

FFI RAPPORT

EGENSKAPER TIL PBXN-110 MED STANDARD HMX

NEVSTAD Gunnar Ove

FFI/RAPPORT-2005/00005

**EGENSKAPER TIL PBXN-110 MED STANDARD
HMX**

NEVSTAD Gunnar Ove

FFI/RAPPORT-2005/00005

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2005/00005	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED	3) NUMBER OF PAGES 41
1a) PROJECT REFERENCE FFI-V/2911/130	2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	
4) TITLE EGENSKAPER TIL PBXN-110 MED STANDARD HMX Properties of PBXN-110 containing standard HMX		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) NEVSTAD Gunnar Ove		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH:		
a) <u>HMX</u>		IN NORWEGIAN:
b) <u>PBXN-110</u>		a) <u>HMX</u>
c) <u>Viscosity</u>		b) <u>PBXN-110</u>
d) <u>Shock Sensitivity</u>		c) <u>Viskositet</u>
e) <u>Shore A Hardness</u>		d) <u>Sjokkfølsomhet</u>
		e) <u>Shore A hardhet</u>
THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT PBXN-110 a cast cure PBX containing an inert binder system and HMX has been studied with regard to process ability by use of different ratios between HMX class 2 and class 3. A ratio of 30:70 between HMX class 2 and class 3 was found to give the lowest viscosity and cured samples with satisfactory hardness. With a ratio of 30:70 between class 2 and class 3 and a filler content of 87.2 weight% Intermediate Scale Gap test tubes was filled. The cured material had satisfactory density of 1.64 g/cm ³ . 10 tubes with different barrier thickness were fired to determine the shock sensitivity. For the 50% probability of a detonation we obtained a limit between go/no go of 35.5±1 kbar. A shock sensitivity result for PBXN-110 in agreement with literature values.		
9) DATE 2005-01-03	AUTHORIZED BY This page only Bjarne Haugstad	POSITION Director of Research

INNHOLD

	Side	
1	INNLEDNING	7
2	EKSPERIMENTELT	8
2.1	Sammensetning og krav til PBXN-110	8
2.1.1	Formulation	8
2.1.2	Cure conditions	8
2.1.3	Equivalent ratio	8
2.1.4	Krav til herdet sprengstoff	9
2.1.5	Våre valg	9
2.2	Viskositetsmålinger	10
2.3	Mekaniske egenskaper	10
2.4	Intermediate Scale Gap test	10
2.5	Tetthet	10
3	RESULTATER	11
3.1	Viskositetsresultater	11
3.2	Gaptest	13
3.3	Hardhet	20
3.4	Teoretiske bergninger	20
4	SAMMENDRAG	21
APPENDIKS		
A	ANALYSERESULTAT FOR BENYTTET RÅVARER	22
A.1	Kontrollrapport for HMX/IDP premikser	22
A.2	Kontrollrapport IDP	23
A.3	Analysesertifikat Lecithin	24
B	MIKSEORDRE R OG MIKSESKJEMA	25
B.1	Blanding PBXN-110 A	25
B.2	Blanding PBXN-110 B	27
B.3	Blanding PBXN-110 C	29
B.4	Blanding PBXN-110 D	31
C	VISKOSITETRESULTATER	33
C.1	Blanding PBXN-110 A	33
C.2	Blanding PBXN-110 B	34
C.3	Blanding PBXN-110 C	35

C.4	Blanding PBXN-110 D	36
D	CHEETAH 2.0 BEREGNINGER FOR PBXN-110	37
D.1	PBXN-110 med 86 vektprosent HMX	37
D.2	PBXN-110 med 87.2 vektprosent HMX	38
D.3	PBXN-110 med 88 vektprosent HMX	39
D.4	PBXN-110 med 89 vektprosent HMX	40
	Litteratur	41

EGENSKAPER TIL PBXN-110 MED STANDARD HMX

1 INNLEDNING

PBXN-110 er en HMX basert komposisjon av typen støpherdbar. Komposisjonen er utviklet og kvalifisert i USA og har eksistert noen år (1). PBXN-110 inneholder inert bindemiddel og mykner, men et høyt innhold av HMX gir den en relativ høy tetthet og dermed høy detonasjonshastighet. Imidlertid vil PBXN-110 ha lavere detonasjonshastighet enn pressbare HMX komposisjoner og støpherdbare komposisjoner med energirikt mykningsmiddel og/eller bindemiddel. AOP-26 (2) gir egenskaper og sammensetning for andre kvalifiserte støpherdbare komposisjoner; Fransk Octorane 86A og 86B ((HMX/Polyurethan)(86/14)), UK EDC 32 (85/15) og KS 32 (85/14/1) (HMX/HTPB/DOA) er alle komposisjoner som er kvalifisert og nær beslekta med PBXN-110 i ytelser. For Tyskland er det i (2) gitt en HMX støpherdbar komposisjon med 90 vekt% HMX produsert ut fra spesifikasjon H 8231. Normalt vil man ved 90 vekt% HMX eller mer være tvungen til å presse fyllingene for å oppnå tilfredsstillende tetthet og kvalitet på sprengstoffyllingen.

For mindre stridshoder som krever høy ytelse er pressbare komposisjoner med et HMX innhold fra 90-98 vekt% et bedre alternativet til fylling enn en støpherdbar. Spesielt er kravet til detonasjonshastighet og trykk viktig for å oppnå god virkning for stridshoder med retta virkning. Imidlertid inneholder kravene til et stridshode eller for den del et våpen mer enn krav om en gitt ytelse. Et krav som de fleste nasjoner i dag stiller er at våpen skal tilfredsstillende kravene til IM gitt i STANAG 4439 (3). Et krav som normalt lettest vil bli tilfredsstilt ved bruk av støp-herdbare komposisjoner som PBXN-110. En viktig egenskap for sprengstoffyllinger er sjokkfølsomheten som i en test som sympatetisk detonasjon er avgjørende for å oppnå et tilfredsstillende resultat. Sjokkfølsomheten til en komposisjon er normalt avhengig av fyllstoffinnhold men også type bindemiddel er avgjørende. Med hensyn til faststoff har partikkelfordeling og størrelse betydelig effekt på sjokkfølsomheten (4). Den senere tid har det også fremkommer at kvaliteten på krystallene har meget stor effekt på sjokkfølsomheten. Ved valg av riktige krystallkvalitet av RDX kan sjokkeegenskapene til en komposisjon som PBXN-109 forbedres med en faktor på 2-3. For HMX er det i dag ikke oppnådd de samme forbedringene av sjokkeegenskaper ved å endre på HMX kvaliteten, men det er påvist forbedringer med en reduksjon på 40% i sjokkfølsomheten for PBXN-110 (5). Gevinsten i forbedret sjokkfølsomhet ved overgang til en bedre HMX krystallkvalitet kan enten tas direkte ut ved å beholde en komposisjons sammensetning eller for en komposisjon som PBXN-110 ved å øke fyllstoffinnholdet og dermed virkning uten at sjokkfølsomheten øker.

I denne rapporten har vi testet standard HMX for delvis å finne en optimal fordeling av grov og finandel for å oppnå de beste støpeegenskapen. Optimalisert sammensetning har så vært testet med hensyn på sjokkfølsomhet ved bruk av Intermediate Scale Gap test. I tillegg har hardhet

vært bestemt for å finne nødvendig herdetid.

2 EKSPERIMENTELT

2.1 Sammensetning og krav til PBXN-110

I spesifikasjonen for PBXN-110 (1) er det gitt noen krav som er gjengitt i de følgende avsnitt:

2.1.1 Formulation

The PBXN-110 shall be a plastic-bonded, castable material that uses an elastomeric polymer to incorporate solid powders and thereby produce a flexible, cured explosive. The formulation of explosive PBXN-110 shall comply with the requirements specified in table 2.1

2.1.2 Cure conditions

The explosive shall be cured at a recommended temperature of between 20 and 50°C until the Shore A hardness meets the requirements of 2.1.4.

2.1.3 Equivalent ratio

The weight percent of the polybutadiene and the isodecyl pelargonate shall be kept in a ratio of 1:1 \pm 0.05. The weight percent of the polybutatiene and the isocyanate shall be calculated using the following NCO/OH ratio:

Type I -0.75/1.0 to 0.85/1.0

Type II -1.0/1.0 to 1.10/1.0

The NCO/OH ratio shall be calculated using the equivalent weights of materials obtained by chemical analysis using the techniques.

Ingredient	Specification	Percent by Weight	
		Type I	Type II
HMX, Grade B, Class 3	MIL-DTL-45444	¹ 66.0	¹ 66.0
HMX, Grade B, Class 3	MIL-DTL-45444	¹ 22.0	¹ 22.0
Polybutadiene, linear, hydroxy-terminated	WS 23148	² 5.378	² 5.365
Isodecyl pelargonate	AS 2328	² 5.378	² 5.365
4,4'-Methylenebis(2,6-di-tert-butylphenol)	DOD-M-82730 ³	0.05 \pm 0.005	0.05 \pm 0.005
Lecithin	MIL-L-3061	0.70 \pm 0.005	0.70 \pm 0.005
Polymethylene polyphenylisocyanate	WS 22348 Type I	² 0.494	
Isophorone diisocyanate	WS 16305	-	² 0.510
Dibutyltin dilaurate (DBTDL)	DOD-D-82727	-	⁴ 0.01
Ferric acetylacetonate (FeAA)	OS 9804	-	⁴ 0.0015
Dibutyltin sulfide (DBTS)	WS 22349	-	⁴ 0.10

¹ The weight ration of the HMX Class 3 to HMX Class 2 is nominally 3:1. To accommodate

lot-to-lot variations in the HMX classes, this weight percent ratio is allowed to vary from a minimum of 1:1 to a maximum of 8.78:1. These ratios will result in the following minimum and maximum weight percentages:

<u>Ingredient</u>	<u>Min.</u>	<u>Max.</u>
HMX Class 3	44.0	79.0
HMX Class 2	9.0	44.0

in such a way that the total HMX content remains between 86 percent and 89 percent.

- ² These are nominal values assigned to these component materials. The nominal composition of PBXN-110, Type I and Type II, was derived using the values of the sample calculations and the requirements of 3.3.2. Actual weight percents of these materials must be calculated in accordance with 3.3.2 using experimentally determined equivalent weights.
- ³ Exception to DOD-M-82730: the maximum melting point requirement of 4,4'-Methylenebis(2,6-di-tert-butyl phenol) shall not apply.
- ⁴ Use either DBTDL, FeAA, or DBTS. The tolerances on the weight percent of the catalysts shall be:

<u>Catalyst</u>	<u>Min.</u>	<u>Max.</u>
DBTDL	0.002	0.02
FeAA	0.001	0.02
DBTS	0.03	0.30

Tabell 2.1 Sammensetning av PBXN-110.

