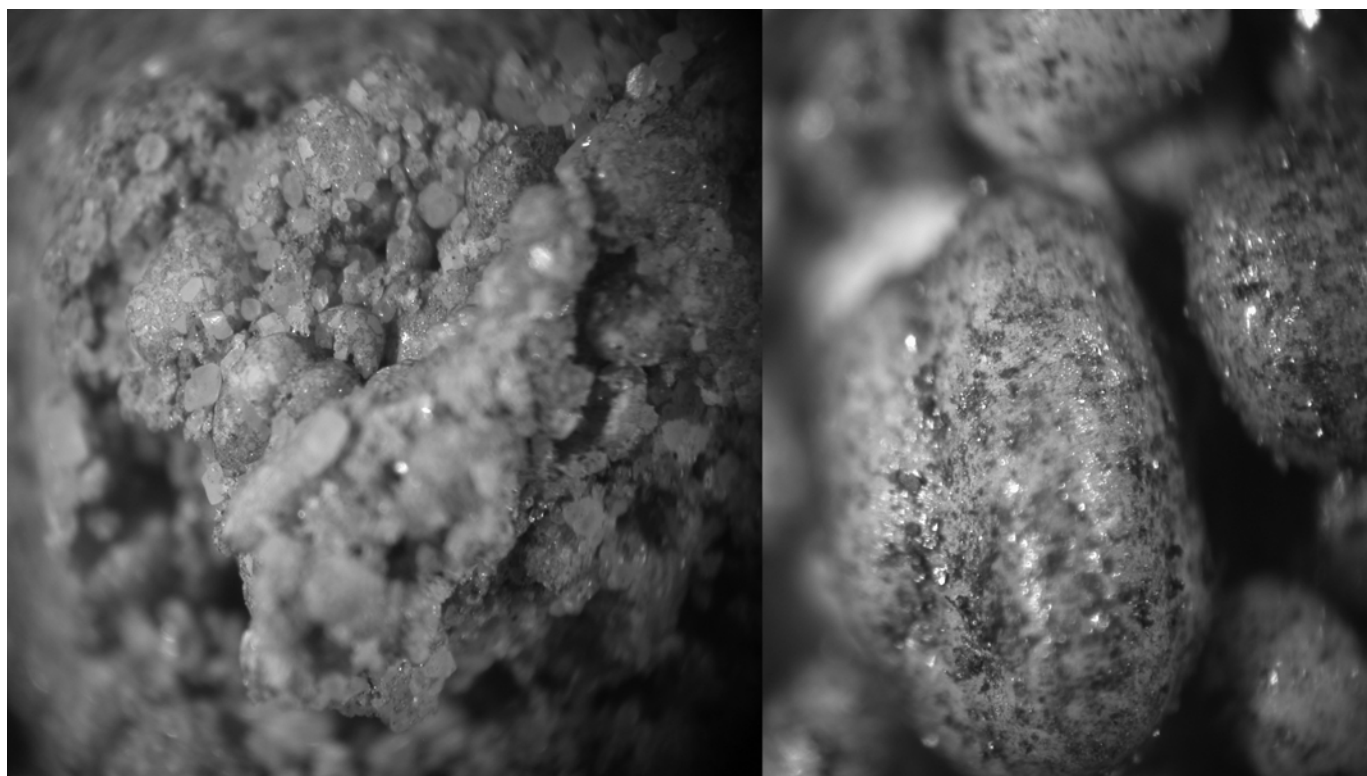


Metoder för återanvändning av explosivämnen

Joakim Hägvall, Martin Johansson, Erik Holmgren, John de Flon



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Förvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Vapen och skydd
147 25 Tumba

Tel: 08-555 030 00
Fax: 08-555 031 00

www.foi.se

Metoder för återanvändning av explosivämnen

FOI-R--1763--SE

ISSN 1650-1942

Vapen och skydd

Användarrapport

November 2005

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1763--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 3. Skydd mot NBC och andra farliga ämnen	
	Månad, år November 2005	Projektnummer E2014
	Delområde 35 Miljöfrågor	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Joakim Hägvall Martin Johansson Erik Holmgren John de Flon	Projektledare Joakim Hägvall	
	Godkänd av	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig	
Rapportens titel Metoder för återanvändning av explosivämnen		
Sammanfattning <p>Samhället ställer idag högre miljökrav på alla aktörer i samhället. Även försvarsmakten är med och försöker minska sin miljöbelastning. Rapporten beskriver hur det är möjligt att återvinna de energetiska material som finns i Sverige idag men även hur en eventuell återvinning kan ske i framtiden med nya energetiska material. Vidare beskrivs dagens teknik och dess möjligheter samt hur dessa metoder kan ändras för att möta de krav som framtiden ställer. Slutsatsen är att det även i framtiden kommer att vara fullt möjligt att återvinna explosivämnen, även om dessa tenderar att bli mer och mer komplexa.</p>		
Nyckelord Återvinning, explosivämnen, miljö		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 37 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Vapen och skydd 147 25 Tumba	Report number, ISRN FOI-R--1763--SE	Report type User report
	Programme Areas 3. NBC Defence and other hazardous substances	
	Month year November 2005	Project no. E2014
	Subcategories 35 Environmental Studies	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Joakim Hägvall Martin Johansson Erik Holmgren John de Flon	Project manager Joakim Hägvall	
	Approved by	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible	
Report title (In translation) Methods for reuse of explosives		
Abstract <p>The environmental issues become more and more important in today's society. The Swedish Armed Forces work to reduce their environmental impact. This report focuses on how energetic materials are reused today and how newer energetic materials can be reused in the future. The report also describes the technology of today, its possibilities and how methods need to change in order to meet the demands of tomorrow. The conclusion is that it will be possible to reuse explosives in the future despite the fact that they grow more and more complex.</p>		
Keywords Reuse, energetic material, environment		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 37 p.	
	Price acc. to pricelist	

INTRODUKTION	5
SYFTE	6
BAKGRUND	6
TIDIGARE STUDIER.....	7
DEMONTERING	8
URSMÄLTNING	8
HIGH-PRESSURE WASH-OUT	9
LASER.....	10
CRYOFRACTURE.....	11
EXPERIMENT	12
METODER	12
<i>SEPARATION AV HMX</i>	12
<i>SEPARATION AV MODERNARE EXPLOSIVÄMNEN</i>	15
MATERIAL	17
<i>SEPERATION AV HMX</i>	17
<i>SEPARATION AV MODERNARE EXPLOSIVÄMNEN</i>	20
RESULTAT	24
HMX SEPARATION	24
<i>EURENCOMETODEN</i>	24
<i>TPL-METODEN</i>	28
SEPARATION AV MODERNARE EXPLOSIVÄMNEN.....	32
<i>POLYMERER</i>	32
<i>ENERGETISKA MATERIAL</i>	32
<i>SEPARATION AV MODERNARE EXPLOSIVÄMNEN</i>	33
DISKUSSION.....	35
SLUTSATSER.....	36
REFERENSER	37

INTRODUKTION

Försvaret har ett stort lager av ammunition för att försörja sina vapensystem för alla tänkbara situationer. Den största delen av detta lager kommer aldrig att användas utan kommer i sinom tid att destrueras. Destruktion kan behövas på grund av att ammunitionen blivit osäker eller att vapensystemen tagits ur bruk.

Tidigare skedde destruktion främst med öppen förbränning (OB) och öppen detonation (OD). Effekter på miljön från dessa metoder är i dagsläget oklara och på grund av detta kritiseras metoderna och nya alternativa lösningar undersöks.

FOI har tidigare tittat på en metod för att destruera explosivämnen och dess rest med förbränning. Metoden nyttjar en förbränningsugn med fluidiserad bädd. Det som talar emot denna metod är att explosivämnena förstörs. Av ekonomiska skäl skulle det vara intressantare att återvinna och använda materialen igen. Det som idag är mest intressant är att återvinna explosivämnena och på så sätt slippa destruera dem. En återvinning skulle resultera i minskad miljöpåverkan och eventuellt även en ekonomisk vinst.

Idag finns det flera skäl för att återvinna energetiska material. Störst är det ekonomiska skälet. Genom att återvinna behövs inte en dyrare nyproduktion i samma omfattning. Det andra skälet är miljöpåverkan. Genom att återvinna behöver man inte destruera lika stora mängder vilket kan minska nyproduktionen. Både en minskad destruktion och nyproduktion kan ha positiva miljöeffekter. Det sista skälet är att försäkra sig om att ha en garanterad tillgång av energetiskt material. Detta skäl har främst använts av USA på senare tid. De anser att man inte kan förlita sig på en extern leverantör av energetiska material.

Återvinning ger störst fördelar när militära explosivämnen återvinns till militära tillämpningar. De ämnen som är mest fördelaktiga att återvinna till militära tillämpningar är de ämnen som är lite dyrare och vilka ofta även har bättre prestanda. Dessa ämnen ger bäst ekonomiska fördelar. Ett exempel är jungfrulig HMX som kostar ca 500 kronor per kilogram. Om återvinning skulle ske mot civil marknad skulle det konkurrera med explosivämnena som kostar 50 öre per kilogram. Det är en värdeminskning på 1000 gånger. Detta är ett extremfall men visar problematiken med att återvinna för civila ändamål. Med detta resonemang skulle intressanta explosivämnen vara sådana som innehåller t ex HMX och FOX-7.

SYFTE

Syftet med denna rapport är att förklara hur explosivämnen återanvänds idag samt hur detta skulle kunna appliceras i framtiden på nyare explosivämnen. Detta är en sammanställning av ett treårigt projekt som har identifierat befintliga metoder för återvinning samt demontering av både dagens och framtidens explosivämnen i svenska vapensystem. Giltigheten av metoderna har verifierats genom småskaliga försök.

BAKGRUND

USA är det land i världen som lägger ner mest pengar på forskning på området avveckling av ammunition (internationellt kallat Demilitarization eller förkortat Demil). Ett av de största problemen för alla nationer är dock inte bristen på forskning utan att de flesta militära specifikationerna kräver ”virgin materials” (jungfrulig råvara) när man tillverkar t ex sprängämnen för militära tillämpningar. Detta har börjat ändras på grund av att USA behöver en säker källa av specifika material som i nuläget endast kan garanteras av att de återvinner materialen själva.

I Sverige och många andra länder har man tidigare följt det internationella exemplet inom detta område. Idag säger dock FMV att det går att återanvända explosivämnen om man kan garantera samma specifikationer som på ”nya” explosivämnen. I Sverige anses det alltså vara specifikationerna som styr och inte härkomsten av materialet. Detta gör att Sverige skulle kunna återanvända explosivämnen för militära ändamål. Det är dock långt mellan tanke och handling då FMV fortfarande i de flesta fallen använder de internationella militära specifikationerna när de beställer ny materiel.

Den nya generationens vapensystem kommer att ha en högre andel av polymer som bindemedel och matris. Majoriteten av de polymerer som används i dag är tvärbundna. Detta innebär större problem då explosivämnet skall återvinnas. Explosivämnet kan inte smältas ur granaten utan måste demonteras. Explosivämnet måste först fragmenteras och eventuellt lösas upp i lösningsmedel för att man sedan ska kunna separera polymeren från explosivämnet. Historiskt sett, i Sverige, har de flesta explosivämnen varit smältgjutna vilket ger ett relativt enkelt tillvägagångssätt för att tömma ur granaten. Innehållet smälts helt enkelt och rinner ur granaten (Eriksson, Pekka 2003).

Idag är en ny generation av polymerer på väg att tas i bruk. De kallas termoplastiska elastomerer och deras egenskaper är starkt bundna till temperaturen. Vid en högre temperatur och vid tillsats av lösningsmedel blir polymeren lättflytande och kan blandas med energetiskt material. När lösningsmedlet avlägsnas återtar polymeren sina ursprungliga egenskaper och man får ett bundet material. Om denna typ av polymer skulle uppfylla kraven som ett matrissystem för energetiska material så är den ur ett återvinningsperspektiv att föredra. Dock är de polymerer som undersökts i denna rapport tvärbundna och inte termoplaster. De inkluderade polymererna är nyutvecklade samt äldre som använts i explosivämnesformuleringar under en längre tid.

De komponenter som kan ingå i en PBX (Plastic Bonded eXplosive) eller ett modernt raketkrut är polymerer, metallpulver, mjukgörare, stabilisator, vax, härdare, accelerator, brinnmodifierare och energetiskt material. Antalet komponenter i ett system är stort och detta ökar svårigheten med att återvinna allt. En eventuell återvinningsmetods slutprodukt måste överensstämja med de krav som ställs i dagens specifikation för ett nyframställt explosivämne. Vid svårigheter med att uppfylla detta krav alternativt att kostnaden blir alltför hög för att återvinna explosivämnet kan det i framtiden finnas ett behov av att finna alternativa lösningar antingen via nya återvinningsmetoder eller som ett behov av andra energetiska material.

