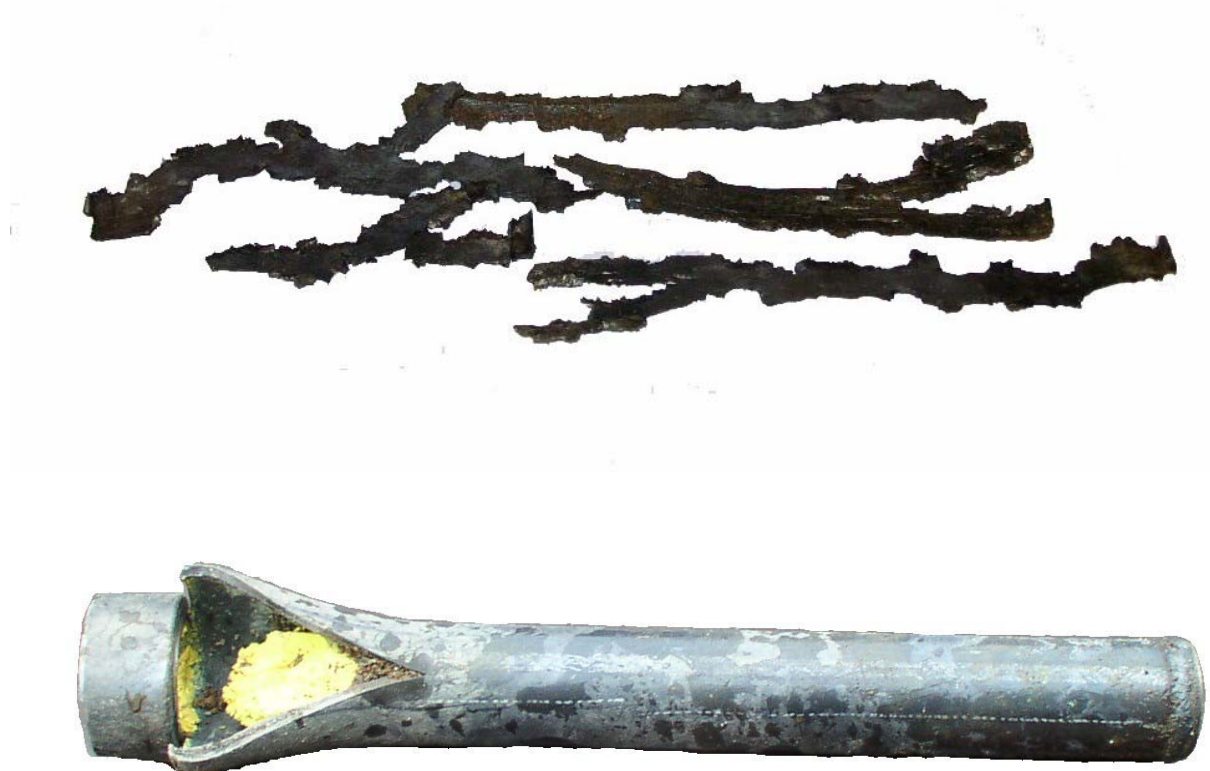


Carina Eldsäter, Patrick Goede, Helena Bergman, Nils Roman, Henric Östmark

## IM Status 2003



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Vapen och skydd

147 25 Tumba

FOI-R--1026--SE

December 2003

ISSN 1650-1942

**Användarrapport**

Carina Eldsäter, Patrick Goede, Helena Bergman, Nils Roman, Henric Östmark

## IM Status 2003

<b>VAD ÄR IM</b> .....	<b>4</b>
<b>VARFÖR IM</b> .....	<b>4</b>
<b>INTERNATIONELLT VIKTIGA DOKUMENT</b> .....	<b>5</b>
<b>IM-POLICY OLIKA LÄNDER<sup>[11]</sup></b> .....	<b>6</b>
AUSTRALIEN (ICKE NATO MEDLEM).....	7
KANADA .....	7
DANMARK.....	8
FRANKRIKE .....	8
TYSKLAND .....	9
ITALIEN.....	9
NEDERLÄNDERNA .....	9
NORGE .....	10
STORBRITANNIEN.....	10
USA.....	10
SKILLNADER I POLICY .....	11
<b>HUR UPPNÅR MAN IM</b> .....	<b>12</b>
ENERGETISKA MATERIAL .....	12
AMMUNITIONS OCH FÖRPACKNINGSDSIGN .....	12
<b>AKTUELL TEKNISK NIVÅ INOM IM-OMRÅDET</b> .....	<b>15</b>
IM EXPLOSIVÄMNEN .....	15
<i>Triaminotrinitrobensen (TATB)</i> .....	15
<i>3-Nitro-1,2,4-triazol-5-on (NTO)</i> .....	16
<i>4,10-dinitro-4,10-diaza-2,6,8,12-tetraoxaisowurtzitan (TEX)</i> .....	16
<i>2,6-Diamino-3,5-dinitropyrazin-1-oxid (LLM-105)</i> .....	17
<i>1,1-Diamino-2,2-dinitroetylen (FOX-7)</i> .....	17
<i>N-Guanylurea Dinitramide (FOX-12)</i> .....	17
<i>Sammanfattning</i> .....	18
IM-SPRÄNGÄMNEN .....	19
<i>Pressade sprängämnen</i> .....	19
<i>TNT-baserade sprängämnen<sup>[25,31]</sup></i> .....	21
<i>Komposit sprängämnen (PBXer)</i> .....	21
<i>Sammanfattning - sprängämnen</i> .....	24
IM-KANONKRUT .....	24
<i>NC-baserade kanonkrut</i> .....	24
<i>Kompositkanonkrut</i> .....	24
<i>Sammanfattning - kanonkrut</i> .....	26
IM-RAKETKRUT .....	26
<i>Raketkrut med minskad rökutveckling (reduced smoke)</i> .....	28
<i>Rökfria raketkrut</i> .....	29
<i>Sammanfattning - raketkrut</i> .....	30
<b>AKTUELL FORSKNING VID FOI</b> .....	<b>31</b>
EXPLOSIVÄMNEN .....	31
SPRÄNGÄMNEN .....	31
KANONKRUT .....	33
ÖVRIGA FORMULERINGAR MED MINSKAD KÄNSLIGHET .....	34
SAMMANFATTNING IM FORMULERINGAR .....	35
TESTER .....	36
<i>Detonerbarhetsprov</i> .....	36
<i>Small-scale slow cook-off</i> .....	37

<i>Sammanfattning - tester</i> .....	38
<b>SLUTSATSER OCH FÖRSLAG TILL FRAMTIDA INRIKTNING</b> .....	<b>39</b>
POLICY .....	39
EXPLOSIVÄMNEN .....	39
SPRÄNGÄMNEN .....	39
KANONKRUT .....	40
RAKETKRUT .....	40
TESTER .....	40
SLUTSATSER .....	40
<b>FÖRKORTNINGAR</b> .....	<b>41</b>
<b>REFERENSER</b> .....	<b>42</b>
<b>RAPPORT DOKUMENTATION</b> .....	<b>45</b>
<b>REPORT DOCUMENT</b> .....	<b>46</b>

## Vad är IM

IM (Insensitive Munition) har tidigare i Sverige kallats lågkänslig ammunition namnet IM vinner dock allt större genomslag och kommer därför att konsekvent användas i denna rapport.

NATO har definierat IM såsom: ammunition som tillförligt uppfyller prestanda, stridsberedskap och operationella krav, men som minimerar sannolikheten för oönskad initiering och därpå följande skada på vapenplattformar, logistiksystem och personal om de utsätts för oavsiktlig stimuli<sup>[1]</sup>.

Enklare förklarar är IM ammunition som: brinner då den utsätts för snabb eller långsam upphettning, träffas av en kula eller ett splitter samt ej detonerar då den utsätts för RSV-stråle eller om intilliggande ammunition exploderar.

## Varför IM

IM är av största vikt vid strid för rikets försvar, internationella insatser, fredsbevarande operationer och i fredstid. Vid strids- och fredsbevarandeinsatser behövs IM för att bibehålla den operativa förmågan samt för att skydda enheter från förluster från fiendliga attacker, olyckor och terroristhot. I fredstid är IM av vikt för att minska förluster vid olyckor och terroristangrepp samt för att behålla den operativa förmågan. IM hjälper även till att skydda allmänheten och minska politiska implikationer och trovärdighetskriser vid ammunitionstillbud.

Drivkraften bakom införandet av IM har varit ett flertal olyckor både i freds och krigstid som lett till person och materielskador samt förlust av operativ förmåga<sup>[2,3]</sup>. Kända incidenter inkluderar amerikanska hangarfartygsolyckor (USS Oriskany, USS Forrestal, USS Enterprise samt USS Nimitz) dessa ledde till 176 döda, 708 skadade och materiella skador uppgående till 1500 miljoner US\$. Olyckor på amerikanska markbaser (Bien Hoa Air Force Base, Danang Air Force Dump, Camp Doha) som ledde till 32 döda, 229 skadade och materiella skador uppgående till 163 miljoner US\$. Ett flertal olyckor har på senare år skett i ammunitionsupplag över hela världen med stor förödelse som följd: t.ex. Kinshasa Kongo 109 döda, 258 skadade; Ikeja Nigeria 1100 döda; Bharatpur Indien 3 döda, 12 skadade, 12111 ton ammunition varav en stor del Bofors tillverkade 155 mm granater. Ammunitionsupplag är naturligtvis även ett mål för terrorister och andra aktivister vid internationella insatser, t.ex. vid Spin Boldak, Afghanistan den 28 juni 2002 där ett anfall mot en icke IM ammunitionsdepå ledde till 32 döda och 70 skadade.

Då det Svenska försvaret går från ett invasionsförsvar till ett insatsförsvar ökar naturligtvis intresset för åtgärder som ökar både plattformarnas och personalens säkerhet. Då nationens överlevnad ej står på spel blir det svårare att förklara svenska förluster varvid dessa måste minimeras. Den svenska trupptransportkapaciteten är begränsad både till sjöss och i luften och ett ytterligare problem är att det dessutom är svårt att utnyttja transporthjälp från andra länder som har som policy att inte transportera icke NATO-klassad ammunition.

## Internationellt viktiga dokument

De samlade dokumenten för provning av okänslig ammunition är STANAG 4439<sup>[1]</sup> och AOP-39<sup>[4]</sup>. Dessa innehåller stöd, riktlinjer m m för provningen. Provningsmetoderna beskrivs i separata STANAG:s. Totalt finns sju olika provningsmetoder. För fyra metoder finns färdiga STANAG:s, för två metoder finns utkast till STANAG och för en metod saknas än så länge en STANAG men motsvarande metod finns i MIL-STD-2105B.

Även här utnyttjas en gemensam reaktionstypsindelning i alla provningsmetoder. Denna framgår av tabell 1. Dessa reaktionstyper kompletteras även med ”ingen reaktion”, d v s en situation där ingen reaktion hos explosivämnet kan detekteras, och med en reaktion som i AOP-39 benämns ”propulsion” och som definieras av att objektet i sig flyger i väg.

Tabell 1. Indelning i reaktionstyper vid provningen enligt STANAG 4439, AOP-39 och däri refererande provningsmetoder.

Reaktionstyp	Benämning	Kännetecken
I	Detonation	Kraftig stötvåg, stor krater i marken, höljet helt splittrat
II	Partiell detonation	Kraftig stötvåg, krater i marken, höljet splittrat men stora fragment kan förekomma.
III	Explosion	Trycket är större än 5 kPa vid 15 m, höljet splittras våldsamt i stora fragment, brinnande material sprids.
IV	Deflagration	Trycket är mindre än 5 kPa vid 15 m, Höljet splittras i tre eller färre delar, brinnande material sprids.
V	Brand	Trycket mindre än 5 kPa vid 15 m, höljet spricker, inga splitter med energi större än 79 J eller massa större än 150 g på 15 m, värmeflödet mindre än 4 kW/m <sup>2</sup> vid 15 m

Vid liquid fuel fire, (fast cook-off, FCO) tests for munitions, STANAG 4240<sup>[5]</sup>, placeras objektet mitt i en brandhård ca 0.4 m ovanför ytan hos det flytande bränslet (fotogen och bensen). Flamtemperaturen skall vara minst 870°C och 550°C skall nå inom 30 s. Ur IM perspektiv är endast typ V reaktion godkänd.

Vid slow heating (slow cook-off, SCO) tests for munitions, STANAG 4382<sup>[6]</sup>, värms objektet med 3.3 °C/timme i ugn eller på annat sätt. Ur IM perspektiv är endast typ V reaktion godkänd.

Vid bullet attack (bullet impact, BI) test for munitions, STANAG 4241<sup>[7]</sup>, beskjuets objektet med 12.7 mm AP projektil. Anslagshastigheten skall vara 850 m/s. Objektet beskjuets genom mantelytan i det område där de känsligaste (normalt booster eller raketmotortändare) delarna finns. Ur IM perspektiv är endast typ V reaktion godkänd.

Vid sympathetic reaction (SR), munition test procedures, STANAG 4396<sup>[8]</sup>, testas objekten paketerade som vid förvaring eller transport. Minst två objekt men ofta fler

behövs. Ett av objekten (donor) bringas att reagera på avsett vis. Reaktionen i övriga objekt studeras. Ur IM perspektiv gäller att kraftigare reaktion än typ III ej får ske.

Vid fragment impact (FI) test, STANAG 4496 (draft), beskjuts objektet antingen med kubiska stålprojektiler med en hastighet av 2590 m/s, där 2 till 5 projektiler skall träffa objektet, eller med en konformad stålprojektil med en hastighet av 1830 m/s. Ur IM perspektiv är endast typ V reaktion godkänd.

Vid shaped charge jet impact (SCJI) test, STANAG 4526 (utkast)<sup>[9]</sup>, beskjuts objektet med en rsv-stråle. Diametern på rsv-laddningen skall väljas utifrån hotbilden för aktuellt objekt. Ur IM perspektiv gäller att kraftigare reaktion än typ III ej får ske.

Vid spall impact test, MIL-STD-2105B<sup>[9]</sup>, utsätts objektet för sekundära splitter från en 25 mm tjock pansarplåt som beskjutits med rsv från en 81 mm:s laddning. Objektet placeras vid sidan av rsv-strålens längdriktning och uppställning utformas i övrigt så att objektet träffas av mellan 4 och 40 splitter. Ur IM perspektiv är endast typ V reaktion godkänd.

Minst ett objekt (två vid sympathetic reaction testet) behövs vid respektive test. I genomgången av de olika ländernas IM-policy nedan visas skillnader i testresultatsacceptans och möjligheter att beroende på THA (Threat Hazard Analysis) att slippa göra vissa test. Inom NIMIC konstaterar man att för att ett säkerhetsprovningssystem skall vara effektivt måste det ge reproducerbara resultat i sådan mängd att statistisk signifikans och konfidensnivåer kan erhållas. Vidare måste stimuli som appliceras vid provningarna vara representativa för verkliga och typiska hot samtidigt som man måste mäta rätt saker för att förstå hur ammunitionen reagerar. Dessutom måste resultatet gå att använda för att prediktera initiering och reaktion vid påverkan från andra ej provade yttre stimuli t ex andra projektilkalibrar eller andra splitterstorlekar. Vidare konstaterar man att fullskalig provning normalt inte är reproducerbar då antalet variabler är mycket stort, då explosivämnen respons är stokastisk och då antalet prov p g a stora kostnader är mycket få. Detta betyder också att resultaten blir statistiskt insignifikanta. Därför ser man ett stort behov av ytterligare data från andra källor vid IM utvärdering. Fullskalig provning är ändå betydelsefull då den stärker andra resultat och analyser, ger ett enkelt sätt att mäta uppfyllnad av kontrakts- och specifikationskrav och då denna typ av provning tycks vara lättast att acceptera och förstå i ett internationellt perspektiv.

Lösningen menar NIMIC är att använda data från småskaliga provningar och från modellering (beräkning, simulering). En lösning som sedan många år tycks vara allmänt accepterad inom "IM-världen", som adresserats vid några NIMIC workshops och som nämns i STANAG 4439 och AOP-39.

Ett FOI memo som nyligen kommit ut avhandlar småskalig testning av explosivämnen mer extensivt<sup>[10]</sup>.

## **IM-policy olika länder<sup>[11]</sup>**

STANAG 4439, det dokument som styr IM-arbetet, har ratificerats av flertalet NATO nationer. Några NATO länder har dock ännu inte svarat medan andra öppet deklarerat att de ej följer STANAG 4439.