2.1.4 Krav til herdet sprengstoff

Herdet sprengstoff skal møte kravene gitt i tabell 2.2 når de testes i henhold til beskrivelse gitt i kapittel 4 i (1).

Property	Type I		Type II		Test Method
	Min.	Max.	Min.	Max.	
Density at 25°C (g/cc)	1.62	1.70	1.62	1.70	4.6.1
Stress, max., 25°C (psi)	20	--	20	--	4.6.2
(kPa)	138		138		
Strain, max. stress at 25°C (%)	10	--	9	--	4.6.2
Hardness, Shore A, 15 second delay at 25°C	15	--	20	--	4.6.3
Vacuum stability at 100°C (ml has per g per 48 hours)	--	0.4	--	0.4	4.6.4
Average composition, % HMX	86	89	86	89	4.6.5

Tabell 2.2 Krav fra (1) til herdet PBXN-110 sprengstoff.

2.1.5 Våre valg

Vi har benyttet HMX i form av en premiks som inneholder noe av mykningsmiddelet. Dyno

Nobel ASA har vært leverandør av benyttet HMX, mykningsmiddelet IDP samt Lecithin. Øvrige inngående råvarer er anskaffet fra Nammo Raufoss med unntak av antioksidanten som ble kjøpt fra Sigma-Aldrich. Kontrollrapporter for råvarene levert av Dyno er gitt i appendiks A. FFI har valgt å benytte herderen IPDI og dermed produsere/studere PBXN-110 type II og ikke type I produkt. Videre har vi valgt å benytte DBTDL som katalysator. Under fremstillingen har vi valgt å benytte en prosesseringstemperatur på $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Herding har vært gjennomført ved 60°C . Betingelsene under fremstillingen er gitt for hver blanding i appendiks B. Vi har for alle blandingsene benyttet et faststoffinnhold på 87.2 vektprosent. Benyttet forhold mellom klasse 3 og klasse 2 er gitt i mikseordrene i appendiks B.

2.2 Viskositetsmålinger

Viskositeten er målt ved en temperatur på 50°C ved bruk av et Brookfield viskosimeter. Alle målingene er gjennomført med en T-D spindel og variabel høyderregulator. Vandring i vertikalretning 20-25 mm. Under målingene var prøvene oppbevart i en dobbelvegget beholder hvor vann sirkulerte for å holde konstant temperatur under målingene.

2.3 Mekaniske egenskaper

Shore A hardhet ble målt med "Shore A Härteprüfer DIN 53505 ISO R 868 Type BS 61, Serien Nr.; 16705/97 fra BAREISS" etter 15 sekunder på endene av dog bone legemer.

2.4 Intermediate Scale Gap test

Sjokkfølsomheten er bestemt ved bruk av "Intermediate Scale Gap test" og ble gjennomført i henhold til prosedyren beskrevet i STANAG 4488 (6) med unntak av tykkelsen på korta. Våre kort har en tykkelse på 0.25 mm, mens i (7) er tykkelsen spesifisert til $0.19+0.02/-0.01$ mm. Andre detaljer rundt gjennomføringen av testen er beskrevet i referanse 6. Til overdragere ble benyttet en RDX/voks/grafitt (95/5) komposisjon levert av Dyno Nobel. Sjokktrykk som funksjon av barrieretykkelse for denne type overdragere er gitt i (7).

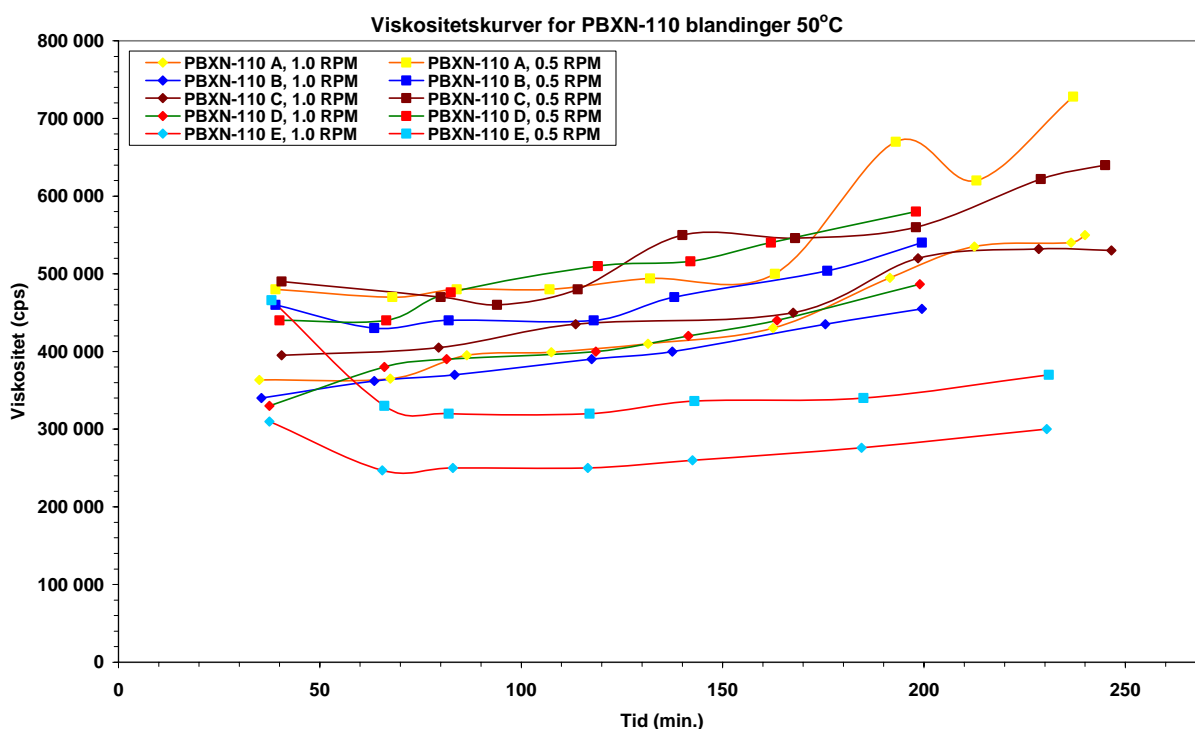
2.5 Tetthet

Tetthet er bestemt ved veiing og måling av Gaptestrør.

3 RESULTATER

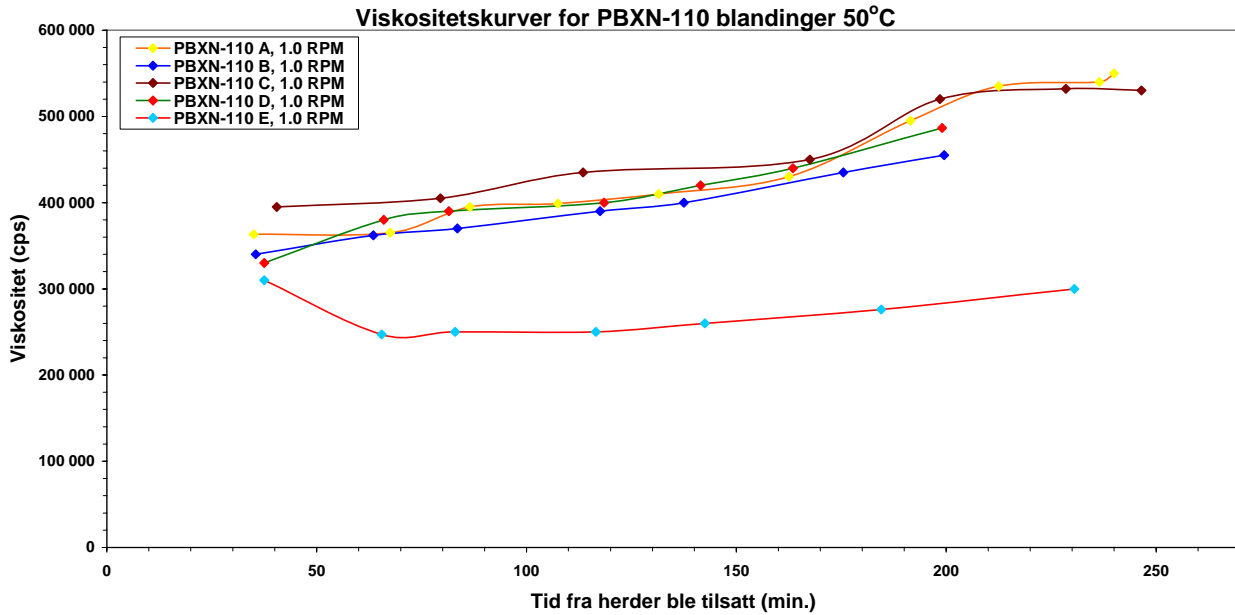
3.1 Viskositetsresultater

Det ble gjennomført to prøveblandinger med forskjellig forhold mellom grovandel og finandel av HMX for å optimalisere blandingsforholdet. Blandingen med 7:3 forhold mellom grov og finandel ga noe lavere viskositet enn 2:1 blandingen. Det ble derfor selv om forskjellene i viskositet var små besluttet å benytte 7:3 forhold mellom grov/fin HMX for blandingene som skulle benyttes til Gaptest. Med en viskositet på 30-40 Gpc er blandingene lett handterlig med hensyn på støpbarhet. I tillegg er pot-life tilstrekkelig lang til at det ikke skaper problemer med hensyn på støping. Det har vært gjennomført 7 blandinger med de samme krystallene hvorav 6 har hatt det samme forholdet (7:3) mellom grov (kl 3) og fin (kl 2). For 5 av blandingene ble viskositeten målt ved 50°C ved bruk av en T-D spindel.

