite as end types and with harzburgite, garnet harzburgite, phlogopite harzburgite and lherzolite as intermediate members.
- (ii) a griquaite series usually termed "eclogite" in the literature with granatite and clinopyroxene<sup>ite</sup> as end types and with griquaite, olivine griquaite, enstatite griquaite, phlogopite griquaite, corundum griquaite and kyanite griquaite as intermediate members.

Two additional subordinate types of xenoliths are websterite (ortho- and clinopyroxene) and a rock composed of ilmenite.

Xenocrysts of olivine, garnet, phlogopite, enstatite, diopside and ilmenite are distributed unevenly in the matrix of the kimberlite. The xenocrysts represent monomineralic fragments of peridotite and to a minor extent, griquaite.

Chemical variation in the composition of the minerals of the various xenoliths and xenocrysts are as follows:

garnet	-	Pyr. (55-85) Alm. (10-35) Andr. (0-15)
clinopyroxene	-	Wo. (40-54) En. (30-65) Fs. (1-20)
orthopyroxene	-	En. (60-98) Of. (2-40) Wo. (0-5)
olivine	-	Fo. (80-94) Fa. (6-20)

Nine new chemical analyses are presented and discussed, four of xenoliths, three of minerals of one of these xenoliths, one of phlogopite xenocrysts and one of phlogopite from the groundmass of the kimberlite.

On the basis of the mineralogy, petrology and chemistry of the inclusions in kimberlite from Barkly West it is suggested that the M-discontinuity is caused by the transition of basic to ultrabasic rocks, below the continents as well as below the oceans.

Peridotite occurs in a zone between the M-discontinuity and a depth of 65 km beneath the surface of the continental crust. Below 65 km and down to at least 500 km there is a world-wide zone of griquaite. This griquaite is the primitive source of all magmas. Kimberlite originates by the

differential melting of grikwaite, as a result of release in pressure, caused by cool fractures which originate in the crust and gradually extend down into the grikwaite layer.

The pressure and temperature determines the composition of the melt which originates in this manner. Low temperature and pressure induces the development of kimberlite liquid whereas high pressure combined with moderately increased temperature leads to the development of carbonatitic magma, followed by tholeiitic basalt, as the pressure and temperature increases, and eventually by alkali basalt, when the pressure and temperature attains a maximum during the development of a hot fracture that migrates from the mantle upwards through the crust as a result of a concentration of radiogenic heat.

## INHOUDSOPGAWE

I.	INLEIDING .....	1
II.	VORIGE WERK .....	1
III.	METODES VAN ONDERSOEK .....	2
IV.	OORSIG VAN LITERATUUR .....	8
V.	KLASSIFIKASIE EN BENAMING VAN XENOLIETE .....	10
VI.	MINERALOGIE EN PETROGRAFIE VAN DIE XENOLIETE EN XENOKRISTE .....	13
	A. Xenoliete .....	13
	1. Griekwaïet-serie .....	13
	a. Griekwaïet .....	13
	b. Korund-griekwaïet .....	14
	c. Flogopiet-griekwaïet .....	15
	d. Kyaniet-griekwaïet .....	16
	e. Granatiet .....	16
	f. Klinopirokseniet .....	17
	g. Olivien-griekwaïet .....	17
	h. Olivien-enstatiet-griekwaïet .....	18
	2. Peridotiet-serie .....	18
	a. Harzburgiet .....	18
	b. Granaat-harzburgiet .....	19
	c. Duniet .....	20
	d. Flogopiet-harzburgiet .....	20
	e. Lherzoliet .....	20
	3. Pirokseniet-serie .....	21
	a. Ortopirokseniet .....	21
	b. Websteriet .....	21
	4. Ilmenitiet .....	22
	B. Xenokriste .....	22
	1. Olivien .....	22
	2. Granaat .....	23
	3. Flogopiet .....	23
	4. Ilmeniet .....	24
	5. Diopsied .....	24

VERVOLG

6.	Enstatiet .....	24
C.	Ekslusie- en deurgroeiingsstrukture .....	25
VII.	MINERALOGIESE EN CHEMIESE SAMESTELLINGS VAN DIE XENOLIETE EN XENOKRISTE .....	26
A.	Mineralogiese samestelling .....	26
1.	Olivien .....	26
2.	Granaat .....	27
3.	Diopsied .....	27
4.	Enstatiet .....	28
5.	Flogopiet .....	28
B.	Chemiese samestelling .....	28
1.	Gepubliseerde analises .....	28
2.	Nuwe analises .....	29
VIII.	PETROGENIESE EN HERKOMS VAN DIE XENOLIETE EN XENOKRISTE .....	30
A.	Oorsprong van die xenoliete .....	30
1.	Hipotese van herkoms uit die kors .....	30
2.	Hipotese van genetiese verwantskap met 'n kimberlietmagma .....	31
3.	Hipotese van herkoms uit die mantel .....	32
B.	Struktuur van die basis van die kors en die boonste mantel .....	33
C.	Inplasing van die kimberliet .....	38
D.	Moontlike verband tussen kimberliet en karbonatiet .....	40
E.	Oorsprong van basiese en ultrabasiese magmas ....	42
1.	Gedeeltelike smelting van die mantel .....	42
2.	Differensiasie in die mantel .....	44
IX.	GEVOLGTREKKINGS .....	46
X.	OPSOMMING .....	49
XI.	BEDANKINGS .....	50
XII.	VERWYSINGS .....	52
XIII.	PLATE .....	57

## I. INLEIDING

In die omgewing van Barkly-Wes kom verskillende groepe kimberlietgange en - pype met 'n verskeidenheid van insluitsels voor. Die kimberliet bevat insluitsels van gesteentes wat aan die oppervlak blootgestel is, asook van gesteentes wat dieperliggend is. Sommige insluitsels word gemeen om moontlik van die boonste mantel afkomstig te wees.

Monsters is geneem by die volgende plekke: die Frank Smith-myn, die Newlandsmyn, die Bobbejaangang en die Hoofgang op Bellsbank asook by die Mitchemanskraal-Sovergang. Die verskillende voorkomste word aangetoon op plate 1, 11 en 111.

Verskeie ander voorkomste is ook besoek maar aangesien prospektering nog in 'n vroeë stadium was of nog nie begin het nie, kon geen goeie vars monsters van die plekke verkry word nie. In die genoemde voorkomste het ontginning al tot op redelike dieptes gevorder en goeie vars monsters kon verkry word, maar in die geval van die Newlandsmyn, wat vol water staan, is monsters op die ou mynhoop geneem.

Die voorkomste van kimberliet op die plase Mitchemanskraal, Doornkloof, Sover en Bellsbank is in die vorm van gange wat wissel in dikte van 'n paar duim tot 'n maksimum van 52 duim, met 'n gemiddelde van 30 duim, behalwe waar die sogenaamde blase gevorm het wat tot ongeveer 100 voet in deursnee kan wees. Die Frank Smith-myn is op 'n dubbele pyp geleë wat met 'n gang verbind is en die Newlandsmyn is op 'n enkel pyp. Hierdie pype het 'n deursnee van ongeveer 500 voet (Plaat II).

Die doel van die ondersoek was om sover moontlik 'n volledige stel insluitsels te verkry van die verskillende kimberlietvoorkomste hierbo genoem, met die oog op 'n studie van hulle voorkoms, relatiewe oorfloed, mineralogie, petrografie en waarskynlike herkoms. Hierdie werk is ook onderneem as 'n bydrae tot die Suid-Afrikaanse deelname aan die Internasionale Bomantelprojek.

## II. VORIGE WERK

Bosch (1963) het die veld<sup>ver</sup>houdings, strukture, mineralogie en petrologie van die kimberlietvoorkomste op die plase Bellsbank, Mitchemanskraal, Doornkloof en Sover ondersoek met die doel om inligting aangaande die ontstaan van

die kimberliet en sy geassosieerde minerale in te win.

Wagner (1914) en Williams (1932) gee in breë trekke beskrywings van die kimberliet en geassosieerde insluitsels wat aangetref word in die Newlandsmyn en in die Frank Smith-myn.

In 1958 het twee lede van die Geologiese Opname van Suid-Afrika, mnr. L.N.J. Engelbrecht en M.E. Hauger die kimberliet-gange op Bellsbank met behulp van lugfoto's gekarteer en elektromagneties opgespoor.

### III. METODES VAN ONDERSOEK

Die meeste insluitsels is bogronds as brokstukke gevind nadat die kimberliet deur die vergruisers gegaan het en die insluitsels gekonsentreer is in die waskonsentrate. Baie min insluitsels is ondergronds in situ aangetref. Die kimberliet-monsters met xenokriste is ondergronds geneem.

Die mineralogiese samestelling van die insluitsels is verkry deur Chayes (1949, bl. 2) se metode van punttelling te gebruik.

Die samestelling van die olivien is verkry deur die <sup>B</sup>brekingsindeks met behulp van die immersiemetode, die optiese hoek met die universele draaitafel te bepaal en die waardes af te lees op die diagram van Kennedy (1947, bl. 567).

Diopsied en enstatiet se samestelling is ook verkry deur die optiese hoeke en die brekingsindekse te bepaal, en die waardes af te lees op Hess (1949, bl. 634; 1952, bl. 180) se diagramme vir diopsied en enstatiet respektiewelik.

Die granaat se samestelling is verkry deur die brekingsindeks en soortlike gewig te bepaal en gebruik te maak van Kennedy (1947, bl. 570) se diagramme. Die soortlike gewig is bepaal deur die piknometer te gebruik.

Die normatiewe hoeveelhede van plagioklaas, olivien en pirokseen in die griekwaiet, peridotiet en pirokseniet is uit analyses in beskikbare publikasies (tabel 1) en 'n paar nuwe analyses (tabel 2) bereken. Die C.I.P.W.-norm is deurgaans gebruik. Dieselfde is gedoen met 'n paar gemiddelde analyses van basalte. Hierdie normatiewe hoeveelhede is uiteengesit in plaat XIII figuur B.

Die gewigsverhouding MgO:FeO vir die verskillende tipes insluitsels is bereken uit nuwe analyses (tabel 2) en analyses in die literatuur (tabel 1).

By die voorbereiding van die mineraalmonsters vir chemiese analise is die volgende metode gevolg. Die monsters is eers fyn gestamp totdat al die stukkies monomineralies was en deur die 32-maassif gegaan het. Die verskillende mineraalfraksies, naamlik granaat, diopsied en enstatiet, is van

mekaar geskei met die elektromagneet en laastens is die verskillende fraksies met behulp van bromoform van die flogopiet en die ander ligter bestanddele geskei. Die konsentrate is met alkohol gewas en droog gemaak.

Die flogopiet-xenokriste is met die hand uitgesorteer nadat stukke kimberliet vergruis is. Stukkies kimberliet wat vry was van insluitsels en 'n flogopietryke grondmassa gehad het, is uitgesoek en verpoeier totdat dit deur die 200-maassif kon gaan. Daarna is die flogopiet met die elektromagneet gekonsentreer. Kalsiet in die grondmassa is met verdunde soutsuur opgelos en die monster is goed gewas en drooggemaak.

## Tabel 1

Chronologiese volgorde van literatuur waaruit chemiese analyses verkry is.

1. Wagner (1928) - "eklogiete", basalte.
2. Williams (1932) - "eklogiete", peridotiete, pirokse-niet, diopsied, enstatiet, flogopiet, kelifiet, ilmeniet.
3. Holmes (1936) - peridotiet, "eklogiet", diopsied, flogopiet, enstatiet.
4. Alderman (1936) - enstatiet, diopsied, granaat, "eklogiet"
5. Ross, Foster en Myers (1954) - olivien, enstatiet, diopsied.
6. Willshire en Binns (1961) - peridotiet, diopsied, granaat.
7. Dawson (1962) - granaat-peridotiet, diopsied, granaat, ilmeniet.
8. Deer, Howie en Zussman (1962) - flogopiet.
9. Yoder en Tilley (1962) - "eklogiet", granaat, diopsied, enstatiet.
10. Kushiro en Kuno (1963) - peridotiet.
11. Nixon en andere (1963) - "eklogiet", peridotiet, granaat, kelifiet, diopsied, enstatiet, olivien, spinel, flogopiet, ilmeniet.
12. Bosch (1963) - olivien.

Tabel 2

Nuwe chemiese analyses van xenoliete en minerale.

	✓ FS 1	FS 2	FS 3	FS 4	✓ FS 5	✓ FS 6	✓ FS 7	FS 8	FS 9
SiO <sub>2</sub>	49.7	48.6	30.2	43.7	53.8	55.6	31.6	40.6	41.8
TiO <sub>2</sub>	0.35	0.35	0.15	0.20	0.34	0.17	1.44	1.50	1.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.6	7.9	44.7	24.0	22.8	1.2	22.6	12.6	5.9
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50	0.65	0.85	0.20	0.73	0.09	1.23	0.06	0.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	0.8	0.1	0.6	1.0	1.2	0.9	1.8	6.3
FeO	4.4	4.1	3.6	4.2	1.2	3.1	5.4	4.4	3.0
MnO	0.17	0.18	0.11	0.09	0.12	0.14	0.36	0.11	0.11
MgO	30.1	29.1	6.9	8.6	18.2	36.0	22.5	25.5	25.0
CaO	4.0	4.6	10.6	14.13	<del>14.88</del>	0.4	4.0	0.6	0.1
Na <sub>2</sub> O	0.37	0.40	0.69	1.61	1.66	0.21	-	0.17	0.08
K <sub>2</sub> O	0.85	0.94	0.19	0.70	0.25	0.42	-	9.8	8.6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	00.07	0.07	0.02	0.03	0.04	0.03	0.06	0.06	0.03
-H <sub>2</sub> O	0.23	0.19	0.06	0.11	0.08	0.17	0.03	0.15	1.20
H <sub>2</sub> O	2.17	2.06	0.33	0.95	0.68	0.93	0.39	2.40	4.23
Totaal	100.01	99.94	98.50	99.29	99.70	99.66	99.51	99.70	98.25

- FS 1 *TLB 364* Olivien-enstatiet-griekwaïet, <sup>*flogopiet*</sup> Newlands-myn, Barkly-Wes
- FS 2 Flogopiet-griekwaïet, Bellsbank, Barkly-Wes
- FS 3 Korund-griekwaïet, Bellsbank, Barkly-Wes
- FS 4 Kyaniet-griekwaïet, Bellsbank, Barkly-Wes
- FS 5 Diopsied in olivien-enstatiet-griekwaïet FS 1, Newlandsmyn, Barkly-Wes
- FS 6 Enstatiet in olivien-enstatiet-griekwaïet FS 1, Newlandsmyn. Barkly-Wes
- FS 7 Granaat in enstatiet-griekwaïet FS 1, Newlandsmyn, Barkly-Wes
- FS 8 Flogopiet (xenokris), Mitchemanskraal, Barkly-Wes
- FS 9 Flogopiet van grondmassa van kimberliet, Mitchemanskraal, Barkly-Wes.

Analitikus: D.F. Silverthorne.

Tabel 2 (vervolg)

C.I.P.W. norme

	FS 1	FS 2	FS 3	FS 4
Ortoklaas	4.48	5.56	-	2.58
Albiet	3.08	3.14	-	8.91
<b>An</b> ortiet	13.41	17.01	53.64	73.50
Leusiet	-	-	0.87	-
Nefelien	-	-	3.12	-
Korund	-	-	24.37	-
Diopsied:				
CaSiO <sub>3</sub>	1.84	2.46	-	4.03
MgSiO <sub>3</sub>	1.50	3.47	2.00	4.59
FeSiO <sub>3</sub>	<u>0.13</u>	<u>0.13</u>	-	<u>0.86</u>
Hipersteen:				
MgSiO <sub>3</sub>	60.85	65.27	37.71	41.20
FeSiO <sub>3</sub>	<u>4.42</u>	<u>3.49</u>	-	<u>0.60</u>
Olivien:				
Mg <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	6.07	6.58	23.42	25.93
Fe <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	<u>0.51</u>	<u>2.51</u>	12.28	<u>4.32</u>
Ilmeniet	0.70	0.61	0.16	3.65
Magnetiet	0.61	1.16	-	<u>1.33</u>
Chromiet	<u>2.40</u>	<u>0.80</u>	<u>1.24</u>	<u>0.75</u>
	100.00	100.00	100.00	100.00

Tabel 2 (vervolg)

Diopsied, enstatiet en granaat in terme van hulle  
endlede in gewigspersentasie

	<u>Diopsied FS 5</u>	<u>Enstatiet FS 6</u>
CaSiO <sub>3</sub>	45.11	1.00
MgSiO <sub>3</sub>	52.30	92.89
FeSiO <sub>3</sub>	2.59	6.11
	<hr/>	<hr/>
	100.00	100.00
	 <u>Granaat FS 7</u>	
Pyr.	Mg <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	74.52
Alm.	Fe <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	13.41
And.	Ca <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	2.67
Sp.	Mn <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	0.96
Uv.	Ca <sub>3</sub> Cr <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	3.92
Gros.	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	4.52
		<hr/>
		100.00

Volumetriese mineraal samestellings van die geanaliseerde rotse.

	FS 1	FS 2	FS 3	FS 4
Granaat	45	38	47	51
Diopsied	20	41	39	38
Olivien	4	-	-	-
Flogopiet	-	21	-	-
Korund	-	-	14	-
Kyaniet	-	-	-	11
Enstatiet	31	-	-	-
	<hr/>	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	100	100	100	100

#### IV. OORSIG VAN LITERATUUR

Die eerste artikels oor xenoliete wat in die Suid-Afrikaanse kimberliete voorkom is geskryf deur Cohen in 1879 en Bonney en Beck in 1899 (Wagner 1914, bl. 120).

In 1914 verskyn P.A. Wagner se boek "Diamond Fields of Southern Africa", wat die eerste volledige publikasie is wat oor Suid-Afrikaanse kimberliet en geassosieerde insluitsels handel. Wagner wy 'n hoofstuk aan die sogenaamde "cognate" insluitsels en onderskei nege-en-twintig verskillende soorte. Hy onderskei net vyf tipes griekwaïet, twaalf tipes peridotiet asook flogopiet - of ilmeniethoudende insluitsels en pirokseniet. Hy gee breedvoerige beskrywings van hulle mineralogie en bespreek die verspreiding van die verskillende tipes asook die verskillende teorieë oor hulle oorsprong. In 1928 verskyn daar ook 'n artikel van Wagner wat handel oor die insluitsels. Hy stel 'n indeling voor wat gebaseer is op die diepte van oorsprong.

In sy boek "The Genesis of the Diamond" wy A.F. Williams (1932) twee hoofstukke aan die insluitsels wat in die verskillende kimberlietvoorkomste van Suid-Afrika aangetref word. Hy onderskei negentien verskillende soorte verwante insluitsels, insluitende sewe verskillende soorte peridotiet, agt verskillende soorte pirokseniet en vier soorte eklogiet (of griekwaïet soos Wagner (1914) hierdie rotstipes noem). Hy gee 'n breedvoerige beskrywing van elke tipe en van die olivien, granaat, diopsied, enstatiet, bronsiet, flogopiet, chromiet, ilmeniet, rutiel, pirrotiet, grafiet, kyaniet, sillimaniet, sirkoon, korund, aktinoliet, ougiet, perovskiet, en apatiet wat in die insluitsels voorkom, asook van die sekondêre minerale, serpentyn, talk, kalsiet, magnesiet, biotiet, spinel, chloriet, magnetiet, horingblende, kwarts, chaledoon, ougiet, sillimaniet, ilmeniet, aktinoliet, perovskiet en die kelifitiese rande. Die probleem in verband met hulle oorsprong en verspreiding word ook deur hom breedvoerig behandel.

Partridge (1934) het 'n spektroskopiese analise gemaak van die elemente in die minerale van insluitsels wat in Suid-Afrikaanse kimberliet voorkom.

Holmes (1936) klassifiseer die xenoliete in Suid-Afrikaanse kimberliet as peridotiet, eklogiet (griekwaïet?), basiese granuliet en amfiboliet. Elke groep is onderverdeel met 'n volledige beskrywing.

Watson (1955) gee 'n beskrywing van die kimberliet van Quebec en die insluitsels daarin. Hy gee 'n duidelike beskrywing van die petrografie van die kimberliet en kom tot die gevolgtrekking dat die  $\text{CO}_3$  wat in die kimberliet

grondmassa as  $\text{CaCo}_3$  aangetref word, in primêre bestaandeel is.

Davidson (1957) bespreek 'n artikel deur Russiese skrywers oor die kimberliet in Siberië waarin hy onder andere ook die mineralogie van die insluitsels wat in die kimberliet voorkom behandel. Later spreek Davidson (1964) die mening uit dat die insluitsels wat in 'n kimberliet in Tseggo Slowakye voorkom van 'n metamorfe vloer onder die kontinente afkomstig moet wees.

Smirnov (1959) gee 'n lys van sewentien minerale wat hy in insluitsels in die kimberliet van Siberië gevind het asook 'n beskrywing van elk.

Wilson (1960) onderskei twee tipes eklogiet; (i) tipiese eklogiet (griekwaïet?) met piroop en chroom-diopsied of monokliene pirokseen met of sonder klein hoeveelhede plagioklaas, kyaniet en grafiet; (ii) eklogietagtige gesteentes wat bestaan uit granaat, met die almandienendlid oorheersend, monokliene pirokseen en tot 40 persent plagioklaas met of sonder kyaniet en horingblende.

Willshire en Binns (1961) beskrywe die basiese en ultrabasiese xenoliete wat in die alkaliese vulkaniese gesteentes van Nieu-Suid-Wallis aangetref word. Hulle vind dat die oorwegende tipe peridotiet is met oorgange na pirokseniet en gabbro en kom tot die gevolgtrekking dat die insluitsels van die boonste mantel afkomstig is.

Dawson (1962 a) onderskei twee groepe insluitsels in die kimberliet van Lesotho (Basoetoland); (i) die wat as gesteentefragmente in die omgewing voorkom; (ii) die wat nie in die omgewing voorkom nie, naamlik granuliet, eklogiet (griekwaïet), granaat-peridotiet en minerale soos granaat, pirokseen en ilmeniet, met 'n beskrywing van elk.

Mikheyenko en Nenashev (1962) het ouderdomsbepalings uitgevoer op flogopietxenokriste in die kimberliet van Yakutia en kom tot die gevolgtrekking dat die flogopiet 661 miljoen jaar oud is terwyl die ouderdom van die kimberlietindringing 140 miljoen jaar is. Hulle meen ook dat die kimberliet as 'n koue vloeistof ingeplaas is.

Kushiro en Kuno (1963) beskrywe insluitsels in vulkaniese gesteentes en bespreek die moontlike oorsprong van die insluitsels.

Talbot en andere (1963) gee 'n beskrywing van die xenoliete en xenokriste in kimberliet afkomstig van die Kerguelen-argipel. Hulle behandel onder andere kriteria om te onderskei tussen xenokriste en fenokriste.

Nixon en andere (1963) beskrywe die kimberliet en geassosieerde xenoliete van Lesotho (Basoetoland) en bespreek die moontlike oorsprong van die insluitsels.

Oxburgh (1964) bespreek die moontlikheid van voorkoms van amfibool in die mantel en kom tot die gevolgtrekking dat daar wel so 'n mineraal teenwoordig moet wees, veral met die oog op die bron van kalium in magmas.

## V. KLASSIFIKASIE EN BENAMING VAN XENOLIETE

'n Groot aantal verskillende tipes insluitsels word aangetref in die kimberliet van Barkly-Wes. Die ondersoek is toegespits op insluitsels met basiese en ultrabasiese samestelling, en xenokriste, wat moontlik van die mantel afkomstig mag wees. Insluitsels van kors-gesteentes soos granuliet, graniet, granitiese gneis, granodioriet, biotietskis, amfiboliet, Ventersdorplawa, Campbellrand-dolomiet en Kartoosedimente en -doleriet is nie ondersoek nie.

Die insluitsels wat moontlik mantel-materiaal verteenwoordig wissel in grootte van 'n paar millimeters tot 30 cm in deursnee, met 'n gemiddelde deursnee van 4cm. Insluitsels met die samestelling van griekwaïet is die volopste. Die xenokriste is oor die algemeen kleiner met 'n gemiddelde deursnee van 1cm. Olivien is die volopste soort xenokris. Ilmeniet kom hoofsaaklik as xenoliete voor, maar xenokriste van ilmeniet word ook aangetref.

Die term griekwaïet word gebruik vir die insluitsels van rotse bestaande uit diopsied en granaat, alhoewel hierdie tipe gesteente in die literatuur algemeen beskrywe word as eklogiet. Die rede hiervoor is dat die oorspronklike definisie van eklogiet soos voorgestel deur Haüy (Holmes 1936, bl. 409) 'n benaming is vir 'n metamorfe gesteente met granaat, smaragdiet en omfasiet as essensiële minerale. Beck het in 1907 (Wagner 1914, bl. 120) die term griekwaïet gebruik vir 'n fanerokristallyne gesteente wat hoofsaaklik uit granaat en diopsied bestaan met of sonder olivien en flogopiet. Rotse wat hoofsaaklik uit granaat bestaan word granatiete genoem ten spyte van die feit dat die term gebruik word vir 'n metamorfe gesteente (Rice 1960, bl. 147). Ortopirokseniet is 'n gesteente wat hoofsaaklik uit ortopirokseen bestaan en klinopirokseniet bestaan hoofsaaklik uit klinopirokseen. Die voorvoegsel orto- het betrekking op die pirokseen en is nie 'n gemetamorfiseerde stollinggesteente nie.

Volgens skatting is die relatiewe oorfloed van die verskillende soorte xenoliete in die verskillende voorkomste min of meer soos volg; griekwaïet - 80 persent; peridotiet- 15 persent; pirokseniet - 5 persent. Die variasie in mineralogiese samestelling van die xenoliete maak dit moontlik om hulle in

drie series te verdeel (Plaat IV):

1. Griekwaïet-serie; met klinopirokseniet (Veld 1 -diopsied) en granatiet (Veld 2-granaat) as endtipes en die volgende intermediëre tipes:
  - a. Griekwaïet: (Veld 3) granaat, diopsied.
  - h. Enstatiet-griekwaïet: (Veld 4) granaat, diopsied, enstatiet.
  - b. Korund-griekwaïet: (Veld 5) granaat, diopsied, korund.
  - c. Flogopiet-griekwaïet: (Veld 6) granaat, diopsied, flogopiet.
  - g. Olivien-griekwaïet: (Veld 7) granaat, diopsied, olivien.
  - d. Kyaniet-griekwaïet: (Veld 8) granaat, diopsied, kyaniet.
  