- Länder som ej implementerar STANAG 4439
  - Belgien
  - Luxemburg
  - Tjeckien
  
- Länder som ej svarat
  - Grekland
  - Ungern
  - Polen
  - Portugal
  - Spanien
  - Turkiet

När det gäller IM-policys är dessa i flertalet länder fortfarande utkast. Huvuddragen i dessa policys och policyutkast sammanfattas nationsvis nedan. I flera länder arbetas det med en IM-policy och ett separat implementeringsdokument.

### **Australien (icke NATO medlem)**

Australien har en definierad IM policy<sup>[12]</sup>, en implementeringsstrategi finns som utkast (IMIS IM-implementation strategy) från den Australiensiska krigsmaterial säkerhetsgruppen (Australian Ordnance Safety Group OSG).

#### Sammandrag

- All ammunition/vapen skall klara IM-kraven från STANAG 4439 såsom de definieras i AOP 39
- När det ej är möjligt att uppnå IM-kraven skall tillåtelse till ett undantag erhållas från lämplig myndighet.
- IM signaturen bestäms genom standard test men THA kan eliminera mindre relevanta hot enligt ALARP principen.

Implementering: IM-policyn innefattar all ammunition. All äldre ammunition skall hållas under övervakning för att identifiera möjligheter att uppfylla IM-kraven. Formell dispens är nödvändig då IM-kraven ej uppfylls antingen i kravspecifikationerna för ny ammunition, upphandling av uppgradering eller renovering av ammunition.

### **Kanada**

Kanada har ratificerat STANAG 4439 1a upplagan samt alla relevanta test STANAGs. I mars 1991 undertecknades ett dokument som erkänner IM som en kapacitetsbrist, därefter har ett policyutkast sammanställts och detta cirkuleras just nu för ratificering.



Sammandrag:

- All ammunition som tas i tjänst efter 2020 skall vara helt IM-klassad och allting i mellantiden måste bedömas och ha en plan för att klara IM-kraven till år 2020.
- De test som prioriteras är FCO, SCO, SR, BI och SCJI. FI och Spall Impact kommer man att ta mindre hänsyn till. HD1.4 kommer att slippa IM-krav.

Implementering: IM-klassning av all ny ammunition till år 2020, om ammunitionen ej klarar IM-kraven krävs ett undantag.

## Danmark

Danmark har ratificerat STANAG 4439 1a upplagan samt alla relevanta test STANAGs. Det danska försvarets högkvarter håller just nu på att granska det sista utkastet till Danmarks nationella IM-policy. I implementeringsstrategin fokuseras det framförallt på att begränsa en händelses propagering istället för att rädda ett enskilt drabbat objekt. Detta leder till att man sätter högre prioritet på SR, FCO, SCO och FI. I Danmark arbetar man inte med något separat implementeringsdokument.

## Frankrike

Frankrike har ratificerat STANAG 4439 1a upplagan den nationella IM/MURAT policyn är definierad i en DGA/IPE instruktion<sup>[13]</sup>.

Sammandrag

- Definierar en progressiv approach med MURAT märkning (MURAT1-3\*). MURAT märkningsnivån specificerar test kraven och den tillåtna responsen. Den högsta nivån är baserad på 7 hot (FCO, SCO, BI, LFI, HFI, SR, SCJI).
- Endast standard test procedurer
- Småskaliga tester och modellering skall användas som ytterligare bevis i IM utvärderingsdossiern.
- Ytterligare krav (gentemot STANAG 4439): 12 meters falltest, elektriska och elektromagnetiska test.

MURAT\*\*\* innehåller endast EIDS (Extremely Insensitive Detonating Substance) om initiering hindras (e.g. kan få HD1.6 utan tändare).

Finns ingen formell implementerings strategi, man har dock en väldigt krävande plattform specifik strategi angående vilken ammunition som tillåts på hangarfartyget Charles de Gaulle.

## Tyskland

Tyskland har ratificerat STANAG 4439 1a upplagan samt alla relevanta test STANAGs. Man har ej publicerat någon IM-policy men försvarsmaktens ammunitionssäkerhetsdokument säger att IM är att föredra<sup>[14]</sup>. IM-lösningar har redan krävts i vissa program (t.ex. ESSM och IRIS missilerna).

## Italien

Italien har ratificerat STANAG 4439 1a upplagan samt alla relevanta test STANAGs. Den nationella IM/MURAT policy definierades i februari 2000<sup>[15]</sup>.

### Sammanfattning

- Definierar en progressiv approach med MURAT märkning (MURAT1-3 $\square$ ). MURAT märkningsnivån specificerar test kraven och den tillåtna responsen. Den högsta nivån är baserad på 7 hot (FCO, SCO, BI, LFI, HFI, SR, SCJI).
- Endast standard test procedurer, men testens konfiguration bestäms av THA
- Ammunitionen märks med en speciell markering.

MURAT $\square$  ammunition får HD1.2 enhetsrisk (Maximal effekt är detonation av ett ammunitionsojekt). MURAT $\square\square\square$  får HD1.3.

Någon formell implementeringsstrategi existerar ej.

## Nederländerna

Nederländerna har ratificerat STANAG 4439 1a upplagan samt alla relevanta test STANAGs. Sedan 1992 finns ett IM direktiv som säger att IM är önskvärt för all ny ammunition. En ny IM-policy är dock under utarbetande<sup>[16]</sup>

- Ammunition kallas mindre känslig istället för IM. Approachen är progressiv utan etiketter. Miniminivån är baserad på grundhoten (FCO, SCO, BI och FI) medan 3e nivån uppfyller hela STANAG 4439.
- Endast standard test, men dessa skall helst harmoniseras med HD klassificeringstest.

Enligt utkastet till implementeringsstrategin är all ny ammunition underställd IM-policyn. Om policyn inte uppfylls måste denna avvikelse godkännas av ett rådgivningsorgan.

## Norge

Norge har ratificerat STANAG 4439 1a upplagan samt alla relevanta test STANAGs. IM avhandlas i ett direktiv från år 2000<sup>[17]</sup>.

### Sammanfattning

- Det minst känsliga explosivämne som uppfyller de operationella och tekniska kraven skall väljas
- Inga absoluta krav på att ny ammunition är IM, varje enskilt projekt väljer specifikation, och IM är en specifikation som alla andra.

## Storbritannien

Storbritannien har ratificerat STANAG 4439 1a upplagan samt alla relevanta test STANAGs. Försvarsdepartementets IM och implementeringspolicy har godkänts och publicerats i januari 2003.

### Sammanfattning

- All ny ammunition måste vara i enlighet med IM-kraven.
- Formell dispens ges av militärenhet<sup>1</sup> antingen för kravspecifikationen eller vid upphandlingen.
- Standard test föredras. En THA kan användas för att ta bort hot med låg sannolikhet enligt ALARP principen. Spall test ingår ej i Storbritanniens IM-krav.

Enligt implementeringsstrategin omfattas all ammunition av IM-policyn. All äldre ammunition hålls under övervakning för att identifiera möjligheter att uppnå IM-status på den. För alla undantag oberoende om det är nyupphandling, uppgradering eller renovering behövs dispens av militärmyndighet<sup>2</sup> om en IM-lösning ej väljs.

## USA

USA har ratificerat STANAG 4439 1a upplagan samt alla relevanta test STANAGs. USAs IM policy och implementeringsstrategi finns definierad i ett flertal dokument<sup>[18-21]</sup>

### Sammanfattning

- All ammunition och alla vapen skall följa IM-kriteriet – eftersom dessa är en del av amerikansk federal lag.
- Undantag kan endast utfärdas av JROC<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Denna är på tvåstjärnig generals nivå.

<sup>2</sup> Denna är på tvåstjärnig generals nivå

<sup>3</sup> Militärenhet på fyrstjärning generals nivå

- Standard testen är baserade på en THA. Maxnivån är sju hot (FCO, SCO, BI, FI, SR, SCJI, Spall Impact). De första fem utföres alltid (undantag endast om hotet ej existerar mot ammunitionen ifråga).
- Extra krav från MIL-STD 2105-B gentemot STANAG 4439: Grundläggande säkerhetstest på 3 detaljer (28-dagars temperatur och fuktighetstest + vibrationstest + 4-dagars temperatur och fuktighetstest + 12 meters falltest)

För förvaring finns HD 1.2.3. Klassificeringen för HD 1.2.3 är baserad på endast fyra hot (FCO, SCO, BI och SR)

Enligt den amerikanska implementeringsstrategin skall all ammunition uppfylla IM-kraven. Ammunition som redan finns i tjänst slipper dessa krav. Dock skall man leta efter varje tänkbar möjlighet att införa IM-teknologi i vapen som fortsätter produceras. I nyutvecklings och upphandlingskontrakt måste IM-kraven uppfyllas eller ett godkänt undantag finnas.

## Skillnader i policy

I tabell 2 finns en schematisk jämförelse av IM-kraven hos de länder som har en accepterad IM-policy i jämförelse med STANAG 4439 och FNs 1.6 krav.

Tabell 2. IM-krav (För betydelse av Romerska siffror I-V se tabell 1)

	France MURAT			Italy Murat			US IM och HD1.2.3			UK	NATO	UN
	*	**	***	□	□□	□□□	2105	1.2.3(1)	1.2.3(2)			
										IM	4439	1.6
FCO	IV	V		V			V			V	V	V
SCO	III	V		V			V			V	V	V
BI	III	III	V	V			V	V	IV	V	V	IV
FI		III	V		V(3)	V	V			V	V	
HFI		III	IV		V(3)	V					V(6)	
SR	III		IV	III			II(4)	III	III	III	III	III
SCJI			III		III(3)	III	II(5)			III	III	
Spall							V				V	

- (1) HD1.2.3 Huvuddning är inte EIDS
- (2) HD1.2.3 Huvudladdning är EIDS
- (3) MURAT THAn avgör om testet skall genomföras eller ej, resultatet är predefinierat.
- (4) MIL-STD2105B Ingen typ 1 respons hos någon acceptor.
- (5) MIL-STD2105B Det får ej finnas någon typ 1 respons p.g.a. RSVn.
- (6) STANAG 4439 – LFI och HFI test procedurer är definierade i STANAG Ed1.

Slutsatsen är att även om STANAG 4439 Ed. 1 har godkänts av alla dessa länder är IM-kraven något olika mellan de olika staterna. Dock är IM som ett slutligt mål accepterat av alla.

Då det anses svårt och dyrt att uppnå full IM status på all ammunition har olika system utvecklats för att driva IM utvecklingen. I den Franska och Italienska IM-policyn finns en progressiv approach där tre olika grader av IM status definieras. I USA, Storbritannien och Australien finns ett undantagssystem där tillstånd till att IM-kraven inte uppfylls ges av en hög militär myndighet.

Den Svenska IM-policyn har varit under utveckling hos FMV och kommer nu att remitteras till högkvarteret för vidare utvärdering.

## Hur uppnår man IM

IM är ett helhetskoncept där man uppnår IM-status för ett helt ammunitionsobjekt i sin förpackning. Denna helhetssyn gör det möjligt att uppnå IM-målen på ett flertal olika sätt. Man kan använda mindre känsliga energetiska material, designa sin ammunition så att den ej detonerar vid höga påfrestningar och använda skyddande förpackningar. Det är oftast nödvändigt att använda en kombination av dessa metoder.

## Energetiska material

Fortsättningsvis kommer följande definitioner att användas i rapporten.

Explosivämne: Det rena ämne som ingår i ett sprängämne, tändämne, krut eller pyroteknisk sats.

Energetiska material: samlingsnamn varunder sprängämnena, tändämnena, krut eller pyrotekniska satser sorterar.

Observera skillnaden jämfört med Sejlitz tidigare definitioner<sup>[22]</sup>.

Man kan använda energetiska material där explosivämnet är mindre känsligt för olika sorters påfrestningar. TATB, NTO och FOX-7 är moderna mindre känsliga explosivämnen än t.ex. TNT, RDX och HMX, som ingår i de vanligaste sprängämnena som används idag. För att ett lågkänsligt explosivämne skall bli ett lågkänsligt sprängämne krävs dock att det formuleras med ett passande bindemedel. Detta för att undvika mikrokaviteter i sprängämnet och ge ämnet goda mekaniska egenskaper. Mikrokaviteter bidrar till s.k. "hotspots" som kan leda till oönskad initiering. Smältgjutna sprängämnena är svåra att få IM-klassade det är därför vanligast att man framställer IM laddningar genom att arbeta med gjutbara PBXer och pressbara sprängämnena. Nya explosiv och sprängämnena är vad vi vid institutionen för energetiska material framförallt håller på med och därför kommer detta att presenteras mer extensivt längre fram i rapporten.

## Ammunitions och förpackningsdesign

Det kvittar hur lågkänsligt ett energetiskt material är om själva ammunitionsstycket eller förpackningen ej är anpassad för att uppfylla IM-krav. Det finns många sätt att designa ammunition och förpackning ur ett IM-perspektiv dessa har samlats av NIMIC i ett speciellt kompendium där varje metod presenteras med referenser. I den här rapporten kommer vi endast att presentera en kortare sammanfattning.

Det finns två designvägar då det gäller att förbättra ammunitionens IM egenskaper<sup>[23]</sup>.

1. Modifiering av själva ammunitionen
  - a. Skydd mot termiska hot
    - i. Permanent externt termiskt skydd på utsidan av ammunitionen.  
Fördel: billig retrofit, Nackdel: kan öka vikt och därför minska räckvidd.

- ii. Permanent externt termiskt skydd på insidan av ammunitionen.  
Nackdel: mindre volym för explosivämne eller krut.
  - iii. Designa ammunitionen så att höljet ger termisk isolering (ofta kompositmaterial för att skydda t.ex. raketmotorer). Fördel: ingen volym minskning för explosivämnet eller krutet.  
Nackdel: Vissa material ökar sårbarheten mot elektriska urladdningar.
- b. Skydd mot stötar, stötvågor och SR
- i. Tekniken bygger på olika sorters komposithylsor  
Fördel: med komposithylsor ger stötar och tryckavlastning mindre farliga fragment. Nackdel: Kan vara känsliga för hanteringsskador och lämpar sig ej för splitterstridsdelar.
  - ii. Buffertar mellan ammunitionskomponenterna  
Nackdel: ökar ammunitionens vikt både operativt och vid förvaring.
  - iii. Designa den inre linern så att den minskar stötvågen  
Nackdel: då linern tar en del av utrymmet för explosivämnet får man en prestandaminskning.
- c. Undvika katastrofal tryckutveckling.
- i. Utrusta ammunitionen med ett borttagbart termiskt initierat tryckavlastningssystem (TIVS). Nackdel: kan vara dyrt och svårt att ta bort.
  - ii. Utrusta ammunitionen med TIVS. Används ofta på ammunition med en stor strids eller driv laddning. Nackdel: ibland behövs en extra brand till detonations anordning för att få tillräcklig tryckavlastning.
  - iii. Tryckavlastning baserad på partiell isoleringsteknik (PIT). Gör att en viss del av höljet lättare bryts upp vid termiska påfrestningar. Nackdel: minskar tiden till reaktion, reaktionen är dock p.g.a. tryckavlastningen ganska mild.
  - iv. Designa höljet för att minska sannolikheten för en övergång från brand till våldsam reaktion.
- d. Hindra ofrivillig initiering av explosivämnet p.g.a. tänd eller säkringssystemet.
- i. Lågekänsliga tänd och säkringssystem, Fördel: designen gör det otroligt att huvudladdningen kommer att initieras. Nackdel: Vissa lösningar är känsliga för elektrostatiska urladdningar eller elektromagnetism.
  - ii. Termiskt initierad tryckavlastning eller utkastning av booster eller tändare. Fördel: om booster blivit utkastad eller tryckavlastad lär den inte initiera huvudladdningen.
  - iii. Lågekänsliga booster för säker initiering av lågekänsliga sprängämnen. Nackdel: vissa lösningar tar mer utrymme än konventionella booster.
  - iv. Lågekänsliga tändare för säker initiering av lågekänsliga sprängämnen. Nackdel: vissa lösningar tar mer utrymme än konventionella tändare.
  - v. Öka det termiska skyddet av booster och tändare.
2. Ingen modifiering av ammunitionen, istället modifieras ammunitionens förpackning och förvaring. Förpackningen skall skydda ammunitionen mot ofrivillig initiering beroende på hur troligt hotet är avpassas förpackningen till om ammunitionen skall vara oskadd eller ej efter att den påverkats av ett

stimuli. Då det gäller vanliga påfrestningar såsom transportvibrationer måste förpackningen ge fullt skydd, om det däremot gäller lågfrekventa men allvarliga hot såsom ett tolvetersfall räcker det om ammunitionen ej initieras.