För att på ett kostnadseffektivt sätt lösa detta problem krävs det att man redan idag och i framtiden tar hänsyn till återvinning redan i designsteget. Detta begrepp finns idag och är på stor frammarsch i USA där det kallas "Design for demil" (Jennings, K 2004; Melitta, Anthony J 2004; Mescavage, Gary 2004). Det innebär att man redan i designfasen skall ta avveckling i beaktande, vid val av material samt konstruktion. Detta reducerar kostnaden för att avveckla ett system senare.

TIDIGARE STUDIER

Denna rapport sammanfattar ett projekt som varit fokuserat på återvinning av dyrbarare explosivämnen. Det ämne som projektet har inriktat sig mot är oktogen (HMX). HMX är ett dyrare energetiskt material som kostar ca 500 kronor per kilo och är ett av de energetiska material som används i större mängder i Sverige och världen. Första året av projektet gjordes en studie på hur HMX återanvänds i världen idag (Hägwall, Joakim 2002). Fokus år två låg på att undersöka om det var möjligt att använda dessa identifierade metoder på de material som finns i Sveriges ammunitionslager idag (Hägwall, Joakim 2003). Det tredje och sista året har projektet fokuserat på hur Sverige skall hantera återvinning av liknande material i framtiden (Hägwall, J. et Al. 2004). Inriktningen låg på att undersöka om de metoder som studerats under det andra året även fungerar på de material som FOI tar fram för framtida militära applikationer. En del av projektet har också studerat hur rena materialen är efter återvinning och hur detta skall analyseras.

DEMONTERING

För att kunna återvinna sprängämnet krävs att man tar ut explosivämnet/ämnena ur vapendelen. Detta kan göras genom att t ex spola ur innehållet i en granat. Detta är ett forskningsintensivt område.

URSMÄLTNING

Den absolut vanligaste metoden i Sverige och i världen är att smälta ur explosivämnet ur vapendelen. Denna metod har använts mycket eftersom explosivämnet historiskt sätt ofta har gjutits in i verkansdelen. Idag har det kommit flera explosivämnen som inte går att smälta men detta är fortfarande den vanligaste metoden för urtagning i Sverige. Idag används den i stort sätt endast för trotyl som har lämplig smältpunkt, den kan dock användas till alla ämnen som kan smältas på ett säkert sätt.

I Sverige är det främst Nammo Vingåkerwerken AB som utför ursmältning i någon större skala. Metoden är optimerad för att smälta ut trotyl, det vanligaste militära explosivämnet i Sverige. Det som sker är att ammunitionen tas isär och delar såsom tändare och krut tas bort. Det resulterande stål/plast höljet läggs i trådkorgar. Trådkorgarna sänks ner i en bassäng med vatten som har en temperatur på över 80°C. I vattnet smälter trotylen och rinner ur höljet ner till botten på bassängen. Botten lutar så att trotylen kan rinna längs botten. I ena kanten på bassängen pumpas sen den rena trotylen till en samlingstank. Från denna förs sedan trotylen till en flingmaskin. Väl flingad är trotylen säljbar.

I världen finns det några varianter av denna metod, i McAlester Army Ammunition Plant finns en variant som kallas Autoclav. Denna metod skiljer sig i att man använder vattenånga istället för varmt vatten. Ångan kommer inte i kontakt med trotylen utan används enbart som ett värmemedium. Detta gör att denna trotyl kommer att ha en något lägre vattenhalt än den svenska.

I Ryssland finns det en annan metod där man istället för vatten använder trotyl för att smälta ur innehållet. Fördelen med denna metod är att det inte finns något smutsigt vatten att rena. Nackdelen är att det finns stora bassänger med flytande trotyl.

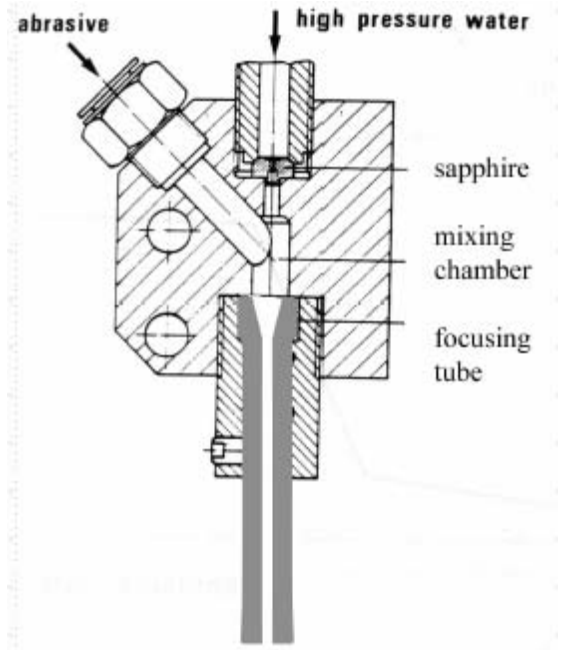
HIGH-PRESSURE WASH-OUT

Metoden high-pressure wash-out går ut på att spruta en fluid med högt tryck och på så sätt skära av en bit explosivämne i taget. Metoden är relativt vanlig idag, och framför allt vatten används som fluid. Vatten ”skär” inte alltid tillräckligt bra och om detta är fallet tillförs ett slipmedel (abrasive), en tillsats som liknar blästersand och som ger vattenstrålen bättre effekt. Se figur 1.

Metodens stora nackdel är att den producerar stora mängder rester bestående av vatten, slipmedel och explosivämne. Detta kan dock lösas genom att byta ut vatten mot t.ex. flytande kväve eller fast koldioxid. Båda ämnen förångas efter utfört arbete och efterlämnar enbart explosivämnet. Ytterligare en fördel med dessa ämnen som fluid är att de samtidigt kyler explosivämnet och därigenom minskar risken för oönskad initiering.

Optimering av processen sker genom att variera skärhastigheten. Om hastigheten är för hög transporteras inte skärflisorna bort från skärzonen och varma skärflisor kan då öka risken för initiering. Är hastigheten för låg går det ej att ekonomi i metoden då det tar för lång tid att spola ur höljena.

För att effektivisera och öka produktionskapaciteten byggs processerna så att flera granater kan spolas ur samtidigt. Detta utnyttjar utrustningen maximalt och ger en mer ekonomisk lösning samtidigt som man ökar produktionskapaciteten. Oftast byggs processen så att två, fyra eller flera granater spolas ur samtidigt. Vidare byggs processerna ofta hel- eller semiautomatiska där det fylls på med fulla höljen och tomma höljen tas bort efter hand.



Figur 1, Waterjet principen

LASER

Metoden med laser liknar Washout-processen som beskrivs ovan men istället för en fluid med högt tryck används en laser. Lasern värmer en liten bit av explosivämnet snabbt till dess förångningstemperatur. På detta sätt skär lasern i explosivämnet. Skärflisornas storlek är beroende på laserstrålen samt var laserstrålen är applicerad på objektet. Skärhastigheten beror av hur fort det förångade ämnet transporteras bort. Om explosivämnet som nu är i förångat tillstånd inte transporteras bort kommer detta att kondensera och överföra sin energi till explosivämnet. Detta kan resultera i att explosivämnet får en ”hot spot” och initieras.



Figur 2, Nd Yag laser skär upp en granat.

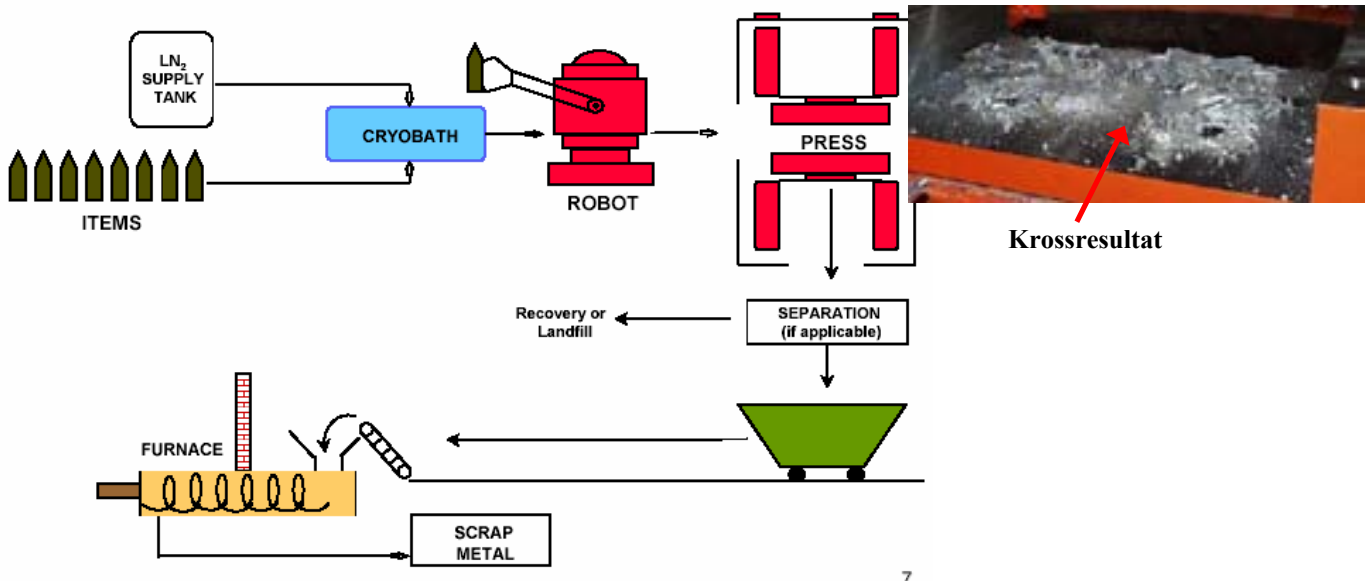


Figur 3, granat skärs upp av rörlig laser.

Skärprocesser med laser kan konstrueras på två sätt. I den ena placeras granaten i ett verktyg och objektet tillåts rotera i verktyget där en fast laser skär genom granaten. I den andra placeras objektet fast och lasern roterar runt objektet. Normalt sett används en robot för att styra lasern i det andra fallet. Metoden med roterbar laser har framtagits för att man på ett säkert sätt skall kunna skära sönder objekt som fortfarande har kvar sina tändsystem som tex. OXA (OeXploderad Ammunition). När objektet är i mindre delar kan man lösa upp explosivämnet på lämpligt sätt och på så sätt få bort det från metallen.

CRYOFRACTURE

Cryofracture-metoden skiljer sig en del mot de tidigare beskrivna processerna. Som namnet antyder använder denna process kyla.



Figur 4, Cryofracture processen, bilden tagen från 7th Global Demil Symposium .

Objekten placeras i ett kylbad, i princip kan vilket kylmedium som helst användas så länge som det har tillräckligt låg temperatur. Vanligtvis används flytande kväve, som förutom att det är mycket kallt också ger en inert miljö, i detta kyls objekten ner så att höljena blir sköra. Det nerkylda objektet placeras i en press där det krossas. Metoden används idag enbart i fallet med ADAM minor där metoden är till för att pressa ut de urandelar som finns i minan. Metoden skulle dock kunna användas i andra tillämpningar. Metoden resulterar i att objektet fragmenteras, schematisk figur av processen kan ses i figur 4.

EXPERIMENT

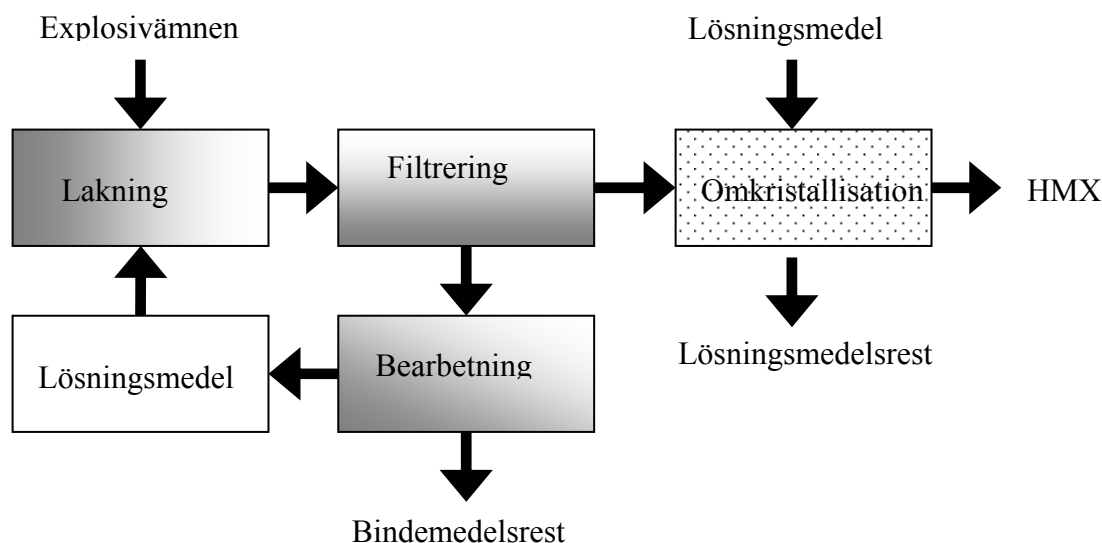
METODER

SEPARATION AV HMX

Det finns idag i princip två kända metoder för återvinning av HMX. Dessa är patenterade av TPL Inc. (Phillips, Cain et al. 1998) och Nexplo Bofors AB (Nyqvist 1995). Metoderna visar två helt olika angreppssätt på samma problem. I TPLs metod använder man oorganiska syror för att förstöra det bindemedel som binder HMX. Detta gör att man får HMX i sin ”jungfruliga” form som bara behöver tvättas (Phillips, Cain et al. 1998). Denna metod är främst till för HMX som har plast som bindemedel. Eurenco Bofors AB däremot använder organiska lösningsmedel för att lösa HMX/RDX och även för att omkristallisera produkten. Enligt patentinnehavaren skall denna metod fungera oavsett bindemedel.