2. Peridotiet-serie; met duniet (Veld 12 -olivien) en ortopirokseniet (Veld 9-enstatiet) as endtipes en die volgende intermediëre tipes:
  - a. Harzburgiet: (Veld 14), olivien, enstatiet.
  - b. Granaat-harzburgiet: (Veld 15), olivien, enstatiet, granaat.
  - d. Flogopiet-harzburgiet: (Veld 16), olivien, enstatiet, flogopiet.
  - e. Lherzoliet: (Veld 17), olivien, enstatiet, diopsied.
  
3. Pirokseniet-serie; met ortopirokseniet (Veld 9 -enstatiet) en klinopirokseniet (Veld 1 - diopsied) as endtipes en websteriet (Veld 11 - enstatiet en diopsied) as 'n intermediëre tipe.

4. Ilmenitiet (ilmeniet).

Deur gebruik te maak van Shand (1949<sup>50</sup>, bl. 206) se sisteem van klassifikasie kan hierdie rotse moontlik ook ingedeel word in terme van versadiging en onderversadiging ten opsigte van silika en alumina in die gesteente, mits die aanname gemaak kan word dat granaat en/of flogopiet in hierdie rotse 'n soortgelyke rol speel as wat veldspaat in gewone stollingsgesteentes speel. Sover as wat dit die alumina en alkalië betref, neem die granaat en flogopiet hoofsaaklik al die beskikbare alumina en alkalië soos by veldspate in stollingsgesteentes op, totdat daar nie meer granaat en/of flogopiet gevorm kan word nie, waarna die oormaat alumina dan opgeneem word in die vorming van minerale soos flogopiet, kyaniet en korund.

Die volgende klassifikasie is dan moontlik:

1. Versadig ten opsigte van silika.
  - a. Subalumineuse tipes
    - (i) griekwaïet
    - (ii) klinopirokseniet

- (iii) granatiet (granaat, diopsied minder as 20 persent).
- (iv) ortopirokseniet (enstatiet, diopsied minder as 10 persent).
- (v) websteriet
- (vi) flogopiet-griekwaïet
- (vii) flogopiet-glimmeriet

**b.** Peralumineuse tipes

- (i) kyaniet-griekwaïet

**2.** Onderversadig ten opsigte van silika.

**a.** Subalumineuse tipes

- (i) olivien-griekwaïet
- (ii) olivien-enstatiet-griekwaïet
- (iii) duniet
- (iv) harzburgiet
- (v) Lherzoliet
- (vi) granaat-harzburgiet
- (vii) granatiet (granaat meer as 80 persent, olivien, enstatiet).
- (viii) ortopirokseniet (enstatiet, olivien minder as 10 persent)
- (ix) flogopiet-harzburgiet.

**b.** Peralumineuse tipes soos korund-griekwaïet.

Dit is duidelik (Plaat IV) dat daar twee hoofseries is naamlik die griekwaïet-serie en die peridotiet-serie wat met mekaar verbind word deur die pirokseniet-serie. Daar bestaan nie skerp grense tussen die onderlinge velde nie en die grense is dus meestal arbitrêr gekies.

Die verskillende tipes insluitels in die verskillende voorkomstê gerangskik in volgorde van oorfloed is:

Frank Smith-myn:	granaat-harzburgiet, harzburgiet, flogopiet-harzburgiet, granatiet en ilmeniet.
Newlandsmyn:	griekwaïet, flogopiet-griekwaïet, enstatiet-griekwaïet en olivien-griekwaïet.
Bellsbank Hoofgang:	griekwaïet, duniet, ortopirokseniet, klinopirokseniet en flogopiet-harzburgiet.
Bellsbank Bobbejaangang:	griekwaïet, kyaniet-griekwaïet, korund-griekwaïet, flogopiet-

Mitchemanskraal-Sovergang:

griekwaïet, en lherzoliet.

griekwaïet, flogopiet-griekwaïet, pirokseniet, duniet, websteriet, klinopirokseniet en ortopirokseniet.

## VI MINERALOGIE EN PETROGRAFIE VAN DIE XENOLIETE EN XENOKRISTE

### A. Xenoliete

#### 1. Griekwaïet-serie

Die meeste rotse in hierdie serie is grofkorrelrig en allotriomorf. Die gemiddelde deursnee van die granaat is 9mm en van die diopsied 6mm. Die bykomstige minerale is gewoonlik kleiner. Die granaat het gewoonlik 'n wynkleur en diopsied is kenmerkend groen.

Die uitstaande kenmerk van hierdie serie is die voorkoms van diamante as bykomstige mineraal in die insluitsels in die kimberliet van Mitchemanskraal en Bellsbank. Die diamante is oor die algemeen klein, tussen 1.0 en 0.5mm in deursnee, maar een groot kristal van 'n paar karaat is al gevind. In een monster van griekwaïet is al soveel as 30 klein diamantjies getel. Die diamante in die xenoliete het goed ontwikkelde kristalvlakke in teenstelling met die diamante in die matriks van die kimberliet wat 'n afgeronde voorkoms het. In een slypplaatjie van griekwaïet, in die kimberliet van Mitchemanskraal, kom 'n diamant (deursnee 0.3mm) in granaat voor (Plaat V, Figuur A).

a. Griekwaïet Die rotse word algemeen aangetref in die kimberliet van Bellsbank, Mitchemanskraal-Sovergang en Newlandsmyn. Die essensiële minerale is piroop en diopsied met flogopiet en ilmeniet as bykomstige minerale. Die piroop en diopsied maak 90 persent of meer van die rots uit en kan in enige verhouding voorkom (Plaat IV, Veld 3). Die soortlike gewig van die griekwaïet is gemiddeld 3.51 maar dit wissel na gelang van die hoeveelheid van die verskillende minerale.

Die diopsied is tussenliggend ten opsigte van piroop en skep die indruk dat die piroop voor die diopsied gekristalliseer het (Plaat IX, Figuur A).

Baie van die piroop ( $\eta$  1.744  $\pm$  .002) het 'n prominente kelifietrand, veral waar dit aan die buitekant van die xenoliet sit.

Eksolusie van piroop uit diopsied kom op 'n klein skaal voor (Plaat XI, Figuur B). Soms val die pirooplamelle in die diopsied met die splytingsrigting saam, maar dit is nie altyd die geval nie. Eksolusie van ortopirookseen uit diopsied is in een geval opgemerk saam met die eksolusie van piroop uit diopsied, sodat die lamelle parallel aan mekaar in die diopsied voorkom.

Die vernaamste bykomstige mineraal is flogopiet. Die flogopiet kom hoofsaaklik as rande om die piroop voor en selde om die diopsied (Plaat IX, Figuur A). In enkele gevalle kom die flogopiet langs die splytingsvlakke van die diopsied voor. Volgens Holmes (1936, bl. 379) is die flogopiet 'n veranderingsproduk van piroop, met horingblende as intermediêre produk. Die flogopiet in die diopsied mag dan moontlik veranderde piroop verteenwoordig.

Ilmeniet kom as insluitsels in die piroop en diopsied voor en was oënskynlik die eerste mineraal om te kristalliseer.

b. Korund-griekwaïet. - Die rotstipes word net in die kimberliet van Bellsbank aangetref. Piroop is die oorheersende mineraal, en maak tussen 40 en 80 persent van die rots uit, diopsied tussen 5 en 40 persent en korund tussen 10 en 40 persent (Plaat IV, Veld 8). Die korund is fyner gekristalliseer (Plaat VI, Figuur B) as die twee ander minerale en het 'n medium grootte korrel van gemiddeld 1mm. Twee tipes word hier onderskei: die met samestelling piroop, diopsied, korund en olivien en die met samestelling granaat, diopsied, korund en enstatiet. Olivien of enstatiet is ondergeskik en dien om die twee tipes te onderskei.

Die korund-griekwaïet met olivien het piroop, diopsied, korund en olivien as primêre bestanddele. Die wynkleurige piroop het 'n brekingsindeks van  $1.741 \pm 0.002$  en vertoon dikwels 'n kelifitiese rand, en het blykbaar na die korund gekristalliseer. In die piroop kom 'n liggroen mineraal voor, moontlik 'n amfibool, wat die begin van kelifietvorming verteenwoordig. Die diopsied vertoon eksolusie van piroop op 'n growwe skaal. Dieselfde verskynsel word aangetref tussen olivien en piroop alhoewel in hierdie geval die oriëntasie van die piroop lamelle nie so opvallend is nie. Eksolusie van enstatiet uit diopsied kom ook redelik algemeen voor.

Volgens die waardes van  $\beta$  ( $1.7672 \pm .002$ ) en  $2V_z$  ( $62^\circ$ ) is die samestelling van die diopsied  $Wo_{51} En_{48} Fs_1$ . Die diopsied is soms verander in 'n wit ondeursigtige mineraal wat die diopsied langs die kante in krake vervang, sodat in enkele gevalle nog net kerne van onveranderde diopsied oorgebly het.

Die korund ( $\epsilon - 1.713 \pm .002$ ) is besonder skoon en vertoon geen in-

sluitsels of veranderingsprodukte nie, maar wel tweeling. Dit is lig gekleurd en het oënskynlik eerste gekristalliseer.

Volgens die waarde van  $2V_z (88^\circ)$  is die samestelling van die olivien  $Fa_6$ . Dit het serpentyne as veranderingsproduk.

Die korund-griekwaait met enstatiet bevat geen olivien nie en die korund het 'n donkerder kleur as in die vorige tipe wat beskrywe kan word as lila. Die enstatiet vertoon eksolusie van granaat en diopsied. Die ander eienskappe stem ooreen met die van die olivien-houdende korund-griekwaait.

c. Flogopiet-griekwaait - Hierdie rotse kom in die kimberliet van Mitchemanskraal en Newlandsmyn voor en het die volgende essensiële minerale: piroop, diopsied, flogopiet en soms olivien of enstatiet en ilmeniet. Die piroop en diopsied kom in min of meer gelyke hoeveelhede voor saam met 'n maksimum van 20 persent flogopiet (Plaat IV, Veld 6). Die gesteente is grofkorrelrig en net die bietjie enstatiet en olivien kom as klein korreltjies voor (Plaat VI, Figuur <sup>A</sup>B).

Die piroop ( $\eta -1.749 \pm .002$ ) vertoon kelifiet in verskillende stadiums van ontwikkeling, van waar dit slegs uit 'n groen amfibool bestaan tot 'n ~~swart~~ swart ondeursigtige veselagtige mineraal bestaan. Magnetiet kom in die amfibool voor.

Volgens die waardes van  $\beta (1.677 \pm .002)$  en  $2V_z (56^\circ)$  is die samestelling van die diopsied  $Wo_{45}En_{50}Fs_5$ . Die diopsied het 'n schillervoorkoms as gevolg van swak eksolusie van 'n ortopirokseer en word langs die splytingsvlakke deur serpentyne vervang.

Die olivien wat as enkele kristalletjies, gemiddeld 0.1mm in deursnee, aangetref word, is soms heeltemal verander in serpentyne terwyl ander in dieselfde monster geen tekens van verandering toon nie. Magnetietartjies en -stippeltjies kom algemeen in die veranderde olivien voor.

Die flogopiet kom voor as groot kristalle met 'n gemiddelde grootte van 6mm wat dieselfde optiese oriëntasie het as die flogopiet wat as rande om die granaat voorkom (plaat VI, Figuur <sup>A</sup>B). Barste in die piroop en diopsied is ook gevul met flogopiet wat laaste gekristalliseer het. Geörienteerde fyn lamelle van kalsiet kom in die flogopiet voor.

Enstatiet kom as enkel kristalletjies, gemiddeld 0.2mm in deursnee, voor en word algemeen vervang deur serpentyne. Ilmenietinsluitels word aangetref in al die minerale, veral in die flogopiet. 'n Groen amfiboolrand kom om die meeste ilmeniet insluitels voor.

d. Kyaniet-griekwaïet . - Kyaniet-griekwaïet kom net in die kimberliet van Bellsbank voor. Die essensiële minerale is piroop, diopsied, kyaniet en soms sillimaniet. Kyaniet maak nooit meer as 15 persent van die rots uit nie en die res bestaan uit diopsied en piroop wat in enige verhouding kan voorkom, met 'n minimum van 20 persent piroop en 25 persent diopsied (Plaat IV, Veld 5).

Volgens die waardes van  $\beta(1.742 \pm .002)$  en  $2V_z(60^\circ)$ , is die samestelling van die diopsied  $Wo_{51}En_{45}Fs_4$ . Kristalle van diopsied is soms heeltemal verander in 'n wit ondeursigtige mineraal en soms is nog net kerne van onveranderde diopsied oor. Al die diopsied is in 'n mindere of meerdere mate verander. Geen optiese eienskappe kan van die wit melkerige materiaal verkry word nie.

Die wynkleurige piroop ( $n 1.742 \pm .002$ ) is vol barste wat gevul is met 'n ortopirokseen. Dit vertoon baie min kelifiet. Eksolusie van piroop uit diopsied kom voor met kyanietkristalle soms parallel aan die lamelle gerangskik.

Die bloukleurige kyaniet, wat oënskynlik eerste gekristalliseer het, kom voor in die vorm van klein kristalletjies, 0.5mm in deursnee, wat tussen die ander groot kristalle versprei is (Plaat VII, Figuur A.) Hulle vertoon geen insluitsels nie, maar wel tweeling. Sillimaniet kom in die vorm van lang dun naalde voor en is moontlik 'n polimorfe produk van kyaniet. Flogopiet, wat 'n bestanddeel van al die ander tipes griekwaïet is, word nie in hierdie rotse aangetref nie, selfs nie eers as veranderingsproduk nie.

Verskeie diamantjies is in die tipe gesteente gevind, hoofsaaklik in die granaat en soms ook in die diopsied. Die diamante is klein, ongeveer 'n 0.05 - 0.1 karaat, en is tipies diamantvormig.

e. Granatiet - Drie tipes granatiet (Plaat IV, Veld 2) kom algemeen voor in die kimberliet van die Frank Smith-myn en minder algemeen in die kimberliet van die Mitchemanskraal-Sovergang. Die eerste tipe bestaan uit piroop sonder bykomstige minerale. Dit is saamgestel uit aggregate van wynkleurige piroop waarvan die korrelgrootte moeilik is om te bepaal aangesien dit vol barste is. Dat dit uit groot korrels bestaan is duidelik en korrels met 'n deursnee van tot 10mm is nie ongewoon nie. Die brekingsindeks van die piroop is  $1.742 \pm .002$ . Hierdie granatiet verteenwoordig die een endtipe van die griekwaïet-serie.

Die tweede tipe granatiet met diopsied as bykomstige mineraal verskil nie veel van die eerste tipe nie, maar dit bevat tot soveel as 10 persent

diopsied saam met die piroop.

Die derde tipe granatiet het olivien en enstatiet as bykomstige minerale. Die piroop maak 75 persent of meer van die rots uit en is eerder pers-rooi as wynkleurig soos in die ander tipes. Die olivien en enstatiet kom as kleiner kristalletjies (gemiddeld 0.02mm in deursnee), tussen die piroop voor en is soms heeltemaal verander in serpentyn.

Holmes (1936, bl. 408) beskou die granatiete met olivien en enstatiet as lede van die peridotiet-serie omdat die veranderingsprodukte, die groot afmetings van die xenoliete, en die lae ouderdom van 22 miljoen jaar meer kenmerkend van die peridotiet-serie is.

f. Klinopirokseniet. - Klinopirokseniet-xenoliete kom in al die kimberliet van die verskillende voorkomste voor behalwe in die Frank Smith-myn se kimberliet. Die rotse bestaan uit 90 persent of meer diopsied (Plaat IV, Veld 1) met piroop, flogopiet en ilmeniet as bykomstige minerale. Hierdie rotse verteenwoordig 'n endtipe van die griekwaïetserie asook van die pirokseniet-serie soos aangedui in plaat IV.

Die diopsied in hierdie rotse het dieselfde samestelling, brekingsindekse en optiese hoeke as die wat in die griekwaïete voorkom, en het 'n gemiddelde korrelgrootte van 8mm. 'n Kenmerk van die diopsied is die verbrokkeling van die kristal langs die kante. Williams (1932, bl. 378) skryf die verbrokkeling van die kristalkante toe aan rekristallisasie van 'n hoëdruk-polimorf na 'n stabiele pirokseen onder lae-druk-toestande. Ilmenietinsluitsels in die diopsied is omring deur 'n rand van leukokeen wat ook in aartjies voorkom en van die ilmeniet tot in die diopsied strek.

g. Olivien-griekwaïet.-Olivien-griekwaïet kom net in die kimberliet van Newlandsmyn voor. Die essensiële minerale is piroop, diopsied, en olivien. Piroop maak 60 persent of meer van die rots uit, diopsied tussen 10 en 30 persent en olivien tussen 5 en 15 persent (Plaat IV, Veld 7).

Die granaat en diopsied vorm 'n tipiese granulitiese tekstuur met die kleiner olivien-kristalle (gemiddeld 0.4mm in deursnee) versprei tussen die groot kristalle van diopsied en granaat (gemiddeld 7.5mm in deursnee) (Plaat VIII, Figuur A).

Volgens die waardes van  $\beta(1.674 \pm .002)$  en  $2V_z(60^\circ)$  is die samestelling van die diopsied  $Wo_{51}En_{44}Fs_5$ . Afgesien van die growwe ekslusie van 'n ortopirokseen is die diopsied andersins redelik skoon met min insluitels en min veranderings-produkte.

Volgens die waarde van  $2V_z (88^\circ)$ , is die samestelling van die olivien  $Fa_7$ . Die olivien vertoon slegs by uitsondering verandering in serpentyn, terwyl die olivien-xenokriste in die omringende grondmassa volledig verander is in serpentyn. Magnetiet kom algemeen voor in die veranderde olivien wat soms dof omlyn is deur 'n groen chlorietsone (Plaat VIII, Figuur A).

h. Olivien-enstatiet-griekwaïet - Die rotse word net in die kimberliet van Newlandsmyn en Bellsbank aangetref. Die minerale piroop en diopsied kom omtrent in gelyke hoeveelhede voor en enstatiet maak tot 40 persent van die rots uit (Plaat IV, Veld 4). Ilmeniet kom in klein hoeveelhede voor as insluitsels in die piroop en enstatiet. Olivien kom in al die monsters voor maar nooit meer as 5 persent.

Die enstatiet en diopsied, met 'n gemiddelde korrelgrootte van 8.0mm, is tussenliggend ten opsigte van die piroop ( $\eta$   $1.742 \pm .002$ ) en dit skep die indruk dat die piroop eerste gekristalliseer het (Plaat VII, Figuur B). Kelifiet is veral goed ontwikkel om die piroop, waar dit in kontak is met die kimberlitiese matriks.

Die diopsied, wat blykbaar na die piroop gekristalliseer het, is besonder vry van insluitsels en veranderings-produkte. Volgens die waardes van  $\beta$  ( $1.673 \pm .002$ ) en  $2V_z (62^\circ)$ , is die samestelling van die diopsied  $Wo_{51}En_{48}Es_1$ .

Die enstatiet wat moontlik laaste gekristalliseer het, vertoon 'n ekslusie van klinopirokseen asook van rutiel wat in die vorm van plate parallel aan die splytingsrigtings voorkom. Volgens die waardes van  $2V_z (80^\circ)$  en  $\beta$  ( $1.666 \pm .002$ ) is die samestelling van die enstatiet  $Of_7$ . Die enstatiet word vervang deur flogopiet wat ook as rande om die diopsied en enstatiet voorkom.

## 2. Peridotiet-serie

Hierdie tipe xenoliet is nie so volop nie, moontlik omdat dit 'n suikeragtige tekstuur het wat waarskynlik veroorsaak dat die rots maklik verbreek. Byna al die aanvanklike xenoliete het waarskynlik opgebreek en vorm nou slegs xenokriste in die matriks van die kimberliet. Die peridotiet is grof-korrelrig en het 'n gemiddelde korrelgrootte van 9mm. Die piroop het 'n donker-rooi kleur en nie die kenmerkende wynkleur van die piroop in die griekwaïete nie.

a. Harzburgiet - Harzburgiet kom algemeen voor in die kimberliete van die Frank Smith-myn en minder algemeen in die kimberliete van Bellsbank.

Die essensiële minerale, olivien en enstatiet, kom in wisselende verhoudings voor en maak saam meer as 95 persent van die rots uit. Die gemiddelde korrelgrootte van die olivien en enstatiet is 10mm (Plaat IV, Veld 14). Ilmeniet en rutiel word in klein hoeveelhede aangetref.

Volgens die waarde van  $2V_z (88^\circ)$  is die samestelling van die olivien  $Fa_6$ . Volgens die waardes van  $2V_z (75^\circ)$  en  $\beta (1.673 \pm .002)$  is die samestelling van die enstatiet  $Of_6$ .

Die olivien toon in enkele gevalle mooi deurgroeiings met rutiel (Plaat V, Figuur B). Veranderingsprodukte van olivien sluit serpentyn, chloriet en magnetiet in. Die uitskeiding van magnetiet het soms tot so 'n mate plaasgevind dat die hele gesteente 'n swart voorkoms het, behalwe vir die enkele enstatietkristalle wat skoon is.

Hoewel die enstatiet ook verander is in serpentyn, het dit nie die swart voorkoms van die olivien nie. Die enstatiet vertoon ekslusie van diopsied op mikroskopiese skaal en is in 'n paar gevalle ook grafies deurgroei met rutiel. Veranderingsprodukte sluit serpentyn en flogopiet in. Afgesien van die olivienkristalle wat blykbaar gelyktydig saam met die enstatiet gekristalliseer het, word klein ronde kristalletjies met 'n gemiddelde deursnee van 0.1 mm van olivien in die enstatiet aangetref.

b. Granaat-harzburgiet - Besonder groot insluitels van granaat-harzburgiet, tot 30 cm in deursnee, kom voor in die kimberliet van die Frank Smith-myn (Plaat VIII, Figuur B). Granaat-harzburgiet is nie in die ander voorkomste van kimberliet gevind nie.

Olivien maak 50 persent of meer van die rots uit. Die ander minerale is piroop en enstatiet wat in min of meer gelyke hoeveelhede voorkom (Plaat IV, Veld 15). Die olivien se samestelling, naamlik  $Fa_6$ , is dieselfde as die van die harzburgiet en het ook serpentyn, wat swart is van die magnetiet, as veranderingsproduk. Die olivien - en enstatietkristalle is ewe groot (8mm in deursnee).

Die enstatiet is ook baie verander in serpentyn, maar die serpentyn is lig gekleur ten spyte van die feit dat die enstatiet ook 6 persent van die ortoferrosiliet-endlid het.

Die piroop vorm oneievormige kristalle met 'n gemiddelde deursnee van 5mm. Die olivien en enstatiet is tussenliggende minerale. Kelifiet is nie so goed ontwikkel as wat 'n mens sou verwag in 'n rots wat so intens geserpenteneer is nie. Die piroop se kleur is ook rooier as die tipiese wynkleur van die piroop in die griekwaïete. Flogopiet kom algemeen as 'n veranderingsproduk om die piroop voor.

c. Duniet. - Duniet-xenoliete word aangetref in die kimberliet van Mitchemanskraal en Bellsbank. Dit bevat 90 persent of meer olivien en is die een endtipe vir die peridotiet-serie (Plaat IV, Veld 12). Die duniet het 'n suikeragtige tekstuur met 'n gemiddelde korrelgrootte van 9mm. Volgens die waarde van  $2V_z (88^\circ)$  is die samestelling van die olivien  $Fa_7$ . Basies het die olivien dieselfde eienskappe as die olivien in die harzburgiet en vertoon dit ook dieselfde veranderingsprodukte.

'n Paar gesteentes bevat geen enstatiet nie, net olivien en piroop, en word ook as groot insluitsels in die kimberliet van die Frank Smith-myn aangetref. In hierdie gesteentes vertoon die olivien dieselfde swart serpentyn as die granaat-harzburgiete.

d. Flogopiet-harzburgiet - Hierdie tipe word aangetref in die kimberliet van Frank Smith-myn en van Bellsbank. Die primêre minerale is olivien, enstatiet en flogopiet. Olivien is die volopste van 50 tot 80 persent, enstatiet van 10 tot 45, en flogopiet van 2 tot 30 persent. Dit is moeilik om die korrelgrootte van die olivien en enstatiet te bepaal, aangesien dit deurtrek is met serpentynare, maar is in die omgewing van 8mm.

Die olivien het dieselfde samestellings ( $Fa_7$ ) en eienskappe as die olivien in die ander peridotiet-tipes en vertoon ook die swart magnetietuitskeiding, alhoewel nie altyd so intensief nie. Blykbaar was olivien een van die eerste minerale om te kristalliseer. Die olivien het chloriet en kalsiet as veranderingsproduk.

Enstatiet wat die grootste gekristalliseer het, met kristalle tot 10mm in deursnee, word langs die splytingsvlakke vervang deur 'n kleurlose serpentyn. Eksolusie van diopsied kom in die enstatiet voor, maar is nie goed ontwikkel nie.

Die flogopiet vertoon min verandering en kom as skoon kristalle voor.

e. Lherzoliet - Hierdie is die seldsaamste tipe xenoliet in die kimberliet van Barkly-Wes, en word net in die kimberliet van Bellsbank aangetref. Twee tipes word aangetref, die eerste tipe bestaan uit 50 tot 80 persent olivien, 30 tot 40 persent enstatiet, en 'n maksimum van 20 persent diopsied. Die tweede tipe bestaan uit dieselfde minerale as die eerste tipe, maar het daarby nog flogopiet tot 'n maksimum van 15 persent (Plaat IV, Veld 17).

Die diopsiedkristalle is gewoonlik klein, (2mm in deursnee) in teenstelling met die groter en meer eievormige kristalle van olivien en enstatiet met 'n gemiddelde deursnee van 9mm. (Plaat IX, Figuur B). Volgens die waarde van  $\beta (1.670 \pm .002)$  en  $2V_z (60^\circ)$  is die samestelling van die

diopsied  $Wo_{51}En_{48}Fs_1$ . Die olivien en die enstatiet het dieselfde samestelling, naamlik  $Fa_7$  en  $Of_6$  onderskeidelik, en dieselfde veranderingsprodukte as die ander lede van die peridotiet-serie.

Indien die gesteente flogopiet bevat is dit 'n flogopiet-lherzoliet. Die flogopiet toon min veranderings en kom as skoon kristalle voor.

### 3. Pirokseniet-serie

Hierdie rotse is grofkorrelrig met 'n gemiddelde korrelgrootte van 8mm.

a. Ortopirokseniet - Hierdie rotse kom algemeen voor in die kimberliet van Mitchemanskraal- en Sovergang en van Frank Smith-myn. Enstatiet maak 90 persent of meer van die rots uit (Plaat IV, Veld 9) met die volgende as bykomstige minerale: olivien, diopsied, piroop en ilmeniet en is 'n endtipe vir die pirokseniet-serie en die peridotiet-serie.