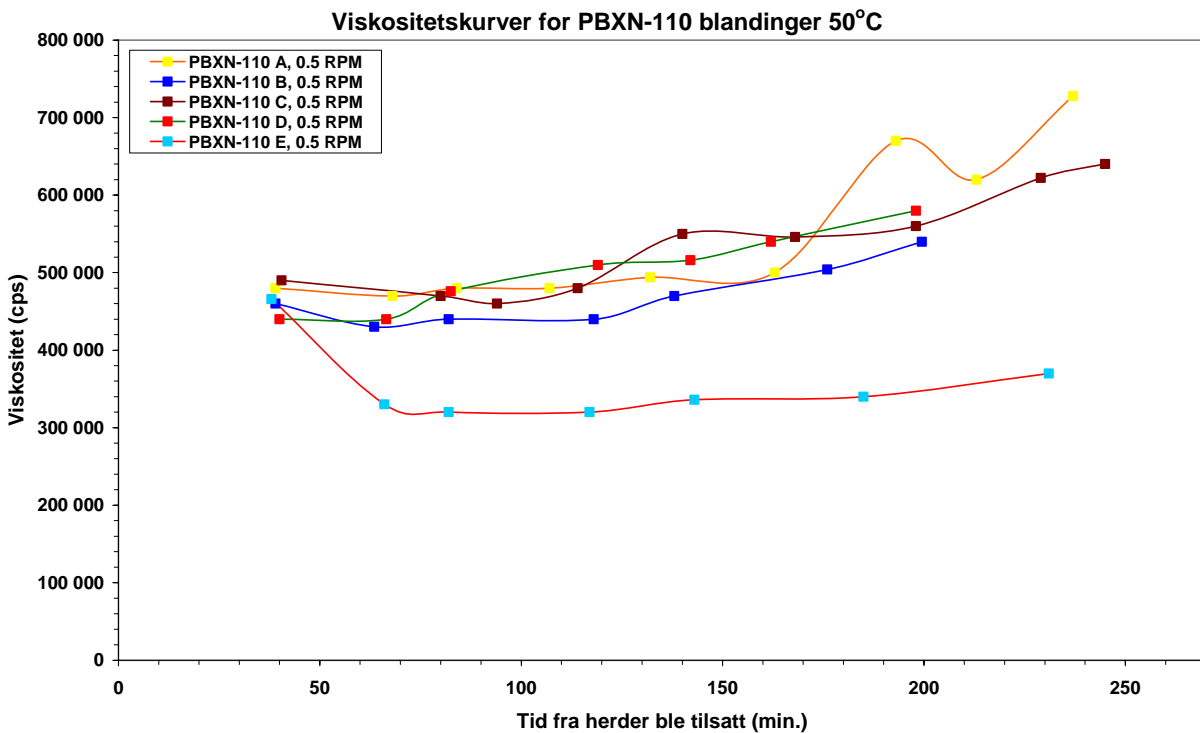


Figur 3.1 Viskositetskurver for noen PBXN-110 blandinger målt med T-D spindel ved 50°C.

Figur 3.1 gir samtlige viskositetskurver som ble målt. I appendiks C er det gitt tabeller med alle målinger av viskositeten. Blanding E viser en noe annen viskositetsutvikling enn de andre blandingene. Årsaken er at for denne blandingen ble det ikke benyttet variabel høyde regulator så spindelen stod i samme posisjon under alle målingene. Figurene 3.2 og 3.3 gir viskositetskurver ved henholdsvis 1 og 0.5 rpm. For de to første blandingene A og B ble det registrert at blanding B med 7:3 forhold mellom kl.3 og kl. 2 ga lavest viskositet. Fra figurene 3.2 og 3.3. ser man



Figur 3.2 Viskositetskurver for noen PBXN-110 blandinger målt med 1.0 rpm, T-D spindel og en temperatur på 50°C.



Figur 3.3 Viskositetskurver for noen PBXN-110 blandinger målt med 0.5 rpm, T-D spindel og en temperatur på 50°C.

imidlertid at for blandingene C og D blir dette bildet noe mer uklart. Imidlertid hadde alle blandingene, både de som det ble målt viskositet for og de det ikke ble målt viskositet for moderat viskositet og var lette å støp.

3.2 Gaptest

15 rør ble fylt med PBXN-110 masse og herdet. For blanding D ble det benyttet vakuüm under fyllprosessen og som det fremgår av tabell 3.1 var det ikke vellykket med hensyn på å oppnå akseptabel tetthet på fyllingene. I 2.1.4 tabell 2.2 er det gitt et krav til tetthet på minimum 1.62 g/cm^3 for PBXN-110 Type II fyllinger. Dette kravet er ikke oppfylt for rørene med D blanding. Det ble derfor støpt noen ekstra rør med blanding E. Fra Cheetah beregningen i appendiks D fremgår det at teoretisk tetthet for våre blandinger med 87.2 vektprosent HMX er 1.666 g/cm^3 .

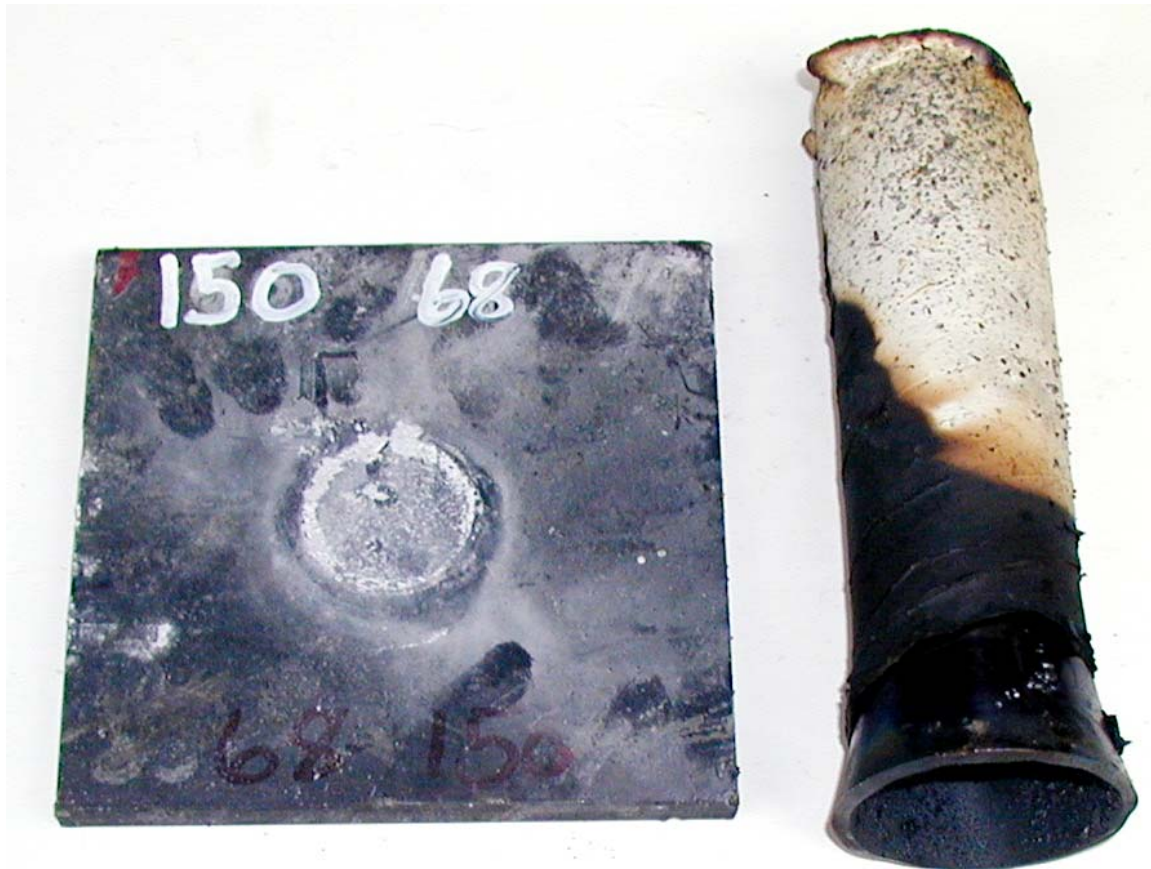
Rør nr	Vekt (g)	Indre diameter topp(cm)	Indre diameter bunn(cm)	Høyde (cm)	Volum (cm^3)	PBXN-110 Blanding Nr.	Vekt rør +Sprengstoff (g)	Nettovekt Sprengstoff (g)	Tetthet (g/cm^3)
45	862.69	3.975	3.983	19.916	247.651	C	1289.68	405.99	1.639
46	880.47	3.975	3.966	20.006	247.708	C	1289.96	409.49	1.653
47	909.77	3.918	3.935	19.982	241.958	C	1306.51	396.74	1.640
48	862.25	3.988	3.990	19.979	249.684	C	1270.31	408.06	1.634
49	873.51	3.978	3.975	20.008	248.482	C	1280.96	407.45	1.640
50	859.97	3.978	3.988	20.033	249.607	C	1266.46	406.49	1.629
51	902.66	3.933	3.944	19.989	243.524	D	1291.96	389.30	1.599
52	878.69	3.952	3.963	19.973	245.683	D	1271.69	393.00	1.600
53	898.31	3.936	3.938	19.981	243.242	D	1289.47	391.16	1.608
54	905.58	3.951	3.957	19.979	245.322	D	1295.98	390.40	1.591
55	859.60	3.990	3.970	19.978	248.547	D	1256.69	397.04	1.597
66	900.65	3.944	3.942	19.969	243.837	E	1305.97	405.32	1.662
67	888.55	3.961	3.960	19.988	246.240	E	1293.77	405.22	1.646
68	904.58	3.948	3.952	19.986	244.912	E	1305.99	401.41	1.639
69	905.81	3.950	3.945	19.982	244.553	E	1307.19	401.38	1.641

Tabell 3.1 Data for rørene benyttet til sjokkfølsomhetsbestemmelse i Gap test.

10 av rørene med høyest tetthet ble benyttet til bestemmelse av sjokkfølsomheten ved bruk av Intermediate Scale Gap test. Figurene 3.4 til 3.13 gir bilder av vitneplatene for omsatte skudd og for ikke omsatte skudd er det i tillegg gitt rester av rør og sprengstoff. Siden dette var første serien med PBXN-110 som vi har testet startet vi med en barrieretykkelse på 160 kort i skudd 1 og gikk nedover i stepp på 10 kort til vi oppnådde omsetning ved 130 kort. Resten av serien ble fyrt med barrieretykkelse rundt 135 ± 5 kort. Resultatene er oppsummert i tabell 3.1 og figur 3.14. I figur 3.14 er gitt et plott av reaksjonen til hvert skudd med barrieretykkelse i form av antall kort og i mm.



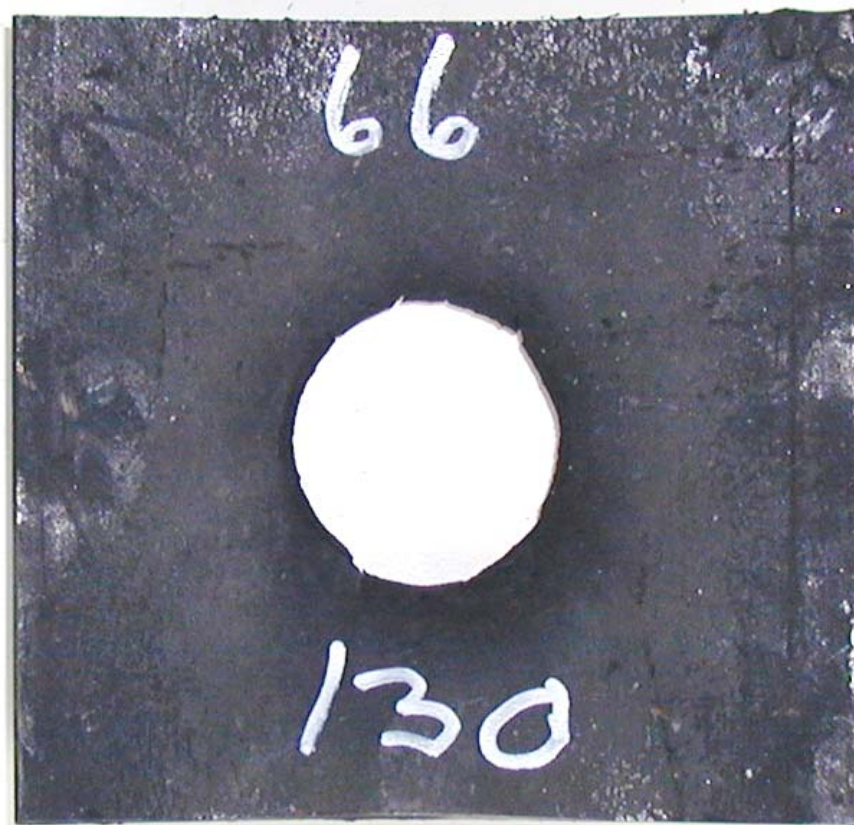
Figur 3.4 Skudd 1, rør 69 fylt med PBXN-110, 160 kort, ikke omsatt.