Organiska lösningsmedel

Generellt kan man säga att Eurenco Bofors ABs metod med organiska lösningsmedel bygger på att man lakar ut den önskade komponenten som filtreras och kristalliseras. För att erhålla önskad renhetsgrad omkristalliseras produkten. Denna process beskrivs schematiskt i Figur 5.

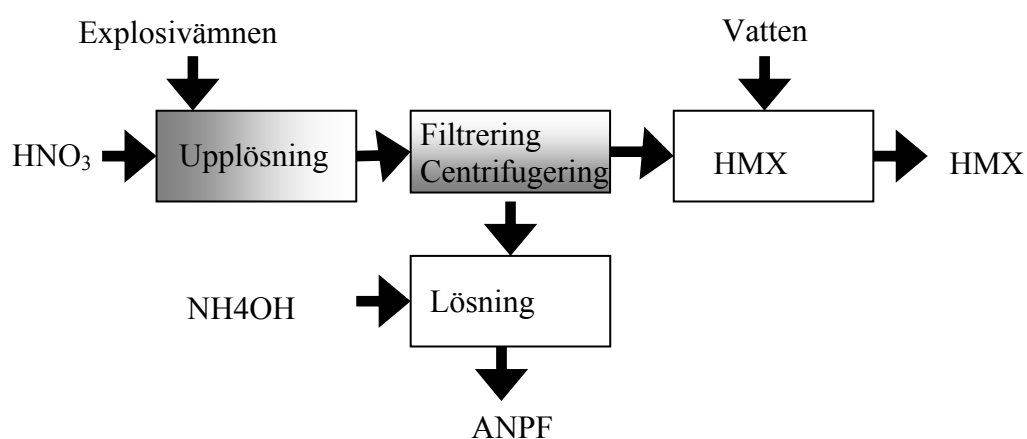


Figur 5, Processchema för organiska lösningsmedel

Viktigt att tänka på när detta utförs är att ha rätt lösningsmedel som är specifikt för den tänkta produkten. För HMX har Eurenco Bofors AB (Nyqvist 1995) rekommenderat toluen eller xylen för lakningssteget, samt γ -butyrolakton i omkristallisationssteget. Explosivämnet lakas först ur med toluen/xylen. För att öka renheten omkristalliseras det i γ -butyrolakton. Detta är samma lösningsmedel som jungfrulig vara kristalliserar i (Svensson, Nyqvist et al. 1984). Produkten som erhålls är därmed identisk med den jungfruliga varan.

Oorganiskt lösningsmedel:

Processen med oorganiskt lösningsmedel fungerar i princip som med organiskt lösningsmedel. Dock har metoden nackdelen/fördelen att det oftast bara är bindemedlet i explosivämnet som angrips. Detta betyder att till skillnad mot metoden med organiska lösningsmedel så löser sig explosivämnet inte utan stannar kristallint. Enligt TPLs metod (Phillips, Cain et al. 1998) bör explosivämnets bindemedel lösas upp i en salpetersyra som har en koncentration på 65-70 % (Om koncentrationen är mindre än 60 % får HMX en gulaktig färg och detta indikerar att inte allt bindemedel är borta). Upplösningen sker vid rumstemperatur. När upplösningssprocessen är klar värms lösningen till ca 70°C, efter vilket den centrifugeras eller filtreras för att få bort nitraminerna. Lösningen utan nitraminer neutraliseras med 26 % ammoniumhydroxid till pH 6,8. Lösningen indunstas och det kvarvarande ämnet kallas av TPL för ANPF (Ammonium Nitrate Polymeric Fuel) vilket liknas med ANFO (ammonium Nitrate Fuel Oil). Huvudprodukten från denna process har samma partikelstorlek och morfologi som innan processen. Processen beskrivs schematiskt i Figur 6.



Figur 6, Processchema för oorganiska lösningsmedel

Oorganiska salter

TPL inc (Phillips, Cain et al. 1998) har en annan metod främst avsedd för vaxbundna sprängämnen. Denna metod använder oorganiska salter för att få vaxet att släppa från HMX/RDXet. Man löser det vaxbundna explosivämnet i vatten. Till detta sätter man sedan ett salt, vanligtvis kalciumklorid (CaCl_2). När sådan mängd har tillsatts så att densiteten höjts till ca $1,2 \text{ g/cm}^3$ värmer man lösningen till ca 80°C. Vid denna förhöjda temperatur tillsätter man Tween 20 som är en ytkemikalie. Nu sänks temperaturen till 70°C och vaxet som flutit upp till ytan som skum kan tas bort och produkten som finns kvar i vattnet är rengjord HMX/RDX. Metoden har klara begränsningar då den endast fungerar på vaxbundna explosivämnen.

Utförande

I Hägvall, Joakim 2003 har tester utförts för att utröna huruvida metoderna fungerar och för vilka bindemedel. Metoderna som valts är organiska bindemedel (Eurengo) och oorganiska bindemedel (TPL). Metoden med oorganiska salter har blivit undantagen då den har ett för snävt användningsområde.

Metod Eurengo har skett i enlighet med patent (Nyqvist 1995). Där klargörs att explosivämnet skall lösas i toluen eller xylen. I detta försök har toluen använts. Efter detta tvättas det hela med BLO (butyrolactone) som är mättat med HMX. Därefter omkristalliseras den tvättade HMXen i BLO. Upplösningen av explosivämnet sker vid 50°C. Metoden testades på de tre ämnena i Tabell 4 och analyserades i enlighet med ovan.

Metod TPL sker i enlighet med patent (Phillips, Cain et al. 1998). I detta kan ses att explosivämnet löses i salpetersyra (HNO₃) vid ca 70°C. Efter detta filtreras lösningen och tvättas med vatten. Det som skall finnas kvar är ren HMX/RDX i dess ursprungliga form.

Utländska undersökningar

Ett stort projekt på återanvändning av HMX drivs i USA. Det drivs parallellt på flera forskningsinstitutioner bl.a. Naval Surface Warfare Centre i Crane och Indian Head. De har under åren 2001-2003 karakteriserat den produkt som man får fram från TPL-processen (Phillips, Cain et al. 1998). Deras resultat (Sandagger and Proctor 2002) från fas två beskrivs nedan.

I USA har man stora lager av LX-14. Detta är ett HMX-polymer explosivämne och man har valt detta för att testa återvinning av HMX. LX-14 består av 95,5 % HMX och 4,5 % estane (polymer). Målet med denna undersökning var främst att undersöka om återvunnen HMX klarade den amerikanska militära specifikationen MIL-DTL-45444C, HMX grade B, men också att jämföra skillnader mellan jungfrulig och återvunnen HMX. Den jungfruliga råvaran är för HMX klass 1, HSAAP HMX, klass 1 lot HOL95M033-003, och för klass 5, HSAAP Klass 5 lot HOL98F203-008.

Enligt rapporten (Sandagger and Proctor 2002) klarar återvunnen HMX, i enlighet med metoden från TPL, (Phillips, Cain et al. 1998) den amerikanska militärstandard. Denna standard återfinns i Tabell 1.

Tabell 1, Amerikansk militärstandard för HMX, grade B (Sandagger and Proctor 2002)

MIL-DTL-45444C, HMX Grade B, Requirement	MIL-DTL-45444C, HMX Grade B, Test Method
3.2 Purity HMX β -polymorph, 98% by weight, min HMX α -polymorph, 0.01% by weight, max RDX Content, 2.0% by weight, max	4.7.1 X-ray Diffraction HPLC for HMX Purity & RDX Content
3.2 Melting Point, °C, 277 min	4.7.2 Fisher-Johns of Equivalent
3.2 Number of Insoluble Particles On a USS #40 Sieve-0 max On a USS #60 Sieve-5 max	4.7.3 Per Specification
3.2 Total Acetone Insolubles, 0.05% max	4.7.4 Per Specification
3.2 Inorganic Insolubles, 0.05% max	4.7.5 Per Specification
3.2 Acidity, 0.02% by weight, max	4.7.6 Per Specification
3.2 Impact Sensitivity 17 cm min ERL, Type 12 Tools, 2.5 kg weight	4.7.7.3 Per Specification
3.2/3.2.1 Granulation by Class	4.7.8 Per Specification
3.2/3.4 Workmanship	4.7.9 Per Specification

SEPARATION AV MODERNARE EXPLOSIVÄMNEN

För att kunna undersöka hur bra de undersökta metoderna skulle fungera i framtiden har tester gjorts på modernare material som ännu inte finns i vapensystem. Här beskrivs försök som gjorts för att se hur separationen skulle kunna utföras på dessa material.

LÖSNINGSMEDLETS INVERKAN

Försöken i (Hägvall, J. et Al. 2004) har gjorts genom att 0.2 g av polymeren eller explosivämnet har lösts i 3 ml lösningsmedel och upphettats under omrörning till 60°C under 24 timmar. Polymererna och explosivämnena har studerats visuellt huruvida de löst sig eller ej. Explosivämnena har dessutom analyserats med LC-MS för att fastställa hur mycket av explosivämnet som löst sig i lösningsmedlet. I fallet med explosivämnen har produkten från metoden jämförts med rena material i DSC för att se att det är rent material som fåtts fram.

De polymerer som beskrivs i avsnittet polymerer är antingen polymerer direkt från utvecklingen av nya system eller gummimaterial som är kommersiellt tillgängliga. De formuleringar som har fått lösas i olika lösningsmedel är blandningar bestående av inte bara en polymer utan i många fall också mjukgörare, härdare och härdningskatalysator. Anledningen till att ämnena inte separerats är att de inte

kommer att vara separerade i de system som i framtiden skall destrueras. Explosivämnen som har testats för löslighet och kompatibilitet med olika lösningsmedel har varit rena. De lösningsmedel (Marsden, C 1963) som har använts i (Hägvall, J. et Al. 2004) kan ses i Tabell 2. Alla lösningsmedel hade i princip koncentrationen 100 % eller väldigt nära detta.

Tabell 2, Lista på ingående lösningsmedel

Oorganiska system	Organiska system
Salpetersyra	NMP
Tributylfosfat	trietylamin
	Aceton

SEPARATION AV MODERNARE ENERGETISKA MATERIAL

Utifrån resultaten från de tidigare försöken väljs ett lämpligt lösningsmedel för att separera det energetiska materialet från polymermatrisen. Detta utnyttjas i de fyra kompositioner som har valts för denna undersökning. Vad som ingår i de olika kompositionerna redovisas i tabell 3 nedan. Vilka lösningsmedel som har valts för vilken komposition kan se också ses i tabellen.

Tabell 3, Explosivämneskompositioner med lösningsmedels val

Komposition 1		Komposition 2		Komposition 3		Komposition 4	
Fox-7	64%	ADN	60%	HMX	65%	Fox-7	70,30%
HMX	16%	PolyNIMMO	26%	PolyNIMMO	24%	PolyGLYN	10,70%
GAP	7,20%	DNEB	10%	Bu-NENA	5,40%	GAP	10,70%
PolyGLYN	7,20%	H ₁₂ MDI	3,50%	H ₁₂ MDI	3%	Bu-NENA	5,30%
Bu-NENA	3,60%	DBTDL	0,05%	DBTDL	0,06%	Desmodur W 3%	
DesmodurW	2,00%			KNO ₃	2,50%	DBTDL	0,30%
DBTDL	0,10%						
NMP		Aceton		Saltsyra		NMP	

MATERIAL

SEPERATION AV HMX

Metoderna Eurenco och TPL har testats på tre olika HMX/RDX kompositioner. Dessa tre är PBX N5, Octol och RDX-vax. Hur dessa explosivämnen är uppbyggda kan ses i Tabell 4.