Volgens die waarde van  $2V_z (74^\circ)$  en  $\beta (1.66 \pm .002)$  is die samestelling van die enstatiet  $Fa_6$ . Die gemiddelde korrelgrootte van die enstatiet is 7mm. Die enstatiet het diopsied en rutiel as eksolusie-produkte. Veranderingsprodukte sluit in chloriet, flogopiet en magnetiet.

Piroop en ilmeniet word as klein geïsoleerde kristalletjies met 'n gemiddelde deursnee van 0.1mm, in die enstatiet aangetref. Die olivien is gewoonlik heeltemal verander in serpentyn en vertoon in enkele gevalle 'n deurgroeing met rutiel. 'n Algemene verskynsel is dat waar die olivien deurgroei is met rutiel dit glad nie verander is in serpentyn nie en geen teken van rutiel gevind kan word waar die olivien in serpentyn verander is nie.

b. Websteriet - Websteriet word net in die kimberliet van Mitchemanskraal - Sovergang aangetref. Diopsied en enstatiet maak meer as 90 persent van die rots uit (Plaat IV, Veld 11) met piroop, olivien en enstatiet as bykomstige minerale. Die diopsied en enstatiet is tipies grofkorrelrig met 'n gemiddelde deursnee van 8mm.

Die enstatiet het dieselfde optiese eienskappe en dus dieselfde samestelling as die enstatiet in die ortopirokseniete, naamlik  $Fa_6$  <sup>of</sup>.

Volgens die waardes van  $\beta (1.673 \pm .002)$  en  $2V_z (64^\circ)$  is die samestelling van die diopsied  $Wo_{53}En_{47}Fs_0$ .

Besondere growwe eksolusie kom voor in die orto- en klinopirokseene van klino- en ortopirokseene respektiewelik (Plaat X, Figuur A). Die lamelle is omtrent ewe breed en het dieselfde samestelling as die geïsoleerde kristalle van diopsied en enstatiet. Albei minerale het piroop as insluisels en in die enstatiet neig die piroop om 'n oriëntasie aan te neem. Die piroop verander

algemeen in flogopiet en die flogopiet wat as insluitsels in die enstatiet en diopsied voorkom, mag moontlik piroopinsluitsels wees wat in flogopiet verander is. Die verandering van piroop in amfibool, wat die verandering in flogopiet voorafgaan, kom in enkele gevalle voor en gaan gepaard met die uitskeiding van magnetiet.

Ilmeniet wat as redelike groot kristalle met 'n maksimum deursnee van 1.0mm voorkom, het gewoonlik 'n lagie leukoseen om. Olivien kom in die vorm van klein kristalagregate met 'n gemiddelde deursnee van 0.1mm voor. Veranderings produkte sluit in kalsiet en 'n lagie ligte groen amfibool.

#### 4. Ilmeniet

'n Aantal xenoliete kom voor in die kimberliet van Frank Smith-myn wat net uit ilmenietkristalle bestaan. Xenoliete met 'n deursnee van tot 50 mm is gevind. By uitsondering is een van die volgende minerale saam met die ilmeniet aangetref maar nooit meer as 10 persent daarvan nie; olivien, enstatiet en diopsied.

### B. XENOKRISTE

Die minerale hieronder beskryf word as xenokriste beskou en nie as fenokriste nie omrede al die kristalle goed gerond is en glad nie eievormige buitelyne vertoon nie en ook omdat hulle dieselfde optiese eienskappe en chemiese samestelling het as die ooreenstemmende minerale in die xenoliete. Hierdie xenokriste verteenwoordig opgebreekte xenoliete en veral opgebreekte peridotiet. Xenokriste van olivien is volop in al die kimberliet van Barkly-Wes en maak omtrent 90 persent van die totale aantal xenokriste uit. Ongeveer 5 persent van die xenokriste is granaat wat ook in al die kimberliet van Barkly-Wes voorkom. Flogopiet is derde volopste (3 persent) en kom ook in al die kimberliet voor maar veral in die van die Frank Smith-myn. Xenokriste van ilmeniet kom net algemeen in die Frank Smith-myn voor en maar selde in die ander voorkomste. Die ilmeniet-xenokriste maak ongeveer 2 persent van die totale aantal xenokriste uit.

#### 1. Olivien

Goedgeronde xenokriste van olivien maak omtrent 30 persent van die kimberliet van die verskillende voorkomste uit. Die mees algemene grootte wissel tussen 0.01 en 5.0mm.

Die optiese eienskappe van die olivien varieer nie baie nie. Die bereik van  $2V_z$  is van  $90^\circ$  tot  $86^\circ$  met 'n gemiddelde van  $87^\circ$ . Die bereik van  $\beta$  is van 1.661 tot 1.672. Die gemiddelde brekingsindekse is;  $\alpha$  -1.653;  $\pm$  .002  $\beta$  - 1.666  $\pm$  .002'  $\gamma$  -1.689  $\pm$  .002. Hierdie optiese eienskappe stem ooreen met samestelling Fa .

Die belangrikste kenmerk van die olivien is die verandering in serpentyn. Die verandering vind plaas langs krake en barste en soms is die hele kristal in serpentyn verander. Serpentinisasie het nie eenvormig plaasgevind nie. 'n Volledige veranderde kristal lê soms langs een wat glad nie verander is nie. Chloriet kom binne in die olivien voor sodat die serpentyn 'n maasstruktuur om die chloriet vorm. Kalsiet word ook in die olivien aangetref maar is moontlik 'n veranderingsproduk van monticelliet, soos voorgestel deur Dawson (1962a bl. 545). Monticelliet kom soms nog voor as oorblyfsels in olivien wat volkome in serpentyn verander is. Uitskeiding van magnetiet het algemeen in die veranderde olivien plaasgevind. Insluitsels van diopsied, enstatiet en ilmeniet kom ook in die olivien voor.

## 2. Granaat

Xenokriste van granaat is algemeen in die kimberliet maar nie so volop as die xenokriste van olivien nie. Die algemene grootte-bereik is van 2.0 tot 4.0mm met 'n maksimum van ongeveer 70mm. Die granaat-xenokriste vertoon twee kleurreekse met verskillende grade van kleurversadiging, naamlik 'n oranje wynkleurige reeks en 'n rooi-pers reeks. Beide reekse wissel van 'n ligte oranje en 'n ligte rooi kleur tot 'n donker oranje en 'n donker rooipers kleur respektiewelik. Te oordeel aan die kleure van die granate in die xenoliete is die granate van die oranje kleurreeks afkomstig uit griekwaïet en die van die rooipers reeks uit peridotiet. Laasgenoemde soort is oorheersend in die kimberliet. Aangesien peridotiet vanweë sy tekstuur waarskynlik geneig sal wees om gedurende die inplasing van die kimberliet in aparte korrels op te breek sou 'n mens seker kan verwag dat granaatxenokriste meer oorvloedig as peridotietxenoliete sal wees.

Die vernaamste kenmerk van die granate is die ontwikkeling van 'n kelifietrand. Die kelifietrand bestaan uit twee sones naamlik 'n groen amfibool met magnetiet aan die binnekant en 'n swart ondeursigtige veselagtige materiaal aan die buitekant. Enige van die twee sones kan ontbreek.

Flogopietaartjies kom algemeen in die granate voor. Geassosieer daarmee is chloriet, horingblende, pikotiet en soms ook rutiel.

## 3. Flogopiet

Die flogopiet kom voor in die vorm van pakkies of soms ook as enkel kristalle. Die gemiddelde deursnee van die flogopietxenokriste is tussen

0.1 en 0.3mm, maar hulle is soms tot so groot as 20mm.

Gebuigde kristalle is volop en sommige is in die vorm van 'n halwe boog gebuig of is selfs sterk geplooi. Die flogopiet is baie min verander in teenstelling met die geassosieerde olivien waarvan sommige volledig verander is. Kalsietlamelle kom in die flogopiet voor en is saam met die kristal gebuig. Die flogopiet is soms so deur chloriet vervang dat nog net die sentrale gedeeltes onveranderd is. Magnetiet kom as 'n rand om die flogopiet of selfs in die splytingsvlakke voor. Vervanging deur 'n sulfied het in enkele gevalle langs die splytingsvlakke plaasgevind.

#### 4. Ilmeniet

Ilmenietxenokriste, tot 20mm in deursnee, is algemeen in die kimberliet van die Frank Smith-myn. Perovskiet en leukoheen is algemene veranderingsprodukte daarvan.

#### 5. Diopsied

Diopsied kom selde as xenokriste in die kimberliet voor. In die waskonsentrate kom dit as los brokstukke tot 40mm in deursnee voor, met 'n gemiddelde deursnee van 10mm.

Fyn eksolusielamelle van ortopirokseen kom in die diopsied voor. Insluitsels in die diopsied is: flogopiet as lang dun kristalletjies; piroop wat 'n eksolusieprodukt is; en ilmeniet wat omring is deur 'n lagie leukoheen. 'n Dowwe reaksierand bestaande uit 'n verbrokkelde rand van die diopsied met flogopiet tussen die verbrokkelde dele, is soms te sien. Groot dele van die diopsied is op sommige plekke verander in serpentyn.

#### 6. Enstatiet

Min enstatiet is as xenokriste in situ in die kimberliet aangetref. Los brokstukke, wat dele van groter kristalle is, (tot 45mm in deursnee) is gevind.

Die enstatiet is baie verander in serpentyn, veral langs die splytingsvlakke. Die xenokriste wat in die kimberliet in situ aangetref is, is vol serpentynare maar nie soos die omringende olivien nie.

Diopsied en ilmeniet kom as insluitsels voor. Dieselfde eksolusieverhouding met piroop soos aangetref by diopsied, kom ook voor. Soms kom die piroop in die vorm van ronde kristalletjies voor langs vlakke waar dit lyk asof 'n piroopryke vloeistof in die enstatiet gepers is en daar gekristalliseer het.

### c. Eksolusie-en Deurgroeiingsstrukture

Verskillende eksolusie-en deurgroeiingsstrukture kom voor in die minerale van die xenoliete en in die xenokriste. Die vernaamste eksolusiestrukture is:

- (i) Eksolusie van enstatiet uit diopsied. Dit kom in verskillende van die insluitels voor, veral in die griekwaïete en pirokseniete en minder selde in die peridotiete.
- (ii) Eksolusie van diopsied uit enstatiet. Dit is ook veral algemeen in die griekwaïete en pirokseniete en skaars in die peridotiete. Die eksolusieprodukte het dieselfde samestelling as die diopsied wat oënskynlik nie 'n eksolusieproduk is nie.
- (iii) Eksolusie van pirokseen uit pirokseen. Besondere growwe eksolusieverhouding kom voor tussen enstatiet en diopsied in die websteriet. Die lamelle is omtrent ewe breed (gemiddeld 0.2mm in deursnee) sodat dit onseker is of die enstatiet of die diopsied die gasheer is (Plaat X, Figuur A).
- (iv) Eksolusie van rutiel uit enstatiet. Dit is seldsaam en kom slegs in die peridotiete voor. Wanneer dit wel voorkom is die tipe eksolusie goed ontwikkel (Plaat X, Figuur B).
- (v) Eksolusie van granaat uit diopsied. Dit kom net in die griekwaïete voor. Die granaatlamelle is nie baie reëlmatig nie maar volg nogtans 'n vaste patroon (Plaat XI, Figuur B).
- (vi) Eksolusie van granaat uit enstatiet. Dit is soortgelyk aan die vorige tipe en kom ook net in die griekwaïete voor.
- (vii) Eksolusie van granaat uit olivien. Dit is soortgelyk aan die twee vorige tipes behalwe dat die oriëntasie van die granaat nie so reëlmatig is nie (Plaat XI, Figuur A).
- (viii) Eksolusie van kalsiet uit flogopiet. Dit kom voor in die flogopiet-xenokriste en in sommige van die flogopiet van die flogopiet-griekwaïet. Die lamelle is dun (gemiddeld 0.001mm) en is dikwels saam met die flogopietxenokriste gebuig in die vorm van 'n halwe boog. Die lamelle mag sekondêre kalsiet wees wat langs die splytingsvlakke gekristalliseer het of dit mag 'n eksolusie-  
produk van die flogopiet wees.

Na aanleiding van die growwe eksolusieverhouding tussen diopsied en enstatiet, wat aandui dat die minerale meer volledige vaste oplossings by hoë druk en temperatuur kan vorm, bestaan ook die moontlikheid dat granaat vaste oplossings met diopsied, enstatiet en olivien by hoë druk en temperatuur kan vorm waaruit granaat met afkoeling en verligting van druk kan ontmeng soos verskeie van die xenoliete toon. O' Hara (aangehaal deur M.J. O'Hara en E.L. P. Mercy, 1966, bl. 69) is ook van mening dat die strukture wat in diopsied, enstatiet en olivien aangetref word die gevolg van eksolusie van granaat uit die minerale is.

Deurgroeings, wat nie die gevolg van eksolusie skyn te wees nie, kom maar selde voor. Die vernaamste is:

- (i) Deurgroeiing van olivien en rutiel. Dit is beperk tot die peridotiete (Plaat V, Figuur B).
- (ii) Deurgroeiing van rutiel en enstatiet. Dit is ook beperk tot die peridotiete en toon ooreenkoms met die deurgroeings van rutiel en olivien.

## VII. MINERALOGIESE EN CHEMIESE SAMESTELLING VAN DIE XENOLIETE EN XENOKRISTE

### A. Mineralogiese Samestelling

#### 1. Olivien

Die mineralogiese variasie van die xenoliete in terme van die twee endlede forsteriet en fayaliet en die veld wat die olivien van die xenoliete en xenokriste beslaan word aangetoon in plaat XII, figuur A.

Die optiese hoeke, insluitende die van olivien afkomstig uit griekwaïet, wissel van  $2V_z 85^\circ$  tot  $2V_z 90^\circ$ , met 'n gemiddelde van  $2V_z 87^\circ$ . Die gemiddelde brekingsindekse wissel van 1.661 tot 1.672. Hierdie variasie in optiese eienskappe stel twee uiterstes vir die samestelling van die olivien naamlik  $Fa_{10}$  en  $Fa_5$ . Selfs in die olivien wat met verandering in serpentyn baie magnetiet uitgeskei het, bly die samestelling in hierdie bereik.

## 2. Granaat

Die brekingsindeks van die piroop lê in die bereik 1.730 tot 1.764, met 'n gemiddelde van 1.751. Die soortelike gewig se bereik is van ~~3.82~~ tot 3.82 tot 3.69, met 'n gemiddelde van 3.77. Dit dui aan dat die bereik van die granaat se samestelling  $\text{Pyr}_{(60-80)} \text{Alm}_{(15-35)} \text{And}_{(0-15)}$  is.

Die gemiddelde samestelling van granaat in kimberliet bereken uit analises in die beskikbare literatuur (tabel 1) is:

Pyr. - 67.2 persent; Alm. - 16.7 persent; Gro. - 4.0 persent; And. - 5.8 persent; Sp. - 1.5 persent; Uv. - 4.8 persent. Plaat XII, figuur B toon die veld wat die granate beslaan in terme van die drie endlede piroop, almandien en andradiet.

## 3. Diopsied

Die optiese hoek van die diopsied in die griekwaïete is tussen  $2V_z (60^\circ)$  en  $2V_z (62^\circ)$  en in die pirokseniete is dit  $2V_z (64^\circ)$ . Die brekingsindeks  $\beta$  varieer nie baie vir die diopsied van die verskillende tipes griekwaïet nie en almal is tussen 1.670 en 1.681. Die gemiddelde samestelling volgens die optiese eienskappe is  $\text{Wo}_{51} \text{En}_{44} \text{Fs}_5$ . Plaat XII, figuur C toon die veld wat deur die diopsied beslaan word.

Die eienskappe van die diopsied is nie so konstant soos die van die olivien nie. Verskillende skrywers gee verskillende waardes vir die optiese hoek van diopsied in xenoliete in kimberliet. Holmes (1936, bl. 405) gee die optiese hoek van diopsied aan as tussen  $70^\circ$  en  $72^\circ$ , Grantham en Allen (1960, bl. 15) gee dit as tussen  $71^\circ$  en  $72^\circ$  en Talbot en andere (1963, bl. 159) gee dit as tussen  $52^\circ$  en  $58^\circ$ .

Holmes (1936, bl. 408) skrywe die groot optiese hoek toe aan die teenwoordigheid van die jadeïetkomponent of die aanwesigheid van natrium as chroom-akmiet ( $\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$ ) wat ook die oorsaak van die groen kleur mag wees. Shand (1934, bl. 57) skrywe die groen kleur toe aan die teenwoordigheid van yster en nikkell en die groot optiese hoek skrywe hy toe aan die jadeïetkomponent. Smirnov (1959, bl. 21) skrywe die groen kleur en die groot optiese hoek toe aan die teenwoordigheid van chroom en hy noem dit chroomdiopsied. Dit is blykbaar ook die geval, in die lig van gemiddelde analises van diopsied bereken uit analises verkry uit die literatuur (tabel 1) wat toon dat sulke diopsied gemiddeld 0.68 persent  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  bevat, asook van 'n analiese van diopsied in 'n olivien-enstatiet-griekwaïetxenoliet afkomstig van die Newlandsmyn wat 0.73 persent  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  het.

#### 4. Enstatiet

Die enstatiet se samestelling val in die bereik  $Of_2$  tot  $Of_{15}$ . Die gemiddelde samestelling is  $Of_7$ . Die brekingsindeks  $\beta$  is tussen 1.664 en 1.673 en die optiese hoek tussen  $2V_z 72^\circ$  en  $2V_z 89^\circ$  met 'n gemiddelde van  $2V_z 76^\circ$ . Die samestelling van enstatiet, soos deur ander skrywers naamlik Willshire en Binns (1936, bl. 401) aangegee, val almal binne die grense,  $Of_8$ . Dawson (1962a, bl. 550) beweer dat 90 persent of meer van die enstatiet-endlid in die mineraal teenwoordig is. 'n Groter variasie in samestelling naamlik  $En_{(98-60)} Of_{(1-40)} Wo_{(0-5)}$  kom te voorskyn sodra die chemiese analises van ortopirokseen verkry uit die beskikbare literatuur (tabel 1) omgerekend word in molekulêre proporsies.

Daar is geen uitstaande verskille tussen die enstatiet afkomstig uit griekwaïet, pirokseniet of peridotiet nie. Al verskil is dat die ortopirokseen in die peridotiet 'n groter variasie in samestelling vertoon as die ortopirokseen in die griekwaïet, naamlik  $Of_{(2-40)}$  teenoor die  $Of_{(5-16)}$  respektiewelik.

#### 5. Flogopiet

Die flogopiet se brekingsindeks  $\beta$  lê in die bereik 1.590 tot 1.599 met 'n gemiddelde van 1.596 en die optiese hoek  $2V_z$  is  $5^\circ$ . Watson (1955, bl. 565) het in die flogopietxenokriste in die kimberliet van Quebec sonebou as gevolg van variasies in die Fe:Mg verhoudings gevind, maar in die flogopiet van die kimberliet van Barkly-Wes is daar geen teken van sonebou nie.

### B. Chemiese samestelling

#### 1. Gepubliseerde analises

Die metode wat Poldervaart (1964, bl. 229) gebruik het om vas te stel of 'n basalt 'n tholeïiet of 'n alkali-basalt is, is gebruik en uit die analises van griekwaïet in die beskikbare literatuur (tabel 1) is vasgestel dat meeste griekwaïet 'n tholeïetiese samestelling het en 'n paar die samestelling van alkalibasalt.

Die normatiewe hoeveelhede plagioklaas, pirokseen en olivien bereken uit bogenoemde analises asook uit analises van peridotiet, en gemiddeldes van basalt verkry uit beskikbare literatuur, (tabel 1) is uitgesit in plaat

Die peridotietveld lê tussen plagioklaas 0-18, pirokseen 4-44 en olivien 50-86. Die griekwaïetveld lê tussen plagioklaas 20-65, pirokseen 20-70 en olivien 0-50. Die veld wat deur die basalte beslaan word lê in die boonste deel van die griekwaïetveld naamlik tussen plagioklaas 47-65, pirokseen 26-50 en olivien 0-22.

Die verhouding van MgO tot FeO tot alkalië in peridotiete, pirokseniete en griekwaïete is uit gesit in plaat XIV, figuur A. Die diagram toon dat die peridotiete en pirokseniete baie MgO bevat en min FeO en alkalië alhoewel die variasie in samestelling beperk is in vergelyking met die griekwaïete, wat minder MgO en meer FeO en alkalië bevat en ook 'n groter variasie in samestelling vertoon.

Die verhouding van MgO tot FeO tot alkalië van die piroop van griekwaïete en peridotiete is uitgesit in plaat XIV, figuur B. Uit die diagram is dit duidelik dat die minerale van die griekwaïete 'n groter variasie in samestelling het as die minerale van die peridotiete.

Plaat XIII, figuur A toon dat daar geen simpatieke variasie in die MgO: FeO-verhoudings van diopsied, enstatiet en olivien uit dieselfde monsters van verskillende tipes insluitsels bestaan nie. Elke lyn verteenwoordig 'n gemiddelde waarde vir die drie minerale in 'n sekere tipe insluitsel. Die stippellyn verteenwoordig die uiterste waardes.

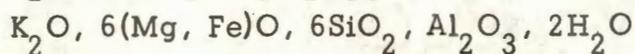
Dit is dus duidelik uit plaat XIV, dat daar 'n groter variasie in chemiese samestelling van die griekwaïete en hulle samestellende minerale is, as in die pirokseniete en peridotiete, en hulle samestellende minerale.

## 2. Nuwe analises

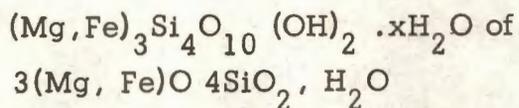
Nege nuwe chemiese analises en die ooreenkomstige C.I.P.W.- norms en volumetriese mineraalsamestellings van die gesteentes is uitgesit in tabel 2. In die verskillende diagramme is die geanaliseerde minerale en gesteentes met die ooreenkomstige analisenommer aangedui.

Die chemiese analises van die flogopietxenokriste en die flogopiet afkomstig uit die grondmassa van die kimberliet (tabel 2) stem nie ooreen met die chemiese formule van enige van die endlede van die flogopiet-annietserie nie. Dieselfde verskynsel is deur Nockolds (1947, bl. 412) by flogopiet afkomstig uit die Frank Smith-myn gevind. Hierdie flogopiet het 'n tekort aan kalium wat moontlik die gevolg van vermikulitiasie kan wees. By herberekening van die chemiese analise blyk dit dat die flogopiet xenokriste

(tabel 2) uit 92.2 persent flogopiet en 7.5 persent vermikuliet bestaan. Die gewigspersentasie van die oksiede is na verhouding toegeken eers aan flogopiet, met die formule  $K_2(Mg, Fe)_6(Si_6Al_2O_{20})$  of



en die oorblywende oksiede aan vermikuliet, met die formule



Die molekulere proporsies is daarna omgerek en na gewigspersentasies.

Die flogopiet uit die grondmassa van die kimberliet (tabel 2) het meer vermikulitisasie ondergaan en bestaan volgens soortgelyke berekeninge soos hierbo uit die chemiese analiese uit 83.5 persent flogopiet en 16.5 persent vermikuliet.

Die flogopiet beskrywe deur Nockolds (1949, bl. 412) bestaan uit 95.6 persent flogopiet en 4.4 persent vermikuliet.

### XIII PETROGENESE EN HERKOMS VAN DIE XENOLIETE EN XENOKRISTE

#### A. Oorsprong van die xenoliete

Wat die oorsprong van die griekwaïet en ander altrabasiese xenoliete betref, kan die hipoteses wat deur verskillende skrywers voorgestel is, in drie breë groepe onderverdeel word, naamlik dat die xenoliete of verbrokkelde korsgesteentes verteenwoordig, of geneties verwant is aan 'n kimberliet magma, of verbrokkelde mantelgesteentes is.

#### 1. Hipotese van herkoms uit die kors

Bonney (1907, bl.96) is van mening dat die griekwaïet en ander ultrabasiese xenoliete Dwykatillietrolstene is wat in splete geval het. Hy het egter nie baie ondersteuning vir sy idee gekry nie, omdat sulke gesteentes nêrens in Suid-Afrika blootgestel is nie.

Die moontlikheid is deur 'n paar skrywers, onder andere Dawson (1962, bl. 545) geopper dat die eklogietinsluitsels (griekwaïet?) afkomstig is van 'n metamorfe vloer onder die kontinente wat uit eklogiet bestaan. Davidson (1964, bl. 1368) beskou die insluitsels ook as afkomstig van 'n metamorfe vloer en noem ses redes waarom hy so dink. Hy baseer sy idees op 'n kimberlietpyp

wat in Tsego-Slowakye voorkom. 'n Boorgat, 80 meter van die grens van die pyp af, het op 'n redelike vlak diepte deur "n metamorfe eklogietlaag gegaan.

'n Duidelike onderskeid behoort egter tussen eklogiet en griekwaïet gemaak te word. Griekwaïet insluitsels in kimberliet het 'n lae alkali - en 'n hoë chroominhoud, in teenstelling met gewone metamorfe eklogiet wat 'n hoë alkali - en 'n lae chroominhoud het. Die pirokseen van eklogiet het ook 'n hoë alkali-inhoud in vergelyking met die diopsied van griekwaïet.

## 2. Hipotese van genetiese verwantskap met 'n kimberlietmagma

Corstorphine (1907, bl. 66) beskou die griekwaïet en ander ultrabasiese insluitsels as konkresionêre knolle wat deur differensiasie in die oorspronklike magma gevorm het waarvan kimberliet die resvloeistof is. Die idee dat die xenoliete ontstaan het deur die akkumulاسie van kristalle is wyd aangeneem, gepresipiteer deur die magma waaruit die kimberliet as resvloeistof ontstaan het. (Kimberliet magma was toe as 'n peridotitiese magma beskou). Die ondersteuners van hierdie idee, baseer hulle hipotese daarop dat die mineralogie van die xenoliete is soos 'n mens sou verwag van so 'n tipe magma, Williams (1932, bl. 305) meen dat die griekwaïet en ander ultrabasiese xenoliete geneties verwant is aan kimberliet omdat die kimberliet en xenoliete in 'n gemeenskaplike reservoir sou ontstaan het. Die xenoliete het in die diepte gestol en is deur die residuele magma, te wete die kimberliet, na boontoe gevoer. Wagner (1914, bl. 127) ondersteun ook hierdie hipotese. Die voorstanders van hierdie idee erken dat die xenoliete nie in situ gevorm het nie, maar segregasies verteenwoordig wat in die diepte gevorm is deur differensiasie in die vulkaniese pyp. Hierdie idee is gebaseer op die vorm van die insluitsels, skerp kontakte met die kimberlietmatriks, afwesigheid van megaskopiese ultrabasiese segregasies in lawas en vloeistrukture verwant aan die xenolietgrense.