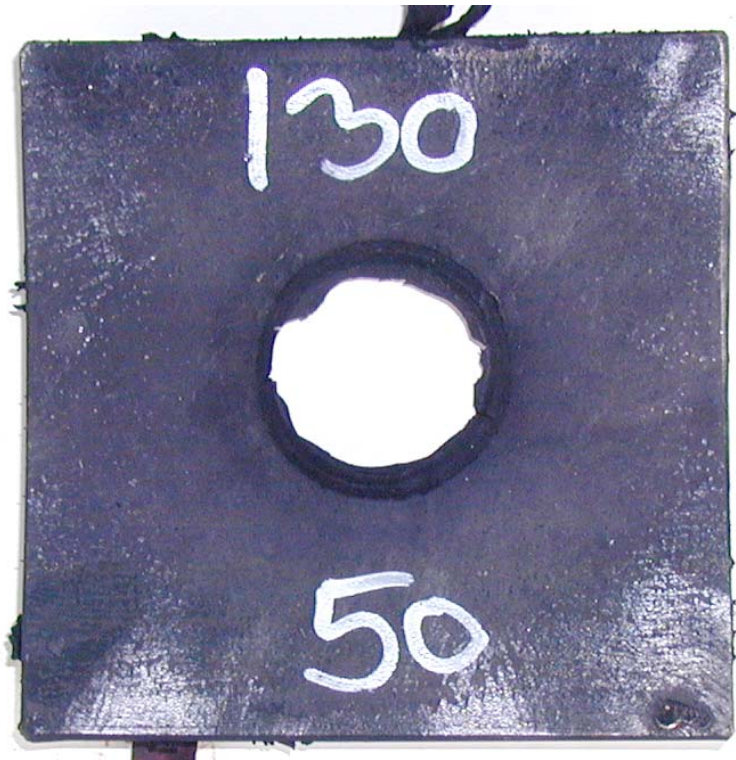
Figur 3.5 Skudd 2, rør 68 fylt med PBXN-110, 150 kort, ikke omsatt.



Figur 3.6 Skudd 3, rør 67 fylt med PBXN-110, 140 kort, ikke omsatt.



Figur 3.7 Skudd 4, rør 66 fylt med PBXN-110, 130 kort, omsatt.



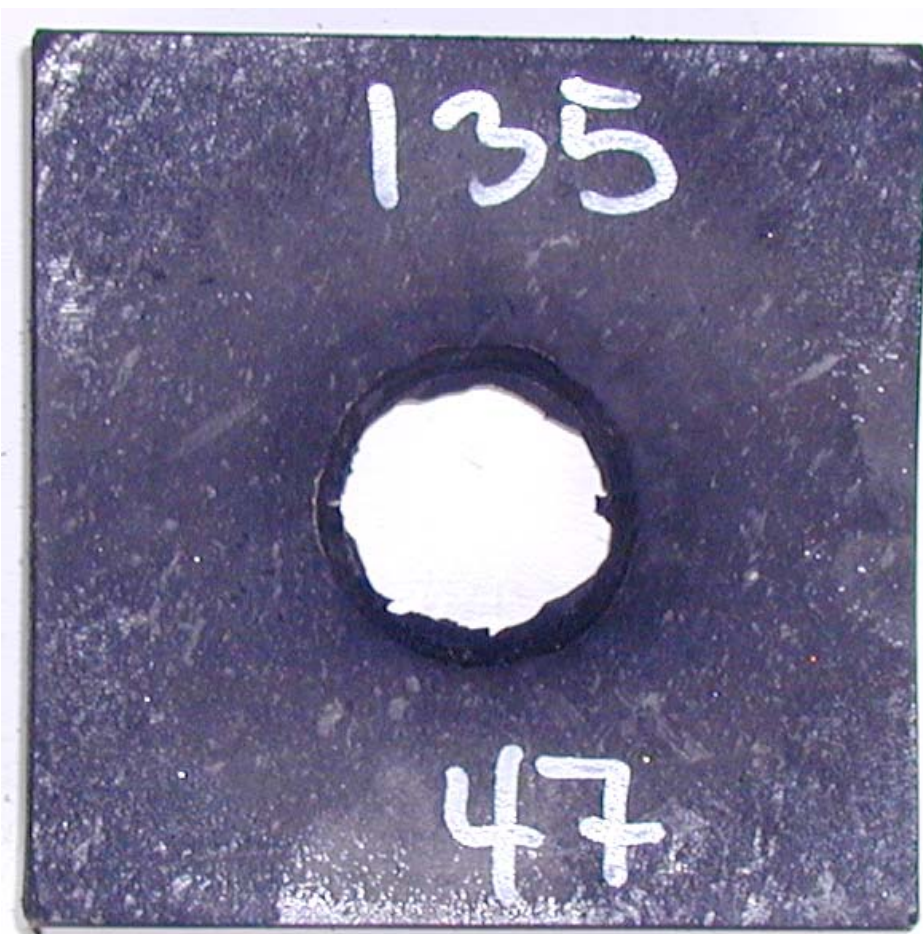
Figur 3.8 Skudd 5, rør 50 fylt med PBXN-110, 130 kort, omsatt.



Figur 3.9 Skudd 6, rør 49 fylt med PBXN-110C, 140 kort, ikke omsatt.



Figur 3.10 Skudd 7, rør 48 fylt med PBXN-110C, 135 kort, ikke omsatt.



Figur 3.11 Skudd 8, rør 47 fylt med PBXN-110C, 135 kort, omsatt.



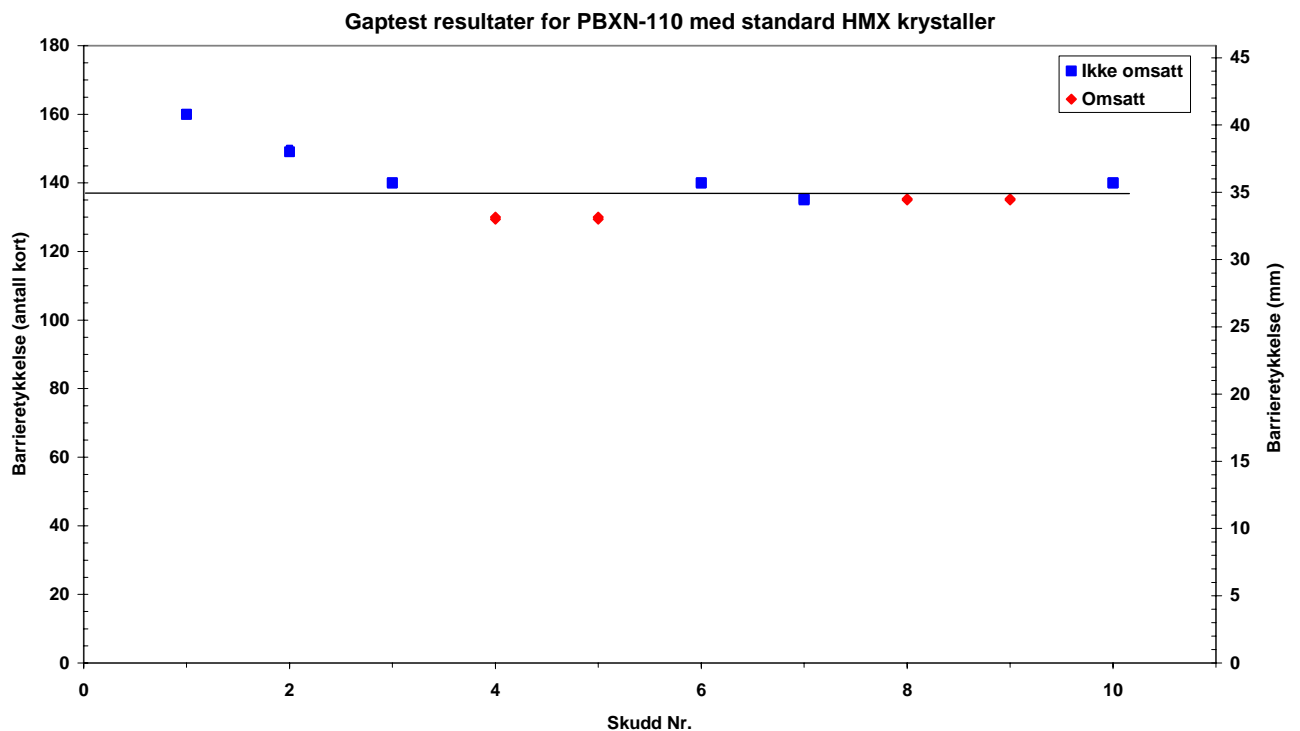
Figur 3.12 Skudd 9, rør 46 fylt med PBXN-110C, 135 kort, omsatt.



Figur 3.13 Skudd 10, rør 45 fylt med PBXN-110C, 140 kort, ikke omsatt.

Skudd Nr.	Rør Nr.	Antall kort	Avstand (mm)	Reaksjon
1	69	160	40.8	Ikke omsatt
2	68	150	38.3	Ikke omsatt
3	67	140	35.7	Ikke omsatt
4	66	130	33.2	Omsatt
5	50	130	33.2	Omsatt
6	49	140	35.7	Ikke omsatt
7	48	135	34.4	Ikke omsatt
8	47	135	34.4	Omsatt
9	46	135	34.4	Omsatt
10	45	140	35.7	Ikke omsatt

Tabell 3.2 Oversikt over testresultatene for rør med PBXN-110 blanding i Intermediate Scale Gaptest.



Figur 3.14 Resultater i Gaptest for PBXN-110 som funksjon av barrieretykkelse i form av antall kort og i mm.

