

DESENSITERING VAN HOË-ENERGIE MATERIALE:
HMX-GEBASEERDE PBX-FORMULERINGS
VIR TOEPASSING
IN MISSIELPLOFKOPPE

DEUR



TESIS INGELEWER TER GEDEELTELIKE
VOLDOENING AAN DIE VEREISTES VIR DIE
GRAAD VAN MAGISTER IN DIE NATUURWETENSKAPPE
(CHEMIE) AAN DIE UNIVERSITEIT VAN STELLENBOSCH

PROMOTORS:

PROF W J ENGELBRECHT

STELLENBOSCH

DR S W J VAN DER MERWE

FEBRUARIE 1990

VERKLARING

Ek, die ondergetekende, verklaar hiermee dat die werk in hierdie tesis vervat, my eie oorspronklike werk is wat nog nie vantevore in die geheel of gedeeltelik by enige ander Universiteit ter verkryging van 'n graad voorgelê is nie.

12-02-1990

DATUM

OPSOMMING

'n Reeks van veertien persbare, polimeergebinde brisantstowwe (PBX) is vir toepassing in 'n missielplofkop geëvalueer. HMX (siklotetrametileentetranitramien) is as die aangewese brisantstofkomponent van die PBX geïdentifiseer, terwyl 'n verskeidenheid van polimere in verhoudings tussen 3% en 10% (m/m) daarmee gebind en verder ondersoek is. Twee fluoropolimere, 'n poli-uretaan, polistireen en twee blokpolimere is as sodanige binders ondersoek.

Kritieke toepassingsvereistes waaraan die PBX-formulerings moet voldoen, is geïdentifiseer en die formulerings is aan die hand van hul prestasies ten opsigte van hierdie kriteria, beoordeel. Hierdie beoordelingskriteria sluit fisiese, chemiese, termiese, stabiliteits- en werkverrigtingseienskappe, asook relevante aspekte van die vervaardigings- en persprosesse in. Eenduidige afleidings rakende die respons van die PBX ten opsigte van die geselekteerde stimuli word gemaak, waaruit HXCX 9501 (95% bimodale HMX plus 5% Stireen-butadieen-stireen-binder) as die aangewese formulering geïdentifiseer is.

Die relevante eienskappe van HXCX 9501 word in die volgende tabel weergegee :

SAMESTELLING: 95%(m/m) siklotetrametileentetranitramien (HMX)
5%(m/m) stireen-butadieen-stireen blokpoliemeer
(Cariflex TR 1102)

TMD	: 1,805 g/cm ³
PERSDIGTHEID	: 1,780 g/cm ³ (98,2 %-TMD)
MASSADIGTHEID	: 0,760 g/cm ³ (42,3 %-TMD)
ATOMIESE KOMPOSISIE:	C(1,66)H(2,95)N(2,56)O(2,56)
T _m	: 220 °C
T _g	: -38 °C, 100 °C
GROEI	: <1%
ΔH _r	: +5,750 kcal/mol
VTS	: 0,8 cm ³ gas, 24h @ 150 °C
TUK	: 86,0 μm/m.K
AFKOOKTEMPERATUUR	: >200 °C
DRUKSTERKTE	: 16 MPa(-20 °C) 14 MPa(20 °C) 6 MPa(80 °C)
- VERVORMING	: 4% (-20 °C) 2,5% (20 °C) 2,6% (80 °C)
TREKSTERKTE	: 1,7 MPa (20 °C)
- VERVORMING	: 0,7% (20 °C)
BUIGBAARHEID- STERKTE	: 0,3 MPa (20 °C)
- VERVORMING	: 0,8% (20 °C)
SKOKSENSITIWITEIT	: <HMX
D (98,2 %-TMD)	: 8570 m/s (eksp) 8658 m/s (ber)
E _{cv1} (98% TMD)	: 1,492 MJ/kg (ber)
P _{csj} (TMD)	: 325 kbar (ber)
√2E (TMD)	: 2801 m/s (ber)
Koeëlimpak	: 0/5 reaksie (98% TMD)
Glytoets	: 0/5 reaksie (98% TMD)

ABSTRACT

A range of fourteen pressable, polymer-bonded explosives (PBX's) were evaluated for application in a missile warhead. HMX (cyclotetramethylenetetranitramine) was identified as the most suitable high explosive component for the PBX, while different polymers in concentrations of between 3% and 10% (m/m) were used as binders throughout the investigation. Two types of fluoropolymers, a polyurethane, polystyrene and two block-polymers were investigated as binders.

Critical requirements for the above-mentioned application were identified, and the PBX formulations were tested against these criteria. These include physical, chemical, thermal, stability and performance characteristics, as well as relevant aspects relating to the processing of the PBX (manufacture and pressing). The response of the PBX with regard to the selected test stimuli were obtained, and consequently HXCX 9501 (95% bimodal HMX plus 5% styrene-butadiene-styrene binder) was identified as the most suitable candidate for the application.

The relevant properties of HXCX 9501 are given in the following table :

COMPOSITION: 95%(m/m) Cyclotetramethylenetetranitramine (HMX)
5%(m/m) styrene-butadiene-styrene blockpolymer
(Cariflex TR 1102)

TMD	: 1,805 g/cm ³
PRESSED DENSITY	: 1,780 g/cm ³ (98,2 %-TMD)
BULK DENSITY	: 0,760 g/cm ³ (42,3 %-TMD)
ATOMIC COMPOSITION	: C(1,66)H(2,95)N(2,56)O(2,56)
T _m	: 220 °C
T _g	: -38 °C, 100 °C
GROWTH	: <1%
ΔH _r	: +5,750 kcal/mol
VTS	: 0,8 cm ³ gas, 24h @ 150 °C
CTE	: 86,0 μm/m.K
COOK OFF TEMPERATURE:	>200 °C
COMPRESSIVE STRENGTH:	16 MPa(-20 °C) 14 MPa(20 °C) 6 MPa(80 °C)
- DEFORMATION	: 4% (-20 °C) 2,5% (20 °C) 2,6% (80 °C)
TENSILE STRENGTH	: 1,7 MPa (20 °C)
- DEFORMATION	: 0,7% (20 °C)
FLEXIBILITY STRENGTH:	0,3 MPa (20 °C)
- DEFORMATION	: 0,8% (20 °C)
SHOCK SENSITIVITY	: <HMX
D (98,2 %TMD)	: 8570 m/s (eksp) 8658 m/s (ber)
E _{c_v1} (98% TMD)	: 1,492 MJ/kg (ber)
P _{c_v} (TMD)	: 325 kbar (ber)
√2E (TMD)	: 2801 m/s (ber)
BULLET IMPACT	: 0/5 reaction (98% TMD)
SKID TEST	: 0/5 reaction (98% TMD)

DANKBETUIGINGS

Hiermee wens ek my opregte dank en hoë waardering te betuig aan :

- Prof W J Engelbrecht en Dr S W J van der Merwe vir hulle volgehoue bereidwilligheid tot hulp en ondersteunende aanmoediging gedurende hierdie ondersoek;
- Aan die Bestuur van Somchem (Edms) Beperk, wat die geleentheid tot hierdie studie asook die finansiële hulp verskaf het;
- My kollegas, maar in besonder Mnre P W Barnard, J L Venter en J D Pereira, wat waardevolle bydraes tot bepaalde ondersoeke gemaak het.
- Mev G Bergmann, vir die vriendelikheid en bekwaamheid waarmee die woordverwerking afgehandel is; en
- Isolde, vir al die geduld en simpatie die afgelope drie jaar.

LYS VAN AFKORTINGS

Ø	:	Deursnee van silinder (in mm)
CX	:	Cariflex-rubber
D	:	Detonatiesnelheid (in m/s)
DOP	:	Dioktielftalaat-plastiseerder
EE	:	Estane-polimeer
F	:	Krag (in N)
GPD	:	Geperste PBX-digtheid (in g/cm ³)
GSST	:	Grootskaal-gapingstoets
HMX	:	Siklotetrametileentetranitramien
KE	:	Kel F-polimeer
KG	:	Kraton G-polimeer
KSST	:	Koeëlslagsensitwiteitstoets
P	:	Druk (in Pa)
PBX	:	Polimeergebinde brisantstof
PS	:	Polistireen-polimeer
T _g	:	Polimeer-glaspunt (in °C)
T _m	:	Polimeer-smeltpunt (in °C)
TMD	:	Teoretiese Maksimum Digtheid (in g/cm ³)
TUK	:	Termiese Uitsettingskoeffisiënt (in µm/m.K)
VB	:	Viton B-polimeer
VTS	:	Vakuum-termiese Stabiliteit (cm ³ gas per 5 g)

OMWERKINGSEFAKTOREDRUK

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10 \text{ bar} = 145 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = 6,895 \times 10^3 \text{ Pa} = 6,895 \times 10^{-2} \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 14,50 \text{ psi}$$

SNELHEID

$$1 \text{ km/s} = 10^3 \text{ m/s} = 3,28 \text{ ft/s}$$

$$1 \text{ ft/s} = 3,05 \times 10^{-4} \text{ km/s} = 0,305 \text{ m/s}$$

RELEVANTE VERGELYKINGS

$$P = F/A$$

$$F = mg$$

$$A = (\phi/2)^2 \cdot \pi$$

$$V = A \cdot h$$

$$\text{TMD} = m/v = \sum m_i / \sum v_i$$

$$\% \text{-TMD} = (\text{GPD}/\text{TMD}) \times 100\%$$

LYS VAN-TABELLEBLADSY

1.1	Brisantstowwe wat algemeen aangewend word	2
1.2	Enkele eienskappe van geselekteerde brisantstowwe ..	5
1.3	Voorbeelde en eienskappe van geflegmatiseerde HMX- formulerings	13
2.1	Oplosbaarheid van HMX in organiese oplosmiddels	29
2.2	Eenheidsel-beskrywing van HMX-polimorfe	36
2.3	Digthede van HMX-polimorfe	37
2.4	Smelttemperatuur van HMX-polimorfe	38
2.5	Vakuumtermiese stabiliteit van β -HMX	39
2.6	Fase-oorgangsgedrag van HMX	41
2.7	Detonasiesnelheid van HMX	45
2.8	Impaksensitiwiteitswaardes van suiwer HMX	50
2.9	'n Vergelyk tussen die impaksensitiwiteitswaardes van HMX-polimorfe	51
2.10	Gapingstoetsresultate van HMX	53
2.11	MIL-vereistes vir HMX-granulasie	59
3.1	HMX-kristalgrootteverspreidings volgens spesifi- kasie	65
3.2	Eksperimentele HMX-kristalgrootteverspreidings	67
3.3	Bimodale HMX-kristalkombinasies vir pakkings- ondersoek	79
3.4	Suiwer HMX-klasse se pakkingsdigthede	80
3.5	Pakkingsdigthede van HMX Klas 3-gebaseerde bimodale mengsels	81
3.6	Pakkingsdigthede van HMX Klas 1-gebaseerde bimodale mengsels	82

LYS VAN TABELLE (vervolg)BLADSY

3.7	Pakkingsdigthede van HMX Klas 6-gebaseerde bimodale mengsels	82
3.8	HMX Klasse 4 en 8 - pakkingsdigthede	83
3.9	Vervaardigingskondisies vir HMX/Fluorel-PBX	92
3.10	HMX-pakkingsdigthede vs PBX-persdigthede	101
4.1	Polimeer/HMX-verenigbaarhede	108
4.2	Chemiese benamings en strukture van polimere	111
4.3	Polimeer-oplosmiddels	113
4.4	Oplosmiddel-data	113
4.5	Faktore wat polimeer-oplosbaarhede beïnvloed	115
4.6	Oplossingsviskositeite van polimere	116
4.7	Chemiese karakteristieke van polimere	117
4.8	Termiese eienskappe van polimere	119
4.9	Plastiseerbaarheid van polimere	121
4.10	Polimeerdigthede	122
5.1	Vervaardigingskondisies vir PBX-formulerings	160
5.2	Tipiese logstaat vir PBX-vervaardiging	161
6.1	MIL SPEC-formulerings	166
6.2	MIL SPEC-vereistes	167
6.3	MIL SPEC-samestellingsgrense	168
6.4	MIL SPEC-vlugtige stowwe	168
6.5	MIL SPEC-granulasie	169
6.6	MIL SPEC-massadigthede	169
6.7	PBX-samestellingsanalises	173
6.8	PBX-vlugtige stowwe-inhoud	174
6.9	PBX-granulasie	175

	<u>LYS VAN TABELLE</u> (vervolg)	<u>BLADSY</u>
6.10	PBX-massadigthede	182
6.11	PBX-TMD's	184
6.12	PBX-massadigthede as %-TMD	185
6.13	SEM-interpretasie van PBX-formulerings	187
6.14	Ongebinde HMX-fraksies per PBX	199
6.15	PBX-valhamersensitiwiteit	206
6.16	Termiese eienskappe van PBX-formulerings	209
6.17	VTS van PBX-formulerings	218
6.18	TGA-resultate van PBX-formulerings	220
7.1	Terminologie vir brisantstofpersing	241
7.2	Massa- en volume HMX-fraksies vir PBX-formulerings .	268
7.3	Perskondisies vir verskillende polimere	273
8.1	P vs ϕ -verwantskappe vir verskillende F	277
8.2	ϕ 13 mm persresultate	288
8.3	ϕ 25 mm persresultate	291
8.4	ϕ 38 mm persresultate	295
8.5	ϕ 90 mm persresultate	297
8.6	Opsommende persresultate	309
9.1	Volumes vir 100 kg PBX-lotte	324
10.1	Klassifikasie van toetstegnieke	346
10.2	Keuse van karakteriseringstoetse	348
10.3	Verlangde toetsresultate van toepassing op PBX vir missielplofkoppe	350
11.1	PBX-toestandsbeskrywing en digtheid	356
11.2	PBX-smelt- en versagtingspunte	359

<u>LYS VAN TABELLE</u> (vervolg)		<u>BLADSY</u>
11.3	Atomiese samestellings van PBX-formulerings	360
12.1	PBX-samestellingsdata	362
12.2	PBX-vormingswarmtes	363
13.1	VTS van PBX-formulerings	365
13.2	TUK-resultate van PBX	373
13.3	Groeiresultate van PBX	375
13.4	Volume- en massaverandering van PBX as gevolg van groeitoets	376
13.5	'n Evaluering van PBX vs TUK- en groei-eienskappe ..	381
13.6	Tyd- tot ontploffing : Literatuurresultate	383
14.1	Druksterkte-eienskappe van PBX-formulerings	388
14.2	Enkele literatuurresultate ten opsigte van druk- sterktes van PBX	391
14.3	Treksterkte-eienskappe van PBX-formulerings	393
14.4	Literatuurresultate ten opsigte van trekeienskappe van PBX	395
14.5	Buigbaarheidseienskappe van PBX-formulerings	398
14.6	'n Vergelyk tussen meganiese eienskappe van PBX- formulerings	403
15.1	Eksperimentele en berekende D-waardes van PBX- formulerings	410
15.2	Karakteristieke D's vir voorspelling van PBX-D's ...	411
15.3	Berekende D-waardes en -vergelykings vir PBX- formulerings	412
15.4	Vereiste %-TMD's vir bepaalde D's	413

<u>LYS VAN TABELLE (vervolg)</u>		<u>BLADSY</u>
15.5	Rangorde vir PBX-D's	415
15.6	Berekende silindertoets-energieë van PBX-formulerings	419
15.7	Vergelykings ter berekening van $E_{c\gamma 1}$ van PBX- formulerings	421
15.8	'n Vergelyk tussen D en $E_{c\gamma 1}$ van PBX-formulerings ..	422
15.9	Rangorde vir $E_{c\gamma 1}$ van PBX-formulerings	424
15.10	Vormingswarmtes van PBX-formulerings	426
15.11	Berekende waardes vir N, M, Q en Φ	429
15.12	Berekende waardes vir $P_{c\gamma}$ en $\sqrt{2}E$	431
15.13	Rangorde vir $P_{c\gamma}$ en $\sqrt{2}E$ vir PBX-formulerings	432
15.14	Inisieerbaarheidsdata vir PBX-formulerings.....	434
15.15	Diverse inisiëringseienskappe van HMX-gebaseerde brisantstowwe	435
16.1	KSST-resultate van PBX-formulerings	446
16.2	Vergelyk tussen KSST-resultate en meganiese eienskappe	447
16.3	Rangorde vir PBX-formulerings ten opsigte van KSST .	449
16.4	Glytoetsresultate van PBX-formulerings	455
16.5	PBX-glytoetsresultate : Opsomming	457
16.6	Skoksensitiwiteit van PBX-formulerings	459
16.7	Rangorde vir skoksensitiwiteit	460
16.8	Elektrostatiese sensitiwiteit van HMX-gebaseerde brisantstowwe	461
17.1	Volumeveranderinge tydens omgewingstoetse	467
17.2	PBX-omgewingsrespons	469
18.1	Relatiewe sensitiwiteitsvergelyk tussen PBX-	

	<u>LYS VAN TABELLE (vervolg)</u>	<u>BLADSY</u>
	formulerings	476
18.2	Relatiewe werkverrigtingsvergelyk tussen PBX- formulerings	482
18.3	Relatiewe stabiliteitsvergelyk tussen PBX- formulerings	486
18.4	Relatiewe ekonomie-vergelyk tussen PBX-formulerings	491
18.5	Relatiewe totale vergelyk tussen PBX-formulerings ..	492
18.6	Databladsy vir HXCX 9501	498

	<u>LYS VAN FIGURE</u>	<u>BLADSY</u>
2.1	Konformasies van α -, β - en γ -HMX	37
3.1	DSC-spektrum van HMX	62
3.2	SEM-foto's van HMX-klasse	68
3.3	Stampvolumemeter vir pakkingsdigtheid-onderzoek	78
3.4	HMX-pakkingsdigthede	84
3.5	Vervaardigingsapparaat vir 100 g PBX-lotte	93
3.6	Perstoerusting vir PBX	95
3.7	Pers wat vir ondersoek gebruik is	97
3.8	HMX-pakking vs PBX-persdigthede	100
4.1	S15-VTS-apparaat	109
5.1	Vloeidiagram van die PBX-vervaardigingsproses	143
5.2	Prosestoerusting vir PBX-vervaardiging	155
6.1	PBX-granulasie	176
6.2	PBX-granulasie vs literatuur	181
6.3	SEM-foto's van PBX-formulerings	188
6.4	PBX-granulasie vs HMX Klas 3	200
6.5	Valhamer-toetsapparaat en monsterhouer	205
6.6	DSK-spektra van PBX	210
6.7	TGA-spektra van PBX	221
7.1	Tipiese P vs ϕ -kurwe vir brisantstowwe	230
7.2	Dekselvorming	234
7.3	Persgedrag van granulate	236
7.4	Skematiese voorstelling van persproses	237
7.5	Isostatiese pers	245

	<u>LYS VAN FIGURE</u> (vervolg)	<u>BLADSY</u>
7.6	Dubbelaksie hidrouliese pers	248
7.7	Wedersydse invloede van kristaleienskappe	254
7.8	Monomodale, bimodale en multimodale kristaleien- skappe en die invloed daarvan op die pakkings- digtheid van sodanige sferre	256
7.9	Persgedrag van 'goeie' en 'slegte' perskorrels	261
7.10	Massa- en volume fraksies van PBX	267
8.1	P vs ϕ vir verskillende F	276
8.2	F vs P vir verskillende ϕ	278
8.3	Werking van stutblokke	282
8.4	Skematiese voorstelling van PBX-persproses	284
8.5	ϕ 13 mm persresultate	289
8.6	ϕ 25 mm persresultate	292
8.7	ϕ 38 mm persresultate	294
8.8	ϕ 90 mm persresultate	298
8.9	Vergelykender persresultate	310
9.1	PBX-aanleguitleg	325
9.2	P vs F-kurwe vir ϕ 160 mm	329
9.3	Vloediagram vir persfasiliteit	334
11.1	PBX massa- en persdigthede	357
13.1	Toetsopstelling vir TUK	370
13.2	Temperatuursiklus vir TUK	371
13.3	TUK van PBX-formulerings	374
13.4	TUK vs HMX-inhoud van HXVB	378
13.5	Groeitoetsresultate van PBX'e	379

<u>LYS VAN FIGURE (vervolg)</u>		<u>BLADSY</u>
14.1	Tipiese σ vs E-kurwe	387
14.2	PBX-drukspannings vs T	389
14.3	Treksterkte-monstervorm	392
14.4	Treksterktes van PBX	394
14.5	Buigsterkte-monstervorm	397
14.6	Buigbaarheid van PBX'e	399
14.7	Vergelyk tussen PBX-modulusse	401
15.1	Detonasieverloop, wat Chapman Jouget-punt (P_{CJ}) en Neumann-piek aantoon	407
15.2	Skematiese voorstelling van 'n detonasie deur 'n lading	407
15.3	Opstelling vir D-meting	409
15.4	Eksperimentele en berekende D	414
15.5	Silindertoetsopstelling	418
15.6	Silinder-E vir PBX-formulerings	420
15.7	D/E-waardes vir PBX'e	423
15.8	Berekende P_{CJ} en Gurney-waardes	430
16.1	Toetsopstelling vir KSST	442
16.2	Brandreaksie van HXVB 9001G	445
16.3	Opstelling vir die 'Glytoets'	452
16.4	Toetsvoertuig vir glytoets	454
16.5	Deflagrasie-reaksie van HXKF 9001	456
17.1	Temperatuur/humiditeit/druk-omgewingstoetsprofiel ..	465
17.2	Volumeveranderinge tydens toetse	468

<u>LYS VAN FIGURE (vervolg)</u>		<u>BLADSY</u>
18.1	Relatiewe gewig ten opsigte van kriteria	472
18.2	Kriteria vir sensitiwiteit	474
18.3	Relatiewe sensitiwiteit van PBX	477
18.4	Kriteria ten opsigte van funksionering	479
18.5	Relatiewe werkverrigting van PBX	483
18.6	Kriteria ten opsigte van stabiliteit	484
18.7	Relatiewe stabiliteit van PBX	487
18.8	Kriteria ten opsigte van ekonomie	489
18.9	Relatiewe ekonomie van PBX	490
18.10	Relatiewe vergelyk tussen PBX	493

LYS VAN AFKORTINGS	IX
OMREKENINGSFAKTORE	X
LYS VAN TABELLE	XI
LYS VAN FIGURE	XII
INHOUDSOPGAWE	XIII
HOOFSTUK 1 INLEIDING.....	1
1.1 Keuse van Brisantstof	1
1.2 Keuse van HMX-flegmatiseerder	10
1.2.1 HMX/Was	12
1.2.2 Persbare HMX/polimeer-samestellings	14
1.2.3 Gietbare HMX/plofstof-samestellings	15
1.2.4 Gietbare HMX/polimeer-samestellings	15
1.2.5 Eienskappe van geflegmatiseerde HMX- formulerings	15

HOOFSTUK 2	RELEVANTE EIENSKAPPE VAN HMX	20
2.1	Die HMX-sintese-reaksie	20
2.2	Chemiese eienskappe van HMX	25
2.3	Fisiese eienskappe van HMX	35
2.4	Termiese eienskappe van HMX	38
2.5	Detonatiewe eienskappe van HMX	44
2.6	Sensitiwiteitseienskappe van HMX	48
2.7	HMX-spesifikasie	56
HOOFSTUK 3	KARAKTERISERING VAN HMX VIR PBX-AANWENDING	60
3.1	HMX-analise	63
3.2	HMX-korrelgroottes	65
3.3	Pakkingsdigtheid-onderzoek	72
3.4	Persondersoek	89
HOOFSTUK 4	EIENSKAPPE VAN HMX-POLIMERE	103
4.1	HMX-verenigbaarheid	107
4.2	Chemiese struktuur	108
4.3	Oplosbaarheidsgedrag	112
4.4	Chemiese stabiliteit	116
4.5	Termiese eienskappe	118
4.6	Plastiseerbaarheid	120
4.7	Digtheid	121
4.8	Keuse van HMX/polimeerkombinasies	123

HOOFSTUK 5	PBX-VERVAARDIGING	128
5.1	PBX-prosesse : 'n literatuuroorsig	128
5.2	Faktore wat die keuse van 'n vervaar- digingsproses beïnvloed	137
5.3	Keuse van 'n vervaardigingsmetode	141
5.4	PBX-flodderproses	142
5.5	HMX-PBX-proseskondisies	151
5.6	PBX-vervaardiging	153
HOOFSTUK 6	EIENSKAPPE VAN PBX-KORRELPRODUKTE	162
6.1	Konsep-spesifikasies vir PBX-korrel- produkte	163
6.2	PBX-samestellingsanalises	171
6.3	Vlugtige stowwe	173
6.4	Sifanalises	174
6.5	Massadigtheid	180
6.6	SEM-foto's van PBX-formulerings	186
6.7	Valhamersensitiwiteit	203
6.8	Termiese gedrag	208
HOOFSTUK 7	PERSING	228
7.1	Persteorie	228
7.2	Terminologie	240
7.3	Persvermoë	242
7.4	Tipes perse	244
7.5	Perstoerusting	250
7.6	Pers van brisantstowwe	251
7.7	Standaardstelling	265

7.8	Pers van PBX met ooreenstemmende binders .	270
HOOFSTUK 8	PERS VAN PBX-FORMULERINGS	274
8.1	Toerusting en bedryf	275
8.2	Eksperimentele resultate	286
8.3	Bespreking van persresultate	301
8.4	Gevolgtrekkings en aanbevelings	314
HOOFSTUK 9	INSETTE TOT PBX-AANLEGONTWERP	318
9.1	Produksieskaal PBX-vervaardiging	319
9.2	Persfasiliteit	328
9.3	Ekonomiese aspekte	335
HOOFSTUK 10	IDENTIFISERING VAN PBX-KARAKTERISERINGS- TOETSE	338
10.1	Verpligte karakteriseringstoetse	339
10.2	Addisionele karakteriseringstoetse	342
10.3	Klassifikasie van toetstegnieke	345
10.4	Keuse van karakteriseringstoetse	346
10.5	Beoordelingskriteria	349
10.6	Enkele literatuurresultate	351
HOOFSTUK 11	FISIESE EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS ..	354
11.1	Toestandbeskrywing	354
11.2	Smelt- en versagtingspunt	358
11.3	Molekulêre massa en atomiese samestelling	359
HOOFSTUK 12	CHEMIESE EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS .	361

HOOFSTUK 13	TERMIESE EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS .	364
13.1	VTS	364
13.2	TUK en groei	368
13.3	Hoë temperatuur-ontploffingsgedrag	382
HOOFSTUK 14	MEGANIESE EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS.	384
14.1	Druksterktes	385
14.2	Treksterktes	391
14.3	Buigbaarheid	396
14.4	Vergelyking tussen eienskappe	400
HOOFSTUK 15	PBX-DETONATIEWE EIENSKAPPE	404
15.1	Detonasiesnelheid	405
15.2	Detonasie-energie	415
15.3	Detonasiedruk en Gurney-energieë	424
15.4	Inisieerbaarheid	432
HOOFSTUK 16	SENSITIEWEITSTEIENSKAPPE VAN PBX	436
16.1	Impaksensitieweit(korrelproduk)	437
16.2	Impaksensitieweit(ladings)	437
16.3	Impak- en wrywingsensitieweit	449
16.4	Skoksensitieweit	457
16.5	Elektrostatiese sensitieweit	460

HOOFSTUK 17	OMGEWINGSGEDRAG	462
17.1	Toetskondisies en -resultate	463
17.2	Omgewingstoetsresultate	467
HOOFSTUK 18	GEVOLGTREKKINGS	470
18.1	Veiligheid	473
18.2	Werkverrigting	480
18.3	Stabiliteit	482
18.4	Ekonomie	486
18.5	Algemene vergelyk	491
BRONNELYS		499

HOOFSTUK 1

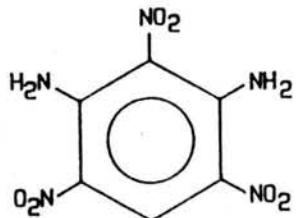
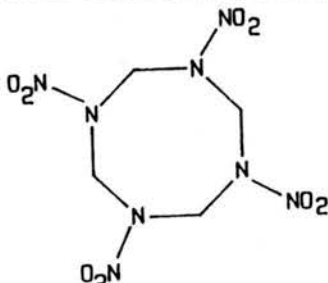
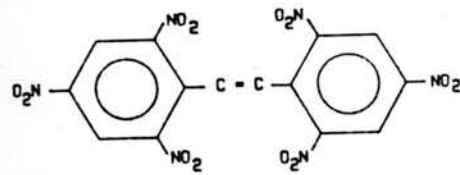
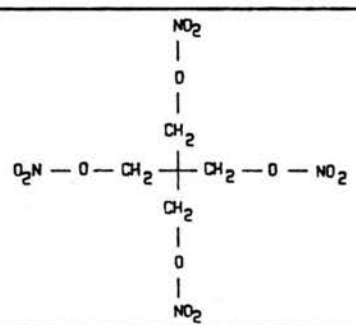
INLEIDING

1.1 KEUSE VAN BRISANTSTOF

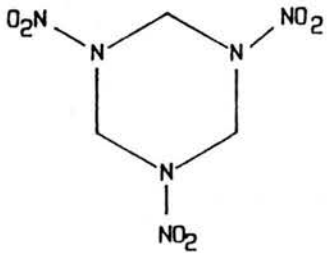
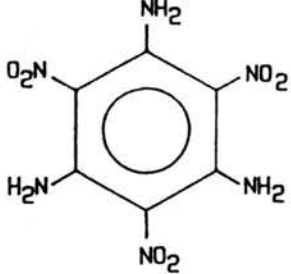
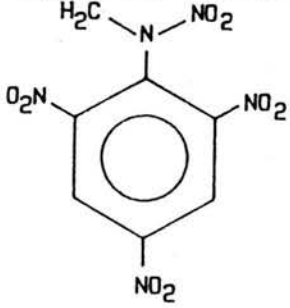
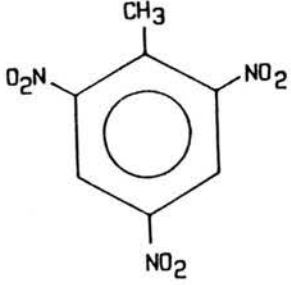
Op grond van die missielplofkopsesifikasie kan die vereistes waaraan die brisantstofformulering in sodanige plofkop moet voldoen, afgelei word. Hierdie vereistes sluit hoë digtheid, fisiese stabiliteit, nie-degraderende raklewe, lae termiese uitsettingskoeffisiënt, relatiewe onsensitiwiteit en hoë energielewerings-vermoë in. Ander vereistes is gemaak van vervaardiging en meganiese eienskappe, wat van toepassing op die brisantstof in die geprosesseerde vorm is en wat tot 'n groot mate deur die aard en hoeveelheid van byvoegmiddels bepaal word. Die keuse van die brisantstof moet eers op grond van voldoening aan die gestelde vereistes gemaak word, voordat verdere ontwikkelingswerk om die gekose formulering aan die newere vereistes te laat voldoen, gedoen word.

Uit die literatuur blyk die brisantstofveld geweldig wyd te wees, maar die meerderheid van die verbindings is van akademiese belang. Die brisantstowwe wat mees algemeen in die praktyk aangewend word, verskyn in Tabel 1.1.

Tabel 1.1 : BRISANTSTOWWE WAT ALGEMEEN AANGEWEND WORD

NAAM	CHEMIESE NAAM	CHEMIESE STRUKTUUR
DATB	Diaminotrinitrobenseen	
HMX	Siklotetrametileentetra-nitramien	
HNS	Heksanitrostilbeen	
PETN	Penta-eritritoltetra-nitraat	

Tabel 1.1 : BRISANTSTOWWE WAT ALGEMEEN AANGEWEND WORD (vervolg)

NAAM	CHEMIESE NAAM	CHEMIESE STRUKTUUR
RDX	Siklotrimetileentri-nitramien	
TATB	Triaminotrinitrobenseen	
TETRIEL	Trinitrofenielmetiel-nitramien	
TNT	Trinitrotolueen	

Die belangrikste relevante eienskappe van die brisantstowwe verskyn in Tabel 1.2. Die volgende faktore was bepalend ten opsigte van brisantstofkeuse:

- i) HMX het die hoogste digtheid, maar alhoewel brisantstowwe met hoë digtheid ooreenkomstig die gestelde vereistes verkieslik is, is die verskille te klein om op grond daarvan alleen die keuse te maak;
- ii) volgens die vereistes moet die smelttemperatuur so hoog moontlik wees, en aangesien hierdie vereiste van kritieke belang is, kan TNT, TETRIEL en PETN as kandidaat-brisantstowwe uitgeskakel word;
- iii) in alle gevalle is die brisantstowwe ten opsigte van ontbinding tot minstens 150°C stabiel, maar dit is veral die uitstekende termiese stabiliteite van die sogenaamde nuwe generasie-brisantstowwe soos TATB wat die aandag trek. Verder is TNT se ontbindingstemperatuur van 300°C insiggewend, aangesien dit sowat 220°C hoër as die smeltpunt is. (Hierdie eienskap maak TNT by uitstek geskik vir smelt/gietvullings, waar smeltpuntvereistes nie vir die finale vulling belangrik is nie);

Tabel 1.2 : ENKELE EIENSKAPPE VAN GESELEKTEERDE BRISANTSTOWWE ¹

EIENSKAP	DATB	HMX	HNS	PETN	RDX	TATB	TETRIEL	TNT
Digtheid (g/m ³)	1,837	1,905	1,740	1,780	1,806	1,938	1,730	1,654
Smeltpunt (°C)	286	285	318	140	205	452	130	80,9
Ontbindings-temp. (°C)	295-3003	287	300-3203	202	2051	384	185	300
Termiese Stabiliteit (cm ³ gas vrygelaat, 0,25 g vir 22h teen 120 °C)	<0,03	<0,01	<0,01	0,10-0,14	0,02-0,025	*	0,036	0,00-0,012
Termiese uitsetting (µm/m.K)	52-66 (358K)	50,4 (219-347K)	92	76,5 (293K)	63,6 (293K)	54 (200K)	-	50+ 0,078 (<353K)
Impaksensitiwiteit ² (Nm)	>501	7,4	5	3	7,5	504	3	15
Wrywingsensitiwiteit ² (kg)	-	12	24	6	12	>36	36	>36
Detonasiesnelheid (m/s)	7520	9110	7000	8260	8700	7760	7850	6930
C-J Detonasiedruk (kbar, bereken)	250	394	200	332	348	291	260	223

- iv) 'n tegniek wat algemeen in ploffstoflaboratoria gebruik word om die termiese stabiliteite van ploffstowwe te bepaal, asook om 'n aanduiding van die langtermynstabiliteit ('rakleef tyd') daarvan te verkry, is die sogenaamde vakuum termiese stabiliteitstoets (VTS). Hiervolgens word 'n ploffstofmonster onder vakuum vir 'n bepaalde tydsduur aan 'n sekere hoë temperatuur onderwerp. Die gasvolume wat die monster onder hierdie kondisies ontwikkel, gee dan 'n aanduiding van die stabiliteit van die ploffstof: oormatige gasontwikkeling dui op ontbinding van die toetsmonster. Weer is die besondere stabiliteit van TATB en HNS opmerklik. PETN blyk die mins stabiele formulering te wees;
- v) die termiese uitsettingskoeffisiënte van die brisantstowwe is verkry deur van lineêre uitsettingsmeetapparate gebruik te maak ¹. HNS toon die grootste mate van termiese uitsetting, maar hierdie aspek sal later volledig vir die gekose brisantstofformulering ondersoek moet word;

- vi) die impaksensitiwiteit van 'n brisantstof gee 'n relatiewe aanduiding van die hanteringsveiligheid daarvan: hoe hoër die toegekende waarde, hoe meer stabiel is die brisantstof. Verskillende toetsprosedures bestaan, maar die toets behels kortliks die beoordeling van die reaksie van 'n toetsmonster na aanleiding van 'n impak deur 'n massa wat onder swaartekrag versnel is. Hoe groter die impakmassa of hoe groter die afstand waaroor die massa versnel word, hoe groter is die momentum van die vallende massa en hoe meer energie word by impak aan die toetsmonster oorgedra. Die resultate moet in die lig van die ingewikkelde inisiëringsproses wat betrokke is, beskou word, wat die interpretasie daarvan aansienlik sal bemoeilik. Benaderde impaksensitiwiteitswaardes word afgelei, waaruit die relatiewe sensitiwiteit van tetriël en PETN blyk. HNS, HMX en RDX is ook redelik sensitief, terwyl die res as onsensitiewe brisantstowwe geklassifiseer kan word;
- vii) wrywingsensitiwiteitswaardes word verkry deur 'n klein toetsmonster onder 'n massabelading te skuur en enige gevolglike reaksie waar te neem. Hoe groter die beladingsmassa nodig om 'n reaksie van die toetsmonster teweeg te bring, hoe meer wrywingsensitief is die betrokke brisantstof. Weereens blyk PETN relatief

sensitief te wees, met RDX en HMX van dieselfde orde-grootte. 'n Interessante waarneming is dat tetriël en HNS op grond van wrywingsensitiwiteit as onsensitief geklassifiseer kan word; 'n resultaat wat teenstrydig met die impaksensitiwiteitswaardes is;

- viii) die detonasiesnelheid van 'n brisantstof is 'n maatstaf van inherente energie en word gewoonlik in m/s weergegee. Hierdie eienskap is van die digtheid van die toetsmonster afhanklik en gevolglik moet dit altyd in ag geneem word. As aanvaar word dat in die meeste gevalle digthede na aan die teoretiese kristaldigthede ter sprake is, kan 'n idee oor die relatiewe energieë van die formulerings gevorm word. HMX is ongetwyfeld die mees energierike verbinding, met detonasiesnelheid 9100 m/s. As die hoë detonasiesnelheidvereiste in ag geneem word, blyk dit dat slegs PETN, RDX en HMX geredelik vir aanwending oorweeg kan word. PETN is egter reeds vanweë 'n te lae smeltpunt geëlimineer, wat dan slegs twee kandidaatploffstowwe vir oorweging laat, naamlik HMX en RDX;

ix) die detonasiedruk van 'n brisantstof gee 'n verdere aanduiding van relatiewe energie en verwys na die drukgebied agter 'n voortplantende detonasieskokgolf (in die sogenaamde Chapman-Jouget-vlak), waar termodinamiese ewewig heers ¹. 'n Bevestiging van die detonatiewe eienskappe van die vorige paragraaf word verkry, dit wil sê die energierikheid van HMX en RDX.

Bogenoemde in ag geneem, word die brisantstofkeuse tot twee formuleringe, naamlik RDX en HMX, beperk. Vanweë die beter termiese en detonatiewe eienskappe van HMX is dit vir verdere ondersoek geïdentifiseer, maar op voorwaarde dat die brisantstof tot 'n geflegmatiseerde vorm verwerk word, om dit minder impak- en wrywings sensitief te maak, en dat die termiese eienskappe (byvoorbeeld smeltpunt, ontbindingstemperatuur en uitsettingskoeffisiënt) van die gedesensiteerde verbinding dan weer bepaal moet word. Die skok- en elektrostatische sensitiwiteit van die gedesensiteerde formulering moet ook bekend wees. Die meganiese eienskappe van die geflegmatiseerde HMX moet dan bepaal word. Verder moet die gunstige detonatiewe eienskappe van HMX nie as gevolg van desensitering tot 'n te groot mate ingeboet word nie. Ten slotte moet die prosessering van die formulering ekonomies lewensvatbaar wees en die finale produk 'n lang rakleef tyd hê.

1.2 KEUSE VAN HMX-FLEGMATISEERDER

Hierbo is aangetoon dat HMX die aangewese brisantstof vir toepassing in hoë-energie missielplofkoppe is, maar dat dit uit sensitiwiteits- en meganiese sterkte-oorwegings nie in 'n suiwer vorm bruikbaar is nie. Dit is nodig om die HMX te desensiteer (flegmatiseer) met behoud van die voortreflike detonatiewe eienskappe daarvan. Die geflegmatiseerde formulering moet dus steeds aan die gestelde vereistes voldoen, naamlik:

- i) termiese stabiliteit: die desensiteringsmateriaal moet minstens die termiese gedrag van die brisantstof ewenaar, met ander woorde dit moet nie smelt/ontbind by laer temperature as HMX nie;
- ii) meganiese drukvastheid: aangesien die natuurlike interkristalkragte van HMX baie klein is, besit dit geen drukvastheid nie en sal die flegmatiseerder 'n deurslaggewende rol in verkryging van die verlangde eienskappe speel;
- iii) energie-leweringspotensiaal: die geflegmatiseerde brisantstof moet nie noemenswaardig in terme van detonatiewe eienskappe van suiwer HMX verskil nie;
- iv) digtheid: die digtheid van die samestelling moet so hoog moontlik wees om sodoende die hoogste brisantstofladingsmassa per volume te verseker;

- v) relatiewe onsensitiwiteit: die geflegmatiseerde verbinding moet minder impak-, wrywing- en skoksensitief as HMX wees;
- vi) ekonomie: die flegmatiseringsaksie moet eenvoudig en koste-effektief wees, sodat opskaling van die vervaardigingstegniek moontlik is; en
- vii) rakleef tyd: die samestelling moet ten minste die stabiliteit van suiwer HMX in terme van rakleef tyd ewenaar.

Daar bestaan twee tegnieke om 'n kristallyne brisantstof soos HMX te desensiteer. Die eerste tegniek behels die vervaardiging van 'n geflegmatiseerde korreelproduk, wat dan deur middel van saampersing tot 'n eenheid gekonsolideer word. In hierdie geval is die flegmatiseerder gewoonlik polimeries van aard (wat dan per wye definisie die organiese wastipes insluit). Tweedens is daar die tegniek van smelting van die flegmatiseerder-materiaal, waarin die brisantstof geïnkorporeer word. Die gesmelte samestelling word dan in 'n gietvorm (E: mould) gegiet en toegelaat om te verhard/stol. Hierdie flegmatiseerder kan in hierdie geval polimeries óf energieryk (dit wil sê 'n plofstof op sigself) wees.

Die keuse van 'n flegmatiseringstegniek hang nou saam met die toepassing van die brisantstofsamestelling, en gevolglik moet die eienskappe van tipiese formuleringe, vervaardig volgens die verskillende tegnieke, beskou word. Die literatuur meld hoofsaaklik vier tipes gedesensiteerde HMX-verbindings, naamlik: saampersbare HMX/was- en HMX/polimeersamestellings, asook gietbare HMX/plofstof- en gietbare HMX/polimeer-formuleringe. Voorbeelde van hierdie formuleringe verskyn in Tabel 1.3. ¹

1.2.1 HMX/Was

Geen verwysing na HMX/was-formuleringe, wat algemeen in militêre toepassings aangewend word, kon gevind word nie, alhoewel inligting oor RDX/was-samestellings vrylik beskikbaar is. Vanweë die soortgelyke eienskappe van RDX en HMX, is aangeneem dat die rol wat die was as flegmatiseerder speel, ooreenstemmend sal wees. Beide sintetiese en natuurlike wasse is polimeriese vaste stowwe wat by kamertemperatuur maklik onder druk kan vervloei. Wastipes wat in ammunisie-items aangewend word, is byvoorbeeld steariensuur, kalsium-stearaat, poliëtileen-emulsiewasse en 'Polywax 655'.

Tabel 1.3 : VOORBEELDE EN EIENSKAPPE VAN GEFLEGMATISEERDE HMX-FORMULERINGS

NAAM	TIPE	SAMESTELLING (% MASSA/MASSA)	FISIËSE EIENSKAPPE			TERMIESE STABILITEIT				IMPAKSENSITIWITEIT		DETONASIEGEDRAG	
			DIGTHEID (g/cm ³)	SMELT- TEMP (°C)	ONTBIN- DINGS- TEMP (°C)	MASSA (g)	T (°C)	TYD (h)	GAS (cm ³)	APPARAAT	CM	DETONASIE- SNEELHEID (m/s)	DRUK (kbar)
HTA-3 ⁶	Gietbaar, TNT-basis	HMX : 49 TNT : 29 Al : 22	1,900	80	-	1,0	120	40	0,37	PA	43,6	7866	-
LX-04	Pers-PBX	HMX : 85 Viton A : 15	1,889	> 250	> 250	0,25	120	22	0,01- 0,04	Type 12	41	8460	350 (eksp)
LX-07	Pers-PBX	HMX : 90 Viton A : 10	1,892	> 250	> 250	0,25	120	22	0,01- 0,04	Type 12	38	8640	346
LX-09-0	Pers-PBX	HMX : 93 pDNPA : 4,6 PEPO : 2,4	1,867	> 250	> 280	0,25	120	22	0,03- 0,07	Type 12	32	8810	377 (eksp)
LX-10-0	Pers-PBX	HMX : 95 Viton A : 5	1,896	> 250	> 250	0,25	120	22	0,02	Type 12	35	8820	375 (eksp)
LX-11-0	Pers-PBX	HMX : 80 Viton A : 20	1,876	> 250	> 250	0,25	120	22	0,01- 0,04	Type 12	59	8320	310
LX-14	Pers-PBX	HMX : 95,5 Estane : 4,5	1,849	> 250	> 270	0,25	120	40	0,02	Type 12	51	8837	370 (eksp)
Oktol ⁶	Gietbaar, TNT-basis	HMX : 70 TNT : 30	1,800	80	-	1,0	120	48	0,37	PA	46,2	8377	-
Oktol	Gietbaar, TNT-basis	HMX : 75 TNT : 25	1,830	80	-	1,0	120	22	0,39	Type 12	41	8480	342 (eksp)
PBX 9011	Pers-PBX	HMX : 90 Estane : 10	1,795	> 250	> 250	0,25	120	22	0,024	Type 12	44	8500	324 (eksp)
PBX 9404	Pers-PBX	HMX : 94 NS : 3 TCEP : 3	1,865	> 250	> 250	0,25	120	22	0,36- 0,4	Type 12	34	8800	375 (eksp)
PBX 9501	Pers-PBX	HMX : 95 Estane : 2,5 BDNPA/P : 2,5	1,855	> 250	> 240	0,25	120	48	0,07	Type 12	44	8830	358
PBXW-101 ⁵	Giet-PWX	HMX : 82 Stireen- poliëster : 18	1,66-1,69	> 250	237	1,0	120	48	0,17	NOTS	48	7980	-
PBXW-102 ⁵	Giet-PWX	HMX : 59 Al : 23 Stireen- poliëster : 18	1,798	> 250	242	1,0	120	48	0,41	BM	28	7550	-
X-02987	Pers-PBX	HMX : 97,5 Olie : 1,38 Kraton : 1,12	1,847	> 250	260	1,0	120	48	0,1- 0,3	Type 12	47	8833	366

Die desensiteringseffektiwiteit hang nie soseer van die kwantiteit, maar van die kwaliteit van brisantstofkristalbedekking af ³. Gevolglik kan, deur van die korrekte vervaardigingskondisies gebruik te maak, wasgeflegmatiseerde HMX-verbindings met die verlangde eienskappe daargestel word. Daar is egter twee groot algemene nadele verbonde aan die gebruik van wasse, waarvan die eerste die lae meganiese sterkte van die gekonsolideerde brisantstof is. Hierdie probleem is nie so ernstig nie, maar die tweede tekortkoming skakel was as flegmatiseerderkandidaat uit, dit is die lae smeltpuntgebied daarvan, naamlik 60° tot 80°C. Aangesien uiterste temperatuuraanwendingsgebiede van -55°C tot +150°C ter sprake is, kan wasbevattende formulerings nie vir gebruik oorweeg word nie.

1.2.2 Persbare HMX/polimeer-samestellings

Polimeergeflegmatiseerde brisantstowwe is lank reeds bekend en 'n verskeidenheid van saampersbare tipes is in gebruik. Voorbeelde van polimeergebinde brisantstowwe (E: Plastic-bonded Explosives, Afkorting PBX) is talryk, byvoorbeeld LX-10, PBX 9011 en X-0298. Die voorvoegsel 'LX-' en 'PBX' dui op geïndustrialiseerde formulerings, terwyl 'X-' op 'n eksperimentele formulering dui ⁴.

1.2.3 Gietbare HMX/plofstof-samestellings

Voorbeelde van gietbare brisantstowwe, waar HMX in 'n onsensitiewe plofstofmatriks geïnkorporeer word, is HTA-3 en Oktol 70/30. TNT is in beide gevalle die flegmatiseerder terwyl Al by HTA-3 bygevoeg word om langer oordruk-impulstydskure tydens detonasie te verkry. 'n Vereiste van die plofstoftipe flegmatiseerder is dat dit 'n laag genoeg smeltpunt moet hê, om by relatief lae temperature veilig smelt- en gietbaar te wees.

1.2.4 Gietbare HMX/polimeer-samestellings

Gietbare polimeergebinde formuleringe bestaan ook uit 'n polimeer- en 'n brisantstofkomponent, maar met die verskil dat die brisantstofdigtheid gewoonlik laer is. Die rede hiervoor is dat die prosesseringstegniek 'n mengsel van lae gietviskositeit vereis, wat 'n beperking op die HMX-inhoud daarvan plaas. Voorbeelde van hierdie klas is PBXC-105 en PBXN-102.

1.2.5 Eienskappe van geflegmatiseerde HMX-formulerings

Alhoewel die formuleringe van Tabel 1.3 nie volledig ten opsigte van HMX-gebaseerde brisantstowwe is nie, omvat dit tipiese formuleringe wat in gebruik is. Daar sal gevolglik op grond van die formuleringe 'n keuse ten opsigte van prosesseringstegniek, en potensiële desensiteerdermateriaal vir verdere ondersoek, gemaak word, met inagneming van die vereistes soos voorheen uiteengesit.

i) Fisiese Eienskappe

Die teoretiese digthede van die formulerings, dit wil sê waar geen ingeslote luggapings ter sprake is nie, toon dat afgesien van HTA-3, die Viton A-bevattende PBX-formulerings die hoogste teoretiese digtheid het. Dit kan aan die hoë digthede van die samestellende komponente HMX en Viton toegeskryf word. Die grootste bydraende faktor tot die hoë digtheid van HTA-3 is die 22% Al-inhoud. Al die formulerings het egter digthede wat aanvaarbaar vir aanwending kan wees, en daar kan nie op grond van digthede formulerings uitgeskakel word nie.

Die fisiese eienskappe omvat verder die smelt- en ontbindingstemperature van die samestellings. Uiteraard het die TNT-bevattende formulerings HTA-3, Oktol 70/30 en Oktol 75/25 die smeltpunt van TNT (80°C) en hierdie drie kandidaat-plofstowwe is dus nie vir plofkoptoepassing geskik nie. Die oorblywende formulerings is almal van die PBX-tipe, met ontbindingstemperature wat met dié van suiwer HMX ooreenstem.

ii) Termiese Stabiliteit

Die mate van termiese gasontwikkeling van die brisantstowwe verskyn in Tabel 1.3, tesame met die betrokke toetskondisies. Al die formulerings toon 'n aanvaarbare mate van stabiliteit, maar aangesien die toetskondisies van die verskillende formulerings verskil, kan geen direkte vergelyking tussen die formulerings getref word nie.

iii) Impaksensitiwiteit

Aangesien verskillende tipes impaksensitiwiteits-toetsapparate gebruik is, is die ontstekingshoogte-waardes nie vergelykbaar nie. So byvoorbeeld vertoon die gietbare PBX-formulerings PBXN-102 en PBXN-105 besondere lae ontstekingshoogtes, maar dit is bekend dat gietbare PBX heelwat minder impaksensitief is as persbare PBX. Word die resultate van formulerings wat met dieselfde apparaat (Tipe 12) verkry is, vergelyk, blyk die Viton A-bevattende formulerings LX-10-0 en LX-07 besonder impaksensitief te wees (vgl. suiwer HMX: 33 cm). Gevolglik moet, indien daar op Viton A as 'flegmatiseerder' vir HMX besluit word, krities na hierdie aspekte in toepassingsverband gekyk word. Omdat hierdie waardes verkry is van klein (ca. 35 mg) toetsmonsters, kan dit nie as verteenwoordigend van 'n geperste lading van etlike kilogram beskou word nie, en sal doelgeskikte toetstegnieke, wat 'n beter aanduiding van die

desensiteringsgedrag van Viton gee, moet ondersoek word.

iv) Detonasiegedrag

Indien 'n detonasiesnelheid van 8000 m/s (minimum) aanvaar word, kan die drie gietbare PBX-formulerings geëlimineer word. Die hoë detonasiesnelhede van LX-10-0, PBX 9501, X-0298 en LX-14 is verder duidelik. In al vier gevalle is die HMX-inhoud van die pers-PBX-formulerings 95% en hoër, waaraan die voortreflike eienskappe toegeskryf kan word.

Ten opsigte van detonasiedrukke is die lys nie volledig nie, maar dieselfde algemene neiging is merkbaar. Hier is die hoë detonasiedrukke van die Viton A-bevattende formulerings LX-10-0 en LX-09-0 opvallend.

Die volgende gevolgtrekkings rakende die betrokke formulerings kan dus uit die voorafgaande gemaak word, naamlik dat wasgebinde HMX vanweë die lae smeltpunt van die was, nie vir aanwending oorweeg kan word nie, terwyl die TNT-bevattende gietbare brisantstowwe vanweë die lae smeltpunt daarvan, ook nie vir aanwending geskik is nie. Die detonatiewe gedrag van die persbare PBX-formulerings is die voortreflikste, maar die gietbare PBX-formulerings behaal nie die vereiste detonasiesnelhede nie.

Formulerings wat belowende eienskappe toon, is dus die persbare PBX-tipe, veral Viton A-bevattend (LX-04, LX-07, LX-10-0, LX-11-0), Estane-bevattend (LX-14, PBX 9011, PBX 9501), Kraton-bevattend (X-0298), Nitrosellulose-bevattend (PBX 9404) en Dinitropropiel-akrilaat-bevattend (LX-09-0).

PBX 9501, PBX 9404 en LX-09-0 bevat egter energierike polimere en/of plastiseerders as binderkomponente en aangesien daar onsekerheid oor die langtermyn-stabiliteit, termiese eienskappe, eksudasie-gedrag en beskikbaarheid hiervan heers, terwyl die wesentlike energiebydrag daarvan betreklik gering is, is die formulerings nie vir hierdie ondersoek oorweeg nie. Alternatiewe persbare HMX (polimeer-samestellings) is egter geïdentifiseer.

Aangesien die HMX-komponent die kern van die formulerings vorm, is die eerste gedeelte van die ondersoek aan die karakterisering van suiwer HMX, soos eksperimenteel en uit literatuurverwysings bepaal, gewy.

HOOFTUK 2

RELEVANTE EIENSKAPPE VAN HMX

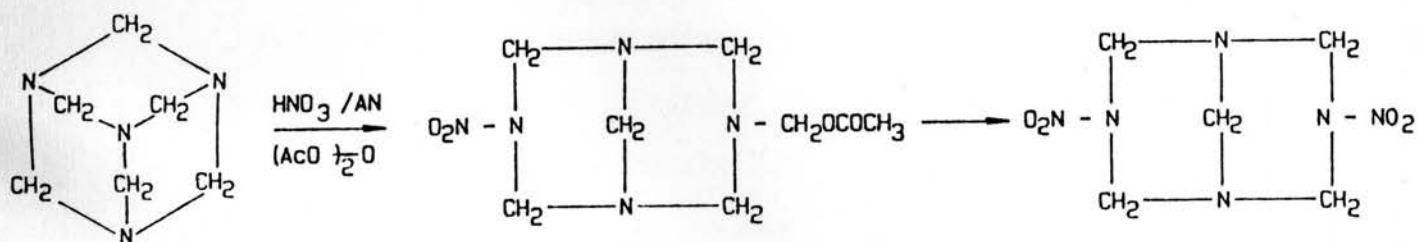
Enkele eienskappe van HMX is reeds in vergelyking met ander brisantstowwe weergegee, maar ten einde beter insig te verkry, word in hierdie hoofstuk meer diepgaande na relevante eienskappe gekyk. Hierdie eienskappe is die HMX-sintese-reaksie, fisiese en chemiese eienskappe van HMX, termiese gedrag, detonatiewe karakteristieke, stabiliteit ('sensitiwiteit') en spesifikasievereistes. Literatuurdata word bespreek en enkele eksperimenteel-verkreë resultate ter bevestiging weergegee.

2.1 DIE HMX-SINTESE-REAKSIE

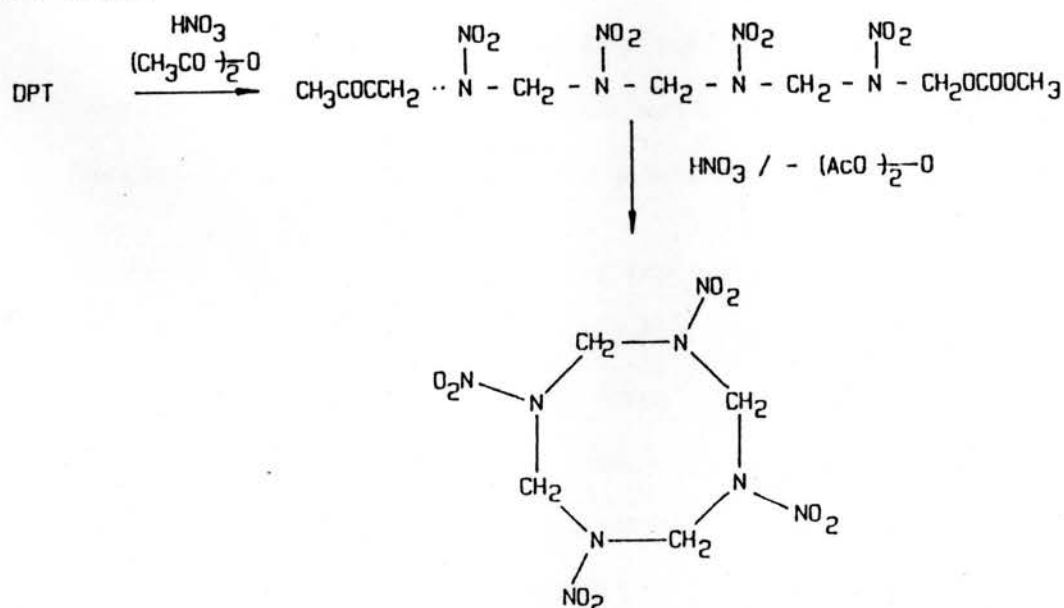
HMX (siklotetrametileentetranitramien; 1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetra-asasiklo-oktaan; oktahidro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetraseen of oktogeen) word volgens een spesifieke sintetiese prosedure suksesvol op produksieskaal vervaardig. Hierdie nitrolise-sintese, vernoem na die uitvinder daarvan, W E Bachmann, maak van heksametileentetramien as uitgangstof gebruik en die tweestadia-proses lewer altyd RDX as neweproduk. Dit is, deur van verskillende konsentrasies van uitgangstowwe gebruik te maak, moontlik om hierdie reaksie ook vir die sintese van RDX aan te wend.

In die eerste stadium van die Bachmann-proses word heksamien, ysasynsuur, asynsuuranhidried, ammoniumnitraat (AN) en HNO_3

gelyktydig in bepaalde hoeveelhede bymekaargevoeg ⁴. Na byvoeging word die reaksietemperatuur op 45°C vir 'n kort tydperk gehandhaaf. DPT (3,7-dinitro-1,3,5,7-tetra-asabisiklo-3,3,1-nonaan) word as reaksie-tussenproduk gevorm:



Hierna word die tweede fase van die reaksie begin deur AN/ HNO_3 /asynsuuranhidried binne 'n bepaalde tydsduur by die reaksiemengsel te voeg. 'n Reaksietyd word weer toegelaat, waarna die reaksiemengsel op water gegooi en op 'n stoombad gekook word.

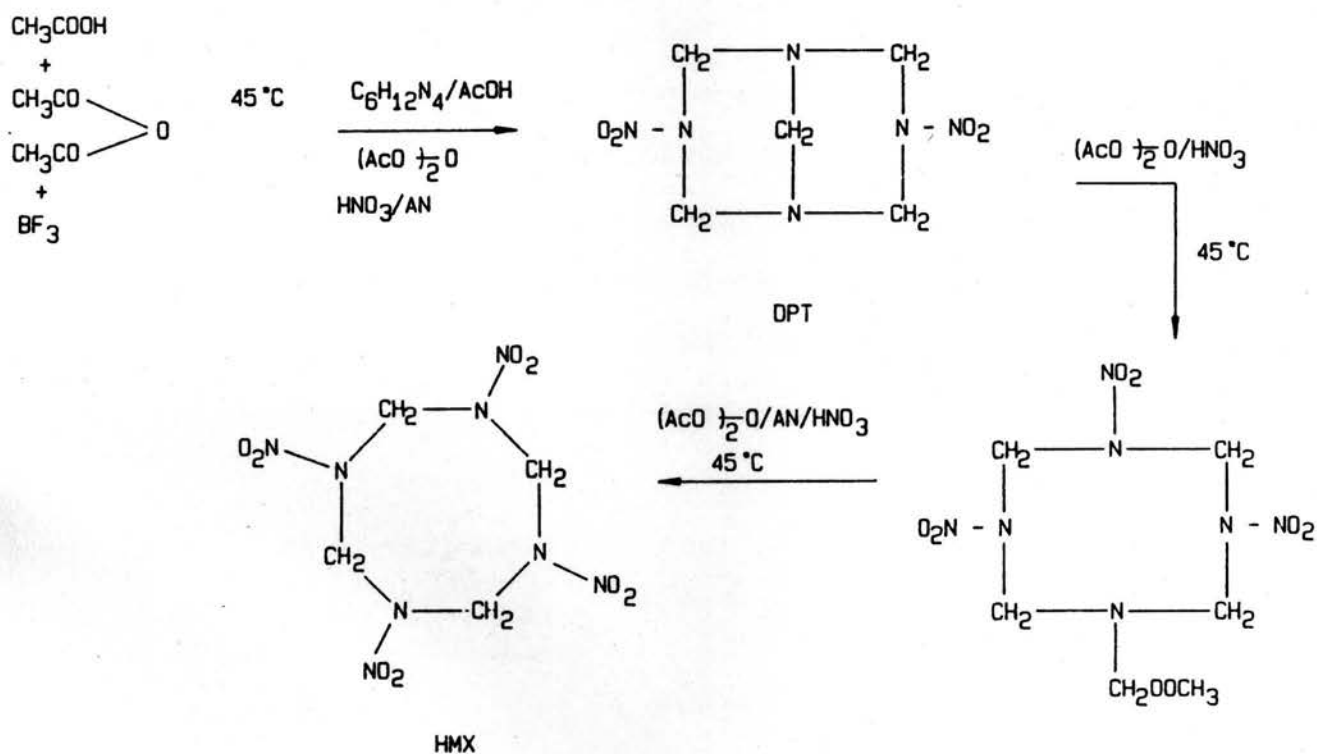


Die gevormde presipitaat bevat ongeveer 73% HMX en 27% RDX. Die RDX word deur middel van 'n kookproses in 5N NaOH vernietig, en totale vernietiging word deur 'n pH styging tot bokant pH = 9,7 gekenmerk. Die gevormde HMX kan nou verder geherkristalliseer word.

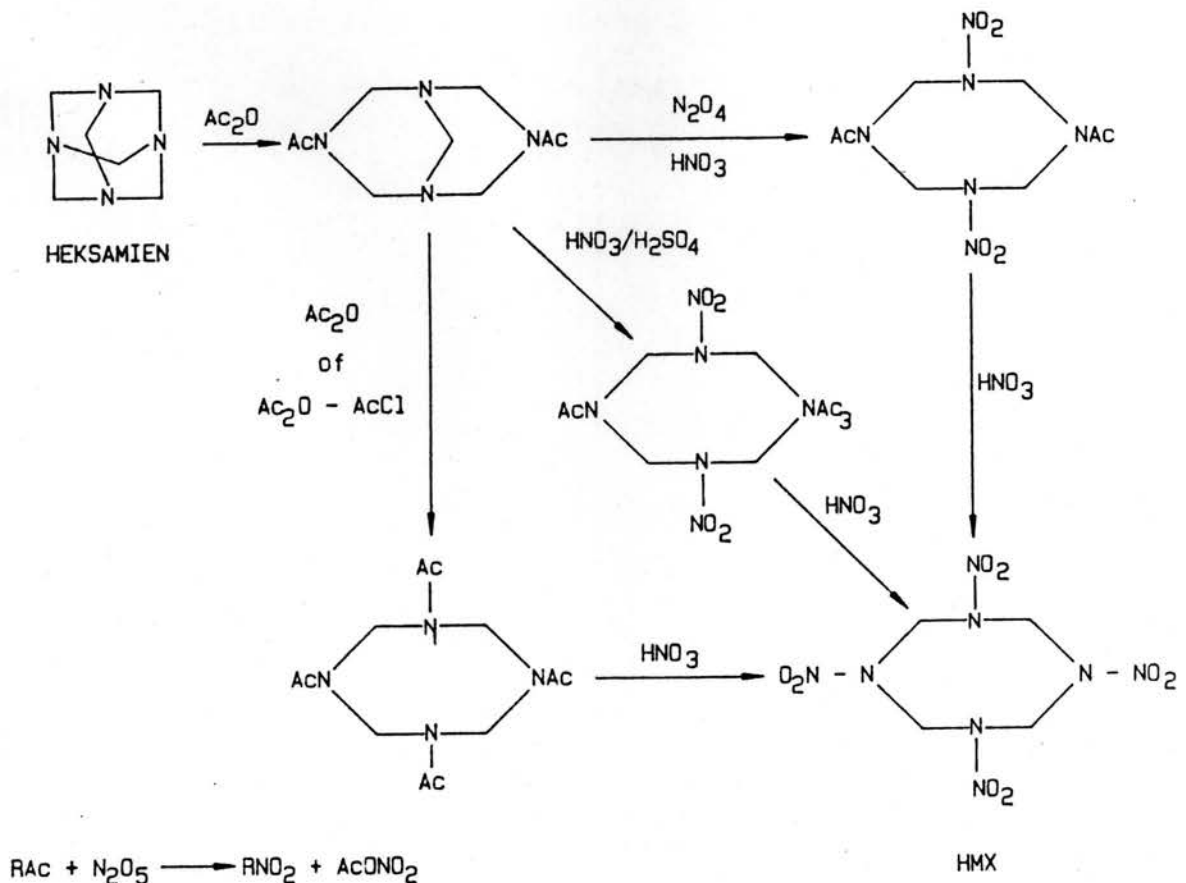
Verskeie modifikasies van hierdie tegniek bestaan, naamlik:

- i) Deur paraformaldehyd in die eerste fase by te voeg, word 'n drastiese toename in persentasie-opbrengs verkry ⁵. In hierdie geval word 'n mengsel van asynsuur, asynsuuranhidried en paraformaldehyd eers in die reaksiehouer gelaai, waarna 'n oplossing van heksamien in asynsuur/asynsuuranhidried/HNO₃/AN daarby gevoeg word. Tydens die tweede stadium word asynsuuranhidried en HNO₃/AN proporsioneel bymekaar in die reaksiemengsel gevoeg, waarna die orige asynsuuranhidried bygevoeg word. Na die toegelate reaksietyd word warm water by die produk gevoeg en dit op ys gelaai. 'n Produk van 90% suiwerheid en 95% van die teoretiese opbrengs word sodoende verkry. Die produk verskil van die verkry met die 'normale' Bachmann-proses deurdat dit die α -polimorf is en dus na die β -polimorf geherkristalliseer moet word.
- ii) 'n Goeie DPT opbrengs kan verkry word deur eers heksamien-dinitraat te sintetiseer, en dit dan by 90% H₂SO₄ te voeg ⁷. Na die reaksietyd word die produk op ys gegiet en die oplossing gefiltreer, waarna die filtraat met 28% NH₃ tot pH 5,5 tot 6,5 aangepas word. AN en HNO₃ word by 60°-65°C bygevoeg. Na die reaksietyd word water bygevoeg en die reaksiemengsel vir 'n geruime tyd gekook. 'n HMX-opbrengs van 75% kan met hierdie tegniek verkry word.

- iii) Die volgende reaksieweg, waar BF_3 as katalisator gebruik word, word ook gevolg ¹⁰:



Die nadele verbonde aan die Bachmann-proses is dat 'n relatief lae opbrengs met behulp van die standaardtegniek verkry word. Verder word die gebruik van die groot hoeveelhede asynsuuranhidried vereis, terwyl lang reaksietye 'n stadige produksietempo impliseer. Groot hoeveelhede afvalmateriaal word ook gegenereer. Uit die aard van die proses is RDX altyd as 'n onsuiverheid teenwoordig en gevolglik moet die persentasie suiwerheid van HMX bekend wees alvorens kwantitatiewe afleidings rakende die produk-eienskappe gemaak word. Vanweë die nadele verbonde aan die proses word alternatiewe tegnieke, wat die tekortkominge kan oorbrug, deurlopend ondersoek. Skematiese voorstellings van enkele van die alternatiewe sintese-roetes word hieronder weergegee ¹¹:



'n Groot nadeel is egter die vorming van uiters plobbare asetielnitraat:



Asetielnitraat is baie onstabiel en die ontbindingsreaksie is gevaarlik omdat dit nie deur enige kleurverandering, dampvorming of temperatuurstyging voorafgegaan word nie en spontaan kan plaasvind.

2.2 CHEMIESE EIENSKAPPE VAN HMX

Die belangrikste chemiese eienskappe van HMX is atomiese samestelling, spesifieke warmtes, oplosbaarheid en analitiese tegnieke.

HMX het die atomiese samestelling van $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_8\text{O}_8$, dit wil sê 'n molekulêre massa van 296,2. Die samestelling ¹⁰ in terme van massa is:

C-inhoud	:	16,2%	
H-inhoud	:	2,7%	
N-inhoud	:	39,9%	(37,83% ²)
O-inhoud	:	43,2%	

Die suurstofbalans ⁶ is -21,6% en is die massa suurstof, uitgedruk as 'n persentasie, wat vrygestel word as gevolg van volledige omsetting van HMX na CO_2 , H_2O , CO, ensovoorts. Die molekulêr-

gebiede suurstof is dus nie voldoende vir volledige oksidasie nie en derhalwe word die hoeveelheid O_2 om die reaksie volledig te maak, met 'n negatiewe teken gerapporteer. Die vormingswarmte ΔH_f , die ontploffingswarmte ΔH_{det} , en die verbrandingswarmte ΔH_{com} word weergegee:

i) ΔH_f

Die vormingswarmte van HMX dui die energie van die molekule, soos 'gebied' daarin tydens vorming by konstante volume, aan. Die volgende waardes word gerapporteer, naamlik:

84,6 cal/g (= 353 J/g) ²;
 60,53 cal/g (= 17,93 kcal/mol) ¹ en
 57,73 cal/g (= 17,1 kcal/mol) ³.

ii) ΔH_{det}

Per definisie is die ontploffingswarmte (E: 'Heat of Explosion') die reaksiehitte wat vrygestel word as die formulering detoneer. Waterdamp word gewoonlik as reaksieprodukt gevorm en is 'n gerieflike verwysingsprodukt. ΔH_{det} is teoreties berekenbaar en eksperimenteel bepaalbaar. Die verskil in die waardes wat verkry word, is toe te skryf daaraan dat eksperimentele metings in geslote apparaat (bomkalorimeters) uitgevoer word en dat die detonasieprodukte nie noodwendig in ooreenstemming is met die teoretiese nie. Die berekende waardes is die verskil tussen die vormingswarmtes van die brisantstof en die van die ontbindingsprodukte.

Die volgende waardes word gerapporteer:

Eksperimenteel	:	1356 cal/g ⁶ ;
		1480 cal/g: H ₂ O(l)
		= 6197 J/g ² ;
		1222 cal/g: H ₂ O(g) ⁵ ;
		1620 cal/g: H ₂ O(l) ² ;
		1480 cal/g: H ₂ O(g) ¹ .
Bereken	:	1357 cal/g
		= 5679 J/g ² ;
		1480 cal/g
		= 6190 J/g ¹² ;
		1370 cal/g
		= 5730 J/g ¹

iii) ΔH_{com}

Die verbrandingswarmte is die kaloriese ekwivalent van die totale verbrandingsenergie van HMX, en word gewoonlik in die bomkalorimeter onder oormaat O₂ bepaal. Dit bied 'n metode om die vormingswarmte van HMX te bepaal. Die volgende waardes is verkry, naamlik :

2362 cal/g ⁶ en
 2255-2362 cal/g
 (= 667,4 kcal/mol ⁵).

iv) C_p

Die spesifieke warmte C_p , of hittekapasiteit, is die energie wat benodig word om die temperatuur van 'n verbinding te verander. Die volgende C_p -waardes word in die literatuur weergegee:

0.265 cal/g°C by 20°C
 (= 1.109 kJ/kgK by 293 K) ¹

0.3 cal/g	by 80°C	²
(β-modifikasie)		
0.153 cal/g°C	by -75 °C	(β)
0.228 cal/g°C	by 0 °C	
0.248 cal/g°C	by 25 °C	
0.266 cal/g°C	by 50 °C	
0.282 cal/g°C	by 75 °C	
0.288 cal/g°C	by 85 °C	
0.290 cal/g°C	by 90 °C	
0.295 cal/g°C	by 100 °C	
0.307 cal/g°C	by 125 °C	
0.315 cal/g°C	by 150 °C	↵

Koshigoe et al ¹³ gebruik 'n DSC-tegniek ter bepaling van die spesifieke warmte van HMX. Fyn verpoeierde, asook growwe kristalle is ondersoek oor die temperatuurgebied 294K tot 445K. Die hittekapasiteit van β-HMX, δ-HMX en gedeeltelik ontbinde HMX is bepaal, waaruit bepaal is dat die verskil tussen die C_p -waardes van β-HMX in die kristal- en die poeierform ca. 3% is, met die HMX-poeier-waarde die hoogste. Dieselfde tendens was vir δ-HMX merkbaar, terwyl gedeeltelik ontbinde HMX (δ-fase) 'n C_p -waarde van ongeveer 6% hoër as dié van die normale δ-fase het.

HMX is prakties onoplosbaar in water en is nie-higroskopies by 95% RH [↵]. Die oplosbaarheid in organiese oplosmiddels stem met dié van RDX ooreen. DMSO is as gevolg van kompleksvorming 'n goeie oplosmiddel vir HMX, terwyl asetoon, DMFA en piridien ook as redelik goeie oplosmiddels beskou kan word. HMX is onoplosbaar in CS_2 , CCL_4 , $CHCl_3$ en eter. Tabel 2.1 gee kwantitatiewe oplosbaarhede weer ^{1,5}:

Tabel 2.1 : OPLOSBAARHEID VAN HMX IN ORGANIESE
OPLOSMIDDELS

OPLOSMIDDEL	OPLOSBAARHEID	TEMPERATUUR °C
DMFA	4.4	25
	6.1	40
	11.1	60
Nitrobenseen 1,2-dichloroëtaan asynsuur	0.129	25
	0.125	70
	0.037	20
	0.0375	25
	0.044	40
ysasynsuur	0.090	60
	0.033	40
	0.103	60
asynsuuranhidried	1.29	40
	1.94	60
	0.96	25
asetoon -anhydries	2.4	20
	3.4	40
	0.66	20
asetonitriël	1.20	40
	1.98	25
	3.07	40
sikloheksanoon	4.34	60
	2.11	25
	5.91	40
etielbromied	7.17	60
	0.02	25
	0.46	25
metieletielketoon nitroëtaan	0.172	25
	0.778	25
	1.75	25
nitrometaan triëtielfosfaat	1.75	25
	45.5	40
DMSO	47.2	60
	0.02	25
etielasetaat		

'n Verskeidenheid van analitiese tegnieke vir HMX bestaan, en word omvattend in die boek van Yinon ^{1^{ste}} opgesom. Daar bestaan hoofsaaklik twee hoofgroepe analyses, naamlik (i) tegnieke ter identifikasie van HMX en (ii) die bepaling van HMX-suiwerheidsgraad. Die algemene chemie van nitramiene en nitro-bevattende verbindings word nie hier bespreek nie, aangesien talle publikasies dit in detail behandel. Die volgende tegnieke kan vir die identifikasie van HMX gebruik word, naamlik:

- i) Smeltpuntbepaling : Suiwer HMX smelt by 275 °C en ontsteek by 279 °C - 281 °C. Fisher-Johns verhittingsplate ^{1^o} of DTA is geskik vir hierdie bepalings.
- ii) Polarografie : Met asetoon as oplosmiddel en M KNO₃/10% piridien as elektroliet kan HMX-konsentrasies tot so laag as 2µg/l met behulp van wisselstroom-polarografie waargeneem word. Karakteristieke pieke verskyn by -1,15 V en -1,142 V onderskeidelik (kalomel-verwysingselektrode).
- iii) Massaspektroskopie : Elektron-impak-ms (E1) van HMX lewer onder andere 'n piek van redelike intensiteit by m/e 222. Die piekposisie stem met die van M_{FDX} ooreen, maar is meer intens. Chemiese ionisasie-ms (CI) lewer 'n karakteristieke piek by m/e 223 as gevolg van

$[MH-CH_2NNO_2]^+$. Negatiewe ioon-ionisasie-ms (NCI) lewer 'n piek van besondere intensiteit by m/e 222 $[M-CH_2NNO_2]^+$, wat weereens 'n metode bied om tussen RDX en HMX te onderskei.

- iv) Chemiese metodes : Die sogenaamde chromotropiese suurtoets behels die verkleuring van chromotropiese suur (1,8 - dihidroksinaftaleen - 3,6-disulfoonsuur) in $g.H_2SO_4$. Die reaksiemengsel word violet-pienk in teenwoordigheid van HMX as gevolg van die reaksie:



waar die formaldehyd verder met die suur reageer. HMX in timol/ $g.H_2SO_4$ word by $150\text{ }^\circ\text{C}$ olyfkleurig.

- v) Infrarooispektroskopie : Intense NO_2 rek-frekwensie by $\nu_{as} = 1570\text{ cm}^{-1}$ en $\nu_s = 1352\text{ cm}^{-1}$ is kenmerkend van HMX. C-H rek-frekwensies kom voor by 3080 cm^{-1} . 'n Intense nitramien-band verskyn by 1283 cm^{-1} . $\nu_s = 1280\text{ cm}^{-1}$ en 1298 cm^{-1} ; en $\nu_{as} = 1540\text{ cm}^{-1}$, 1542 cm^{-1} en 1570 cm^{-1} word ook gerapporteer.
- vi) Kernmagnetiese resonansie spektroskopie : Feitlik enige KMR-tegniek kan gebruik word. Tipies word 60 MHz KMR met TMS as interne standaard gebruik.
- vii) Ultravioletspektroskopie : In etanol is $\lambda_{maks} = 228 - 229\text{ nm}$ met $\epsilon = 0,021$.

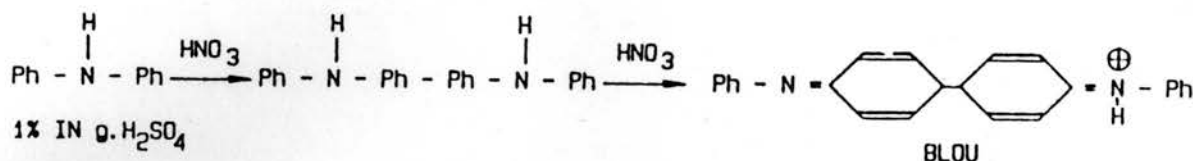
HMX is deur die "chromchloried" metode kwantitatief bepaalbaar. Hierdie metode berus op die reduksie van HMX met CrCl_3 in 'n DMFA/HCl-oplossing. Oormaat CrCl_3 word terugtitreer met ysterammoniumsulfaat en fenosafranien as indikator. 'n 99,5 - 100%-herwinning word gerapporteer ⁵.

HMX word onderskei van RDX deur die neiging daarvan tot addisiekompleksvorming, moontlik ladingsoordrag komplekse ⁷. HMX vorm 'n 1:1-kompleks met anilien ($T_m = 172^\circ\text{C}$); o-toluidien ($T_m = 139^\circ\text{C}$) en 2-naftalimien ($T_m = 148^\circ\text{C}$). Met sommige verbindings, byvoorbeeld N-metiel-2-piridoon, word 2:1-kompleks (HMX:tweede verbinding) gevorm.

Die verskil in chemiese gedrag vorm die basis van talle skeidingstegnieke ^{5,13} ter bepaling van die HMX-inhoud van RDX/HMX-mengsels, byvoorbeeld:

- i) HMX vorm 'n stabiele 1:1 molekulêre kompleks met DMFA. Hierdie kompleks kan met CCl_4 gewas en filtreer word sonder noemenswaardige massaverlies. Dit bied dus 'n grawimetrieuse metode om, deur DMFA by 'n RDX/HMX mengsel te voeg, die toename in gewig na die hoeveelheid HMX teenwoordig terug te herlei.
- ii) Deur 'n HMX-versadigde oplossing van 1,2-dichloroëtaan te maak en dan die HMX/RDX daarin op te los, kan die hoeveelheid HMX bepaal word.

Die reaksie van difenielamien met nitramiene:



HNO₃ word vanuit die nitramien gevorm. Vir HMX word 5 minute toegelaat vir die blou kleurverandering terwyl dit vir RDX na 1 minuut plaasvind.

- iii) Papierchromatografie kan gebruik word om RDX en HMX kwantitatief te skei deur van 1,2 - dichloroëtaan op formamied-geïmpregneerde papier gebruik te maak.
- iv) RDX en HMX is op silika jel-absorbeerder skeibaar (DLC), waar benseen/asetoon 4/1 as draer-oplosmiddel gebruik word.
- v) 'n Refraktometer kan gebruik word om die HMX-inhoud van RDX te bepaal. Met hierdie tegniek word die brekingsindeks van die HMX en RDX in nitrometaanoplossing kwantitatief gemeet. Die metode het 'n gerapporteerde akkuraatheid van 0,2%.

Aangesien die β-polimorf die enigste aanvaarbare graad vir militêre toepassings is, is dit noodsaaklik om dit eenduidig te kan bepaal:

- i) Die infrarooi-spektrofotometriese-metode : Die metode ontleed 'n 5%-"mull" van 'n monster in heksachlorobutadieën of tetrachloroëtileen deur middel van 'n Perkin Elmer

dubbelbundel infrarooi-spektrofotometer. Die metode toon slegs die teenwoordigheid van polimorfe aan indien dit in hoeveelhede van meer as 5% teenwoordig is. α -HMX se spektrum het karakteristieke absorpsiebande by 13, 13,5 en 14 μm . Die β -polimorf het karakteristieke absorpsiebande by 8,75 en 13,1 μm . Die γ -polimorf word van die ander polimorfe deur absorpsiebande in die 13-15 μm -gebied onderskei. RDX het sy eie kenmerkende absorpsiebande.

- ii) Die X-straaldiffraksiemetode : Die bepaling van die α -HMX, β -HMX en RDX-inhoud van 'n monster HMX kan ook deur middel van X-straaldiffraksiemeter gedoen word. Die gebruik van 'n Phillips Instrument-X-straal-diffraksiemeter word voorgeskryf ¹⁰.

Die HMX-vernietigingsprosedures stem met dié vir ander nitramiene, byvoorbeeld RDX, ooreen: HMX ontbind deur 'n kookproses in 10% NaOH, waartydens die HMX tot inerte produkte gehidroliseer word. Verder ontbind HMX nie wanneer dit in 2% HNO₃ en H₂SO₄-oplossing gekook word nie, maar in g.H₂SO₄ ontbind dit wel, alhoewel die reaksie stadiger as vir RDX verloop. HMX is ook reaktief ten opsigte van kook in 1% Na₂CO₃ en word sodoende totaal vernietig.

2.3 FISIESE EIENSKAPPE VAN HMX

Eienskappe ter sprake is toestandbeskrywing, polimorfie, digtheid en smeltpunt.

HMX is by kamertemperatuur 'n wit kristallyne organiese vaste stof. Vier kristal-polimorfe word aangetref. Die hardheid van die kristal word as 2,3 (Moh-skaal) aangegee ⁵.

Die vier polimorf-modifikasies van HMX is α (II), β (I),

γ (III) en δ (IV), wat ooreenstem met die waarskynlike struktuurkonformasies. Die modifikasies word verkry deur HMX uit verskillende oplosmiddels en teen verskillende afkoeltempo's te herkristalliseer ⁷:

- i) Die konvensionele Bachmann-sintese proses lewer β -HMX, maar kan aangepas word om α -HMX te verkry.
- ii) β -HMX word uit asynsuur, asetoon, sikloheksanon, asetonitriël, salpetersuur of nitrometaan geherkristalliseer deur uiters stadige afkoeling van die oplossing. Monokliniese kristalle word gevorm, wat ten opsigte van sensitiwiteit die voortreflikste eienskappe openbaar en vandaar die motivering vir algemene gebruik van dié modifikasie.
- iii) Deur vinnige afkoeling van bogenoemde oplossings toe te pas, word α -HMX gevorm. γ -HMX kan ook sodoende geherkristalliseer word, met die verskil dat die afkoeltempo nog vinniger moet plaasvind. α -HMX-kristalle is ortorombies terwyl γ -HMX monoklinies is.

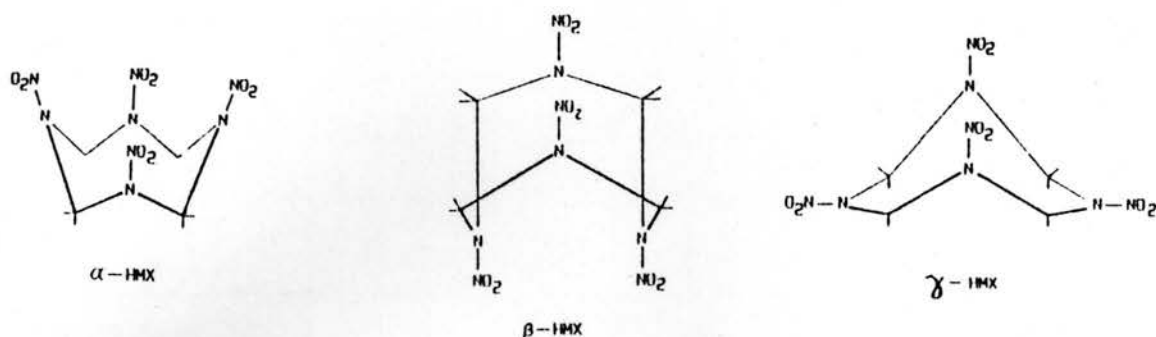
- iv) δ -HMX word uit oplosmiddels waarin HMX swak oplosbaar is, geherkristalliseer. Deur byvoorbeeld 'n asynsuur-oplossing oor ys te giet, kan hierdie modifikasie verkry word. δ -HMX kan uit β -HMX geherkristalliseer word deur 'n N,N-dimetielp-toluidien-oplossing te berei en dan vinnig af te koel.

Die eenheidsel-parameters van die onderskeie polimorfe word in Tabel 2.2 weergegee.

Tabel 2.2 : EENHEIDSEL-BESKRYWING VAN HMX-POLIMORFE

Selparameter	(II) α Fdd2	(I) β P2 /c	(III) γ Pc P2/c	(IV) δ P6 22
Eenheidselkant- lengte (A)				
a	15,14	6,54	10,95	7,66
b	23,89	11,05	7,93	-
c	5,91	7,37	14,61	32,49
Hoek	-	102,8	119,4	-
Aantal molekule/ sel	8	2	4	6

Die konformasies van α -, β - en γ -HMX word in figuur 2.1 weergegee. Daar is gevind dat die nitrogroepe in die ekwatoriale sowel as aksiale posisies is π . Die rede hiervoor is dat onderlinge elektrostatiese interaksies in die molekule ondervind word.



Figuur 2.1 : KONFORMASIES VAN α -, β - EN γ -HMX

HMX-digtheid, soos deur verskillende navorsers bepaal, word in Tabel 2.3 weergegee. Die hoë digtheid van β -HMX verklaar die goeie detonatiewe gedrag in vergelyking met RDX-bevattendes ($TMD_{RDX} = 1,806 \text{ g/cm}^3$).

Tabel 2.3 : DIGTHEDE VAN HMX-POLIMORFE

Bron	Digtheid (g/cm^3)			
	α	β	γ	δ
14 (X-straal)	1,838	1,902	1,78	1,786
14 (direk)	1,84	1,905	1,76	1,86
1	-	1,89-1,900	-	-
12	-	1,96	-	-
2	1,87	1,96	1,82	1,78
6	-	1,90	-	-
5	-	1,90	-	-

Die smeltemperatuur van HMX word in Tabel 2.4 gegee.

Tabel 2.4 : SMELTTEMPERATURE VAN HMX-POLIMORFE

Bron	Smeltpunt °C			
	α	β	γ	δ
1	-	285-287	-	-
6	-	273	-	-
5	-	276-280	-	-
9	256-257	246-247	278-280	280-281
10	-	280	-	-

2.4 TERMIESE EIENSKAPPE VAN HMX

Hierdie eienskappe is: termiese stabiliteit, fase-oorgange, afkookgedrag ('cook-off behaviour'), ontploffingstemperatuur en dampdruk.

Termiese stabiliteitstoetse behels bepalinge by hoë temperature. 'n Toetsmonster word vir 'n bepaalde tydsduur aan 'n hoë temperatuur onderwerp, en die massaverlies of gasvolume wat ontwikkel as gevolg van die termiese kondisies, is 'n weergawe van die stabiliteit van so 'n monster. Die volgende resultate vir β -HMX word rapporteer:

Tabel 2.5 : VAKUUMTERMIESE STABILITEIT VAN β -HMX

Toetskondisies	cm ³ gasontw.	Bron
48h @ 120 °C (1 g)	0,1-0,4	14
22h @ 120 °C (0.25 g)	0,01	1
48h @ 120 °C (1 g)	0,07	1
40h @ 120 °C (5 g)	0,45	6
40h @ 150 °C (5 g)	0,62	6
40h @ 100 °C (5 g)	0,37	5

Wanneer HMX vir 100 h teen 100 °C verhit word, word die volgende massaverlies ⁶ verkry, naamlik gedurende eerste 48 uur : 0,05%; tweede 48 uur : 0,03% en ontploffings in 100 uur : nul. HMX is termies meer stabiel ten opsigte van ontbinding as RDX, soos uit vergelykender stabiliteitstoetse blyk.

Termiese studies onderneem deur Kimura et al ¹⁶, toon dat die tempo waarteen HMX verhit word, bepaal in watter fase termiese ontbinding sal plaasvind. Soos die verhittingstempo toeneem, speel outokatalise 'n groter rol, en dus word die dekomposisie van HMX(l) meer beduidend. Waar vaste fase ontbinding van HMX die breek van C-N-bindings behels, breek dit volgens 'n molekulêre proses in die vloeistoffase, met gevolglike vorming van hidrosimetielformamied. Dit bevestig dus dat vinnige verhitting die N-N-binding makliker breek as die C-N-binding, ten spyte van die stabiliserende effek wat die nitraminogroep as gevolg van resonansie besit. Yumi et al ¹⁷ het gepoog om die ontbranding van HMX na te boots deur van hoë verhittingstempo's en druksimulasies

gebruik te maak. Vinnige skandeerspoed-FTIR is gebruik, en sodoende is die verval van NO_2 en HONO as gevolg van sekondêre ontbindingsreaksies gevolg. Die invloed van druk is ondersoek, aangesien dit bekend is dat druktoename gasfase-reaksies beperk ten opsigte van heterogene-fase-reaksies. Hierdie ondersoek het aangetoon dat HMX stadiger as RDX sublimeer by atmosferiese druk. Verder het dit bevestig dat C-N-bindingbreking met lae verhittingstempo's gepaard gaan (CH_2O en N_2O vorm), terwyl hoë verhittingstempo's tot die vorming van NO_2 aanleiding gee, wat N-N-bindingbreking impliseer. Onder verhoogde druk word dieselfde eindprodukte gevorm, behalwe dat $[\text{N}_2\text{O}]$ toeneem ten opsigte van $[\text{NO}_2]$, wat 'n afname in gasfase dekomposisie aandui. By verlaagde druk verdwyn sekondêre reaksies en bly aanvanklike produkonsentrasies dieselfde. Die rede daarvoor is dat diffusietempo van gasse verminder, dit wil sê minder reaksie vind plaas. Die vloeistoffase ontbindingstempo van HMX word as $10^{17.7}$ suurstofatome per sekonde tussen 271°C en 314°C gerapporteer, terwyl die ontbindingswarmte ΔH_{diss} as $52,7$ kcal/mol aangegee word ⁶. 'n Skandeerkalorimeter is gebruik om die dekomposisie van suiwer HMX in die temperatuurgebied 180°C tot 210°C te ondersoek ⁷. E_a is hieruit as $37,9$ kcal/mol en $\log_{10} \beta = 11,2$ bereken. 'n 2%-oplossing van HMX in nitrobenseen het 'n hoër dekomposisietempo aangedui, met $E_a = 44,9$ en $\log_{10} \beta = 16,0$. HMX in oplossing ontbind dus vinniger as suiwer HMX. Die induksieperiode van HMX geplaas op 'n verhitte oppervlak ⁷ is $1,7\text{s}$ (350°C); $5,3\text{s}$ (300°C); $10,0\text{s}$ (280°C) en $12,3\text{s}$ (275°C).

Dit, tesame met die feit dat HMX wat op 'n koper-oppervlak by 360 °C geplaas word nie ontbind nie, bewys dat HMX die titel "High Melting Explosive" gestand doen. Formaldehyd word as een van die hoofontbindingsprodukte van stadigverhitte HMX gerapporteer, wat C-N-klowing aandui.

Meyer ² rapporteer die volgende fase-oorgangstemperature en entalpieë:

Tabel 2.6 : FASE-OORGANGSGEDRAG VAN HMX

Oorgang	Temperatuurgebied °C	ΔH cal/g
α → δ	193 - 201	5,98
β → δ	167 - 183	7,90
γ → δ	167 - 182	2,26
α → β	116	1,92
β → γ	154	5,64
α → γ	-	3,71

Urbanski ⁷ gee dieselfde waardes weer, behalwe vir die oorgang γ → δ, waar 'n temperatuurgebied van 175 - 182 °C ter sprake is. Die temperatuurgebiede waarby die verskillende polimorfe die stabielste is, is:

β : kamertemperatuur tot 115 °C ($T_m = 246 - 247$ °C);

α : 115 -- 156 °C ($T_m = 256 - 257$ °C)

γ : 156 °C ($T_m = 278 - 280$ °C) en

δ : 156 °C T_m ($T_m = 280 - 281,5$ °C).

Cady ¹⁸ som die temperatuurgedrag van HMX, soos in PBX 9404 aangewend, as volg op:

- i) β -HMX transformeer nie na α -HMX by temperatuurgebiede waar α die stabielste polimorf is nie.
- ii) β -HMX transformeer ten volle na δ -HMX in temperatuurgebiede waar δ -HMX die stabielste is.
- iii) δ -HMX transformeer met afkoeling tot kamertemperatuur na α - en β -HMX.
- iv) Langtermyn-verhitting veroorsaak dat kristaldefekte in δ -HMX toeneem met gevolglike proporsionele toename in α -HMX of β -HMX met afkoeling.
- v) α -HMX skakel nie om na β -HMX nie. Tydverloop alleen sal dus nie meebring dat metastabiele polimorfe, soos α -HMX, na die stabiele β -HMX omskakel nie.

Hierdie faktore is belangrik ten opsigte van die aanwending van HMX.

Die afkooktemperatuur van HMX is die temperatuur waarby dit spontaan tot 'n snelchemiese reaksie sal oorgaan. Suiwer HMX sal, wanneer ingeperk, by 210 °C reageer ¹⁹, maar die aanwesigheid van RDX verlaag hierdie temperatuur. Die rede is dat RDX 'n eutektiese smelt van HMX by 192 °C vorm, wat onstabiel is en gevolglik spontaan tot 'n eksotermiese reaksie sal oorgaan. Die

negatiewe rol wat die aanwesigheid van RDX in HMX speel, word dus hierdeur beklemtoon.

HMX sal spontaan ontplof wanneer dit aan hoë temperature blootgestel word, byvoorbeeld binne 10 s by 306 °C; binne 5 s by 327 °C en binne 0,1 s by 380 °C ⁵.

Ander termiese eienskappe van HMX, wat vir hierdie ondersoek van belang is, sluit die volgende in:

HMX-vlam : Korobeinichev et al ¹⁹, beskryf HMX-verbrandingsreaksies in drie fases, naamlik:

- i) vloeistoffase-ontbinding van die nitramien en gedeeltelike verdamping daarvan na die gasfase,
- ii) gasfase ontbinding van die dampmolekule met die vorming van N₂, NO₂, N₂O en CH₂O,
- iii) interaksie van die formaldehyd met stikstofperoksied om CO, CO₂ en H₂O te vorm (vergelyk ook bespreking oor termiese dekomposisie). In die HMX-vlam word twee fases waargeneem, naamlik 'n ca. 5 μm donker sone bokant die kristaloppervlak (waar die HMX-damp ontbind), en 'n verdere breë helder vlamsone.

HMX-dampdruk : Tipiese HMX-dampdruk-waardes ¹⁴ is $0,032 \times 10^{-7}$ mmHg (by 97,6 °C) en $2,030 - 2,070 \times 10^{-7}$ mmHg (by 129,3 °C).

$\log P$ (mmHg) = $16,18 - (41890/4,576)T$ (K). Dobratz ¹ rapporteer 'n waarde van $0,03 \times 10^{-7}$ mmHg by 100 °C.

Termiese uitsettingskoëffisiënt : Die volgende waardes word deur Dobratz ¹ weergegee, naamlik :

50,4 $\mu\text{m/mK}$ (219 - 347 K) en 162,5 $\mu\text{m/mK}$ (243 - 343K).

HMX-gasvolume : Die gerapporteerde volume van 1 kg HMX-gas is 782 liter ¹² en 927 liter (STD) ².

2.5 DETONATIEWE EIENSKAPPE VAN HMX

Die detonatiewe eienskappe van HMX is daardie eienskappe wat met die ontploffingsgedrag daarvan verband hou. Hierdie eienskappe sluit detonasiesnelheid, detonasiekrag, detonasiedrukke en die minimum vereistes vir detonasie, in.

Die detonasiesnelheid D van 'n ploffstof is die snelheid waarteen die verbinding ontbind in die detonasie-ewewigstoestand. D word gewoonlik in m/s weergegee. Dit is 'n belangrike parameter waarteen die energieleweringsvermoë van 'n ploffstof gemeet kan word. As 'n algemene reël kan aangeneem word dat D digtheidsafhanklik is, dit is hoe hoër die digtheid hoe hoër D. Onderstaande tabel gee enkele gerapporteerde D-waardes aan. Teenstrydighede ten opsigte van digtheid-D-verband kan aan verskillende toetsmetodes wat gevolg is, toegeskryf word.

Tabel 2.7 : DETONASIESNELHEID VAN HMX

HMX-Digtheid g/cm ³	D m/s	Bron
1,84	9124	6
1,89	9110	14
1,90 (β)	9100	2
1,96	9159 (teor)	12

'n Verskeidenheid van tegnieke word gebruik om die 'drywing' van 'n plofstof te beoordeel. Sodanige werkvermoë word op verskillende maniere gerapporteer. 'Brisans' word gedefinieer as die verpletterende ('shattering') effek wat 'n plofstof tydens detonasie op sy onmiddellike omgewing het. Die 'sterkte' daarteenoor is die werkvermoë per tydseenheid, en is as sulks 'n eienskap van die plofstof self. In die geval van CHNO-brisantstowwe is hierdie twee eienskappe basies dieselfde ¹². Brisans kan deur die sogenaamde 'Sand-toets' ⁶ bepaal word. Volgens hierdie toets word 0,4 g plofstof in 'n houer saamgepers (akseptorlading) en dan deur 'n primêre brisantstof, byvoorbeeld loodasied, geïnisiëer in 'n bom met 200 g sand van 'n spesifieke, voorafbepaalde korrelgrootteverspreiding. Die massa primêre brandstof wat nodig is om te verseker dat die sand verpoeier tot 'n fyner korrelgrootte, word die sandtoetswaarde genoem. Die netto massa sand wat deur die akseptorlading verpoeier is, word verkry deur van die totale verpoeierde massa van die massa sand wat deur die detonator alleen vergruis word, af te trek. Sandtoetswaardes van 54,4 tot 60,4 g (teenoor 48 g vir TNT) word vir HMX gerapporteer ⁵. Detonasie-sterkte word deur middel van die

ballistiese slinger ('ballistic mortar') bepaal. Volgens die toets word die hoeveelheid toetsmonster wat nodig is om 'n swaar ballistiese slinger tot dieselfde hoogte as 10 g TNT te skiet, bepaal.

Die vergelyking : TNT-waarde = $(10 \times 100/X)\%$,
 waar x = toetsmonster-massa, is van toepassing. 'n TNT-waarde van 150% vir HMX word weergegee. 'n Ander metode om sterkte te bepaal, is die sogenaamde Trauzl-loodbloktoets ⁴. Volgens hierdie toets word 'n 10 g toetsmonster in 'n holte in 'n ontsilwerde, hoë kwaliteit loodblok gedetoneer, die gevolglike volume-vergroting as gevolg van die detonasie bepaal en as 'n persentasie van 'n ekwivalente gedetoneerde massa TNT uitgedruk. Tipiese loodblokresultate is 480 ml/10 g en 150% TNT ^{2.4}.

In die ideale detonasie-golffront bestaan 4 gebiede, naamlik:

- i) die leidende oppervlak, wat chemies onreaktief is (skokgolf) en met 'n nie-aaneenlopende gebied van hoë druk geassosieer word,
- ii) Die reaksiesone, waar die meeste chemiese reaksies plaasvind en sodoende die detonasie-energie vrystel,
- iii) die sogenaamde Chapman-Jouget-vlak (C-J-vlak) net agter die reaksiesone, en

- iv) die Taylor-verdunningsgolf, wat die uitsetting is wat op die C-J-toestand volg. Algehele termodinamiese ewewig word in die C-J-vlak aanvaar, en die detonasieprodukte is dan in die C-J-toestand. Detonasiedruk verwys na die C-J-druk, wat effens laer as die druk in die skokgolf is. Eksperimenteel word C-J-drukke indirek deur hidrodinamiese metodes bepaal. Gerapporteerde waardes ¹² is 390 kbar (gemeet) en 394 kbar (bereken, $TMD_{HMX} = 1,89 \text{ g/cm}^3$) en 395 kbar ($TMD_{HMX} = 1,90 \text{ g/cm}^3$).

Detonasie-energie kan met behulp van die kopersilindertoets bepaal word. Die kinetiese energie wat aan 'n wand van 'n kopersilinder, wat 'n konstante volume ploffstof omring, oorgedra word, word bepaal ¹. In hierdie opstelling van massa-verhouding ploffstof:metaal, word twee uiterste geometriese rangskikkings oorweeg vir energie-oordrag na die koperwand, naamlik

- i) 'n detonasiekomponent loodreg op die koperwand, en
- ii) 'n komponent parallel aan die metaal. Die effektiewe ontploffingsenergie ($E_{c\gamma 1}$) verskil vir die twee gevalle, vanweë die effek van die toestandsvergelyking van die detonasieprodukte. In die toetsopstelling word die metaalwandsnelheid as gevolg van die detonasie op 5mm- en 19mm-verplasing bepaal. Eersgenoemde gee die energie loodreg op die metaal, en laasgenoemde gee die energie parallel aan die wand. HMX ($TMD = 1,894 \text{ g/cm}^3$) lewer waardes in $[(\text{mm}/(\mu\text{s}))^2/2]$ van 1,410 (6mm) en 1,745 (19mm).

Die sensitiwiteit ten opsigte van inisiëring van 'n ploffstof kan op verskillende maniere bepaal word. Volgens die een metode word die 'Sandtoets' uitgevoer. Die massa primêre ploffstof wat nodig is om die toetsmonster te inisieer, lewer die sensitiwiteit ten opsigte van detonasie. So is bepaal dat minstens 0,30 g loodasied nodig is om HMX te detoneer ⁶.

Enige brisantstof moet ook 'n sekere deursnee besit voordat dit sal oorgaan tot detonasie. Hierdie grootte staan as die sogenaamde kritiese diameter van die ploffstof bekend, en vir HMX is die waarde 8 mm ².

2.6 SENSITIWITEITSEIENSKAPPE VAN HMX

Soos in die geval met alle chemiese verbindings, speel die stabiliteit van 'n formulering 'n deurslaggewende rol wanneer dit vir toepassing oorweeg word. 'n Verskeidenheid van tegnieke om brisantstowwe in terme van chemiese stabiliteit of te wel sensitiwiteit te karakteriseer, bestaan. Sensitiwiteit word altyd ten opsigte van 'n bepaalde stimulus gedefinieer en normaalweg is impak (meganiëse skok), wrywing (skuur), elektrostatiese ontlading (vonksensitiwiteit), en detonasieskok ter sprake.

Impaksensitiwiteit word met behulp van die sogenaamde valhamerapparaat bepaal. Die toetsapparaat bestaan gewoonlik uit 'n monsterhouer, 'n toetsmassa (gewoonlik 2,5 of 5 kg) en 'n vertikale spoor waarop die toetsmassa beweeg. 'n Bepaalde massa plofstof, gewoonlik 25 - 40 mg, word in die monsterhouer geplaas en die toetsmassa word op 'n bepaalde hoogte loodreg bokant die monsterhouer op die spoor bevestig. Die toetsmassa word dan losgelaat, waarna dit onder die invloed van swaartekrag op toetsmonster val. 'n Bepaalde impuls word aan die toetsmonster oorgedra en die gevolglike reaksie, indien enige, gemonitor, hetsy visueel, elektronies of audiovisueel. Indien geen reaksie plaasgevind het nie, kan óf die toetsmassa óf die afstand waaroor die massa laat val word, verhoog word. Deur stelselmatig die impuls op die toetsmonster te verhoog, word 'n sekere hoogte bereik waar die toetsmonster 'n reaksie sal ondergaan. Die tipe reaksie word gewoonlik nie beoordeel nie, maar slegs die gebeurtenis daarvan. Hierdie hoogte dien dan as beginpunt vir 'n statistiese 'Up and down' metode, waarvolgens daar tussen reaksie/geen reaksie-grense beweeg word. Sodoende word 'n statistiese hoogte vir 'n bepaalde toetsmassa vasgestel, waar die kans op 'n reaksie 50% sal wees. Die 50% hoogte (H_{50}) word in cm vir 'n bepaalde toetsmassa weergegee. Hoe hoër H_{50} hoe meer stabiel (onsensitief) is die plofstof ten opsigte van impak. Vanweë die verskeidenheid van toetsapparate wat in gebruik is, is die interpretering van resultate slegs sinvol indien die toetswaardes met dié van 'n standaard plofstof, gemeet op dieselfde apparaat by dieselfde instituut, vergelyk word.

Tabel 2.8 gee die literatuurwaardes vir suiwer HMX weer. Dit is duidelik dat HMX meer impaksensitief as TNT is. As die tipe 12 waardes van 26 cm vir HMX met dié van 'n ander standaard brisantstof, PETN, vergelyk word (dit is 12 cm) word 'n beter perspektief verkry ¹.

Tabel 2.8 : IMPAKSENSITIEWEITSWAARDES VAN SUIWER HMX

APPARAAT	H ₅₀ (HMX)	H ₅₀ (TNT)	BRON
Type 12 Tool LASL	26 cm	212 cm	14
Type 12B Tool LASL	37 cm	320 cm	14
Type 12 Tool LLL	33 cm	148 cm	1
Julius Peeters*	7,4 Nm	15 Nm	2
BM App. (2kg)	32 cm	95 cm	6
PA App.	22,8	35,6 cm	6

(*Hierdie metode van rapportering is waar die produkmasse (kg) met die hoogte (meter) vermenigvuldig word en dan in terme van Nm weergegee word.)

Die voorafgaande bespreking het op die impaksensitiwiteit van β -HMX gekonsentreer. Tabel 2.9 toon die gerapporteerde impaksensitiwiteitswaardes van die HMX-polimorfe. Ten spyte van die oënskynlike teenstrydighede, is die neiging ten opsigte van valhamersensitiwiteit $\delta > \gamma > \alpha > \beta$. Word die gerapporteerde waardes van δ -HMX met die van PETN vergelyk, kan gesien word dat dit van vergelykbare orde is, en uit die oogpunt van impaksensitiwiteit alleen is dit moeilik om uitsluitel te lewer oor die risiko's verbonde aan die gebruik van δ -HMX.

Tabel 2.9 : ’n VERGELYK TUSSEN DIE IMPAKSENSITIWITEITS-
WAARDES VAN HMX-POLIMORFE

TOETSAPPARAAT	$H_{50}(cm)$					BRON
	α	β	γ	δ	PETN	
Type 12 PA (2,5 kg)	15,6- 26,4	21,2- 24,9	13,8- 33,9	19,2	12	14
Bruceton (5 kg)	12	35	7	5	20	18
Type 12 LASL (2,5)	15- 28	28	14- 34	19- 22	14	18
Type 12B LASL	15- 56	33	12- 55	12- 88	17	18
Rotter (5 kg)	14- 60	80	16- 67	5- 44	50	18
Julius Peters (Nm)	2,0	7,35	2,0	1,0	3,0	9

'n Algemene tegniek om die wrywingsensitiwiteit van plofstowwe te ondersoek, is om 'n sekere massa vrylik oor 'n toetsmonster te skuur, en enige gevolglike gebeurtenis waar te neem. Die minimum massa wat benodig word om 'n reaksie in die toetsmonster teweeg te bring, word as 'n weergawe van die wrywingsensitiwiteit van die plofstof gerapporteer. 'n Waarde van 12 kg word vir HMX gerapporteer ², terwyl geen reaksie met 36 kg vir TNT aangegee word. 'n Verskeidenheid van ander toetstegnieke bestaan, maar dit konsentreer hoofsaaklik op groter, geprosesseerde ladings, byvoorbeeld geperste of gegote ladings. Die toetstegniek hierbo beskryf vind hoofsaaklik toepassing by primêre brisantstowwe, waar wrywing as 'n inisieëringsmeganisme gebruik kan word.

Die ontladingsensitiwiteit (E: spark sensitivity) van 'n plofstof word bepaal deur dit aan die hoë spanning-ontlading van 'n kapasitor bloot te stel. Die spanning (V) wat nodig is om 50% van die toetsmonster te inisieer, word bepaal. Die spanning kan deur die vergelyking $E = 0,5CV^2$ na energie in Joule herlei word, waar C die kapasitansie (in farads) is. Vir 'n opstelling waar van 'n geelkoper elektrode gebruik gemaak word ¹⁴, word waardes van 1,03 J en 2,75 J vir HMX en TNT onderskeidelik, weergegee.

Gapingstoetse bepaal die minimum detonasieskok wat nodig is om 'n akseptorlading van 'n toetsmonster te inisieer. Afhangend van die dimensionele grootte van die toetsmonster, kan gappingstoetse in twee klasse verdeel word, naamlik grootskaal-gappingstoetse (GSGT) en kleinskaalgappingstoetse (KSGT). 'n Tipiese gappingstoetsopstelling bestaan uit 'n detonator plus aanjaer, wat deur middel van 'n aantal koper- of perspex-spasieerders van die akseptorlading geskei word. Die akseptorlading word op 'n staalbewysblok geplaas, wat dan na afloop van die toets 'n aanduiding sal gee van die tipe reaksie wat die akseptor ondergaan het. Soos met valhamertoetse, word 'n statistiese, gemiddelde spasieëringdikte (G_{50}) gevind, waarby die waarskynlikheid van volledige inisiasie van die akseptor 50% is. Dit kan bepaal word deur 25 - 40 toetsmonsters te skiet en elke maal die aantal spasieërders te verander. Tabel 2.10 gee tipiese waardes vir HMX weer ¹⁴.

Tabel 2.10 : GAPINGSTOETSRESULTATE VAN HMX

HMX-digtheid (g/cm ³)	GSGT G_{50} (mm)	KSGT G_{50} (mm)
1,07	70,7	-
1,18	38,7	-
1,02 (15 μ m)	-	8,53
1,79	-	4,23
1,83	-	4,04

Heelwat navorsing word op die HMX-inisiasiemeganisme gedoen, ten einde die eksperimentele resultate in terme van chemiese beginsels te verklaar. Dit is veral impaksensitiwiteits-toetse wat ondersoek word, aangesien resultate baie teenstrydig of nie-eenduidig is. Miles et al ²⁰ het die vorming van vrye radikale in HMX tydens impaktoetse bestudeer. Die motivering is dat radikale meer energieryk en eksotermies reaktief is, en gevolglik vinnig met ander molekules via 'n kettingreaksie reageer om 'n detonasie te lewer. Reaksieverloop word as volg voorgestel, naamlik:

- i) ione, ensovoorts, maar spesifiek radikale, vorm eweredig verspreid agter die impak-skokfront,
- ii) kernvorming en groei vind plaas by punte waar genoegsame radikaalhoeveelhede gevorm is om 'n reaksie te kan onderhou en te laat voortplant, en
- iii) 'n genoegsame konsentrasie van opwekkingsenergieë laat sodanige reaksieposisies toe om tot 'n vinnig voortplantende eksotermiese reaksie oor te gaan.