Dawson (1962 a, bl. 554) ondersteun hierdie hipotese omdat sulke insluitsels volop voorkom in alle kimberliete; ilmeniet met 'n hoë MgO - en  $Fe_2O_3$  - inhoud net in kimberliet aangetref word; peridotiet sowel as kimberliet diamante bevat; en veranderde fragmente van peridotiet-granaat - en ilmenietinsluitsels aanleiding gee tot minerale wat 'n belangrike deel van kimberliet is, byvoorbeeld die sogenaamde "serpentyfenokriste". Holmes (1936, b. 391) verwerp hierdie idee op grond van die heliuminhoud van die insluitsels wat aandui dat hulle wel insluitsels van reeds bestaande

gesteentes is. Nixon en andere (1963, bl. 1090) se beswaar teen die hipotese is dat die versameling minerale wat verwant is aan die kimberliet, naamlik piroop, diopsied, ilmeniet, perovskiet, olivien en enstatiet en die ultrabasiese insluitsels se minerale 'n te groot verandering in die kimberlietmagma sou veroorsaak het, veral in sy chroominhoud.

### 3. Hipotese van herkoms uit die mantel

Harger (1905, bl. 5) het eerste voorgestel dat die griekwaïet en ander ultrabasiese insluitsels fragmente is van gesteentes wat reeds bestaan het en wat deur vulkaniese werking na boontoe gebring is. Ross en andere (1954, bl. 732), Turner en Verhoogen (1960, bl. 56), Bosch (1963, bl. 41) en Du Toit (1956, bl. 419) beskou hierdie insluitsels as afkomstig van gesteentes wat die boonste deel van die aarde se mantel vorm.

Daar is 'n merkwaardige ooreenkoms in die mineralogie en samestelling van die xenoliete waar hul ook al aangetref word, asook in die samestelling van hulle minerale, beide wat betref die griekwaïet en peridotiete. Daar is voorgestel dat daar 'n wêreldwye bron van ultrabasiese materiaal is, wat baie min in samestelling varieer en as bron vir die xenoliete dien. Daar is ook voorgestel dat die bron in die boonste dele van die mantel geleë is.

Volgens Nixon en andere (1963, bl. 1121) word ultrabasiese insluitsels in basaltiese gesteentes deur die volgende persone ook beskou as afkomstig uit die boonste dele van die mantel: Ernst (1936), Hers en Maxwell (1958), Kuno en andere (1957), Ringwood (1958) en Harris en Rowell (1960). Ross en andere (1954, bl. 728) is ook van mening dat die ultrabasiese insluitsels in basaltiese gesteentes afkomstig is van die boonste dele van die mantel. Hulle opvatting is gebaseer op die konstante chemiese samestelling van die insluitsels, waar hulle ook al aangetref word.

Die teenwoordigheid van diamant, granaat, kyaniet,  $\text{CO}_2$  in olivien, (E. Roedder 1965, bl. 1748) coesiet in diamant (Meyer en Harris 1966, bl. 169) en die teenwoordigheid van die growwe eksolusiestrukture in die verskillende minerale, dui daarop dat die ultrabasiese gesteentes onder groot druk en temperatuur gekristalliseer het.

Die hipotese dat die griekwaïet en ander ultrabasiese xenoliete afkomstig is van reeds bestaande gesteentes in die boonste mantel word verder gesteun deur ouderdombepalings wat uitgevoer is op die flogopietxenokriste in kimberliet en op die kimberliet self van Yakutia. Mikheyenko en Nenashev (1962, bl. 1996)

het gevind dat die xenokriste 'n ouderdom van  $661 \times 10^6$  jaar het en baie ouer is as die insluitende kimberliet met 'n ouderdom van  $140 \times 10^6$  jaar.

Holmes (1965, bl. 274) is ook van mening dat die eklogietinsluitels (griekwaïet?) afkomstig is uit die mantel waar die eklogiet (griekwaïet?) in die vorm van lae en lense voorkom wat deur die kimberlietpype deurboor is.

#### B. Struktuur van die basis van die kors en die boonste mantel

Dit is 'n algemene opvatting dat die aardkors uit drie sones bestaan. Die boonste sone het 'n sedimentêre samestelling, die volgende een 'n granitiese samestelling en die onderste een 'n basaltiese samestelling. Die belangrikste verskil tussen die kontinentale kors en die van die oseane is dat, afgesien van wisselende diktes van sedimente, sedimentêre en granitiese sones onder die oseane ontbreek sodat die kors hier so te sê net uit basalt met 'n dikte van tussen 5 en 15km bestaan. Die kontinentale kors kan tot 80km dik wees en die sedimentêre of granitiese sone kan soms in sekere dele ontbreek.

Daar is nog nie met sekerheid vasgestel of die M-onderbreking, wat die skeiding van die kors en mantel verteenwoordig, 'n fase-transformasie of 'n samestellingsgrens is nie. Nadat die idee aangeneem is deur die meeste skrywers dat die mantel uit peridotiet en nie griekwaïet nie bestaan, is daar begin twyfel of die M-onderbreking wel 'n fase-transformasie met basalt aan die bokant en griekwaïet aan die onderkant is.

Die voorstanders van die idee van fase-transformasie erken dat die fase-transformasie wat vir die M-onderbreking onder die kontinente verantwoordelik is, nie ook vir die M-onderbreking onder die oseane verantwoordelik kan wees nie.

Stishov (aangehaal deur Ringwood en Green, 1966, bl. 404) meen dat die M-onderbreking onder die oseane veroorsaak word deur die chemiese verandering van basiese gesteentes na ultrabasiese gesteentes onder, terwyl dieselfde onderbreking onder die kontinente veroorsaak word deur 'n faseverandering van basalt in griekwaïet. Die voorstanders van die idee van fase-transformasie meen dat alhoewel die oorgang plaasvind oor 'n drukinterval van 5 tot 10kb, en verteenwoordig word deur gesteentes met intermediêre samestelling, die oorgangsones nogtans soos 'n vlak sal optree en weerkaatsing van aardbewing-golwe sal laat plaasvind.

Kushiro en Kuno (1963, bl. 80) het na aanleiding van Yoder en Tilley (1962)

se eksperimente tot die gevolgtrekking gekom dat die M-onderbreking 'n samestellingsgrens is.

Du Toit (1937, bl. 230) was 'n voorstander van wat hy genoem het 'n paramorfe oorgang of 'n paramorfe sone tussen die kors en mantel. Die paramorfe sone is die sone waarin minerale in digter vorms oorgaan as gevolg van toename in druk en temperatuur. Hierdie idee dat die skeiding tussen die kors en die mantel veroorsaak word deur paramorfe oorgange is dieselfde as die idee van fasetransformasie wat later eers posgevat het.

Kennedy (aangehaal deur Engel en andere, 1965, bl. 732) meen dat die M-onderbreking onder die oseane veroorsaak word deur die oorgang van 'n tholeiitiese kors in 'n lae-graadse hidriese metamorfe gesteente ekwivalent aan die glaukofaanskis of groenskis-fasie. Die ander moontlikheid bestaan dat die M-onderbreking onder die oseane veroorsaak word deur die skeiding van basiese gesteentes, wat die kors vorm, en ultrabasiese primitiewe gesteentes aan die onderkant daarvan. Die oseankors het nie soos die kontinentale kors differensiasie ondergaan nie en dit kan wees dat van die primitiewe ongedifferensieerde materiaal direk onder die M-onderbreking voorkom.

Oor die samestelling van die mantel is daar nog baie onsekerheid. Sommige skrywers reken dat die mantel bestaan uit eklogiet (griekwaïet) ander weer dat dit uit peridotiet bestaan. Dit word algemeen aanvaar dat die mantel nie 'n homogene massa is nie, maar dat fasetransformasies voorkom namate die druk en temperatuur hoër word. Een algemene fasetransformasie wat voorgestel word is die verandering van olivien in sy digter vorm, naamlik forsteriet - en fayaliet-spinel (Subbotin<sup>en andere</sup>, 1965, bl. 116) of in 'n mengsel van oksiede naamlik MgO, FeO, SiO<sub>2</sub>. In teenstelling hiermee beweer die voorstanders van konveksie in die mantel dat die mantel homogeen is, anders sou konveksie nie kon plaasvind nie (Holmes, 1965, bl. 1029).

Geofisiese gegewens dui daarop dat die materiaal onder die M-onderbreking, onder die kontinente, 'n digtheid van 3.23 gram per kubieke sentimeter en 'n temperatuur van 500°C het. Die materiaal wat die aardbewingsgolwe in die boonste mantel voortplant is anisotroop in terme van die voortplanting van die golwe. O'Hara en Yoder (1962, bl. 147) beweer dat die peridotiet in die mantel liniësie vertoon as gevolg van die konsentrasie van pirokseen en spinel wat tot gevolg het dat die peridotiet anisotroop is in terme van die voortplanting van aardbewingsgolwe. Griekwaïet word hier as voortplantingsmedium uitgeskakel omdat dit isotroop is as gevolg van die teenwoordigheid van granaat.

Wagner (1928, bl. 127) meen dat die basaltiese laag wat bestaan uit amfiboliet en granuliet, onderlê word deur eklogiet (griekwaïet?) wat oorgaan in 'n peridotietsone met bande en lense van eklogiet (griekwaïet?) en pirokseniet. Daar is moontlik 'n oorvleueling van die sones van peridotiet en eklogiet (griekwaïet?) maar hy meen die peridotiet is dieper geleë .

Nixon en andere (1963, bl. 1090) is ook van mening dat die eklogiet (griekwaïet?) afkomstig is van 'n primêre eklogietsone (griekwaïet?) wat 'n peridotietmantel oorlê of daarmee ingelaag voorkom, soos voorgestel deur Ferner in 1913 en Goldsmith in 1932 (aangehaal deur Nixon en andere (1963, bl. 1128) asook Du Toit (1956, bl. 419) en Kushiro en Kuno (1963, bl. 76).

O'Hara en Yoder (1962) beskou die granaat-peridotietinsluitels as verteenwoordigend van die boonste dele van die mantel, waarin eklogiet (griekwaïet?) as ingelaagde lense voorkom.

Belousov (1966, bl. 317) was eers van mening dat die mantel uit eklogiet (griekwaïet?) bestaan, maar op grond van die volgende dink hy nie meer so nie, maar wel dat die mantel uit granaatperidotiet bestaan. Volgens hom toon gegewens aangaande die toestand van die transformasie van basalt in eklogiet (griekwaïet?) dat dit direk onder die oseaanbodems onmoontlik is om die transformasie te kry. Bowendien kom peridotietinsluitels met besondere eenvormige samestelling wat heel moontlik dele van die peridotiet-mantel verteenwoordig in basaltiese lawas voor. Geen insluitels van eklogiet (griekwaïet?) word in die lawas aangetref nie.

Sobolev (1964, bl. 1953) meen dat as diamante in eklogiet (griekwaïet?) gevind word dit 'n bewys is dat hierdie eklogiet (griekwaïet?) van die boonste dele van die mantel afkomstig is. Die temperatuur en druk is te laag vir diamante om in metamorfe gesteentes te vorm. Sobolev kom ook na aanleiding van 'n studie van die insluitels in kimberliet en seismiese gegewens tot die gevolgrekking dat die mantel, op 'n diepte van tussen 50 en 70km, uit peridotiet met 'n samestelling na aan die van kimberliet bestaan en dat 'n eklogiet (griekwaïet?) -laag met naastenby die samestelling van basalt, bo-op die peridotietsone maar nog onder die M-onderbreking voorkom. Volgens hom is die druk wat in die diepste metamorfe lae heers ongeveer 15kb met 'n maksimum van 20kb en die minimum druk waarby diamante kan ontstaan is ten minste 40kb.

Sobolev meen ook dat die totale dikte van die basaltiese laag bo-op die M-onderbreking kan in sekere dele, as gevolg van die hoë druk wat daar heers,

hoër op verplaas word sodat van die basalt in eklogiet (griekwaïet?) verander en die basaltiese laag met 'n samestelling van gabbronriet dunner word. Die eklogiet (griekwaïet?) is nie orals teenwoordig nie, maar alleenlik in dele waar 'n hoë drukspanning heers. Drukke in die omgewing van 50 kb kom op 'n diepte van 60km voor in dele met middelmatige of lae drukspanninge. Die eklogiet (griekwaïet?) kom dus in hierdie dele onder die M-onderbreking voor en wel in die peridotietlaag. Onder sulke toestande is die M-onderbreking dan nie 'n fasetransformasie nie.

Ringwood (aangehaal deur Subbotin<sup>en andere,</sup>, 1965, bl. 116) het 'n niehomogene model vir die boonste deel van die mantel voorgestel wat chemies ekwivalent is aan een deel basalt en vier dele duniet. Hy deel die boonste deel van die mantel in twee dele naamlik sone B wat strek van die M-onderbreking tot op 'n diepte van 410km en sone C van 410km. Sone A is die kors. Ringwood onderskei nog 'n vierde sone, naamlik sone D wat strek van 1,000 km tot by 2,900 km. Verder meen hy dat peridotiet direk onder die M-onderbreking aangetref word en dat dit geleidelik oorgaan in 'n gesteente bestaande uit olivien, plagioklaas en pirokseen. Nog dieper kom granaat te voorskyn. Sone C word gekenmerk as 'n sone waar chemiese en fasetransformasies tesame, of afsonderlik voorkom. Hierdie sone kan ook beskou word as 'n oorgangsones na sone D. Sone D bestaan uit die oksiede van Mg, Fe, en Si.

Volgens Ringwood is daar in die mantel 'n sone met 'n dikte van tussen 200 en 300km met 'n lae voortplantingsnelheid vir aardbewingsgolwe wat direk onder die M-onderbreking begin. Gutenberg (aangehaal deur Holmes, 1965, bl. 949) verklaar dit as die gevolg van gesmelte of sagte materiaal, wat in 'n semiplastiese toestand verkeer. Holmes (1965, bl. 921) beweer dat dit die sone is wat die relatiewe beweging tussen die oorliggende lae en die interne deel van die aarde moontlik maak. Bewegings soos byvoorbeeld kontinentverskuiwing vind hier plaas. Volgens Belousov (1966, bl. 317) kom daar nog primitiewe ongedifferensieerde materiaal, met basiese samestelling, wat beskou kan word as 'n hoë-druk-fase van griekwaïet onder die peridotietsones voor.

Die mantel is nie 'n homogene gelaagde sone nie, maar laterale variasies kom voor. Die nie-homogeniteit is in die jongste tyd vasgestel deur seismiese metodes, swaartemetinge en aardbewingstudie. Die presiese aard van die strukture is nog nie vasgestel nie maar die ontstaan daarvan word verklaar deur dit toe te skryf aan primêre variasies wat geheers het met die ontstaan van die aarde. In die interne deel van die aarde is die primêre variasies,

wat voorgekom het gou as gevolg van die hoë temperatuur en druk geëlimineer. Aan die buitekant van die mantel neem dit langer om die variasies wat voorgekom het uit te skakel en ewewig of stabiliteit in te stel.

Die oorsprong van die gelaagdheid in die mantel en kors kan deur gefraksioneerde kristallisasie verklaar word. Borchert (1962, bl. 147) gaan van die veronderstelling uit dat die aarde aanvanklik gesmelt was en van buite begin afkoel het en dat dit gepaard gegaan het met gefraksioneerde kristallisasie. Die eerste mineraal wat uitgekristalliseer het, naamlik olivien sou sink tot op 'n diepte van 60km. Op 60km sal die kristalle begin sweef omrede hulle dieselfde digtheid het as die vloeistof. Die olivien sou dan begin om 'n peridotietlaag op te bou, en die verdere opeenvolging van lae sou dan volgens die reaksieserie van Bowen ontwikkel naamlik van 'n ultrabasiese na 'n basiese en uiteindelik 'n granitiese skil.

Baie onsekerheid bestaan oor die samestelling van die mantel en die kern van die aarde. Daar is ook twyfel oor die kwessie of die aarde vroeër gesmelt was of nie. Dit word nie meer algemeen aanvaar dat die kern uit nikkel en yster bestaan nie. Volgens die aardmodel van Egyed (aangehaal deur Holmes, 1965, bl. 980) is die samestelling van die mantel en kern dieselfde, behalwe dat in die kern die elemente as gevolg van die hoë druk en temperatuur hulle soos metale gedra. Geen chemiese bande bestaan tussen die elemente nie en dit is ook dan die oorsaak van die vloeibaarheid van die kern.

Belousov (1962, bl. 84) meen dat die materiaal wat in die dieper dele van die mantel voorkom in 'n amorge toestand met baie vlugtige bestandele is. Die vlugtige bestandele verlaag die smeltpunt van die materiaal baie, sodat slegs 'n geringe styging in temperatuur smelting sal veroorsaak en indien die gesmelte materiaal kristalliseer, sal 'n baie hoër temperatuur nodig wees om weer smelting te veroorsaak.

MacDonald (1958, bl. 478) reken dat die aarde 'n samestelling soortgelyk aan die van chondriet-meteoriete het. Die elastiese eienskappe van chondriet stem ooreen met die van peridotiet omrede dit ook hoofsaaklik uit olivien, enstatiet en granaat bestaan. Die huidige hitteverlies van die aarde stem ooreen met wat die hitteverlies sou wees as die aarde uit chondritiese materiaal sou bestaan. Sy sterkste argument is gebaseer op die uraaninhoud van die chondriete. Op grond van die lae uraaninhoud van peridotiet word dit uitgeskakel as mantelmateriaal en hy beskou dit as die resmateriaal nadat die uraan gekonsentreer geraak het in die vroeë smeltings-

fraksie, naamlik basalt. Die mantel, veral die boonste deel, bestaan uit materiaal met 'n uraaninhoud wat 'n tiende is van die uraaninhoud van basalt en baie meer as wat in duniet aangetref word. Die uraaninhoud van die chondriete stem ooreen met die berekende inhoud vir die mantel. MacDonald meen verder dat die hele aarde moontlik uit chondritiese materiaal bestaan maar stem saam dat daar wel die moontlikheid van 'n ysterkern is.

### C. Inplasing van die kimberliet

Williams (1932, bl. 112) reken dat die kimberlietpype nooit regte vulkane was nie, maar eruptiewe splete. Die afwesigheid van radiale breukpatrone en die onverstoorte toestand van die newegesteentes dui daarop dat geen ontploffings plaasgevind het nie. Alle pype gaan oor in splete in die diepte. Waar twee of meer splete kruis is die neiging vir 'n pyp om verder boontoe te ontwikkel.

Mikheyenko en Nenashev (1962, bl. 916) beklemtoon die lae temperatuur van indringing wat ook bewys word deur die feit dat die Curie-temperatuur van magnetiet van  $580^{\circ}$  nie bereik is nie. Jones (medelings deur D.L. Jones op die IX jaarlike kongres van die Geologiese Vereniging van Suid-Afrika 1966) het gevind dat die kimberliet van die De Beers-myn in Kimberley se remimente magnetisme verskil van die van die Ventersdorp-lawa tot reg teen die kontak. Dit dui aan dat die temperatuur van die kimberliet indringing nie bokant die Curie-punt van magnetiet kon gewees het nie, anders sou dit die magnetisme van die Ventersdorplawa beïnvloed het.

Mikheyenko en Nenashev (aangehaal deur Edwards en Howkins, 1966, bl 549) beklemtoon die belangrikheid van 'n breukpatroon by die vorming van kimberliet en stel die volgende proses voor. 'n Breuksisteem ontwikkel in die aarde se kors as gevolg van onstabilliteit gevolg deur insakking. In die peridotietsones sterf die breuk uit. Die peridotiet ondergaan gedeeltelike smelting en die vloeistof beweeg in die breuk op. Die kimberlitiese voelstof beweeg in as koue vloeistof sodat die hoë-temperatuur-minerale nie in hulle gevorm kan word nie. Al die minerale van die xenoliete en xenokriste het in die diepte gekristalliseer en is baie ouer as die kimberlitiese matriks.

Volgens Mikheyenko en Nenashev bepaal die druk en temperatuur tydens inplasing tot watter mate minerale soos olivien, enstatiet, granaat en diamant behoue gaan bly. In die geval van kimberliet was die temperatuur al

so laag gewees voordat die druk verlig is dat die hoëtemperatuur-minerale, diamant ingesluit, nie kon ontbind nie, hoofsaaklik omdat die aanvanklike temperatuur reeds te laag was. Op 'n diepte van 1200 voet was die temperatuur so laag gewees dat die kimberlietmagma nie eers die newegesteentes gemetamofoseer het nie. Bosch (1963, bl. 50) het gevind dat in die geval van die Bellsbank kimberliet wat ingeplaas is in die dolomiet van die Campbell rand-serie, daar geen tekens van kontakmetamorfose of rekristallisasie is nie. Dit is moontlik 'n aanduiding dat die temperatuur nog laer was as die Curie-temperatuur van magnetiet ( $580^{\circ}\text{C}$ ).

Trovimof (1964, bl. 182) meen ook dat die peridotietmantel smelt as gevolg van diep skeure wat verligting van druk veroorsaak. Die vloeistof beweeg boontoe en kimberlitiese vloeistof vorm alleenlik uit hierdie vloeistof indien dit in 'n tydelike magma-kamer in die omgewing van die mantel geberg word. In hierdie tydelike magmakamer kristalliseer diamant en die ander minerale uit. Die kimberlitiese vloeistof ontstaan, as gevolg van hierdie differensiasieproses en die eklogiet (griekwalet?) verteenwoordig die kristalakkumulate. Trovimof skrywe die variasie in diamantgehalte toe aan nuwe byvoegings van vloeistof van onder af.

Von Eckermann (aangehaal deur Smith, 1956, bl. 189) stel die volgende proses vir die ontstaan van kimberlitiese vloeistof voor. In die diepste is 'n primêre magmatiese vloeistof ryk aan K, Mg, Ca,  $\text{CO}_2$ , en F. By die druk en temperatuur wat heers op 'n diepte van 10,000 meter, kristalliseer olivien uit. Dit gee aanleiding tot die ontstaan van kimberlitiese vloeistof en die  $\text{CO}_2$  wat vrygestel word versamel aan die bokant waar dit 'n ontploffing veroorsaak. 'n Bewys dat  $\text{CO}_2$  wel in die diepte voorkom, is die feit dat  $\text{CO}_2$  as insluitsels in olivien gevind is. (Roedder, 1965, bl. 1748).

Edwards en Howkins (1966, bl. 549) beskou ook die ontwikkeling van 'n breuksone as die eerste stap in die ontwikkeling van kimberlietgange en-pype. Die kristalaggregaat afkomstig van die boonste mantel dele word vloeibaar gemaak deur vlugtige bestandele onder die hoë druk en aanvanklike hoë temperatuur. Die vloeibare mengsel word langs die breuksone as gange op geforseer. Die opwaartse beweging vind stadig plaas en gesteentefragmente van die kante word in die mengsel opgeneem. Die hoë druk word gehandhaaf en die temperatuur daal stadig. Wanneer die boonste dele van die kors bereik word, waar die vlugtige bestandele vinnig kan ontsnap en die druk dus vinnig verminder, het die temperatuur so laag gedaal dat die hoë-temperatuur-minerale nie ontbind nie. Die vlugtige bestandele veroorsaak 'n ontploffing wat die boonste los fragmente wegblaas. Die oop krater wat sodoende

ontstaan word gedeeltelik opgevolg met kimberliet en brokstukke wat terugval in die krater. Materiaal wat langs die kante ophoop vul die krater later op. Edwards en Howkins erken dat nie al die kimberliete bo uitbars nie, maar dat die wat wel uitbars se ontploffingskrag wissel na gelang van die grootte van die indringing, die hoeveelheid vlugtige bestandele en die grootte van die ontsnappingskanale.

Bosch (1963, bl. 50) stel voor dat 'n fluidisasiesisteen ontstaan nadat die gasse boontoe deurgebreek het en dat terselfdertyd 'n digtheidsdifferensiaal ontstaan sodat 'n konveksiesisteen tot stand kom wat van die hoërliggend insluitels na onder toe vervoer.

Dawson (1964, bl. 129) meen daar is 'n genetiese verband tussen kimberlietpype en tuffisietpype. Hy sê dit op grond van die soortgelykheid van insluitels van die twee tipes pype en die karbonaatinhoud van die tuffisietpype wat ooreenstem met sommige kimberlietpype. Albei soorte volg ou breukpatrone en gaswerking het 'n belangrike rol in beide gevalle gespeel.

Na aanleiding van hierdie ooreenkomste en die wyse van indringing van die kimberlietgange en - pype soos voorgestel deur Edwards en Howkins (1966, bl. 549) en deur Bosch (1963, bl. 52) bestaan die moontlikheid dat tuffisietpype eintlik kimberlietpype verteenwoordig waarvan die kimberlietiese vloeistof nie bo uitgekom het nie en maar net die ontsnappende gas 'n rol gespeel het.

#### D. Moontlike verband tussen kimberliet en karbonatiet

Dit word algemeen aanvaar dat kimberliet van diepge-sete oorsprong is en dit is moontlik dat die magma wat verantwoordelik is vir die ijoliet-karbonatietkomplekse ook van diepge-sete oorsprong is. Die moontlikheid dat kimberliet en karbonatiet ook petrogeneties verwant kan wees is deur verskeie skrywers geopper. Verwoerd (1966, bl. 190) wys op die volgende assosiasie tussen kimberliet en karbonatiet:

- (i) By die Alnõ eilande is kimberlietgange na die karbonatiet ingeplaas.
- (ii) Vier kimberlietgange sny deur die karbonatietkompleks by Ngualla (Tanzanië).

- (iii) Daar is 'n regionale assosiasie tussen die karbonatiet-sateliete van die Brukkaros-vulkaan en die kimberliet-tipe in die Gibeon distrik, Suidwes-Afrika, met intermediêre tipes gesteente tussenin.
- (iv) Die Suid-Afrikaanse kimberliete is gewoonlik ryk aan kalsiet, veral die laaste fase van erupsie soos by Premiermyn. Die geassosieerde karbonatiet-gange is egter nie tipiese karbonatiete nie.
- (v) Lawas met kimberlitiese en karbonatitiese affiniteite word aangetref in die Ingwisi-kraters.
- (vi) De Sousa Machado (aangehaal deur Verwoerd, 1966, bl. 191) reken dat die vulkaniese sone van Angola en sy karbonatiete in lyn is met die Lucapa-graben en die is na die noord-ooste verbind met kimberliet-tipe van dieselfde ouderdom.
- (vii) Diamanthoudende peridotiet behoort aan dieselfde petrografiese provinsie as die alkali-komplekse by Magnet Cove, Verenigde State van Amerika.
- (viii) Premiermyn se kimberliet en die karbonatiet van Derdepoort behoort aan dieselfde petrografiese provinsie.