- a. Skydd mot termiska hot
  - i. Termiskt skydd, inklusive färg till förråd, utskjutningsbehållare och magasin. Fördel: Närvaro av skydd eller färg ökar tiden till ett explosivförlopp. Nackdel: Vissa isoleringar ökar känsligheten mot elektriska urladdningar. Isolering kan ersätta FCO hot med SCO som kan ha större effekt.
  - ii. Designa containrar, stuvutrymme och förpackningar för att minska effekten av termiska hot. Fördel: förenklar brandbekämpning. Nackdel: minskar förrådskapaciteten.
  - iii. Placera värmesköldar i förråds eller stuvutrymme. Fördel: billigt sätt att lindra FCO och SCO. Nackdel: ökad vikt.
  - iv. Släcknings eller dränkningssystem. Fördel: hotet tas bort innan det finns risk för fara. Nackdel: Stora mängder vatten till sjöss kan äventyra fartygets stabilitet, kan skada ammunition.
- b. Skydd mot stötar, stötvågor och SR
  - i. Placera buffertar i förråd eller containrar för att lindra stötvågor eller stötar och hindra SR. Fördelar: kräver inga modifikationer av förvaringsutrymmen eller ammunition. Nackdelar: måste designas väl för att inte öka splittermängden, minskar förrådskapaciteten.
  - ii. Skydda förråd eller stuvutrymme mot ballistiska hot med hjälp av pansar. Nackdel: tunga material kan ge för ammunitionen farliga fragment.
  - iii. Optimera arrangemanget av ammunition och buffrar i magasin och containrar eller på en flygplansvinge så att man minskar risken för SR. Fördel: billigt och enkelt. Nackdel: kan minska mängden ammunition som kan förvaras.
  - iv. Konstruera förvaringsemballage av materiel som är designade att hindra SR. Fördel: Vissa material är billiga och lätta (t.ex. Pimpsten). Nackdel: Kan öka vikten.
- c. Skydd mot elektrostatiske och elektromagnetiska hot
  - i. Använda behållare eller beläggningar som är elektriskt ledande. Nackdel: metallbehållare kan öka den termiska känsligheten och producera farliga fragment vid en våldsamma reaktion hos dess innehåll.
- d. Undvika katastrofal tryckutveckling
  - i. Använda tryckavlastningssystem. Fördel: Enkel förändring som kan få ett system att uppnå IM-status. Nackdel: Ökar komplexiteten och kan vara dyra.

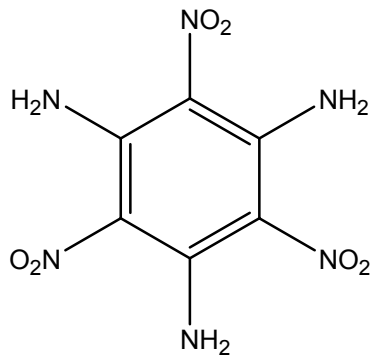
Genom att använda en kombination av lågkänsliga explosivämnen och en god ammunition och förpackningsdesign kan man öka tåligheten hos ammunitionen och väldigt ofta få de önskade IM egenskaperna. För varje ammunitionsdetalj måste man dock specialgranska på vilket sätt IM-kraven bäst uppfylles.

## Aktuell teknisk nivå inom IM-området

### IM explosivämnen

Grunden till en lyckad IM-lösning är ett bra lågkänsligt explosivämne. Detta kan omvandlas till ett lågkänsligt sprängämne eller drivämne som sedan kan appliceras i en IM-anpassad ammunitionsdetalj. På senare år har det kommit fram ett flertal lågkänsliga energetiska molekyler som starkt bidragit till utvecklingen inom IM-området. För att inte förlora i operativ förmåga är det viktigt att molekylen trots sin lägre känslighet är tillräckligt energetisk. IM tanken har tidigare lidit av att det varit svårt att bibehålla prestanda och ändå uppnå tillräcklig lågkänslighet. Det finns nu ett flertal molekyler med 70-90% av HMX prestanda. Bakgrund till de icke svensk utvecklade explosivämnena finns till stor del i <sup>[24]</sup>.

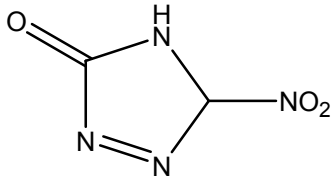
### Triaminotrinitrobensen (TATB)



Figur 1: Struktur TATB

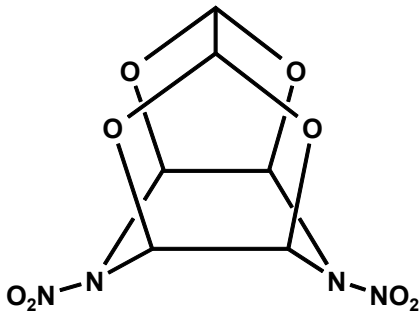
Framställdes första gången 1888. Under 1950 talet utvecklades TATB (figur 1) för att vara ett extremt okänsligt explosivämne med tänkt huvudanvändning i kärnvapen. Det ingår nu som standard explosivämne i de flesta länders kärnvapen. TATBs prestanda ligger på 70% av HMX, men p.g.a detonationsprodukternas låga temperatur är det svårt att öka energiinnehållet genom aluminium tillsats. Även om det är okänsligt för termiska och mekaniska stimuli och som rent ämne har en stor kritisk diameter har de färdiga formuleringarna ofta kritiska diametrar på endast 10-12 mm. Det är även extremt olösligt vilket gjort det nästan omöjligt att framställa partikelfördelningar som tillåter framställning av gjutbara kompositioner. TATB framställs genom nitring av triklorbensen och omvandling av trinitrotriklorobensen till TATB. Moderata prestanda, liten kritisk diameter för det färdiga sprängämnet och det höga priset gör det svårt att applicera detta explosivämne i konventionella vapen.



**3-Nitro-1,2,4-triazol-5-on (NTO)**

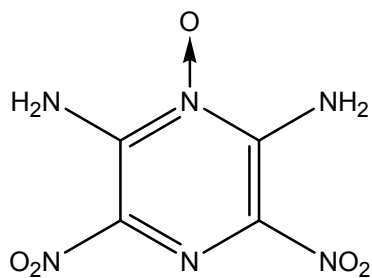
Figur 2, Struktur NTO

NTO (figur 2) är förutom TATB det mest använda lågkänsliga sprängämnet. NTO framställs i en två stegs process genom att semikarbacid hydroklorid reageras med myrsyra varvid 1,2,4-triazol-5-on erhålles för vidare nitring till den önskade produkten. På grund av sura väten är föreningen reaktiv och det finns farhågor att det kan innebära stabilitets problem i vissa bindemedelssystem, de sura vätena har dock visat negativ inverkan vid härdning av vissa bindemedel. Prestanda är ganska dåliga (71% av HMX) vilket leder till att föreningen i formuleringar ofta måste blandas med RDX eller HMX för att man skall få godtagbara prestanda<sup>[25]</sup>.

**4,10-dinitro-4,10-diaza-2,6,8,12-tetraoxaisowurtzitan (TEX)**

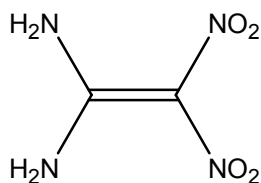
Figur 3: Struktur TEX

TEX (figur 3) är en polyazapolycyklisk burformad nitramin av liknande typ som CL-20. Då CL-20 innehåller 6 nitraminogrupper innehåller TEX endast 2, den är därför åtskilligt mindre energetisk än CL-20 men p.g.a. sin höga densitet (1.99) fortfarande intressant. TEX har visat sig ha bra känslighet och utvärderas därför i USA som ett lågkänsligt explosivämne. Framställdes första gången 1990, i ett steg genom nitring i blandsyra ( $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ ) av en blandning av 1,4-diformyl-2,3,5,6-tetrahydroypiperazin och glyoxal trimer. Prestanda motsvarar den för TATB.

**2,6-Diamino-3,5-dinitropyrazin-1-oxid (LLM-105)**

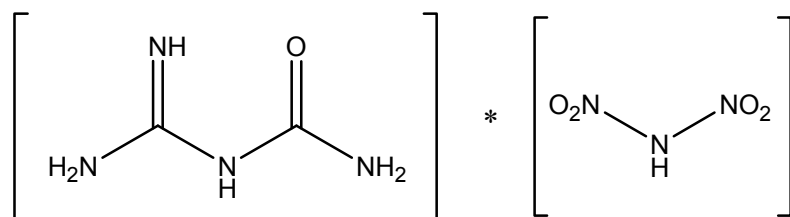
Figur 4: Struktur LLM-105

LLM-105 (figur 4) är en kväve heterocykel med hög densitet och hygglig syrebalans. Prestanda beräknas vara 80% av HMX. Framställdes första gången vid LLNL 1993 i 4 steg från dikloropiperazin, man har dock ej lyckats framställa större mängder av substansen. Om man lyckas lösa framställningsproblemen tyder prestanda och känslighet på att molekylerna kan vara av intresse.

**1,1-Diamino-2,2-dinitroetylen (FOX-7)**

Figur 5: Struktur FOX-7

FOX-7 (figur 5) är ett lågkänsligt explosivämne med en prestanda nästan motsvarande de för RDX. De tester som utförts tyder på att ämnet är lågkänsligt, stabilt och kompatibelt vilket gör ämnet väldigt lämpat som explosivämne i IM-tillämpningar. FOX-7 framställdes vid FOA för första gången 1998<sup>[26]</sup>. Sverige har patent på själva föreningen, något som naturligtvis gynnar både Sveriges försvar och den industri som licensierar patentet (NEXPLO Bofors AB). I samarbete med svensk industri har FOX-7 syntesen modifierats och skalats upp så att FOX-7 nu tillverkas i pilot skala av NEXPLO Bofors AB både åt Svenska och internationella kunder. De studier som gjorts på ämnet finns samlade i en nyutgiven rapport<sup>[27]</sup>.

**N-Guanylurea Dinitramide (FOX-12)**

Figur 6: Struktur FOX-12

FOX-12 (figur 6)<sup>[28]</sup> är ett dinitramid salt precis som ADN. I motsats till ADN är det inte hygroskopiskt, dessutom är ämnet mycket lågkänsligt. FOX-12s energetiska egenskaper är väl lämpade för krutapplikationer och p.g.a sin låga känslighet kan det även användas som IM sprängämne. Att FOX-12 fungerar väl i krutapplikationer visas av att det är i produktion som krockkudde ingrediens. FOX-12 är utvecklat vid FOI, substansen har sedan skalats upp och vidareutvecklats i samarbete med NEXPLO Bofors AB. Då produkten även har civila avnämare har framställningskostnaden sänkts till en rimlig nivå.

## Sammanfattning

När det gäller att välja explosivämne för en energetisk applikation finns det tre huvud kriterier

1. Är ämnet tillräckligt energetiskt
2. Är det tillräckligt säkert att hantera (I IM-fallet kommer man med detta ämne kunna få önskvärda IM-egenskaper.)
3. Kan det formuleras till en komposition som kan hanteras med vanliga processredskap.

I vissa fall, framförallt då det gäller bulkexplosivämnen, bör man eventuellt väga in priset i urvalskriteriet.

De föreningar som används idag (TATB, NTO) får anses vara de explosivämnen som måste överträffas för att intresse för vidare utveckling skall kunna rättfärdigas<sup>[24]</sup>.

Om man jämför prestanda för våra kandidatmolekyler (tabell 3, metall-accelerationsförmåga kolumn 3), kan man se att den beräknade prestandan ligger mellan 60-85% av HMX. I en prestanda jämförelse ser man att den utfaller till FOX-7s fördel. Den enda föreningen som har prestanda som är i närheten av de för FOX-7 är LLM-105, denna har dock visat sig svår att framställa och inga större kvantiteter finns tillgängliga<sup>[24]</sup> (tabell 3).

Tabell 3 Teoretiska prestanda baserade på termokemiska beräkningar<sup>[29]</sup>. Alla beräkningar är gjorda med BKWC som tillståndsekvation och därför jämförbara.

Explosivämnen	D (km/s)	P <sub>CJ</sub> (GPa)	E (kJ/cm <sup>3</sup> ) V/V <sub>0</sub> =2.2
HMX (ref) <sup>[24]</sup>	9.3	39.3	-7.57
TATB <sup>[24]</sup>	8.1 (87%)	31.0 (79%)	-5.45 (72%)
NTO <sup>[24]</sup>	8.56 (92%)	31.1 (79%)	-5.4 (71%)
TEX <sup>[24]</sup>	8.16 (88%)	31.4 (80%)	-5.59 (74%)
LLM-105 <sup>[24]</sup>	8.56 (92%)	33.4 (85%)	-6.07 (80%)
FOX-7	8.87 (95%)	34.0 (86%)	-6.32 (83%)
FOX-12	8.2 (88%)	25.5 (65%)	-4.69 (62%)

När det gäller känslighet är det svårt att jämföra data från olika laboratorier. Känsligheten är också väldigt beroende av partikelstorlek och form. Som en första indikation för hanteringspåkänningar kan dock fallhammarprov användas (tabell 4). När det gäller termisk stabilitet kan man jämföra den temperatur föreningen sönderfaller exotermiskt i en DSC (tabell 4). TATB och FOX-12 framstår som de

explosivämnen som är minst slagkänsliga emedan TATB och LLM-105 är mest termiskt stabila.

Tabell 4. Fallhammarprov och termisk stabilitet. Resultat för TATB, NTO, TEX och LLM-105<sup>[24]</sup>; Resultat för FOX-7 och FOX-12 FOI (Obs, resultat framtagna med olika fallhammare).

Explosivämne	Slagkänslighet H <sub>50</sub> (cm)	DSC exoterm
TATB	>177 (RDX = 32)	350
NTO	92 (RDX = 17-20)	
TEX	42.5 (HMX = 9-12)	260
LLM-105	70-80 (RDX = 32)	342
FOX-7	126 (RDX = 38)	215
FOX-12	>159 (RDX = 38)	215 (sönderfall)

När det gäller processerbarhet vet man att TATB är väldigt svårarbetat och att NTO lider av kompatibilitets och möjliga åldringsproblem. FOX-7 går att framställa i önskade partikelstorlekar och har inga kompatibilitetsproblem. FOX-12 har vi ej arbetat lika mycket med men eftersom det ingår som huvudingrediens i krockkuddar tyder detta på att ämnet går att bearbeta väl.

## IM-sprängämnen

Sprängämnen brukar ofta uppdelas efter vilken metod som använts vid tillverkningen. Det två vanligaste typerna är gjutna och pressade sprängämnen. De förra kan vara gjutna med TNT som ”bindemedel” men kan också vara kompositsprängämnen. De senare kallas även PBXer (Plastic Bonded Explosives) och tillverkas genom att man dispergerar ett fast explosivämne i ett flytande bindemedel som därefter får härda till ett fast gummimaterial. Ofta gjuts PBXer direkt i den hylsa eller förpackning som den ska användas i eftersom bindemedlet också binder till väggarna i hylsan. Pressade sprängämnen tillverkas genom att man belägger explosivämnespartiklarna (det energetiska fyllmedlet) med ett bindemedel, ofta en termoplast eller en termoplastisk elastomer. Plasten fungerar som skydd men också som ”lim” när partiklarna sedan pressas i en pressform till önskad laddning.

### Pressade sprängämnen

Pressade sprängämnen innehåller ofta 90-95% energetiskt fyllmedel och bara 5-10% av bindemedel. Bindemedlet spelar dock en mycket viktig roll för sprängämnets densitet, mekaniska egenskaper och känslighet. Pressade sprängämnen är generellt mer känsliga för stötvågsinitiering än gjutna PBXer. Det beror dels på att halten energetiskt fyllmedel är högre i pressade och dels på att pressade sprängämnen ofta innehåller fler mikrokaviteter som i sin tur kan leda till ”hot-spots” då laddningen utsätts för stötvåg. Mikrokaviteterna kan dock undvikas genom att välja ett lämpligt bindemedel eller använda sig av bi- eller trimodala partikelstorleksfraktioner där man ökar halten av den fina fraktionen (som är mindre känslig genom att det är mindre andel defekter i en liten partikel). Detta leder också till en ökad densitet hos den pressade laddningen. Optimering av bindemedel och partikelfördelning leder inte bara till minskad känslighet utan naturligtvis även till ökad prestanda<sup>[30]</sup>.