Radikaalvorming kan deur meganiese inwerking gevorm word deurdat impak tot 'n hittedoename lei, wat as gevolg van vibrasie-opwekking atomiese herrangskikking ondergaan om sodoende radikale te vorm. As die tempo van hitte-ontwikkeling groter as die hitte-wegleidingstempo is, kan HMX tot detonasie oorgaan. 'n Verdere afleiding is dat die teenwoordigheid van megano-radikale nie noodwendig 'n voorwaarde vir inisiasie is nie, aangesien ESR-studies aangetoon het dat 'n verskeidenheid van reaksieweë as gevolg van impak kan ontstaan. Dit is bewys deur by lae temperature ESR-studies met valhamertipe apparate deur te voer, waar detonasies voorgekom het, alhoewel geen radikale waarneembaar was nie. Miles et al ²¹ het ook die impaksensitiwiteit van γ -bestraalde HMX ondersoek en die volgende reaksieweg voorgestel: impak \rightarrow meganiese swig \rightarrow brandpunt ('hot spot') \rightarrow snelchemiese reaksie \rightarrow detonasie. Daar is bevind dat 'n brandpunte 'n radius van ca. 10 nm het en dat die breek van kovalente bindings, en nie sekondêre bindings nie 'n rol tydens inisiasie speel. Die breek van primêre bindings is moontlik as gevolg van hoë skuiftempo's en gepaardgaande deformatsie as gevolg van impak. Verder is - bestraalde HMX baie meer impaksensitief as onbestraalde HMX. Dit bevestig die vorige stelling (bestraling impliseer primêre bindingbreking, dit wil sê radikaalvorming). Sensitiwiteit is eweredig aan bestralingsdosis, want bestraling van HMX lei tot

groot konsentrasies vrye radikale, met gepaardgaande toename in impaksensitiwiteit. Dit is egter nie net die teenwoordigheid van radikale wat die sensitiwiteit verhoog nie, maar ook die chemiese verbindings wat as gevolg van radikaalreaksies kan vorm. Dit is bevestig deur HMX te bestraal en dan genoegsame tyd vir radikaalreaksie toe te laat, totdat die radikaalkonsentrasies nie meer waarneembaar was nie. Die impaksensitiwiteit van die HMX was steeds van dieselfde orde as pas-bestraalde HMX.

2.7 HMX-SPEKIFIKASIE

Die vereistes waaraan HMX vir militêre toepassing moet voldoen, word in die sogenaamde produkspeksifikasie neergelê. Die HMX-speksifikasie stel die chemiese en fisiese vereistes waaraan die produk vir aanwending moet voldoen, daar. Sodoende word verseker dat die HMX in die toepassing korrek sal funksioneer. Die militêre speksifikasie vir HMX, soos in die VSA neergelê, word algemeen as 'n standaard aanvaar. Die speksifikasie, MIL-H-45444B, spreek die volgende vereistes aan ⁵ :

- i) Suiwerheid : Die MIL-speksifikasie onderskei tussen twee grade HMX, naamlik: Graad 1, met 'n suiwerheidsgraad van 93% (min) HMX en 7% (maks) RDX, en Graad 2, met 'n suiwerheidsgraad van 98% (min) HMX en 2% (maks) RDX. Die suiwerheidsgraad word bepaal deur 0,2 g HMX met 100 ml HMX-versadigde 1,2-dichloroëtaan te behandel. Die onoplosbare materiaal is suiwer HMX.

- ii) β -suiwerheid : Die HMX moet slegs uit die β -polimorf bestaan. Die bepaling word deur middel van dubbelstraal-infrarooi spektroskopie gedoen. 'n 5%-mengsel van fyngeaalde HMX in heksachlorobutadieën of tetrachloroëtileen word in 'n NaCl-sel geplaas, en 'n suiwer β -polimorf word in 'n verwysingsel geplaas. Die spektrum word vir absorpsiebande in die gebied 14,0 tot 14,3 mikron ondersoek. Indien α - of γ -HMX in hoeveelhede groter as 5% in die monster aanwesig is, sal absorpsie in hierdie gebied waargeneem word.
- iii) Smeltpunt : 'n Minimum smeltpunt van 270 °C (518 °F) word gespesifiseer, soos deur middel van 'n Fischer-Johns apparaat bepaal.
- iv) Asetoon-onoplosbares : Die totale massa-% asetoon onoplosbares van 'n monster mag nie 0,05% oorskry nie. Die bepaling word gedoen deur 10 g HMX in 400 ml warm asetoon op te los, en dan te filtreer.
- v) Anorganiese onoplosbares : Die anorganiese onoplosbares mag nie 0,03% oorskry nie. Die bepaling word gedoen deur die asetoon-onoplosbares te verkool en die oorblywende massa terug te weeg.

- vi) Onoplosbare partikels : Geen asetoon-onoplosbare partikels mag te groot vir deurlating deur 'n sif met ca. 400 μm opening wees nie, en nie meer as 5 partikels mag op 'n sif met 250 μm opening agterbly nie. Die bepaling word gedoen deur 50 g HMX in 'n Soxhlet-apparaat op te los en dan nie onoplosbare materiaal deur die betrokke siwe te borsel.
- vii) Suurheid as asynsuur : Die suurheid moet minder as 0,02% wees, en word bepaal deur die HMX in asetoon op te los, met water tot 'n verhouding 4:1 asetoon:water te verdun, en dan met 0,05 N NaOH te titreer.
- viii) Granulasie : Die MIL-spesifikasie skryf ses HMX-klasse, gebaseer op verskillende kristalgrootteverspreidings, voor. Die granulasie word deur 'n meganiese natsifproses bepaal, waar van HMX-versadigde etanol met 'n benattingsmiddel gebruik gemaak word om die HMX-kristalle deur die siwe te was. Die granulasievereistes verskyn in Tabel 2.11.

Tabel 2.11 : MIL-VEREISTES VIR HMX-GRANULASIE

DEURGELAAT		KLASSE (alle % massa/massa)					
VSA Standaard Sif Nr ASTM E-11	Opening μm	1	2	3	4	5	6
8	2360	-	-	-	100	-	-
12	1700	-	-	90 min	85 min	-	99 min
35	500	-	-	-	25 +/-15	-	-
50	300	90 +/-6	100	40 +/-15	-	-	96 +/-15
100	150	50 +/-10	-	20 +/-10	15 maks	-	65 +/-15
120	125	-	-	98 min	-	-	30
200	75	20 +/-6	-	10 +/-10	-	-	30 +/-15
325	40	8 +/-15	75 min	-	-	98 min	15 +/-10

HOOFTUK 3

KARAKTERISERING VAN HMX VIR PBX-AANWENDING

Die HMX in hierdie ondersoek gebruik, word aan die hand van eksperimenteel verkreeë waardes gekarakteriseer. Die benadering wat gevolg word, is dat volledige karakterisering nie nodig is indien die HMX aan 'n aanvaarbare spesifikasie voldoen nie. Die beskikbare produk word slegs volgens die spesifikasie, wat op MIL-H-45444B gebaseer is, geanaliseer. Die motivering vir hierdie benadering is in die funksie van 'n spesifikasie geleë, met ander woorde dat dit die minimum vereistes wat 'n chemiese produk uniek karakteriseer, moet vervat. Kortom gestel, HMX wat aan spesifikasie voldoen, voldoen ook aan die ander eienskappe soos in die literatuur genoem.

3.1 HMX-ANALISE

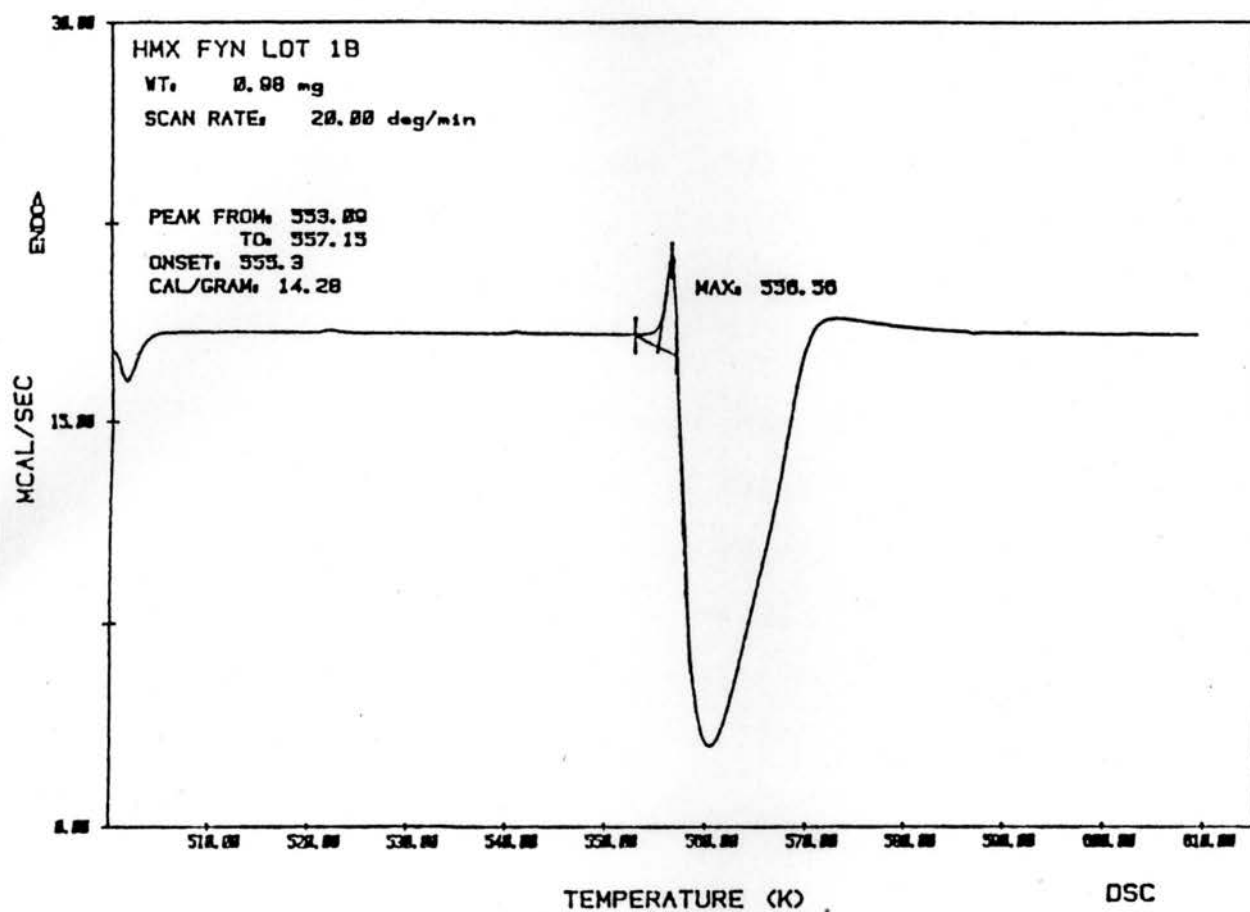
Die plaaslike HMX-spesifikasie stem grootliks met MIL-H-45444B ooreen, behalwe dat die suiwerheidsgraad van die β -polimorf nie plaaslik bepaal word nie, en dat twee addisionele korrelgrootte-klasse tot die spesifikasie toegevoeg word, naamlik HMX Klasse 7 en 8. Die volgende analyses word uitgevoer :

i) HMX-inhoud

Die RDX-inhoud van 'n monster word met behulp van hoëdrukvlloeistofchromatografie bepaal, deur van DMF as interne standaard en H₂O/MeOH as mobiele fase gebruik te maak ($\lambda = 230 \text{ nm}$). RDX het 'n retensietyd van 4-5 minute, terwyl DMF na 9-10 minute te voorskyn kom. Die RDX-inhoud word deur middel van integrasie volgens die interne standaard-metode bereken, waarna % HMX = 100 - % RDX. 'n Minimum van 98 % (dit wil sê HMX Graad B) word gespesifiseer. Die volgende waardes is eksperimenteel verkry, naamlik : 100%; 99,82%; 99,94%; 100%; 99,73%; 100% en 100%.

ii) Smeltpunt

Die smeltpunt van 'n HMX-monster word met behulp van 'n DSC-apparaat bepaal deur die temperatuurgebied 500K tot 600K teen 20K/min te skandeer. Die aanvang van die endotermiese piek word as die HMX-T_m aanvaar, en dit moet hoër as 277°C wees om aan spesifikasie te voldoen. Die volgende smeltpunte is gemeet (°C) : 281,56; 281,19; 284,16; 281,56; 280,43; 280,43; 281,04 en 282,28. Figuur 3.1 toon sodanige termiese spektrum.



Figuur 3.1 : DSC-SPEKTRUM VAN HMX

iii) Totale onoplosbares in aseton

Die bepaling word gedoen deur 10 g (m) HMX in 400 cm³ aseton op te los en dan te filtreer deur 'n kroesie (massa m₁). Die massa van die residu word dan na

droging bepaal (m_2). Die %-asetoon-onoplosbares is $[(m_2 - m_1) \times 100] / m$. Die verkreë waarde mag nie 0,05 % oorskry nie. In die praktyk is die volgende waardes (%) verkry : 0,015; 0,01; 0,00; 0,01; 0,00; 0,02 en 0,03.

iv) Anorganiese onoplosbares

Die anorganiese onoplosbares word verkry deur die residu (vorige paragraaf) te veras ($600-800^\circ\text{C}$) en dan die massa van die kroesie te bepaal (m_3). Die %-anorganiese onoplosbare stowwe is $[(m_3 - m_1) \times 100] / m$. In alle eksperimentele gevalle is 0,00 % anorganiese stowwe verkry.

v) Onoplosbare partikels

Die onoplosbare partikels word bepaal deur 20 g HMX in 250 cm^3 asetoon in 'n Soxhlet-tregter op te los en dan die onoplosbare partikels na 'n $250 \mu\text{m}$ sif oor te plaas. Hoogstens 5 partikels mag aanwesig wees. Die oorblywende partikels word dan op 'n $400 \mu\text{m}$ sif oorgeplaas en getel. Geen partikels van hierdie grootte-orde mag aanwesig wees nie. In alle gevalle kon geen onoplosbare partikels waargeneem word nie.

vi) Suurheid as CH_3COOH

10 g (M) HMX word in 500 cm^3 asetoon opgelos, waarna gedistilleerde water en metielrooi-indikator bygevoeg word. Die mengsel word dan met 0,0159M NaOH getitreer tot geel (T_1). 'n Blanko bepaling word ook gedoen, maar sonder die opgeloste HMX (T_2).

% Suurheid = $M^{-1}(6,0 \times (T_1 - T_2) \times X \text{ mol/cm}^3 \text{ NaOH})$. Die spesifikasielimiet is 0,02% (maksimum). In geen geval is waarneembare CH_3COOH gerapporteer nie.

vii) Vogbepaling

Die voginhoud van 'n monster word slegs ter inligting deurgevoer, en vorm nie deel van 'n spesifikasie nie (slegs vir verpakking). Die vogbepaling word in 'n Brabender-apparaat uitgevoer deur 10 g HMX af te weeg, vir 2 ure by 100 °C te droog, en dan terug te weeg. Die lesing op die Brabenderoond gee dan die %-vog. Tipiese vog wissel tussen 0,01% en 10%.

viii) HMX-korrelgroottes

Vanweë die belangrikheid van hierdie eienskap, word dit as 'n aparte gedeelte behandel.

3.2 HMX-KORRELGROOTTES

Die plaaslike HMX-spesifikasie maak vir 8 klasse korrelgrootteverspreidings voorsiening. Die klasse word in Tabel 3.1 uiteengesit.

Tabel 3.1 : HMX-KRISTALGROOTTEVERSPREIDINGS VOLGENS SPESIFIKASIE

GRANULASIE	% (massa/massa) DEURGELAAT							
	HMX-Klas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2,36 mm	-	-	-	100	-	-	-	-
1,70 mm	-	-	99min	85min	-	99min	-	-
500 µm	-	-	-	10-40	-	-	-	-
300 µm	84-96	100	25-55	-	-	90min	-	-
150 µm	40-60	-	10-30	15 maks	-	50-80	-	-
125 µm	-	98min	-	-	-	-	-	-
75 µm	14-26	-	0-20	-	-	15-45	5maks	-
60 µm	-	-	-	-	-	-	-	95min
45 µm	3-13	75min	-	-	98min	5-25	-	80-98
35 µm	-	-	-	-	-	-	-	55-95
20 µm	-	-	-	-	-	-	-	5-45
15 µm	-	-	-	-	-	-	-	2-18
10 µm	-	-	-	-	-	-	-	10maks
Tussen 75 en 150 µm	-	-	-	-	-	-	95min	-

Die spesifikasie is in ooreenstemming met MIL-H-45444(B), behalwe dat Klasse 7 en 8 vir spesiale toepassings bygevoeg is. Alle klasse word uit Klas 3 verwerk. Klas 3 kan as 'n relatief growwe produk beskou word (sien SEM-foto's van klasse). Die ander 'growwe' Klasse (dit is Klasse 1,4,6 en 7) is vir die doeleindes van hierdie navorsing deur middel van 'n meganiese natsifproses uit klas 3 gesif en saamgestel. Die ander 'fyn' Klasse 2, 5 en 8 is met behulp van asetoon-herkristallasie uit Klas 3 verkry. Die streng spesifikasie van Klas 5 maak dat klein hoeveelhede HMX geherkristalliseer moet word, wat dit 'n relatief duur produk maak.

'n Natsiftegniek is gevolg om die korrelgrootteverspreiding te bepaal. Die gespesifiseerde siwwe word opgestel, met die grofste sif aan die bokant en die fynste sif onder. Die monster word dan met behulp van 'n sproeier met 10%-Teepol-oplossing deur die siwwe gewas deur 'n loodregte watersproei met betrekking tot sifoppervlak. 500 g monster word in duplikaat gesif. Die drooggesuigde monster op elke siffraksie word bepaal deur dit in 'n olie-oond by 100°C vir 15 minute te droog. Die massa-% monster wat op elke siffraksie behoue bly, word dan bereken. Die resultate verskyn in Tabel 3.2.

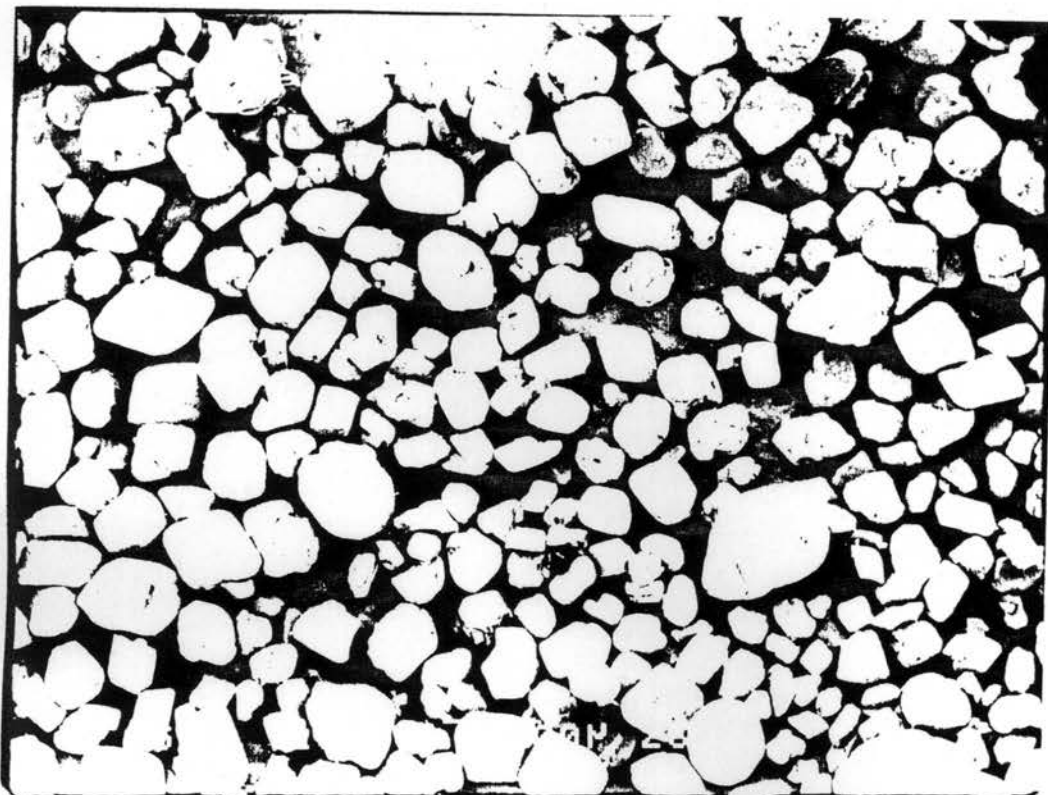
Tabel 3.2 : EKSPERIMENTELE HMX-KRISTALGROOTTEVERSPREIDINGS

HMX KLAS	SPESIFIKASIE		RESULTAAT
	SIFGROOTTE (μm)	DEURGELAAT (%)	DEURGELAAT
1	300	84 - 96	90,2
	150	40 - 60	50,6
	75	14 - 26	16,6
	45	3 - 13	10,7
2	300	100	100
	125	98 min	100
	45	75 min	95,1
3	1700	99 min	100
	300	25 - 55	49,5
	150	10 - 30	15,1
	75	0 - 20	6,0
4	2360	100	100
	1700	85 min	100
	500	10 - 40	31,7
	150	15 maks	2,2
5	45	98 min	99,8
6	1700	99 min	100
	300	90 min	94,6
	150	50 - 80	68,2
	75	15 - 45	28,3
	45	5 - 25	17,2
7	150 - 75	95 min	95
	75	5 maks	5
8	60	95 min	99,5
	45	80 - 98	95,0
	35	55 - 95	80,0
	20	5 - 45	21,0
	15	2 - 18	11,5
	10	10 maks	7,5

Indien die SEM-foto's van die onderskeie klasse bestudeer word, kan duidelike verskille waargeneem word. Die fyner klasse toon eweredige kristalgrootteverspreidings, terwyl die growwer klasse oneweredige kristalvorms en -groottes openbaar. Tweelingkristalle is opvallend by die growwe (ongeherkristalliseerde) klasse. Verder is die Klas 3-kristalvorm opvallend by die growwer klasse, aangesien die klasse daaruit gesif en saamgestel is. Figuur 3.2 toon die SEM-foto's van die HMX-klasse.



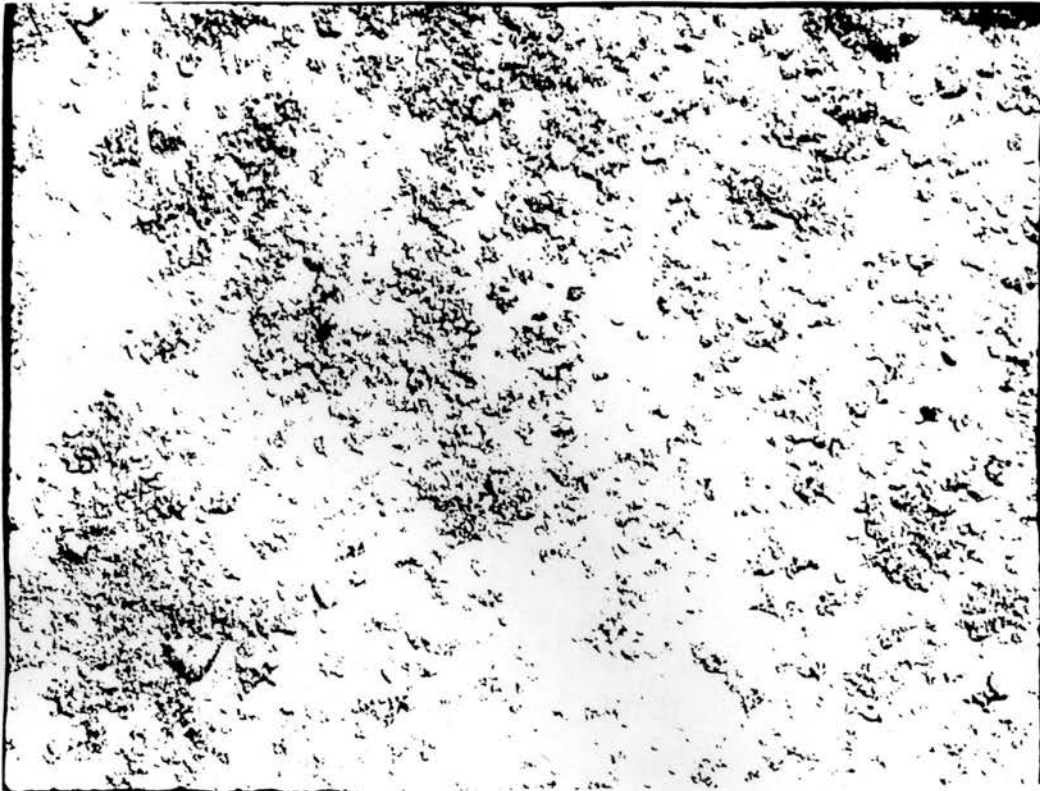
Figuur 3.2 : SEM-FOTO VAN HMX-KLAS 1 (20 x VERGROOT)



Figuur 3.2 (vervolg) : SEM-FOTO VAN HMX-KLAS 3
(20 x VERGROOT)



Figuur 3.2 (vervolg) : SEM-FOTO VAN HMX-KLAS 2
(20 x VERGROOT)



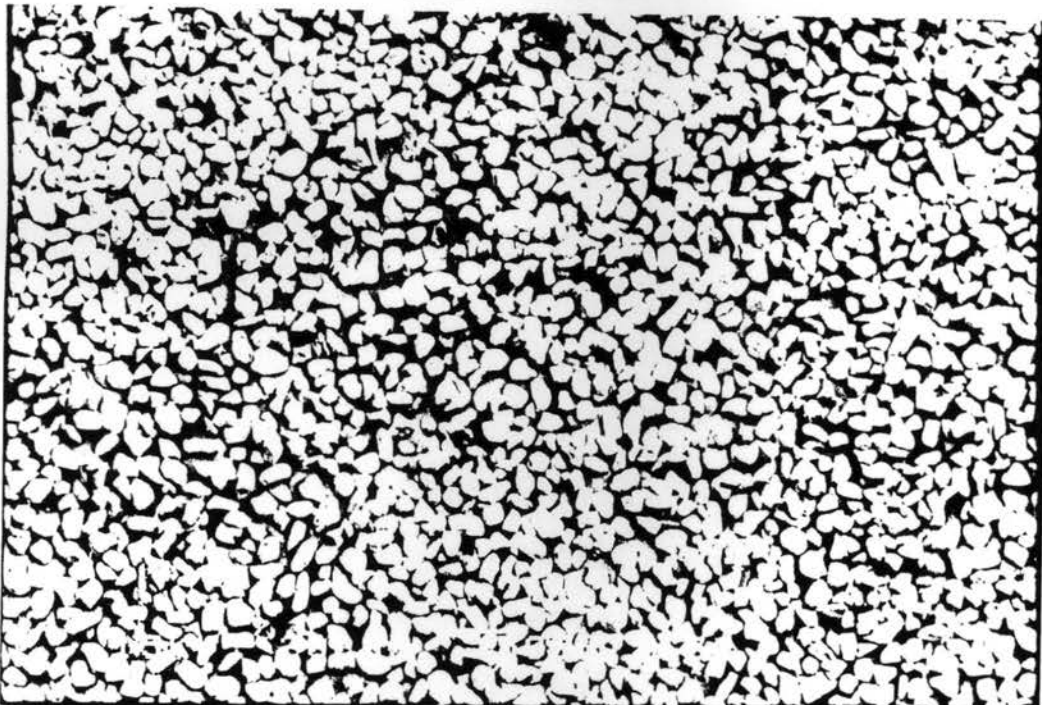
Figuur 3.2 (vervolg) : SEM-FOTO VAN HMX-KLAS 5
(20 x VERGROOT)



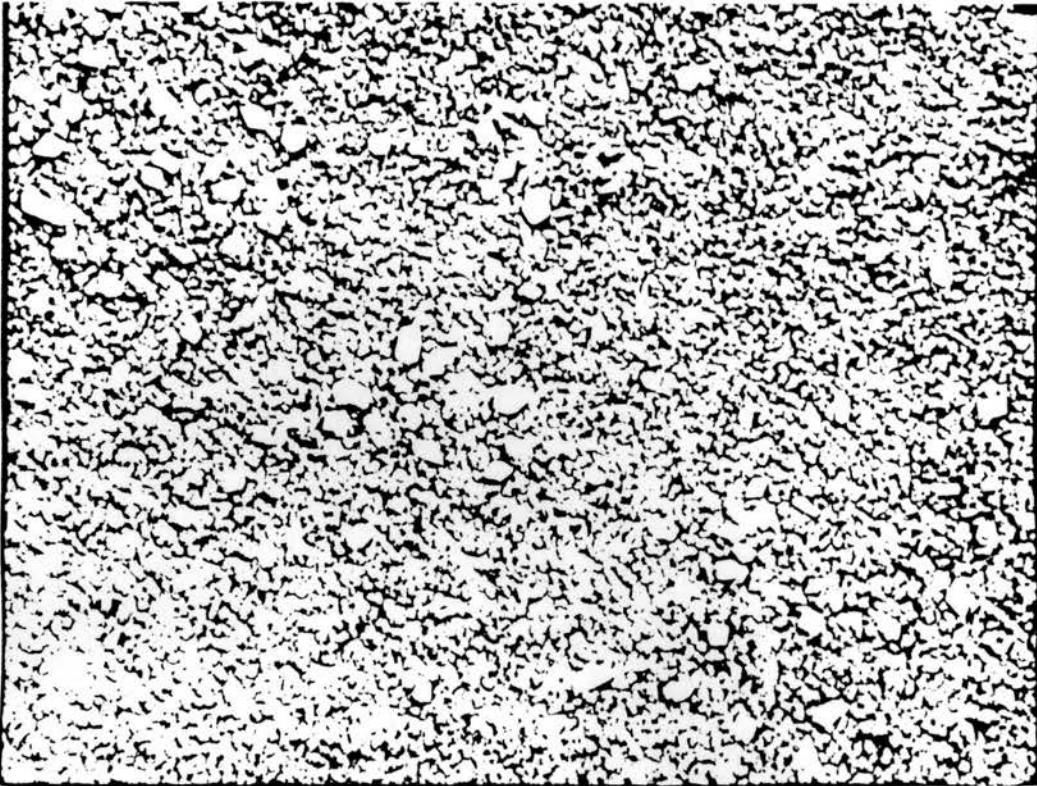
Figuur 3.2 (vervolg) : SEM-FOTO VAN HMX-KLAS 4
(20 x VERGROOT)



Figuur 3.2 (vervolg) : SEM-FOTO VAN HMX-KLAS 6
(20 x VERGROOT)



Figuur 3.2 (vervolg) : SEM-FOTO VAN HMX-KLAS 7
(20 x VERGROOT)



Figuur 3.2 (vervolg) : SEM-FOTO VAN HMX-KLAS 8
(20 x VERGROOT)

3.3 PAKKINGSDIGTHEID-ONDERSOEK

Pakkingsdigtheid word as die massa materiaal per gegewe volume gedefinieer en spesifiek vir die doeleindes van die ondersoek, die massa HMX-kristalle per eenheidsvolume, uitgedruk in gram per kubieke sentimeter (g/cm^3). Daar word tussen twee tipes pakkingsdigthede onderskei, naamlik ware pakkingsdigtheid (E: bulk density) en stampdigtheid (E: packing density). Die verskil is dat, vir eersgenoemde, die digtheid van die natuurlike toestand geïmpliseer word, terwyl die stampdigtheid na 'n alternatiewe vorm van digtheid verwys. 'n Voorbeeld van stampdigtheid is die digtheid wat ná kompaksie van materiaal verkry word. Stampdigtheid is gewoonlik hoër as natuurlike

pakkingsdigtheid. In hierdie ondersoek beteken pakkingsdigtheid stampdigtheid. Vanweë die verskeidenheid van HMX-klasse het die vraag ontstaan watter klas die mees geskikste vir aanwending as die brisantstofkomponent van die PBX sal wees. Alhoewel daar literatuurverwysings na HMX-klasse vir PBX-aanwending bestaan, is dit nie van toepaslike nut nie, as gevolg van die wye kristalgrootte-bande van die klasse, asook die verskille wat ten opsigte van klasvoorbereiding bestaan. Verder word die kristalvorm nie in die spesifikasie aangespreek nie. 'n Ondersoek na die pakkingsdigtheid van die onderskeie klasse is onderneem om sodoende enige verbande met pakkingsdigtheid te kan herlei.

'n Literatuurondersoek na die pakking van HMX-kristalle is onderneem om sodoende 'n benadering ten opsigte van die studie daar te kan stel. Teoretiese modelle om die optimum pakkingsdigtheid te verkry, kan slegs met 'n mate van akkuraatheid vir die PBX-formulerings met tot 86% brisantstofinhoud gebruik word ²². Hier word egter na ca. 95% HMX gekyk, waarvoor die kubiese pakmodel die mees akkurate voorspelde waarde sal lewer. Volgens die kubiese pakmodel sal die optimum pakking verkry word as daar van multimodale sisteme, in plaas van monomodale kristalgrootteverspreidings gebruik gemaak word. In die geval van bimodale sisteme sal 'n optimum pakking verkry word as die dimensionele

kristalgrootteverhouding van growwe:fyn materiaal 10:1 is. Selfs in die geval van die kubiese pakmodel word egter nie-realistiese aannames gemaak naamlik dat alle partikels sferies en monodispers is, en dat die kubiese pakking uniform is. Verder berus voorafberekings van die teoretiese maksimum digtheid (TMD) van PBX-samestellings op die volgende aannames, naamlik dat die vermenging van die komponente homogeen is; dat alle ruimtes met polimeer gevul is; dat geen inkrumping of strekking van die PBX na homogenisering (in dié geval persing) plaasvind nie en dat die grootte van die pakmodel van die brisantstof (HMX) goed gedefinieer is. Hieruit kan voorspel word dat digtheidsvoorspellings vir geperste ladings nie akkuraat sal wees nie, aangesien die aannames nie sondermeer vir persbare PBX sal geld nie.

'n Meer teoretiese benadering²³ word ook gevolg, waar die maksimum pakking deur die ruimtes tussen die materiaal, en die verhouding van die growwe:fyn fraksies van die materiaal bepaal word. 'n Teoretiese vergelyking vir die verkryging van maksimum pakking van growwe:fyn materiaal is vanuit hierdie aannames afgelei, oorspronklik vir toepassing in die sement- en beton-industrieë. Hiervolgens lewer twee komponente van ooreenstemmende digtheid die maksimum pakking waar die verhouding van die growwer komponent in die absolute volume van pakking $[1/(1+V)]$ is, waar V die absolute totale volume van die

vrye ruimtes in die eenheidsvolume is. Die teorie en die praktyk stem die beste ooreen waar die materiaalkomponent volkome deur 'n bepaalde sif gelaat word, maar op 'n volgende sif, met sifopening $1/(2)^{0.5}$ maal dié van eersgenoemde sif, agterbly. Vir 'n bepaalde bimodale grootteverspreiding geld $1/(1+V)$ steeds, maar die byvoeging van fyner materiaal behoort nie die totale eenheidsvolume te beïnvloed nie.

Uit voorafgaande twee paragrawe kan die volgende afleidings gemaak word, naamlik :

- i) Dit is duidelik dat hoër pakkingsdigthede verkry sal word deur van multimodale in plaas van monomodale kristalgrootteverspreidings gebruik te maak. Vir ideale bimodale sisteme blyk 'n verhouding van 10:1 tot 5:1 van grof:fyn korrelgroottes 'n optimum te wees.
- ii) Die gepostuleerde modelle maak van ideale aannames gebruik, byvoorbeeld sferiese kristalle en uniforme korrelgroottes. In 'n vorige afdeling is die nie-ideale korrelgrootteverspreidings van die HMX-klasse reeds geïdentifiseer.

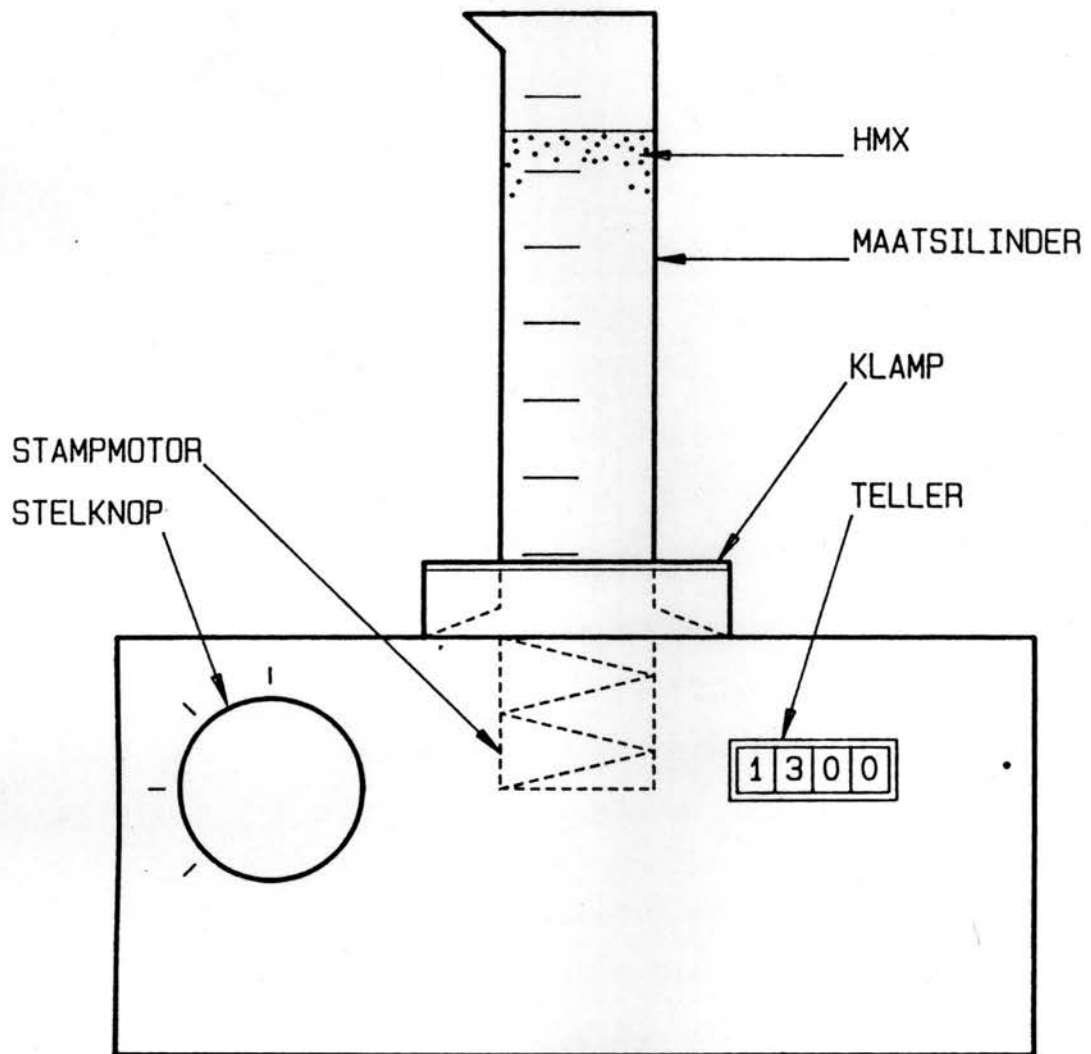
Daar is gevolglik besluit om ten einde eers slegs die effek van klasvermenging te ondersoek, op bimodale kristalgrootteverspreidings te konsentreer, en die beskikbare HMX-klasse in twee hoofgroepe te verdeel, naamlik growwe klasse

(klasse 1,3,4 en 6) en fyn klasse (2,5 en 8). HMX klas 7 is, vanweë die intermediêre kristalgrootteverspreiding daarvan, nie vir die ondersoek oorweeg nie. Die massaverhouding grof:fyn is aanvanklik in die gebied 5:1 tot 9:1 ondersoek om sodoende moontlike tendense te identifiseer. Verder is die pakdigtheidsbepalings op alle suiwer klasse uitgevoer. Die gebiede van optimum pakking is hierna in meer detail ondersoek. Aangesien die doelwit van die ondersoek die verkryging van 'n geperste PBX met 97% TMD is, is daar eers ná die verkryging van bogenoemde resultate uitsluitel oor die doenlikheid van die ondersoek, verkry.

'n Stampvolumemeter (figuur 3.3) is vir die ondersoek gebruik. Die metode wat gevolg is, begin deur vogtige HMX-kristalle vir 'n bepaalde tydskuur by 100 °C te droog, totdat geen massaverlies met tydverloop as gevolg van vogafdrywing meer waarneembaar is nie. 100 g Droë HMX word kwantitatief in die gekalibreerde maatsilinder gelaai, en die oppervlak daarvan liggies gelyk gedruk. In die geval van multimodale sisteme word 'n 100 g monster saamgestel deur die bepaalde massaverhouding wat ondersoek moet word, vooraf deeglik te vermeng. Die maatsilinder word dan in die stamper vasgeklem en aan 1300 stampsiklusse onderwerp, waartydens die

brisantstofkristalle tot 'n toestand van minimum pakking gestamp word. Die volume, V , van die gepakte korrels in die maatsilinder word ten slotte afgelees, en die pakkingsdigtheid ($100/V, \text{g/cm}^3$) bereken. Hieruit kan afgelei word dat kristalgrootteverspreiding met hoër pakking die minimum volume sal beslaan. Geen kristalfrakturering of verpoeiering vind tydens die stampproses plaas nie, en dus word die aanname gemaak dat die onderskeie klasse se sifsamestelling nie as gevolg van die stampaksie verander het nie.

Eksperimenteel is twee groepe HMX-klasse, naamlik grof (klasse 1,3,4 en 6) en fyn (klasse 2, 5 en 8) ondersoek. Tabel 3.3 toon die bimodale kombinasies wat ondersoek is.



Figuur 3.3 : STAMPVOLUMEMETER VIR PAKKINGSDIGTHEID-
ONDERSOEK

Tabel 3.3 : BIMODALE HMX-KLASKOMBINASIES VIR PAKKINGS-
ONDERSOEK

HMX Klas (grof)		1	3	4	6
HMX klas (fyn)	2	Ja	Ja	Nee	Ja
	5	Nee	Ja	Nee	Nee
	8	Ja	Ja	Ja	Ja

Vanweë die soortgelykheid van HMX-klasse 2 en 5, asook die relatiewe duur koste van Klas 5, is daar net met Klas 3 kombineer ten einde die verbande te verifieer. Klas 4 is nie intensief ondersoek nie, vanweë die problematiek verbonde aan die daarstelling van hierdie klas (besondere growwe kristalle, wat uit die fyner Klas 3 saamgestel moet word). Dit is reeds gemeld dat Klas 7 vanweë die intermediêre kristalgrootte daarvan, nie vir die bimodale ondersoek oorweeg is nie.

Die resultate van die ondersoek na die suiwer (monomodale) klasse word in Tabel 3.4 weergegee. Die fyner klasse het laer pakking as die growwe klasse. Dit kan aan die meer uniforme kristalgrootteverspreiding daarvan, en die groot oppervlakte:volume-verhouding relatief tot die growwe klasse toegeskryf word. Klas 4 het die hoogste pakking, wat aan die spesifikasie-ingeboende multimodaliteit daarvan toe te skryf is (die wye kristalgrootteband).

Daar is vervolgens 'n ondersoek na bimodale sisteme onderneem deur verskillende grof:fyn verhoudings in die massaverhoudingsinterval 60:40 tot 90:10 saam te stel en pakkingsdigtheidsbepalings daarop uit te voer. Die resultate verskyn in Tabelle 3.5 tot 3.8, asook in figuur 3.4.

Tabel 3.4 : SUIWER HMX-KLASSE SE PAKKINGSDIGTHEDE

HMX Klas	Tipe	Pakkingsdigtheid (g/cm ³)
1	Grof	1,223
3	Grof	1,195
4	Grof	1,350
6	Grof	1,222
2	Fyn	0,875
5	Fyn	0,915
8	Fyn	1,007
7	Intermediêr	1,143

Tabel 3.5 : PAKKINGSDIGTHEID VAN HMX KLAS 3-GEBASEERDE BIMODALE MENGSELS

HMX Klas 3 % m/m	HMX Klas 2 % m/m	HMX Klas 5 % m/m	HMX Klas 8 % m/m	Pakkings- digtheid g/cm ³
60	40	-	-	1,280
70	30	-	-	1,323
80	20	-	-	1,303
90	10	-	-	1,241
60	-	40	-	1,242
70	-	30	-	1,324
80	-	20	-	1,312
90	-	10	-	1,251
60	-	-	40	1,242
70	-	-	30	1,282
80	-	-	20	1,260
90	-	-	10	1,240
70	30	-	-	1,270
72	28	-	-	1,270
74	26	-	-	1,281
76	24	-	-	1,281
78	22	-	-	1,301
80	20	-	-	1,281
70	-	30	-	1,290
72	-	28	-	1,292
74	-	26	-	1,303
76	-	24	-	1,324
78	-	22	-	1,312
80	-	20	-	1,313
70	-	-	30	1,271
72	-	-	28	1,293
74	-	-	26	1,292
76	-	-	24	1,280
78	-	-	22	1,270
80	-	-	20	1,270

Tabel 3.6 : PAKKINGSDIGTHEID VAN HMX KLAS 1-GEBASEERDE BIMODALE MENGSELS

HMX Klas 1 % m/m	HMX Klas 2 % m/m	HMX Klas 5 % m/m	Pakkings- digtheid g/cm ³
60	40	-	1,160
70	30	-	1,186
80	20	-	1,212
90	10	-	1,241
60	-	40	1,177
70	-	30	1,213
80	-	20	1,213
90	-	10	1,241

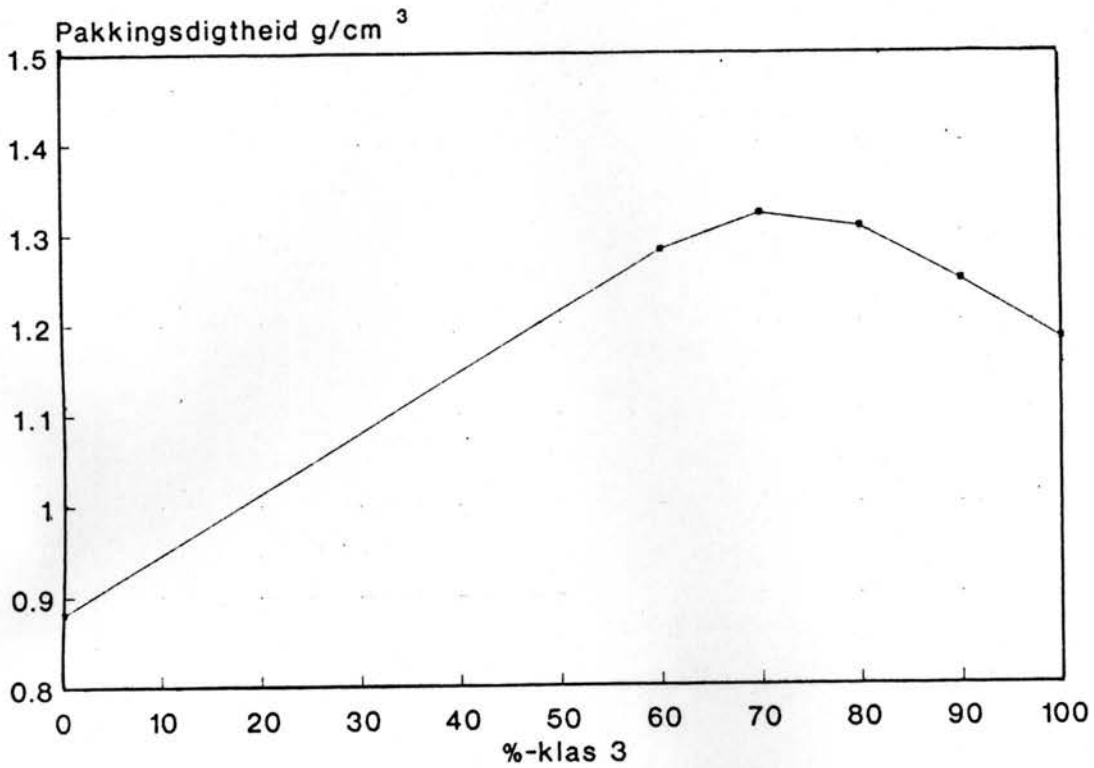
Tabel 3.7 : PAKKINGSDIGTHEDE VAN HMX KLAS 6-GEBASEERDE BIMODALE MENGSELS

HMX Klas 6 % m/m	HMX Klas 2 % m/m	HMX Klas 8 % m/m	Pakkings- digtheid g/cm ³
60	40	-	1,090
70	30	-	1,144
80	20	-	1,186
90	10	-	1,213
60	-	40	1,067
70	-	30	1,136
80	-	20	1,186
90	-	10	1,196

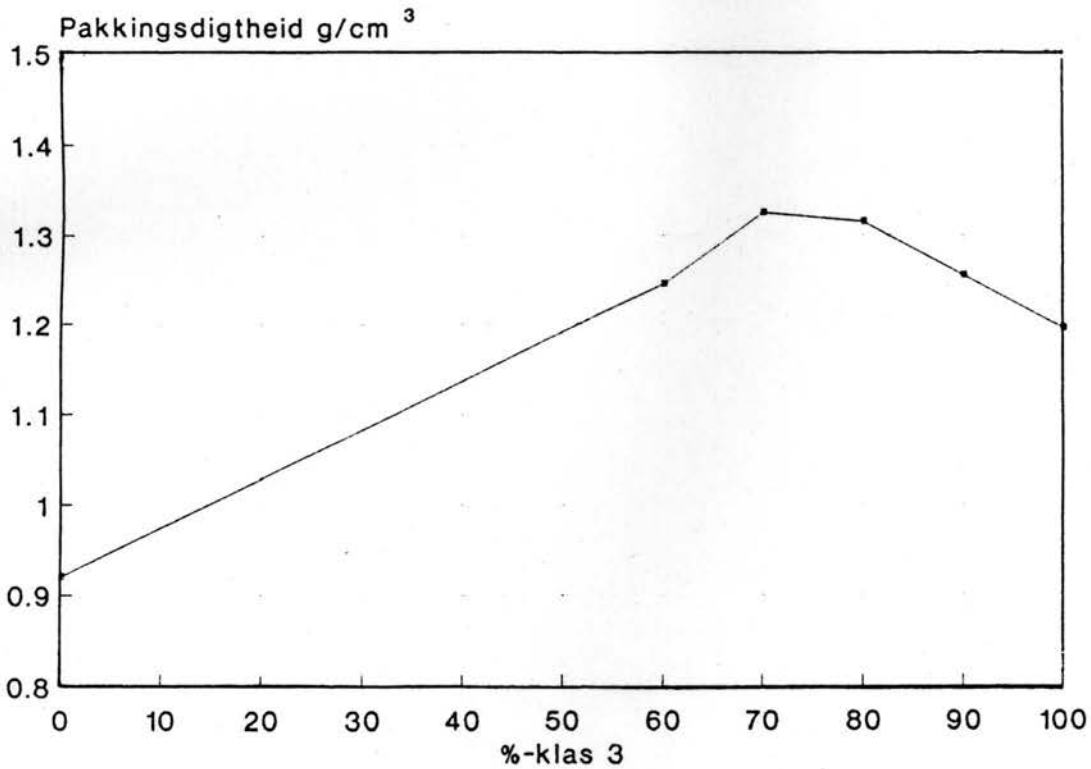
Tabel 3.8 : HMX KLASSE 4 EN 8-PAKKINGSDIGTHEDE

HMX Klas 4 % m/m	HMX Klas 8 % m/m	Pakkings- digtheid g/cm ³
60	40	1,350
70	30	1,351
80	20	1,350

HMX Klas 3 vs Klas 2

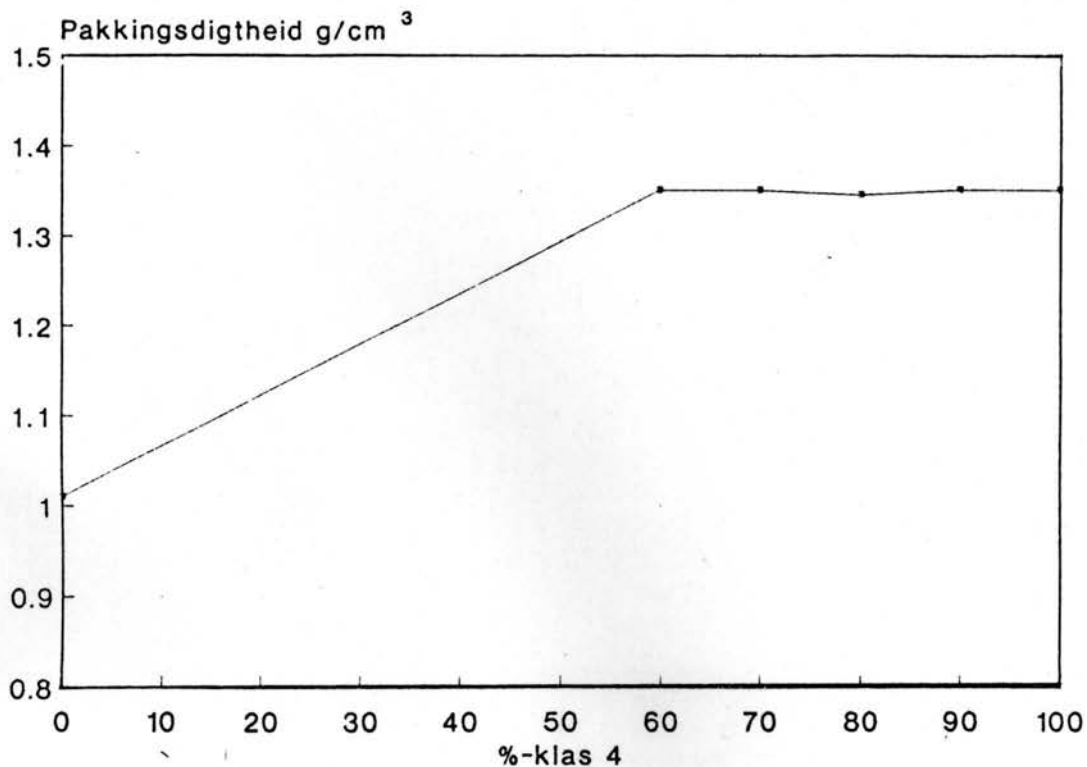


HMX Klas 3 vs Klas 5



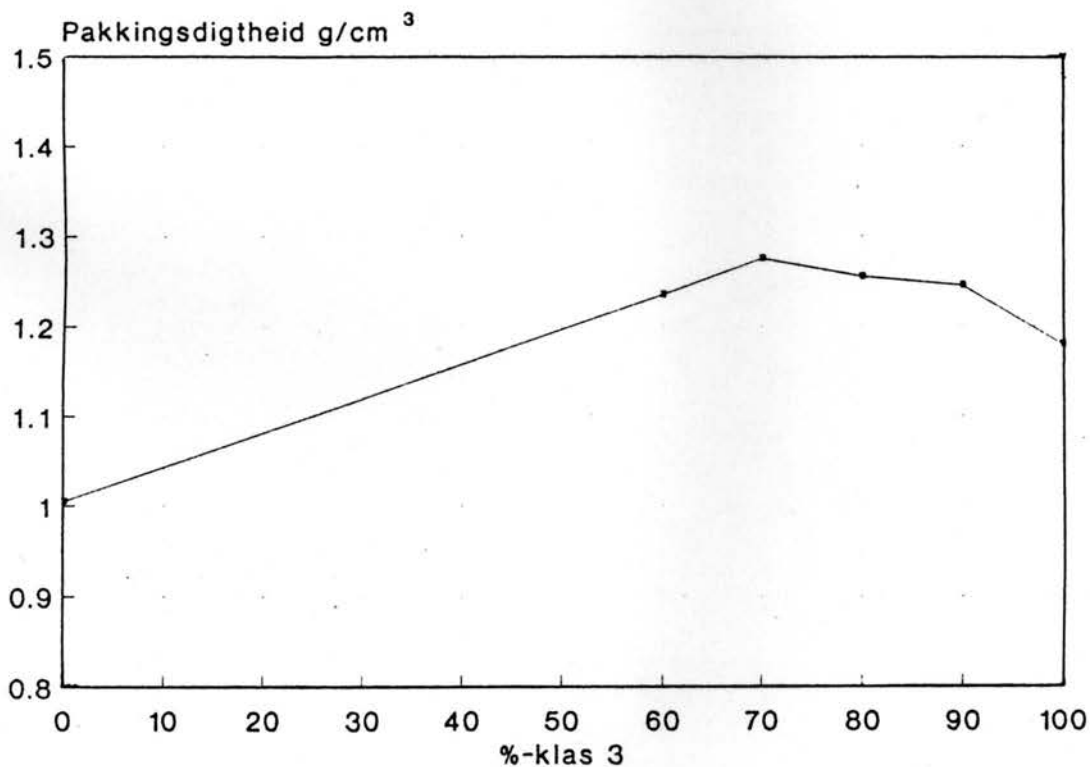
Figuur 3.4 : HMX-PAKKINGSDIGTHEDE

HMX Klas 4 vs Klas 8

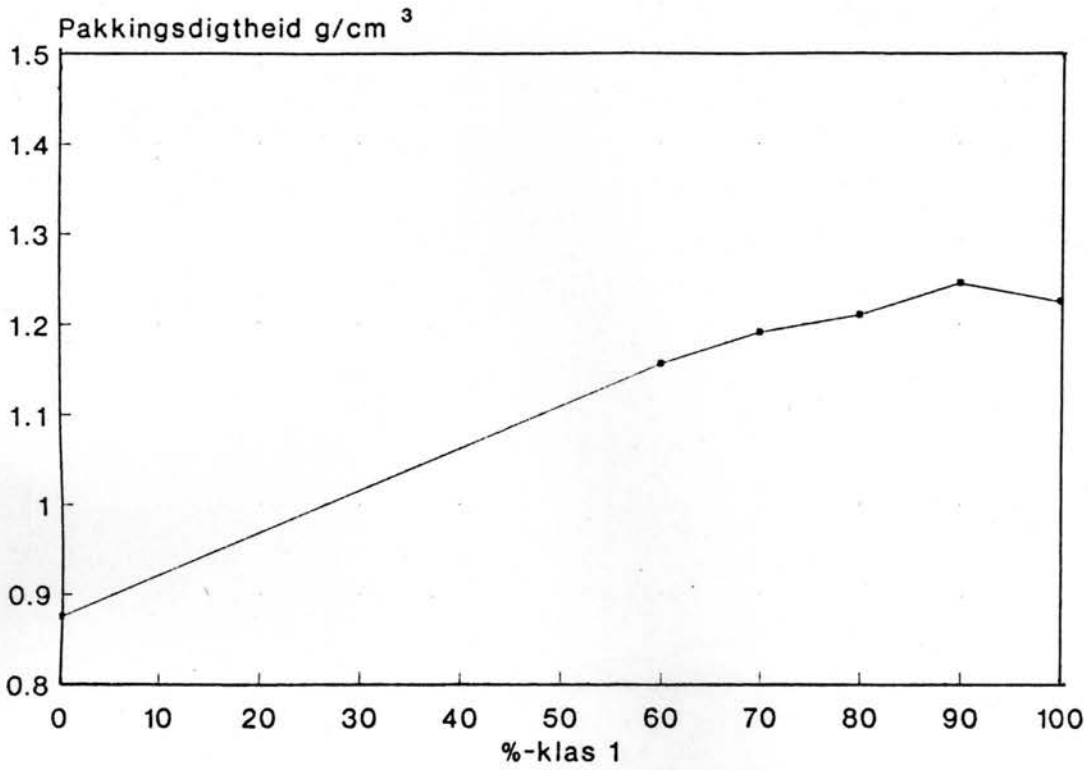


85

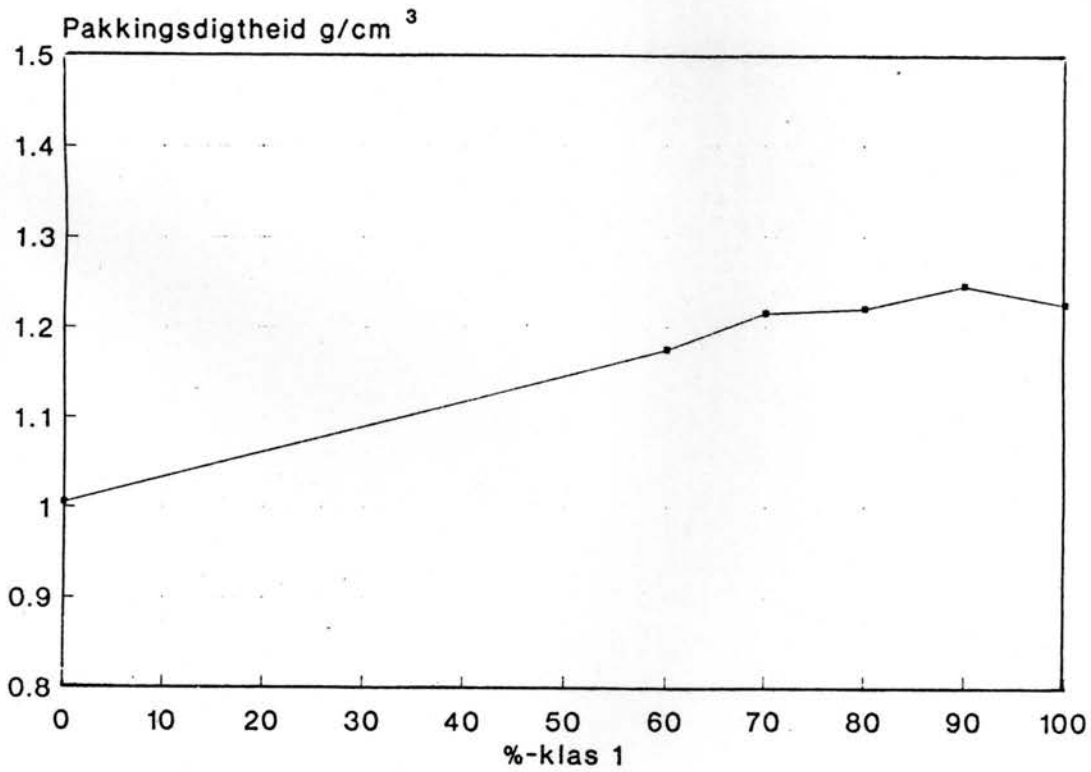
HMX Klas 3 vs Klas 8



Figuur 3.4 : HMX-PAKKINGSDIGTHEDE (vervolg)



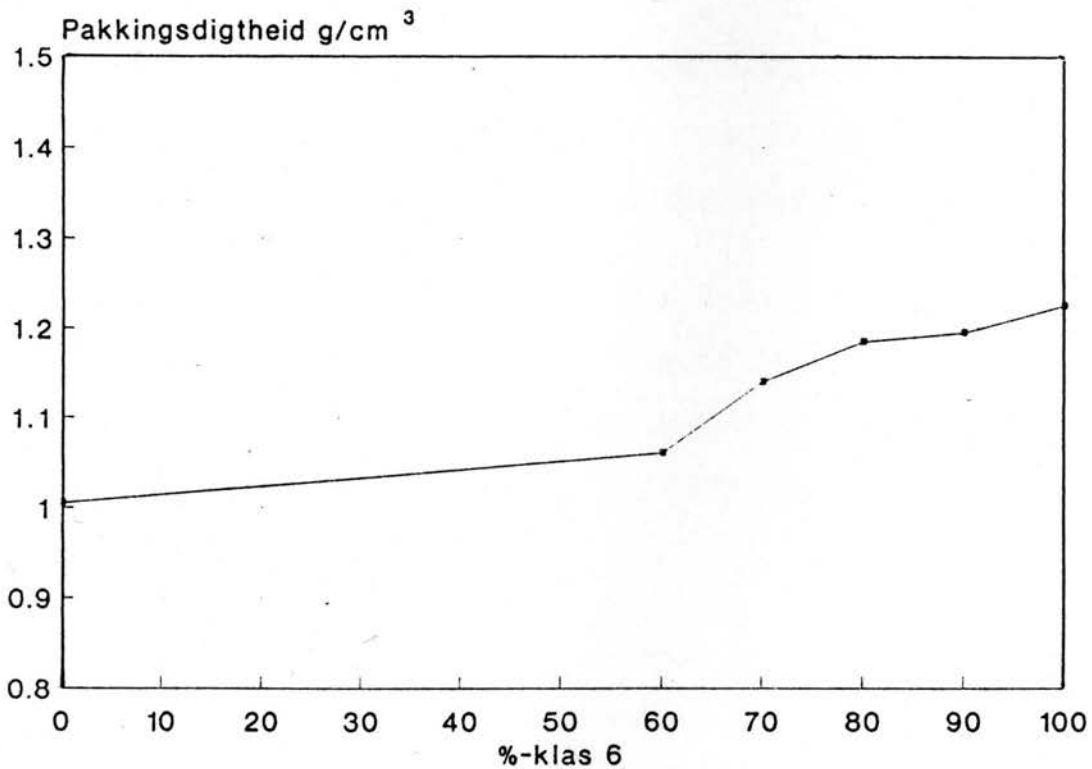
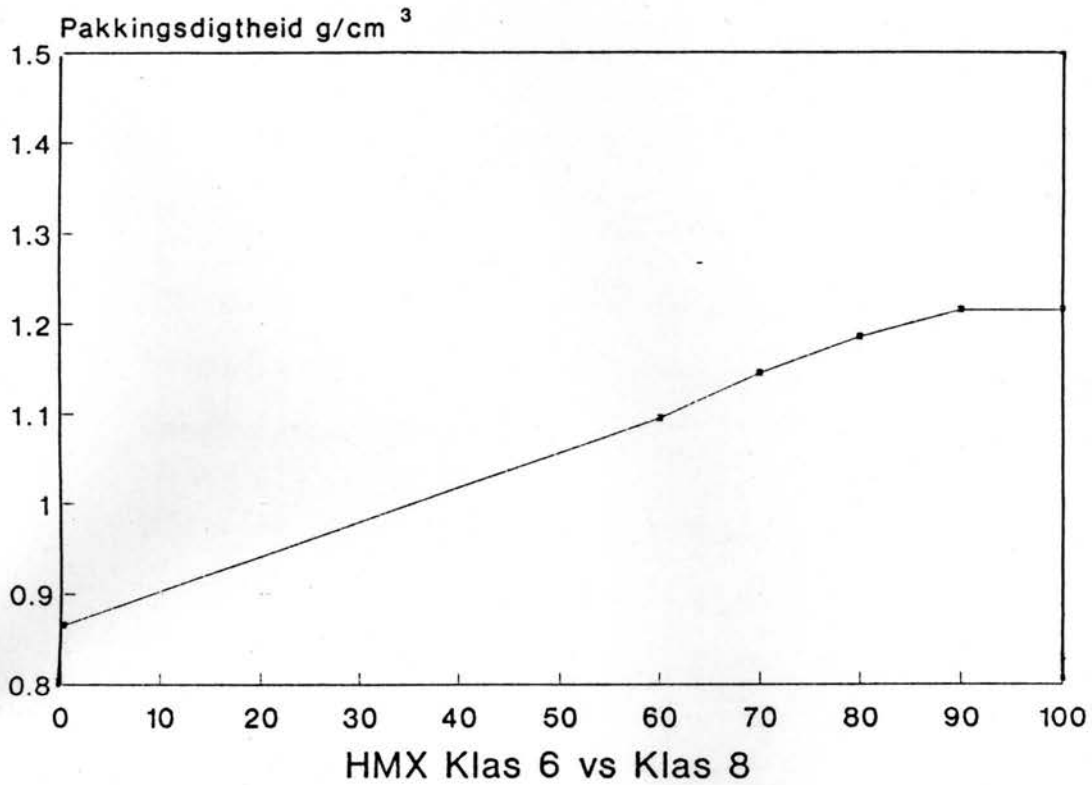
HMX Klas 1 vs Klas 8



Figuur 3.4 : HMX-PAKKINGSDIGTHEDE (vervolg)

HMX Klas 6 vs Klas 2

87



Figuur 3.4 : HMX-PAKKINGSDIGTHEDE (vervolg)

Die volgende gevolgtrekkings word na afloop van die ondersoek gemaak, naamlik :

- i) HMX-Klas 7 is, vanweë die intermediêre kristalgrootteverspreiding daarvan, nie in bimodale mengsels ondersoek nie.
- ii) HMX Klas 4 is, vanweë die problematiek verbonde aan die daarstelling van die klas, nie intensief ondersoek nie en slegs enkele pakkingsdigtheidsbepalings is daarop gedoen.
- iii) Die fyner Klasse 2, 5 en 8 het laer pakkingsdigthede as die growwer Klasse 1,3,4 en 6. Klas 4 het die hoogste pakking, wat aan die wye inherente band van kristalgroottes toegeskryf kan word.
- iv) Die pakkingsdigtheid van HMX Klas 3 kan merkbaar verhoog word deur die byvoeging van sowat 30% van Klas 2 of Klas 5. Dit is in ooreenstemming met die literatuurverwysings. Pakkingsdigthede so hoog as $1,324 \text{ g/cm}^3$ is verkry.
- v) 'n Piekposisie in die bimodale kurwe van HMX Klas 1 vs die fyn klasse word ook verkry, maar is minder prominent en van 'n laer waarde ($1,24 \text{ g/cm}^3$).

- vi) Suiwer HMX Klas 6 toon, anders as in die geval van klasse 3 en 1, 'n hoër pakkingsdigtheid as bimodale mengsels daarvan.
- vii) HMX Klas 4 toon die hoogste pakkingsdigtheid-waardes. In die ondersoek-intervalgebied was daar nie noemenswaardige pakkingsdigtheidverskille tussen bimodale mengsels met fyner klasse nie, wat die ingeboude bimodaliteit van hierdie klas bevestig.
- viii) Dit is dus bevestig dat verskillende Klasse HMX verskillende pakkingsdigthede (stampdigthede) toon, met 'n bimodale mengsel van 70% HMX Klas 3 met 30% Klas 2 of Klas 5, die gunstigste. Die invloed wat pakkingsdigtheid op % TMD het, is vervolgens ondersoek.

3.4 PERSONDERSOEK

Die resultate van 'n soortgelyke ondersoek, onderneem deur Elban et al ²⁴ is op hierdie stadium relevant. Die ondersoek is gemotiveer na aanleiding van gebrekkige teoretiese gronde wat vir die kompaksiegedrag van energierike formulerings bestaan, met inbegrip van polimeergebinde ploffstowwe. Klas 4 (weye band) HMX met 'n gemiddelde kristalgrootte van 870 μm , en 'n uitgesifte, smal HMX-band, met gemiddelde grootte 925 μm , is ondersoek. Die kompaksiegedrag van die twee 'klasse' HMX verskil tot ca. 85% TMD, waarbopant die gekompakteerde fisiese

digthede ooreenstem. Die verskille ten opsigte van gekompakteerde (geperste) digthede kan aan verskille ten opsigte van effektiewe pakking (pakkingsdigtheid) oorgeskryf word, omdat HMX klas 4 'n hoër pakkingsdigtheid as smal-band HMX besit. Teoretiese vergelykings vir die voorspelling van verwagte gekompakteerde digthede is afgelei. Hierdie vergelykings maak vir interkristalwrywing, kristalbreek en drukkorelasies voorsiening, maar nie vir elastomeriese vloei soos in die geval van polimeergebinde HMX nie. Die hoeveelheid arbeid (J) wat vir die kompaksieproces vereis word, is relatief minder waar die pakking van die kristalle hoog is. Daarenteen is die arbeid wat verrig word tydens die kompaksië van fyn kristalle, aansienlik hoër as vir growwe kristalle (groter oppervlakarea impliseer meer wrywingsvlakke). Daar is ook gevind dat kristalle onder druk sal breek. Die ingeslote sikloheksanon-inhoud (as gevolg van herkristallasieproses) van HMX is egter laag genoeg om nie persprobleme as gevolg van die vrystelling van ingeslote oplosmiddel teweeg te bring nie. Persdruke so laag as 1,1 MPa is voldoende om die HMX te kraak, selfs al is die verkreeë % TMD so laag as 58%.

Vir hierdie ondersoek is 'n polimeerbinder bygevoeg, wat kristalintervlakke verander en gevolglik verskillende kompaksiëgedrag kan meebring. Verder is fyner HMX feitlik deurgaans gebruik. Hierdie ondersoek het die verkryging van

97% PBX-TMD ten doel gestel, asook om enige persdigtheid vs pakkingsdigtheid-verbande te herlei. Ten einde die invloed van kristalpakking op %TMD te ondersoek, is PBX-monsters met verskillende HMX-klasse vervaardig en gepers. PBX-monsters met optimum bimodale kristalverspreidings is verder ondersoek.

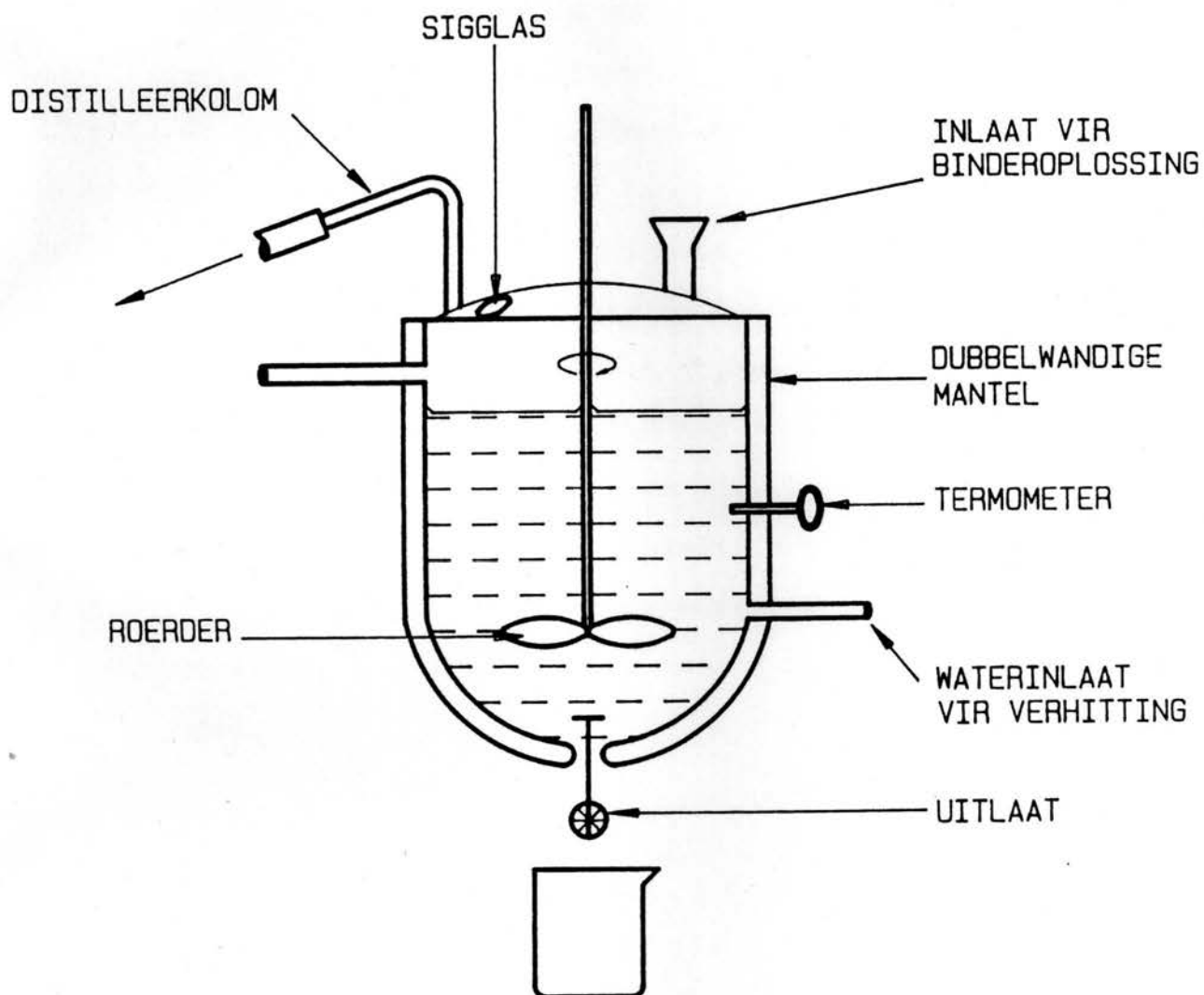
Die PBX-formulerings is volgens die sogenaamde floddertegniek vervaardig. Hiervolgens word 'n binderoplossing berei deur die korrekte massa polimeer in 'n geskikte organiese oplosmiddel op te los, terwyl 'n brisantstof/watermengsel ('flodder') gemaak word deur die korrekte massa brisantstof by 'n bepaalde volume water te voeg en te roer. Die oplossing word dan by die flodder gevoeg, onderwyl vinnig geroer word, waarna die oplosmiddel afgedistilleer word met gepaardgaande vorming van polimeergebinde brisantstofkorrels. Ten slotte word die PBX-korrels affiltreer en gedroog. 'n Fluoroelastomeer, Fluorel 2175, is as polimeerbinder vir die ondersoek gebruik. PBX-lotjies, bestaande uit 95 g HMX van 'n bepaalde pakking, gebind met 5 g Fluorel, is vervaardig. Tabel 3.9 toon die vervaardigingskondisies.

Tabel 3.9 : VERVAARDIGINGSKONDISIES VIR HMX/FLUOREL-PBX

Brisantstof	:	HMX 95 g
Polimeer	:	Fluorel 5 g
Oplosmiddel	:	Etielasetaat 40 g
Oplostyd	:	60 min
Binderkonsentrasie	:	12,5 % massa/massa
Watervolume	:	1000 ml
Roerspoed	:	700 o.p.m.

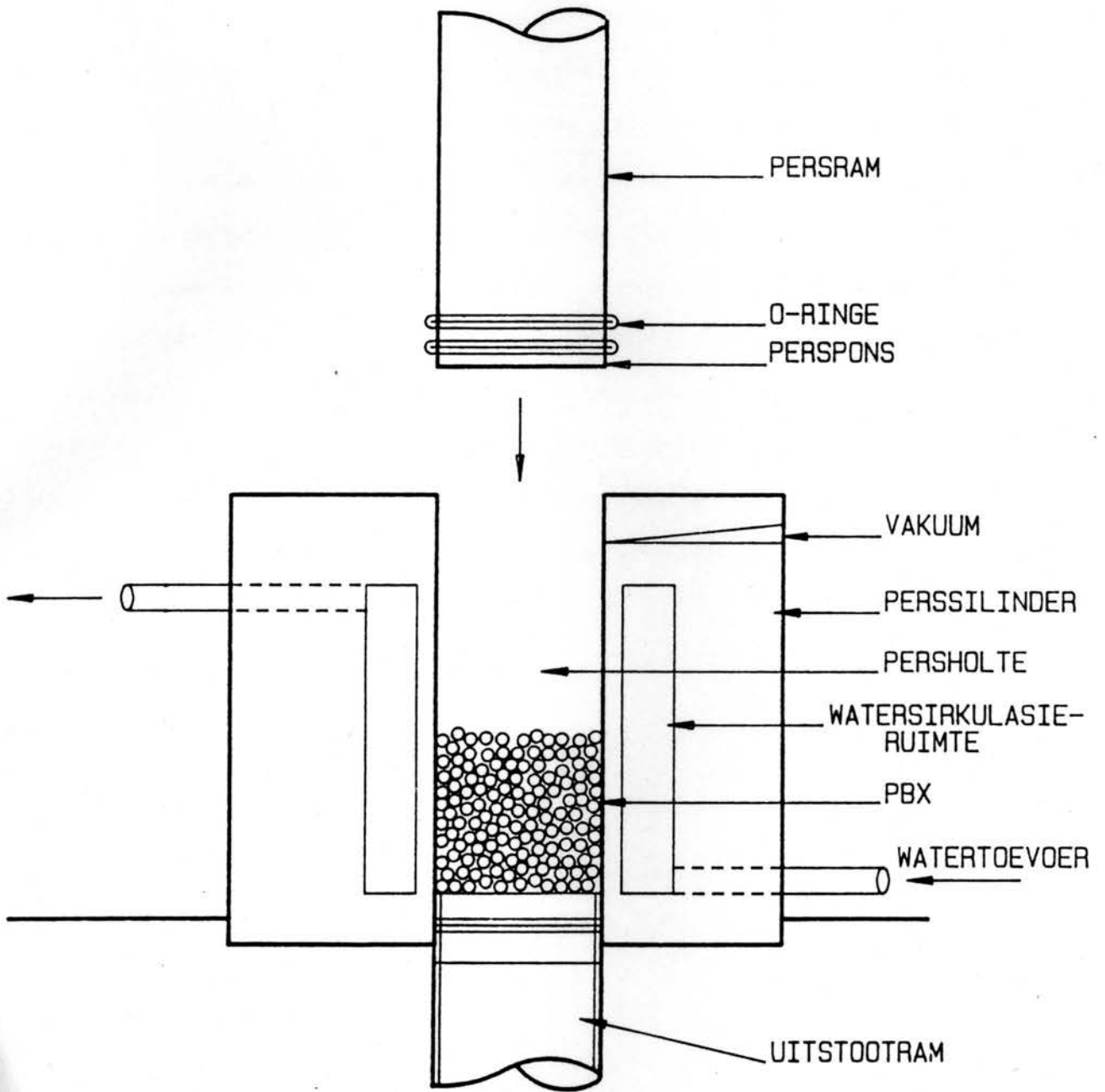
Die laboratoriumtoerusting (Figuur 3.5) bestaan uit 'n 5000 ml vlekvrre distilleervaasje, wat mantelverhitbaar is. Die verhittingsmedium is water, afkomstig van 'n 'Haakebad'. 'n Termoprobe aan die binnewand van die vat monitor die prosetemperatuur. 'n Verhittingstempo van ca. 6°C per minuut is deurgaans gehandhaaf. Negatiewe druk-distillasies is uitgevoer, om sodoende die proses te bespoedig. 'n Heidolph-roerder is aangewend om die flodder by konstante roerspoed te agiteer. Die binderoplossing is per hand by kamertemperatuur bygevoeg. Ten slotte is die oplosmiddel/water-verhouding sodanig gekies dat die minimum produkverliese tydens vervaardiging sou voorkom. Die gevormde PBX-korrels is vir 8h by 70 °C gedroog, waarna monsters vir analyse-doeleindes geneem is. Samestellingsanalises is volgens 'n HNO₃-verteringstegniek en die voginhoud bepaal volgens die metode vroeër beskryf, bepaal. In alle gevalle was die HMX-inhoud binne die interval 94% tot 95%, met die voginhoud minder as 0,2%. Hierdie resultate is in ooreenstemming met tipiese militêre PBX-

spesifikasies en daar is gevolglik met die ondersoek voortgegaan.



Figuur 3.5 : VERVAARDIGINGSTOERUSTING VIR 100 g PBX-LOTTE

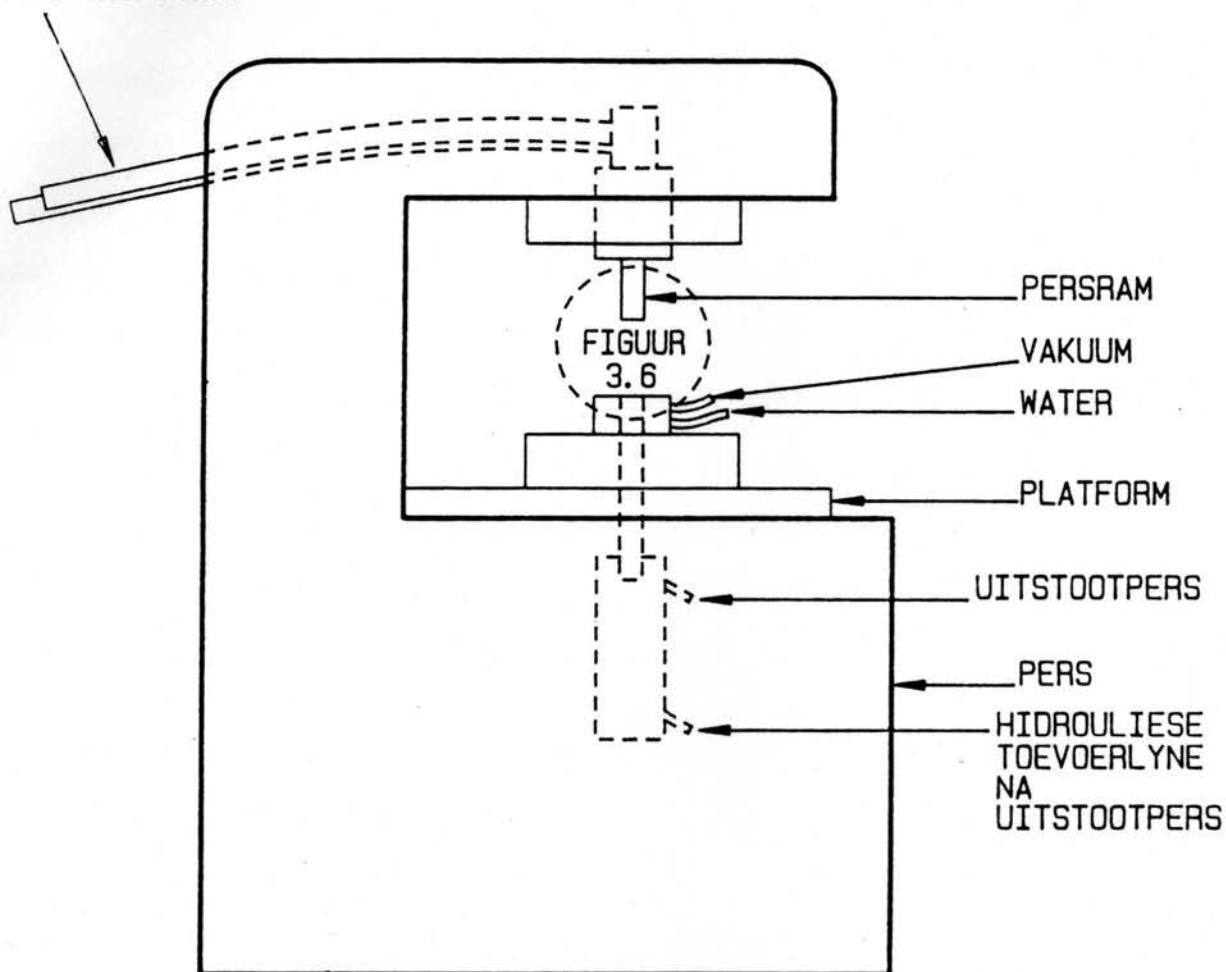
Die PBX-persproses is begin deur die korrekte massa PBX af te weeg en in 'n oond te kondisioneer. Die perstoerusting is intussen tot die verlangde perstemperatuur verhit. Die gekondisioneerde PBX-korrels is hierna in die persholte gelaai (kyk figuur 3.6 vir perstoerusting), waarna die persholte afgedig en geëvakueer is. Die PBX-korrels is dan onder hidrouliese druk gekompakteer en tot 'n eenheid gekonsolideer (gepers), en ten slotte is die geperste PBX uit die persholte verwyder. Die geperste PBX-lading is toegelaat om te stabiliseer en die digtheid van die geperste formulering bepaal. Die perstoerusting bestaan uit 'n 38 mm deursnee-persram met 'n vlekvrre staalpons en Viton-O-ringe. Die perssilinder, wat die persholte omsluit, bestaan uit 'n mantelverhitbare perswand, waardeur verhitte water sirkuleer vir warmpersing. Die uitstootpers het 'n vlekvrre staal-pons met O-ringe.



Figuur 3.6 : PERSOERUSTING VIR PBX

Die pers word in figuur 3.7 aangetoon en bestaan uit 'n hidrouliese persram en uitstootpers, wat onderskeidelik vir die persaksie en die verwyderingsaksie gebruik word (sg enkelaksiepers). Elektriese/pneumatiese afstandbeheerde kontroles beheer die op- en afbeweeg van die persram, die op- en afbeweeg van die uitstootpers, persing met behulp van die persram en afdigting van die persholte vir evakuering. Die persvermoë is 30 ton, terwyl die ram-persspoed direk eweredig aan die persdruk is, dit wil sê hoe hoër die persdruk hoe hoër die perstempo. Vanweë die risiko verbonde aan die pers van brisantstowwe, vind alle persaksies afstandbeheerd plaas.

HIDROULIESE
TOEVOERLYNE
VIR 30 TON-PERS



Figuur 3.7 : PERS WAT VIR PBX-ONDERSOEK GEBRUIK IS

Die PBX is deurgaans by 'n temperatuur van 70 °C gepers. Twee perskondisies per monster is gebruik om die effek van kristalpakking te illustreer, naamlik persdruk 80 MPa en perstyd (draaltyd) 1 minuut en persdruk 150 MPa en draaltyd 2 minute. Die digtheid is met behulp van 'n digitale vernierpasser (akkuraat tot 1 μm) en 'n skaal (akkuraat tot 1 mg) bepaal. Die %TMD is verkry deur die persdigtheid in elke geval deur die PBX-TMD, dit is 1,895 g/cm^3 , te deel. Die PBX-ladings is in die vorm van 38 mm-deursnee silinders, 15 mm hoog, gepers. Twee diameter-dimensies, en twee hoogte dimensies van elke geperste lading (of 'pil') is geneem, en die volume kon sodoende bepaal word. Die massa van elke pil is vervolgens deur die volume gedeel om sodoende die persdigtheid te verkry. Tabel 3.10 toon die resultate soos by die verskillende perskondisies verkry. Die volgende afleidings is na afloop van die ondersoek gemaak, naamlik :

- i) 'n Verhoging van persdruk gaan met 'n toename in %TMD gepaard (ongekwantifiseerd). Dit is in ooreenstemming met literatuurresultate.
- ii) 'n Persdruk van 150 MPa sal, wanneer alle ander perskondisies konstant gehou word, persdighede van dieselfde orde lewer, ongeag wat die kristalpakking van die brisantstofkomponent is. By 75 MPa het HMX-pakking steeds 'n invloed op GPD, soos uit figuur 3.8 gesien

kan word. Die oorsaak van hierdie verskynsel kan aan kristalbreking, wat in 'n mindere mate by laer persdrukke voorkom, toegeskryf word.

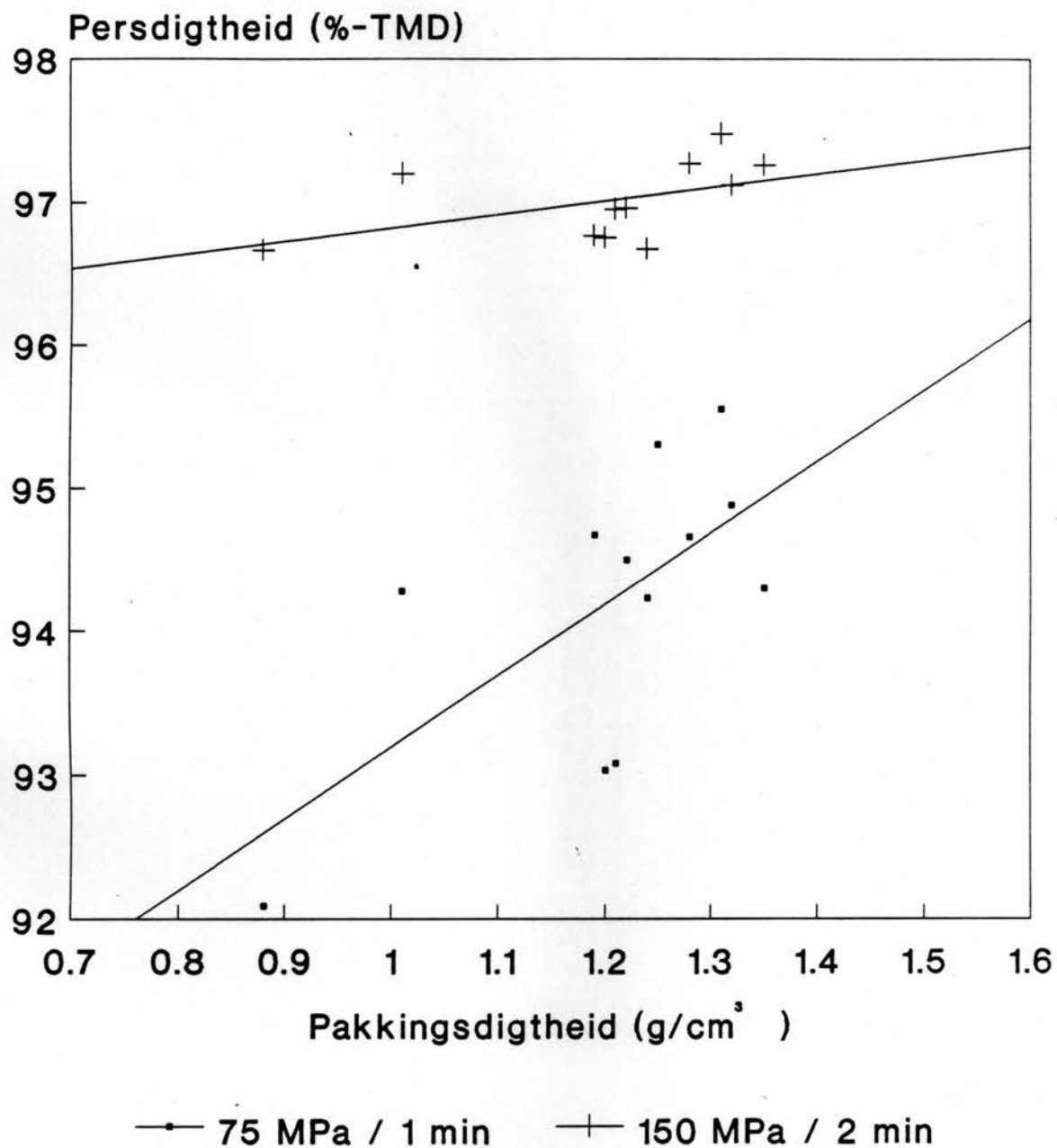


Fig.3.8: HMX-PAKKING vs PBX-PERSDIGTHEDE

- iii) Die vereiste van 97% TMD blyk haalbaar te wees, en geen verdere ondersoek is met die spesifieke polimeer onderneem nie.

Tabel 3.10 : HMX-PAKKINGSDIGTHEDE VS PBX-PERSDIGTHEDE

Pakkings- digtheid g/cm ³	HMX grof		HMX fyn		Persdigtheid %TMD	
	Klas	%	Klas	%	75 MPa	150 MPa
0,875	-	-	2	100	92,09	96,66
1,007	-	-	9	100	94,28	97,20
1,195	3	100	-	-	94,67	96,96
1,196	6	90	8	10	93,03	96,75
1,213	6	90	2	10	93,08	96,95
1,222	6	100	-	-	94,50	-
1,223	1	100	-	-	94,29	96,96
1,240	1	90	2	10	94,23	96,67
1,241	1	90	8	10	94,53	97,17
1,242	3	60	5	40	95,10	-
1,251	3	90	5	10	95,30	-
1,282	3	70	8	30	94,66	97,27
1,313	3	75	2	25	95,55	97,48
1,321	3	70	2	30	94,88	97,12
1,323	3	75	5	25	95,44	-
1,324	3	70	5	30	95,23	97,42
1,351	4	100	-	-	94,30	97,26

Die volgende aspekte is vir die voortsetting van die ondersoek voorgehou, naamlik :

- i) Die vereiste van 97% TMD is wel met 'n monomodale klas by hoë persdrukke haalbaar. Die gebruik van bimodale HMX-klasse hou egter die voordeel in dat laer persdrukke moontlik die vereiste %TMD sal lewer.
- ii) Die gebruik van HMX Klasse 2 en 3 word voorgestel, vanweë die relatief lae koste verbode daaraan, asook omdat 'n bimodale mengsel van 70 % HMX Klas 3 en 30% Klas 2 uit pakkingsdigtheid-oorwegings die voortreflikste is.
- iii) Die vervaardigings- en perskondisies van elke HMX-PBX wat deel van verdere ondersoek vorm, moet geoptimeer word met die verkryging van 97% TMD ten doel.

HOOFSTUK 4

EIENSKAPPE VAN POLIMERE VIR PBX GEBASEER OP HMX

Die eienskappe wat 'n polimeer vir aanwending geskik maak, word onder andere, maar nie uitsluitlik nie, deur die toepassingsvereistes bepaal. Gewoonlik moet die polimeer eers tot 'n bepaalde vorm of toestand verwerk word alvorens dit vir die toepassing geskik is, dit wil sê prosesbaarheid bepaal ook aanwendingsgeskiktheid. In die geval van persbare PBX vir missielplofkoptoepassing, bepaal die omgewing en die teikenscenario die funksionerings- en ander toepassingsgerigte eienskappe (Hoofstuk 1). Die proses van PBX-vervaardiging en -persing is egter ook van belang. Sodoende word die polimeervereistes deur die finale gebruik, maar ook die vervaardiging van die PBX, bepaal. Daaruit kan die volgende polimeervereistes afgelei word, naamlik:

- i) Die polimeer moet met HMX verenigbaar (versoenbaar) wees.
- ii) Die polimeer moet in laagkokende, organiese oplosmiddels oplosbaar wees.
- iii) Die polimeer moet wateronoplosbaar wees.
- iv) Die polimeer moet verkieslik 'n krummelagtige fisiese voorkoms hê, om sodoende in 'n oplosmiddel vermeng te kan word.

- v) Die polimeeroplossing moet nie te viskoos wees nie, aangesien dit nagenoeg kwantitatief na die HMX-flodder oorgebring moet word. Die oplossingsviskositeit moet dus nie te hoog wees nie, selfs al word redelik gekonsentreerde binderoplossings berei. Om hierdie rede word polimere met redelike lae molekulêre massas, en lineêre chemiese strukture, verkies.
- vi) Die polimeer moet chemiese stabiliteit openbaar, sodat dit vir redelike tydsdure voor gebruik, geberg kan word. 'n Redelike mate van UV-bestandheid word verlang, sodat byvoorbeeld ligblootstelling nie tot polimeer-degradasie of -kruisbinding aanleiding kan gee nie. Die polimeer moet ook vir kort tydsdure sure en basisse kan weerstaan, wat moontlik tydens berging daarmee in aanraking kan kom.
- vii) Die polimeer moet teen termiese degradasie bestand wees, aangesien die PBX-korrelproduk vir redelike lang tye aan hoë drogings- en kondisioneringtemperature blootgestel kan word.
- viii) Die polimeer moet die HMX-kristalle ten opsigte van hanteringskotte (impak, wrywing en elektrostasies) desensiteer.
- ix) Termiese stabiliteit tydens vooraf PBX-korrelkondisionering en tydens PBX-persing onder hoë

drukke word verlang.

- x) Lae perstemperature is uit bedryfsoorwegings verkieslik, en dit vereis 'n lae polimeer-versagtingspunt (T_g), verkieslik laer as kamertemperatuur.
- xi) Indien die polimeer- T_g hoog (dit is 90 °C of hoër) is, moet die polimeer plastiseerbaar wees, om dit by laer temperature 'vloeibaar' (persbaar) te maak.
- xii) Die polimeerdigtheid moet bekend wees, aangesien die berekening van die PBX-TMD van groot belang ten opsigte van spesifikasievereistes is.
- xiii) Die polimeersmelpunt moet verkieslik nie laer as dié van HMX wees nie, dit wil sê hoër as 280 °C.
- xiv) Die polimeer moet nie oor die aanwendingstemperatuur transformasies ondergaan nie, aangesien dit die dimensionele stabiliteit van die geperste lading nadelig kan beïnvloed. Die T_g van die polimeer moet dus buite die aanwendingstemperatuurgebied wees.

- xv) Die inkorporering van energieryke chemiese groepe in die polimeer, wat tydens detonasie tot addisionele energielewering kan bydra, is verkieslik. Selfs elemente wat stabiele detonasieprodukte vorm (baie energie tydens vorming vrygestel) is meer aanvaarbaar as suiwer C-H-O-polimere.
- xvi) Die polimeerdigtheid is van belang, en lae digtheid-polimere, wat hoë HMX-massabelading per eenheidsvolume toelaat, is verkieslik.
- xvii) Die meganiese eienskappe van die PBX, wat tot 'n groot mate deur die polimeer bepaal word, moet doelgeskik wees.
- xviii) Die polimeer moet die PBX tot 'n bevredigende mate ten opsigte van impak, skok en wrywing desensiteer.
- xix) Die polimeer moet uit ekonomiese oorwegings relatief goedkoop, en om strategiese redes, vir die PBX-vervaardiger verkrygbaar wees.

Geïdentifiseerde polimere word vervolgens ten opsigte van hierdie karakteristieke vergelyk. Die meganiese en desensiterende eienskappe word nie op hierdie stadium aangespreek nie, aangesien dit eers in die geperste toestand kwantifiseerbaar sal wees.

4.1 HMX-VERENIGBAARHEID

Die verenigbaarheid van 'n polimeer met HMX kan met behulp van een van twee tegnieke bevestig word, naamlik met 'n termiese analise (DSK) of 'n Vakuumtermiese-onderzoek (VTS). Volgens die DSK-tegniek is termogramme van die individuele komponente van die PBX eers verkry, waarna 'n termogram van 'n intieme mengsel van die komponente getrek is. Geen verskuiwing ten opsigte van endo- of eksotermposisies is as gevolg van vermenging toegelaat nie. Hierdie tegniek het twee nadele, naamlik die baie klein monstergroottes (ca. 10 mg) en die nie-kwantifiseerbaarheid van piekposisies of -verskuiwings. Gevolglik is die DSK-tegniek vir eerste orde evaluering gebruik, terwyl VTS ter bevestiging uitgevoer is. VTS-onderzoek is in die sogenaamde S15-vakuumbuise uitgevoer. Eers is die komponente afsonderlik aan die toetskondisies onderwerp, waarna 'n mengsel van komponente ondersoek word. Vanweë die internasionale standaardisering op hierdie toetsmetode, is dit deurgaans vir hierdie ondersoek gebruik.

5 g HMX is vir 40 h onder vakuumkondisies aan 'n temperatuur van 90 °C onderwerp, en die mate van gasontwikkeling oor hierdie tydsduur is gemonitor. 5 g van die polimeer is aan soortgelyke kondisies onderwerp, en 'n soortgelyke gasvolume is verkry. 'n Gehomogeniseerde mengsel van 2,5 g HMX en 2,5 g polimeer is vervolgens aan die toetskondisies blootgestel, en 'n derde gasontwikkeling is verkry. Volgens

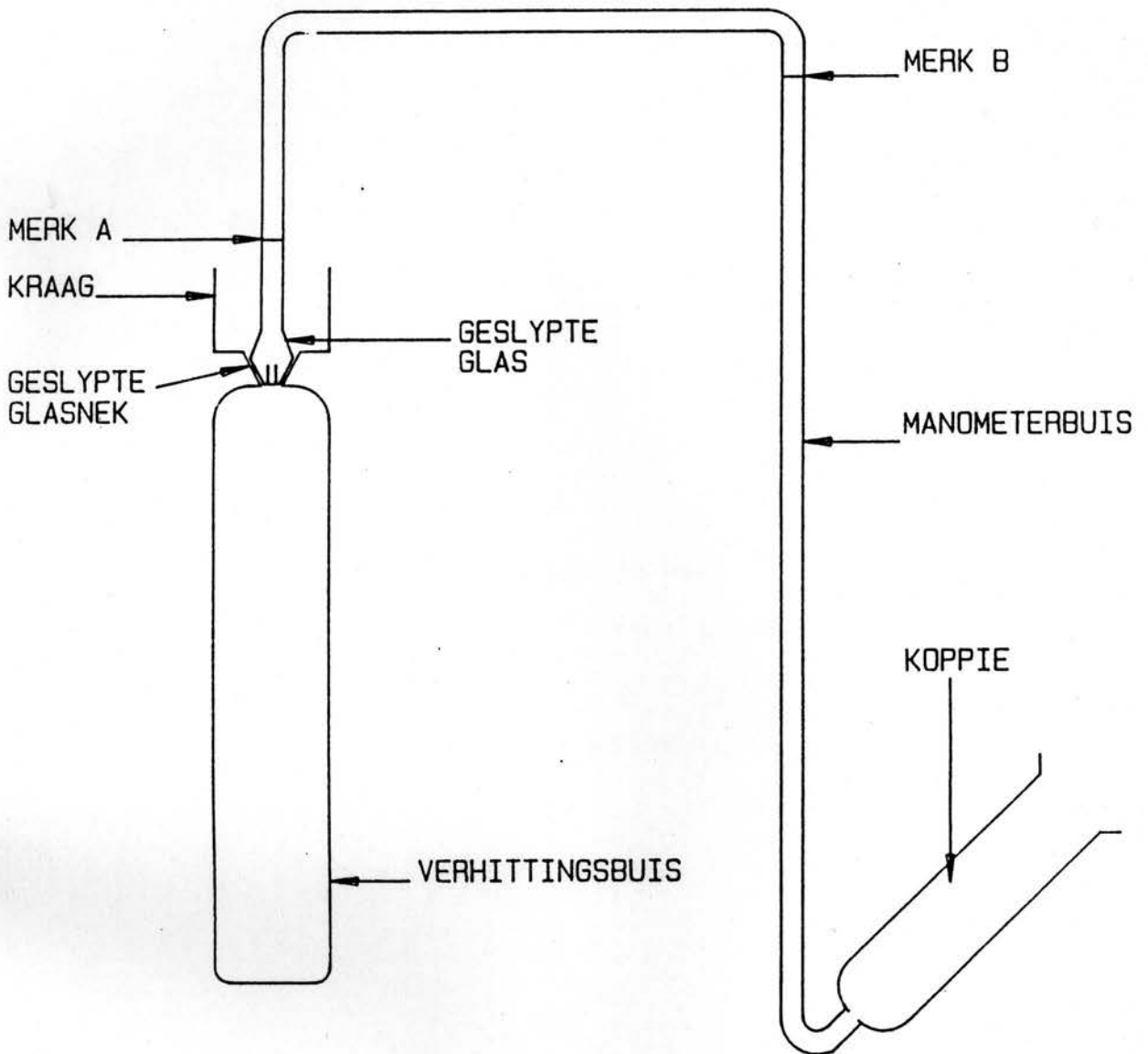
die metode sal die HMX en die polimeer verenigbaar wees indien die verskil tussen die som van HMX- en polimeergasvolumes, en die mengsel, kleiner as 5 cm^3 is. Waardes hoër as 5 cm^3 dui dus op nie-verenigbaarheid. Die eksperimentele VTS-resultate word in Tabel 4.1 gerapporteer. Figuur 4.1 toon die toetsapparaat.

Tabel 4.1 : POLIMEER/HMX-VERENIGBAARHEDE (* = INGESLOTE PENTAANGAS, SOOS DEUR LEWERANSIER VERSKAF).

Komponent A	Gasontwik- keling V(A) 40h @ 90°C cm^3	B=V(HMX) +V(A) cm^3	C=V(mengsel) cm^3	B - C cm^3
HMX	-0,12	-	-	-
Viton B	0,11	-0,01	0,00	-0,01
Kraton G1650	0,00	-0,12	0,31	-0,43
Cariflex TR	0,57	-0,45	-0,09	0,54
Estane 5702	0,23	0,11	0,60	-0,49
Kel F800	0,00	-0,12	-0,07	-0,05
Polistireen	6,31	6,43	6,34*	0,09

4.2 CHEMIESE STRUKTUUR

Die eienskappe van 'n polimeer hang nou met die chemiese struktuur daarvan saam, met die uitvloeisel dat die geperste PBX se eienskappe tot die struktuur herleibaar is. Twee hoofindelings kan ten opsigte van die polimere onder bespreking herken word, naamlik lineêre polimere met dieselfde monomeriese herhalingsseenhede, en ko-polimere, wat uit 'blokke' van verskillende herhalingsseenhede bestaan. So



Figuur 4.1 : S15-VTS-APPARAAT

is Viton B (afkorting VB), Kel F800 (KF), Polistireen (PS) en Estane 5702 (EE) almal liniêre polimere, terwyl Kraton G1652 (KG) en Cariflex TR 1102 (CX) blokkopolimere is. VB en KF is fluoro-elastomere, PS 'n liniêre aromatiese polimeer, EE 'n poliuretaan, KG etileenbutileenko-polimeer en CX 'n stireen/butadieenko-polimeer. Geeneen van die polimere bevat energierike groepe soos 'n $-NO_2$ nie, en slegs VB, EE en KF bevat ander elemente as C, H en O. (VB bevat F, EE bevat N en KF bevat F en Cl). Teoreties behoort die mate van energievrystelling na detonasie effens hoër in die geval van F-bevattende bindings te wees, aangesien die vervanging van C-F-bindings met H-F bindings tydens detonasie eksotermies is. Tabel 4.2 gee die chemiese benamings en strukture van die polimere weer.

Tabel 4.2 : CHEMIESE BENAMINGS EN STRUKTURE VAN POLIMERE

Poli-meer	Chemiese naam/familie	Struktuur
VB	Heksafluoropropileen/ vinilidienfluoried	$\left[- (-\text{CH}_2 - \text{CF}_2 -) - \left(\begin{array}{c} \text{CF} - \text{CF}_2 - \\ \\ \text{CF}_3 \end{array} \right) - \right]_n$
KF	Poli(trifluorochloro- etileen)	$\left[- \begin{array}{c} \text{F} \\ \\ \text{C} - \text{CF}_2 - \\ \\ \text{Cl} \end{array} - \right]_n$
PS	Polistireen	$\left[- \begin{array}{c} \text{CH} - \text{CH}_2 - \\ \\ \text{Ar} \end{array} - \right]_n$
EE	Poliëster-uretaan	$\text{HO} + \text{CH}_2 + \text{O} \left[\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} + \text{CH}_2 + \text{C} \\ \\ \text{O} \end{array} - \text{O} + \text{CH}_2 + \text{O} \right]_n \begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{C} - \text{N} - \text{Ar} \\ \\ \text{H} \end{array} - \text{CH}_2 - \text{Ar} - \text{NCO}$
KG	Poli(stireen-etileen- butileenstireen)	$\begin{array}{c} + \text{CH} - \text{CH}_2 + \\ \\ \text{Ar} \end{array} + \text{CH}_2 - \text{CH}_2 + \text{CH}_2 - \text{CH}_2 + \begin{array}{c} \text{CH}_2 + \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} + \begin{array}{c} \text{CH} - \text{CH}_2 + \\ \\ \text{Ar} \end{array}$
CX	Poli(stireen-butadieën- stireen)	$\begin{array}{c} + \text{CH} - \text{CH}_2 + \\ \\ \text{Ar} \end{array} + \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH} - \text{CH}_2 + \begin{array}{c} \text{CH} - \text{CH} + \\ \\ \text{Ar} \end{array}$

4.3 OPLOSBAARHEIDSGEDRAG

Vanweë die aard van die PBX-vervaardigingsproses is dit noodsaaklik dat die polimeer in 'n laagkokende oplosmiddel (dit is kookpunt laer as 100 °C), wat effens watermengbaar is en wat aseptopies met water afdistilleer, oplosbaar is ²⁵. Die polimeer moet water-onoplosbaar wees. Die oplosbaarheid van 'n polimeer word onder andere deur die oplosbaarheidsparameter (δ) bepaal. Vir ware oplossing moet die polimeer- δ en die oplosmiddel- δ nie te veel verskil nie, in elk geval nie meer as 2,0 nie. Om hierdie rede is die daarstel van 'n effektiewe oplosmiddel vir die lineêre polimere gewoonlik uit literatuur verkrygbaar. Die oplosbaarheidsparameter vir die blokke-polimere is meer problematies, aangesien beide die ko-polimere die oplosbaarheid beïnvloed. So byvoorbeeld kan 'n bepaalde oplosmiddel slegs die stireen, maar nie die butadieën-gedeelte van CX swel. Die tegniese brosjures van CX en KG skryf egter oplosmiddels vir gebruik voor. Tabel 4.3 gee enkele van die geskikte oplosmiddels weer, terwyl Tabel 4.4 relevante oplosmiddel-eienskappe opsom.

Tabel 4.3 : POLIMEER-OPLOSMIDDELS

Polimeer	Tipiese oplosmiddels	Bron
VB	EA, MEK, MIBK, DMF, THF	1
KF	EA, MEK, MIBK, THF	1
PS	CH ₂ CL ₂ , benseen, tolueen	26
EE	EA, MEK, MIBK, THF, DMSO	1
KG	n-but-asetaat, tolueen	27
CX	EA, MEK, tolueen, benseen	28

(MEK = metieletielketoon, MIBK = metielisobutielketoon,
 DMF = dimetielformamied, DMSO = demetielsulfoksied,
 EA = etielasetaat, THF = tetrahidrofuraan)

Tabel 4.4 : OPLOSMIDDEL-DATA

Oplosmiddel	δ (cal/ cm ³)	Relatiewe digtheid (@20°C, g/cm ³)	Kp (°C)	Aseo- troop- same- stelling	Aseo- troop- Kp (°C)	Bron
Dichloro- metaan	9,7	1,326	39-43	98,5% opl.	38	4
Etiel- asetaat	9,1	0,900	77,2	91,53% opl	70,4	4
Metiel- etiel- ketoon	9,3	0,804	79,6	88% opl.	73,4	4
Tolueen	8,9	0,870	110,7	86,5% opl.	84,1	4

Al die polimere is water-onoplosbaar. Die mate waartoe die polimere in die onderskeie oplosmiddels kan oplos, word deur verskeie faktore bepaal ²⁸. Hoe groter die mate van interketting aantrekking as gevolg van fisiese aantrekkingskragte, hoe meer werk sal gedoen moet word om die polimeer op te los. Dit sal dus veral beduidend word waar die elektronegatiwiteitsverskil tussen elemente in naasliggende kettings groot is, en waar elektrondelokalisering voorkom. 'n Voorbeeld van eersgenoemde is die fluoroelastomere VB en KF, terwyl EE en CX 'n groot mate van dubbelbindingkarakter openbaar. Hoe hoër die verlangde oplossingskonsentrasie, hoe langer die oplostyd. Die groothede is egter moeilik kwantifiseerbaar, aangesien dit toerusting-, temperatuur- en oplosmiddelafhanklik is. Verder speel die fisiese toestand waarin die polimeer tydens byvoeging by die oplosmiddel verkeer, ook 'n rol ('n fynverdeelde polimeer sal gouer as groot klonte oplos). Aangesien die oplossingsgedrag van polimere ook deur die mate van interketting-aantrekking bepaal word, en laasgenoemde direk aan die kettinglengte eweredig is (additiewe eienskap), sal oplosbaarheid omgekeerd eweredig aan MM wees. Die toepaslike oplosbaarheidseienskappe word in Tabel 4.5 weergegee. Die MM is chromatografies (GPC) bepaal, met behulp van polistireen-standaarde. Fisiese voorkoms is verwys na 'n visuele inspeksie.

