

Opruiming van munitie en explosieven met inachtneming van het milieu

Explosieve stoffen vormen de werkzame bestanddelen van munitie. De in de explosieve stof opgeslagen chemische energie kan worden vrijgemaakt voor het versnellen van projectielen, het verscherpen van granaten of het veroorzaken van grote luchtdrukpieken (blast). Het effect van reagerende munitie is dan ook bijna altijd zeer groot. Aangezien er altijd kans bestaat op een onvoorziene reactie van de munitie (zoals brand in de opslag of een verkeersongeval bij transport) is het van belang munitie na het verstrijken van de functionele levensduur zo snel mogelijk op te ruimen. Dat geldt voor het merendeel van de munitie en zeker de grotere kalibers, aangezien die bij oefeningen niet of slechts in geringe aantallen worden verbruikt.

Door de ontspanning in de Oost-Westrelatie worden thans in Europa grote hoeveelheden munitie overbodig. Behalve deze reguliere munitie worden nog dagelijks munities uit de Tweede Wereldoorlog gevonden, en ook die moeten worden opgeruimd. Dat wordt bemoeilijkt door de slechte staat waarin ze doorgaans verkeren. Het komt voor dat de munitie bij inslag in de bodem uit elkaar is geslagen. Daarbij is de explosieve stof gemengd met de grond; berucht in dit verband zijn de V1-projectielen die zo'n 1000 kg zeer giftig meta-dinitrobenzeen bevatten. De restproblematiek wordt in Nederland gevormd door de explosieve stoffen die door overheden en industrie ter vernietiging worden aangeboden, waaronder grote hoeveelheden illegaal vuurwerk. Een kwantitatieve omschrijving van het probleem geven de tabellen 1 en 2. Het zal

Tab. 1 Gemiddelde hoeveelheid explosieve stof die jaarlijks door de Nederlandse krijgsmacht wordt afgestoten

	landmacht	luchtmacht	marine
kruit	10.700 kg	800 kg	5.800 kg
springstof	150 kg	5.700 kg	1.200 kg
pyrotechniek	40 kg	460 kg	950 kg

in de toekomst steeds moeilijker worden onze overtollige munitie en explosieve stof aan het buitenland te slijten, zodat moet worden gezocht naar een nationale oplossing van deze problematiek.

Opruimingsmethoden

Dumpen

De meest gebruikte methode om van overjarige of overtollige munitie af te komen bestond uit het dumpen van de munitie op (van grote bevolkingscentra) afgelegen plaatsen. Voorkeur hierbij genoot het dumpen in zee in diepten, gelegen buiten de vaarroutes; het explosierisico is daarmee afdoende verminderd. Een bijkomend voordeel van dumpen is het geringe aantal handelingen dat de munitie moet ondergaan. Dat zelfs dit kleine aantal handelingen nog een explosie kan opleveren bewijst de ontploffing van het munitiedumpschip in Utrecht in 1967.

In het licht van de huidige milieu-inzichten is dumpen niet langer acceptabel. Vroeg of laat zullen wij met onze eigen nalatenschap worden geconfronteerd: de omhulling van de munitie zal langzaam door zeewater of andere stoffen worden aangetast en de giftige inhoud komt op termijn in het milieu terecht. In de Oost- en de Noordzee wordt regelmatig munitie opgevoerd waarbij soms slachtoffers vallen. Ook worden badgasten in de Oostzee nog wel eens het slachtoffer van chemische strijdmiddelen zoals mosterdgas; deze stoffen zijn daar tussen de twee wereldoorlogen gedumpt.

Tab. 2 Hoeveelheid munitie die jaarlijks door EOCL wordt vernietigd

springstof	30.000 kg	klein kaliber	20.000 kg
vuurwerk	42.000 kg	middenkaliber	3.000 kg
met springstof		groot kaliber	30.000 kg
besmet schroot	200.000 kg	bommen/mijnen	25.000 kg
buizen	20.000 kg	raketten	10.000 kg

Verbranding in de open lucht

Een betere oplossing van het probleem kan worden gevonden in het delaboreren van de munitie. De granaten worden van de huls getrokken, waarna men het kruit (de voortdrijvende lading) kan verwijderen. Vervolgens kunnen de granaten van hun buizen (ontstekingsinrichting) worden ontdaan en leeggesmolten. Dat kan alleen bij springstofvullingen op basis van trotyl (TNT) of compositiespringstoffen op basis van TNT. Met springstof verontreinigd water houden wij over bij het uitstomen van TNT uit de granaten. Andere springstofvullingen (ook de nieuwe kunststofgebonden springstoffen) kan men met een hoge-drukwaterstraal verwijderen.