Tabell 4, Komposition av explosivämnena

Namn	Komponenter	Mängd (%)
PBX N5	HMX	95
	Viton	4,5
	Grafit	0,5
Oktol	HMX	70
	TNT	30
RDX-vax	RDX	96
	Vax	4

De polymera system som har undersökts i (Hägwall, J. et Al. 2004) är beskrivna nedan. Polymererna bestod av gjutna polymerplattor som använts för att göra stavar för hållfasthetsprovning. För att öka kontaktytan maldes polymeren innan upplösningsförsöken gjordes.

Bild 1 Polysulfid

LP3	36,18 %
Para-kinon dioxin	1,73 %
Difenylguanidine	0,76 %
Svavel	0,22 %
Magnesium oxid	1,07 %
Kalium klorid	60,04 %

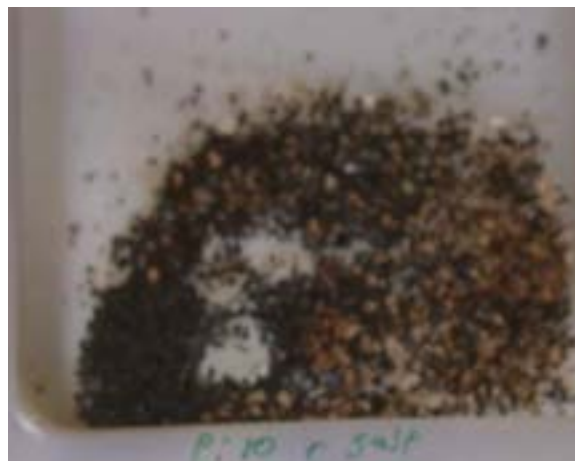


Bild 1 Polysulfid efter malning

Bild 2 Mald HTPB

HTPB	91 %
Isocyanate	9 %



Bild 2 Mald HTPB

Bild 3 Mald ELD 2.2

PolyGLYN BX 45	69 %
Bu-NENA	17 %
DBTDL	0,1 %
H₁₂MDI	13,9 %

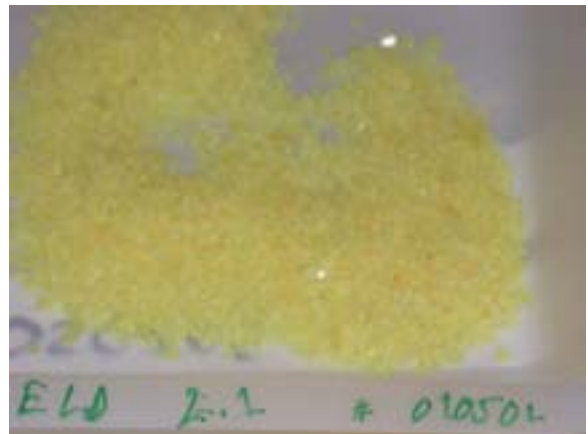


Bild 3 Mald ELD 2.2

Bild 4 Mald ELD 4.1

PolyGLYN bx 45	36,0 %
GAP	36,0 %
Bu-NENA	18,0 %
DBTDL	0,001 %
H₁₂MDI	0,10 %



Bild 4 Mald ELD 4.1

Bild 5 Mald ELD 2.4

PolyGLYN bx 45	70,0 %
Bu-NENA	17,6 %
H₁₂MDI	12,3 %
DBTDL	0,1 %

Bild 5 Mald ELD 2.4

Bild 6 Mald ELD 3.3

PolyGLYN bx 45	70,0 %
Bu-NENA	17,6 %
H₁₂MDI	12,3 %
DBTDL	0,1 %

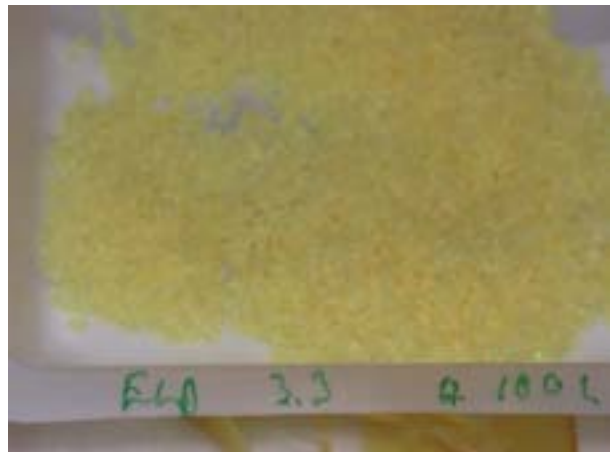
Bild 6 Mald ELD 3.3

Bild 7 Mald Viton

Viton A	100 %
----------------	--------------

Bild 7 Mald Viton A

*SEPARATION AV MODERNARE EXPLOSIVÄMNEN***ENERGETISKA MATERIAL**

Idag använder vi oss av flera olika explosivämnen. Dessa bygger på samma sätt som tidigare på att de består av ett energetiskt material och ett bindemedel. De explosivämnen som används i dessa experiment beskrivs nedan.

HMX

HMX isolerades för första gången under andra världskriget, som en biprodukt till RDX. HMX är det mest högpresterande explosivämnen som används i system idag. Dess huvudsakliga användningsområden är som huvudladdning i avancerade vapensystem samt även civilt vid utvinning av olja och i gruvdrift.

Fox-7

Fox-7 utvecklades av Nikolaj Latypov på FOI under 1996. Ämnet är tänkt som en ersättare för RDX, med prestanda som RDX men med en lägre känslighet. Den går också under namnet DADNE, från 1,1-Diamino-2,2-dinitroeten. Ämnet tillverkas idag av Eurenco Bofors, men finns ännu inte i storskalig tillverkning för vapensystem.

ADN

ADN utvecklades av Ryssland i början av 70-talet. Idag har Eurenco Bofors den mest lönsamma processen på marknaden och tillverkar dinitroamid i tonskala. Dinitroamid används framförallt till Airbags i bilar. Fördelarna med ADN som raketbränsle beror på dess rökfrihet och frånvaro av klor. ADN har visat sig vara ett utmärkt undervattenssprängämne och i flytande form kan det fungera som ett bra vätskeraketbränsle.

CL-20

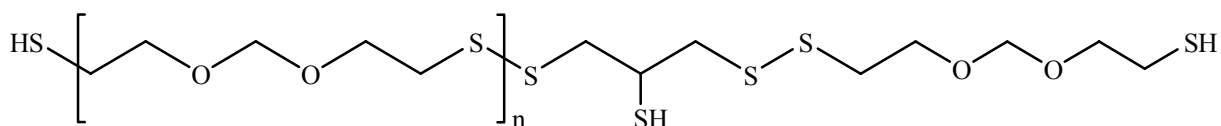
CL-20 utvecklades av A.T Nielsen under 1990-talet och är det kommersiellt tillgängliga explosivämne med högst prestanda. Ämnet är främst avsett för avancerade vapensystem och andra hög prestanda tillämpningar. Det har dock inte helt slagit igenom ännu främst beroende på att ämnet fortfarande är dyrt och har en del stabilitetsproblem.

POLYMERER

I moderna explosivämnen är oftast bindemedlet en polymer. Det kan vara en vanlig polymer eller en energetisk. De nyare polymerer som har används i detta projekt beskrivs nedan.

Polysulfid

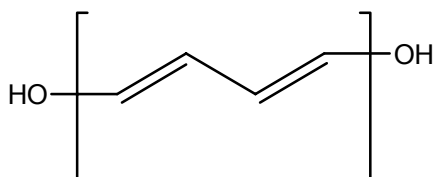
Denna polymer har funnits kommersiellt tillgänglig sedan 1930. Polymeren har sedan länge använts som bindemedel för energetiska material. Den har dock minskat i användning de senaste åren då nya polymerer har tagit dess plats. I Figur 7 ser man strukturen på Polysulfiden som används i försöken.



Figur 7, struktur på Polysulfid

HTPB

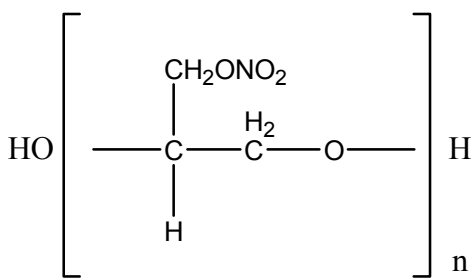
Hydroxyltermineradpolybutadien används framför allt till raketkrut som bindemedel och bränsle (se Figur 8). HTPB har använts länge inom det militära området och även civilt till booster-raketer på rymdfärjor.



Figur 8, Struktur på HTPB

PolyGLYN

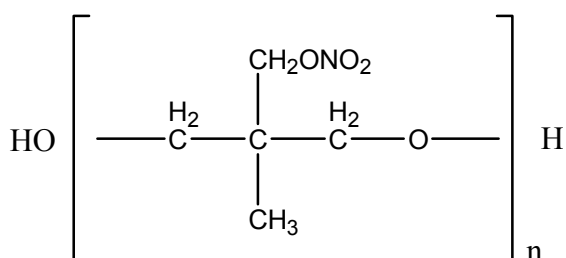
PolyGLYN (PGN) med riktiga namnet poly glycidyl nitrate är en energetisk polymer, se Figur 9. Det är en relativt nyutvecklad polymer och finns ännu inte i några system. Fördelen med en energetisk polymer är att den inte bara är ett bränsle utan även har med sig en andel av oxidatorn som snabbt kan frigöras genom sin relativt höga brinnhastighet jämfört med en icke energetisk polymer. Ämnet studeras nu i samband med utvecklingen av nytt kanonkrut och explosivämnen baserade på Fox-7. Utvecklingen har nått så långt att det är möjligt att PGN kan komma att hamna i system inom en snar framtid.



Figur 9, Struktur på Polyglyn

PolyNIMMO

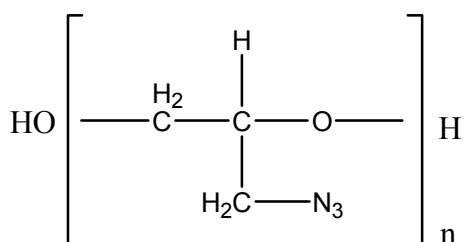
PolyNIMMO (pNMMO) eller det korrekta namnet poly-3-nitrometyl-3-metyloxetan (Figur 10) är liksom PGN en energetisk polymer. Den studeras i samband med utveckling av nya PBX:er, vilket också leder till en möjlighet av placering i framtida vapensystem.



Figur 10, Struktur på PolyNIMMO

GAP

GAP med det längre namnet glycidylazidpolymer är den tredje och sista energetiska polymeren som behandlas i denna rapport, se Figur 11 nedan. Polymeren har extra energi i form av azidgrupper som sitter i kedjan och frigörs vid förbränning.



Figur 11, Struktur på GAP

EXPLOSIVÄMNEN

De explosivämneskompositioner som har använts för att se om det är möjligt att separera ur de energetiska materialen ur dem återfås i Tabell 5.

Tabell 5, Explosivämneskompositioner

Komposition 1		Komposition 2		Komposition 3		Komposition 4	
Fox-7	64%	ADN	60%	HMX	65%	Fox-7	70,30%
HMX	16%	PolyNIMMO	26%	PolyNIMMO	24%	PolyGLYN	10,70%
GAP	7,20%	DNEB	10%	Bu-NENA	5,40%	GAP	10,70%
PolyGLYN	7,20%	H ₁₂ MDI	3,50%	H ₁₂ MDI	3%	Bu-NENA	5,30%
Bu-NENA	3,60%	DBTDL	0,05%	DBTDL	0,06%	Desmodur W 3%	
DesmodurW	2,00%			KNO ₃	2,50%	DBTDL	0,30%
DBTDL	0,10%						

RESULTAT

HMX SEPARATION

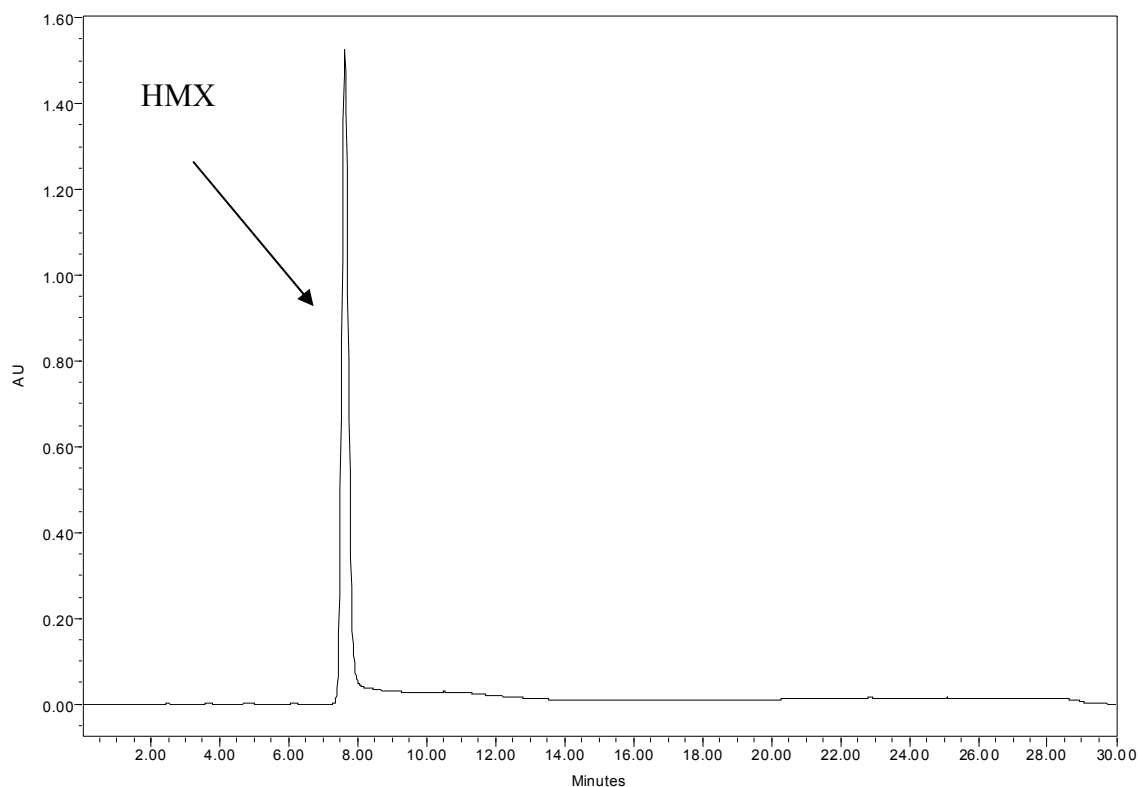
Vi har följt patenten för både TPLs metod (Phillips, Cain et al. 1998) och Eurenco Bofors AB s metod (Nyqvist 1995). Före och efter behandling analyserades proverna med HPLC varefter proverna fotograferades i ett mikroskåp.