Huvuddelen av de pressade sprängämnen består av nitramin (RDX eller HMX) och i vissa av dem har man ersatt en del nitramin med NTO (Tabell 5). Detta gör sprängämnet okänsligare men samtidigt sjunker prestandan. De flesta pressade sprängämnen innehåller termoplastiska elastomerer (TPEer). Dessa har en rad fördelar jämfört med kemiskt tvärbundna polymerer (t.ex. HTPB) och termoplaster eftersom de kan bearbetas genom uppvärmning/smältning men samtidigt vara elastiska vid användningstemperaturen. De kan också återvinnas, vilket inte är möjligt med kemiskt tvärbundna bindemedel. Elastomerer ger laddningen bättre mekaniska egenskaper som gör att de klarar mekaniska påfrestningar bättre eftersom energin fördelas i bindemedlet.

Tabell 5 Känslighet hos pressade sprängämnen<sup>[25,30,31]</sup>

Benämning	Sammanställning	SCO	FCO	BI	FI
<i>Oktol 85/15</i>	<i>HMX/TNT</i>	<i>Det.</i>	<i>Brand/ Part. Det.</i>	<i>Defl.</i>	<i>Defl./Det.</i>
<i>LX-14</i>	<i>HMX/Estane</i>	<i>Det.</i>	<i>Brand</i>	<i>Defl.</i>	<i>Defl.</i>
GD-8	HMX/Cariflex	Brand	Defl.	Expl.	Det.
PBXN-9	HMX/HyTemp/DOA	Brand	Brand	Brand	Part. Det.
GD-12	HMX/NTO/Cariflex	Brand	Brand	Brand	Ingen reaktion
GD-13	HMX/NTO/HyTemp/DOA	Brand	Brand	Ingen reaktion	Part. Det.
GD-14	HMX/NTO/Estane	Defl.	Brand	Defl.	Defl.
Rowanex 3000	HMX/SEBS		Defl.		

Cariflex okänt bindemedel (TPE)

DOA dioktyladipat, inert mjukgörare

Estane polyester/polyeter-baserad polyuretanelastomer (TPE)

HyTemp polyakrylatelastomer (TPE)

SEBS styren-eten/buten-styren (SEBS) blocksampolymer (TPE)

NTO är ett explosivämne som är lågkänsligt i sig själv (se även kapitel lågkänsliga explosivämnen) och har acceptabel prestanda (detonationshastighet ca 8500 m/s) men det har aldrig rapporterats som ensam explosivämneskomponent i ett pressat sprängämne. Det finns däremot ett antal andra lågkänsliga explosivämnen som har använts utan nitramintillsats i pressade sprängämnen och dessa är HNS, TATB och TEX (tabell 6).

Tabell 6 Känslighet hos pressade sprängämnen<sup>[25]</sup>.

Benämning	Sammanställning	SCO	FCO	BI	FI
<i>Oktol 85/15</i>	<i>HMX/TNT</i>	<i>Det.</i>	<i>Brand Part. Det.</i>	<i>Defl.</i>	<i>Defl./Det.</i>
<i>LX-14</i>	<i>HMX/Estane</i>	<i>Det.</i>	<i>Brand</i>	<i>Defl.</i>	<i>Defl.</i>
LX-15	HNS I/Kel-F 800	<i>Inga data tillgängliga</i>			
PBX-9502	TATB/Kel-F 800	<i>Klarar alla EIDS test (HD 1.6)</i>			
DLE-P031	TEX/Energ. bindem.	<i>Part. Det. VCCT*</i>			

Kel-F 800      sampolymer of klor-fluoretylen och vinylidenfluorid

VCCT    Variable Confinement Cook-off Test (6°F/h)

### TNT-baserade sprängämnen<sup>[25,31]</sup>

Det finns en mängd olika TNT-baserade sprängämnen och de flesta är baserade på en blandning av nitramin och TNT. Exempel på sådana är hexotol (RDX/TNT), hexotonal (RDX/TNT/Al), oktol (HMX/TNT). De är ganska känsliga för initiering genom värme, slag och stötvåg och man försöker att hitta ersättningar till dessa. Det har utvecklats TNT-baserade sprängämnen där nitraminen har bytts ut mot NTO och dessa kallas TNTO. USAF utvecklade bl.a. AFX-644 som består av 40% NTO, 30% TNT, 20% Al och 10% vax. Denna formulering fick senare problem genom att det vax man använde smälte vid för låg temperatur och då utvecklade man AFX-645 (48% NTO, 32% TNT, 8% vax, 12% Al). AFX-644 har klarat hela UNs HD 1.6 testbatteri emedan AFX-645 visserligen klarade HD 1.6 testen men blev bara klassificerad som HD 1.2. Jämförelsevis kan sägas att t.ex. hexotol (60% RDX, 40% TNT) varken klarar SCO, FCO, BI eller FI. Andra TNTO-formuleringar med tillsats av HMX har utvecklats i ett samarbete mellan Norge och Schweiz (GD-serien). Ytterligare en variant utvecklades i Sydafrika men med RDX istället för HMX. Denna formulering visade sig dock ha lägre prestanda än motsvarande RDX/TNT-formulering.

### Kompositsprängämnen (PBXer)

Kompositsprängämnen innehåller ofta en lägre halt av energetiskt fyllmedel (max ca 80-90%) och har därför lägre prestanda än pressade sprängämnen. Prestandaminskningen kan kompenseras till viss del genom att använda energetiska bindemedel. Denna typ av bindemedel är dock än så länge rätt ovanlig i de sprängämnen som används idag. Det har rapporterats om ett fåtal sprängämnen med energetiska bindemedel och flera av dessa har visat sig vara ganska goda IM-kandidater (Tabell 7). Tabellen är indelad i två delar eftersom sprängämnena har väsentligt skild prestanda och jämförs med sina ”icke-IM-motsvarigheter”.

Tabell 7 Känslighet hos kompositsprängämnen med energetiskt bindemedel<sup>[25,31]</sup>.

Beteckning	Sammansättning	SCO	FCO	BI	FI
<i>Oktol</i> 85/15	<i>HMX/TNT</i>	<i>Det.</i>	<i>Brand</i> <i>Part. Det.</i>	<i>Defl.</i>	<i>Defl./Det.</i>
<i>LX-14</i>	<i>HMX/Estane</i>	<i>Det.</i>	<i>Brand</i>	<i>Defl.</i>	<i>Defl.</i>
B-3014	HMX/G2	Brand	Höljet spricker	Höljet spricker	
PBXC-126	HMX/GAP/TEGDN el. TMETN	Brand	Brand		
<i>Hexotol</i>	<i>RDX/TNT</i>	<i>Det.</i>	<i>Det.</i>	<i>Det.</i>	<i>Defl./Expl.</i>
B-3017	NTO/G2	<i>Har klarat kriterierna för godkännande</i>			
B-3021	HMX/NTO/Energ. bindem	Brand	Brand/Defl	Höljet spricker	Brand/Defl. (HFI)
B-3108	HMX/Al/Energ. bindem	Brand/Defl	Brand/Defl	Brand/Defl	Expl./Det. (HFI)
CPX-413	HMX/NTO/PolyNIMMO /K10	Höljet spricker		Brand	

De flesta kompositsprängämnen innehåller dock icke-energetiska bindemedel såsom HTPB. HTPB är ett utmärkt bindemedel med mycket goda mekaniska egenskaper, även vid låga temperaturer såsom -60 till -70°C. De flesta av dessa sprängämnen innehåller RDX, HMX, NTO och AP/Al (AP i kombination med Al ingår i en del sprängämnen avsedda för undervattenstillämpningar) (tabell 8). Ett fåtal innehåller även NQ (tabell 9).

Tabell 8 Känslighet hos kompositsprängämnen med AP/Al<sup>[25]</sup>.

Beteckning	Sammansättning	SCO	FCO	BI	FI
<i>TNT</i>	<i>TNT</i>	<i>Expl/Det</i>	<i>Defl.</i>	<i>Defl.</i>	<i>Defl/Expl</i>
Rowanex-1301	RDX/AP/Al/HTPB		Höljet spricker		Defl.
B-2237 A	HMX/AP/Al/bindem	Brand/Defl	Brand/Defl		Defl/Expl (HFI)
PBXN-111	RDX/AP/Al/HTPB	Brand		Ingen reaktion	Brand
B-2211	RDX/AP/Al/HTPB	Höljet spricker	Höljet spricker	Brand/Defl	Brand/Defl
B-2211 D	i-RDX/AP/Al/bindem	Brand/Defl	Defl.	Brand/Defl	Expl. (HFI)

Tabell 9 Känslighet hos kompositsprängämnen med NQ<sup>[25]</sup>.

Beteckning	Sammansättning	SCO	FCO	BI	FI
CPX-305	RDX/NQ/Al/HTPB	Brand		Brand	
HX-76	RDX/NQ/HTPB			Brand	
HX-310	HMX/NTO/NQ/HTPB	Höljet spricker		Brand Spricker	

SNPE har utvecklat ett antal kompositsprängämnen som innehåller s.k. i-RDX. Två av dem är mycket goda IM-kandidater (se Tabell 10). B-2211 D är tänkt till en undervattentillämpning (inköpt av Sverige för torped 62) och HBU-88 A är ett metallaccelererande sprängämne (till RSV eller splitterstridsdel). Jämför man känsligheten hos HBU-88 A med ett liknande sprängämne som innehåller ”vanlig” RDX (B-2238) så är de likvärdiga i SCO, FCO och BI (Tabell 10). Tabellen är indelad i två delar eftersom sprängämnena har väsentligt skild prestanda och jämförs med sina ”icke-IM-motsvarigheter”.

Tabell 10 Känslighet hos kompositsprängämnen med i-RDX<sup>[25]</sup>.

Beteckning	Sammansättning	SCO	FCO	BI	FI
<i>TNT</i>	<i>TNT</i>	<i>Expl./Defl.</i>	<i>Defl.</i>	<i>Defl.</i>	<i>Defl./Expl.</i>
<i>B-2211</i>	<i>RDX/AP/Al/HTPB</i>	<i>Höljet spricker</i>	<i>Höljet spricker</i>	<i>Brand/Defl.</i>	<i>Brand/Defl.</i>
<i>B-2211 D</i>	<i>i-RDX/AP/Al/bindem</i>	<i>Brand/Defl.</i>	<i>Defl.</i>	<i>Brand/Defl.</i>	<i>Expl. (HFI)</i>
<i>Hexotol</i>	<i>RDX/TNT</i>	<i>Det.</i>	<i>Det.</i>	<i>Det.</i>	<i>Defl./Expl.</i>
<i>B-2238</i>	<i>RDX/HTPB</i>	<i>Brand/Defl.</i>	<i>Höljet spricker</i>	<i>Brand</i>	
<i>HBU-88 A</i>	<i>i-RDX/bindem</i>	<i>Icke våldsamt r.</i>	<i>Brand/Defl.</i>	<i>Brand/Det.</i>	<i>Brand/Defl. (HFI)</i>

Ett flertal kompositsprängämnen har utvecklats som en ersättning till hexotol (tabell 11). Flera av dessa innehåller fortfarande nitramin, men istället för RDX använder man en blandning av HMX (från ca 10-50%) och NTO. Detta har visat sig förbättra känsligheten avsevärt jämfört med föregångaren. B-2248 klarade alla EIDS-test (UN Test Series 7, 1.6 HD) men ORA-86B gjorde det inte<sup>[32]</sup>.

Tabell 11 Känslighet hos kompositsprängämnen med NTO<sup>[25,31]</sup>.

Beteckning	Sammansättning	SCO	FCO	BI	FI
<i>Hexotol</i>	<i>RDX/TNT</i>	<i>Det.</i>	<i>Det.</i>	<i>Det.</i>	<i>Defl./Expl.</i>
<i>ORA-86B</i>	<i>HMX/PUR</i>	<i>Brand/Defl.</i>	<i>Brand/Defl.</i>	<i>Defl.</i>	<i>Defl./Det. (HFI)</i>
<i>B-2214</i>	<i>HMX/NTO/HTPB</i>	<i>Brand/Defl.</i>	<i>Brand</i>	<i>Brand</i>	<i>Brand/Defl. (HFI)</i>
<i>HX-310</i>	<i>HMX/NTO/NQ/HTPB</i>	<i>Höljet spricker</i>		<i>Brand Spricker</i>	
<i>B-2248</i>	<i>HMX/NTO/HTPB</i>	<i>Brand</i>	<i>Brand/Defl.</i>	<i>Brand</i>	<i>Defl./Det. (HFI)</i>
<i>B-3021</i>	<i>HMX/NTO/Energ.binder</i>	<i>Brand</i>	<i>Brand/Defl.</i>	<i>Höljet spricker</i>	<i>Brand/Defl. (HFI)</i>
<i>CPX-413</i>	<i>HMX/NTO/PolyNIMMO /K10</i>	<i>Höljet spricker</i>		<i>Brand</i>	
<i>GD-3</i>	<i>HMX/NTO/HTPB</i>				

När det gäller kompositsprängämnen baserade på lågkänsliga explosivämnen (se även kapitel om lågkänsliga explosivämnen) så finns det inte mycket rapporterat. SNPE har utvecklat ett NTO-baserat sprängämne (B-3017) som anses lovande (se Tabell 7.)<sup>[25]</sup>.



## Sammanfattning - sprängämnen

De flesta sprängämnen som används idag består till stor del av RDX och HMX. Genom att främst sänka halten av dessa ganska känsliga ämnen i sprängämnen har man förbättrat känsligheten och flera har blivit IM-klassificerade. I ett längre perspektiv anser dock de flesta att det vore bättre att hitta mer kraftfulla lågkänsliga explosivämnen som uppfyller dagens prestandakrav. Därför pågår det en hel del forskning på området. De lågkänsliga explosivämnen som förekommer i applikationer idag är TATB och NTO.

## IM-kanonkrut

Det finns en mängd olika kanonkrut som har blivit anpassade eller designade för IM. Två olika huvudtyper kommer att behandlas nedan, kanonkrut baserade på nitrocellulosa (NC) och kompositkrut. Det finns också flytande och gelade kanonkrut men dessa kommer inte att behandlas här.

### NC-baserade kanonkrut

Konventionella kanonkrut är till stor del baserade på nitrocellulosa (NC). Beroende på antalet energetiska komponenter i dessa kallas de enkelbas- (bara NC), dubbelbas- (NC + nitroglycerin (NG)), trippelbas- (NC + NG + nitroguanidin (NQ)) eller kvadrupelbas (NC, NG, NQ + RDX eller HMX).

Det kan tyckas tveksamt att NC-baserade krut kan klara IM-krav, men flera av dem har visat sig vara mycket okänsliga för initiering genom stötvåg och värme. Nitrochemie har utvecklat en ny typ av enkelbaskrut (kallas EI-krut) som har en förbättrad termisk stabilitet (cook-off) jämfört med vanliga enkelbaskrut<sup>[33]</sup>. Fortfarande anses dock NC-baserade kanonkrut vara generellt känsliga för initiering genom värme.

### Kompositkanonkrut

En annan typ av kanonkrut utvecklades ursprungligen eftersom man ville ha högre prestanda (impetus), minskat slitage på eldröret (främst genom att sänka flamtemperaturen) samt minskad känslighet. Denna typ kallas kompositkanonkrut eller vanligare LOVA-krut (LOW Vulnerability Ammunition). Dessa kanonkrut har inte nitrocellulosa som huvudingrediens utan de består av inerta eller energetiska bindemedel och ett energetiskt fyllmedel som oftast utgörs av RDX eller HMX. Ibland förekommer mindre mängder av NC för att öka brinnhastigheten.

Den första generationens kompositkanonkrut bestod av RDX i en tvärbunden polymermatris, vanligen polybutadien (HTPB), och en inert mjukgörare, t.ex. dioktylsebakat (DOS) eller dioktyladipat (DOA). Syftet med polymermatrisen var att denna skulle skydda RDX från termisk belastning genom att den sönderfaller vid en lägre temperatur än vad RDX gör. Denna typ av kanonkrut har visat sig fungera väldigt bra ut IM-synpunkt. Krutet klarar tester såsom BI, FI, SCO och FCO men det är svårinitierat, vilket är ett vanligt problem bland nitraminkrut<sup>[33]</sup>. NAWC Indian Head har IM-testat och jämfört två olika patroner (Mk 67 och Ex-167) till en 5"/54 kalibers kanon varav den förra innehåller ett enkelbaskrut och den senare ett LOVA-krut som kallas Ex-99<sup>[34]</sup>. Ex-99 består av finmald RDX och ett bindemedel som

troligen består av HTPB. Utfallet från IM-testningen för de båda patronerna var relativt lika och med tanke på att mynningsenergin hos Ex-167 är nästan dubbelt så hög som Mk-67 är detta ändå ett bra resultat även om ingen av dem uppfyller IM-kraven. En svensk 40 och 57 mm-kanonammunition som innehåller ett kompositkanonkrut som bl.a. används till stridsfordon 90 finns omnämnt i Peugeots rapport<sup>[33]</sup>. Båda dessa uppvisar mycket goda IM-egenskaper. De reagerar genom brand i SCO, FCO, BI och FI. I SR sker dock partiell detonation.