Grensen mellom omsetning og ikke er på 137 kort som tilsvarer 35 mm i barrieretykkelse.

Sammenhengen mellom barrieretykkelse og trykk for overdragerne vi har benyttet er gitt i STANAG 4488 (7). En barrieretykkelse på 35 mm gir et trykk på 35.5 ± 1 kbar. For å oppnå en 50% sannsynlighet for detonasjon må testet PBXN-110 komposisjon bli utsatt for et sjokktrykk

på 35.5 ± 1 kbar. Sammenlignet med følsomheten til PBXN-109 er dette resultatet nærmere PBXN-109 med standard RDX type II (25 kbar) enn RS-RDX (55-60 kbar). For PBXN-110 gir NIMIC EMC (Energetic Material Compendium) (2) to resultater: Shock Gap Test –EIDS 2 = 34 kbar og for LSGT = 34 kbar. Disse resultatene er svært lik resultatet vi har oppnådd for vår PBXN-110.

3.3 Hardhet

Hardhet har vært målt for blandingene A-E på 11-12 mm tykke skiver eller dog bones med samme tykkelse. I (1) er kravet at Shore A skal måles etter 15 sekunder og ha en verdi på minimum 20. For både A og B blandingen ble den støpte blokken delt i to etter at herdeprosessen hadde pågått i 3 døgn. Den ene halvdel ble herdet videre i ytterlige 3 døgn. Tabell 3.3 gir resultatet av oppnådd hardhet både etter 3 og 6 døgn. Det var kun for et av emna herdet i 3 døgn at kravet til hardhet på 20 ikke var tilfredsstillt. Avviket er imidlertid marginalt.

Blanding nr	Herdet	Emne nr.			Gjennomsnittlig Shore A _{15s}
		1	2	3	
PBXN-110A	3 døgn	26.4	30.3	29.9	28.9
	6 døgn	33	34	32.5	33.2
PBXN-110B	3 døgn	19.8	24.5	24	22.8
	6 døgn	26.1	24.6	25.7	25.5
PBXN-110C	6 døgn	25.7	24.8	26.6	25.7
PBXN-110D	6 døgn	26.7	28.2	29	28.0
PBXN-110E	5 døgn	28.2	29	26.9	28.0

Tabell 3.3 Resultat fra måling av Shore A_{15s} for testlegemer av ulike blandinger av PBXN-110.

Resultatet for blandingene C-E er alle tilfredsstillende. Resultatene i tabell 3.3 tyder imidlertid på at det er ønskelig med en herding i 5-6 døgn ved 60°C for å være sikker på at kravet til hardhet er tilfredsstillt. Oppnådde hardheter for PBXN-110 er betydelig lavere enn for PBXN-109 som vi har fremstilt ut fra et bredt spekter av krystaller og hvor hardheten normalt er 50 ± 5 . Referanse 8 og 9 har undersøkt sammenhengen mellom hardhet og mekaniske egenskaper for PBXN-110 og funnet at for å oppnå tilfredsstillende mekaniske egenskaper bør hardheten ligge i området 15-28 enheter. Blanding A med et forhold 1:2 mellom klasse 2 og klasse 3 har en hardhet som ligger i overkant av hva som skal gi tilfredsstillende mekaniske egenskaper.

3.4 Teoretiske bergninger

Cheetah 2.0 (10) har vært benyttet til å gjennomføre teoretiske beregninger for PBXN-110 for noen blandinger med ulikt faststoffinnhold. Appendix D gir komplette utskrifter av beregningen inkludert produkt sammensetning til detonasjonsproduktene. I tabell 3.4 er et sammendrag av egenskapene gitt. Ved bruk av de tettheten til inngående forbindelser som ligger i Cheetah 2.0 vil våre blandinger ha en teoretisk tetthet på 1.666 g/cm^3 , og dermed vil man med en %TMD på 97.5 oppnå kravet til tetthet gitt i (1).

Egenskaper ved C-J Condition	Faststoffinnhold av HMX (vekt%)			
	86	87.2	88	89
The pressure (GPa)	26.07	26.91	27.48	28.22
The volume (cc/g)	0.464	0.459	0.455	0.451
The density (g/cc)	2.157	2.181	2.197	2.217
The energy (kJ/cc explosive)	3.08	3.17	3.24	3.32
The temperature (K)	3485	3532	3563	3601
The shock velocity (mm/us)	8.183	8.274	8.336	8.414
The particle velocity (mm/us)	1.935	1.952	1.963	1.977
The speed of sound (mm/us)	6.248	6.322	6.372	6.437
Gamma	3.230	3.239	3.246	3.256
Tetthet komposisjon (g/cm ³)	1.6467	1.6663	1.6796	1.6965

Tabell 3.4 Beregnet egenskaper for PBXN-110 med faststoffinnhold fra 86 til 89 vekt%.

4 SAMMENDRAG

PBXN-110 har vært fremstilt av HMX klasse 2 og klasse 3. To blandingsforhold mellom klasse 2 og klasse 3 ble studert med hensyn på viskositet og hardhet. Blandingen med 30:70 forhold mellom klasse 2 og klasse 3 ga lavest viskositet og en hardhet innenfor kravet i spesifikasjonene til PBXN-110.

PBXN-110 med 30:70 forhold mellom HMX klasse 2 og klasse 3 ble fylt i Gaptestrør og testet i Intermediate Scale Gap test. Resultatet for 50% sannsynlighet for omsetning på 35.5 ± 1 kbar er i samme størrelsesorden som litteraturverdien på 34 kbar.

APPENDIKS

A ANALYSERESULTAT FOR BENYTTET RÅVARER

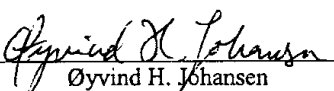

A.1 Kontrollrapport for HMX/IDP premikser

DYNO

Forsvarsprodukter

Kontrollrapport

etter EN 10204 – 2.3

Kjøper / Mottaker FFI		Bestillingsnummer Tlf G.Nevstad		Rapportnummer RD-25/04	
		Bestillingsdato 20/8-04		Kontroll dato August 2004	
Produsent Dyno Nobel ASA N-3476 Sætre Norge		Produksjonsdato Juni/August 2004		Offentlig oppdragsnummer	
Lot nummer		Mengde 10 kg og 5 kg			
Sprengstofftype HMX kl.3/IDP-96/4 % og HMX kl.2/IDP- 95/5 %		Leveringsbetingelser/Teknisk underlag			
Analyseresultater					
	% HMX	% IDP	% Fuktighet		
KRAV			max 0,05		
RESULTAT					
Sats 329/04 (HMX kl.3)	97,0	3,0	0,02		
Sats 197/04 (HMX kl.2)	95,0	5,0	0,01		
KRAV					
RESULTAT					
 Øyvind H. Johansen FoU Sjef		 Alf Berg Senior Produkt Ingeniør			

Figur App. 1 Kontrollrapport for HMX/IDP premikser.

A.2 Kontrollrapport IDP

DYNO

Forsvarsprodukter

KONTROLLRAPPORT B

etter EN 10204 - 3.1 B

Mottaker Dyno Nobel ASA Forsvarsprodukter N-3476 Sætre		Bestillingsnummer 3-4258 Bestillingsdato 24.04.01		Rapportnummer 326 Rapporteringsdato 06.08.02	
Produsent/Leverandør Congis, Europa AS		Ankomstdato 19.06.01			
Lot Nr. U221D14X021		Menge 181,34 kg			
Varenavn IDP, EMERY 2911		Spesifikasjon 001/99-K-002, utg. 1			
RESULTAT					
	Syretall	Hydroksyltall	Vann	Spes. Vekt V/25°C	Brytningsindeks V/25°C
Spesifikasjon	< 0,1 mg KOH/g	< 2,0 mg KOH/g	< 0,05 %	0,855-0,866	1,438-1,441
Resultat	0,02	1,6*	0,016	0,857	1,440
* analyse utført av Nammo Raufoss					
GODKJENT FOR FoU					
<hr style="width: 20%; margin: auto;"/> Kvalitetssjef					

Figur App. 2 Kontrollrapport for benyttet IDP mykner.

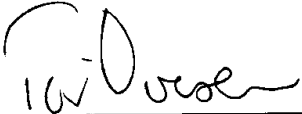
A.3 Analysesertifikat Lecithin

DYNO

Defence Products

INSPECTION CERTIFICATE B

in accordance with EN 10204 - 3.1 B

Buyer DYNO ASA Defence Products N-3476 Sætre		Order No. 3-3929 Order date 29.12.99		Certificate No. 322 Inspection date 24.01.00		
Supplier Central Soya Company, Inc. Indiana, USA		Receiving date 24.01.00				
Lot No. 99350101		Quantity 204 kg				
Product name Lecithin, ACTIFLO 70-SB		Specification Customer Specification, Product Code 6855, 06.10.1997				
RESULT						
	Acetone insoluble	Moisture	Acid value	Color, Gardner	Hexane insoluble	Viscosity at 25°C
Specification	68-72 %	≤ 0,8 %	18-25	≤ 14	≤ 0,1 %	≤ 30000 cP
Result	68,20	0,45	22,38	13,7	0,01	19500
 DYNO Defence Products Manager QA Manager Quality Assurance						

Figur App. 3 Analysesertifikat for benyttet lecithin i PBXN-110.

B MIKSEORDRE R OG MIKSESKJEMA**B.1 Blanding PBXN-110 A**

**MIKSEORDRE
FOR
SPRENGSTOFF/DRIVSTOFF**

Dato for utstedelse 1/9/2004	Utsteder GON	Batch nr. PBXN-110 A
Herdetemperatur 60°C	Herdetid 6 DØGN	

Nr.	Ingrediens	Lot Nr.	Vekt %	Vekt (g)
1	HTPB R45-HT LO	301085	5.800	116.00
2	IDP (5.365 wt.%)	Best. Nr. 3-4258	2.5055	50.11
3	AO-2246	9H120	0.05	1.00
4	Lecithin	Best. Nr. 3-3929	0.70	14.00
5	HMX Grade B, Class 3, (3%IDP), Dyno Nobel	Sats 329/04	60.17672	1203.53
6	HMX Grade B, Class 2, (5%IDP) Dyno Nobel	Sats 197/04	30.2148	604.30
7	Dibutyltin dilaurate (DBTDL)	286865 191	0.002	0.04
8	Isophorone Diisocyanate (IPDI)	BA 30696393	0.551	11.02
9				
10				
TOTAL VEKT				2000.00

REKVIRERTE PRØVER:

<input checked="" type="checkbox"/>	Spesifikk vekt	<input type="checkbox"/>	Card Gap test: rør.. ..stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Viskositet Brookfield	<input type="checkbox"/>	Detonasjons hastighet.....mm.....stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Strekprøving	<input type="checkbox"/>	Oppvarmingstest.....stk
<input type="checkbox"/>	Plate Dent	<input type="checkbox"/>	Beskytningstest.....stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Shore A Hardness	<input type="checkbox"/>	Burning Tube test.....stk

MERKNADER:

Innhold av HMX 87.2 vekt%. Forhold klasse3/klasse 2 2:1.