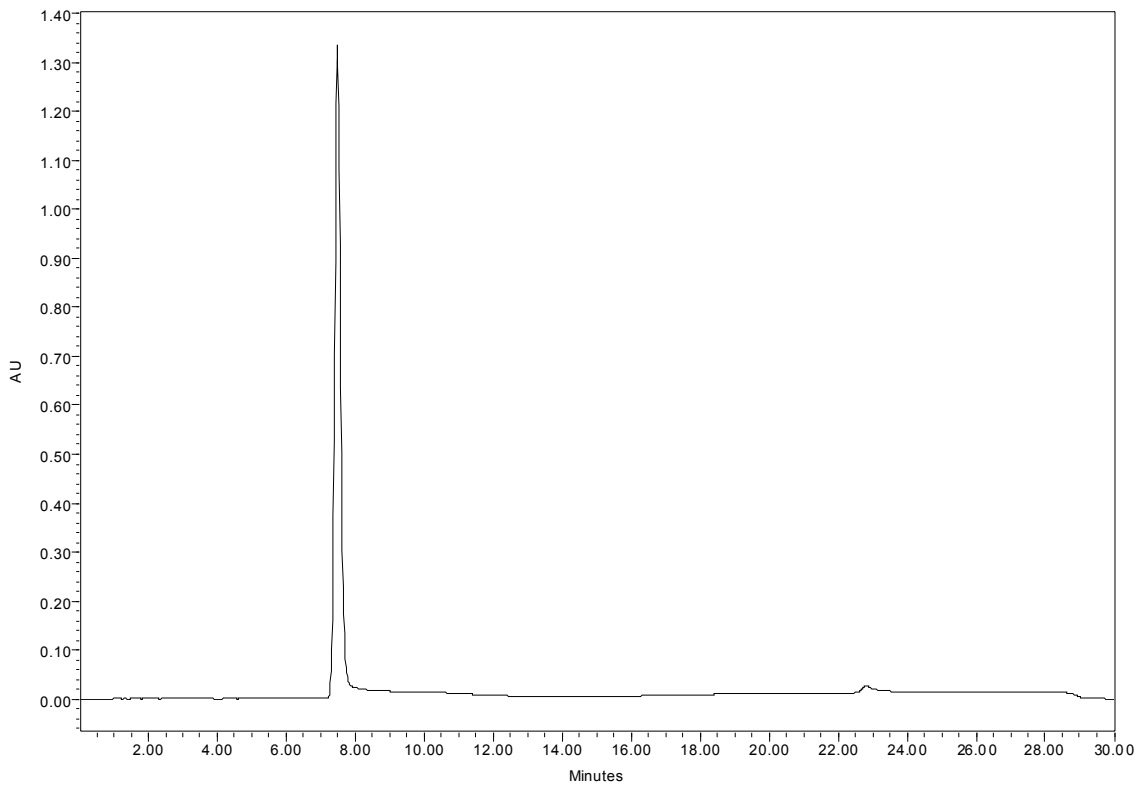
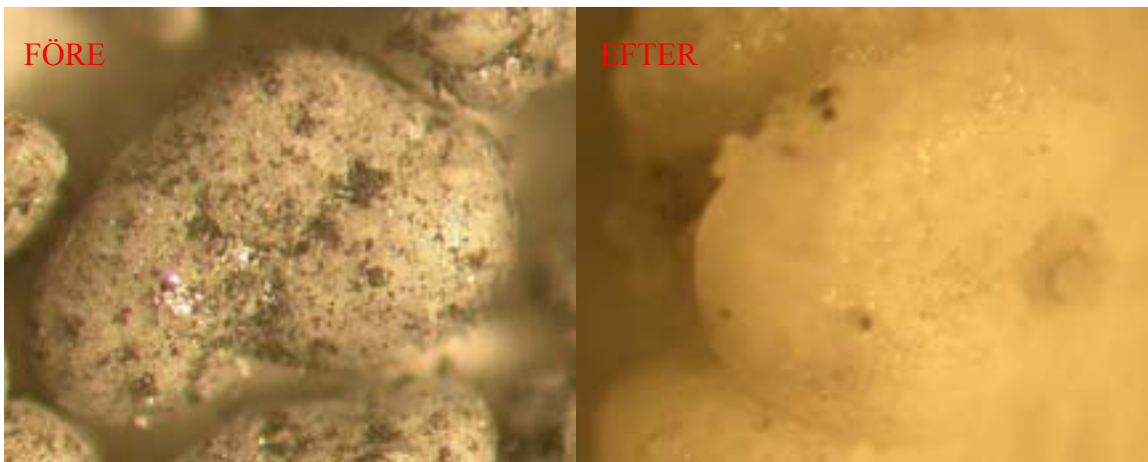
EURENCOMETODEN

PBX N5

För PBX N5 som synes i Figur12 och Figur 13 kan inga skillnader ses. Detta kan endast betyda att polymeren (viton) löses upp av acetonitrilen och att HPLC analysen inte ger något utslag på polymeren. I Figur 14 kan man se att endast grafiten har tvättats bort under behandlingen, men att i övrig ser materialet obehandlat ut. Från detta resultat dras slutsatsen att metoden har problem med denna typen av material.

Figur 12, PBX N5 löst i acetonitril analyserat med HPLC

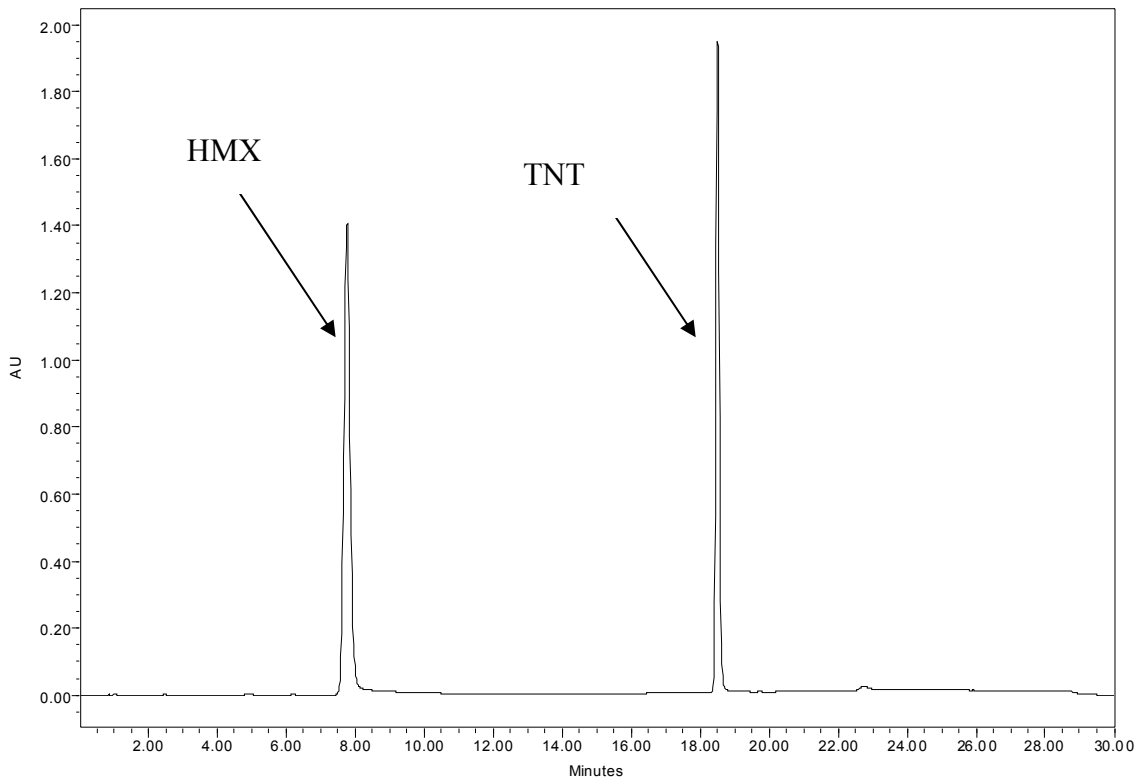


Figur 13, PBX N5 löst i acetonitril analyserat med HPLC efter behandling enligt metod Nexplo.**Figur 14, Mikroskåpbilder på PBX N5 före och efter behandling.**

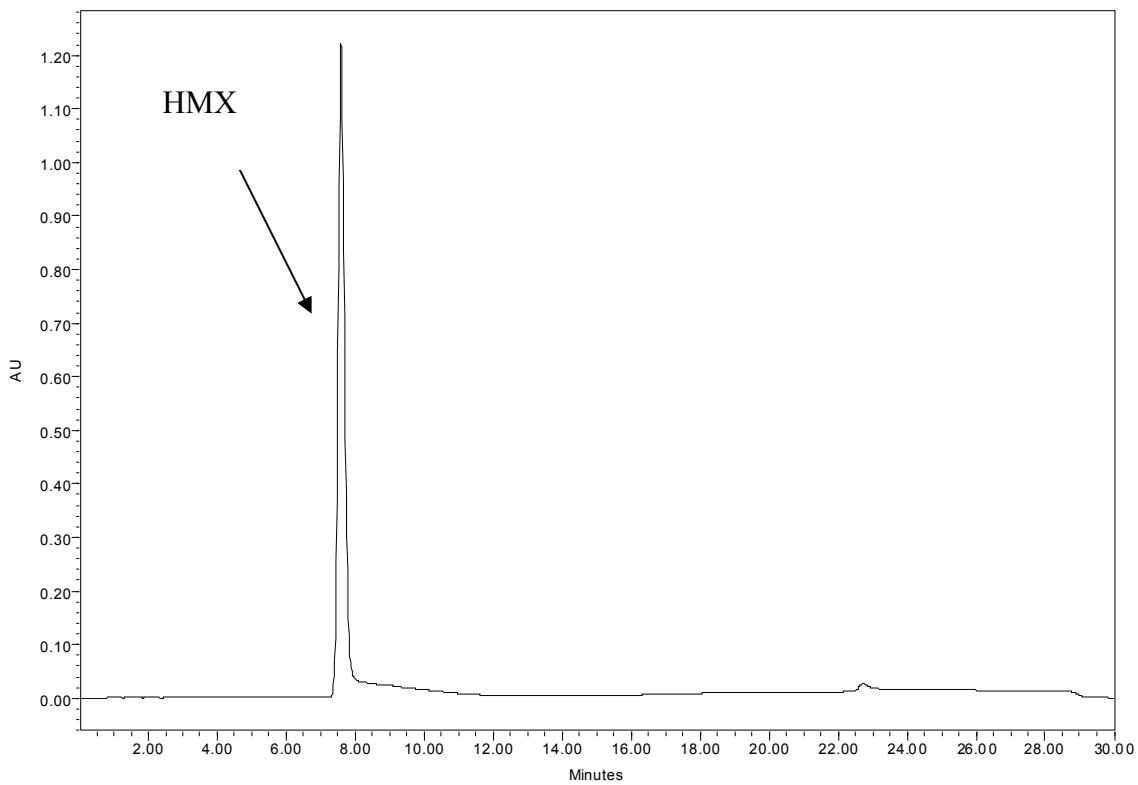
Oktol

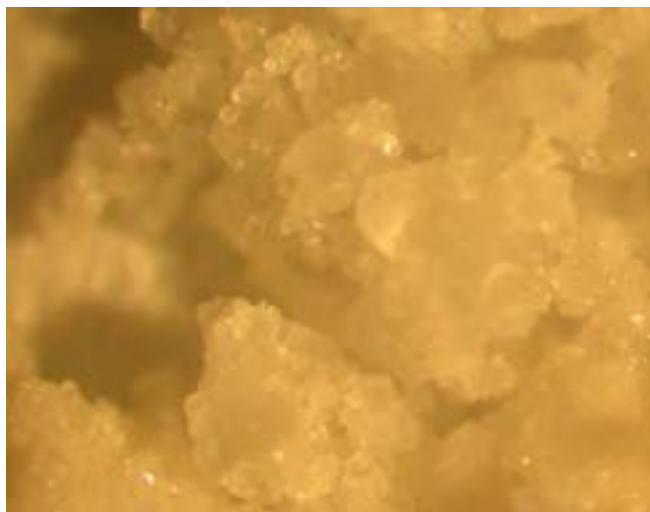
Som kan ses i Figur 15 och Figur 16 så försvinner TNT-toppen på ca 19 minuter helt efter att provet har genomgått metod Eurencoco. Detta visar att metoden fungerar bra på Oktol. Figur 17 visar resultatet efter behandling.