I den andra generationens kompositkanonkrut har man bytt ut HTPB mot cellulosaederivat, såsom cellulosaacetat (CA), cellulosaacetatbutyrat (CAB), cellulosaacetatpropionat (CAP) och etylcellulosa (EC)<sup>[35]</sup>. Cellulosaederivat har i allmänhet dåliga mekaniska egenskaper (speciellt vid låga temperaturer) eftersom deras glasomvandlingspunkt ligger vid ca 100°C och töjningen hos bindemedlet är ca 30-50% jämfört med HTPB som har en glasomvandlingspunkt vid -80°C och en töjning som är ca 10 gånger större än hos t.ex. CAB. Denna typ av LOVA-krut är idag den vanligaste. Ett LOVA-kanonkrut som studerats av flera forskargrupper är XM39. Det består av 75% RDX, 12% CAB, 8% ATEC (acetyl trietyl citrat), 4% NC, etylcentralit och grafit<sup>[25]</sup>. DSTO i Australien har IM-testat detta kanonkrut i RAN 5" granater (i förpackningen) till en 5"/54 kalibers kanon<sup>[36]</sup>. Denna granat klarade FCO, SCO och BI utmärkt men vid FI erhöles en mer våldsamt reaktion (NATO typ II - partiell detonation) än vad som erhöles för det jämförande testet på ett enkelbaskrut (ca 91% NC) kanonkrut. Det sistnämnda reagerade dock generellt sämre i övriga test.

I den tredje generationens kompositkanonkrut har man bytt ut det tvärbundna polymersystemet eller cellulosaederivatet mot en termoplastisk elastomer (TPE). TPEer har en rad fördelar jämfört med kemiskt tvärbundna polymerer (t.ex. HTPB) och termoplast (t.ex. cellulosaederivat) eftersom de kan bearbetas genom uppvärmning/smältning men samtidigt vara elastiska vid användningstemperaturen. De kan också återvinnas, vilket inte ett kemiskt tvärbundet bindemedel kan göras. De har också en obegränsad pot-life (den tid man har på sig att bearbeta krutet innan det är kemiskt tvärbundet). Man behöver inte använda lösningsmedel vid bearbetning, vilket är en stor miljömässig fördel som NC-krut inte har. En ytterligare fördel är att det finns tillgång till energetiska TPEer och dessa ger högre prestanda. Genom att de är elastomerer har de bättre mekaniska egenskaper och de kan då klara slag bättre. Det finns rapporterat om kompositkanonkrut baserade på en mängd olika inerta TPEer. RDX är det vanligast använda fyllmedlet, men även HMX förekommer. TPEer som förekommer är sampolymerer mellan butadien/akrylonitril, styrenbaserade sampolymerer med butadien/isopren/etylen/propylen, polyuretansampolymerer samt sampolymerer mellan polyetrar och polyestrar. Det finns inte mycket rapporterat om deras IM-egenskaper utan de flesta test som gjorts är små- och mellanskaliga känslighetstest.

I den fjärde generationens kompositkanonkrut har man bytt ut det inerta bindemedlet mot ett energetiskt. Det kan vara ett tvärbundet polymersystem eller en termoplastisk elastomer (TPE). Det finns rapporterat om flera olika sådana kanonkrut men det mesta tyder på att de fortfarande är på utvecklingsstadiet eftersom inga resultat från IM-testning är publicerade (tabell 12)<sup>[25]</sup>.

Tabell 12 Kompositkanonkrut baserade på energetiska bindemedel<sup>[25]</sup>.

Benämning	Energetiskt fyllmedel	Energetisk polymer	Övrigt
GAP-bounded	RDX 79-87%	GAP 13-14%	NQ 0-8% TAGN* 0-8%
TMS	HMX 37-50%	GAP 15-25%	H498* 10-15% TAGN 23-30%
GP3	HMX 73%	energetisk	BDNPAF*
RDX/Polyoxetan 2, 4, 5	RDX 78%	ETPE-2, 4, 5 22%	
RDX/Polyoxetan 75%	RDX 75%	AMMO/BAMO 25%	

AMMO/BAMO sampolymer mellan 3-azidometyl-3-metyloxetan och 3,3-bis(azidometyl)oxetan  
 BDNPA/F bis (2,2-dinitropropyl)-acetal & bis (2,2-dinitropropyl)-formal (mjukgörare)  
 ETPE energetisk TPE  
 GAP poly(glycidylazid)  
 H498 borhydridbränsle  
 NQ nitroguanidin  
 TAGN triaminoguanidinnitrat

### Sammanfattning - kanonkrut

Generellt är kompositkanonkrut mindre känsliga för initiering genom värme, stötvåg och slag men även vissa NC-baserade kanonkrut klarar IM-testerna. RDX är det vanligast förekommande fyllmedlet i kompositkanonkruten medan bindemedlet i allmänhet är en termoplast eller en termoplastisk elastomer. RDX-baserade kanonkrut klarar de flesta IM-test men de har i allmänhet svårt att konkurrera med NC-krut när det gäller prestanda. Nya kompositkanonkrut baserade på energetiska bindemedel (med bättre prestanda) finns beskrivna i litteraturen, men det mesta tyder på att dessa fortfarande är på utvecklingsstadiet eftersom inga resultat från IM-testning finns publicerade.

### IM-raketkrut

Det finns en mängd olika sätt att åstadkomma ett mindre känsligt raketkrut<sup>[37]</sup>:

1) Ändra krutets mekaniska egenskaper - Krut med god elasticitet eller töjning (speciellt vid låga temperaturer) klarar stötvåg och slag bättre än de med sämre elasticitet genom att de kan absorbera mer energi i bindemedelsmatrisen. Det är viktigt att krutets glasomvandlingspunkt är låg eftersom det annars kan uppstå sprickor och hålrum som medför en enorm brinnyta. Detta kan leda till en våldsam reaktion vid tändning.

2) Använda mer energetiska krutkomponenter - Genom att minska halten energetiskt fyllmedel förbättras de mekaniska egenskaperna hos krutet och det leder i sin tur till minskad risk för ofrivillig detonation. För att inte den totala energin i krutet ska minska använder man sig av mer energetiska komponenter och dessa kan vara nya oxidatorer med högre densitet och energetiska bindemedel (polymerer och mjukgörare). Man kan också tillsätta ämnen med hög densitet för att bibehålla eller öka den densitetspecifika impulsen då halten energetiskt fyllmedel minskar.

3) Optimera partikelform, -storlek och -fördelning hos det energetiska fyllmedlet - Genom att använda sig av partiklar med en fördelning, form och storlek som ger optimal bindemedelsvätning (dvs. att det finns tillräckligt med bindemedel för att täcka hela partikelns yta) och optimal bindning mellan individuella partiklar får man ett mindre känsligt krut eftersom bindemedlet kan ta upp och fördela energin från t.ex. ett slag.

4) Använda mindre känsliga krutkomponenter - Genom att använda mindre mängd eller byta ut känsliga komponenter i krutet, såsom nitraminer, ammoniumperklorat och vissa brinnmodifierare, kan man få ett mindre känsligt krut som klarar IM-kraven.

5) Utveckla raketkrut som självsläcker vid atmosfärstryck.

Det har utvecklats flera olika typer av raketkrut för olika applikationer såsom hög prestanda (generellt AP-krut), raketkrut med minskad rökutveckling (reduced smoke) samt rökfria krut (minimum smoke), som uppfyller kraven på IM. De presenteras nedan. Det finns också flytande och gelade raketkrut som är lågkänsliga men dessa kommer inte att behandlas här.

*Raketkrut med hög prestanda eller hög brinnhastighet (ej rökfria)*

De vanligaste raketkruten avsedda för högprestandatillämpningar innehåller idag höga halter av AP (och ibland nitramin) inbäddat i en elastisk matris av HTPB. HTPB har utmärkta elastiska egenskaper och en låg gjutviskositet vilket gör att det är möjligt att uppnå höga fyllmedelshalter. Dessutom bibehåller HTPB-krut sina mycket goda egenskaper i hela temperaturområdet där taktiska missiler används (Svenska krav sträcker sig från -40 till +60°C). Tyvärr reagerar dessa krut, speciellt de som innehåller nitraminer, mycket våldsamt i SCO test (ofta detonation). Genom att använda sig av en rakethylsa gjord av kompositmaterial kan man få en mindre känslig motor. Eftersom detta alternativ inte alltid är gångbart, har det utvecklats krut baserade på AP, hydroxylterminerad polyeter och nitratestrar (ofta NG) som kallas för NEPE-krut. NEPE-krut beter sig mycket bättre i SCO-test än vad HTPB-kruten gör. En förklaring till detta kan vara att en stor del av energin finns i bindemedlet i form av de energetiska nitratestrarna. Bindemedlet sönderfaller vid en lägre temperatur än vad det energetiska fyllmedlet (AP, nitramin) gör. Detta leder till att krutet tänder innan fyllmedlet har nått sin sönderfallstemperatur och på så sätt får man en mildare reaktion i SCO. En nackdel med NEPE-kruten är dock att de är känsliga för slag och stötvåg och det gör att de inte klarar IM-kraven. Genom att byta ut nitratestrarna mot mindre känsliga och mindre energetiska nitratestrar (ofta TMETN och BTTN) samt att sänka halten nitramin kan man klara IM-kraven<sup>[38,39]</sup>.

Det har rapporterats om ett antal AP-baserade raketkrut med förbättrad känslighet jämfört med AP/Al/HTPB-krut (se Tabell 13). Gemensamt för dessa krut är att man har bytt ut HTPB mot en polyeter och för att bibehålla prestandan tillsätts energetiska mjukgörare.

Tabell 13 Känslighet hos kompositkrut baserade på AP/Al<sup>[25,38,40-42]</sup>

Beteckning	Sammansättning	SCO	FCO	BI	FI
UTP-33000 <sup>a</sup>	AP/Al/HTPB (86.5% AP/Al)	Part. Det.	Brand	Brand/Defl.	Brand/Defl.
CL-HTPB	AP/Al/Nitramin/ HTPB	Expl.			
UTP-32070 <sup>a</sup>	AP/Al/HTPE (84% AP/Al)	Brand	Brand	Brand	Brand
GHE	AP/sek.ox./HTPE	Brand	Brand	Brand	Ingen reaktion
CL-modified NEPE	AP/Al/Nitramin/ HTPE/NE	Brand			
DL-N240	AP/Al/Nitramin/ MPE/NE	Defl.	Brand	Brand	Brand
IMAD-213-AP	AP/AN/Al/HTCE/Bu -NENA/TEGDN	Brand/Defl. VCCT*			
IMAD-213-CL-20	AP/AN/CL-20/Al/ HTCE/Bu-NENA/ TEGDN	Brand VCCT*			
IMAD-213-RDX	AP/AN/RDX/Al/ HTCE/TMETN/TEG DN	Brand VCCT*			
SNPE-Butacene	Ox <sup>b</sup> /Butacene	Brand <sup>c</sup> Part. Det.	Brand <sup>c</sup> Brand/Defl.		

a) motorhylsa av kompositmaterial

b) ej angivet vilken oxidator, men troligen AP och nitramin eftersom det beskrivs som ett "reduced smoke"-krut

c) ej innesluten (SNPE Test nr 85, SCO 3.3°C/h, FCO 10°C/min)

MPE blandad polyeter

HTCE hydroxylterminerad kaprolaktoneter

Sek.ox. okänd sekundär oxidator

VCCT Variable Confinement Cook-off Test (6°F/h)

För raketer med kort brinntid (speciellt för luftvärnstillämpningar) har hög-energetiska, snabbbrinnande kompositkrut utvecklats. SNPE har utvecklat ett krut som består av ultrafin AP samt en prepolymer, Butacene, där en ferrocen-katalysator är ympad som en sidogrupp på HTPB. Butacene-baserade krut har samma höga specifika impuls som konventionella kompositkrut och de kan ha mycket hög brinnhastighet. De brinner vid höga tryck (upp till 50MPa) och har en låg brinnexponent (0.5). De uppvisar milda reaktioner i SCO och FCO om de ej är inneslutna, till skillnad från traditionella AP/HTPB-krut. Vid full inneslutning i stålhylsa är dock reaktionen mer våldsamt<sup>[39]</sup>.

### Raketkrut med minskad rökutveckling (reduced smoke)

Det har också utvecklats raketkrut med minskad rökutveckling (reduced smoke). Även dessa är baserade på AP, eftersom AP har utmärkta brinnegenskaper, men man har ersatt en del av detta med bl.a. nitraminer. En annan anledning till att man fortfarande vill ha en viss mängd AP i krutet är att nitraminer har en relativt låg

brinnhastighet och en hög tryckexponent. En hög tryckexponent är högst olämpligt i raketkrutssammanhang eftersom det kan leda till ett exponentiellt ökande tryck i motorhylsan vilket i sämsta fall kan leda till explosion.

De raketkrut med minskad rökutveckling som är mest undersökta ur IM-synpunkt består av AP och HMX (tabell 14). Åter igen använder man ett bindemedel baserat på polyeter eller polyester, mjukgjord med energetiska mjukgörare (nitratestrar såsom NG, TMETN och BTTN). SNPE visade att man visserligen fick en förbättrad respons i cook-off tester då man ersatte HTPB med det nya bindemedlet men fortfarande kunde kruten (SNPE-1752 och -1758) uppvisa dåliga resultat i SR och BI test. För att förbättra känsligheten sänkte man halten HMX och tillsatte AN (SNPE-C och -D)<sup>[39]</sup>. Alliant Techsystems i USA har också utvecklat ett sådant AP-krut som består av en hydroxylterminerad polyeter (HTPE), en energetisk mjukgörare och en lägre halt AP. Det klarade de fyra IM-testerna då det testades i en 10 in.-demonstrationmotor<sup>[43]</sup>. Andra raketkrut med minskad rökutveckling har studerats i Japan. Olika kompositkrut baserade på BAMO/NIMMO och HMX, AP eller AN/HMX. Brinnhastigheten hos de krut som inte innehöll AP var inte tillfredställande eftersom den var ca tre gånger lägre. Däremot var kruten väldigt okänsliga för FI (endast AP-krutet reagerade genom brand). Endast ett av kruten testades med avseende på BI (14% HMX, 57% AN) och det reagerade genom brand<sup>[42]</sup>.

Tabell 14 Känslighet hos kompositkrut med minskad rökutveckling<sup>[39,42,43]</sup>.

Beteckning	Sammansättning	SCO	FCO	BI	FI
AT-HTPB <sup>a</sup>	AP/HTPB	Expl.	Brand	Defl.	Expl.
AT-HTPE <sup>a</sup>	AP/PEG-PTHF/EnergMj	Brand	Brand	Brand	Självläckt
SNPE-1752	AP/HMX/HTPE HTPES el	Brand <sup>b</sup>		Defl./Det.	
SNPE-1758	AP/HMX/HTPE HTPES el	Brand <sup>b</sup>		Defl./Det.	
SNPE-C	AP/AN/HMX/HTPE el HTPES/NG/BTTN			Ej det.	
SNPE-D	AP/HMX/HTPE el HTPES/TMETN/BTTN			Ej det.	
	AN/HMX/BAMO- NMMO			Ingen reaktion	Brand
	AP/BAMO-NMMO			Brand	

a) motorhylsa av kompositmaterial

b) ej innesluten (SNPE Test nr 85, SCO 3.3°C/h)

BAMO-NMMO sampolymer mellan 3,3-bis(azidometyl)oxetan och 3-nitratometyl-3-metyloxetan

EnergMj okänd energetisk mjukgörare

HTPE hydroxylterminerad polyeter

HTPES hydroxylterminerad polyester

## Rökfria raketkrut

När rökfrihet är ett krav kan man inte använda sig av AP eftersom det genererar sekundär rök i form av saltsyra. Det finns olika sätt att möta detta krav. Alliant Techsystems i USA har därför bytt ut AP mot AN och för att höja energiinnehållet tillsatts det högenergetiska hexanitrohexaazaisowurtsitan (CL-20). Dessa krut har en

acceptabel stötkänslighet men det har inte rapporterats om resultat från IM-testning<sup>[43]</sup>. SNPE har också bytt ut AP mot AN men för att höja energin i krutet tillsätts små mängder av RDX (6%) och polyetern ersätts av GAP som är en energetisk polymer. Genom att använda AN får man en förbättrad respons i SR test men tyvärr också en försämring av mekaniska egenskaper, brinnexponenten ökar och brinnhastigheten minskar. Dessa krut klarar dock MURAT\*\*\*, dvs. de detonerar ej vid beskjutningsprov ( $D_{krit}$  35 mm), det sker ingen övergång från deflagration till detonation samt det förekommer ingen cook-off utan innehållet förbränns<sup>[39]</sup> (tabell 15).