Het verzamelde kruit en de springstoffen worden vervolgens (apart!) in smalle banen op een terrein in de open lucht uitgestrooid en verbrand. Deze methode is niet van gevaar ontbloot; als de hoeveelheid springstof een kritische waarde overschrijdt kan een detonatie optreden. Illegaal vuurwerk wordt veelal in de open lucht verbrand waarbij de voor de verbranding verantwoordelijke persoon door reagerend vuurwerk kan worden getroffen.

Bij de verbranding komen giftige produkten in de lucht, de grond en het grondwater. In opdracht van het ministerie van defensie heeft TNO een onderzoek verricht naar de milieubelasting t.g.v. de openluchtverbranding van explosieve stoffen. Daaruit kwam naar voren dat de drempelwaarden die de overheid hanteert voor het vrijkomen van schadelijke stoffen flink werden overschreden. Wij moeten daarbij denken aan stoffen als antimoon, lood, andere zware metalen, zoutzuur, zwavelverbindingen en stikstofoxiden (NO_x). Het TNO-rapport beveelt aan de verbranding op een beter gecontroleerde wijze uit te voeren, met opvang van de reactieprodukten.

Biodegradatie van explosieve stoffen

Hieronder verstaan wij het inzetten van micro-organismen die in staat zijn de explosieve stoffen om te zetten in niet-explosieve produkten. Verschillende onderzoekers hebben aangetoond dat een stof als trotyl door bacteriën kan worden omgezet. De methode ziet er dan ook op het eerste gezicht aantrekkelijk uit, zeker als men te maken heeft met grote hoeveelheden grond, gemengd met springstof. Het omzettingproces verloopt echter langzaam en niet

erg reproduceerbaar, aangezien het afhankelijk is van factoren als temperatuur, zuurgraad van de bodem, zuurstofconcentratie e.d. Bovendien worden stoffen gevormd die weliswaar niet explosief zijn, maar wel veel giftiger dan de uitgangsstoffen. Uit TNT worden zodoende aromatische nitro-aminen gevormd die kankerverwekkende eigenschappen bezitten. Biodegradatie beperkt zich tevens tot de organische explosieve stoffen; anorganische verbindingen zoals zwart buskruit, ammoniumnitraat, ammoniumperchloraat en de meeste pyrotechnische mengsels worden niet door micro-organismen afgebroken. Verder onderzoek naar deze (zeker uit kostenoverwegingen) interessante methode van opruiming is noodzakelijk alvorens de methode geschikt kan worden gemaakt voor toepassing op grote schaal.

Chemische omzetting

Explosieve stoffen worden gefabriceerd door toepassing van bepaalde chemische reacties. Het is dus theoretisch mogelijk dit proces in omgekeerde richting te laten verlopen. In een aantal gevallen is de methode aantrekkelijk, bv. de ontleding van een initiaalspringstof zoals loodazide d.m.v. een nitrietoplossing. In het algemeen kunnen de anorganische verbindingen (meestal pyrotechnische mengsels) betrekkelijk eenvoudig chemisch worden omgezet. De organische verbindingen, zoals de meeste springstoffen, kunnen niet zo eenvoudig worden omgezet. De chemische omzetting is kostbaar en kent een hoog explosierisico. De produkten die uiteindelijk worden gevormd zijn in de regel giftig zodat een verdere behandeling noodzakelijk blijft. De beste chemische omzetting lijkt de reactie van kleine hoeveelheden explosieve stof met een overmaat lucht (zuurstof) bij hoge temperatuur; dit proces is beter bekend onder de naam gecontroleerde verbranding.

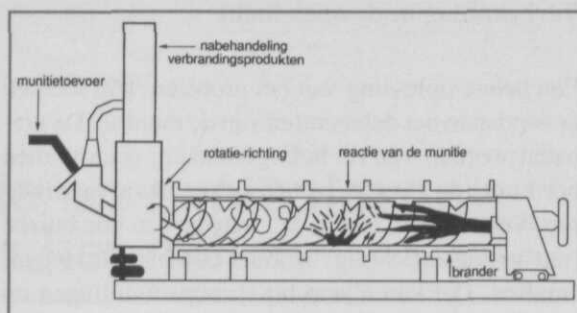
Gecontroleerde verbranding

Uitgangspunt bij de gecontroleerde verbranding is het verwarmen van kleine hoeveelheden munitie en explosieve stoffen in een gesloten systeem. Bij een bepaalde temperatuur zal de munitie uiteenvallen door de ontleding van de explosieve stof. De reactieprodukten worden opgevangen en verder bewerkt of gezuiverd.