Figur 15, HPLC analys på Oktol.



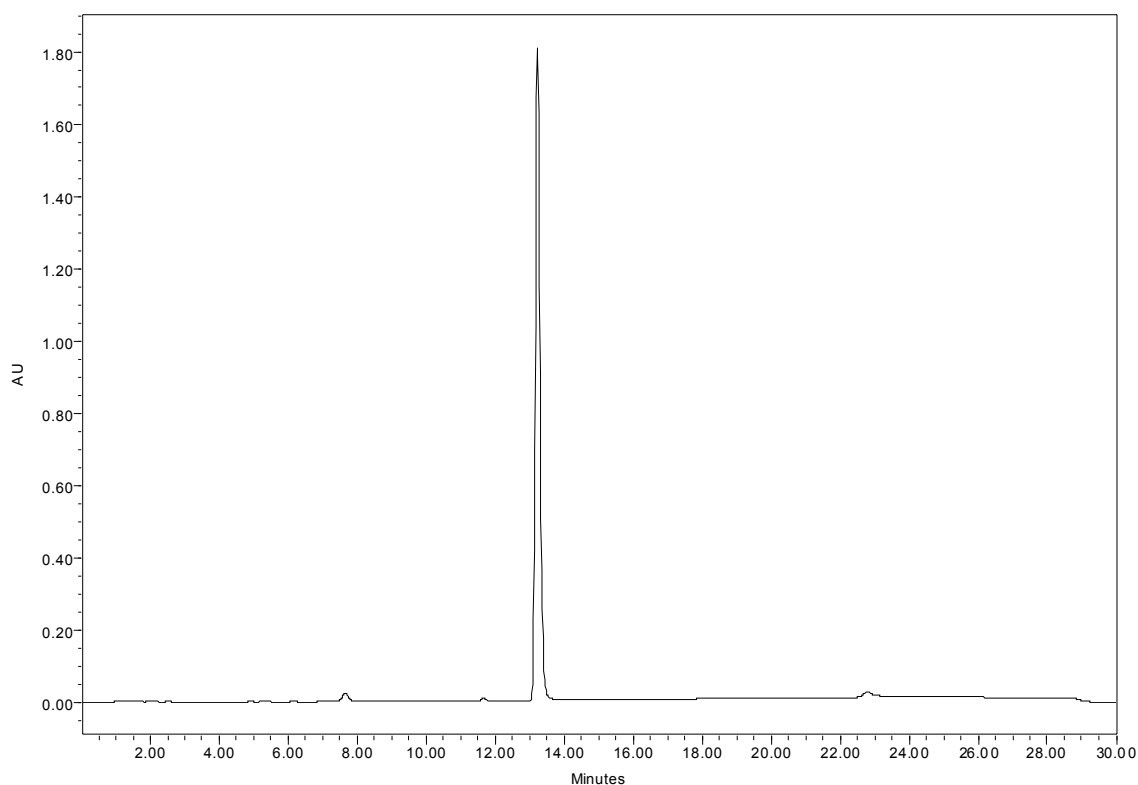
Figur 16, HPLC analys på Oktol efter metod Eurenco

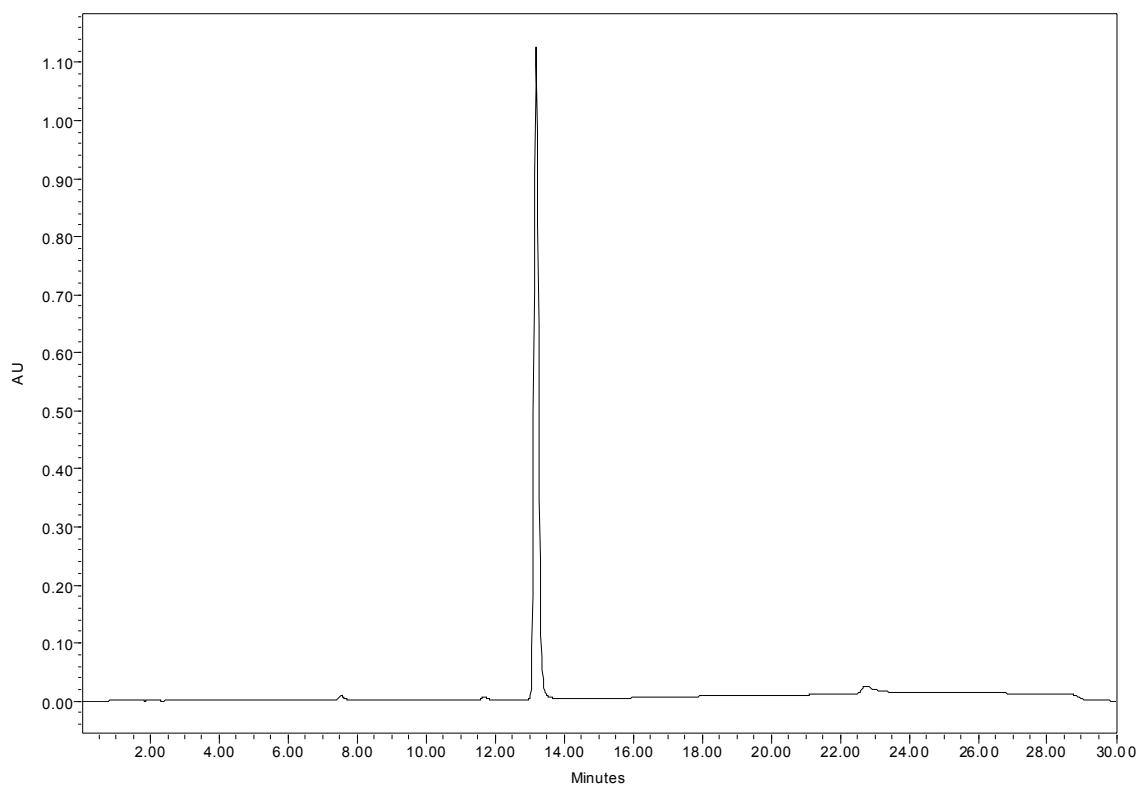
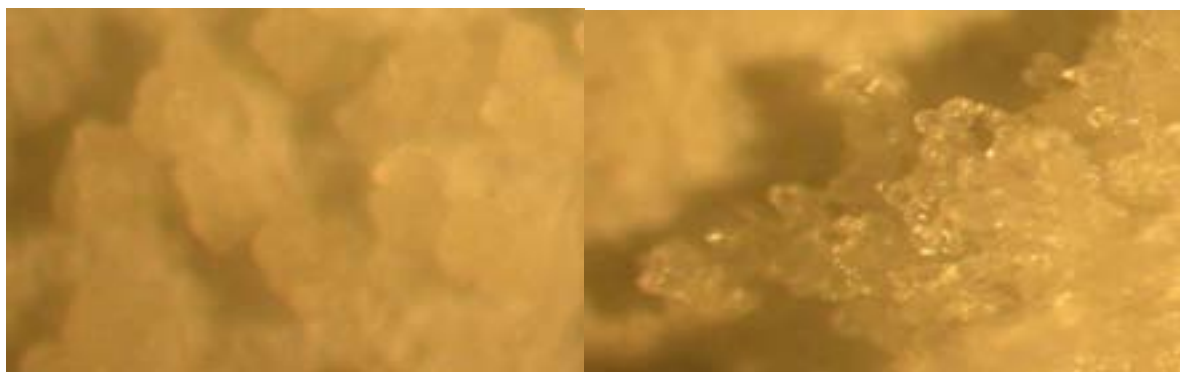


Figur 17, Oktol efter behandling.

RDX vax

För detta material var det liknande problem som för PBX N5 angående analysen med HPLC då också vaxet löstes upp av acetonitrilen. Resultaten från analysen kan ses i Figur 18 och Figur 19 men de säger inget om behandlingens funktion. Om man tittar på mikroskåpbilderna (Figur 20) så kan man inte heller där se någon direkt skillnad mellan ursprungligt och behandlat. Vilket troligen betyder att metoden fungerar dåligt.

Figur 18, RDX vax löst i acetonitril analyserat med HPLC

Figur 19, RDX vax efter behandling, löst i acetonitril analyserad med HPLC**Figur 20, RDX vax före och efter behandling**

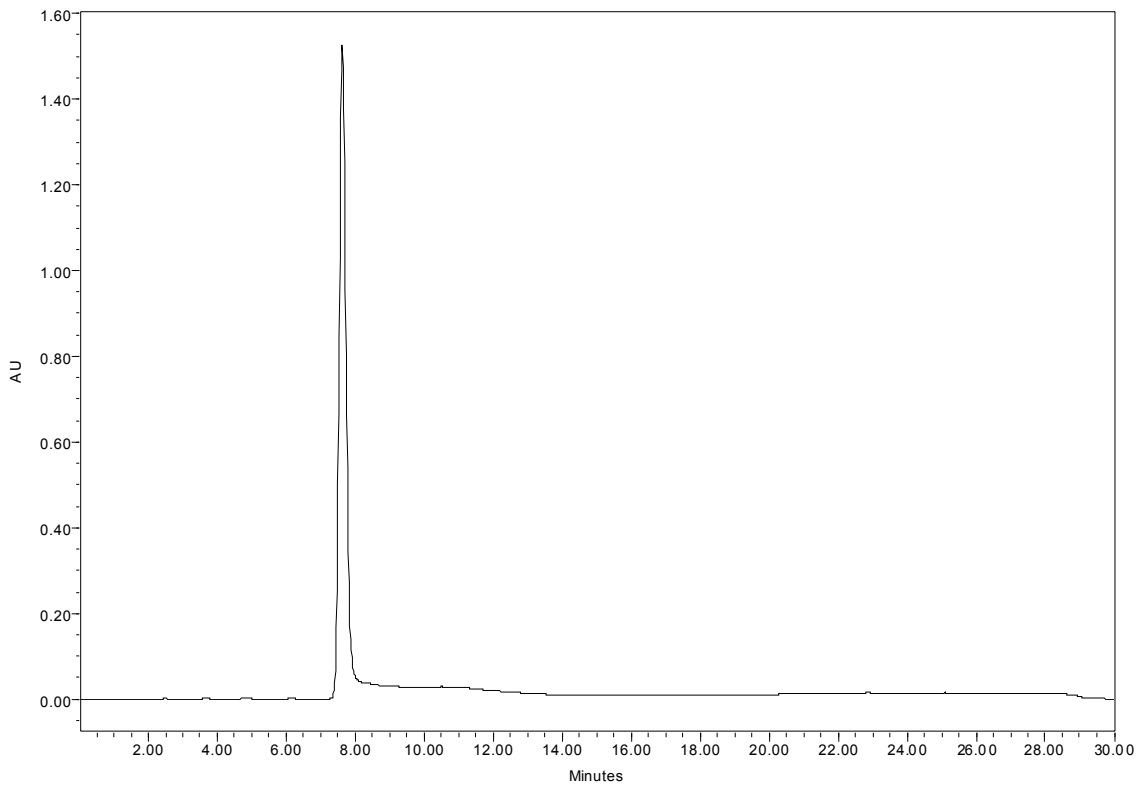
Slutgiltigen kan sägas att från dessa försök kan dras slutsatsen att metoden endast fungerar på oktol. Eventuellet utbyte för metoden är okänt.