Verwoerd (1966, bl. 167) kon geen korrelasie tussen karbonatiet-voorkomste en strukture soos hoofverskuiwingsones en plooi-patrone kry nie, in teenstelling met kimberliet-voorkomste wat met ou breukpatrone gekorreleer word. Hy onderskei ook vier ouderdomsgroepe in die karbonatiet naamlik:

- (i) Kryt tot Resent;
- (ii) Triassies of vroeg-Jurrasies;
- (iii) Middel voor-Kambries (na-Waterberg);
- (iv) Voor-Kambries (na-Transvaal).

Bardet (1965, bl. 827) wys ook daarop dat die inplasing van kimberliet en alkalikomplekse in tektoniese omgewing verskil. Kimberliete word gelokaliseer in sentrale dele van platforms en alkalikomplekse in sones wat grens aan geplooi-dele en/of slenkdale.

Saam met die karbonatiete van Noord-Siberië word die volgende gesteentes aangetref: dunit, kimberliet, pirokseniet, ijoliet, wehrliet en laat-karbonatiete. Volgens Sheinmann (aangehaal deur Tomkeieff, 1961, bl. 739) het almal dieselfde oorsprong en verteenwoordig 'n volle oorgangserie tussen dunit en urtiet. Al die oorgangsgesteentes van peridotiet tot by die nefelien-

gesteentes ontstaan deur differensiasie uit die primere alkali-ultrabasiese magma. Volgens Sheinmann is daar 'n noue ooreenkoms in tyd en ruimte tussen die alkali-indringings en die basalte en doleriete van Siberië. Hy stel voor dat hulle afkomstig is van massas wat in die diepte nou geassosieer is.

Leonhiev en Kadensky (aangehaal deur Tom<sup>k</sup>deieff, 1961, bl. 740) beskou die kimberliete en basalte nie net as van dieselfde ouderdom nie maar ook as differensiasieprodukte van dieselfde primêre magma in die diepte.

Die isotoop verhoudings  $O^{18}$  en  $C^{13}$  van karbonatiete en sedimentêre kalkstene verskil en die twee rotstipes kan onderskei word indien die  $O^{18}/O^{16}$  - verhouding teenoor die  $C^{13}/C^{12}$  -verhouding uitgesit word (Holmes, 1965, bl. 1072). Die twee tipes val in aparte velde en dit sal interessant wees om te sien of die kalsiet in kimberliet van primêre of sekondêre oorsprong is.

Davidson (1964, bl. 1368) wys daarop dat die ooreenkomste in die geochemiese affiniteite van karbonatiet en kimberliet daarop dui dat hulle afkomstig is van dieselfde bron. Die seldsame mineraal moissaniet is in beide die karbonatiet en kimberliet van Yakutië gevind. Ouderdomsbepalings wat uitgevoer is op die kimberliete en karbonatiete van Yakutië stem ooreen met 'n gemiddelde waarde van  $665 \times 10^6$  jaar.

#### E. Oorsprong van basiese en ultrabasiese magmas.

Die neiging bestaan vandag al hoe meer om granaatperidotiet as die primêre bron van die verskillende soorte magmas te beskou. Daar is twee hoofdenkrigtings oor die ontstaan van verskillende tipes magma met granaat-peridotiet as primêre bron. Die voorstanders van die een denkrigting beweer dat die verskillende tipes magma direk ontstaan deur selektiewe smelting van granaat-peridotiet in die mantel op verskillende dieptes en by verskillende temperature. Die voorstanders van die ander denkrigting beweer dat die verskillende tipes magma ontstaan deur differensiasie van 'n enkele moeder-magma. Die moedermagma ontstaan deur die gedeeltelike smelting van die granaat-peridotiet in die mantel.

##### 1. Smelting van die mantel

Die vernaamste voorstanders van die teorie van direkte ontstaan van magma deur selektiewe smelting van granaat-peridotiet in die mantel is

Kushiro en Kuno (1963), Yoder en Tilley (1962), Turner en Verhoogen (1960) en Oxburgh (1964). Yoder en Tilley het na aanleiding van eksperimentele werk die aanneemlikste en breedvoerigste beskrywing van so 'n proses gegee. Yoder en Tilley (1962) het op grond van eksperimentele werk tot die gevolgtrekking gekom dat 'n aantal gesteentes onder andere amfiboliet, pirokseenhoringblendiet en eklogiet (griekwalet?) deur volledige smelting basaltiese magma kan vorm. Basaltiese magma kan egter net deur gedeeltelike smelting uit granaat-peridotiet vorm. Variasies in die samestelling van die vloeistof wat uit granaat-peridotiet ontstaan, is die gevolg van gedeeltelike smelting by verskillende drukke en temperature of die gevolg van kristaluitsakkings. Smelting onder hoë druk neig om meer alkalibasalte tot gevolg te hê en smelting by lae druk gee tholeiiete.

Eksperimentele werk deur Yoder en Tilley het verder getoon dat olivien-tholeiietmagmas by 'n hoë druk aluminiumryke ortopiroksene presipiteer, in plaas van olivien, soos die geval is by 'n lae druk. Die gevolg is dat die olivien-tholeiietmagma alkali-basalte as residuele vloeistof het. Yoder en Tilley meen dus dat die verskillende magmas nie as primêre vloeistowwe deur gedeeltelike smelting ontstaan nie, maar dat differensiasie ook 'n rol kan speel by die totstandkoming van verskillende magmas.

Volgens Kushiro en Kuno (1963, bl. 78) kan basaltiese magmas met variërende samestelling geproduseer word deur gedeeltelike smelting van 2-9 persent van die peridotiet wat die boonste deel van die mantel vorm. Die ontwikkeling van basaltiese magma met variërende samestelling uit peridotiet met konstante samestelling is moontlik as die verskillende komponente van die verskillende minerale van die peridotiet in verskillende verhoudings smelt (dit wil sê differensiasie) na gelang van die temperatuur en druk.

Kushiro en Kuno (1963, bl. 80) meen net forsteriet, diopsied en enstatiet met hulle verskillende komponente sal deelneem aan die gedeeltelike smeltingsproses. As al drie minerale gelyktydig volledig smelt, behoort enige basaltiese magma wat so ontstaan 'n smeltsel te wees wat hierdie drie komponente bevat. Dit sal gevolglik onderversadig wees in terme van die C.I.P.W. norm. As enstatiet inkongruent smelt om kristalle van forsteriet en 'n vloeistof met samestelling tussen  $Mg_2SiO_4$  en  $SiO_2$  te gee sal die basaltiese magma wat so ontstaan 'n smeltsel wees wat pirokseen as komponent bevat. 'n Hele reeks basalte kan sodoende ontstaan, van oorversadigde tholeiiete tot onversadigde nefelienbasalte. Kushiro en Kuno toon verder dat die materiaal wat as resproduk agter bly nog pirokseen en olivien bevat en dus nog aan die samestelling van

die mantelmateriaal beantwoord. Kushiro en Kuno se idee kom daarop neer dat die eutektiese gedrag van die granaat en omfasiet so is dat by 'n lae druk in die mantel hierdie komponente smelt om 'n vloeistof, tholeiities in samestelling te gee, terwyl hulle by 'n hoë druk smelt om alkalibasalt te gee.

Oxburgh (1964, bl. 9) ondersteun ook Kushiro en Kuno se idee maar voeg by dat 'n derde komponent teenwoordig moet wees, naamlik 'n amfibool om te sorg vir die alkali-inhoud van die basalte. Met toename indruk verskuif die eutektiese punt in die rigting van die omfasiet amfibool. Oxburgh staaf sy bewerings ook op grond van seismiese gegewens. Daar is egter tot dusver baie min tekens van amfibool gevind in insluitsels in kimberliet wat gemeen word van die mantel afkomstig te wees en nog nie 'n amfibool wat 'n primêre mineraal vorm nie.

## 2. Differensiasie in die mantel

'n Ander teorie oor die ontstaan van basaltiese magma is dat al die verskillende basaltiese magmas van 'n enkele moedermagma afkomstig is. Die vloeistof ontstaan deur die gedeeltelike smelting van granaat-peridotiet in die boonste dele van die mantel en verskillende tipes magma ontstaan dan deur differensiasie hiervan.

O'Hara en Yoder (1962) het uit eksperimente afgelei dat die vloeistof wat deur die gedeeltelike smelting van granaatperidotiet ontstaan, hipersteen of nefelien in die C.I.P.W. norm kan bevat. Indien die vloeistof hipersteen-normatief is en olivien kristalliseer by 'n lae druk uit het die resvloeistof 'n tholeiitiese samestelling. Enige fraksionering by 'n hoë druk sodat granaat en diopsied, of net granaat uitskei, sal die hipersteen-normatiewe vloeistof laat verander in 'n nefelien-normatiewe vloeistof wat dus onder-versadig aan silika sal wees.

Eksperimentele werk deur Green en Ringwood (1964, bl. 1276) toon dat olivien-tholeiietmagma, aluminiumryke ortopirokseen of aluminiumryke subkalsiese ougiet in plaas van olivien en kalsiese plagioklaas by druk hoër as 10kb presipiteer. Met die onttrekking van sulke piroksene kan die olivien-tholeiiet magma alkalibasalt produseer. Belousov (1966, bl. 317) reken dat basalt ontstaan deur die gedeeltelike smelting van die mantelperidotiet in die vorm van druppels vloeistof versprei deur die boonste deel van die mantel. Volgens Kushiro en Kuno (1963, bl. 78) vorm net 2-9 persent van die oorspronlike materiaal basaltiese vloeistof. Die sone waar die basaltiese vloeistof ontstaan, is volgens Belousov (1966, bl. 317) op 'n diepte van

tussen 50 en 400km. Die basaltiese vloeistof wat so ontstaan word saamgepers om groot liggame van vloeistof in die boonste deel van die mantel of bo-op die mantel te vorm. Indien die vloeistof bo uitgepers word, vorm dit lawavloeiings. As die vloeistof nie uitgepers word nie kristalliseer dit daar om lense eklogiet (griekwaïet?) bo-op die mantel of in die boonste dele daarvan te vorm. Die vloeistof mag egter stadig na bo beweeg en differensiasie ondergaan om graniet as eindproduk te hê.

Babrievic (aangehaal deur Trovimof, 1964, bl. 191) het na aanleiding van 'n studie van insluitsels in diamante tot die gevolgtrekking gekom dat daar sterk aanduidings van differensiasie in magmakamers in die diepte is. Hy het onder andere 'n insluitel van olivien wat omtrent suiwer  $Mg_2SiO_4$  is in diamant gevind.

Engel en andere (1965, bl. 719) wys op die ooreenstemming in samestelling van tholeiïete en chondriete. Volgens hulle beklemtoon dit die primitiwiteit van tholeiïet en daarom beskou hulle die alkali-basalte as 'n differensiaat van die tholeiïet. Die primêre magma wat ontstaan uit materiaal met chondritiese samestelling het 'n tholeiïetiese samestelling en namate kristalakkumulاسie voorkom, word die volgende gesteentes gevorm: alkali-basalte, andesiet en natriumryke ryoliete en fonoliete as eindproduk.

Holmes (1965, bl. 925) beskou eklogiet (griekwaïet?) as die bron van basaltiese vloeistof. Volgens hom word die eklogiet (griekwaïet?) deur konveksie strome na dieper dele van die mantel vervoer waar dit smelting ondergaan en met die eerste geleentheid na boontoe op beweeg as magma.

Volgens Verwoerd (1966, bl. 191) is karbonatiet afkomstig van basaltiese magma en verteenwoordig dit die laaste residuele vloeistof daarvan. Al die elemente wat nodig is om karbonatiet te vorm is teenwoordig in alkali-olivien-basalt; selfs die  $CO_2$  beskou hy as 'n primêre bestanddeel in basalt wat gekonsentreer raak in die residuele vloeistof. Karbonatiet met kaliumveldspaat word nooit in assosiasie met alkaligesteentes gevind nie, maar gewoonlik met vulkaniese breksies. Verwoerd baseer sy idee dat karbonatiet die laaste residuele vloeistof van basaltiese magma is, op die algemene assosiasie van karbonatiet en basiese gesteentes. Die volgende assosiasies word aangetref: Phalaborwa en die Bosveld stollingskompleks, Pilanesberg en die na-Waterberg-diabase, en vir die komplekse met 'n alkalikompleks in die laat stadium, die Stormberglawas.

## IX GEVOLGTREKKINGS

Uit die werke van skrywers soos Holmes (1936), Belousov (1966), Kushiro en Kuno (1963), Willshire en Binns (1961) en Du Toit (1937), blyk dit dat hulle voorstanders is van die idee dat die mantel bestaan uit granaatperidotiet met eklogiet (griekwaïet?) aan die bokant. Hulle meen dat die M-onderbreking veroorsaak word deur die fasetransformasie van eklogiet (griekwaïet?) in basalt. Borchert (1962, bl. 151) meen dat 'n laag griekwaïet onder die oorliggende peridotietmantel op 'n diepte van tussen 60 en 80km voorkom. MacDonald (1958), bl. 476) is van mening dat onder die peridotietsone, primitiewe materiaal aangetref word met 'n samestelling soortgelyk aan die van chondrietmeteoriete. Kushiro en Kuno (1963, bl. 76) noem die primitiewe materiaal wat onder die peridotietsone voorkom, piroliet, wat 'n samestelling het van drie dele peridotiet en een deel basalt.

Die volgende gegewens steun die idee dat die mantel uit griekwaïet, of eklogiet soos <sup>oag</sup>beoemde skrywers dit noem, bestaan:

- (i) Die soortlike gewig van griekwaïet is ongeveer 3.65 teenoor 3.30 van peridotiet wat aandui dat griekwaïet dieperliggend behoort te wees, want as dit bo die peridotiet sou voorkom, sou so 'n rangskikking onstabiel wees en sou die griekwaïet neig om te sink.
- (ii) Volgens die inversiekurwes van diamant, kyaniet en kwarts (Plaat XV) is dit onwaarskynlik dat hierdie minerale op vlakker dieptes as 65km sal ontstaan. Diamant en kyaniet word tesame en afsonderlik as primêre minerale in griekwaïet gevind en coesiet is al as insluitsels in diamante gevind. (Meyer en Harris, 1966, bl. 169)
- (iii) Die eksolusiestrukture wat in enstatiet, diopsied en olivien aangetref word (plate X en XI) dui aan dat hierdie minerale gedeeltelike vaste oplossings met granaat en ilmeniet gevorm het. Vaste oplossings tussen diopsied, enstatiet of olivien en granaat is net moontlik onder hoë druk en temperatuur. By 'n druk van ongeveer 200kb het pirokseen 'n ilmenietstruktuur (Matsumoto, 1965, bl. 112) wat dit moontlik maak om 'n vaste oplossing met ilmeniet te vorm, en miskien ook met ander minerale wat moontlik 'n ilmenietstruktuur by sulke drukke en temperature het, byvoor-

byvoorbeeld granaat. Met verlaging van druk en temperatuur ontmeng die twee fases. Die teenwoordigheid van sulke eksolusiestrukture dui dus op 'n diepte van 500km.

Op grond van bogenoemde en 'n ondersoek van die xenoliete in die kimberliet van Barkly-Wes kan die gevolgtrekking gemaak word dat die mantel hoofsaaklik uit griekwaïet met 'n peridotietsone aan die bokant bestaan. Die peridotiet kom moontlik voor vanaf die M-onderbreking tot op 'n diepte van ongeveer 65km. Vanaf ongeveer 65km kom griekwaïet waarskynlik voor tot op 'n diepte van ten minste 500km. Die oorgang van die peridotietsone in die griekwaïetsone word beskou as geleidelik deur gesteentes met 'n intermediêre samestelling soos die granaat-peridotiet. Dieper in is daar moontlik griekwaïet met meer primitiewe samestellings soos kyaniet-griekwaïet, korund-griekwaïet, olivien-griekwaïet en flogopiet-griekwaïet. Die boonste deel van die griekwaïetsone verteenwoordig waarskynlik materiaal wat oorgebly het nadat gedeeltelike smelting van die meer primitiewe griekwaïete reeds plaasgevind het, terwyl die onderste sone nog primitiewe materiaal is. Die peridotiet verteenwoordig die resmateriaal van griekwaïet waaruit verskillende basalte deur gefraksioneerde smelting onttrek is, of die peridotiet kon moontlik ook ontstaan het deur kristaluitsakking, soos voorgestel is deur Borchert (1962, bl. 150). Indien dit aangeneem word dat die mantel hoofsaaklik uit griekwaïet met 'n peridotietsone aan die bokant bestaan, bied dit 'n eenvoudige verklaring vir die M-onderbreking onder oseane en onder kontinente, naamlik die oorgang van gabbro in peridotiet en nie deur twee aparte verskynsels nie, soos die voorstanders van 'n peridotietmantel beweer.

Dit word voorgestel dat die kimberlitiese fluïed in die primitiewe materiaal ontstaan as gevolg van verligting van druk deur breuke wat van bo af strek tot in die boonste dele van die mantel. Die fluïed beweeg in die breuke op en neem van die newegesteentes op. Die opwaartse beweging vind stadig plaas en die druk word gehandhaaf terwyl die temperatuur stadig daal. Wanneer die fluïed die boonste dele van die kors bereik ontsnap die vlugtige bestandele vinnig en is die temperatuur so laag dat die hoë-temperatuurminerale nie meer ontbind nie.

'n Fluïdisasiesistiem ontstaan nou soos voorgestel deur Bosch (1963, bl. 57), Holmes (1966, bl. 276), Dawson (1962, bl. 556) en Edwards en Howkins (1966, bl. 549). Die fluïdisasieproses is die hoofmeganisme wat verantwoordelik is vir die afgeronde vorm van die insluitsels en die vorm van die vulkaanpyp. Op enige plek waar die spleet wyer as normaal is, of waar twee of meer spleete kruis, sal die spleet neig om vinniger na boontoe te

verbreed om sodoende 'n pyp te vorm. Die gas konsentreer daar, dring barsies in die newegesteentes in en maak blokke daarvan los en indien water ook teenwoordig is, sal die uitsetting van die water in 'n gasfase die proses ook aanhelp. Namate die openinge groter word, konsentreer die gas daarin en die gevolg is 'n ronde pyp waarin die stukke newegesteentes wat bo losgemaak is, afgerond word. Die digtheidsdifferensie<sup>ee</sup> wat so ontstaan veroorsaak konveksie en veroorsaak dat hoër-iggende insluitsels na laer vlakke vervoer word.

Die xenokriste wat hoofsaaklik uit olivien, granaat en flogopiet bestaan, verteenwoordig waarskynlik opgebreekte peridotiet en in 'n mindere mate gebreekte griekwaïet. Tuffisiet tpe het moontlik op 'n soortgelyke manier ontstaan, met die verskil dat net die vlugtige bestandele, hoofsaaklik gas, 'n rol gespeel het en die voerkanale nie met lawa opgevol is nie. Die moontlikheid bestaan dus dat kimberlitiese materiaal dieper in sommige van die tuffisiet tpe aanwesig mag wees.

Die kimberlietmatriks word beskou as die kristallasieprodukt van die eerste differensieële smeltingsfraksie van die primitiewe griekwaïet, wat deur verlaging van druk in die boonste mantel ontstaan het. Die verlaging van druk word veroorsaak deur diep breuke wat van bo-af tot in hierdie deel van die mantel sterk. Volgens Bowen se reaksiereeks sou 'n mens dan verwag dat by latere afkoeling, minerale soos flogopiet en kalsiet, uit hierdie eerste smeltsel sal kristalliseer. Die chemiese samestelling van die flogopiet-xenokriste en die flogopiet in die grondmassa van die kimberliet (Tabel 2) is baie eenders.

Namate die temperatuur en druk hoër word, word meer van die primitiewe griekwaïet uitgesmelt. Soos die temperatuur en druk hoër word sal karbonatiese fluïed ontstaan, dan tholeiitiese magma en uiteindelik alkalibasaltiese magma. Die temperatuur-en drukverhouding bepaal watter fluïed of magma sal ontstaan. In die geval van kimberliet is die aanvanklike druk laag as gevolg van die breuke wat van bo-af sterk en verligting van druk veroorsaak. Indien die druk nie verlaag word nie maar eerder groter word namate die temperatuur styg, as gevolg van die ophoping van radiogene hitte, sal tholeiitiese en selfs alkalibasaltiese magmas ontstaan. Die styging in temperatuur en druk kan breuke van onder of veroorsaak wat die fluïed of magma die geleentheid gee om boontoe te beweeg. Namate die temperatuur en druk nou weer daal sal tholeiitiese magma ontstaan as daar aanvanklik alkali-basaltiese magma gevorm het. Indien die druk en temperatuur verder daal, sal karbonatiese magma na die tholeiitiese-magma vorm, en indien

die druk laag genoeg kan daal sal kimberlitiese magma uiteindelik ontwikkel.

Hierdie proses verklaar moontlik die verskynsel dat alkali-basalte eers in die Kambriese en na-Kambriese tyd 'n maksimum ontwikkeling gehad het (Engel en andere, 1965, bl. 719). Die druk van die kontinentale kors het waarskynlik eers in die Kambriese tyd tot so 'n mate verhoog dat alkali-basalt uit die griekwaïet kon begin uitsmelt in die mantel. Indien dit aangeneem word dat die druk en temperatuur 'n ewe belangrike rol speel in die ontwikkeling van magmas sal verwag word dat in dele waar daar 'n hoër druk op die mantel uitgeoefen word, by dieselfde temperatuur eerder 'n alkali-basalt sal uitsmelt as 'n tholeiïet magma. Onder die oseane waar die druk nie so hoog op die primitiewe materiaal is nie, sal waarskynlik eerder tholeiïetiese magma uitsmelt as alkali-basaltiese magma. Die druk kan nie tot so 'n mate verhoog word onder die oseaankors dat alkali-basaltiese magma uitsmelt nie, omrede die oseaan kors nie so sterk is nie.

Volgens die chemiese samestelling van die flogopiet-en enstatietgriekwaïet is die natrium-en kalium-inhoud van die gesteentes hoog genoeg om die alkali-inhoud in die differensiasie produkte te verklaar. Holmes (1965, bl. 976) is ook van mening dat eklogiet (griekwaïet?) die bron van basiese magmas is.

## X OPSOMMING

Xenoliete en xenokriste in kimberliet van Barkly-Wes is mineralogies en petrologies ondersoek met die oog op hulle herkoms en die lig wat dit mag werp op die samestelling van die boonste dele van die mantel en die ontstaan van basaltiese magma onder die kontinentale kors. Die mineralogiese en petrologiese ondersoek is aangevul deur nege nuwe chemiese analises: vier van xenoliete, drie van minerale in 'n xenoliet, een van 'n xenokris en een van flogopiet in die grondmassa van die kimberliet.

Die kimberliet bestaan nie alleen uit 'n variërende mengsel van fragmente van verskillende groottes en samestelling nie, maar ook grotendeels uit peridotiet-brokkies in die vorm van olivien-xenokriste in 'n fyner matriks van karbonaat en flogopiet.

Die vernaamste gevolgtrekking is dat die basiese en ultrabasiese xenoliete en xenokriste fragmente is wat deur eruptiewe verbrokkeling van gesteentes in die boonste mantel gevorm is en deur eruptiewe inplasing van die kimberliet na

bo gevoer is. Die inplasing van die kimberliet het vermoedelik plaasgevind na die differensiële uitsmelting van 'n lae temperatuurfraksie in die boonste dele van die mantel, gepaardgaande met die eruptiewe verbrokkeling van mantelgesteentes en die vorming van 'n fluïde sisteem wat in 'n reeds bestaande breuk of breuksisteem na boontoe ingedring het. Gedurende inplasing is hierdie fragmente verder verbrokkel, veral die van peridotiet, en tot so 'n mate deur abrasie in die voerkanaal afgeslyt, dat hulle almal 'n geronde voorkoms het.

Onder die kontinentale kors, op dieptes van tussen 36 en 65km is daar vermoedelik 'n sone van peridotiet en daar onder tot op 'n diepte van 500km 'n laag griekwaïet. Die M-onderbreking is waarskynlik 'n faseoorgang van basiese in ultrabasiese gesteentes onder beide kontinente en oseane. Die gabbro-peridotiet-transformasie by die M-onderbreking asook die peridotiet-griekwaïet-transformasie onder die kontinente op 'n diepte van ongeveer 65km is waarskynlik albei geleidelike oorgange, verteenwoordig deur intermediëre gesteente tipes.

Die chemiese samestelling van die griekwaïete, veral die van die olivien-enstatiet-griekwaïet en flogopiet-griekwaïet, is baie na aan die samestelling van die primitiewe materiaal in die boonste mantel soos deur verskillende skrywers gepostuleer word. Deur die differensiële smelting van 'n griekwaïet-iese bomantel kan verskillende tipes magma's ontstaan, afhangende van die druk en temperatuur 'n lae druk en 'n lae temperatuur bevorder die ontstaan van kimberlitiese vloeistof, maar by hoër drukke en temperatuur sal daar eerder karbonatitiese vloeistof ontwikkel, gevolg deur tholeiitiese magma en uiteindelik selfs alkalibasalt as die druk en temperatuur hoog genoeg styg as gevolg van radiogene verhitting in die boonste mantel.

## XI BEDANKINGS

Hiermee word erkentlikheid en dank teenoor die volgende instansies en persone betuig:

Die Nasionale Komitee vir die Bomantelprojek vir finansiële steun;  
dr. O.R. van Eeden, direkteur van die Geologiese Opname van Suid-Afrika, deur wie se bemiddeling chemiese analises gedoen is; mnr. en mev. du Plessis, van Barkly-Wes, vir huisvesting, hulp en belangstelling gedurende

die veldondersoek; mnr. J.M., A.M., W.A., en H.S.A. du Plessis, R.C. Versluis en D.P. du Bruyn, myneienaars van Barkly-Wes vir gewaardeerde bystand en belangstelling; prof. P.B. Ackermann en mnr. A.A. Bisschoff van die Geologie-departement aan die Potchefstroomse Universiteit vir C.H.O., vir leiding, hulp, advies en belangstelling gedurende die ondersoek; mnr. en mev. F.J.P. Schutte en Louise Geertsema vir hulp en belangstelling.