Dato for miksing 4/9-04	Klokkeslett herdar tilsatt: 12 ⁴⁵	Klokkesett ferdigmikset: 13 ¹⁵	Operator: GON
----------------------------	---	--	------------------

Figur App. 4 Mikseordre for blanding PBXN-110 A.

MIKSESKJEMA

Dato for miksing 4/9-04	Operatør GON	Batch nr. PBXN-110 A
Produkt type PBXN-110 med standard HMX		

Merknader/Prosedyre	Klokke- slett start	Miksetid (min)	Vakuum (mbar)		TEMPERATUR °C		
			Krav	Målt	I oljen	I kjelen	Ønsket i kjelen
Tilsett HTPB, Lecithin, IDP, AO-2246, DBTDL	10 ¹⁵	40	10	10	70	21 41.2	75±3
Tilsett 2/3 HMX kl.3	10 ⁵⁰	5 20	-- 10	-- 10	70	40.2 47.8	55±3
Tilsett ½ HMX kl 2	11 ¹⁵	5 10	-- 10	-- 10	70	45.6 48.0	55±3
Tilsett Rest HMX kl 3	11 ³⁰	5 10	-- 10	-- 10	70	44.7 52.0	50±3
Tilsett 1/4 HMX kl. 2	11 ⁴⁵	5 10	-- 10	-- 10	70	50.4 50.9	50±3
Tilsett Rest HMX kl. 2	12 ⁰⁰	5 10	-- 10	-- 10	70	49.6 49.8	50±3
Tilsett Nedskraping	12 ¹⁵	30	10	10	70	48.1 53.8	40±3
Tilsett IPDI	12 ⁴⁵	5 10	-- 10	-- 10	72	50.1 54.6	30±3
Tilsett Nedskraping	13 ⁰⁰	15	10	10	72	53.4 52.7	30±3
Tilsett							

VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....

MERKNADER:

Resultatet fra viskositetsmålingene er gitt på eget skjema.

Figur App. 5 Mikseskjema for blanding PBXN-110 A.

B.2 Blanding PBXN-110 B

**MIKSEORDRE
FOR
SPRENGSTOFF/DRIVSTOFF**

Dato for utstedelse 1/9/2004	Utsteder GON	Batch nr. PBXN-110 B
Herdetemperatur 60°C	Herdetid 6 DØGN	

Nr.	Ingrediens	Lot Nr.	Vekt %	Vekt (g)
1	HTPB R45-HT LO	301085	5.800	116.00
2	IDP (5.365 wt.%)	Best. Nr. 3-4258	2.558	51.16
3	AO-2246	9H120	0.05	1.00
4	Lecithin	Best. Nr. 3-3929	0.70	14.00
5	HMX Grade B, Class 3, (3%IDP), Dyno Nobel	Sats 329/04	62.8712	1257.42
6	HMX Grade B, Class 2, (5%IDP) Dyno Nobel	Sats 197/04	27.468	549.36
7	Dibutyltin dilaurate (DBTDL)	286865 191	0.002	0.04
8	Isophorone Diisocyanate (IPDI)	BA 30696393	0.551	11.02
9				
10				
TOTAL VEKT				2000.00

REKVIRERTE PRØVER:

<input checked="" type="checkbox"/>	Spesifikk vekt	<input type="checkbox"/>	Card Gap test: rør.. ..stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Viskositet Brookfield	<input type="checkbox"/>	Detonasjons hastighet.....mm.....stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Strekprøving	<input type="checkbox"/>	Oppvarmingstest.....stk
<input type="checkbox"/>	Plate Dent	<input type="checkbox"/>	Beskytningstest.....stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Shore A Hardness	<input type="checkbox"/>	Burning Tube test.....stk

MERKNADER:

Innhold av HMX 87.2 vekt%. Forhold klasse3/klasse 2 70:30.

Dato for miksing 4/9-04	Klokkeslett herdar tilsatt: 16 ²⁰	Klokkesett ferdigmikset: 16 ⁵⁰	Operatør: GON
----------------------------	---	--	------------------

Figur App. 6 Mikseordre for blanding PBXN-110 B.

MIKSESKJEMA

Dato for miksing 4/9-04	Operatør GON	Batch nr. PBXN-110 B
Produkt type PBXN-110 med standard HMX		

Merknader/Prosedyre	Klokke- slett start	Miksetid (min)	Vakuum (mbar)		TEMPERATUR °C		
			Krav	Målt	I oljen	I kjelen	Ønsket i kjelen
Tilsett HTPB, Lecithin, IDP, AO-2246, DBTDL	13 ⁴⁵	40	10	10	64	30.7 42.5	75±3
Tilsett 2/3 HMX kl.3	14 ²⁵	5 20	-- 10	-- 10	68	42.1 47.5	55±3
Tilsett ½ HMX kl 2	14 ⁵⁰	5 10	-- 10	-- 10	68	47.5 48.1	55±3
Tilsett Rest HMX kl 3	15 ⁰⁵	5 10	-- 10	-- 10	68	46.4 50.1	50±3
Tilsett 1/4 HMX kl. 2	15 ²⁰	5 10	-- 10	-- 10	68	50.1 48.8	50±3
Tilsett Rest HMX kl. 2	15 ³⁵	5 10	-- 10	-- 10	66	47.1 46.5	50±3
Tilsett Nedskraping	15 ⁵⁰	30	10	10	67	45.7 48.6	40±3
Tilsett IPDI	16 ²⁰	5 10	-- 10	-- 10	72	46.8 46.8	30±3
Tilsett Nedskraping	16 ³⁵	15	10	10	70	46.3 52.0	30±3
Tilsett							

VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....

MERKNADER:

Resultatet fra viskositetsmålingene er gitt på eget skjema .

Figur App. 7 Mikseskjema for blanding PBXN-110 B.

B.3 Blanding PBXN-110 C

**MIKSEORDRE
FOR
SPRENGSTOFF/DRIVSTOFF**

Dato for utstedelse 8/9/2004	Utsteder GON	Batch nr. PBXN-110 C
Herdetemperatur 60°C	Herdetid 6 DØGN	

Nr.	Ingrediens	Lot Nr.	Vekt %	Vekt (g)
1	HTPB R45-HT LO	301085	5.800	203.00
2	IDP (5.365 wt.%)	Best. Nr. 3-4258	2.558	89.53
3	AO-4426	40903165	0.05	1.75
4	Lecithin	Best. Nr. 3-3929	0.70	24.50
5	HMX Grade B, Class 3, (3% IDP), Dyno Nobel	Sats 329/04	62.8712	2200.49
6	HMX Grade B, Class 2, (5% IDP) Dyno Nobel	Sats 197/04	27.468	961.38
7	Dibutyltin dilaurate (DBTDL)	286865 191	0.002	0.07
8	Isophorone Diisocyanate (IPDI)	BA 30696393	0.551	19.28
9				
10				
TOTAL VEKT				3500.00

REKVIRERTE PRØVER:

<input checked="" type="checkbox"/>	Spesifikk vekt	<input checked="" type="checkbox"/>	Card Gap test: rør 6...stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Viskositet Brookfield	<input type="checkbox"/>	Detonasjons hastighet.....mm.....stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Strekprøving	<input type="checkbox"/>	Oppvarmingstest.....stk
<input type="checkbox"/>	Plate Dent	<input type="checkbox"/>	Beskytningstest.....stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Shore A Hardness	<input type="checkbox"/>	Burning Tube test.....stk

MERKNADER:

Innhold av HMX 87.2 vekt%. Forhold klasse3/klasse 2 70:30.

Dato for miksing 11/9-04	Klokkeslett herdar tilsatt: 10 ⁵⁵	Klokkesett ferdigmikset: 11 ²⁵	Operatør: GON
-----------------------------	---	--	------------------

Figur App. 8 Mikseordre for blanding PBXN-110 C.

MIKSESKJEMA

Dato for miksing 11/9-04	Operatør GON	Batch nr. PBXN-110 C
Produkt type PBXN-110 med standard HMX		

Merknader/Prosedyre	Klokke- slett start	Miksetid (min)	Vakuum (mbar)		TEMPERATUR °C		
			Krav	Målt	I oljen	I kjelen	Ønsket i kjelen
Tilsett HTPB, Lecithin, IDP, AO-4426, DBTDL	8 ²⁰	40	10	10	88	18.5 42.8	75±3
Tilsett 2/3 HMX kl.3	9 ⁰⁰	5 20	-- 10	-- 10	92	41.0 59.0	55±3
Tilsett ½ HMX kl 2	9 ²⁵	5 10	-- 10	-- 10	88	58.2 55.5	55±3
Tilsett Rest HMX kl 3	9 ⁴⁰	5 10	-- 10	-- 10	90	52.6 54.0	50±3
Tilsett 1/4 HMX kl. 2	9 ⁵⁵	5 10	-- 10	-- 10	88	52.1 54.5	50±3
Tilsett Rest HMX kl. 2	10 ¹⁰	5 10	-- 10	-- 10	90	52.0 51.0	50±3
Tilsett Nedskraping	10 ²⁵	30	10	10	88	48.8 52.8	50±3
Tilsett IPDI	10 ⁵⁵	5 10	-- 10	-- 10	84	51.1 56.0	50±3
Tilsett Nedskraping	11 ¹⁰	15	10	10	82	55.8 57.0	50±3
Tilsett							

VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....

MERKNADER:

Resultatet fra viskositetsmålingene er gitt på eget skjema.

Figur App. 9 Mikseskjema for blanding PBXN-110 C.

B.4 Blanding PBXN-110 D

**MIKSEORDRE
FOR
SPRENGSTOFF/DRIVSTOFF**

Dato for utstedelse 8/9/2004	Utsteder GON	Batch nr. PBXN-110 D
Herdetemperatur 60°C	Herdetid 6 DØGN	

Nr.	Ingrediens	Lot Nr.	Vekt %	Vekt (g)
1	HTPB R45-HT LO	301085	5.800	203.00
2	IDP (5.365 wt.%)	Best. Nr. 3-4258	2.558	89.53
3	AO-4426	40903165	0.05	1.75
4	Lecithin	Best. Nr. 3-3929	0.70	24.50
5	HMX Grade B, Class 3, (3% IDP), Dyno Nobel	Sats 329/04	62.8712	2200.49
6	HMX Grade B, Class 2, (5% IDP) Dyno Nobel	Sats 197/04	27.468	961.38
7	Dibutyltin dilaurate (DBTDL)	40903165	0.002	0.07
8	Isophorone Diisocyanate (IPDI)	BA 30696393	0.551	19.28
9				
10				
TOTAL VEKT				3500.00

REKVIRERTE PRØVER:

<input checked="" type="checkbox"/>	Spesifikk vekt	<input type="checkbox"/>	Card Gap test: rør. 5....stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Viskositet Brookfield	<input type="checkbox"/>	Detonasjons hastighet.....mm.....stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Strekprøving	<input type="checkbox"/>	Oppvarmingstest.....stk
<input type="checkbox"/>	Plate Dent	<input type="checkbox"/>	Beskytningstest.....stk
<input checked="" type="checkbox"/>	Shore A Hardness	<input type="checkbox"/>	Burning Tube test.....stk

MERKNADER:

Innhold av HMX 87.2 vekt%. Forhold klasse3/klasse 2 70:30.