Tabel 4.5 : FAKTORE WAT POLIMEER-OPLOSBAARHEDE BEINVLOED (MM EKSPERIMENTEEL GEMEET)

Poli-meer	Inter-atomiese aantrekking		Dubbel-bindings	Fisiese toestand	Tipiese MM (PS-std)
VB	C-F	H-C	Nee	Wit, deurskynende sagte korrel	85000
KF	C-F	Cl-C	Nee	Goudkleurige harde korrel	45000
PS	-		Ja	Wit, harde korrel	115000
EE	C=O	HO-C-	Ja	Bruin, deurskynende korrels	80000
KG	-		Ja	Wit, sagte krummel	115000
CX	-		Ja	Wit, ronde rubber-korrels	100000

Dit is ook van belang by die oplosproses dat die polimeeroplossing sodanige viskositeit moet besit, dat dit steeds vryvloeiend en kwantitatief oorplaasbaar na die HMX-flodder is. Viskositeit is, vir 'n bepaalde polimeer, konsentrasie-afhanklik, en derhalwe kan die probleem oorkom word deur die konsentrasie so laag moontlik te hou. Die fisiese PBX-korrelvormingsproses bepaal egter dat die hoeveelheid oplosmiddel in die flodder laag moet wees, en derhalwe moet 'n kompromie tussen konsentrasie en viskositeit getref word. Tipiese waardes vir oplossingsviskositeit verskyn in Tabel 4.6.

Tabel 4.6 : OPLOSSINGSVISKOSITEITE VAN POLIMERE

Poli-meer	Oplos-middel	Konsen-trasie (% m/m)	Tempera-tuur (°C)	Viskosi-teit (mPa.s)	Bron
VB	EA	20	23	1100	Eksp
KF	MEK	20	23	100 95	29 Eksp
PS	Tolueen	15	23	100	Eksp
EE	MEK	15	23	460	30
KG	Tolueen	20	23	1500	31
	Tolueen	15	23	388	32
CX	Tolueen	25	23	1200	28

4.4 CHEMIESE STABILITEIT

Dit is belangrik dat die polimeer oor chemiese stabiliteit beskik, sodat dit 'n lang raklewe het. Die polimeer moet hierdie stabiliteit in die ongeprosesseerde vorm en ook in die PBX openbaar, sodat dit vir lang tydsdure (jare) as voorraad geberg of in die plofkop in magasyn gestoor kan word. Gewoonlik is sodanige bergplekke teen die effek van die elemente beskut, maar dit is nogtans noodsaaklik dat die polimeer/PBX nie as gevolg van kortstondige ligbloomstelling (uv-bestraling) degradeer nie. Stabiele, uv-onaktiewe bindings is dus verkieslik bo byvoorbeeld chromofoorgroepe in die struktuur. Die suur- en basisbestandheid van die polimere is van belang waar sodanige materiale tydens

berging in tipies chemiese omgewings gehou word. Voorts bied hierdie bestandheid gewoonlik 'n gerieflike skeidingstegniek, deurdat byvoorbeeld die brisantstofkomponent (HMX) deur middel van suurvertering kwantitatief bepaalbaar is as die polimeer suurbestand is (belangrike gehalteversekerings-aspek). Tabel 4.7 gee die belangrikste chemiese karakteristieke van die polimere weer.

Tabel 4.7 : CHEMIESE KARAKTERISTIEKE VAN POLIMERE (KLASSIFIKASIE VERWYS NA LEWERANSIERS-BROJSURE)

Poli meer	UV-effek	Suurbestandheid	Basisbestandheid	Bron
VB	Geen	Goed (g. HNO ₃)	Goed (NaOH)	33
KF	Geen	Goed (g. HNO ₃)	Goed	34
PS	Gering (ar. ring)	Matig	Goed	26
EE	Wel (dub-belbind)	Goed	Goed	35
KG	Gering (ar. ring)	Matig (nie g. HNO ₃)	Goed	27
CX	Beduidend (onvers)	Matig (nie g. HNO ₃)	Goed	28

4.5 TERMIESE EIENSKAPPE

Vanweë die wye temperatuurspektrum waaraan die PBX tydens sy leeftyd blootgestel kan word, is die termiese eienskappe van die polimeer van groot belang. Die polimeer moet ten eerste nie oor die aanwendingstemperatuurgebied degradeer of chemies onomkeerbaar verander nie. Dit is wenslik dat die polimere nie onder ca. 280 °C ($HMX-T_m$) begin ontbind of enige eerste orde fase-oorgange ondergaan nie. Die polimeer moet vir relatief lang tydsdure aan temperature tot byvoorbeeld 130 °C blootgestel kan word sonder om te depolimeriseer, te kruisbind of te vervloei. Hierdie vereiste het ten gronde die lang drogingstye van die floddernat-PBX (tot 24h), die kondisionering van die PBX voor en gedurende die persingsproses, en ook die toepassingsvereistes ten opsigte van termiese stabiliteit. Tweede-orde oorgange in die tipiese temperatuurspektrum -55 °C tot ca. 130 °C is wel toelaatbaar. So 'n oorgang is die glastemperatuur van die polimeer, waar dit van 'n glasagtige na 'n rubberagtige struktuur oorgaan. Uit persoorwegings is 'n lae glaspunt (laer as kamertemperatuur) verkieslik, aangesien dit 'koudpersbaarheid' bevoordeel en daar dus nie van verhitte toerusting gebruik gemaak hoef te word nie. Uit 'n toepassingsoogpunt, daarenteen, sal 'n glaspunt buite die aanwendingstemperatuurgebied ideaal wees aangesien dit meebring dat die PBX teen 'n konstante

uitsettings- en inkringingstempo tydens termiese siklusse verander. Glasoorgange sal in hierdie geval 'n verandering in tempo meebring, dit wil sê die geperste lading sal by die oorgang dimensioneel teen 'n ander tempo begin verander. Hierdie eienskap word moeilik deur die plofkopontwerper geakkomodeer, aangesien die hardeware uniforme uitsetting- en inkrappingskoeffisiënte besit. Tabel 4.8 gee die belangrikste termiese eienskappe weer.

Tabel 4.8 : TERMIESE EIENSKAPPE VAN POLIMERE

Poli-meer	T _m (°C)	T _g (°C)	Algemene termiese stabiliteit	Bron
VB	315	-27	Uitstekend agv C-F-bindings Geen degradasie 70°C vir 12 mnde	36
KF	-	30	Uitstekend agv C-F en C-Cl-binding Geen degradasie 70°C vir 12 mnde	36
PS	240	100	Redelik	1
EE	250	-31	Redelik	1
KG	215	100 (PS) -48 (EB)	Goed	27
CX	220	100 (PS) -38 (BD)	Goed (-60°+200°C)	28

4.6 PLASTISEERBAARHEID

Die invoeging van 'n plastiseerder in die polimeersisteem is onwenslik, aangesien dit (i) die chemiese analisering van die PBX bemoeilik en (ii) 'n nadelige effek op die langtermynstabiliteit van die PBX mag hê, deurdat migrasie en later eksudasie van die plastiseerder kan plaasvind. Die gebruik van 'n plastiseerder word egter genoodsaak waar die polimeer- T_g bokant die perstemperatuur van die PBX is. Die perstemperatuur word deur die perstoerusting en die termiese stabiliteit van die PBX bepaal. Indien die perstoerusting waterverhit is, word perstemperatuur van hoogstens 90 °C verkry. Olieverhitting verhoog die temperatuurlimiet en perstemperatuur tot 180 °C is haalbaar. Uit veiligheidsoorwegings word die pers van HMX-gebaseerde PBX nooit hoër as 130 °C onderneem nie, en kan die temperatuur as 'n teoretiese grenswaarde beskou word. Die funksie van die plastiseerder sal dus wees om polimere meer prosesseerbaar by laer temperature te maak. As 'n algemene reël geld dat die polimeer- T_g oorskry moet word om goeie vervloeiing tydens die persaksie te verkry. PS, met 'n T_g van 100 °C, asook CX en KG, wat polistireen in die polimeerstruktuur inkorporeer, sal dus nie doeltreffend by 90 °C konsolideer nie. Die gebruik van 'n plastiseerder word dus vereis. Die plastiseerder moet of die PS- T_g genoegsaam verlaag, of met die PS-endblokke by die

perstematpura assosieer om sodoende persvloeiing te bewerkstellig. Tabel 4.9 gee die plastiseringsgedrag van die polimere opsommenderwys weer.

Tabel 4.9 : PLASTISEERBAARHEID VAN POLIMERE

Poli-meer	Plastiseerbaarheid	Plastiseerders (vb'e)	Bron
VB	Onnodig itv lae-T-gebruik	dioktielsebakaat	33
KF	Verhoog prosesseebaarheid	aromatiese triole	
PS	Verlaag T_g	dioktielftalaat	37
EE	Onnodig itv lae T-gebruik	BDNPA/F, TNT	1
KG	Vergemaklik lae T-gebruik	Aptekersparaffien	27
CX	Vergemaklik lae T-gebruik	Petroleum-olie	28

4.7 DIGTHEID

Die polimeerdigtheid is van belang aangesien dit (i) vir die berekening van die PBX se teoretiese maksimum digtheid benodig word en (ii) dit die HMX-inhoud wat in die matriks geïnkorporeer kan word, bepaal. Die TMD van 'n PBX is belangrik as die mate van persverdigting bepaal moet word. Dit is vroeër gestel dat 'n minimum van 97% TMD na persing verlang word. Dit bied sodoende 'n sinvolle basis vir vergelyking tussen verskillende samestellings en bring 'n

mate van gehalteversekering mee. TMD word as volg bereken ¹ :

$$\text{TMD} = \frac{\text{som van die PBX-komponent-massas}}{\text{som van die PBX-komponent-volumes}}$$

Die polimeerdigtheid bepaal ook tot watter mate die HMX en PBX geïnkorporeer kan word. Lae digtheid-polimere laat relatief hoër massabeladings per eenheidsvolume toe, terwyl dieselfde HMX-oppervlak-area aan die polimeer blootgestel is. Dit beteken dat, in die praktyk, lae digtheid polimere hoër HMX persentasies (massagewys) toelaat. Tabel 4.10 gee die digthede van die polimere onder bespreking weer. Die besondere hoë digthede van die fluoro-elastomere, teenoor die lae digthede van die blokpolimere, is opmerklik.

Tabel 4.10 : POLIMEERDIGTHEDE

Polimeer	Digtheid (g/cm ³)	Bron
VB	1,815	34
KF	2,02	1
PS	1,12	1
EE	1,18	38
KG	0,92	27
CX	0,94	28

4.8 KEUSE VAN HMX/POLIMEER-KOMBINASIES

Die volgende gevolgtrekkings kan na aanleiding van die voorafgaande gemaak word:

- i) Al die polimere is volgens die S15-VTS-toets met HMX verenigbaar.
- ii) Al die polimere los in organiese oplosmiddels op, en die water-aseotrope wat met die flodderproses gekry word, sal onder 100 °C afdistilleer. Die polimere is almal water-onoplosbaar.
- iii) Die polimere is almal van korrelagtige fisiese voorkoms en is derhalwe maklik hanteer- en afweegbaar ten opsigte van prosesvoorbereiding. Die korrelagtige voorkoms vergroot ook die oppervlak-area en bevorder dus oplosmiddel-polimeer interaksie.
- iv) Die oplossingsviskositeit is van dieselfde orde.
- v) Die polimeer-MM's is van dieselfde orde.
- vi) KG en CX is blokkopolimere en die ander lineêre polimere.
- vii) Die polimere toon goeie chemiese stabiliteit, met VB en KF (beide fluoropolimere) uitstekende suur- en basisbestandheid. EE en CX bevat chromofoorgroepe en is derhalwe UV-sensitief. VB en KF is dus

voortreflike, stabiele polimere.

- viii) Die polimere is almal oor die tipiese temperatuurgebied $-55\text{ }^{\circ}\text{C} + 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ stabiel. VB en KF is termies die stabielste as gevolg van die baie sterk C-F en C-Cl-bindings. PS, EE, KG en CX begin voor die smeltpunt van HMX reeds degradeer.
- ix) Die polimere is almal termoplastieke. VB en EE het T_g 's laer as kamertemperatuur en is potensieel koudprosesseerbaar. PS (en die PS-bevattende blokpolimere) het 'n T_g van $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, wat die gebruik van 'n plastiseerder of verhitte perstoerusting impliseer.
- x) Uit 'n toepassingsoogpunt is die polimere met T_g 's buite die tipiese temperatuurspektrum $-45\text{ }^{\circ}\text{C} + 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ verkieslik, aangesien dit nie sekondêre fase-oorgange sal ondergaan nie. PS, KG en CX blyk dus die beste ten opsigte van hierdie vereiste te wees.
- xi) Geeneen van die polimere het energierike groepe nie. VB en KF inkorporeer F, maar die werklike bydrae daarvan ten opsigte van energielewering kan nie op hierdie stadium gekwantifiseer word nie.

xii) Die fluoro-elastomere het hoë digthede en verleen dit daarom nie tot hoë HMX-belading nie. In die opsig is KG en CX die voortreflikste formulerings.

Bovermelde polimeer-karakteristieke toon dat veral VB en KF se eienskappe ooreenstem, en besonder gunstig ten opsigte van chemiese en termiese stabiliteit is. Vanuit persoorwegings is VB en EE oënskynlik die aangewese koudprosesseerbare polimere. Vir toepassing blyk veral KG en CX ten opsigte van digtheid en T_g geskik te wees. Om egter 'n polimeer op grond van bogenoemde te kies, sou nie sinvol wees alvorens al die PBX-eienskappe nie bekend is nie. Hierby word die meganiese, termiese en desensteringseienskappe van die polimere ingesluit, wat 'n bepalende invloed op die finale keuse sal uitoefen. Die volledige karakterisering van die volgende PBX-formulerings sal derhalwe van deurslaggewende belang wees (alle % massa/massa):

- HMX/VB : 90 / 10 [HXVB 9001]
 92,5/7,5 [HXVB 92501]
 95 / 5 [HXVB 9501]

Hierdie formulerings sal die invloed wat die binderinhoud op die eienskappe ter sprake het, kan uitwys. Voorts sal die invloed wat grafiet op die persproses het, ondersoek word deur die volgende samestellings te pers en te evalueer:

- HMX/VB/grafiet : 90 / 9 /1 [HXVB 9001G]
 92 / 7 /1 [HXVB 92501G]
 94,5/4,5 /1 [HXVB 9501G]

- HMX/KF 90 / 10 [HXKF 9001]
 92,5/7,5 [HXKF 92501]
 95 / 5 [HXKF 9501]

Ook hier sal gepoog word om die optimum ten opsigte van binderinhoud te vind.

- In die geval van PS sal 'n bestaande RDX-samestelling, naamlik PBX 9205, as verwysingsamestelling gebruik word :

HMX/PS/DOP 92 / 6 / 2 [HXPS 9201]

Die plastiseerder dioktielftalaat word gebruik om die Tg van PS te verlaag.

- Twee bestaande EE-PBX-formulerings sal ondersoek word, naamlik:

HMX/EE 90 / 10 [HXEE 9001]
 95 / 5 [HXEE 9501]

Hierdie samestellings sal die effek van verskillende EE-inhoude illustreer.

- 'n Bestaande KG-formulering word ondersoek :

HMX/KG/Olie 97 / 1,5 / 1,5 [HXKG 9701]

Hierdie formulering staan ook as X-0298 bekend, en dit inkorporeer Aptekersparaffien as plastiseerder.

- CX is 'n relatief nuwe en onbekende polimeer, en daarom word 5% as HMX-binder gebruik :

HMX/CX 95 / 5 [HXCX 9501]

Geen plastiseerder sal aanvanklik as deel van die binder bygevoeg word nie.

HOOFSTUK 5

PBX-VERVAARDIGING

Hierdie hoofstuk gee 'n literatuuroorsig van persbare PBX-vervaardigingstegnieke, waaruit die mees toepaslike proses vir hierdie ondersoek geïdentifiseer sal word. 'n Beskrywing van die prosestoerusting word gegee, en prosesveranderlikes wat die kwaliteit van die HMX-PBX kan beïnvloed, word geïdentifiseer. 'n Voorbeeld van 'n prosesoptimeringsonderzoek word beskryf, en aanbevelings ten opsigte van proseskondisies vir die formulerings word gemaak.

5.1 PBX-PROSESSE: 'n LITERATUUROORSIG

Die vervaardiging van polimeergebinde, persbare PBX berus deurgaans op fisiese vermengingsprosesse, alhoewel melding van chemiese, sintese-tipe reaksies ook gemaak word. Voorts blyk dit dat die spesifieke proses toerusting-afhanklik is. So byvoorbeeld kan vertikale mengers, rollers of distilleertoerusting aangewend word. 'n 'Ideale' proses word nie geïdentifiseer nie, aangesien elke tegniek voor en nadele inhou.

i) Kruisbindingsreaksies ^{39, 40}

Formulerings wat met kruisbindende binders vervaardig word, het as bindervormende reaksie 'n chemiese binding. Dit vereis dat 'n twee-komponent bindersisteam gebruik word, wat tipies uit 'n prepolimeer en 'n katalisator bestaan. Hierdie twee

binderkomponente reageer dan tydens die proses¹²⁹ chemies om tot 'n polimeermatriks te kruisbind (analoog aan die giet-PBX-vervaardigingstegniek). Gewoonlik word die kruisbindingsreaksie tot en met die persproses vertraag, waarna dit onder katalitiese inwerking van druk en temperatuur verhard. 'n Verskeidenheid van ander bymiddels, soos plastiseerders, word as deel van die binder geïnkorporeer. Hierdie reaksie word veral vir poliuretaanbinders gebruik. Hierdie tegniek word nie op grootskaal vir pers-PBX gebruik nie, omdat 'n maksimum brisantstofinhoud van 94% as gevolg van problematiese homogenisering verkry kan word (anders onegalige verspreiding van prepolimeer en katalisator). 'n Verdere nadeel is die gebruik van droë brisantstof, aangesien dit die kruisbindingsreaksie nadelig kan beïnvloed. Verder is hoë temperature, lang draaltye en hoë persdrukke nodig om die bindingsreaksie so volledig moontlik tydens persing te laat verloop, terwyl lae % TMD's in vergelyking met termoplastiek-gebinde PBX verkry word. Ook is die korrelvervaardigingsproses en die persaksie vanweë die kruisbinding tydafhanklik van mekaar (beperkte raklewe as korrel), wat bepaalde nadelige ekonomiese implikasies inhou. Voordele van die proses sluit in die besondere meganiese en termiese karakteristieke van geperste produk, en dat dieselfde polimeer vir gietbare sowel as persbare PBX gebruik kan word.

ii) Watervrye komponent-vermenging ^{5.40}

Hierdie metode was die eerste wat vir die bereiding van polimeergebinde brisantstowwe gebruik is (1952). Hiervolgens is vertikale mengers, wat ook vir die vermenging van viskose gietsamestellings gebruik word, vir die vervaardiging van die korrelproduk gebruik. Eers word die brisantstof met 'n oplosmiddel, waarin die polimeer oplosbaar is, benat, terwyl die polimeer in 'n aparte houër in dieselfde oplosmiddel opgelos word om 'n lak te vorm. Die oplossing word dan by die brisantstof-oplosmiddelmengsel gevoeg, terwyl die mengsel geroer word. Hierdie mengaksie word deurgevoer totdat alle klonte opgebreek is (visuele inspeksie). Die oormaat oplosmiddel word onder vakuüm afgetrek, waarna die oplosmiddel nat PBX-klonte onder vakuüm gedroog word. DATB-Viton samestellings is volgens hierdie tegniek vervaardig.

Die nadele aan hierdie metode is talryk, byvoorbeeld die gebruik van groot hoeveelhede vlambare oplosmiddels; die gebruik van droë brisantstowwe; die verkryging van klonterige korrelproduk van nie-homogene samestelling; asook die poeieragtige en stowwerige voorkoms van die droë PBX. 'n Voordeel van hierdie metode is dat mengers veeldoelig aangewend kan word, dit wil se toerusting kan vir giet- asook pers- PBX vervaardiging gebruik word.

iii) Binders met lae smeltpunte ^{42,43}

Hierdie metode word vir die vervaardiging van wasbedekte brisantstowwe gebruik, en alhoewel wasse streng gesproke nie polimere is nie, is die metode meldingswaardig vanweë die wye toepassing daarvan. 'n Flodder-tipe proses word gevolg deurdat 'n suspensie van die brisantstof in water gemaak word, waarna die was tot hierdie flodder toegevoeg word. Vanweë die relatief lae smeltpunt van byvoorbeeld byewas (tipies 60 - 70 °C), smelt die was indien die floddertempertuur verhoog word. By afkoeling van die flodder presipiteer die was op die kristallyne brisantstofoppervlak. Deur die proses herhaaldelik uit te voer, kan die brisantstof effektief en homogeen deur die flegmatiseerder bedek word. Hierdie metode kan ook vir die bereiding van TNT-bevattende perskorrels gebruik word.

Hierdie proses het min nadele en word derhalwe op grootskaal aangewend. Vanweë die hoë T_m van polimere is dit egter nie vir PBX-bereiding geskik nie.

iv) Mikro-enkapsulasie ^{44,45}

Hierdie tegniek omvat die bereiding van 'n polimeeroplossing (tipies 10% Viton in etielasetaat) en die emulsifisering daarvan in water. 'n Beskermende kolloïed, byvoorbeeld PVOH, word in die water opgelos. Flokkulasie van die polimeeroplossing word verhoed deur die water vooraf met die

oplosmiddel te versadig. Die brisantstof (byvoorbeeld RDX) word by die emulsie gevoeg en die oplosmiddel afgedistilleer, waartydens die polimeeroplossing in gekonsentreerde druppels op die brisantstof-oppervlak neerslaan. Hierdie druppels vloei dan tot 'n polimeerfilm aaneen soos die distillasieproses vorder. Die gevormde PBX-korrels word dan affiltreer en gedroog (tipies 24 uur teen 60 °C).

Die nadele verbonde aan die tegniek is dat sferiese brisantstofkristalle met nou korrelgrootte-verspreiding benodig word, ten einde homogene bedekking te verkry, terwyl die gebruik van 'n korrekte hoeveelheid effektiewe emulsifiseerder noodsaaklik is ten opsigte van produkkwaliteit¹¹. Die proses is tot op hede slegs op laboratoriumskaal en vir navorsingsdoeleindes ondersoek, en is dus tans slegs van akademiese belang. Voordele sluit die verkryging van 'n uniform-bedekte brisantstofkristal, wat veilig ten opsigte van hantering is; die relatief eenvoudige vervaardigingsmetode wat ook veilig is; en klein hoeveelhede oplosmiddel wat benodig word, in.

v) Dispersietegnieke ^{39. 43. 44. 46.}

Volgens die waterige-dispersiemetode word die binder in water gedispergeer, waarna die brisantstof met die dispersie vermeng word sodat die binder daarmee koaguleer (byvoorbeeld deur asynsuur tot die mengsel

toe te voeg). Hierna word die water affiltreer, en die polimeergebinde brisantstofkorrels voor verdere gebruik, gedroog. Variasies op die basiese metode bestaan, byvoorbeeld deur bymiddels soos benattingsmiddels by die mengsel te voeg. Tot nege bymiddels per formulering word gerapporteer.

Nadele van die proses is dat die gevormde korrels klonterig is en verder gegranuleer moet word om homogene PBX-korrelgroottes te verkry. Hoe hoër die persentasie polimeer, hoe hoër die watervolume wat toegevoeg moet word. In die geval van 8% en meer binder kan dié volume onwerkbaar groot raak. Die dispersie se samestelling is gewoonlik kompleks, en die voorbereiding daarvan kan baie tydsam wees. Verder is dié tegniek net vir wasagtige en poliuretaantipe binders geskik. Die proses hou egter ook voordele in, soos die oplosmiddelvrye prosesering, geen emulsifiseerders wat vereis word nie, goeie film-tipe benatting van brisantstof, homogene inkorporering van veral klein binderhoeveelhede, distilleertoerusting wat oorbodig is en wateronoplosbare binders, soos PTFE, wat volgens hierdie metode as PBX-binders aangewend kan word.

vi) Presipitasietegnieke ⁴⁰. ⁴⁷.

Die metode behels die bereiding van 'n polimeeroplossing, gevolg deur die neerslaan van die polimeer op die brisantstof, deurdat die

oplosbaarheid van die polimeer in die oplosmiddel verlaag word. Die presipitasie-effek kan bewerkstellig word deur òf water òf 'n ander oplosmiddel by die oplossing/brisantstofmengsel te voeg. Die proses begin deur die polimeer in 'n geskikte oplosmiddel op te los (byvoorbeeld Viton in asetoon). Die brisantstof (droog) word met die lak vermeng deur hetsy die lak by 'n soortgelyke oplosmiddel-suspensie van die brisantstof te voeg, of die brisantstof by die lak te voeg. Die tweede vloeistof (water of oplosmiddel) word dan beheerd bygevoeg en die polimeer presipiteer op die oppervlak van die plofstof deur middel van 'n ekstraksieproses. Die vloeistoffase word dan afdekanteer en die gevormde PBX-korrels gedroog.

Die nadele verbonde aan die proses is die gebruik van droë brisantstof; die gebruik en herwinning van groot hoeveelhede oplosmiddels; en die beperking op die aantal presipitasie-media (soos water/asetoon). Voordele is dat mengsels van brisantstowwe, wat verskillende benattingseienskappe besit, homogeen in een PBX-formulering gekombineer kan word; distilleertoerusting wat oorbodig is en die goeie prosesbeheer wat verkry kan word deur volumeverhoudings te optimeer.

vii) Floddertegnieke

'Omgekeerde' floddertegniek ⁴⁸.

Hierdie metode behels die bereiding van 'n binderoplossing, waarby die brisantstof (droog) gevoeg word om 'n plofstoflak te vorm. Die lak word vervolgens onder agitاسie by water in 'n distilleervat gevoeg, waar dit gedispergeer word om uiteindelik PBX-granules in die flodder te vorm. Die oplosmiddel word tydens die proses afgedistiller. Agitاسie van die flodder vind deurgaans plaas, en prosesbymiddels soos ontskuimers word soms bygevoeg om die proses te bevoordeel. Die gevormde PBX word affiltreer en dan gedroog (byvoorbeeld HNS/Kel F-formulerings).

Nadele van die proses is die gebruik van groot hoeveelhede oplosmiddels; doelgeskikte distilleertoerusting wat vereis word; en die gebruik van droë brisantstowwe. Voordele van die proses sluit in goeie prosesbeheer in terme van produkkwaliteit; relatief vinnige proses; lae digtheid/fynverdeelde brisantstowwe wat effektief benat en gebind kan word en mengsels van brisantstowwe wat geïnkorporeer kan word.

'Normale' floddermetode ^{5. 41. 49}.

Hierdie tegniek is die meeste in gebruik. 'n Polimeeroplossing word in 'n geskikte oplosmiddel

gemaak, terwyl 'n brisantstof-waterflodder terselfdertyd in 'n distilleervat berei word deur die verlangde hoeveelheid brisantstof onder agitاسie by water te voeg. Die oplossing (lak) word hierna by die flodder gevoeg, waarna die oplosmiddel deur middel van 'n aseotropiese distillasie afgedamp word, terwyl steeds geroer word. Die gevormde PBX-korrelproduk word van die water geskei deur filtrاسie, waarna dit gedroog word. Afhangend van die aseotroop-kookpunt, kan die distillasie onder vakuum uitgevoer word. Prosesbeheer word toegepas deur onder andere die agitاسietempo deur die prosesverloop te varieer, of om van bepaalde oplosmiddel/waterverhoudings gebruik te maak. Bymiddels soos oppervlakbenatters en disperseermiddels kan ook as deel van die proses geïnkorporeer word om 'n bepaalde korrelmorfologie te verkry. Die distillasie kan deur lewendige stoomtoevoeging (vinnig) of mantelverhitting (beheerd) bewerkstellig word.

Die proses het ook inherente nadele, soos die gebruik van groot hoeveelhede organiese oplosmiddels, en die herwinning daarvan; die noodwendige gebruik van distilleertoerusting; skuimvorming by lae-digtheid/fynverdeelde brisantstowwe; en die nie-geskiktheid daarvan vir mengsels van brisantstowwe met nie-soortige benattingseienskappe. Voordele van die (gewone)

floddertegniek is die gebruik van vogtige ('nat') brisantstowwe, die relatief eenvoudige en vinnige proses, goeie kwaliteitbeheer deur proseskondisies en die verkryging van 'n stoflose, vryvloeiende PBX-korrelproduk.

5.2 FAKTORE WAT DIE KEUSE VAN 'n VERVAARDIGINGSMETODE BEINVLOED.

Uit die voorafgaande bespreking kan sekere prosesveranderlikes/-beperkings geïdentifiseer word. Hierdie faktore word vervolgens aan die hand van die voorgestelde HMX-PBX-formulerings bespreek.

i) Prosestoerusting

Drie tipes prosestoerusting is geïdentifiseer, naamlik vertikale, hoë-wringkrag-mengers; verhitbare floddervate sonder distilleerfasiliteite; en verhitbare floddervate met distilleerfasiliteite. Die beskikbaarheid van hierdie toerusting is van deurslaggewende belang, aangesien die oprigting van sodanige fasiliteite 'n duur kapitaaluitleg meebring. Uit die literatuur blyk dit dat die flodder/distillasieproses, waar moontlik, verkies word. Aangesien doelgeskikte distilleervate vir hierdie ondersoek beskikbaar is, word die tegnieke van mikro-enkapsulasie en flodderprosessering bevoordeel.

ii) Droë HMX

Die gebruik van droë HMX word internasionaal, sover moontlik, vermy, aangesien die risiko's verbode aan

die hantering daarvan aansienlik hoër is as vir 'nat' HMX. (Droë HMX is meer impak-, wrywing- en skoksensitief as vogtige formulerings.) Om veiligheidsredes word mikro-enkapsulasie, dispersie en die normale flodderproses dus bevoordeel.

iii) Oplosmiddel-gebruik

Organiese oplosmiddels is oor die algemeen toksies en hoogs vlambaar, en derhalwe word die gebruik daarvan in brisantstofprosessering tot die minimum beperk. Word die gebruik daarvan wel genoodsaak, is dit nodig dat die infrastruktuur ingerig word sodat die prosesrisiko's tot die minimum beperk word (koste-implikasie). Die dispersie-metode, wat oplosmiddelvrye korrelvervaardiging behels, is dus uit hierdie oorweging verkieslik.

iv) Grondstowwe

Die beskikbaarheid van grondstowwe beïnvloed ook die proseskeuse deurdat dit die lewensvatbaarheid van die proses kan bepaal. Om hierdie rede is die mikro-enkapsulasie-metode, wat die gebruik van 'n baie nou HMX-korrelgrootteband impliseer, op hierdie stadium van akademiese belang.

v) Prosesbymiddels

Uit produksie-oorwegings is dit verkieslik dat bymiddels wat vir prosesbeheer bygevoeg word, tot die minimum beperk word. Die motivering is dat addisionele prosesveranderlikes, wat moeilik

naspeurbaar is, sover moontlik uitgeskakel moet word. Mikro-enkapsulasie-, presipitasie- en dispersietegnieke is voorbeelde van prosesse wat sodanige bymiddels vereis.

vi) Produkspesifieke aard van proses

Aangesien verskillende HMX/polimeersamestellings vervaardig moet word, moet die metode ditself verleen tot die prosessering van al die tipes polimere, en die formulering van verskillende HMX/polimeer-verhoudings. Al die polimere is wateronoplosbaar, maar oplosmiddeloplosbaar, en gevolglik bied die watervrye vermenging van HMX/polimere, die mikro-enkapsulasietegniek, die presipitasietegniek en die floddertegnieke moontlike alternatiewe.

vii) Inherente veiligheid van proses

Uiteraard is waterflodderprosesse veiliger as oplosmiddelfloddertegnieke. Om hierdie rede is die tegnieke van dispersie, mikro-enkapsulasie en 'normale' flodder verkieslik.

viii) Tydsduur van proses

Om ekonomiese redes word prosesse wat PBX teen 'n hoë tempo kan lewer, begunstig. Die metodes wat dus in terme van tydsuur kort is en wat 'n korreelproduk gereed vir verdere prosessering lewer, sal dus voorkeur geniet. Sodanige tegnieke is die mikro-enkapsulasie- en flodder-metodes.

ix) Bedekkingseffektiwiteit

Homogeen-bedekte HMX-kristalle sal minder impak- en wrywings sensitief wees, en word derhalwe as die ideaal voorgehou. Uit persoorwegings word sodanige PBX-korrels ook verkies, aangesien dit tot uniforme polimeervloei tydens die persaksie aanleiding gee. Die tegnieke van mikro-enkapsulasie en dispersie voldoen aan hierdie vereistes.

x) Produkkwaliteit

Hiermee word die prosesvermoë in terme van produkkwaliteit geïmpliseer, dit wil sê die mate waartoe die PBX-korrels vir onmiddellike verdere prosessering (byvoorbeeld droging) geskik is. Al die prosesse, op die watervrye komponentvermengingstegniek en die dispersiemetode na, voldoen aan hierdie vereiste.

xi) Rakleef tyd van korrelproduk

Aangesien daar heelwat tyd kan verloop voordat die PBX-korrels gepers word, is dit noodsaaklik dat die korrelproduk goeie rakleef tyd-eienskappe moet besit, dit wil sê die PBX moet goeie langtermynstabiliteit openbaar. In die geval van die kruisbindingstegniek is die vervaardigings- en persprosesse tydafhanklik van mekaar, wat meebring dat die tegniek nie wenslik is nie.

5.3 KEUSE VAN 'n VERVAARDIGINGSMETODE

Uit die voorafgaande is dit duidelik dat elke tipe vervaardigingstegniek sekere voor- en nadele inhou. Dit moet egter beklemtoon word dat die stellings wat in die bespreking gemaak word, op literatuurverwysings gebaseer is, en nie noodwendig eksperimenteel bevestig is nie. Vanweë die koste-implikasie verbonde aan die volledige karakterisering van elke metode, is die proseskeuse op grond van die beskikbare verwysings gemaak. Die 'normale' floddertegniek het derhalwe geblyk die aangewese metode vir HMX-polimeer-binding te wees, en wel om die volgende redes:

i) **Ekonomie:**

Doelgeskikte distilleeraparaat is toeganklik en die proses is tydeonomies, dit wil sê relatief kort.

ii) **Veiligheid:**

Die gebruik van droë HMX word uitgeskakel, vlambare oplosmiddels word slegs tot 'n beperkte mate gebruik en die waterflodderproses is inherent veilig.

iii) **Kompleksiteit:**

Geen ander grondstowwe anders dan die PBX-komponente, oplosmiddel en water word vereis nie, terwyl geen prosesbymiddels noodwendig nodig is nie.

iv) **Aanpasbaarheid:**

Die proses is buigsaam om die verskeidenheid van formulerings volgens dieselfde metode prosesbaar

te maak, en die korreelproduk hoef nie binne 'n bepaalde tydverloop gepers te word nie. (Vervaardigings- en persprosesse tydonafhanklik van mekaar.)

v) **Produkwaliteit**

Goeie prosesbeheer kan herhaalbare produkwaliteit verseker.

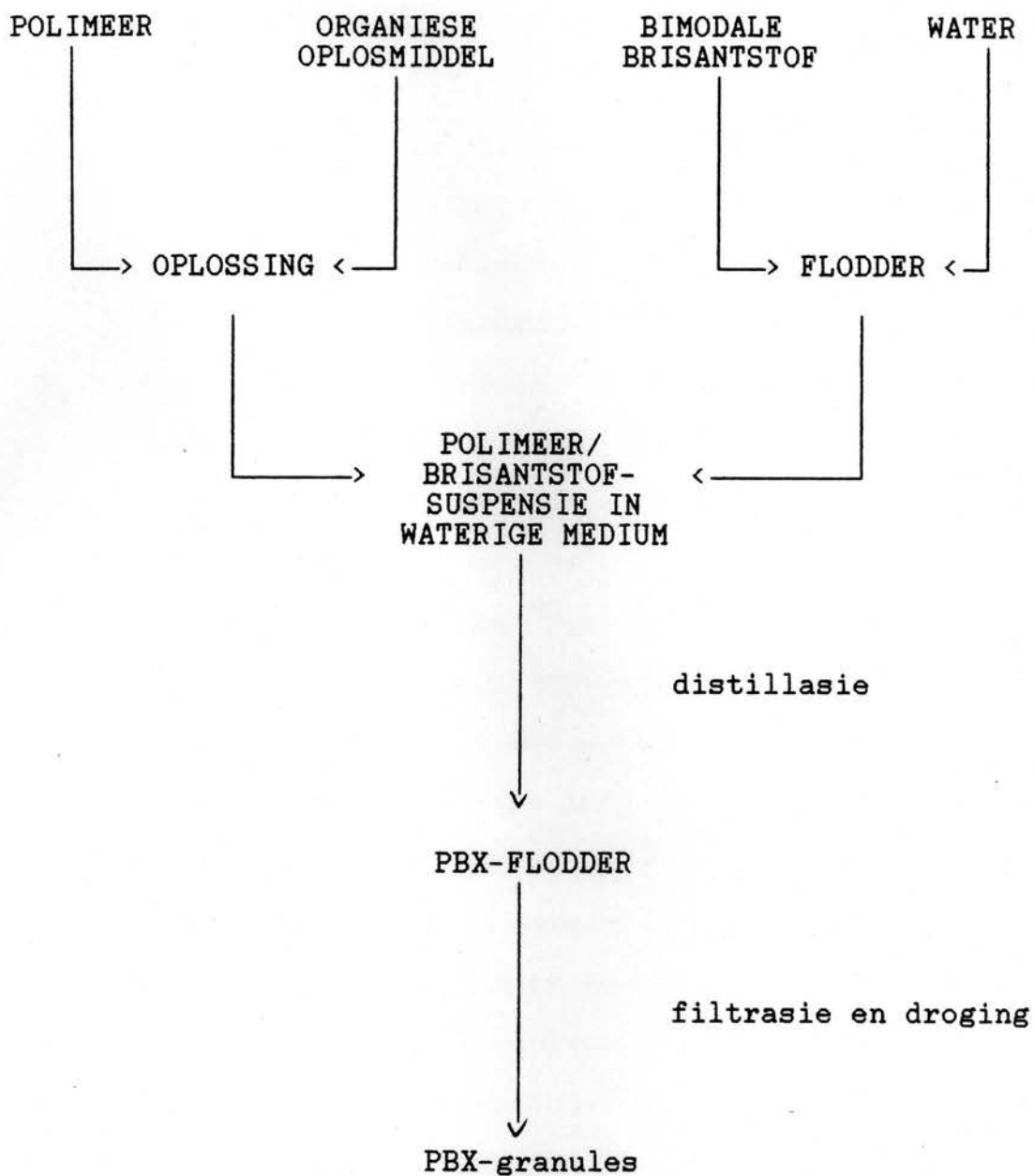
'n Moontlike nadeel is die verkryging van PBX-korrels wat nie homogeen bedek is nie. Hierdie faktor kan uiteindelik die PBX-korrelmorfologie en -hanteerbaarheid nadelig beïnvloed. Die verkryging van homogeen-bedekte en -gebinde HMX-kristalle vorm egter nie deel van hierdie ondersoek nie en sal in 'n opvolgondersoek op die gekose formulering uitgevoer word. Dit is nou nodig om die onderskeie stappe in die proses aan die hand van die spesifieke formulering ter sprake, in meer detail te beskou ²⁵.

5.4 PBX-FLODDERPROSES

'n Opsomming van die sogenaamde 'normale' floddertegniek is reeds in paragraaf 5.2 gegee. Duidelikheidshalwe word die prosesvloeydiagram in figuur 5.1 weergegee.

i) **Polimere**

Die polimeersisteme vir hierdie ondersoek is reeds in Hoofstuk 4 geïdentifiseer, naamlik VB, KF, PS, EE, KG en CX.



Figuur 5.1 : VLOEIDIAGRAM VAN DIE PBX-FLODDERPROSES

ii) Oplosmiddels

Die flodderproses is tot 'n groot mate gebaseer op emulsies van oplosmiddeldruppels wat in 'n waterige fase gedispergeer word deur meganiese arbeid (roeraksie). Die daaropvolgende stadium van die proses, naamlik jellering, is baie belangrik in terme van die uiteindelige PBX-korrelmorfologie en daarom is die wedersydse oplosbaarheid van die oplosmiddel en water baie belangrik. In die gevalle waar hierdie wedersydse oplosbaarheid baie laag is, sal die jellering eers tydens die distillasiefase geskied. Dit is egter verkieslik dat hierdie fase vóór distillasie moet plaasvind en daarom word oplosmiddels wat 'n geringe mate van wedersydse oplosbaarheid met water het, verkies. Sodanige oplosmiddel moet ook 'n lae tussenvlakspanning hê. Volgens hierdie twee vereistes is metileenchloried en etielasetaat die mees geskikte vir die proses. Dit is ook reeds in hoofstuk 4 gestel dat hierdie oplosmiddels die gekose polimere sal oplos, VB, KF en EE in etielasetaat, en PS, KG en CX in metileenchloried. Die oplosmiddels moet droog wees ten einde binderoplossings van geskikte konsentrasies te verkry vir doeltreffende jellering.

iii) Bimodale Brisantstof

Die bimodale brisantstofsisteem wat hier ter sprake is, is 'n mengsel van 70% HMX Klas 3 en 30% HMX Klas 2. (Verwys na hoofstuk 3 ter motivering van keuse.)

iv) Water

Water dien as koaguleerder en speel as sulks 'n belangrike rol in terme van prosesbeheer. Aangesien die verhouding water:oplosmiddel 'n bepalende invloed op die meganistiese verloop van die PBX-korrelvormingsreaksie het, is 'n kort eksperimentele ondersoek onderneem om die PBX-verliese as gevolg van nie-optimale verhoudings te beperk. Vanweë die relatief hoë koste van HMX, is RDX as substituuat gebruik. Die aanname dat die twee nitramiene soortgelyke proses-gedrag sal openbaar, is gemaak.

Die opstelling het uit die volgende apparaat bestaan, naamlik 'n 1000 ml-Erlenmeyer-fles in 'n waterbad op 'n magnetiese roerder/verhittingselement, 'n termometer, glasdistilleerapparaat, Liebigkoeler en opvangbeker vir die distillaat. Die binderoplossings is op 'n afsonderlike roerder berei. 'n Lugaangedrewe roerder is vir die agitاسie van die flodder gebruik. Alle oplossings is by kamertemperatuur gemaak en oplossings van ca. 10% (massa/massa) is berei. Distillasies is by atmosferiese druk uitgevoer.

45 g RDX is by 500 ml water in die reaksiefles gevoeg, terwyl 5 g VB in 50 g etielasetaat opgelos is (lot X1). Dieselfde flodder is berei, maar 5 g VB is in 100 g EA opgelos (lot X2). 'n Derde bereiding is gedoen, met 'n soortgelyke RDX-flodder, maar met 150 g EA (lot X3). Die

water:oplosmiddelverhoudings was dus 10:1; 5:1; en 1:1,33 onderskeidelik. In die geval van lot X1 is die proses deurgevoer sonder dat beduidende produkverliese waargeneem is. Lot X2 het gedurende die distillasie kwaai aan die roerder en glasapparaat gepak, wat met aansienlike produkverliese gepaard gegaan het. Lot X3 het reeds by die aanvang van die dispergeringsfase tot polimeeraanpakking aanleiding gegee, wat uiteindelik tot die totale verlies van die lot gelei het. Die massa PBX-korrels wat herwin is, was 49 g (X1), 30 g (X2) en 10 g (X3) onderskeidelik. Die ondersoek is uitgebrei na RDX/VB 90/10, en weereens was die opbrengs met 'n water:oplosmiddel van 10:1 bevredigend.

RDX/KF-samestellings, met RDX-inhoude tussen 90% en 95%, is volgens bogenoemde metode vervaardig, met EA as oplosmiddel. Die water:EA-verhouding was weer 10:1, en geen aanpakkings is waargeneem nie (slegs 'n effense skuimrandjie by die wateroppervlak). 'n 100 g Lot is ook vervaardig, deur in 'n 2000 ml-fles opgeskaalde verhoudings te gebruik. Geen produkverliese is waargeneem nie (water:EA 10:1).

RDX/KG 97/3 is as volg berei: 1,55 g KG en 1,45 g Aptekersparaffien is in 30 g metileenchloried opgelos, terwyl 'n flodder van 97 g RDX in 600 ml water berei is. Die taamlik viskose binderoplossing is by die flodder gevoeg en korrelvorming het na

sowat een minuut plaasgevind. Geen aanpakking van die polimeer aan die toerusting het plaasgevind nie, en totale produkverliese was minder as 2%. Die eksperiment is, vanweë die soortgelyke chemiese aard, nie met CX herhaal nie, en die aanname is gemaak dat soortgelyke verhoudings water:CH₂Cl₂ nie probleme sal oplewer nie.

RDX/PS 92/8 het, met water:CH₂Cl₂ van 10:1, beduidende produkverliese ondergaan, en die finale opbrengs was sowat 85% van die verwagte. Die verliese was toe te skryf aan redelike intensiewe aanpakking van PS en RDX in die gebied van die wateroppervlak. Die probleem is oorkom deur die verhouding tot 20:1 te verhoog.

Ten slotte is RDX/EE-formulerings ondersoek, en alhoewel bevredigende resultate in terme van opbrengs (99%) verkry is, was die korrelhomogeniteit duidelik nie na wense nie (water:EA 10:1).

Uit die kort eksperimentele ondersoek is die belangrikheid van die water:oplosmiddel-verhouding (10:1 tot 20:1) vir die flodderproses bevestig. Geen byvoegmiddels tot die water, soos PVOH, is gedurende hierdie ondersoek gebruik om die stabiliteit van die gedispergeerde emulsies te bevorder nie.

v) Binderoplossing

Dit is reeds gemeld dat die volume van die oplosmiddel relatief min moet wees. Dit verhoed produkverliese deurdat dit byvoorbeeld aanpakking aan toerusting uitskakel. Dit impliseer verder dat die konsentrasie van die binderoplossing indirek hierdeur bepaal word. Met inagneming van die verhouding polimeer tot HMX, moet hierdie konsentrasie so wees dat die jellering nie voor volledige dispergering plaasvind nie (te hoë konsentrasie) of dat meer water nodig is om die regte verhoudings te bewerkstellig nie (te lae binderkonsentrasie). Die spesifieke binderkonsentrasies verskil, alhoewel die literatuur binderkonsentrasies tussen 5 en 25 persent voorskryf (tipies 10%). Alle ander produkbestanddele, dit is grafiet of plastiseerders, word nadat die polimeer opgelos is, by die oplossing gevoeg. Om oormatige verdamping van oplosmiddel te voorkom, is alle oplossings by kamertemperatuur berei word.

vi) HMX-flodder

HMX word gewoonlik 'nat' geberg of vervoer, omdat water dit tot 'n mate ten opsigte van impak, skok en wrywing desensiteer. Die voginhoud van HMX is gewoonlik 5% tot 300%. Die droë massa HMX word as volg bereken, naamlik :

Massa HMX (droog) = Massa HMX (nat) $\times [1 - (\%vog)/100]$.

Om byvoorbeeld 1 kg droë HMX, (voginhoud 15%) af te weeg, is nat massa HMX verlang :

$$= 1,0 / (1 - 0,15) = 1,18 \text{ kg}$$

Deur dus die verlangde droë massa HMX te bereken, is dit nie nodig om die HMX te droog nie en word dit dus nat by die water in die distilleerapparaat gevoeg. Uit veiligheidsoorwegings word 'n minimum van 3 dele water vir elke deel HMX in die flodder vereis, alhoewel beter resultate in terme van prosesverloop verkry word indien hierdie verhouding nog groter (byvoorbeeld 5:1 is). Die growwe en fyn HMX-fraksies word nie vooraf vermeng nie, maar afsonderlik in die distilleerapparaat gelaai. Die flodder word dan deeglik vir minstens 5 minute vinnig geagiteer om die gewese vermenging van die bimodale sisteem te verkry. Geen prosesbymiddels is vir hierdie ondersoek tot die flodder toegevoeg nie. Alle aksies van die floddervoorbereiding geskied by kamertemperatuur, om sodoende die flodder en die oplossing by dieselfde tempertuur bymekaar te kan voeg.

vii) HMX/polimeer-korrelvorming

Byvoeging van die oplossing by die flodder vind by kamertemperatuur plaas, onderwyl die reaksiemengsel vinnig geroer word. Hierdie fase kan in vyf

subprosesse onderverdeel word, naamlik die dispergeringsfase, waartydens die binderoplossing in 'n emulsie van klein druppels omskep word; die jelleringsfase, waartydens die emulsie tot 'n plastiese jel oorgaan; hegting, wanneer die jel aan die HMX-oppervlak adheer; klontvorming, waartydens die jel-globules verskillende HMX-kristalle aanmekaar heg; en die PBX-korrelvorming, wat met die uitdryf van die oplosmiddel en die opbreek van die klonte gepaard gaan.

Daar is besluit om nie te poog om die verskillende stadia hierbo genoem, vir elke PBX-formulering te optimeer nie, maar om eerder die proseskondisies sodanig te kies dat dit vir al die gekose sisteme 'n werkbare produk sal lewer. Die volgende twee faktore is egter in aanmerking gehou, naamlik dat emulsies onstabiel is en meganiese arbeid in die vorm van roering nodig is om die organiese emulsie in die flodder te breek en gedispergeer te hou, en dat die jelleringsproses voltooi moet wees vóór die distillasieproses begin.

Hierdie fase van die prosesverloop is voltooi na verhitting van die reaksiemengsel tot 100 °C en handhawing van hierdie temperatuur vir 'n paar minute. Sodoende word verseker dat alle oplosmiddel deur die aseptropiese distillasie afgedryf word.

viii) PBX-flodder

Na voltooiing van die distillasie word die mengsel (dit is water/PBX-korrels) afgekoel tot 'n temperatuur benede die aseptropiese kookpunt, onderwyl die mengsel steeds geroer word. Hierna word die PBX-granules affiltreer en by 70 °C vir 24h gedroog.

5.5 HMX-PBX-PROSESKONDISIES

Die volgende relevante afleidings ten opsigte van die voorgestelde normale flodderproses kan gemaak word :

- i) Metileenchloried (vir KG, CX en PS) en etielasetaat (vir VB, KF en EE) is die aangewese oplosmiddels,
- ii) die verhouding water:oplosmiddel moet groot wees, tipies tussen 10:1 tot 20:1,
- iii) binderkonsentrasies in die orde van 10% lewer 'n bevredigende, werkbare produk, en
- iv) agitasie van die reaksieflodder is deurgaans noodsaaklik.

Die bereiding van 'n tipiese PBX lot kan aan die hand van 'n voorbeeld gebaseer op paragraaf 5.4 geïllustreer word :

Gestel 1 kg HXKF 9501 moet vervaardig word uit HMX Klasse 2 en 3, moet voginhoud 10% en 5% onderskeidelik.

$$\begin{aligned}\text{Totale droë massa HMX} &= 0,95 \times 1000 \\ &= 950 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Droë massa Klas 2} &= 0,30 \times 950 \\ &= 285 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nat massa Klas 2} &= 285/0,9 \\ &= 316,7 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\text{So is nat massa Klas 3} = 700 \text{ g}$$

50 g KF word benodig, dit wil sê EA word as oplosmiddel gebruik.

$$\begin{aligned}\text{Vir 'n 10\%-oplossing} &= 500 \text{ g EA} \\ &= 555,6 \text{ ml EA}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa water} &= 10 \times 500 \\ &= 5000 \text{ g}\end{aligned}$$

Hieruit is die massa water : HMX ca. 5:1, wat uit veiligheidsoorwegings aanvaarbaar is.

Uit die voorafgaande is dit duidelik dat die spesifieke proestoerusting belangrik is in terme van die PBX-vervaardiging. Vir die verskeidenheid van formulerings wat deel van hierdie ondersoek vorm, moet die toerusting redelik aanpasbaar in terme van kapasiteite wees, om aan die verskillende verhoudings te kan voldoen.

5.6 PBX-VERVAARDIGING

Dit is nou moontlik om die vervaardigingstoerusting, wat vir die flodderproses gebruik word, te identifiseer, naamlik : 'n doelgeskikte houër vir die oplos van die polimeer; 'n distilleerapparaat met roerder vir die PBX-korrelvorming; en filtreer- en droogtoerusting. Vanselfsprekend word akkurate meetinstrumente soos skale en volumemeters ook vereis. Die prosesondisies is baie belangrik en speel 'n bepalende rol ten opsigte van kapasiteite van procestoerusting. 'n Derde faktor hier is die massas PBX wat vir die ondersoek vervaardig moet word, naamlik 30 kg per formulering. Dit sou dus onprakties wees om die PBX op laboratoriumskaal (dit wil sê lotgroottes 1000 g en minder) te vervaardig, terwyl die vervaardiging van enkel-lotte op produksieskaal hoogs riskant ten opsigte van die duur produk is. Hierdie faktore het die besluit op loodsaanlegtoerusting laat val, ten spyte van geïdentifiseerde tekortkominge wat dit inhou.

Vanweë die hoë koste verbode aan die oprig van doelgeskikte PBX-vervaardigingstoerusting, terwyl die prosesondisies nog redelik onbewese is, is slegs bestaande toerusting oorweeg. 'n Distilleervat van 60 l is as die aangewese floddervat gekies, omdat tot 10 kg PBX gerieflik daarin vervaardig kan word, dit van 'n akkuraat-beheerde hidrouliese roerder voorsien is, die distilleertoerusting volledig in terme van kolom, kondensator en opvangvat is, die nodige dienste (stoom, vakuum en water) beskikbaar is, die binnewand van die vat is, op enkele turbulensieplate na, vry van obstruksies is, en alle oppervlakte waarmee die PBX in

aanraking kan kom, van gepoleerde vlekvrre staal is. Die toerusting het ook nadele, naamlik dat geen direkte waterinlaat na die distilleervat bestaan nie, 'n oplosmiddelvat ontbreek, en slegs enkele, klein sigglase beskikbaar is, wat waarneming van die prosesverloop beperk. 'n Skematiese voorstelling van die toerusting verskyn in figuur 5.2.

Die bedryf van die toerusting word aan die hand van 'n algemene prosesbeskrywing verduidelik. Daar is gevind dat hierdie bepaalde volgorde van aktiwiteite die mees voortreflike produk in terme van kwaliteit en ekonomie lewer:

i) Binderbereiding

Eerstens word die korrekte massa oplosmiddel in 'n vlekvrre staalhouer afgemeet (ca. 10%-oplossing). Daarna word 'n vlamdigte elektriese roerder oor die houer opgestel in 'n dampkas. Die korrekte massa polimeer word dan afgeweeg. Die roerder word aangeskakel en die polimeer stadig by die oplosmiddel gevoeg. Voldoende oplostyd word dan toegelaat, tipies in die orde van twee tot vier ure.

ii) Flodderbereiding

Onderwyl die oplossing berei word, word die korrekte massa water deur middel van 'n waterslang in die distilleervat gelaat. Volume-aflesing geskied by benadering deur die sigglase. Die roerder word op 1000 opm gestel en aangeskakel. Hierdie roerspoed

word konstant vir die res van die proses gehou. Die konstant vir die res van die proses gehou. Die korrekte massas HMX klasse 2 en 3 word vervolgens afgeweg en deur die inlaat-opening by die water gevoeg (geen voorkeur-volgorde nie). Die HMX-flodder word dan vir vyf minute geagiteer om homogene vermenging te verseker.

iii) PBX-korrelbereiding

Die polimeeroplossing word ná die distilleervat geneem en stadig met die hand by die HMX-flodder gevoeg (tempo sowat 2 l/min). Die oplosouer word dan met 'n bietjie oplosmiddel in die distilleervat uitgespoel, om sodoende nagenoeg kwantitatiewe oordrag van polimeer na die flodder te verseker. Die inlaaiklep word dan gesluit en die stoomtoevoer na die vatwand oopgedraai. Eksperimenteel is bevind dat 'n stoomdruk van 15 kPa vir al die formulerings bevredigende distillasieverlope lewer. Hoër stoomdrukke lei tot oormatige opbruising van die reaksiemengsel, wat dan weer tot produkverliese as gevolg van aanpakking aanleiding gee. Laer stoomdrukke veroorsaak lang verhittings- en distillasietydsdure, met geen noemenswaardige verbetering in produkkwaliteit nie.

Die verloop van die flodderverhittings- en distillasieproses kan visueel slegs tot 'n mate deur die sigglase van die toerusting gevolg word, terwyl die termiese profiel deur die termometer gemonitor

kan word. Die eerste effek wat reeds tydens die binderbyvoeging waarneembaar raak, is die konsolidasie van die HMX-kristalle. Dit dui daarop dat die dispergerings- en jelleringsfases reeds begin, en dat die hegtingsproses ook plaasvind. Die presiese verloop van die proses is baie moeilik om te karakteriseer, veral as gevolg van die turbulensie in die vat, en 'n diepgaande studie van die proseskondisies vir die uiteindelik gekose formulering sal meer lig hierop kan werp. In alle gevalle het die korrelvormingsproses oënskynlik volledig plaasgevind met die aanvang van die distillasieproses. Die aanname is gemaak omdat geen individuele HMX-kristalle meer in die flodder waarneembaar was nie. Deurgaans is bevind dat die PBX-klonte 'opbreek' tydens die distillasie om PBX-korrels van meer homogene korrelgrootte te vorm. Die afkook van die oplosmiddel het tot gevolg dat die PBX-korrels, met ingeslote oplosmiddel, na die oppervlak van die flodder styg, met gepaardgaande skuimvorming. Hierdie effek gee aanleiding tot die vorming van 'n skuimring op die waterrand. Die mate van 'aanpakking' was die grootste waar die binderhoeveelheid relatief hoër is (byvoorbeeld HXPS 9201 en HXVB 9001), maar dit het steeds 'n aanvaarbare produk uit samestellingsoorwegings gelewer.

Die flodder is tot 100 °C verhit, waarna die temperatuur vir ca. 5 minute daar gehandhaaf is, om so volledig moontlik alle oplosmiddel af te dryf. Hierna is koue proseswater deur die mantel van die distilleervat gesirkuleer om die flodder af te koel. Die termiese skok as gevolg van die afkoeling word duidelik waargeneem in 'n verdere opbreking van die PBX-korrels. Die flodder word vervolgens tot ca. 10 °C onder die aseptropiese kookpunt van die oplosmiddel afgekoel, waarna die vatinhoud in 'n filtertrollie uitgelaai word. Die PBX-korrels is herhaaldelik met koue water gewas, waarna dit met behulp van vakuumsuiging van die oormaat water affiltreer word.

iv) PBX-droging

Die nat PBX-korrels is ná filtrasie in 'n warmlugoond by 80 °C geplaas. 'n Drogingstyd van 24h was deurgaans voldoende om die PBX tot die verlangde voggehalte te droog. Die korrels is in vlak panne uitgesprei om die drogingsproses te bespoedig.

Die vervaardigingskondisies vir die verskillende formulerings word in Tabel 5.1 uiteengesit. In alle gevalle is meer as 30 kg per formulering vervaardig, om sodoende enige produkverliese in aanmerking te neem. 'n Tipiese 'logstaat' wat vir die doeleindes van die ondersoek gebruik is om prosesrekord te hou, verskyn in Tabel 5.2. Aangesien sinvolle afleidings rakende die prosesverloop nie visueel moontlik was nie (die verskillende korrelprodukte 'lyk'

eenders en die produkverliese was ongeveer dieselfde) sal
gevolgtrekkings in die volgende hoofstuk bespreek word.

Tabel 5.1 : VERVAARDIGINGSKONDISIES VIR PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	HXVB 9001	HXVB 90016	HXVB 92501	HXVB 925016	HXVB 9501	HXVB 95016	HXKF 9001	HXKF 92501	HXKF 9501	HXPS 9201	HXEE 9001	HXEE 9501	HXKG 9701	HXCX 9501
Oplosmiddel:														
- tipe	EA	EA	EA	EA	EA	EA	EA	EA	EA	CH ₂ Cl ₂	EA	EA	CH ₂ Cl ₂	CH ₂ Cl ₂
- volume (l)	5	5	3	3	2	2	5	4	3	1,5	2,5	3	3	2
- massa (kg)	4,5	4,5	2,7	2,7	1,8	1,8	4,5	3,6	2,7	2,0	2,3	2,7	4,0	2,7
[Binder] (% m/m)	16	16	14	13	14	13	22	21	19	20	22	9	8	9
Watervolume (l)	55	55	25	25	25	25	50	50	50	40	30	25	60	25
Water/oplosmiddel (kg/kg)	12,2	12,2	9,26	9,26	13,9	13,9	11,1	13,9	18,5	20,1	13,0	9,3	15,1	9,43
Lotgrootte (kg)	7	7	5	5	5	5	10	10	10	5	5	5	10	5
Water/HMX (kg/kg)	8,73	8,73	5,41	5,43	5,26	5,29	5,56	5,41	5,26	8,70	6,32	5,26	6,19	5,26
Pakdigtheid van bimodale HMX (g/cm ³)	1,32	1,33	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,28	1,32	1,30	1,31	1,33	1,28	1,35

HOOFSTUK 6

EIENSKAPPE VAN PBX-KORRELPRODUKTE

Die spesifikasies vir PBX-korrels soos van toepassing op hierdie ondersoek, word bespreek. Die relevante analise-resultate word weergegee en bespreek, aangesien die karakterisering van die PBX-korrelprodukte ('tussenproduk' in terme van aanwending) 'n integrale deel van die ondersoek vorm. Die produkte is relatief onbekend en, soos vir enige chemiese verbinding, is dit noodsaaklik dat sekere basiese eienskappe daarvan bekend moet wees, voordat dit verder geprosesseer word. In enkele gevalle kan literatuureienskappe nagevors word, maar die gebrek aan internasionale standaardisering op toetsmetodes, veroorsaak dat kritieke parameters plaaslik geëvalueer moet word. Verder word 'n basis ter vergelyking met suiwer HMX geskep. So kan byvoorbeeld die verlies aan energie as gevolg van binderbyvoeging vergelyk word met die wins aan onsensitiwiteit. Die effektiwiteit van die flodderproses kan aan die hand van die analyses bepaal word, en enige van die kandidaatformulerings, wat nie aan die neergelegde minimum vereistes vir die korrelproduk voldoen nie, kan op die vroeë stadium gediskwalifiseer word. Die eerste gedeelte van die hoofstuk word aan die identifisering van hierdie kritieke parameters gewy.

6.1 KONSEP-SPEKIFIKASIES VIR PBX-KORRELPRODUKTE

Enige chemiese produk wat aan 'n gebruiker beskikbaar gestel word, moet aan bepaalde gebruikersbehoefte voldoen.

Hierdie behoeftes of vereistes word gewoonlik in die vorm van 'n produkspeksifikasie aan die vervaardiger voorgelê, en laasgenoemde moet dan die produk binne die toleransiegrense van die speksifikasie lewer. Chemiese ploffstowwe is geen uitsondering nie, en baie streng produkspeksifikasies bestaan, veral vir militêre toepassings.

Die daarstel van 'n speksifikasie vir 'n brisantstof (soos 'n PBX) is gewoonlik 'n langsame proses, aangesien daar baie faktore is wat die finale vereistes bepaal. Die speksifikasie is egter uiters belangrik, aangesien die sukses vir toepassing direk hieraan gekoppel kan word. Daar is veral twee faktore wat in gedagte gehou word, naamlik dat die lading tydig en volledig moet detoneer tydens aanwending, maar nie gedurende die hantering, berging en vervoer daarvan nie ("safety vs performance"). Gevolglik word intensiewe toetsing op die formulering uitgevoer, waartydens dit as geskik vir aanwending bewys word (die term 'kwalifikasie' word hiervoor gebruik). Hieruit is dit duidelik dat die produk wat vir toepassing gekwalifiseer word en die produk wat daarna vervaardig word, moet ooreenstem, en vandaar die nodigheid vir 'n plofkop-, 'n lading- en 'n PBX-speksifikasie. Die volgende faktore beïnvloed die daarstel van sodanige speksifikasie :

- i) die vervaardigingsproses moet herhaalbaar bewys en die prosesvermoë bepaal word. Sodoende kan die statistiese grense waarbinne die produk vervaardigbaar is, vasgestel word.
- ii) die akkuraatheid van die toetsmetodes/analisetegnieke wat vir die meet van prosesveranderlikes gebruik word, moet bepaal word. Voorts moet hierdie metodes sensitief genoeg wees om enige afwyking te kan kwantifiseer.
- iii) die toepassing bepaal ook die grense, want (byvoorbeeld) 'n hollading-PBX sal aan strengere vereistes ten opsigte van homogeniteit onderwerp word as 'n fragmentasielading. Hieruit vloei 'n verdere verband, naamlik die interafhanklikheid van prosesvermoë en toepassing : waar minder streng toleransies geld kan 'n laer graad van prosesvermoë gebruik word (ekonomiese implikasie).

'n Kort bespreking van die ontwikkelingsfases vir 'n nuwe militêre produk is hier van toepassing. Hierdie fases word in 'n vereenvoudigde vorm as volg voorgestel, naamlik :
DEFINISIE/KONSEP/ONTWIKKELING/INDUSTRIALISASIE/PRODUKSIE.

'n Duidelike afbakening bestaan nie, en gevolglik oorvleuel die fases. Hierdie ondersoek vorm deel van die definisiefase, met oorgange na die konsepfase. Tipies sal die uitvloeisel van die konsepfase 'n finale aanbeveling ten opsigte van 'n PBX-formulering wees, wat dan tydens die

ontwikkelingsfase in die einditem gekwalifiseer word. Die formulering word dan ten opsigte van vervaardiging en prosessering gekwalifiseer (industrialisasie), waarna dit in produksie sal gaan. Wat verder belangrik is, is dat gedurende die fases van hierdie ondersoek, geen finale produkspesifikasies vereis word nie, aangesien geen uitsluitel oor finale formulering gegee kan word nie (dit sal die uitset van hierdie ondersoek wees). Die finalisering van die produkspesifikasie sal eers gedurende die ontwikkelingsfase gedoen kan word.

Dit is egter steeds nodig om die PBX-korrelprodukte aan sekere toetse te onderwerp, alvorens daar met die ondersoek voortgegaan word. Hierdie toetse is aan die hand van bestaande militêre spesifikasies geïdentifiseer, waarna konsepriglyne vir die PBX'e daargestel is. Die sogenaamde MILITARY SPECIFICATIONS het as brondokumente gedien, aangesien dit soortgelyke formulering aanspreek. Die volgende militêre spesifikasies het as insette gedien :

- MIL-E-81111A (1976) : Explosive, Plastic-bonded Molding Powder PBXN-5[A]
- MIL-H-48358 (1980) : HMX/Resin Explosive Composition LX-14-0[B]
- MIL-P-14999 (1974) : Powder, Molding Compound Explosive (PBX)[C]
- MIL-R-48270 (1976) : RDX/Kel F Resin Molding Powder .[D]

- MIL-H-48269 (1975) : HMX/Kel F Resin Molding Powder .[E]
- MIL-F-45447 (1960) : Powder, Molding, PBX 9010[F]

Tabel 6.1 toon die formulerings wat deur die spesifikasies gedek word.

Tabel 6.1 : MIL SPEC-FORMULERINGS

MIL SPEC	FORMULERING	ONDERSOEK-EKWIVALENT
A	PBXN-5 (HMX/Viton A 95/5)	HXVB 9501
B	LX-14-0 (HMX/Estane 95/5)	HXEE 9501
C	PBX Tipe I (RDX/PS/DOP 90/8,5/1,5)	(HXPS 9201)
D	RDX/Kel F 800 95/5	(HXKF 9501)
E	HMX/Kel F 800 95/5	HXKF 9501
F	PBX 9010 (RDX/Kel F 3700 90/10)	(HXKF 9001)

Tipiese spesifikasievereistes vir PBX kon hieruit geïdentifiseer word. Hierdie kriteria is as verteenwoordigend aanvaar, en daar is gepoog om dit as toepaslik, aldan nie, vir hierdie ondersoek te klassifiseer. Laasgenoemde is gedoen deur die karakteristieke ten opsigte van die betrokke fase (definisie/konsep) te evalueer. So kon minder kritieke (of relevante) parameters, wat gedurende verdere fases (produkontwikkeling/-industrialisasie) geoptimeer word, uitgewys word. Die relevante parameters het sodoende die kritieke vereistes vir die korrelprodukte van hierdie ondersoek gevorm, waaruit die konsep-korrelprodukspesifikasie saamgestel kon word. Die MIL-SPEC-parameters word in Tabel 6.2 weergegee.

Tabel 6.2 : MIL SPEC-VEREISTES

SPESIFIKASIE KRITERIUM	MIL SPEC-VERWYSING
% -samestelling*	A,B,C,D,E,F
%-vog/vlugtige stowwe*	A,B,C,D,E,F
Granulasie	A,B,C,D,E,F
Pakdigtheid	A,B,D,E,F
Voorkoms	A,B,C,F
Termiese Stabiliteit	A,D,E
Kleur	C,F
Digtheid**	A
Impaksensitiwiteit	A
Self-ontbrandingstemperatuur	A
Masjineerbaarheid**	A
Meganiese sterkte**	A
Onoplosbare partikels	A

(* = massa/massa; ** = slegs op geperste pastil)

Uit Tabel 6.2 kan afgelei word dat samestelling, vlugtige stowwe en granulasie deurgaans vereis word, en dat pakdigtheid (hierna massadigtheid genoem om te onderskei van pakkingsdigtheid soos in Hoofstuk 3 gedefinieer) 'n algemene vereiste is. Hierdie vier eienskappe is gevolglik as relevant vir die ondersoek aanvaar, dit wil sê samestelling, omdat die PBX se eienskappe direk hieraan gekoppel kan word; granulasie, vir die uitskakeling van té fyn en té growwe partikels (klonte en stof); voginhoud, aangesien die korrels vir verdere prosessering en karakterisering droog moet wees;

en massadigtheid, aangesien die persholte-ruimte beperk is. Addisioneel tot hierdie vier kriteria, is die korrelprodukte ten opsigte van voorkoms (SEM-foto's), termiese stabiliteit, impaksensitiwiteit en smeltpunt gekarakteriseer. Die volgende stap was om toleransiegrense aan bogenoemde konsepsesifikasies toe te ken, wat aan die hand van MIL SPEC-vereistes gedoen is, terwyl in gedagte gehou is dat die korrelprodukte nie volgens gekwalifiseerde prosesondisies vervaardig is nie. Tabelle 6.3 tot 6.6 toon die toleransiewydtes van die MIL-SPEC's.

Tabel 6.3 : MIL SPEC-SAMESTELLINGSGRENSE

MIL SPEC	SPESIFIKASIE TOV BRISANTSTOFINHOUD (%-MASSA/MASSA)	TOLERANSIEWYDTE (%)
A	HMX: 95 ± 0,5	1
B	HMX: 95,5 ± 0,5	1
C	RDX: 90 ± 0,5 (PS: 8,5 ± 0,3)	1 0,6
D	RDX: 95 ± 0,4	0,8
E	HMX: 95 ± 0,4	0,8
F	RDX: 90 ± 0,3	0,6

Tabel 6.4 : MIL SPEC-VLUGTIGE STOWWE

MIL SPEC	MAKSIMUM VLUGTIGE STOWWE (%-MASSA/MASSA)
A	0,15
B	0,10
C	0,30
D	0,10
E	0,10
F	0,10

Tabel 6.5 : MIL SPEC-GRANULASIE

MIL SPEC	GRANULASIE BEHOU OP SIFOPENING (% MASSA/MASSA)
A	> 4750 μm : 2 maks > 425 μm : 95 min
B	> 4750 μm : 1 maks > 300 μm : 95 min > 180 μm : 98 min
C	> 1000 μm : 0 maks > 600 μm : 5 maks > 250 μm : 90 min > 180 μm : 98 min > 150 μm : 99,9 min
D	> 4750 μm : 0,2 maks > 3350 μm : 1 maks > 500 μm : 90 min > 150 μm : 98,5 min
E	soos vir D
F	> 4750 μm : 5 maks > 300 μm : 95 min > 180 μm : 100

Tabel 6.6 : MIL SPEC-MASSADIGTHEDE

MIL SPEC	MASSADIGTHEID (g/cm^3)	TEGNIIEK
A	0,80 min	Nat
B	0,85 min	MIL-STD
D	0,68 min	'stamp'
E	0,68 min	'stamp'
F	0,80 min	'stamp'

Uit die tabelle word die volgende gevolgtrekkings en aanbevelings gemaak:

i) Samestelling

Tipiese toleransiegrense ten opsigte van HMX (of RDX) inhoud wissel tussen 0,6% tot 1,0%. Hieruit is besluit om die eksperimentele inhoud van HMX vir die ondersoek $\pm 0,5\%$ van die teoretiese te maak.

ii) Vlugtige stowwe

'n Tipiese waarde is 0,10% (maksimum) en is derhalwe so van toepassing gemaak.

iii) Granulasie

Verskillende weergawes bestaan, maar 'n bo- en ondergrens word deurgaans aangegee. Aangesien hierdie grense eers sinvol ná prosesoptimering bepaalbaar is, is slegs twee grense vir konsep-spesifikasiedoeleindes aanvaar, naamlik 2360 μm (bogrens vir klonte) en 150 μm (ondergrens vir fyn, ongebinde HMX). 'n 5% afwyking ten opsigte van hierdie grense is as aanvaarbaar besluit. Die keuse is op beskikbaarheid van siwwe gebaseer.

iv) Massadigtheid

Hier was die neerlê van 'n grens baie moeilik, aangesien dit streng afhanklik is van die metode van bepaling. Daar is besluit om die toets slegs ter

inligting uit te voer.

Bykomend tot bogenoemde is karakteriseringstoetse ten opsigte van termiese gedrag en -stabiliteit, voorkoms en impaksensitiwiteit op die PBX-korrels uitgevoer.

6.2 PBX-SAMESTELLINGSANALISES

Aangesien geen akkurate, herhaalbare analisetegnieke vir die geïdentifiseerde PBX-formulerings plaaslik bestaan het nie, moes dit vir hierdie ondersoek ontwerp word. 'n Universele metode, byvoorbeeld HDVC, sou die ideaal wees, maar die metodes wat in die verband ondersoek is, het nie die vereiste herhaalbaarheid getoon nie. Grawimetriese tegnieke is vervolgens statisties geëvalueer en vir die onderskeie formulerings daargestel. Hierdie analises is (na die metodes soos voorgeskryf deur Engelbrecht en Van der Merwe ⁵⁰):

i) Vir HXVB en HXKF-PBX:

HMX word deur g.HNO₃ geëkstraheer.

ii) Vir HXVB met grafiet:

g.HNO₃ ekstraksie van HMX, gevolg deur oplos van VB om grafiet-res te bepaal.

iii) Vir HXPS 9201:

PS en DOP word deur middel van toluen opgelos, dit bepaal HMX-inhoud. PS word deur 'n DMSO ekstraksie bepaal.

iv) Vir HXKG 9701:

Die HMX en olie word met asetoon geëkstraheer, dit gee %-KG. Deur KG en olie met CCl_4 te ekstraheer, word %-HMX verkry. Die olie word deur verskil bepaal.

v) Vir HXCX 9501:

CX word met CHCl_3 geëkstraheer, dit lewer %-HMX.

vi) Vir HXEE-formulerings:

Dichloro-ëtaan/ CHCl_3 -ekstraksie van EE, %-HMX word verkry.

Die monstergroottes was deurgaans 5 g. Tabel 6.7 gee die werklike samestellingsresultate weer, waaruit gesien kan word dat die proseskondisies van Tabel 5.1 produkte binne die toleransiegrense van $\pm 0,5\%$ van die berekende kan lewer.

Tabel 6.7 : PBX-SAMESTELLINGSANALISES

PBX	ANALISE (%-MASSA/MASSA)
HXVB 9501	HMX : 95,03
HXVB 92501	HMX : 92,88
HXVB 9001	HMX : 89,51
HXVB 9501G	HMX : 94,64 Grafiet : 0,91
HXVB 92501G	HMX : 92,64 Grafiet : 0,94
HXVB 9001G	HMX : 89,51 Grafiet : 1,01
HXEE 9501	HMX : 95,31
HXEE 9001	HMX : 90,27
HXEE 9501	HMX : 95,27
HXKF 92501	HMX : 92,89
HXKF 9001	HMX : 90,08
HXKG 9701	HMX : 96,97 Olie : 1,49
HXPS 9201	HMX : 91,85 DOP : 2,48
HXCX 9501	HMX : 94,57

6.3 VLUGTIGE STOWWE

Die %-vlugtige stowwe in die perskorrels is deur middel van 'n droog-en-terugweeg tegniek bepaal. Hierdie tegniek bepaal ingeslote oplosmiddel asook vog, en word om hierdie rede bó ander verkies. Tabel 6.8 gee die waardes weer, wat aantoon dat al die formulerings binne die maksimumgrens van 0,10% is. Die drogingstyd van 24h by 80 °C is dus hierdeur as voldoende bewys.

Tabel 6.8 : PBX-VLUGTIGE STOWWE-INHOUD

PBX	Vlugtige stowwe (%-massa/massa)
HXVB 9501	0,07
HXVB 92501	0,04
HXVB 9001	0,05
HXVB 9001G	0,06
HXVB 92501G	0,03
HXVB 9001G	0,04
HXEE 9501	0,01
HXEE 9001	0,02
HXKF 9501	0,00
HXKF 92501	0,00
HXKF 9001	0,02
HXKG 9701	0,07
HXPS 9201	0,05
HXCX 9501	0,02

6.4 SIFANALISES (GRANULASIE)

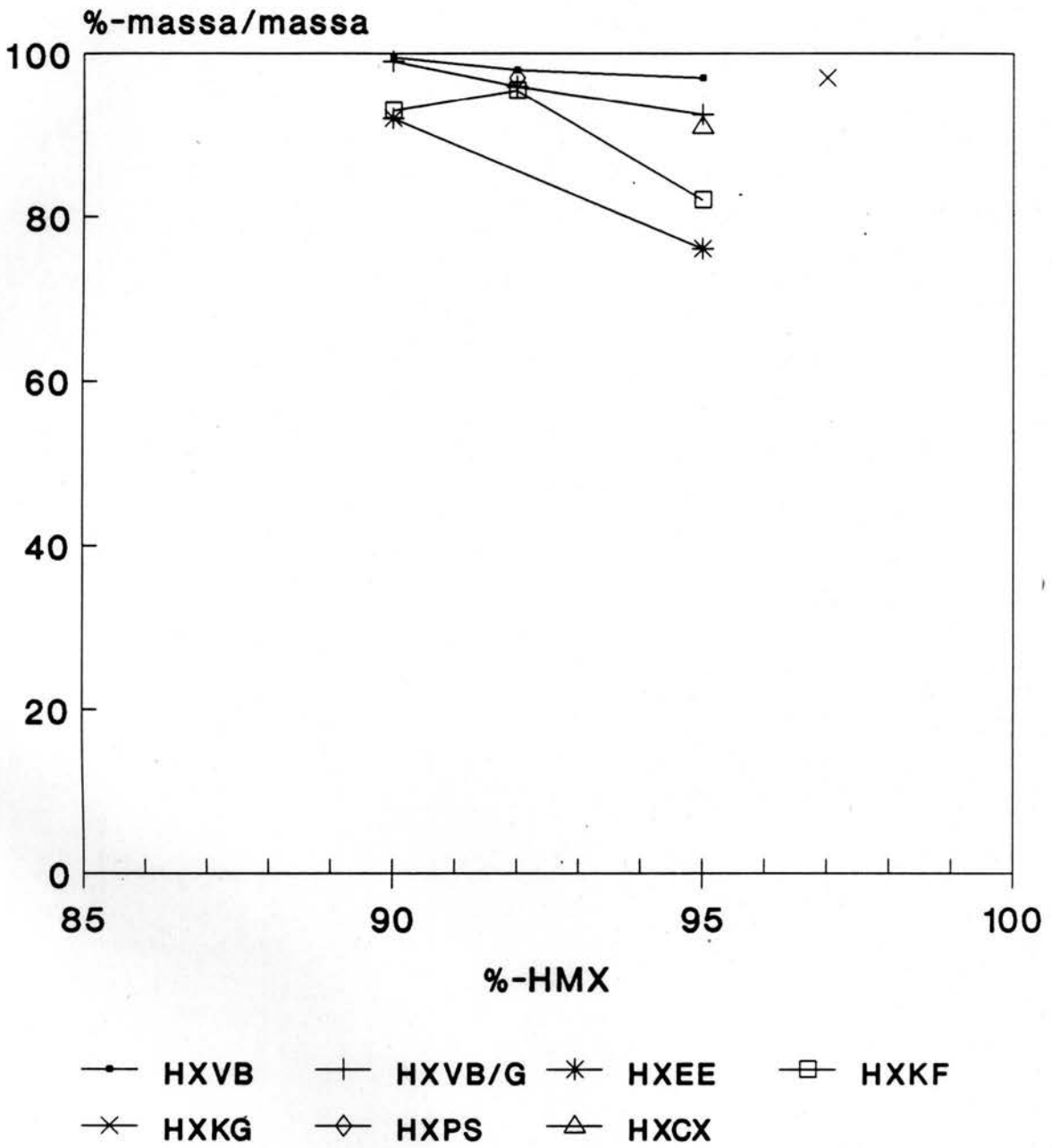
'n Droë siftegniek is gevolg, waarvolgens 100 g PBX-korrels akkuraat afgeweeg en deur siwe in 'n vibrerende sifmasjien gestuur word (grofste sif bo en fynste sif onder). Die massa PBX wat op elke sif agterbly, word dan teruggeweeg en as 'n persentasie uitgedruk. Ten einde die korrelprodukte, asook die vervaardigingsprosesse, meer sinvol te vergelyk, is bykomend tot die 2,36 mm en 150 μ m siwe, siffraksies op 1000, 500 en 300 μ m bepaal. Die resultate verskyn in Tabel 6.9.

Tabel 6.9 : PBX-GRANULASIE

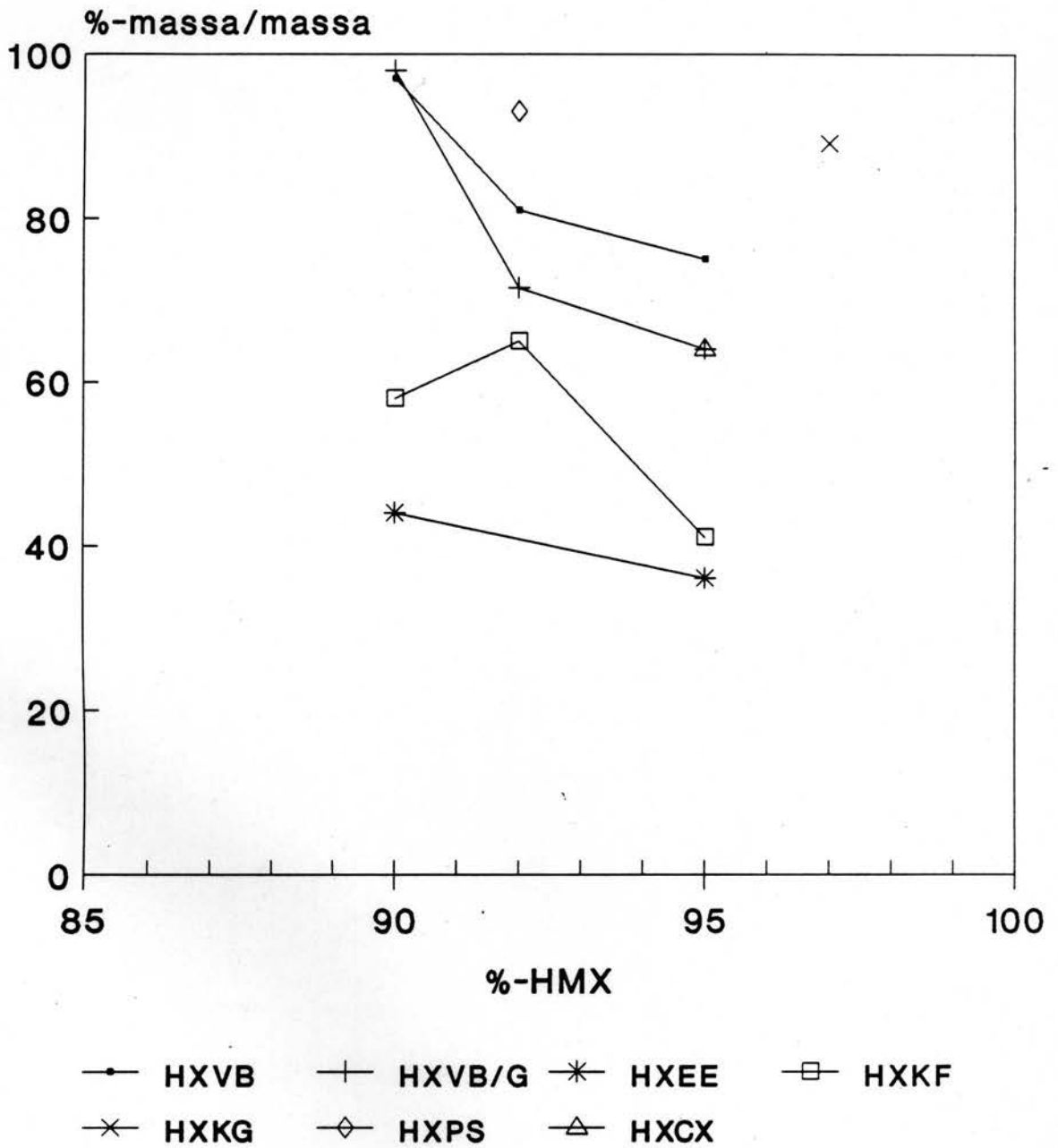
PBX	SIFRAKSIES (%-MASSA/MASSA)					
	>2,36 mm	>1000 µm	>500 µm	>300 µm	>150 µm	<150 µm
HXVB 9501	0	19,3	55,7	21,8	2,8	0,4
HXVB 92501	0,1	27,4	53,7	16,5	2,1	0,2
HXVB 9001	0,15	62,0	36,3	1,4	0,1	0,1
HXVB 9501G	0	12,0	52,9	27,6	5,4	1,1
HXVB 92501G	0	13,2	58,3	24,2	3,9	0,4
HXVB 9001G	0,4	82,3	16,5	0,6	0,2	0,1
HXEE 9501	0	6,16	29,96	39,04	9,0	5,3
HXEE 9001	2,36	21,3	23,3	44,2	7,1	1,1
HXKF 9501	0	0,7	35,3	46,2	4,7	3,0
HXKF 92501	0	2,2	60,2	33,5	3,3	0,8
HXKF 9001	0	1,2	52,8	38,0	6,0	1,8
HXKG 9701	0	18,1	71,4	7,7	2,2	0,5
HXPS 9201	1,5	62,0	30,0	4,2	1,1	1,8
HXCX 9501	0,3	25,8	38,7	26,0	8,1	1,2

Die resultate van Tabel 6.9 gee belangrike insig ten opsigte van die prosesgedrag van die verskillende polimere. Die volgende afleidings word gemaak, naamlik :

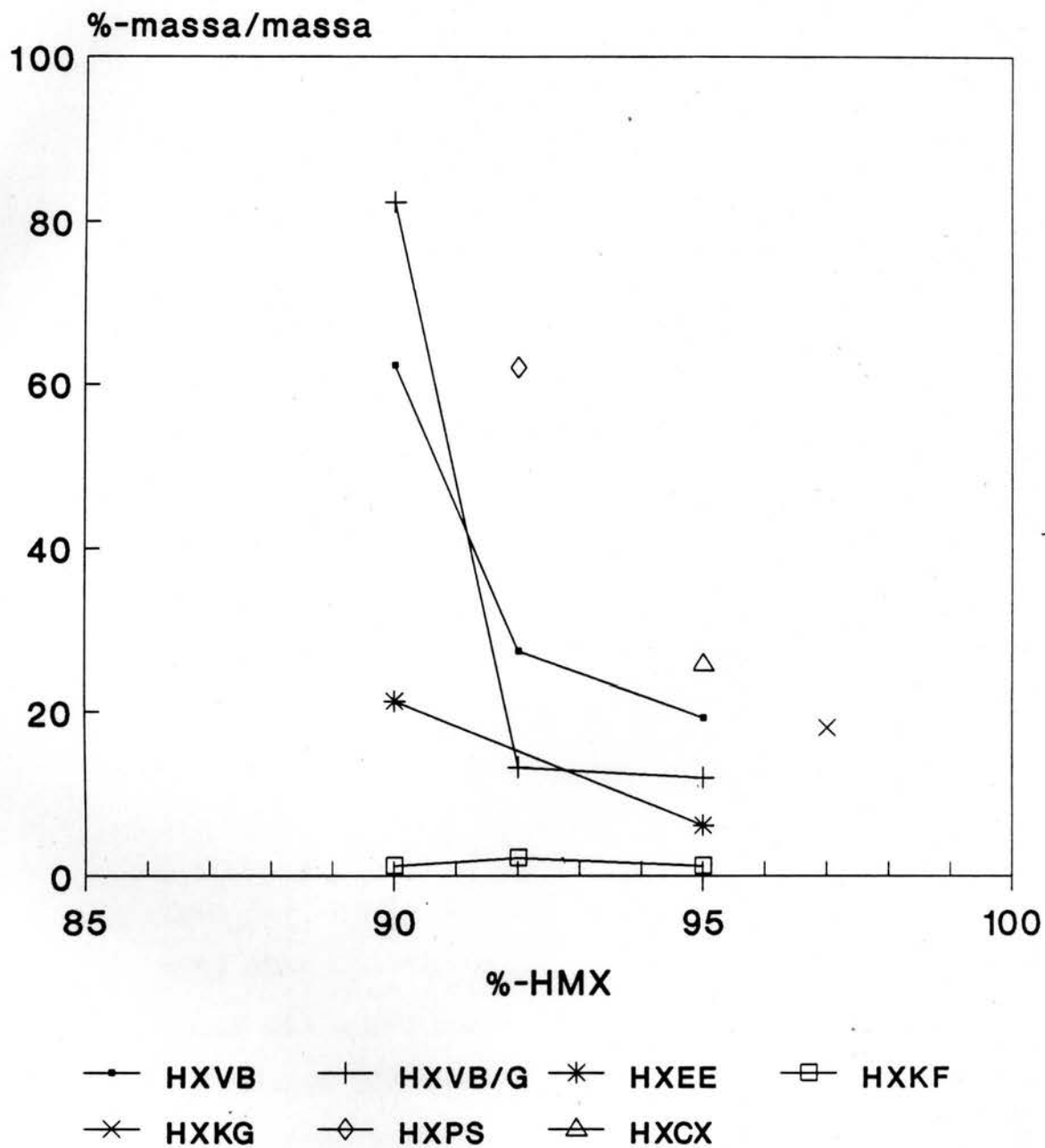
- i) hoe groter die VB- en EE-inhoud, hoe growwer die PBX-korrel vir dieselfde polimeerbinder. Die HXEE-formulerings is egter aansienlik fyner as HXVB, wat moontlik aan die verskillende prosesondisies (Tabel 5.1) toegeskryf kan word. Figuur 6.1 toon hierdie verbande duidelik.



Figuur 6.1 : PBX-GRANULASIE > 300 μm



Figuur 6.1 : PBX-GRANULASIE > 500 μ m



Figuur 6.1 : PBX-GRANULASIE > 1000 μ m

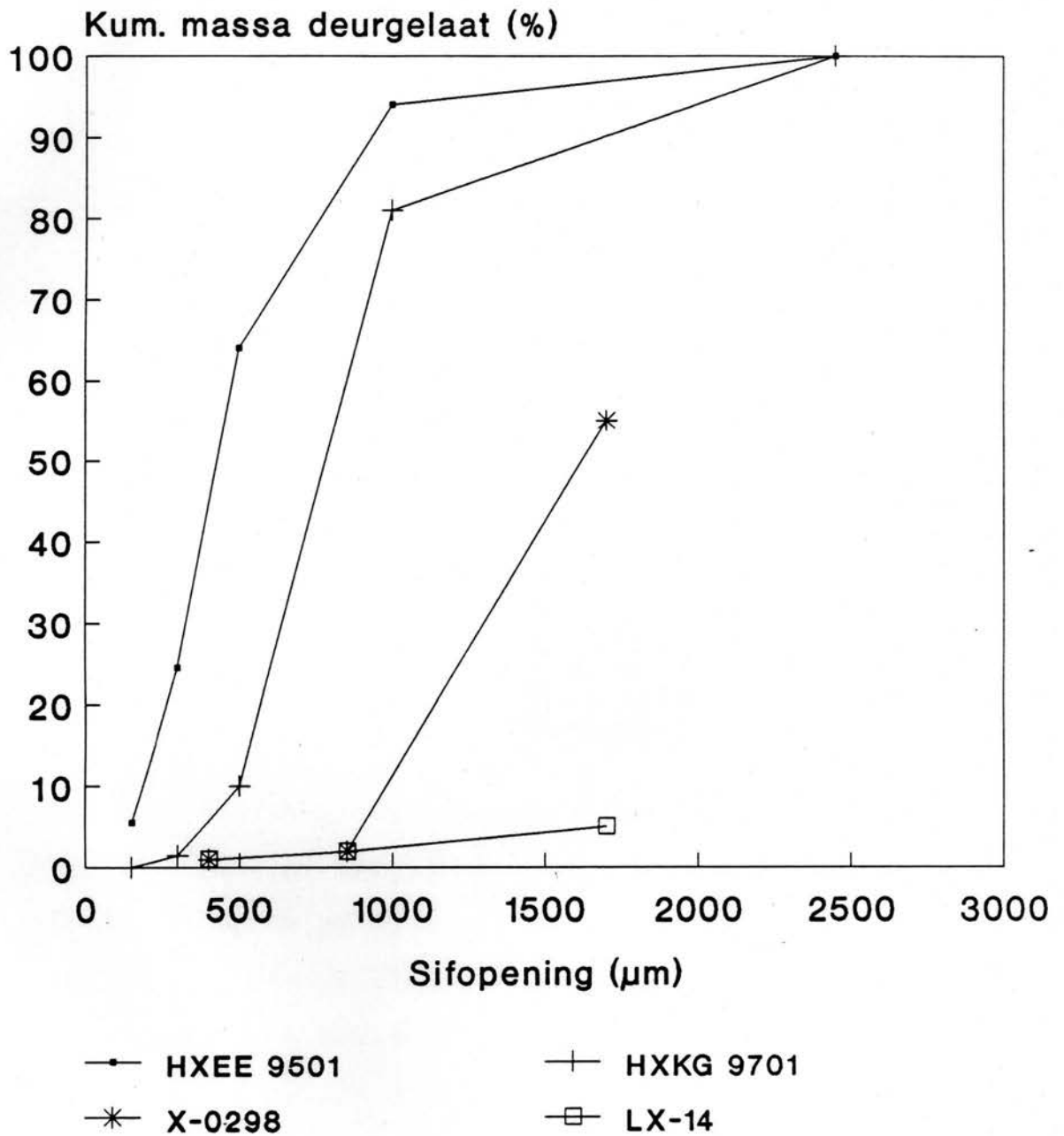
- ii) HXKF is duidelik baie fyner as die ooreenstemmende HXVB-PBX'e, met die grootste verskil ten opsigte van die 90/10-samestellings. By nadere ondersoek blyk dit dat die KF-oplossings meer gekonsentreerd was en die water: HMX gewoonlik kleiner was vir HXKF. Laasgenoemde invloed is egter gering, maar die eersgenoemde invloed is 'n moontlike oorsaak deurdat die jellering te vroeg plaasgevind en nie die HMX-kristalle in groot klonte bind nie (die SEM bevestig die aanwesigheid van ongebinde HMX). Die chemiese en fisiese verskille tussen VB en KF kan ook 'n rol speel deurdat laasgenoemde moontlik nie in oplossing dieselfde mate van swelling as VB openbaar nie. Dit sal tot gevolg hê dat die KF-polimeer in gekonsentreerde posisies op die HMX-kristalle neerslaan, terwyl die VB oor 'n groter area van die HMX adheer.
- iv) Opvallend is die ooreenstemming in granulasie tussen HXKF 9501 en HXEE 9501. Die siffraksies was fyner as by die ander formulerings, en albei het 'n beduidende fyn fraksie ($<150 \mu\text{m}$). Die afleiding dat onvolledige hegting plaasgevind het, kan gemaak word en is deur die SEM bevestig.

- v) Die gekose proseskondisies vir al die PBX'e was sodanig dat, op die uitsondering van HXEE 9501 na, al die formulerings binne die konsep-spesifikasies vervaardig is. Al die formulerings voldoen aan die kriterium vir samestelling, en die aanname is gemaak dat 'n verteenwoordigende monster deurgaans homogeen ten opsigte van binderverspreiding sal wees. Daar is vervolgens besluit om die ondersoek op al die formulerings voort te sit.
- vi) Die siffraksies van HXEE 9501 en HXKG 9701 word met die internasionale ekwivalente LX-14 en X-0298 in Figuur 6.2 vergelyk. Dit is duidelik dat die plaaslike korrels fyner is, wat aan verskillende proseskondisies en/of ander prosestoerusting toeskryfbaar is.

6.5 MASSADIGTHEID

Massadigtheid word bepaal met 'n voorgeskrewe gravimetriese digtheidsbepaling deur by 20°C 'n kegelvormige geelkoper houer ten opsigte van volume te standaardiseer (V) en dan die kegel met droë PBX-korrels te vul, sonder om dit te kompakteer. Die massaverskil tussen die leë kegel (M_1) en die gevulde kegel (M_2) word dan bepaal, en daaruit die massadigtheid $(M_2 - M_1)/V(\text{g/cm}^3)$.

Tabel 6.10 gee die massadigtheidswaardes weer.



Figuur 6.2 : PBX-GRANULASIE VS LITERATUUR

Tabel 6.10 : PBX-MASSADIGTHEDE (LITERATUURWAARDES ³¹ IN HAKIES)

FORMULERING	DIGTHEID (g/cm ³)
HXVB 9501	0,66
HXVB 92501	0,60
HXVB 9001	0,56
HXVB 9501G	0,75
HXVB 92501G	0,69
HXVB 9001G	0,62
HXEE 9501	0,65 (LX-14:0,90)
HXEE 9001	0,63
HXKF 9501	0,69
HXKF 92501	0,66
HXKF 9001	0,69
HXKG 9701	0,79 (X-0298:1,00)
HXPS 9201	0,74
HXCX 9501	0,76

Uit Tabel 6.10 volg dat die massadigthede van dieselfde orde-groottes is, met HXKG 9701 die hoogste pakking. Geen direkte verbande met granulasie kan sondermeer getref word nie, behalwe dat vir HXVB die polimeerinhoud omgekeerd eweredig aan die massadigtheid is. By HXKF kan dieselfde afleiding nie gemaak word nie, wat strook met die afwesigheid van korrelasie tussen KF-inhoud en relatiewe granulasie. 'n Duideliker en meer sinvolle verband kan egter verkry word as massadigtheid in terme van %-TMD uitgedruk word.

Die vergelyking vir TMD is vroeër gegee, naamlik :

$$\text{TMD} = \frac{\sum m_i}{\sum v_i} \quad (\text{g/cm}^3)$$

waar i die onderskeie samestellende fraksies van die PBX is,

byvoorbeeld : TMD(HXEE 9501)

$$\begin{aligned} &= \frac{m_{\text{HMX}}}{v_{\text{HMX}}} + \frac{m_{\text{EE}}}{v_{\text{EE}}} \\ &= \frac{0,950}{1,900} + \frac{0,050}{1,180} \quad (v = m/\text{TMD}) \\ &= \frac{1}{0,500 + 0,042} \\ &= 1,844 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

Die TMD's van die betrokke PBX-formulerings verskyn in Tabel 6.11. Die TMD-waardes van grafiet (1,640), DOP (0,986) en aptekersparaffien (0,873) was vir die berekeninge benodig.

Tabel 6.11 : PBX-TMD's (LITERATUUR-TMD's IN HAKIES)

FORMULERING	TMD (g/cm ³)
HXVB 9501	1,896 (LX-10: 1,896)
HXVB 92501	1,893
HXVB 9001	1,891
HXVB 9501G	1,893
HXVB 92501G	1,891
HXVB 9001G	1,889
HXEE 9501	1,844 (LX-14: 1,849)
HXEE 9001	1,791 (PBX 9011: 1,795)
HXKF 9501	1,906
HXKF 92501	1,909
HXKF 9001	1,911
HXKG 9701	1,837
HXPS 9201	1,792
HXCX 9501	1,805

Indien die massadigtheid van Tabel 6.10 in terme van %-TMD uitgedruk word, dit wil sê $\frac{\text{massadigtheid van PBX}}{\text{TMD van PBX}} \times 100\%$,

word die relatiewe waardes van Tabel 6.12 verkry.

Tabel 6.12 : PBX-MASSADIGTHEDE AS %-TMD

FORMULERING	MASSADIGTHEID AS %-TMD
HXVB 9501	34,8
HXVB 92501	31,7
HXVB 9001	29,6
HXVB 9501G	39,6
HXVB 92501G	36,5
HXVB 9001G	32,8
HXEE 9501	35,2
HXEE 9001	35,2
HXKF 9501	36,2
HXKF 92501	34,6
HXKF 9001	36,1
HXKG 9701	43,0
HXPS 9201	41,4
HXCX 9501	42,3

Dit blyk dat by HXVB die polimeerinhoud 'n rol speel ten opsigte van %-TMD, met 'n omgekeerde korrelasie tussen %-TMD en polimeerinhoud. Vir HXEE en HXKF is daar, vir hierdie prosesondisies, klaarblyklik nie 'n verskil nie. Vir die formulerings met lae-digtheid binders (KG, CX en PS) is die relatiewe pakking aansienlik hoër. Uit teoretiese beginsels wil dit dus voorkom asof die korrelgrootteverspreiding nader aan die ideale pakkingmodel is, nl. meer sferiese korrels en 'n groter grootteverspreiding van hierdie korrels.

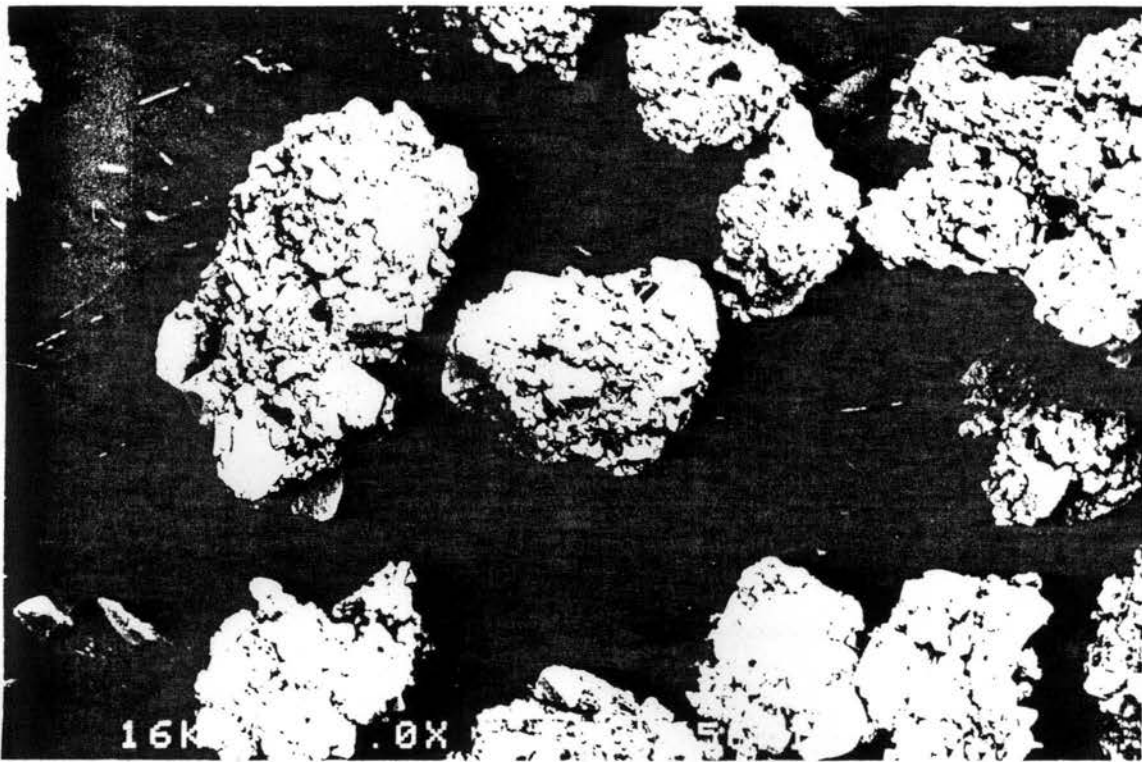
Figuur 6.1 bevestig hierdie verspreiding, terwyl die SEM-foto's die korrelvorm bevestig. Die formulering met die hoogste pakking is uit persoorwegings verkieslik, aangesien die toename in digtheid tot TMD relatief kleiner sal wees.

6.6 SEM-FOTO'S VAN PBX-FORMULERINGS

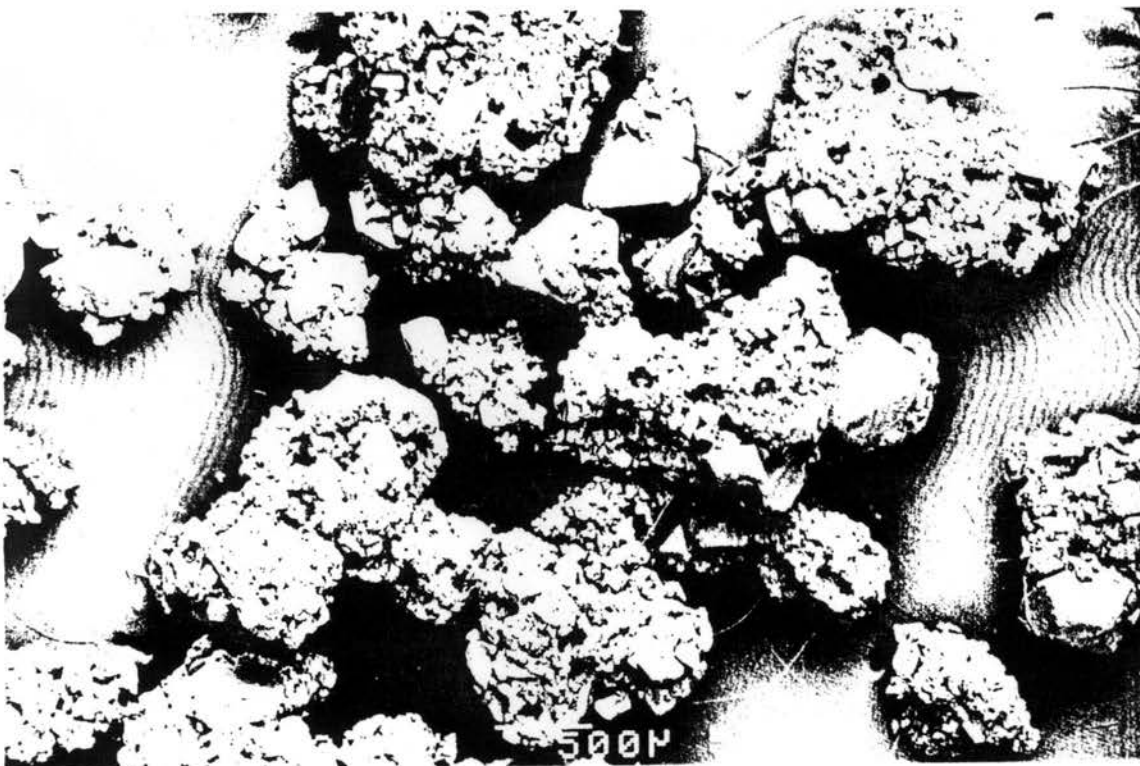
Die voorkoms van die PBX-korrels is aan die hand van SEM-foto's beoordeel. Ten einde 'n beter geheelbeeld te verkry, is 20 X - vergrotings gebruik om die resultate te beoordeel. Die SEM-foto's verskyn in figuur 6.3. Die PBX-korrels is visueel gekarakteriseer om, tesame met die granulasie en massadigthede, lig te werp op die "sukses" van PBX-vervaardiging. Monsters vir die SEM is deurgaans so verteenwoordigend moontlik geneem, en die resultate verskyn in Tabel 6.13.