Tabell 15 Känslighet hos rökfria kompositkrut<sup>[42,43]</sup> [39]

Beteckning	Sammansättning	SCO	FCO	BI	FI
SNPE-1766	HMX/HTPE el HTPES			Defl/Det.	
SNPE-A	RDX/HTPE el HTPES/ NG/BTTN	Brand	Brand	Det.	
SNPE-B	RDX/HTPE el HTPES/ TMETN/BTTN			Ej det.	
SNPE-x	AN/RDX/GAP	Brand	Brand	Brand	Brand <sup>a</sup> Defl. <sup>b</sup>
	HMX/BAMO-NMNO			Brand	

a) FI; b) HFI

*NC-baserade (extruderbara) raketkrut.*

NC-baserade krut är billiga och användbara i en rad olika applikationer såsom luftvärnsrobotar, pansarvärnsrobotar och penetrationsbomber. Eftersom de ofta innehåller NG kommer de inte att kunna IM-klassificeras. SNPE har därför modifierat dessa genom att byta ut NG mot nitratestermjukgörare (TMETN och TEGDN) som inte är lika känsliga. SD-1175 har delvis IM-testats och resultaten anses goda<sup>[39]</sup> (tabell 16).

Tabell 16 Känslighet hos NC-baserade raketkrut<sup>[39]</sup>

Beteckning	Sammansättning	SCO	FCO	BI	FI
SD-1175	NC/TMETN	Brand	Brand	Fragmentering	Brand

### Sammanfattning - raketkrut

Raketkrut baserade på ammoniumperklorat är fortfarande de bästa tillgängliga då hög prestanda och goda brinnegenskaper är önskvärda. Tyvärr är det inte alltid användbara eftersom de producerar sekundär rök i form av saltsyra. Man har därför utvecklat dels ”reduced-smoke”- och ”minimum-smoke”-krut där AP är helt eller delvis ersatt av nitraminer (RDX eller HMX) och ammoniumnitrat.

Eftersom det traditionella HTPB-baserade raketkrutet inte kan IM-klassificeras har man i de flesta lågkänsliga varianter av raketkrut ersatt HTPB med en polyester eller en polyeter. För att få tillräcklig prestanda tillsätts energetiska mjukgörare och för en acceptabel respons i BI, FI och SR måste halten nitramin hållas låg.

## Aktuell forskning vid FOI

### Explosivämnen

Det pågår vid FOI en extensiv forskning på framställning av energetiska material, sträckande sig från förbättring av syntesvägar till framställning av helt nya explosivämnen. Denna verksamhet är mycket framgångsrik och har i samarbete med svensk industri lett till utvecklande av flera lovande produkter: 1) världens just nu mest effektiva ADN framställningsmetod<sup>[44]</sup>, 2) framställande och utvecklande av det lågkänsliga explosivämnet FOX-7<sup>[27,45]</sup>, 3) framställande och utvecklande av det lågkänsliga explosivämnet FOX-12<sup>[28]</sup>.

Då mycket av det arbete som utförs ingår i internationella samarbeten är det endast möjligt i denna rapport ge en överblick av de inriktningar arbetet bedrivs mot. Då FOX-7 framstår som ett explosivämne med både låg känslighet och bra prestanda arbetar vi på att utveckla en syntesväg som leder till ett lägre pris för att möjliggöra användandet av det i bulkmängder. I samarbete med Frankrike försöker vi utveckla nya explosivämnen med högre prestanda än FOX-7 men med bibehållen lågkänslighet. I detta program ingår mycket beräkningsarbete för att utvärdera potentiella molekyler. Genom gemensamma insatser hoppas vi uppnå ett genombrott inom denna resurskrävande forskning. För att bibehålla prestandan i gjutna explosivämnen är det viktigt med energetiska mjukgörare istället för inerta. Detta är något som just nu studeras, vi hoppas att detta skall leda till ökad prestanda i framtida energetiska material men att IM-egenskaperna skall kunna bibehållas.

### Sprängämnen

Hexotol har använts i över 50 år i ett stort antal sprängämnesapplikationer. Detta sprängämne är välkänt och har bra prestanda. Det är lättbearbetat och framställs av relativt billiga råvaror. Tyvärr finns det en hel del nackdelar med hexotol. Det krymper vid tillverkning, vilket kan ge upphov till sprickor och hålrum. Det är slagkänsligt och reagerar kraftigt vid cook-off<sup>[46]</sup>. Dessa nackdelar har medfört att det pågår mycket forskning kring lågkänsliga ersättningar till hexotol. 1,1-diamino-2,2-dinitroeten (FOX-7) är en god kandidat när det gäller lågkänslighet. Termokemiska beräkningar har visat att formuleringar, baserade på FOX-7 och energetiska bindemedel, har samma prestanda som hexotol. Beräkningarna visar även att bäst prestanda erhålls om man använder ett energetiskt bindemedel bestående huvudsakligen av polyglycidylnitrat (polyGLYN). FOI har tagit fram en PBX-komposition som består av 70% FOX-7 och 30% av ett energetiskt bindemedel som bl.a. innehåller polyGLYN och butyl-NENA (kallas FOF-2)<sup>[47,48]</sup>. Small-scale slow cook-off och detonationstest har visat att denna komposition är mycket lågkänslig (Figur 7 och 8).







**Figur 7** Resultat av detonerbarhetsprov med 25 mm rör. NaCl (överst), Hexotol (mitten) och FOF-2 (nederst).



**Figur 8** Bomber efter slow cook-off test. Hexotol (överst) reagerade enligt Typ I (Detonation) och FOF-2 (underst) enligt Typ V (Brand).

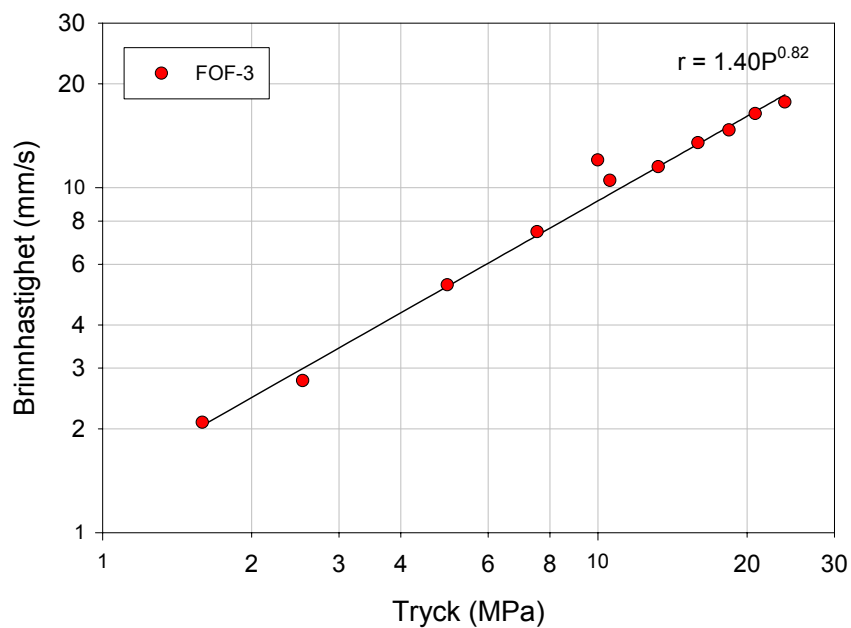
Det visade sig dock att denna komposition hade dåliga mekaniska egenskaper och hög gjutviskositet. Därför utvecklades ett nytt bindemedel bestående av en blandning av poly(GLYN) och GAP. En formulering bestående av 30% av detta bindemedel och 70% FOX-7 tillverkades (FOF-3). Man erhöll nu en PBX med goda mekaniska egenskaper men med för låg prestanda<sup>[49]</sup>. För att höja prestandan tillsattes HMX och detonerbarhetsprov visade att denna förbättrade formulering inte detonerar i ett 25mm-rör (Figur 9). Detta är ett mycket lovande resultat men ytterligare test såsom slow cook-off måste också utföras för att kunna avgöra om en HMX-tillsats påverkar lågkänsligheten. Detta är något som kommer att göras under 2004.

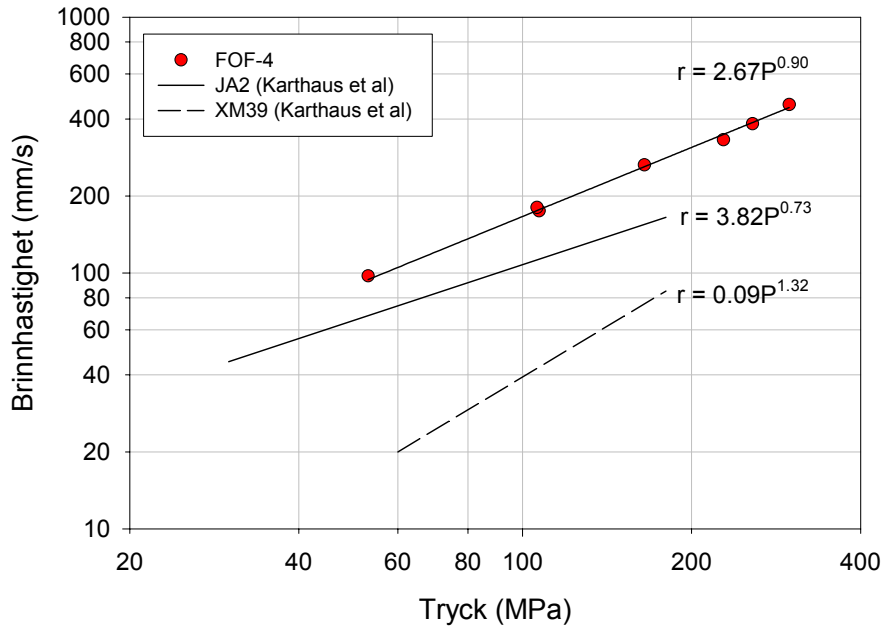


**Figur 9** Resultat från detonerbarhetsprov på FOF-4 med 25 mm rör.

## Kanonkrut

Vid utvecklingen av FOX-7 baserade PBX:er gjordes parallellt en utvärdering om dessa formuleringar hade någon potential som lågkänsliga kanonkrut. Två olika formuleringar har undersökts, FOF-3 (70% FOX-7) och FOF-4 (65% FOX-7, 14% HMX). Det visade sig att dessa hade en brinnhastighet som var väldigt tilltalande. FOF-3 undersöktes vid lägre tryck med hjälp av strängförbränning (Figur 10). Denna metod är egentligen inte lämpad för kanonkrut, utan används företrädesvis till raketkrut. Om man extrapolerar brinnhastigheten till trycket 100 MPa får man en brinnhastighet på ca 60 mm/s<sup>[49]</sup>. Jämför man med dubbelbaskrut, som har en motsvarande brinnhastighet på ca 100 mm/s är detta värde inte så bra, men jämför man med ett av dagens LOVA-krut (XM39; 75% RDX, 12% CAB) så har man ett mycket bra värde. XM39 har en brinnhastighet på ca 40 mm/s vid 100 MPa<sup>[50]</sup>.

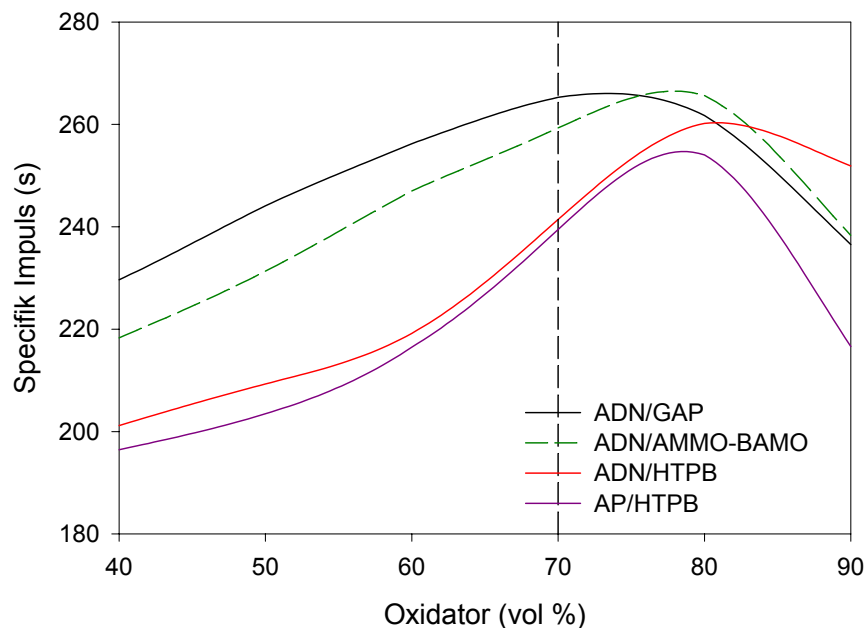




**Figur 10** Brinnhastighet hos FOF-3 (70% FOX-7), FOF-4 (65% FOX-7 och 14% HMX)<sup>[51]</sup> samt litteraturvärden på brinnhastighet hos ett dubbelbaskrut (JA2) och ett LOVA-kрут (XM39)<sup>[50]</sup>. Övre diagram Crawford bomb (strängförbränning), undre diagram EMBLA bomb.

## Övriga formuleringar med minskad känslighet

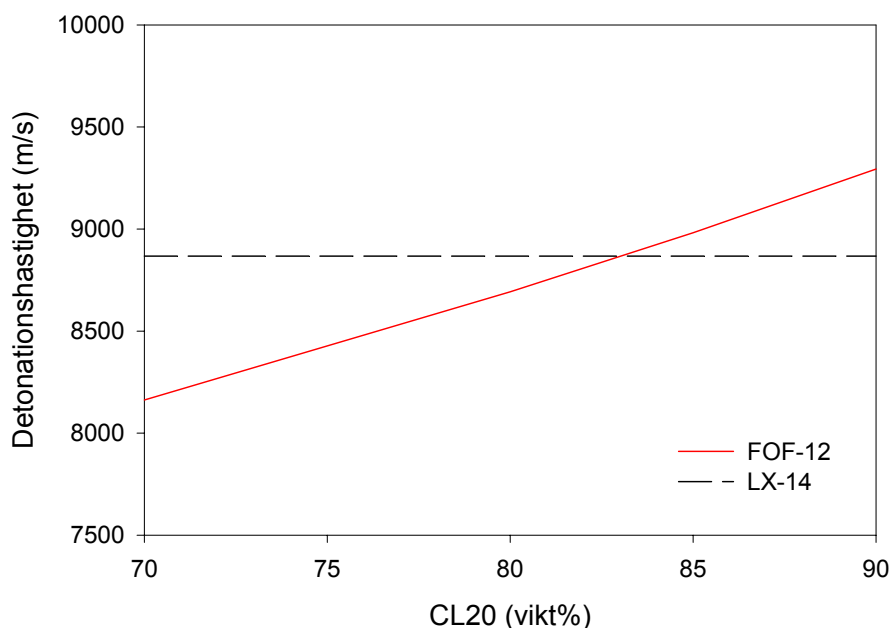
Vid utveckling av rökfria raketkrut är ammoniumdinitramid (ADN) en mycket lovande oxidator. ADN är inte känd för att vara en lågkänslig oxidator men genom att ADN innehåller lite mer energi än AP behöver man inte ha en lika hög halt av ADN och därigenom få ett raketkrut med acceptabel känslighet. Använder man sig dessutom av energetiska bindemedel kan man ytterligare sänka halten ADN och fortfarande få samma prestanda men minskad känslighet. Figur 11 visar hur den specifika impulsen påverkas av att byta ut AP mot ADN samt hur impulsen ytterligare ändras då energetiska bindemedel används.