## XII VERWYSINGS

- ALDERMAN, A.R. (1936) Eclogites in the neighbourhood of Glenelg Inverness-shire, Quart. J. geol. Soc. Lond., 92, 488-528.
- BANNO, S. and YOSHINO, G. (1964) Eclogite bearing peridotite mass at Higasiakaisiyama in the Bessi area, Central Sikoku, Japan. The Upper Mantle Symposium New Delhi, Int. Un. geol. Sci., 1964, 150-160.
- BARDET, M.G. (1965) Diamantiferous Diatremes, Econ. Geol. 60, 827-829.
- BARTH, T.F.W. (1962) Theoretical petrology, John Wiley and Sons Inc., New York, London, 416 b11.
- BELOUSSOV, V.V. (1962) Basic problems in geotectonics, Mc Graw-Hill Book Co, New York, 809 b11.
- .....(1966) The crust and upper mantle of continents, Int. Geol. Rev., 8, 317.
- BONNEY, T.G. (1907) On the supposed kimberlite magma and eclogite concretions, Trans. geol. Soc. S. Afr., 10, 95-100.
- BORCHERT, H. (1962) Chemismus und Petrologie der Erdschalen sowie die Entstehung und Ausgestaltung der wichtigsten Diskontinuitäten der Erdkruste, Neues JB. Miner., Monatshefte, 143-163.
- BOSCH, J.L. (1963) Die petrologie van die kimberliete van Bellsbank Mitchemanskraal, Doornkloof en Sover, Distrik Barkly-Wes, Ongepubliseerde M.Sc.-tesis Potchefstroomse Universiteit vir C.H.O. 77b11.
- CHAYES, F. (1949) A simple point-counter for thin sections analysis Amer. Miner., 34, 1-11.
- CORSTORPHINE, G.S. (1907) The occurrence in kimberlite of garnetpyroxene nodules carrying diamonds, Trans. geol. Soc. S. Afr., 65-68.
- DAVIDSON, C.F. (1957) The diamond fields of Yakutia, Miner. Mag., 97, 329-338.

- Davidson, C.F. (1964) On diamondiferous diatremes, Econ. Geol., 59, 1368-1380
- DAWSON, J.B. (1962a) Basotuland kimberlites, Bull. geol. Soc. Amer., 73, 545-560
- ..... (1962b) Sodium carbonate lavas from Northern Oldoito Lengai, Tanganyika, Nature, 195, 1075.
- ..... (1964) Carbonate tuff cones in Northern Tanganyika, Geol. Mag., 101, 129-137.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. and ZUSSMAN, J. (1962) Rockforming minerals, Vol. 3, Sheet silicates, Longmans, London, 270 b11.
- DU TOIT, A.L. (1937) Our wandering continents, Oliver and Boyd, Edinburgh, 366 b11.
- ..... (1956) The geology of South Africa, Oliver and Boyd, Edinburgh, 611 b11.
- EDWARDS, C.B. and HOWKINS, J.B. (1966) Kimberlites in Tanganyika with special reference to the Mivadui occurrence, Econ. Geol., 61, 537-554.
- ENGEL, H.J., ENGEL C.G. and HAVENS, R.G. (1965) Chemical characteristics of oceanic basalts and the upper mantle, Bull. geol. Soc. Amer., 76, 719-734.
- GRANATHAM, D.R. and ALLEN, J.B. (1960) Kimberlites of Sierra Leone, Overseas Geol. miner. Resour., 8, 5-25.
- GREEN, D.H. and RINGWOOD, D.E. (1964) Fractionation of basalt magmas at high pressures, Nature, 201, 1276-1279.
- HALES, A.L. and SACKS, I.S. (1958) Evidence for an intermediate layer from crustal structure studies in the Eastern Transvaal, Geophys. roy. astr. Soc., 15-33.
- HARGER, H.S. (1921) Age of the South African kimberlites, and their occurrence in Cretaceous Beds, Trans. geol. Soc. S. Afr., 24, 1-10.
- HESS, H.H. (1949) Chemical composition and optical properties of common clinopyroxenes, Amer. Miner., 34, 634-657.
- ..... (1952) Orthopyroxenes of the Bushveld type, ion substitution and changes in unit cell dimensions. Amer. Sci., Bowen Vo. 173.

- HOLMES, A. (1936) Petrology of the kimberlites and its inclusions, Trans. geol. Soc. S.Afr., 39, 379-427.
- ..... (1965) Principles of Physical Geology, Thomas Nelson, London, 1288b11.
- KENNEDY, G.C. (1947) Chart for correlation of optical properties with chemical composition of some common rock forming minerals, Amer. Miner., 32, 570.
- KUSHIRO, I and KUNO, H, (1963) Origin of primary basalt magmas and classification of basalt rocks, Oxford, 4, 75-89. *J. Pet.*
- MACDONALD, G.J.F. (1958) Research in geochemistry, New York, John Wiley, 511 b11.
- MATSUMOTO, T. (1965) Some aspects of the formation of primary granitic magmas in the upper mantle, The Upper Mantle Symposium New Delhi 1964 Int. Un. geol. Sci., 112-125 b11.
- MEYER, O.A. and HARRIS, J.W. (1966) Discussion of "General review of alkali basalts and their associates" by P.G. Harris, Proc. geol. Soc. Lond., nr.1635, 169.
- MIKHEYENKOV, V.I. and NENASHEV, N.I. (1962) Absolute age of formation and relative age of intrusion of the kimberlites of Yakutia, Int. Geol. Rev., 4, 916-924.
- NIXON, P.H., VON KNORRING, O. and ROOKE, J.M. (1963) Kimberlites and associated inclusions of Basutoland, a mineralogical and geochemical study, Amer. Miner., 48, 1090-1132.
- NOCKOLDS, S.R. (1947) The relation between chemical composition and paragenesis in the biotite micas of igneous rocks, Amer. J.Sci., 245, 401-420.
- O'HARA, M.J. and MERCY, E.L.P. (1966) Exceptional calcic pyralspite from South African kyanite eclogite, Nature, 212, 68-69.
- O'HARA, M.J. and YODER, H.S. (jnr) (1962) Origin of igneous rocks. Partial melting of the mantle. Carneg. Inst. Washington, Yearb. 62, 66-71.
- OXBURGH, E.R. (1964) Petrological evidence for the presence of amphibole in the upper mantle and its petrogenetic and geophysical implications, Geol. Mag., 101, 1-18.

Roedder, E. (1965)

Liquid CO<sub>2</sub> inclusions in olivine-bearing nodules and phenocrysts from basalts. Amer. Miner., 50, 1746-1782.

- PARTRIDGE, F.C. (1934) The identification of kimberlites and kimberlite minerals by spectroscopic and other means, Trans. geol. Soc. S. Afr., 37, 205-211.
- POLDEVAART, A. (1964) Chemical definition of alkali basalt and tholeiites. Bull. geol. Soc. Amer. 75, 229-232.
- RICE, C.M. (1960) Dictionary of Geological Terms, Edwards Brothers, Ann Arbor, Michigan b11 465.
- RINGWOOD, A.E. and GREEN, D.H. (1966) An experimental investigation of the gabbroeclogite transformation and some geophysical implications. Tectonophysics 3, 383-427.
- RINGWOOD, A.E. (1966) Chemical evolution of the terrestrial planets, Geochim. Cosmoch. Acta, 30, 41-104.
- ROSS, C.S. FORSTER, M.D. and MYERS, A.J. (1954) Origin of dunites and of olivine rich inclusions in basaltic rocks, Amer. Miner. 39, 693-737.
- SHAND, S.J. (1934) The heavy minerals of kimberlites, Trans. geol. Soc. S. Afr., 37, 57-68.
- ..... (1950) Eruptive rocks, Thomas Murby, London, 428 b11.
- SMIRNOV, G.I. (1959) Mineralogy of Siberian kimberlites, Int. Geol. Rev., 1, 21-39.
- SMITH, W.C. (1956) A review of some problems of African Carbonatites, Quart. J. geol. Soc. Lond., 112, 189-219.
- SOBELEV, V.S. (1964) Characteristic of volcanism and some general problems in geology, Int. Geol. Rev., 6, 1953.
- SUBBOTIN, S.I., NAUMCHIK, G.L. and RAKHIMOVA, I.S.H. (1965) Structure of the earths crust and upper mantle, Tectonophysics, 2, 111-150.
- TALBOT, J.L., HOBBS, B.E., WILLSHIRE, H.G. and SWEATMAN, T.R. (1963) Xenoliths and xenocrysts from areas of the Kerquelen Archipelago, Amer. Miner., 48, 159-179.
- TOMKEIEFF, S.J. (1961) Alkalic ultrabasic rock and carbonatites in the U.S.S.R., Int. Geol. Rev., 3, 739.

- TROVIMOF, V.S. (1964) Conditions of formation and distribution features of diamonds in kimberlites, Econ. Geol., 59, 182-183.
- TURNER, F.J. and VERHOOGEN, J. (1960) Igneous and metamorphic rocks, Mc Graw-Hill, London, 694 b11.
- VERWOERD, W.J. (1966) South African carbonatites and their probable mode of origin, Ann. Univ. Stellenbosch, 41, 119-209
- WAGNER, P.A. (1914) The diamond fields of Southern Africa, Transvaal Leader, Johannesburg, 347 b11.
- ..... (1928) The evidence of the kimberliet pipes on the constitution of the outer part of the earth, S. Afr. J. Sci., 25, 127-148.
- WATSON, K.D. (1955) Kimberlite at Bachelor Lake Quebec, Amer. Miner., 40, 565-579.
- WILLIAMS, A.F. (1932) The genesis of the diamond, 2 vols., Ernest Benn, London, 636 b11.
- WILLSHIRE, H.G. and BINNS, R.A. (1961) Basic and ultra-basic xenoliths from volcanic rocks of New South Wales, J. Pet. Oxford, 2, 185-208.
- WILSON, N.W. (1960) Diamond deposits of Yakutia, Miner. Mag. Lond., 103, 205-213.
- YODER, H.S. and TILLEY, C.E. (1962) Origin of basalt magmas and experimental study of natural and synthetic rock systems, J. Pet. Oxford, 3, 342-532.

PLAAT I

Veralgemeende geologiese kaart van die gebied noord van Barkly-Wes volgens Bosch (1963), gewysig.

# PLAAT I

24° 30'

24° 45'

## LEGENDE



Alluvium



Diamanthondende gruis



Dwykaskalie



Campbellranddolomiet



Ventersdorplawa



Karoodoleriet



Kimberlietyp Newlands-myn (S)

Frank Smith-myn



Kimberlietgang: Hoofgang (1)

Bobbejaangang (2)

Mitchemanskraal

Sovergang (3)



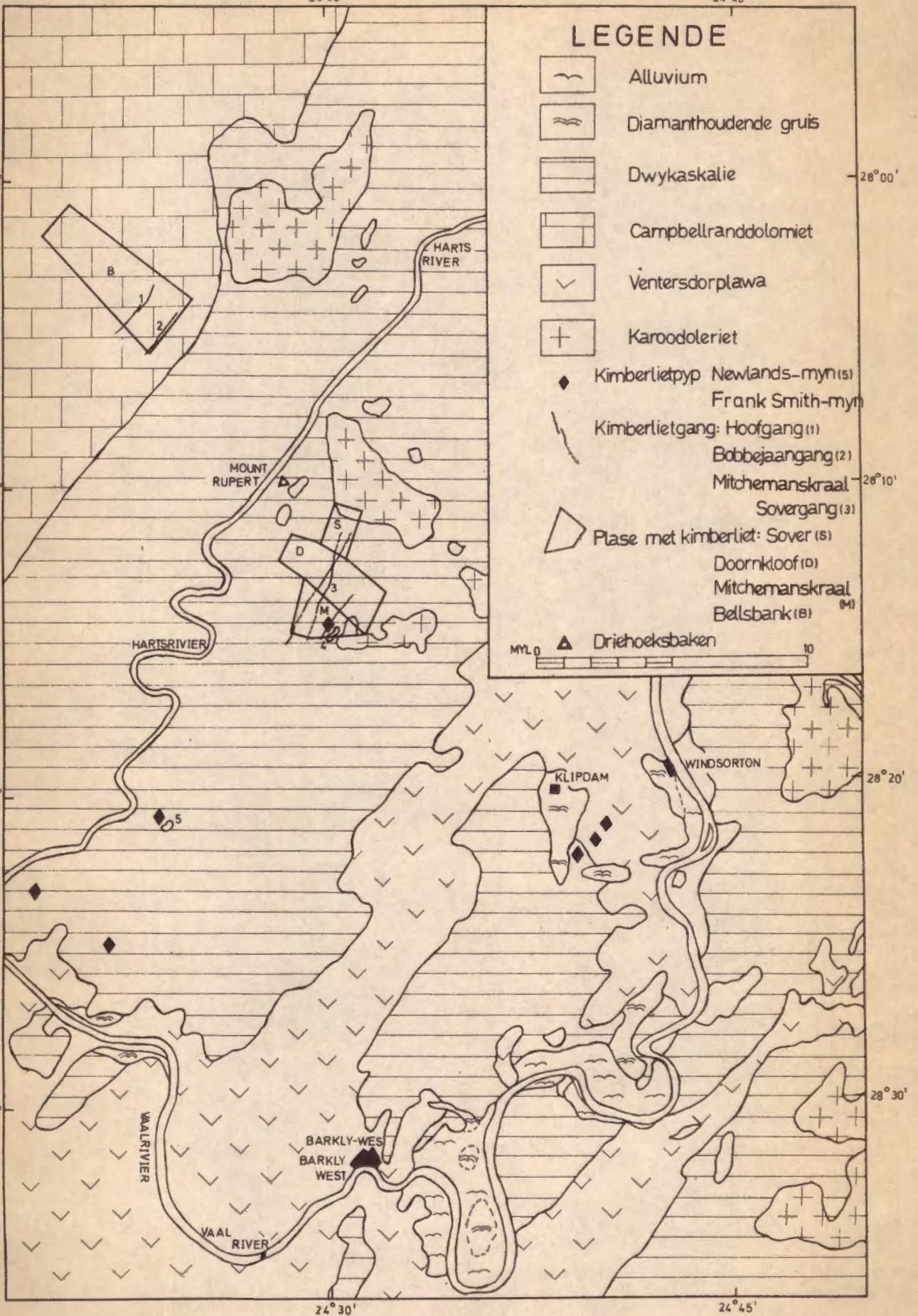
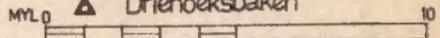
Plase met kimberliet: Sover (S)

Doornkloof (D)

Mitchemanskraal

Bellsbank (B) (M)

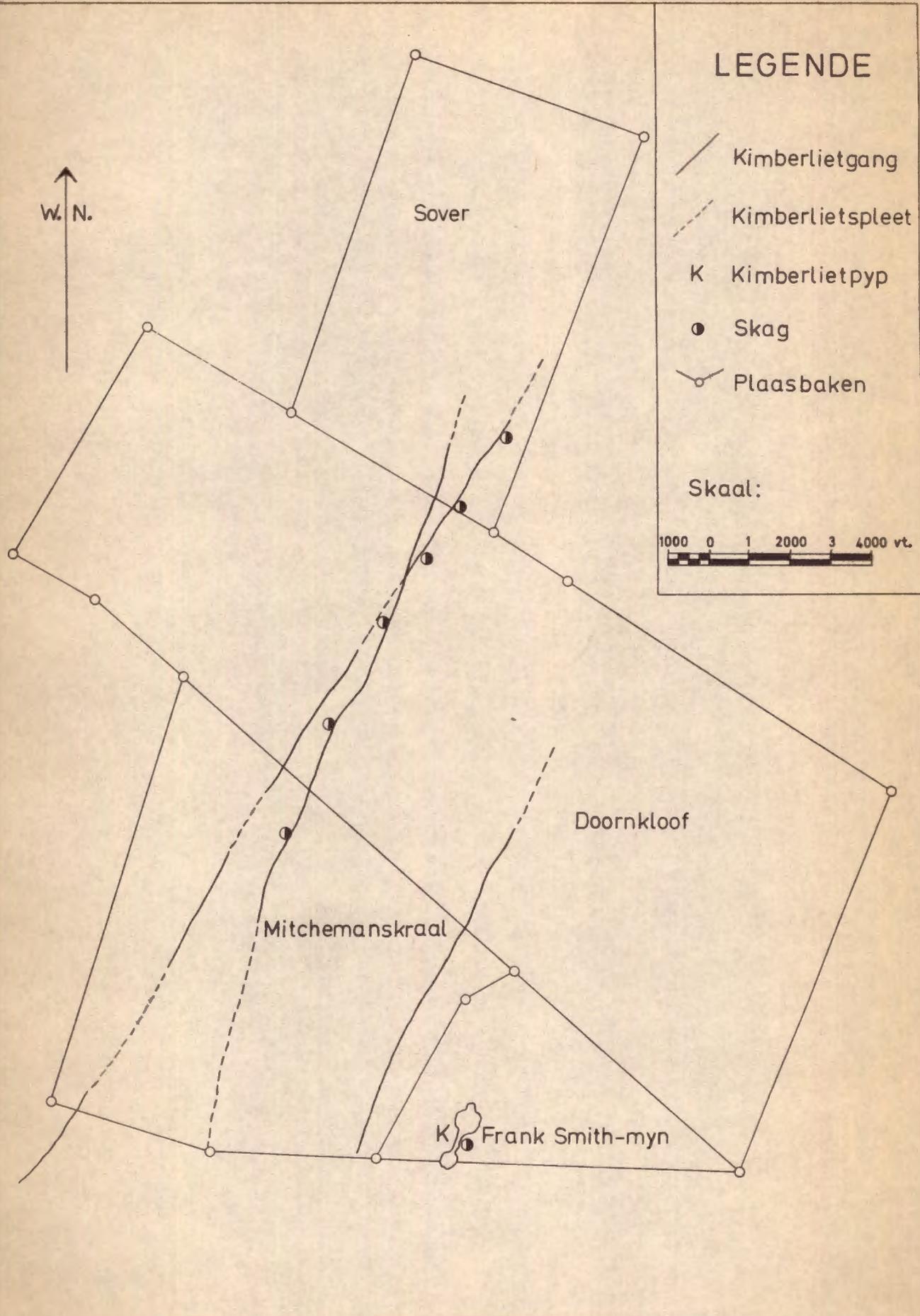
MYL 0 ▲ Driehoeksbaken 10



PLAAT II

Kaart van kimberlietgange en -pype op Sover, Doornkloof en  
Mitchemanskraal, volgens Bosch (1963), gewysig.

# PLAAT II



## LEGENDE

-  Kimberlietgang
-  Kimberlietspleet
- K** Kimberlietpyp
-  Skag
-  Plaasbaken

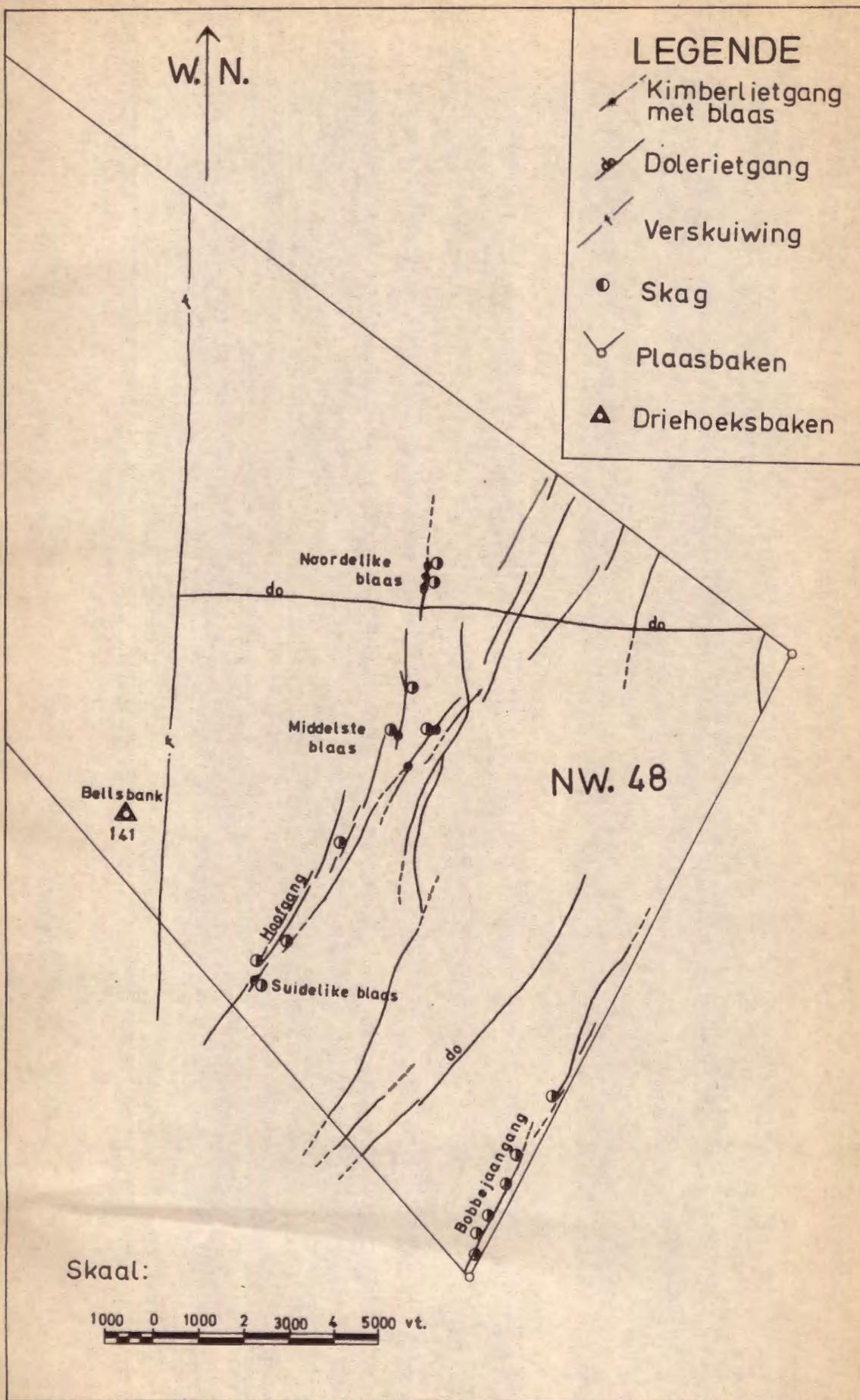
Skaal:



PLAAT III

Kaart van Kimberlietgange en -blase op gedeelte N.W. 48, Bellsbank,  
volgens Bosch (1963), gewysig.

# PLAAT III



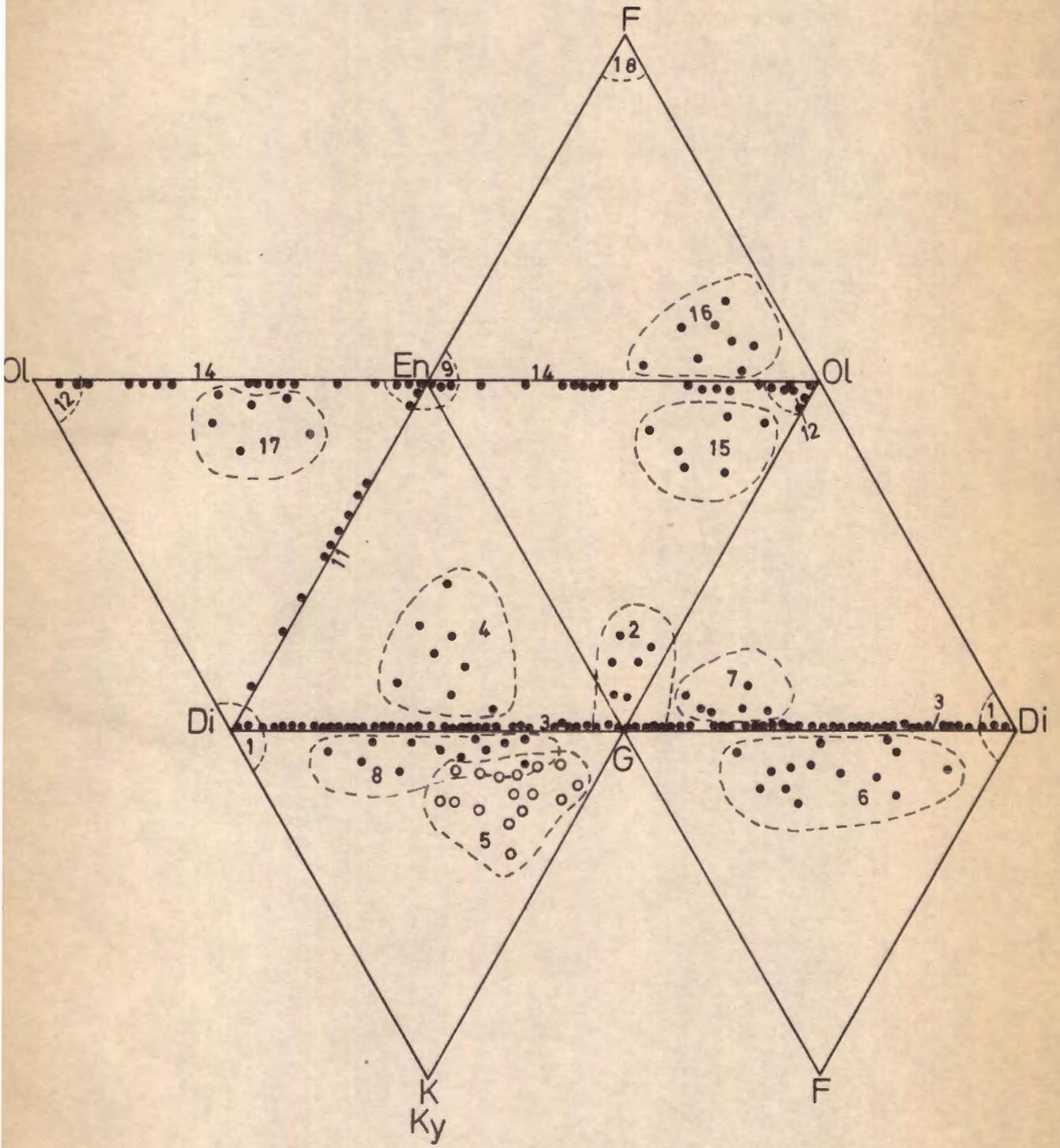
## PLAAT IV

Variasie in volumetriese proporsies van minerale in xenoliete. Die mineralogiese samestelling van die insluitsels is verkry deur van die puntellimete metode van Chayes (1949, bl. 2) gebruik te maak.