Tabel 6.13 : SEM-INTERPRETASIE VAN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	KORREL-VORM ⁴²	TIPIESE KORREL-GROOTTE (μm)	MATE VAN BINDING/ BEDEKKING
HXVB 9501	PENDULêR	1600	Growwe en fyn HMX-kristalle duidelik sigbaar, homogeen in matriks versprei.
HXVB 92501	FUNIKULêR	1600	Growwe kristalle sigbaar, versprei deur korrel.
HXVB 9001	FUNIKULêR	2000	Fyn HMX moeilik identifiseerbaar.
HXVB 9501G	PENDULêR	1600	Growwe en fyn HMX duidelik sigbaar, homogene verspreiding.
HXVB 92501G	FUNIKULêR	1200	Grof duidelik sigbaar, fyn meer verskuil in binder.
HXVB 9001G	FUNIKULêR	2400	Slegs growwe HMX sigbaar.
HXEE 9501	PENDULêR	1000	Grof en fyn duidelik sigbaar. Skynbaar baie 'ongebinde' HMX.
HXEE 9001	PENDULêR	1200	Grof en fyn onderskeibaar. Baie 'ongebinde' HMX sigbaar.
HXKF 9501	(PENDULêR)	1000	Growwe HMX blykbaar ongebind. Fyn in korrels gebind.
HXKF 92501	?	600	Grof en fyn skynbaar ongebind
HXKF 9001	(PENDULêR)	1200	Growwe en fyn HMX onderskeibaar
HXKG 9701	KAPILLêR	1100	Grof en fyn sigbaar, maar nie duidelik afgebaken (homogeen)
HXPS 9201	(PENDULêR)	1000	Growwe HMX sigbaar, fyn nie .
HXCX 9501	KAPILLêR	1200	Grof en fyn sigbaar, maar nie duidelik afgebaken nie (homogeen)

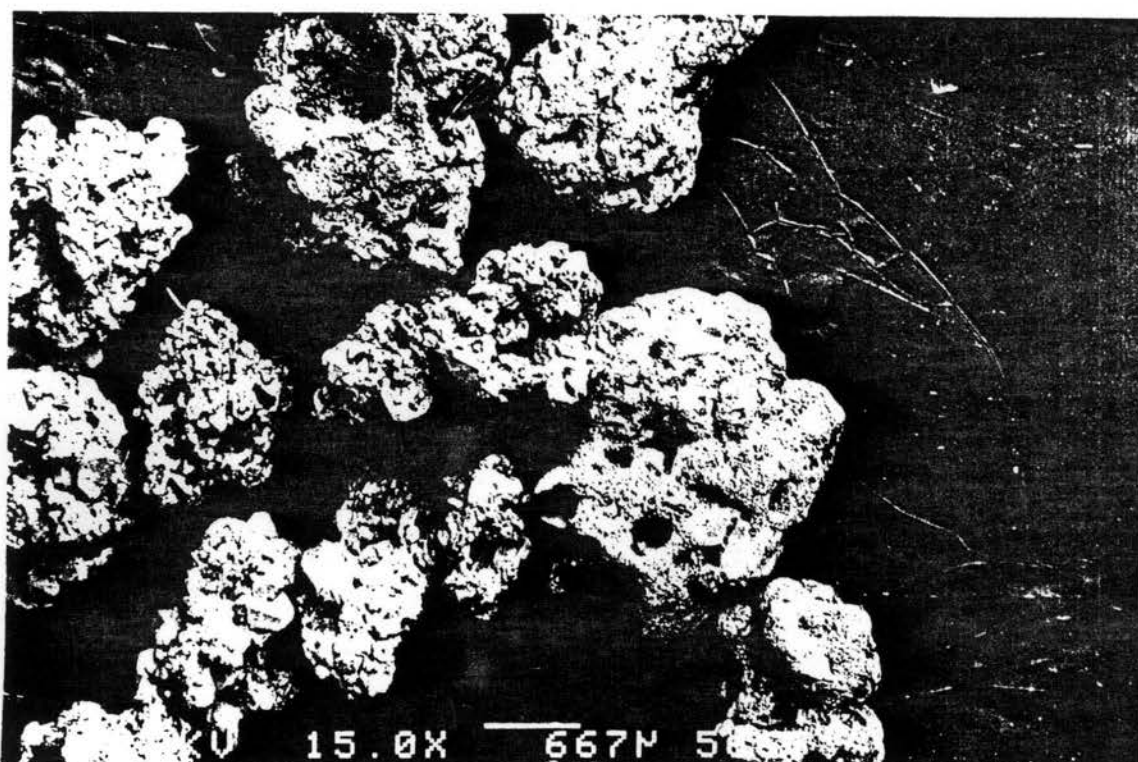


HXVB 9501

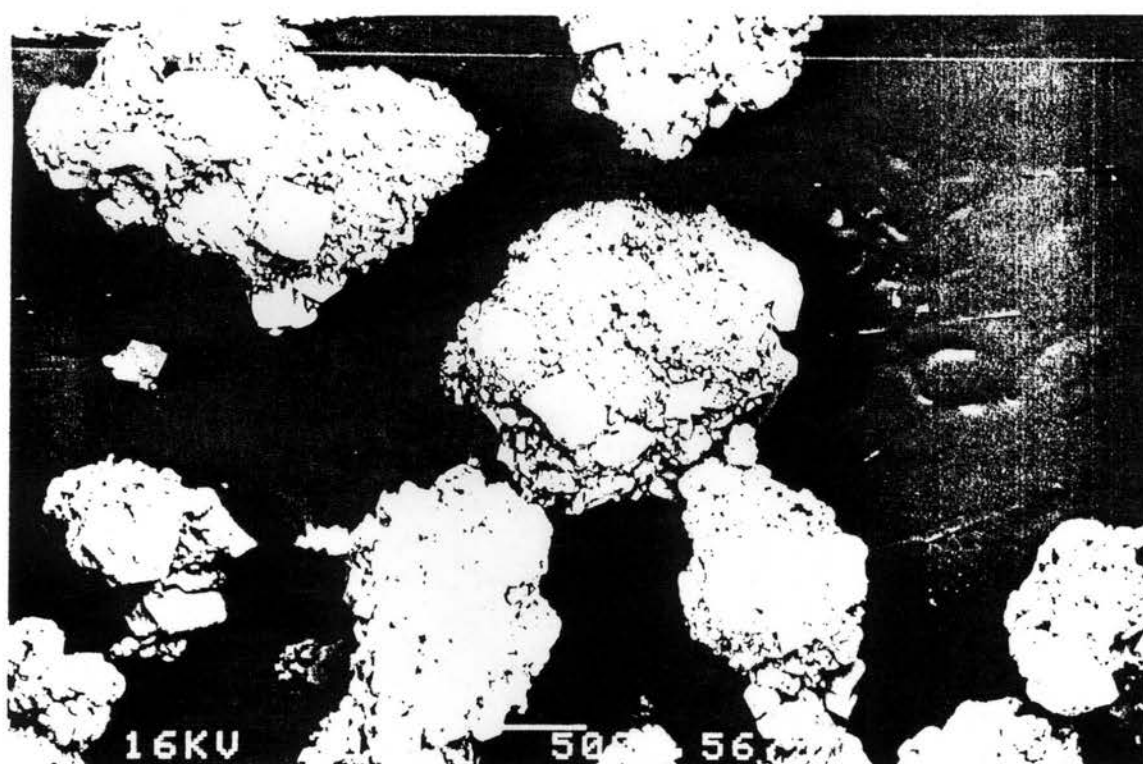


HXVB 92501

Figuur 6.3 : SEM-FOTO's VAN PBX-FORMULERINGS

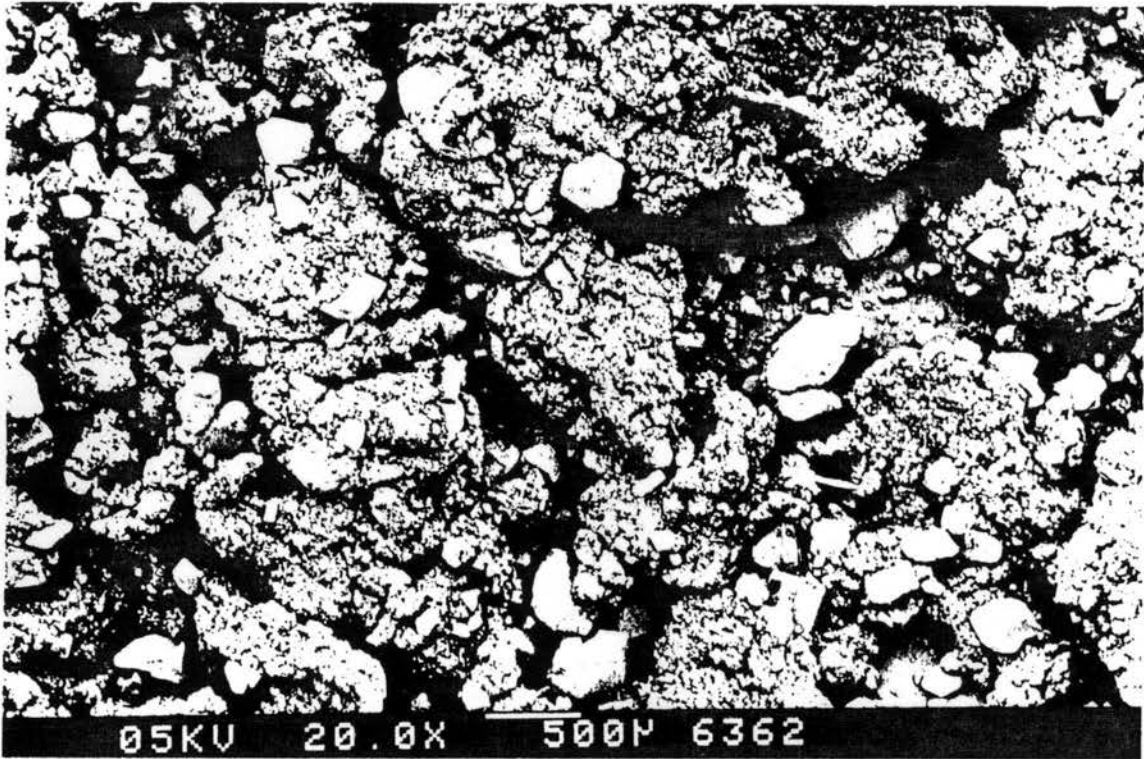


HXVB 9001

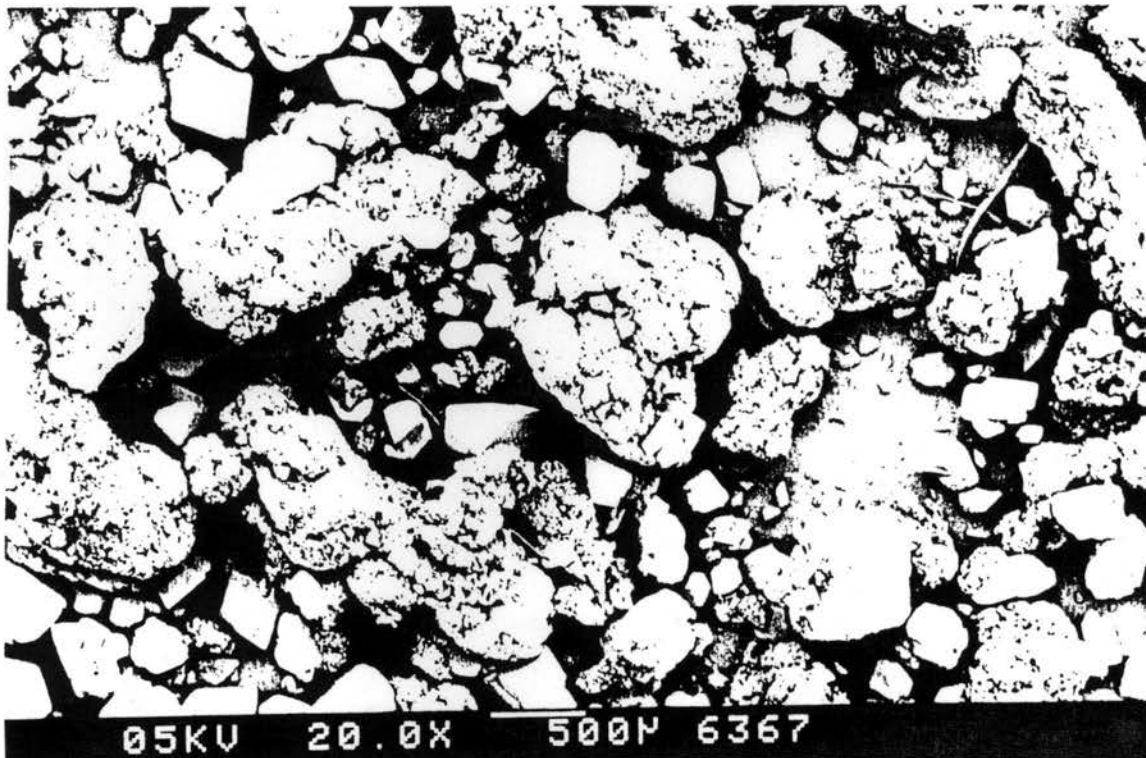


HXVB 9501G

Figuur 6.3 : SEM-FOTO'S VAN PBX-FORMULERINGS (VERVOLG)

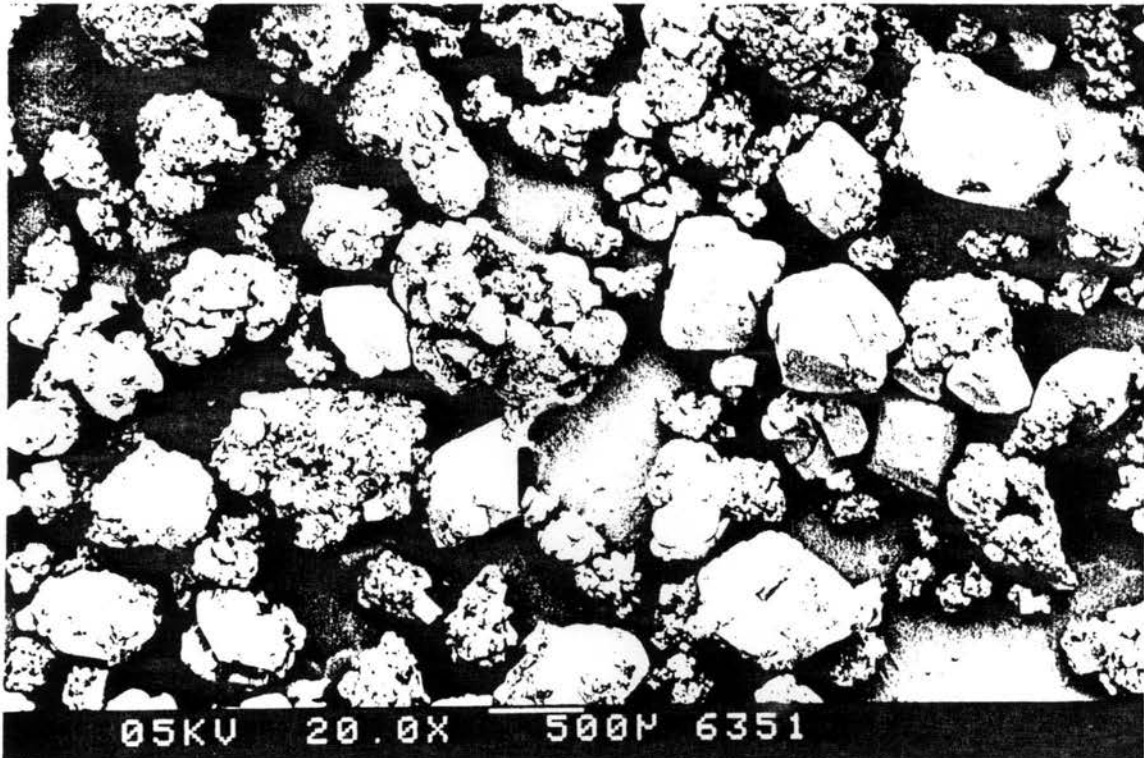


HXEE 9501

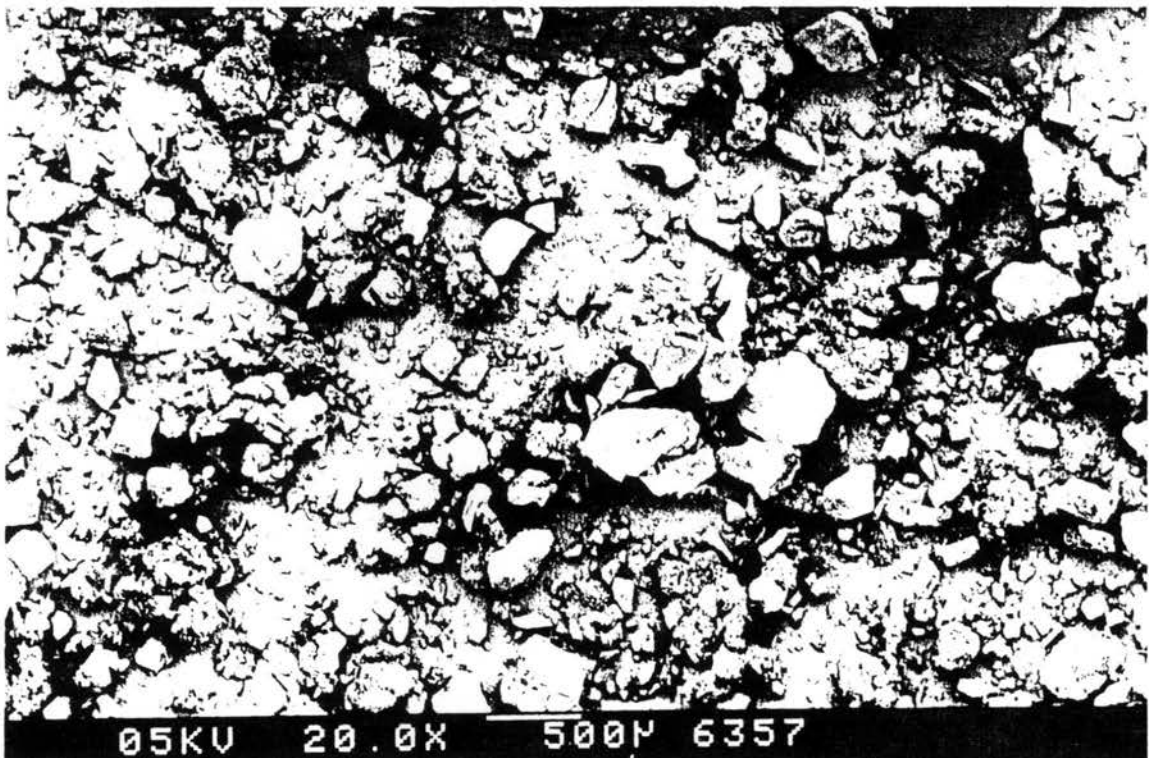


HXEE 9001

Figuur 6.3 : SEM-FOTO'S VAN PBX-FORMULERINGS (VERVOLG)

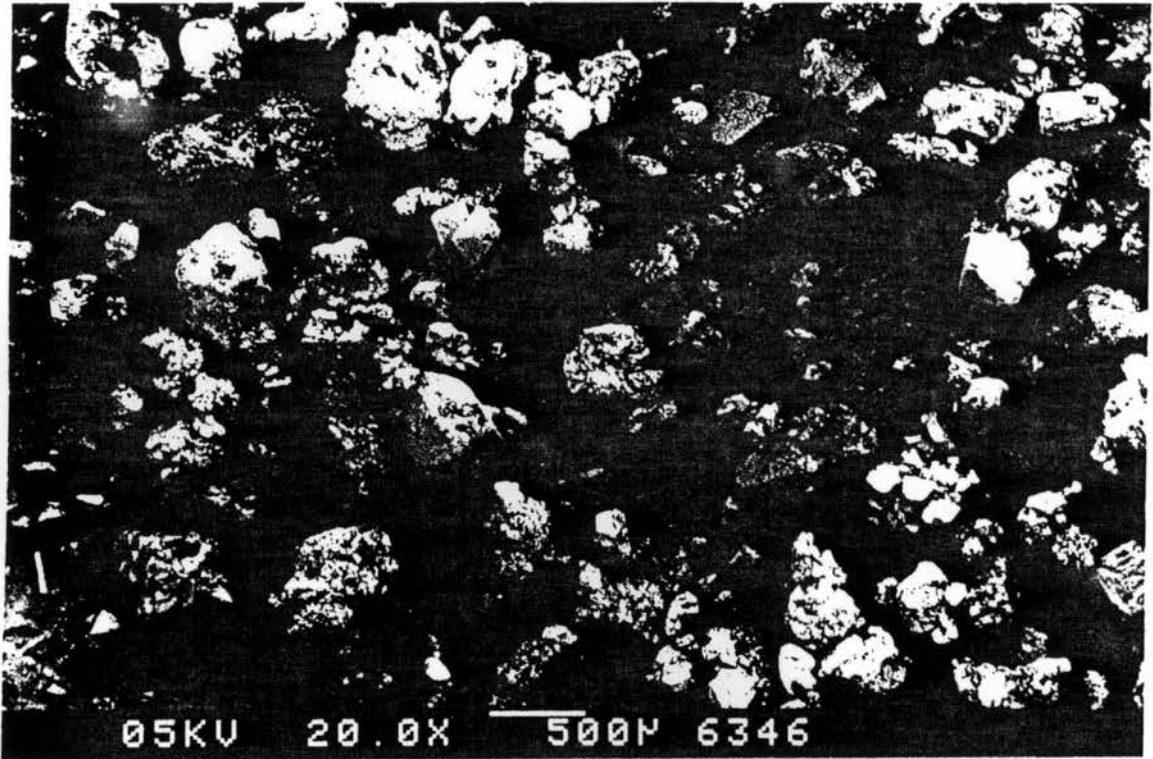


HXKF 9501

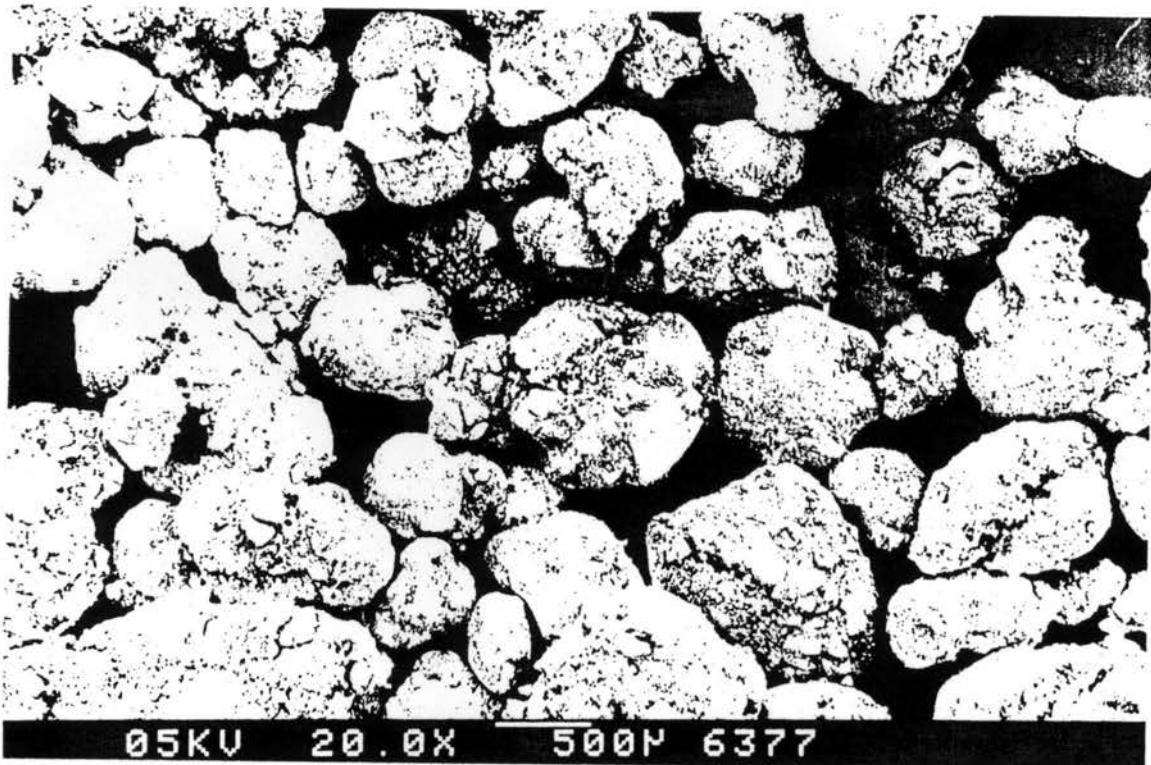


HXKF 92501

Figuur 6.3 : SEM-FOTO'S VAN PBX-FORMULERINGS (VERVOLG)

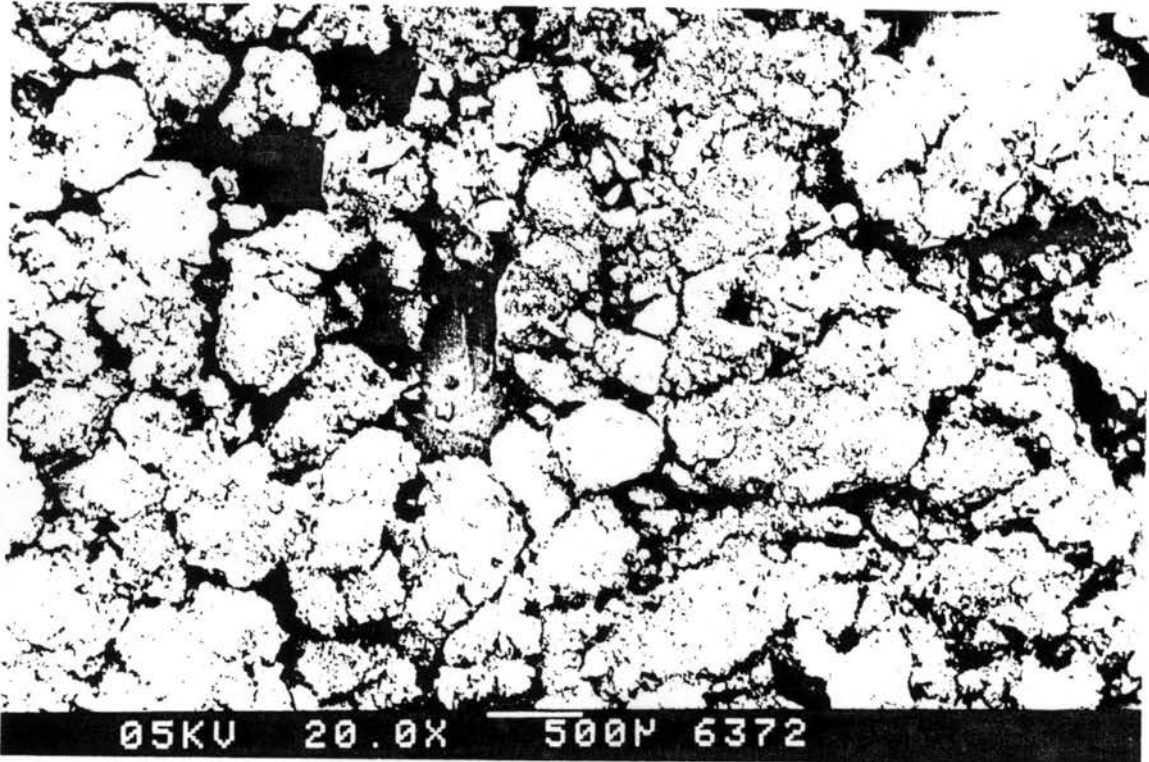


HXKF 9001

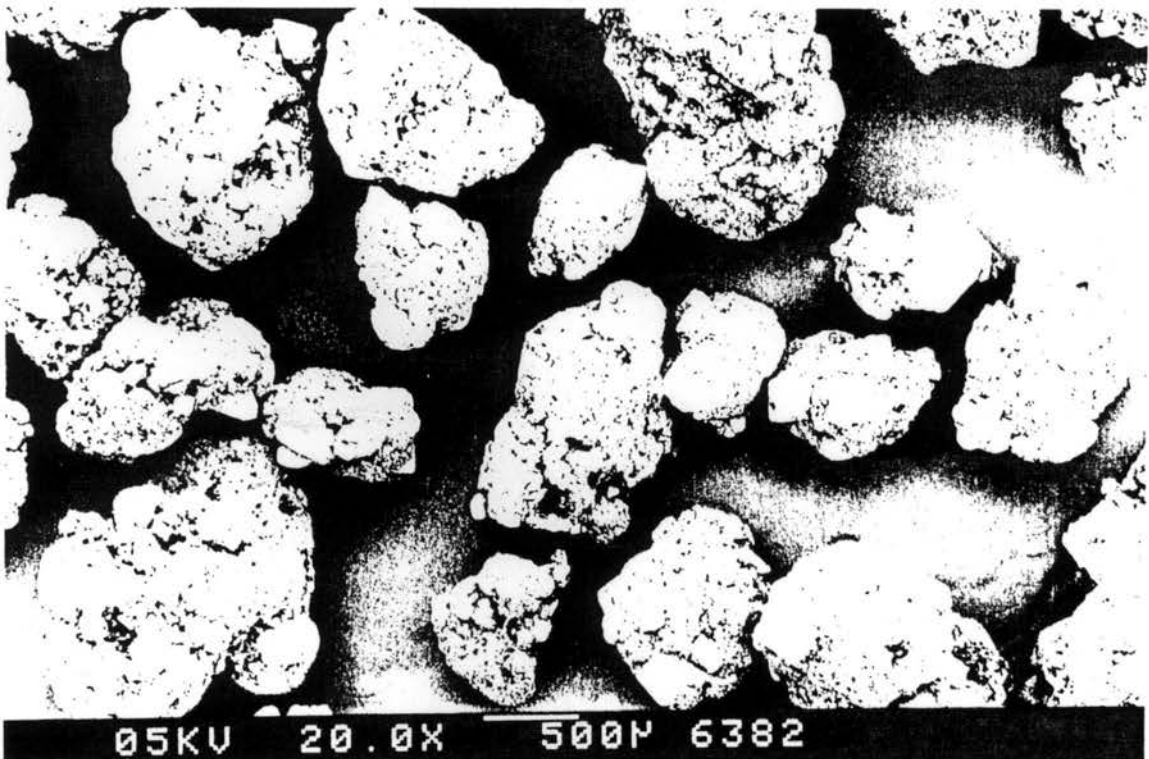


HXKG 9701

Figuur 6.3 : SEM-FOTO'S VAN PBX-FORMULERINGS (VERVOLG)



HXFS 9201



HXCX 9501

Figuur 6.3 : SEM-FOTO'S VAN PBX-FORMULERINGS (VERVOLG)

Die volgende afleidings word gemaak:

i) Korrelvorm

- Geen "ideale korrelvorm" (die druppelvorm) is verkry nie, wat impliseer dat al die brisantstofoppervlakke nie homogeen deur binder bedek is nie. Visueel is dit duidelik dat ingeslote lug in die korrels sal voorkom. Volgens die impaksensitiwiteitsteorieë sal die HMX-kristalle nie deur die polimeer gedesensiteer word nie, wat deur die valhamerimpaktoets eksperimenteel bevestig is.
- HXKG 9701 en HXCX 9501 se korrels is die naaste aan die ideale vorm, alhoewel luginsluiting voorkom. Die ooreenkoms tussen die twee PBX'e se korrelvorms is merkwaardig, veral as die verskil ten opsigte van prosesondisies in aanmerking geneem word. Dit dui moontlik op 'n verband in fisiese adhesievermoë van die stireen-bevattende blokko-polimere.
- Die aanwesigheid van groot "holtes" was veral by HXVB met 10%-VB-binder waarneembaar. Dit kan aan groot volumes ingeslote EA, wat tydens die distillasieproses uit die PBX-klonte ontsnap, toegeskryf word. In die geval van die ander PBX'e, waar die binderinhoud hoog was (HXKF en HXPS), het die korrels heeltemal opgebreek, vandaar die groot mate van ongebinde materiaal teenwoordig. Dit dui ook verder op die verskil in hegtingsgedrag tussen

die polimere.

- HXCX toon die mees uniforme korrelgrootteverspreiding, terwyl die HXKF- en HXPS-formulerings tot 'n groot mate vormloos is.
- ii) Tipiese korrelgrootte
- HXVB 9001 en HXVB 9001G was duidelik "groter" as die ander. Dit strook met die granulasie, waar aangetoon is dat hierdie PBX'e die grootste fraksies groter as 1000 μm besit (meer as 50% van die korrels). Die afwesigheid van 'n bepaalde korrelvorm bemoeilik die karakterisering van die HXPS 9201-korrel, alhoewel dit volgens die sifanalise an dieselfde ordegrootte as HXVB 90\10 moet wees.
 - 'n Verband tussen die tipiese korrelgrootte en siffraksie vir die ander PBX'e is moeilik kwantifiseerbaar, wat moontlik op nie-verteengewordigende monsterneming dui. Opvallend is dat, op uitsondering van HXKF 92501 na, al hierdie formulerings in dieselfde "band" (groter as 1000 μm) lê.
 - Die afwesigheid van fyn, ongebinde HMX by HXVB en HXKG 9701 word deur die sifanalise bevestig. Die sowat 1% partikels kleiner as 150 μm (by HXCX 9501) word nie as sulks op die SEM aangetoon nie. Die hoepersentasie fyn partikels van HXKF en HXEE word bevestig, terwyl die groot verspreiding van korrel-

groottes van HXPS 9201 ook gesien kan word (growwe en fyn partikels).

- In die geval van die "voortreflikste" PBX-korrels, nl HXVB 90\10 en HXKG 9701, is dit opvallend dat die korrels oorwegend van dieselfde grootte en vorm is, en dat hierdie korrels relatief grof is. Dit verklaar dus moontlik die relatiewe growwe sifspesifikasies van die MIL SPEC's, wat vir 'n geoptimeerde PBX-sisteem geld.

iii) Suiwer HMX teenwoordig

Op grond van die SEM-resultate alleen, wil dit voorkom asof suiwer (ongebinde) HMX by HXKF, HXEE en HXPS aanwesig is. Aangesien die samestellingsanalises van relatief klein (ca. 5 g) verteenwoordigende monsters deurgaans binne die konsep-spesifikasie is, is die indruk verkry dat die polimeer homogeen deur die PBX-korrels versprei is. Die SEM-foto's van bovermelde PBX'e wil egter die teendeel bewys. Daar is gevolglik gepoog om die korrelhomogeniteit in terme van sifanalise te verklaar. Vroeër is 'n bimodale kristalverspreiding vir HMX geïdentifiseer, naamlik 70% Klas 3 en 30% Klas 2. As, vir albei klasse, aanvaar word dat die HMX net binne die ondergrens vir die plaaslike HMX-spesifikasie val, geld vir elke 100 g bimodale HMX :

Min. HMX Klas 2 kleiner as $150 \mu\text{m}$:
= min. HMX Klas 2 kleiner as $125 \mu\text{m}$ ($150 \mu\text{m}$ nie
deel van Klas 2-spesifikasie)
= $98\% \times (30\% \times 100) \text{ g}$
= $29,4 \text{ g}$

Min HMX Klas 3 kleiner a $150 \mu\text{m}$
= $10\% \times (70\% \times 100)\text{g}$
= 7g

Dit wil sê onder bogenoemde voorwaardes kan minimum
 $36,4\%$ van die HMX-mengsel kleiner as $150 \mu\text{m}$ wees.

Word aanvaar dat die HMX-kristalle net binne die
bogrens vir die plaaslike HMX-spesifikasie val, kan
die volgende vir elke 100 g mengsel bereken word,
naamlik :

Maks Klas 2 kleiner as $150 \mu\text{m}$
= $100\% \times (30\% \times 100)\text{g}$
= 30g

Maks Klas 3 kleiner as $150 \mu\text{m}$
= $30\% \times (70\% \times 100)\text{g}$
= 21g

Onder bogenoemde voorwaardes kan maksimum 51g HMX-
mengsel kleiner as $150 \mu\text{m}$ wees.

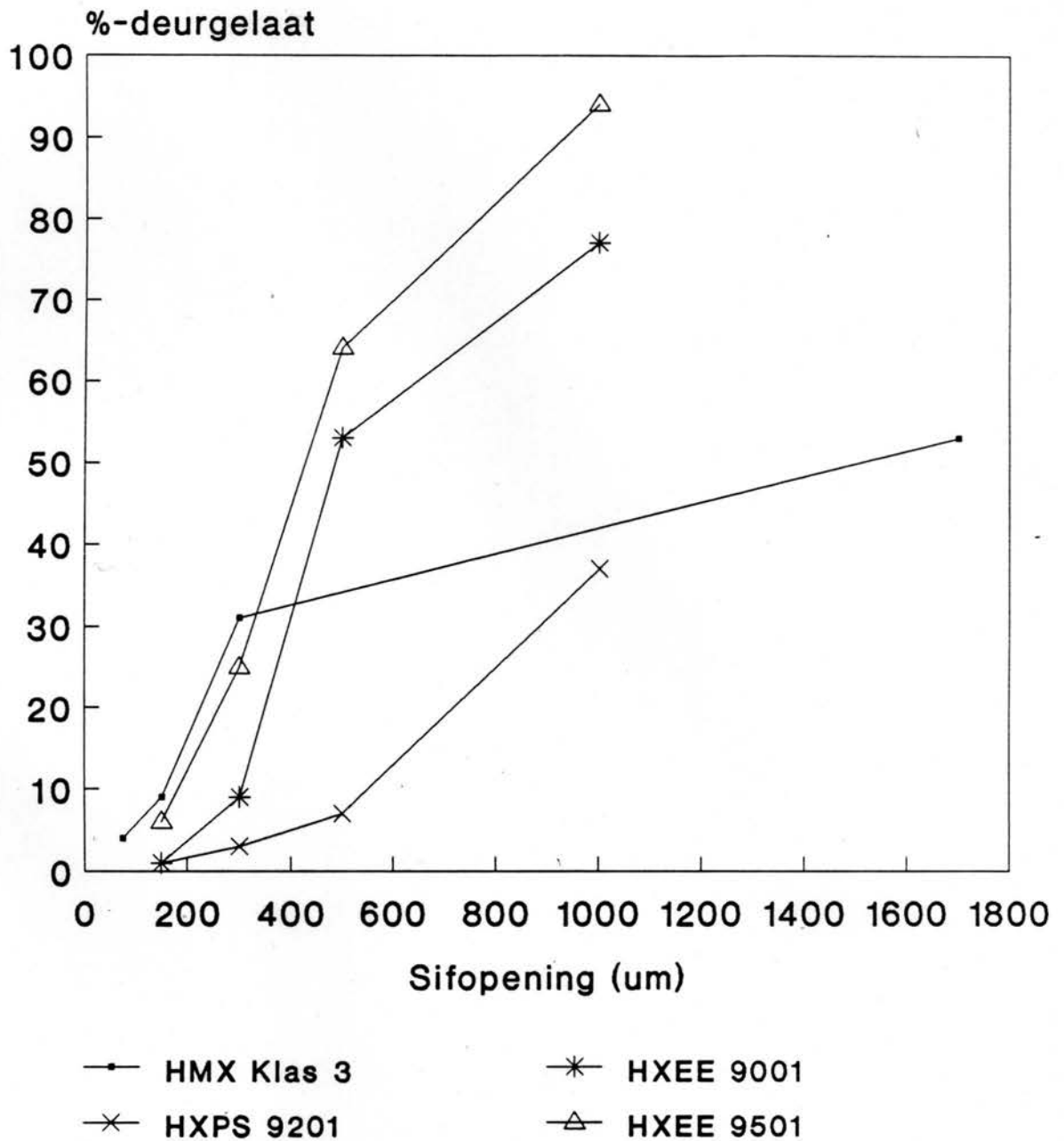
Uit bogenoemde kan afgelei word dat vir elke bimodale 70/30 Klas 3/Klas 2-mengsel, tussen 36,4% en 51,0% van die HMX-mengsel kleiner as 150 μm moet wees. As eksperimentele waardes in aanmerking geneem word, kan aangetoon word dat 'n tipiese waarde vir HMX-kristalle kleiner as 150 μm , 46% bedra. As aanvaar word dat die siffraksies kleiner as 150 μm (Tabel 6.9) ongebinde HMX is, beteken dit dat vir HXVB 9501G, HXEE 9501, HXKF 9501, HXKF 9001, HXPS 9201 en HXCX 9501, hierdie fraksie groter as 1% is. (In die geval van HXEE 9501 was hierdie fraksie 5,3%). Binding van die fyn kristalle moes dan tot 'n groot mate plaasgevind het. Tabel 6.14 bevestig laasgenoemde stelling.

Tabel 6.14 : ONGEBINDE HMX-FRAKSIES PER PBX (AANNAME: ALLE PARTIKELS <150 μ m IS 'SUIWER' HMX)

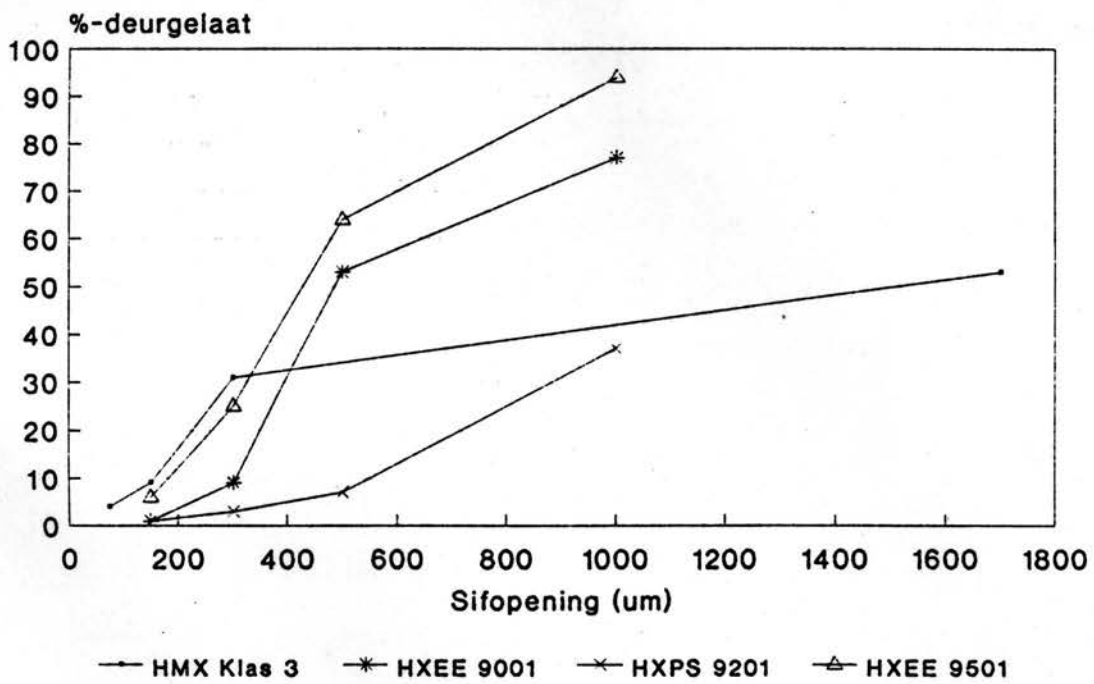
FORMULERING	HMX-inhoud (tipies) (% m/m)	Fyn fraksie <150 μ m (% m/m)	Tipiese ongebinde HMX-fraksie* (%)	Maks ongebinde HMX-fraksie (%)	Min ongebinde HMX-fraksie (%)
HXVB 9501G	94,5	1,1	2,5	3,2	2,3
HXEE 9501	95,0	5,3	12,1	15,3	10,9
HXEE 9001	90,0	1,1	2,7	3,4	2,4
HXKF 9501	95,0	3,0	6,9	8,7	6,2
HXKF 9001	90,0	1,8	4,3	5,5	3,9
HXPS 9201	92,0	1,8	4,3	5,4	3,8
HXCX 9501	95,0	1,2	2,7	3,5	2,5

(* = tipiese waarde vir HMX: 46% < 150 μ m)

Dit kan gesien word dat veral HXEE 9501 en HXKF 9501 problematies ten opsigte van homogeniteit kan wees (korrelgrootte sowel as polimeerverspreidings). Aangesien dit op verskeie van die SEM-foto's voorkom dat veral die Klas 3-fraksie ongebind is, is hierdie fraksie ook van naderby beskou. Figuur 6.4 toon 'n tipiese sifanaliseband vir suiwer HMX Klas 3, asook die sifanalises vir HXKF- en HXEE-formulerings, en HXPS 9201. Die volgende afleidings word daaruit gemaak:



Figuur 6.4 : PBX-GRANULASIE VS HMX-KLAS 3



Figuur 6.4 : PBX-GRANULASIE VS HMX-KLAS 3

- i) HXPS 9201-korrels is by elke analise-punt 'growwer' as die Klas 3, wat aantoon dat die growwe HMX-kristalle tot 'n redelike mate met mekaar gebind het.
- ii) Die teenwoordigheid van 'n beduidende mate van ongebinde Klas 3 by HXEE en HXKF sal nie deur die sifanalise onderskei kan word nie, aangesien die PBX-korrels binne die Klas 3 spesifikasie val. Dit geld vir kristalle van ca. 500 μm en groter (HXEE 9001 vertoon effens growwer as die ander).
- iii) Soos voorheen aangetoon, kan die HXEE- en HXKF-formulerings (spesifiek die 95/5-samestellings) as verdag ten opsigte van homogeniteit van binderverspreiding beskou word.

'n Opsommender interpretasie van die SEM-foto's is dus dat die blokkopolimere KG en CX oënskynlik die voortreflikste resultate in terme van korrelvorm en afwesigheid van ongebinde kristalle lewer. Die PBX-korrels was deurgaans 'fyn', en alhoewel die aanwesigheid van ongebinde Klas 2-HMX beperk kan wees is, kan dieselfde nie ten opsigte van Klas 3 gedoen word nie. Die EE- en KF-bevattende formulerings het die swakste vertoon, en indien een van hierdie formulerings as die aangewese geïdentifiseer word, sal 'n in-diepte ondersoek na die vervaardigingskondisies onderneem word.

6.7 VALHAMERSENSITIWITEIT

Die algemene beskrywing van die valhamer-sensitiwiteitstoets, wat vir die bepaling van die impaksensitiwiteit van 'n klein plofstofmonster gebruik word, is in Hoofstuk 2 gegee. Daar is getoon dat gerapporteerde resultate vir dieselfde plofstof aansienlik kan verskil. Die wetenskaplike regverdiging van die metode is ook onder verdenking, en die afleiding is gemaak dat die toetstechniek hoogstens 'n algemene aanduiding van relatiewe impakstabiliteit gee. Om die voorafgaande stellings verder toe te lig, word die volgende aangehaal ⁵:

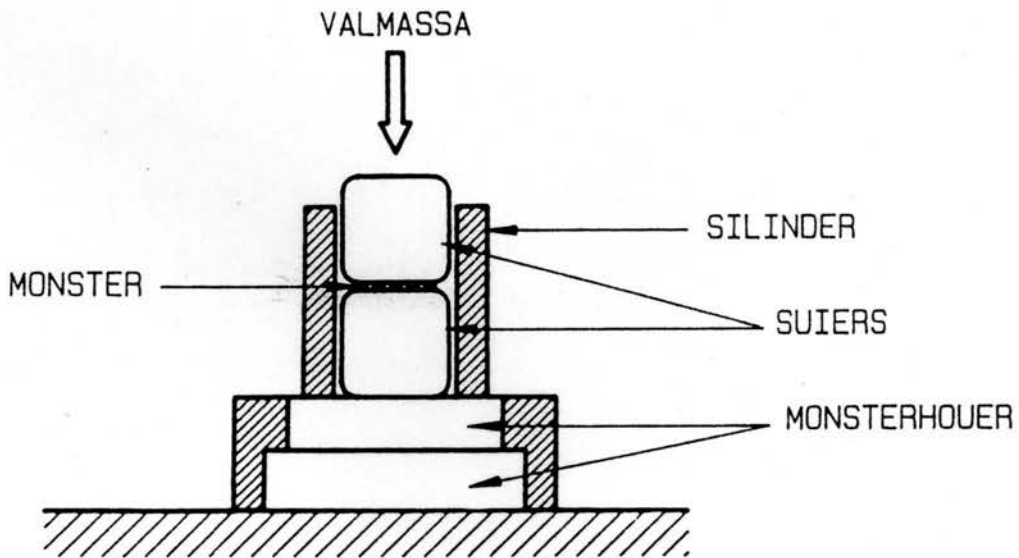
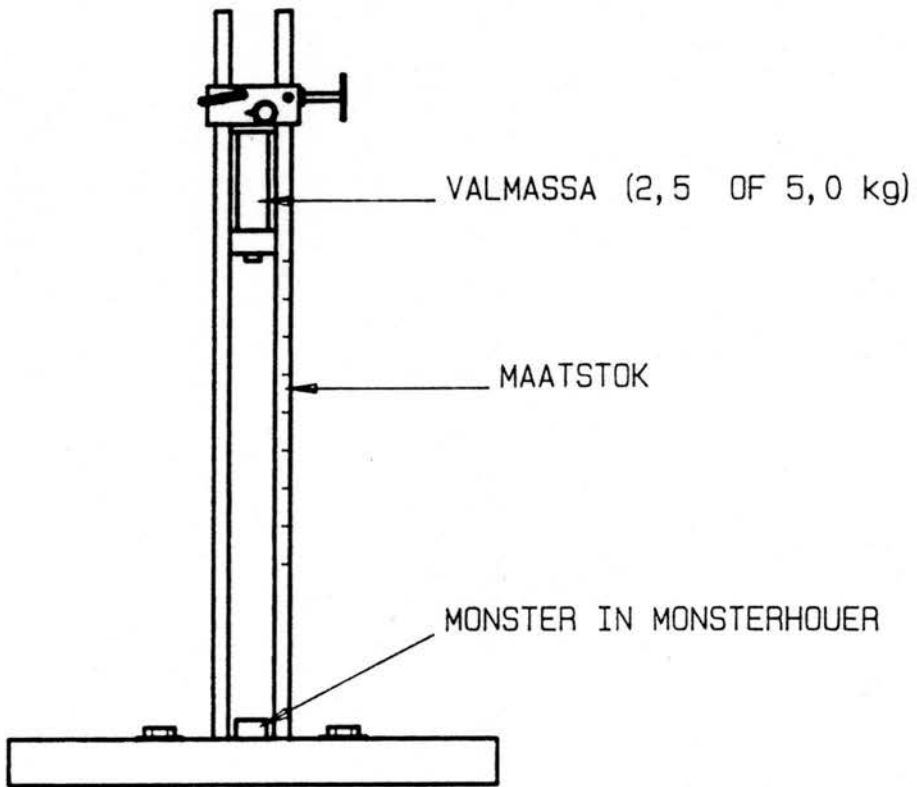
- 'Typical test results are anything but reproducible'
- 'Preparing tables of impact sensitivity data for explosives...is an exercise in futility. Reported results...just do not agree.'
- '...hitting a solid with a hammer or rubbing it with a hammer or rubbing it with a piece of sandpaper is perhaps an experiment more proper to a carpenter than a physicist.'

en ¹

- 'In general, values below 0,25m usually indicate relative sensitivity to impact. Values between 0,25 and 0,70m indicate relative insensitivity to impact.'

Die 'Julius Peeters'-impakmasjien is vir die bepaling van impaksensitiwiteit gebruik. Die toetsmonsters was deurgaans 40 (+ 1)mg, en die opstelling en toetsmonsterhouer verskyn in figuur 6.5. 'n Statistiese bepaling (die sogenaamde 'Bruceton-up-and-down'-metode) word gedoen om 'n 50%-ontstekingshoogte van die monster vir die bepaalde impakmassa te bereken. Die eksperimentele resultate verskyn in Tabel 6.15.

Literatuurwaardes ¹⁻¹⁴ word ter vergelyking weergegee.



Figuur 6.5 : VALHAMER-TOETSAPPARAAT EN MONSTERHOUER

Tabel 6.15 : PBX-VALHAMERSENSITIEWEITE

FORMULERING	IMPAKSENSITIEWEITEIT (50%) kg. m	EKWIVALENTE FORMULERING	IMPAKSENSITIEWEITEIT* a=Type 12 app b=Type 12B ap
HMX Klas 3	0,812	HMX	0,33 (a) 0,36 (b)
HMX Klas 2	0,755		
HXVB 9501	0,702	LX-10-0	0,35 (a)
HXVB 92501	0,721		
HXVB 9001	0,698	LX-07-2	0,23 (a)
HXVB 9501G	0,746		
HXVB 92501G	0,615		
HXVB 9001G	0,868		
HXEE 9501	0,713	LX-14-0	0,15 (b)
HXEE 9001	0,734	PBX 9011	0,44 (a)
HXKF 9501	0,694		
HXKF 92501	0,638		
HXKF 9001	0,715		
HXKG 9701	0,688	HMX/KG/olie	0,59 (b)
HXPS 9201	0,694		
HXCX 9501	0,563		

(Type 12 : sandpapier-impakvlak, tipe 12B : ruwe staalimpakvlak)

HMX en die HMX-PBX'e val in dieselfde kategorie, naamlik brisantstowwe van matige sensitieweiteit (dieselfde orde grootte). Die literatuurwaardes wil egter daarop dui dat die byvoeging van 'n polimeerbinder die HMX effens

desensiteer. Dit is duidelik nie by die plaaslike formuleringe die geval nie, intendeel, die meerderheid formuleringe blyk meer sensitief as HMX Klas 3 te wees (hoe hoër die kg.m-waarde, hoe minder sensitief). Die volgende verklaring word hiervoor aangevoer:

Die PBX-korrels is van sodanige samestelling dat dit 'n groot mate van ingeslote lugruimtes inkorporeer. Die SEM-foto's, tesame met die voorgestelde korreilmorfologie, bevestig hierdie teorie. Dit bring mee dat die luggapinge in die korrels as inisiëringpunte ('hot spots') tydens impak optree. Aangesien hierdie luggapinge by die suiwer kristalle ontbreek, en die interkristalruimtes groot is, is die adiabatiese verhitting tydens impak verminder ten opsigte van dié in die PBX-korrel. Dit wil dus voorkom asof polimeerbyvoeging die HMX sensitief. As voorbeeld kan HXCX beskou word, wat ten spyte van 'n oënskynlike ideale korreilmorfologie, baie impaksensitief is. Dit bevestig die vermoede dat die korrel hoë porositeit besit (kapillêre korrelvorm). Hierdie effek is die kleinste by van HXVB 9001G, wat moontlik op 'n hoër korreldigtheid dui. As 'n algemene slotsom kan dus gerapporteer word dat al die PBX-formuleringe van dieselfde orde van impaksensitiwiteit is, wat naastenby die orde van suiwer HMX ewenaar. Die opvolgondersoek na die geïdentifiseerde kandidaatformulering behoort die optimering van die korreilmorfologie aan te spreek.

Die praktiese implikasie van hierdie resultate is dat die

PBX-korrelproduk soos suiwer HMX hanteer moet word, en dat geen toegewings ten opsigte van hantering en prosessering daarvan gemaak kan word nie (risiko van dieselfde orde). Dit bied ook geen maatstaf om die onderskeie PBX'e teen mekaar af te speel nie, aangesien die kombinasie van statistiese resultaatverkryging en onsekerheidsintervalle nie 'n eenduidige antwoord lewer nie. Ten slotte word die afleiding gemaak dat die resultate op die hantering van die korrelproduk van toepassing is, en nie op die finale, geperste produk nie.

6.8 TERMIESE GEDRAG

Die PBX-korrels is in terme van termiese gedrag gekarakteriseer, smelt- en oorgangstemperature (DSK), vakuumtermiese stabiliteit (VTS), en massabehoud by hoë temperature (TGA). Die eksperimentele resultate word deurgaans in vergelyking met die van suiwer β -HMX weergegee.

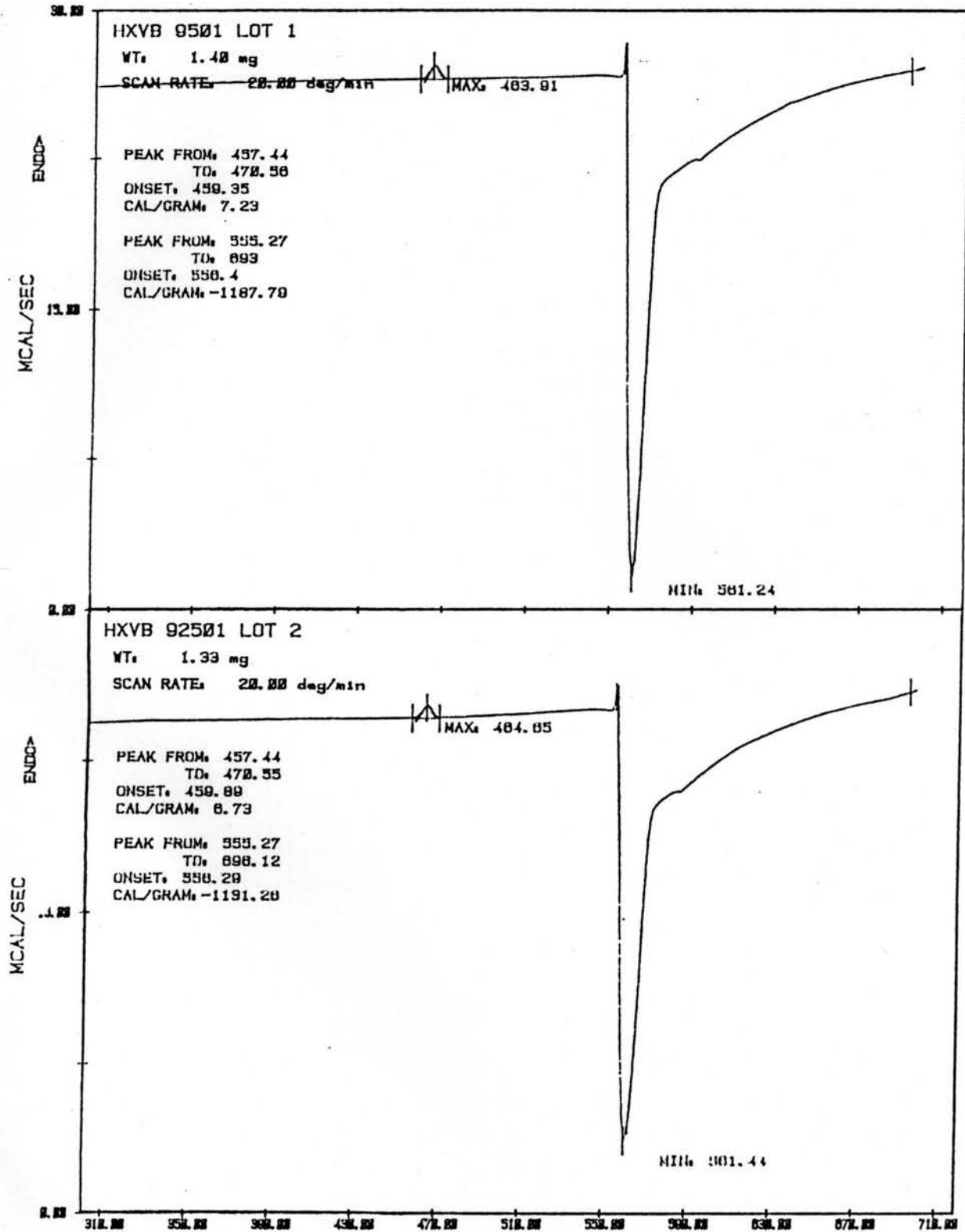
- DSC

Die behoeftestelling dat die brisantstof (HMX) oor 'n tipiese uiterste temperatuurgebied fisiese stabiliteit moet toon, en dat die polimeer hierdie gedrag moet ewenaar of verbeter, is hier ter sprake. Die fase-oorgange van HMX is reeds bespreek, waaruit afgelei kan word dat β -HMX twee oorgange kan deurgaan naamlik $\beta \rightarrow \gamma$ (154°C) en $\beta \rightarrow \delta$ ($167^{\circ} - 183^{\circ}\text{C}$). Verder is dit bekend dat die HMX-smeltpunt in die gebied $246-280^{\circ}\text{C}$ kan voorkom, wat

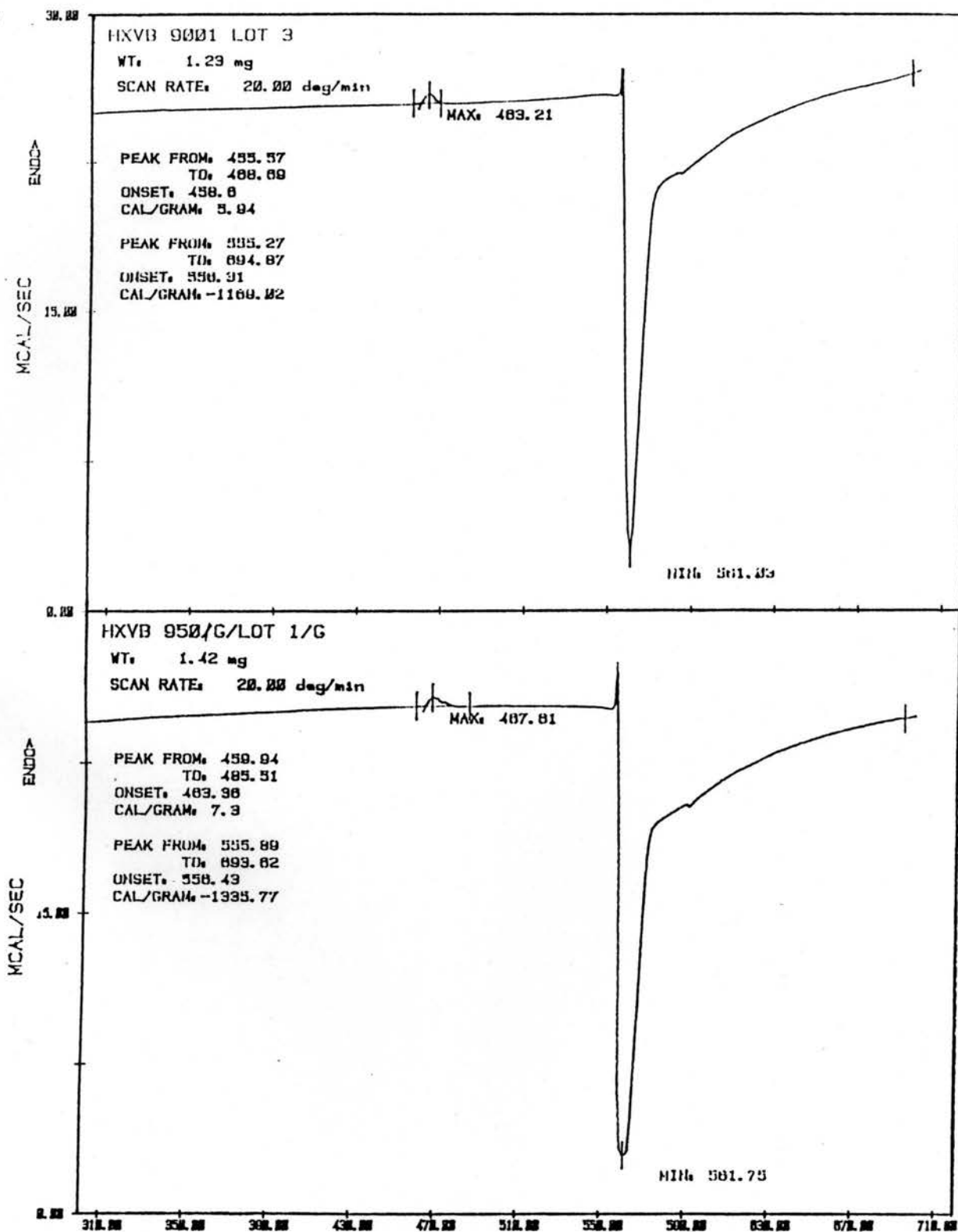
eksperimenteel bevestig is ('n tipiese DSK-spektrum toon 'n smeltpunt by 280°C). Dit is verder aangetoon dat al die polimere bokant 150°C sal smelt. Twee-orde oorgange kom wel in die aanwendingstemperatuurgebied voor. Die PBX-formulerings is derhalwe in terme van termiese gedrag met behulp van DSK gekarakteriseer. Die spektra verskyn as figuur 6.6 terwyl die resultaat-interpretasie in Tabel 6.16 aangegee word.

Tabel 6.16 : TERMIESE EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS

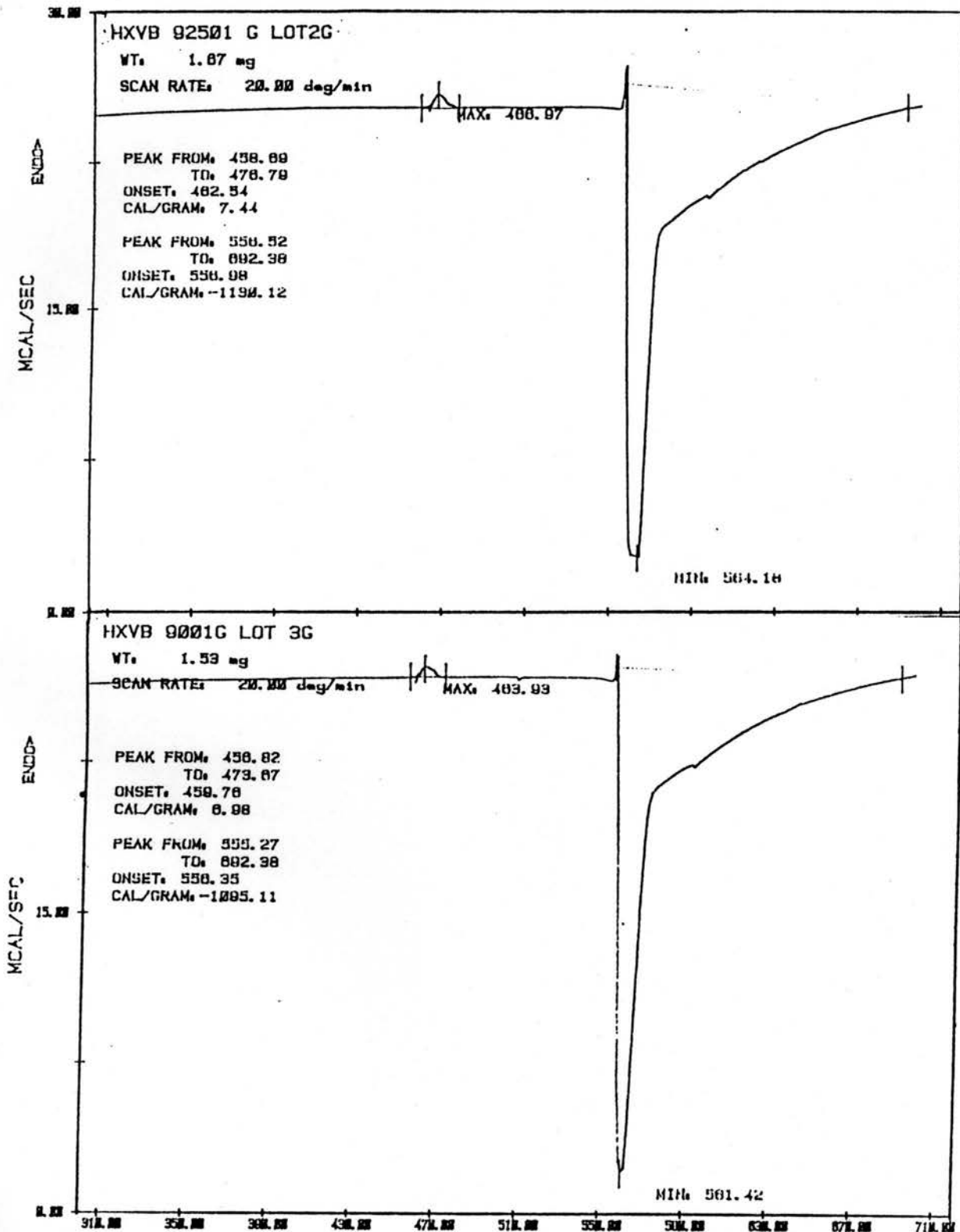
FORMULERING	SMELT PUNT- °C	ANDER OORGANGE °C	LITERATUURVER- WYSINGS ¹
HXVB 9501	283,3	184,3 - 197,4	LX-10: $T_m > 250$ °C Oorgang ca. 180°C
HXVB 92501	283,1	184,3 - 197,4	
HXVB 9001	283,2	182,4 - 215,5	LX-07: $T_m > 250$ °C
HXVB 9501G	283,3	186,8 - 212,0	
HXVB 92501G	283,8	185,5 - 203,6	
HXVB 9001G	283,2	183,7 - 200,7	
HXEE 9501	277,2	± 188	LX-14: $T_m > 270$ °C Oorgang ca. 175°C
HXEE 9001	279,1	± 192	PBX 9011: $T_m > 250$ °C β → δ, 190°C
HXKF 9501	281,5	178,5 - 193,7	
HXKF 92501	281,3	183,7 - 198,3	
HXKF 9001	283,8	182,6 - 200,4	
HXKG 9701	281,1	186,4 - 203,4	
HXPS 9201	280,5	189,1 - 203,3	
HXCX 9501	281,7	± 190	



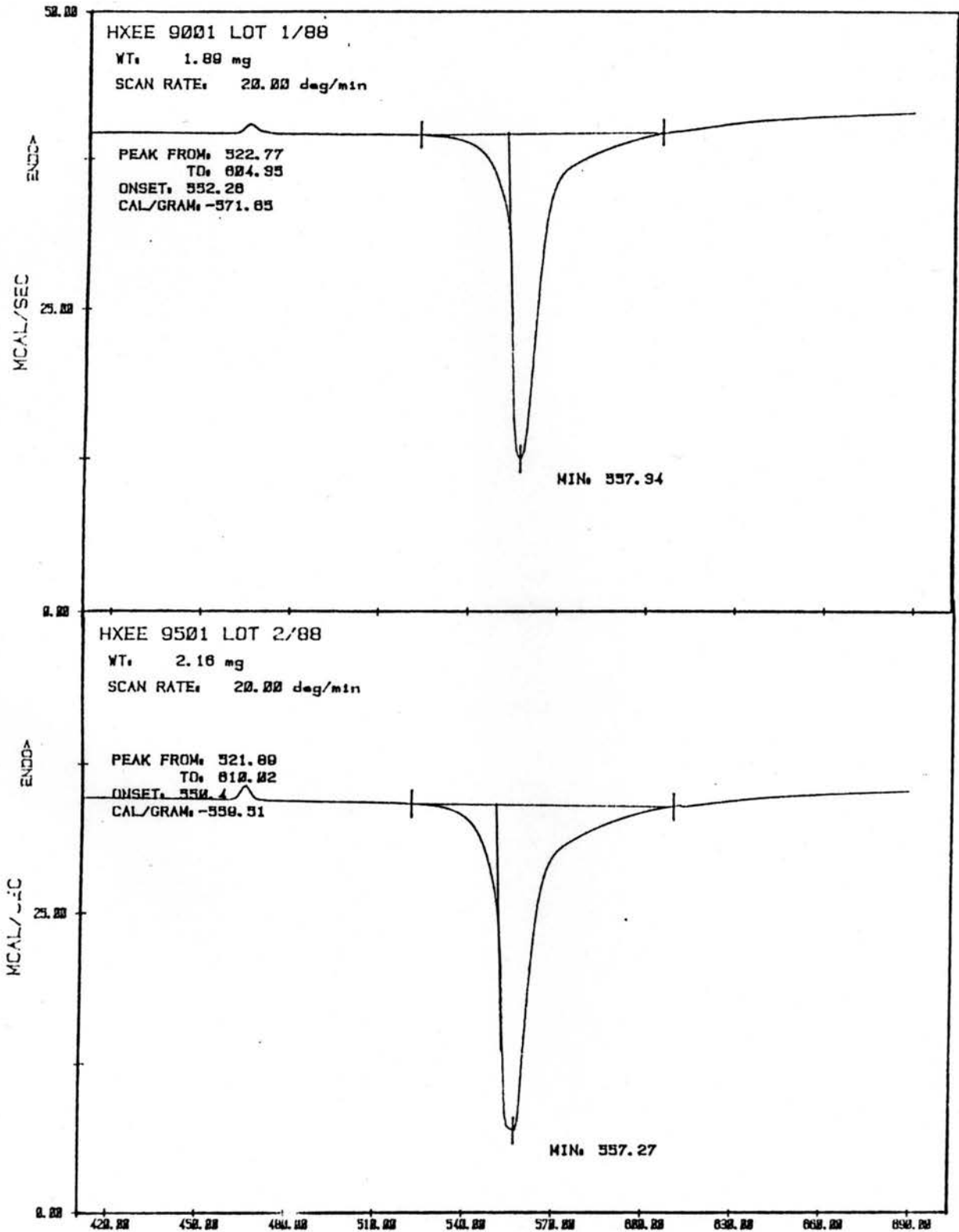
Figuur 6.6 : DSK-SPEKTRA VAN PBX



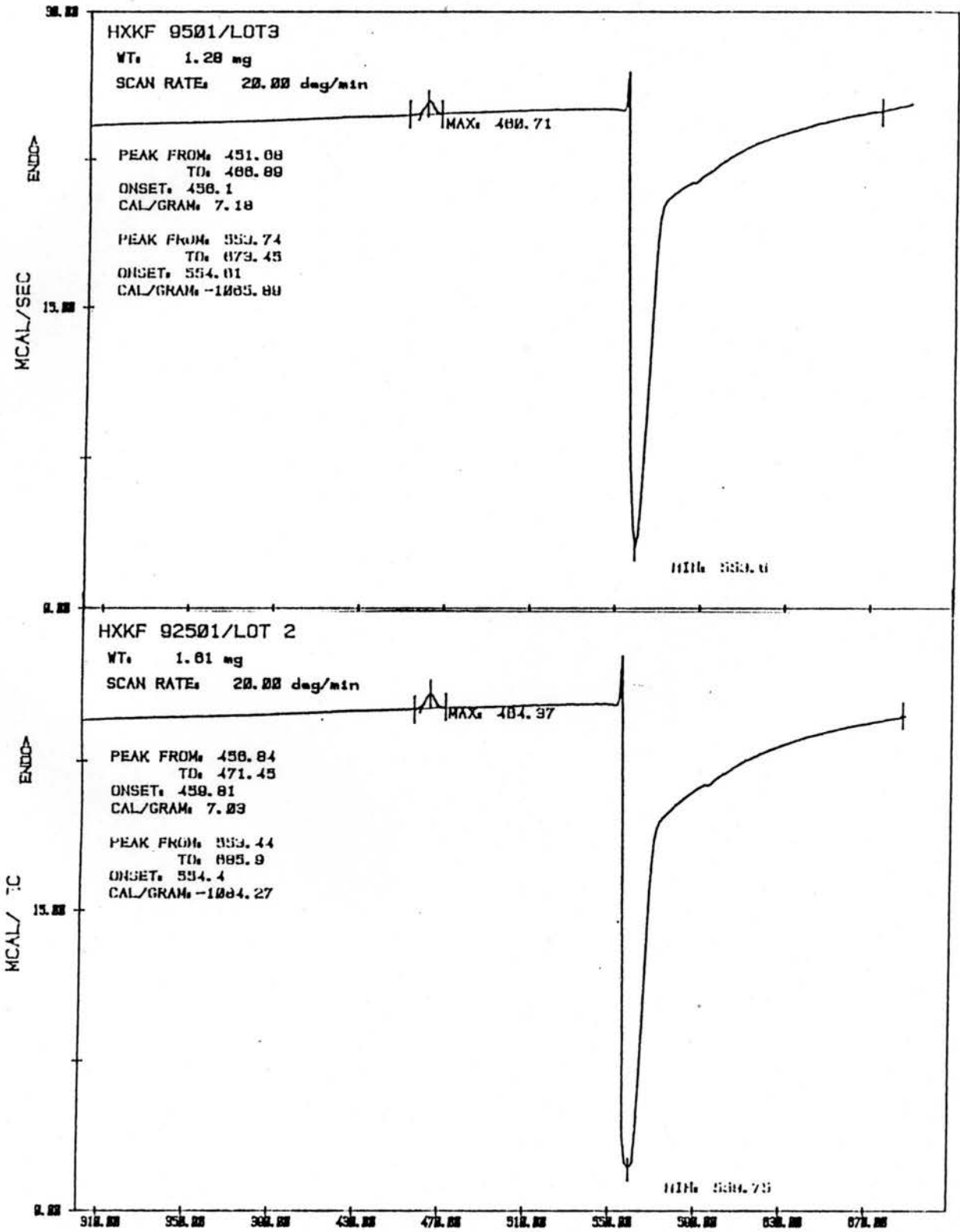
Figuur 6.6 : DSK-SPEKTA VAN PBX (VERVOLG)



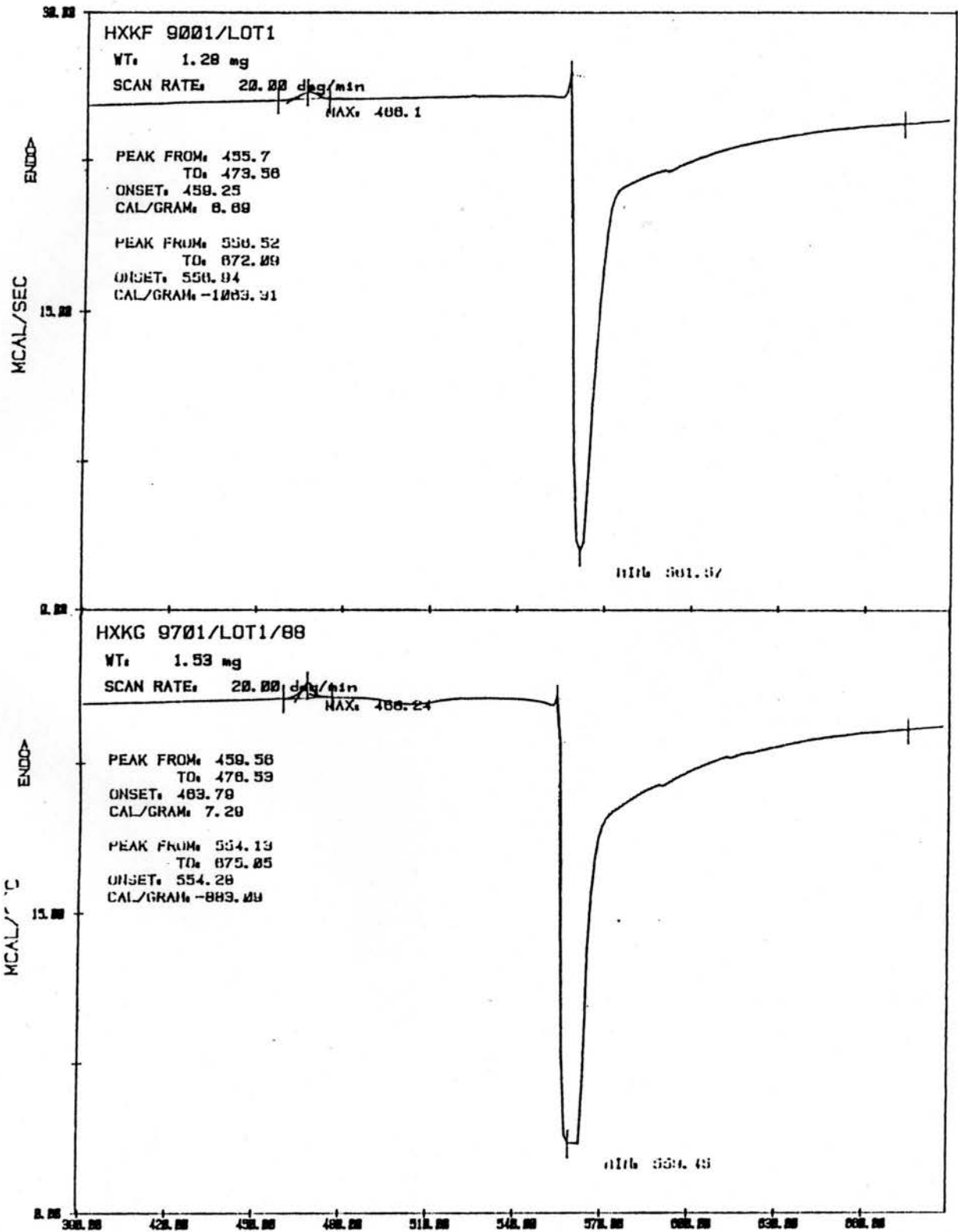
Figuur 6.6 : DSK-SPEKTA VAN PBX (VERVOLG)



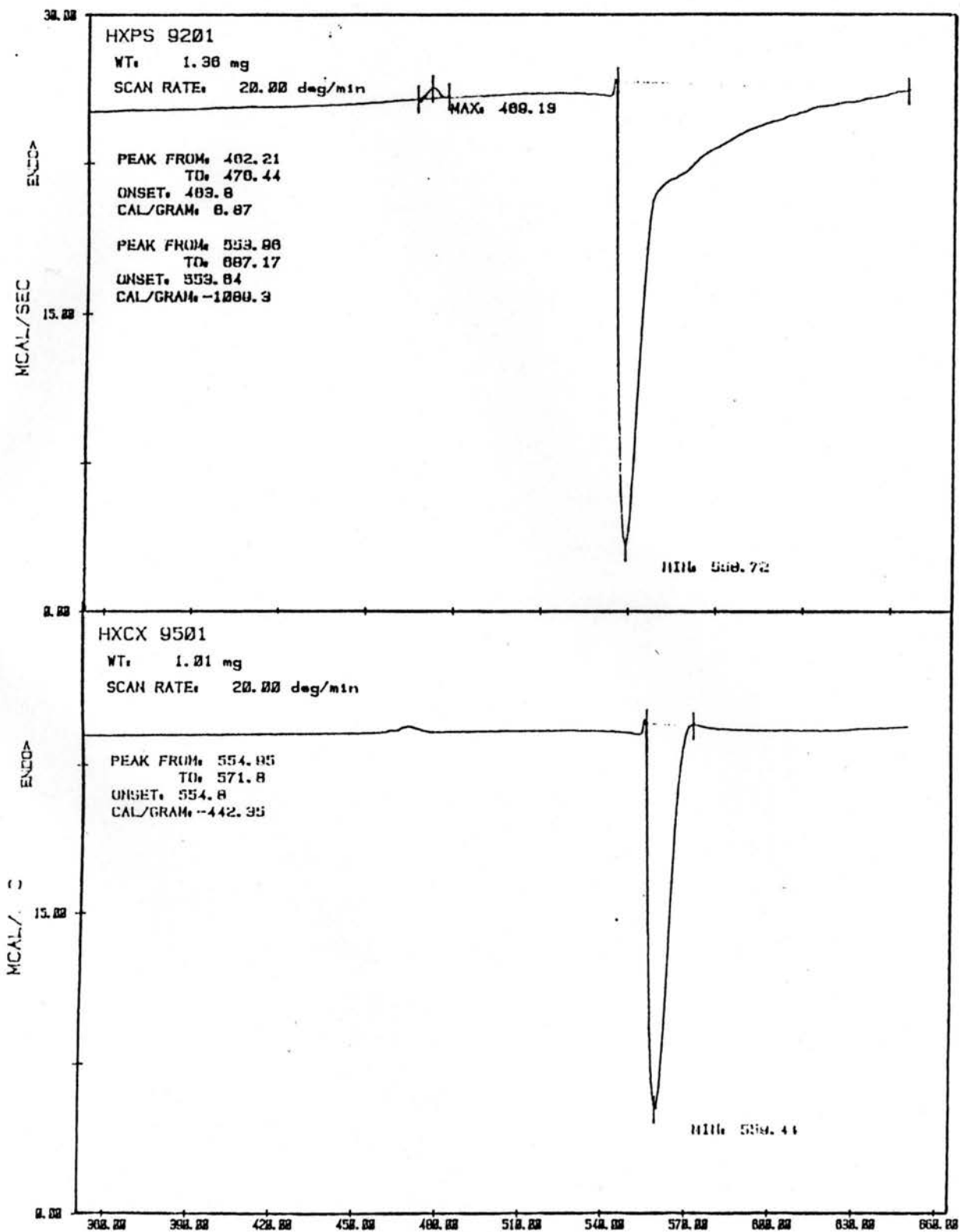
Figuur 6.6 : DSK-SPEKTA VAN PBX (VERVOLG)



Figuur 6.6 : DSK-SPEKTA VAN PBX (VERVOLG)



Figuur 6.6 : DSK-SPEKTA VAN PBX (VERVOLG)



Figuur 6.6 : DSK-SPEKTA VAN PBX (VERVOLG)

Tabel 6.16 toon aan dat met 'n verhittingstempo van 20°C per minuut, die PBX-smeltpunte van dieselfde orde as dié van suiwer HMX is, naamlik hoër as 275°C. Die $\beta \rightarrow \delta$ - oorgang word telkens ook waargeneem by ca. 190°C, wat met die literatuur ¹⁴ strook. Die PBX- formulering blyk dus termies stabiel tot minstens 170°C te wees, waarbo HMX-transformasies na meer sensitiewe polimorfe voorkom.

- VTS

Die VTS is van besondere belang, aangesien dit die stabiliteit van die PBX by 'n spesifieke hoë-temperatuur weergee en omdat dit vir rakleef tydvoorspellings gebruik word. Die toetsmetode vir hierdie ondersoek was 5g PBX vir 24h by 150°C. Die gevolglike mate van gasontwikkeling is gemeet. Hoe groter die mate van gasgenerasie deur die monster, hoe groter die ontbinding daarvan (vir suiwer HMX word tot 4 cm³ vir die tydsduur toegelaat). Hierdie toets is dus 'n uiterste bepaling van termiese stabiliteit, aangesien hierdie kondisies beswaarlik in toepassing voorsien kan word. Die VTS-resultate verskyn in Tabel 6.17.

Tabel 6.17 : VTS VAN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	VTS (cm ³) 5g:24h @ 150°C	LITERATUURWAARDES ¹ 0,25g 22h @ 120°C
HXVB 9501	1,1	LX-10: 0,02
HXVB 92501	1,1	
HXVB 9001	1,1	LX-07: 0,04
HXVB 9501G	1,1	
HXVB 92501G	1,0	
HXVB 9001G	1,4	
HXEE 9501	1,2	LX-14: 0,02
HXEE 9001	0,7	PBX 9011: 0,024
HXKF 9501	0,5	
HXKF 92501	0,6	
HXKF 9001	0,5	
HXKG 9701	0,5	X-0298: 0,008
HXPS 9201	1,0	
HXCX 9501	0,8	

Uit die tabel kan die besondere termiese stabiliteit van die toetsmonsters weereens gesien word. Voorts word die verenigbaarheid van die PBX-komponente bevestig, aangesien hierdie toets bloot 'n verswarende versoenbaarheidstoets is.

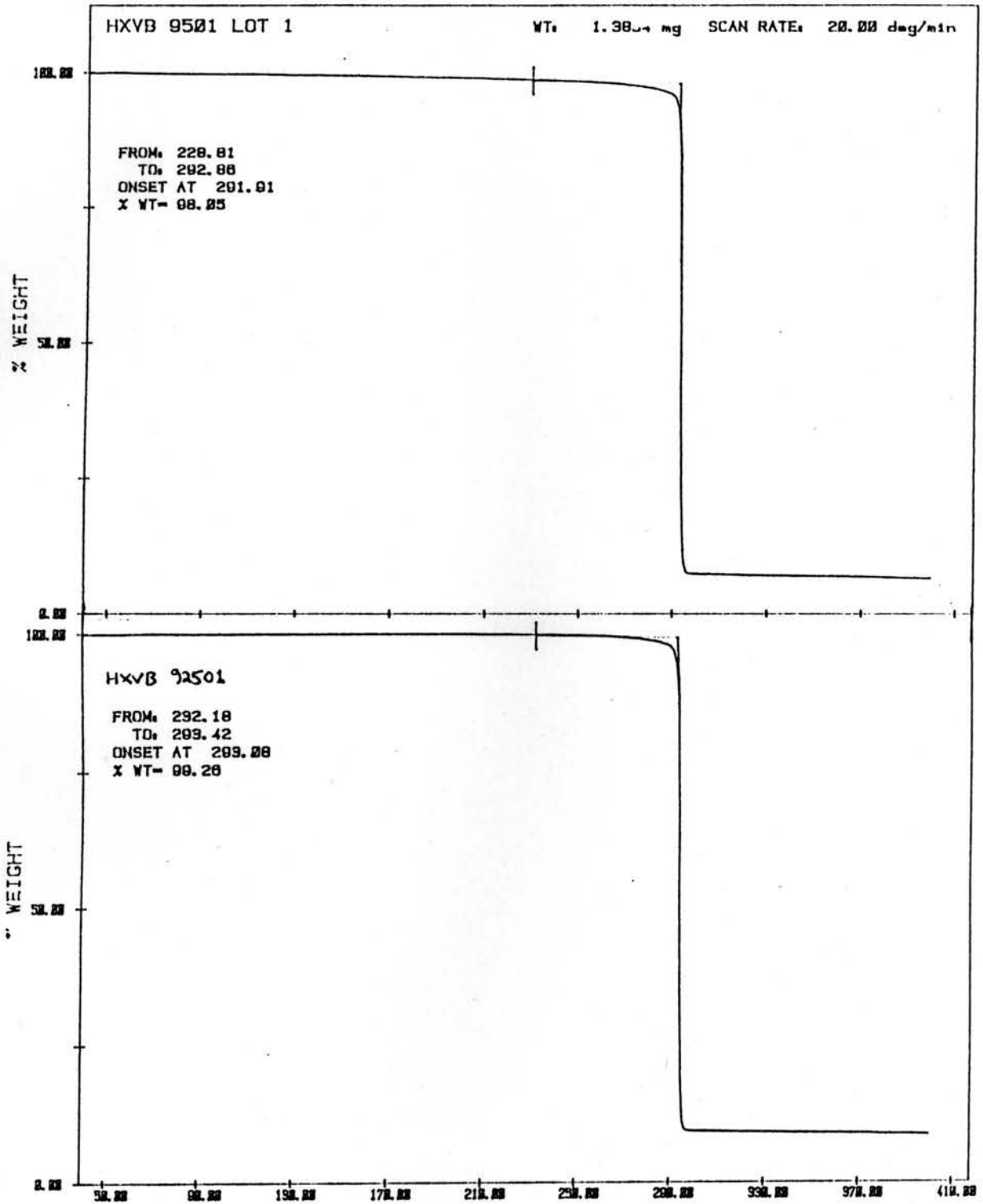
- TGA

'n Termogravimetriese analise-tegniek (TGA) word gebruik om die mate van ontbinding (massaverlies) van ca. 1,5 mg toetsmonster te bepaal (skandeerspoed 20°C/min). Die verkreë speetra verskyn in figuur 6.7 en die resultate word in Tabel 6.18 saamgevat. Uit die tabel kan afgelei word dat by temperature laer, en tot by, die PBX-smeltpunt, die mate van ontbinding minimaal is, soos gemeet aan die residuele massa by aanvang van ontbinding (alle gevalle minstens 95%). In die meeste gevalle is T_{ont} hoër as T_m , dit wil sê ontbinding vind na smelting plaas ('n kontroversiële aspek by suiwer HMX). Dit is egter interessant dat in die gevalle van HXEE en HXCX, T_{ont} en T_m binne die grense van die eksperimentele meetfout ooreenstem, dit wil sê dit lyk asof CX en EE die dekomposisie van HMX met ca. 15°C 'vervroeg'. Uit 'n teoretiese oogpunt kan hierdie effek moontlik belangrik wees, maar vir hierdie ondersoek val dit buite die toepaslike termiese spektrum.

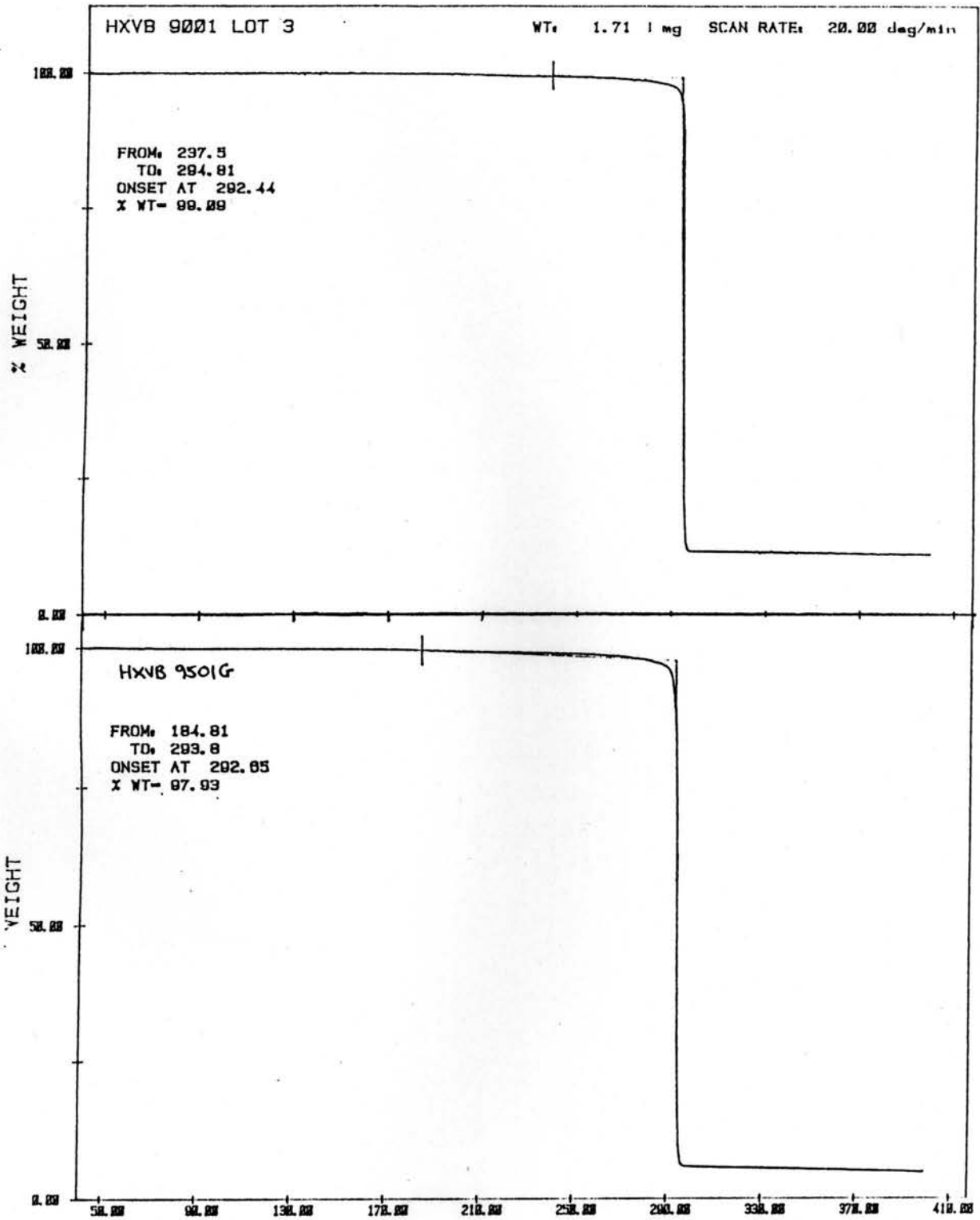
Tabel 6.18 : TGA-RESULTATE VAN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	ONTBINDINGSTEMPERATUUR (°C)	RESIDUELE MASSA-% BY ONTBINDING
HXVB 9501	291,9	98,05
HXVB 92501	293,1	99,26
HXVB 9001	292,4	91,09
HXVB 9501G	292,7	97,93
HXVB 92501G	292,1	99,19
HXVB 9001G	291,4	99,70
HXEE 9501	277,8	99,14
HXEE 9001	277,3	99,09
HXKF 9501	291,1	98,32
HXKF 92501	291,8	98,1
HXKF 9001	291,4	95,41
HXKG 9701	291,4	95,10
HXPS 9201	288,1	99,59
HXCX 9501	278,5	99,01

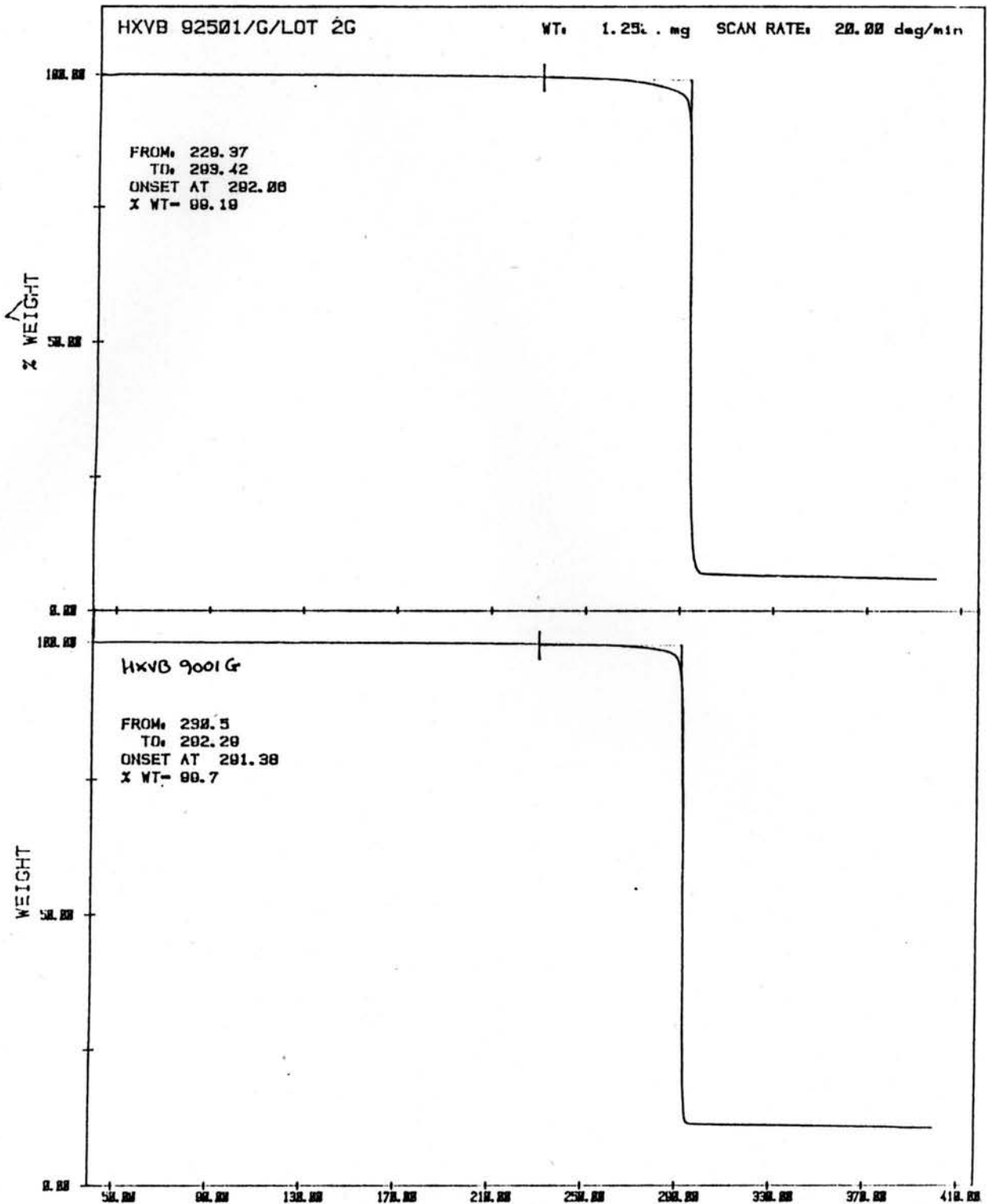
Die volgende algemene afleidings word gemaak, naamlik dat al die formulerings besonder stabiel tot ca. 180°C is, waarbo die $\beta \rightarrow \delta$ -oorgang plaasvind; dat geen faseverandering onder 275°C waargeneem word nie; dat die formulerings besonder stabiel tot 150°C en selfs tot 270°C is; en dat die polimere nie die subsmeltpuntgedrag van HMX nadelig beïnvloed nie.



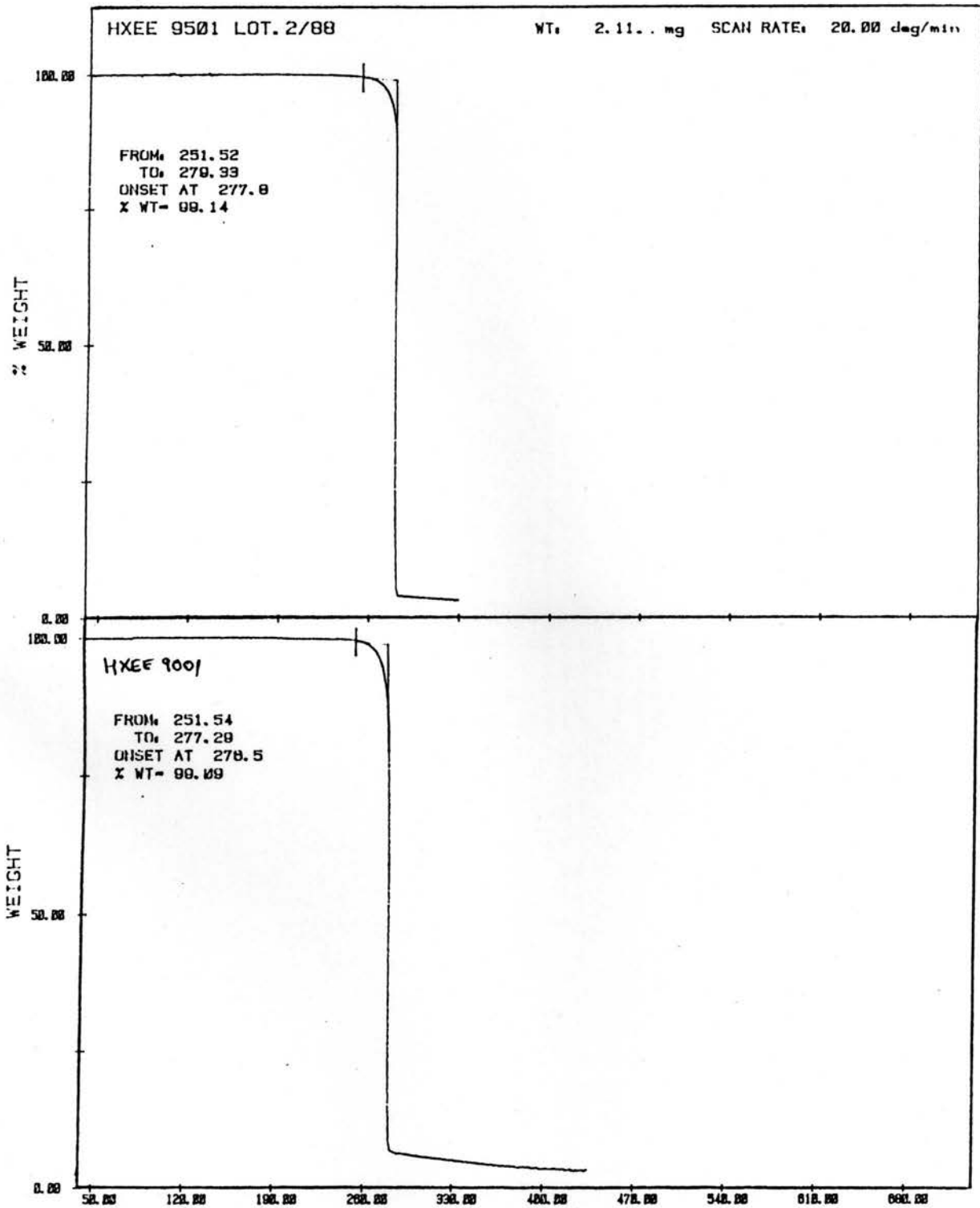
Figuur 6.7 : TGA-SPEKTRA VAN PBX



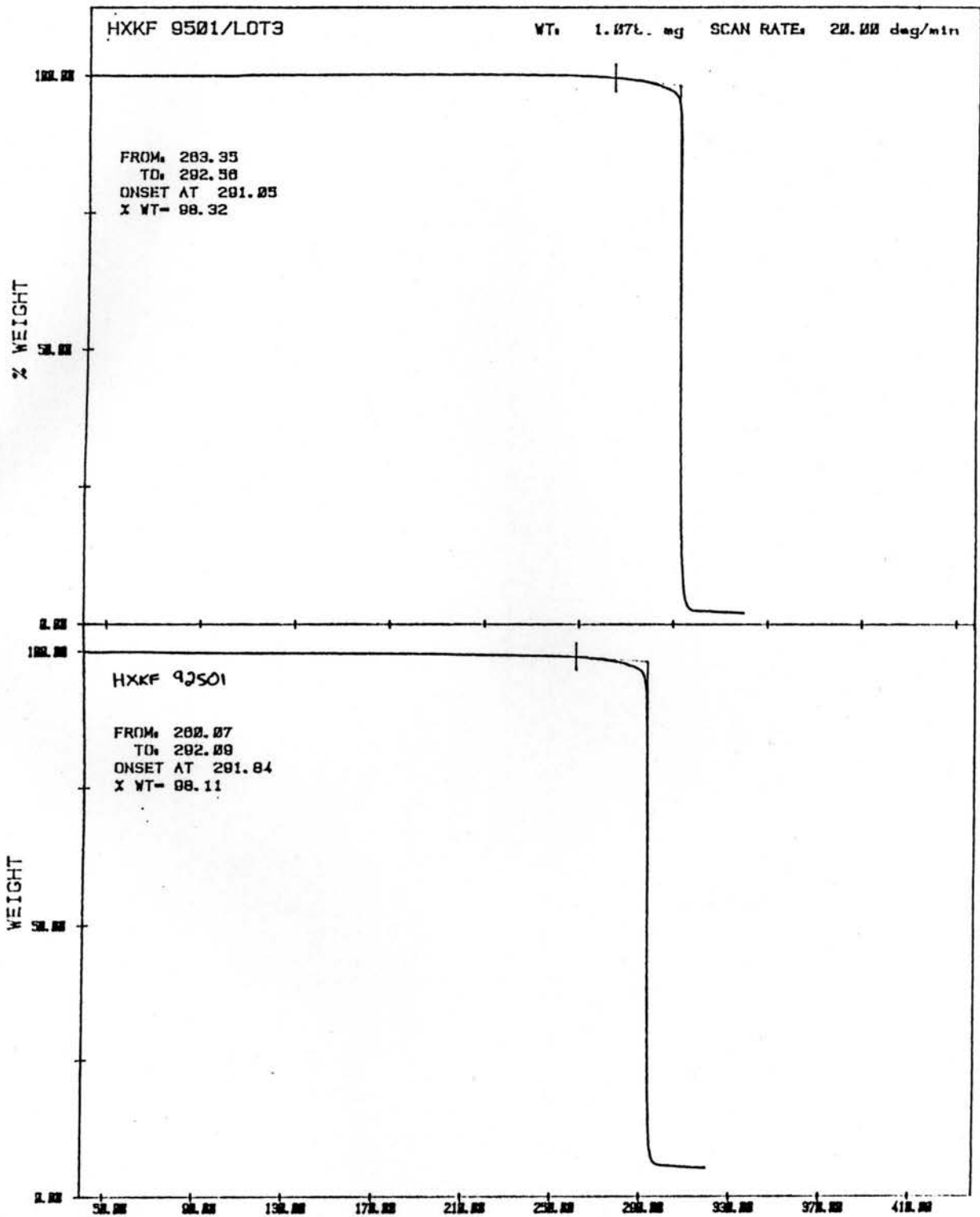
Figuur 6.7 : TGA-SPEKTRA VAN PBX (VERVOLG)



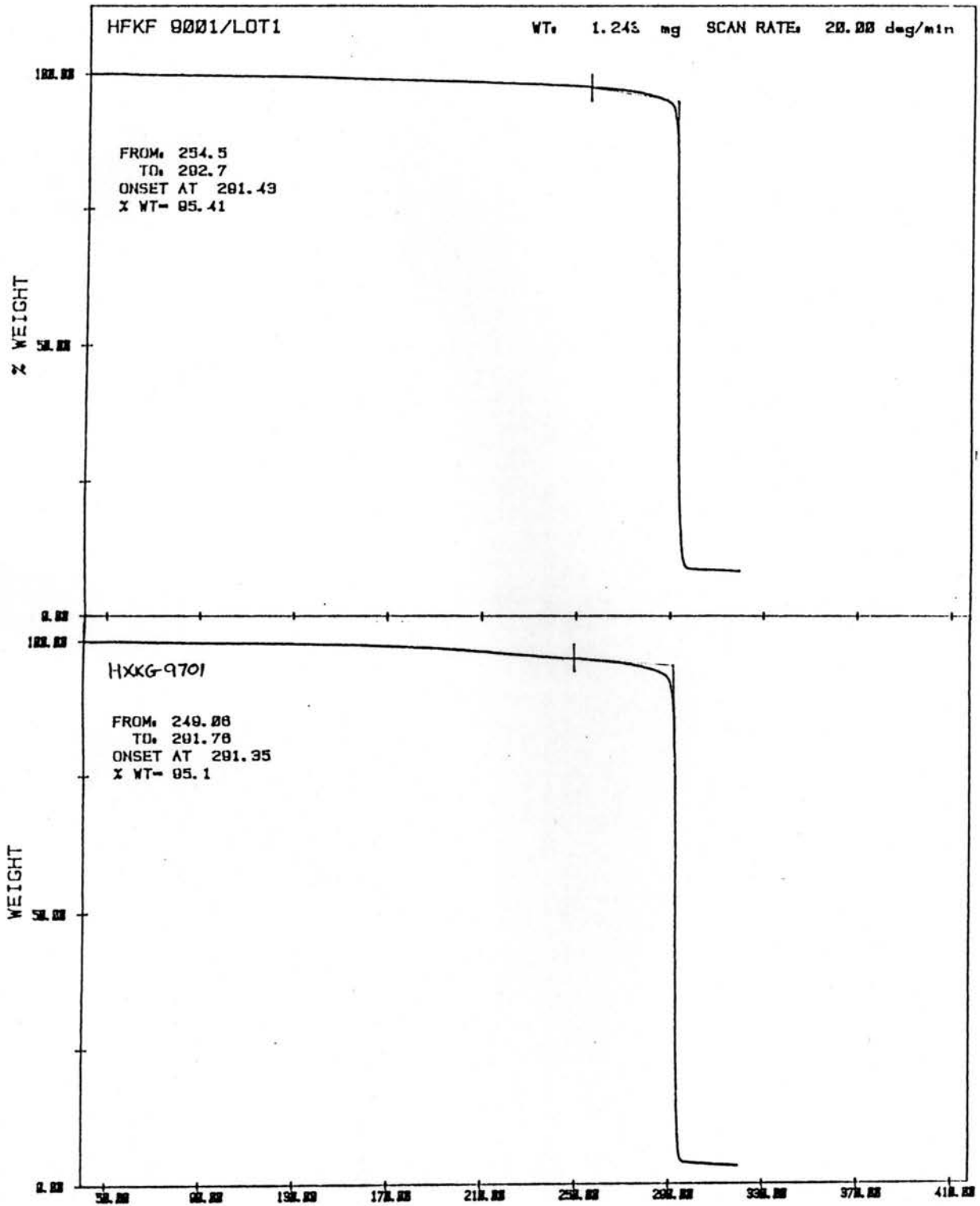
Figuur 6.7 : TGA-SPEKTRA VAN PBX (VERVOLG)



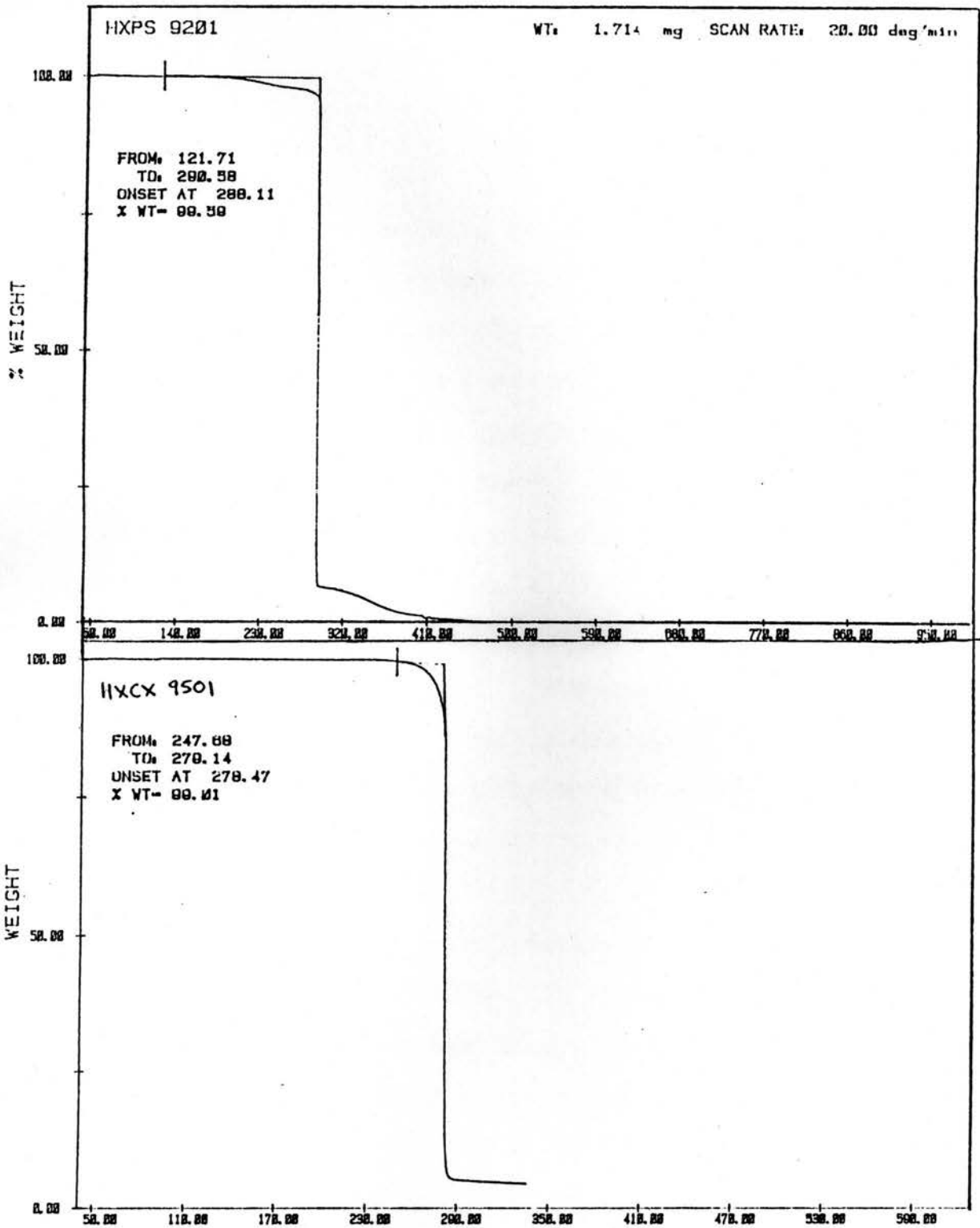
Figuur 6.7 : TGA-SPEKTRA VAN PBX (VERVOLG)



Figuur 6.7 : TGA-SPEKTRA VAN PBX (VERVOLG)



Figuur 6.7 : TGA-SPEKTRA VAN PBX (VERVOLG)



Figuur 6.7 : TGA-SPEKTRA VAN PBX (VERVOLG)

HOOFSTUK 7

PERSING

Die plofkopvereistes bring mee dat die PBX-perskorrels nie as sulks in 'n plofkop aangewend kan word nie, maar dat dit tot een of ander eenheid gekonsolideer moet word. Uitsluit-sel kan tot nou toe slegs oor die termiese en chemiese stabiliteit gegee word, naamlik dat die PBX daaraan sal voldoen. Die PBX-konsolidasieproses (of pers-proses) is kortliks in Hoofstuk 3 bespreek, maar sal in hierdie hoofstuk met meer teoretiese detail toegelig word. 'n Oorsig van tersaaklike terminologie, tipies perse en -toe-rusting sal ook gegee word. Weereens sal 'n standaard vir PBX-persing gestel word, waarna die eksperimentele uitvoering en resultate in Hoofstuk 8 weergegee sal word.

7.1 PERSTEORIE

Enige materiaal wat aan 'n inwerkende krag blootgestel word, sal 'n teenreaksie uitoefen. In die geval van persing ondergaan die materiaal, verder granulaat genoem, bepaalde fisiese veranderinge, wat onomkeerbaar kan wees. Uiteraard sal die toerusting waarin die persaksie deurgevoer word, ook bepaalde teenreaksie ondergaan, maar dit sal nie hier bespreek word nie. Aangesien die werklike tableteringseien-skappe van die granulaat-tipe sal afhang, kan geen absolute waardes veralgemeen kan word nie. Dit is egter aangetoon

dat bepaalde tendense veralgemeenbaar is, en hierdie bydraende faktore sal vervolgens in meer detail bespreek word.

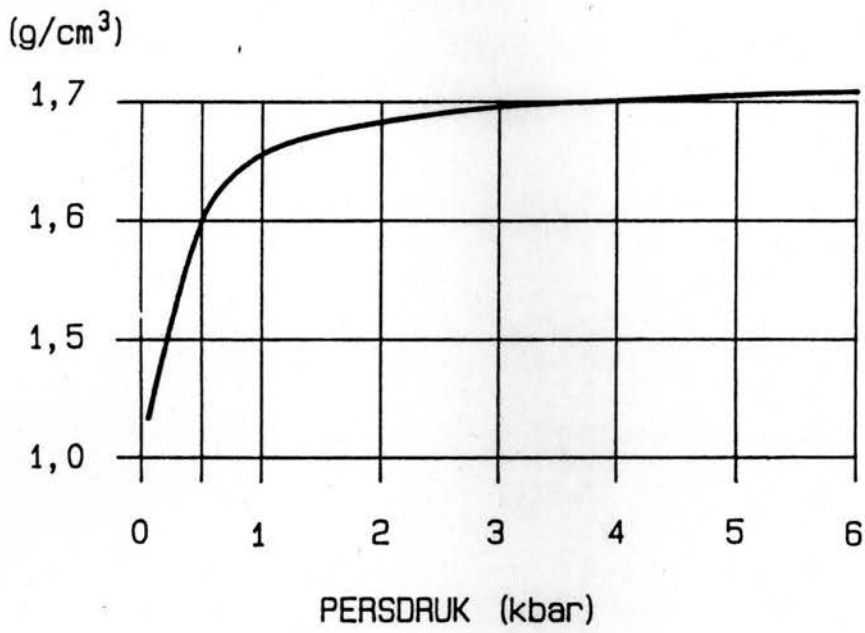
(i) Invloed van Persdruk

As algemene reël kan aanvaar word dat die mate van verdigting van 'n granulaat eweredig aan die persdruk sal wees. Figuur 7.1 toon die tipiese verloop van 'n persproses. Die figuur toon die ideale geval, maar faktore soos inter-partikulêre wrywing en swigsterkte van perstoerusting-metale maak dat hierdie stelling slegs gedeeltelik waar is.