**Figur 11** Beräknad prestanda hos raketkrut som innehåller AP eller ADN.

FOI har under ett antal år arbetat med att utveckla ett ADN-baserat raketkrut som kan ersätta dagens AP/HTPB-krut då rökfrihet är ett krav. ADN är mycket reaktiv och reagerar gärna med de härdsystem som används idag. Under 2003 har FOI utvecklat ett nytt härdsystem som kan bli ett genombrott i utvecklingen av ADN-baserade raketkrut.

Samma koncept som används inom ADN-krutsutvecklingen används även inom utveckling av CL-20 baserade sprängämnen. Genom att använda sig av energetiska bindemedel kan man sänka halten av CL-20 och på så sätt få en formulering med acceptabel känslighet. FOI har utvecklat ett CL-20 baserat kompositprängämne (FOF-12) som är tänkt som en ersättning till LX-14 (95.5% HMX, 4.5% Estane) eller Oktol (85% HMX, 15% TNT) (figur 12). Småskaliga känslighetstester har visat att FOF-12 har acceptabel känslighet.



**Figur 12** Beräknad prestanda hos ett CL-20 baserat sprängämne (FOF-12) och LX-14.

## Sammanfattning IM formuleringar

På FOI är vårt mål att hitta nya formuleringar som kan ersätta känsliga sprängämnen och kanonkrut. Vi utvecklar även nya kompositioner som ska användas som raketkrut, men där är syftet först och främst att kunna ta fram ett rökfritt krut som kan ersätta dagens ammoniumperklorat-baserade krut. Det är dock inte oväsentligt att detta krut är lågkänsligt och därför testas alla nya kompositioner (oavsett slutlig applikation) enligt samma testbatteri.

Vi har utvecklat ett explosivämne (FOX-7) som är lågkänsligt i sig själv och har god prestanda. Små- och mellanskaliga känslighetstest visar dessutom att det är möjligt att ta fram en lågkänslig komposition baserad på FOX-7 som kan ersätta känsliga sprängämnen såsom hexotol och nitrocellulosa-baserade kanonkrut.

Eftersom FOX-7 inte är ett högprestandaexplosivämne pågår även utveckling av kompositioner som kan ersätta t.ex. oktol och LX-14. Dessa nya kompositioner är baserade på CL-20 och hemligheten till en lägre känslighet ligger i val av bindemedel.

## Tester

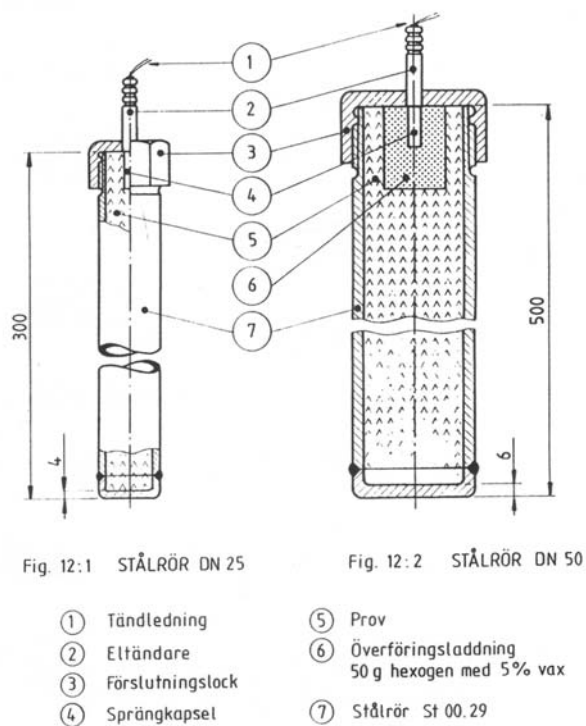
Vid utvärdering av nya explosivämnen och nya formuleringar görs alltid småskaliga känslighetstest, såsom fallhammarprov, rivprov och gnistprov. Dessa utförs enligt UN:s standard<sup>[52]</sup> för att kunna få en uppfattning om ett explosivämnes hanterbarhet och kommer inte att beskrivas närmare här.

För att undersöka ett rent explosivämnes känslighet utförs även test, såsom Koenen test, Wood's metallbad och gap test<sup>[52-54]</sup>. Koenen test undersöker ett ämnes känslighet mot värme när det är helt inneslutet i en metallbehållare. Wood's metallbad mäter ett explosivämnes initieringstemperatur. Gap test ger information om ett ämnes känslighet mot stötvåg. FOX-7 har undersökts med dessa test och det har visat sig vara okänsligare än RDX. Dessa resultat finns utförligt beskrivna i <sup>[55-58]</sup>.

Vid undersökning av en ny formuleringens lågkänslighet finns flera storskaliga tester beskrivna i UN:s standard<sup>[52]</sup>, men eftersom ingredienserna i nya formuleringar är väldigt dyrbara finns behov av mellanskaliga tester. Vi har använt oss av två olika test för att bedöma känsligheten hos en ny formulering: detonerbarhetsprov och small-scale slow cook-off.

### Detonerbarhetsprov

Detonerbarhetsprov ger information om ett explosivämnes eller en formuleringens känslighet för detonationsstötvåg och det utförs enligt SÄIFS<sup>[59]</sup>. Det första testet sker i stålrör med en diameter av 25 mm utrustad med elsprängkapsel. Detonerar inte provet i detta test kan man öka diametern till 50 mm och som störst 100 mm. Vid 50 mm och 100 mm används överföringsladdningar i form av pressad hexogen/vax. Vi har bara utfört det första testet eftersom materialåtgången i de större rören ökar kraftigt. Som referensprov användes koksalt och Hexotol (60% RDX, 40% TNT). Stålrören har en inre diameter på 25 mm (figur 13 och 14).



**Figur 13** Ritning över detonerbarhetsprov; 25 mm (t.v.) och 50 mm (t.h.).

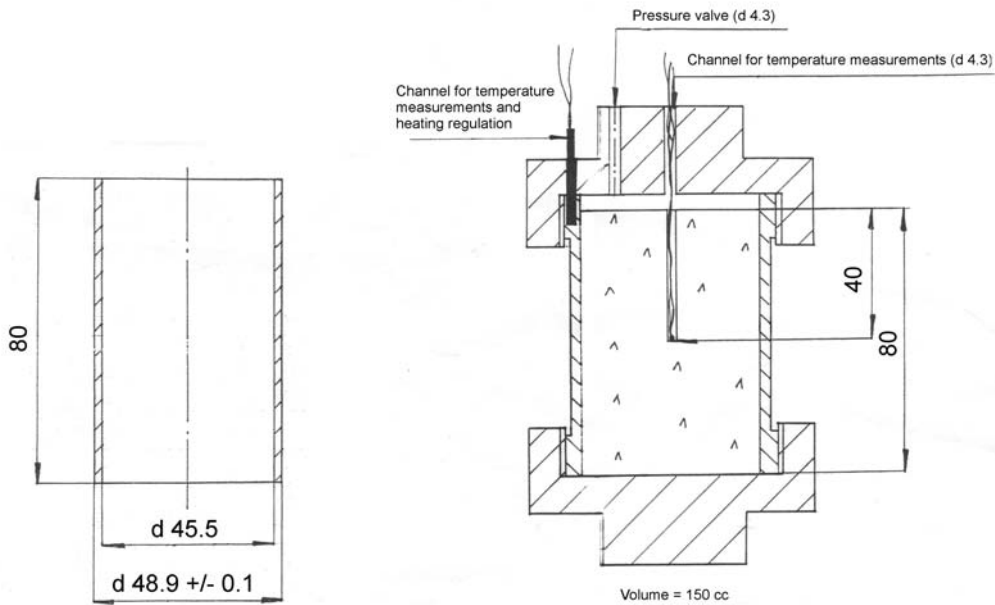


**Figur 14** Försöksuppställning detonerbarhetsprov (diameter = 25 mm).

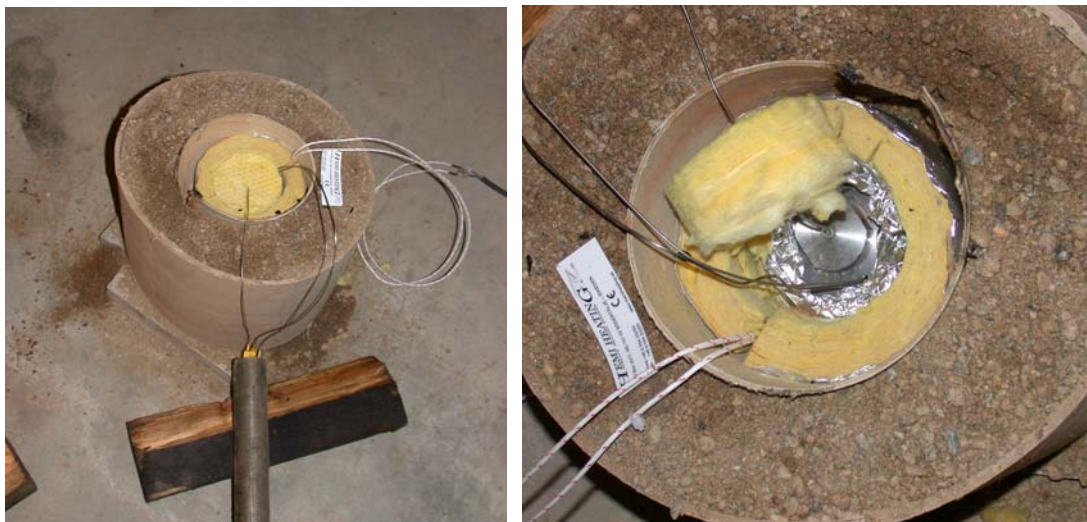
### **Small-scale slow cook-off**

Slow cook-off studeras för att simulera sådana förhållanden då långsam uppvärmning sker. Vi har använt oss av en sluten bomb som är utvecklad av Saab Bofors Dynamics. För att kunna bedöma grad av känslighet hos formuleringen används referensprov i form av Hexotol. Bomben värms upp från 5 till 100°C på fyra timmar och därefter är uppvärmningshastigheten 3.3°C/timme tills en reaktion sker. Resultatet utvärderas sedan enligt STANAG 4382 Ed 1. Försöksuppställningen beskrivs i Figur 15 och 16 samt i referens<sup>[48]</sup>.





**Figur 15** Ritning av bomben som används i small-scale slow cook-off testet. Utvecklad av Saab Bofors Dynamics.



**Figur 16** Försöksupställning av small-scale slow cook-off testet.

### Sammanfattning - tester

Vid utveckling av nya formuleringar är det av största vikt att de ska uppnå önskade prestandakrav men samtidigt ha en acceptabel känslighet. I strävan att hitta lågkänsliga kompositioner som kan klara IM-kraven måste små- och mellanskaliga tester göras redan på ett tidigt stadium i utvecklingsarbetet.

Eftersom nyckeln till en lågkänslig ammunition ofta är explosivämnet i sig undersöker vi det rena ämnet med ett antal tester. Om ämnet klarar kriterierna för en acceptabel känslighet formuleras det till ett krut eller ett sprängämne. Eftersom nya ämnen ofta är dyrbara och dessutom bara finns i begränsad mängd vill man utföra små och mellanskaliga tester innan man går vidare till de mer accepterade lågkänslighetstesterna som finns beskrivna i bl.a. UNs testbatteri och i Svensk försvarsstandard (FSD). Vi har hittills använt oss av två olika mellanskaliga tester för att kunna välja ut lågkänsliga kandidater bland de formuleringar som tas fram. Dessa

är detonerbarhetsprov (enligt SÄIFS) och small-scale slow cook-off enligt en metod som Saab Bofors Dynamics ursprungligen tagit fram. Dessa test och kriterier för godkännande är än så länge baserade på att man har tillgång till en referenssubstans (i fallet med FOX-7 baserade formuleringar var det hexotol). Vidare utveckling av testerna är nödvändig.

## Slutsatser och förslag till framtida inriktning

### Policy

Det är viktigt att Sverige snarast möjligt fattar beslut om en IM-policy så att denna kan implementeras inom försvarsmakten. Då IM, då det gäller det direkta priset på materielen, innebär en merkostnad är det viktigt att policyn är så tvingande som möjligt. Vid nyanskaffningar skall alltid IM lösningar väljas om verkanskravet uppfylls av dessa. Gammal ammunition (det s.k. arvet) skall uppgraderas och IM-anpassas endast om det finns speciella skäl (t.ex. användning vid internationella uppdrag eller på värdefulla plattformar) Om undantag från IM-kraven på nyanskaffningar skall ges är det viktigt att dessa beslut fattas på en tillräckligt hög nivå (jmf USA och Storbritannien).

### Explosivämnen

Vid en jämförelse av olika energetiska molekyler framstår två som speciellt intressanta: TATB och FOX-7. TATB är extremt okänsligt men har dåliga prestanda, dålig processerbarhet och är dessutom dyrt. FOX-7 är inte lika okänsligt som TATB, men mycket tyder på att det är tillräckligt okänsligt för att kunna ingå i en IM-lösning. Dessutom har FOX-7 bra prestanda och ämnet fungerar även väl i olika kompositioner. FOX-12 är väldigt okänsligt men har ganska dåliga prestanda. Det finns dock i civila applikationer (vilket leder till lägre priser) och dess egenskaper lämpar sig väl till olika krut. För närvarande ger därför FOX-7 den bästa balansen mellan prestanda och känslighet. Dock krävs det fortsatt arbete med explosivämnet. Dess egenskaper och känslighet måste studeras ytterligare, en bättre och billigare produktionsmetod måste tas fram samt rätt partikelstorlekar måste finnas tillgängliga. Det finns dock all anledning att fortsätta söka efter explosivämnen med bättre IM-egenskaper och bättre prestanda. I samarbetet med Frankrike T.A.7.1 formulerades målet för projektet av den kände franske raketforskaren Alain Davenas som "Vi vill ha CL-20s prestanda med TATBs känslighet".

### Sprängämnen

Utgångspunkten för ett lågkänsligt sprängämne bör vara lågkänsliga explosivämnen. Om prestandan i de lågkänsliga explosivämnena är otillräcklig kan man tillsätta mindre mängder prestandahöjande ingredienser (t.ex.. HMX el CL-20), dessa bör dock hållas vid ett minimum för att bibehålla IM-egenskaperna. Det bästa sättet att framställa IM-anpassade sprängämnesladdningar är att gjuta dessa och i de fall man ej kan uppnå tillräckligt hög prestanda bör man beakta pressade laddningar. Pressade laddningar har en högre halt av det känslighetsbestämmande explosivämnet, vilket



leder till bättre prestanda men ofta oacceptabel känslighet. För att höja prestanda på gjutna sprängämnen bör man kunna ha högenergetiska sprängämnen i en enegetisk gjutmatris och trots allt behålla en godtagbar känslighet. TNT-baserade smältgjutna sprängämnen har visat sig ha dåliga IM-egenskaper om inte halten lågkänsligt explosivämne är hög. Eftersom problemet med lågkänsliga explosivämnen är bristande prestanda och TNT ej bidrar till att öka denna är TNT egentligen ingenting man vill ha i en IM-formulering.

## **Kanonkrut**

Resonmanget för kanonkrut liknar det för sprängämnen. För att uppnå de önskade IM-egenskaperna hos krutet är det önskvärt att det är ett gjutet kompositkrut. Ingredienserna bör framförallt vara lågkänsliga explosivämnen med god termisk stabilitet. Dagens nitrocellulosabaserade kanonkrut bör så snart som möjligt bytas ut mot kompositkrut eftersom de är termiskt instabila, lagringsproblematiske och svåra att få lågkänsliga.

## **Raketkrut**

För att uppnå IM karaktär på ett raketkrut är det viktigt att sänka halten energetiskt fyllmedel, eftersom detta leder till dålig respons i IM-tester (framförallt SCO). Detta kan man göra genom att använda ett mer högenergetiskt explosivämne (ADN) eller bindemedel (polyetrar eller polyestrar med energetiska mjukgörare). I ett kortare perspektiv då man önskar ha kvar AP baserade krut är det rimligt att arbeta med olika IM-designlösningar för robotmotorn (kompositihylsor).

## **Tester**

De storskaliga testen är väldefinierade i STANG 4439 och har genomförts i Sverige vid kvalificering av ett flertal vapensystem (t.ex. 40 mm ammunition stridsfordon 90, torped 62). Dock är det viktigt att samtidigt arbeta med små och mellanskaliga test för att bygga upp ett statistiskt signifikant underlag för det storskaliga testet, något som NIMIC och flera länder poängterar (Storbritannien, Frankrike). Vid utvecklandet av nya lågkänsliga kompositioner är de ingående komponenterna ofta väldigt dyra. För att kunna utvärdera kompositionernas lågkänslighet på ett tidigt stadium är det fördelaktigt om bra småskaliga testmetoder finns tillgängliga. I framtiden vill vi arbeta mer med småskaliga test och utifrån dessa modellera resultatet av ett storskaligt test. På detta sätt kan utvecklingen av nya lågkänsliga formuleringar ske snabbare och effektivare vilket leder till en lägre utvecklingskostnad.