Het principe laat zich goed beschrijven aan de hand

van een bestaande verbrandingsinstallatie voor munitie. Deze werd in de jaren '70 ontworpen voor de vernietiging van grote hoeveelheden kleinkalibermunitie door het US Army ammunition equipment directorate in Tooele, Utah (zie afb. 1). In een controlekamer worden kleine hoeveelheden munitie afgewogen en met bepaalde minimale tussenruimten op een transportband geplaatst. Op deze wijze wordt een mogelijke kettingreactie van de munitie voorkomen. De band transporteert de munitie via een glijgoot naar de draaitrommeloven. De in de oven aanwezige spiraalvormige spoed dient een tweeledig doel: hij separeert de munitie zodat er geen sympathische detonatie kan optreden en hij transporteert de munitie door de oven in de richting van de overzijde waar zich de branders bevinden. De oven bestaat uit vier 10 cm dikke cilindervormige gietijzeren delen met een lengte van 1,5 m (de inwendige spiraalvorm is een integraal deel van de oven). De rotatiesnelheid van de oven bepaalt de verblijftijd van de munitie in de oven; deze kan worden gevarieerd tussen 5 en 20 minuten. De oven dient zo te worden afgesteld dat de reactie van de munitie plaatsvindt in het midden van de oven; dit is dus ook afhankelijk van het type munitie en de oventemperatuur. De explosieve stoffen worden hierbij volledig ontleed, de reactieproducten worden in tegengestelde richting afgezogen. De metalen restanten verlaten de oven aan de branderzijde en vallen op een transportband die ze naar de schroothoop brengt. Deze metaalrestanten kunnen, mits gesorteerd, worden doorverkocht. De oven is ontworpen voor het vernietigen van grote aantallen kleinkalibermunitie; voorbehandeling is niet nodig.

Midden- en grootkalibermunitie kan in deze installatie niet worden verwerkt i.v.m. het risico van de overgang van verbranding naar detonatie. Een detonatie is een zeer snelle reactie in de springstof (7000-9000 m/s), en gaat gepaard met een grote brisante werking; hierdoor zal de oven onherstelbaar worden beschadigd. Door de munitie vooraf te openen kan men dat risico verkleinen, maar de munitie



Afb. 1 Schema van de draaitrommeloven van het US Army ammunition equipment directorate te Tooele/Utah

verbrandt zeer onvolledig en de restanten aan het einde van de oven kunnen nog aanzienlijke hoeveelheden springstof bevatten. Om deze redenen is ook het verbranden van grote hoeveelheden kale springstof of kruit niet goed mogelijk; het transportsysteem van de oven is ook niet hiervoor ontworpen.

Na de ontleding van de explosieve stoffen worden de reactieproducten naar een naverbrander geleid. Bij een temperatuur van 800-1000 °C en een overmaat zuurstof wordt een volledige verbranding tot kooldioxide en water verkregen; eventueel gevormde dioxines zullen bij deze temperatuur ontleiden. De reactieproducten worden vervolgens afgekoeld, de vaste stoffen worden in een cycloon en een doekenfilter afgevangen, de overblijvende gasen komen via een 10 m lange schoorsteen in het milieu. (Om aan de Nederlandse milieunormen voor verbrandingsinstallaties te voldoen zou deze installatie nog moeten worden voorzien van een gaszuiveringstrap of scrubber.)

Het pulserende reactieverloop (de munities barsten stuk voor stuk uit elkaar) verstoort het regelmatige verbrandingspatroon en daarmee een doelmatig functioneren van de installatie. Op deze wijze kan de nog onvoldoende ontlede springstof door de naverbrander worden geblazen en elders in de installatie uitkristaliseren met alle risico's van dien.

De Tooele-installatie is slechts in één uitvoering leverbaar; de capaciteit van de installatie overtreft de Nederlandse behoefte in zeer ruime mate, hetgeen blijkt uit tabel 3.