(ii) Oppervlak-area

Afhangend van die persdruk, sal die materiaal wat gekompakteer word, op een of ander stadium fragmenteer, met gepaardgaande vorming van nuwe oppervlakke en dus groter area. Verhoging in persarea impliseer groter wrywingsoppervlaktes, wat weer die uiteindelijke granulaat-digtheid nadelig sal beïnvloed. Indien die persdruk egter verder verhoog word, sal die gebreekte kristalle weer onder druk saambind, met gepaardgaande verkleining in oppervlak-area. Die aanvanklike oppervlak-area word egter nooit weer gehaal nie.

DIGTHEID = f (PERSDRUK)



Figuur 7.1 : TIPIESE P VS GPD-KURWE VIR BRISANTSTOWWE

(iii) Digtheid (Porositeit)

Geperste materiale word gewoonlik in terme van digtheid uitgedruk, en meer spesifiek as 'n persentasie van die Teoretiese Maksimum Digtheid (%TMD) van die granulaat. Die rapportering van % porositeit (di $100 - \%TMD$) is minder tradisioneel, maar kom tog voor. Gewoonlik is digtheid direk eweredig aan die logaritme van die persdruk, behalwe in die hoë-drukgebiede, waar die TMD genader word (figuur 7.1)

(iv) Tablethardheid

Tablethardheid verander soos die digtheid daarvan toeneem, dit wil sê daar bestaan 'n lineêre verband tussen hardheid en digtheid vir 'n bepaalde granulaat.

(v) Porositeit van Granulate

Hoe meer poreus 'n granulaat, hoe groter volume sal dit in beslag neem met ander woorde hoe groter volume sal dit in die matrys vul. Die afstand wat die persram in kontak met die granulaat moet beweeg, word dus vergroot waar die porositeit hoog is. Wrywingsoppervlakte word dus groot en die poreuse granulaat word dus platter gedruk tydens persing. Meer lug ontsnap dan uit die matrys verby die pons.

(vi) Granulaatbinding

Granules deformeer min by lae druk, maar met verhoogde druk vervorm dit wel. Die vertikale vervormingskragte is oorheersend met betrekking tot die horisontale. Die byvoeging van geskikte smeermiddels soos grafiet verminder interpartikulêre binding en maak sodoende hierdie kragte meer gelyk. Wanneer intergranulêre binding intragranulêre binding oorheers, sal die geperste tablet nie meer langs die oorspronklike granulevorm breek nie, maar wel langs die gefrakteerde vlakke.

(vii) Stadia van die kompaksieproces

Daar word vier hoofstadia in die granulaatpersproses onderskei, naamlik samedrukking, wat deur 'n vermindering in volume en digter pakking gekenmerk word; drukondersteuning, waartydens die deeltjies slegs onbeweeglik ten opsigte van mekaar lê en die druk ondersteun, frakturering, waartydens die granulaatmateriaal opbreek as gevolg van druk en plastiese vloei, en herbinding, waar nuwe oppervlakke weer saam bind en 'n struktuur gevorm word wat sterk genoeg is om as 'n eenheid beskou te word (tabletforming).

viii) Digtheidsgradiënte

'n Sterker binding word by die tabletwande verkry, deurdat 'n skil deur die saampersing van die poeier teen die matryswand gevorm word. Hierdie effek geld ook aan die bo- en onderkant van die tablet. Tablette wat vanuit een rigting gekompakteer word, toon ook digtheidgradiënte. Hierdie gradiënte speel 'n rol by die sogenaamde 'dekselvorming' van tablette.

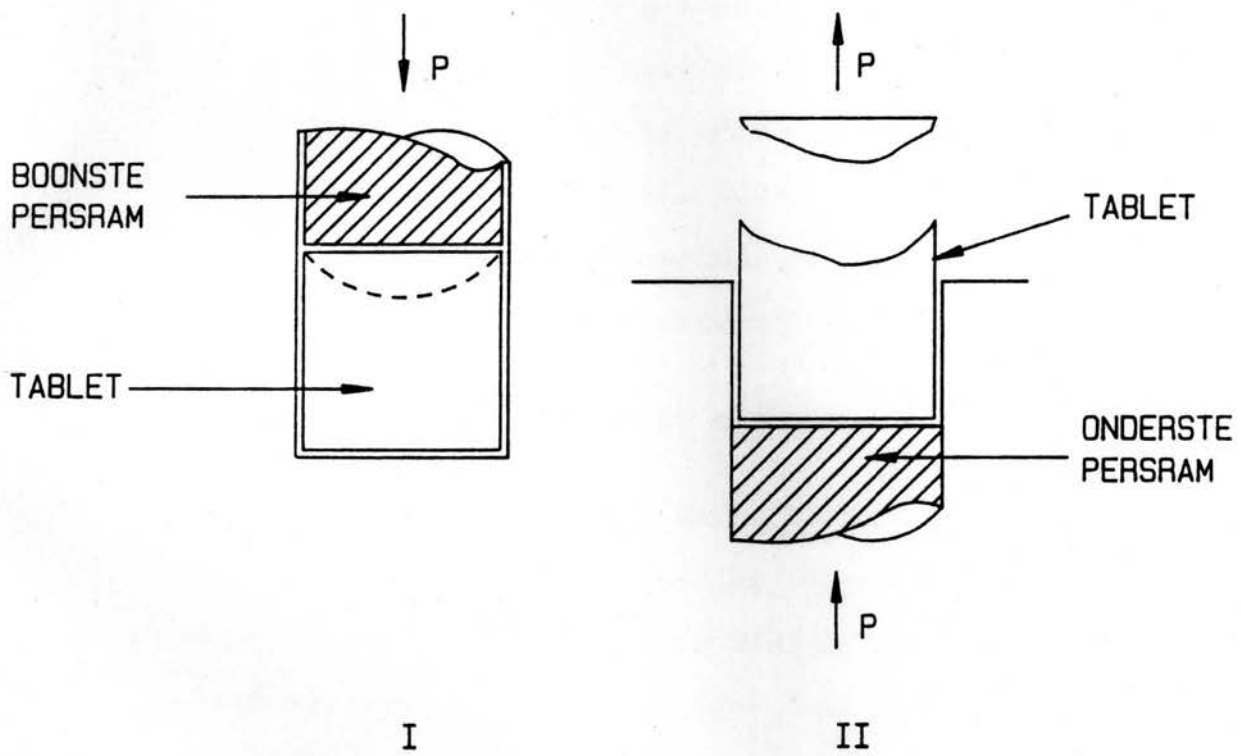
ix) Dekselvorming van tablette

Dekselvorming (figuur 7.2) vind plaas wanneer 'n geperste tablet na persing 'breek'. Verskeie redes word vir hierdie verskynsel aangevoer, byvoorbeeld digtheidsgradiënte binne die tablet, ingeslote lug, onvoldoende bindmiddel, en té hoë persdruk.

Dekselvorming kom voor terwyl die tablet uit die matryx verwyder word. Dit veroorsaak gebiede van hoë spanning in die boonste (minder digte) gebied. Gevolglik verswak die binding in die gebied en die tablet breek. Die byvoeging van meer plastiese binders verminder hierdie effek.

x) Vloeigedrag van granules

Indien die saamgeperste materiaal volkome elasties is, sal dit na persing tot die oorspronklike vorm

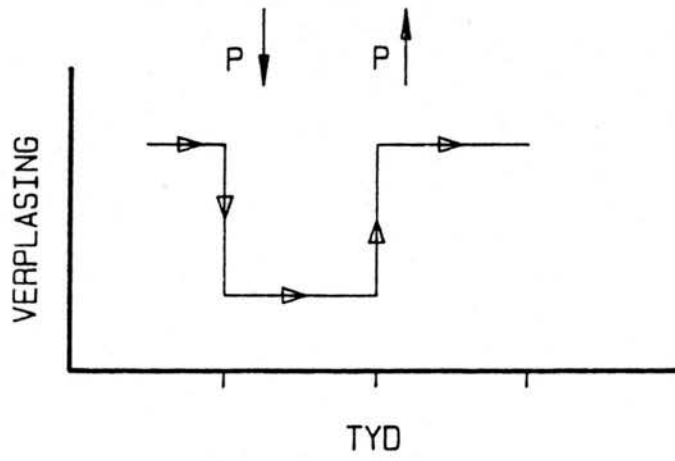


Figuur 7.2 : DEKSELVORMING

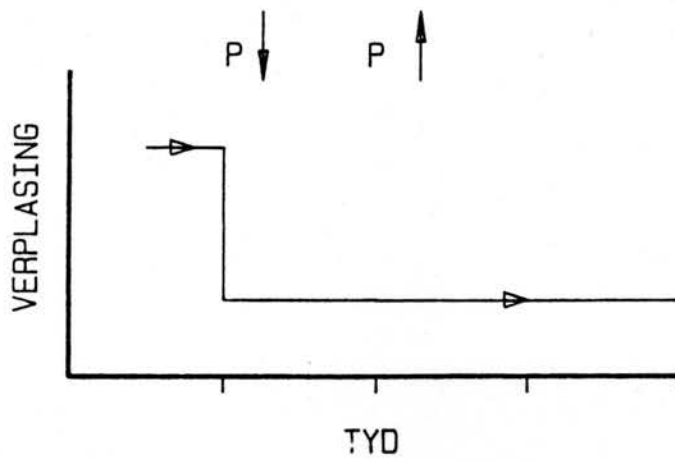
terugkeer, met ander woorde dit sal geen dimensionele verandering as gevolg van die persaksie ondergaan het nie. As die materiaal daarenteen ideaal plasties is, sal dit glad nie na die oorspronklike vorm terugkeer nie. Die tipiese gedrag van persgranules is plasties-elasties, waar die materiaal gedeeltelik die oorspronklike vorm herwin. Die verskil tussen elastiese en plastiese tabletteerbare materiaal word aan die hand van figuur 7.3 en 7.4 beskryf.

- 'Slegte' tabletteerbare materiaal

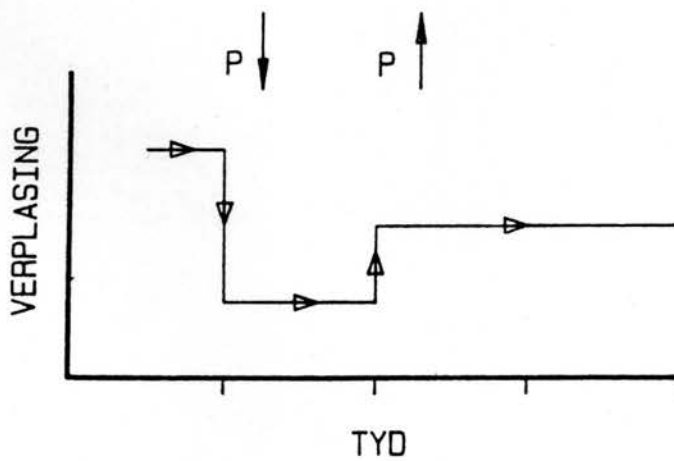
Wanneer die persram in die matrys afbeweeg, vind 'n herrangskikking van die granules plaas, met gevolglike toename in die digtheid. Hoe makliker die granules by mekaar verbybeweeg, hoe vinniger vind verdigting plaas. Die aanwesigheid van smeermiddels, soos stearate, vergemaklik hierdie proses. By verdere druktoename word die deeltjies elasties vervorm en tot 'n tablet saamgepers. Die intensiteit van vervorming is eweredig aan die krag wat daarop uitgeoefen word. Op die oomblik van hoogste druk word 'n 'koue' binding van gebreekte en ander deeltjies gevorm, en bereik die tablet sy maksimum digtheid. Na beëindiging van druktoepassing begin die persram na bo beweeg en die druk word van bo verlig. Die elasties-vervormde deeltjies poog om hul oorspronklike vorm te



IDEAAL ELASTIESE GEDRAG

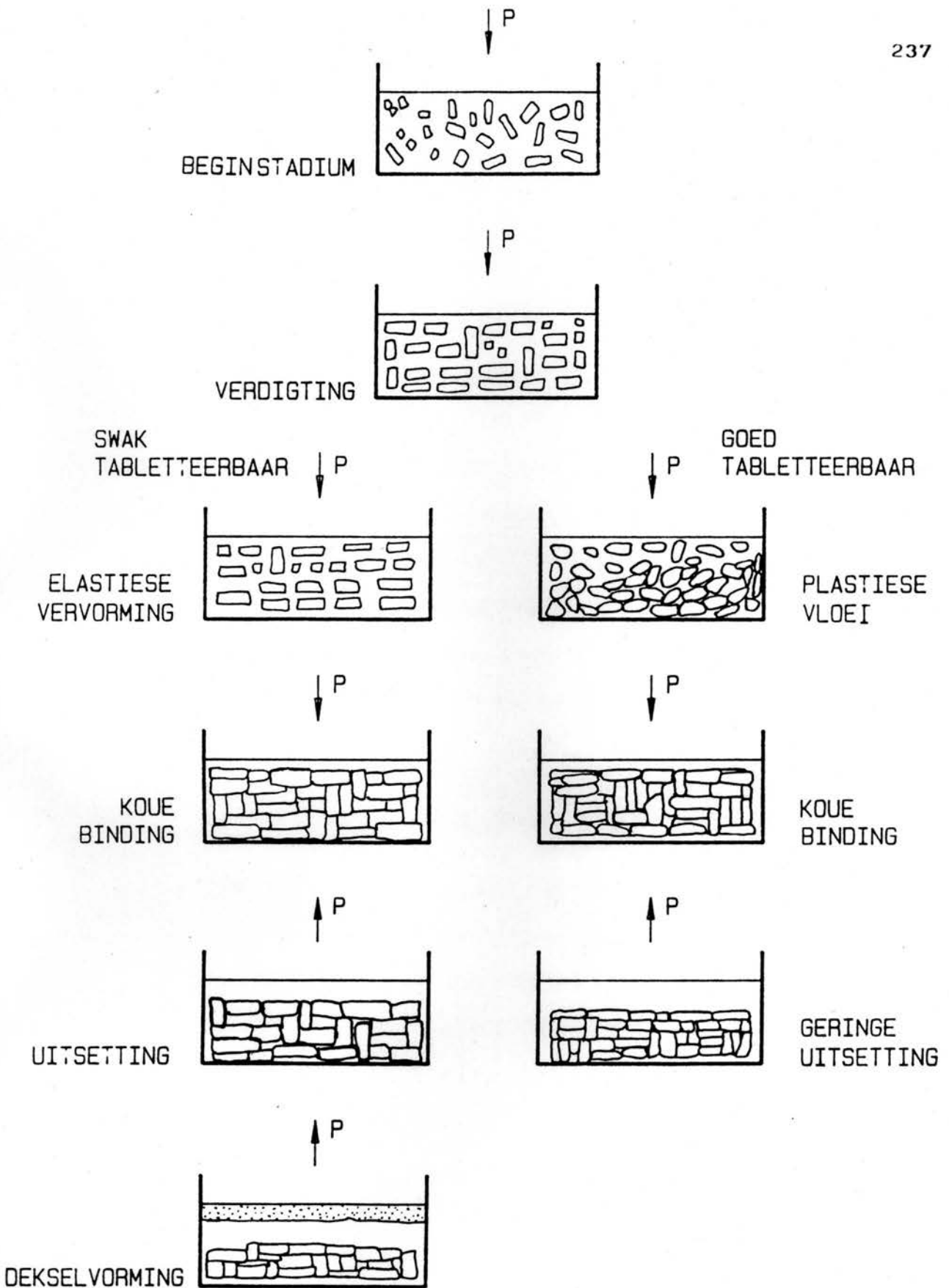


IDEAAL PLASTIESE GEDRAG



PLASTIES-ELASTIESE GEDRAG

Figuur 7.3 : PERSGEDRAG VAN GRANULATE



Figuur 7.4 : SKEMATIESE VOORSTELLING VAN PERSPROSES

herwin, met gevolglike dekselvorming en meganiese splitsing wat as gevolg van hierdie elastiese vervorming plaasvind.

- 'Goeie' tabletteerbare materiale

Met druktoename vind 'n verskuiwing en plastiese vloei van die materiaal plaas. Die materiaal breek makliker, met gepaardgaande oppervlakvergroting en meer bindingsvlakke wat vorm. Die vergroting in oppervlak vereis minder druk om saampersing te bewerkstellig. Tydens die drukverligtingsfase (persram beweeg na bo) vind natuurlike opwaartse uitsetting van die tablet plaas, alhoewel nie tot dieselfde mate as vir elastiese stowwe nie. Sodoende word dekselvorming beperk.

xi) Energieverspreiding tydens persing

Die wrywing tussen die matryswand en die granulaat is tydens die tabletteringsproses besonder hoog. Die byvoeging van 'n smeermiddel verminder hierdie effek. Dit word gewoonlik aan die hand van die uitstootkrag nodig vir die uitstoot van die tablette gemeet, en kan tot 88% van die totale energie bedra.

ii) Smeerkoëffisiënt R

Die smeerkoëffisiënt R kan as volg gedefinieer word:

$$R = \frac{\text{druk op onderstempel}}{\text{druk op bostempel}}. \text{ As } R = 1, \text{ dan word die}$$

krag van die bostempel totaal na die onderstempel oorgedra. In die praktyk is R tipies 0,70.

Laasgenoemde waarde word streng deur die hoeveelheid smeermiddel teenwoordig, bepaal.

Die voorafgaande bespreking kan as volg opgesom word:

- Tydens persing ondergaan die granulaat bepaalde fisiese veranderinge, sommige omkeerbaar,
- tableteringseienskappe verskil van materiaal tot materiaal,
- verdigting is 'n funksie van persdruk,
- persdigtheid is direk eweredig aan die logaritme van persdruk, behalwe waar die TMD genader word en 'n afname in die tempo van digtheidstoename verkry word,
- daar is 'n lineêre verband tussen hardheid en digtheid vir 'n bepaalde granulaat,
- meer lug ontsnap tydens die pers van poreuse granulate,

- die kompaksieproces het vier hoofstadia (saamdrukking, drukondersteuning, frakturering en herbinding).
- dekselvorming word deur digtheidsgradiënte, ingeslote lug, onvoldoende bindmiddel en hoë persdrukke bevoordeel,
- die tipiese gedrag van persgranules kan as plasties- elasties beskou word,
- elasties vervormde deeltjies poog om hul voorsing vorm aan te neem,
- plasties vervormde deeltjies is minder geneig tot dekselvorming, en
- die wandwrywing is besonder hoog tydens die persproses.

7.2 TERMINOLOGIE

Alvorens die pers van brisantstowwe in meer detail bespreek sal word, is dit nodig om die spesifieke nomenklatuur wat verder gebruik sal word, eenduidig uit te klaar. Tabel 7.1 gee die verklarings vir die mees algemene persverwante begrippe, tesame met sinonieme en die Engelstalige ekwivalent.

Tabel 7.1 : TERMINOLOGIE VIR BRISANTSTOFFERSING

TERM	VERKLARING	ENGELS	SINONIEME
Deksel- vorming	Kyk figuur 7.2	Capping	-
Digtheid	Massa (g)/Volume (cm ³)	Density	100%-(%poro- siteit)
Draaltyd	Tydsduur van maksimum druk op lading	Dwell time	Perstyd
Kaliber	Ladingdeursnee (silindriese lading)	Calibre	-
Lading	Die geperste item, soos uit die pers- silinder verwyder	Pellet Charge	Tablet Pil
(die) Pers	Die totale meganiese konstruksie	Press	-
Persaksie	Enige aksie(s) wat met die persproses verband hou		
Persing	Proses waartydens pers korrels deur meganiese inwerking verdig word	Pressing	Konsoli- dasie Kompaksie Tablettering Verdigting
Pers- korrels	Brisantstof wat gepers word	Moulding powder	Granulaat Perspoeier
Perskrag	Persvermoë in kN	Force	-
Persram	Kyk Figuur 3.6	Ram	Stempel
Pers- siklus	Alle persaksies wat met die pers van 'n lading geassosieer word	Pressing cycle	
Pers- silinder	Kyk Figuur 3.6	Pressing cylinder	Matrys Persholte

Tabel 7.1 : TERMINOLOGIE VIR BRISANTSTOFFERSING
(vervolg)

TERM	VERKLARING	ENGELS	SINONIEME
Perstoe-rusting	Persram(me), perssilinder en bykomende infrastruktuur soos vakuum/verhitting	Press tooling	Persgereedskap
TMD	Teoretiese Maksimum Digtheid	TMD	-
Tonnemaat	Persvermoë in 10^3 kg	Force	-
Uitstootpers	Gedeelte van pers wat wat lading na persing uitstoot	Eject press	-

7.3 PERSVERMOË

Dit is reeds aangetoon dat 'n positiewe korrelasie tussen persdruk en ladingsdigtheid bestaan. In brisantstofterme beteken dit dus dat persdruk die enkele grootste effek op %-TMD sal hê. Dit is konvensioneel om persdruk in terme van 10^6 Pa, of te wel MPa, uit te druk, vanweë die grootte-orde van die eenhede ter sprake. Uit die literatuur blyk persdrukke tipies 200 MPa te wees, of selfs hoër.

Verwysings rapporteer persdrukke ook in terme van bar, kbar of psi, wat voortaan na MPa terugbereken sal word. Hierdie druk verwys na die effektiewe druk wat by die intervlak tussen persram en perskorrels, ondervind word. Gewoonlik word die persvermoë van 'n pers in terme van tonnemaat uitgedruk. Die persdruk word by die intervlak tussen die

persram en die perskorrels bereken, en wel op die horisontale dwarsarea waarop die perskrag uitgeoefen sal word. Die volgende vergelykings word deurgaans gebruik, naamlik :

$$F \text{ (in N)} = M \text{ (in ton)} \times 10^3 \times 10 \text{ (g} \approx 10 \cdot \text{m/s}^2\text{)}$$

en

$$P \text{ (in MPa)} = \frac{F}{A} \quad (A \text{ in m}^2)$$

Gestel 'n 30 ton pers is beskikbaar, en die grootte van die maksimum deursnee silindriese lading wat teen 200 MPa gepers kan word, moet bepaal word.

$$\begin{aligned} \text{Dan is } A &= F / P \\ &= \frac{30 \cdot 10^3 \times 10}{200 \cdot 10^6} \\ &= 1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{en } A = \pi \times (D/2)^2$$

dws $D = 0,0437 \text{ m}$ of te wel 'n 43,7 mm deursnee silinder.

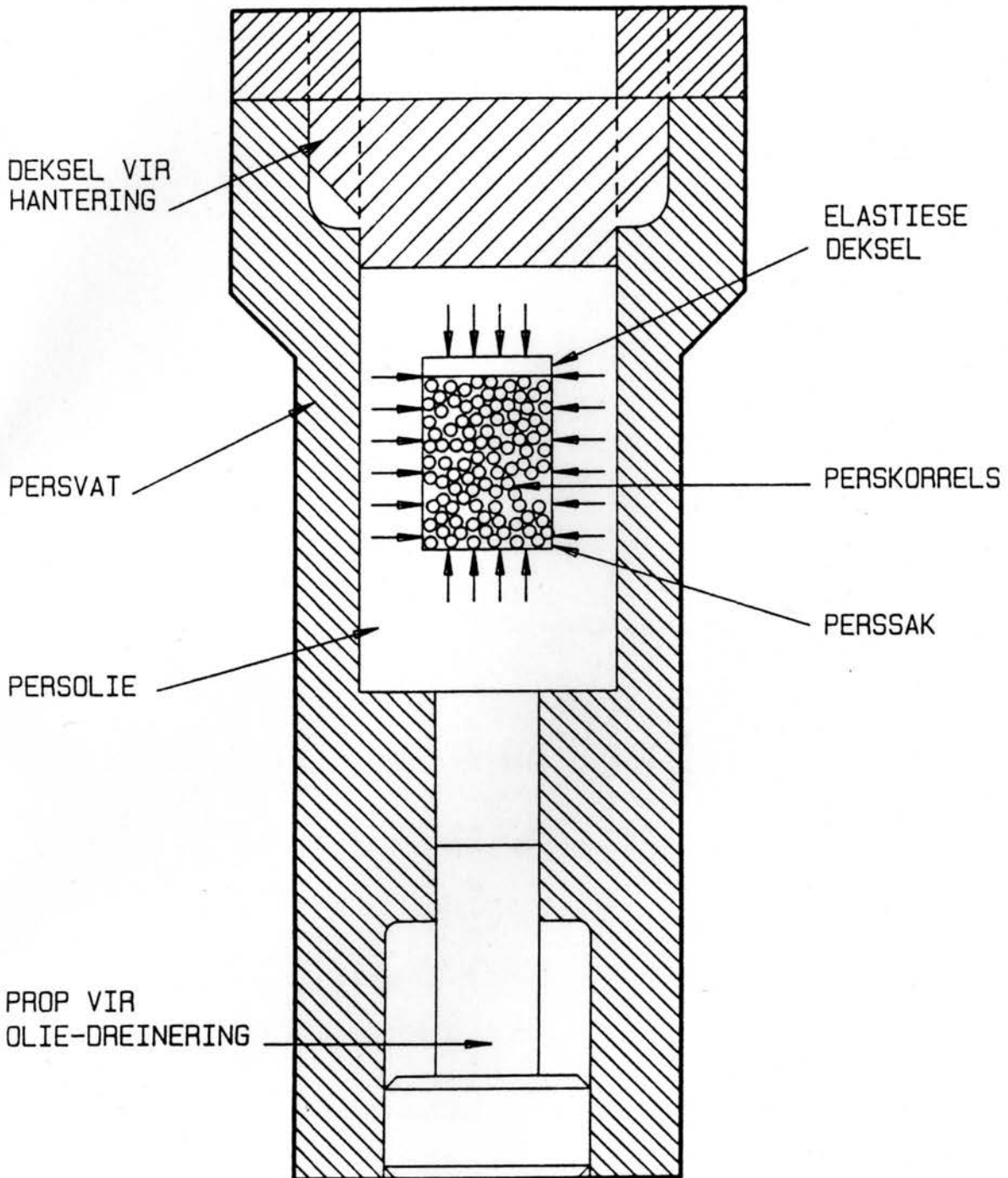
Deur hierdie tipe berekeninge deur te voer, kan byvoorbeeld druk vs krag kurwes vir bepaalde diameter-ladings opgestel word. Hierdie berekeninge vorm die basis vir alle verdere persberekeninge, wat 'n eksperiment mag voorafgaan.

7.4 TIPES PERSE

Drie basiese tipes perse word vir die pers van brisantstowwe gebruik. Sekondêre variasies ten opsigte van persmodelle bestaan (byvoorbeeld outomatiese perssiklusse en meganisme van korrel-dosering) maar sal nie hier bespreek word nie.

i) Isostatiese pers

Hierdie perstipe (figuur 7.5) bestaan uit 'n persvat, waarbinne 'n hidrouliese sak vir perskorrels geplaas word. Die 'sak' is vervormbaar en die lading word direk daarbinne gepers deur hidrouliese olie in die vat om die sak te pomp. Die druk op die perskorrels word beheer deur die oliedruk te reguleer, en die drukmeting word direk gedoen. Die sak met perskorrels word vooraf geëvakueer en in 'n kondisioneringsoond geplaas, waarna dit in die vat gepers word. Die perstemperatuur word deur die omringende olietemperatuur gereguleer. Die draaltyd word beheer deur die persdruk na die verlangde tyd te verlig deur die olie uit die sak te pomp. Die isostatiese persmetode het bepaalde voordele, naamlik:



Figuur 7.5 : ISOSTATIESE PERS

- die lading ondervind dieselfde persdruk vanuit alle kante, en die digtheidsgradiënte wat met hidrouliese persing geassosieer word, word dus nie verkry nie,
- die persdruk word direk gemeet,
- geen addisionele infrastruktuur, soos verhittingstoerusting, word benodig nie,
- meer as een lading kan gelyktydig gepers word deur meer as een sak in die persvat te plaas (mits die vatvolume dit toelaat), en
- die hoogs riskante uitstootpersaksie is nie ter sprake nie.

Isostatiese persing het die volgende nadele, naamlik :

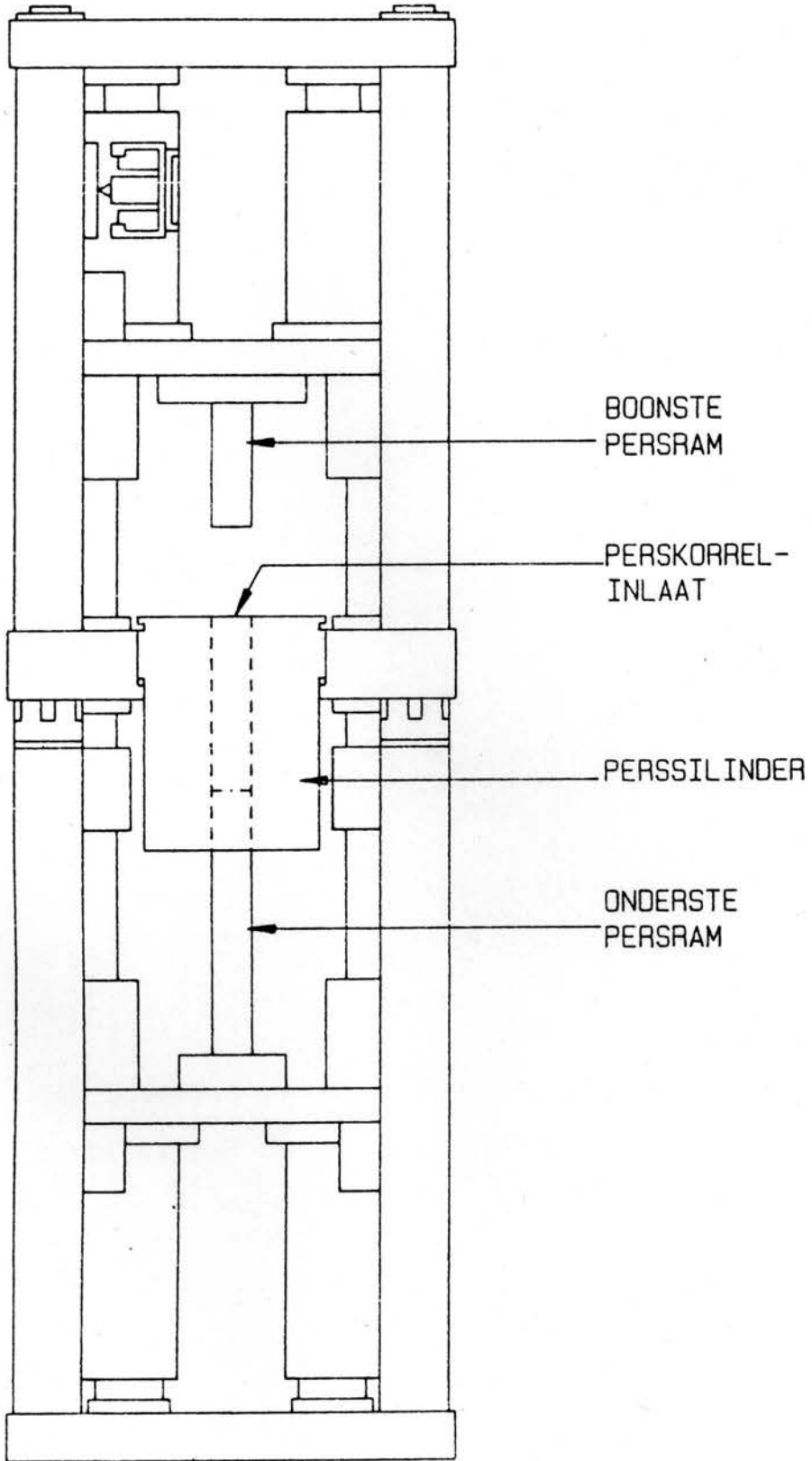
- die lading moet tot die finale dimensies gemasjineer word,
- die proses is tydintensief en onprakties vir produksiedoeleindes,
- die perstoerusting is duur (spesiale hidrouliese sakke),
- die werksomgewing is relatief 'vuil' as gevolg van olie wat noodwendig vrykom, en

- slegs hoë-massadigtheid-perskorrels kan gerieflik oorgebring en gopers word.

ii) Dubbelaksie hidrouliese perse

Die perstipe word in figuur 7.6 aangetoon. Dit word deur die twee persramme, wat in staat is om ekwivalente persdrukke uit te oefen, gekenmerk. Die perskorrels word in die perssilinder van beide kante gopers. Staaltoerusting word as toerustingmateriaal gebruik. Dubbelaksieperse het die volgende voordele, naamlik :

- ladinge kan binne een perssiklus tot die finale dimensies gopers word, dit wil sê geen masjinerie word benodig nie (geen materiaalverliese),
- 'n perssiklus is relatief kort (tipies 5 minute),
- dieselfde pers kan vir eksperimentele asook produksiedoelindes gebruik word,
- dieselfde pers kan, slegs deur die perstoerusting om te ruil, vir die pers van verskillende kaliberladinge gebruik word (mits die vereiste persdruk haalbaar is), en



Figuur 7.6 : DUBBELAKSIE HIDROULIESE PERS

- die persaksies is 'skoon' of te wel alle verhittings- en hidrouliese vloeilyne is geïsoleer en hoef nie verwyder te word ten einde die geperste lading uit die perstoerusting te verwyder nie.

Die volgende is nadele van hierdie tipe persing:

- die persdruk is slegs vanuit twee dimensies ('bo' en 'onder') identies,
- die lading sal gevolglik altyd voorafvoorspelbare digtheidsgradiënte besit,
- 'n silindriese lading met hoogte:deursnee van hoogstens 2:1 kan gepers word,
- die persdruk word indirek in die hidrouliese lyne gemeet en moet derhalwe na werklike persdruk omgerekend word,
- die infrastruktuur is 'lomp', byvoorbeeld aparte verhittings- en hidrouliese toevoerlyne en -media is nodig,
- die riskante uitstootaksie vorm 'n integrale deel van die bedryfsprosedure,
- die perskonstruksie vir groter tonnemate is baie duur.

Hierdie tipe perse is ten spyte van bogenoemde wêreldwyd die meeste in gebruik.

iii) Enkelaksie hidrouliese pers

Die voor- en nadele van hierdie tipe perse stem grootliks met die van die voorafgaande bespreking ooreen (kyk ook figuur 3.7). As gevolg van die enkelaksiewerking word die hoogte:deursnee-verhouding tot 1:1 beperk, wat 'n groter beperking op ladinggrootte plaas. Die bedryf van hierdie tipe pers sal later in meer detail beskryf word, aangesien dit vir hierdie persoonsoek gebruik is.

7.5 PERSTOERUSTING

In die bespreking oor isostatiese perse is gemeld dat die perskorrels in 'n vervormbare sak gepers en die lading dan gemasjineer word. In hierdie paragraaf sal meer spesifiek na perstoerusting vir hidrouliese perse gekyk word. Die belangrikste ontwerp-kriterium vir die perstoerusting is die metaal wat die maksimum persdruk moet kan weerstaan sonder noemenswaardige vervorming. 'n Veiligheidsfaktor van 4 word gewoonlik hiervoor toegelaat. Verder is spieëlgladde afwerking vir alle vlakke wat met ploffstof in aanraking mag kom, nodig. Tipies moet die metale oor die temperatuurgebied 10° tot 130°C gebruik kan word, terwyl voorsiening vir die verhitting van die perstoerusting gemaak moet word (stoom of water of olie). Die perssilinder moet

onder vakuum geplaas en gehou kan word (korrekte plasing van seëlringe), en dit moet groot genoeg in terme van volume wees om die massadigtheid van die perskorrels te akkomodeer. Ten slotte moet die perstoerusting op die beskikbare perse aangebring kan word. Tipiese perstoerusting is in figuur 3.6 aangetoon, wat in samehang met figuur 3.7 die relatiewe plasing daarvan op die pers weergee. Die spesifieke perstoerusting vir hierdie ondersoek word in hoofstuk 8 bespreek. Verwysings word gewoonlik na kaliber (ladingdeursnee) gemaak.

7.6 DIE PERS VAN BRISANTSTOWWE

Brisantstowwe tree soos ander tipe granulate tydens persing op, en gevolglik is die voorafgaande teoretiese bespreking van toepassing. 'n Belangrike bykomende faktor is die veiligheid van die persaksies, wat 'n bepaalde invloed op die bedryf van die proses het.

Verskeie faktore beïnvloed die brisantstofpersproses, en hierdie faktore kan nie in isolasie beskou word nie, aangesien dit in interaktiewe wisselwerking met betrekking tot mekaar is. Hierdie faktore word vervolgens bespreek.

i) Persdruk

'n Toename in persdruk sal met 'n toename in digtheid van die brisantstof gepaard gaan (algemene

reël met verontagsaming van dekselvorming).

Figuur 7.1 gee 'n tipiese druk vs digtheid-kurwe weer. Die algemene vorm van die kurwe dui ook die 'afplatting' aan, dit wil sê die gebied waar verdere drukverhoging geen noemenswaardige digtheidstoename tot gevolg het nie (veral soos die TMD genader word). 'n Unieke kompliserende probleem is gevaar van 'n ontploffing in die perstoerusting. Talle teorieë rakende 'veilige' persdrukke bestaan, onder andere die volgende:

- 'n brisantstof sal nie as gevolg van persdruk alleen tot detonasie oorgaan nie, maar sekondêre faktore soos metaalswig of adiabatiese verhitting inisieer sodanige reaksie. Volgens hierdie beskouing kan 'n brisantstof 'dood' (totaal inert) gepers word as die werklike digtheid en die TMD ooreenstem. By hierdie toestand sal dit so onsensitief wees dat dit nie meer inisieerbaar is nie.
- 'n veilige persdruk is altyd laer as die skokgolfdruk nodig om dit te inisieer. 'n Probleem hier is dat toenemende druk verdigting meebring, wat weer met verhoogde skokgolfdruk saamgaan.

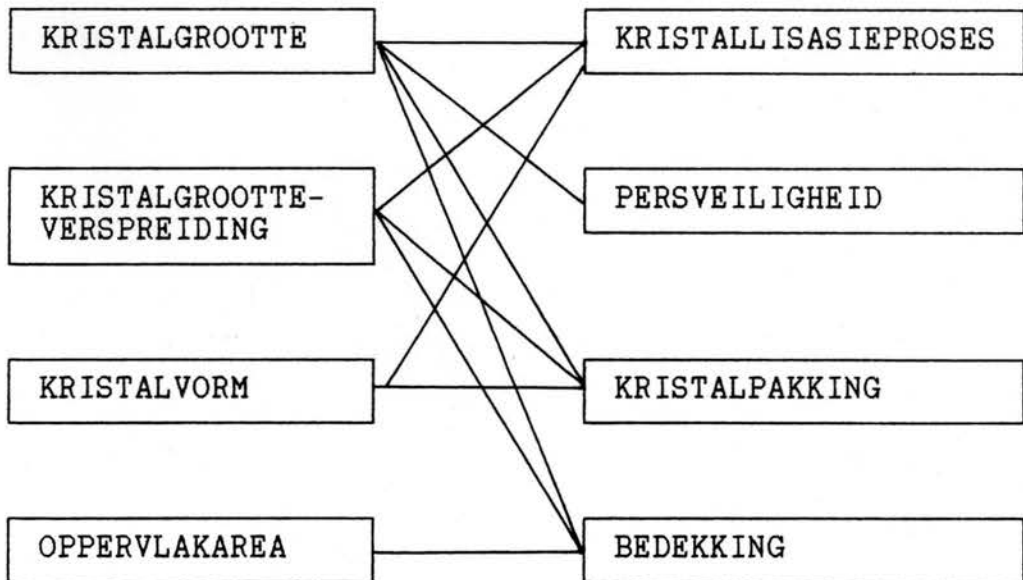
- vir elke ladingsmassa is daar 'n (ander) kritieke persdruk wat nie oorskry mag word nie. Dit wil voorkom asof toenemende ladingmassa en binderinhoud afnemende maksimum persdruk impliseer ⁵².

ii) Perstoerusting

Daar is gesien dat, vir hidrouliese perse, die tipe metaal, die afwerking van die persoppervlaktes, die dimensiebehoud en die ontwerp van die perstoerusting van groot belang is. Die persgeometrie is ook belangrik, aangesien die pers van ingewikkelde ladingvorms meer riskant as byvoorbeeld silindriese vorms is. Die 'knyping' van die brisantstof moet altyd vermy word. Vanweë die gespesialiseerde aard van hierdie toerusting, is dit 'n studieveld op sy eie en val dit buite die bestek van hierdie ondersoek.

iii) Brisantstof

Die kristaleienskappe van dié komponent van die perskorrels het 'n groot invloed op die hele persproses. Hierdie invloed word diagrammaties in figuur 7.7 aangetoon.



Figuur 7.7 : WEDERSYDSE INVLOEDE VAN KRISTALEIENSKAPPE

- Kristalgrootte en -verspreiding

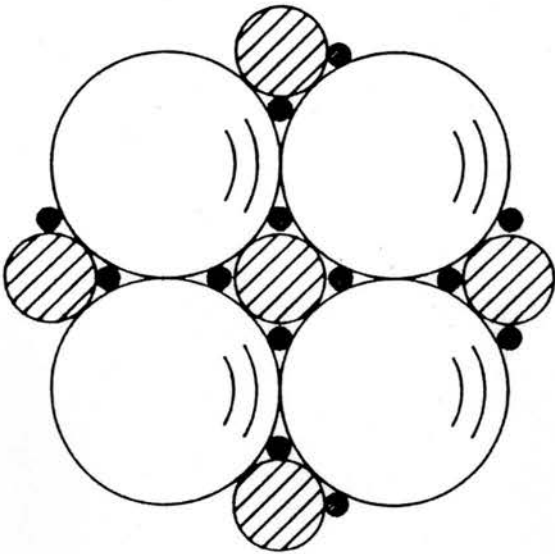
Die verband tussen kristalgrootte en die kristallisasië-proses is duidelik, aangesien brisantstofkristalle vir bepaalde toepassings uit oplosmiddels 'gekweek' word (byvoorbeeld HMX klas 3 uit sikloheksanon en klas 2 uit asetoon).

Dit is aangetoon dat die pers van groter kristalle meer riskant is. Sommige outeurs rapporteer kritieke groottes so klein as 200 μm , alhoewel groottes tot 1000 μm ook in gebruik is. Hierdie rasionaal geld egter vir monomodale kristalgroottes (dit wil se almal van ongeveer dieselfde grootte-

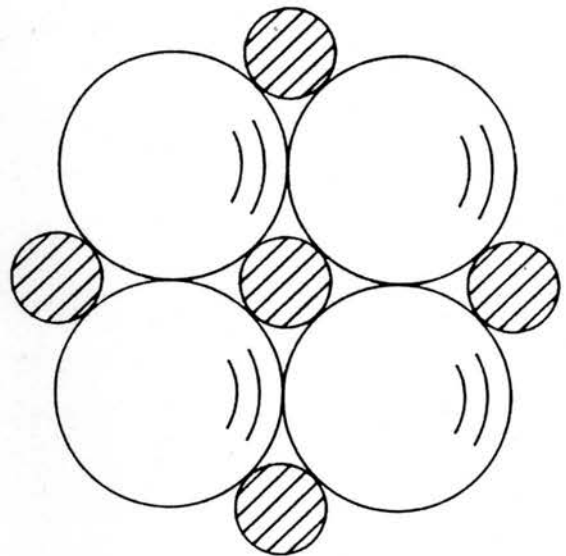
orde). By bi- en multimodale sisteme is die kristalpakking onder druk hoër en die frekwensie en verspreiding van kristalfraktuur is verskillend. Die risiko verbonde aan die pers van groot kristalle word na die hitte-opbouing tydens kristalbreek teruggevoer, wat tot inisiëringspunte ('hot spots') aanleiding kan gee.

Die invloed van kristalgrootte op die pakking kan na die teorie herlei word, waarvolgens die pakking van sferes van identiese grootte die intersfeerruimtes sal bepaal. Hoe groter hierdie ruimtes, hoe meer lugruimtes kom voor. By multimodale sisteme vul kleiner kristalle hierdie ruimtes sodat die massa sferes per eenheidsvolume hoër is, dit wil sê hoër pakking. Figuur 7.8 illustreer hierdie stelling.

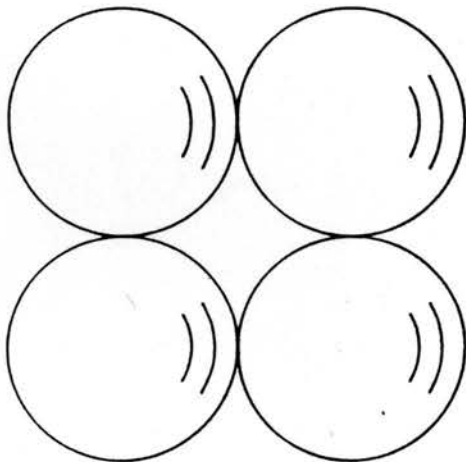
Die kristalgrootte en die oppervlakarea het 'n wedersydse invloed op mekaar. Verder bepaal die oppervlakarea ook die hoeveelheid flegmatiseerder/binder wat nodig sal wees om die kristaloppervlakte volledig te bedek. Groot oppervlak-areas sal minder deur dieselfde massa binder bedek kan word as kleiner areas (vir dieselfde massa kristalle). Aangesien 'n sfeer die ruimtelike vorm met die kleinste oppervlak is, sal sulke kristalvorms verkieslik wees. In die praktyk



TRIMODALE PAKKING



BIMODALE PAKKING



MONOMODALE PAKKING

Figuur 7.8 : MONOMODALE, BIMODALE EN MULTIMODALE KRISTAL-
SISTEME EN DIE INVLOED DAARVAN OP DIE
PAKKINGSDIGTHEID VAN SODANIGE SEERE

is dit onmoontlik en kristalvorms wissel van ortorombies tot naaldvormig (oppervlakdefekte, ensovoorts vergroot verder die area).

Die invloed van die kristalgrootte op die ladingsdigtheid is dat 'n toename in kristalgrootte 'n afname in digtheid veroorsaak. Die nadelige effek van groot kristalle kan ook hier waargeneem word ⁵³. Tipiese growwe kristalle vir pers-PBX het kristalgroottes van 350 tot 400 μm , wat dan uit teoretiese oorwegings met 'n fyner kristal met diameter sowat een sewende daarvan, gekombineer raak, tipies 50 - 60 μm . Multimodale sisteme lewer nie noodwendig hoër persdigthede nie, dit vereis egter heelwat minder drastiese perskondisies as vir monomodale sisteme.

- Kristalvorm

Die herkristallasieproses bepaal die vorm van die kristal. Die kristalvorm beïnvloed weer die perskondisies, en die sferiese vorm word weereens verkies, aangesien dit (i) die kleinste oppervlakarea teen wrywing bied en (ii) hoër natuurlike pakking besit. Hieruit kan die belangrikheid van goeie prosesbeheer tydens die herkristallasieproses gesien word, en word die nodigheid van 'n spesifikasie bevestig. Dit is

reeds genoem dat die korrekte keuse van 'n oplosmiddel een van die grootste faktore is wat kristalvorm bepaal.

- Oppervlakarea

Die 'sukses' van kristalbedekking hang onder andere ook van die oppervlakarea wat bedek moet word, af. Die minimum inerte bindermassa word gewoonlik vereis, sodat die hoogste energielewering moontlik is. Ten einde die binder so homogeen moontlik te versprei, moet die oppervlakarea so klein moontlik wees. Dit word verkry waar die kristalvorm sferies is.

iv) Eienskappe van die binder

- Bindertipe

Waar die brisantstofkristalle die persdigtheid bepaal, bepaal die tipe binder die perskondisies. So byvoorbeeld kan wasse by kamertemperatuur tot 'n bevredigende mate vervloei, onder matige persdrukke en kort draaltye. Kruisbindende polimere vereis daarenteen hoë perstemperature en lang draaltye, ten einde die kruisbindingsreaksie te kataliseer. Die T_g van die termoplastieke bepaal gewoonlik die minimum perstemperatuur. Soms is die binder 'n ander brisantstof, soos TNT, wat nie goeie

natuurlike bindingseienskappe het nie en dus komplekse persprosedures verg.

- Konsentrasie

Gewoonlik word die minimum hoeveelheid binder, wat 'n aanvaarbare optimum ten opsigte van veiligheid en energieleweringsvermoë van die lading sal verseker, gebruik. Lae digtheid binders, soos wasse, is in hierdie opsig verkieslik, aangesien 'n klein bindermassa 'n relatiewe groot volume beslaan, dit wil sê 'n hoë massabelading in terme van brisantstofinhoud kan verkry word. Hoër digtheidbinders, soos die fluoropolimere, moet om dieselfde rede in groter konsentrasies aangewend word. Hierdie effek moet in samehang met die vereiste van klein oppervlakarea vir die brisantstof gesien word.

- Elektrostatische eienskappe

Brisantstowwe wat met polimere of wasse geflegmatiseer word, neig sterk tot elektrostatische opbou as gevolg van interkorrelwrywing. Dit skep 'n veiligheidsrisiko, aangesien hierdie opbouing tot vonkontlading tydens hantering aanleiding kan gee. Dit is veral 'n probleem waar die perskorrels na die perssilinder oorgegiet word. Binders met inherente geleidingsvermoë is om hierdie rede verkieslik, maar

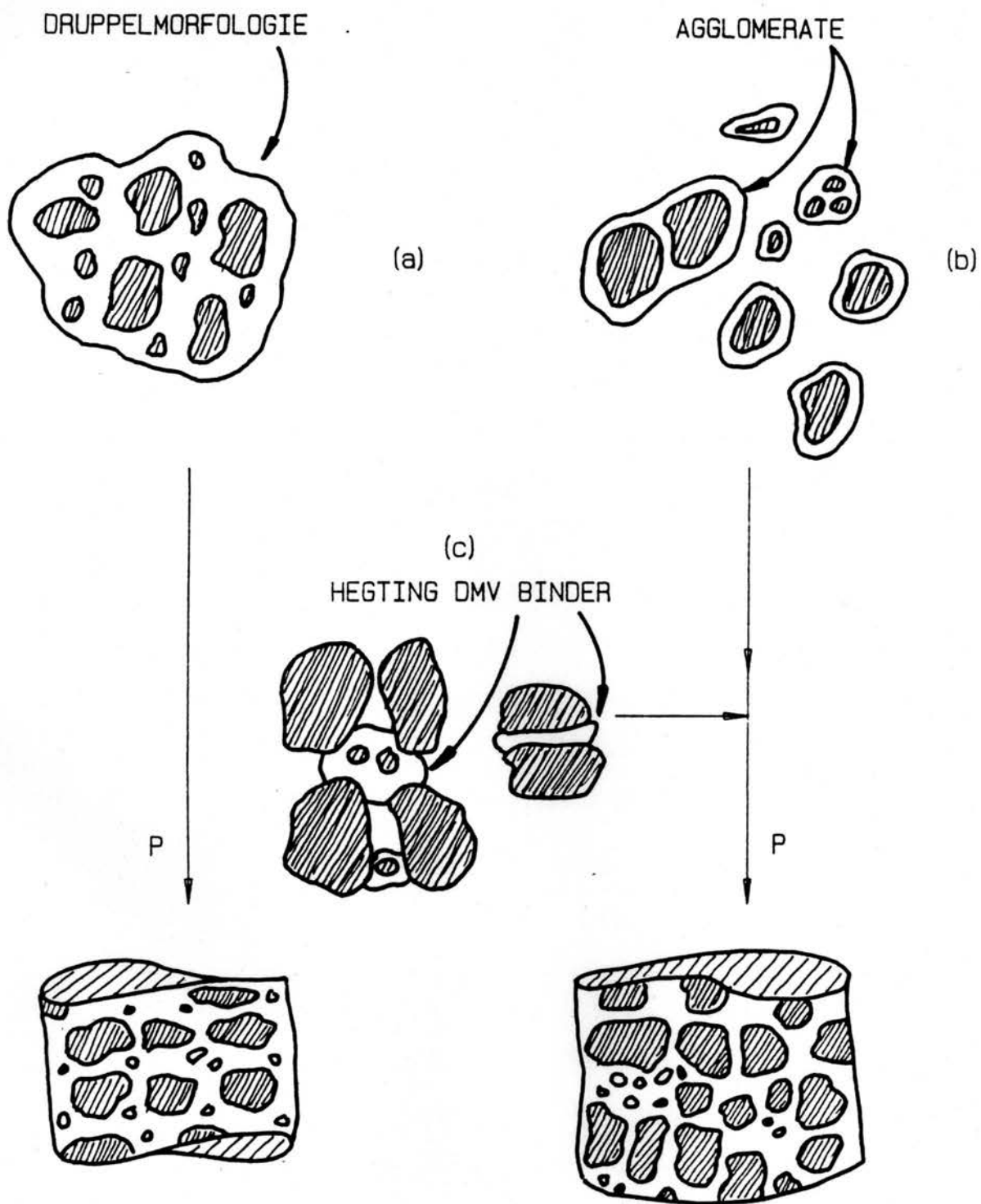
word selde in die praktyk aangetref. Die mees algemene manier om hierdie probleem te oorkom, is om grafiet in die polimeermatriks te inkorporeer.

- Bedekking

Die korrelvorms wat in die vorige hoofstuk ter sprake was, word hier verder toegelig. Hoe meer volledig die bedekking van die brisantstof, hoe minder sensitief is die perskorrels ten opsigte van impakstimuli en hoe meer homogeen is die binderverspreiding tydens persing. Figuur 7.9 toon die tipes perskorrels en die persgedrag daarvan. Die vermindering van interkristalwrywing kan hieruit gesien word (dit sal die hoogste wees waar die brisantstofoppervlakke direk teen mekaar skuur).

- Bymiddels

Verskillende bymiddels word by perskorrels gevoeg om bepaalde effekte te lewer. Beter smering word tydens die persing verkry wat digtheidsgradiënte binne die lading verminder. Verder word hoër persdigthede by laer persdrukke verkry. Die uitstootkrag word ook verminder en minder energie word hierdeur verspil. Stearate soos CaSt is bekende smeermiddels. Verder verminder dit elektrostatiese effekte, deurdat die bymiddel die



EWEREDIGE VERSPREIDING
VAN BRISANTSTOF EN
BINDER \implies EWEREDIGE
VERDIGTING

ONEWEREDIGE VERSPREIDING
VAN BRISANTSTOF EN BINDER
(KRISTALWRYWINGSVLAKKE)

Figuur 7.9 : PERSGEDRAG VAN 'GOEIE' EN 'SLEGTE' PERSKORRELS

elektriese lading kan weglei en sodoende 'n 'stof-ontploffing' as gevolg van vonkontlading kan voorkom. Grafiet is sodanige bymiddel. Ook word klewing aan die toerusting, byvoorbeeld persram, uitgeskakel. Dit word tipies verkry waar die perstemperature hoog en binder taai (E:tacky) raak. Die byvoeging van 'n bymiddel veroorsaak dat die toerusting nie na elke perssiklus hoef skoongemaak te word nie en dat die perstempo sodoende verhoog word. BaSt is 'n voorbeeld van so 'n anti-kleefmiddel. Verbetering van veral polimeervloei by verlaagde perstemperature, word verkry omdat die bymiddel die polimeer plastiseer (verlaag T_g). Die oploseffek van byvoorbeeld dioktielftalaat in PS is 'n voorbeeld hiervan.

v) Perskorrels

Dit is nou moontlik om die optimum perskorrel na aanleiding van die voorafgaande besprekings te definieer. Die perskorrels moet 'n groot mate van plastiese gedrag openbaar, sodat uitermate hoë persdrukke om hoë %-TMD's te verkry, vermy kan word. Die natuurlike pakking (= massadigtheid) van die perskorrels moet hoog wees, sodat die perssilindervolume beperk kan word. Sferiese perskorrels van druppelmorfologie word verkies. Die

binder moet homogeen tussen die brisantstofkorrels versprei wees, en sover moontlik alle brisantstofoppervlaktes bedek. Die binder moet goeie vloeie-eienskappe by matige perskondisies besit, en dit moet in lae konsentrasies aanwendbaar wees. Bymiddels wat smering en anti-statische eienskappe bevorder, moet verkieslik in die perskorrel geïnkorporeer word. Perskorrels wat aan hierdie vereistes voldoen, sal 'n steil helling ten opsigte van 'n Persdigtheid vs Druk-kurwe openbaar, dit wil sê dit sal by lae persdrukke relatief hoë %TMD's lewer.

vi) Terugspring

Die terugspring S (E: springback) van 'n lading verwys na die elastiese gedrag daarvan wanneer die persdruk verlig word, dit wil sê

$$s = \frac{\text{Gestabiliseerde ladingshoogte} - \text{ladingshoogte onder druk}}{\text{Ladingshoogte onder druk}}$$

Tydens die persaksie verminder interkristalwrywing die drukoordrag vanaf die persram, sodat vir 'n enkelaksiepers $P(\text{bo}) > P(\text{onder})$. Hoe fyner en/of hoe platter die kristalle, hoe groter die wrywingsvlakke en hoe groter die drukgradiënt. Kleiner kristalle deformeer moeiliker plasties aangesien dit moeilik sal breek. Dit veroorsaak dat

dat S toeneem. Die effek kan nooit voorkom word nie, maar as S te hoog is sal dit die %-TMD van die lading nadelig beïnvloed. Vir multimodale sisteme is S kleiner en derhalwe kan hoër digtheid makliker by laer persdruke verkry word.

vii) Dekselvorming

Geperste ladings openbaar ook die verskynsel van deksel vorming, soos vroeër gedefinieer. Dit vind tydens die uitstoot aksie plaas, wanneer die S -kragte die treksterkte van die materiaal oorskry.

Materiale met 'n hoë S -waarde sal dus makliker deksel vorming ondergaan. Verder sal meer elastiese binders en die gebruik van fyn kristalle hierdie effek bevoordeel. Deksel vorming kan verhoed word deur persing onder vakuum (ingeslote lug tree elasties op), laer persdruke (dit wil sê laer S), meer plasties-deformeerbare binders, hoër perstemperatuur (binder meer plasties), en die uitstoot van die lading onder positiewe druk van die persram, sodat die lading tydens die aksie van beide kante ondersteun word.

7.7 STANDAARDSTELLING

In die voorafgaande paragrafe is die pers van brisantstowwe uit 'n teoretiese oogpunt beskou. Die verskillende faktore wat 'n invloed op die persproses uitoefen, is geïdentifiseer en bespreek. In hierdie gedeelte sal daar gepoog word om op grond van die teoretiese beginsels, 'n standaard vir die geperste ladings, en spesifiek PBX, daar te stel. Daar is reeds aangetoon dat die persproses 'n direkte invloed op die ladingsdigtheid sal hê dit wil sê %-TMD = f (persparameters). Standaardstelling sal dus hier "vereiste %-TMD" kwalifiseer.

Dit is konvensie om ladingsdigtheid in terme van TMD (of porositeit) weer te gee. Die TMD van 'n formulering bied 'n gerieflike metode om geperste ladings meer sinvol te vergelyk, aangesien 'n eenheidslose persentasie verkry word. Geperste PBX-digtheid (afk: GPD's) word dus in terme van bogenoemde groothede uitgedruk. In die konteks van hierdie ondersoek beteken dit dat %-TMD die 'sukses' van die persproses, gemeet aan ladingdigtheid, weergee. Hoë digtheid impliseer dus hoë %-TMD (nie TMD). Daar is reeds aangetoon ¹ dat

$$\text{TMD} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{p_i}}$$

waar n die aantal samestellende komponente is.

$$a_i = \frac{\text{massa van komponente } i}{\text{totale massa}} \quad \text{en} \quad i = \text{TMD van komponent}$$

Net so is :

$$\text{TMD} = \sum_{i=1}^n c_i \rho_i \quad \text{waar} \quad c_i = \frac{V_i}{V}$$

$$\text{en} \quad V_i = \frac{\text{volumefraksie van komponent } i}{\text{totale volumefraksie}}$$

Die verskil tussen volume- en massafraksies kan aan die hand van die volgende voorbeeld geïllustreer word:

Vir 100g HXCX 9501 :

$$\text{TMD: } 1,805 \text{ g/cm}^3 - m/v$$

$$m_1 = \text{massa HMX} = 95 \text{ g}$$

$$m_2 = \text{massa CX} = 5 \text{ g}$$

$$\text{dit wil sê } 1,805 = (m_1 + m_2) / (V_1 + V_2)$$

$$\text{volume HMX} = m_1 / \text{TMD(HMX)} = 95 / 1,900 = 50,2 \text{ cm}^3$$

$$\text{en volume CX} = m_2 / \text{TMD(CX)} = 5,4 \text{ cm}^3$$

$$\text{Totale volume HXCX 9501} = 100 / 1,805 = 55,6 \text{ cm}^3$$

$$\text{dit wil sê } V_1(\text{HMX}) = 50,2 / 55,56 = 90,25 \text{ volume-\%}$$

$$\text{en} \quad V_2(\text{CX}) = 9,75 \text{ volume-\%}.$$

Tabel 7.2 : MASSA- EN VOLUME HMX-FRAKSIES VIR PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	Massa-% HMX	Volume-% HMX
HXVB 9501	95,0	94,8
HXVB 92501	92,5	92,2
HXVB 9001	90,0	89,6
HXVB 9501G	95,0	94,2
HXVB 92501G	92,0	91,6
HXVB 9001G	90,0	89,5
HXEE 9501	95,0	92,2
HXEE 9001	90,0	84,8
HXKF 9501	95,0	95,3
HXKF 92501	92,5	92,9
HXKF 9001	90,0	90,5
HXKG 9701	97,0	93,8
HXPS 9201	92,0	86,8
HXCX 9501	95,0	90,3

Dit is gemeld dat die sinvolste verwysing na hoë digtheid in terme van %-TMD gemaak kan word. Uit die hoofstukke wat volg sal gesien word dat die digtheid van 'n PBX die karakteristieke daarvan sal bepaal. Dit het tot gevolg dat sinvolle evaluering van PBX-eienskappe slegs gemaak kan word indien die GPD bekend is. 'n Doelwitdigtheid van 97% TMD is as riglyn vir hierdie ondersoek geïdentifiseer, en wel om

- Deur %-TMD as die gemene faktor tussen die formulerings te neem, word 'n basis ter vergelyking tussen die PBX-ladings geskep. Dit is reeds gemeld dat verwysings na digtheid alleen nie die verskillende HMX-inhoude en binderdigthede sal weerspieël nie.
- Uit 'n vorige ondersoek (Hoofstuk 3) is aangetoon dat hierdie GPD met die geïdentifiseerde HMX-kristalgrootteverspreiding haalbaar sou wees. Hoër GPD's sal aanvaarbaar wees, maar moontlik in die praktyk duur optimering van perskondisies verg.
- Vir hoofladingtoepassing blyk 'n ondergrens van 97% TMD nodig te wees, ten opsigte van die verlangde energielewering- en sensitiwiteitseienskappe ⁵⁴. Uiteraard sal meganiese en termiese gedrag ook deur hoër %-TMD's bevoordeel word.
- Die gerapporteerde literatuuurdigthede vir PBX vir hoofladings, word normaalweg in hierdie orde gegee, met ander woorde 'n gerieflike kontrole ten opsigte van ander laboratoria se bevindinge word gebied.

7.8 PERS VAN PBX MET OOREENSTEMMENDE BINDERS

Die perskondisies, dit is Druk P (MPa), Draaltyd t (min), Temperatuur T ($^{\circ}\text{C}$) en Vakuüm P_v (kPa) word hoofsaaklik deur die bindertipe bepaal. 'n Literatuurondersoek na die pers van PBX met soortgelyke polimere toon die resultate in Tabel 7.3 saamgevat.

Die volgende gevolgtrekkings word uit die tabel gemaak:

VB:

Persdruk en -draaltyd speel klaarblyklik 'n groot rol. So kan 'n PBX met 5% VB tot 'n uitstekende digtheid by 138 MPa gepers word, mits 'n lang draaltyd gebruik word. Deur die druk te verhoog kan die draaltyd verkort word en dieselfde digtheid verkry word (vgl LX-10 en PBXN-5). Persing by hoër temperature is verkieslik maar nie noodsaaklik nie (RXKF 9002). Dit wil ten slotte voorkom asof hoër VB-inhoude hoër TMD's sal bevoordeel (vgl RXVB 9501 en RXVB 9001).

Vakuumpersing word deurgaans gebruik.

KF:

Geen verwysing na TMD's hoër as 98% kon opgespoor word nie, alhoewel gerapporteerde persdrukke redelik laag is. Die terugspringgedrag van KF is onder verdenking, aangesien dit, soos deur die SEM bevestig, waarskynlik 'n nadelige bindingskonfigurasie in die korrelvorm aanneem.

Perstempérature oor 'n wye gebied word gerapporteer, maar dit wil voorkom asof hoër perstempérature die vloeigedrag bevorder en dus tot hoër %-TMD's aanleiding gee. Weereens lyk dit asof hoër KF-inhoude hoër persdigthede sal bevoordeel. Vakuumpersing is verkieslik.

PS:

Nie veel data rakende die pers van hierdie tipe PBX is beskikbaar nie. Persdrukke van 110 tot 207 MPa, draaltye van ca.5 minute en perstempérature bokant die glaspunt van die geplastiseerde PS, behoort digthede in die orde van 97% TMD lewer. Vakuumpersing is verkieslik.

EE:

Hier is die tendense duidelik: verhoging in druk en/of temperatuur en/of draaltyd sal verhoogde %-TMD impliseer. Die minimum van 97% TMD blyk maklik haalbaar te wees. Vakuumpersing is verkieslik. Geen uitspraak kan egter oor die invloed van EE-inhoud op %-TMD gegee word nie.

KG:

'n Wye gebied van persdrukke word gerapporteer, deurgaans by hoër perstempérature. Die verskil in invloed tussen RDX en HMX kristaltipes is duidelik waarneembaar. Vakuumpersing is noodsaaklik. Lang draaltye kom voor.

CX:

Geen direkte verwysing na CX kan gegee word nie. 'n Ekwivalente polimeer ten opsigte van struktuur blyk by hoe persdruke en -temperature bevredigende %-TMD's te gee.

Die hoofveranderlikes in die PBX-persproses is hieruit geïdentifiseer, naamlik persdruk, perstemperatuur en draaltyd. Geoptimeerde perskondisies ten opsigte van hierdie veranderlikes sal dus vir elke formulering daargestel moet word, wat 'n omvattende en duur ondersoek tot gevolg sal hê. 'n Tref-en-trap benadering, waarvolgens die doelwitdigtheid van 97% TMD verkry moet word, kan egter suksesvol wees, mits een of meer van die persveranderlikes tot 'n uiterste gedryf word. Dit is egter belangrik om daarop te let dat sekondêre persveranderlikes, soos brisantstofkristalkarakter, ook die %-TMD sal beïnvloed, en derhalwe kan %-TMD's nie sondermeer voorspel word nie.

Tabel 7.3 : PERSKONDISIES VIR VERSKILLENDE POLIMERE

POLIMEER	PBX	POLIMEER- INHOUD (% massa /massa)	KALIBER (mm)	PERSKONDISIES				%TMD	BRON
				P (MPa)	T (°C)	t (min)	Pv (kPa)		
Viton A	LX-10	5	-	138	120	3X10	0,1	98,5	55
	PBXN-5	5	11,25	207	120	4-5	0,7	96,5	56
	RX-26-AY	6,2	-	207	121	3X5	-	98,0	47
Viton B	RXVB 9501	5	90	110	40	5	1,0	96,6	57
	RXVB 9002	10	90	110	50	5	1,0	98,2	57
Kel F	LX-15	5	7,62	146	Kamer	3	Geen	95,0	48
	RX-03-DY	2,5	-	138	86	3X5	-	97,7	58
	RXVB 9501	5	90	110	60	5	1,0	96,6	57
	RXVB 9002	10	90	110	40	5	1,0	97,3	57
PS+plast	PBX 9007	10	-	207	120	5	0,5	-	5
	RXPS 9201	8	90	110	55	5	1,0	96,8	57
Estane	LX-14	5	20,3	345	120	-	-	98,7	51
	RX-26-AF	4,1	-	207	121	3X5	-	98,5	47
	X-0396	5	-	138	85	3Xx	-	97,7	59
	RXEE 9501	5	90	110	45	7	1,0	96,9	57
Kraton + plast	X-0298	2,5	20,3	345	121	-	-	97,7	51
	X-0298	-	-	-	120	-	-	98,4	60
	X-0298	5	-	138	85	3Xx	-	97,0	59
	RXKG 9701	3	90	95	95	5	1,0	97,5	61
	RXKG 9701	3	90	110	80	11	1,0	97,5	57
	HXKG 9701	3	90	110	86	10	1,0	96,0	57
Stireen- buta- dieen	PSK 100	3	-	270	80	1	-	98,0	53

HOOFSTUK 8

DIE PERS VAN PBX-FORMULERINGS

In Hoofstuk 3 is die volgende afleidings rakende die pers van HMX/Fluorel gemaak, naamlik dat 'n toename in persdruk die %-TMD verhoog en dat die verskil in %-TMD na persing vir verskillende kristalgrootteverspreidings kleiner is met toename in persdruk, met ander woorde wanneer kristalbreking plaasvind. Dit is bevestig dat hoër kristalpakking laer persdrukke vir %-TMD's van dieselfde orde sal vereis, en dat 97% TMD met Fluorel as binder, en 70% HMX Klas 3 en 30% Klas 2, haalbaar was. Hierdie bevindinge en gevolglike aanbevelings was op die volgende perskondisies gebaseer, naamlik :

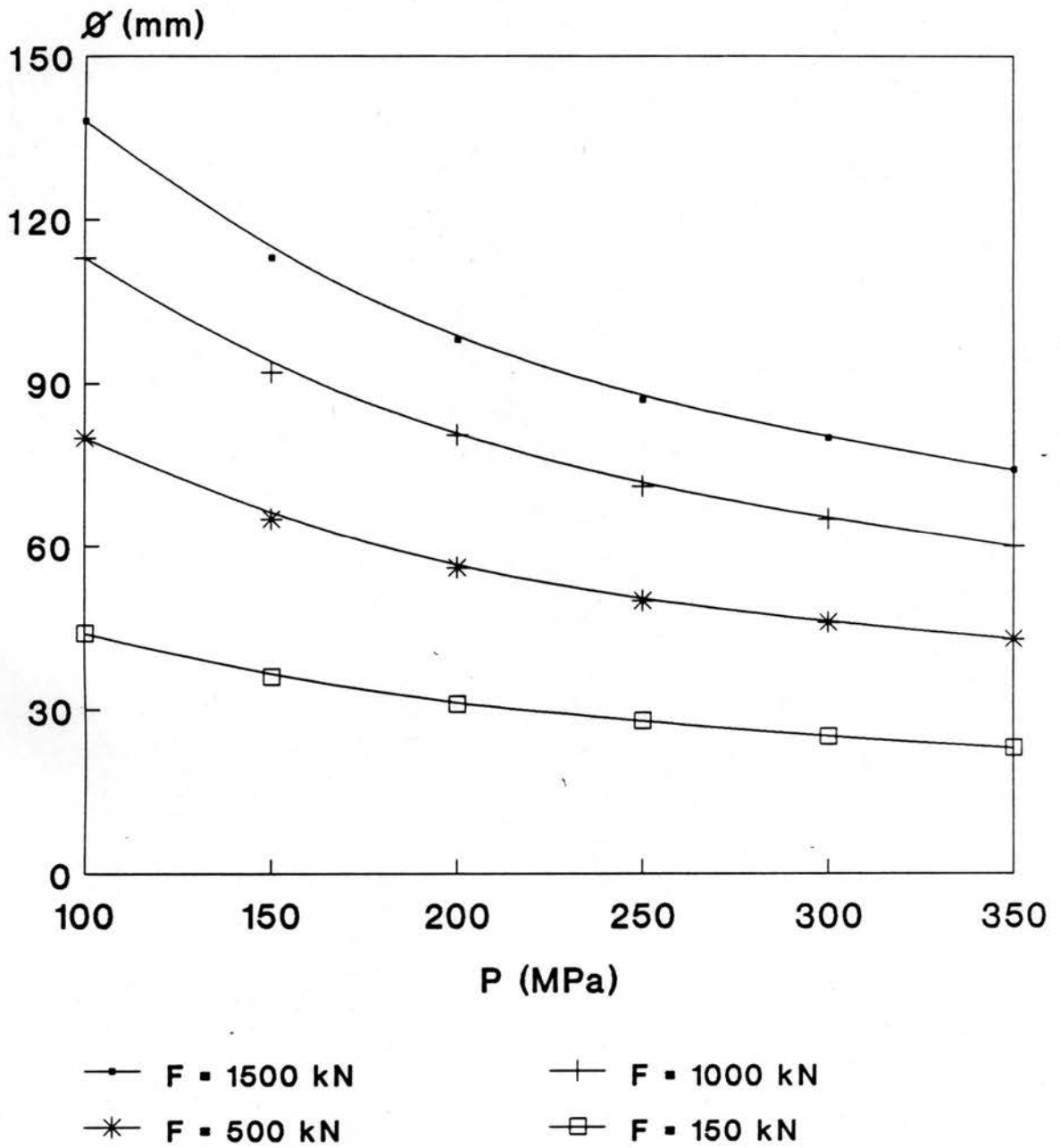
- Persdruk P : 150 MPa
- Perstemperatuur T : 70 °C
- Draaltyd t : 2 min
- Kaliber- \emptyset : 38 mm

Met die teoretiese aspekte en bogenoemde eksperimentele resultate is besluit om 'n 'tref-en-trap' ondersoek na die verkryging van 97% TMD van die formulerings te onderneem. Die hoë koste verbode aan hierdie PBX-produkte het hierdie benadering bo volwaardige prosesoptimering vir elke sisteem bevoordeel.

8.1 TOERUSTING EN BEDRYF

i) Perse

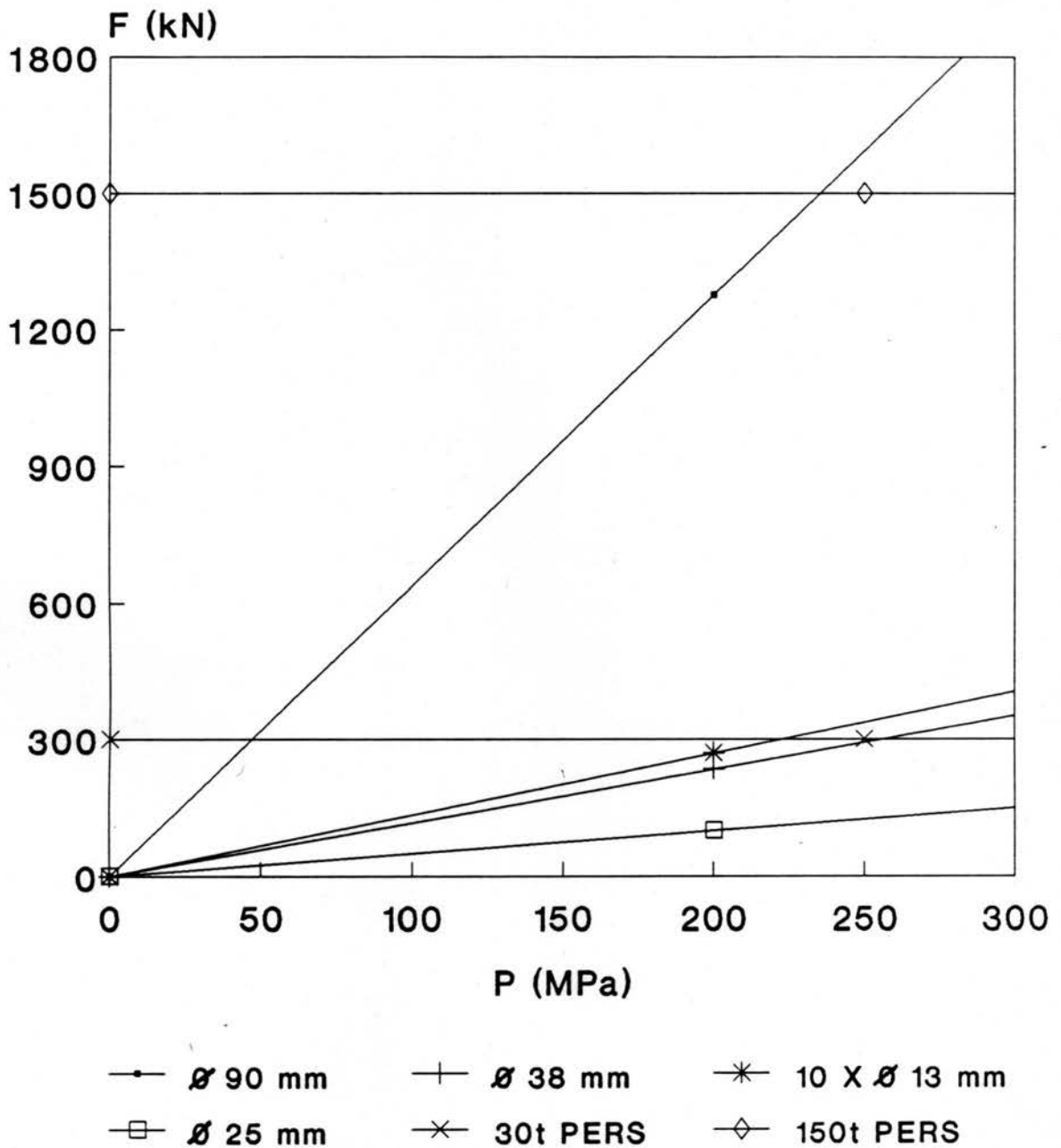
Twee enkelaksie hidrouliese perse van 150t en 30t onderskeidelik, was vir hierdie ondersoek beskikbaar. Uit die literatuur is persdrukke so hoog as $P = 350 \text{ MPa}$ gebruik om ekwivalente PBX'e te pers, en derhalwe moes die P vs area-verband vir die verskillende perse bepaal word (dit wil sê by maksimum F). Aangesien die pers van silindriese ladings ter sprake is, is die bepaling in terme van kaliber ϕ gedoen. Figuur 8.1 toon die verwantskappe, afgelei vanaf $P = F/A$. Tabel 8.1 toon enkele grafiekplotpunte. Uit figuur 8.1 volg dat die grootste ϕ wat teen $P = 350 \text{ MPa}$ gepers kan word, $\phi = 74 \text{ mm}$ (150t pers) en $\phi = 33 \text{ mm}$ (30t pers) is, terwyl by 'n tipiese persdruk van $P = 200 \text{ MPa}$ die maksimum ladingkaliber $\phi = 98 \text{ mm}$ (150t pers) en $\phi = 44 \text{ mm}$ (30t pers) is. Aangesien vier verskillende stelle perstoerusting vir hierdie ondersoek beskikbaar was, is afgelei dat tipiese persdrukke van $P = 200 \text{ MPa}$ vir die kalibers op een van die perse gehaal kan word.

Figuur 8.1 : \varnothing VS VERSKILLENDE F

Tabel 8.1 : P VS ϕ VERWANTSKAPPE VIR VERSKILLENDE F

F (kN)	P (MPa)	ϕ (mm)	F (kN)	P (MPa)	ϕ (mm)
1500	350	74	300	350	33
	300	80		300	36
	250	87		250	39
	200	98		200	44
	150	113		150	50
	100	138		100	62
1000	350	60	150	350	23
	300	65		300	25
	250	71		250	28
	200	80		200	31
	150	92		150	36
	100	113		100	44
500	350	43	100	350	19
	300	46		300	21
	250	50		250	23
	200	56		200	25
	150	65		150	29
	100	80		100	36

Aangesien die drukverstelling vir beide perse in terme van kN geskied, en die ladingdeursnee bekend is, kan die P vs F-kurwe vir die twee perse opgestel word (figuur 8.2). Hieruit is die verlangde P



Figuur 8.2 : F VS P VIR VERSKILLENDE Ø

afgelei vir die onderskeie ladingdiameters. Hierdie grafieke is vervolgens deurgaans vir drukverstelling van die perse gebruik.

Elke pers is met 'n hidrouliese uitstootpers toegerus, met stootkrag F tot 300 kN. Die perse is afstandbeheer bedryfbaar, en alle persaksies tydens 'n perssiklus, vandat vakuumsuiging begin tot die lading uitgestoot is, is afstandbeheerd uitgevoer. Die verloop van die perssiklus is visueel (30t) of per kamera (150t) gevolg. Drukverstelling ten opsigte van persramdruk (P) is op die hidrouliese motoreenheid van die onderskeie perse gemaak, en met die pers van 'n simulasielading geverifieer. Drukrapportering sal voortaan in terme van MPa gemaak word, dit wil sê met inagneming van kalibergrootte, en hierdie waarde kan met behulp van $F = P \times A$ (of figuur 8.2) na die gestelde perskrag omgeskakel word.

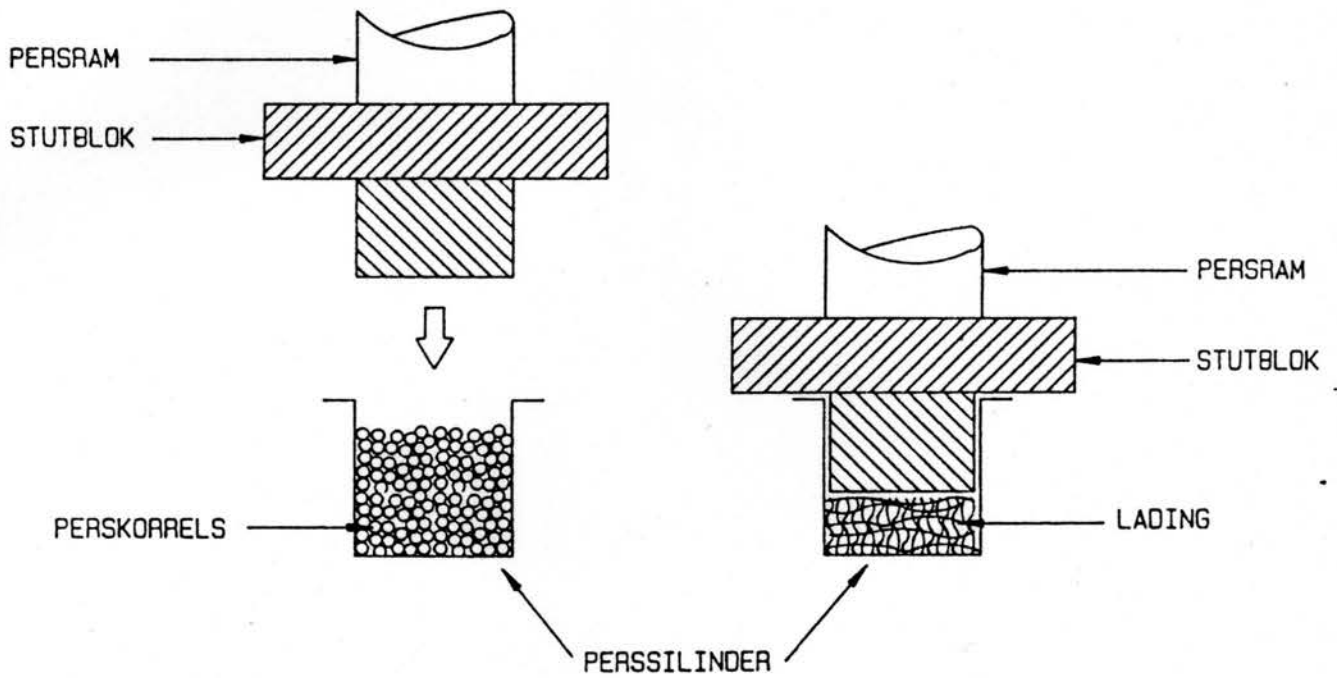
ii) Perstoerusting

Tipiese voorstellings van perstoerusting is in figure 3.6 weergegee, en sal nie verder hier bespreek word nie. Die perstoerusting vir die $\varnothing 13$ mm verskil wel van die ander, deurdat dit 'n sogenaamde veelvuldige persstuk, waarin tot 10 ladings gelyktydig gepers kan word, is en vandaar die relatiewe posisionering op die P vs F-kurwe. Die opmerklikste verskil tussen die verskillende stelle perstoerusting was die kaliber daarvan, naamlik $\varnothing 90$, $\varnothing 38$, $\varnothing 25$ en $\varnothing 13$ mm. Die volgende was algemene kenmerke :

- vakuumsuigfasiliteite, waardeur die perssilinder geëvakueer kan word tot minstens -98 kPa. Korrekte plasing van O-ringe verseker dat hierdie druk deur die perssiklus gehandhaaf kan word,
- 'n verhittingsmantel, waardeur warm water (30t) of verhitte olie (150t) kan sirkuleer, om sodoende die verlangde perstemperature (tot 100 °C) te kan haal,
- gepoleerde ingenieursgraad staaloppervlakke, op alle vlakke wat met plofstof in aanraking kom, en
- 'n perssilinder wat perskorrels met massadigtheid $0,4 \text{ g/cm}^3$ en hoër kan akkomodeer.

Daar kan uit bogenoemde afgelei word dat die vereistes van Hoofstuk 7 gehaal word.

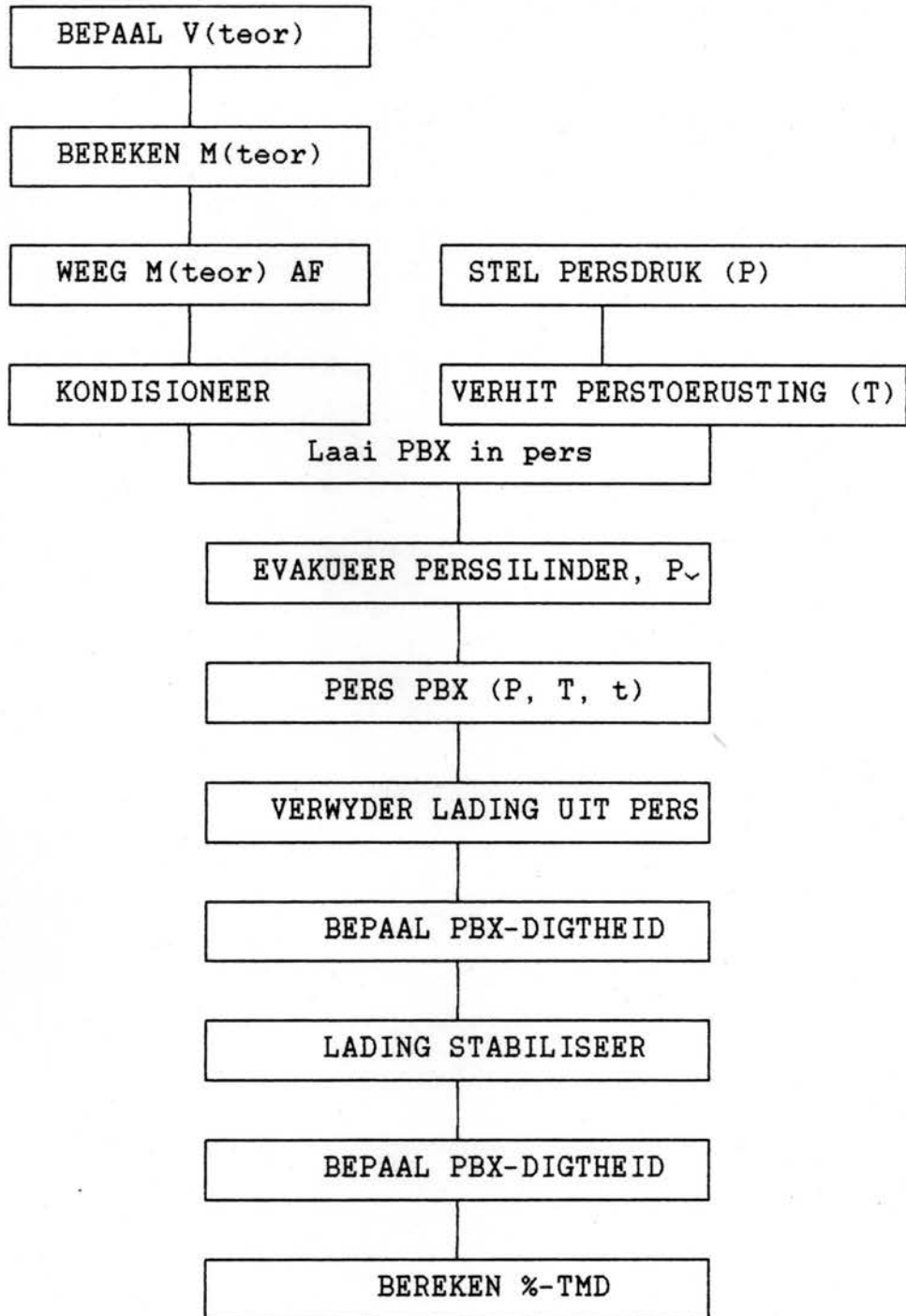
'n Bykomende veiligheidsfaktor was die aanbring van stutblokke (E: crash blocks) rondom die persram en -silinder, wat die beweging van die ram relatief tot die silinder tot 'n vasgestelde slaglengte (E: stroke) beperk. Sodoende word verseker dat, indien die toegepaste P skielik sou verhoog, die oormaat druk nie op die PBX nie, maar op die perstoerusting uitgeoefen sal word. Dit skep 'n komplikasie deurdat dit die minimum volume waartoe die lading gepers kan word, beperk, maar dit word oorkom deur hierdie volume aan die teoretiese volume vir 100% TMD gelyk te stel. Aangesien TMD nie in die praktyk met die druk hier ter sprake gehaal word nie, beweeg die stutblokke nooit tot teenaan mekaar nie. Figuur 8.3 illustreer die uitleg van stutblokke.



Figuur 8.3 : WERKING VAN STUTBLOKKE

iii) Bedryfsprosedure

Die bedryfsprosedure vir die pers van PBX-ladings word skematies in figuur 8.4 aangedui en dan in detail beskryf.



Figuur 8.4 : SKEMATIESE VOORSTELLING VAN PBX-PERSPROSES

Eerstens word die teoretiese volume, $V(\text{teor})$, van die perssilinder bereken, waarna die teoretiese massa PBX-perskorrels $M(\text{teor})$ om hierdie volume te vul, bereken word deur

$$M(\text{teor},g) = \text{TMD} (g/\text{cm}^3) \times V(\text{teor}, \text{cm}^3)$$

Die massa $M(\text{teor})$ word dan noukeurig in 'n hittebestande houër (byvoorbeeld vlekvrýe staal of glas) afgeweeg. Dit is baie belangrik, veral by die veelvuldige persstuk waar 'n klein deviasie ten opsigte van massa 'n groot invloed op %-TMD kan hê. Die afgeweegde massa word in 'n oond gelaai en vir ongeveer 2 ure by die perstemperatuur, T , gekondisioneer. Sodoende word verseker dat die perskorrels eweredig verhit word, aangesien dit natuurlike swak termiese geleidingseienskappe besit. Té lang kondisioneringstye kan veroorsaak dat die polimeer te 'taai' raak en gevolglik swak vloei wanneer dit na die perssilinder oorgegiet word. Aangesien hierdie kondisioneringstemperatuur hoog is, kan te lang kondisioneringstydure ook die degradasie van die bindersisteam bevorder, veral waar plastiseerders se mobiliteit verhoog kan word. Onderwyl die perskorrels kondisioneer, word die persdruk en die perstemperatuur gestel. Gewoonlik word 'n simulasielading gepers om die korrekte

funksionering van die pers te verifieer. Nadat die PBX-korrels en die pers by T gestabiliseer is, word die perskorrels na die perssilinder oorgedra deur dit daarin te giet. Die belangrikheid van hoë massadigtheid kom hier na vore, aangesien die persvolume beperk is. Die persram word dan tot in die vakuumsuigposisie beweeg en die perssilinder geëvakueer. Die perskamer word van personeel ontruim, sodat alle verdere persaksies afstandbeheerd plaasvind. Die persram word dan na onder beweeg, sodra die vereiste vakuumlensing P_v bereik is. Die PBX word vir die verlangde t en P gepers, waarna die persram uit die perssilinder beweeg en die geperste lading met behulp van die uitstootpers uit die perssilinder gedruk word. Ten slotte word die PBX verwyder, gemeet en geweeg en toegelaat om vir 'n stabiliseringstydperk van 24 uur te staan, waarna die %-TMD weer (finaal) bepaal word.

8.2 EKSPERIMENTELE RESULTATE

In hierdie gedeelte word die eksperimentele resultate, soos met die toerusting en bedryfskondisies wat in die voorafgaande paragrawe beskryf is, weergegee. Daar is reeds melding van die vier ladingkalibers wat deel van hierdie ondersoek vorm, gemaak en die resultate word aan die hand

i) Kaliber $\varnothing 13$ mm

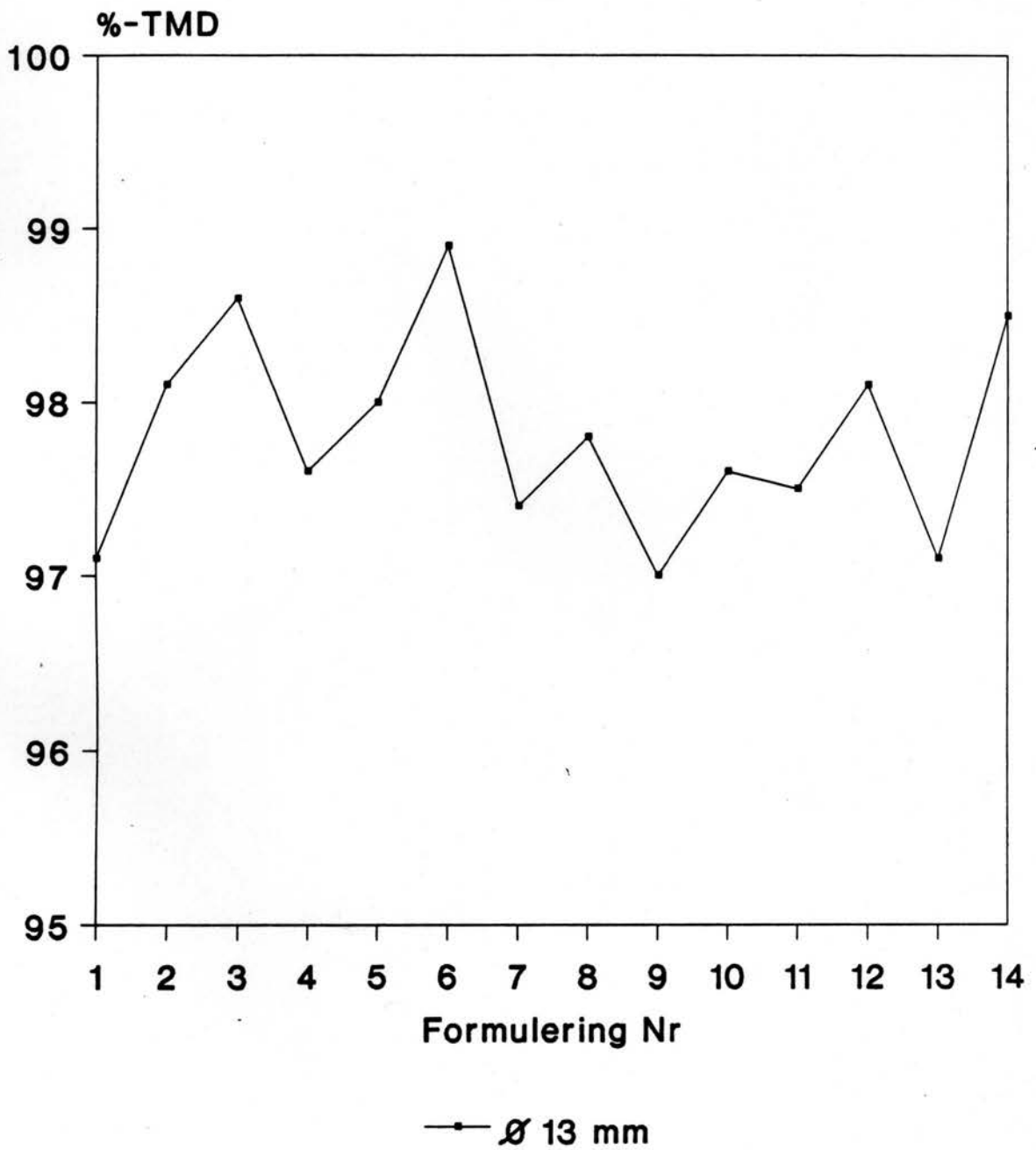
Ten einde die effek van die verskillende polimere op die GPD's van die PBX'e te illustreer, is al die formulerings aan dieselfde perskondisies onderwerp, naamlik :

- $P = 146$ MPa
- $P_{\checkmark} = -99$ kPa
- $T = 95^{\circ}\text{C}$ (so gekies vanweë polimeer T_g 's)
- $t = 1,5$ min

Vanweë die klein dimensies ter sprake (naamlik $\varnothing 13$ mm x 13 mm hoog), is die aanname gemaak dat die ladings vinnig sou stabiliseer en derhalwe is dimensie- en massametings slegs eenmalig op die gestabiliseerde PBX gedoen, dit wil sê slegs finale GPD's en %-TMD's is bereken. Tabel 8.2 en figuur 8.5 gee die resultate weer.

Tabel 8.2 : ø13 mm PERSRESULTATE [(*) VERWYS VAN HOOG TOT LAAG]

FORMULERING	GPD g/cm ³	%-TMD	RANGORDE (*)
HXVB 9501	1,840	97,1	10
92501	1,851	98,1	4
9001	1,864	98,6	2
HXVB 9501G	1,848	97,6	7
92501G	1,854	98,0	5
9001G	1,868	98,9	1
HXEE 9501	1,796	97,4	9
9001	1,752	97,8	6
HXKF 9501	1,848	97,0	11
92501	1,863	97,6	7
9001	1,864	97,5	8
HXKG 9701	1,802	98,1	4
HXPS 9201	1,740	97,1	10
HXCX 9501	1,777	98,5	3



Figuur 8.5 : 13 mm PERSRESULTATE

ii) $\varnothing 25$ mm Persresultate

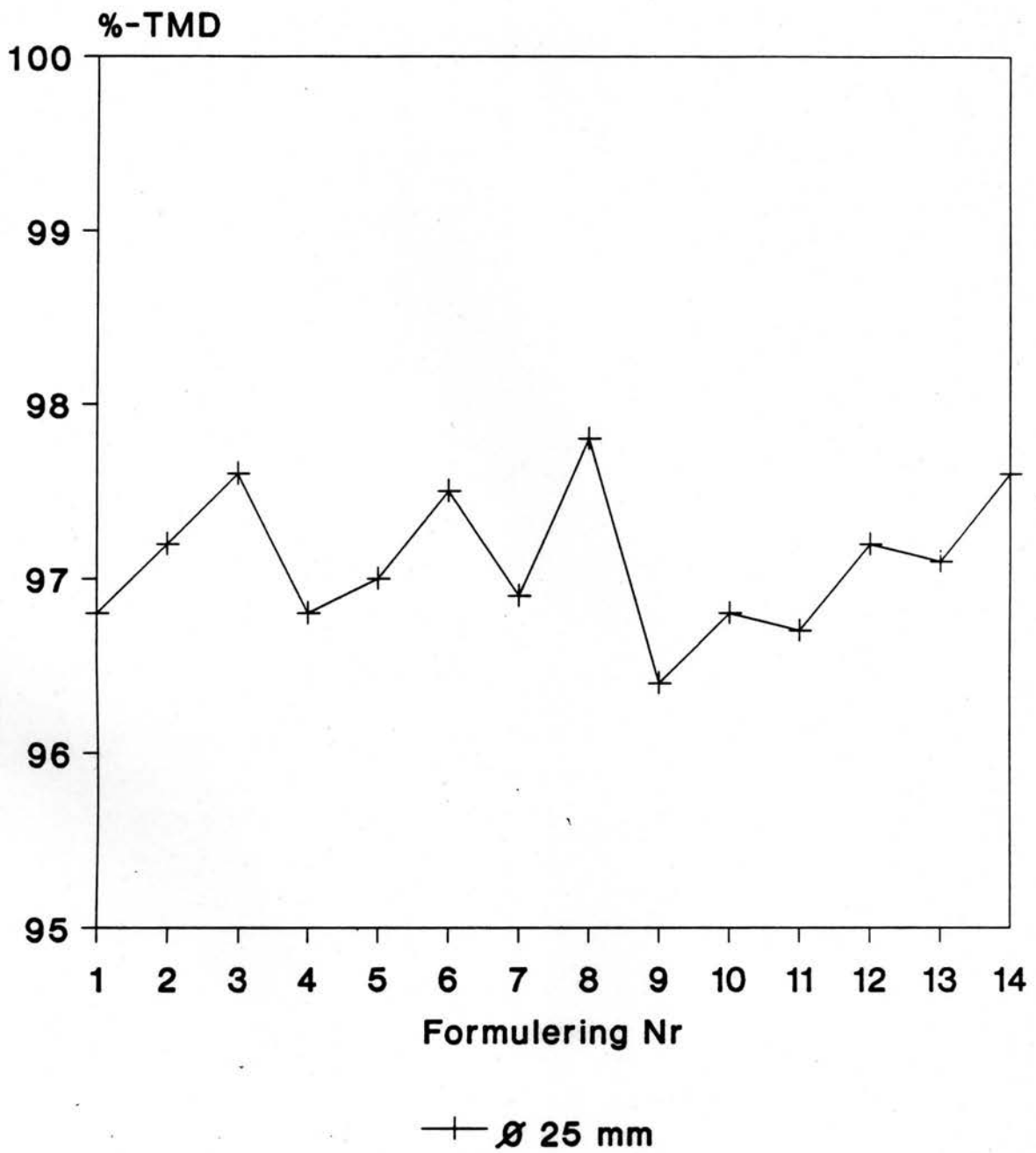
Aangesien geen hoogtebeperking op die lading geplaas is uit massadigtheid-oorwegings nie, is die maksimum ladinghoogte gepers, naamlik 1:1 of te wel $\varnothing 25$ mm X 25 mm hoog. Die volgende perskondisies het gegeld :

- $P = 215$ MPa
- $P_{\checkmark} = -98$ kPa
- $T = 95^{\circ}\text{C}$
- $t = 1$ min

Daar is gepoog om met hierdie perskondisies die effek van verhoogde druk en verkorte draaltyd relatief tot $\varnothing 13$ mm te illustreer. Die resultate verskyn in tabel 8.3 en figuur 8.6.

Tabel 8.3 : ø25 mm PERSRESULTATE

FORMULERING	GPD g/cm ^{3s}	%-TMD	RANGORDE (*)
HXVB 9501	1,836	96,8	8
92501	1,840	97,2	4
9001	1,845	97,6	2
HXVB 9501G	1,833	96,8	8
92501G	1,834	97,0	6
9001G	1,841	97,5	3
HXEE 9501	1,787	96,9	7
9001	1,751	97,8	1
HXKF 9501	1,838	96,4	10
92501	1,847	96,8	8
9001	1,847	96,7	9
HXKG 9701	1,786	97,2	4
HXPS 9201	1,740	97,1	5
HXCX 9501	1,762	97,6	2



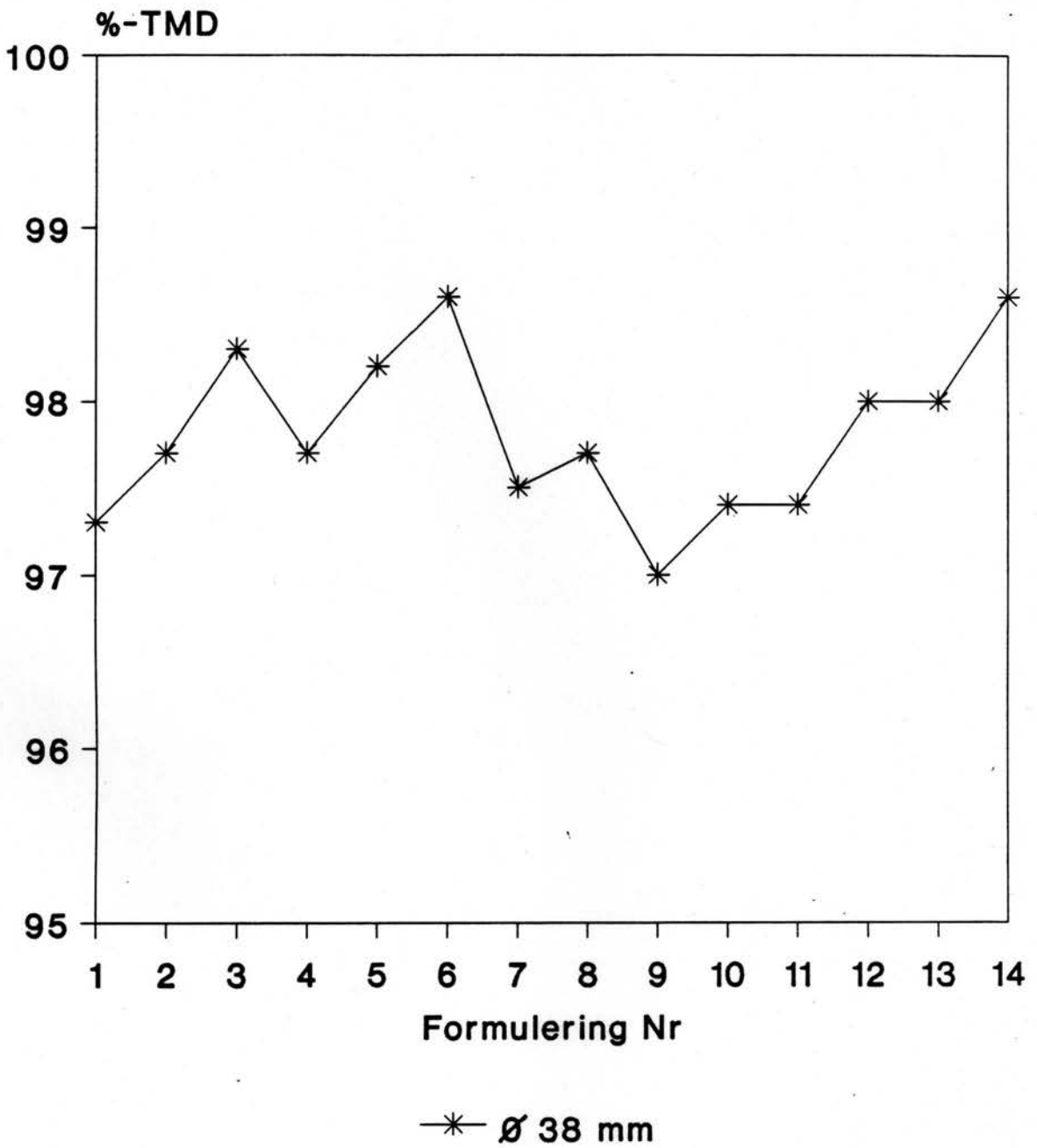
Figuur 8.6 : Ø25 mm PERSRESULTATE

iii) $\varnothing 38$ mm Persresultate

Hier het die toerustingontwerp die ladinghoogte tot 15 mm beperk, dit wil sê $\varnothing:h$ was 2,5:1 en nie 1:1 soos in die voorafgaande gevalle nie. Weer is al die formulerings by identiese perskondisies gepers:

- $P = 250$ MPa
- $P_{\checkmark} = -99$ kPa
- $T = 95$ °C
- $t = 1$ min.

Hierdie kondisies is geëvalueer om die produksietempo te verhoog, deur steeds t kort te hou maar P nog te verhoog. Onderstaande tabel en figuur 8.7 gee die persresultate.



Figuur 8.7 : \varnothing 38 mm PERSRESULTATE

Tabel 8.4 : $\varnothing 38$ mm PERSRESULTATE

FORMULERING	GPD g/cm ³	%-TMD (a)	GPD g/cm ³	%-TMD (b)	RANGORDE (*)
HXVB 9501	1,840	97,1	1,845	97,3	8
92501	1,844	97,4	1,848	97,7	5
9001	-	-	1,859	98,3	2
HXVB 9501G	1,843	97,4	1,850	97,7	5
92501G	-	-	1,857	98,2	3
9001G	1,852	98,0	1,863	98,6	1
HXEE 9501	1,795	97,3	1,798	97,5	6
9001	1,740	97,2	1,749	97,7	5
HXKF 9501	-	-	1,848	97,0	9
92501	1,849	96,9	1,860	97,4	7
9001	1,854	97,0	1,862	97,4	7
HXKG 9701	1,784	97,1	1,801	98,0	4
HXPS 9201	-	-	1,757	98,0	4
HXCX 9501	-	-	1,780	98,2	1

(a = onmiddellik ná persing; b = ná stabilisering)

iv) $\varnothing 90$ mm Persresultate

Soos in die geval van $\varnothing 38$ mm is 'n beperking op die \varnothing :L-verhouding van die lading geplaas, naamlik 90:70 of te wel 1,3:1. Hierdie kaliber is op die 150t pers vervaardig. Die volgende algemene perskondisies het gegeld (uitsonderings is aangebring waar probleme met ladingdigtheid/dekselvorming ondervind is) :

$$P = 120 \text{ MPa}$$

$$P_{\checkmark} = -98 \text{ kPa}$$

$$T = 80^{\circ}\text{C}$$

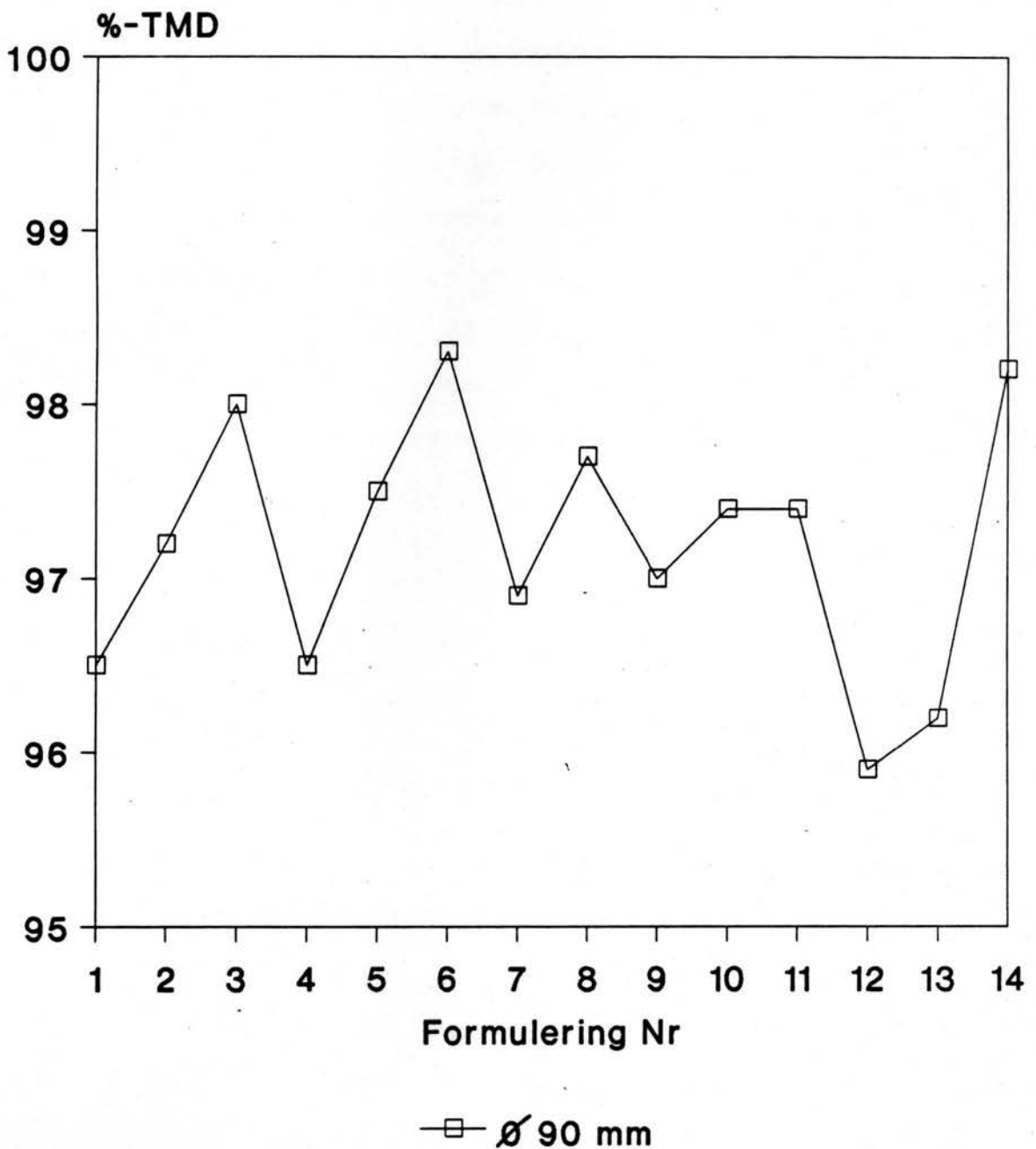
$$t = 3 \text{ min}$$

P was dus relatief laag, met t redelik lank. Sodoende kon die effek van draaltyd bestudeer word, sodat dit saam met die vorige perskondisies geëvalueer kon word. Die resultate verskyn in Tabel 8.5 en figuur 8.8.