TPL-METODEN

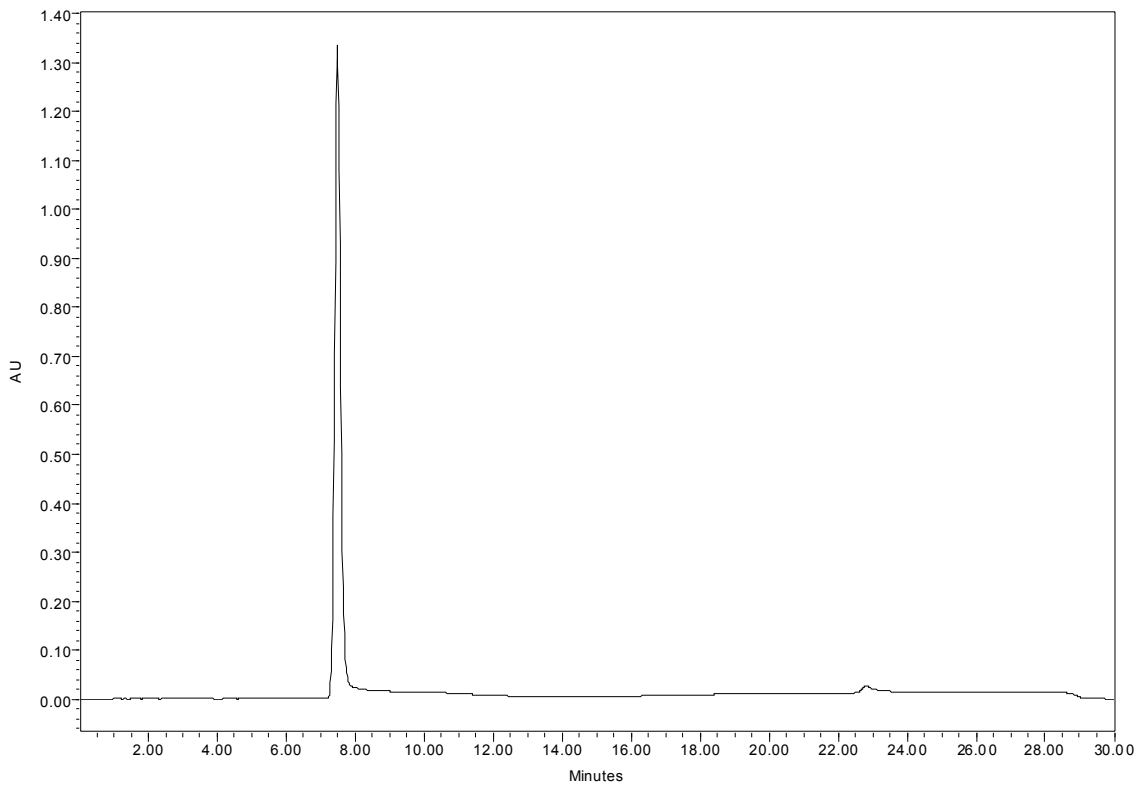
PBX N5

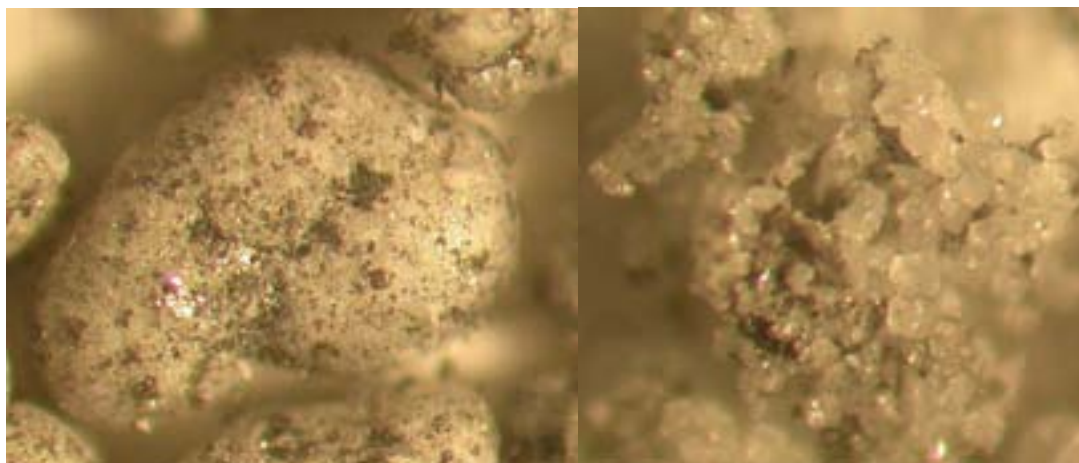
Här blir effekten likadan som i metod Eurenco, dvs det går inte att se någon skillnad på HPLC resultaten (Figur 21, Figur 22), däremot i mikroskåpet (Figur 23) förefaller det att något har hänt och att det mesta av polymeren har försvunnit.

Figur 21, PBX N5 löst i acetonitril analyserat med HPLC



Figur 22, HPLC analys på PBX N5 efter behandling

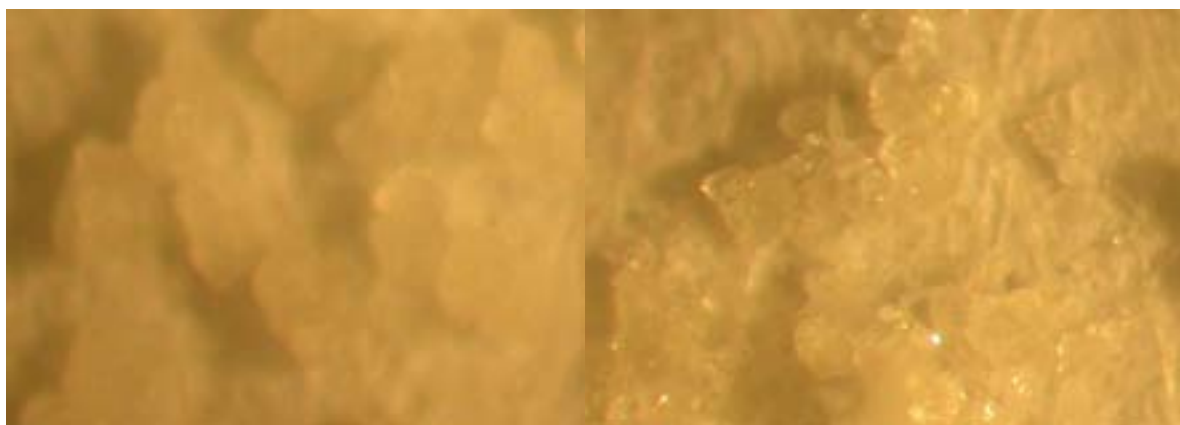


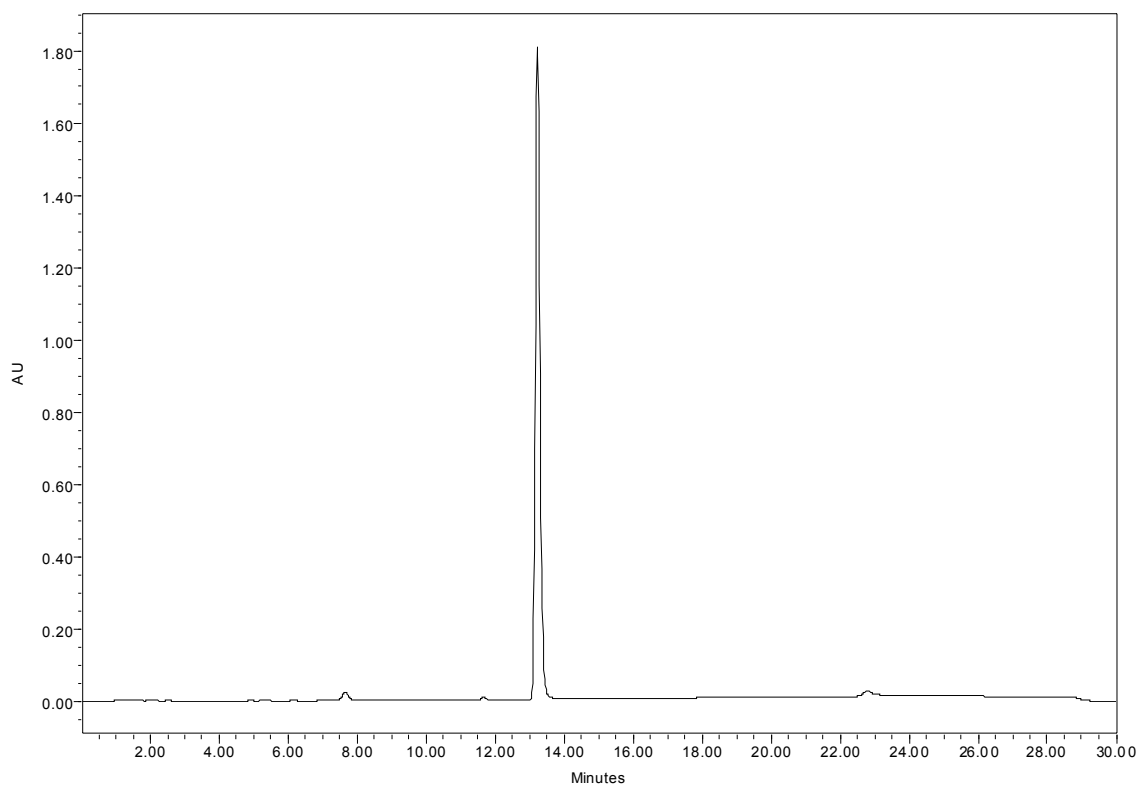
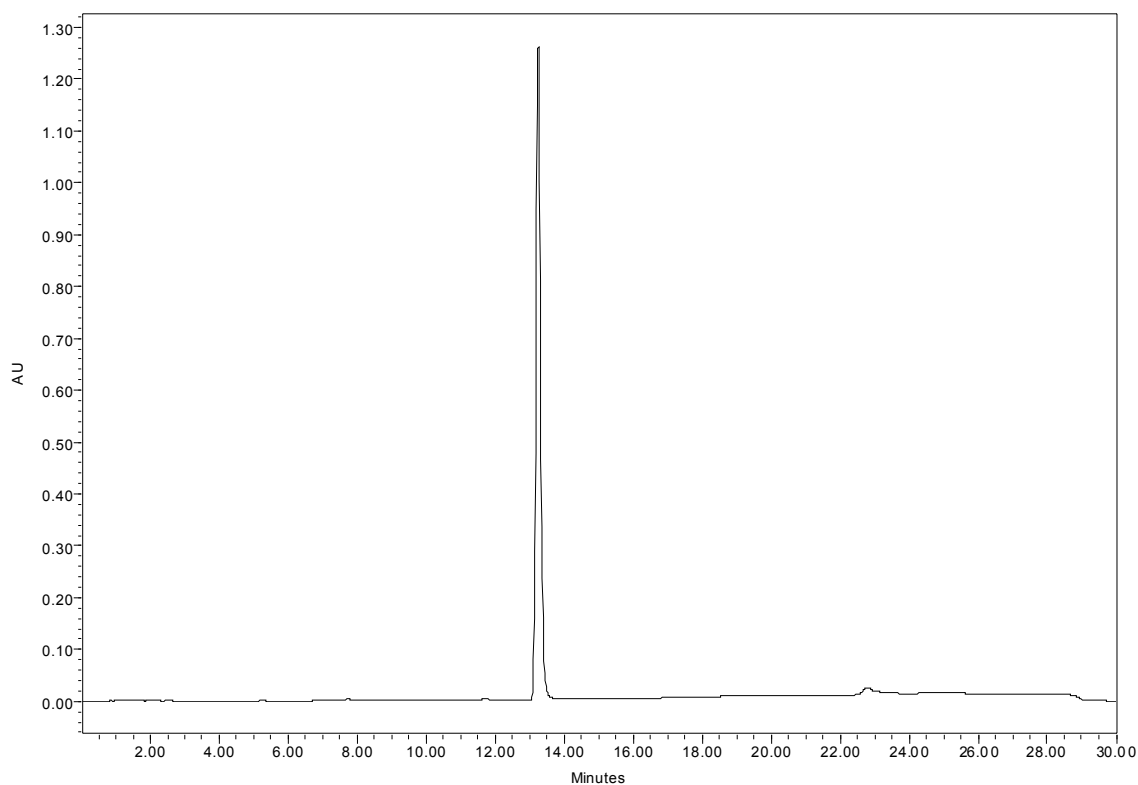
Figur 23, Mikroskåpbilder på PBX N5 före och efter behandling**Oktol**

Metod TPL testades inte på oktol, då salpetersyra inte har någon effekt på den redan fullt nitrerade trotylen.

RDX vax

För RDX vax var det liknande problem som för PBX N5 angående analysen med HPLC då också vaxet löstes upp av acetonitrilen. Resultaten från analysen kan ses i Figur 25 och Figur 26 men de säger inget om behandlingens funktion. Om man tittar på mikroskåpbilderna (Figur 24) så kan man inte heller där se någon direkt skillnad mellan ursprungligt och behandlat.