Die veld wat deur elke tipe beslaan word is soos volg aangedui:

1. - Klinopirokseniet
2. - Granatiet
3. - Griekwaïet
4. - Enstatiet-griekwaïet
5. - Korund-griekwaïet
6. - Flogopiet-griekwaïet
7. - Olivien-griekwaïet
8. - Kyaniet-griekwaïet
9. - Ortopirokseniet
11. - Websteriet
12. - Duniet
14. - Harzburgiet
15. - Granaat-harzburgiet
16. - Flogopiet-harzburgiet
17. - Lherzoliet
18. - Flogopiet-glimmeriet

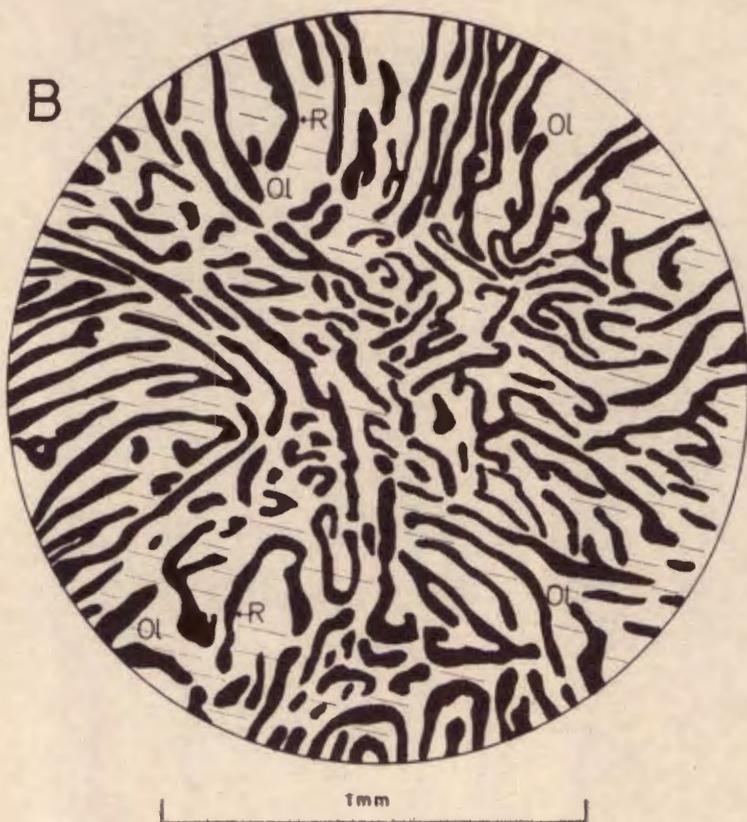
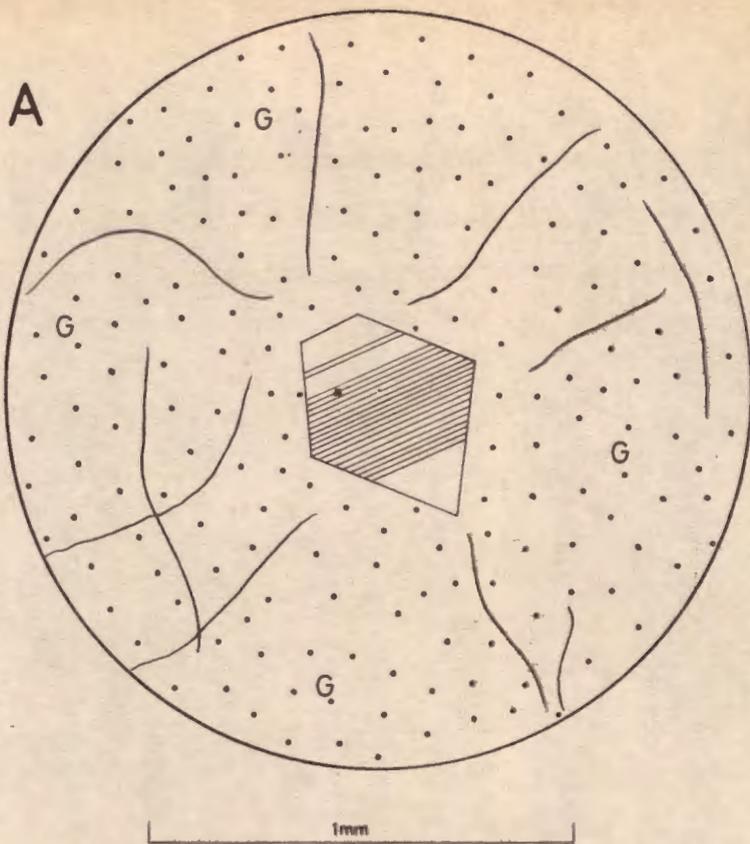
PLAAT IV



PLAAT V

- Figuur A. Mikrografie van granaat (G) met ingeslote diamant in tipiese griekwalet uit die kimberliet van Mitchemanskraal.
- Figuur B. Mikrografie van mirmekietagtige deurgroeiing van olivien(O) en rutiel (R swart) wat moontlik die gevolg is van ontmenging van rutiel uit olivien, in harzburgiet uit kimberliet van Frank Smith-myn.

PLAAT V

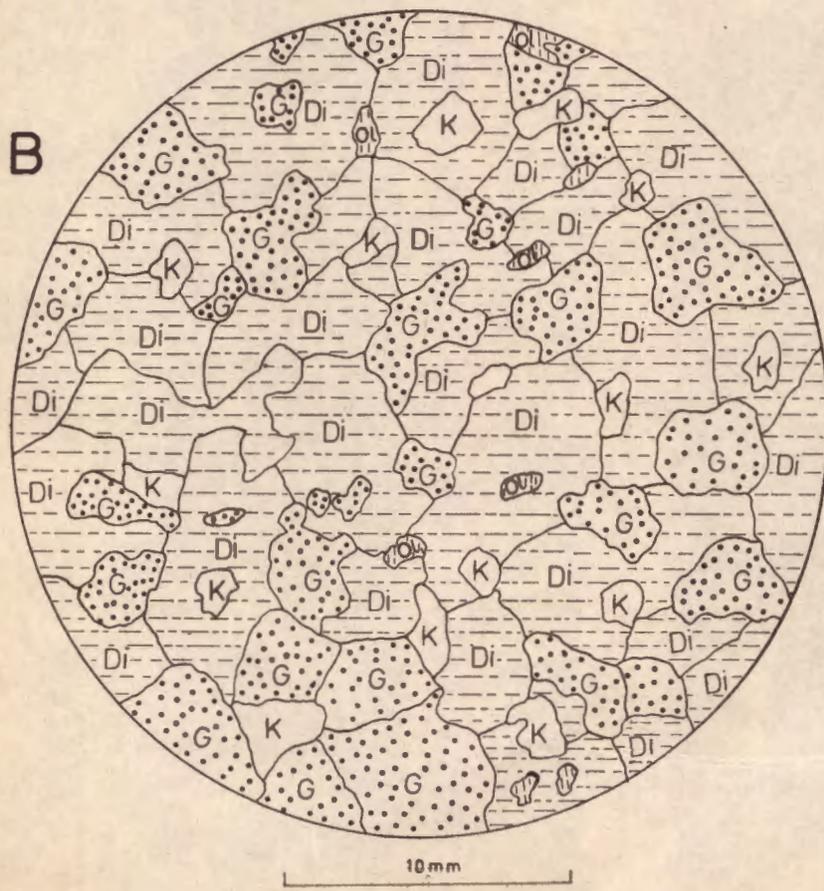
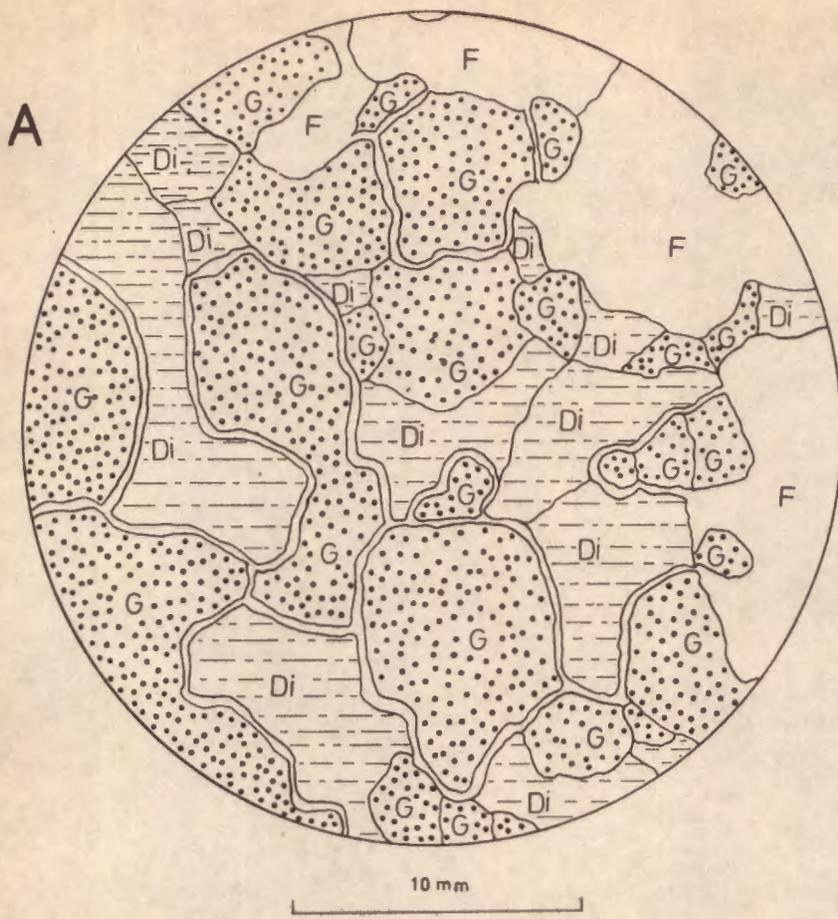


PLAAT VI

Figuur A. Mikrografie van flogopiet-griekwaïet van Bellsbank met flogopietrande om granaat (G) en diopsied (Di) wat opties kontinu is met groot flogopietkristalle (F).

Figuur B. Mikrografie van korund-griekwaïet van Bellsbank met korund (K) en olivien (Ol) versprei tussen groter kristalle van granaat(G) en diopsied (Di).

PLAAT VI

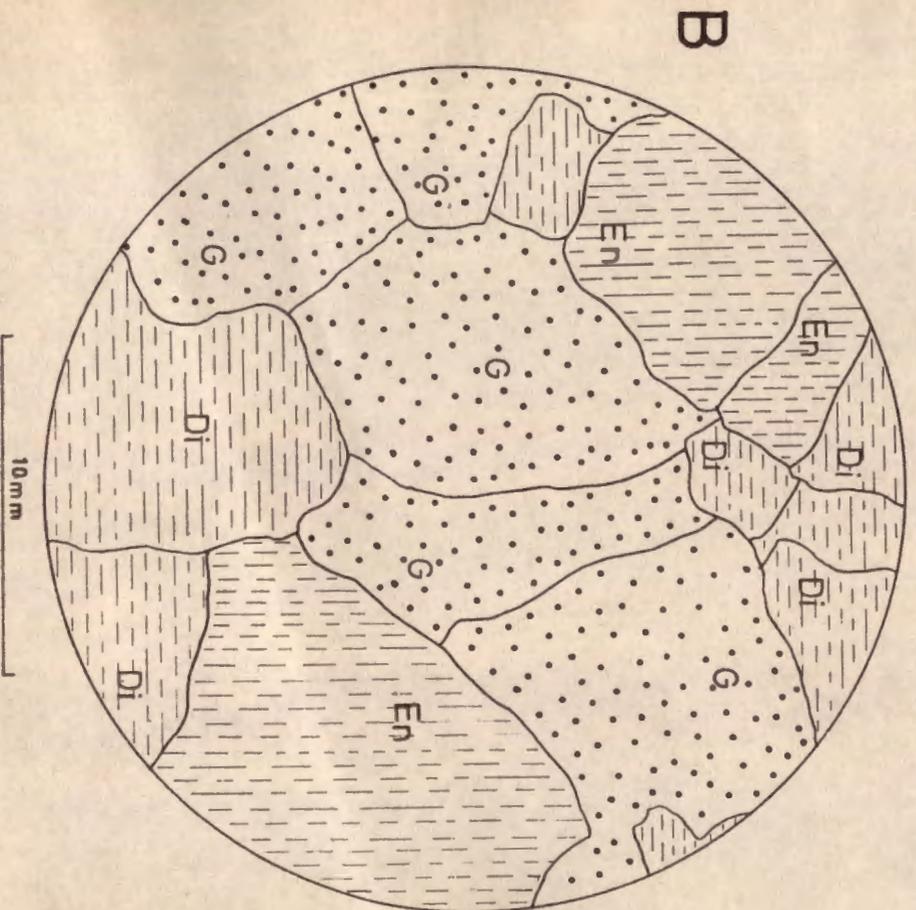
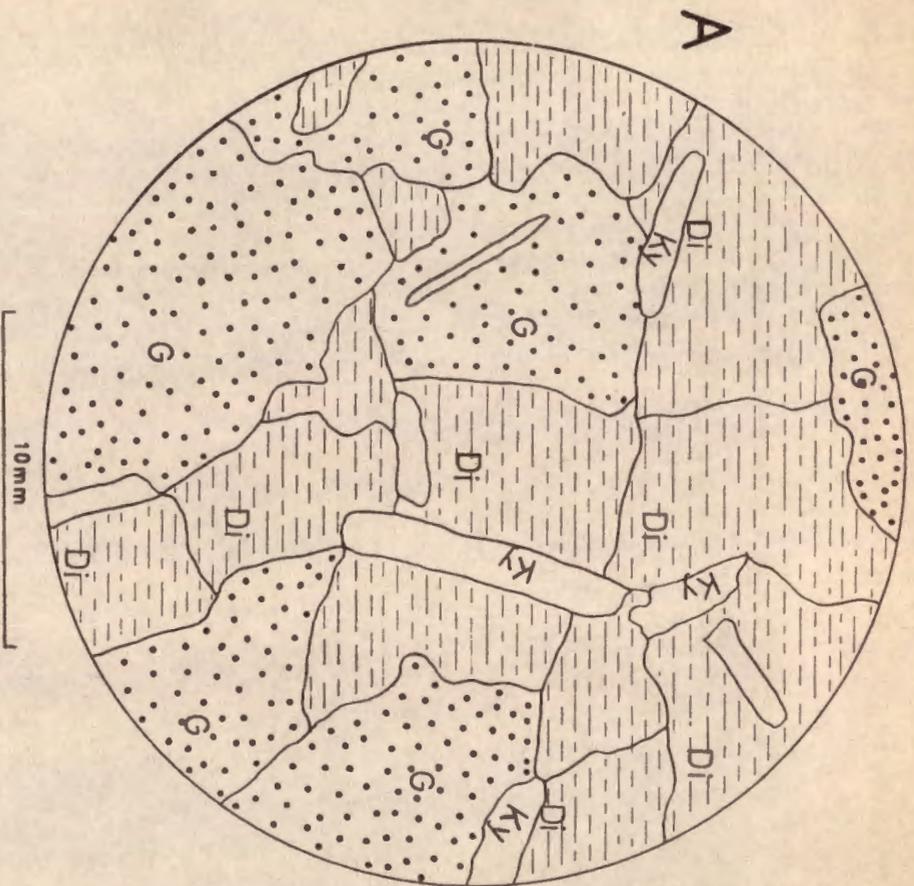


PLAAT VII

Figuur A. Mikrografie van kyaniet-griekwalet van Bellsbank met prismatische kyanietkristalle (Ky) tussen diopsied (Di) en granaat (G).

Figuur B. Mikrografie van <sup>olivien-</sup>enstatiet-griekwalet van Newlandsmyn met ewegroot kristalle van granaat (G), diopsied (Di) en enstatiet (En).

PLAAT VII



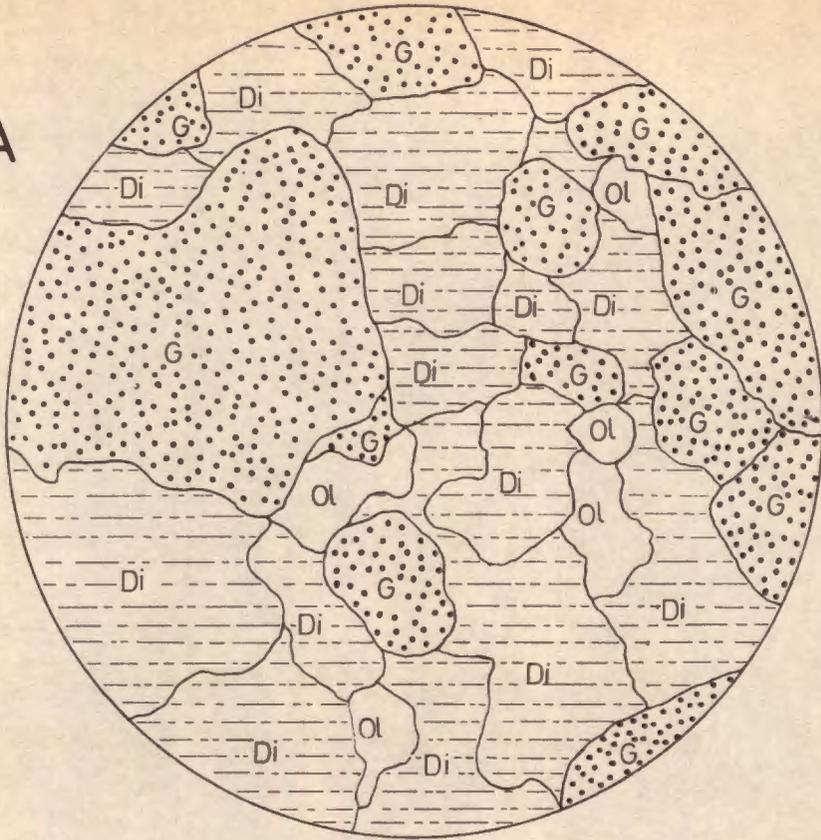
PLAAT VIII

Figuur A. Mikrografie van olivien-griekwaïet van Mitchemanskraal met olivien (Ol) tussen groter kristalle van granaat (G) en diopsied (Di)

Figuur B. Mikrografie van granaat-harzburgiet van Frank Smith-myn met granaat (G) tussen groter kristalle van olivien (Ol) en enstatie (En).

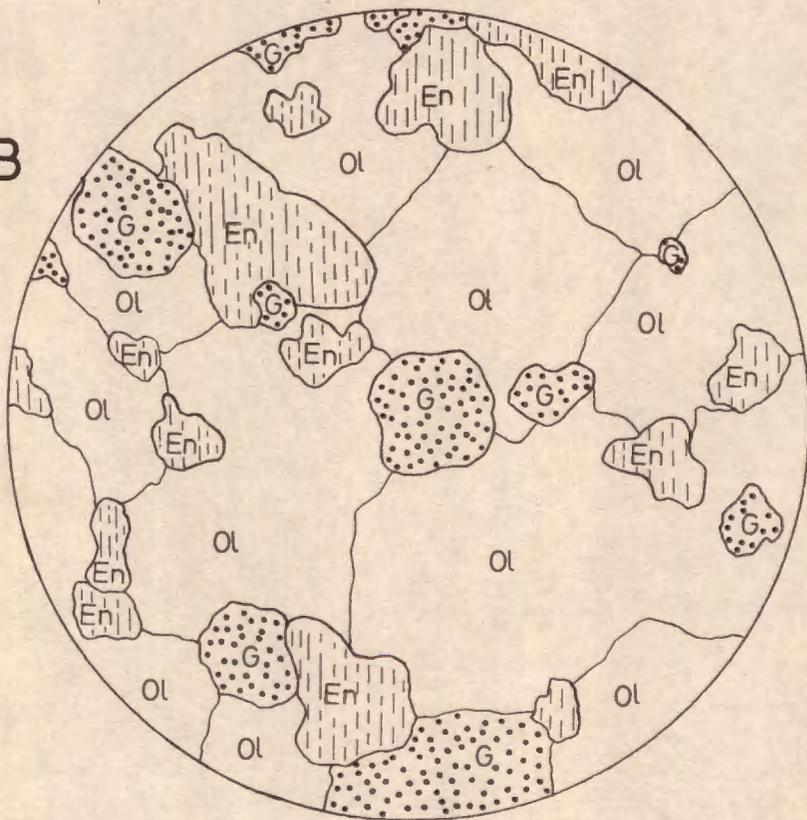
# PLAAT VIII

A



10 mm

B



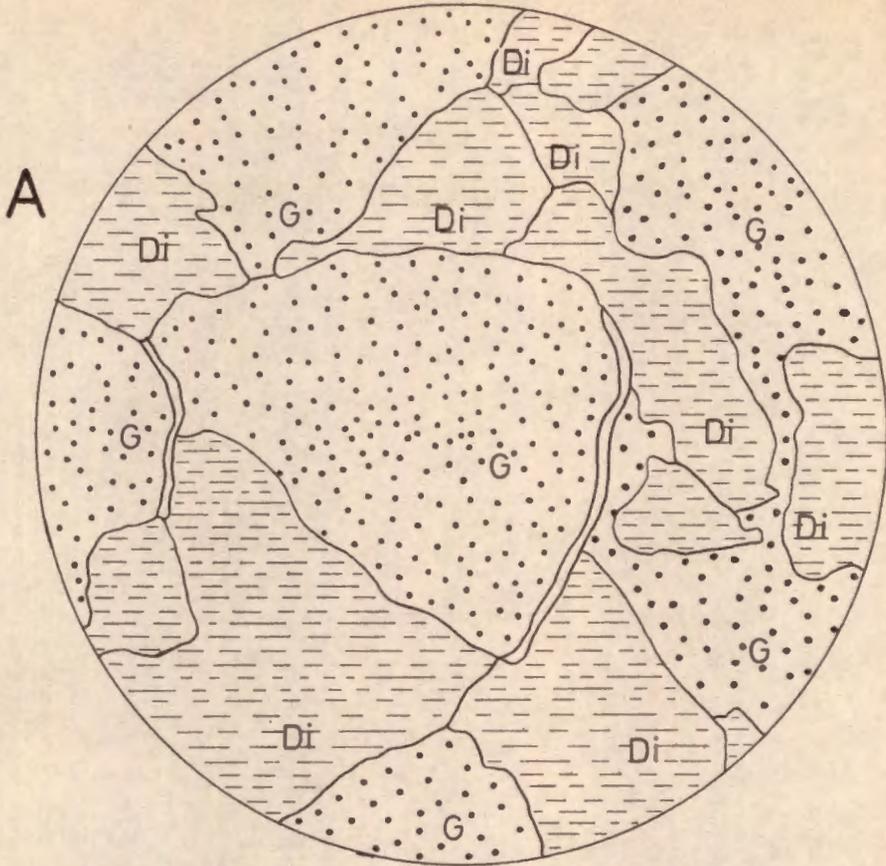
10 mm

PLAAT IX

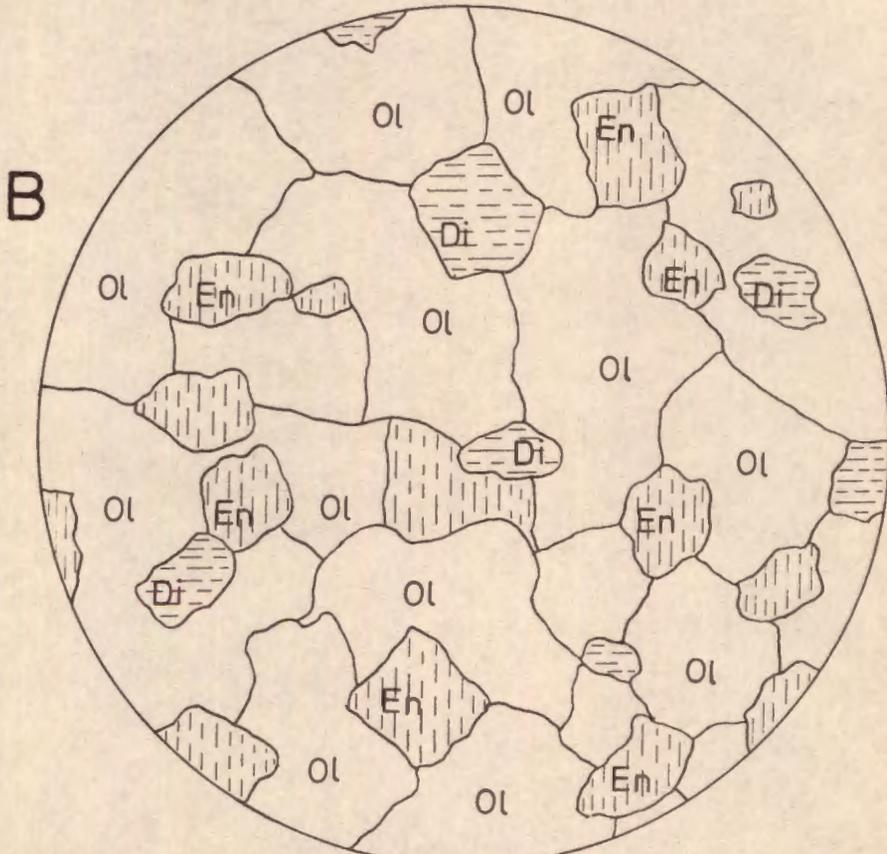
Figuur A. Mikrografie van griekwalet van Mitchemanskraal bestaande uit granaat (G) en diopsied (Di) met flogopiet (wit) om die granate.

Figuur B. Mikrografie van lherzoliet van Bellsbank met diopsied (Di) en Enstatiet (En) versprei tussen groter kristalle van olivien (Ol).