Tabel 8.5 : $\varnothing 90$ mm PERSRESULTATE

FORMULERING	GPD g/cm ³	%-TMD (a)	GPD g/cm ³	%-TMD (b)	RANGORDE (*)
HXVB 9501	1,826	96,3	1,830	96,5	10
92501	1,830	96,7	1,840	97,2	7
9001	1,844	97,5	1,852	98,0	3
HXVB 9501G	1,819	96,1	1,827	96,5	10
92501G	1,836	97,1	1,843	97,5	5
9001G	1,848	97,8	1,857	98,3	1
HXEE 9501	1,778	96,4	1,786	96,9	9
9001	1,736	96,9	1,750	97,7	4
HXKF 9501	1,834	96,2	1,849	97,0	8
92501	1,844	96,6	1,859	97,4	6
9001	1,847	96,7	1,862	97,4	6
HXKG 9701	1,753	95,4	1,762	95,9	12
HXPS 9201	1,709	95,3	1,724	96,2	11
HXCX 9501	1,758	97,4	1,772	98,2	2

(a = onmiddellik ná persing; b = ná stabilisering)



Figuur 8.8 : ∅90 mm PERSRESULTATE

v) Dekselvorming

Anders as by die kleiner kalibers, het deksel vorming by die pers van $\varnothing 90$ mm voorgekom, veral by HXPS 9201 en HXKG 9701. Dit is oorkom deur die geperste lading ná persing onder matige druk (ca. 50 MPa) vir 'n verdere 2,5 min te hou, voordat dit uitgestoot is. Dit het defekvrige ladings, met lae GPD's, gelewer. Deur die spesifieke formulerings by hoër drukke (>150 MPa) of hoër T's (>100 °C) te pers, is die probleem vererger, tsv die 'ontspantyd' wat toegelaat is. Die volgende verklarings word aangebied :

Aangesien 'n enkelaksiepers in gebruik is, sal die geperste lading gebiede van hoër en laer digthede besit (dit wil sê digtheidsgradiënte). Aangesien die PBX elasties-plastiese deformeringsgedrag openbaar, sal dit na drukverligting terugspring. Dit veroorsaak hoë trekspanning in die lading, wat slegs in een as kan 'ontspan', dit is opwaarts in die perssilinder. Vanweë die hoë perstemperature is die binders almal bokant die T_g en gevolglik 'sag'. Indien die interne trekkragte die bindingskragte van die polimeermatriks oorskry, sal dit tot 'n skeiding van bindingsvlakke aanleiding gee. Aangesien daar 'n positiewe verband tussen treksterkte en digtheid

bestaan, sal die lading in die gebied van lae digtheid 'breek'. Bogenoemde strook met die teoretiese verklaring van dekselvorming.

Aangesien daar onder vakuum gepers word, kan ingeslote lug nie 'n rol speel nie,

In die geval van KG is daar slegs 1,5% binder teenwoordig, met ander woorde die effek van té min bindmiddel kan 'n daadwerklike invloed hê,

Dit is aangetoon dat verhoogde persdruk die effek vererger. Dit kan aan twee newe-effekte toegeskryf word, naamlik verhoogde interne spanning ná persing as gevolg van drukverligting en verhoogde deformatsie van die omringende perssilinder, wat 'n teendruk op die lading sal uitoefen sodra die persdruk verminder. Laasgenoemde effek is waarskynlik baie groter by die $\varnothing 90$ mm perstoerusting, vanweë die groter elasticiteit van die omringende uitgeholde perssilinder (vir verhittingskanale).

PS is nie 'n goeie plasties-deformeerbare binder nie, soos in die groot verandering in %-TMD ná persing blyk (hoë S).

In albei gevalle is die binder oliebevattend, wat die polimeerbindingseffek by hoër T meer benadeel as wat dit die vloeibaarheid van die suiwer polimeer bevoordeel.

8.3 BESPREKING VAN PERSRESULTATE

i) ø13 mm

Die volgende afleidings word gemaak : (Verwys na tabel 8.2 en figuur 8.5)

- HXVB 9001G lewer die hoogste %-TMD, en HXKF 9501 die laagste.
- Die verskil in terme van %-TMD tussen hoogste en laagste bedra 1,9%.
- Die volgende formuleringe het uitstekende persgedrag openbaar, met GPD's hoër as 98% TMD: HXVB 92501, 9001, 92501G, 9001G, HXKG 9701 en HXCX 9501.
- Die gemiddelde GPD is 97,8 %TMD, wat ver binne die gestelde doelwit van 97 %TMD is.

- Die laer %-TMD's van sommige formulerings kan aan lae binderinhoud (byvoorbeeld HXVB 9501) of hoër mate van elasticiteit (byvoorbeeld KF-PBX) toegeskryf word.
- Dit wil voorkom asof die smeringseffek van grafiet hoër %-TMD's bevorder (vgl HMX/VB).
- Aangesien die binderhoeveelheid so 'n groot rol by veral VB-PBX speel, laat dit die vermoede ontstaan dat kristalbreking tot 'n beperkte mate plaasvind, en dat die plastiese vloeigedrag van VB die %-TMD bepaal.
- Vir VB-bevattende PBX is daar 'n duidelike relatiewe toename in %-TMD met toenemende polimeerinhoud.
- Bogenoemde tendens geld ook vir HMX/EE 95/5 vs 90/10.
- Dit wil voorkom asof daar nie in terme van %-TMD tussen HMX/KF 92,5/7,5 en 90/10 onderskei kan word nie (ooreenstemmend, maar hoër as 95/5).
- Die gekose stel perskondisies blyk dus baie geskik vir die pers van $\varnothing 13$ mm ladings te wees.

ii) ø25 mm Persresultate

Verwys tabel 8.3 en figuur 8.6 :

- HXEE 9001 lewer die hoogste %-TMD, en HXKF 9501 die laagste,
- Die verskil tussen hoogste en laagste GPD bedra 1,4% TMD en dit wil dus voorkom asof hoer p die %-TMD's meer gelykstel as gevolg van kristalbreking.
- Die gemiddelde GPD was 97,1 %TMD, dit wil se hoer as die minimum van 97 %TMD.
- Anders as voorheen, was 6 formulerings onder die minimum grens.
- Geen onderskeid kan tussen VB-PBX met en sonder grafiet gemaak word nie.
- Weereens speel binderhoeveelheid 'n beduidende rol by HMX/VB-formulerings.
- Die afwesigheid van bogenoemde korrelasie by KF-PBX dui op 'n ander persvloei gedrag, waar die 'terugspring'-effek die verbeterde vloei gedrag as gevolg van hoer polimeerinhoud neutraliseer, met hierdie optimum waarskynlik tussen 7,5 % en 10 % KF.
- Die terugspringeffek blyk die grootste by die KF-PBX te wees, wat die elastiese gedrag van die

polimeerbinder bevestig.

- Die deurgaans laer %-TMD's wat ten spyte van verhoogde P verkry is (in vergelyking met $\varnothing 13$ mm) kan aan die korter t toegeskryf word.
- Die groter terugspringkarakter by hierdie hoër drukke kan ook deels as motivering vir die relatief laer persdigthede voorgehou word.
- Die perskondisies kan as nie-ideaal vir die pers van die volgende PBX'e beskou word, naamlik HMX/VB 95/5, HMX/EE asook KF-PBX.

iii) $\varnothing 38$ mm Persresultate

Vergelyk tabel 8.4 en figuur 8.7 :

- HXVB 9001G en HXCX 9501 lewer die hoogste %-TMD's, met HXKF 9501 die laagste.
- Die gemiddelde GPD was 97,8 %TMD, met al die formulerings binne die doelwitgrens van 97,0 %TMD.

- Die verskil tussen hoogste en laagste %-TMD is 1,6%, wat die effek van hoe druk op die meer elastiese binders illustreer, maar ook dat dit tot 'n kleiner mate as by $\varnothing 25$ mm plaasvind as gevolg van 'platter' persvorm.
- Die tendens by VB-PBX ten opsigte van polimeerinhoud vs %-TMD, is weereens waarneembaar.
- Onder hierdie perskondisies blyk grafietinhoud wel hoër VB-PBX %-TMD's teweeg te bring.
- Die terugspringeffek by toenemende KF-inhoud oorheers weereens die toename in %-TMD.
- Weereens het die elastiese KF-PBX'e die laagste groep-%-TMD.
- Die hoër %-TMD's wat in vergelyking met $\varnothing 25$ mm verkry is, kan aan twee meewerkende faktore toegeskryf word, naamlik die hoër persdrukke (250 vs 215 MPa) en $\varnothing:h$ van 38:15, dit wil sê kleiner gebiede van laer digtheid by enkelaksieperswerking, en kleiner terugspring as gevolg van korter lengte (laasgenoemde is 'n kumulatiewe effek).
- Bogenoemde faktore oorheers korter t, sodat %-TMD's van dieselfde grootte-orde as by $\varnothing 13$ mm

haalbaar is.

- Die 'krimpings effek' na persing is in 'n paar gevalle gemonitor (tabel 8.4) en toon dat veral KF en KG baie tydens afkoeling toeneem in digtheid. Hier speel die termiese krimpingskoëffisiënt van die materiaal 'n groot rol, wat nie met terugspring verwar moet word nie.

- VB-PBX toon min krimpings.

- Die perskondisies is dus vir die pers van hierdie kaliber geskik.

iv) $\varnothing 90$ mm

Vergelyk tabel 8.5 en figuur 8.8 :

- HXVB 9001G en HXKG 9701 lewer onder die gegewe perskondisies onderskeidelik die hoogste en laagste %-TMD.

- Die gemiddelde persdigtheid is 97,2 %TMD, met 5 formulerings onder 97 %TMD.

- Die verskil tussen hoogste en laagste is 2,4 %-TMD, wat op groter invloed van perskondisies as vroeër dui.

- Grafiet bevorder onder die gegewe perskondisies hoër %-TMD's.

- Dieselfde %-VB vs %-TMD positiewe korrelasie word waargeneem.
- VB word positief deur verlengde t beïnvloed, sou P verlaag word.
- Die relatief hoë groepdigtheid van KF-PBX bevestig die elastiese gedrag daarvan, by laer persdrukke (soos hier) blyk die effek minder te wees (minder terugspring).
- Steeds kan daar nie tussen 7,5 % en 10 % KF-PBX in terme van %-TMD onderskei word nie.
- Die effek van t op die elastiese KF binder is groter as die effek van P.
- KG-PBX toon meer P- en T-afhanklikheid as die ander binders.
- Die wye digtheidspektrum kan as volg geïnterpreteer word, naamlik dat ten spyte van laer P, was t in die gevalle van VB-, EE-, KF- en CX-PBX voldoende om (ooreenstemmende) hoë %-TMD's te haal, en ten spyte van plastiseerders teenwoordig, blyk hoër T en P noodsaaklik vir hoër GPD's vir PS- en KG-PBX'e te wees.
- Die rol wat HMX-kristalpakking speel, word hier weereens bevestig, deurdat aangeneem kan word dat

kristalbreking hier die minimum sal wees en die vereiste %-TMD's in sekere gevalle haalbaar is.

- Die krimpings van VB-PBX is weer die laagste, met KF-PBX meer beduidend.

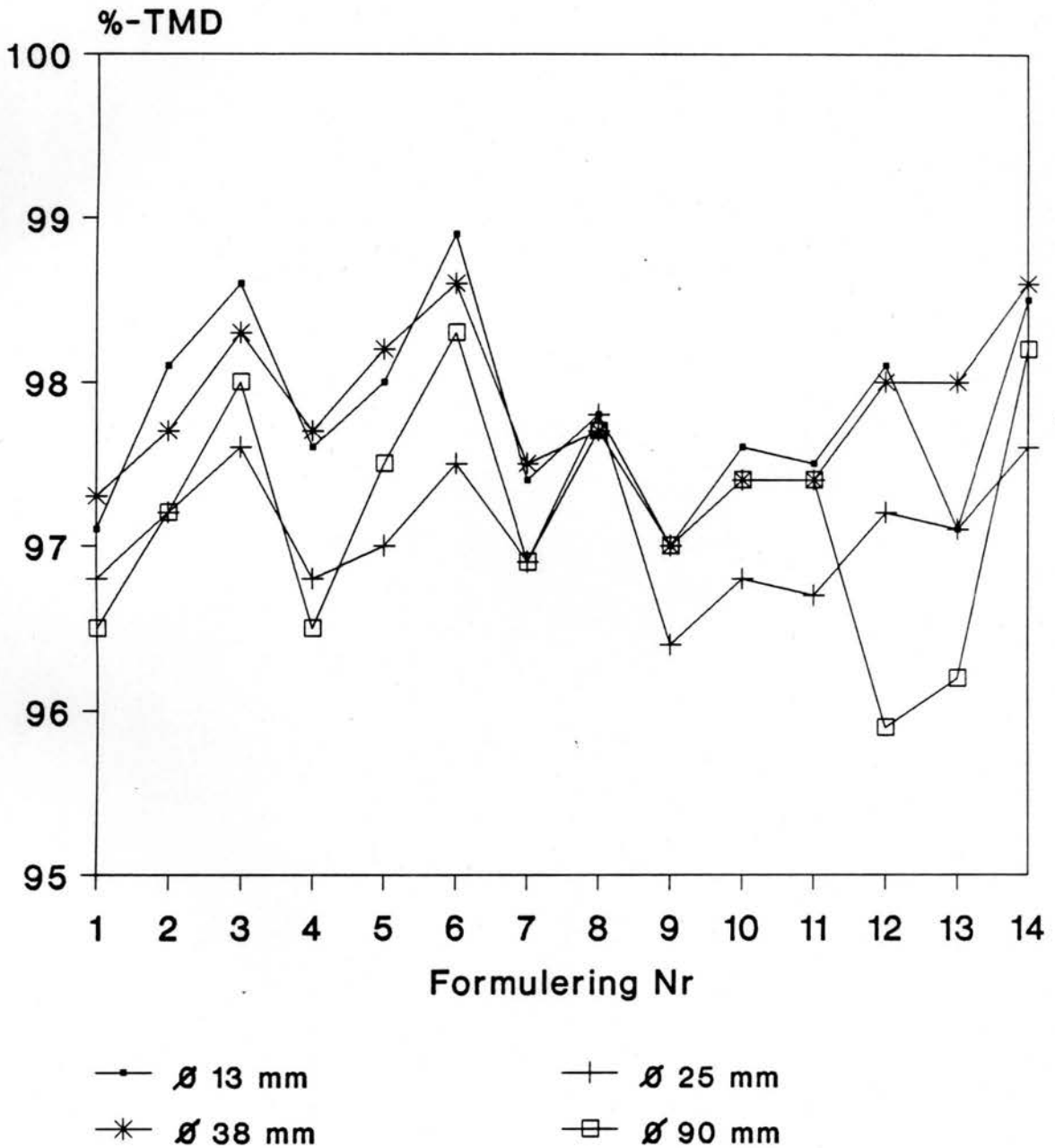
- Die perskondisies is, op die uitsondering van HXKG 9701 en HXPS 9201 na, geskik vir verdere implementering.

v) Samevatting van resultate

Die resultate van die ondersoek word saamgevat en %-TMD's word in Tabel 8.6 en figuur 8.9 weergegee.

Tabel 8.6 : OPSOMMENDE PERSRESULTATE

	KALIBER (mm)			
	ø13X13	ø25X25	ø38X15	ø90X70
Hoogste %TMD	HXVB 9001G	HXEE 9001 HXCX 9501	HXVB 9001G	HXVB 9001G
Laagste %TMD	HXKF 9501	HXKF 9501	HXKF 9501	HXKG 9701
Gem %-TMD	97,8	97,1	97,8	97,2
Elastiese binders	KF, PS	KF	KF	-
Grafiet invloed?	Ja	Nee	Ja	Ja
Verskil: hoogste vs laagste %TMD	1,9	1,4	1,6	2,4
Formulerings > 98 %TMD	HXVB 92501 HXVB 9001 HXVB 92501G HXVB 9501G HXKG 9701 HXCX 9501	-	HXVB 92501 HXVB 9001 HXCX 9501 HXKG 9701 HXPS 9201	HXVB 9001 HXVB 9001G HXCX 9501
> 97,5 %TMD	HXVB 9501G HXEE 9001 HXKF 92501 HXKF 9001	HXVB 9001 HXVB 9001G HXEE 9001	HXVB 92501 HXVB 9501G HXEE 9501 HXEE 9001	HXVB 92501G HXEE 9001
> 97,0 %TMD	HXVB 9501 HXEE 9501 HXKF 9501 HXPS 9201	HXVB 92501 HXVB 92501 HXKG 9701 HXPS 9201	HXVB 9501 HXKF 9501 HXKF 92501 HXKF 9001	HXVB 92501 HXKF 9501 HXKF 92501 HXKF 9001
> 96,5 %TMD	-	HXVB 9501 HXVB 92501 HXEE 9501 HXKF 9001	-	HXVB 9501 HXVB 9501G HXEE 9501
> 96,0 %TMD	-	HXKF 9501	-	HXPS 9201
< 96,0 %TMD	-	-	-	HXKG 9701

Figuur 8.9 : VERGELYKENDER PERSRESULTATE

Die volgende afleidings word na afloop van die persondersoeke gemaak, naamlik :

- Die besonder hoë %-TMD's van HXVB 9001G, HXCX 9501 en HXVB 9001 is opvallend.
- HXVB 9001G het deurgaans (behalwe by $\varnothing 25$ mm) die hoogste %-TMD gelewer. Dit kan aan die hoe VB-inhoud asook die teenwoordigheid van grafiet toegeskryf word.
- By VB-bevattende formuleringe is waargeneem dat hoe hoër die VB-inhoud, hoe hoër die %-TMD onder identiese perskondisies. Die goeie smeringseffek van die polimeer kan as rede hiervoor voorgehou word.
- Die effek van P raak kleiner met toenemende VB-inhoud, dit wil sê hoe hoër %VB hoe kleiner die P-effek in terme van %-TMD.
- Die byvoeging van grafiet as smeermiddel bevorder oor die algemeen VB-PBX se GPD's. Dit verminder interkristalwrywing, en tree as 'n derde komponent van 'n trimodale paksistiem op, dit wil sê optimum pakking.

- By die EE-PBX'e is daar ook 'n toename in %-TMD van 5% na 10% polimeer, wat weereens op goeie vervloeiingsgedrag van die poli-uretaan dui.
- Die verskillende perskondisies het die GPD's van HXEE 9001 die minste beïnvloed, met 'n verskil van slegs 0,1 %-TMD tussen hoogste en laagste persdigthede. Hieruit word afgelei dat HMX/EE 90/10 die minste afhanklik van perskondisies is.
- Die HMX/KF-sisteme toon 'n eienaardige tendens, dit is 'n toename in %-TMD van 5% na 7,5 %KF, en dan 'n feitlik identiese %-TMD vir 10% KF. Die terugspringeffek van KF speel hier 'n rol, dit wil sê by 7,5 %KF is die terugspringeffek vs smeringseffek optimaal. 'n Verdere verhoging in KF-inhoud veroorsaak nie 'n toename in %-TMD nie, alhoewel die lading tydens die persaksie moontlik van hoër digtheid sal wees. Opsommenderwys dus, 10% KF is te 'veel' binder vir hoë persdigthede.
- Die effek van P is kleiner as wat verwag is, byvoorbeeld 10 PBX'e met %-TMD hoër as 97% is by 120 MPa gepers. Hierdie effek kan egter nie in isolasie beskou word nie, maar in wisselwerking met t (vergelyk HXKF-PBX'e).

- HXKF-PBX-ladings lewer deurgaans die laagste %-TMD's, behalwe by $\varnothing 90$ mm. Die swak vloei-eienskappe en elastiese gedrag van die polimeer word as redes hiervoor aangevoer.
- Die KF-PBX'e het, waar gemonitor, die grootste mate van %-TMD verandering na persing ondergaan. Dit, tesame met die laer GPD's wat verkry is, bevestig die elastiese geaardheid van die binder.
- Die uiteenlopende stelle perskondisies vir die verskillende kalibers het in terme van %-TMD die grootste invloed op HXKG 9701 gehad, met 'n verskil van 2,2 %TMD ten opsigte van GPD. Uit die perskondisies blyk dit aan die gekombineerde invloede van P, T en \varnothing toeskryfbaar te wees.
- Dit blyk dat \varnothing en veral $\varnothing:h$ wel 'n invloed op sommige binders het, veral by PS-PBX waar laasgenoemde verhouding die hoogste was en 'n goeie persdigtheid (in vergelyking met die ander kalibers) gehaal is.
- Die hoogste gemiddelde %-TMD is met $\varnothing 13$ mm en $\varnothing 38$ mm perstoerusting verkry. Dit kan in eersgenoemde geval aan die klein persvolume en laasgenoemde geval aan die gunstige $\varnothing:h$ toegeskryf word.

- Die laagste gemiddelde %-TMD's is by $\varnothing 25$ mm verkry, maar dit is ook opvallend dat die kleinste verskil (1,4 %-TMD) voorgekom het. Dit dui daarop dat die perskondisies hier die meerderheid formulerings bevoordeel het, terwyl by byvoorbeeld $\varnothing 90$ mm spesifieke kondisies meer van toepassing op sommige formulerings as ander was.

8.4 GEVOLGTREKKINGS EN AANBEVELINGS

Die volgende afleidings en aanbevelings word in terme van die pers van die formulerings gemaak, naamlik :

i) VB:

Hoër %-TMD's sal verkry word, selfs by matige perskondisies, deur verhoging in polimeerinhoud van 5% na 10%. Die byvoeging van grafiet sal ook 'n positiewe rol in die verband speel.

ii) EE:

Die EE-bevattende PBX toon soortgelyke perseienskappe as VB-PBX, met die belangrike verskil dat by hoër EE-inhoude (10%) die formulerings minder kondisie- en kaliberafhanklik as enige van die ander formulerings is.

iii) KF:

KF is as binder vir die verkryging van hoe %-TMD's onder verdenking, en alle aanduidings is dat die binder groot terugspringkarakter openbaar. In terme van GPD is daar geen motivering om meer as 7,5% KF in die formulering te gebruik nie.

iv) KG:

Gegewe die regte perskondisies en -toerusting, kan bevredigende GPD's verkry word. Die invloed van P en T is groot en sou hierdie formulering ontwikkel word, sal hierdie aspek verder ondersoek moet word.

v) PS:

Weereens is die aanduidings dat hierdie PBX baie perskondisie-afhanklik is, asook dat redelike terugspring ondervind word. Hierdie formulering sal ook deeglik in terme van die persproses geoptimeer moet word, sou dit verder ondersoek word.

vi) CX:

Baie goeie persresultate is deurgaans verkry (vergelykbaar met HXVB 9001G) ten spyte van hoe HMX-inhoud (massagewys). Die polimeer is ook min kondisie- en kaliberafhanklik.

Naskrif:

'n Vergelyk tussen die eksperimentele resultate en die teoretiese waardes van Hoofstuk 7 is hier van toepassing.

- VB-PBX:

Hoe literatuur-GPD's (>98 %TMD) word gerapporteer vir HMX/Viton 95/5. Opvallende verskille is ten opsigte van t, wat volgens die literatuur tot hierdie GPD's aanleiding gee. Dit bevestig egter dat 'n volledige persprosesondersoek hierdie persdigthede moontlik sal maak.

- EE-PBX:

Daar is voorspel dat hierdie formulerings hoe digthede sal lewer, selfs al word slegs een prosesveranderlike beklemtoon. Dit is in ooreenstemming met die praktiese resultate, wat 'n onafhanklikheid van 'n spesifieke stel perskondisies aangetoon het.

- KF-PBX:

Uit die literatuurondersoek kon geen KF-PBX met GPD hoër as 98 %TMD opgespoor word nie. Dit is eksperimenteel ook so bevind, en die rede hiervoor is as die terugspring van die KF aangevoer, wat die ongunstige korreilmorfologie soos met die SEM aangetoon, bevestig.

- KG-PBX:

Lang draaltye en hoë persdruke is voorspel. Eksperimenteel is aangetoon dat die invloed van P groter as t is (by dieselfde, hoë T).

- PS-PBX:

Hoe P en T is voorspel, wat eksperimenteel bevestig is. Oor die algemeen verleen die formulerings hulself nie tot hoë %-TMD's nie.

Ongelukkig is geen literatuur oor die pers van CX-PBX beskikbaar nie, sodat geen vergelyk gemaak kan word nie.

HOOFSTUK 9

INSETTE TOT PBX-AANLEGONTWERP

In die voorafgaande hoofstukke is die vervaardiging en die persing van pers-PBX'e uit teoretiese, asook praktiese oorwegings weergegee. Alvorens die eienskappe van die geperste ladings ondersoek word, sal daar in hierdie hoofstuk 'n kort oorsig van die vereistes vir 'n produksieskaal PBX-aanleg gegee word. Dit word aan die hand van 'n tipiese gebruikersbehoefte vir die PBX-ladings in terme van missielhoeveelhede, gegee.

Die dimensies van die lading van die missielplofkop is tipies silindries, byvoorbeeld $\varnothing 160$ mm X h350 mm. Vir die doeleindes van hierdie ondersoek is hierdie waardes as eksak aanvaar. Tipiese TMD's vir die PBX'e onder bespreking beloop $1,850$ g/cm³, en 'n GPD van 98 %TMD word as doelwit gestel. 'n Eenvoudige berekening toon aan dat 'n ladingmassa van $12,76$ kg dus as tipies vir 'n enkel plofkop voorgehou kan word. Indien 'n jaarlikse behoefte van 300 plofkoppe aangeneem word, impliseer dit ca. 4000 kg PBX per jaar, wat gerieflik in lotgroottes van 100kg vervaardig moet kan word. Die PBX-produksiebehoeftestelling kan dus nou as volg geformuleer word, naamlik die vermoë om 100 kg PBX-lotte volgens die normale floddertegniek te kan vervaardig, en die vermoë om, $\varnothing 160$ mm ladings te kan pers. Die tersaaklike insette wat op hierdie stadium tot aanlegontwerp gemaak kan word, word vervolgens weergegee.

9.1 PRODUKSIESKAAL PBX-VERVAARDIGING

Die besprekings van Hoofstuk 5 is hier van toepassing, en enkele aspekte word uitgelig :

- die 'normale' floddertegniek is as die aangewese metode geïdentifiseer,
- hierdie tegniek vereis sekere basiese infrastruktuur, dit is 'n doelgeskikte oplosvat vir die polimeer, 'n distilleervat met roerder en kolom, 'n distillaatopvangvat, asook filtreer- en droogtoerusting, en
- die vloeidiagram van figuur 5.1 is van toepassing.

Die uitgangspunt is om die toerusting waarin die prosesse vir hierdie ondersoek deurgevoer is, op te skaal. 'n Tweede aspek is die aanpasbaarheid van die produksietoerusting vir die volle spektrum van PBX-korrelprodukte (ander toepassings kan gemodifiseerde of selfs totaal ander komponentsamestellings hê). Die ontwerpsinsette is op hierdie twee oogmerke gebaseer.

i) Ontwerp kriteria

Die resultate van Tabel 5.1 word hier gebruik, naamlik :

- die verhouding HMX:polimeer wissel tussen 97:3 tot 90:10 --- A
- die binderkonsentrasie wissel tussen 8% en 22% massa/massa, --- B
- die verhouding water:oplosmiddel varieer van 9,3:1 tot 20,2:1, en --- C
- die water:HMX wissel van 5,26:1 tot 8,73:1 . --- D

Word bogenoemde 100 kg PBX-lotte van toepassing gemaak, kan sekere wye ontwerp grense vir die proestoerusting bereken word:

- massa HMX per lot : 97 kg (maks) en 90 kg (min) --- E
- massa binder per lot : 10 kg (maks) en 3 kg (min) --- F

- Uit D en E volg dat massa water in distilleervat :

Vir 97/3 HMX/binder: $5,26 \times 97 = 510,22$ kg min
 $8,73 \times 97 = 846,81$ kg maks

Vir 90/10 HMX/binder: $5,26 \times 90 = 473,40$ kg min
 $8,73 \times 90 = 785,70$ kg maks

dit wil sê in terme van watermassa:

min = 473,40 - 450 l --- G

maks = 846,81 - 850 l --- H

(G en H sluit volume bydraes van oplosmiddel, binder en HMX uit)

- Uit B en F volg massa oplosmiddel vir 8% binderkonsentrasie:

Vir 3 kg binder: 37,5 kg oplosmiddel

Vir 10 kg binder : 125 kg oplosmiddel

massa oplosmiddel vir 22% binderkonsentrasie:

Vir 3 kg binder: 13,64 kg oplosmiddel

Vir 10 kg binder: 45,45 kg oplosmiddel

dit wil sê kapasiteit van oplosvat:

min : 13,64 ~ 12 kg --- I

maks: 125 ~ 130 kg --- J

- Uit C, I en J volg:

Water:oplosmiddel (min) 9,3:1

dit wil sê vir 130 kg binderoplosmiddel - 1209 kg

water, dit wil sê ca. 1250 l water --- K

Om bogenoemde berekeninge realisties in terme van die praktyk te hou, is slegs die minimum water:oplosmiddel beskou. Die maksimum waarde sou 'n watervatvolume van 2600 kg en hoër impliseer, wat in terme van werkbare kapasiteit te groot sal wees om ook die minimum kapasiteit van G ook gerieflik te kan akkomodeer. Indien sodanige

verhoudings wel vereis word, sal daar na kleiner lotgroottes gegaan moet word.

Die onderskeie vatkapasiteite kan in terme van liter bereken word:

ii) Distilleervat

Die distilleervat moet in terme van kapasiteit vir die grootste volume water, plus die grootste volume oplosmiddel, plus die volume PBX voorsiening maak, asook vir voldoende vryruimte in die vat om die distilleer- en roereffekte te kan akkomodeer.

Laasgenoemde word normaalweg uit

ingenieursoorwegings as minstens $1/3$ van die gesamentlike mengselvolume geneem. --- L

Uit G is die minimum kapasiteit berekenbaar, naamlik 450 l.

Die maksimum kapasiteit :

Uit K : maks volume water: 1250 l

Uit J : maks massa oplosmiddel : 130 kg
dit wil sê (vir MEK, met laagste TMD): 161,7 l

Maks massa PBX : 100 kg

dit wil sê (@ 1,9 kg/dm³) ; 52,6 l

$$\begin{aligned} \text{Hieruit is maks volume : } & 1250 + 161,7 + 52,6 \text{ l} \\ & = 1464,3 - 1500 \text{ l} \quad \text{--- M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Uit L en M volg dus vatvolume } & 1500 \times 4/3 = 2000 \text{ l} \\ & \text{--- N} \end{aligned}$$

iii) Bindervat

$$\begin{aligned} \text{Uit I is min oplosmiddelmasa : } & 12 \text{ kg} \sim 9 \text{ l} \\ \text{(metileenchloried)} & \text{--- O} \end{aligned}$$

$$\text{Uit J is maks : } 130 \text{ kg} \sim 161,7 \text{ l (MEK)}$$

Die maksimum massa polimeer wat volgens die aannames van hierdie hoofstuk opgelos sal word, bedra 10 kg. Uit digtheidsoorwegings sal 10 kg KG die grootste volume beslaan, naamlik 10,6 l. Die maksimum kapasiteit van die bindervat moet dus $(161,7 + 10,6) = 172,3 \approx 175 \text{ l}$ wees.

Die voorafgaande kapasiteite word in Tabel 9.1 aan die hand van opgeskaalde prosesondisies (tabel 5.1) getoets.

Hierdie tabel toon dat die PBX-formulerings gerieflik in die voorgestelde toerusting vervaardig kan word.

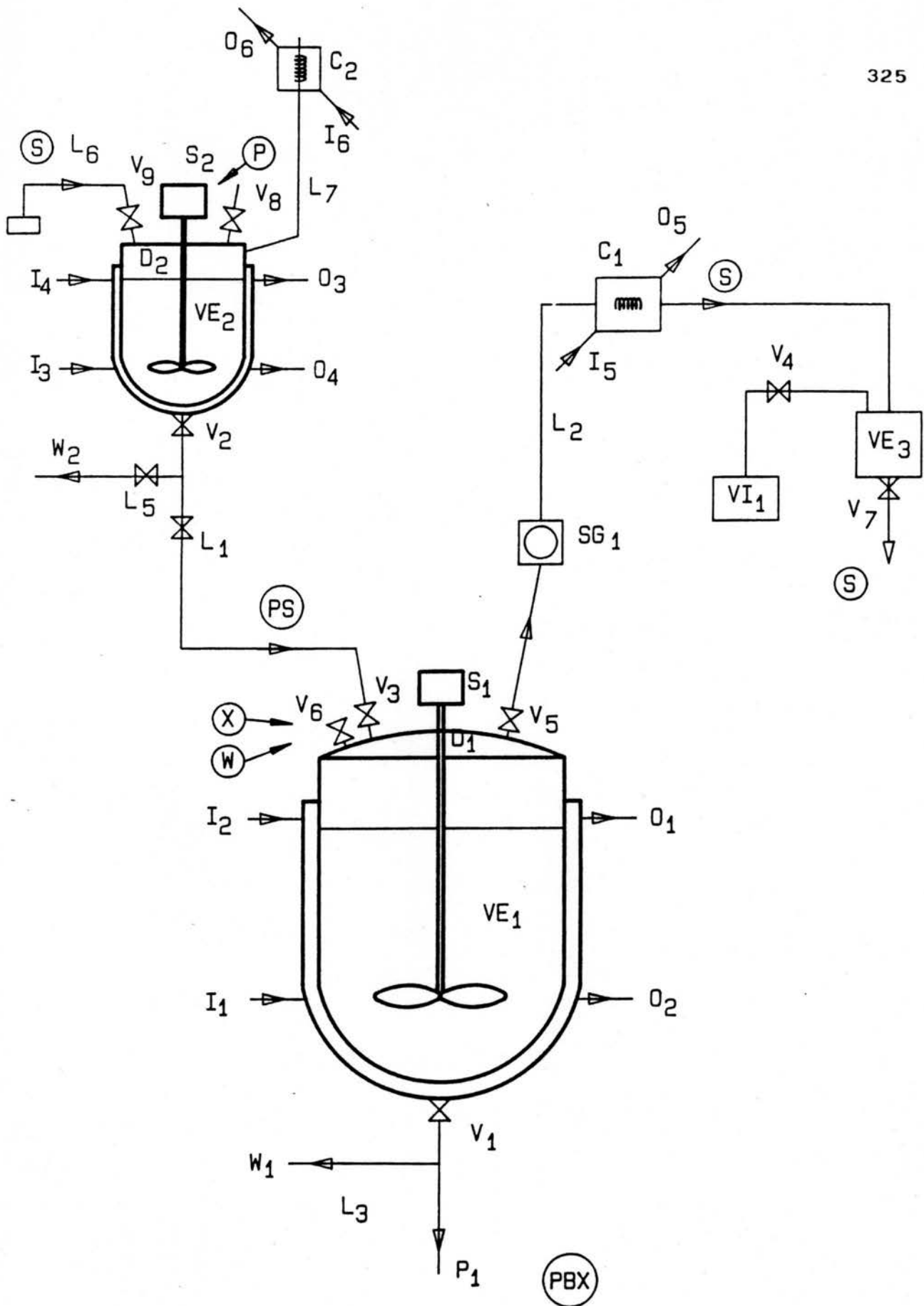
Tabel 9.1 : VOLUMES VIR 100 KG PBX-LOTTE (GEBASEER OP TABEL 5.1)

FORMULERING	MASSA HMX (kg)	MASSA BINDER (kg)	VOLUME WATER (kg)	VOLUME OPLOS- MIDDEL (kg)	V(oplm) + V(binder) (kg)	V(oplm) + V(binder) +V(HMX) + V(water) (kg)
HXVB 9501	95	5	786	71	73,8	908,8
HXVB 92501	92,5	7,5	500	60	64,1	612,9
HXVB 9001	90	10	500	40	45,5	592,9
HXVB 9501G	94,5	5,5	786	71	74 *	909,7
HXVB 92501G	92	8	500	60	644 *	612,8 *
HXVB 9001G	90	10	500	40	45,5 *	592,9 *
HXEE 9501	95	5	500	60	64,2	614,2
HXEE 9001	90	10	600	50	58,9	706,3
HXKF 9501	95	5	500	30	32,5	582,5
HXKF 92501	92,5	7,5	500	40	43,7	591,1
HXKF 9001	90	10	500	50	55,0	602,4 *
HXKG 9701	97	3	600	30	33,3 *	684,4 *
HXPS 9201	92	8	800	30	37,1 *	885,5 *
HXCX 9501	95	5	500	40	45,3	592,7

(* = BENADERD)

iv) Uitleg

Die infrastruktuur van die PBX-aanleg word aan die hand van figuur 9.1 bespreek. Die vereenvoudigde voorstelling toon die hooftoerusting wat vir die bereiding van PBX-lotte volgens die normale floddertegniek benodig word.



Figuur 9.1 : PBX-AANLEGUITLEG

Die toerusting bestaan uit die 2000l mantelverhitbare distilleervat (VE1) met 'n hoëspoed roerder (S1). Twee in- en uitlate lei na die vatwant, vir stoomverhitting (I2,02) en koue waterafkoeling (I1,01) onderskeidelik. 'n Uitlaatklep (V1) word vir die uitlaai van die PBX-produk (P1) benodig (of indien die water uitgelaat moet word via L3). 'n Afdigbare opening (V6) word bo-op die vat aangebring vir die inlaai van die brisantstof (X) en die water (W). Laasgenoemde moet egter verkieslik direk ingelaat kan word, mits doeltreffende meetapparaat aangebring kan word. Die vat moet van sigglase en vlakaanduiers ('level indicators') voorsien wees. Die dekselgedeelte (D1) moet maklik verwyder kan word vir skoonmaakdoeleindes. 'n Klep (V5) verbind die distilleervat met die distilleerkolom, terwyl nog 'n klep (V3) die distilleervat van die oplosvat kan afsluit tydens distillasie. Die 175l oplosvat (VE2) is, soos die distilleervat, stoomverhitbaar (I4,04) en waterkoelbaar (I3,03). Die vat moet ook van sigglase en vlakaanduiers voorsien wees, ten einde die vatvolume akkuraat te kan meet. 'n Klep (V2) sluit die bindervat tydens binderoplossingbereiding af. Hierdie klep, asook die een by die distilleervat (V3), word oopgemaak wanneer die polimeeroplossing (PS) via die binderlyn (L1) na die distilleervat gevoer word. Hierdie lyn moet so kort

en obstruksievry moontlik wees om beheerbare oordrag van die oplossing na die bindervat te verseker. Voorts moet die vat van 'n geskikte roerder (S2) wat die minimum kapasiteit van 10l kan hanteer, voorsien wees. 'n Inlaai-opening wat met 'n klep (V8) afgedig kan word, word aangebring ten einde die polimeer (P) te kan inlaai. Oplosmiddel (S) word vanaf die oplosmiddelvot via die oplosmiddellyn (L6) na die bindervat gepomp. 'n Klep (V9) sluit hierdie lyn af. Die bindervat het ook 'n verwyderbare deksel (D2) nodig, sodat die vat skoongemaak kan word. 'n Kondensator (C2) koel oplosmiddel wat tydens verhitte oplosaksies mag verdamp, af en laat dit via die kondensaatlyn (L7) na die vat terugloop. Die distilleerkolom en -lyn (L2) is van 'n sigglas (SG1) voorsien om dampvloei te kan waarneem. 'n Waterverkoelde kondensator (C1, I5, O5) koel die oplosmiddeldampe (S) af sodat dit kondenseer en na die opvangvat (VE3) vloei. Dit sal moontlik wees om die distillasieproses te versnel deur middel van vakuum vanaf 'n vakuumpomp (VI1) wat via die klep (V4) op die distilleersistiem aangewend kan word. Die oplosmiddel kan via die klep (V7) uit die opvangvat getap word vir verdere gebruik (byvoorbeeld oplosmiddelherwinning).

9.2 PERSEASILITEIT

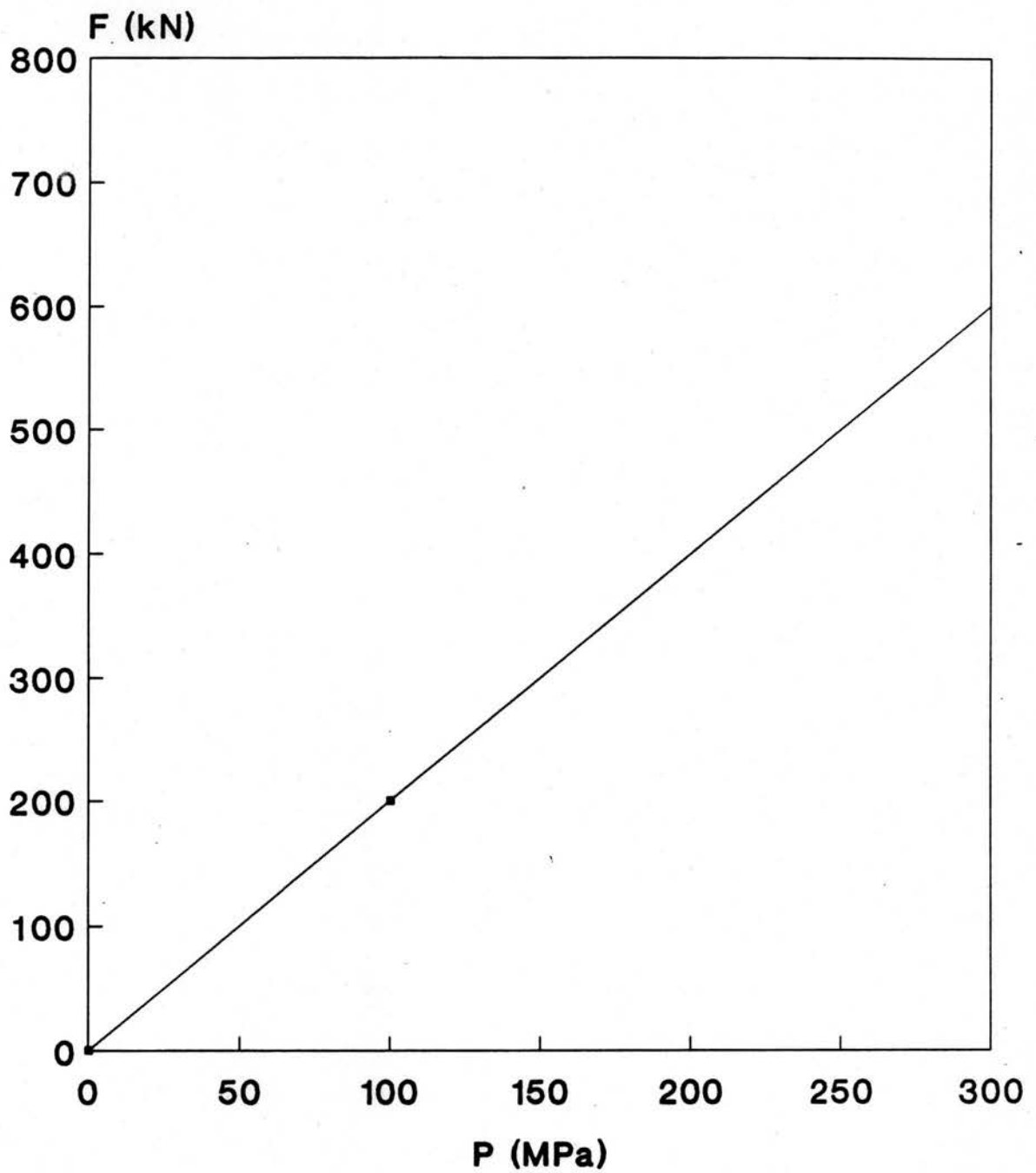
In die inleidingsparagraaf tot hierdie hoofstuk is die ladingdimensies van $\varnothing 160\text{mm} \times h350\text{mm}$ voorgehou. Ten eerste word die vereiste P vir hierdie kaliber bereken, waarna die perstoerusting en verwante infrastruktuur beskou word.

i) Persvermoë

Ten einde die persdrukke vir $\varnothing 160\text{ mm}$ te bereken, moet die resultate van Hoofstukke 7 en 8 gebruik word. Die P vs F-kurwe vir hierdie kaliber verskyn as figuur 9.2. Ter illustrasie word die maksimum bereik van 'n 150t pers (soos wat vir hierdie ondersoek gebruik is) daarop aangetoon, naamlik 74 MPa. Uit die literatuur word persdrukke so hoog as 345 MPa gerapporteer, alhoewel 200 MPa meer gebruiklik is. Laasgenoemde druk sal 'n tonnemaat van 400t verg (4000 kN). Die eksperimentele resultate van figuur 8.9 is ook van belang, waar persdrukke so hoog as 250 MPa gebruik is om bepaalde hoë digtheid vir die formulerings te verkry. Hierdie drukke impliseer 500t persvermoë.

ii) Perstoerusting

Die bespreking van Hoofstuk 7 is van toepassing. Isostatiese persing is as nie-doelgeskik vir produksiedoeleindes geïdentifiseer, wat twee opsies laat, naamlike enkel- of dubbelaksie hidrouliese persing.



Figuur 9.2 : F VS P-KURWE VIR $\phi 160$ mm

- Enkelaksiepersing

Hier word die $\phi:h$ tot 1:1 beperk. Uit die eksperimentele resultate van Hoofstuk 8 wil dit voorkom asof hierdie verhouding ook deur die kaliber beïnvloed word (vgl laer %-TMD's by $\phi 25 \times 25$ as $\phi 13 \times 13$ tsv hoër persdrukke). Uit 'n suiwer ontwerpsoogpunt egter, kan 1:1 as 'n praktiese limiet beskou word, dit wil sê $\phi 160:h 160$. Die vereiste totale ladinghoogte van 350 mm kan dus met minimum 3 ladings gehaal word. Om die mees eweredige digtheidsverspreiding te bewerkstellig, sal 'n ladinghoogte van $350/3 = 116,7$ mm gepers moet word, wat $\phi:h$ van 1:0,73 lewer (naastenby dieselfde as $\phi 90$ mm vir hierdie ondersoek). Daar is ook aangetoon dat die plofkop 'n PBX-massa van 12,8 kg totaal benodig. Indien die hooflading uit 3 subladings saamgestel word, elk met die dimensies hierbo gespesifiseer, sal dit 'n subladingsmassa van $12,8/3 \sim 4,3$ kg vereis. Die perstoerusting sal dus uit massadigtheidsoorwegings hierdie massa moet kan akkomodeer. Indien die massadigthede van Hoofstuk 6 as tipies beskou word, met $0,50 \text{ g/cm}^3$ as 'n slegste ondergrens, beteken dit 'n perssilindervolume van $4300/0,50 = 8600 \text{ cm}^3$. Ten einde hierdie volume in 'n $\phi 160$ mm perssilinder te kan akkomodeer, moet 'n silinderhoogte van ca. 428 mm aangebring word. Vir 'n enkelaksiepers moet die binnedimensies van die perstoerusting dus $\phi 160 \text{ mm} \times h 430 \text{ mm}$ wees, om die betrokke formulerings te kan akkomodeer.

- Dubbelaksiepersing

Hier is die verhouding $\phi:h$ 1:2, met ander woorde teoreties $\phi 160$ mm X $h 320$ mm. Weereens kan gesien word dat die plofkoplading nie eenmalig nie, maar in minstens twee subladings gepers moet word. Indien twee identiese samestellende subladings gebruik word, sal dit 'n ladinghoogte van $350/2 = 175$ mm meebring, dit wil sê $\phi:h$ van 1:1,09, wat baie gunstig vir die simmetriese digtheidsverspreiding is. Elkeen van die subladings sal 'n massa van $12,8/2 = 6,4$ kg besit, wat teoreties in die slegste geval 'n perssilindervolume van 12800 cm³ sal vereis. Gegewe $\phi 160$ mm, beteken dit 'n silinderhoogte van 637 mm, om die massadigtheid van die perskorrels te kan akkomodeer. Vir dubbelaksiepersing sal die perssilinder dus die dimensies van $\phi 160$ mm X $h 640$ mm moet hê.

In albei die bostaande gevalle is die $h(\text{vóór persing}):h(\text{ná persing})$ in die orde van 3,64:1. Die optimering van die massadigtheid van die perskorrels sal hierdie verhouding verklein, wat die voordeel inhou dat die perstoerusting kleiner (en dus meer ekonomies) vervaardigbaar is.

iii) Ander infrastruktuur

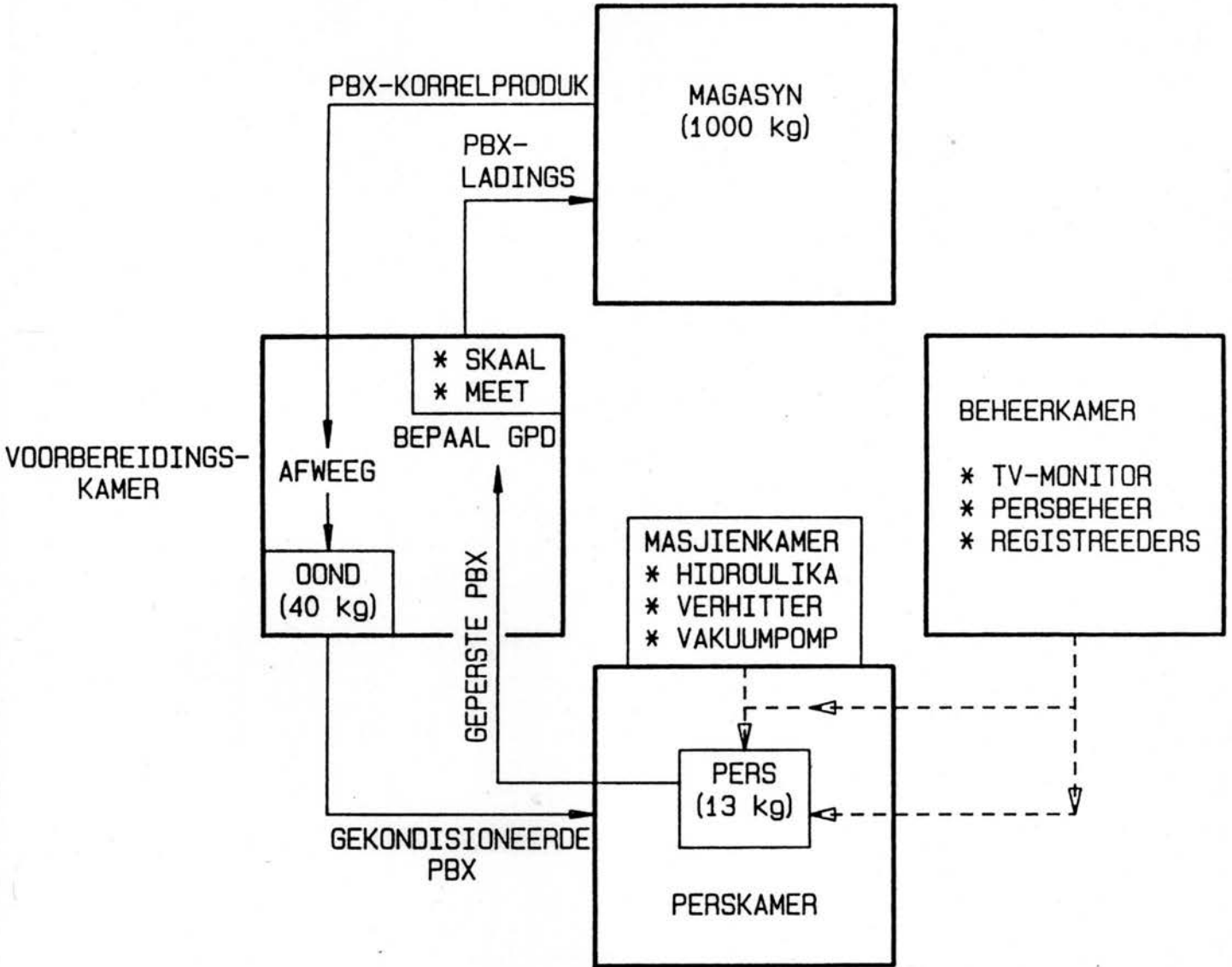
Addisioneel tot die pers en die perstoerusting, word die volgende basiese infrastruktuur ook benodig:

- 'n Voorbereidingskamer met akkurate massameters waar PBX-korrels afgeweeg kan word voor persing.
- 'n Kondisioneringskamer met oonde waarin die perskorrels gekondisioneer kan word. Hierdie oonde moet akkuraat tot 120 °C verhit- en beheerbaar wees, en die kapasiteit moet sodanig wees dat genoeg ploffstof vir drie ladings gelyktydig in plat panne verhit kan word, dit wil se $3 \times 12,76 = 38,28$ kg.
- 'n Perskamer waarbinne die pers met genoegsame werkruimte geakkomodeer kan word. Vanweë die hoë risiko verbonde aan die persaksie word die persaktiwiteit alleen in 'n vertrek verkies, dit wil sê nie in kombinasie met ander aktiwiteite nie.
- 'n Motorkamer waarbinne die pers(e) se hidrouliese eenhede, die verhittingseenheid vir die perstoerusting en die vakuumpomp gehuisves kan word. Die verhittingseenheid vir die pers moet oor die soortgelyke temperatuurgebied as die oonde beheer kan word, terwyl die vakuumpomp -100 kPa moet kan lewer.
- 'n Beheerkamer vanwaar alle persaksies, met uitsondering van die inlaai van die perskorrels in die perssilinder en die verwydering van die geperste lading, afstandbeheer en -gemonitor kan word. Dit vereis TV-monitortoerusting en registreerders, sodat akkurate rekord van die verskillende persaksies

gehou kan word,

- 'n Laboratorium waar die geperste ladings dimensioneel gemeet en massamettings gedoen kan word, ten einde GPD's te kan bereken.
- 'n Magasyn waarin PBX-perskorrels vooraf, en ladings na persing, geberg kan word (1000 kg).

Sommige van bogenoemde aksies kan in dieselfde vertrek geskied, maar aparte vertrekke sal vir die perskamer, magasyn, beheerkamer en motorkamer benodig word. 'n Vloeidiagram vir hierdie persfasiliteit verskyn in figuur 9.3.



Figuur 9.3 : VLOEIDIAGRAM VIR PERSFASILITEIT

9.3 EKONOMIESE ASPEKTE

Alhoewel daar nie op hierdie stadium uitsluitel rakende die werklike kostes verbonde aan die bedryf van 'n pers-PBX-aanleg gegee kan word nie, kan die faktore wat die ekonomie van die aanleg beïnvloed, geïdentifiseer word. Volwaardige prosesoptimeringstudies moet onderneem word om die eenheidspryse te verlaag.

i) PBX-korrelvervaardiging

Die doelwit hier moet wees om 100 kg korrelproduk in die kortste moontlike tyd te vervaardig, te droog en volgens spesifikasie te analiseer. Om dit te kan doen, moet die volgende prosesfaktore ten opsigte van mekaar geoptimeer word:

- Binderoplostyd, dit wil sê ook T, konsentrasie en oplosmiddeltipe. Hoër oplostemperature en lae konsentrasies sal hier bevoordeel word.
- Distillasietydsduur, dit wil sê tempo van hittetoediening aan reaksiemengsel, hoeveelheid en tipe aseotropiese oplosmiddel. Die tempo moet so hoog moontlik wees sonder om oorkoking te veroorsaak, terwyl minder oplosmiddel (dit wil sê meer gekonsentreerde oplossings) hierdeur bevoordeel word.
- Voorafverhitting van die waterflodder tot 'n temperatuur onder die aseotropiese kookpunt.

- Die gebruik van vakuum/negatiewe druk tydens distillasies.
- Tempo van binderbyvoeging.
- Oplosmiddeluitdrywing: distillasie vs droging.
- Gelyktydige droog van veelvuldige lotte.
- Die herwinning en hergebruik van oplosmiddels.

ii) PBX-persing

Die volgende doelwit word hier voorgehou, naamlik om die PBX-lading met die hoogste, homogene GPD in die kortste moontlike tydsduur daar te stel, met ander woorde die hoogste frekwensie van persing. Om dit te kan bereik, moet die volgende prosesveranderlikes geoptimeer word (in afnemende volgorde van belangrikheid):

- Persdraaltyd t (korter draaltye impliseer hoër omkeertyd).
- Effektiewe vooraf-kondisionering (so kort en energie-ekonomies moontlik).
- Eenvoud van persproses, dit wil sê nodigheid om ekstra persaksies soos komplekse drukverligting deur te voer (byvoorbeeld ter voorkoming van dekselvorming).
- Perstemperatuur T (so laag moontlik om

energieverliese te voorkom).

- Persdruk P (waarskynlik die mins belangrike faktor, veiligheid nie inaggenome).

Hierbenewens is die perstegniek ook belangrik dit wil se enkel- vs dubbelaksiepersing, aangesien berekeninge aantoon dat dubbelaksiepersing die produksietempo met tot 50% kan verhoog.

iii) Eenheidsprys van PBX'e

Hier is die grondstof- (of materiaal-) koste per eenheid (dit is kg of lading) ter sprake. Die volgende aannames word vir hierdie eerste-orde vergelyking gemaak:

- Die vervaardigings- en persprosesse vir die verskillende formulerings is ekwivalent,
- Die koste van die polimeer dra 80% van die verskil tussen eenheidspryse by,
- Besikbaarheid van polimere (strategiese redes) beïnvloed die prys daarvan,
- HMX-koste beïnvloed die eenheidsprys, dit wil se hoe hoër die HMX-inhoud hoe groter die invloed (10% bydrae),
- Die tydsduur per lot is uit vervaardigingsoorwegings langer waar groter hoeveelhede oplosmiddels ter sprake is (10% invloed van distillasietye).

HOOFSTUK 10

IDENTIFISERING VAN PBX-KARAKTERISERINGSTOETSE

In die voorafgaande hoofstukke is die vervaardiging en persing van die geïdentifiseerde PBX-formulerings bespreek, en enkele fisiese, chemiese sensitiwiteits- en termiese eienskappe is getoon, byvoorbeeld chemiese samestelling, fisiese voorkoms, digtheid, sensitiwiteit ten opsigte van impak, asook verenigbaarhede en VTS. Insiggewende inligting is reeds ingewin, byvoorbeeld dat die formulerings tot hoër %-TMD's persbaar is, dat die PBX-formulerings almal stabiel tot 170 °C is, dat al die formulerings van dieselfde impaksensitiwiteitsorde is en dat lang blootstellingstye by 150 °C uitstekende termiese stabiliteit bewys. Dié eienskappe is egter nog nie voldoende om andersyds die korrekte keuse van formulerings uit die literatuur te bevestig nie en andersyds om 'n sinvolle keuse ten opsigte van 'n kandidaatformulering vir verdere ontwikkeling te kan maak nie. Aangesien 'n wye verskeidenheid van brisantstofkarakteriseringstoetse bestaan, is dit nodig om die relevante toetsmetodes ter voltooiing van die ondersoek, te identifiseer. Hierdie keuse sal vervolgens aan die hand van twee oorwegings gedoen word, naamlik :

- i) die behoeftestelling van Hoofstuk 1, en
- ii) standaard toetsprosedures vir brisantstowwe soos neergele deur die VSA-Vloot, in die gesaghebbende toetsprosedure NAVORD OD 44811 ⁶².

Op hierdie stadium is dit belangrik om 'n onderskeid tussen produk-karakterisering en -kwalifisering te maak.

Eersgenoemde verwys na die bepaling van eienskappe, terwyl laasgenoemde vir 'n spesifieke toepassing uitgevoer word.

Hierdie ondersoek stel die karakterisering van 'n reeks PBX'e ten doel, maar die uitvloeisel hiervan sal die kwalifisering van 'n spesifieke samestelling vir missielplofkoptoepassing wees. Die NAVORD-dokument is ook daarop gemik om kwalifikasieskedules vir brisantstowwe daar te stel, maar nogtans kan die belangrikste beoordelingskriteria vir kandidaatformulerings daaruit afgelei word.

10.1 VERPLIGTE KARAKTERISERINGSTOETSE ⁶²

Die toetsprosedures soos van toepassing op hoofladings word bespreek. Dié volgende toetse is verpligtend alvorens enige brisantstofseleksie gemaak kan word (geen detail rakende toetsprosedure word hier gegee nie, aangesien dit van instansie tot instansie kan verskil):

i) Impaksensitiwiteit

Hier is die valhamertoets ter sprake. Geen formele 'Slaag/dop'-kriteria bestaan nie, alhoewel die algemene riglyn vereis dat die brisantstof nie meer sensitief as suiwer RDX moet wees nie, met ideale sensitiwiteit in die orde van Komposisie B (RDX/TNT 60/40).

ii) Skoksensitiwiteit

Normaalweg word die sogenaamde Grootskaalgapingstoets (GSGT) vir hierdie bepaling gedoen. Hiervolgens word die insisieerbaarheid van 'n hooflading relatief of absoluut bepaal. Die insisieerbaarheid van tetriël dien as 'sensitiefste' grens, met skoksensitiwiteit soos Komp B as aanvaarbaar.

iii) Wrywingsensitiwiteit

Die skuurgevoeligheid van brisantstowwe is uit prosesseringsoorwegings belangrik. Die wrywingsensitiwiteit van PETN (Pentra-eritrioltetranitraat) gee die limiet van onvaarbaarheid, dit wil se die toetsmonster moet meer wrywingstabiel as PETN wees.

iv) Elektrostatiese sensitiwiteit

Die bepaling word geoden ten einde relatiewe veiligheid van elektrostatiese ontlading deur gelaaide voorwerpe of persone te waarborg. 'n Minimum energie-ontlading van 0,25 J, sonder reaksie van die toetsmonster, word vereis.

v) Vakuumtermiese stabiliteit (VTS)

Hierdie toetsprosedure is reeds in Hoofstuk 6 aangespreek.

vi) Groei en Eksudasie

Groeitoetse bepaal ladings se dimensionele (en dus fisiese) respons tot temperatuursiklusse, terwyl eksudasietoetse die relatiewe mobiliteit van samestellende komponente meet (laasgenoemde van toepassing op brisantstowwe wat vloeistowwe soos plastiseerders bevat). Groei van ladings tot meer as 1% in volume, asook eksudasiemassaverliese van groter as 0,1%, is onaanvaarbaar vir hoofladingtoepassing.

vii) Selfverhitting

Geen brisantstoflading mag spontaan deflagreer of ontbind as gevolg van blootstelling aan 'n gespesifiseerde hoe temperatuurlimiet, en vir verlengde tydsdure by 71 °C, nie. Die kritieke selfontbrandingstemperatuur vir die lading moet verder bekend wees.

viii) Detonatiesnelheid

Die detonatiesnelheid van enige hoofladingsbrisantstof moet bekend wees.

ix) Gevaarklassifikasie

Die klassifikasie van die brisantstof in terme van risiko moet bekend wees. Die data wat uit bostaande toetse ingewin word, is dus noodsaaklike insette tot die aanvaarbaarheid (aldan nie) van die brisantstof. Bogenoemde toetse is egter nie die enigste wat gedoen kan word nie.

10.2 ADDISIONELE KARAKTERISERINGSTOETSE ⁴²

Die volgende toetse kan ook as van toepassing op brisantstowwe vir missielplofkop beskou word :

i) Koeëlimpaksensitiwiteit

Hierdie toets dien as karakteriseringstoets en die resultate kan vanweë die uiteenlopende aard daarvan, nie in isolasie beskou of as enigste 'slaag/dop'-kriterium gebruik word nie. Gewoonlik is reaksietipes wat monster-deflagrasie of -detonatie behels, onaanvaarbaar.

ii) Glytoets

Hierdie toets vir hanteringsveiligheid bepaal die risiko verbonde aan die hantering van ladings in die prosesseringsarea. Weereens is hoë-orde reaksies van die toetsmonster, onder gelyktydige kondisies van impak en wrywing, onaanvaarbaar.

iii) Hoë temperatuur-blootstelling

Hier word die toetsmonster aan die verwagte temperatuuruiteerste vir 'n realistiese tydsduur blootgestel, waarna dit vir onomkeerbare groei, krake, eksudasie en massaverlies as gevolg van die blootstelling, getoets word. Voorkoms van laasgenoemde is onwenslik.

iv) Fisiese eienskappe

Hier is die smeltpunt en die versagtingstemperatuur van die brisantstof ter sake. Gewoonlik is enige van hierdie oorgange onder 60 °C (vir 'n lading) ongewens.

v) Fisiese eienskappe oor die aanwendingstemperatuur-gebied

Die fisiese eienskappe van die toetsmonster word bepaal, en die aanvaardingskriterium is dat dit nie oor die aanwendingspektrum moet smelt of polimorftransformasies ondergaan nie.

vi) Giftigheid

Die giftigheid van die brisantstof moet bekend wees, sodat dit dienooreenkomstig hanteer kan word.

vii) Termiese Uitsettingskoeffisient (TUK)

Dit is belangrik dat die plofkopontwerper die termiese gedrag van die brisantstof in terme van inkrimpings- en uitsettingstempo kwantitatief weet, sodat die plofkopmateriale dit kan akkomodeer.

viii) Buigbaarheid

ix) Hardheid

x) Druksterkte

xi) Treksterkte

Bogenoemde toetse bepaal die meganiese eienskappe van 'n brisantstof, en die resultate moet altyd in samehang met ander karakteristieke (soos sensitiwiteit) beskou word ten einde die gewenste groothede vir elkeen te kan definieer.

xii) Massadigtheid

Bogenoemde is op die korreldruk van persbare brisantstowwe van toepassing.

xiii) Samestellingsanalise

xiv) Inisieërbaarheid

Die wigtoets (bv) gee kwantitatiewe inligting oor die detonasie-opbougedrag van brisantstowwe, en meet die vertraging tot detonasie-oorgang in terme van afstand en tyd, as 'n funksie van inisiëringsdruk.

xv) Fragmentasietoets

Die mees algemene toetsmetode vir die energieleweringspotensiaal van brisantstowwe is die sogenaamde silindertoets, waartydens die fragmentasie van 'n kopersilinder gebruik word om die hidrodinamiese eienskappe daarvan te bepaal.

10.3 KLASSIFIKASIE VAN TOETSTEGNIEKE

Ten einde die keuse van geskikte karakteriseringstegniese te vergemaklik, kan die toetstegniese van die voorafgaande paragrawe volgens die skematiese voorstelling van tabel 10.1 gekategoriseer word :

Tabel 10.1 : KLASSIFIKASIE VAN TOETSTEGNIEKE

OMGEWINGS- RESPONS + FISIES	TERMIESE GEDRAG	MEGANIESE EIENSKAPPE	SENSITI- WITEIT	WERK- VER- RIGTING	CHEMIES
Groei	VTS	Buigbaar- heid	Impak	Deto- nasie- snel- heid	Verenig- baarheid
Eksudasie	Selfver- hitting	Hardheid	(Val- hamer)		Giftig- heid
Stabili- teit	Hoë T- bloot- stelling	Druk- sterkte	Wrywing		Same- stelling
Massa- digtheid	Fisiese eienskap- pe	Trek- sterkte	Elektro- stasies	Frag- men- tasie	
	T U K		Skok		
			Klassi- fikasie		
			Koeëlim- pak		
			Gly (`Skid`)		
			Inisi- asie		

10.4 KEUSE VAN KARAKTERISERINGSTOETSE

Die toetse kan vervolgens in terme van noodsaaklikheid en relevantheid vir hierdie ondersoek geselekteer word. Die volgende uitgangspunte het die keuse beïnvloed, naamlik die hoë koste verbonde aan die voorbereiding van toetsmonsters (dit is materiaalkoste, omdat dit verkieslik is dat die toetsmonsters so klein moontlik moet wees) en die vestiging van nuwe toetstegniese, wat 'n duur en langsame proses is.

Daar is gevolglik gepoog om sover moontlik bestaande, bewese toetstegnieke te volg, al wyk die toetsopstelling en/of -prosedure van die voorgeskrewe (NAVRD) toetsmetode af. Aangesien vergelykender toetse hier ter sprake is, sal hierdie afwykings nie nadelig wees, mits dieselfde toetsprosedure vir elke PBX-formulering gevolg word nie. Bepalings wat dieselfde tipe eienskap meet, is nie gedupliseer nie, terwyl vergelykbare literatuurdata sover moontlik gebruik is ter ondersteuning van eie resultate. Die behoeftestelling van Hoofstuk 1 bied 'n verdere basis van beoordeling ter identifisering van die kandidaat-PBX vir verdere kwalifisering. Enkele bepalinge kan op hierdie stadium as afgehandel beskou word :

- OMGEWINGSRESPONS/FISIES : Massadigtheid van perskorrels
- TERMIESE GEDRAG : VTS
- SENSITIWITEIT : Valhamer
- CHEMIES : Verenigbaarheid
: Samestelling

Die bykomende toetse word in Tabel 10.2 aangetoon, tesame met die motivering vir die betrokke keuse.

Tabel 10.2 : KEUSE VAN KARAKTERISERINGSTOETSE

KLASSIFIKASIE	TOETS	MOTIVERING
Omgewings- respons/ fisies	Groei	Fisiese stabiliteit van PBX-lading word vereis, ook tov temperatuursiklusse
	Eksudasie	HXKG en HXPS bevat plastiseerders wat agv veranderinge in die termiese omgewing mag eksudeer (massaverlies)
	Stabiliteit	Word deur termiese, meganiese en sens.-toetse bepaal.
Termiese gedrag	Selfverhitting	Geen sodanige gedrag onder 150 °C word vereis.
	Hoë T-blootstelling	Voorspellings kan uit VTS, selfverhittingstoetse gemaak word
	Fisiese eienskappe	Meganiese en sens.-data by verskillende T's gee uitsluitel
	T U K	Gee belangrike inligting oor polimeergedrag tydens verhitting/afkoeling.
Meganiese eienskappe	Buigbaarheid Hardheid Druksterkte Treksterkte	Die meganiese gedrag van die geperste PBX is direk afhanklik van die polimeer, en bied dus 'n belangrike beoordelingskriterium.
Sensitiwiteit	Wrywing	HMX en HMX-PBX is minder wrywings sensitief as PETN
	Elektrostaties	Invloed van grafiet moet bepaal word (HXVB)
	Skok (inisiësie)	Die inisieerbaarheid van die PBX moet bekend wees ten einde die aanjaer te kies
	Klassifikasie	Die algemene sensitiwiteit en ontplofbaarheid bepaal die hanterings- en bergingsprosedure van die PBX

Tabel 10.2 (VERVOLG) : KEUSE VAN KARAKTERISERINGSTOETSE

KLASSIFIKASIE	TOETS	MOTIVERING
	Koeëlimpak	Vir die toepassing is hoë snelheid-projektielimpak 'n werklikheid. (Valhamer het slegs op PBX-korrel betrekking).
	Gly:impak & wrywing	Die toetskondisies simuleer aanlegkondisies wat moontlik bykomende veiligheidsmaatreëls verg
Werkverrigting	Detonasiesnelheid	Direkte verwantskappe tussen D en fragmentsnelhede kan getref word.
	Fragmentasie-energie	Noodsaaklike grootte vir vergelykender studies ten opsigte van energieleweringspotensiaal.
Chemies	Giftigheid	Die giftigheid van HMX word hier aanvaar (giftigste komponent)

10.5 BEOORDELINGSKRITERIA

Die interpretering van die resultate wat uit die karakteriseringstoetse verkry word, is van deurslaggewende belang vir die finale keuse ten opsigte van formulering. Derhalwe is dit nodig om die geïdentifiseerde toetse ten opsigte van die gestelde vereistes te evalueer, sodat verlangde en ongewenste resultate geïdentifiseer kan word. In Tabel 10.3 word die doelwit-resultate vir elke bepaling geformuleer.

Tabel 10.3 : VERLANGDE TOETSRESULTATE VAN TOEPASSING OP PBX VIR MISSIELPLOFKOPPE (* = IDEALE GEVAL)

BEPALING	DOELWIT (*)
OMGEWING/FISIES	
- Groei	Geen groei as gevolg van T-siklusse
- Eksudasie	Geen eksudasie (HXKG/HXPS)
- Stabiliteit	Kyk meganiese, termiese en sensitiwiteit eienskappe
- Massadigtheid	So hoog moontlik
TERMIES	
- VTS	Stabiel tot 150 °C (min)
- Selfverhitting	Geen ontbindingsreaksies <150 °C
- Fisiese stab.	Geen fisiese verandering oor T-gebied -54 °C +150 °C
- TUK	So laag moontlik
MEGANIES	
- Buigbaarheid	Hoë buigbaarheid sonder breek
- Hardheid	Sagte, rubberagtige eienskappe
- Druksterkte	So hoog moontlik
- Treksterkte	So hoog moontlik
SENSITIWITEIT	
- Impak	Minder sens as RDX/TNT 60/40
- Elektrostasiese	E(reaksie) >32J
- Skok	Soos TNT
- Klassifikasie	Onsensitiewe BS
- Koeëlimpak	Geen reaksie
- Gly	Geen reaksie
WERKVERRIGTING	
- Det. snelheid	So hoog moontlik
- Energie	So hoog moontlik
CHEMIES	
- Verenigbaarheid	Geen reaksie
- Giftigheid	Geen toksisiteit
- Samestelling	Akkuraat bekend

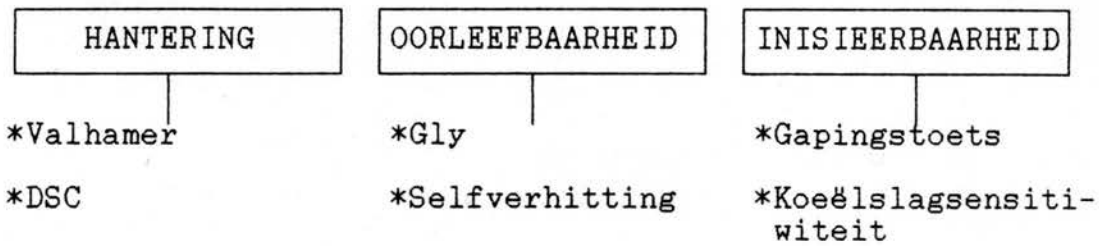
10.6 ENKELE LITERATUURVERGELYKINGS

Ter afsluiting van hierdie bespreking word enkele toetsprosedures, wat tydens soortgelyke ondersoeke by ander instansies gevolg word, beskou. Aangesien die uiteindelijke toepassing die verlangde toetse bepaal, kom verskille ten opsigte van benadering wel voor en het dit sekere klemverskuiwings met betrekking tot skaal van toetsing tot gevolg.

Held ⁶³ benader die seleksie van brisantstowwe vir bepaalde toepassings aan die hand van die volgende klassifikasie van toetstegnieke :

WERKVERRIGTING	SENSITIWITEIT	EKONOMIE
*Inisieerbaarheid	*Invloed v. stoortyd	*Grondstofkoste
*Detoneerbaarheid	*Veelvuldige koeëlimpak	*Produksiekoste
*Energielewering	*Brand	*Rakleeftyd
*Chemiese stab.	*Temperatuur	*Demiliterisasie
*Meganies	*Skok	

'n Verdere klassifikasie van spesifiek sensitiwiteitstoetse, word deur Held aanbeveel ⁶⁴. Hierdie toetse word met die oog op bepaling van hanteringsveiligheid, oorleefbaarheid en inisieerbaarheid deurgevoer. Verder word die toetse ook in terme van tipe stimulus, wat tot 'n reaksie aanleiding mag gee, naamlik meganies, skok, temperatuur, elektriese en projektielimpak geklassifiseer. Die volgende indeling van toetstegnieke is van belang :



Redelike oorsigtelike benaderings ⁴⁷ wat met betrekking tot soortgelyke ondersoeke na doelgeskikte PBX'e onderneem is, omvat die volgende toetsprosedure :

Chemiese analise -> massadigtheid -> sifanalise -> pers -> termiese stab. -> glytoets -> koeëlimpaksens -> wrywingsens. -> valhamersens.

'n Ander bron ⁵⁹ gee 'n alternatiewe eerste-orde toetsprosedure :

Chemiese analise -> valhamersens. -> koeëlimpaksens. -> skoksens. -> plaatduik -> termiese stab -> TUK -> meganiese eienskappe -> persgedrag

Ten slotte word die sensitiwiteitstoetse, soos te Los Alamos Laboratorium (LASL) uitgevoer, aangespreek ⁶⁵. Die volgende toetse is ter sake :

KLEINSKAAL-TOETSE

*Valhamer

*Wrywing

*Elektrostaties

MEDIUMSKAAL-TOETSE

*Skoksensitiwiteit

*Min. Ontstekings-
lading

GROOTSKAAL-TOETSE

*Val

*Penetrasie

*Masjineerbaarheid

Die resultate van hierdie ondersoek, word in die hieropvolgende hoofstukke weergegee.

HOOFSTUK 11

FISIËSE EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS

Die volgende fisiese eienskappe van PBX-formulerings is as relevant vir hierdie ondersoek geïdentifiseer, naamlik smeltpunt, versagtingspunt en massadigtheid. Bykomend hiertoe is fisiese toestand, TMD, molekulêre massa en atomiese samestelling ook van belang, aangesien dit as insette tot die berekening van ander karakteristieke dien.

Aangesien die eienskappe hier ter sprake, tot 'n groot mate in die voorafgaande hoofstukke aangespreek is, word dit in hierdie hoofstuk slegs saamgevat. Literatuurdata word, waar van toepassing, weergegee. 'n Beoordelingskaal, waarvolgens die prestasie van die PBX'e teenoor karakteristieke gemeet kan word, word ook daargestel.

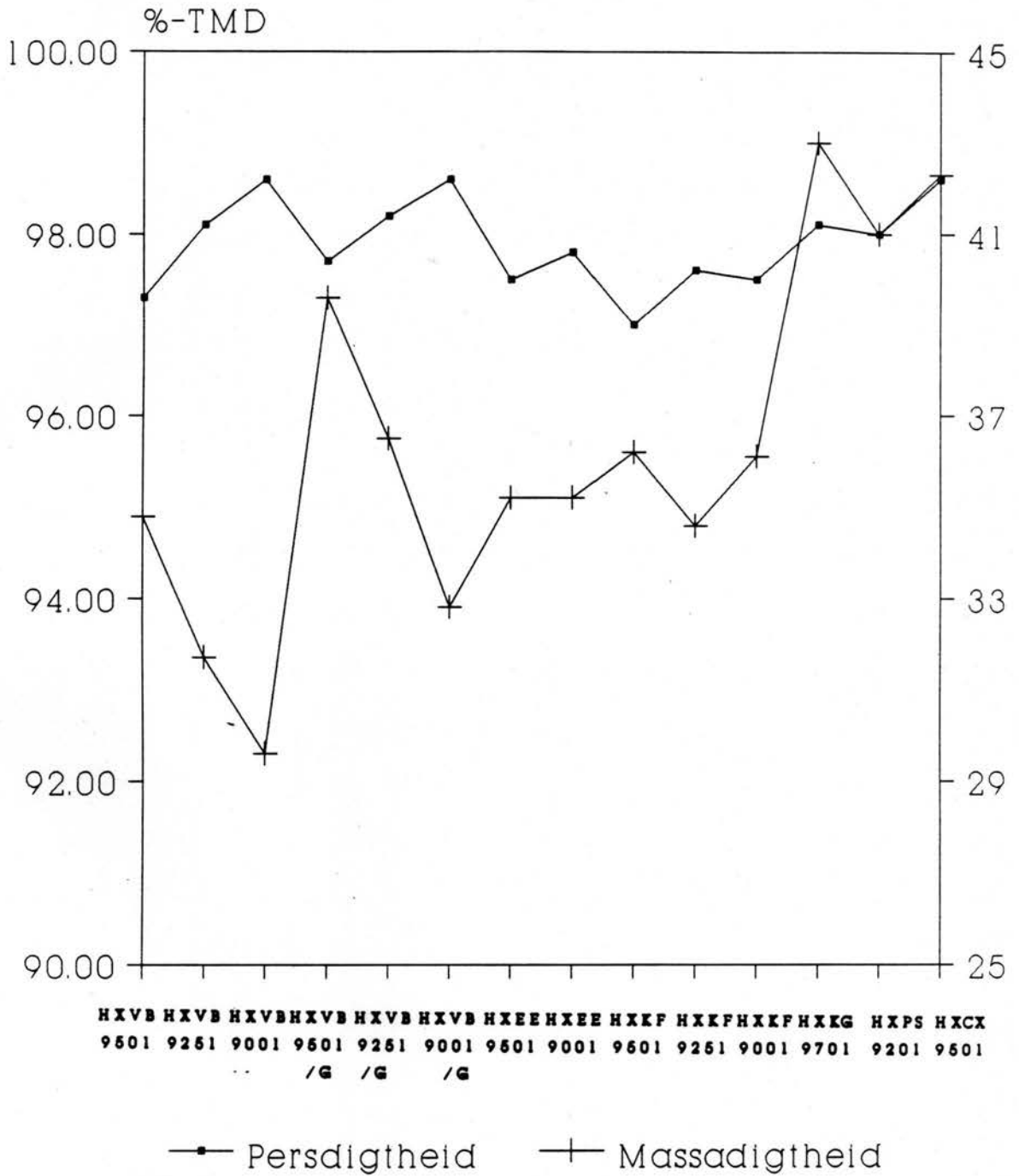
11.1 TOESTANDBESKRYWING EN DIGTHEID

Tabel 11.1 en figuur 11.1 gee die resultate van die ondersoeke ten opsigte van die fisiese toestand, massadigtheid, TMD en maksimum verkreeë persdigtheid weer. Hier is dit belangrik dat die PBX 'n hoë massadigtheid en persdigtheid moet hê, eersgenoemde vanweë die beter hanteerbaarheid van die korrelproduk tydens persing en laasgenoemde vanweë die toename in werkverrigting en onsensitiwiteit wat met hoër %-TMD gepaard gaan. (Dit is in Hoofstuk 1 gestel dat die TMD as sulks nie bepalend ten

opsigte van keuse van formulering kan wees nie, eerder die %-TMD). Ten einde die formulering ten opsigte van massadigtheid en persdigtheid te katagoriseer, is 'n arbitrêre beoordelingskaal daaraan gekoppel, waarvolgens 'n relatiewe gewig van [3] voortreflik en [1] onwenslik is. 'n Gewig van [2] is neutraal, terwyl [0] die formulering vir verdere oorweging vir missielplofkoptoepassing uitskakel.

Tabel 11.1 : PBX-TOESTANDSBESKRYWING EN DIGTHEID
(LITERATUURWAARDES IN HAKIES)

FORMULE-RING	FISIESE TOE- STAND	TMD (g/cm ³)	MASSA-DIGT- HEID (%-TMD)	PERS-DIGT- HEID (%-TMD)	REL. GEWIG TOV MASSA-DIGT- HEID	REL. GEWIG TOV PERS-DIGT- HEID
HXVB 9501	Vaste stof	1,896 (1,896) ¹	34,8	97,3 (98,7) ⁵⁵	2	2
HXVB 92501	"	1,893	31,7	98,1	1	3
HXVB 9001	"	1,891	29,6	98,6 (98,8) ¹	1	3
HXVB 9501G	"	1,893 (1,892) ¹	39,6	97,7	3	2
HXVB 9501G	"	1,891	36,5	98,2	2	3
HXVB 9001G	"	1,889	32,8	98,6	1	3
HXEE 9501	"	1,844 (1,849) ¹	35,2 (54,1) ⁷⁴	97,5 (99,0) ¹	2	2
HXEE 9001	"	1,791 (1,795) ²	35,2	97,8 (98,6) ¹⁴	2	2
HXKF 9501	"	1,906 (1,906) ⁶⁷	36,2	97,0 (98,1) ⁶⁷	2	2
HXKF 92501	"	1,909	34,6	97,6	2	2
HXKF 9001	"	1,911	36,1	97,5	2	2
HXKG 9701	"	1,837 (1,847) ⁶⁰	43,0 (53,1) ⁶⁰	98,1 (98,4) ⁶⁶	3	3
HXPS 9201	"	1,792	41,0	98,0	3	3
HXCX 9501	"	1,805	42,3	98,6	3	3
HMX	Vaste Stof	(1,905) ¹	73,5	-	3	0



Figuur 11.1 : PBX-MASSA- EN PERSDIGTHEDE

11.2 SMELT- EN VERSAGTINGS-PUNT

Dit is belangrik dat alle eerste-orde fase-oorgange van die PBX buite die aanwendingstemperatuur van die plofkop is. Aangesien kortstondige blootstelling aan temperature so hoog as 150 °C moontlik is, moet die PBX dus nie smelt of ontbind onder die temperatuurgrens nie. Voorts is tweede-orde fase-oorgange in die tipiese temperatuurgebied van -40 °C tot + 80 °C onwenslik, aangesien dit die termiese uitsetting- en inkrumpingstempo van die lading sal beïnvloed. Dit is vroeër aangetoon dat dit die HMX-komponent is wat die T_m bepaal, maar die polimeer-komponent wat die T_g bepaal. Tabel 11.2 gee die resultate weer (kyk ook Hoofstukke 4 en 6 vir resultate). Alhoewel die T_g van PS 100 °C is, bring die DOP dit na ± 50 °C, en derhalwe word die T_g van die polimeer en nie die PBX beskou, alhoewel aanduidings is dat die HMX-vuller in die PBX die T_g met ca. 20 °C sal verhoog. Dieselfde beoordelingskaal as in die voorafgaande bespreking is van toepassing.

Tabel 11.2 : PBX-SMELT- EN VERSAGTINGSPUNTE

FORMULE-RING	T _m (°C)	T _a (°C)	REL. GEWIG TOV T _m	REL. GEWIG TOV T _a
HXVB 9501	283,3 (270) ^{ss}	-27	3	1
HXVB 92501	283,1	-27	3	1
HXVB 9001	283,2 (250) ¹	-27	3	1
HXVB 9501G	283,3	-27	3	1
HXVB 9501G	283,8	-27	3	1
HXVB 9001G	283,2	-27	3	1
HXEE 9501	277,2 (232) ⁷⁴	-31	3	1
HXEE 9001	279,1 (270) ¹	-31	3	1
HXKF 9501	281,5	+30	3	1
HXKF 92501	281,3	+30	3	1
HXKF 9001	283,8	+30	3	1
HXKG 9701	281,1 (270) ⁶⁶	100; -48*	3	3
HXPS 9201	280,5	100*	3	1
HXCX 9501	281,7	100; -38	3	2
HMX	(280) ⁷	-	3	3

(* = plastiseerder-bevattend, T_a derhalwe verlaag)

11.3 MOLEKULÊRE MASSA EN ATOMIESE SAMESTELLING

Die molekulêre massa van die PBX-formulerings is deurgaans as 100 aanvaar, en die atomiese samestelling wat met hierdie MM ooreenstem, is vir die onderskeie formulerings bereken. Hierdie waardes is later van belang, wanneer sekere

detonatiewe groothede met behulp van empiriese vergelykings berekenbaar is, mits die groothede van Tabel 11.3 bekend is.

Tabel 11.3 : ATOMIESE SAMESTELLINGS VAN PBX-FORMULERINGS
(WAARDES IN HAKIES VERWYS NA DOBRATZ¹)

FORMULE-RING	ATOMIESE SAMESTELLING					
	C	H	N	O	F	Cl
HXVB 9501	1,42 (1,41)	2,66 (2,66)	2,57 (2,57)	2,57 (2,57)	0,17 (0,16)	- -
HXVB 92501	1,45	2,64	2,50	2,50	0,26	-
HXVB 9001	1,48 (1,48)	2,62 (2,62)	2,43 (2,43)	2,43 (2,43)	0,35 (0,35)	- -
HXVB 9501G	1,48	2,64	2,55	2,55	0,16	-
HXVB 9501G	1,51	2,62	2,49	2,49	0,24	-
HXVB 9001G	1,55	2,60	2,42	2,42	0,33	-
HXEE 9501	1,54 (1,52)	2,94 (2,92)	2,58 (2,59)	2,65 (2,66)	- -	- -
HXEE 9001	1,79 (1,73)	3,18 (3,18)	2,45 (2,45)	2,61 (2,61)	- -	- -
HXKF 9501	1,38	2,59	2,57	2,57	0,13	0,036
HXKF 92501	1,39	2,54	2,50	2,50	0,20	0,054
HXKF 9001	1,41	2,48	2,43	2,43	0,27	0,073
HXKG 9701	1,52	3,01	2,62	2,62	-	-
HXPS 9201	1,83	3,14	2,49	2,51	-	-
HXCX 9501	1,66	2,95	2,56	2,56	-	-
HMX	4	8	8	8	-	-

HOOFSTUK 12

CHEMIESE EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS

Alhoewel daar baie relevante chemiese eienskappe vir PBX-formulerings geïdentifiseer kan word, is dit veral samestelling, verenigbaarheid, vormingswarmte (ΔH_f) en detonasiewarmte (ΔH_{det}) wat algemeen beskou word. Die oplosbaarheid van die PBX is ook belangrik, aangesien dit andersyds 'n analise-metode vir die samestellende komponente bied, en andersyds omdat dit die chemiese omgewing waarin dit aanwendbaar is, bepaal. In hierdie hoofstuk sal verenigbaarheid en oplosbaarheid nie weer aangespreek word nie, aangesien dit reeds in Hoofstukke 2, 4 en 6 gedoen is.

12.1 SAMESTELLING

Tabel 12.1 en figuur 7.10 gee die teoretiese chemiese samestelling van die onderskeie PBX weer. (Die werklike chemiese analyses verskyn in Hoofstuk 6).

Tabel 12.1 : PBX-SAMESTELLINGSDATA

FORMULERING	MASSA-% HMX	MASSA-% BINDER, ENS.	VOLUME-% HMX
HXVB 9501	95	5	94,8
HXVB 92501	92,5	7,5	92,2
HXVB 9001	90	10	89,6
HXVB 9501G	94,5	5,5	94,2
HXVB 92501G	92	8	91,6
HXVB 9001G	90	10	89,5
HXEE 9501	95	5	92,2
HXEE 9001	90	10	84,8
HXKF 9501	95	5	95,3
HXKF 92501	92,5	7,5	92,9
HXKF 9001	90	10	90,5
HXKG 9701	97	3	93,8
HXPS 9201	92	8	86,8
HXCX 9501	95	5	90,3

12.2 ΔH_r EN ΔH_{det}

Die waardes vir ΔH_r en ΔH_{det} verskyn in Tabel 12.2.

Die ΔH_r waardes is nie eksperimenteel bepaal nie, maar bereken ¹ vanuit die vormingswaardes van die samestellende komponente. Hierdie waardes is van groot belang, byvoorbeeld waar detonatiewe karakteristieke vir die PBX'e voorspel word. ΔH_{det} is nie eksperimenteel bepaal of bereken nie, en slegs enkele waardes uit die literatuur word weergegee.

Tabel 12.2 : PBX-VORMINGSWARMTES
(WAARDES IN HAKIES DUI OP LITERATUURDATA)

FORMULERING	ΔH_f (kcal/mol)	ΔH_{d-t} (kcal/g)
HXVB 9501	-3,129 (-3,14) ¹	(1,55) ¹
HXVB 92501	-7,748	-
HXVB 9001	-12,563 (-12,3) ¹	(1,49) ¹
HXVB 9501G	-2,281	-
HXVB 92501G	-6,874	-
HXVB 9001G	-11,469	-
HXEE 9501	1,006 (1,50) ¹	(1,58) ¹
HXEE 9001	-4,036 (-4,05) ¹	(1,53) ¹
HXKF 9501	-1,237	-
HXKF 92501	-4,880	-
HXKF 9001	-8,527	-
HXKG 9701	5,870	-
HXPS 9201	8,025	-
HXCX 9501	5,750	-
HMX	(17,93) ¹	(1,32) ¹

HOOFSTUK 13

TERMIESE EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS

Die termiese eienskappe wat in Hoofstuk 10 as relevant geïdentifiseer is, is vakuumtermiese stabiliteit (VTS), termiese uitsettingskoeffisiënt (TUK), groei en hoë-temperatuur-ontploffingsgedrag. Hierdie groothede is, vanweë hul besondere belang in hierdie ondersoek, in-diepte beskou. Bykomend hiertoe word enkele soortgelyke PBX'e ten opsigte van hittekapasiteit en termiese geleiding vergelyk, om sodoende 'n beter geheelbeeld te verkry.

13.1 VTS

Hierdie tipe bepaling word by temperature bokant die voorsiene operasionele spektrum uitgevoer, en lewer as resultaat 'n aanduiding van langtermyn-stabiliteit en verenigbaarheid van die samestellende komponente HMX plus bindersisteam. Gasontwikkeling word gemeet en die hoeveelheid reaksie wat plaasvind, word hierin gemanifesteer. Die spesifieke toetsmetode is in Hoofstuk 6 bespreek, en die eksperimentele resultate word volledigheidshalwe weer hier weergegee (Tabel 13.1). In alle gevalle was die gasontwikkeling minimaal, en kan die formulerings as geskik vir verdere oorweging beskou word.

(Arbitrêre punteskaal - toedeling : 3).

Tabel 13.1 : VTS VAN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	cm ³ GAS, 5 g vir 24h (150 °C)	LITERATUURRESULTATE 1, 67, 53, 66			
		m(g)	t(h)	T(°C)	cm ³ gas
HXVB 9501	1,1	0,25	22	120	0,02
HXVB 92501	1,1	-	-	-	-
HXVB 9001	1,1	0,25	22	120	0,02
HXVB 9501G	1,1	-	-	-	-
HXVB 92501G	1,1	-	-	-	-
HXVB 9001G	1,1	-	-	-	-
HXEE 9501	1,2	1,0	48	120	0,03
HXEE 9001	0,7	0,25	22	120	0,024
HXKF 9501	0,5	5	40	120	0,2
HXKF 92501	0,6	-	-	-	-
HXKF 9001	0,5	-	-	-	-
HXKG 9701	0,1	-	-	-	-
HXPS 9201	1,0	-	-	-	-
HXCX 9501	0,8	1	2	150	0,007

Uit die literatuur kan die volgende bevestiging vir die hoë temperatuurstabyliteit van die PBX-formulerings verkry word :

i) Viton-binder

Ondersoeke wat deur Humphrey ⁵⁵ onderneem is, het getoon dat LX-10 tot ca. 160 °C vir beperkte tydsdure aanwendbaar is.

Selvs kortstondige blootstelling aan temperature bokant die fase-oorgangstemperatuur van HMX (185 °C) sal die PBX nie sensiteer mits dit vinnig opgehef kan word nie. Versnelde verouderingstoetse op LX-10 het aangetoon dat Viton as binder bruikbaar tot 70 jaar sal wees ³³. Geen noemenswaardige termiese degradasie van LX-10 kan binne 18 maande by 70 °C waargeneem word nie ³⁴. Dit is bevestig deur Clink ³⁵, wat deur middel van KMR aangetoon het dat Viton nie as gevolg van hoë termiese blootstelling sal degradeer nie. Viton kan dus as 'n besonder stabiele polimeer beskou word, wat in kombinasie met HMX (en grafiet) nie nadelig tot die PBX se rakleef tyd sal bydra nie.

ii) Estane-binder

Stallings et al ⁴⁷ het deur middel van chemiese reaktiwiteitstoetse by 120 °C aangetoon dat HMX/Estane meer reaktief as HMX/Viton- en HMX/Kraton-kombinasies is. Dit is deur DTA-toetse bevestig. LX-14 het ook in 'n chemiese stabiliteitstoets (75 °C vir 48h) 'n groter mate van massaverlies as ander HMX-PBX'e getoon ⁷⁴, wat die potensieel-problematiese eienskappe van die poliuretaanbinder bevestig. (Hier is dit ook interessant om op die relatief laer smeltpunt van HXEE in vergelyking met die ander PBX'e in hierdie ondersoek, te let, vergelyk Tabel 11.2).

iii) Kel F-binder

Kel F is, soos die ander fluoropolimeer Viton, besonder stabiel in langtermyn-stabiliteitstoetse, en geen binderdegradasie kon tydens 12 maande by 70 °C waargeneem word nie ³⁴. Dit is bevestig deurdat geen verandering in terme van MM tydens 3 jaar blootstelling aan 74 °C waarneembaar was nie ³⁴.

iv) Kraton/olie-binder

Alhoewel HMX/Kraton-kombinasies stabielier as HMX/Viton-samestellings is ⁴⁷, het die teenwoordigheid van die plastiseerder navorsers gedwing om intensief die verouderingsgedrag van HMX/Kraton/Olie (X-0298) te ondersoek. Loughran et al ⁴⁸ het egter bevind dat, na 16 maande blootstelling aan 90 °C, dit die HMX-ontbindingsproses is wat die polimeer- en oliedegradasie oorheers. Dit impliseer dat hierdie kombinasie uitstekende termiese stabiliteit openbaar, wat deur Stallings bevestig is ⁴⁹.

v) Cariflex-binder

Alhoewel geen direkte verwysing na die termiese stabiliteit van die Cariflex-binder gevind kan word nie, is die data wat Wanninger ten opsigte van sy PSK-polimeer verkry het, insiggewend ⁵³.

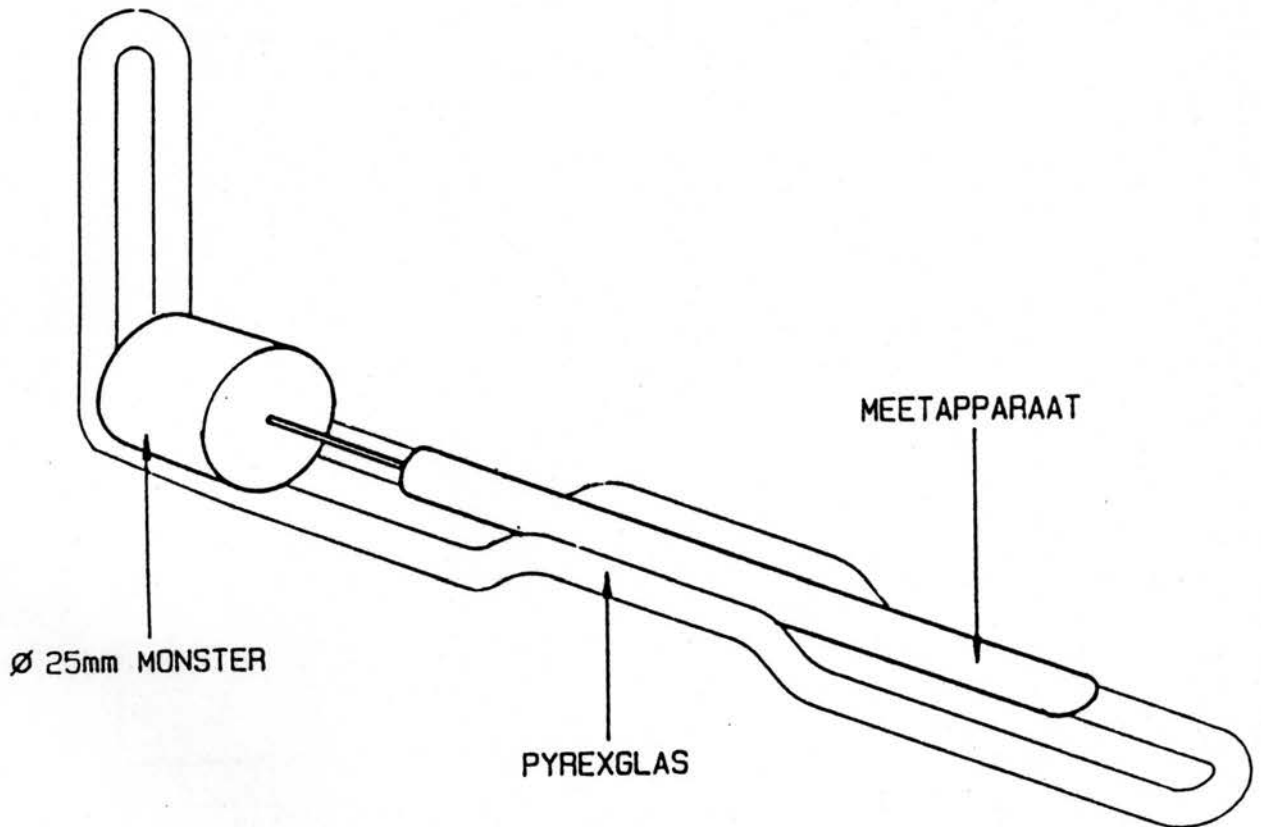
Uitstekende termiese stabiliteit is met die kombinasie van 'n stireen-butadieen ko-polimeer, in binding met onder andere koolswart verkry, wat 'n bevestiging is dat die butadieen deur C gestabiliseer word ten opsigte van kruisbinding/degradasie ²⁸. (Geen verwysing na HMX/PS-kombinasies is gevind nie.)

13.2 TUK EN GROEI

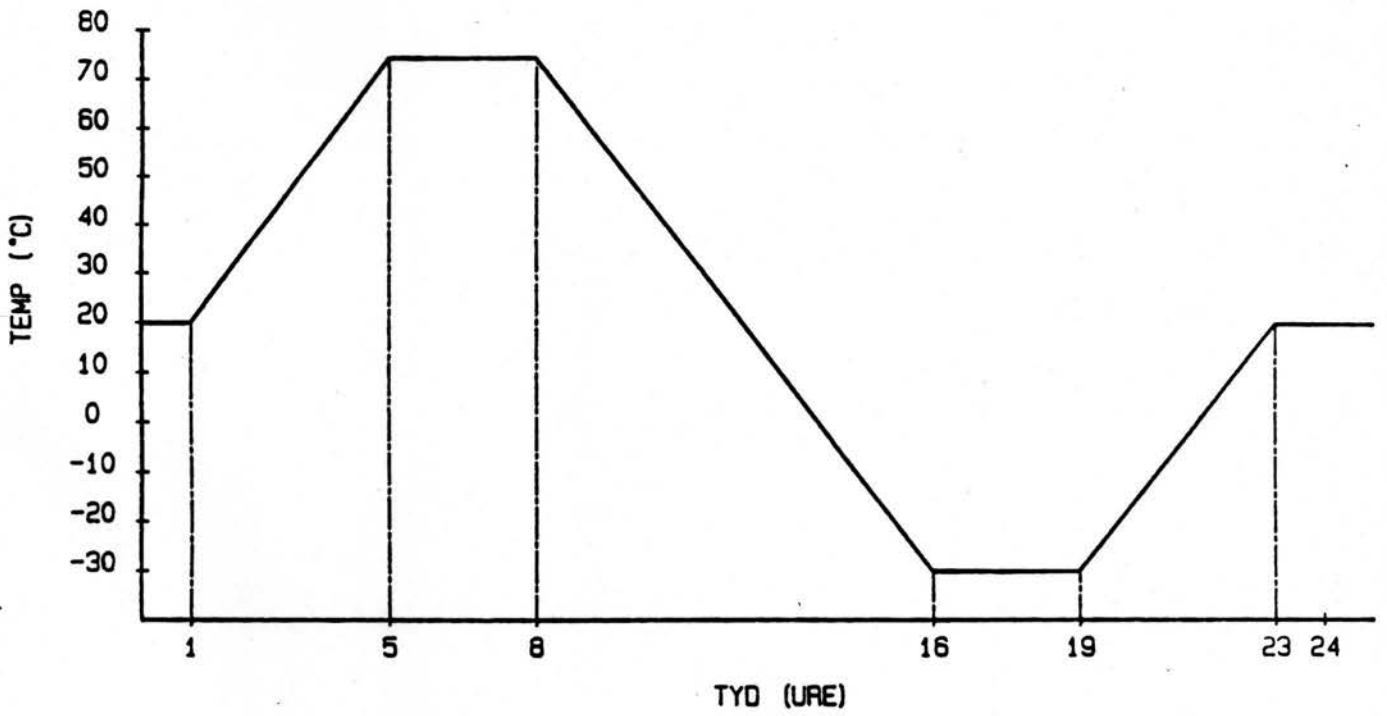
Die termiese uitsetting en inkrimping, asook groeigedrag van brisantstowwe, is van groot belang vir die plofkopontwerper, aangesien dit die keuse van hulsmateriale beïnvloed. Die termiese uitsettingskoëffisiënt (TUK) van brisantstowwe kan tot 900% van dié van staal, koper of aluminium wees ⁶³, wat in die praktyk beteken dat die lading baie vinniger sal uitsit (of krimp) as die omringende plofkopmateriale. Verder toon baie formulerings 'n onomkeerbare groeigedrag as gevolg van herhaaldelike blootstelling aan termiese siklusse, wat 'n volumevergroting (en digtheidsverlaging) van die lading meebring. Dit kan tot gebiede van spanning in die lading lei, aangesien dit deur die plofkopwand ingeperk word. Dit is reeds vroeër gestel dat 'n TUK so laag moontlik verkies word, met geen groei nie. Verder word vereis dat, indien die lading olies of plastiseerders bevat, dit nie moet eksudeer nie. Die maksimum aanvaarbare grens was 1,0% groei, en 0,1% massaverlies as gevolg van eksudasie.

Aangesien geen apparaat vir die meting van die TUK op geperste ladings bestaan het nie, is 'n opstelling soos in figuur 13.1 weergegee, vir hierdie doel ontwerp. Die apparaat bestaan uit 'n L-vormige PYREX monsterhouer, waarop die lading (in hierdie geval geperste $\varnothing 25$ mm X h25mm PBX) sywaarts geplaas word, met die een plat kant teen die regop been van die houer. 'n Meetstafie, akkuraat tot $1 \mu\text{m}$, word dan gebruik om die verandering in ladingdimensies langs die persas te meet. Hierdie meetstafie is aan 'n digitale stipper gekoppel, en sodoende kan dimensieveranderinge as gevolg van temperatuurstyging en -daling, gemonitor word. Die monsterhouer met meetapparaat is in 'n programmeerbare temperatuurkas, wat oor die gebied $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ tot $+80 \text{ }^\circ\text{C}$ beheerbaar is, geplaas. Alle bepalinge is in duplikaat gedoen.

Die termiese profiel wat vir TUK-bepaling gebruik is, verskyn in figuur 13.2. In der waarheid is die krimpings tempo bepaal, wat vir die doeleindes van hierdie ondersoek gelyk aan die uitsettingstempo geneem is. Die resultate is hierna in terme van $\mu\text{m/mK}$ verwerk met behulp van : $L(T) = L(o) [1 + a.T]$, waar $L(T)$ die monsterlengte by T (in K), en $L(o)$ die verwysingslengte is. a is die TUK. Die resultate is in terme van die PYREX-TUK gekorrigeer, aangesien die gemete waarde ook die monsterhouer-TUK ($3 \mu\text{m/mK}$) inkorporeer. Die termiese profiel vir die



Figuur 13.1 : TOETSOPSTELLING VIR TUK



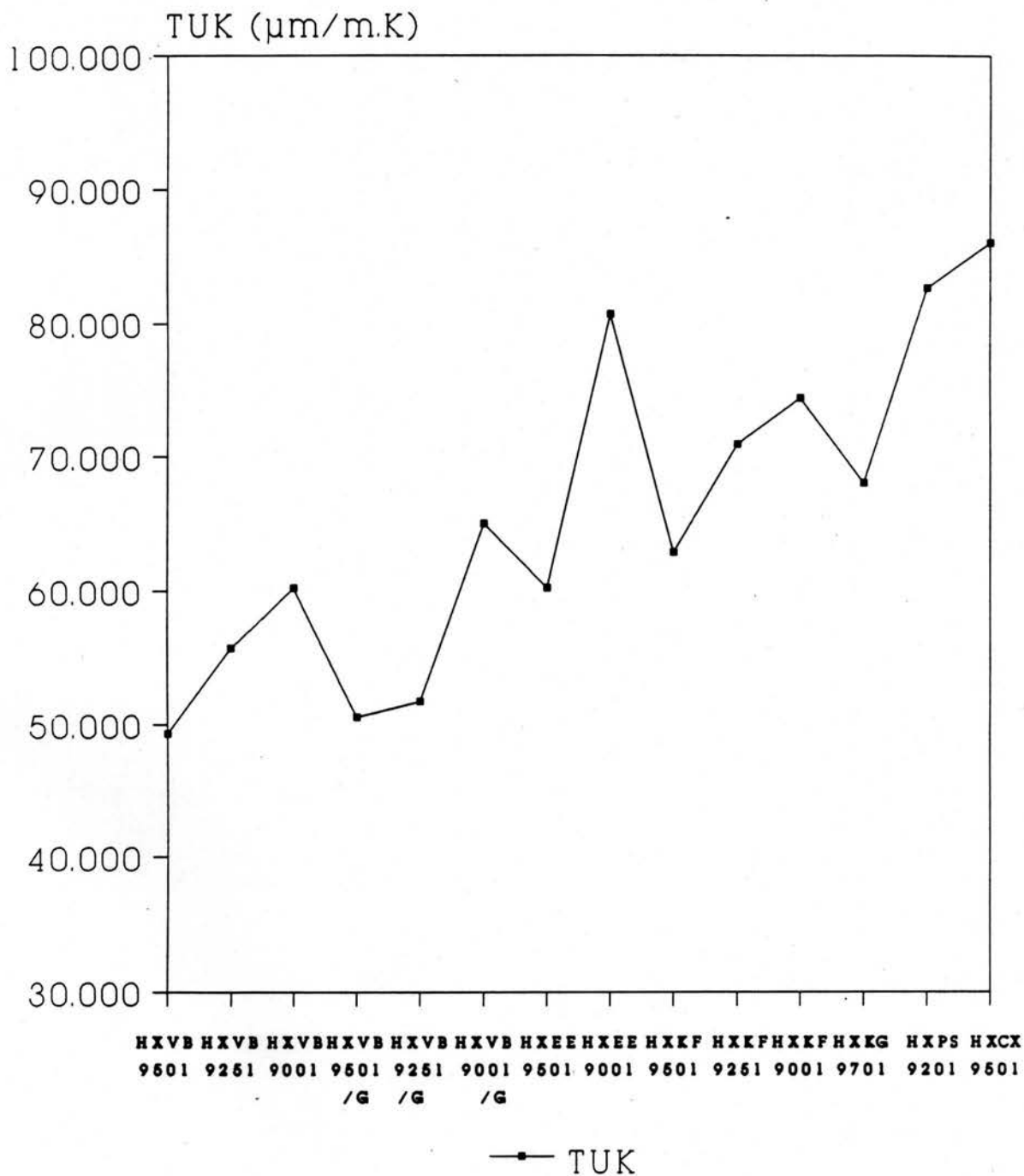
Figuur 13.2 : TEMPERATUURSIKLUS VIR TUK

groeitoets was soortgelyk aan dié vir TUK, met die verskil dat dit 28 keer agtereenvolgend op die toetsmonster herhaal is. Hierdie bepaling is ook in duplikaat op $\varnothing 25$ mm X h25 mm toetsmonsters uitgevoer, deur vooraf die %-TMD van elk akkuraat tot 3 desimale, by kamerkondisies te bepaal, en weer na afloop van die eksperiment. As gevolg van die uiterste toetskondisies, is aangeneem dat eksudasie in terme van massaverlies gemanifesteer sou word. Die PBX-toetsmonsters is deurgaans tot die orde van 97% TMD gepers.

Die gemete TUK-waardes, asook enkele literatuurvergelykings, word in Tabel 13.2 weergegee, en diagrammaties in figuur 13.3 voorgestel.

Tabel 13.2 : TUK-RESULTATE VAN PBX (TUK IN $\mu\text{m}/\text{mK}$)

FORMULERING	%-TMD	TUK	GEM. TUK	LITERATUUR
HXVB 9501	97,16	49,9	49,3	47,0 (-28°C+74°C) ¹
	97,04	48,6		
HXVB 92501	97,46	55,5	55,7	
	97,15	55,9		
HXVB 9001	98,10	59,4	60,2	63,0 (-28°C+74°C) ¹
	97,80	60,9		
HXVB 9501G	97,13	51,3	50,5	34,0 ²³
	97,04	49,7		
HXVB 92501G	97,17	53,5	51,7	
	97,32	50,0		
HXVB 9001G	98,15	65,8	65,0	
	98,27	64,1		
HXEE 9501	97,01	62,0	60,2	55,8 (>-34°C) ¹
	97,25	53,3		
HXEE 9001	97,81	81,8	80,7	67,1 (-28°C+74°C) ¹
	97,77	79,5		
HXKF 9501	96,80	65,6	62,8	61,2 (+50°C+75°C) ^{6B}
	96,86	60,0		
HXKF 92501	97,57	70,0	70,9	
	97,69	71,9		
HXKF 9001	97,85	74,6	74,4	
	97,00	74,3		
HXKG 9701	97,76	73,0	68,0	48,4 (-54°C+74°C) ^{6C}
	97,75	63,0		
HXPS 9201	97,18	82,8	82,6	
	97,30	82,3		
HXCX 9501	97,86	88,6	86,0	
	97,91	83,5		



Figuur 13.3 : TUK VAN PBX-FORMULERINGS

Tabel 13.3 gee die groeitoetsresultate weer.