Schadelijke gasen

Bij de verbranding van explosieve stoffen komen behalve kooldioxide en water ook schadelijke stoffen vrij. Zo leveren chloorhoudende explosieve

Tab. 3 Capaciteit Tooele draaitrommeloven

munitieartikel	aantallen/uur
7.62 mm patroon	22.500
.50 patroon	6.600
20 mm patroon	900

stoffen bij verbranding grote hoeveelheden zoutzuur (bv. composiet-raketstuwstoffen met ammoniumperchloraat) en bij de verbranding van vuurwapenkruit komen grote hoeveelheden stikstof-oxiden vrij (NOx). Ook bij de verbranding van trotyl komt een forse hoeveelheid NOx vrij. Pyrotechnische mengsels leveren bij verbranding veelal vast chemisch afval, met hoge percentages zware metalen als lood, antimoon en kwik.

Iedere nieuwe verbrandingsinstallatie die men in Nederland wil bouwen moet voldoen aan stringente voorwaarden voor de uitstoot van schadelijke stoffen. De belangrijkste grenswaarden voor uitstoot zijn vermeld in tabel 4. Om aan deze normen te voldoen zal de verbrandingsinstallatie moeten worden voorzien van een scrubber; hierin worden de schadelijke gassen door een labyrint geleid waarin zich een dichte waternevel bevindt. De schadelijke, in water oplosbare, gassen worden hierdoor als het ware uit de gasstroom gewassen. Er zijn ook scrubbers die de uitlaatgassen chemisch kunnen binden. Zo kan men zoutzuur laten reageren met ammoniak, waardoor de schadelijke werking wordt geneutraliseerd.

Het voorbereiden van munitie

Omdat alleen kleinkalibermunitie zonder detonatierisico kan worden verbrand, moet voor de grote kalibers een scheiding tussen explosieve stof en metalen delen plaatsvinden; vandaar dat daaraan hier enige aandacht wordt geschonken.

Delaboreren

De meest gebruikelijke manier van delaboreren is reeds besproken bij „Verbranding in de open lucht”. Een bijkomend voordeel van delaboreren kan het hergebruik van de springstof vormen, mits de kwaliteit van de springstof in overeenstemming is met de eisen die men aan het produkt stelt (voor vernielingsladingen is dit veelal acceptabel).

Ponsen

Voor het openen van kleine dunwandige munitie, veelal gebruikt voor de verspreiding van chemische strijdmiddelen zoals mosterdgas, gebruikt men wel een pons voor het perforeren van het omhulsel; de vloeibare toxische inhoud kan dan worden verwij-

Tab. 4 Drempelwaarden voor de uitstoot van schadelijke gassen

stof	drempel-waarde (mg/m ³)	stof	drempel-waarde (mg/m ³)
totaal vast stof	5	NOx	70
HCl	10	zware metalen	1
CO	50	kwik/cadmium	0,05
SOx	40	dioxinen	0,1 ng TEQ/m ³

derd, evenals vervolgens de verspreidingslading. (De opbouw van deze munitie is te vergelijken met die van witte-fosformunitie.)

Afschuiven

Dit procédé wordt veelal gebruikt voor het verwijderen van de buizen van projectielen. Het projectiel wordt ingeklemd terwijl men de buis met een dwarskracht belast. De methode wordt ook wel gebruikt voor het verkleinen van raketmotoren. De guillotineachtige constructie werkt in dat geval met een V-vormig mes dat door de motorwand snijdt, waardoor gemakkelijker te verwerken segmenten ontstaan.

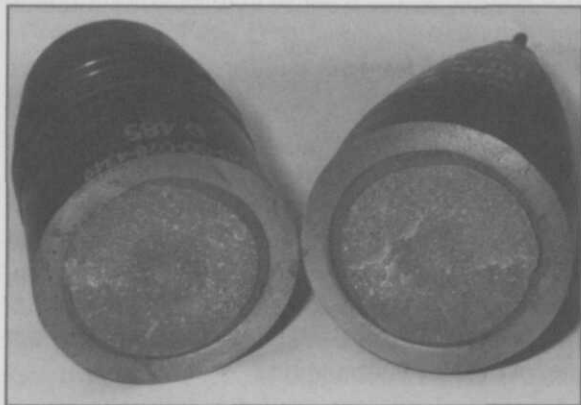
Snijden/zagen

Tot de meer conventionele methoden behoren het met zaag of beitel (en afstandsbediening!) openen van munitie. Daarbij dient tevens voldoende waterkoeling te worden toegepast. Deze methode kost relatief veel tijd; een variant hierop vormt de hoge-drukwaterjet.