Dato for miksing 11/9-04	Klokkeslett herdar tilsatt: 14 ³⁵	Klokkesett ferdigmikset: 15 ⁰⁵	Operatør: GON
-----------------------------	---	--	------------------

Figur App. 10 Mikseskjema for blanding PBXN-110 D.

MIKSESKJEMA

Dato for miksing 11/9-04	Operatør GON	Batch nr. PBXN-110 D
Produkt type PBXN-110 med standard HMX		

Merknader/Prosedyre	Klokke- slett start	Miksetid (min)	Vakuum (mbar)		TEMPERATUR °C		
			Krav	Målt	I oljen	I kjelen	Ønsket i kjelen
Tilsett HTPB, Lecithin, IDP, AO-4426, DBTDL	12 ⁰⁰	40	10	10	96	29.0 48.8	75±3
Tilsett 2/3 HMX kl.3	12 ⁴⁰	5 20	-- 10	-- 10	83	46.0 58.8	55±3
Tilsett ½ HMX kl 2	13 ⁰⁵	5 10	-- 10	-- 10	82	57.1 52.8	55±3
Tilsett Rest HMX kl 3	13 ²⁰	5 10	-- 10	-- 10	82	50.5 52.6	50±3
Tilsett 1/4 HMX kl. 2	13 ³⁵	5 10	-- 10	-- 10	82	52.3 53.8	50±3
Tilsett Rest HMX kl. 2	13 ⁵⁰	5 10	-- 10	-- 10	82	50.3 55.2	50±3
Tilsett Nedskraping	14 ⁰⁵	30	10	10	80	53.7 50.8	50±3
Tilsett IPDI	14 ³⁵	5 10	-- 10	-- 10	74	48.7 46.8	50±3
Tilsett Nedskraping	14 ⁵⁰	15	10	10	72	46.5 49.0	50±3
Tilsett							

VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....
VISKOSITET	.....°C	.....cP	SPINDEL	..... RPM	.....

MERKNADER:

Resultatet fra viskositetsmålingene er gitt på eget skjema .

Figur App. 11 Mikseskjema for blanding PBXN-110 D.

C VISKOSITETRESULTATER

C.1 Blanding PBXN-110 A

Brookfield RV serie viskosimeter		Spindel Nr. : T-D	Herder tilsatt: 12:45	Blanding Nr.: PBXN-110 A
4/9-04 Klokkeslett	Tid (min)	Hastighet (RPM)	Brookfield avlesning	Viskositet (cps)
13:19	34	1	17.5	350 000
13:20	35	1	17.5	350 000
13:21	36	1	19.5	390 000
13:23	38	0.5	12.0	480 000
13:25	40	0.5	12.0	480 000
13:51	66	0.5	11.5	460 000
13:52	67	1	18.0	360 000
13:53	68	1	18.5	370 000
13:55	70	0.5	12.0	480 000
14:08	83	0.5	12.0	480 000
14:10	85	0.5	12.0	480 000
14:11	86	1	19.5	390 000
14:12	87	1	20.0	400 000
14:31	106	0.5	12.0	480 000
14:32	107	1	20.5	410 000
14:33	108	1	19.4	388 000
14:34	109	0.5	12.0	480 000
14:55	130	0.5	12.2	488 000
14:56	131	1	21.0	420 000
14:57	132	1	20.0	400 000
14:59	134	0.5	12.5	500 000
15:01	136	0.5	12.0	480 000
15:26	161	0.5	12.5	500 000
15:27	162	1	21.0	420 000
15:28	163	1	22.0	440 000
15:30	165	0.5	12.5	500 000
15:56	191	0.5	17.0	680 000
15:57	192	1	25.0	500 000
15:58	193	1	24.5	490 000
16:00	195	0.5	16.5	660 000
16:16	211	0.5	15.0	600 000
16:17	212	1	27.5	550 000
16:18	213	1	26.0	520 000
16:20	215	0.5	16.0	640 000
16:40	235	0.5	18.0	720 000
16:41	236	1	28.0	560 000
16:42	237	1	26.0	520 000
16:44	239	0.5	18.4	736 000
16:45	240	1	27.5	550 000

Tabell App. 1 Viskositetsresultater for blanding PBXN-110 A målt ved 50°C.

C.2 Blanding PBXN-110 B

Brookfield RV serie viskosimeter		Spindel Nr. : T-D	Herder tilsatt: 16:20	Blanding Nr.: PBXN-110 B
4/9-04 Klokkeslett	Tid (min)	Hastighet (RPM)	Brookfield avlesning	Viskositet (cps)
16:55	35	1	16.5	330 000
16:56	36	1	17.5	350 000
16:58	38	0.5	11.5	460 000
17:00	40	0.5	11.5	460 000
17:22	62	0.5	11	440 000
17:23	63	1	18	360 000
17:24	64	1	18.2	364 000
17:25	65	0.5	10.5	420 000
17:42	82	0.5	11	440 000
17:43	83	1	18.5	370 000
17:44	84	1	18.5	370 000
18:16	116	0.5	11	440 000
18:17	117	1	20	400 000
18:18	118	1	19	380 000
18:20	120	0.5	11	440 000
18:36	136	0.5	12	480 000
18:37	137	1	19.5	390 000
18:38	138	1	20.5	410 000
18:40	140	0.5	11.5	460 000
19:14	174	0.5	12.2	488 000
19:15	175	1	22	440 000
19:16	176	1	21.5	430 000
19:18	178	0.5	13.0	520 000
19:38	198	0.5	14.0	560 000
19:39	199	1	23.5	470 000
19:40	200	1	22	440 000
19:41	201	0.5	13	520 000

Tabell App. 2 Viskositetsresultater for blanding PBXN-110 B målt ved 50°C.

C.3 Blanding PBXN-110 C

Brookfield RV serie viskosimeter		Spindel Nr. : T-D	Herder tilsatt: 10:55	Blanding Nr.: PBXN-110 C
11/9-04 Klokkeslett	Tid (min)	Hastighet (RPM)	Brookfield avlesning	Viskositet (cps)
11:34	39	0.5	12.5	500 000
11:35	40	1	19.5	390 000
11:36	41	1	20.0	400 000
11:37	42	0.5	12.0	480 000
12:13	78	0.5	12.0	480 000
12:14	79	1	20.0	400 000
12:15	80	1	20.5	410 000
12:17	82	0.5	11.5	460 000
12:29	94	0.5	11.5	460 000
12:47	112	0.5	12.0	480 000
12:48	113	1	21.0	420 000
12:49	114	1	22.5	450 000
12:51	116	0.5	12.0	480 000
13:13	138	0.5	13.5	540 000
13:14	139	1	22.0	440 000
13:15	140	1	23.0	460 000
13:17	142	0.5	14.0	560 000
13:41	166	0.5	13.8	552 000
13:42	167	1	22.0	440 000
13:43	168	1	23.0	260 000
13:45	170	0.5	13.5	540 000
14:11	196	0.5	14.0	560 000
14:12	197	1	26.5	530 000
14:13	198	1	26.0	520 000
14:14	199	1	26.0	520 000
14:15	200	0.5	14.0	560 000
14:42	227	0.5	15.6	624 000
14:43	228	1	26.0	520 000
14:44	229	1	27.2	544 000
14:46	231	0.5	15.5	620 000
15:00	245	0.5	16.0	640 000
15:01	246	1	26.0	520 000
15:02	247	1	27.0	540 000

Tabell App. 3 Viskositetsresultater for blanding PBXN-110 C målt ved 50°C.

C.4 Blanding PBXN-110 D

Brookfield RV serie viskosimeter		Spindel Nr. : T-D	Herder tilsatt: 14:35	Blanding Nr.: PBXN-110 D
11/9-04 Klokkeslett	Tid (min)	Hastighet (RPM)	Brookfield avlesning	Viskositet (cps)
15:12	37	1	16.0	320 000
15:13	38	1	17.0	340 000
15:14	39	0.5	10.0	400 000
15:16	41	0.5	12.0	480 000
15:39	64	0.5	11.0	440 000
15:40	65	1	19.5	390 000
15:41	66	1	18.5	370 000
15:42	67	1	19.0	380 000
15:44	69	0.5	11.0	440 000
15:56	81	0.5	11.8	472 000
15:57	82	1	19.5	390 000
15:58	83	1	19.5	390 000
15:59	84	0.5	12.0	480 000
16:32	117	0.5	12.5	500 000
16:33	118	1	19.5	390 000
16:34	119	1	20.5	410 000
16:36	121	0.5	13.0	520 000
16:55	140	0.5	12.8	512 000
16:56	141	1	21.0	420 000
16:57	142	1	21.0	420 000
16:59	144	0.5	13.0	520 000
17:17	162	0.5	13.5	540 000
17:18	163	1	22.0	440 000
17:19	164	1	22.0	440 000
17:52	197	1	22.0	440 000
17:53	198	0.5	14.5	580 000
17:54	199	1	26.0	520 000
17:55	200	1	25.0	500 000

Tabell App. 4 Viskositetsresultater for blanding PBXN-110 D målt ved 50°C.