Tabel 13.3 : GROEIRESULTATE VAN PBX

FORMULERING	OORSPRONKLIK			NA 28 SIKLUSSE		
	massa (g)	volume (cm ³)	digtheid (g/cm ³)	massa (g)	volume (cm ³)	digtheid (g/cm ³)
HXVB 9501	23,260	12,661	1,837	23,245	12,651	1,837
	23,230	12,661	1,834	23,221	12,665	1,834
HXVB 92501	23,241	12,606	1,842	23,204	12,640	1,840
	23,206	12,616	1,839	23,196	12,618	1,838
HXVB 9001	23,213	12,597	1,843	23,203	12,568	1,847
	23,207	12,557	1,845	23,196	12,550	1,848
HXVB 9501G	23,224	12,666	1,834	23,225	12,650	1,836
	23,187	12,656	1,828	23,190	12,658	1,832
HXVB 92501G	23,212	12,646	1,836	23,202	12,631	1,840
	23,187	12,656	1,832	23,190	12,633	1,836
HXVB 9001G	23,174	12,572	1,843	23,176	12,535	1,849
	23,189	12,557	1,843	23,176	12,540	1,848
HXEE 9501	22,564	12,656	1,783	22,568	12,606	1,790
	22,573	12,625	1,788	22,576	12,611	1,790
HXEE 9001	21,857	12,512	1,747	21,876	12,503	1,749
	21,849	12,522	1,745	21,856	12,510	1,747
HXKF 9501	23,369	12,715	1,840	23,352	12,678	1,842
	23,373	12,715	1,838	23,358	12,693	1,840
HXKF 92501	23,421	12,670	1,849	23,400	12,646	1,850
	23,402	12,670	1,847	23,380	12,645	1,849
HXKF 9001	23,424	12,676	1,848	23,406	12,639	1,852
	23,430	12,666	1,850	23,408	12,614	1,856
HXKG 9701	22,467	12,582	1,786	22,445	12,591	1,783
	22,483	12,572	1,788	22,463	12,603	1,782
HXPS 9201	21,967	12,640	1,738	21,959	12,772	1,719
	21,973	12,615	1,742	21,963	12,671	1,733
HXCX 9501	22,160	12,626	1,755	22,143	12,590	1,759
	22,150	12,645	1,752	22,143	12,590	1,759

Word die resultate van Tabel 13.3 verwerk, kan die %-volumegroei en -massaverlies bereken word (Tabel 13.4):

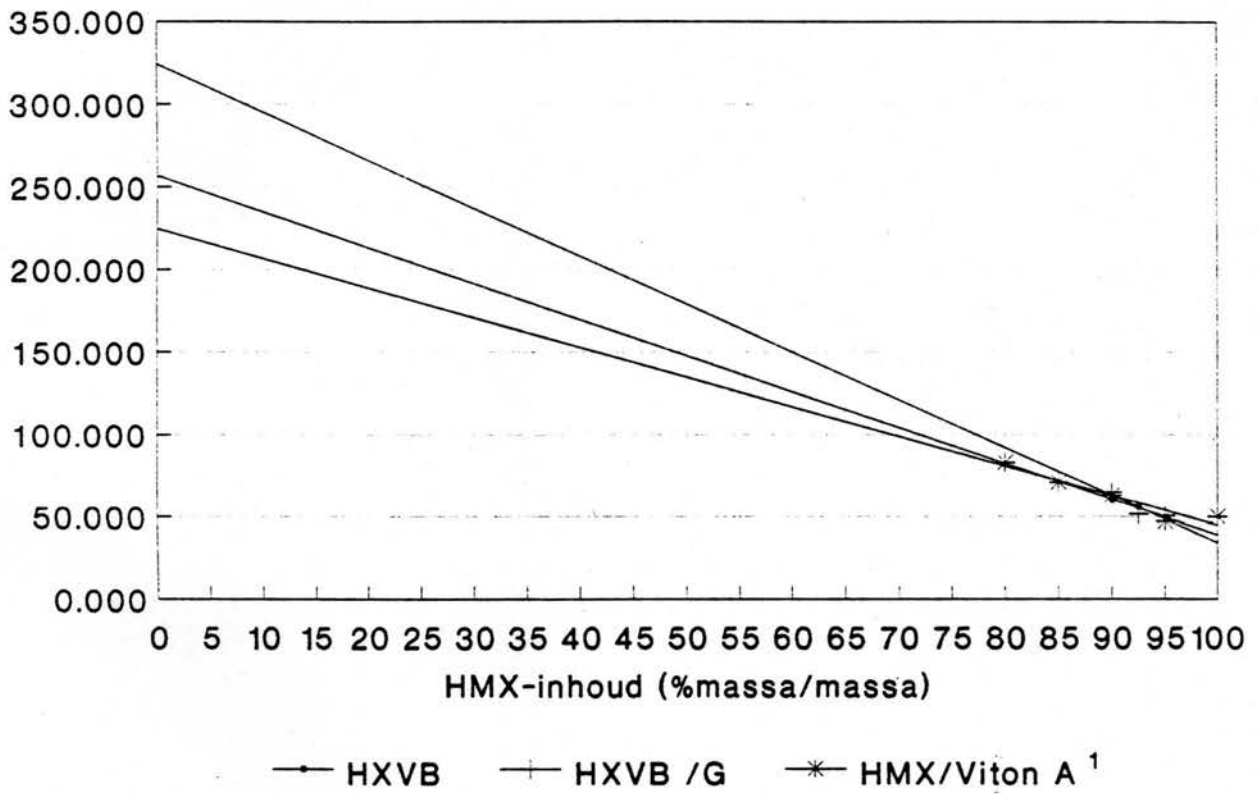
Tabel 13.4 : VOLUME- EN MASSAVERANDERING VAN PBX AS GEVOLG VAN GROEITOETS
(GEMIDDELDE WAARDES IN HAKIES AANGETOON)

FORMULERING	volumetoename (%)	massa-afname (%)
HXVB 9501	-0,08	0,06
	0,03	0,04
	----- (-0,03)	----- (0,05)
HXVB 92501	0,27	0,04
	0,02	0,04
	----- (0,15)	----- (0,04)
HXVB 9001	-0,25	0,04
	-0,03	0,05
	----- (-0,14)	----- (0,05)
HXVB 9501G	-0,13	0,00
	0,02	-0,01
	----- (-0,06)	----- (-0,01)
HXVB 92501G	-0,12	0,04
	-0,18	-0,01
	----- (-0,15)	----- (0,02)
HXVB 9001G	-0,29	-0,01
	-0,14	0,06
	----- (-0,22)	----- (0,03)
HXEE 9501	-0,03	-0,02
	-0,11	-0,01
	----- (-0,07)	----- (-0,02)
HXEE 9001	-0,07	-0,09
	-0,10	-0,03
	----- (-0,09)	----- (-0,06)

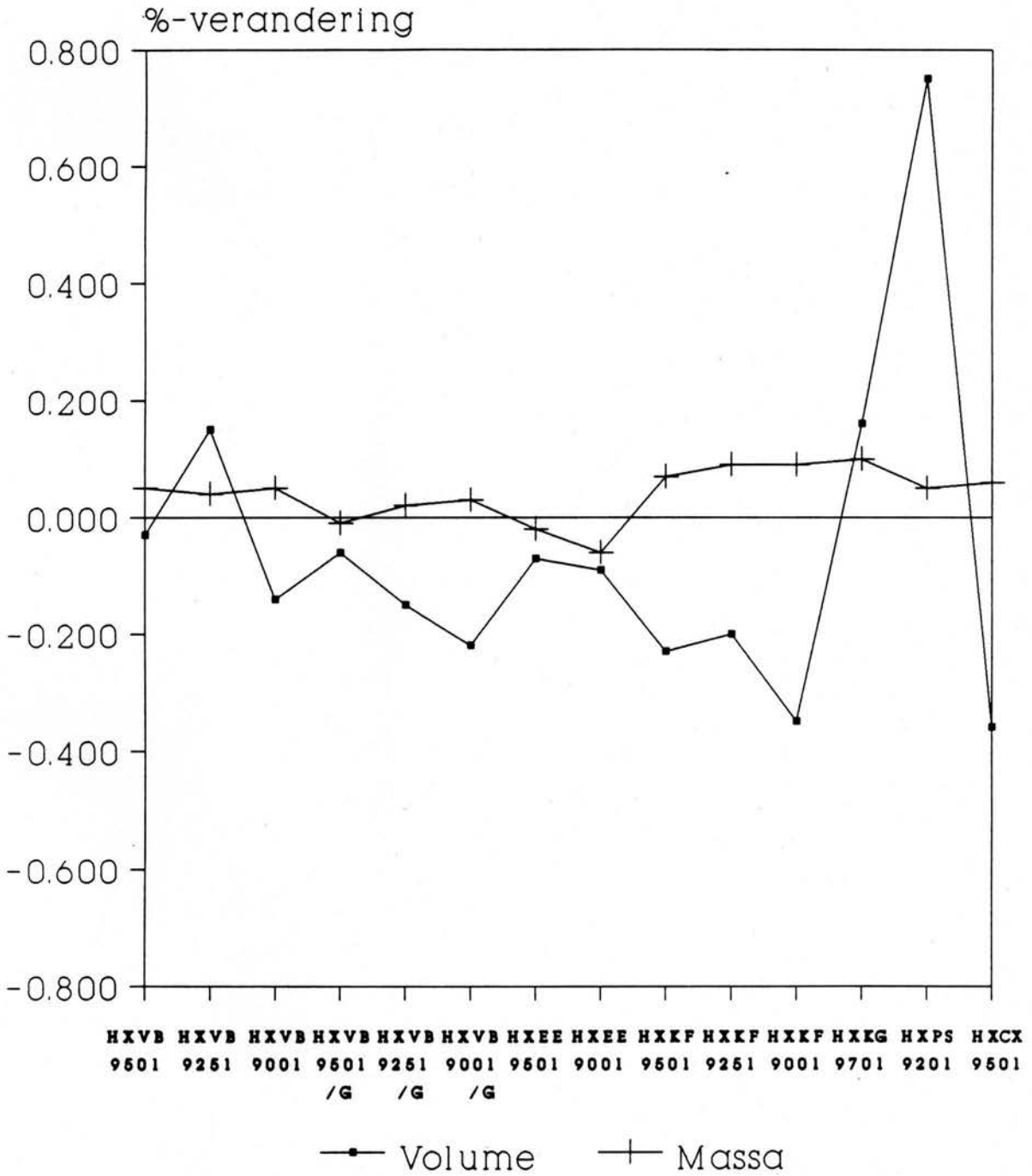
Tabel 13.4 : (VERVOLG)

FORMULERING	volumetoename (%)	massa-afname (%)
HXVB 9501	-0,29	0,07
	-0,17	0,06
	----- (-0,23)	----- (0,07)
HXVB 92501	-0,19	0,09
	-0,20	0,09
	----- (-0,20)	----- (0,09)
HXVB 9001	-0,29	0,08
	-0,41	0,09
	----- (-0,35)	----- (0,09)
HXEE 9701	0,07	0,10
	0,25	0,09
	----- (0,16)	----- (0,10)
HXEE 9201	1,04	0,04
	0,44	0,05
	----- (0,75)	----- (0,05)
HXKF 9501	-0,29	0,08
	-0,43	0,03
	----- (-0,36)	----- (0,06)

'n Vergelyk tussen die TUK en %-VB word in figuur 13.4 weergegee. Figuur 13.5 stel die resultate van die groeitoets diagrammaties voor. Word die resultate van hierdie ondersoek op 'n arbitrêr-gekose punteskaal vergelyk, kan dit as volg vergelyk word, naamlik (kyk Tabel 13.5) :



Figuur 13.4 : TUK VS HMX-INHOUD VAN HXVB



Figuur 13.5 : GROEITOETSRESULTATE VAN PBX'e

i) TUK

Indien die TUK kleiner as $50 \mu\text{m/mK}$ is, is dit soortgelyk aan dié van HMX¹, en dit kan dus as voortreflik ([3]) beskou word. Daarenteen is waardes hoër as 60 hoog, en kan dit as onwenslik ([1]) gesien word.

ii) Groei

Negatiewe groei is uiteraard onwaarskynlik vir groot ladings, maar sal tog as voortreflik [3] voorgehou kan word. Daarenteen is waardes groter as 0,1% onwenslik, [1], maar groter as 1% onaanvaarbaar [0].

iii) Massabehoud

Geen massaverlies is die ideaal, [3], maar beduidende aanduidings tussen 0,01% en 0,1% onwenslik, [1]. Volgens die standaardstelling sal 'n massaverlies hoër as 0,1% onaanvaarbaar wees, [0].

Tabel 13.5 : 'n EVALUERING VAN PBX VS TUK- EN GROEI-EIENSKAPPE

FORMULERING	TUK	GROEI	MASSABEHOUDE
HXVB 9501	3	3	1
HXVB 92501	2	1	1
HXVB 9001	1	3	1
HXVB 9501G	2	3	3
HXVB 92501G	2	3	3
HXVB 9001G	1	3	3
HXEE 9501	1	3	3
HXEE 9001	1	3	3
HXKF 9501	1	3	1
HXKF 92501	1	3	1
HXKF 9001	1	3	1
HXKG 9701	1	1	1
HXPS 9201	1	1	1
HXCX 9501	1	3	1

Uit Tabel 13.5 word die volgende afleidings gemaak, naamlik dat HXVB (G) en HXEE besondere digtheidstabiliteit ten opsigte van termiese siklusse toon, en dat die PBX'e met plastiseerders (HXKG en HXPS) negatiewe eienskappe ten opsigte van hierdie toetse besit. Verskille tussen HXVB en HXVB (G) kan moontlik na die persproses, waar grafiet 'n smeereffek het, teruggevoer word. Viton-bevattende formuleringe het oor die algemeen die beste in hierdie toetse gevaar.

13.3 HOË-TEMPERATUUR-ONTPLOFFINGSGEDRAG

Hier is dit belangrik dat die PBX-formulering nie as gevolg van verlengde tydsdure by hoë temperature sal ontplof of brand nie. Verder moet die lading nie ten tye van brand detoneer nie, maar wel brand, sodat fragmentasie van die plofkop nie verder verwoesting in die omliggende omgewing (byvoorbeeld magasyn) saai nie. Verskeie tegnieke om die temperatuursensitiwiteit van brisantstowwe te evalueer, bestaan, naamlik DTA/TGA en die selfontbrandingstoets vir korreelprodukte, en ontstekings-, afkook- en brandtoetse vir oningeperkte en ingeperkte ladings. Brandtoetse (E: fuel fire) word op die totale missiel uitgevoer en vandaar die geen-fragmentasie vereiste (sogenaamde LOVA-vereiste, dit is "Low Vulnerability Ammunition").

Die sogenaamde Henkin 'tyd-tot-ontploffing'-toets bepaal die tydsduur om 'n termiese ontploffing van 'n toetsmonster by 'n bepaalde tempertuur teweeg te bring. Die temperatuur staan as die kritieke temperatuur (T_k) bekend, en 'n veilige temperatuur is dié T_k waarby geen ontploffings binne 1000 s voorkom nie¹⁴. Tipiese literatuurwaardes vir enkele brisantstowwe verskyn in Tabel 13.6. In al die gevalle wil dit voorkom asof die binder die T_k ten opsigte van HMX verlaag, wat 'n aanduiding is dat die ontbinding van die binder die dekomposisie van HMX versnel. Dit is by hoë

temperature bevestig deur Rooyers et al ²¹, wat aangetoon het dat die aktiveringsenergie vir poliuretaangebinde HMX laer is by hoër temperature as aktiveringsenergie vir suiwer HMX. Verder is die gedrag van HMX/Kraton interessant, waar dit by 255 °C klaarblyklik stabiel is as HMX/Viton is, maar nie meer na versnelde veroudering nie. Dit dui daarop dat die verouderingsproses die dekomposisie van Kraton meer bevorder as Viton, 'n bevestiging van die termiese stabiliteit van die fluoropolimeer. Word die selfontbindingstemperature van HMX/Viton en HMX/Estane vergelyk, is beide egter bokant 250 °C ²⁵. Al die aanduidings is egter dat HMX-bevattende PBX'e stabiel sal wees tot minstens 150 °C, wat as 'n uiterste temperatuur vir die lading beskou kan word (en dan ook slegs vir beperkte tydsdure).

Tabel 13.6 : TYD-TOT-ONTPLOFFING : LITERATUURRESULTATE

FORMULERING	T ₀ (°C)	t (s)	BRON
HMX	253	>1000	14
HMX/NS-binder	236	>1000	14
HMX/Viton 95/5	218	1194	55
HMX/Viton 95/5	222	789	55
HMX/Viton 95/5	230	489	55
HMX/Viton 95/5	258	75	55
HMX	258	>1000	1
HMX/Viton 95/5	220	~1000	1
HMX/Viton 95/5	255	218±20	79
HMX/Viton 95/5	255	213±21*	79
HMX/Kraton 95/5	255	264±9	79
HMX/Kraton 95/5	255	173±12	79

(* = Monster vooraf verouder teen 70 °C vir 18 maande)

HOOFSTUK 14

MEGANIESE EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS

Die meganiese eienskappe wat van belang vir hierdie ondersoek is, is druk- en trekvastheid, asook buigbaarheid en hardheid. Hierdie gedeelte van die ondersoek is hoofsaaklik eksperimenteel gedoen, omdat brisantstowwe visko-elastiese materiale is, met meganiese eienskappe wat tyd-, temperatuur- en beladingstempo ('load rate') afhanklik is ²³. Aangesien dit in 'n omgewing wat aan 'n verskeidenheid van dinamiese kragte blootgestel word, aangewend word, is dit nodig om die meganiese respons van die lading (in hierdie geval geperste PBX) ten opsigte van hierdie stimuli te kan voorspel. Hierdie stimuli sluit hoë g-kragte tydens die lansering van die missiel, veranderende omgewingstemperatuur tydens vlug, en vervoervibrasies, hetsy per pad of per lug, in. Die meganiese eienskappe van PBX is direk afhanklik van die binderpolimeer in terme van tipe en hoeveelheid. Die brisantstof (in die geval HMX) tree soos 'n inerte vuller op. Verskeie pogings word aangewend om die dinamiese meganiese gedrag van PBX te modelleer, elkeen met bepaalde tekortkominge. Die volgende algemene gevolgtrekkings kan egter in dié verband gemaak word, naamlik dat soos die vervormingstempo toeneem, sal die materiaalsterkte toeneem; dat 'n toename in vervormingstempo 'n vermindering in buigbaarheid teweeg bring; dat die reologiese gedrag van brisantstowwe onder kondisies van druk

met trekkondisies ooreenstem, en dat die bindermatriks alleen die sterkte-eienskappe bepaal.

Die druksterktes, treksterktes en buigbaarheid van die PBX is eksperimenteel op 'n INSTRON-apparaat (model 1185) bepaal. PBX-toetsmonsters was deurgaans 97,0 tot 98,0% TMD. Hardheidmetings is nie uitgevoer nie, vanweë die hoë HMX-inhoud wat deurgaans 'harde' PBX'e tot gevolg het.

14.1 DRUKSTERKTE

Druksterkte-bepalings is op $\varnothing 13\text{mm} \times 15\text{mm}$ -ladings, wat volgens die kondisies soos in Hoofstuk 8 beskryf, gepers is, uitgevoer. Vyftien monsters van elke formulering is gepers, met die doel om druksterktes by drie verskillende temperature (di -20° , 20° en 80°C) uit te voer. Vanweë apparaatbeperkinge kon die bepaling nie teen die gespesifiseerde temperature tot 150°C , bedryf word nie. Toetsladings is op 'n platform geplaas en vanuit een rigting teen 2mm/s gedruk, totdat ladingverbrokkeling verkry is. Die resultate word op sogenaamde SPANNING en VERVORMING - kurwes weergegee. Derhalwe is dit nodig om enkele basiese definisies hier uit te lig :

- Spanning (E: stress) is die krag toegepas per eenheidsarea om vervorming teweeg te bring, of te wel $\sigma = F/A_0$, waar F die toegepaste krag (in N) en A_0 die area waarop die krag toegepas word (in m^2), is. In die geval van druksterktes, is A_0 die sirkelvormige dwarsarea, dit wil sê $\varnothing = 13\text{ mm}$.

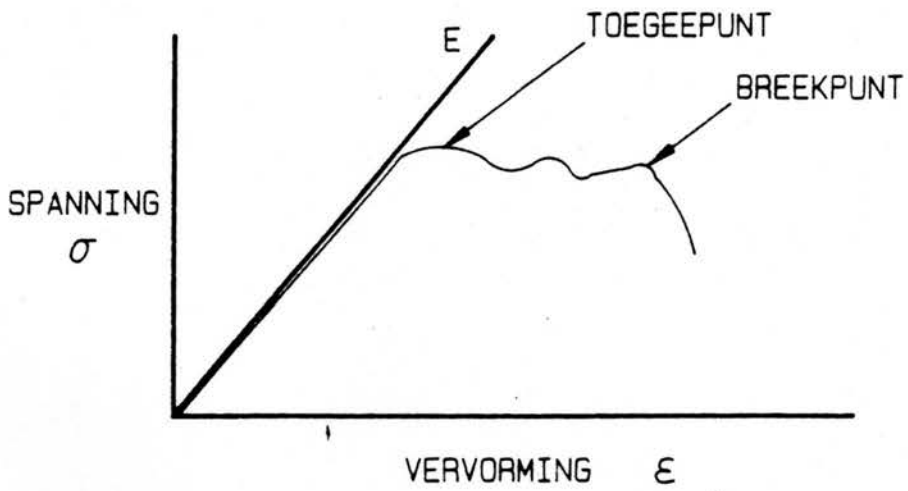
- Samedrukking (druksterktes) is die mate van vervorming wat die toetsmonster as gevolg van die toegepaste krag ondergaan, en word gegee deur :

$$e = l - l_0,$$

waar e die verlenging (E:elongation) op tydstip t is, l die lengte van die toetsmonster op dieselfde tydstip en l_0 die oorspronklike lengte. In die geval van druksterktes is $l < l_0$, en die absolute waarde van e word rapporteer.

- Vervorming (E:strain) is die samedrukking per eenheidslengte, dit wil sê $\epsilon = e/l_0$.

Uit die grafiese voorstelling van σ versus ϵ kan gewoonlik drie gebiede van belang onderskei word, naamlik 'n gebied van lineêre (Hooke) verband tussen σ en ϵ , waar $\sigma = E\epsilon$ (E is die sogenaamde Young's Modulus van die toetsmateriaal, dit is die gradiënt van dié gebied). 'n Tweede belangrike punt is die toegeepunt, waar die materiaal swig maar nie breek nie ($E=0$). Die derde punt is die breekpunt, waar die meganiese integriteit van die materiaal heeltemal verdwyn en die toetsmonster verbrokkel. Vir die PBX'e was die toegeepunt ook die breekpunt, soos uit 'n tipiese kurwe (figuur 14.1) gesien kan word. Tabel 14.1 gee die eksperimentele druksterkteresultate weer, terwyl die invloed wat temperatuur op drukspanning het, duidelik uit figuur 14.2 blyk.



Figuur 14.1 : TIPIESE σ VS ϵ -KURWE

Tabel 14.1 : DRUKSTERKTE-EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS

TEMPERA- TUUR	SAMEDRUKBAARHEID*											
	-20°C				20°C				80°C			
	FORMU- LERING	σ	ϵ	E	P O S	σ	ϵ	E	P O S	σ	ϵ	E
HXVB 9501	25,9	3,4	768	7	11,8	2,1	557	10	4,7	2,1	225	8
HXVB 92501	30,5	3,3	916	6	11,9	2,1	566	9	4,6	2,4	195	9
HXVB 9001	34,4	3,6	951	2	9,5	2,1	453	13	4,0	2,1	194	11
HXVB 9501G	21,6	4,8	456	11	13,1	2,3	559	6	4,9	2,3	210	5
HXVB92501G	23,1	5,2	450	9	12,6	2,5	501	7	4,8	2,5	191	7
HXVB 9001G	30,9	5,7	548	5	10,6	2,3	472	12	4,0	2,2	182	10
HXEE 9501	24,3	3,4	708	8	12,1	2,3	528	8	4,8	2,3	203	6
HXEE 9001	22,1	3,2	704	10	7,3	2,5	303	14	1,2	2,3	53	14
HXKF 9501	20,6	3,7	559	12	27,9	2,6	1099	3	6,0	2,6	233	1
HXKF 92501	31,8	4,0	812	4	30,5	2,8	1111	1	5,6	3,1	178	2
HXKF 9001	35,3	4,2	837	1	30,3	2,9	1064	2	5,6	2,5	225	3
HXKG 9701	17,9	4,3	417	13	11,7	2,3	509	11	3,5	2,1	169	12
HXPS 9201	34,2	4,5	770	4	21,4	2,9	741	4	2,0	2,5	83	13
HXCX 9501	16,8	4,0	418	14	13,8	2,5	565	5	5,5	2,6	211	4

(*: σ in MPa, ϵ in % en E in MPa; 'Pos' dui op relatiewe rangorde-posisie, afnemend in terme van σ)

Hoge maak die afleiding dat PBX-formulerings permanente deformatsie sal ondergaan wanneer dit aan dinamiese vervormingsimpulse blootgestel word ^{es}. (Dinamies word onderskei van staties deurdat die vervormingstempo, byvoorbeeld mm/s, heelwat hoër is, tipies 2000 s⁻¹ teenoor

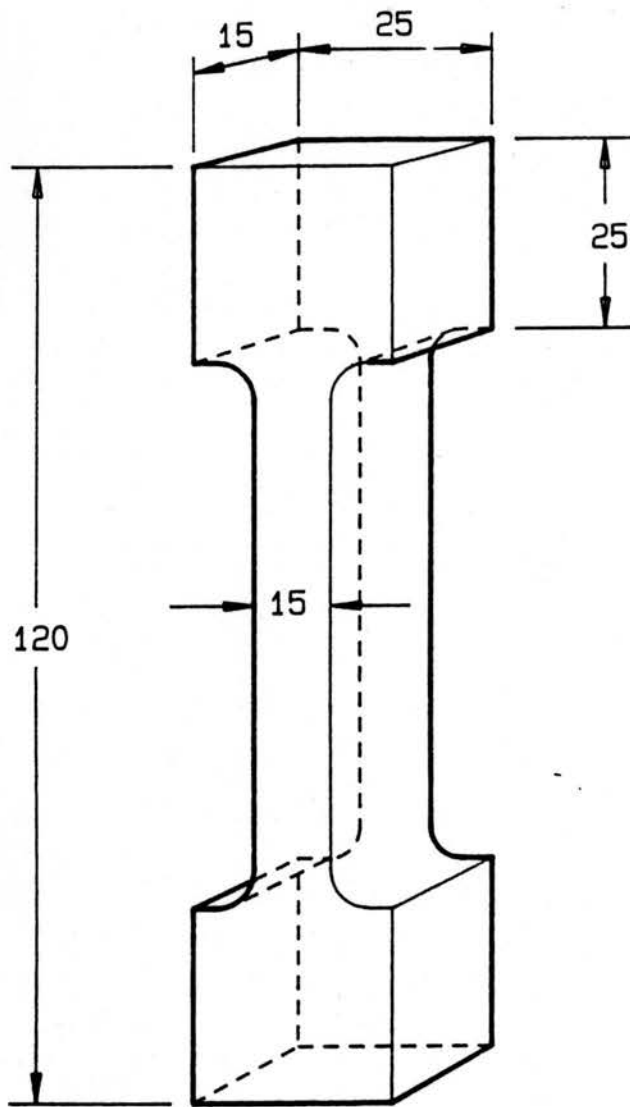
10^{-4} s^{-1} . Dinamiese toetsresultate simuleer dus die vervorming wat 'n lading byvoorbeeld tydens hoë-g-lansering sal ondergaan). Ondersoeke met Estane en Viton-binders het aangetoon dat dié PBX-materiale visko-elasties onder normale statiese toetskondisies optree, maar dat dit plasties-visko-elasties onder dinamiese kondisies reageer, met permanente deformatsie, waarskynlik as gevolg van die breking van die fisiese binding tussen polimeer en (byvoorbeeld) HMX. Desnieteenstaande word PBX, met druksterktes tot 100 MPa , steeds bo glasagtige materiale soos byvoorbeeld TNT, met lae druksterkte- en vervormingswaardes, verkies. 'n Toename in vervormingstempo gaan altyd met 'n toename in druksterkte van 'n PBX gepaard, asook 'n verandering in breekgedrag. Dit kan duidelik uit die resultate van Dobratz gesien word, enkele waarvan 'n Tabel 14.2 weergegee word. Die resultate is uiteraard nie direk vergelykbaar nie, aangesien monstervorms, -digtheid en toetskondisies verskil. Nogtans bevestig dit die besonder hoë druksterktes van geperste PBX-materiale, asook die temperatuurafhanklikheid van die eienskappe. Verder is HMX/Estane deurgaans meganies minder druksterk as HMX/Viton (vergelyk ooreenkomstige toetskondisies), wat die beter binding/hegting van Viton aan HMX bevestig.

Tabel 14.2 : ENKELE LITERATUURRESULTATE TEN OPSIGTE VAN DRUKSTERKTES VAN PBX

FORMULERING	TOETSKONDISIES	σ (MPa)	ϵ (%)	BRON
HMX/Viton 95/5 (PBXN-5)	1000 s ⁻¹	69	0,05	82
	6 X 10 ⁻⁵ s ⁻¹	9	0,014	82
HMX/Viton 90/10 (PBX 9011)	10 ² s ⁻¹	69	-	85
	10 ⁻⁴ s ⁻¹	13,8	-	85
HMX/Estane 95/5 (LX-14)	Diametric Disc Test*;98,73%TMD	2,10	0,44	51
HMX/Estane 90/10 (PBX 9011)	10 ² s ⁻¹	43	-	85
	10 ⁻⁴ s ⁻¹	9,7	-	85
	99,3% TMD, 74°C	1,24	-	14
	24°C	7,38	-	14
	-18°C	24,3	-	14
-54°C	67,9	-	14	
HMX/Kel F 95/5	1,27 mm/min;23°C	28,2	1,48	67
HMX/Kraton 97/3	74°C	3,08	-	60
	24°C	14,26	-	
	-54°C	28,00	-	
	(98,42%TMD)24°C	14,5	-	66
HMX/SBR (PSK100)	6 mm/min, 24°C	10	3,51	53

14.2 TREKSTERKTE

Treksterktebepalings is op sogenaamde 'dogbone'-monsters uitgevoer (kyk figuur 14.3 vir monstervorm, wat uit isostaties geperste ladings gemasjineer is). Die bepalings is by kamertemperatuur (20°C) uitgevoer deur die monster in die INSTRON vas te klamp en teen 'n vaste vervormingstempo (2 mm/s) aan 'n rekkrag te onderwerp. Bepalings is in vyfvoud gedoen. A_0 was hier die vierkantige dwarsarea, dit wil sê 15 mm X 15 mm, met $l > l_0$ en die verlenging per



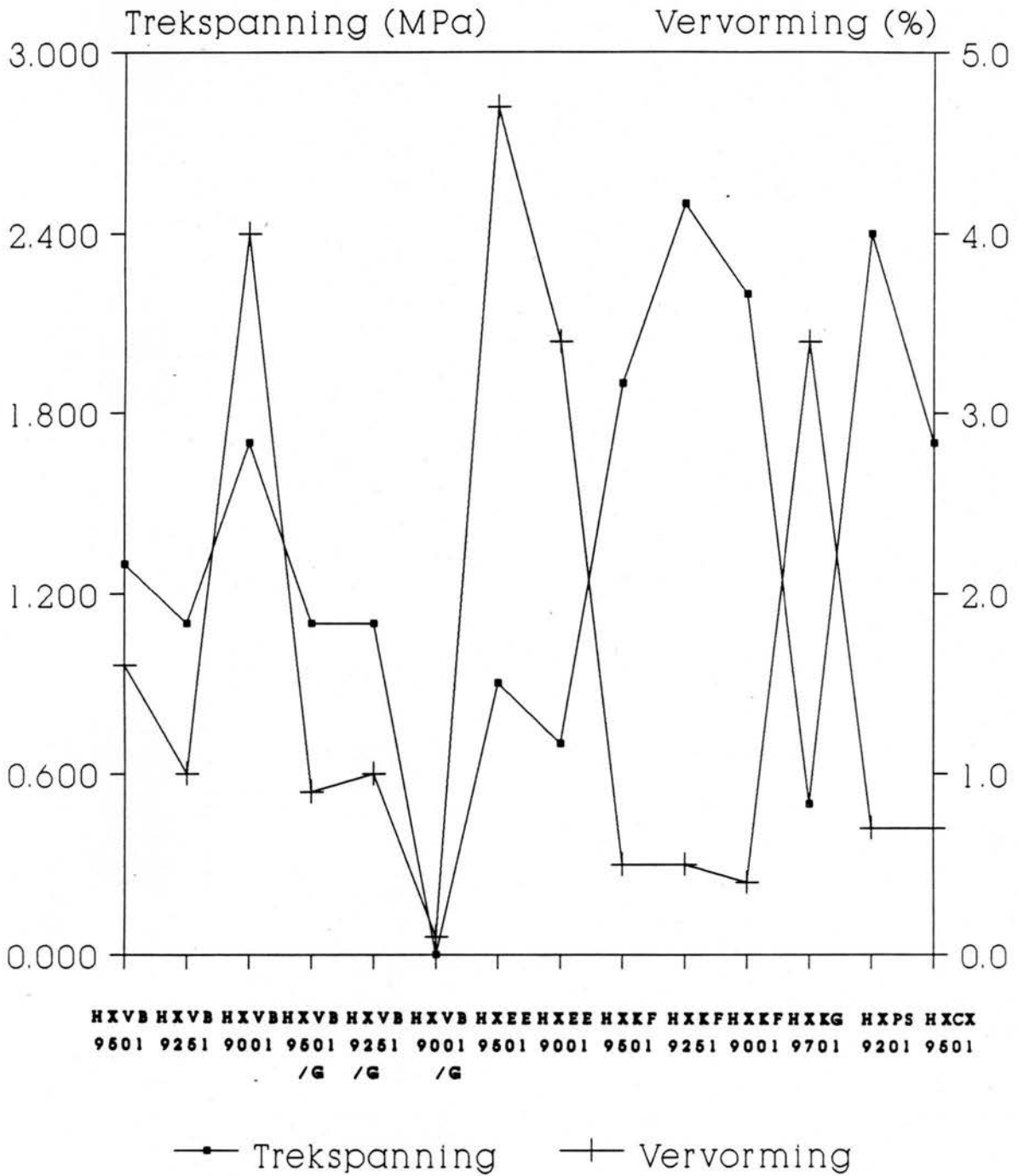
Figuur 14.3 : TREKSTERKTE MONSTERVORM (MATES IN mm)

eenheidslengte. 'n Tipiese σ vs ϵ -kurwe is soortgelyk aan dié in figuur 14.1. Tabel 14.3 en figuur 14.4 gee die treksterkte resultate.

Tabel 14.3 : TREKSTERKTE-EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	BUIGBAARHEID, 20°C*			
	σ	ϵ	E	Pos
HXVB 9501	1,3	1,6	207	7
HXVB 92501	1,1	1,0	230	9
HXVB 9001	1,7	4,0	46	6
HXVB 9501G	1,1	0,9	217	10
HXVB92501G	1,1	1,0	218	8
HXVB 9001G	0,0	0,1	7	14
HXEE 9501	0,9	4,7	11	11
HXEE 9001	0,7	3,4	18	12
HXKF 9501	1,9	0,5	370	4
HXKF 92501	2,5	0,5	532	1
HXKF 9001	2,2	0,4	510	3
HXKG 9701	0,5	3,4	170	13
HXPS 9201	2,4	0,7	373	2
HXCX 9501	1,7	0,7	32	5

(*: σ in MPa, ϵ in % en E in MPa, 'Pos' dui op relatiewe rangorde-posisie in terme van σ , afnemend).



Figuur 14.4 : TREKSTERKTES VAN PBX

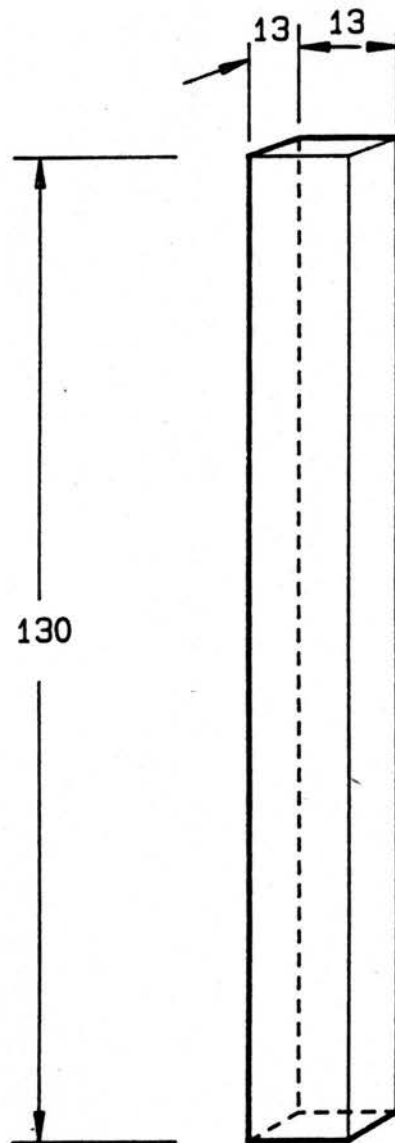
Enkele resultate ten opsigte van die treksterkte van soortgelyke PBX-formulerings is in die literatuur gevind. Weereens kan direkte vergelyking nie getref word nie, vanweë verskille ten opsigte van toetsprosedures. Dieselfde karakteristieke word egter geopenbaar, naamlik dat 'n toename in vervormingstempo die treksterktes laat toeneem, dat Viton 'n 'beter' binder as Estane in terme van trekspanning is, en dat HMX/Kraton besondere verlengingsgedrag vóór breek openbaar. Die literatuurresultate verskyn in Tabel 14.4.

Tabel 14.4 : LITERATUURRESULTATE TEN OPSIGTE VAN TREKEIENSKAPPE VAN PBX

FORMULERING	TOETSKONDISIES	σ (MPa)	ϵ (%)	BRON	
HMX/Viton 95/5 (LX-10, PBXN-5)	$1,25 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 24°C	2,1	0,2	1	
	0,127 mm/min	5,34	0,1	55	
HMX/Estane 95/5 (LX-14)	$1,25 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 24°C	3,65	0,3	1	
HMX/Estane 90/10 (PBX 9011)	99,16%TMD; 74°C 24°C -18°C -54°C	0,36	-	14	
		3,50	-	14	
		6,34	-	14	
		7,71	-	14	
	10^{-4} s^{-1} 1100 s^{-1}	2,34	-	84	
		10,0	-	84	
HMX/Kelf 95/5	23°C	4,23	0,065	67	
HMX/Kraton 97/3	98,42% TMD, 24°C	74°C	0,35	0,027	60
		24°C	1,48	0,09	60
		-54°C	4,71	0,17	60
			1,38	0,69	66

14.3 BUIGBAARHEID

Die toetsmonsters, wat uit isostaties-geperste ladings gemasjineer is, het die dimensies soos in figuur 14.5 aangetoon. Buigbaarheid is bepaal deur die twee koppenente van die staaf te stut en dan 'n konstante krag op die middeldeel uit te oefen, totdat breek voorkom. Hierdie toets is ook in vyfvoud by 20°C uitgevoer. A_0 is die area tussen die ondersteuningsposisies tydens toetsuitvoering. Tabel 14.5 gee die resultate weer, en dit word in figuur 14.6 voorgestel.

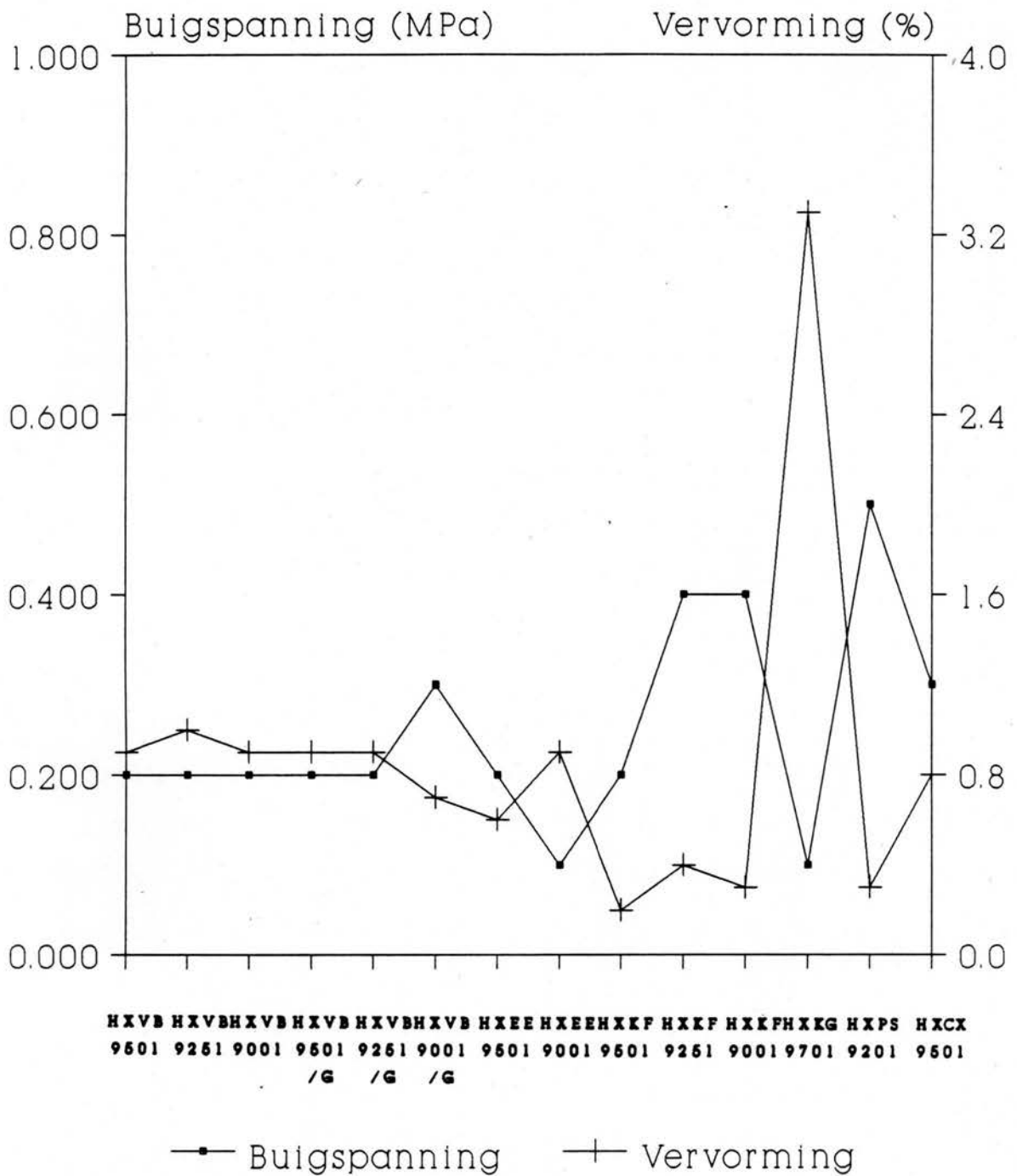


Figuur 14.5 : BUIGSTERKTE MONSTERVORM (MATES IN mm)

Tabel 14.5 : BUIGBAARHEIDSEIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	BUIGBAARHEID, 20°C*			
	σ	ϵ	E	Pos
HXVB 9501	0,2	0,9	22	11
HXVB 92501	0,2	1,0	18,6	12
HXVB 9001	0,2	0,9	23,8	6
HXVB 9501G	0,2	0,9	22	9
HXVB92501G	0,2	0,9	23	8
HXVB 9001G	0,3	0,7	38	6
HXEE 9501	0,2	0,6	34	10
HXEE 9001	0,1	0,9	16	13
HXKF 9501	0,3	0,2	156	4
HXKF 92501	0,4	0,4	102	3
HXKF 9001	0,4	0,3	124	2
HXKG 9701	0,1	3,3	3	14
HXPS 9201	0,5	0,3	173	1
HXCX 9501	0,3	0,8	38	5

(*: σ in MPa, ϵ in % en E in MPa, 'Pos' verwys na relatiewe rangorde in terme van σ , afnemend)



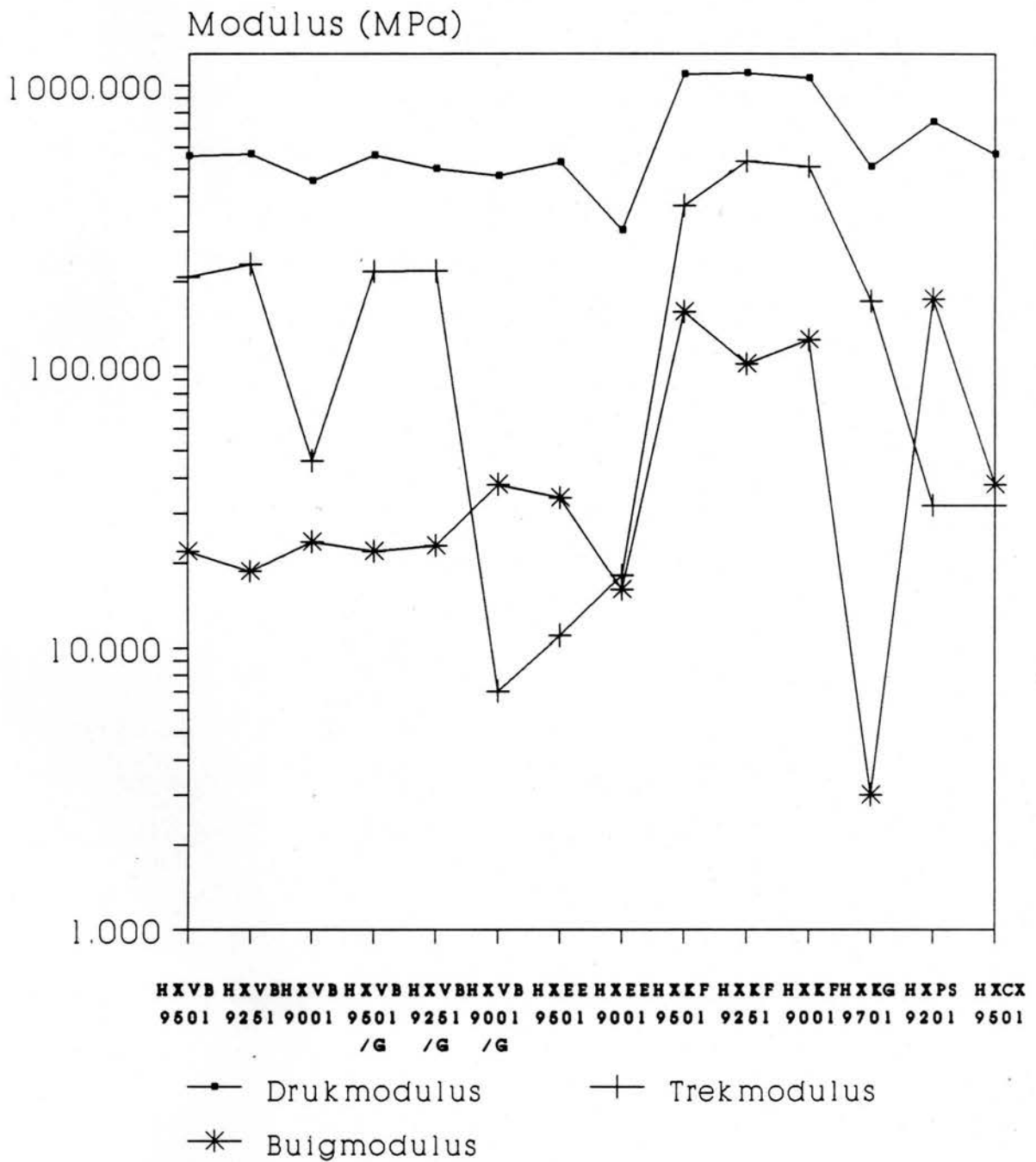
Figuur 14.6 : BUIGBAARHEID VAN PBX'e

14.4 VERGELYKING TUSSEN EIENSKAPPE

Na aanleiding van die voorafgaande is dit nou moontlik om die meganiese eienskappe van die PBX'e te vergelyk en 'n rangorde daaraan toe te ken :

- Die formulerings toon almal uitstekende meganiese drukvastheid, soos uit 'n vergelyk van die verskillende modulusse blyk (fig. 14.7). Die drukmodulus is aansienlik groot vir al die PBX'e, met veral HXKF wat uitstaan. Die KF-binder word onderskei deur die besondere meganiese drukvastheid wat dit bied, ongeag binderhoeveelheid en -digtheid. HXKF sal derhalwe uiters geskik wees waar hoë meganiese sterkte verlang word, in vereiste wat tot 'n mindere mate vir hierdie ondersoek geld.

- Die trekmodulusse toon naastenby ooreenkomstige tendense aan die drukmodulusse, maar met uitsonderlik lae waardes by HMX/VB 90/10. Oor die algemeen is die trekmodulusse egter heelwat laer, dit wil sê die PBX'e is meer druk- as trekbestand. Indien treksterkte as 'n maatstaf van polimeerbinding gebruik word, staan die KF-PBX'e weer uit, met HXEE (en HXVB 9001G) aan die ander uiterste. Die resultate word ook oor 'n wye spektrum gerapporteer, wat aanduidend van die verskillende bindingsgedrag van die polimere kan wees. Indien hoë treksterkte verlang word, blyk HXKF die aangewese formulerings te wees.



FIGUUR 14.7 : VERGELYK TUSSEN PBX-MODULUSSE

- Die relatief lae buigmodulusse van die PBX'e impliseer dat geperste PBX'e nie baie weerstand teen buig sal bied nie. Hier is dit veral HXKF en HXPS wat tot 'n mate buigweerstand toon, terwyl HXKG 'n besonder lae buigmodulus besit. Laasgenoemde kan aan die besonder hoë %-vervorming wat dit voor breek ondergaan, toegeskryf word, wat 'n baie gunstige eienskap in terme van toepassing is, waar buigmomente ter sprake is. HXKF en HXPS is daarenteen baie meer 'styf'.
- Uit die resultate is dit duidelik dat die ideale PBX in terme van meganiese gedrag nie haalbaar sal wees nie, vanweë teenstrydige eienskappe wat openbaar word. 'n 'Ideale PBX' kan gedefinieer word as meganies sterk, dit wil sê druk- en trekbestand, maar terselfdertyd buigbaar. Indien harde, starre, 'sterk' PBX'e verlang word, sal HXKF die aangewese wees en nie HXPS nie, as gevolg van die geweldige temperatuurafhanklikheid van die eienskappe van geplastiseerde PS. Word 'n sagter, meer buigbare en vervormbare PBX verlang, sal HXKG en HXVB 95/5 moontlik geskik wees, met HXCX as nog 'n alternatief. HXEE toon belowende eienskappe, maar wisselvallige resultate bevestig die nie-homogeniteit van binderverspreiding en -konsolidasie.
- Bogenoemde veroorsaak dat sekondêre faktore, soos sensitiwiteit, die relatiewe belangrikheid van verlangde meganiese eienskappe bepaal, en nie soseer die waardes alleen nie. So blyk 'n interafhanklikheid tussen

trekmodulus en impaksensitiwiteit te bestaan, wat vir onsensitiewe hoofladings die gebruik van lae-modulus-PBX noodsaak. Dit is daarom belangrik om daarop te let dat die arbitrêre rangordes van Tabel 14.6 slegs op grond van meganiese toetsresultate geïnterpreteer moet word.

Tabel 14.6 : VERGELYK TUSSEN MEGANIESE EIENSKAPPE VAN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	RANGORDE		
	DRUK-E	TREK-E	BUIG-E
HXVB 9501	2	3	2
HXVB 92501	2	3	1
HXVB 9001	1	3	3
HXVB 9501G	2	3	2
HXVB92501G	2	3	2
HXVB 9001G	1	1	2
HXEE 9501	2	1	3
HXEE 9001	1	1	3
HXKF 9501	3	3	1
HXKF 92501	3	3	1
HXKF 9001	3	3	1
HXKG 9701	2	2	3
HXPS 9201	2	3	1
HXCX 9501	2	2	2

HOOFSTUK 15

PBX-DETONATIEWE EIENSKAPPE

Dit is in Hoofstuk 10 gestel dat die volgende detonatiewe eienskappe vir hierdie ondersoek van belang is, naamlik detonasiesnelheid, fragmentasievermoë en inisieerbaarheid. Die detonasiesnelheid van 'n brisantstof is seker die mees algemene grootheid wat 'n aanduiding van die algemene werkleweringsvermoë daarvan gee, aangesien dit 'n weergawe van tempo van energievrystelling bied ⁶³. Die aanname kan dus gemaak word dat uit energie-oorwegings, die PBX-formulerings met hoë detonasiesnelhede verkieslik is. Die deurvoer van fragmentasie-tipe toetse bevestig hierdie tendens, aangesien daar 'n positiewe korrelasie tussen detonasie-energie en detonasiesnelheid bestaan. Verskeie tipe fragmentasie-toetse bestaan, en die silindertoets is vir die berekening van die detonasie-energie van die PBX'e onder bespreking, gekies. Vanweë die besondere belang wat hoë detonasiedrukke in die fragmentasieversnelling speel, is dit bykomend tot die detonasie-energie beskou. Vir fragmentasie-tipe ladings moet hierdie waardes ook hoog wees, aangesien dit, tesame met die uitsetting van die gasprodukte, die terminasnelhede bepaal. Ten slotte is die inisieerbaarheid van die PBX-ladings ook belangrik. Aan die een kant moet die PBX nie te maklik inisieer nie (druk groter as 8 kbar is verkieslik ⁶³),

terwyl die gebruik van té groot aanjaerladings om die hooflading te inisieer, uit betroubaarheidsoorweging onwenslik is. Bykomend tot die selektiewe inisiasiedrukke, moet die PBX 'n kort opbou-tot-detonasie aanloop (E: run-up to detonation) hê, om vol detonasie van die lading te verseker.

15.1 DETONASIESNELHEID

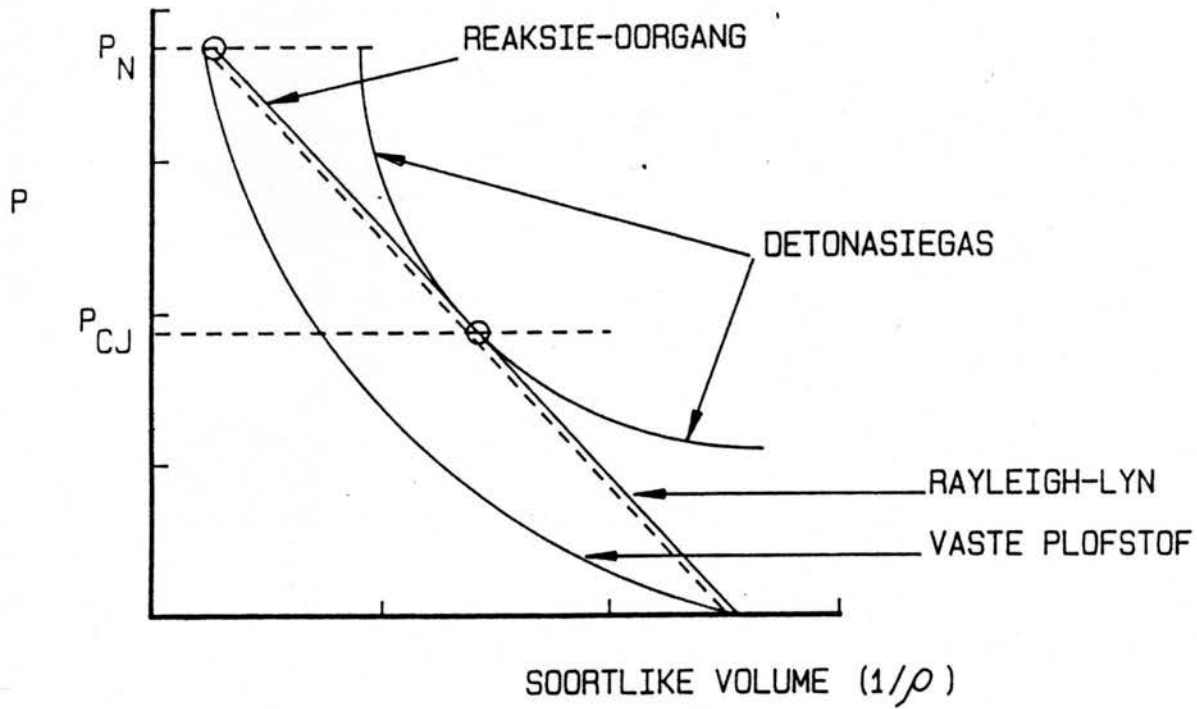
Die detonasiesnelheid D is gewoonlik een van die eerste karakteristieke waarna opgelet word, vanweë die besondere inligting wat dit ten opsigte van die ploffstof se potensiële energieleweringsvermoë gee. Dit is derhalwe ook al funksionele eienskap wat deurgaans vereis word ⁶². In hierdie gedeelte word die detonasiesnelhede van die PBX-formulerings vergelykenderwys weergegee, terwyl die vereiste van 'so hoog moontlik' die beoordelingsnorm bied. Die D -waardes is uit literatuurresultate, berekende waardes asook eksperimenteel-gemete waardes verkry. Ten eerste word 'n kort teoretiese bespreking gegee.

Detonasiesnelheid kan as die voortplantingstempo van 'n detonasie in 'n ploffstof gedefinieer word. D is 'n unieke eienskap van elke ploffstof en word nie deur eksterne faktore beïnvloed nie (streng gesproke geld laasgenoemde slegs as die ploffstofdiameter oneindig groot is). Ten einde die term detonasiesnelheid beter toe te lig, word die volgende algemene definisie vir detonasie gegee ⁷²;

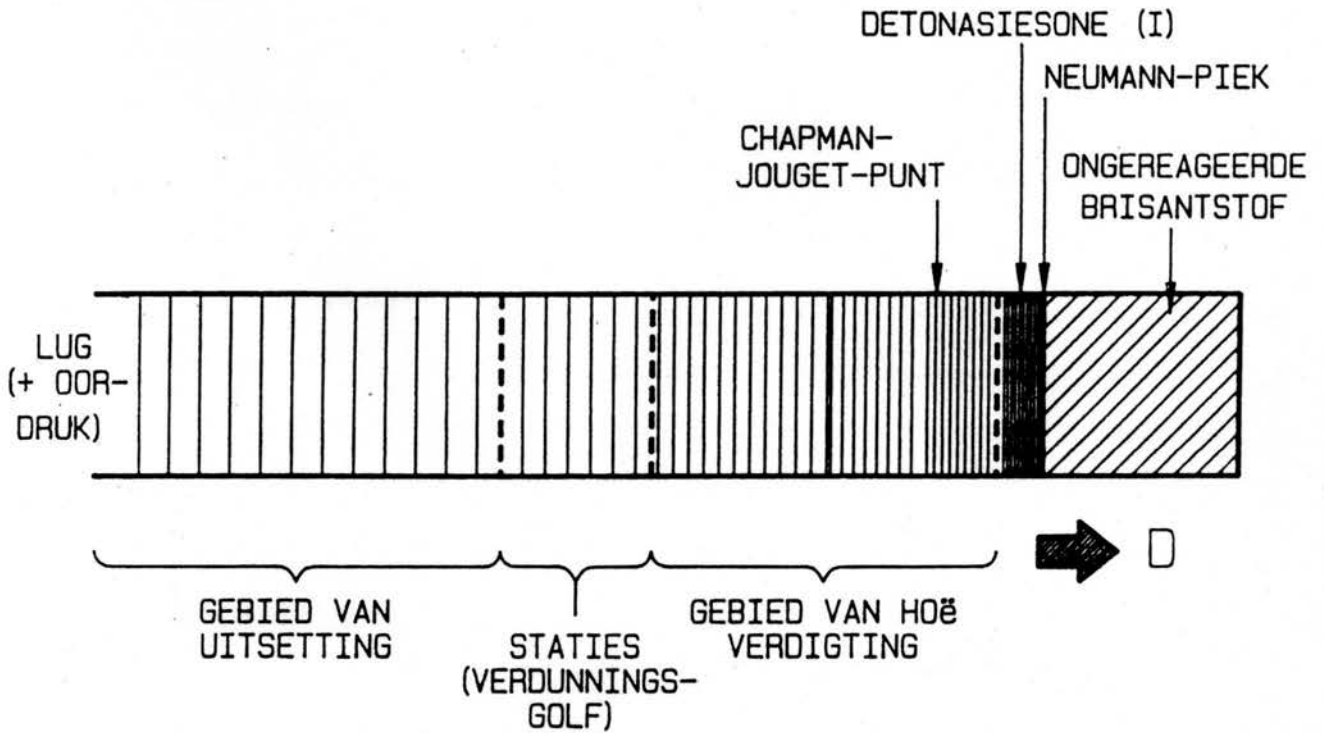
"Detonasie is die proses waarby 'n selfonderhoudende, inherent stabiele skok in materie bestaan, met die vorming van

detonasiegasprodukte. Die energiebron is gestoorde chemiese energie, wat in die reaksiesone tot potensiële energie (gasdruk) omgesit word. 'n Gedeelte van hierdie energie word gebruik om die omsettingsproses (skok) te onderhou, terwyl die res vir versnelling van detonasieprodukte en materie in die omgewing, beskikbaar is." Die verloop van 'n detonasie word duidelikheidshalwe op die P-V-diagram (figuur 15.1) weergegee (algemene voorbeeld). Belangrike punte op die diagram is die Neumann-piek, waar die adiabatiese samedrukking reaksie van die ploffstof veroorsaak, die Chapman-Jouget-druk (P_{CJ}) waar die ploffstof pas volledig in detonasiegasse omgesit is, en die Rayleigh-lyn, die raaklyn aan die gas-hugoniot vanuit die begindigtheid van die ploffstof. D is nou 'n konstante snelheid soos deur hierdie lyn bepaal. Uit bogenoemde volg die CJ-hipotese, naamlik $D = C + U_p$, waar U_p die deeltjiesnelheid en C die klanksnelheid van die detonasieprodukte by P_{CJ} is. Die verloop van 'n detonasie kan in terme van druk- en vloeiveranderinge skematies soos in figuur 15.2 voorgestel, aangedui word. D kan nou as die snelheid waarteen (I) beweeg, gedefinieer word ⁷³.

Verskeie rekenaarprogramme om D te bereken, bestaan en vind veral by die voorspelling van D vir molekulêre strukture toepassing. Vir mengsels van ploffstowwe (soos in hierdie geval PBX) is empiriese vergelykings gewoonlik akkuraat genoeg om benaderde waardes te verkry (mits D van die samestellende komponente bekend



Figuur 15.1 : DETONASIEVERLOOP, WAT CHAPMAN-JOUGET-PUNT (P_{CJ}) EN NEUMANN-PIEK AANTOON



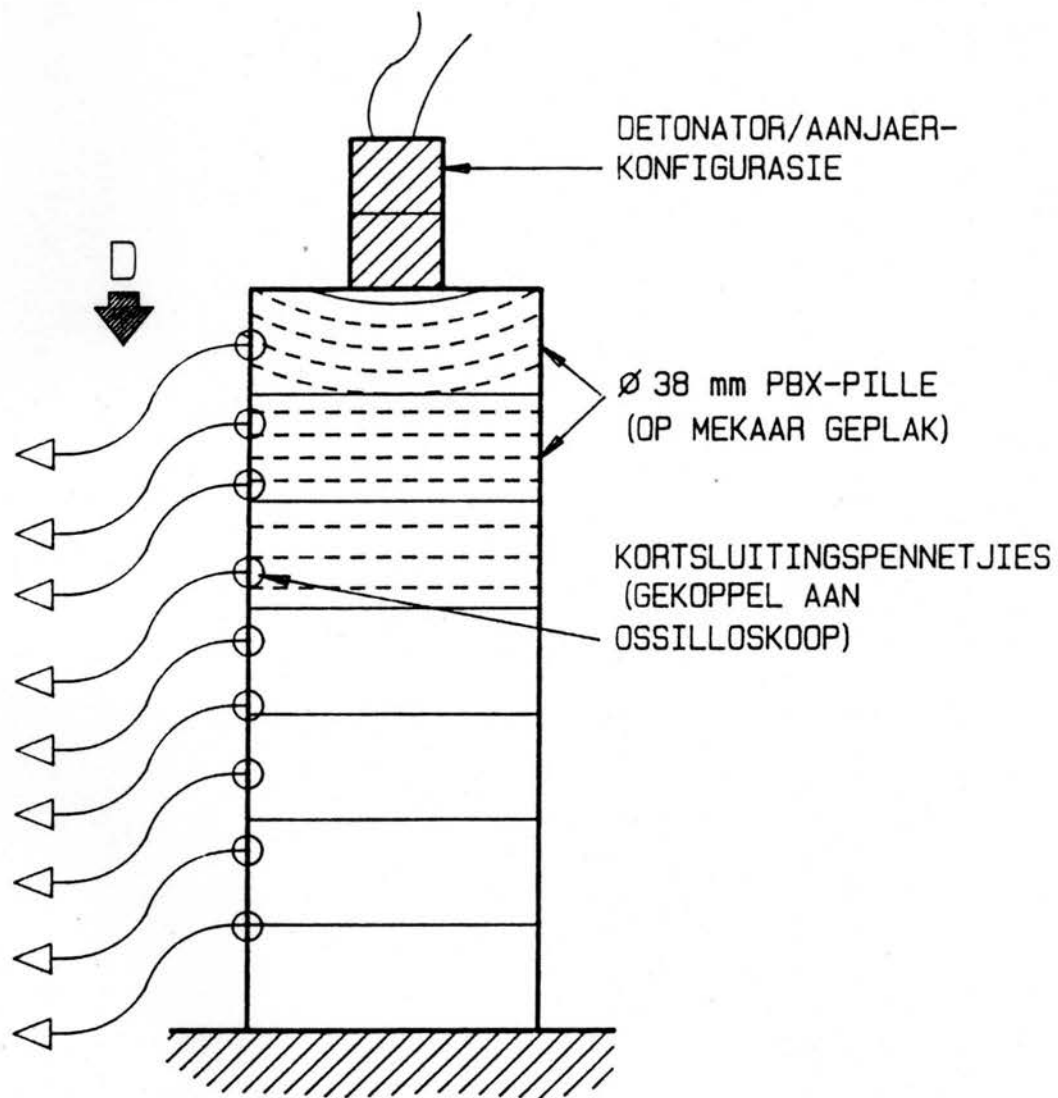
Figuur 15.2 : SKEMATIESE VERLOOP VAN DETONASIE DEUR 'N LADING

is). Een sodanige vergelyking is ¹ :

$$D = \frac{\sum (V_i D_i)}{A} \quad \text{A waar } D$$

die oneindige diameter detonasie, V_i die volume fraksie, en D_i die karakteristieke D van komponent i is. Ten slotte is dit belangrik om op die rol wat ladingdigtheid speel, te let, naamlik dat D sal afneem soos die digtheid van die ploffstof afneem (lineêre funksie).

'n Verskeidenheid van tegnieke om D eksperimenteel te meet, bestaan. Vir hierdie ondersoek is 38 mm-deursnee-ladings met 'n hoogte van ca. 105 mm gebruik. 'n Mikrometer is gebruik om punte presies uitmekaar, oor die lengte van die lading te bepaal. Elektriese kortsluitingspennetjies is op hierdie afstande aangebring. Soos die detonasie deur die PBX beweeg, veroorsaak dit opeenvolgende kortsluitingsreaksies, wat via ontladende kapasitore op 'n hoë-spoed ossilloskoop geregistreer word. Sodoende kan die tydverloop van die skokgolf tussen pennetjies bepaal word, en aangesien die afstand daarvoor bekend is, kan D bereken word. Gewoonlik word die lesings oor die eerste 20 mm geïgnoreer, aangesien die gebied deflagrasie-tot-detonasie-oorgang verteenwoordig. Kalibrasietoetsing op RDX/TNT-monsters het aangetoon dat die meetvermoë vir hierdie toets tipies binne 0,73% is. In alle gevalle is standaard aanjaers gebruik om die detonasiereaksie te inisieer. Die eksperimentele opstelling verskyn in figuur 15.3.



Figuur 15.3 : OPSTELLING VIR D-METING

In Tabel 15.1 word die resultate van die eksperimentele ondersoek, in vergelyking met die berekende D's weergegee (berekeninge volgens vergelyking A) :

Tabel 15.1 : EKSPERIMENTELE EN BEREKENDE D-WAARDES VAN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING (%-TMD)	DETONASIESNELHEID (m/s)		
	EKSPERIMENTEEL	BEREKEN*	%-VERSKIL
HXVB 9501 (96,30)	8620	8681	-0,70
HXVB 92501 (97,40)	8599	8660	-0,70
HXVB 9001 (97,95)	8476	8608	-1,53
HXVB 9501G (96,50)	8671	8667	+0,05
HXVB 92501G (97,53)	8553	8648	-1,09
HXVB 9001G (98,30)	8485	8626	-1,63
HXEE 9501 (97,09)	8577	8652	-0,87
HXEE 9001 (97,66)	8399	8434	-0,42
HXKF 9501 (96,61)	8652	8752	-0,83
HXKF 92501 (97,17)	8572	8686	-1,27
HXKF 9001 (97,12)	8547	8593	-0,53
HXKG 9701 (95,87)	8617	8592	+0,22
HXPS 9201 (95,87)	8389	8328	+0,74
HXCX 9501 (98,21)	8570	8658	-1,01

Ten einde D by verskillende %-TMD's te kon voorspel, was die insette van Tabel 15.2 benodig. Voorspelde D-waardes vir die verskillende PBX'e by ooreenstemmende %-TMD's word in Tabel 15.3 weergegee. 'n Algemene D-vergelyking kon uit die berekende resultate opgestel word, en verskyn ook in dié tabel.

Tabel 15.2 : KARAKTERISTIEKE D's VIR VOORSPELLING VAN PBX-D's

KOMPONENT	TMD g/cm ³	KARAKTERISTIEKE D m/s	OPMERKINGS
HMX	1,900	9150	-
VB	1,815	5390	Viton A-waarde aanvaar
EE	1,180	5520	-
KF	2,020	5500	-
KG	0,920	5500	Waarde vir poliëtileen, geen olie
PS	1,120	5280	Geen DOP
CX	0,940	5500	Waarde vir poliëtileen
Lug	0,133	1500	-

Tabel 15.3 : BEREKENDE D-WAARDES EN -VERGELYKINGS VIR PBX-FORMULERINGS

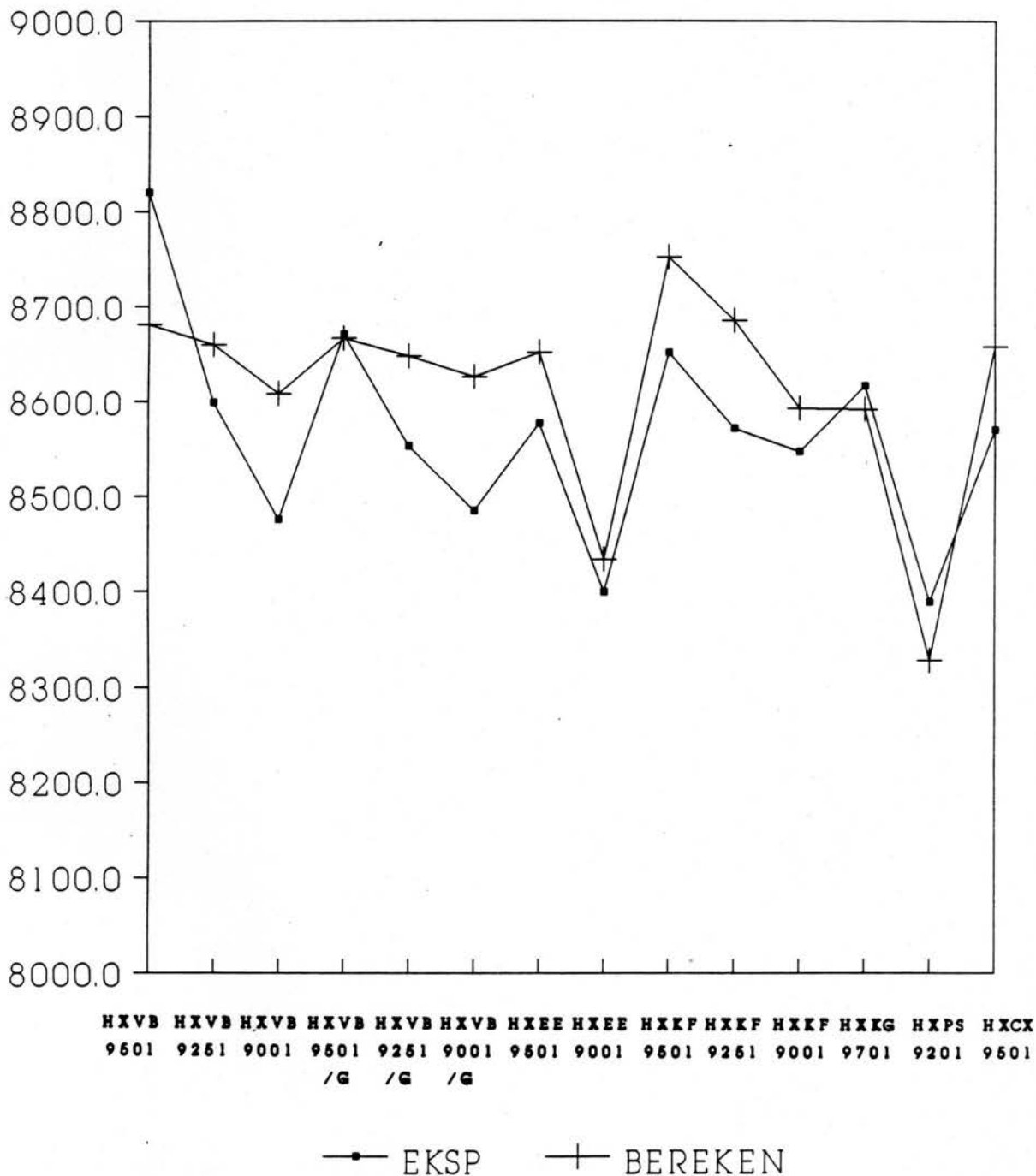
FORMULERING	BEREKENDE D (m/s) VS %-TMD					VERGELYKING
	100%	98%	96%	94%	92%	(d = %TMD)
HXVB 9501	8955	8806	8657	8508	8359	74,57d + 1498
HXVB 92501	8854	8707	8560	8413	8266	73,57d + 1497
HXVB 9001	8758	8613	8467	8322	8177	72,57d + 1500
HXVB 9501G	8926	8777	8629	8480	8332	74,29d + 1498
HXVB 92501G	8829	8682	8536	8389	8243	73,29d + 1500
HXVB 9001G	8750	8605	8460	8315	8170	72,40d + 1506
HXEE 9501	8867	8720	8573	8425	8278	73,71d + 1496
HXEE 9001	8600	8458	8316	8174	8032	71,00d + 1500
HXKF 9501	8979	8830	8680	8530	8381	74,71d + 1507
HXKF 92501	8895	8747	8599	8451	8303	74,00d + 1495
HXKF 9001	8803	8657	8511	8365	8219	73,00d + 1503
HXKG 9701	8914	8766	8617	8469	8326	73,43d + 1570
HXPS 9201	8622	8479	8337	8194	8052	71,29d + 1493
HXCX 9501	8788	8642	8496	8351	8205	72,86d + 1502

Tabel 15.4 : VEREISTE %-TMD'S VIR BEPAALDE D's

FORMULERING	VEREISTE %-TMD VIR:		
	D=8000	D=8500	D=8800
HXVB 9501	87,2	93,9	97,9
HXVB 92501	88,4	95,2	99,3
HXVB 9001	89,6	96,5	*
HXVB 9501G	87,5	94,3	98,3
HXVB 92501G	88,7	95,5	(99,6)
HXVB 9001G	89,7	96,6	*
HXEE 9501	88,2	95,0	99,1
HXEE 9001	91,5	98,6	*
HXKF 9501	86,9	93,6	97,6
HXKF 92501	87,9	94,7	98,7
HXKF 9001	89,0	95,8	(100,0)
HXKG 9701	87,6	94,4	98,5
HXPS 9201	91,3	98,3	*
HXCX 9501	89,2	96,0	*

Indien die vereiste van 8000 m/s as minimum aanvaar word, kan gesien word dat al die formulerings gerieflik hierdie vereiste haal. Tabel 15.4 vergelyk die formulerings aan die hand van vereiste %-TMD's vir bepaalde D's.

Tabel 15.5 vergelyk die PBX-formulerings aan die hand van 'n arbitrêre gekose punt skaal ten opsigte van berekende D.



Figuur 15.4 : EKSPERIMENTELE EN BERKENDE D

Tabel 15.5 : RANGORDES VIR PBX-D's

FORMULERING	D (98%-TMD)	RANGORDE*
HXVB 9501	8806	3
HXVB 92501	8707	2
HXVB 9001	8613	2
HXVB 9501G	8777	2
HXVB 92501G	8682	2
HXVB 9001G	8605	2
HXEE 9501	8720	2
HXEE 9001	8458	1
HXKF 9501	8830	3
HXKF 92501	8747	2
HXKF 9001	8657	2
HXKG 9701	8766	2
HXPS 9201	8479	1
HXCX 9501	8642	2

(* : 1 = relatief laag, <8500 m/s;

2 = relatief neutraal; en

3 = relatief hoog, >8800 m/s)

15.2 DETONASIE-ENERGIE

Die term 'detonasië-energie' is 'n baie wye begrip, en kan op verskeie maniere gedefinieer word. In hierdie gedeelte sal dit werkverrigting (E: performance') beteken, en wel soos uit die resultate van 'n fragmentasie-tipe toets afgelei word. Ander definisies sluit brisans (vernietigingseffek soos uit

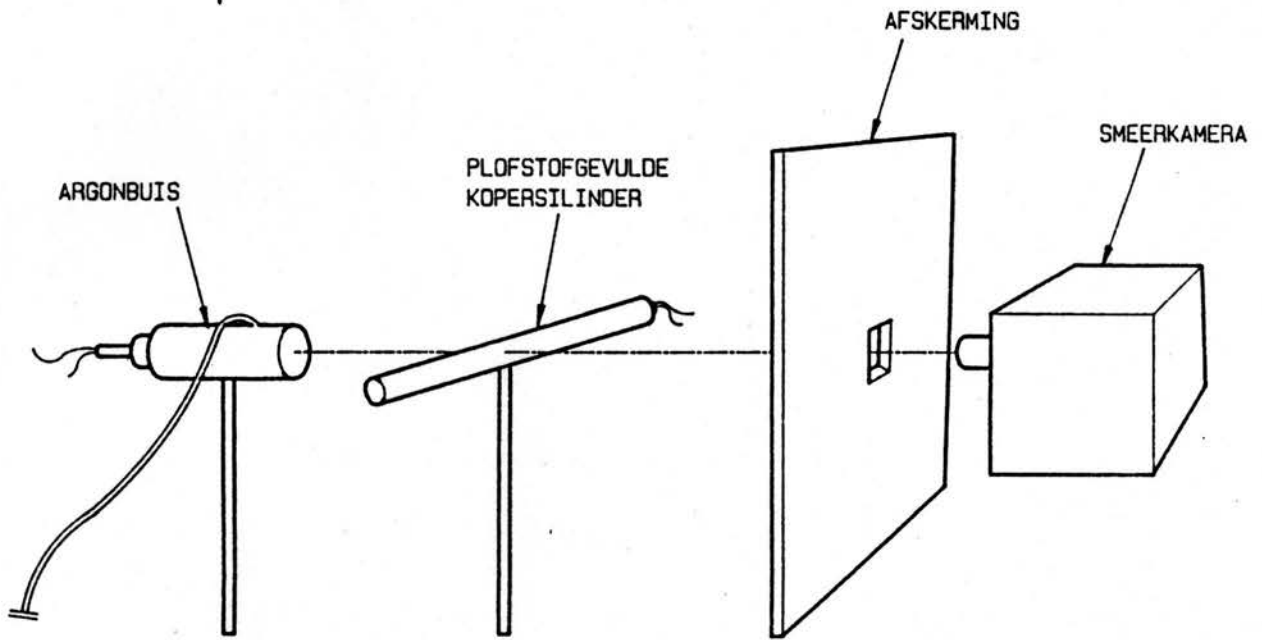
plaatduiktoetse bepaal) en krag (soos verkry uit loodbloktoetse) in. Die werkverrigting van 'n tipiese fragmentasielading omsluit 'n kombinasie van piekdruk- en uitsettinseffekte, teenoor holladings, waar hoë piekdruk verlang word en oordrukloadings, waar gasuitsetting van groot belang is ('blast').

Natuurlike fragmentasie vind plaas wanneer die metaalwand wat 'n lading omsluit, nie enigsens gemodifiseer is om 'n bepaalde opbreekpatroon (fragmentasiegedrag) te openbaar nie. Onder sodanige kondisies sal die hulsmateriaal tot op 'n punt rek, waarna dit sal skeur om kleiner fragmente te vorm. Aangesien breekvoortplanting laag onder die hoë detonasiedrukkondisies is, sal die huls (tipies Fe of Cu) aansienlik meer rek as onder 'normale' drukkondisies. Gevolglik word gevind dat byvoorbeeld 'n silinderwand tot 1,7 keer kan rek voor fragmentasie plaasvind. Die energie nodig om die metaal te rek is slegs 'n fraksie van die energie van die fragmente. Die kinetiese energie wat aan 'n kopersilinderwand van 'n bepaalde geometrie tydens detonasie oorgedra word, bied 'n eenvoudige metode om die werkverrigting (E_{cyl}) van 'n brisantstof te evalueer. Die sogenaamde kopersilindertoets is hierop gebaseer en bied 'n relatiewe toets om die effektiewe detonasie-energie in beide die loodregte asook parallelle asse aan die detonasiegolf te bepaal. 'n Tipiese kopersilinder is 300 mm lank, met binnediameter 25 mm en wanddikte 2,5 mm. Die silinder word met die toetslading gevul, en vanaf een kant geïnisiëer. Wandversnelling word ca. 200 mm vanaf die

inisiëerpunt bepaal. Die radiale wandsnelheid op 19 mm verplasing word onder andere bepaal, waaruit die fragmentasievermoë afgelei kan word. Hoe hoër die E_{cyl} op hierdie punt, hoe hoër sal die fragmentasiesnelhede vir 'n gegewe konfigurasie wees. Terminale fragmentasie-energieë is ca. 7-10% hoër. Sowat 50% van die detonasie-energie word aan die silinderwand oorgedra.

Aangesien die kopersilindertoets duur is, en relatiewe vergelyking hier ter sprake is, is van eenvoudige vergelykings gebruik gemaak om E_{cyl} vir die onderskeie 'PBX'e te bereken.

Figuur 15.5 toon 'n tipiese silindertoetsopstelling. Die volgende lineêre verwantskap is vir die berekening van E_{cyl} gebruik ¹ : $E = E(\text{HMX}) \times (1 - \sum S_i V_i)$ waar E die detonasie-energie per eenheidsvolume by 'n bepaalde digtheid, en E(HMX) = 1,752 bedra. S_i is die karakteristieke energie-bydrae van elke binderkomponent, en is 1,3 behalwe waar die binder halogeenbevattend is, en dit 1,0 bedra. V_i is die volume-fraksie van elke komponent. Soos met D-berekening, moet lug in berekening gebring word by persdigthede laer as TMD. Bogenoemde vergelyking is spesifiek vir HMX-bevattende formulerings afgelei, en is eksperimenteel geëvalueer vir verbindings met tot 30% binder. Berekeninge is vir die PBX'e by TMD, asook 98% en 95 %TMD deurgevoer. Die berekende resultate verskyn in Tabel 15.6 en figuur 15.6 (E_{cyl} in MJ/kg).

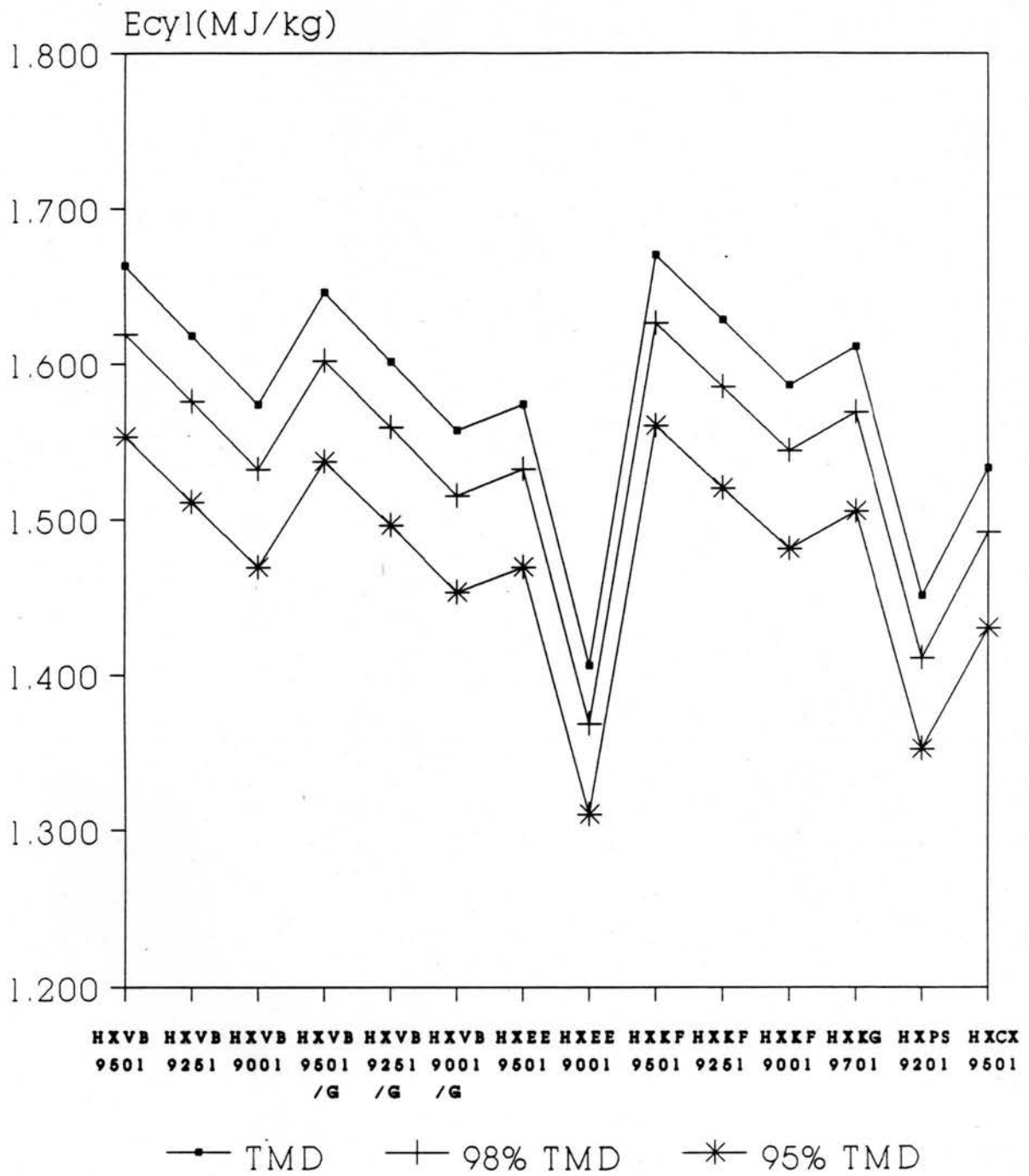


Figuur 15.5 : SILINDERTOETSOPSTELLING

Tabel 15.6 : BEREKENDE SILINDERTOETS-ENERGIEë VAN PBX'e

FORMULERING	Ecyl (TMD)	Ecyl (98% TMD)	Ecyl (95% TMD)	LITERATUUR- VERGELYK ¹
HXVB 9501	1,663	1,619	1,553	1,670 (LX-10:98,15%)
HXVB 92501	1,618	1,576	1,511	
HXVB 9001	1,574	1,532	1,469	1,575 (LX-07:98,15%)
HXVB 9501G	1,646	1,602	1,537	
HXVB 92501G	1,601	1,559	1,496	
HXVB 9001G	1,557	1,515	1,453	
HXEE 9501	1,574	1,532	1,469	1,614 (LX-14:99,24%)
HXEE 9001	1,406	1,368	1,310	1,415 (PBX 9011:99,00%)
HXKF 9501	1,670	1,626	1,560	
HXKF 92501	1,628	1,585	1,520	
HXKF 9001	1,586	1,544	1,481	
HXKG 9701	1,611	1,569	1,505	
HXPS 9201	1,451	1,411	1,352	
HXCX 9501	1,533	1,492	1,430	

Uit bogenoemde is dit nou moontlik om vergelykings vir die voorspelling van Ecyl by verskillende (hoë) %-TMD's te herlei (Tabel 15.7).



Figuur 15.6 : SILINDER-E VIR PBX-FORMULERINGS

Tabel 15.7 : VERGELYKINGS TER BEREKENING VAN E_{cyl} VAN PBX-FORMULERINGS

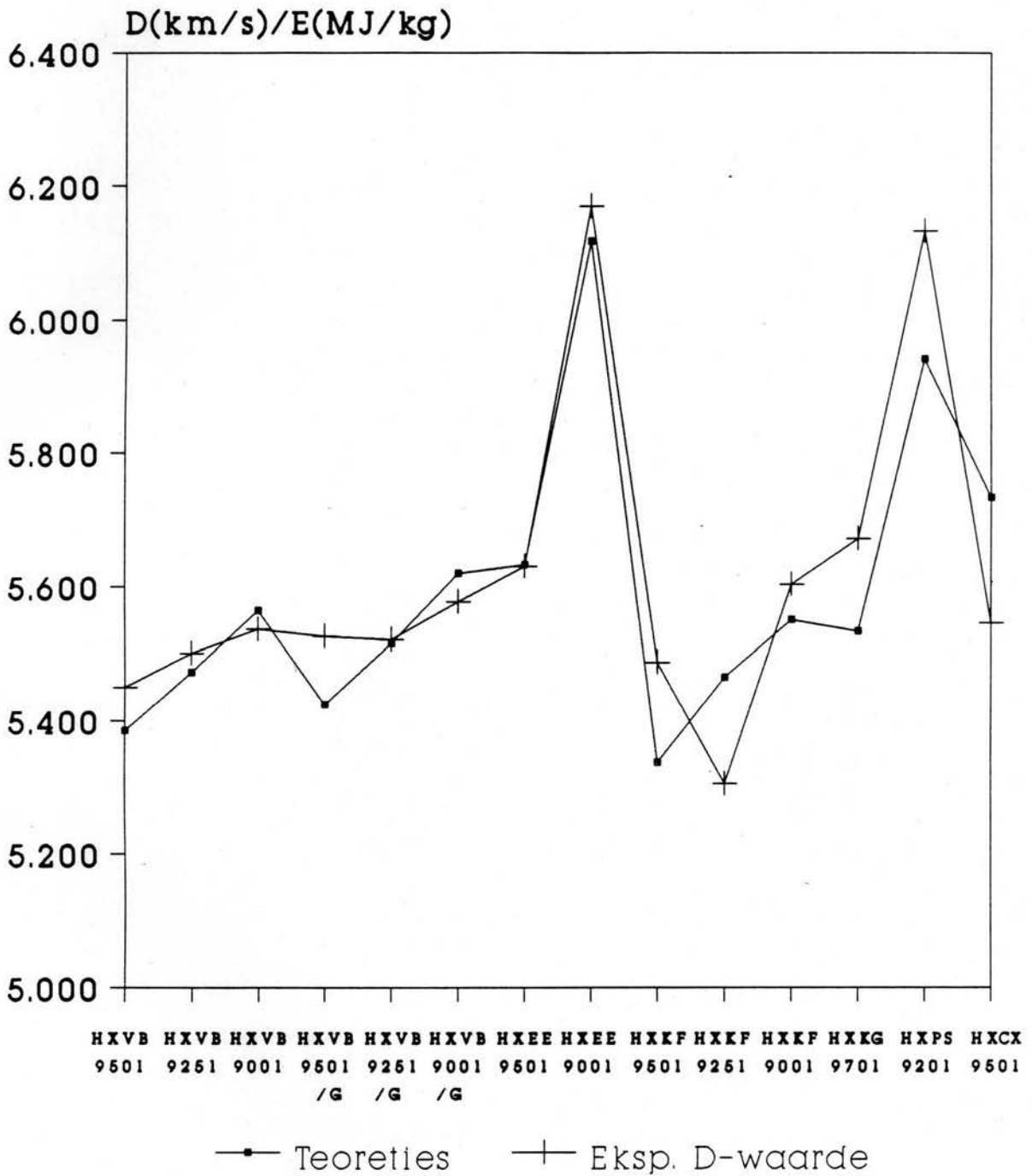
FORMULERING	$E_{cyl} = m \times \% \text{-TMD} + c \text{ [MJ/kg]}$
HXVB 9501	$E_{cyl} = 0,022x - 0,537$
HXVB 92501	$E_{cyl} = 0,021x - 0,482$
HXVB 9001	$E_{cyl} = 0,021x - 0,526$
HXVB 9501G	$E_{cyl} = 0,022x - 0,554$
HXVB 92501G	$E_{cyl} = 0,021x - 0,499$
HXVB 9001G	$E_{cyl} = 0,021x - 0,543$
HXEE 9501	$E_{cyl} = 0,021x - 0,526$
HXEE 9001	$E_{cyl} = 0,019x - 0,494$
HXKF 9501	$E_{cyl} = 0,022x - 0,530$
HXKF 92501	$E_{cyl} = 0,022x - 0,522$
HXKF 9001	$E_{cyl} = 0,021x - 0,514$
HXKG 9701	$E_{cyl} = 0,021x - 0,489$
HXPS 9201	$E_{cyl} = 0,020x - 0,549$
HXCX 9501	$E_{cyl} = 0,021x - 0,517$

Deur nou die E_{cyl} by dieselfde %-TMD's as die D-waardes van Tabel 15.1 te bereken, en die verhouding D (km/s)/ E_{cyl} (MJ/kg) te verkry, word die resultate van Tabel 15.8 verkry. Figuur 15.7 vergelyk hierdie waardes. Hieruit kan afgelei word dat D nie sondermeer vir die voorspelling van E_{cyl} gebruik kan word nie.

Tabel 15.8 : 'n VERGELYK TUSSEN D EN E_{cyl} VIR PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	%TMD	D(km/s)	E_{cyl} (MJ/kg)	D/ E_{cyl}	D/ E_{cyl} (teor)
HXVB 9501	96,30	8,620	1,582	5,450	5,385
HXVB 92501	97,40	8,599	1,563	5,500	5,472
HXVB 9001	97,95	8,476	1,531	5,536	5,564
HXVB 9501G	96,50	8,671	1,569	5,526	5,423
HXVB 92501G	97,53	8,553	1,549	5,521	5,515
HXVB 9001G	98,30	8,485	1,521	5,577	5,620
HXEE 9501	97,09	8,577	1,513	5,630	5,633
HXEE 9001	97,66	8,399	1,362	6,169	6,117
HXKF 9501	96,61	8,752	1,595	5,486	5,377
HXKF 92501	97,17	8,572	1,616	5,305	5,464
HXKF 9001	97,12	8,547	1,526	5,603	5,550
HXKG 9701	95,63	8,617	1,519	5,672	5,533
HXPS 9201	95,87	8,389	1,368	6,132	5,942
HXCX 9501	98,21	8,570	1,545	5,545	5,733

Tabel 5.9 vergelyk die E_{cyl} -waardes van die PBX-formulerings aan die hand van 'n arbitrêr-gekose skaal.



Figuur 15.7 : D/E-WAARDES VIR PBX'e

Tabel 15.9 : RANGORDE VIR E_{CV} VAN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	RANGORDE*
HXVB 9501	3
HXVB 92501	3
HXVB 9001	2
HXVB 9501G	3
HXVB 92501G	3
HXVB 9001G	2
HXEE 9501	2
HXEE 9001	1
HXKF 9501	3
HXKF 92501	3
HXKF 9001	2
HXKG 9701	3
HXPS 9201	1
HXCX 9501	2

(* : 3 = voortreflik; > 1,6 MJ/kg;

2 = gemiddeld; 1,5 - 1,6 MJ/kg; en

1 = laag; < 1,5 MJ/kg)

15.3 DETONASIEDRUK EN GURNEY-ENERGIE

Die detonasiedrukke P_{CJ} (Chapman-Jouget-drukke) van die PBX'e onder bespreking, is van direkte belang vir die ondersoek, aangesien dit ook 'n maatstaf vir die werkvermoë gee. Dit is 'n grootheid wat moeilik direk meetbaar is, en word derhalwe indirek van die effek daarvan op ander materiale, afgelei ¹⁴ (Verwys ook

na figuur 15.1). Berekende resultate kom algemeen voor, en vanweë die relatiewe aard van hierdie ondersoek, is dit as die aangewese metode gevolg.

Die sogenaamde Gurney-metode bind 'n relatief eenvoudige berekening vir die fragmentsnelheid van 'n gegewe brisantstof. Die Gurney karakteristieke snelheid word as $\sqrt{2E}$ gegee, en berus op twee aannames, naamlik dat tydens detonasie, 'n gegewe brisantstof 'n vaste hoeveelheid kinetiese energie aan 'n metaalwand sal oordra, en dat die snelheidsprofiel vir die produkgasse linêr in die materiaalkoördinate is.

Vir die berekening van beide P_{CG} en $\sqrt{2E}$ is die metodes van Dobratz ¹ gevolg, naamlik :

$$P_{CG} = K TMD_0^2 \Phi \text{ en}$$

$$\sqrt{2E} = 0,6 + 0,54(1,44 \Phi TMD_0)^{0,75},$$

waar $K = 15,58$

$$\Phi = NM^{0,5}Q^{0,5}$$

$TMD_0 =$ digtheid van brisantstof vòòr detonasie (g/cm^3)

Kamlet en Jacob se karakteristieke waarde (Φ) is saamgestel uit die produk van die aantal mol gasagtige detonasieprodukte per gram brisantstof (N), die vierkantswortel van die gemiddelde molekulêre massa van die detonasie-gasprodukte (M) en die vierkantswortel van die chemiese energie van die detonasiereaksie (Q). Ten einde Q te

kan bereken, moet die vormingswarmtes van die samestellende komponente van die brisantstof bekend wees. Tabel 15.10 lys die berekende en benaderde ΔH_r -waardes.

Tabel 15.10 : VORMINGSWARMTES VAN PBX-FORMULERINGS
(WAARDES IN HAKIES VERWYS NA DOBRATZ ¹
* = BENADERD)

GRONDSTOF	ΔH_r (cal/g)	PBX-FORMULERING	ΔH_r (cal/g)
HMX	(60,5)	HXVB 9501	-31,3 (-31,4)
		HXVB 92501	-77,5
VB	(-1778)	HXVB 9001	-125,6 (-123)
EE	(-950)	HXVB 9501G	-22,8
KF	(-1398)	HXVB 92501G	-68,7
KG	0*	HXVB 9001G	-114,7
PS	(181,7)	HXEE 9501	10,1 (15,0)
CX	0*	HXEE 9001	-40,4 (-40,5)
DOP	(-687)	HXKF 92501	-12,4
Aptekers-	0*	HXKF 9001	-48,8
paraffien	0	HXKG 9701	58,7*
Grafiet		HXPS 9201	80,3
		HXCX 9501	57,5*

'n Arbitrêr gekose molekulêre massa van 100 g is vir die PBX-formulerings aangeneem. Die vergelyking vir Q, naamlik :

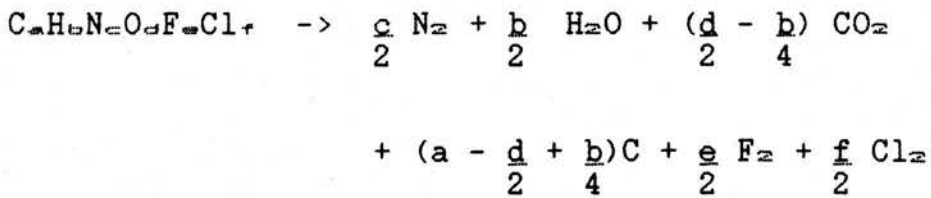
$$\frac{\Delta H_r(\text{detonasieprodukte}) - \Delta H_r(\text{PBX})}{\text{formule massa}}$$

is gebruik, waar die volgende aannames gegeld het, naamlik dat N_2 , H_2O en CO_2 as gasagtige detonasieprodukte voorkom met C as soliede res, behalwe waar VB en KF ter sprake is.

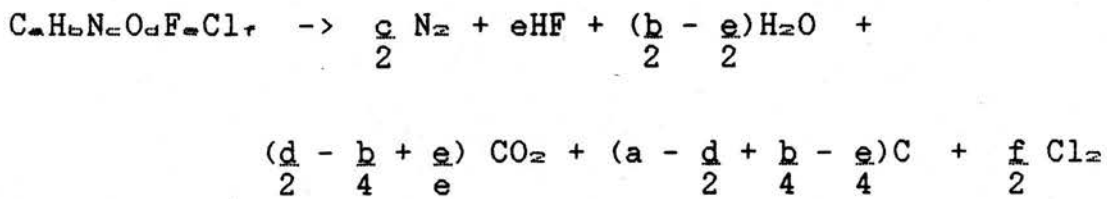
In laasgenoemde gevalle sal HF of F_2 ook vorm, asook Cl_2 by HXKF.

Die volgende algemene reaksievergelykings is dus aangeneem :

Waar F_2 vorm :



of, waar HF vorm :



Die atomiese samestellings van Tabel 11.3 is dus hier relevant.

Die vergelykings ¹ vir N, M en Q kan nou as volg herskryf word om die detonasiegasprodukte van HXVB en HXKF te akkomodeer :

$$N = \frac{2c+2d+b+2e+2f}{48a+4b+56c+64d+142f+76e} \quad \text{of} \quad \frac{b+2c+2d+2f+3e}{48a+4b+56c+64d+142f+76e}$$

$$M = \frac{56c+88d+142f+76e-8b}{2c+2d+b+2f+2e} \quad \text{of} \quad \frac{56c+88d+88e+142f+76e-8b}{b+2c+2d+2f+3e}$$

$$Q = \frac{28,9b+47(d-b/2)+\Delta H_r(\text{PBX})}{2a+b+14c+16d+35,5f+19e} \quad \text{of}$$

$$\frac{\frac{(b-e)57,8}{2} + \frac{(2d-b+e)94}{4} + \Delta H_r(\text{PBX}) + 64,2e}{2a+b+14c+16d+35,5f+19e}$$

Die berekende waardes vir N, M, Q en Φ verskyn in Tabel 15.11. Die berekende waardes vir P_{03} en $\sqrt{2E}$ wat hieruit voortvloei, verskyn in Tabel 15.12, asook enkele literatuurvergelykender data. Figuur 15.8 toon hierdie resultate skematies.

Tabel 15.11 : BEREKENDE WAARDES VIR N, M, Q EN Φ

FORMULERING	INDIEN HF VORM				INDIEN F_{∞} VORM			
	N	M	Q	Φ	N	M	Q	Φ
	(mol /g)	(g /mol)	(cal /g)		(mol /g)	(g /mol)	(cal /g)	
HXVB 9501	0,034	27,045	1,421	6,593	0,033	27,236	1,320	6,294
HXVB 92501	0,034	26,955	1,393	6,503	0,033	27,251	1,240	6,048
HXVB 9001	0,033	26,874	1,363	6,408	0,033	27,270	1,159	5,798
HXVB 9501G	0,033	27,050	1,412	6,509	0,033	27,229	1,320	6,241
HXVB 92501G	0,033	26,970	1,384	6,421	0,033	27,249	1,241	6,000
HXVB 9001G	0,033	26,887	1,356	6,332	0,032	27,267	1,162	5,756
HXEE 9501	0,034	26,437	1,417	6,488	-	-	-	-
HXEE 9001	0,033	25,661	1,357	6,207	-	-	-	-
HXKF 9501	0,033	27,437	1,413	6,563	0,033	27,593	1,334	6,332
HXKF 92501	0,033	27,556	1,381	6,459	0,033	27,794	1,263	6,111
HXKF 9001	0,033	27,687	1,348	6,352	0,032	28,011	1,192	5,886
HXKG 9701	0,034	26,176	1,454	6,587	-	-	-	-
HXPS 9201	0,033	25,491	1,428	6,264	-	-	-	-
HXCX 9501	0,033	26,176	1,426	6,381	-	-	-	-
HMX	0,034	27,200	1,477	6,777	-	-	-	-

Tabel 15.12 : BEREKENDE WAARDES VIR P_{CJ} EN $\sqrt{2E}$
(LITERATUURWAARDES IN HAKIES)

FORMULERING	P_{CJ} (kbar)	$\sqrt{2E}$ (m/s)
HXVB 9501	369 of 352 (360) ¹	2891 of 2838
HXVB 92501	363 of 338 (344) ^{1,4}	2874 of 2793
HXVB 9001	357 of 323 (346) ¹	2856 of 2746
HXVB 9501G	363 of 348	2875 of 2827
HXVB 92501G	358 of 334	2858 of 2783
HXVB 9001G	352 of 320	2841 of 2737
HXEE 9501	344 (370, eksp) ¹	2841 (2800) ¹
HXEE 9001	310 (324, eksp) ¹	2761
HXKF 9501	371 of 358	2892 of 2851
HXKF 92501	367 of 347 (346) ^{1,4}	2875 of 2813
HXKF 9001	361 of 335	2858 of 2773
HXKG 9701	346 (367) ⁶⁶	2864 (2900) ⁶⁶
HXPS 9201	313	2771
HXCX 9501	325	2801
HMX	381 (394) ^{1,2}	2924 (2970) ¹

Dit is nou moontlik om op 'n arbitrêr-gekoose, relatiewe skaal die formulerings ten opsigte van detonasiedruk en Gurney-snelhede te vergelyk. Hierdie vergelyking verskyn in Tabel 15.13, waar die indeling as volg gemaak is : [1] vir 'n relatief lae waarde, [2] vir 'n gemiddelde waarde en [3] vir 'n hoë waarde, relatief tot suiwer HMX.

Tabel 15.13 : RANGORDE VIR P_{CJ} EN $\sqrt{2E}$ VIR PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	RELATIEWE GEWIG	
	P_{CJ}	$\sqrt{2E}$
HXVB 9501	3	3
HXVB 92501	3	3
HXVB 9001	2	3
HXVB 9501G	3	3
HXVB 92501G	2	3
HXVB 9001G	2	2
HXEE 9501	2	2
HXEE 9001	1	1
HXKF 9501	3	3
HXKF 92501	3	3
HXKF 9001	3	3
HXKG 9701	2	2
HXPS 9201	1	1
HXCX 9501	2	2

15.4 INISIEERBAARHEID

Alhoewel die inisieerbaarheid van die hooflading nie so kritiek in terme van ontwerp soos byvoorbeeld 'n hollading is nie, is dit tog belangrik vir die plofkopontwerper om die inisieerbaarheidskarakteristieke van die PBX te weet.

Hierdie eienskappe sluit opbou-tot-detonasie, kritieke inisiëringsmassa, swenkradius en kritieke deursnee in. Die 'skoksensitiwiteit' van PBX, soos met behulp van die gapingstoetse bepaal, word nie hier bespreek nie, maar wel in die volgende hoofstuk.

Die opbou-tot-detonasie-gedrag (OTD) van brisantstowwe kan as volg gedefinieer word, naamlik die verskynsel dat invallende skokdrukke laer as die Neumann-druk nie oombliklike detonasie sal veroorsaak nie, maar dat die detonasie-opbou geleidelik oor 'n afstand binne die brisantstof sal plaasvind, totdat die skoksensitiwiteit en die opbousnelheid saamval en stabiele detonasie sal onderhou. Hierdie effek is baie digtheid-afhanklik, aangesien porositeit ('hot spots') die oorgang detonasie sal bevoordeel. Verskeie tegnieke om die OTD te meet, bestaan, waarvan die sogenaamde 'POP-plots' die bekendste is ¹⁴. 'n Logmatiese verwantskap tussen inisiëringsdruk en afstand vir OTD bestaan ($P \propto \log(\text{afstand})$). Tabel 5.14 vat enkele literatuurresultate in die verband saam. In die praktyk is dit belangrik dat die PBX nie by inisiëringsdrukke laer as 8 kbar sal reageer nie, maar dat dit betroubaar in hoër drukgebiede sal funksioneer, dit wil sê met OTD-afstand so kort moontlik. Aangesien die hoofladinglengte relatief groot is, sal 'n OTD-afstand van etlike mm nie eintlik 'n wesenlike invloed op die werkverrigting van die plofkop hê nie, maar die betroubaarheid van inisiasie is van kritieke

belang. Aangesien 'n kort OTD-afstand 'n weergawe van betroubaarheid is, is die waardes om hierdie rede belangrik.

Tabel 15.14 : INISIEERBAARHEIDSDATA VIR PBX-FORMULERINGS
(P = INVALLENDE SKOKDRUK, OTD = OPBOU-TOT-DETONASIE-AFSTAND)

FORMULERING	OPMERKING	BRON
LX-10 (HMX/Viton 95/5)	P = 47 kbar, OTD = 4,8 mm (98,10% TMD) P = 100 kbar, OTD = 0,6 mm (98,10% TMD)	1
LX-07 (HMX/Viton 90/10)	P = 56 kbar, OTD = 6,0 mm (98,31% TMD) P = 85 kbar, OTD = 1,2 mm (98,31% TMD)	1
PBX 9011 (HMX/Estane 90/10)	P = 47 kbar, OTD = 5,2 mm (99,72% TMD) P = 100 kbar, OTD = 0,9 mm (99,72% TMD) Log P(GPa) = 1,1835 - 0,657 log OTD(mm) (4,8 < P < 16)	1
HMX	Log P(GPa) = 1,8 - 0,59 log OTD (4,4 < P < 9,6) (99,5% TMD)	1

Uit Tabel 15.14 kan gesien word dat die formulerings almal hoër inisiasiedrukke vir kort OTD benodig. Die volgende algemene afleidings word gemaak, naamlik (i) hoe hoër die HMX-inhoud hoe korter OTD vir dieselfde binder, (ii) hoe hoër die digtheid (%-TMD) hoe hoër die inisiasiedruk maar hoe korter die OTD en (iii) geen probleme word ten opsigte van inisiasie vir HMX-gebaseerde PBX met relatief hoër HMX-inhoud en -digtheid voorsien nie. Die PBX-formulerings is

derhalwe almal ten opsigte van inisiasiegedrag aanwendbaar as hooflading.

Die kritieke inisiëringsmassa, swenkradius en kritieke deursnee van die PBX-formulerings word nie hier bespreek nie, aangesien die vereiste hooflading-geometrie vir die PBX sodanig groot is dat hierdie effekte nie 'n invloed ten opsigte van betroubaarheid het nie. Tipiese data van HMX-gebaseerde brisantstowwe verskyn in Tabel 15.15, waaruit 'n grootte-orde indruk vir die PBX kan verkry word.

Tabel 15.15 : DIVERSE INISIËRINGSEIENSKAPPE VAN HMX-GEBASEERDE BRISANTSTOWWE

FORMULERING	KRITIEKE INISIËRINGS massa (mg) ^{1*}	SWENKRADIUS ² (mm)	KRITIEKE DEURSNIE ¹ (mm)
PBX 9011 (HX/EE 90/10)	88,8	-	
PBX 9404 (94% HMX)	22,8	-	1,2
PBX 9501 (95% HMX)	-	-	< 1,52
PBX 86/14 (86% HMX)	-	4,5	-
H/W 90/10 (90% HMX)	-	-	< 7,0

HOOFSTUK 16

SENSITIWITEITSEIENSKAPPE VAN PBX

Die belangrikheid van stabiliteit van die hooflading is reeds vroeër herhaaldelik beklemtoon, dit wil sê die vermoë van die PBX om impak-, wrywing-, skok- en elektrostatische stimuli te kan weerstaan, sonder om tot 'n hoë-orde reaksie (deflagrasie of detonasie) oor te gaan. Verskillende tegnieke om brisantstowwe ten opsigte van hierdie eienskappe te karakteriseer, bestaan, en vir die doeleindes van hierdie ondersoek is die volgende ter sake, naamlik (i) impaksensitiwiteit, soos deur die valhamertoets bepaal, (ii) impaksensitiwiteit, soos deur projektielimpak bepaal, (iii) gelyktydige impak- en wrywingsensitiwiteit, soos met die glytoets gemeet, (iv) skoksensitiwiteit, soos met behulp van die sogenaamde gapingstoetse (E: Gap Tests) gemeet en (v) elektrostatische sensitiwiteit, soos deur hoogspanningontlading bepaal. Ten opsigte van al hierdie stimuli is die ideaal dat die PBX glad nie onder matige toetskondisies sal reageer nie, maar indien 'n reaksie wel voorkom, dat dit hoogstens 'n brand sal wees. Die rasionaal agter hierdie vereiste is dat die plofkop nie tydens normale stoor- en vervoerpraktyke ontydig reageer en verwoesting in die omgewing saai nie, met gepaardgaande lewensverlies en skade aan gevorderde wapenplatforms. Dit is derhalwe noodsaaklik dat die respons van die PBX ten opsigte van hierdie geïdentifiseerde stimuli voorspelbaar is, sodat die plofkop met veiligheid in die verskillende omgewings hanteer kan word.

16.1 IMPAKSENSITIWITEIT (KORRELPRODUKTE)

Die impaksensitiwiteit van die onderskeie PBX-korrelprodukte is reeds in Tabel 6.15 weergegee. Die apparaatopstelling verskyn as figuur 6.5. Dit is ook in Hoofstuk 6 gemeld dat die formulerings nie deur die binder gedesensiteer word nie, met sensitering wat selfs voorkom. Die resultate is ook van so 'n aard dat positiewe onderskeid nie tussen formulerings getref kan word nie, en derhalwe kan al die PBX'e as onwenslik ten opsigte van valhamerimpak beskou word (relatiewe rangorde [1]). Die nie-verteenvoerdigende aard van die toetsmonsters, asook die groot rol wat omgewingsinvloede op die toetsresultaat uitoefen, maak die relatiewe gewig van hierdie toets klein, en derhalwe is impaktoetse ook op die geperste PBX uitgevoer.