Waterjet

Met een hoge-drukwaterstraal (300 bar), onder toevoeging van een slijpmiddel, is het mogelijk munitie te openen en tegelijkertijd leeg te spuiten. Op deze wijze kan een snelle scheiding worden verkregen tussen explosieve stof en de kunststof of metalen constructie. Het Prins Maurits Laboratorium TNO heeft een aantal uiteenlopende munitie met deze methode probleemloos binnen enkele minuten geopend; in geen enkel geval (zelfs niet bij het doorsnijden van het slaghoedje) was een spoor van een reactie waarneembaar (zie afb. 2, 3 en 4). Dit is grotendeels te danken aan de koelende werking van het water. De methode is zeer aantrekkelijk vanwege

Afb. 2 Experimentele opstelling voor het waterjet-snijden van munitie; in de opstelling een 155 mm granaat



Afb. 3 Een 155 mm granaat na het doorsnijden met waterjet

Afb. 4 Een door waterjet geperforeerde 40 mm buis; geen spoor van reactie aantoonbaar!

de veiligheid, de universele toepasbaarheid en de snelheid. Bovendien kan ter voorbereiding van de vervolgstap (wervelbedverbranding) de springstof eenvoudig in een „slurrie” worden gebracht.

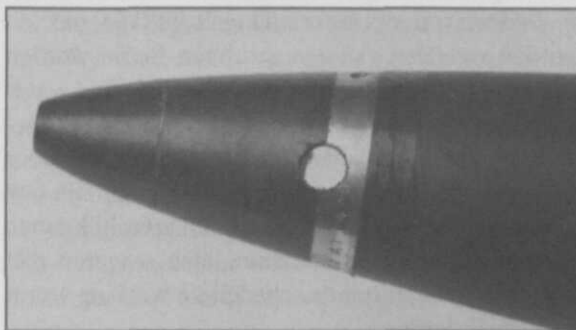
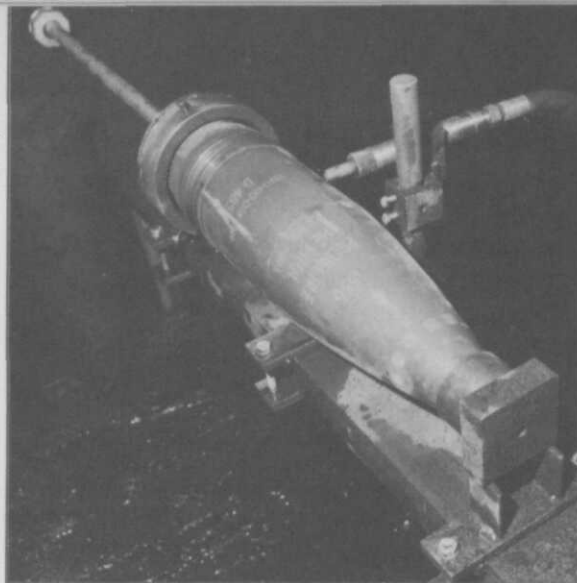
Cryogene technieken

Een exotische manier om munitie te openen is het bevriezen m.b.v. vloeibare stikstof (-196°C). Het staal van een granaat wordt bij deze zeer lage temperatuur bros. De granaat wordt vervolgens op een hydraulische pers in stukken gedrukt; de scheiding tussen metalen omhulling en inhoud is dan eenvoudig. Deze methode vond toepassing bij de vernietiging van grotere chemische munitie. Door de lage temperatuur blijft de dampspanning van het chemische strijdmiddel laag.

Wervelbedverbrandingsoven

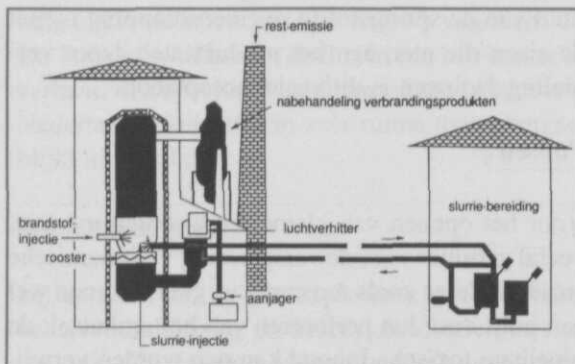
De uit de munitie afkomstige springstof kan men onder water vermalen tot een homogene slurrie wordt verkregen. Deze wordt in buffertanks opgeslagen en dient als brandstof voor een wervelbedverbrandingsoven (zie afb. 5). Het principe is als volgt. De oven bestaat uit een verticaal geplaatste cilinder met aan de onderzijde een fijn rooster. Op het rooster bevindt zich een laag zand; door het

Afb. 5 Schema van een wervelbedverbrandingsoven, gevoed door explosieve stof in slurrievorm; de slurrie wordt verkregen door de munitie door te snijden en schoon te spuiten met een hoge-drukwaterstraal



rooster wordt een hete luchtstroom ($500-800^{\circ}\text{C}$) geblazen, waardoor de zandkorrels gaan zweven (ze gedragen zich als het ware als een vloeistof). De brandstof, in ons geval de springstofslurrie, wordt in het zandbed verneveld. De grote voordelen van dit proces zijn de volgende.