D CHEETAH 2.0 BEREGNINGER FOR PBXN-110

D.1 PBXN-110 med 86 vektprosent HMX

Product library title: bkws library

Reactant library title: # Version 2.0 by P. Clark Souers

The composition:

Name	% wt.	% mol	% vol	Heat of formation (cal/mol)	Mol. wt.	TMD (g/cc)	
HMX	86.00	76.73	74.34	17866	296.17	1.91	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈
Lecithin	0.70	0.24	1.13	-630975	778.08	1.02	C ₄₂ H ₈₄ NO ₉ P
HTPB-Navy	6.35	16.70	11.53	-48	100.45	0.91	C _{7.33} H ₁₁ O _{0.083}
IDP	6.35	5.62	12.07	-212476	298.49	0.87	C ₁₉ H ₃₈ O ₂
IPDI	0.60	0.72	0.94	-88910	222.28	1.06	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O ₂

Density = 1.6467 g/cc Mixture TMD = 1.6467 g/cc % TMD = 100.0000

The C-J condition:

The pressure	=	26.07 GPa
The volume	=	0.464 cc/g
The density	=	2.157 g/cc
The energy	=	3.08 kJ/cc explosive
The temperature	=	3485 K
The shock velocity	=	8.183 mm/us
The particle velocity	=	1.935 mm/us
The speed of sound	=	6.248 mm/us
Gamma	=	3.230

Cylinder runs: % of standards

V/V0 (rel.)	Energy (kJ/cc)	TATB 1.83g/cc	PETN 1.76g/cc	HMX 1.89g/cc	CL-20 2.04g/cc	TRITON 1.70g/cc
1.00	-0.97					
2.20	-5.40	111	85	72	60	124
4.10	-6.53	112	85	74	62	118
6.50	-7.00	112	84	74	63	115
10.00	-7.33	112	84	75	64	112
20.00	-7.71	112	84	76	65	108
40.00	-8.00	112	84	76	66	103
80.00	-8.22	112	84	77	67	100
160.00	-8.41					

Freezing occurred at T = 1800.0 K and relative V = 1.917

The mechanical energy of detonation = -8.712 kJ/cc

The thermal energy of detonation = -0.000 kJ/cc

The total energy of detonation = -8.712 kJ/cc

JWL Fit results:

E0 = -9.135 kJ/cc

A = 858.91 GPa, B = 8.63 GPa, C = 1.22 GPa

R[1] = 4.84, R[2] = 1.05, omega = 0.32

RMS fitting error = 1.10 %

D.2 PBXN-110 med 87.2 vektprosent HMX

Product library title: bkws library

Reactant library title: # Version 2.0 by P. Clark Souers

The composition:

Name	% wt.	% mol	% vol	Heat of formation (cal/mol)	Mol. wt.	TMD (g/cc)	
HMX	87.20	78.55	76.27	17866	296.17	1.91	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈
Lecithin	0.70	0.24	1.14	-630975	778.08	1.02	C ₄₂ H ₈₄ NO ₉ P
HTPB-Navy	5.80	15.41	10.66	-48	100.45	0.91	C _{7.33} H ₁₁ O _{0.083}
IDP	5.75	5.14	11.06	-212476	298.49	0.87	C ₁₉ H ₃₈ O ₂
IPDI	0.55	0.66	0.87	-88910	222.28	1.06	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O ₂

Density = 1.6663 g/cc Mixture TMD = 1.6663 g/cc % TMD = 100.0000

The C-J condition:

The pressure	=	26.91 GPa
The volume	=	0.459 cc/g
The density	=	2.181 g/cc
The energy	=	3.17 kJ/cc explosive
The temperature	=	3532 K
The shock velocity	=	8.274 mm/us
The particle velocity	=	1.952 mm/us
The speed of sound	=	6.322 mm/us
Gamma	=	3.239

Cylinder runs:	% of standards					
V/V0 (rel.)	Energy (kJ/cc)	TATB 1.83g/cc	PETN 1.76g/cc	HMX 1.89g/cc	CL-20 2.04g/cc	TRITON 1.70g/cc
1.00	-1.00					
2.20	-5.57	115	88	75	62	128
4.10	-6.72	116	87	76	64	122
6.50	-7.21	116	87	77	65	118
10.00	-7.53	116	87	77	66	115
20.00	-7.92	115	86	78	67	110
40.00	-8.21	115	86	78	68	106
80.00	-8.44	114	86	79	68	102
160.00	-8.62					

Freezing occurred at T = 1800.0 K and relative V = 1.937

The mechanical energy of detonation = -8.908 kJ/cc

The thermal energy of detonation = -0.000 kJ/cc

The total energy of detonation = -8.908 kJ/cc

JWL Fit results:

E0 = -9.234 kJ/cc

A = 914.15 GPa, B = 9.31 GPa, C = 1.44 GPa

R[1] = 4.90, R[2] = 1.10, omega = 0.37

RMS fitting error = 0.89 %

D.3 PBXN-110 med 88 vektprosent HMX

Product library title: bkws library

Reactant library title: # Version 2.0 by P. Clark Souers

The composition:

Name	% wt.	% mol	% vol	Heat of formation (cal/mol)	Mol. wt.	TMD (g/cc)	
HMX	88.00	79.81	77.59	17866	296.17	1.91	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈
Lecithin	0.70	0.24	1.15	-630975	778.08	1.02	C ₄₂ H ₈₄ NO ₉ P
HTPB-Navy	5.42	14.51	10.05	-48	100.45	0.91	C _{7.33} H ₁₁ O _{0.083}
IDP	5.37	4.83	10.41	-212476	298.49	0.87	C ₁₉ H ₃₈ O ₂
IPDI	0.51	0.62	0.81	-88910	222.28	1.06	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O ₂

Density = 1.6796 g/cc Mixture TMD = 1.6796 g/cc % TMD = 100.0000

The C-J condition:

The pressure	=	27.48 GPa
The volume	=	0.455 cc/g
The density	=	2.197 g/cc
The energy	=	3.24 kJ/cc explosive
The temperature	=	3563 K
The shock velocity	=	8.336 mm/us
The particle velocity	=	1.963 mm/us
The speed of sound	=	6.372 mm/us
Gamma	=	3.246

Cylinder runs:		% of standards				
V/V0 (rel.)	Energy (kJ/cc)	TATB 1.83g/cc	PETN 1.76g/cc	HMX 1.89g/cc	CL-20 2.04g/cc	TRITON 1.70g/cc
1.00	-1.02					
2.20	-5.69	117	90	76	63	130
4.10	-6.86	118	89	77	65	124
6.50	-7.35	118	89	78	66	120
10.00	-7.68	118	88	78	67	117
20.00	-8.07	117	88	79	68	112
40.00	-8.35	117	88	80	69	108
80.00	-8.58	116	88	80	69	104
160.00	-8.76					

Freezing occurred at T = 1800.0 K and relative V = 1.950

The mechanical energy of detonation = -9.041 kJ/cc

The thermal energy of detonation = -0.000 kJ/cc

The total energy of detonation = -9.041 kJ/cc

JWL Fit results:

E0 = -9.366 kJ/cc

A = 941.47 GPa, B = 9.59 GPa, C = 1.46 GPa

R[1] = 4.91, R[2] = 1.10, omega = 0.37

RMS fitting error = 0.91 %

D.4 PBXN-110 med 89 vektprosent HMX

Product library title: bkws library

Reactant library title: # Version 2.0 by P. Clark Souers

The composition:

Name	% wt.	% mol	% vol	Heat of formation (cal/mol)	Mol. wt.	TMD (g/cc)	
HMX	89.00	81.58	79.26	17866	296.17	1.91	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈
Lecithin	0.70	0.24	1.16	-630975	778.08	1.02	C ₄₂ H ₈₄ NO ₉ P
HTPB-Navy	4.83	13.05	9.03	-48	100.45	0.91	C _{7.33} H ₁₁ O _{0.083}
IDP	5.00	4.55	9.79	-212476	298.49	0.87	C ₁₉ H ₃₈ O ₂
IPDI	0.47	0.57	0.75	-88910	222.28	1.06	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O ₂

Density = 1.6965 g/cc Mixture TMD = 1.6965 g/cc % TMD = 100.0000

The C-J condition:

The pressure	=	28.22 GPa
The volume	=	0.451 cc/g
The density	=	2.217 g/cc
The energy	=	3.32 kJ/cc explosive
The temperature	=	3601 K
The shock velocity	=	8.414 mm/us
The particle velocity	=	1.977 mm/us
The speed of sound	=	6.437 mm/us
Gamma	=	3.256

Cylinder runs:		% of standards				
V/V0 (rel.)	Energy (kJ/cc)	TATB 1.83g/cc	PETN 1.76g/cc	HMX 1.89g/cc	CL-20 2.04g/cc	TRITON 1.70g/cc
1.00	-1.05					
2.20	-5.84	120	92	78	64	134
4.10	-7.03	121	91	79	67	127
6.50	-7.53	121	91	80	68	123
10.00	-7.86	121	90	80	68	120
20.00	-8.25	120	90	81	69	115
40.00	-8.54	119	90	81	70	110
80.00	-8.76	119	90	82	71	106
160.00	-8.94					

Freezing occurred at T = 1800.0 K and relative V = 1.964

The mechanical energy of detonation = -9.209 kJ/cc

The thermal energy of detonation = -0.000 kJ/cc

The total energy of detonation = -9.209 kJ/cc

JWL Fit results:

E0 = -9.534 kJ/cc

A = 975.01 GPa, B = 9.89 GPa, C = 1.49 GPa

R[1] = 4.92, R[2] = 1.11, omega = 0.38

RMS fitting error = 0.92 %

Litteratur

- (1) Naval Sea Systems Command, Department of the Navy; MIL-DTL-82901A(OS), Detail Specification, Explosive, Plastic-Bonded, Cast PBXN-110, 13 May (2002).
- (2) The NIMIC Energetic Materials Compendium, v3.00 (2003): NIMIC, NATO HQ, B-1110 Brussels, Belgium.
- (3) NATO STANAG 4439: Policy for introduction, assessment and testing for Insensitive Munitions (MURAT) (1995).
- (4) C. Spyckerelle, A. Freche, S. Lecume (2003): "I-RDX Comparative analytical characterization. State of the art". Reduced Sensitivity RDX Technical Meeting, Meppen, Tyskland, 17-20 November.
- (5) Jørn D. kristiansen, Øyvind H. Johansen, Alf berg, Terje Halvorsen, Richard Gjersøe, Kjell-Tore Smith and Mona Christensen (2004): "Steps towards reduced sensitivity HMX (RS-HMX): Reduced shock sensitivity in both Cast-Cured and Pressable PBX compositions", IM&EM Technology Symposium, Materials & Techniques for Reducing Sensitivity, San Francisco, 15-17 November.
- (6) Nevstad Gunnar Ove (2002): Fremstilling og testing av PBXN-109 med Fransk I-RDX, FFI/RAPPORT-2002/3206, Ugradert.
- (7) North Atlantic Council (2001): Ratification draft 1- STANAG 4488 (Edition 1), "Explosive, Shock Sensitivity Tests"; NATO/PfP, Unclassified Document AC/310-D/189, 7 September.
- (8) Renè Gagnaux (2004): Influence of the HTPB/IDP-ratio on mechanical properties of the cast cured HMX-explosive PBXN-110, 35th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Tyskland, 29 juni - 2 juli.
- (9) Renè Gagnaux (2003): Rheology of cast cured insensitive plastic bonded explosives - part I, 34th International Annual Conference of ICT, Karlsruhe, Tyskland, 24-27 juni.
- (10) Laurence E. Fried, W. Michael Howard, P. Clark Souers (1998): Cheetah 2.0 User's Manual, UCRL-MA-117541 Rev. 5, Lawrence Livermore National Laboratory, 20 August.