## **Slutsatser**

- Ingen nyutveckling av nitrocellulosabaserade drivämnen
- Alltid IM-lösningar när verkanskravet så medger
- Selektiv renovering av arvet
- Väsentligt med fortsatt forskning inom alla aspekter av IM-området

## Förkortningar

ALARP: As Low As Reasonably Practicable, lägsta godtagbara olycksfalls-sannolikhet som det är praktiskt möjligt uppnå.

AOP: Allied Ordnance Publication

BI: Bullet Impact

CL: China Lake Explosive

Defl.: Deflagration

Det.: Detonation

EIDS: Extremely Insensitive Detonating Substance, HD1.6 (FN definition)

Expl.: Explosion

FCO: Fast Cook-off

FI: Fragment Impact

FOF: FOI Formulation

FOX: FOI Explosive

HD: Hazard Division

HD1.1: Ämnen eller artiklar med massdetonationsrisk (FN definition)

HD1.2: Ämnen eller artiklar utan massdetonationsrisk men med utkast av splitter eller föremål (FN definition)

HD 1.3: Ämnen eller artiklar utan massdetonationsrisk med värme och brandverkan som mest väsentliga risk (FN-definition)

HD 1.4: Ämnen eller artiklar med obetydlig verkan utanför förpackningen (FN definition)

HD 1.5: Mycket okänsliga substanser eller artiklar med risk för massdetonation (FN definition)

HD 1.6: Extremt okänsliga substanser (EIDS) eller artiklar utan risk för massdetonation (FN definition)

HFI: Heavy Fragment Impact

HMX: Oktogen

IM: Insensitive Munition, Lågkänslig ammunition

LFI: Light Fragment Impact

LLM: Lawrence Livermore Explosive

MURAT: Munitions à Risques Atténués

NIMIC: NATO Insensitive Munitions Information Centre

Part. Det.: Partiell Detonation

PAX: Picatinny Arsenal Explosive

PIT: Partial Insulation Technique

RDX: Hexogen

RSV: Riktad Spräng Verkan

SCJI: Shaped Charge Jet Impact

SCO: Slow Cook-off

SR: Sympathetic Reaction

STANAG: (NATO) Standardization Agreement

PBX: Plastic Bonded Explosive

i-RDX: Genom kristallisationsteknik kan RDX känslighet sänkas. Lågkänslig RDX har även utvecklats av andra än SNPE (t.ex. NEXPLO Bofors).

TEX: Thiokol Explosive

THA: Threat Hazard Analysis

TIVS: Thermally Initiated Venting System

TNT: Trinitrotoluen

## Referenser

- [1] *Policy for Introduction, Assessment and Testing for Insensitive Munitions (MURAT), STANAG 4439, 1998*, NATO,
- [2] P. Marchandin, M. W. Sharp, *Accidents Involving Munitions Around the World and Cook-off Reaction Mechanisms*, L-88, **2002**, NIMIC,
- [3] NIMIC, Terrorist Attack?, in: NIMIC Newsletter (2002/3) 7.
- [4] *Guidance on the Development, Assessment and Testing of Insensitive Munitions (MURAT), 1998*, Allied Ordnance Publication AOP-39, 1st ed.,
- [5] *Liquid Fuel Fire Tests for Munitions, Standardization Agreement, Standardization Agreement STANAG 4240, 1st ed, 1996*, NATO,
- [6] *Slow Heating Tests for Munitions, Standardization Agreement STANAG 4240, 1st ed., 1996*, NATO,
- [7] *Bullet Attack Tests for Munitions, Standardization Agreement STANAG 4241, 1st ed., 1991*, NATO,
- [8] *Sympathetic Reaction, Munition Test Procedures, Standardization Agreement STANAG 4396, 1st ed., 1999*, NATO,
- [9] *Hazard Assessment Tests for Non-Nuclear Munitions, Military Standard MIL-STD-2105B, 1994*, Department of Defense USA,
- [10] N. Roman, *Småskaliga provningsmetoder med möjlig användning vid utveckling av lågkänsliga explosivämnen.*, 03-272:7, **2003**, FOI,
- [11] P. Marchandin, *Insensitive Munitions National Policies: the Key Differences, 2003*, NIMIC,
- [12] *Insensitive Munitions DI(G) LOG-07-10*, Australian Ministry of Defence,
- [13] *Instruction DGA/IPE n260, July 1993*, DGA/IPE,
- [14] *section 5.5.2, 1992*, TKMunTSichhBw,
- [15] *Linee Guida Nazionali per lo Sviluppo, la valutazione e la verifica delle munizioni a rischio attenuato MURAT, 2000*, Segretariato Generale Della Difesa E - Direzione Nazionale Degliarmamenti - 2000 Edition.,
- [16] *Strategie voor de invoering van Minder Kwetsbare Munitie binen de Nederlandse Krijgsmacht, utkast, 2003*,
- [17] *Directive for Safety Acceptance of Munitions, 2000*, Norwegian Chief of Defence,
- [18] *Title 10, Chapter 141, Section 2389*, United States Code,
- [19] *Requirements Generation System - Chairman of the Joint Chiefs of Staff Instruction, 2001*, CJCSI 3170.01b,
- [20] *Directive 5000.1*, Department of Defence,
- [21] Memorandum for Secretaries of the Military Departments: Exemption for Existing Inventory Items to Insensitive Munitions Requirements., **1999**.
- [22] I. Sejlitz, *Explosivämnes Kunskap*, Karlskoga **1987**, p. 9.
- [23] R. Boulay, *Mitigation Methods for Munitions, 1998*, NIMIC,
- [24] R. H. Doherty, R. L. Simpson, A Comparative Evaluation of Several Insensitive High Explosives, *28th International Conference of ICT*, Karlsruhe **1997**, p.1-23.
- [25] *Energetic Materials Compendium (EMC) Version 2.00*. NATO Insensitive Munitions Information Centre, NIMIC, NATO Hq, B-1110, Brussels, Belgium.,
- [26] N. V. Latypov, J. Bergman, A. Langlet, U. Wellmar, U. Bemm, Synthesis and Reactions of 1,1-Diamino-2,2-dinitroethylene, *Tetrahedron* **1998**, 54, 11525-11536.
- [27] A. Kjellström, *The Insensitive Energetic Material FOX-7 - A Review*, Technical Report FOI-R--0916--SE, **2003**, FOI,

- [28] H. Östmark, U. Bemm, H. Bergman, A. Langlet, N-guanylurea-dinitramide: a new energetic material with low sensitivity for propellants and explosives applications., *Thermochimica Acta* **2002**, 384, 253-259.
- [29] L. E. Fried, *Cheetah*, 1.39. Lawrence Livermore National Laboratories. **1996**.
- [30] T. T. Nguyen, Alternative option for high-performance, IM-compliant, metal accelerating warhead fillings: Pressed PBX Technology, *31th International Annual Conference of ICT*, Karlsruhe, Germany **2000**, p.115/111-115.
- [31] M. W. Smith, M. D. Cliff, *NTO-Based Explosive Formulation: A Technology Review*, Technical Report DSTO-TR-0796, **1989**,
- [32] B. Nouguez, EIDS Booster Assessment for CBEMS Series, *2000 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium*, November 27-30, San Antonio, Texas, US **2000**, p.258-266.
- [33] F. Peugeot, S. Peters, *IM Issues Related to Gun Propelling Charges Design*, Report L94, **2003**, NATO Insensitive Munitions Information Centre, NIMIC, NATO Hq, B-1110, Brussels, Belgium.,
- [34] J. A. Scheld, S. T. Peters, J. S. Fetsko Jr, Insensitive munitions evaluation of MK67 and EX-167 propelling charges, *CPIA Publication* **2000**, 704 (*JANNAF 19th Propulsion Systems Hazards Subcommittee Meeting 2000*), 279-288.
- [35] A. G. S. Pillai, M. M. Joshi, A. M. Barve, S. P. Velapure, J. S. Karir, Cellulose Acetate Binde-Based LOVA Gun Propellant for Tank Guns, *Defence Science Journal* **1999**, 49, 141-149.
- [36] L. M. Barrington, *Full Scale Insensitive Munitions Testing of the RAN 5"/54 Cartridge Case*, Technical Report DSTO-TR-0097, **1994**, DSTO Aeronautical and Maritime Research Laboratory,
- [37] NIMIC, Solid Rocket Propellants for Improved IM Response - Recent Activities in the NIMIC Nations, in: NIMIC Newsletter (4th Quarter 2002) 2.
- [38] I. Wallace, D. R. Blue, Insensitive Munitions Aluminized Propellant for Tactical Boosters, *2000 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium*, November 27-30, San Antonio, Texas, US **2000**, p.286-295.
- [39] G. Doriath, Energetic insensitive propellants for solid and ducted rockets, *Journal of Propulsion and Power* **1995**, 11, 870-882.
- [40] H. H. Weyland, M. L. Jones, D. R. Blue, IM Testing of Two Aluminized Boost Propellants, *2000 Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium*, November 27-30, San Antonio, Texas, US **2000**, p.100-107.
- [41] M. L. Chan, A. D. Turner: US Patent No. 6576072 B2, **2003**,
- [42] E. Kimura, Y. Oyumi, Insensitive munitions and combustion characteristics of BAMO/NMMO propellants, *Journal of Energetic Materials* **1996**, 14, 201-215.
- [43] M. Chan, R. Reed, D. Ciaramitaro, Advances in solid propellant formulations, in: *Solid Propellant Chemistry Combustion and Interior Ballistics*, Vol. 185 (2000) 185-206.
- [44] A. Langlet, H. Östmark, N. Wingborg: WO Patent No 97/06099, **1997**, SE.
- [45] N. Latypov, J. Bergman, A. Langlet, U. Wellmar, U. Bemm, Synthesis and Reactions of 1,1-Diamino-2,2-dinitroethylene, *Tetrahedron* **1998**, 54, 11525-11536.
- [46] D. Doll, J. Hanks, J. Niles, Insensitive Composition B Replacement, *1999 Insensitive Munitions and Energetic Materials Technology Symposium*, November 29 - December 2, 1999, Tampa, Florida, USA **1999**, p.264.
- [47] H. Edvinsson, C. Eldsäter, M. Johansson, Å. Pettersson, *Formulering och karakterisering av ett lågkänsligt sprängämne baserat på FOX-7 (in Swedish)*, Technical Report FOI-R--0379--SE, **2002**, FOI,

- [48] C. Eldsäter, H. Edvinsson, M. Johansson, Å. Pettersson, C. Sandberg, Formulation of PBX's based on 1,1-diamino-2,2-dinitroethylene (FOX-7), *33rd International Annual Conference of ICT*, Karlsruhe, Germany **2002**, p.63/61-14.
- [49] R. Adolfsson, L. Bodin, C. Eldsäter, Å. Pettersson, N. Roman, M. Wanhatalo, *Optimisation and characterisation of compositions with low sensitivity based on FOX-7 and energetic binders. Large-scale GAP test of pure FOX-7 (in Swedish)*. Technical Report FOI-R-0668-SE, **2002**, FOI,
- [50] W. Karthaus, A. C. Hordijk, C. A. van Driel, C. Schoolderman, Development, production and characterisation of LOVA gun propellants, *Kayaku Gakkaishi* **2002**, *63*, 169-177.
- [51] to be published.
- [52] *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods. Manual of Tests and Criteria*, ST/SG/AC.10/11/Rev. 2, 2nd Ed., **1995**, United Nations,
- [53] Wood's methal bath, in: Swedish Defence Standard, FSD 0214 (Defence Material Administration, FMV, Stockholm, Sweden, 1992) Appendix 3, Sub Appendix 101.
- [54] Gap test, in: Swedish Defence Standard, FSD 0214 (Defence Material Administration, FMV, Stockholm, Sweden, 1992) Appendix 3, Sub Appendix 116.
- [55] H. Östmark, A. Langlet, H. Bergman, N. Wingborg, U. Wellmar, U. Bemm, FOX-7—A New Explosive with Low Sensitivity and High Performance, *11th International Detonation Symposium*, August 31 - September 4, Snowmass, Colorado, US **1998**, p.807-812.
- [56] H. Östmark, H. Bergman, U. Bemm, P. Goede, E. Holmgren, M. Johansson, A. Langlet, N. Latypov, A. Pettersson, M.-L. Pettersson, N. Wingborg, C. Vörde, H. Stenmark, L. Karlsson, M. Hihkiö, 2,2-dinitro-ethene-1,1-diamine (FOX-7) - Properties, analysis and scale-up, *32nd International Annual Conference of ICT*, July 3-6, 2001, Karlsruhe, Germany **2001**, p.26/21-21.
- [57] A. Kjellström (Ed.), *The insensitive energetic material FOX-7 - A review.*, Technical Report FOI-R--0916--SE, **2003**, Swedish Defence Research Agency, FOI,
- [58] C. Eldsäter, N. Roman, Development of compositions based on 1,1-diamino-2,2-dinitroethylene (FOX-7), *Europyro 2003*, June 23-27, Saint Malo, France **2003**, p.212-223.
- [59] SÄIFS, Sprängämnesinspektionens författningssamling. Sprängämnesinspektionens allmänna råd om känslighetsprovning av explosivämnen, in: (1986) Kapitel 12, 83-89.

# Rapport dokumentation

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Vapen och skydd 147 25 Tumba	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--1026--SE	<b>Klassificering</b> Användarrapport
	<b>Forskningsområde</b> 5. Bekämpning	
	<b>Månad, år</b> December 2003	<b>Projektnummer</b> E2004
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 51 VVS med styrda vapen	
	<b>Författare/redaktör</b> Carina Eldsäter Patrick Goede Helena Bergman Nils Roman Henric Östmark	<b>Projektledare</b> Patrick Goede
<b>Godkänd av</b>		
<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> Försvarsmakten		
<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Carina Eldsäter och Patrick Goede		
<b>Rapportens titel</b> IM Status 2003		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> <p>Rapporten är en lägesrapport för IM-statusen år 2003. I rapporten beskrivs vad IM är, varför IM är viktigt, vilka internationella dokument som styr utvecklingen, olika länders IM-policy och hur man uppnår IM. I rapporten går den aktuella tekniska nivån inom IM-området igenom för explosivämnen, sprängämnen, kanonkrut och raketkrut. En genomgång av aktuell IM relaterad forskning vid FOI rörande explosivämnen, sprängämnen, kanonkrut, övriga formuleringar och olika sorters tester ges. Baserat på det insamlade underlaget dras slutsatser angående framtida inriktning relaterat till IM-policy, explosivämnen, sprängämnen, kanonkrut, raketkrut och tester.</p>		
<b>Nyckelord</b> IM, Lågkänslig Ammunition, Explosivämne, Översikt		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 46 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

# Report Document

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Weapons and Protection SE-147 25 Tumba	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--1026--SE	<b>Report type</b> User report
	<b>Programme Areas</b> 5. Combat	
	<b>Month year</b> December 2003	<b>Project no.</b> E2004
	<b>General Research Areas</b> 5. Commissioned Research	
	<b>Subcategories</b> 51 Weapons and Protection	
	<b>Author/s (editor/s)</b> Carina Eldsäter Patrick Goede Helena Bergman Nils Roman Henric Östmark	
<b>Project manager</b> Patrick Goede		
<b>Approved by</b>		
<b>Sponsoring agency</b> Swedish Defence Forces		
<b>Scientifically and technically responsible</b> Carina Eldsäter and Patrick Goede		
<b>Report title (In translation)</b> IM Status 2003		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>The report is a statusreport for IM 2003. In the report is described what IM is, why IM is important, which international documents that guide IM-development, the IM-policy of different countries and how IM is achieved. In the report the state of the art in the IM field is reviewed regarding energetic materials, explosives and propellants. The report also contains a review of present IM related research at FOI regarding energetic materials, explosives, propellants and testing. Conclusions are presented about future directions in the IM field regarding IM-policy, energetic materials, explosives, propellants and testing.</p>		
<b>Keywords</b> IM, Explosive, Review		
<b>Further bibliographic information</b>		<b>Language</b> Swedish
<b>ISSN</b> 1650-1942		<b>Pages</b> 46 p.
		<b>Price acc. to pricelist</b>