- De springstofdruppels reageren druppel voor druppel; er is dus nooit een grotere hoeveelheid springstof in de oven aanwezig zodat de kans op een detonatie is te verwaarlozen.
- De springstof wordt direct ontleed; de ontledingsproducten reageren volledig met de overmaat lucht tot voornamelijk stoom en kooldioxide, als er behalve de zanddeeltjes nog een katalysator wordt



toegepast, kan de kostbare naverbranding waarschijnlijk achterwege blijven en blijft de uitstoot van NOx onder de norm. Wel blijft een gaszuiveringsinstallatie noodzakelijk voor het afvangen van schadelijke gassen, zoals zoutzuur.

– Deze wijze van verbranding is continu, goed regelbaar en aan de Nederlandse behoefte aan te passen. De aanschaffingskosten van deze installatie zullen daardoor aanzienlijk lager zijn dan die van de grote Tooele-oven.

– Desgewenst kan men uit het verbrandingsproces nog energie opwekken. Een wervelbedoven leent zich daarvoor goed, in tegenstelling tot een draaitrommeloven.

Een nadeel van het wervelbed is dat metalen delen niet goed kunnen worden verwerkt. Dit probleem speelt vooral bij de kleinkalibermunitie die moeilijk verder is te verkleinen (te bewerkelijk). Een oplossing is wellicht het gebruik van een stalen net dat met een aantal (20-50) patronen in het wervelbed wordt gehangen. Na reactie wordt het lege net vervangen door het volgende volle net. Er zijn wervelbedovens waarvan het rooster langzaam een kant op beweegt (voor het verwijderen van gevormde slakken). Hiermee kan wellicht patroonmunitie stuk voor stuk worden verbrand. De uitgegloeide metaalrestanten worden dan door het rooster uit de oven verwijderd. Bij deze manier van verbranden hebben wij als nadeel de onregelmatige verbranding.

Conclusies

De meeste thans gehanteerde methoden voor het opruimen van munitie stuiten op arbeidshygiënische of milieubezwaren. Er is momenteel geen systeem te koop dat voldoet aan de strenge Nederlandse

wetgeving op het gebied van de verbranding van afval. Een wervelbedverbrandingsoven lijkt de flexibelste oplossing voor het probleem, gekoppeld aan een mogelijkheid de munitie te openen en leeg te spuiten (hoge-drukwaterstraal). Nadere proeven zijn nodig voor het verkrijgen van inzicht in de nodige voorbewerkingstechnieken, de slurriebereidingstransport en -verbranding, alsmede de belangrijke procesparameters, zoals de werkelijke concentraties schadelijke gassen in de schoorsteen.

Samenvatting

Een groot gedeelte van de Nederlandse oorlogsvoorraad munitie en explosieve stoffen ligt aan het einde van de functionele levensduur nog in opslag. Aangezien zelfs de opslag van munitie en explosieve stoffen risico's voor de samenleving inhoudt, dienen deze artikelen zo snel mogelijk te worden opgeruimd. Door de ontspanning in de Oost-Westrelatie van de laatste jaren zijn grote hoeveelheden munitie in Europa overbodig geworden. Voorts wordt nog munitie uit andere bronnen ter vernietiging aangeboden. Voor de vernietiging van munitie en explosieve stoffen werden en worden methoden gebruikt als dumpen, verbranden en detoneren.

Al deze methoden zijn nadelig voor het milieu. Een aantal nieuwe vernietigingsmethoden werd onderzocht, zoals biodegradatie, chemische omzetting en gecontroleerde verbranding. De laatste methode lijkt de beste perspectieven te bieden, met name het gebruik van een wervelbedverbrandingsoven. Wel is het noodzakelijk de munitie te openen en een scheiding tussen de explosieve stoffen en de metalen aan te brengen. Hierbij is goede ervaring op gedaan met een hoge-drukwaterjet.