Figur 24, RDX vax före och efter behandling

Figur 25, RDX vax löst i acetonitril analyserat med HPLC**Figur 26, HPLC analys på RDX vax efter behandling löst i acetonitril**

Det som slutgiltigen kan sägas om denna metod är att resultatet är svårtydda. Detta betyder inte att metoden inte fungerar utan bara att vi inte kan utläsa något ur dessa försök.

SEPARATION AV MODERNARE EXPLOSIVÄMNEN

Lösligheten av ämnen i olika lösningsmedel beskrivs i denna rapport med en skala från noll (0) till ett (1), där helt opåverkat material är noll och fullständigt löst betecknas med en etta. Då kompositionen är eldbefängad markeras detta med en asterix (*). Då materialet fälls ut vid tillsatts av vatten markeras detta med (H₂O→).

POLYMERER

Lösligheten av polymererna presenteras förenklat i tabell 6 nedan (Hägwall, J et Al. 2004). Observera konstellationen mellan salpetersyra och polymererna polysulfid och HTPB, vilka fattade eld.

Tabell 6, Resultat från upplösning av polymerer

Lösningsmedel	Polysulfid	HTPB	ELD2.2	ELD4.1	ELD2.4	ELD3.3	Viton A
Aceton	1	0	0	0,25	0,25	0,75	1
Trietylamin	0	0,5	0	0	0	0	0
Salpetersyra	*	*	1	1	1	1	0
NMP	0,75	0,75	1	0,75	0,75	0,75	1
Tributylfosfat	0,25	0	0,5	0,5	0,75	1	1

ENERGETISKA MATERIAL

Löslighet av de energetiska materialen i olika lösningsmedel sammanfattas i tabell 7 nedan (Hägwall, J et Al. 2004). Observera den gynnsamma reaktionen där utfällning sker vid tillsats av vatten.

Tabell 7, Lösning av energetiska material

Lösningsmedel	Fox-7	ADN	HMX	CL-20
Aceton	0,25	1	0,5	1
Trietylamin	0	1 (2 faser)	0	1
Salpetersyra	1	(1)	1 (H₂O→)	1 (H₂O→)
NMP	1 (H₂O→)	1	1 (H₂O→)	1 (H₂O→)
Tributylfosfat	0,5	1	0,5	1

SEPARATION AV MODERNARE EXPLOSIVÄMNEN

Utifrån resultaten från de tidigare försöken väljs ett lämpligt lösningsmedel för att separera det energetiska materialet från polymermatrisen. Detta utnyttjas i de fyra kompositioner som har valts för denna undersökning. Vad som ingår i de olika kompositionerna redovisas i tabell 8 nedan.

Tabell 8, Explosivämneskompositioner

Komposition 1		Komposition 2		Komposition 3		Komposition 4	
Fox-7	64%	ADN	60%	HMX	65%	Fox-7	70,30%
HMX	16%	PolyNIMMO	26%	PolyNIMMO	24%	PolyGLYN	10,70%
GAP	7,20%	DNEB	10%	Bu-NENA	5,40%	GAP	10,70%
PolyGLYN	7,20%	H ₁₂ MDI	3,50%	H ₁₂ MDI	3%	Bu-NENA	5,30%
Bu-NENA	3,60%	DBTDL	0,05%	DBTDL	0,06%	Desmodur W 3%	
DesmodurW	2,00%			KNO ₃	2,50%	DBTDL	0,30%
DBTDL	0,10%						

Komposition 1

Till komposition 1 valdes NMP som lämpligt lösningsmedel för att separera HMX och Fox-7 från polymeren. Det grundar sig på att båda ämnena löser sig totalt i NMP. Explosivämnet finfördelades och 0,2 g fördes ner i 3 ml av NMP. Lösningen fick stå under omrörning i 48 timmar vid 60° C för att lösa ut explosivämnet. Polymeren filtrerades bort och vatten tillsattes till lösningen varvid HMX och Fox-7 faller ur lösningen. Enligt LC-MS så har runt 100 % av HMX hamnat i lösningen och 82 % av Fox-7 har hamnat i lösningen. Enligt DSC är båda substanserna rena.

Komposition 2

Komposition 2 innehåller ADN samt PolyNIMMO. För att separera dessa valdes att tillsätta Aceton. Acetonen löser båda och resultatet från LC-MS ger inga olösta rester. ADN finns troligen i lösningen men analyserna visar inte detta. Troligen har LC-MS problem att detektera ADN eftersom det är ett salt. ADN kan inte fällas ut som de övriga utan måste separeras i en kol-kolonn eller förstöras genom att bestråla lösningen med UV-ljus då ADN sönderfaller till ammoniumnitrat.

Komposition 3

Som lämpligt lösningsmedel för komposition 3 valdes salpetersyra med tanke på att salpetersyran bryter ner polymeren. Lösningen fick stå under omrörning i salpetersyra i 48 timmar efter allt har gått i lösning och inga partiklar fanns i salpetersyran. Vid analys återstod dock endast 15 % av den tillförda mängden HMX. Detta beror förmodligen på att för stark salpetersyra har använts under försöket. Istället för 100 % salpetersyra bör man använda en salpetersyra på runt 70 %. Då kommer inte explosivämnet att brytas ner, men förmodligen polymeren. HMX är också analyserad i DSC. Resultaten visar att HMXen är ren och inte har bindemedelsrester kvar.

Komposition 4

Komposition 4 innehåller det energetiska materialet Fox-7 samt polymererna polyGLYN och GAP, vilket tyder på att ett lämpligt lösningsmedel borde vara NMP. NMP användes och lösningen fick stå under omrörning i 48 timmar. Resultatet från LC-MS ger att 88 % av den tillförda FOX-7 mängden har gått i lösning. Denna Fox-7 är analyserad i DSC och överensstämmer med ren produkt.

DISKUSSION

De demonteringsmetoder för ammunition som har presenterats här är en liten del av alla de som finns tillgängliga. Metoderna som är med i denna rapport representerar de mest förekommande metoderna. De är främst med för att ge en uppfattning om vilka metoder som finns och hur forskarna tänker inom detta område.

När det gäller återvinningsmetoderna är antalet metoder mer begränsat. Detta beror främst på att det finns få kemiska processer som är möjliga att nyttja. De metoder som beskrivs är från USA och Sverige. Vid valet av metoder gäller det att titta på mängd ammunition som skall avvecklas. Hur fort behöver denna mängd avvecklas? Hur mycket får avvecklingen kosta? Vilken miljökonsekvens är vi villiga att tolerera? Svaret på dessa frågor är det som skall styra valet av metod för avveckling.

Tidigt insågs att det fanns ett behov att testa analysmetoder för att klargöra metodens funktion. Detta skulle kunna vara metoder som t ex NMR, FTIR, FT Raman, DSC, MS eller kombinationer av dessa. Detta utnyttjades i den sista delen, det vill säga testningen av de modernare explosivämnen. Resultaten från testerna som gjordes då var lyckosamma. Det finns dock vissa problem med analys av ADN på grund av att det är ett salt.

Försöken vad gäller de modernare explosivämnen har bara gjorts efter principen ”proof of principle”. Det betyder att det finns mycket kvar att göra för att få fungerande metoder i labbskala samt en längre insats för att pröva ut de metoderna i en större skala så att det är möjligt att ta hand om större mängder explosivämnen.

SLUTSATSER

Det finns klara möjligheter för båda metoderna. Det som klart kan ses är att för plastbundna sprängämnen är funktionen av dessa återvinningsmetoder beroende av polymertypen. Vi har i denna undersökning inte fått några klara indikationer för vilka material som dessa två metoder är lämpade. För svenska behov är Eurenco Bofors ABs metod som kan lösa ut HMX ur TNT intressantast. Hur framtiden ser ut är dock mer oklar och grundligare undersökningar behövs för att klargöra behovet av dylika metoder framöver.

Den återvunna HMXens värden är inom de experimentella gränserna för de jungfruliga värdena. Skillnader finns i morfologin (kristallstrukturen) samt partikelfördelningen. Generellt sätt kan sägas att jungfrulig HMX har en mer rektangulär morfologi. Den återvunna har däremot en mycket rundare form. Detta kan bero på att kristaller har påverkats av syran eller den mekaniska bearbetningen. Partikelfördelningen är sådan att den återvunna HMXen har en större del mindre partiklar. Man kan också se vissa skillnader i känslighet. Men testerna motsäger varandra bl.a. i två tester som visar stötkänslighet där den återvunna i det ena fallet känsligare och det andra okänsligare. Det går med andra ord inte att säga något om känsligheten.

Vad gäller modernare explosivämnen kan det utläsas av resultaten att vid rätt val av lösningsmedel fungerar metoden även för framtidens explosivämnesformuleringar. Det har också visat sig att det är möjligt att se hur ”rena” ämnena är och vilket utbyte av ämnena som metoden presterar. Detta har gjorts med HPLC-MS, med stöd av DSC. Resultaten visar att de produkter som fås är ”rena” från bindemedel och andra substanser som finns i kompositionen. Det skulle dock behövas mycket mer analyser för att se om det energetiska materialet skulle kunna uppfylla några framtida krav enligt militära specifikationer.

Det som bör anmärkas är att den senare delen bara visar vad som är möjligt (sk ”proof of principle”) och att inga försök att optimera processerna har gjorts. Det är dock tydligt att metoder att återvinna explosivämnen med hjälp av lösningsmedel kommer att kräva optimering med nytt lösningsmedel och en ny process för varje komposition av energetiskt material som skall återanvändas.

Vidare bör tilläggas att dessa metoder kommer att ge olika mängder lösningsmedelrester som måste kunnas tas om hand på ett miljöriktigt och kostnadseffektivt sätt. Detta bör tas med i beräkningar när återvinningskostnaden- eller förtjänsten beräknas.

Projektet visar dock att om återvinning eftersträvas är detta möjligt för de flesta av framtidens material. Frågan om återvinning bör dock komma in tidigt i utvecklingen av ett nytt system för att minska risken att hamna i läge där destruktionskostnaderna vida överstiger de totala kostnaderna för systemet.

REFERENSER

- 5th Global Demil Symposium, Mary 5-9, 1997, John Ascuaga's Nugget Sparks, Nevada, USA
- 7th Global Demil Symposium, May 17-20, 1999, Tulsa, Oklahoma, USA
- 9th Global Demil Symposium, May 14-17, 2001, John Ascuaga's Nugget Sparks, Nevada, USA
- 10th Global Demil Symposium, May 20-24, 2002, Lexington, Kentucky, USA
- 8th Demil Users Group, November 16-17, 1999, Parsippany, New Jersey, USA
- Eriksson, P. (2003). Nammo Vingåkersverken AB. Vingåker.
- Finnex 2002, September 9-11, 2002, Levi, Finland
- Förordningen om avfallsförbränning (2002). 2002:1060.
- Hägvall, J. (2002). Förslag på metoder för återanvändning av explosivämnen, FOI, Weapons and Protection: 13.
- Hägvall, J. (2003). Utvärdering av metoder för återvinning av Explosivämnen. FOI.
- Hägvall, J., Johansson, M., Holmgren E. (2004). Utvärdering av återvinningsmetoder på nyframtagna explosivämnen. FOI.
- International Pyrotechnics Seminar, July 14-19, 2002, Westminster, Colorado, USA
- Jennings, K. (2004). PM Demilitarization - Update for global demil Symposium and Exhibition. 12th Global demil Symposium and Exhibition.
- Life Cycle of Energetic Materials Conference, July 14-17, 2002, Westminster, Colorado, USA
- Marsden, C. (1963). Solvents Guide.
- Melitta, A. J. (2004). OSD perspective on Demil. 12th Global demil Symposium and Exhibition.
- Mescavage, G. (2004). Implementation of Design for Demil in the Joint Services. 12th Global Demil Symposium and Exhibition.
- Naturvårdsverketsföreskrifter om avfallsförbränning (2002). NFS 2002:28.
- Nyqvist J, Method for working up mixed explosives, Jan 11, 2000, US patent no 6,013,794, SE patent nr 9500280
- Nyqvist, J.-O. (1995). Flödesschema över återvinning av sprängämne. Sverige, Bofors Explosives AB.
- Phillips, R. S., A. W. Cain, et al. (1998). Recovering nitroamines and reformulation of by-products. USA, TPL Inc (Albuquerque, NM): 12.
- Phillips R.S, Cain A.W, Schilling T.J, Miks M.W, Recovering nitroamines and reformulation of by-products, December 15, 1998, US patent no 6,063,960.
- Sandagger, K. H. and K. D. Proctor (2002). HMX Requalification Phase 2: Characterization of HMX Recovered from LX-14. Indian Head, Energetic evaluation Department: 22.
- Svensson, L., J.-O. Nyqvist, et al. (1984). Sätt att omkristallisera sprängämnena Oktogen och Hexogen. Sverige, Nobel Kemi AB.
- Tompa A.S, French D.M, White B.R, Breakdown of solid propellant and explosives, recovery of nitramines, June 21, 1983, US patent no 4,389,265
- Urbanski, T. (1984). Chemistry and Technology of Explosives.