PLAAT IX



10mm



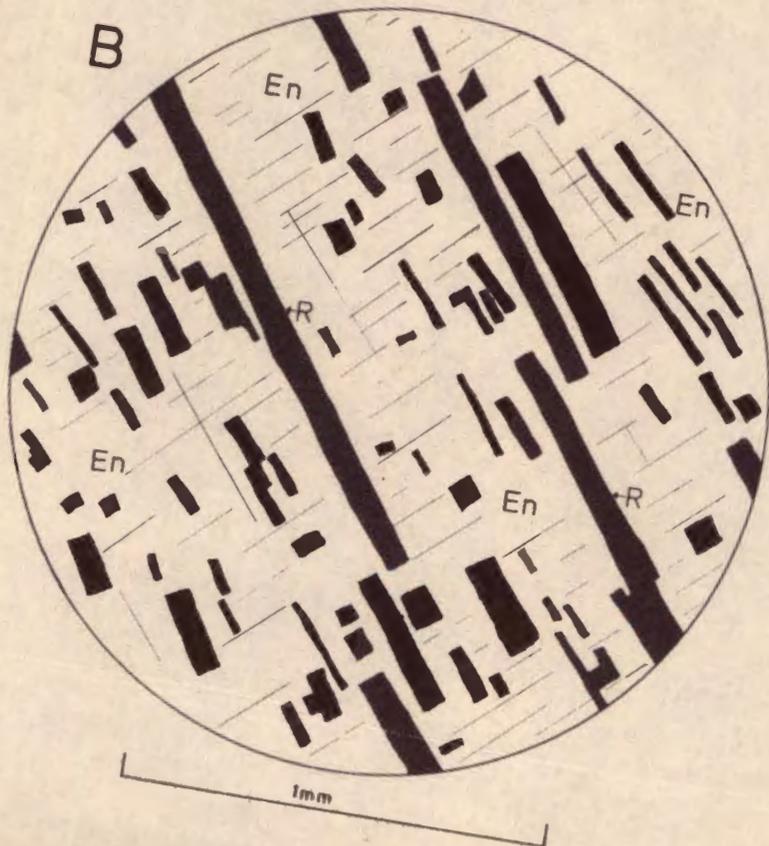
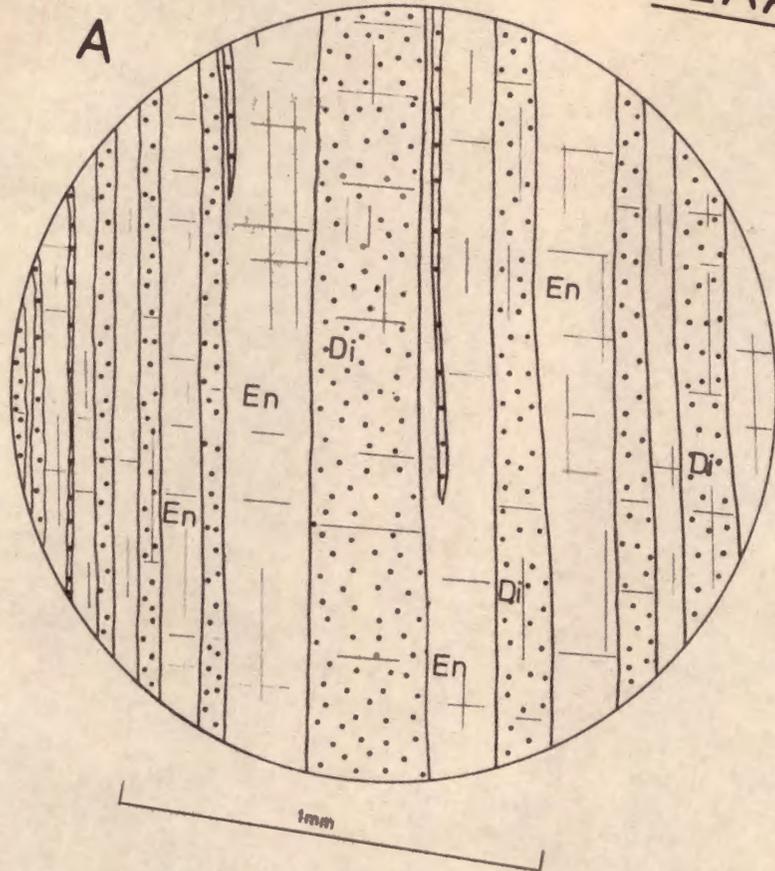
10mm

PLAAT X

Figuur A. Mikrografie van eksolusiestruktuur van enstatiet (En) en diopsid (Di) in pirokseniet van Bellsbank.

Figuur B. Mikrografie van eksolusiestruktuur ontwikkel deur ontmenging van rutiel (R swart) uit enstatiet (En) in harzburgiet van Frank Smith-myn.

PLAAT X

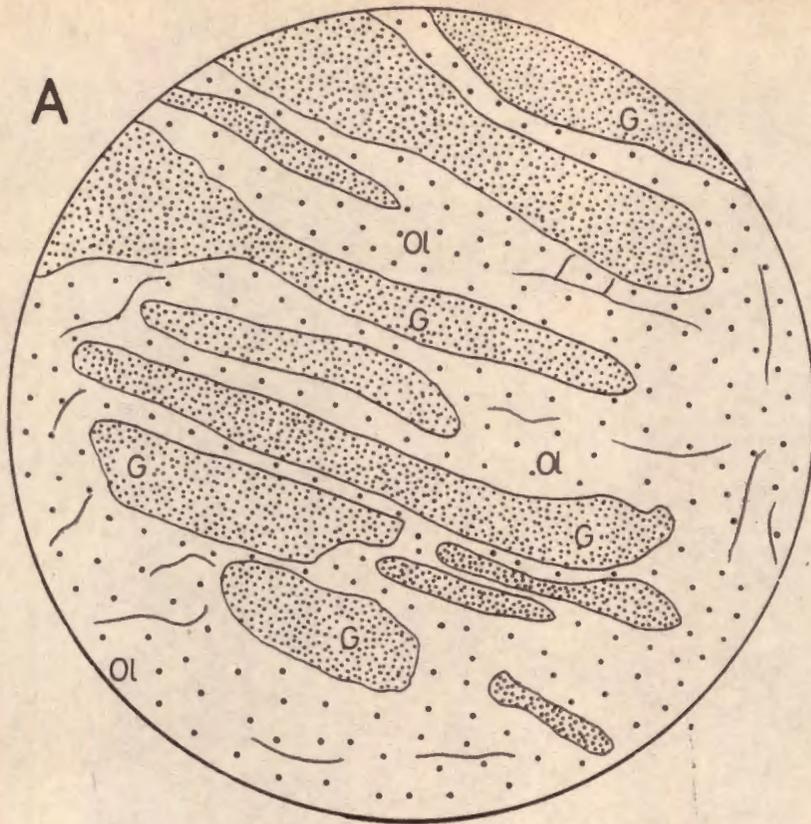


PLAAT XI

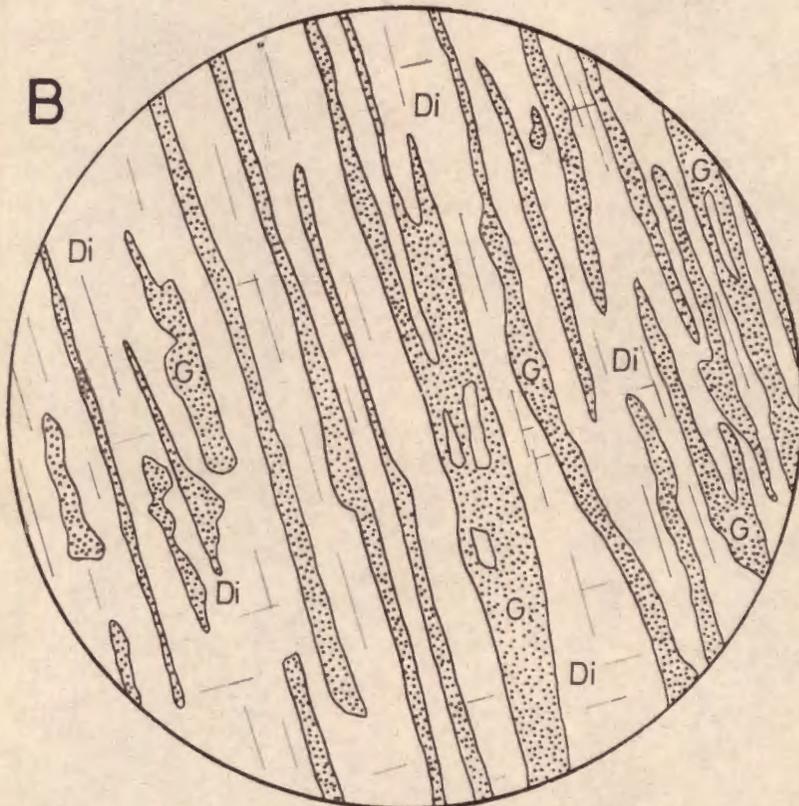
Figuur A. Mikrografie van eksolusiestruktuur ontwikkel deur ontmenging van granaat (G) uit olivien (O1) in granaat-harzburgiet van Frank Smith-myn.

Figuur B. Mikrografie van eksolusiestruktuur ontwikkel deur ontmenging van granaat (G) uit diopsied (Di) in kyaniet-griekwaïet van Bellsbank.

PLAAT XI



1mm



1mm

Figuur A. Die olivienveld in terme van die twee endlede fayaliet en forsteriet in molekulêre proporsies, bereken uit chemiese analises verkry uit beskikbare literatuur (Tabel 1). Duidelikheidshalwe is die punte wat andersins opmekaar sou v in 'n vertikale rigting gesprei. Die punt gemerk met 'n sirkel verteenwoordig 'n geanaliseerde olivien uit kimberliet van Bellsbank (Bosch, 1963, bl. 27).

Figuur B. Uitsetting in molekulêre proporsies in die driehoek piroop, almandien, grossulariet van:

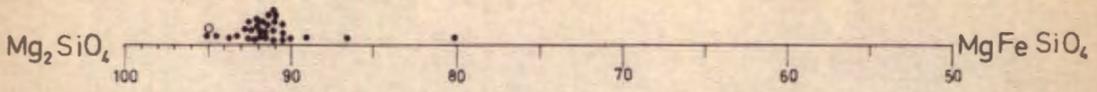
1. analises van granaat uit insluitsels in kimberliet en basiese en ultrabasiese gesteentes verkry uit die literatuur (Tabel aangedui deur kolle;
2. 2. granate van insluitsels in die kimberliet van Barkly-Wes waarvan die samestelling deur optiese metodes bepaal is, aangedui deur sirkels;
3. nuwe analise van granaat in die kimberliet van Newlands-aangedui deur FS 7.

Figuur C. Uitsetting in molekulêre proporsies in die driehoek wollastonienstatiet, ferrosilliet van:

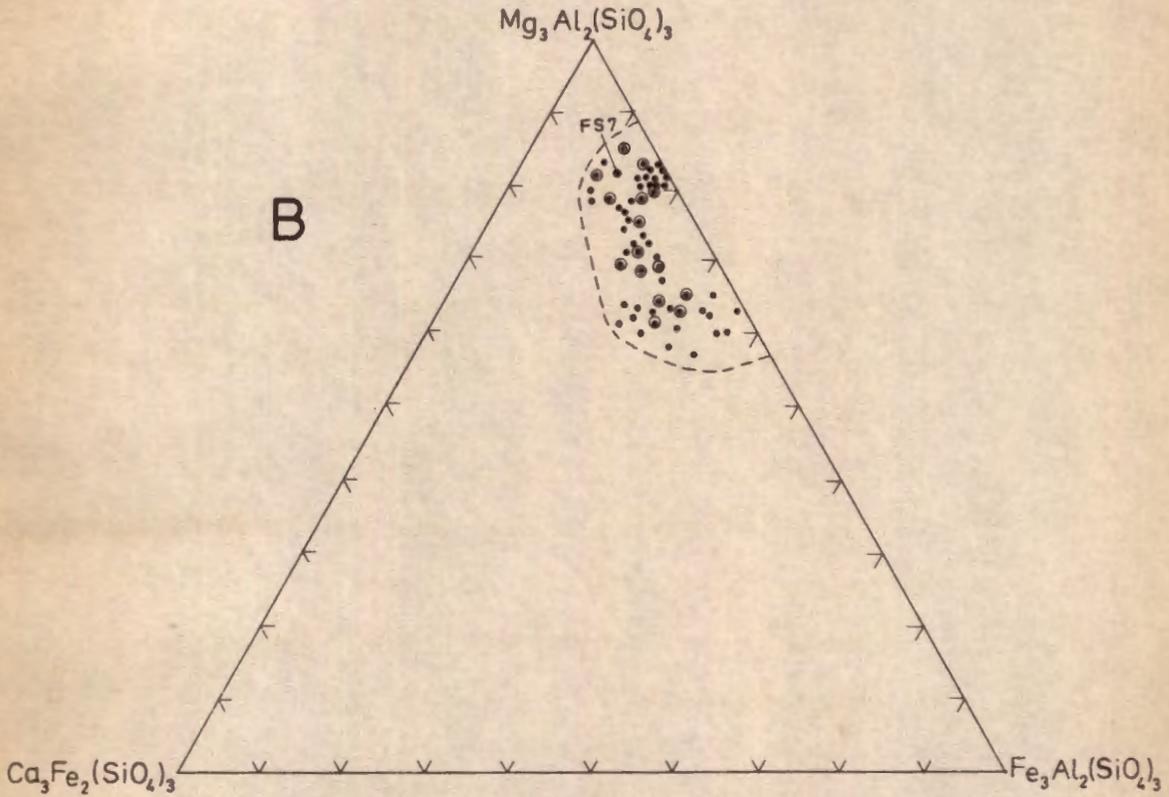
1. analises van pirokseen uit insluitsels in kimberliet verkry uit beskikbare literatuur (Tabel 1) aangedui deur kolle;
2. pirosene van insluitsels in die kimberliet van Barkly-We waarvan die samestelling deur optiese metodes bepaal is, aangedui deur sirkels;
3. nuwe analises van enstatiet en diopsied uit xenoliet in die kimberliet van Newlands-myn, aangedui deur FS 5 en

# PLAAT XII

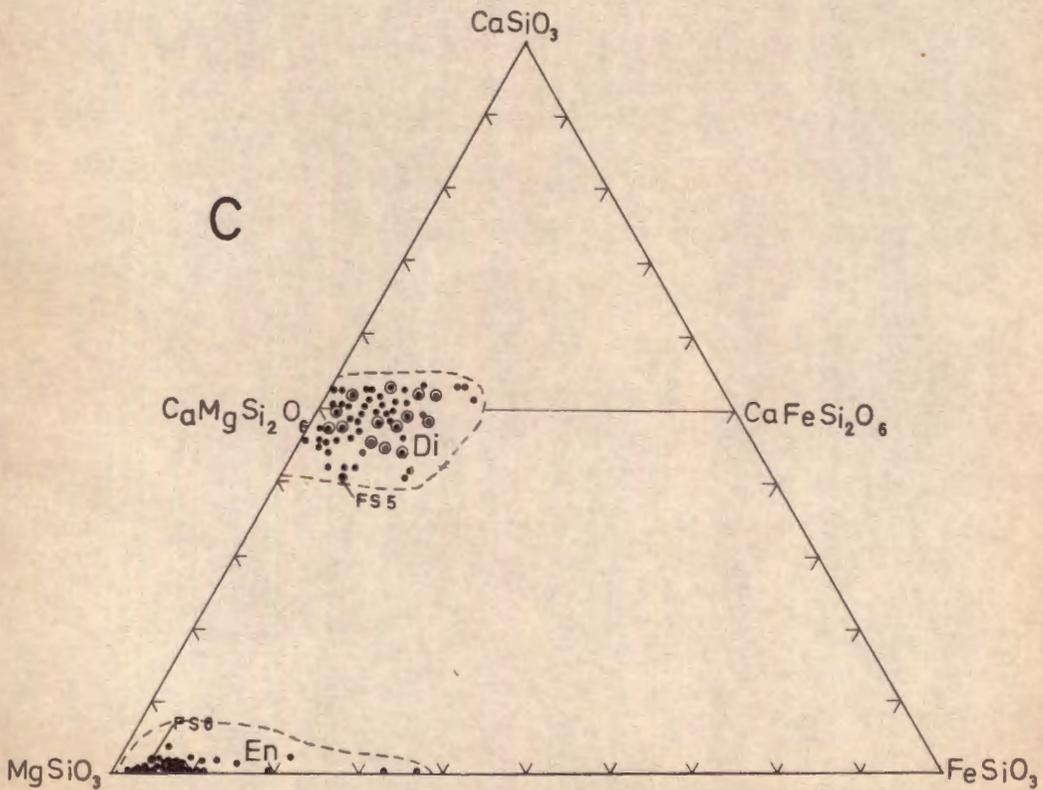
A



B



C



### PLAAT XIII

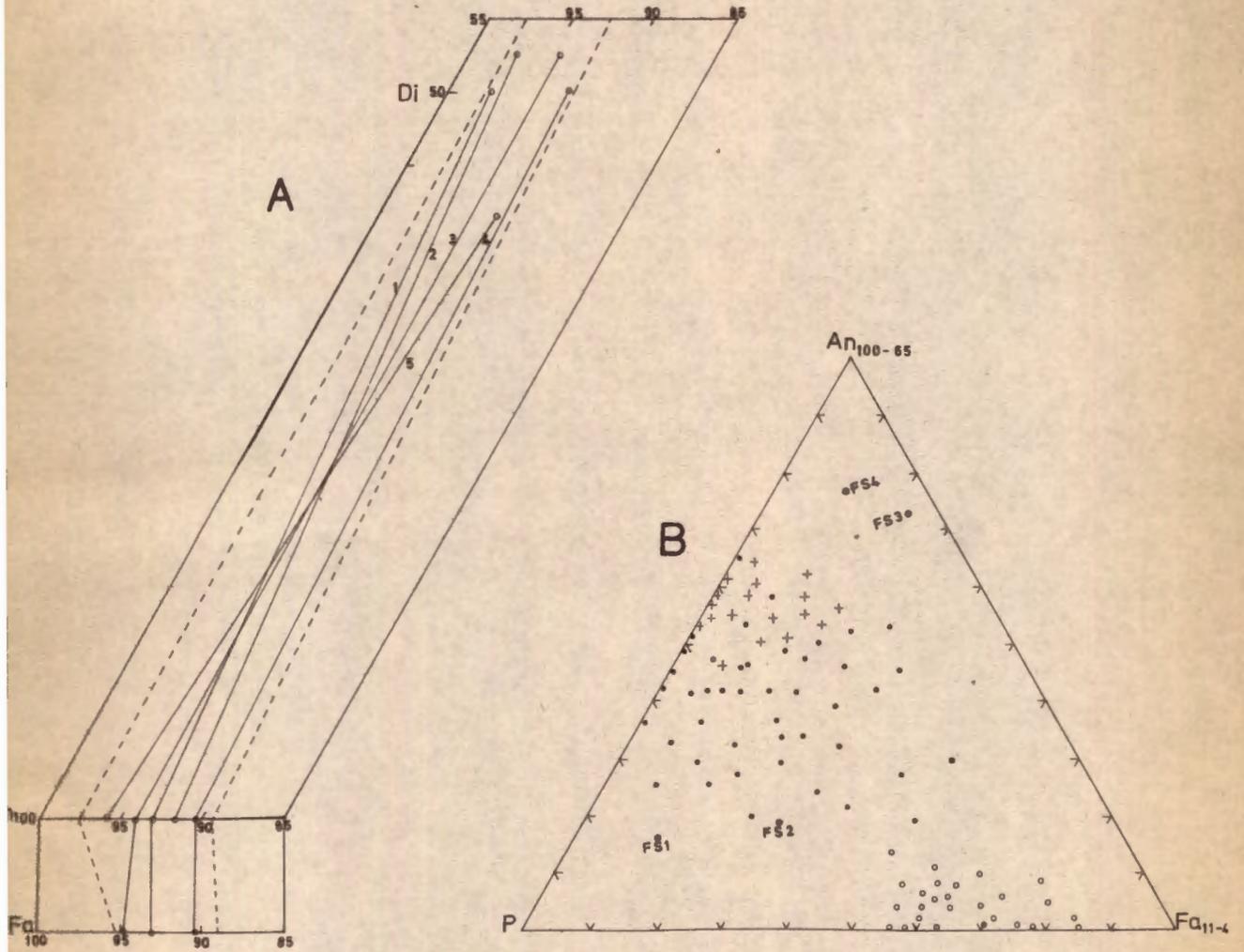
Figuur A. Variasie in die MgO:FeO. verhoudings <sup>in</sup> van diopsied, enstatiet en olivien in:

1. Griekwaïet;
2. Pirokseniet;
3. Peridotiet xenoliete in Kimberliet;
4. Peridotiet in alkali basalte volgens Ross, Forster, en Myers, (1954, bl. 715).

Figuur B. Die normatiewe hoeveelhede van plagioklaas, olivien, en pirokseen in:

1. Griekwaïet aangedui met kolletjies
2. Peridotiet aangedui met sirkels
3. Basalte (tabel 1), aangedui met kruisies
4. Griekwaïet (tabel 2) aangedui met nommer van analise.

PLAAT XIII



PLAAT XIV

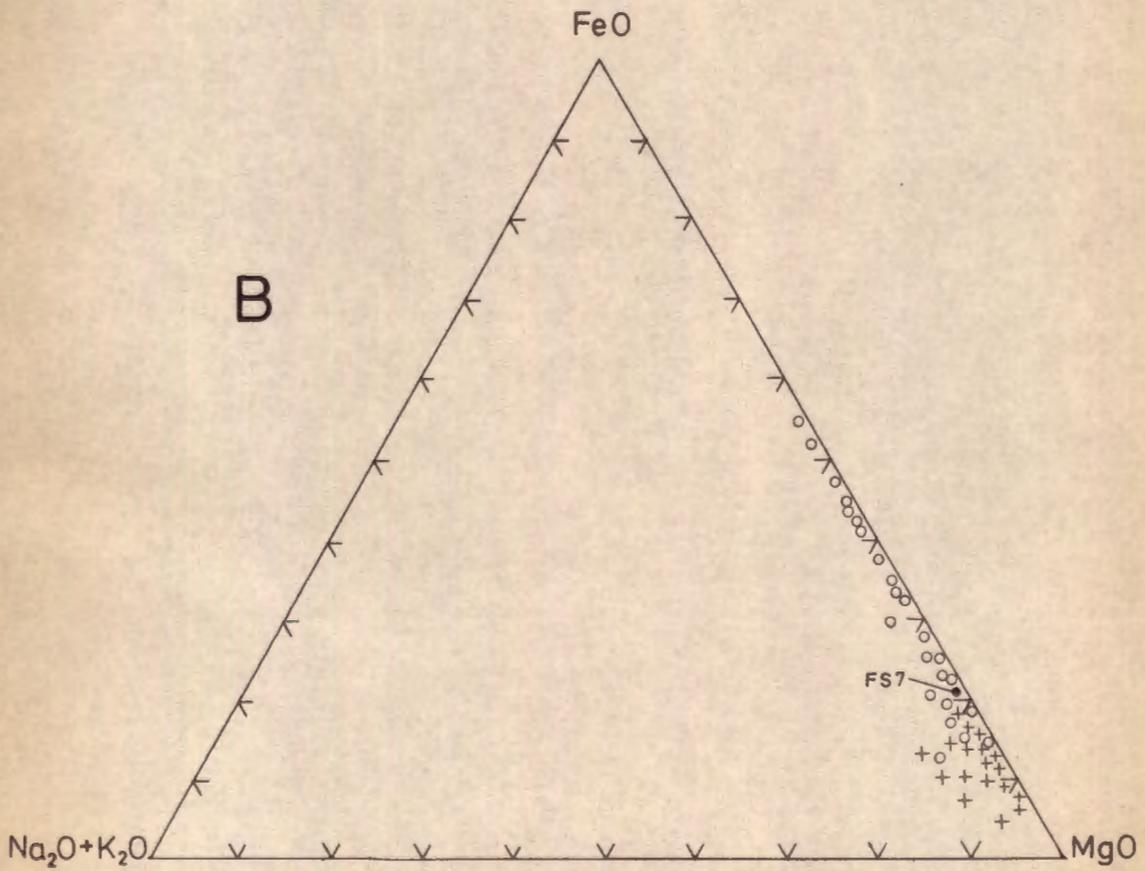
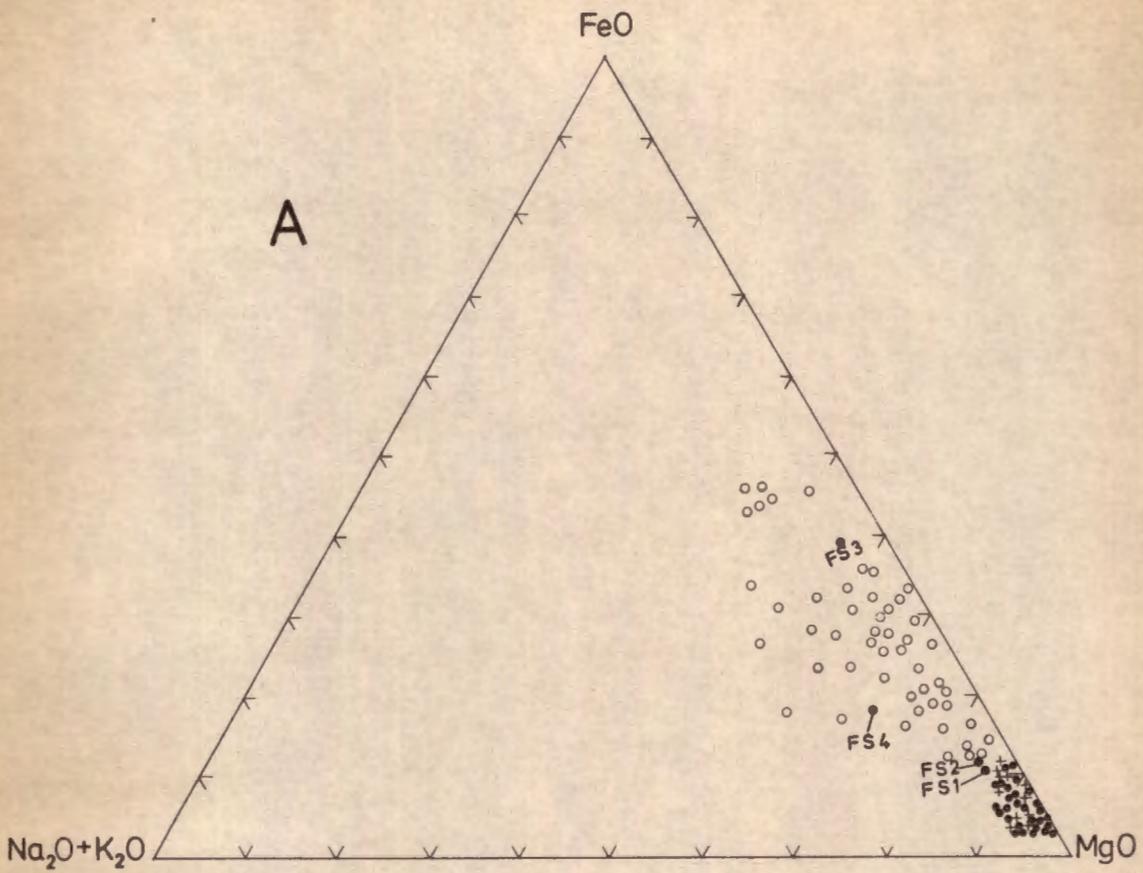
Figuur A. Uitsetting van die gewigsverhoudings van FeO, MgO en  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  in insluitels in kimberliet:

1. analises verkry uit beskikbare literatuur (Tabel 1).
  - a. griekwaïet, aangedui deur sirkels;
  - b. peridotiet, aangedui deur kruisies;
2. nuwe analises, aangedui deur Fs 1, FS 2, FS 3, FS 4, (Tabel 2).

Figuur B. Uitsetting van die gewigsverhouding van FeO, MgO en  $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  van minerale in insluitels in kimberliet berekeer uit beskikbare gepubliseerde analises (Tabel 1):

1. granate in griekwaïet, aangedui deur sirkels;
2. granate in peridotiet, aangedui deur kruisies;
3. nuwe analise, aangedui deur FS 7.

PLAAT XIV



PLAAT XV

Tentatiewe voorstelling van moontlike sonering in die kontinentale kors en bo-mantel in verhouding tot:

1. die geotermale gradient (Barth, 1962, bl. 173; 1965, bl. 1004)
2. sillimaniet-kyaniet-inversie-kurwe (Barth, 1962, bl. 173)
3. kwarts-coesiet-inversie-kurwe (Barth, 1962, bl. 173).
4. grafiet-diamant-inversie-kurwe (Barth, 1962, bl. 173)

Die M-onderbreking is gestel op 36km (Hales en Sacks, 1958, bl. 28).

# PLAAT XV