16.2 IMPAKSENSITIWITEIT (LADINGS)

Die koeëlimpaksensitiwiteitstoets (of koeëlslagsensitiwiteitstoets, KSST) bied, agtergrond-inligting rakende die sensitiwiteitsgedrag van geperste PBX. KSST is 'n bepaalde tipe fragmentimpaktoets, wat ook weer verder in verskillende toetse opgedeel kan word, afhangend van die koeëlkaliber, koeëlimpaksnelheid en mate van monsterinperking. Gewoonlik word die toetsopstelling ooreenkomstig die tipe inligting wat verlang word, gedoen. Twee vrae beïnvloed hierdie keuse,

i) is die brisantstof onder die gegewe kondisies inisieërbaar, met ander woorde wat is die waarskynlikheid dat die koeël 'n chemiese reaksie in die toetsmonster sal teweegbring, en/of

ii) wat is die tipe respons wat na aanleiding van die impak verkry word, dit wil sê tipe chemiese reaksie?

Hier is die ideaal om geen reaksie as gevolg van impak te toon nie, maar indien 'n reaksie wel sou plaasvind, dat dit 'n matige reaksie (nie-ontploffing) moet wees. Die motivering hiervoor is dat die missiel gedurende sy leeftyd aan projektiel-aanvalle blootgestel kan wees, byvoorbeeld onder die vliegtuigvlerk tydens operasies. Derhalwe moet die respons van die lading ten opsigte van hierdie impak matig wees, om die veiligheid van persoon en behoud van wapenplatform te verseker. Twee tegnieke word gebruik om hierdie risiko te minimiseer, naamlik ploffkopontwerp en die gebruik van onsensitiewe hoofladings. Die 'onsensitiewiteit' is 'n relatiewe begrip, onderworpe aan die veranderlikes soos in die eerste paragraaf genoem. Tipiese KSST wat tans in gebruik is, sluit die volgende in :

- die bepaling van die inisieërbaarheid van oningeperkte ladings deur middel van 7,62 mm-projektiele, wat teen verskillende snelhede gevuur word sodat 'n minimum snelheid vir detonasie, en 'n

maksimum snelheid vir geen reaksie, bepaal kan word. Reaksietipes word deur middel van klankomsetters bepaal. Die koeëlsnelheid is 'n indirekte aanwyser van inisiëringsdruk vir die lading ¹⁴,

- die bepaling van reaksietipe van ingeperkte ladings, deur dit met 7,62 mm of 12,7 mm projektiële, teen konstante snelhede, te bestook. Gewoonlik word 10 tot 20 skote vir 'n gegewe opstelling gevuur, en die reaksietipes word in terme van persentasievoorkoms gegee ¹⁴,

- die bepaling van die 'oorleefbaarheid' (E:survivability) van 'n ploffstof deur die maksimum projektiëlsnelheid vir geen reaksie van die toetsmonster, te bepaal. Hiervoor word die lading sterk ingeperk om sodoende dit van 'n gewone inisiëringstoets te onderskei ¹⁵, en

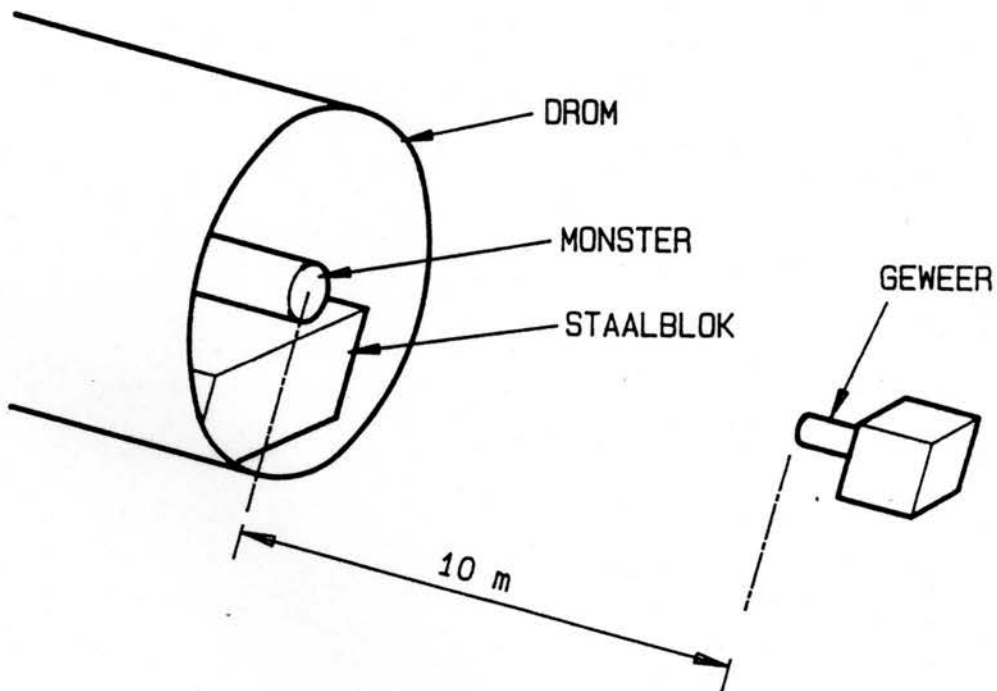
- die sogenaamde 'RATTAM'-vereistes, waar die lading binne die werklike plofkop met 7,62, 12,7 en 20 mm rondtes (laasgenoemde brisantrondte) bestook word en geen ontploffingsreaksie toegelaat word nie (wel brand). Hierdie is uiters strawwe oorleefbaarheidstoetse, waaraan min formulerings tans kan voldoen ¹⁵.

'n Vlugtige oorsig van die teoretiese aspekte betrokke by fragmentimpak, toon dat indien nie-ingeperkte toetsmonsters gebruik word, inisieërbaarheid bepaal word. Indien die toetsmonsters egter ingeperk is, word skoksensitiwiteit (dit is hoë-snelheid impaksensitiwiteit) bepaal. Verder word die respons van die lading ten opsigte van die invallende projektiel bepaal deur die ladingsamestelling, %-TMD, asook mate en tipe van inperking ⁶⁷. Projektiële met platpunte verhoog die impakskok wat aan die lading oorgedra word drasties in vergelyking met skerppunt projektiële, selfs al word laasgenoemde teen dubbel die snelhede van eergenoemde gevuur ⁷⁰. Die dikte van die inperkingsmateriaal bepaal die drumpelenergie vir die ingeperkte lading, dit wil sê hoe dikker die materiaal, hoe hoër die minimum snelheid vir reaksie. Die reaksietipe word egter vererger soos die mate van inperking die reaksie tot hoër orde dwing. Die netto effek van inperking kan dus, simplisties beskou, as 'n afname in skoksensitiwiteit maar ook as 'n afname in oorleefbaarheid (meer drastiese respons) beskou word ⁶⁷. Die meganiese eienskappe van die lading speel 'n deurslaggewende rol ten opsigte van die respons wat verkry word. Indien die lading 'n hoë Young se modulus besit, sal dit geneig tot bros breekgedrag onder impak wees. In die breukdeel van 'n sekonde wanneer die koeël die lading tref, sal

kraakvorming tot 'n baie groot mate van die impak gepaard gaan. Indien lokale 'hot spot'-vorming plaasvind, sal die reaksiegasse in die krake beweeg, wat drukopbouing sal meebring. Meer inisiëringspunte word gevorm, meer gasse word gevorm, en sodoende begin detonasie-opbou. As die lading daarenteen meer rubberagtig breek, ontsnap gasse wat as gevolg van die impakreaksie mag ontstaan, deur die 'kanaal' wat die koeël in die lading vorm. Derhalwe is die breekgedrag van die lading van primêre belang tydens simulاسie van KSST-resultate ⁷¹, en hierdie verklaring gee ook 'n aanduiding waarom ingeperkte ladings relatief heftiger as nie-ingeperktes sal reageer, dit is as gevolg van drukopbouing.

Die KSST vir hierdie ondersoek is op oningeperkte PBX'e uitgevoer. Die motivering hiervoor was dat dit vergelykenderwys gedoen word, om aanduidings van inisieërbaarheid te verkry (in hoofstuk 10 is dit gemeld dat hierdie nooit as 'n absolute aanvaardingstoets dien nie, maar slegs ter agtergrond). Verder is die aanname gemaak dat formulerings wat in die oningeperkte toestand maklik tot reaksie oorgaan, onder kondisies van inperking meer skoksensitief (en dus relatief minder aanvaarbaar) sal wees. Ten slotte het ekonomiese

faktore die omvang van die toets beperk, sodat die resultate hoogstens as aanduidend, en nie statisties verantwoordbaar, beskou kan word. Hierdie benadering word egter algemeen by hierdie tipe toetse aangetref ¹⁴.



Figuur 16.1 : TOETSOPSTELLING VIR KSST

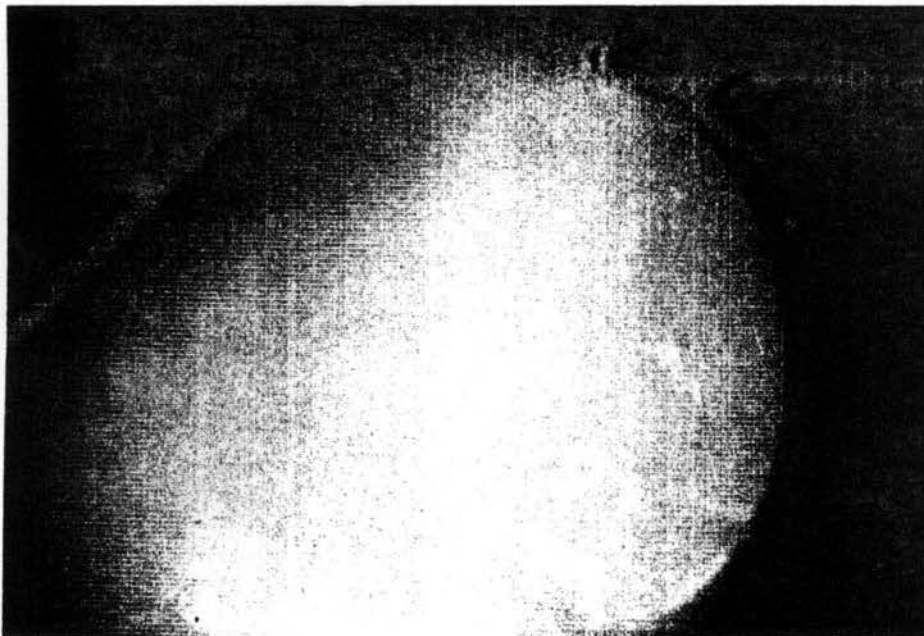
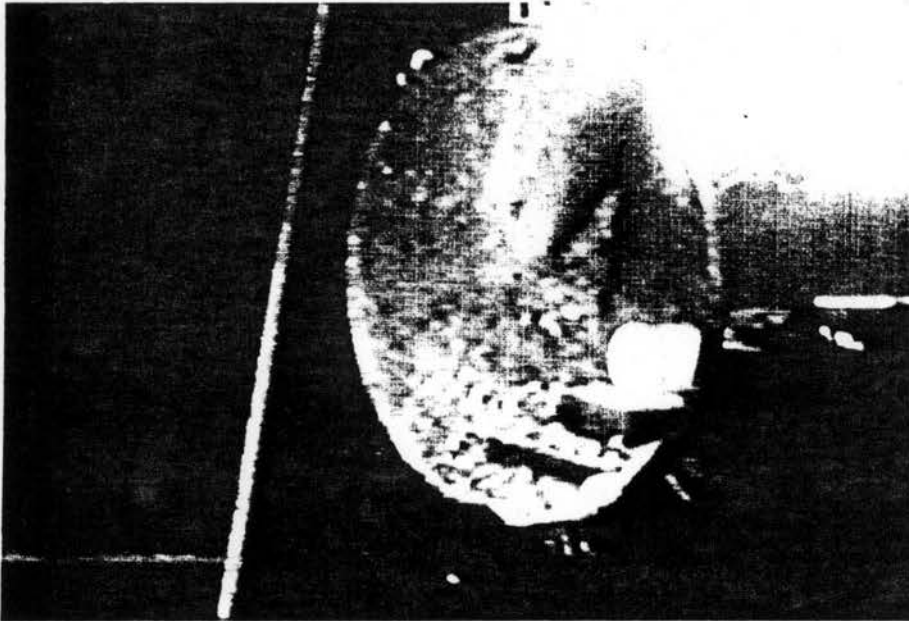
ø90mmx70mm PBX-ladings is vir die KSST gebruik. Tot vyf van elke formulering is geskiet, en die toetsresultate is in terme van reaksietipe en ladingbreek beoordeel. Die toetsopstelling soos in figuur 16.1 weergegee, is deurgaans gebruik. Die toetsmonster is op 'n staalverwysingsplaat in 'n sandgevulde drom geplaas, met die 7,62 mm geweer op 'n afstand van 10 m vanaf die monster. Die geweer is afstandbeheer gevuur en resultate is in terme van die staalverwysingsplaat (E:witness block) se beskadiging beoordeel. Video-opnames is addisioneel tot laasgenoemde gebruik om die reaksietipe te bepaal :

- Geen reaksie : die toetsmonster word sonder enige waarneembare reaksie uitmekaar geskiet terwyl die staalblok en die drom onbeskadig is,
- Brand : die koeëlimpak veroorsaak dat die PBX brokstukke in vlamme uitmekaar spat, terwyl geen beskadiging van die staalblok en drom waargeneem kan word nie (kyk figuur 16.2),

- Deflagrasie/detonasie : 'n ontploffingsreaksie wat duidelik hoorbaar is, word waargeneem, terwyl die staalblok gebuig of in skerwe geskiet is. Gewoonlik het die toetsdrom dan ook omgeslaan. Daar is nie ten opsigte van deflagrasie en detonasie onderskei nie, alhoewel dit op grond van die staalblok se beskadiging moontlik sou wees. Alhoewel die toets ter vergelyking uitgevoer is, is die volgende data ook relevant, naamlik :

- Koeëltipe : standaard 7,62 mm, 143-grein volmantel bolpunt
- Koeëlimpaksnelheid : 827 m/s
- Kinetiese energie van koeël tydens impak : 3,17kJ
- Impakmomentum : 7,67 kg.m/s

Die toetsresultate word in Tabel 16.1 weergegee, terwyl Tabel 16.2 'n vergelyk tussen KSST-resultate en meganiese eienskappe vir die PBX weergee. Figuur 16.2 gee afbeeldings van die opstelling en 'n tipiese resultaat weer.



Figuur 16.2 : BRANDREAKSIE VAN HXVB 9001G

Tabel 16.1 : KSST-RESULTATE VAN PBX-FORMULERINGS
(NR=geen reaksie, B=brand, D=ontploffing)

FORMULERING	GEM %-TMD	RESULTATE	TIPE BREEK (Brokstukke)
HXVB 9501	96,54	2 X NR 2 X B 2 X D	Nie-egalig
HXVB 92501	97,19	5 X NR	Medium tot groot
HXVB 9001	97,95	5 X NR	Groot
HXVB 9501G	96,34	3 X NR	Nie-egalig
HXVB 92501G	97,42	5 X NR	Medium
HXVB 9001G	98,46	3 X NR 1 X B	Groot
HXEE 9501	96,64	5 X NR	Groot
HXEE 9001	97,54	5 X NR	Baie groot
HXKF 9501	96,75	2 X NR 2 X B 2 X D	Fyn Poeier
HXKF 92501	97,36	5 X NR	Onegalig
HXKF 9001	97,35	5 X NR	Medium
HXKG 9701	94,15	3 X NR 1 X B	Baie groot
HXPS 9201	95,56	6 X NR	Fyn
HXCX 9501	97,99	5 X NR	Groot

Tabel 16.2 : VERGELYK TUSSEN KSST-RESULTATE EN MEGANIESE EIENSKAPPE

FORMULERING	REAKSIETIPE (EERSTE GRAAD)	YOUNG'S E MODULUS	
		Trek	Druk
HXVB 9501	Ontploffing	207	557
HXVB 92501	Geen	230	566
HXVB 9001	Geen	46	453
HXVB 9501G	Geen	217	559
HXVB 92501G	Geen	218	501
HXVB 9001	Brand	7	472
HXEE 9501	Geen	11	528
HXEE 9001	Geen	18	303
HXKF 9501	Ontploffing	510	1099
HXKF 92501	Geen	532	1111
HXKF 9001	Geen	370	1064
HXKG 9701	Brand	170	509
HXPS 9201	Geen	32	741
HXCX 9501	Geen	32	565

Uit die literatuur kon baie min vergelykbare data verkry word. Die volgende is wel voorbeelde : HMX/Kel F800 95/5 (ekw HXKF 9501): 5 skote, 5/5 ontploffings⁶⁷, en LX-14 (ekw HXEE 9501): 10 skote, (7,62 mm @ 800m/s, ingeperk), 9/10 ontploffings⁷⁴. Die resultate word in Tabel 16.3 ten opsigte van geskiktheid vir hierdie ondersoek vergelyk, aan die hand van 'n arbitrêr-gekose skaal, waarvolgens 'n ontploffing onaanvaarbaar is [0], 'n brand onwenslik [1] en geen reaksie verkieslik [3].

Tabel 16.3 : RANGORDE VIR PBX-FORMULERINGS TEN OPSIGTE VAN KSST

FORMULERING	RANGORDE
HXVB 9501	0
HXVB 92501	3
HXVB 9001	3
HXVB 9501G	3
HXVB 92501G	3
HXVB 9001G	1
HXEE 9501	3
HXEE 9001	3
HXKF 9501	0
HXKF 92501	0
HXKF 9001	0
HXKG 9701	1
HXPS 9201	3
HXCX 9501	3

16.3 IMPAK- EN WRYWINGSSENSITIWITEIT

'n Belangrike deel van die leeftydsiklus van die geperste PBX is waar dit binne die vervaardigingsaanleg ná persing hanteer en geberg word, alvorens dit in die plofkop saamgestel kan word. Dit is dus belangrik om te weet hoe veilig die lading hanteer kan word. Verskeie toetstegnieke bestaan hiervoor, met die sogenaamde GLYTOETS as een van die mees verteenwoordigende toetstegnieke in terme van simulاسie van die aanlegfasiliteite. Soos by die KSST, is dit belangrik om

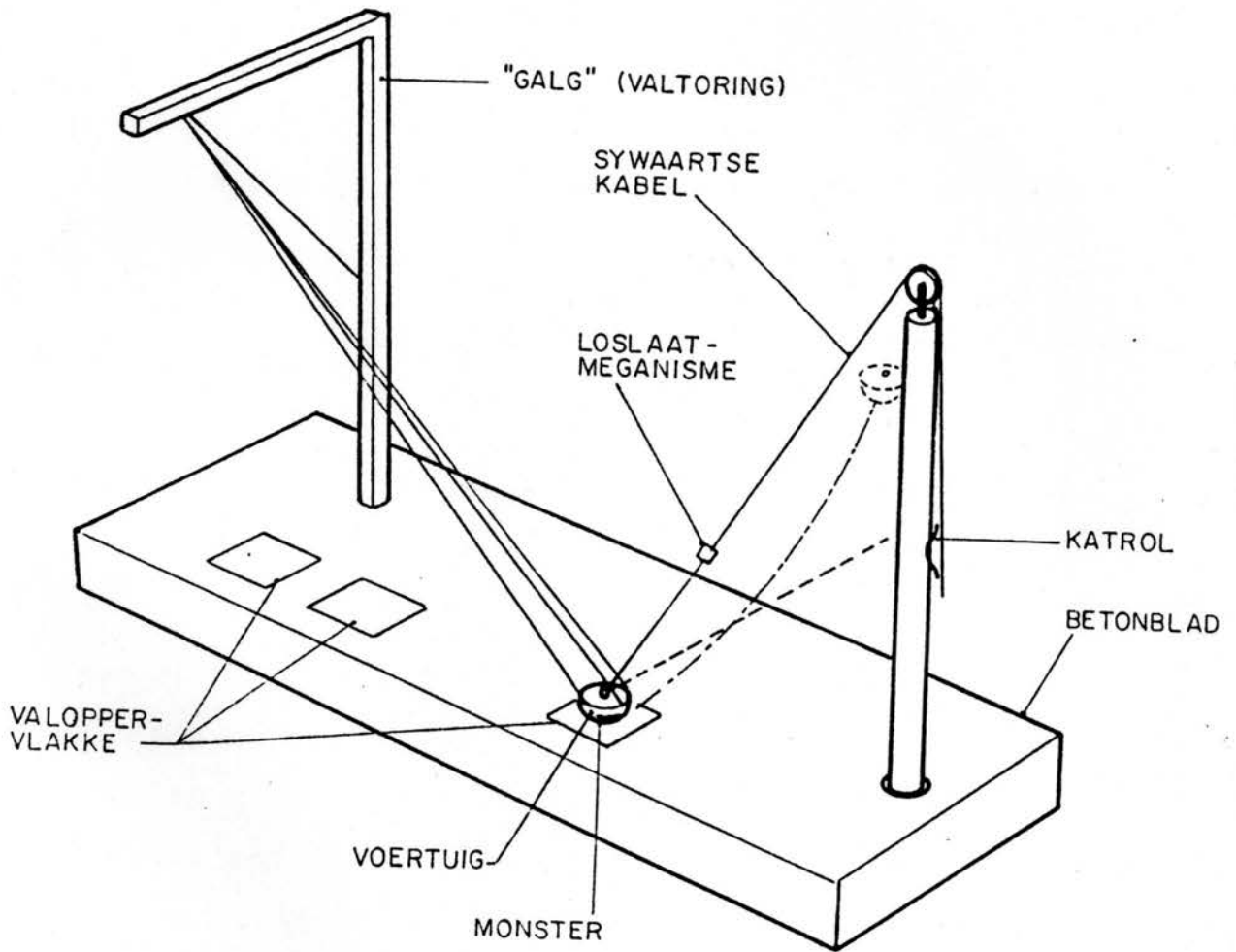
te weet wat die waarskynlikheid is dat 'n lading, wanneer aan bepaalde stimuli blootgestel, sal reageer, en wat die tipe reaksie is wat verkry word. Wéér is die ideaal dat die lading onder kondisies van toevallige val, nie enigsens sal reageer nie (met ander woorde simplisties gestel, onsensitiewe formulering word vereis). Alhoewel volskaalse risiko-analise met betrekking tot die veiligheid van 'n lading (in hierdie geval ten opsigte van hantering) slegs finaal gedoen kan word wanneer die finale produksielyn tot stand gebring is, kan die resultate van hierdie vroeë ondersoek wel 'n definitiewe invloed op die keuse van hierdie formulering uitoefen. Dit sou byvoorbeeld nie sinvol wees om met die verdere ontwikkeling van 'n PBX voort te gaan as die aanlegrisiko's daarvan onaanvaarbaar hoog is nie. Die terme 'toevallige inisieërbaarheid' en 'ontploffbaarheid' (E: sensitiveness and explosiveness) is dus net so van toepassing by hanteerbaarheid soos by oorleefbaarheid.

Die glytoets (E: oblique impact, skid test) is na aanleiding van 'n fatale ongeluk by 'n ploffstoffabriek te AWRE ontwikkel, toe daar bevind is dat 'n geperste HMX-lading nie sal ontplof indien dit vertikaal vanaf 'n hoë hoogte op 'n harde oppervlak laat val word nie, maar wel as dit vanaf 'n heelwat laer hoogte die oppervlak skuins (dit wil sê met impak- sowel as wrywingskomponente) tref. So byvoorbeeld is daar na aanleiding van die bogenoemde ongeluk bevind dat PBX 9404 nie ontplof indien dit 8' vertikaal val nie, maar indien dit dieselfde oppervlakte teen 45° tref, word reaksies reeds

by 2'6" verkry ⁷⁷. Alhoewel die toets relatief groot massas plofstof verg, en dit ook nie statisties verantwoordbaar uitgevoer word nie, word die toets algemeen as die toereikendste in die verband beskou.

Basies bestaan die toetsopstelling uit 'n toring, 'n toetsmonsterhouer aan 'n tou (die sogenaamde voertuig) en 'n valoppervlak. Die plofstofmonster word in die voertuig bevestig, na 'n bepaalde hoogte radiaal vanaf die oppervlak gehys, en losgelaat sodat die toetsmonster die valoppervlak skuins tref. 'n Veralgemeende opstelling verskyn in figuur 16.3.

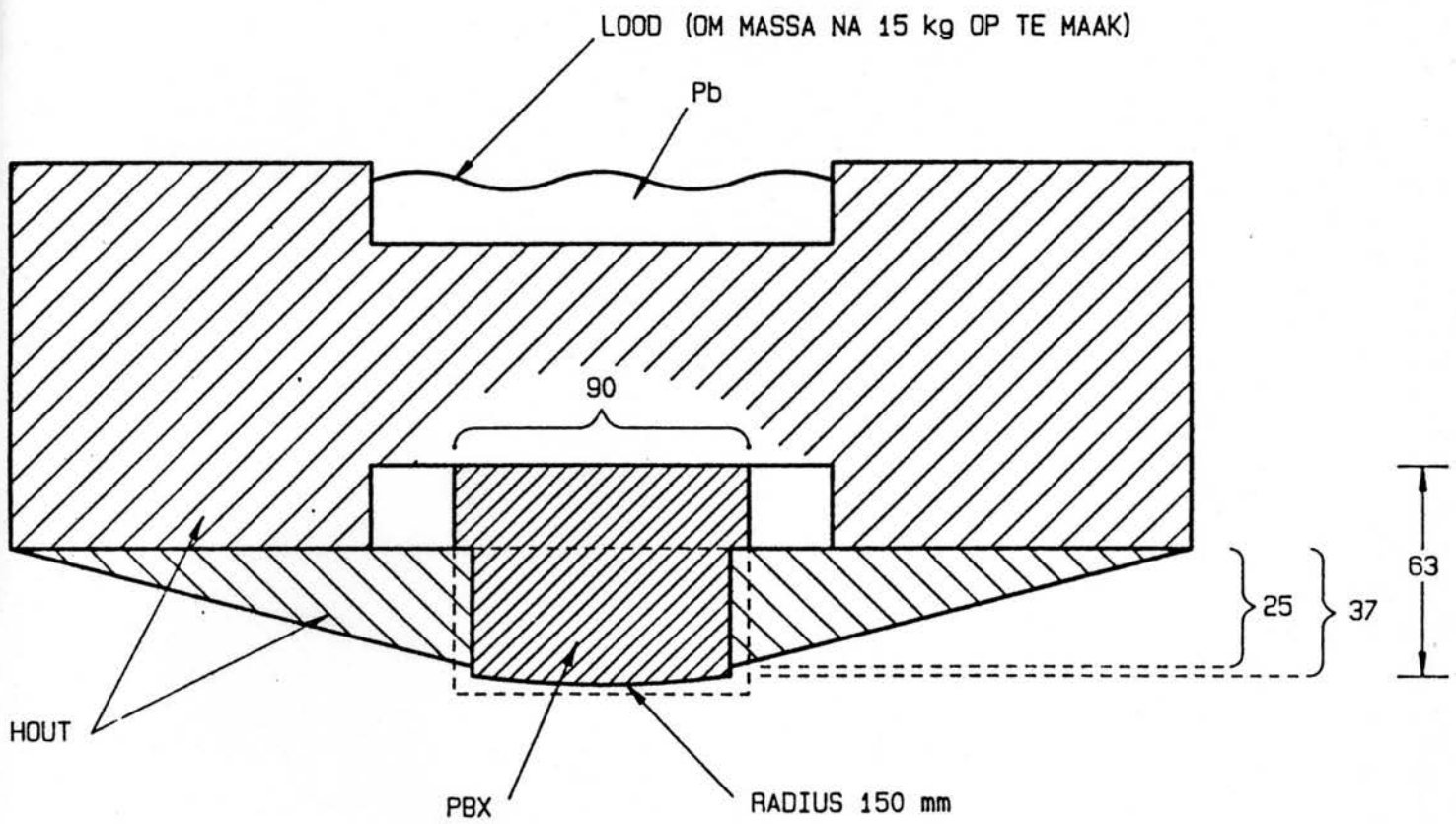
Verskillende toetsopstellings is in gebruik, met primêre verskille aan (i) massa van die voertuig en dus momentum daarvan, en (ii) tipe oppervlakmateriaal toe te skryf. Gewoonlik word die toetsoppervlakte ooreenkomstig die toetsdoelwit gekies, byvoorbeeld om tipe vloerbedekkings te evalueer. As 'n algemene, verswarende toets, word sand op 'n metaalplaat gegom om as vergelykender basis te dien. Tsv die ekstreme toetskondisies, word laasgenoemde as heel realisties ten opsigte van aanlegkondisies beskou ⁷⁸. Ook word verskille ten opsigte van toetsuitvoering aangetref, met die sogenaamde 'go/no go'-tegniek of die vaste hoogte-metode. Met eersgenoemde word 'n 50%-hoogte vir reaksie bepaal, terwyl laasgenoemde die waarskynlikheid vir 'n reaksie by 'n bepaalde hoogte verkry. Reaksietipes word redelik uniform in die volgende klasse verdeel ⁷⁹:



Figuur 16.3 : OPSTELLING VIR DIE "GLYTOETS"

- 0 : Geen reaksie, lading behou integriteit
- 1 : Brand- en skuurmerke op lading, steeds meganiese integriteit
- 2 : Rook sigbaar, maar geen vlam of lig sigbaar tydens impak nie
- 3 : Matige lae-orde reaksie met vlam of lig, lading breek op en verstrooi
- 4 : Medium lae-orde reaksie met vlam en lig, groot gedeelte van lading verbruik
- 5 : Heftige deflagrasie, feitlik alle brisantstof verbruik
- 6 : Detonاسie

Bogenoemde skaal is ook vir hierdie ondersoek gebruik, en resultate word in terme van hierdie indeling weergegee. Verder is al die formulerings vanaf 'n hoogte van 3,0 m (ekstreme kondisie) op skuurpapiervelle (P20 grofste graad) laat swaai. Die skuurpapier is op 400mmX400mm staalplate vasgeplak, en na elke toets vervang, ongeag of reaksie plaasgevind het. Die opstelling was sodanig dat die toetsvoertuig teen 'n hoek van 76° met die vertikale losgelaat is, sodat korrelasie met die LLNL-metode, waarop die glytoets gebaseer is, verkry kon word. PBX-monsters is uit ø90mmX70mm-ladings gemasjineer, om in die toetsvoertuig (figuur 16.4) te pas. Die totale massa van die voertuig bedra 15 kg. Elke bepaling is vyfvoudig gedoen en



Figuur 16.4 : TOETSVOERTUIG VIR GLYTOETS (MATES IN mm)

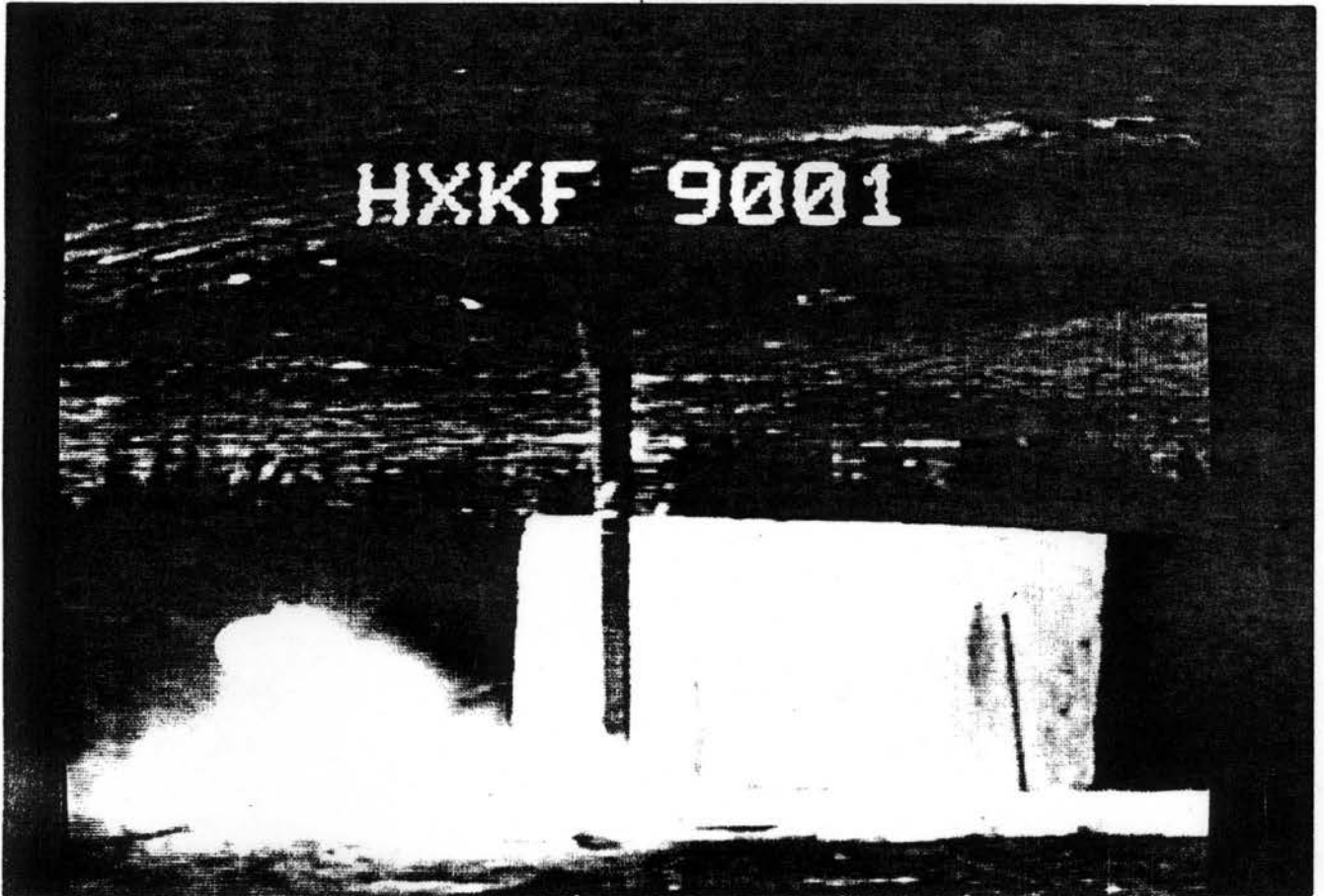
videotoerusting is gebruik om die reaksietipe te beoordeel.

Die resultate van die ondersoek verskyn in Tabel 16.4.

Figuur 16.5 toon 'n tipiese deflagrasie.

Tabel 16.4 : GLYTOETSRESULTATE VAN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	RESULTAAT	GEM %-TMD	LITERATUUR ^{1. 5. 6}
HXVB 9501	3;4;2;0;0	96,45	LX-10:6;6;0(0,38m, 76°@16°C)
HXVB 92501	3;3;3;0;0	97,21	
HXVB 9001	0;0;0;0;0	97,95	LX-07:3;3;6(0,76m, 76°)
HXVB 9501G	3;3;3;3;0	96,79	-
HXVB 92501G	3;0;0;0;0	97,48	-
HXVB 9001	0;0;3;2;2	98,20	-
HXEE 9501	0;0;0;0;0	96,81	LX-14:3;0;0;0(0,38m, 76°)
HXEE 9001	0;0;0;0;0	97,85	PBX 9011:1 (9,53m, 76°)
HXKF 9501	0;2;6;3	96,92	-
HXKF 92501	6;4;3;0	97,38	-
HXKF 9001	5;4;2;5	97,32	-
HXKG 9701	0;0;0;0;0	95,82	X-0298:2 (4,4M, 45°)
HXPS 9201	0;0;0;0;0	95,80	-
HXCX 9501	0;0;0;0;0	98,00	-



Figuur 16.5 : DEFLAGRASIE-REAKSIE VAN HXKF 9001
(REAKSIETIPE 5)

Tabel 16.5 : PBX-GLYTOETSRESULTATE : OPSOMMING

FORMULERING	HOOGSTE REAKSIE-ORDE	RANGORDE*
HXVB 9501	4	0
HXVB 92501	3	1
HXVB 9001	0	3
HXVB 9501G	3	1
HXVB 92501G	3	1
HXVB 9001	3	1
HXEE 9501	0	3
HXEE 9001	0	3
HXKF 9501	6	0
HXKF 92501	6	0
HXKF 9001	5	0
HXKG 9701	0	3
HXPS 9201	0	3
HXCX 9501	0	3

(*: 1=onaanvaarbaar, reaksietipes 4-6;
 2=onwenslik, reaksietipes 1-3;
 3=verkieslik, reaksietipe 0)

16.4 SKOKSENSITIWITEIT

Die mees algemene metode om die skoksensitiwiteit van brisantstowwe te bepaal, is met behulp van die sogenaamde 'Gapingstoetse'. Volgens hierdie toetse word 'n akseptorlading van die betrokke toetsmonster, aan die gedempte skokdruk van 'n gegewe donorklading blootgestel.

Die dempende effek kan deur die afstand tussen die donor en akseptor te varieer, verander word, gewoonlik deur koper of plastiek-spasieerders. Hoe kleiner die skokgolfdruk nodig om die akseptor te inisieer, dit wil sê hoe groter die mate van demping of te wel gaping, hoe meer skoksensitief is die toetsmonster. Soos by die bepaling van inisieerbaarheid, speel die akseptordigtheid 'n groot rol ten opsigte van skoksensitiwiteit. Die toetsresultate word gewoonlik in terme van mm-gaping weergegee, waar laasgenoemde deur middel van 'n statistiese 'up-and-down'-metode bepaal is.

Tabel 16.6 vat literatuurresultate in die verband saam, terwyl die resultate van 'n ondersoek wat op RDX-gebaseerde PBX uitgevoer is, ook verskyn ^e. Vanwee die soortgelyke skoksensitiwiteit van RDX en HMX, is die invloed van die polimeer as ooreenkomstig aangeneem. Die relatiewe soortgelykheid ten opsigte van detonasieskoksensitiwiteit van die PBX'e veral ten opsigte van GSGT is opvallend, en gevolglik is die formulerings slegs ten opsigte van tipe binder teenoor die graad van onsensitiwiteit beoordeel. ([1] is relatief sensitief, dit wil sê onwenslik, terwyl [3] op relatiewe onsensitiwiteit dui). Word hierdie resultate met die verkry met die inisiasie-ondersoek vergelyk, kan gesien word dat binne die grense van digtheid, die gedrag vir elke PBX beheerbaar en dus aanpasbaar sal wees, en derhalwe kan geen PBX op grond van detonasie-impuls weggelaat word vir verdere ondersoek nie.

Tabel 16.6 : SKOKSENSITIWITEIT VAN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	EKWIVALENT	DIGT- HEID %-TMD	mm- GAPING	TOETS	BRON
LX-07	HXVB 9001	98,2	1,8-2,3	LANL SSGT	1
LX-10	HXVB 9501	98,3	2,0-2,5	LANL SSGT	1
LX-14	HXEE 9501	99,1	1,5-2,0	LANL SSGT	1
PBX 9011	HXEE 9001	99,3	1,6	LANL SSGT	1
PBX 9010	HXKF 9001	98,3	2,16	LANL SSGT	1
PBX X-0298	HXKG 9701	98,4	1,65	LANL SSGT	60
PBX 9205	HXPS 9201	98,4	0,76	LANL SSGT	1
HMX	-	96,8	3,43	LANL SSGT	1
PBX 9011	HXEE 9001	98,1	51,97	LANL SSGT	1
PBX 9010	HXKF 9001	98,5	53,09	LANL SSGT	1
PBX-0298	HXKG 9701	98,4	52,76	LANL SSGT	60
PBX 9205	HXPS 9201	98,4	50,83	LANL SSGT	1
HMX	-	56,3	70,7	LANL SSGT	1
RXVB 9501	HXVB 9501	97,1	45,46	EKSP	-
RXVB 9002	HXVB 9001	97,82	42,20	EKSP	-
RXEE 9501	HXEE 9501	96,80	47,23	EKSP	-
RXKF 9501	HXKF 9501	96,50	44,40	EKSP	-
RXKF 9003	HXKF 9001	95,72	43,91	EKSP	-
RXKG 9701	HXKG 9701	98,86	31,74	EKSP	-
RXPS 9201	HXPS 9201	96,7	40,03	EKSP	-

Tabel 16.7 : RANGORDE VIR SKOKSENSITIWITEIT

FORMULERING	RANGORDE*	KOMMENTAAR/AANNAMES
HXVB 9501	1	Vergelyk LANL SSGT, eksp.
HXVB 92501	1	Soos vir HXVB 9501 en HXVB 9001
HXVB 9001	1	Vergelyk LANL SSGT, LSGT, eksp.
HXVB 9501G	1	Soos vir HXVB 9501
HXVB 92501G	1	Soos vir HXVB 92501G
HXVB 9001	1	Soos vir HXVB 9001G
HXEE 9501	1	Vergelyk LANL SSGT. eksp.
HXEE 9001	3	Vergelyk LANL SSGT en LSGT
HXKF 9501	1	Vergelyk eksp.
HXKF 92501	1	Soos vir HXKF 9501 en HXKF 9001
HXKF 9001	1	Vergelyk LANL SSGT, LSGT en eksp
HXKG 9701	3	Vergelyk LANL SSGT, LSGT en eksp
HXPS 9201	3	Vergelyk LANL SSGT, LSGT en eksp
HXCX 9501	3	Soos vir HXKG 9701

16.5 ELEKTROSTATIESE SENSITIWITEIT

Aangesien die PBX-korrels in die aanleg droog hanteer word, is dit noodsaaklik dat normale berging-, laai- en vervoeraksies nie genoegsame statiese elektrisiteit in die produk laat opbou sodat dit tot reaksie kan oorgaan nie. Die maksimum statiese lading wat 'n mens kan opbou, word as 0,015 J aangeneem >>, en derhalwe moet die PBX-korrels nie as gevolg van sodanige ontlading inisieer nie. Verskeie faktore

beïnvloed die statiese ontladingsgedrag van brisantstowwe, waaronder korrelgrootte (hoe fyner hoe hoër die risiko, humiditeit (vog desensiteer die brisantstof ten opsigte van statiese ontlading) en geleidingsvermoë (byvoorbeeld die aanwesigheid van grafiet). Soos by al die voorafgemelde karakteriseringstoetse, is die toetsresultate afhanklik van die betrokke toetsapparaat en -kondisies, en vergelyking tussen gerapporteerde resultate is slegs aanduidend. Die algemene gevolgtrekking dat geperste ladings geen statiese risiko inhou nie, kan egter gemaak word, asook dat die korrelprodukt geen noemenswaardige risiko inhou nie, veral nie indien die toerusting geaard sal wees nie. Enkele resultate verskyn in Tabel 16.8.

Tabel 16.8 : ELEKTROSTATIESE SENSITIWITEIT VAN HMX-GEBASEERDE BRISANTSTOWWE

FORMULERING	ONDERSOEK-EKWIVALENT	ENERGIE (J)	KOMMENTAAR	BRON
PBXN-5	HXVB 9501	>12,5	-	82
PBX 9011	HXEE 9001	2,77	33% REAKSIE	14
X-0298	HXKG	3,9	50% REAKSIE	60
GEPERSTE PBXN-5	HXVB 9501	>12,5	-	82
HMX	-	1,42	23% REAKSIE	77

HOOFSTUK 17

OMGEWINGSGEDRAG

Die omgewingsgedrag, of omgewingsrespons, van die lading in 'n missielplofkop is van groot belang, aangesien dit 'n stimulus is waaraan dit noodwendig blootgestel sal word. Gewoonlik is die lading van die omgewing geskei deur die plofkopwand en ander isolerende materiale, maar nogtans is dit belangrik om te weet hoe die lading ten opsigte van veranderende temperatuur- en humiditeit sal reageer. Die verlangde respons is dat die lading nie sal breek, groei of uitsweet nie, dit wil sê dit moet meganiese integriteit ondanks omgewingsveranderinge behou. Dit bring mee dat die resultate van die omgewingstoetse nie in isolasie, maar in samehang met die TUK-, groei en meganiese toetsresultate beskou moet word. Daar is veral drie tipes blootstelling wat vir 'n missielplofkop relevant is, naamlik termiese siklusse, termiese skokke en temperatuur/humiditeit-effekte (laasgenoemde sluit gewoonlik ook druk-effekte in).

Termiese siklusse simuleer bergingstoestande, waar temperatuurruiterstes onder operasionele kondisies ondervind kan word. Laasgenoemde behels geleidelike temperatuurstygings en -dalings, met tipiese uiterstes van 75 °C tot -45 °C. Termiese skokke is verswarende blootstellingskondisies, waar die lading baie vinnig tussen temperatuurruiterstes gewissel word. Dit simuleer operasionele gevegskondisies, maar die missiel onder die vliegtuigvlerk die een oomblik gevries (op hoë hoogtes) en

dan aërodinamies en supersonies baie vinnig verhit word, byvoorbeeld gedurende 'n daalmaneuver. Die temperatuur/hogte/humiditeitstoets word uitgevoer om normale, tipiese vlugprofile te simuleer. Dit is reeds gemeld dat die toetse op die totale missielplofkop (en dus missiel) van toepassing is, maar daar is vir die doeleindes van hierdie ondersoek besluit om dit op die oningeperkte ladings uit te voer. Dit lei dus tot verswarende toetskondisies, aangesien die ladings nie soos in die werklikheid van die omgewing geïsoleer is nie.

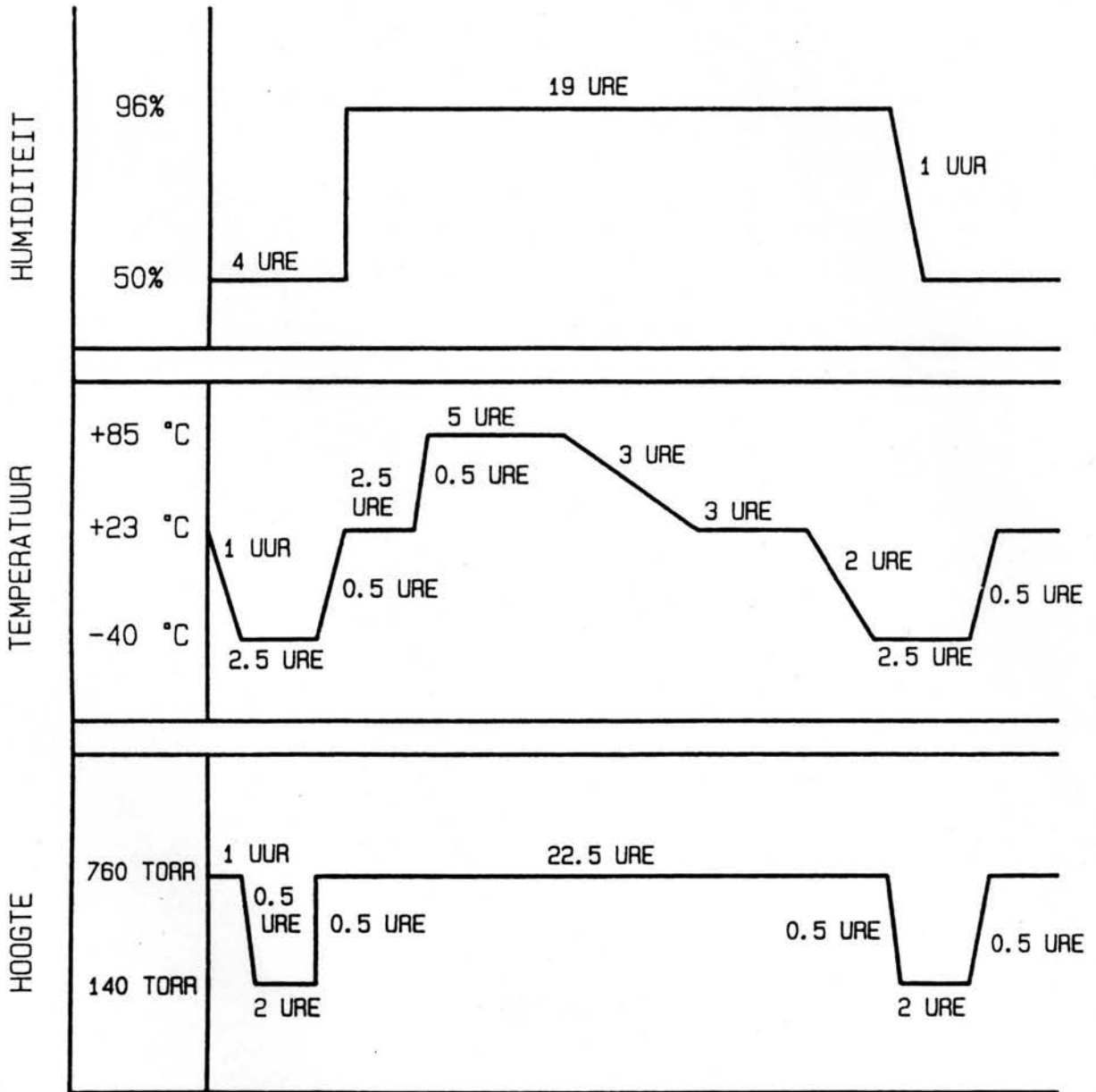
Die uitvoering van hierdie toetse word deur verskeie faktore bemoeilik, naamlik die beskikbaarheid van geskikte apparatuur waarbinne die betrokke kondisies gesimuleer word, veral vanweë die langdurige aard van die toetse, die beskikbaarheid van genoegsame hoeveelheid ladings om al die bepalings deur te voer en plofstofbeperkings op die fasiliteite waarbinne die ondersoek deurgevoer word. Daar is derhalwe gepoog om soveel inligting moontlik uit 'n gekombineerde toetsuitvoering te verkry.

17.1 TOETSKONDISIES

Die toetskondisies vir die drie tipe bepalings is op die MIL-SPECIFICATION ^{7a} vir omgewingstoetse gebaseer.

Hiervolgens is die toetskondisies as volg vasgelê :

- i) **Temperatuursiklus** : Begin by kamertemperatuur, verhit binne 1 uur tot 65 °C, handhaaf vir 1 uur, koel binne 1 uur tot -45 °C af, handhaaf vir 1 uur, verhit tot 65 °C. Herhaal hierdie siklus 4 maal, en na die laaste siklus keer terug na kamertemperatuur en handhaaf vir 1 uur. Doen dimensionele metings.
- ii) **Temperatuurskok** : Verhit tot 65 °C, kondisioneer vir 1 uur, plaas binne 5 minute oor na -45 °C, laat vir 1 uur, plaas binne 5 minute oor na 65 °C, laat vir 1 uur. Herhaal hierdie siklus 2,5 maal, en na die laaste vriesing keer binne 5 minute terug na kamertemperatuur (23 °C), kondisioneer vir 1 uur en meet.
- iii) **Temperatuur/humiditeit/hogte** : kyk figuur 17.1 vir uitleg van kondisies. Vanweë die beperkinge wat vroeër uitgewys is, is daar besluit om al drie die omgewingstoetse op dieselfde monster uit te voer, dit wil sê eers die temperatuursiklus, gevolg deur die skokke, en dan die temperatuur/humiditeit/druk-effekte. Dit simuleer dan eers berging, dan operasionele vlieg en dan normale vlugprofiel. Ten einde 'n beter aanduiding van tendense te verkry, is duplikaat-monsters gebruik. Reghoekige blokkies PBX is gemasjineer, om sodoende metings meer akkuraat te kan deurvoer. Die dimensies van elke blokkie was



Figuur 17.1 : TYD/HUMIDITEIT/DRUK-OMGEWINGSTOETSPROFIEL

ca. 18mmx18mmx54mm, met 'n benaderde massa van 32 g per monster. Twee breedte-, twee diepte en een lengte-metings van elke monster is vooraf, en na afloop van elke toets (by 23 °C) gemaak. Volumeverandering is gemonitor. Na afloop van die totale toets is elke monster vir krake ondersoek, beide visueel en deur middel van X-strale (laasgenoemde met 'n vermoë tot 0,4 mm). Daar is ook vir kleurveranderinge opgelet. Die toetsresultate is in terme van volumeverandering ten opsigte van aanvangsvolume (V_0) gegee, met V_1 , V_2 en V_3 soos gemeet na afloop van elke toets hierbo genoem (alle volumes in cm^3). Tabel 17.1 gee V_0 , V_1 , V_2 en V_3 weer, soos by 23 °C op die onderskeie tydstippe bereken.

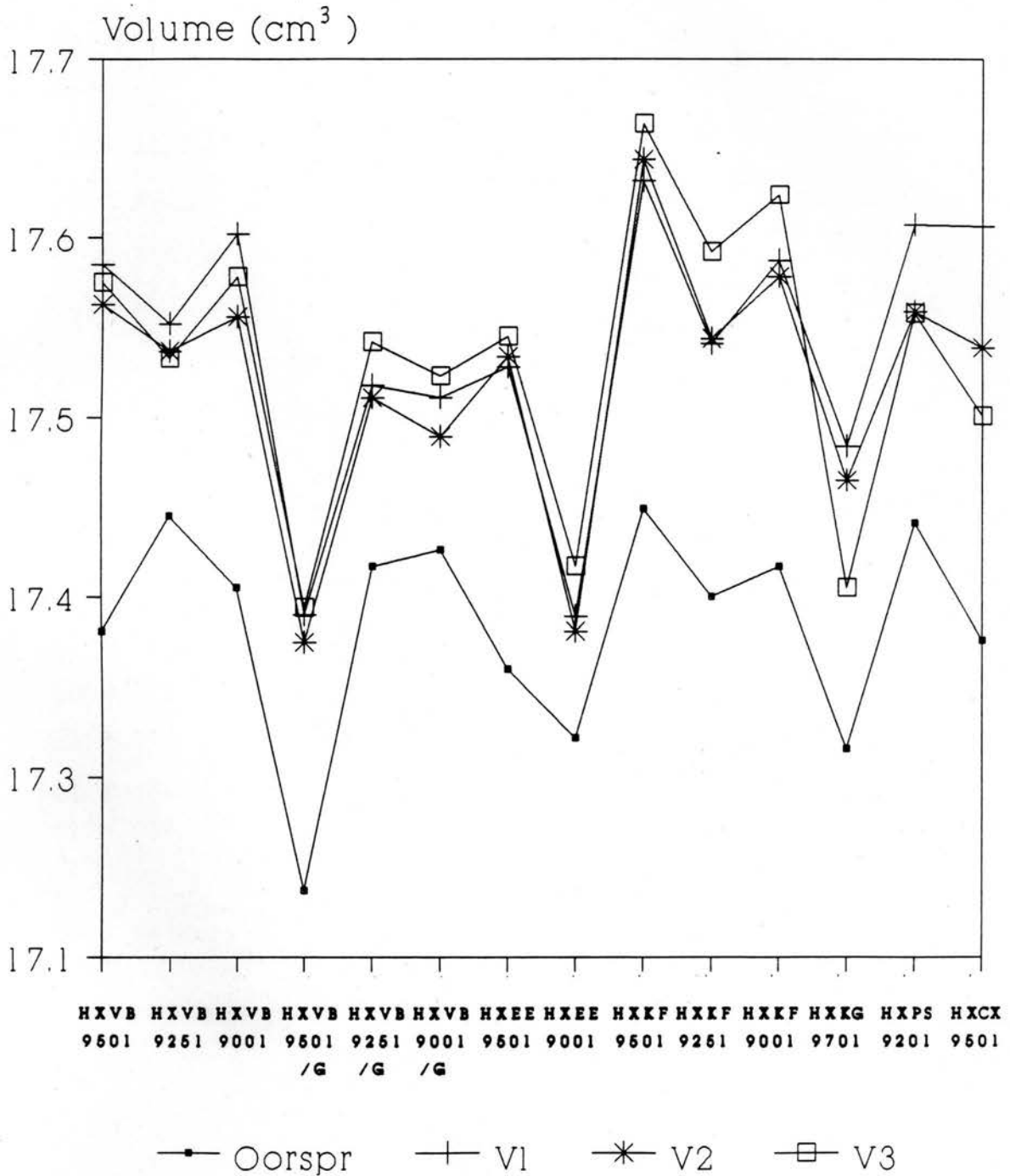
Tabel 17.1 : VOLUMEVERANDERINGE TYDENS OMGEWINGSTOETSE

FORMULERING	VO	V1	V2	V3
HXVB 9501	17,331	17,535	17,513	17,525
HXVB 92501	17,395	17,502	17,487	17,483
HXVB 9001	17,355	17,552	17,506	17,528
HXVB 9501G	17,187	17,340	17,325	17,344
HXVB 92501G	17,367	17,468	17,461	17,492
HXVB 9001G	17,379	17,461	17,439	17,473
HXEE 9501	17,310	17,478	17,484	17,495
HXEE 9001	17,272	17,339	17,331	17,367
HXKF 9501	17,399	17,582	17,594	17,614
HXKF 92501	17,350	17,491	17,494	17,542
HXKF 9001	17,367	17,537	17,528	17,574
HXKG 9701	17,266	17,434	17,415	17,355
HXCX 9501	17,326	17,556	17,489	17,451

17.2 OMGEWINGSTOETSRESULTATE

Die resultate van Tabel 17.1 word in figuur 17.2 weergegee. Visueel kon geen kleurveranderinge of kraakvorming waargeneem word nie. X-straal-foto's het die afwesigheid van krale (binne die meetvermoë) bevestig.

Dit is nou moontlik om die PBX'e op 'n arbitrêr gekose punt skaal ten opsigte van omgewingstoetse te vergelyk. Hier is die beoordelingskaal as volg : eenmalige groei is meer verkieslik as krimpingsgedrag, wat weer meer aanvaarbaar is as nie-stabiele omgewingsgedrag of verdere groeieigings is. Tabel 17.2 tref hierdie arbitrêre vergelyk.



Figuur 17.2 : VOLUMEVERANDERING TYDENS TOETSE

Tabel 17.2 : PBX - OMGEWINGSRESPONS

FORMULERING	OMGEWINGSGEDRAG	RANGORDE*
HXVB 9501	Eenmalige groei	3
HXVB 92501	Eenmalige groei	3
HXVB 9001	Onstabiele groei	1
HXVB 9501G	Eenmalige groei	3
HXVB 92501G	Eenmalige groei	3
HXVB 9001G	Eenmalige groei	3
HXEE 9501	Toenemende groei**	2
HXEE 9001	Onstabiele groei	1
HXKF 9501	Toenemende groei	1
HXKF 92501	Toenemende groei	1
HXKF 9001	Onstabiele groei	1
HXKG 9701	Krimping na groei	2
HXPS 9201	Krimping na groei	2
HXCX 9501	Krimping na groei	2

(* : 3 = goed, 2 = neutraal en 1 = nadelig)

(** = baie min)

HOOFSTUK 18

GEVOLGTREKKINGS

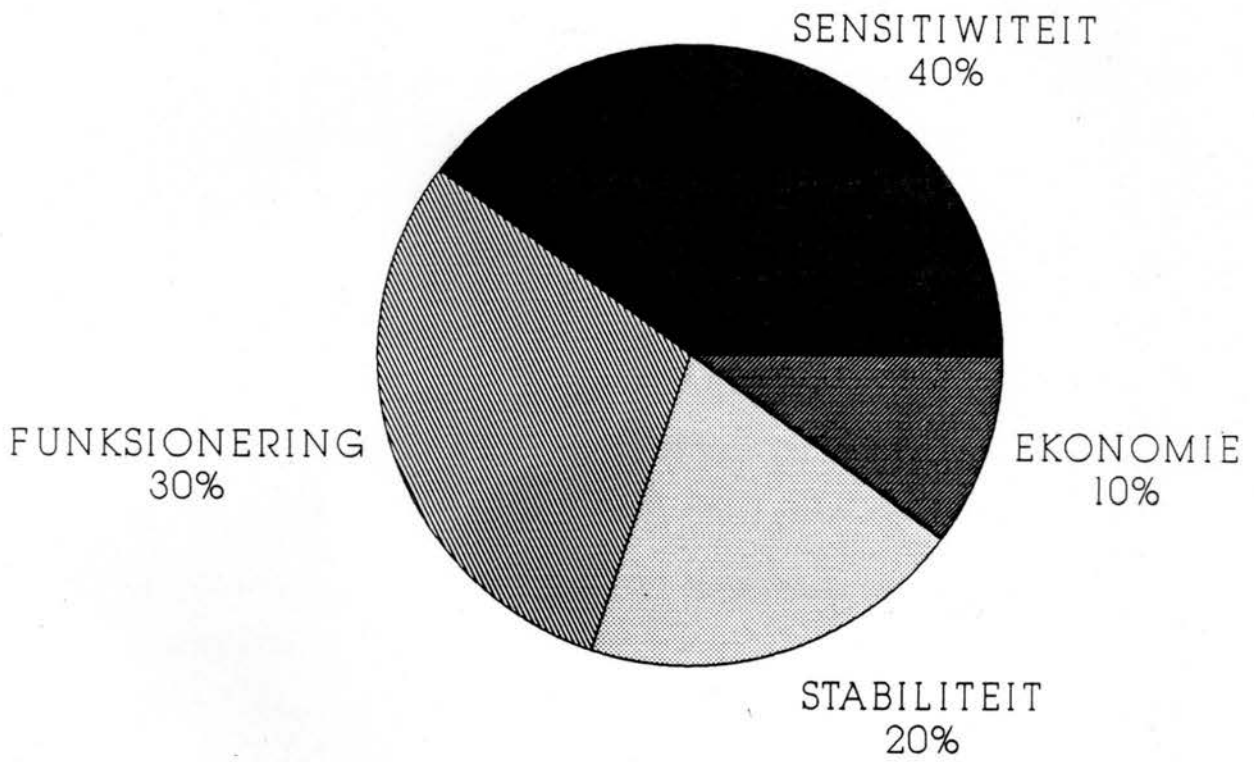
Die identifisering van die PBX-formulering(s) wat die geskikste vir aanwending is, word vervolgens in terme van 'n arbitrêr-gekoose beoordelingskaal gedoen. Eerstens is dit belangrik om die hoofkriteria, waarvolgens die formuleringe beoordeel word, te identifiseer. Hierdie kriteria is :

- i) Veiligheid, dit wil sê hoe hoog die risiko's verbonde aan die vervaardiging, berging en aanwending van die PBX-lading sal wees,
- ii) Funksionering, dit wil sê hoe die werkverrigting van die lading daar uitsien, en hoe betroubaar dit sal funksioneer,
- iii) Stabiliteit, dit wil sê die behoud van die eienskappe van die PBX ondanks veranderende omgewingstimuli, en
- iv) Ekonomie, dit wil sê hoe 'bekostigbaar' en beskikbaar die PBX-lading is.

Die keuse van die relatiewe gewig wat elkeen van bogenoemde kriteria tot die finale beoordeling bydra, is baie afhanklik van die interpretasie van die betrokke beoordelaar. 'n Algemene volgorde van bydraende relatiewe gewig is :

Sensitiwiteit > Funksionering > Stabiliteit > Ekonomie

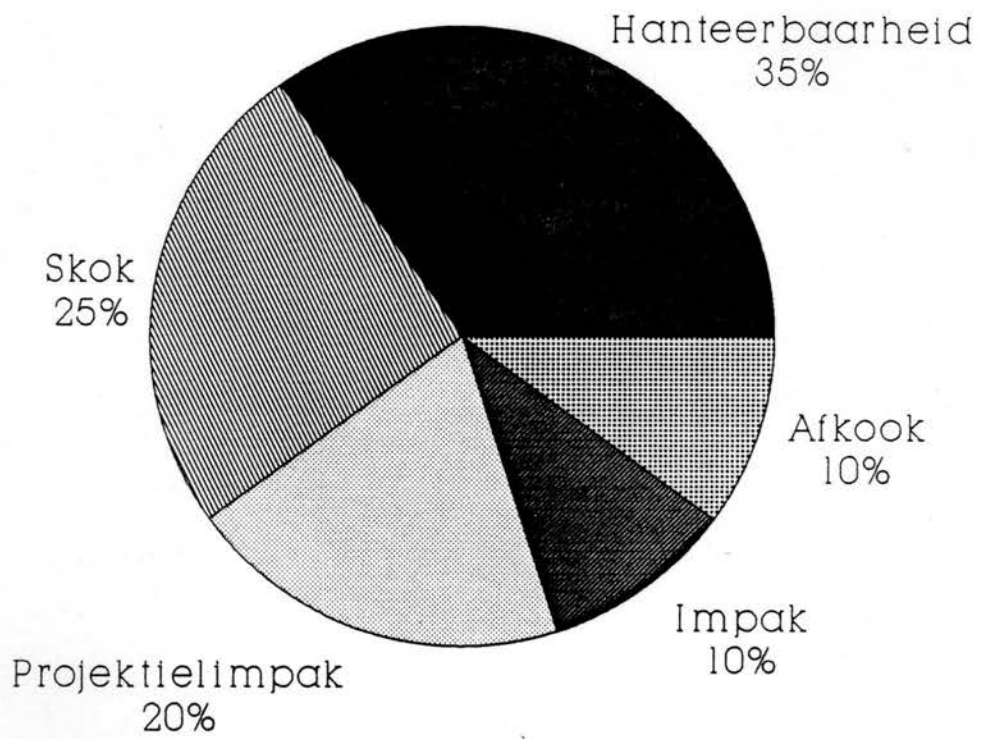
Vir die besondere toepassing ter sprake, is dit noodsaaklik dat die PBX ten alle tye as veilig ten opsigte van personeel en toerusting geklassifiseer moet word. Ontydige reaksie van die lading kan lewensverlies en groot skade meebring, en derhalwe word dié bydrae as die grootste aangeneem. Tweede volg funksionering, waar dit noodsaaklik is dat wanneer die PBX operasioneel detoneer, dit die vermoë sal hê om onder dinamiese kondisies die teiken te neutraliseer. Faling in die verband kan weereens (indirek) tot katastrofiese gevolge aanleiding gee. Derdens is die stabiliteit van die lading van belang, en alhoewel dit eintlik nie van sensitiwiteit of werkverrigting ontkoppel kan word nie, is dit tog so dat die direkte invloed van dié karakteristieke nie so beduidend sou wees indien die lading nie minder veilig en minder energieryk sal wees nie. Ten slotte word ekonomiese aspekte aangespreek, aangesien té duur komponente die uiteindelijke missielkoste te hoog vir produksie kan laat styg. Die relatiewe bydrae van koste vir lae-produksie-hoeveelheid-, hoë tegnologiestelsels is egter nie so groot dat dit die eersgenoemde drie kriteria sal oorheers nie. Figuur 18.1 stel die vier kriteria skematies voor, met 'n relatiewe bydrae (arbitrêr-gekose) vir elke beoordelingsnorm daarby.



Figuur 18.1 : RELATIEWE GEWIG TOV KRITERIA

18.1 VEILIGHEID

Die volgende bydraes tot veiligheid is gedurende hierdie ondersoek aangespreek, naamlik hanteringsveiligheid, skoksensitiwiteit, projektielimpaksensitiwiteit, valhamersensitiwiteit en afkookgedrag. Hiervan word hanteringsveiligheid die belangrikste geag (relatiewe bydrae 35%), aangesien dit noodwendig 'n deel van die lading se lewenssiklus vorm. Dit is noodsaaklik dat die lading nie toevallige reaksie as gevolg van hantering sal ondergaan nie (vergelyk glytoets, Hoofstuk 16). 'n Tweede, waarskynlike stimulus waaraan die PBX-blootgestel kan word, is skokke, byvoorbeeld nabygeleë detonasies. Weereens is dit belangrik dat die PBX nie simpatiek moet reageer nie, en vandaar 'n relatiewe hoë bydrae (25%) vir hierdie karakteristiek. 'n Verdere moontlikheid, alhoewel skraler, is dat die plofkop aan invallende projektiële soos koeëls, blootgestel kan word. Soos tevore, moet die lading nie onder sodanige kondisies reageer nie. 'n Relatiewe bydrae van 20% word hiervoor gegee (vergelyk Hoofstuk 16). Beide die impak- en afkookresultate (10%-bydrae elk) word as belangrik maar nie-verteenwoordigend aanvaar. Die motivering hiervoor is dat die kondisies simuleer wat nie werklik in die praktyk gereeld teëgekomp word nie, naamlik klein massas (40 mg) en baie hoë temperature (>200°C). Die kriteria vir sensitiviteitsbeoordeling verskyn in figuur 18.2. Word die resultate van die voorafgaande hoofstukke, en in besonder Hoofstuk 16, op die sensitiviteitskriteria van toepassing gemaak, kan die formulerings ten opsigte van doelgeskiktheid



Figuur 18.2 : KRITERIA VIR SENSITIWITEIT

vir aanwending, uit veiligheidsoorwegings, gekategoriseer word. 'n Eenvoudige wiskundige berekening is deurgevoer om 'n 'punt' vir elke karakteristiek toe te ken, gebaseer op :

Rangorde X Rel.gewig

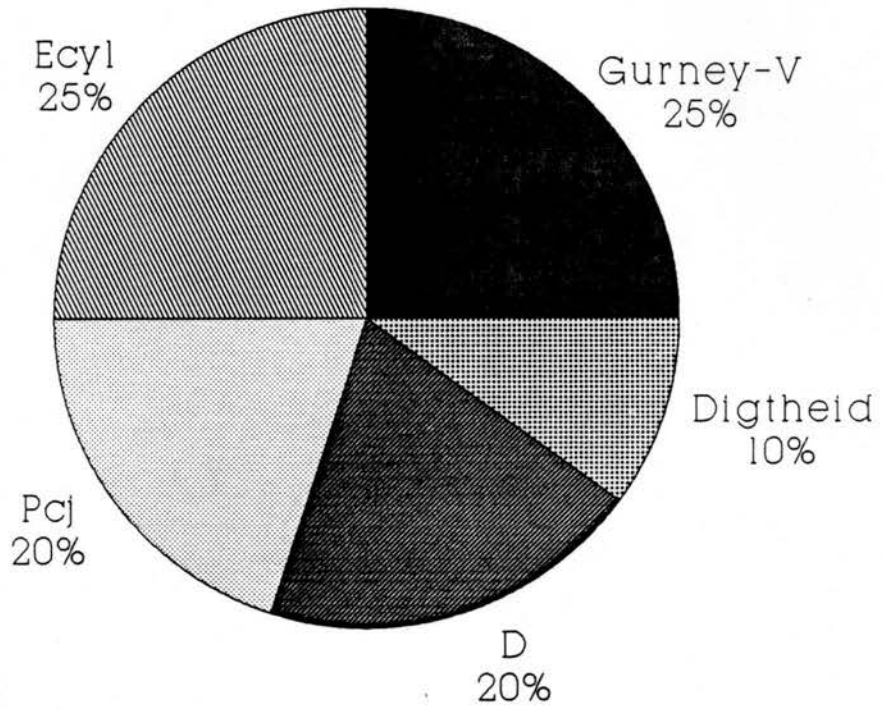
Die rangorde verwys na die arbitrêre skaal van [0] tot [3] wat deurgaans gebruik is om die formulerings in terme van die eienskappe te beoordeel. Relatiewe gewig verwys na die bydraes in die voorafgaande paragrawe bespreek (byvoorbeeld afkookbydrae is 10% van totale sensitiviteitsbydrae). Die resultate word in Tabel 18.1 en Figuur 18.3 weergegee. Die volgende gevolgtrekkings word daaruit gemaak, naamlik :

Tabel 18.1 : RELATIEWE SENSITIEWEITVERGELYK TUSSEN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	TIPE STIMULUS EN BYDRAE					
	HAN- TERING	SKOK	PROJEK- TIEL- IMPAK	VAL- HAMER	AFKOOK	TOTAAL (RANGORDE X REL. GEWIG)
	35%	25%	20%	10%	10%	
HXVB 9501	0	0,25	0	0,10	0,30	0,65
HXVB 92501	0,35	0,25	0,60	0,10	0,30	1,60
HXVB 9001	1,05	0,25	0,60	0,10	0,30	2,30
HXVB 9501G	0,35	0,25	0,60	0,10	0,30	1,60
HXVB 92501G	0,35	0,25	0,60	0,10	0,30	1,60
HXVB 9001G	0,35	0,25	0,20	0,10	0,30	1,20
HXEE 9501	1,05	0,25	0,60	0,10	0,30	2,30
HXEE 9001	1,05	0,75	0,60	0,10	0,30	2,80
HXKF 9501	0	0,25	0,60	0,10	0,30	1,25
HXKF 92501	0	0,25	0	0,10	0,30	0,65
HXKF 9001	0	0,25	0	0,10	0,30	0,65
HXKG 9701	1,05	0,75	0,20	0,10	0,30	2,40
HXPS 9201	1,05	0,75	0,60	0,10	0,30	2,80
HXCX 9501	1,05	0,75	0,60	0,10	0,30	2,80

- i) KF-bevattende PBX kan deurgaans as kandidaat vir verdere evaluering uitgeskakel word, vanweë die besondere sensitiwiteit wat dit ten opsigte van impak en glystimuli openbaar. HXVB 9501 kan om dieselfde rede uitgeskakel word.

- ii) Die VB-bevattende PBX (uitgesonder HXVB 9501) is deurgaans minder reaktief as HXKF, maar blyk steeds besonder skoksensitief te wees. HXEE 9501 openbaar soortgelyke eienskappe, en derhalwe word hierdie groep as onwenslik voorgehou. Die reaktiwiteit van HXKG 9701 in die koeëlimpaktoets plaas hierdie PBX ook onder verdenking.
- iii) Dit is veral HXPS 9201, HXCX 9501 en HXEE 9001 wat besondere onsensitiwiteit openbaar, en die formulerings kan as voortreflik uit sensitiwiteitsoorwegings voorgehou word. Dit is interessant om daarop te let dat die binders almal laedigtheid-polimere is, dit wil sê volumebydrae daarvan oorheers die massabydrae.
- iv) 'n Verdere noemenswaardige verskynsel is dat die formulerings wat nie in die projektielimpaktoets reageer nie, trekmodulusse laer as 100 MPa besit. Dit bevestig die teorieë van Wanninger ⁷⁶, naamlik dat die meganiese eienskappe van 'n PBX die impaksensitiwiteitsgedrag bepaal. Die motivering hiervoor is waarskynlik in die breekgedrag van die PBX geleë, deurdat starre materiaal meer hitte opbou voor breek, wat tot 'hot spot'-vorming aanleiding kan gee.



Figuur 18.4 : KRITERIA TOV FUNKSIONERING

- v) Dit is reeds vroeër gemeld dat die valhamersensitiwiteit van die PBX-formulerings almal onwenslik is, en dat geen desensitering ten opsigte van suiwer HMX verkry word nie. Hierdie aspek sal dus vir die gekose formulering verder ondersoek moet word.

18.2 WERKVERRIGTING

Die relatiewe bydraes van die Gurney-snelhede, silinder-energeë, Chapman-Jouget drukke, detonasie snelhede en digthede vir die PBX, word in figuur 18.4 weergegee. Aangesien hierdie faktore feitlik totaal geïntegreerd is, behoort die persentasie-gewig van elke bydrae gewissel te kan word sonder om die orde van die formulerings ten opsigte van hierdie aspekte te verander. Vanweë die toepassing, is $E_{c\gamma 1}$ en $\sqrt{2}E$ as die twee hoofbydraende kriteria geselekteer (50%) met P_{CJ} en D sekondêr (40%). Dit is reeds herhaaldelik aangetoon dat hoër %-TMD's hoër werkverrigting sal meebring, en derhalwe verskyn digtheid (eintlik 'n fisiese grootheid) ook op hierdie skaal.

Dieselfde beoordelingskaal as tevore is gebruik. Die resultate van Hoofstukke 8 en 15 is tersaaklik, en word 'n verwerkte vorm in Tabel 18.2 en figuur 18.5 aangebied. Die relatiewe bydraes van die formulerings ten opsigte van digthede is verkry deur die gemiddelde digthede, soos eksperimenteel verkry, in aanmerking te neem en ten opsigte van die doelwit van 97% TMD te evalueer. Die volgende afleidings word gemaak :

- i) HXKF en HXVB-PBX-formulerings is die mees energierike, maar is in die vorige bespreking as gevolg van ongunstige sensitiwiteitsgedrag geëlimineer.
- ii) Die swak werkverrigting van HXEE 9001 en HXPS 9201 blyk duidelik, weereens toeskryfbaar aan die groot volume-bydrae van die EE- en PS-binder tot die PBX.
- iii) HXKG en HXCX toon ook voortreflike detonatiewe eienskappe, en so ook HXEE 9501. Slegs HXCX is egter nog nie as gevolg van onwenslike sensitiwiteitsgedrag geëlimineer nie.

Tabel 18.2 : RELATIEWE WERKVERRIGTINGVERGELYK TUSSEN PBX-FORMULERINGS

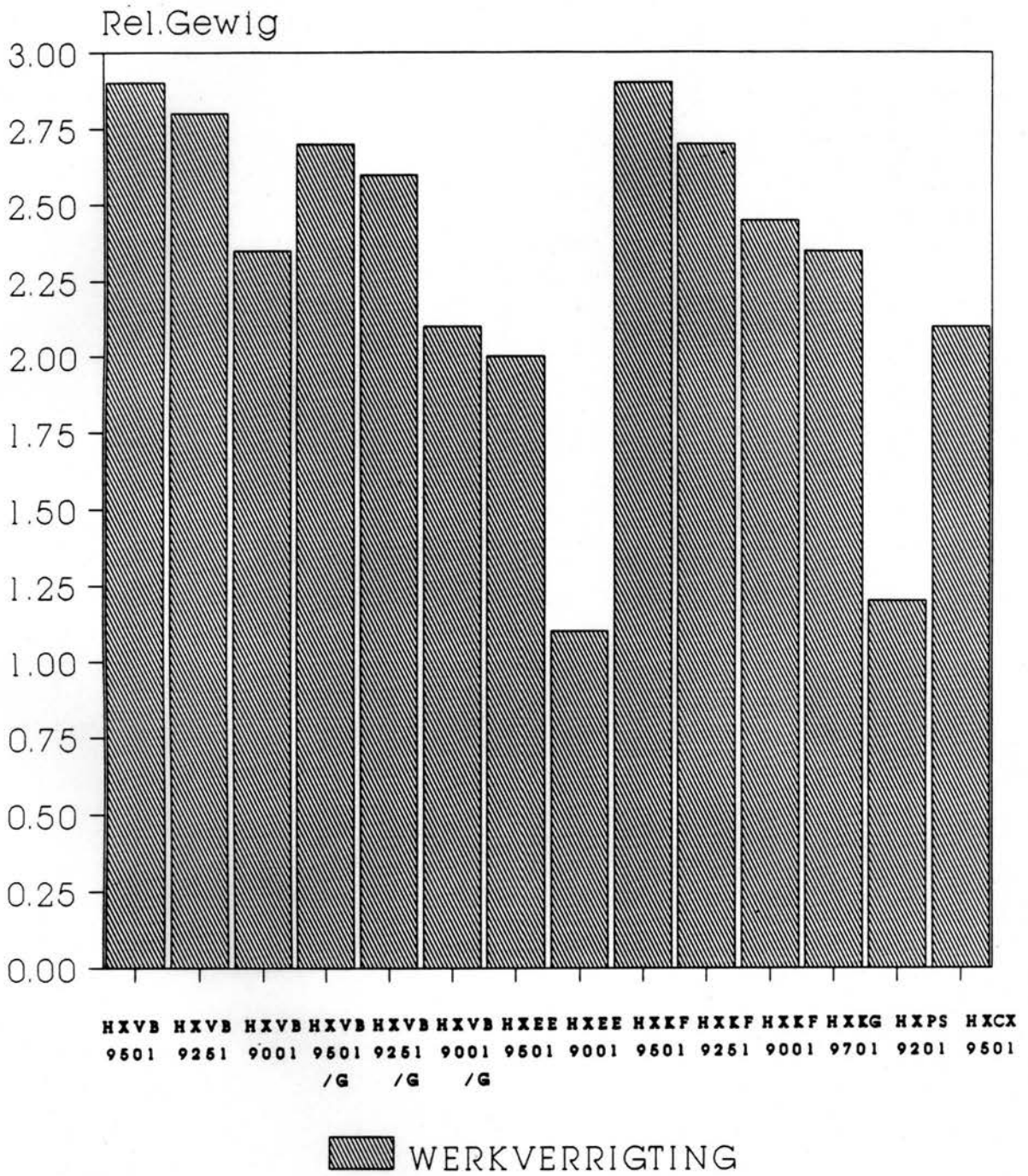
FORMULERING	EIENSKAP EN BYDRAE					
	$\sqrt{2E}$	$E_{c,v1}$	D	$P_{c,j}$	DIGT-HEID	TOTAAL (RANGORDE X REL. GEWIG)
	25%	25%	20%	20%	10%	
HXVB 9501	0,75	0,75	0,60	0,60	0,20	2,90
HXVB 92501	0,75	0,75	0,40	0,60	0,30	2,80
HXVB 9001	0,75	0,50	0,40	0,40	0,30	2,35
HXVB 9501G	0,75	0,75	0,40	0,60	0,20	2,70
HXVB 92501G	0,75	0,75	0,40	0,40	0,30	2,60
HXVB 9001G	0,50	0,50	0,40	0,40	0,30	2,10
HXEE 9501	0,50	0,50	0,40	0,40	0,20	2,00
HXEE 9001	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20	1,10
HXKF 9501	0,75	0,75	0,60	0,60	0,20	2,90
HXKF 92501	0,75	0,75	0,40	0,60	0,20	2,70
HXKF 9001	0,75	0,50	0,40	0,60	0,20	2,45
HXKG 9701	0,50	0,75	0,40	0,40	0,30	2,35
HXPS 9201	0,25	0,25	0,20	0,20	0,30	1,20
HXCX 9501	0,50	0,50	0,40	0,40	0,30	2,10

18.3 STABILITEIT

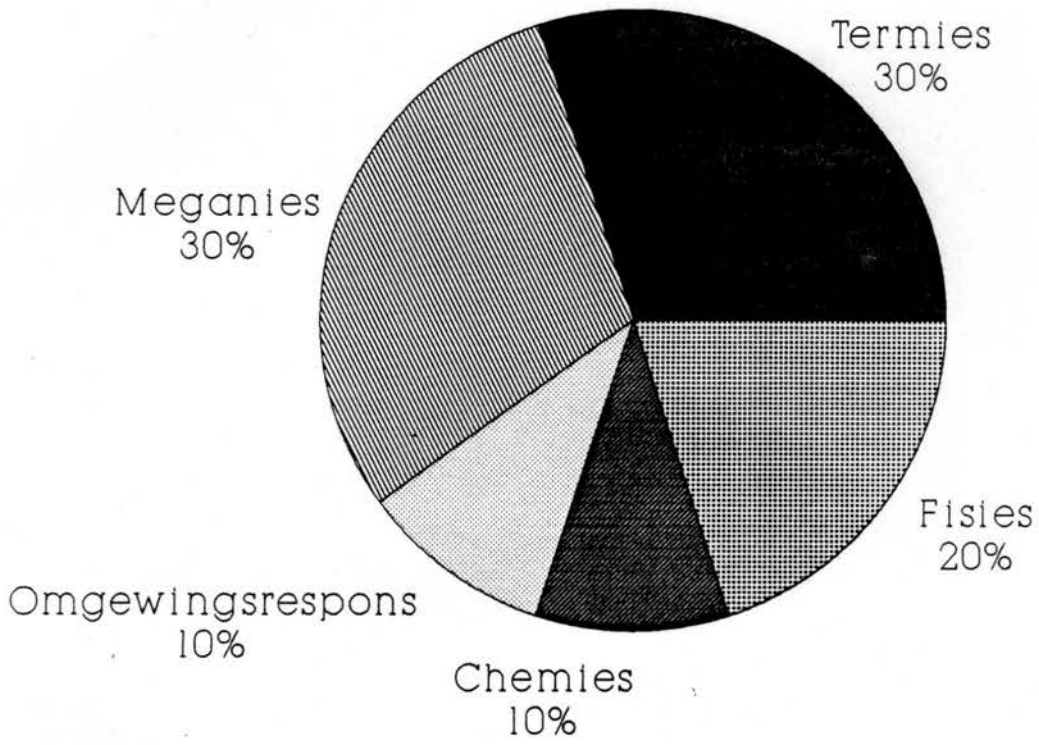
Die nie-sensitiwiteitsgekoppelde stabiliteitskriteria van die PBX'e verskyn in figuur 18.6. Die meganiese eienskappe en termiese stabiliteit word hier as die belangrikste beskou, en geniet derhalwe die grootste relatiewe gewig (30% elk).

Fisiese stabiliteit omsluit T_m en T_g , met relatiewe gewig 20%.

Die omgewingsrespons en chemiese karakteristieke (dit is samestelling) dra elk 10% tot die stabiliteitskriteria by.



Figuur 18.5 : RELATIEWE WERKVERRIGTING VAN PBX



Figuur 18.6 : KRITERIA TOV STABILITEIT

Dieselfde beoordelingskaal as tevore is gevolg, en die relatiewe punte wat die onderskeie formuleringe ten opsigte van stabiliteit behaal, verskyn in figuur 18.7 en Tabel 18.3. Die volgende afleidings word gemaak, naamlik :

- i) Die stabiliteite is almal van dieselfde orde, en onderskeid tussen die formuleringe op hierdie basis is dus moeilik. Al die PBX'e toon ook hoë stabiliteit wat weereens bevestig dat pers-PBX die aangewese tipe formuleringe vir die toepassing is.
- ii) As 'n groep vertoon HXVB-PBX die voortreflikste eienskappe, wat aan die besondere stabiliteit in terme van struktuur, meganiese eienskappe, termiese gedrag en omgewingsrespons van die fluoro-elastomeer toeskryfbaar is.
- iii) HXPS en HXEE 9001 toon die laagste telling, wat na die teenwoordigheid van die DOP-plastiseerder (HXPS) en nie-homogene binderverspreiding (HXEE) gekoppel kan word. Soos vroeër gemeld, is hierdie effekte te klein om die formuleringe vir oorweging te diskwalifiseer.

Tabel 18.3 : RELATIEWE STABILITEITSVERGELYK TUSSEN PBX-FORMULERINGS

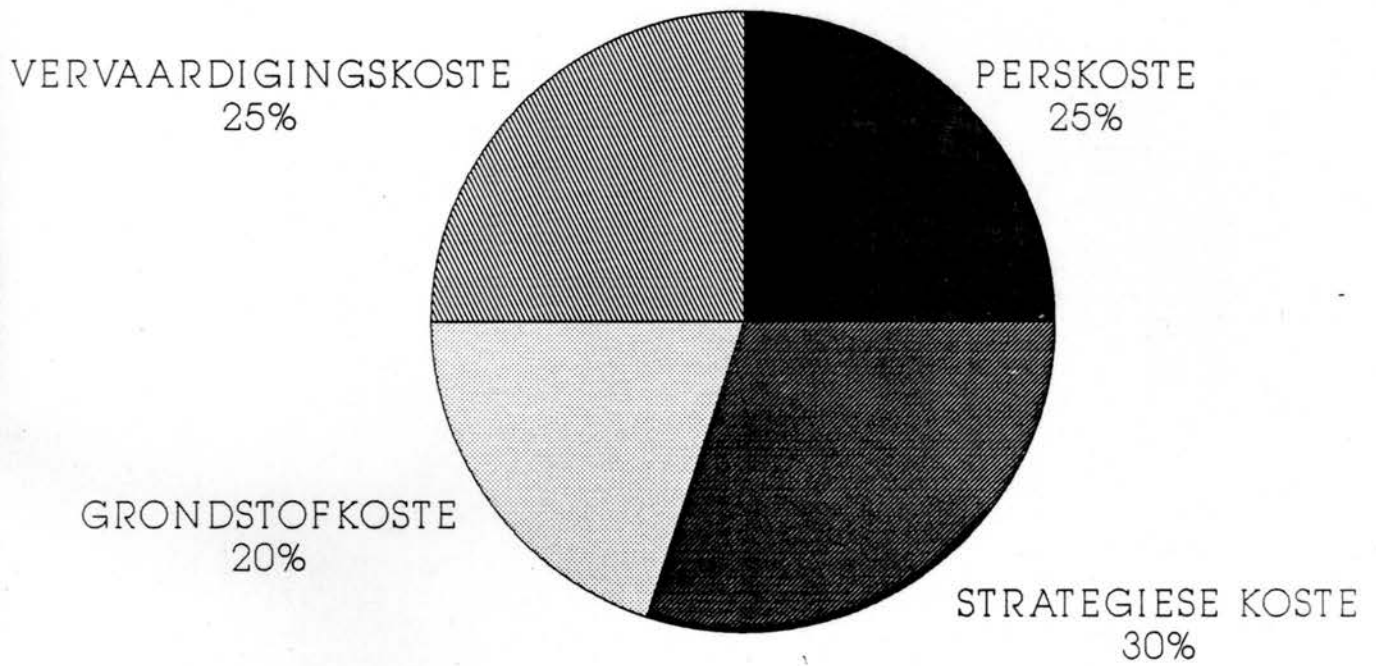
FORMULERING	EIENSKAP EN BYDRAE					
	TERMIES	MEGANIES	FISIES	CHEMIES	OM-GEWING	TOTAAL (RANG-ORDE X REL. GEWIG)
	30%	30%	20%	10%	10%	
HXVB 9501	0,75	0,70	0,40	0,30	0,30	2,45
HXVB 92501	0,60	0,60	0,40	0,30	0,30	2,20
HXVB 9001	0,68	0,70	0,40	0,30	0,10	2,18
HXVB 9501G	0,83	0,70	0,40	0,30	0,30	2,53
HXVB 92501G	0,83	0,70	0,40	0,30	0,30	2,53
HXVB 9001G	0,75	0,40	0,40	0,30	0,30	2,15
HXEE 9501	0,75	0,60	0,40	0,30	0,20	2,25
HXEE 9001	0,75	0,50	0,40	0,30	0,10	2,05
HXKF 9501	0,60	0,70	0,40	0,30	0,10	2,10
HXKF 92501	0,60	0,70	0,40	0,30	0,10	2,10
HXKF 9001	0,60	0,70	0,40	0,30	0,10	2,10
HXKG 9701	0,53	0,70	0,60	0,30	0,20	2,03
HXPS 9201	0,53	0,60	0,40	0,30	0,20	2,03
HXCX 9501	0,60	0,60	0,60	0,30	0,20	2,30

18.4 EKONOMIE

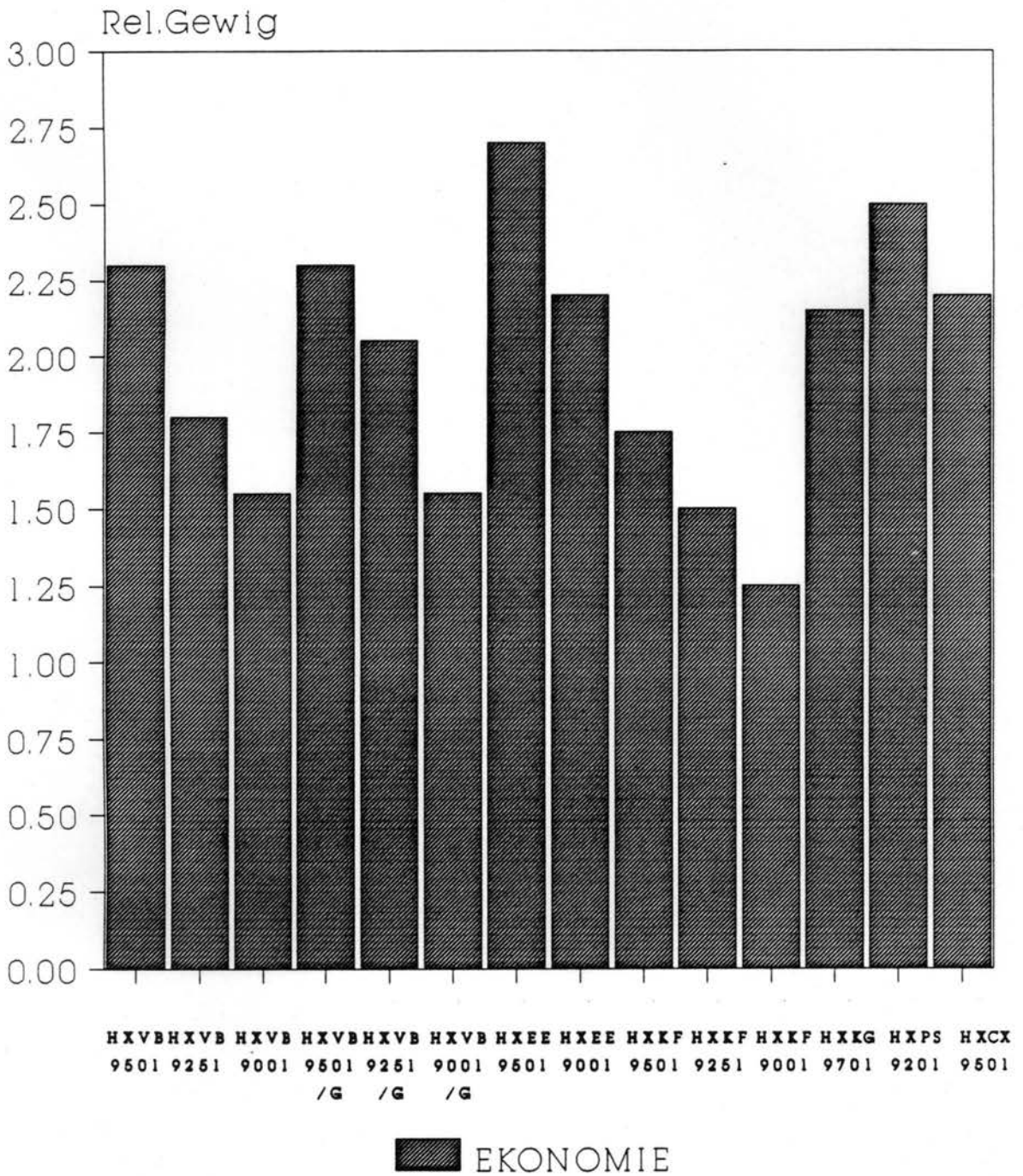
Alhoewel die totale bydrae klein is, kan die kostes verbonde aan die verkryging en vervaardiging van die PBX-lading nie geignoreer word nie. Die strategiese bekikbaarheid van die grondstowwe is ook baie belangrik (30%), waar potensieel goeie

maar haas onverkrygbare bindertipes 'gepenaliseer' word. Voeg hierby die direkte grondstofkoste (20%), dan word helfte van die relatiewe gewig aan grondstofbeskikbaarheid en -verkrygbaarheid toegeken. Vervaardigingskoste (50%) omvat korrelvervaardiging- en persaspekte, soos tydsduur van prosesse, hoeveelheid oplosmiddels, massadigthede van PBX-korrels en koudpersbaarheid van polimere. Die relatiewe gewigte van die kriteria verskyn in figuur 18.8, terwyl Tabel 18.4 en figuur 18.9 die formulerings ten opsigte van hierdie kriteria vergelyk :

- i) Die voortreflikste formulering in terme van ekonomie is HXEE 9501, wat aan die geredelike beskikbaarheid van die EE, die relatief goedkoop prys daarvan en die matige proseskondisies vir vervaardiging en persing, toegeskryf kan word. Ook HXPS 9201 vaar in hierdie opsig goed (PS plaaslik beskikbaar).
- ii) Die KF-PBX is die swakste in hierdie verband, hoofsaaklik as gevolg van die strategiese nadeel wat die gebruik daarvan inhou, tesame met die baie hoë prys van die KF in vergelyk met die ander polimere. Hierdie faktore, gekombineerd met die noodwendige hoër perskondisies wat KF verg, maak hierdie tipe formulerings ongunstig vir oorweging.



Figuur 18.8 : KRITERIA TOV EKONOMIE



Figuur 18.9 : RELATIEWE EKONOMIE VAN PBX

Tabel 18.4 : RELATIEWE EKONOMIE-VERGELYK TUSSEN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	EKONOMIESE ASPEK				
	STRA- TEGIES 30%	GRONDSTOF- KOSTE 20%	VERV-KOSTE 25%	PERS- KOSTE 25%	TOTAAL
HXVB 9501	0,60	0,20	0,75	0,75	2,30
HXVB 92501	0,60	0,20	0,50	0,50	1,80
HXVB 9001	0,60	0,20	0,25	0,50	1,55
HXVB 9501G	0,60	0,20	0,75	0,75	2,30
HXVB 92501G	0,60	0,20	0,50	0,75	2,05
HXVB 9001G	0,60	0,20	0,25	0,50	1,55
HXEE 9501	0,60	0,60	0,75	0,75	2,70
HXEE 9001	0,60	0,60	0,25	0,75	2,20
HXKF 9501	0,30	0,20	0,75	0,80	1,75
HXKF 92501	0,30	0,20	0,50	0,50	1,50
HXKF 9001	0,30	0,20	0,25	0,50	1,25
HXKG 9701	0,30	0,60	0,75	0,50	2,15
HXPS 9201	0,90	0,60	0,50	0,50	2,50
HXCX 9501	0,60	0,60	0,50	0,50	2,20

18.5 ALGEMENE VERGELYK

'n Algemene vergelyk tussen die PBX-formulerings kan nou gemaak word, indien die voorafgaande aan die hand van die algemene kriteria, soos in figuur 18.1 weergegee, vergelyk word. Dit is gedoen deur die totale punt wat elke PBX ten opsigte van die vier hoofkarakteristieke, naamlik sensitiwiteit, funksionering,

stabiliteit en ekonomie, met die relatiewe gewig van die hoofkarakteristieke (40%, 30%, 20% en 10% onderskeidelik) te vermenigvuldig. Die resultate verskyn in Tabel 18.5 en figuur 18.10, en kan as die breë gevolgtrekking van hierdie ondersoek beskou word.

Tabel 18.5 : RELATIEWE TOTALE VERGELYK TUSSEN PBX-FORMULERINGS

FORMULERING	HOOFKARAKTERISTIEK				
	SENSI - TIWITEIT 40%	FUNKSIO- NERING 30%	STABILI- TEIT 20%	EKONOMIE 10%	TOTAAL
HXVB 9501	0,26	0,87	0,13	0,23	1,490
HXVB 92501	0,04	0,84	0,32	0,18	1,98
HXVB 9001	0,92	0,71	0,46	0,16	2,25
HXVB 9501G	0,64	0,81	0,32	0,23	2,00
HXVB 92501G	0,64	0,78	0,32	0,21	1,95
HXVB 9001G	0,48	0,63	0,24	0,16	1,51
HXEE 9501	0,92	0,60	0,46	0,27	2,25
HXEE 9001	1,12	0,33	0,56	0,22	2,23
HXKF 9501	0,50	0,87	0,25	0,18	1,80
HXKF 92501	0,26	0,81	0,13	0,15	1,35
HXKF 9001	0,26	0,74	0,13	0,13	1,26
HXKG 9701	0,96	0,71	0,48	0,22	2,37
HXPS 9201	1,12	0,36	0,56	0,25	2,29
HXCX 9501	1,12	0,63	0,56	0,22	2,53

- i) HXCX 9501 kan as, oorhoofs beskou, die voortreflikste formulering vir die toepassing op grond van die gekose kriteria beskou word. Alhoewel die formulering nie uitstaande ten opsigte van 'n enkele aspek is nie, het dit deurgaans bo-gemiddeld deur die toetsbank gepresteer. Tekortkominge van die PBX is geïdentifiseer (byvoorbeeld hoë TUK), maar dit het nie die totale prestasie van die formulering nadelig beïnvloed nie. Die volgende kan as die karakteristieke van die HMX (Cariflex-sisteem) voorgehou word :
- Die binder is verenigbaar met HMX, openbaar selektiewe oplosbaarheid is water-aseotropiese oplosmiddels, en is redelik teen sure en basisse bestand. Die blokpolimeer is egter UV-gevoelig, met 'n T_g onder die smeltpunt van HMX (220 °C vs 280 °C). Die smeltpunt is egter ver bokant die voorsiene aanwendingstemperatuurlimiet (150 °C). Petroleum-olie kan, indien dit sou nodig wees, gebruik word om die polimeer te plastiseer. Die polimeerdigtheid is uit massabeladingsoorweging gunstig laag (0,94 g/cm³).
 - Die PBX is gerieflik en binne spesifikasie vervaardigbaar met behulp van die waterige (normale) flodderproses.

- 'n Chloroform-ekstraksie-tegniek bied 'n akkurate skeidingstegniek ter bepaling van die chemiese samestelling van die PBX. Die PBX-korrels toon 'n klein siffraksie kleiner as $150\ \mu\text{m}$, wat daarop dui dat dit relatief min 'onbedekte' HMX bevat. Die PBX-korrels toon verder 'n relatief hoë massadigtheid, wat uit persoorwegings verkieslik is. SEM-foto's toon dat die korrels 'n kapillêre vorm het, met heelwat ingeslote lug. Dit word deur die relatiewe hoë impaksensitiwiteit van die korrels bevestig, dit wil sê dat die PBX 'n ongunstige korrelmorfologie besit. Die PBX openbaar deurgaans uitstekende termiese stabiliteit.
- Uitstekende persdigthede (>98% TMD) is onder matige perskondisies haalbaar, selfs met groter kalibers. Die hoë T_g van die binder vereis egter relatief hoë perstemperature, so verhitte perstoerusting is 'n vereiste.
- Die PBX toon 'n lae groeineiging, maar besit tog 'n groot TUK, wat 'n negatiewe effek in terme van plofkopontwerp is.
- Die PBX se meganiese eienskappe is relatief min tempertuur-afhanklik, wat aan die uiterste T_g 's van die blokpolimeer toegeskryf kan word. Die formulering kan deurgaans as rubberagtig beskou word.

- HXCX 9501 toon 'n gemiddelde werkverrigtingsvermoë, veral as gevolg van die verdunningseffek van die polimeer.
 - Die PBX is besonder onsensitief ten opsigte van impak-, gly- en skokstimuli, wat onder andere aan die meganiese eienskappe daarvan (lae trekmodulus) toegeskryf kan word. Hierdie kenmerke was deurslaggewend ten opsigte van dié keuse van PBX.
 - Die PBX toon wel 'n onomkeerbare groeieiging tydens eksterne omgewingstoetskondisies, maar hierdie tendens kom slegs na die eerste siklusse voor, met ander woorde die effek stabiliseer.
- ii) HXKG 9701 en HXPS 9201 toon ook 'n bo-gemiddelde algehele telling, maar kan uit sensitiwiteitsoorwegings (HXKG brand in KSST) en om werkverrigtingsredes (lae D) as nie-ideaal voorgehou word.
- iii) HXEE 9501 besit ook besondere voortreflike eienskappe, en hierdie formulering behoort as die eerste alternatief vir HXCX 9501 beskou te word. Daar sal egter heelwat prosesgekoppelde ondersoeke onderneem moet word om die PBX in terme van voorkoms en homogeniteit te optimeer. HXEE 9001 toon soos HXPS 9201 'n te lae werkverrigtingsvermoë.

- iv) HMX/fluoropolimeer-kombinasies is te sensitief in impak- en hanteringstoetse, en is derhalwe nie-geskik vir oorweging.

Die aanbeveling dat HXCX 9501 as die aangewese hoofladingbrisantstof vir missielplofkoptoepassing beskou kan word, word dus gemaak. Verdere ondersoek ten opsigte van binderstabiliteit, korreilmorfologie, TUK en optimale chemiese komposisie kan onderneem word om die PBX te optimeer. Tabel 18.6 vat die relevante eienskappe van HXCX 9501 saam.

Tabel 18.6 : DATABLADSY VIR HXCX 9501

SAMESTELLING: 95%(m/m) siklotetrametileentetranitramien (HMX)	
5%(m/m) stireen-butadieen-stireen blokpolimeer (Cariflex TR 1102)	
TMD	: 1,805 g/cm ³
PERSDIGTHEID	: 1,780 g/cm ³ (98,2 %-TMD)
MASSADIGTHEID	: 0,760 g/cm ³ (42,3 %-TMD)
ATOMIESE KOMPOSISIE:	C(1,66)H(2,95)N(2,56)O(2,56)
T _m	: 220 °C
T _g	: -38 °C, 100 °C
GROEI	: <1%
ΔH _r	: +5,750 kcal/mol
VTS	: 0,8 cm ³ gas, 24h @ 150 °C
TUK	: 86,0 μm/m.K
AFKOOKTEMPERATUUR	: >200 °C
DRUKSTERKTE	: 16 MPa(-20 °C) 14 MPa(20 °C) 6 MPa(80 °C)
- VERVORMING	: 4% (-20 °C) 2,5% (20 °C) 2,6% (80 °C)
TREKSTERKTE	: 1,7 MPa (20 °C)
- VERVORMING	: 0,7% (20 °C)
BUIGBAARHEID-	
STERKTE	: 0,3 MPa (20 °C)
- VERVORMING	: 0,8% (20 °C)
SKOKSENSITIWITEIT	: <HMX
D (98,2 %TMD)	: 8570 m/s (eksp) 8658 m/s (ber)
E _{cy1} (98% TMD)	: 1,492 MJ/kg (ber)
P _{CSJ} (TMD)	: 325 kbar (ber)
√ZE (TMD)	: 2801 m/s (ber)
Koeëlimpak	: 0/5 reaksie (98% TMD)
Glytoets	: 0/5 reaksie (98% TMD)

BRONNELYS

1. B M Dobratz, Properties of Chemical Explosives and Explosive Simulants, Lawrence Livermore Laboratories, 1985.
2. R Meyer, Explosives (2nd Edition), Verlag Chemie, 1981.
3. B A Stott, Stable Heat Resistant Explosive Compositions Capable of Withstanding Temperatures of 500 °F and Higher. NWC Report 4461, 1967.
4. C R Weast, C R C Handbook of Chemistry and Physics, 67th Edition, C R C Press Inc, 1986.
5. B Federov, Encyclopedia of Explosives and Related Items, Picattany, Dover, P60 - P77.
6. US Army Material Command, Properties of Explosives of Military Interest, AMCP706-177, 1971.
7. T M Benziger, X-0298 : A Rubber-bonded PBX. LASL Report No LA-8436-MS
8. I Goldie, Somchem Verslag Nr 02788-31000-22/6, 1986.

9. Urbanski, Chemistry and Technology of Explosives, Vol 4, Pergaman Press, 1983.
10. G J Richter, Eienskappe van HMX. Interne verslag, 1984.
11. Siele et al, Alternative Procedures for Preparing HMX. Prop., Expl., Pyrot., 6, 1981, p63-66.
12. Krishna Mohan et al, Explosive Performance Potential - A New Definition. Prop., Expl., Pyrot., 9, 1984, p30-36.
13. Koshigoe et al, Specific Heat of HMX. Vol 22, 11, 1984, p1600-1601.
14. T R Gibbs en A Popolato, LASL Explosive Property Data, University of California Press, 1984.
15. Yinon, Analysis of Explosives, Pergamon Press, 1981.
16. Kimura et al, Thermal Decomposition Process of HMX. Prop., Expl., Pyrot., 5, 1980, p1-8.
17. Yumi et al, Thermal Decomposition of Energetic Materials. Comb & Flame, 622, 1985, p213-224.

18. H H Cady, Sensitivity and Handling Hazards of α -HMX by Heating PBX9404. ICT, 1986.
19. Korobeinichev OP et al, Investigation of the Structure of the HMX flame. Combust Explosive Shock Waves, V20 N3, 1984, p282-285.
20. Miles et al, Generation of Free Radicals in RDX and HMX Compositions, Prop., Expl., Pyrot., 7, 1982, p100-106.
21. Miles et al, Impact Sensitivity of γ -irradiated HMX. Prop., Expl., Pyrot., 8, 1983, p49-52.
22. S I Chen et al, The Relationship between Solid Parking Model and the Casting of Propellants ICT 1984.
23. C C Furnas, Grading Aggregates. Ind. Eng. Chem, 23, 1931, p1052.
24. Elban et al, Quasi ; Static Compaction Study of Coarse HMX Explosive. Powder Technology, 46, 1986, p181-193.
25. W J Engelbrecht et al, Die Bereiding van PBX-korrels deur middel van die Waterige Flodder-proses. Verslag nr DKL 88-1, 1988.

26. Comparison of Resin Properties, Product Information Sheet.
27. Kraton Thermoplastic Rubber Crumb, Shell Product Brochure.
28. Cariflex TR-1000 Polymers, Shell Technical Manual TR5.2.
29. High Energy Compositions and IR Flare Binders, 3M Product Brochure.
30. Estane Polymer Properties Chart, BF Goodrich Brochure BFGC-E 5/84.
31. Kraton G1650 Thermoplastic Rubber, Shell Technical Bulletin SC:38-82.
32. S J Nortje, Viskositeitsbepaling op Kraton G1650. Somchem Verslag I21087/05, 1987.
33. A L Moran, Viton B. Product Report 59-4, EI du Pont, 1959.
34. D M Hoffman et al, Dynamic Mechanical and Molecular Weight Measurements on Polymer Bonded Explosives. LLL.

35. Estane Polyurethanes, Technical Service Bulletin TSR 69-15 TF116.
36. L Clink, NMR Evidence for the Molecular Stability of Production Fluorocarbon Polymers. M H Report, 1986.
37. Kel F Brand, 3M Data Sheet.
38. Estane Polyurethanes, Product Data Sheet, BF Goodrich Co.
39. F V Deisenroth, Plastiekgebonde Plofstowwe. Duitse Patent 3010052, 1980.
40. B A Stott, Plastic-bonded Explosive Compositions and the Preparation Thereof. VSA Patent 3728170, 1973.
41. K Hildebert, Koud-gietbare Plofstofsamstelling en Metode van Vervaardiging. Europese Patent 125166, 1983.
42. H Schmid, Coating of Explosives. Nobel Chemicals, Nobel Industries, 1985.
43. I J Dagley et al, High Explosive Moulding Powders from RDX and Polyurethane Dispersions. Materials Research Laboratories, Australia.
44. R Earligh et al, Investigation in the Result of Coating Techniques of High Explosives with the Aid of SEM IEDX. ICT, 1986.

45. J J Meulenbrugge, Investigation into the Micro-encapsulation of RDX in Viton, ICT, 1987.
46. A Paul, Koue, Vormbare, Plastiekgebonde, Hoogaktiewe Plofstof en sy Vervaardigingsmetode, Europese Patent 68528, 1982.
47. T L Stallings et al, HMX/TATB/Binder Development, Mason & Hanger, Report MHSMP-81-26, 1981.
48. H A Golopol et al, A New Booster Explosive, LX-15, LLL, 1977.
49. Technical Description for the Preparation of PBXN-5, 1974.
50. S W J van der Merwe et al, PBX-analises, Verskeie verslae, 1986/87.
51. A Osborn et al, Preliminary Evaluation of X-0298, Mason & Hanger, 1978.
52. Konsultant-voorlegging, 1989.
53. P Wanninger, Pressed Plastic Bonded Explosives, Verskillende Voorleggings.
54. H Hello, Plastic Binders for Heat Resistant Explosives, NOL, 1961.
55. J R Humphrey, LX-10-1, A High Energy Plastic-bonded Explosive, LLL, UCRL-51629, 1974.

56. MIL-E-81111E, Explosive, Plastic-bonded Molding Powder (PBXN-5), 1976.
57. I Goldie, 'n Onderzoek na die Pers van PBX-Samestellings, Somchem verslag nr 24/85, 1985.
58. G A Osborn et al, Formulation and Evaluation of RX-03-DY, M & H, MHSMP-83-04, 1983.
59. J A Sanchez, Binder Study for HMX/TATB Explosives.
60. T M Benziger, Thermally Stable, Plastic-bonded Explosives, VSA Patent 4168191, 1979.
61. J Pereira, Somchem Interne Verslag V1247/87, 1987.
62. NAVORD OD 44811, Safety and Performance Tests for Qualification of Explosives, Volume 1, Jan 1972.
63. M Held, Requirements for Modern Explosive Charges, ICT, 1984.
64. M Held, Tests for the Sensitivity, the Survivability and the Initiability of High Explosives, MBB, 1988.
65. LASL Report LA-11010-MS, 1987 (Sien 77)
66. E D Loughran, The Storage Stability of Kraton-bonded HMX-based Explosives, LASL.
67. T S Costain, The Sensitivity, Performance and Material Properties of Some HE formulations, Picattiny Arsenal, 1973.

68. M J Stosz, Development of New Explosives for the US Navy, ICT, 1974.
69. Privaat korrespondensie met Dr M Held.
70. P J Haskins, The Response of Explosive Charges to Projectile Impact, RARDE, ICT, 1988.
71. R Kent et al, Begrip van die Meganisme van die Gedrag van Saamgestelde Plofstowwe in Ingeperkte Omgewing wanneer dit deur 'n Koeël getref word, SNPE, ICT 1988.
72. Plofstoftegnologie-notas, Kaapse Technikon.
73. M Held, Structure of the Detonation Front, Explosivstoffe, 11/12, 1969, p241-249.
74. BICT verslag rakende onder andere LX-14.
75. M L Matuszak et al, The Dynamic Shear Storage Modulus of Plastic-Bonded Explosives and its Relationship to Sensitivity, Prop. and Expl., 6, 1981, p161-165.
76. Privaat korrespondensie met Dr P Wanninger.
77. L C Smith, Los Alamos National Laboratory. Explosives Orientation Course, LASL Report LA-11010-MS, 1987.

78. MIL-810-D, Environmental Test Methods and Engineering Guidelines, July 1983.
79. P A Foster et al, The effect of Thermal Aging on the Thermal Stability and Friction Sensitivity of Explosives. Mason and Hanger Report MHSMP-82-41, 1982.
80. T L Stallings et al, Preliminary Evaluation of HMX Explosives with Kraton G Binder. Mason and Hanger Report MHSMP-81-17, 1981.
81. A J Th Rooyers et al, Investigation into the Sensitivity of Plastic-bonded Explosives by Means of the Thermal Step Test.
82. PBXN-5 Property Data-Konsultant
83. R M Hackett et al, Developmental Studies of Constitutive Models for Plastic-Bonded Explosives. LASL Report Nr LA-8204-MS, 1980.
84. K G Hoge, Dynamic Tensile Strength of Explosive Materials. Explosivstoffe 2, 1970.
85. K G Hoge, The Behaviour of Plastic Bonded Explosives under Dynamic Compressive Loads. Appl. Polym. Symp, 5, 19 - 40, 1967.